

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

84917

DOĞAL GAZ NAKİL HATLARINDA MEYDANA
GELEN KİRLENME OLAYININ ARAŞTIRILMASI VE
ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Y.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Makine Müh. Ahmet Furgan ALBAYRAK

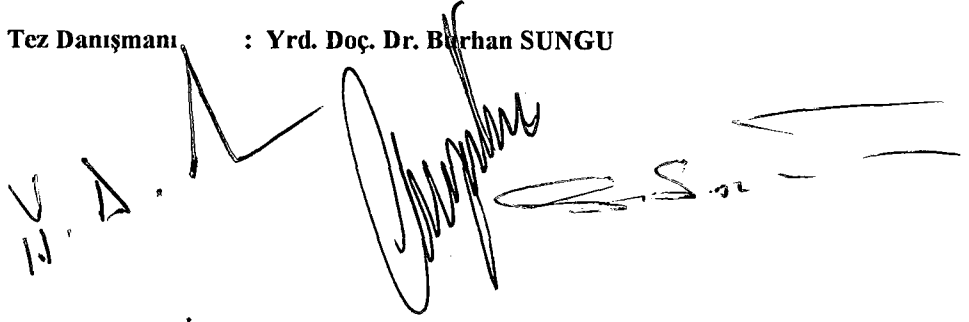
F.B.E Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Enerji Makinaları Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Barhan SUNGU

14.11.1999

84917



İSTANBUL , 1999

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ.....	i
KISALTMA LİSTESİ.....	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	v
ÖNSÖZ.....	vi
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. İSTANBUL ve DOĞAL GAZ.....	3
2.1. İGDAŞ.....	3
2.1.1. Temel bilgiler.....	3
2.1.2. İGDAŞ'ın kuruluşu.....	3
2.1.3. Genel yapısal bilgilendirme.....	4
2.2. Doğal Gaz.....	4
2.2.1. Doğal gazın oluşumu ve bulunuşu.....	4
2.2.2. Dünyada doğal gaz.....	6
2.3. Türkiye'de Doğal Gaz.....	9
2.3.1. Doğal gazın enerji tüketimindeki yeri.....	12
2.3.2. Sektörel bazda doğal gaz kullanımı.....	12
2.3.3. Mevcut doğal gaz sistemi ve planlanan yatırımlar.....	14
2.3.3.1. Doğudan gelen boru hattı.....	15
2.3.3.2. Ege hattı.....	16
2.3.3.3. Karadeniz (bluestream) hattı.....	16
2.3.3.4. Ege II. LNG terminali.....	16
2.3.3.5. Güney hattı.....	16
2.3.3.6. Yeraltı depolama sistemi.....	17
3. DOĞAL GAZ NAKİL HATLARI.....	18
3.1. Genel.....	18
3.2. Rusya Türkiye Doğal Gaz Nakil Hattı.....	18
3.2.1. Hat vanaları.....	18
3.2.2. Pig istasyonları.....	19
3.2.3. Doğal gaz ölçüm ve basınç düşürme istasyonları.....	19
3.2.3.1. Ana ölçüm istasyonu.....	20
3.2.3.2. Ölçüm ve basınç düşürme istasyonları (rms).....	21
3.3. Batı İstanbul (Esenyurt) Ölçüm ve Basınç Düşürme İstasyonu.....	23
3.3.1. İstasyon giriş vanaları.....	23
3.3.2. Filtre ünitesi.....	24
3.3.3. Isıtıcılar.....	26

3.3.4.	Basınç düşürme ünitesi.....	27
3.4.	İGDAŞ Doğal Gaz Dağıtım ve Regülasyon Sistemi.....	28
3.4.1.	Doğal gaz çelik hat nakil sistemi.....	29
3.4.2.	Doğal gaz regülasyon sistemi.....	30
3.4.2.1.	Regülatör istasyonu çalışma prensipleri.....	30
4.	DOĞAL GAZ NAKİL HATLARI TASARIM ESASLARI.....	35
4.1.	Tasarım Basıncı.....	35
4.1.1.	Gaz taşıma hatları tasarım basıncı.....	35
4.1.2.	Gaz ve sıvı taşıma hatları.....	35
4.2.	Tasarım Sıcaklığı.....	37
4.3.	Et Kalınlığı Sıra Numarası	37
4.4.	Boru Hattı Çapının Belirlenmesi.....	38
4.5.	Sürtünme Basınç Kaybı.....	38
4.6.	Ekonomik Çap.....	39
4.7.	Uzunluk.....	39
4.8.	Sivri Kuvvetlerin Etkin Olduğu Noktalar.....	40
4.8.1.	Değişik çaplı iki hattın birleşmesi.....	40
4.8.2.	Dönüşlere uygulanan statik ve dinamik basınç kuvvetleri.....	40
4.9.	Basınç Kuvveti Hesabında Kullanılan İç Basınç	41
4.10	Karışık Bağlantılı Hatlar İle Elektrik Devre Bağlantılarındaki Benzerlikler.....	41
4.10.1.	Seri bağlı değişik çaplı hatlar.....	42
4.10.2.	Paralel bağlı hatlar.....	42
4.11.	Boru Direnç Katsayısı.....	43
4.12.	Karışık Bağlantılarda Q, P, L/D ve L Çap ve Uzunlukları.....	43
4.13.	Hat Tasarımında İş Programı ve Malzeme Seçimi.....	45
4.14.	Hat Tasarımında Bilinmesi Gerekenler.....	45
5.	DOĞAL GAZ NAKİL HATTI MALZEME STANDARTLARI ve TEST	
	UYGULAMALARI.....	47
5.1.	Giriş.....	47
5.2.	Çelik Boru Hattı Malzeme Standardı.....	47
5.2.1.	Çelik karakteristikleri.....	47
5.2.1.1.	Tip.....	47
5.2.1.2.	Kimyasal özellikler.....	47
5.2.1.3.	Mekanik özellikler.....	47
5.2.2.	Boru karakteristikleri.....	48
5.2.2.1.	Boyutlar.....	48
5.2.3.	Uygulanan testler.....	48
5.2.4.	Dış ve iç kaplama.....	49
5.2.4.1.	Dış kaplama.....	49
5.2.4.2.	İç kaplama.....	49
5.3.	Çelik Boruların Teslim Alınması ve Depolanması.....	49
5.3.1.	Boru ve boru hattı ekipmanlarının teslim alınması.....	50
5.3.2.	Boruların depolanması.....	50
5.3.3.	Boru hattı ekipmanlarının depolanması.....	51

5.4.	Doğal Gaz Çelik Boru Hattının Hidrostatik Sızdırmazlık Testi.....	51
5.4.1.	Test ilkeleri.....	51
5.4.2.	Test hazırlıkları.....	51
5.4.3.	Test uygulamaları.....	52
5.4.3.1.	Uzun test.....	52
5.4.3.1.1	Test uygulanan kısım sızdırmazlığının 24 saat boyunca kontrolü.....	52
5.4.3.1.2	Bir saatlik test uzatımı boyunca bir bölümdeki mevcut sızdırmazlık bozulmasının yaklaşık olarak tespiti.....	54
5.4.3.2	Kısa test.....	54
5.4.3.2.1	Bir saat boyunca bir bölümün sızdırmazlığının kontrolü.....	54
5.4.3.2.2	Yarım saatlik bir test uzatımı boyunca bir bölümdeki mevcut sızdırmazlık bozulmasının yaklaşık olarak tespiti.....	55
5.4.4	Test sonuçları.....	55
5.4.4.1.	Test güvenilirliği.....	55
5.4.4.2.	Hacimler.....	55
5.4.4.3.	Basınç okumaları.....	56
5.4.4.4.	Sıcaklık okumaları.....	56
5.4.4.5.	Sıcaklıkların dengelenmesi.....	57
5.4.4.6.	Örnek olarak $q \Delta t$ litrelik suyun boşalması ile oluşan ihmal edilebilir bir kaçığın neden olduğu $\Delta p'_0$ basınç düşümünün hesaplanması.....	57
5.4.4.7.	H, belirsizliğin hesabı.....	58
5.4.4.8.	Kısa testler boyunca Δp için 0,5 bar sınırının kabul edilebilirliği.....	59
6.	DOĞAL GAZ NAKİL HATLARINDA KİRLENME OLAYI.....	60
6.1.	Giriş.....	60
6.2.	Kirlilik Kavramı.....	60
6.3.	Analiz Raporları.....	62
6.4.	Kirlenme Olayının Nedenleri.....	62
6.4.1.	Kum-toprak.....	63
6.4.2.	Su-nem.....	64
6.4.3.	Demir tozu ve oksitleri.....	64
6.4.3.1.	Analiz I.....	64
6.4.3.2.	Analiz II.....	67
6.5.	Korozyon.....	67
6.5.1.	Korozyon çeşitleri.....	68
6.5.1.1.	Üniform korozyon.....	69
6.5.1.2.	Galvanik korozyon.....	69
6.5.1.3.	Çatlak korozyonu.....	70
6.5.1.4.	Çukur korozyonu.....	71
6.5.1.5.	Taneler arası korozyon.....	72
6.5.1.6.	Seçimli korozyon.....	72
6.5.1.7.	Erozyonlu korozyon.....	73
6.5.1.8.	Gerilmeli korozyon.....	73
6.5.2.	Yeraltı ve sualtı korozyonu.....	74
6.5.2.1.	Galvanik korozyon.....	74
6.5.2.1.1	Metallerin standart elektrot potansiyelleri.....	75
6.5.2.1.2	Zemin içindeki elektrot potansiyelleri.....	77
6.5.2.1.3	Boru hatlarında oluşan galvanik hücreler.....	78

6.5.2.1.4.	Zemin yapısından ileri gelen korozyon.....	79
6.5.2.1.5.	Farklı havalanma sonucu oluşan korozyon.....	80
6.5.2.1.6.	Kaplama bozukluğu nedeniyle oluşan korozyon.....	81
6.5.2.2.	Biyolojik korozyon.....	82
6.5.2.3.	Kaçak akım ve interferans korozyonu.....	83
6.5.3.	Korozyona etki eden parametreler.....	83
6.5.3.1.	Potansiyel ph'ın etkisi.....	83
6.5.3.2.	Zemin etkisi.....	84
6.5.3.3.	Zemin sıcaklığı ve biyolojik yapısı.....	84
6.5.3.4.	Oksijen konsantrasyonunun etkisi.....	85
6.5.3.5.	Zemin elektrik özgül direnci.....	85
6.5.3.6.	Kokulandırma maddelerinin korozyona etkisi.....	86

7. KİRLENME OLAYININ DOĞAL GAZ NAKİL SİSTEMİNE ETKİLERİ.. 87

7.1.	Giriş.....	87
7.2.	Taşıyıcı Sisteme Etkileri.....	87
7.3.	Regülasyon Sistemine Etkileri.....	88
7.4.	Etkilerin İktisadi Değerlendirmesi.....	93
7.5.	Örnek Olaylar.....	94
7.5.1.	Ağıroto taburu olayı.....	94
7.5.2.	G.O.P. cebeci halk ekmek fabrikası olayı.....	95
7.5.3.	Kağıthane 16" hattaki hasar olayı.....	95
7.5.4.	Diğer olaylar.....	96

8. ÇÖZÜM METOTLARI.....97

8.1.	Giriş.....	97
8.2.	İşletmeye Alma Öncesi Çözümler.....	97
8.2.1.	Depolama şartları.....	97
8.2.2.	Hattın temizlenmesi – pig kavramı.....	98
8.2.2.1.	Pig nedir?.....	99
8.2.2.2.	Boru hattı neden piglenir?.....	99
8.2.2.3.	Pig tipleri.....	100
8.2.2.3.1.	Klasik/hizmet pigleri.....	100
8.2.2.3.1.1.	Temizleme pigleri.....	100
8.2.2.3.1.2.	Keçe (sızdırmazlık) pigleri.....	101
8.2.2.3.1.2.1.	Köpük pigler.....	101
8.2.2.3.1.2.2.	Mandrel (çelik milli) pigler.....	102
8.2.2.3.1.2.3.	Sert dökme pigler.....	103
8.2.2.3.1.2.4.	Küreler.....	104
8.2.2.3.1.3.	Özel temizleme pigleri.....	105
8.2.2.3.1.4.	Ayırma pigleri.....	106
8.2.2.3.1.5.	Yer değiştirme pigleri.....	106
8.2.2.3.1.6.	Ölçme pigleri.....	107
8.2.2.3.1.7.	Profil pigleri.....	107
8.2.2.3.1.8.	Çift çaplı pigler.....	108
8.2.2.3.1.9.	İletici pigler.....	108
8.2.2.3.1.10.	Özel pigler.....	108

8.2.2.4.	Pig belirleme kriterleri.....	108
8.2.2.4.1.	Anahtar parametreler.....	109
8.2.2.4.1.1.	İtici ortam.....	109
8.2.2.4.1.2.	Basınç.....	109
8.2.2.4.1.3.	Hız.....	109
8.2.2.4.1.4.	Sıcaklık.....	110
8.2.2.4.1.5.	Dirsekler.....	110
8.2.2.4.1.6.	Vanalar.....	111
8.2.2.4.1.7.	T-dirsekler.....	111
8.2.2.4.1.8.	Çift çaplı boru hatları.....	111
8.2.2.4.1.9.	Boru hattı uzunluğu.....	112
8.2.2.5.	Pig geometrisi.....	112
8.2.2.5.1.	Uzunluk.....	112
8.2.2.5.2.	Sızdırmazlık diskleri.....	112
8.2.2.5.3.	Hareket başlıkları.....	113
8.2.2.5.4.	Kılavuz diskler.....	113
8.2.2.5.5.	Ölçme plakaları.....	113
8.2.2.5.6.	Fırçalar.....	113
8.2.2.6.	Pigleme için boru hattı tasarımı.....	113
8.2.2.6.1.	Hat borusu.....	114
8.2.2.6.2.	Dirsekler.....	114
8.2.2.6.3.	Bağlantılar.....	114
8.2.2.6.4.	Y- geçişleri.....	115
8.2.2.6.5.	Vanalar.....	115
8.2.2.6.6.	Özelliklerin bağıl konumu.....	115
8.2.2.6.7.	Pig tuzakları ve pig istasyonları.....	116
8.2.2.7.	Pig sinyalleme, yerinin belirlenmesi ve izlenmesi.....	117
8.2.2.7.1.	Pig sinyalleme.....	117
8.2.2.7.2.	Pig yerinin belirlenmesi.....	117
8.2.2.7.3.	Pig izlenmesi.....	117
8.2.2.8.	Pig atma ve alma işlemleri.....	118
8.2.2.8.1.	Pig atma işlemi.....	118
8.2.2.8.2.	Pig alma işlemi.....	119
8.3.	İşletmeye Alma Sonrası Çözümler.....	120
8.3.1.	Canlı hat içi tetkik sistemi.....	120
8.3.1.1.	Metal kaybı (korozyon) pigleri.....	121
8.3.1.2.	Geometri pigleri.....	122
8.3.1.3.	Sızıntı tespit pigleri.....	122
8.3.1.4.	Haritalama pigleri.....	122
8.3.1.5.	Dünyada akıllı pig (hat içi tetkik) uygulamaları.....	122
8.3.2.	Basınç düşümü ile akış değişimi metodu.....	124
9.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	126
	KAYNAKLAR	128
	ÖZGEÇMİŞ	130

SİMGE LİSTESİ

A	Katsayı
A	Boru kesit alanı
a_i	Metal iyonların çözelti içinde aktifliği
Bf	Birim fiyat
C	Boru ve akışkana bağlı katsayı
C_t	Sıcaklık faktörü
d	İç çap
d	Boru eksenine ve zemin seviyesi arası mesafe
D	Nominal boru dış çapı
E	Yanal bağ faktörü
E	Young elastisite modülü
E^0	Standart elektrot potansiyeli
f	Düzeltilme faktörü
f	Meody sürtünme faktörü
F	Kuvvet
F	Yapısal tip tasarım faktörü
F_f	Fannig sürtünme faktörü
g_c	Yerçekimi ivmesi faktörü
H	Belirsizlik
K	Zemin ortalama ısı iletkenliği
L	Uzunluk
m	Kütle
P	Basınç
P_i	İç basınç
$P_{mç}$	Maksimum çalışma basıncı
P_v	Vuru basıncı
q	İhmal edilebilir kaçak
Q	Isı değişim oranı
Q	Debi
S	Tanımlı en düşük akma dayanımı
S_a	Müsaade edilen dayanım
t	Nominal boru et kalınlığı
T	Sıcaklık
v	Hız
V	Hacim
V	Gerilim
V	Test hacmi
Δp_f	Sürtünme basıncı kaybı
$\Delta p'_0$	Basınç düşümü
$\Delta\theta$	Zemin ve su arasındaki sıcaklık farkı
Δt	Test süresi
γ	Çelik boruların kübik genleşme katsayısı
μ	Suyun genleşme katsayısı
ρ	Zemin elektrik özgül direnci
θ	Boru dönme açısı

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

KISALTIMA LİSTESİ

ANSI	American National Standards Institute
API	American Petroleum Institute
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ASTM	American Society for Testing & Materials
ILI	In-Line Inspection
RMS	Reducing and Metering Station
SCADA	System of Controlling and Data Acquisition
TS	Türk Standartları



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Doğal gaz rezervuarı.....	5
Şekil 2.2	Bölgesel olarak dünya doğal gaz rezerv ve tüketim değerleri.....	9
Şekil 2.3	Türkiye'nin mevcut ve planlanan doğal gaz nakil hat şeması.....	11
Şekil 3.1	Ölçüm ve basınç düşürme istasyonu.....	21
Şekil 3.2	Siklon tip filtre.....	24
Şekil 3.3	Kartuj filtre.....	26
Şekil 3.4	Doğal gaz ısıtıcı sistemi.....	26
Şekil 3.5	İki değişik tipte kartuj filtre.....	31
Şekil 3.6	Francel marka doğal gaz regülatör istasyonu.....	32
Şekil 3.7	Pilot tahrikli regülatör ve yardımcı elemanları.....	32
Şekil 3.8	Çıkış basıncı düşmesi halindeki çalışma.....	33
Şekil 3.9	Çıkış basıncı artması halindeki çalışma.....	34
Şekil 4.1	Seri bağlı hatlarda elektrik bağlantı özdeşliği.....	42
Şekil 4.2	Paralel bağlı hatlarda elektrik bağlantı özdeşliği.....	42
Şekil 4.3	Değişik çaplı boruların seri paralel bağlantıları.....	44
Şekil 6.1	Filtre kovanından elde edilen kirlenme bileşenleri.....	61
Şekil 6.2	Kirlenme bileşenlerinin hat içindeki görüntüsü.....	61
Şekil 6.3	20" çaplı borudan alınan numunenin iç yüzeyinin korozyon ürünleri temizlendikten sonraki taramalı elektron mikroskobu görüntüsü.....	65
Şekil 6.4	Numune kesitinin korozyon ürünleri temizlendikten sonraki detay görüntüsü.....	66
Şekil 6.5	Numune kesitinin detay görüntüsü.....	66
Şekil 6.6	Çelik hattın korozyona uğramış yüzey görüntüsü.....	68
Şekil 6.7	Üniform korozyon.....	69
Şekil 6.8	Galvanik korozyon.....	69
Şekil 6.9	Çatlak korozyonu genel görünüşü.....	71
Şekil 6.10	Çukur korozyonu görünüşü.....	71
Şekil 6.11	Kaynak bölgelerinde taneler arası korozyon.....	72
Şekil 6.12	Bir alaşımdan seçimli korozyon.....	72
Şekil 6.13	Erozyonlu korozyon.....	73
Şekil 6.14	Gerilmeli korozyon sonucu oluşan çatlaklar.....	73
Şekil 6.15	Farklı metallerin teması sonucu oluşan galvanik korozyon.....	74

Şekil 6.16	Katot/anot yüzey oranının etkisi.....	75
Şekil 6.17	Eski ve yeni borular arasında galvanik korozyon.....	78
Şekil 6.18	Eski ve yeni borular arasında potansiyel farkı oluşması.....	78
Şekil 6.19	Kısa mesafelerde toprak heterojenliğinin oluşturduğu korozyon hücreleri... 79	
Şekil 6.20	Uzun mesafelerde toprak heterojenliğinin oluşturduğu korozyon hücreleri.. 79	
Şekil 6.21	Çözünmüş tuz konsantrasyonunun farklı oluşundan kaynaklanan korozyon.80	
Şekil 6.22	Farklı havalanma sonucu oluşan korozyon.....	80
Şekil 6.23	Farklı havalanma sonucu boru tabanında oluşan korozyon.....	81
Şekil 6.24	Kaplama bozukluğu nedeniyle oluşan korozyon.....	81
Şekil 7.1	Demir oksit döküntüleri.....	88
Şekil 7.2	Hasara uğrayan diyafram görüntüsü.....	90
Şekil 7.3	Hasara uğrayan kalın modül görüntüsü.....	90
Şekil 7.4	Hasara uğrayan kalın modül görüntüsü.....	91
Şekil 7.5	Hasara uğrayan ince modül görüntüsü.....	91
Şekil 7.6	Hasara uğrayan diyafram görüntüsü.....	92
Şekil 8.1	Temizleme pigi.....	101
Şekil 8.2	Çeşitli poli pigler.....	102
Şekil 8.3	Bir poli üreten sert dökme pig.....	103
Şekil 8.4	Değişik tipte küreler.....	105
Şekil 8.5	Ayrırma pigi.....	106
Şekil 8.6	Yer değiştirme pigi.....	107
Şekil 8.7	Ölçme pigi.....	107
Şekil 8.8	Bir pig sinyalcisi	117
Şekil 8.9	Bir pig atma istasyonu.....	118
Şekil 8.10	Bir pig alma istasyonu	119
Şekil 8.11	Bir MFL (Manyetik Akı Kaçağı) pigi görüntüsü.....	121
Şekil 8.12	Hat deşarj istasyonu.....	125

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	1.1.1993/94 tarihleri arasında ispatlanmış doğal gaz rezervleri.....7
Çizelge 2.2	1990/91 rakamları ile en büyük rezervlere sahip 15 ülke.....8
Çizelge 2.3	Dünya doğal gazını üreten en büyük 15 ülke karşılaştırması.....8
Çizelge 2.4	Doğal gaz tüketimi ve birincil enerji tüketimi içindeki payı(%).....12
Çizelge 2.5	2020 yılına kadar sektörel olarak doğal gaz talebi.....15
Çizelge 4.1	Boru destek aralıkları.....41
Çizelge 4.2	Eşdeğer çap ve uzunluk formülleri.....44
Çizelge 5.1	API 5L GRADE B Çelik Boru Spesifikasyonu.....48
Çizelge 6.1	Nernst Gerilim Sırası.....76
Çizelge 6.2	Çeşitli metal ve alaşımların zemin içindeki elektrot potansiyelleri(doygun Cu/CuSO ₄ elektroduna göre).....77
Çizelge 6.3	Zeminlerin elektrik özgül dirençlerine göre gruplandırılması.....85

TEC YATIRIM MENKUL DEĞERLER A.Ş.
DOKÜMAN

ÖNSÖZ

Doğal gaz nakil hatlarımızda meydana gelen kirlenme olayı dolayısıyla, üzerinde çalışmalar yaptığımız , nakil hatlarında kirlenme araştırmaları ve çözüm önerileri konusu ilk etapta başlığı okunduğu anda zihinlerde pek büyük çağrışımlar uyandırmayabilir. Ancak tecrübelerimiz dikkate alınarak, olayın ekonomik etki boyutları göz önünde bulundurulacak olursa konunun ciddiyeti kavranabilir.

Kirlenme hususunu inceleyen bu çalışmada, okuyucunun aklında soru işareti bırakmayacak şekilde nakil hatları tanımından tasarımına kadar, korozyon olayından kirlenme olayına ve hatta canlı hat temizlik ekipmanlarına kadar detaylı bir çalışma ile konular ele alınmıştır. Bu uzun çalışma boyunca yardım ve desteklerini benden esirgemeyen değerli hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Burhan SUNGU Bey' e , İGDAŞ ' ta görev yapmakta olup bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen Beyoğlu Bölge Personeline , özellikle Ayhan İŞÇİ' ye, sabır ve desteklerinden dolayı annem,babam,eşim ve biricik oğluma teşekkür ederim.

01.06.1999

Ahmet Furgan ALBAYRAK

ÖZET

Doğal gaz nakil hatlarında meydana gelen kirlenme olayını konu alan bu çalışmada amaç İGDAŞ doğal gaz nakil ve regülasyon sistemlerinde ciddi boyutta hasar ve fonksiyon bozukluklarına neden olan kirlenme bileşenlerinin, sistem içi oluşum mekanizmalarını tespit edip, bu soruna çözüm önerileri getirmektir. Bu noktadan hareketle, doğal gazın BOTAS tarafından Türkiye'ye getirilmesinden başlayarak, İGDAŞ'a verildiği noktalardan son kullanıcı regülatörlerine kadar ki süreç içinde, nakil hatlarındaki muhtemel kirlenme kaynakları gözler önüne serilmektedir.

Bu çalışma sırasında, elde edilen kirlenme bileşenlerinin analiz sonuçlarından yola çıkarak, imalat aşamasından başlayıp hidrostatik test sonrası devreye alma işlemlerine kadar ki uygulamalar, teorileriyle birlikte ele alınmış, kirlenme kaynakları ve mekanizmaları tespit edilmiştir.

Doğal gaz nakil hatlarında kirlenmeyi önleyici en önemli tedbir, imalat aşamasında maksimum dikkati göstererek hattın korozyona uğramasını önleyecek şekilde, hat içinde su, toz ve döküntü kalmasını önlemektir. Ancak, İGDAŞ gibi, bir kere kirlenme olayı ve etkileriyle karşılaşılırsa, öncelikle hat içi temizlenmelidir. Daha sonra da hat içi tetkikler yapılarak hattın şimdiki durumu görüntülenmelidir. Hattın temizlenmesi öncelikle regülasyon sistemi için gereklidir, çünkü yoğun gaz talebi dönemlerinde hat basıncındaki düşmelerden dolayı gazın hızı artarak akış türbülanslı hale gelmekte ve hat içindeki kirlenme bileşenlerini yüksek hızlarda regülasyon sistemine sokmaktadır. Gazın içindeki parçacıkların yüksek hızlarla regülasyon ünitelerine girmesi sonucu, regülatör gövdesi dahil önemli çelik parçaların ve diyaframın hasar gördüğü tespit edilmiştir.

Bu sorunu gidermek için hat içi tetkik ve temizlemenin yanı sıra, yeni bir metod geliştirilerek tartışmaya açılmıştır. Geliştirilen bu metoda göre, basınç, kontrollü olarak düşürülerek, gaz akış karakteri, hız artışının etkisi ile türbülanslı hale gelecek, hat sonundaki deşarj ünitesinde biriken kirlenme bileşenleri diferansiyel basınç metoduyla gözlenerek deşarj edilecektir. Bu işlem birkaç kere tekrarlanarak istatistiksel veriler ışığında kirlenme analizleri yapılacak, hattın kirlenme profili de bu yolla tespit edilmiş olacaktır.

ABSTRACT

The purpose of this study that considers the pollution event occurring in the natural gas transmission lines is to determine the pollution components and formation mechanisms in the system that cause serious damage and function defects in the İGDAŞ natural gas transmission and regulation systems, and present some solution comments for this problem. So , from the bringing process of natural gas to Türkiye by BOTAŞ to its giving process to the end-user regulators through the points of İGDAŞ , the potential pollutant sources in the natural gas pipelines are examined.

During this study , by considering the analysis results of obtained pollution components,the applications starting from the production phase until the commissioning phase after the hydrostatic tests are investigated together with their theories and the pollution sources and mechanisms are determined. It is also got use of the experiences of leading companies who had problems with the natural gas transmission lines.

The most important measure that prevents pollution in the natural gas pipelines is to prevent water, dust and waste remains in the pipeline in order to prevent corrosion in the pipeline during production phase by showing maximum care.However, if a pollution event and its effects occur as in İGDAŞ ,firstly,the inside of a pipeline should be cleaned.The cleaning of a pipeline is mainly necessary for the regulation system.Because,during the dense gas demand periods,the speed of gas increases because of the decreases in the pipeline pressure,flow becomes turbulenced and forces the pollution components in the pipeline to the regulation system in higher speeds. As a result of entering the particles in the gas to the regulation units in high speeds,the regulator body, important steel parts and diaphragm are greatly damaged.

Besides the examination and cleaning processes in the pipeline to prevent such damages in the pipeline,a new method is discussed. According to this method ,the pressure is lowered under control , by the way ,gas flow character becomes turbulenced with the effect of speed increase and the pollution components accumulated in the discharge unit at the end of the pipeline are discharged by the differential pressure method. By repeating this process a few times , pollution analysis are made according to the statistical data and the pollution profile of the pipeline would be determined by this way.During this process,necessary calculations and controls are made and damage to the system is prevented.Therefore, pollution event in the pipeline will be prevented.

1. GİRİŞ

Türkiye için, nakil hatlarıyla doğal gaz taşımacılığı yeni, henüz 15 yıllık, bir olay olmakla beraber, ülkemizin coğrafi ve jeopolitik konumu itibariyle, doğal gaz ve doğal gaz taşımacılığı büyük öneme sahiptir. Türkmenistan-Türkiye doğal gaz nakil hattı anlaşmasının geçtiğimiz günlerde imzalanmış olması ile birlikte, Avrupa'nın önümüzdeki 10-15 yıl içinde doğal gaz darboğazına gireceği ve ülkemiz üzerinden Avrupa'ya doğal gaz nakli gerçekleştirileceği göz önünde bulundurulursa, doğal gaz nakli ve boru hattı mükemmeliyetinin öneminin ne boyutlarda olacağı kolaylıkla fark edilebilmektedir.

Doğal gaz boru hattı ile nakil işlemlerinin mükemmeliyetini sağlamak ve hattı verimli bir şekilde çalıştırabilmek için hat içi temizlik ve korozyona karşı önlemlerin alınmış olması hayati öneme sahiptir. İşte bu noktadan hareketle kirlenme olayının tespiti ile birlikte İGDAŞ'ın kirlenme olayının hangi noktasından olduğunun tespiti ve bulunduğu duruma göre olaydan etkilenme oranının tespiti, olayın çözümünde esas teşkil etmektedir.

Çalışma sırasında, en ufak bir ayrıntı dahi kaçırılmamaya çalışılmıştır. Öyle ki, problem İGDAŞ'ın doğal gaz nakil hatlarında bulunmasına rağmen, doğal gazı teslim aldığımız BOTAŞ'ın ana transmisyon sistemi ve sistem elemanlarına da değinilerek kirlenme probleminin etkilerini artırıcı herhangi bir etkiye ya da bozulmaya neden olup olmayacağına açıklık getirilmiştir. Regülatör istasyonlarının filtre kovanlarında, kirlenme bileşenleriyle karşılaşan herhangi bir kimse, ilk etapta doğal gazın kirli olduğunu düşünecektir. Çünkü filtre edilen şey doğal gazdır ve bu kadar kirlilik doğal gazdan çıktığına göre doğal gaz kirlidir, BOTAŞ kirli gaz satmaktadır ya da sattığı doğal gazı uygun şekilde filtre edememektedir. Ancak, çalışmanın ileriki aşamalarında da görüleceği gibi BOTAŞ, gazı filtre etmektedir ve nakil hattımıza kuru, temiz doğal gaz vermektedir. Zaten, BOTAŞ kirli gaz satsa idi, diğer müşterilerin de kirlenme gibi bir problemle karşı karşıya kalmaları beklenirdi.

TC YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Kirlenme olayının nedenleri ve etkilerinin araştırılması çalışmasında, bu olaydan en çok etkilenmekte olan İGDAŞ doğal gaz nakil sistemi hakkında yapısal olarak detaylı bilgiler verilmiş, tasarım esasları da başlık olarak ele alınıp incelenerek, hangi kriter ve teknik esaslar göz önünde bulundurularak sistem dizaynı yapıldığı anlatılmış, kirlenme olayına tasarım aşamasında ne gibi katkılar olabileceği ve kirlenme ile sistem tasarımı arasında ne gibi etkileşim olabileceği gibi zihinlerde oluşabilecek tüm sorulara cevaplar aranmıştır.

Esasen, kirlenme bileşenleri analizleri sonucunda, çalışmanın iskeleti ortaya çıkmış ve çalışmanın hangi yönlerde yoğunlaşacağı belirginleşmiştir. Kirlenme bileşenlerinin tespiti ile birlikte bunların oluşumunu destekleyen tüm imalat ve test prosesleri de belirginleşmiştir. Çünkü, örneğin, hattın içinde kirlenme bileşeni olarak su mevcutsa, hidrostatik test sonrası yeterli ve fonksiyonel kurutmanın yapılmadığı söylenebilir. Benzer şekilde, diğer bileşenler için de sebep sonuç zincirleri oluşturulabilir.

Çalışmanın, analizlerden sonraki kısımlarında, tüm bu çalışmaların alt yapısını meydana getiren, sisteme olan etkiler ve kirlenmenin sistemdeki olumsuz etkilerinden yola çıkarak, kirlenme olayının teknik ve ekonomik boyutları incelenmiştir.

Doğal gaz nakil hatlarındaki kirlenme olayının teşhisi ve tespitinden sonra, çözüm metotları kısmına geçilmekte, devreye alma öncesi ve sonrası olarak çözüm metotları iki ana konu başlığı altında incelenmektedir. Devreye ya da işletmeye alma öncesi çözümlerden en önemlisi imalat ve depolama işlemleri ile hidrostatik test sonrası sürece kadar hattı temiz ve kuru tutmaktır. Konuyla ilgili açıklama ve detaylar, ilgili konu başlığı altında ileri ki kısımlarda verilmektedir. Şu an İGDAŞ'ın esas problemini oluşturan canlı hat içi kirlenmenin giderilmesi ile ilgili ekipman ve dünya çapındaki uygulamaları ele alınmış ve kendi şartları içinde mevcut durum için çözüm önerilerinde bulunulmuştur.

2. İSTANBUL ve DOĞAL GAZ

2.1 İGDAŞ

2.1.1 Temel bilgiler

Resmi adı, İstanbul Gaz Dağıtım Sanayi ve Ticaret A.Ş olan İGDAŞ, 25 Aralık 1986'da kurulmuştur.

İGDAŞ, Altyapı ve diğer tesislerini kurarak, kurdurtarak veya mevcut tesisleri devralarak her nevi gaz dağıtımını ile buna bağlı merkezi ısıtma sistemini planlı, programlı ve etkin biçimde sağlamak ve işletmek, bu faaliyeti ile ilgili doğal gazı satın almak ve satmak amacıyla kurulmuştur.

Şirket, konutsal, ticari ve sınai doğal gaz kullanımını temin etmek amacıyla şebeke yatırımı yapar, aktif bir pazarlama ile müşteri tabanı oluşturarak doğal gaz dağıtımını sağlar. Hava kirliliği sorununun önemli çözüm yollarından biri olan doğal gaz kullanımını yaygınlaştırmak için azami gayreti göstermek İGDAŞ'ın temel görevlerindedir.

31 Aralık 1998 tarihi itibarıyla şirketin personel sayısı 2524 kişidir.

Kuruluş sermayesi 520 milyar olan İGDAŞ'ın ödenmiş sermayesi ise 80 trilyondur. Şirketin hissedarları ve taahhüt miktarları aşağıdaki gibidir:

Hissedar İsmi	Hisse Oranı (%)
İstanbul B.Ş. Belediye Başkanlığı.....	94,32
İETT Genel Müdürlüğü.....	5,42
HALK SU Bel. Kaynak Suları San. Tic. A.Ş.....	0,11
İSBAK İst. Bel. Bakım San. Tic. A.Ş.....	0,05
İstanbul İmar Limited Şirketi.....	0,05
Toplam.....	100

2.1.2 İGDAŞ'ın kuruluşu

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

1984 yılında SSCB ile imzalanan doğal gaz sevkiyatı anlaşmasına müteakip 84/806 sayılı Bakanlar Kurulu Kararına göre, satın alınan gazın sanayi ve şehir şebekelerinde kullanımı

öngörülmüştür. Alınan bu karara göre tespit edilen şehirlerden biri olan İstanbul'da İETT bünyesinde başlatılan fizibilite çalışmaları, konumunun o sıralarda daha yeni olması sebebiyle Mayıs 1987 tarihinde verilen firma tekliflerini incelenmesi ile ilk meyvelerini vermeye başlamıştır. İncelemeler sonucunda İstanbul doğal gaz sisteminin malzeme ve işçiliği Fransız SAE ve Alarko konsorsiyumuna ihale edilmiştir. Yatırıma 1989 yılında başlanmış, yatırımın birinci bölümü Mayıs 1993'te bitirilmiştir. Abonelere ilk doğal gaz ise Ocak 1992'de verilmiştir. Daha sonra bu çalışmalar İGDAŞ bünyesinde yürütölmeye başlanmıştır.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Kaynak Geliştirme ve İştirakler Dairesi'ne bağılı olarak; Büyükşehir Belediyesi ve bazı iştiraklerini de katılımı ile, 25 Aralık 1986 yılında doğal gaz projesi ile ilgili daha ciddi çalışmalar yapılması ve yatırımlara başlanması amacıyla İstanbul Gaz Dağıtım Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi (İGDAŞ) kurulmuştur.

2.1.3 Genel yapısal bilgilendirme

İGDAŞ işletmekte olduğı İstanbul doğal gaz şebekesini iyi kontrol etmek ve İstanbul halkına doyurucu bir hizmet verebilmek için işletim açısından İstanbul'u üç bölgeye ayırmıştır. Bunlar; Anadolu, İstanbul ve Beyoğlu bölgeleridir. Anadolu bölgesi, Dolayoba'dan Beykoz'a kadar, İstanbul bölgesi Haliç hattının güneyinden Esenyurt'a kadar, Beyoğlu bölgesi ise Haliç Hattı'nın kuzeyinden Sarıyer'e kadar uzanmaktadır. Şirketin genel müdürlüğü Alibeyköy-Eyüp'tedir.

Abonelere acil servis hizmeti verebilmek ve şebekeyi yerinden işletmek ve korumak amacıyla bölgeler de kendi içlerinde şebeke şefliklerine ayrılmışlardır. Üç bölgede otuzu aşkın şeflikle abonelere hizmet verilmektedir.

2.2 Doğal Gaz

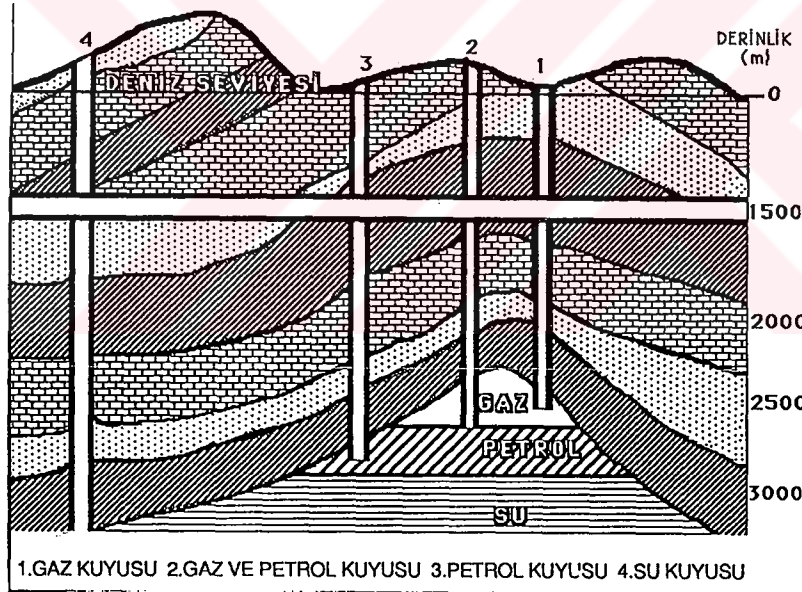
2.2.1 Doğal gazın oluşumu ve bulunuşu

Milyonlarca yıl önce denizlerde yaşayan mikroskobik canlılar, ölererek okyanusların altında kıta kenarlarında birikmiş ve zamanla diğerk mikroorganizmalar, bitkiler ve taşlarla karışarak yeni bir oluşum meydana getirmişlerdir. Doğal gazın oluşumu bu şekilde başlamaktadır. Oluşan doğal gaz bulunduğı yerdeki boşluklardan yukarı doğru yükselmekte, bu yükselme,

geçirgen olmayan tabakaya ulaşınca kadar devam etmektedir. Geçirgen olmayan tabakalar arasında sıkışmış olan doğal gaz bekleyişini teknik olarak kullanımı başlayana kadar sürdürmektedir. (Cussak, 1967)

Doğal gaz, petrolden hafif olduğu için, petrolün üzerindeki katmanda bulunan boşlukları doldurur. Alt tarafta petrol ve en altta da tuzlu su bulunur. (Şekil 2.1) Doğal gaz, petrolün üzerindeki katmanlarda bulunabileceği gibi, petrolün sürüklenmesi sonucu yalnız olarak da bulunabilir.

Doğal gaz insanlar tarafından yüzyıllardır bilinmektedir. Günümüzden 5000 yıl kadar önce ateşe tapan insanların (Mecusilerin) tapındıkları sönmeyen alev, yeraltında bulunduğu fay ve boşluklardan sızan doğal gazın alevinden başka bir şey değildir. Ayrıca doğal gazın, günümüzden 3000 yıl kadar önce, Çin'de bambu boruları ile taşınarak tuz üretiminde kullanıldığı bilinmektedir. (BOTAŞ, 1996)



Şekil 2.1: Tipik bir doğal gaz rezervuarı

Doğal gazın modern üretim ve tüketim tekniklerine ilk olarak ABD'de rastlanmaktadır. Yeryüzüne yakın kaynaklardan elde edilen doğal gaz, borularla tüketim yerlerine taşınarak şehir aydınlatmasında kullanılmıştır. İnsanlar tarafından yüzlerce yıldır bilinen doğal gazın yaygın olarak kullanımı ise 1973 petrol kriziyle birlikte başlamıştır.

2.2.2 Dünya’da doğal gaz

Başlangıçta daha çok yerel olarak kullanılan bu yakıt, özellikle 1970’li yıllardan sonra petrol fiyatlarındaki aşırı artış ile enerji sektöründeki yerini genişletmiştir. Uluslararası kullanımı sürekli artış göstermiş ve üretici ve tüketici konumunda birçok ülkelerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu değişim doğal gazın toplam enerji üretimindeki payını artırmıştır. Günümüzde dünyanın çeşitli bölgelerinde birçok doğal gaz üreticisi ülke bulunmaktadır bugün, Batı Avrupa’nın kullandığı doğal gazın %70’i Avrupa’da üretilmektedir. Geri kalan miktarın %90’ını dağılan SSCB ülkeleri, %10’unu ise Cezayir karşılamaktadır.

Doğal gazın tüketim alanlarının genişlemesine paralel olarak, yeni doğal gaz kaynağı arayışları hızlanmış, üretim teknikleri geliştirilmiş ve kayıplar azaltılmıştır. Bu nedenle bilinen doğal gaz rezervinde sürekli bir artış gözlenmektedir. Örneğin 1991 yılı başı itibariyle bilinen dünya doğal gaz rezervi 130 trilyon m³ olup, bu rezerv 18 yıl önce bilinen rezervin iki katından fazladır. (Homer, 1993) Çizelge 2.1’de 1 Ocak tarihleri baz alınarak 1993 ve 1994 yıllarına ait ispatlanmış doğal gaz rezervleri görülmektedir. Çizelgeden de görüleceği üzere 1994 yılı rezervleri 148 trilyon m³’e ulaşmıştır.

Dünya doğal gaz rezervlerine sahip 85 ülkeden en büyük rezervlerine sahip olan 15 ülke 1990-91 rakamları ile Çizelge 2.2’de verilmektedir. Ayrıca, dünya doğal gazının büyük kısmını üreten 15 ülke karşılaştırmalı olarak Çizelge 2.3’de verilmektedir. Dünya doğal gazının %34’ünü üreten BDT ve %24’ünü üreten ABD ilk iki sırayı almaktadırlar. Ancak çizelgelerde verilen değerlerin brüt üretimler olduğuna dikkat edilmelidir. Çünkü toplamda, üretilen gazın %9’u kuyulara geri enjekte edilmekte, %4’ü havaya tahliye edilmekte ve %5’i de üretim prosesleri sırasında tüketilmektedir. Dolayısıyla toplam üretimin ancak %82’si satışa hazır halde bulunmaktadır.

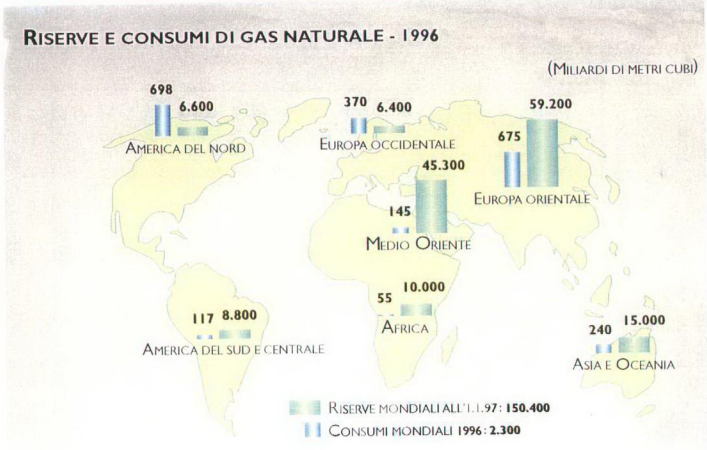
1997 yılı kesinleşmiş rakamları ile, İtalya’nın doğal gaz dağıtıcı devlet kuruluşu Snam’ın istatistiki verilerine göre, dünya doğal gaz rezervleri 150,4 trilyon m³ olup, yıllık dünya genelinde doğal gaz tüketimi ise 2,3 trilyon m³’e ulaşmıştır. Dünya doğal gaz rezerv ve tüketim değerleri Şekil 2.2’de bölgesel olarak gösterilmektedir.

Çizelge 2.2 1.1.1990 / 1991 Rakamları ile en büyük rezerve sahip 15 ülke

Ülke	Bulunan Gaz		Dünya %
	1990	Rezervi(10 ¹² Ton) 1991	
Eski Sovyetler Bir.	52,0	53,0	40%
İran	17,0	17,0	13%
Abu Dabi	5,2	5,2	4%
S. Arabistan	5,2	5,2	4%
ABD	4,7	4,8	4%
Katar	4,6	4,6	3%
Venezualla	3,0	3,4	3%
Algeria	3,2	3,3	3%
Irak	3,1	3,1	2%
Nijerya	2,8	2,8	2%
Kanada	2,7	2,8	2%
Endonezya	2,6	2,6	2%
Norveç	2,3	2,3	2%
Avusturalya	2,1	2,1	2%
Meksika	2,1	2,0	2%
70 Diğer	17,6	17,6	13%
Toplam Dünya	130,2	131,8	100%

Çizelge 2.3 Dünya doğal gazını üreten en büyük 15 ülke karşılaştırması

Ülke	Toplam Gaz		Dünya %
	1990	Rezervi(10 ⁹ m ³) 1991	
Eski Sovyetler Bir.	825	844	37%
ABD	595	604	24%
Kanada	137	137	5%
Algeria	120	127	5%
İngiltere	72	72	3%
Endonezya	56	59	2%
UK	52	58	2%
S.Arabistan	47	49	2%
İran	43	46	2%
Venezuela	38	41	2%
Meksika	37	38	2%
Norveç	39	37	1%
Romanya	32	29	1%
Nijerya	25	28	1%
Arjantin	24	23	1%
55 Diğer	324	322	13%
Toplam Dünya	2,466	2,514	100%



Şekil 2.2: Bölgesel olarak dünya doğal gaz rezerv ve tüketim değerleri

2.3 Türkiye'de Doğal Gaz

Yurdumuzda ilk defa 1970 yılında Kumrular bölgesinde varlığı tespit edilen doğal gaz, 1976 yılında Pınarhisar Çimento Fabrikası'nda kullanılmaya başlanmıştır. 1975 yılında Çamurlu sahasında bulunan doğal gaz 1982 yılında Mardin Çimento Fabrikası'na verilmiş, ancak her iki kaynaktaki rezerv ve üretim miktarı düşük olduğu için yaygınlaştırılmamıştır.

18 Eylül 1984 tarihinde SSCB ve TÜRKİYE hükümetleri arasında doğal gaz alımına ilişkin bir anlaşma imzalanmıştır. Bu anlaşmaya göre, BOTAŞ ile eski SSCB'nin gaz ticareti konusunda yetkili kuruluşu SOYUZGAZEXPORT söz konusu anlaşmaya uygun olarak, doğal gaz sevkiyatının ayrıntılı şartlarını ve fiyatını tespit ederek, bir ticari anlaşma yapmakla görevlendirilmiştir. Bu tarihten itibaren BOTAŞ tarafından çalışmalara başlanmış ve 1985 yılında yaptırılan Türkiye Doğal Gaz Kullanım Etüdü ile doğal gaz tüketim potansiyeli ve güzergahı belirlenmiştir. Bu etütte, Kuzeybatı Anadolu'nun enerji tüketim potansiyel açısından elverişli bir bölge olduğu görülmüş ve eski SSCB'den gelecek hattın Bulgaristan sınırından Türkiye'ye girerek, Hamitabat, Ambarlı, İstanbul, İzmit, Bursa, Eskişehir güzergahını takip ederek hava kirliliğinin ciddi boyutlarda olduğu Ankara'ya ulaşmasına karar verilmiştir.

14 Şubat 1986 tarihinde Ankara'da BOTAŞ ile SOYUZGAZEXPORT arasına 25 yıl süreli doğal gaz alım satım anlaşması imzalanmıştır. Bu anlaşmaya göre; 1987 yılından itibaren tedricen artan miktarlarda gaz alımı başlayacak, 1993'te maksimum miktar olan 5-6 milyar m³/yıla ulaşacaktır. Ayrıca doğal gaz için ödenen bedelin %70'i de Türk ihraç malları alımında kullanılacaktır.

Doğal gaz iletim hattı, Bulgaristan sınırında, Malkoçlar mevkiinden yurdumuza girmektedir. Hamitabat üzerinden Ambarlı'ya kadar 225,4 km. 36"lık borularla gelmekte ve burada 2 paralel 30" ve 53 km'lik hatlarla geçerek, Pendik'te tekrar karaya çıkmaktadır. Buradan 36 km 36"lık bir hat Demirciler'e uzanmakta, Demirciler'den 17,8 km 24"lik branşmanla Pazarcık'a ve daha sonra da 12"lik ve 1,2 km'lik bir hat ile İGSAŞ'a uzanmaktadır. İkinci bir kol ise, Demirciler'den 24" ve 7,3 km'lik bir hatla Muallim mevkiine gelmektedir. Burada 2 paralel 24" ve 6 km uzunluğundaki hatlarla İzmit Körfez geçişi yapılmaktadır. Hersek-Yumurtatepe bağlantısı 24" ve 48,5 km, Yumurtatepe-Gemlik hattı ise 24" ve 10,2 km'dir. Yumurtatepe-Bursa-Bozüyük-Eskişehir üzerinden Ankara'ya uzanan hat ise 24" ve 370,4 km uzunluğundadır. Hattın toplam uzunluğu 842 km'dir. Şekil 2.3'de mevcut ve planlanan doğal gaz hat şeması gösterilmektedir.

75. bar basınca göre dizayn edilen boru hattında, 31 adet hat vanası, 9 adet pig istasyonu, Kırklareli'nde 1 adet kompresör istasyonu ve müşterilere uygun basınçta gaz verebilmek için ölçüm ve basınç düşürme istasyonları mevcuttur. Ana kontrol merkezi Ankara-Yapracık'tadır

26 Ekim 1986 tarihinde inşasına başlanan hat, 23 Haziran 1987 tarihinde ilk durağı olan Hamitabat'a ulaşmıştır. Bu tarihten itibaren yerli doğal gazın yanı sıra, ithal doğal gaz da Hamitabat'taki Trakya Kombine Çevrim Santralinde elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaya başlanmıştır. Hat, Ağustos 1988'de Ankara'ya ulamıştır. Doğal gaz, Temmuz 88'de İGSAŞ'ta, Ağustos 88'de Ambarlı Santrali'nde, Ekim 88'de Ankara'da konut ve ticari sektörde kullanılmaya başlanmıştır. Sınai sektörde ise, doğal gaz kullanımı Ağustos 89'da başlamış olup, ana hat güzergahında bulunan çeşitli sınai kuruluşlarca değişik amaçlarla kullanılmaktadır.

2.3.1 Doğal gazın enerji tüketimindeki yeri:

Mevcut doğal gaz nakil hatlarından arz edilen doğal gaz miktarına, yıllar itibariyle bir göz atıldığında, doğal gazın birincil enerji tüketimi içindeki payının gittikçe arttığı görülmektedir. 1985 yılında %0,2 olan pay, 1995 yılında %9,7'ye yükselmiştir. 1996 yılı doğal gaz tüketiminin, birincil enerji tüketimi içindeki payı %10,56 ve 1997'de de %14'tür.

Yıllar itibariyle doğal gaz tüketimi ve birincil enerji tüketimi içindeki yüzde payı Çizelge 2.4'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.4 Doğal gaz tüketimi ve birincil enerji tüketim içindeki payı(%)

Yıllar	Birincil Enerji Tüketimi (TPE)	Doğal Gazın Payı (%)
1980	31,913	-
1985	39,167	0,20
1990	53,334	5,80
1991	54,624	7,00
1992	57,022	7,40
1993	61,018	7,60
1995	64,170	9,70
1996	68,035	10,56
1997	71,057	14,00

Doğal gaz tüketimine yönelik talep miktarlarını karşılayabilecek arzın sağlanması halinde, birincil enerji tüketimi içindeki payının daha da artması beklenmektedir. (Yardım, 1998)

2.3.2 Sektörel bazda doğal gaz kullanımı:

Doğal gaz, sektörel bazda ilk olanak enerji sektöründe kullanılmaya başlamıştır. Dünyada henüz sınırlı sayıda doğal gaz Kombine Çevrim Santrali bulunurken, Türkiye'de ilk defa Hamitabat ve daha sonra da Ambarlı'da bu santraller çok kısa sürede tesis edilerek sırasıyla 1986 ve 1988 yılından itibaren işletmeye açılmıştır.

Doğal gaz ısı-güç teknolojisindeki gelişmeler Türkiye’de de etkisini göstermiş ve bu teknik ile sanayici hem kendi elektrik enerjisini daha ucuza elde etmek ve elektrik kısıntıları nedeniyle de oluşabilecek üretim aksaklıkları ve sıkıntılarını giderebilmek hem de üretimleri için gerekli sıcak hava, buhar ve sıcak su ihtiyacını karşılamak için Otoprodüktör Statüsünde Kojenerasyon Santrali kurmaya başlamış olup, bu teknolojiyle doğal gazla elektrik üretimine geçmede hızlı bir gelişim kaydedilmiş ve 1992 yılında ilk Otoprodüktör Santral devreye alınmıştır. 1987 yılında ithal edilen doğal gazın %100’ü (513 milyon m³) sadece elektrik sektöründe kullanılmış, daha sonraki yıllarda ithal edilen doğal gazın diğer sektörlerde de kullanılmaya başlanması elektrik sektörünün kullanım oranını düşürmesine rağmen, miktar olarak artışını engellenememiştir. 1990 yılında toplam doğal gaz tüketiminde %70’lik pay ile 2555 milyon m³’e, 1992’de %58’lik pay ile 2588 milyon m³’e, 1994 yılında %53’lik pay ile 2745 milyon m³’e, 1996 yılında da %53’lük pay ile 4050 milyon m³’e ve 1997 yılında da %52’lik pay ile 4941 m³’e ulaşmıştır.

Gübre sektöründe 1988 yılında kullanıma geçilmiş ve toplam tüketimin içinde %3’lük pay ile 149 milyon m³’e ulaşılmıştır. 1990 yılında %15’lik pay ile 493 milyon m³’e, 1992 yılında %15’lik pay ile 641 milyon m³’e, 1994 yılında %12’lik pay ile 608 milyon m³’e, 1996 yılında %10’lik pay ile 802 milyon m³’e ve 1997 yılında da %8’lik pay ile 748 milyon m³’e ulaşmıştır.

Sanayi sektöründe 1989 yılından itibaren doğal gaz kullanımına geçiş başlamış, 1990 yılında %7’lik pay ile 218 milyon m³’e, 1992 yılında %19’luk pay ile 843 milyon m³’e, 1994 yılında %23 pay ile 1191 milyon m³’e, 1996 yılında %18’lik pay ile 1364 milyon m³’e ve 1997 yılında da %19’luk pay ile 1784 milyon m³’e ulaşmıştır.

Konut sektöründe ise, ana iletim hattı üzerinde bulunan ve yatırım yapabilecek tüketim potansiyeline sahip ve hava kirliliğinin yoğun olduğu Ankara, İstanbul, Bursa, Eskişehir ve İzmit’te doğal gaz kullanımı sağlanmıştır. Konutlarda doğal gaz kullanımı 1990’da %1’lik pay ile 49 milyon m³’e, 1992 yılında %8’lik pay ile 372 milyon m³’e, 1994 yılında %12’lik pay ile 639 milyon m³’e, 1996 yılında %19’luk pay ile 1.484 milyon m³’e ve 1997 yılında da %21’lik pay ile 2.082 milyon m³’e ulaşmıştır.

TEAŞ'ın yapmış olduğu çalışmalara göre; elektrik santrallerinde doğal gaz kullanım oranı 2001'de %32, 2010 yılında %29 ve 2020 yılında %32 olacaktır. Bu rakamlar da, doğal gazın elektrik üretiminde önemli bir paya sahip olacağını göstermektedir.

BOTAŞ tarafından gerçekleştirilen talep tahmin çalışmalarına göre 1998 yılında toplam talep 13352 milyon m³ olup, konut sektörü %21, sanayi sektörü %20, elektrik sektörü %52 ve gübre sektörünün ise %7'lik bir paya sahip olması beklenmektedir. 2020 yılına kadar sektörel olarak doğal gaz talebi Çizelge 2.5'te gösterilmekte, yüzde pay olarak dağılım ise Şekil 2.4'te verilmektedir. (Bulak, 1998)

2.3.3 Mevcut doğal gaz sistemi ve planlanan yatırımlar:

Halihazırda yılda 9 milyar m³ gaz taşıma kapasitesine sahip olan mevcut hatla şu anda yapımı sürdürülen 160 km'lik loop projesi ve bir kompresör projesi yatırımıyla, kapasite 10.5 milyar m³'e çıkarılacaktır. İleriki yıllarda gerek Rus gazı gerekse Cezayir'den gelen LNG miktarındaki artışların sistemde güvenli olarak taşınması ve tüketiciye düzenli gaz arzı yapılabilmesi amacıyla başta ilave loop'ların yapımı ve kompresör istasyonlarının da kurulması gündemdedir.

Doğal gaz kullanımında, arz güvenliği açısından tek bir kaynağa bağlı kalmama ve arz esnekliğini artırmak için kaynak çeşitlendirilmesi ve depolama imkanlarının oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde de bu maksatla hem temel yük tesisi olarak çalıştırmak hem de ihtiyaç duyulduğunda pik düşürücü olarak devreye sokulmak üzere Marmara Ereğlisi'nde BOTAŞ tarafından bir LNG (sıvılaştırılmış doğal gaz) Terminali kurulmuştur. LNG olarak ithal edilen doğal gaz, bu terminalde gaz fazına dönüştürüldükten sonra 24" 23 km'lik boru hattıyla ana iletim hattına enjekte edilmektedir. Anma kapasitesi 4 milyar m³ olan bu terminalin kapasitesini artırabilmek için modifikasyon yapılacak olup, ilk aşamada çıkış kapasitesinin 439 bin m³/h'ten 685 bin m³/h'e, pik kapasitesinin 685 bin m³/h'ten, 1.1milyon m³/h'e çıkarılması planlanmıştır. Bu durumda da 5,2 milyar m³'lük doğal gaz kapasitesine ulaşılacaktır.

Çizelge 2.5: 2020 yılına kadar sektörel olarak doğal gaz talebi (milyon m³)

1987	513	-	-	-	513
1988	1.017	149	0,05	-	1.166
1989	2.712	375	7	5	3.099
1990	2.555	493	49	218	3.315
1991	2.859	477	187	538	4.061
1992	2.588	641	369	846	4.444
1993	2.470	798	480	1.167	4.915
1994	2.745	608	639	1.191	5.183
1995	3.806	718	992	1.149	6.665
1996	4.050	802	1.485	1.364	7.701
1997	4.900	734	1.955	1.830	9.419
1998	6.960	851	2.783	2.758	13.352
1999	10.113	851	3.197	3.284	17.445
2000	12.152	851	3.679	4.108	20.790
2001	16.520	851	4.162	5.857	27.390
2002	18.520	1.652	4.443	7.156	31.771
2003	19.520	1.652	5.223	8.139	34.534
2004	22.520	2.565	5.744	8.567	39.396
2005	24.520	2.565	8.337	9.719	45.141
2006	24.520	2.565	8.533	9.880	45.498
2007	24.520	2.566	8,763	10.089	45.938
2008	26.520	2.566	8.923	10.683	48.692
2009	28.520	2.566	9.051	11.094	51.231
2010	30.520	2.566	9.167	11.300	53.553
2011	32.520	2.566	9.242	11.420	55.748
2012	34.520	2.566	9.326	11.541	57.953
2013	36.520	2.566	9.403	11.669	60.158
2014	38.520	2.566	9.488	11.804	62.378
2015	40.520	2.566	9.576	12.140	64.802
2016	42.520	2.566	9.646	12.544	67.276
2017	44.520	2.566	9.717	13.047	69.850
2018	47.520	2.566	9.796	13.682	73.564
2019	50.520	2.566	9.869	14.488	77.443
2020	52.520	2.566	9.925	14.989	80.000

2.3.3.1 Doğu'dan gelen boru hattı:

Hattın toplam taşıma kapasitesi 18 milyar m³ olarak planlanmaktadır. D.Beyazıt-Erzurum-Ankara istikametini takip edecek olan bu boru hattı yaklaşık 1000 km olacaktır. Yapılan kontrat gereğince alınacak doğal gaz miktarı 2000'de 3 milyar m³'le başlayıp 2001'de

5 milyar m³, 2003'te 10 milyar m³'e ulaşmaktadır. Türkmenistan doğal gazının da planlanan bu hat üzerinden taşınması düşünülmektedir.

2.3.3.2 Ege hattı

2001 yılında bitirilmesi planlanan bu hattın, ilk yılda 3061 milyon m³, 2015 yılında 5986 milyon m³'lük ihtiyaca cevap vermesi düşünülmektedir. Karacabey yakınındaki ana hattımızdan ayrılıp M.Kemal Paşa, Susurluk, Balıkesir, Akhisar, Turgutlu, Aliğa dolaylarından geçerek 350 km uzunluğundaki boru hattıyla İzmir'e ulaşılması planlanmaktadır.

2.3.3.3 Karadeniz (Blue Stream) hattı:

Rusya Federasyonu'ndan 2000 yılında 500 milyon m³'le başlayacak 2007 yılında 16 milyar m³'e çıkacak doğal gazı, tüketim noktalarına taşıyabilmek için yapılması gereken Samsun'dan Çorum'a 48" 197 km, Çorum'dan Ankara ayrımına 40" 197 km'lik boru hattı için gerekli etüt çalışmaları tamamlanmış olup ihale aşamasına gelinmiştir.

2.3.3.4 Ege II. LNG terminali:

İzmir Aliğa'da kurulması planlanan ikinci terminalin yatırımına 1998 yılında başlanmış ve 2001 yılında devreye alınması planlanmıştır. Toplam gazlaştırma kapasitesi 6 milyar m³'tür. Muhtemel art kaynakları arasında Mısır ve Yemen bulunmaktadır. Bu bölgede Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nca yap-işlet kapsamında ihaleye çıkarılan, 1400 MW'lik kurulu güce sahip santral projesi bulunmaktadır.

2.3.3.5 Güney hattı:

2001'de işletmeye alınması planlanan bu hattın, ilk yıl 1271 milyon m³, 2015 yılında 9177 milyon m³'lük talebe cevap vermesi beklenmektedir. Hattın Ankara-Kırıkkale-Mersin istikametini takip ederek İskenderun'a ulaşması planlanmaktadır. Hat uzunluğu yaklaşık 1080 km'dir.

2.3.3.6 Yer altı depolama sistemi:

Mevsime bağı, günlük ve saatlik çekiş dalgalanmalarını dengelemek için depolama tesislerinin, konut tüketimi açısından hayati önemi vardır. Bu amaçla T.P.A.O'na ait K.Marmara Silivri'deki yaklaşık 2,5-3 milyar m³ doğal gaz rezervine sahip rezervuarın, mevcut gaz tüketildikten sonra yeraltı depolama tesisi olarak kullanılması için mühendislik çalışmaları başlamıştır. Tesisteki mevcut 5 kuyudan doğal gazın boşaltılmasının 2-3 senede mümkün olacağı tahmin edilmektedir. Diğer yer altı depolama projesi; Tuzgölü Sultanhanı yöresinde yerin yaklaşık 700 metre altında bulunan tuz kütlelerini ergitilmesi ile elde edilecek boşluklara gazın enjekte edilmesidir. Bu proje Güney Hattı'nın inşasıyla, Konya ve Kayseri'nin gaza kavuşmasından sonra kuvvetle gündeme gelecektir.



3 DOĞAL GAZ NAKİL HATLARI

3.1 Genel

Doğal gazın hangi aşamalardan geçtikten sonra, tüketiciye sunulur hale geldiğini incelemek ve konunun esasını oluşturan nakil hatlarında meydana gelen kirlenmeleri, zihnimizde canlandırabilmek için bir genel bilgilendirmeye gidilmesi uygun görülmüştür.

3.2 Rusya-Türkiye Doğal Gaz Nakil Hattı:

Rusya-Türkiye Doğal Gaz Boru Hattı sistemi, Rusya'dan ithal edilen doğal gazı Bulgaristan-Türkiye sınırından Ankara'ya kadar taşıyacak ve bu taşıma sırasında çeşitli tüketicilere de doğal gaz verecek şekilde projelendirilmiş ve inşa edilmiş bir boru hattıdır.

Doğal gaz boru hattı ile yılda 14 milyar Sm^3 doğal gaz nakli gerçekleşip, tüketici kullanımına sunulabilecektir. Boru hattının tasarım sıcaklığı $50^{\circ}C$ 'dir. Boru hattının, pig istasyonları dışında da büyük bir kısmı toprak altındadır.

Boru hattı sistemi, ANSI B.31.8'e göre tasarlanmıştır. (BOTAŞ, 1988)

3.2.1 Hat vanaları:

Boru hattı boyunca 31 adet hat vanası bulunmaktadır. İki vana arasındaki uzunluk 20 ile 5 km arasında değişmektedir. Hat vanalarının 3 temel görevi vardır;

a) Doğal gaz akışını durdurmak. Herhangi bir kaza veya bakım çalışmaları sırasında iki hat vanası arasındaki kısım boru hattının diğer kısımlarından ayrılır. Bu sayede, boru hattının diğer kısımlarındaki basınç seviyesi düşmez ve böylece arızalı kısmın altında ya da üstünde gaz akışını devam ettirmek mümkün olur.

b) Hat vanaları ile izole edilen boru hattını kısmen veya tamamen boşaltmak ve boru hattının izoleli kısmını hava ile doldurmak

c) İzole edilen kısmı gazla doldurmak ve boru hattının diğer kısımları ile basıncı eşitlemek.

Bir hat vanasının çeşitli kısımları vardır. Bunlar:

1) Ana vana; bu küresel vanadır, tam açılıp tam kapamayı sağlar. Bu vana hat üzerine kaynaklanmıştır.

II) By-pass vanası

III) Bu hattın vanadaki iki havalandırma borusu; bunlar ana boruya bağlıdır. Üst ve alt akış kolunun boşaltılmasında kullanılır.

Hat vanaları gaz/yağ ile hareket ettirilen bir mekanizmaya sahiptir ve bunlar, geçen boru çapında ve küresel vanalardır. Hat vanaları, kullanım basıncına göre 34 ve 20 bar'a set edilmiş olup basınç bu değerin altına düştüğünde otomatik olarak kapanmaktadır. Bu işlem, bütün hat vanalarında bulunan düşük basınç trip sinyali ile yapılmaktadır. Ayrıca tüm hat vanalarının elle yerinde veya Ankara'daki kontrol merkezinden kapatılması mümkündür.

3.2.2 Pig istasyonları

Boru hattı boyunca 9 adet pig istasyonu bulunmaktadır. Pig atma, pig alma ya da her ikisi birden yapılabilen tesisler şunlardır:

I) Sadece pig atma: Pazarcık, Hersek

II) Sadece pig alma: Muallim.

III) Pig atma ve pig alma: Önerler, Ambarlı, Pendik, Demirciler, Bursa, Eskişehir.

Ayrıca, doğal gaz işletme istasyonu olmasına rağmen pig atma, pig alma ve her iki üniteyi birden bulunduran istasyonlar şunlardır; Malkoçlar (pig atma), Ankara(pig alma), Kırklareli (pig atma ve pig alma).

Pig istasyonları, boru hattının yapımını müteakip devreye alma çalışmalarında ya da işletme sırasında boru iç yüzeylerinin temizlenmesi amacıyla kurulmaktadır. Boru hatlarında biriken tozlar, kompresör yağları ve kondensatlar piglerle temizlenir. Bu pigler, genellikle dayanıklı plastikten (poliüretan veya neopren), piston şeklinde yapılmaktadır. Ayrıca boru hattının iç yüzeyinde zamanla oluşan fiziksel ya da kimyasal değişiklikleri belirleyen pigler de bulunmaktadır. Normal işletme sırasında, doğal gazın kuru olması ve hidrokarbon yoğunlaşma sıcaklığının üzerinde sıcaklıklarda bulunması nedeniyle boru hattında sıvı oluşumu ve bunların piglerle temizlenmesi beklenmemektedir.

3.2.3 Doğal gaz ölçüm ve basınç düşürme istasyonları:

Doğal gaz boru hattı boyunca, büyük tüketicilere gaz vermek için 10 adet ölçüm ve basınç düşürme istasyonu ve Rusya'dan ithal edilen doğal gazın miktar ve kalitesini ölçmek için 1 adet ana ölçüm istasyonu bulunmaktadır.

Bu istasyonlardan, Malkoçlar'da kurulu Ana ölçüm istasyonu; boru hattı üzerinde kurulmuştur. Diğer istasyonlar ise boru hattından branşmanlarla gaz almaktadır. Kurulu basınç düşürme ve ölçüm istasyonları; Hamitabat, Batı İstanbul (Esenyurt), Ambarlı, Doğu İstanbul (Dolayoba), İgsaş, Gemlik, Bursa, Bozüyük, Eskişehir, Ankara.

3.2.3.1 Ana ölçüm istasyonu

Türkiye-Bulgaristan sınırının Türk kesiminde kurulu olan ölçüm istasyonunun amacı ithal edilen doğal gazın miktar ve kalitesinin ölçümünü yapmak, doğal gaza koku verici madde katmaktır. Ölçüm istasyonunda doğal gazın miktarının yanısıra, su ve hidrokarbon yoğunlaşma sıcaklıkları, kükürt miktarı, gaz kompozisyonu ve kalorifik değeri (yakma metoduyla) ölçülmektedir. İstasyonda sıvı toplayıcılar, filtreler, ölçüm ve kokulandırma ekipmanları bulunmaktadır.

Bulgaristan sınırından gelen gaz 36" çaplı boru vasıtasıyla toprak altından kondensat toplayıcıya ulaşır. Kondensat toplayıcının üst koluna bir gaz/yağ hareketlendirici iletim hattı giriş vanası konmuştur. Bu vana alçak ve yüksek basınçlarda kapama yapar. Kondensat toplama içindeki sıvıyı basınçla yakma çukuruna boşaltır. Kondensat toplayıcı da çok yüksek sıvı seviyesi, istasyonu devre dışına alır ve istasyonu ana boru hattından ayırır. Sıvı genişlemesinden doğabilecek aşırı basınçta, sistemin zarar görmemesi için, 82 bar'a ayarlanmış tahliye vanası ile sistem korunur.

Gaz, kondensat toplayıcıda, istasyon giriş vanası yoluyla filtrelere geçer. Paralel olara çalışan 3 adet %50 kapasiteli siklon filtre bulunmaktadır. Filtrelerde tutulan sıvı, drenaj tankında depolanır, buradan da boşaltım tankerine pompalanır.

Filtrelerden geçen gaz ölçüm hatlarına girer. Burada 1'i yedek 4'ü çalışır durumda 5 adet paralel orifis metre bulunmaktadır. Gaz/yağ hareketlendirici vanalar, her bir orifis metre hattının aşağı akış hızına göre ölçüm hatlarını devreye alan ya da devre dışı bırakan ölçüm kontrol sistemi ile çalışmaktadır. Ölçüm hattı üzerindeki düşük akış anahtarı en düşük akış hızını gösterir. Operasyon sırasında düşük akış anahtarı vanayı kapatarak geri akışı önler. Ölçülen gaz, çıkış vanası yoluyla hatta akar, ana hatla akıştan önce gaz analiz edilir. Analiz

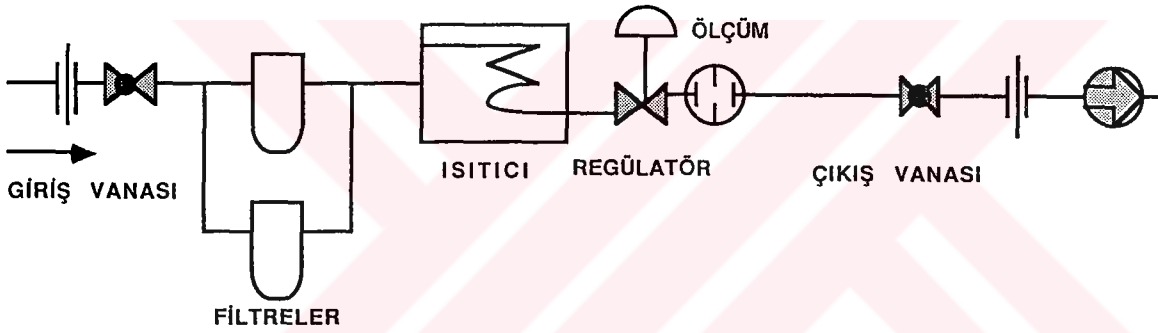
cihazı olarak gaz kromatografisi kullanılır. Hidrokarbon (C_1 'den C_6), CO_2 , N_2 ve ayrıca H_2S ve merkaptan analizörü bulunmaktadır.

Gaz, kokulandırma ünitesinde, 10-ME-3 tetrahidrotiofen adlı kokulandırıcı katılmasıyla kokulandırılır. Pig fırlatıcı, ölçüm ve kokulandırma ünitelerinin alt akış kısmındadır.

Bu ana istasyon dışındaki diğer tüm ölçüm ve basıncı düşürme istasyonları birbirinin benzeridir.

3.2.3.2 Ölçüm ve basınç düşürme istasyonları (RMS)

Bu istasyonların amacı, her bir büyük tüketiciye istedikleri basınçta doğal gaz vermek ve faturalamaya esas olan doğal gaz miktarını (enerji ve birim m^3 olarak) ölçmektir. Her bir istasyonda filtreler, ısıtıcılar, basınç düşürücüler ve ölçüm cihazları bulunmaktadır. (Şekil 3.1)



Şekil 3.1: Ölçüm ve basınç düşürme istasyonu şeması

Doğal gaz, giriş vanası yoluyla istasyona girer ve filtrelere akar, filtrelerin genellikle en az biri çalışır, diğeri yedek şeklindedir. Siklon filtreler, dizayn akışlarının %10'u ile %100'ü arasında ve $100.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ üzerindeki akışta kullanılırlar. Bazı istasyonlarda belirlenen filtrasyon verimini sağlamak ve filtre üzerindeki basınç düşümünü minimumda tutmak için iki tip filtre paralel olarak yerleştirilmiştir.

İstasyondaki filtreler, gazla birlikte taşınan sıvı ve katı partiküllerin temizlenmesi amacıyla kurulmuşlardır. Filtreler, gazın akışına göre, siklon ya da kartuj tipindedirler. 5 mikron veya daha büyük partiküllerin %90'ını temizleyecek şekilde imal edilmiştir. Filtrelerde süzülen atık, seviye kontrolü altında drenaj tankında depolanır.

Filtrelerden geçen gaz eşanjörlere gelir. Gaz basıncının ani olarak düşmesi gaz sıcaklığını düşürür. Her 1 bar'lık basınç düşümü yaklaşık olarak 0,4-0,6 °C arasında gazda soğumaya neden olur. Gazın sıcaklığının yoğuşma sıcaklığının altına düşmesiyle su ve hidrokarbon sıvıları oluşur. Bunu önlemek için ısıtıcılar 1'i yedek olmak üzere en az 2 adet su banyolu ısıtıcıdan oluşmuştur. Gazın sıcaklığı, kontrol vanalarının alt akış kısmına konan, kontrol elemanları ile kontrol edilir.

Gaz eşanjörlerden sonra, basınç düşürme bölümüne gelir. Bu bölümde gaz, istenen sabit çıkış basıncına ayarlanır. Çıkış basıncında bir düşme halinde kontrol vanası açılır, akış fazlalaşır ve basınç sabit değerine tekrar gelir.

Bu istasyonda, biri yedek, biri çalışır şekilde en az iki basınç düşürme hattı mevcuttur.

Kontrol vanalarının alt akış kısmındaki basınç sabit tutulur ve akış değişir. Basınç kontrol vanalarının alt akış kısmı, kontrol vanalarının yanlış fonksiyonlarından kaynaklanacak aşırı basınçtan şu şekilde korunur:

- a) Yüksek basınç alarmıyla kontrol odasına bir alarm yollanır,
- b) Pilot kumandalı basınç güvenlik vanaları açılır ve
- c) Tahliye vanasının (relief) ayarlanan basınç değerinin üzerindeki bir basınca set edilen istasyonu devre dışı bırakacak, yüksek basınç tertibatı ile sistem korunur.

Basınç düşürme bölümünün alt akış kısmında gazın, yoğunluk, net ısı değer ve kompozisyonu gibi özellikleri analiz edilir. Gazın yoğunluğu ve ısı değeri akış bilgisayarına veri olarak gider.

Gaz, basınç düşürme ünitesinden sonra gaz ölçüm ünitesine girer. Ölçüm ünitesi bir ya da daha fazla ölçüm ünitesine sahiptir.

Ölçüm hattının alt akış kısmına yerleştirilen gaz/yağ kumandalı vana, ölçülen gazın akış hızına göre ölçüm hatlarını devreye alan ya da devre dışı bırakan ölçüm kontrol sistemi ile çalışmaktadır. Ölçüm hattı üzerindeki düşük akış anahtarı en düşük akış hızını gösterir. Aktivasyon sırasında, düşük akış anahtarı vanayı kapatarak geri akışı önler. Ölçüm hattında bulunan elemanlar şunlardır:

- a) Bir orifis
- b) Akış kaydedici
- c) Basınç kaydedici
- d) Sıcaklık kaydedici

Ölçülen gaz, istasyon çıkış vanası yoluyla kullanıcıya verilir.

3.3 Batı İstanbul (Esenyurt) ölçüm ve basınç düşürme istasyonu:

Basınç düşürme ve ölçüm istasyonları ile ilgili temel bir kısım teknik bilgiler verilmekle beraber, şu an için İstanbul'un batı yakasına doğal gazı, istenen spesifikasyonlarda temin eden ve şehir şebekesine veren Esenyurt ölçüm ve basınç düşürme istasyonu hakkında daha detay ve spesifik bilgilendirme yapılması uygun görülmüştür.

Basınç düşürme ve ölçüm istasyonları Proses Bölgesi, Kontrol Sistemi ve Yardımcı Üniteler olmak üzere üç bölümden ibarettir. Proses Bölgesi, gazın girişinden akışına kadar gaz üzerinde yapılan işlemleri kapsar, bunlar sırasıyla şöyledir:

- 1) İstasyon giriş vanası
- 2) Filtre ünitesi (Siklon ve kartuj tipi)
- 3) Isıtıcı ünitesi
- 4) Basınç düşürme ünitesi
- 5) Ölçüm ünitesi
- 6) İstasyon çıkış vanası

3.3.1 İstasyon giriş vanaları:

İstasyon giriş vanası 18" küresel tip vana olup, açılıp kapanması kontrol odasından yapılabilmektedir. Vananın çalışması gaz/hidrolik şeklindedir. Burada vananın üstüne monte edilmiş iki adet basınçlı tüp vardır. Bu tüpler dik olarak durmakta, alt kısmında hidrolik yağ bulunmaktadır. Yağın üstüne ise istasyon gaz kurutucusundan temin edilen 34 bar basınçta doğal gaz, selenoid bir valf ile kumanda edilerek, hidrolik yağın, vananın küresel kısmına kumanda eden pistonu itmesini veya çekmesini sağlar. Böylece, vana içindeki küre döndürülerek açılma ve kapama işlemleri yapılır.

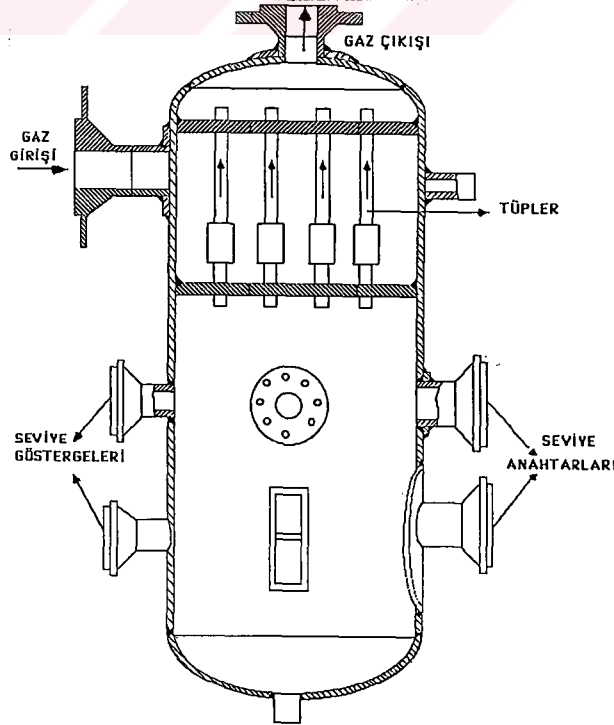
Küresel vana da, kürenin oturduğu yataklar, ani basınç değişikliklerinde bozulabilirler. Bu yüzden, vanayı açmadan önce vana by-pass'ını kullanarak her iki taraftaki basınç eşitlenir. Vana aniden otomatik olarak açılacak olursa, bir taraftaki yüksek basınç ani olarak diğer

tarafa intikal ettiğinde, karşılaştığı sistemlerde hasara neden olabilecektir. Bu sebeple, bütün hat vanaları ile istasyon giriş-çıkış vanaları, otomatik olarak kapatılabiliyorsa da, açılabilmesi için mutlaka vanaya bir operatörün gitmesi gerekmektedir. (McAllister,1993)

3.3.2 Filtre Ünitesi:

Doğal gaz filtre üniteleri sıvı ve katı parçacıkları ayırmak için konulmuşlardır. Esenyurt istasyonunda 4 adet siklon tipi ve 1 adet kartuj tipi filtre mevcuttur. Siklon filtreler genellikle 100.000 Nm³/h ve üzerindeki debilerde kullanılırlar. Çünkü bu tip filtrelerde gazın sistemdeki hızı çok önemlidir. Sıvı ve katı parçacıkları içinde bulunduran gaz filtreye girdikten sonra siklon tüp demetinde tüp sayısı kadar eşit gaz akımlarına ayırır. (Şekil 3.2).

Her bir gaz akımı siklonda bir dönme hareketine tabi olur ve çok yüksek dönme hızlarına erişir. Gaz akışı, koninin alt ucunda yön değiştirmekte, gaz ve diğer içindeki parçacıklar ayrılmaktadır. Temiz gaz, konsantirik tüplerden geçerek filtrenin üstünden çıkar; parçacıklar ise filtrenin altına düşerler. Batı İstanbul yakasındaki siklon filtreler ise, 25.000 Nm³/h minimum ve 100.000 Nm³/h maximum gaz akışını filtreleyebilecek şekilde tasarlanmışlardır. Her birin içinde 41 adet 2" çapında borulardan oluşan bir siklon demeti mevcuttur. Bu boruların her birindeki gazın debisi ve basınç düşümü aynı değerlerdedir. Siklon filtreler 5 mikron büyüklüğündeki parçacıkların %90'ını filtreleyecek kapasitededir. Filtre giriş ve çıkışındaki maximum basınç kaybı 0,5 bar'ı geçmemelidir.



Şekil 3.2: Siklon tip filtre

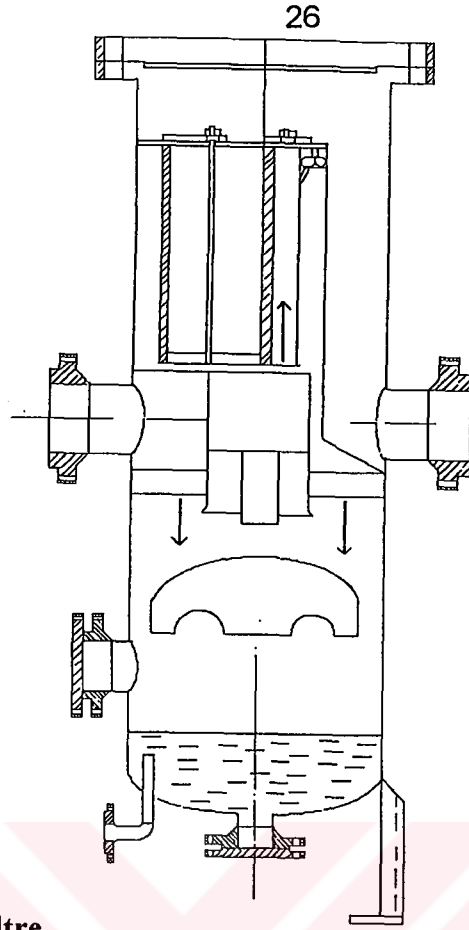
Kartuj tipi filtre ise, yine siklon filtreler gibi dikine çalışan basınçlı bir kaptır. Esenyurt istasyonunda bir tane mevcut olup kullanım yüksekliği 3,5 m'dir. İki kısımdan oluşmuştur. Üst kısımda 117 mm çapında ve 1828 mm uzunluğunda 6 adet kartuj vardır. Alt kısımda ise bulaşık teli biçiminde bir kafes mevcuttur. Doğal gaz direk olarak kartujlara girer. Burada gazın hızından dolayı kartujlara zarar vermemek için bir deflektör konulmuştur. Bu tip filtre minimum 1000 Nm³/h, maksimum 2500 Nm³/h'lik gaz geçişleri için kullanılmaktadır. Filtre elemanları belli bir süre sonra filtrenin üst kapağı açılarak değiştirilir. Şekil 3.3'te bir kartuj filtre gösterilmektedir.

Gaz, giriş nozülünden girerek filtreleme kartujuna doğru akar. Daha önceden ifade edilen deflektöre gelen gaz yüksek hızının etkisini deflektöre bırakarak pamuk esaslı filtreleme kartujuna doğru akar. Burada, katı parçacıklar tutulur. Filtreleme ortamından geçen ince sıvı damlacıkları birbirleriyle birleşir. Kartujdan geçtikten sonra gaz, filtrenin alt kısmına doğru akar, burada sıvılar gözenekli elekte ayrılırlar.

Her filtrede şu elemanlar ve enstrümanlar bulunmaktadır:

- 1) Filtre gövdesi ve içindekiler (siklon, kartuj, deflektör)
- 2) Alt otomatik boşaltma vanası,
- 3) Seviye göstergesi
- 4) Yüksek sıvı seviyesi alarmı,
- 5) Çok yüksek sıvı seviyesi alarmı, istasyonu devirden çıkarma (shut down)
- 6) 82 bar'a set edilmiş emniyet vanası (yangınla ortaya çıkabilecek termal genişleme için tasarlanmıştır)
- 7) Havalandırma sorusu (Atmosferik vent)
- 8) El kumandalı giriş-çıkış vanaları,
- 9) Basınç kaydedici bilgisayar,
- 10) Manometre (istasyon giriş ve çıkış hatlarında)
- 11) Giriş ve çıkıştaki basınç farkını gösteren alarm (1,5 bar'a set edilmiştir)

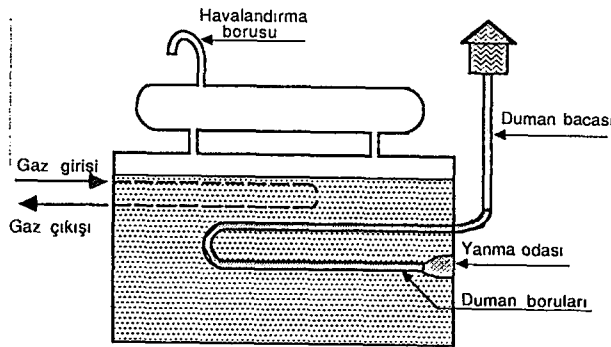
Sıvı ve katı parçacıklar belli bir seviyede filtrede biriktikten sonra atık tankına yer çekimi ile, eğimli bir boru ile boşaltılırlar. Buradan da pnömatik çalışan seviye kontrol vanası ile dışarı atılırlar.



Şekil 3.3: Kartuj tip filtre

3.3.3 Isıtıcılar:

Doğal gaz ısıtıcıları, basınç düşürülmesinden dolayı gaz akışında yoğunlaşmaları ortaya çıkacak sıvı hidrokarbon ve suyun oluşmasını önlemek için konulmuşlardır. Doğal gaz ısıtıcısı sistemi Şekil 3.4'te gösterilmektedir.



Şekil 3.4: Doğal gaz ısıtıcı sistemi

Isıtıcılar, bugün ısıtma sisteminde kullandığımız boylerler gibi çalışır. Gaz borulardan geçerken, sıcak suyun içinden geçirilir. Suyu ise yine ısıtıcı gaz çıkışından aldığımız ve gazla

çalışan brülörlerle ısıtırız. Yanmış gaz bir baca yoluyla atmosfere atılır. Her ısıtıcıda şu elemanlar bulunur:

- 1) Pilot alev brülörü
- 2) Ana brülörler (2 adet)
- 3) Su genleşme tankı, su seviye göstergeleri, seviye kontrol cihazları,
- 4) Isı alarmları
- 5) Yakıt gazı sistemi.

Isıtıcı yakıt gaz sistemi seri olarak bağlanmış basınç düşürme vanalarından ibarettir. Isıtıcı çıkışından aldığımız gaz önce 8 bar'a, sonra brülörün istediği 2,64 bar'a düşürölür. Bu arada, basıncın düşük (1 bar) ve yüksek (5 bar) olduğunu göstererek, sinyal verecek kumandalar mevcuttur. Yakıt gazı sisteminde ayrıca 7 bar'a set edilmiş bir emniyet vanası vardır. Pilot, daima yanar durumda tutulmaktadır. Bu, ısıtıcının hemen devreye girmesini sağlamak içindir. Suyun sıcaklığı otomatik olarak 70-80 °C arasında tutulmaktadır.

Isıtıcılarda ısıtma ortamı olarak su yerine su+monoetilen glikol karışımı (antifriz) kullanılmaktadır. Bunun amacı, kışın fazla soğuklarda ısıtıcının donarak sisteme zarar vermesini önlemektir. Karışım %40 oranında yapılır. Gazın ısınması, ısının külhan (firebox) dan suya,sudan serpantin duvarlarına geçmesiyle olur. Yanma verimi %70'dir. Yanma gazları bacayı 540 °C'da terk eder. Brülörlerin yanması atmosferik basınç altında olur. Gaz ve hava iki etapta karıştırılırlar. Yaklaşık olarak yanma için gerekli havanın %40'ı yüksek basınç enjektörünün ventürisinden yakıt gazı ile birlikte gelir. Gerekli ikinci hava brülör memesinin etrafında mevcuttur. Kullanılan gaz brülörüyle, yanma için %20 fazla hava elde edilir.

3.3.4 Basınç düşürme ünitesi

İstenilen debiye göre ısıtılan gaz, basınç düşürme ünitesine gelir. Basınç düşürme sistemi, gaz müşterilerin giden gazın ikmal basıncını kontrol eder. Buradaki sistem üç basınç düşürücü seriden oluşmaktadır. İkiisi çalışır, biri yedek durumundadır. Bu sistemlerden her biri minimum 500 Nm³/h maksimum 145.000 Nm³/h'lik gazı minimum 19 bar, maksimum 24 bar'da verecek şekilde tasarlanmışlardır. Her bir hatta;

- a) Gaz/hidrolik yağla kumanda edilen 2 adet küresel vana,
- b) Basınç düşürme vanası bulunmaktadır.

Basınç düşürme vanasından sonra sabit bir basınç elde edilir. Fakat debi değişken durumda tutulur. Eğer, bu basınç değerinde düşme olursa, vana, istasyonun maksimum kapasitesini sağlayacak şekilde açılacaktır. Bu değer, debi kontrolöründe ayarlanmıştır. Buradan gelen bir sinyal basınç kontrolörüne ulaşır, vananın açılma aralığını ayarlayacaktır. (Smith, 1990)

Her bir hatta, basınç kontrolörleri birbirinden değişik basınçlara ayarlanmışlardır. Bunda amaç, gaz talebinde bir artma olduğunda veya hatlardan biri arızalandığında diğerinin otomatik olarak devreye girmesidir.

Çok geniş bir bantla talep olabilecek batı İstanbul istasyonunda, basınç ayarlamalarına ilaveten tedbirler alınmıştır. Hatlardan birindeki basınç düşürücü vanaya ek olarak daha küçük ebatta by-pass ilave edilmiştir. Kontrol mekanizmasındaki temel felsefe, küçük vana %80 açıldığında, büyük vana daha fazla açılmakta, küçük vana ise bu durumda kapanmaktadır. Bu durumun tersi de geçerlidir. Bu şekilde, talepte olan küçük değişiklikler basıncı sabit tutarak karşılanmaktadır.

Basınç düşürme istasyonunun çıkışında gaz analiz edilmekte, gazın yoğunluğu, net ısıl değeri ve kompozisyonu tespit edilip, istasyon bilgisayarına gerekli veriler gönderilmektedir.

Artık gazın basıncı düşmüş; belirli sabit bir basınca gelmiş, ısınmış ve ölçüme hazırlanmıştır. Ölçüm sisteminde ORİFİS PLAKALARI kullanılmakta olup, bu sistem, birbirine paralel 4 hattan oluşmaktadır. 2 adet 4", 2 adette 12" hat kullanılmıştır. Bunlardan ikisi çalışırken ikisi yedekte beklemektedir. Akış, minimum 1.000-10.000, maksimum 10.000-100.000 Nm³/h olduğu zaman ölçüm yapılacak şekilde dizayn edilmiştir.

Gaz ölçümden geçtikten sonra, istasyon çıkış vanasından müşterilerin hizmetine istenilen basınçta sunulur.

T.C. YATIRIM MENKUL DEĞERLER A.Ş. İZMİR ŞİŞELİ
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

3.4 İGDAŞ doğal gaz dağıtım ve regülasyon sistemi

İstanbul'un doğal gaz şehir şebekesi çelik nakil hatları doğal gazı Esenyurt RMS istasyonundan almakta ve şehir ana iletim hatları buradan itibaren başlamaktadır.

BOTAŞ'ın basınç düşürme ve ölçüm istasyonlarına ek olarak, İGDAŞ da projesi ve yatırımı kendisine ait olmak üzere, BOTAŞ'la koordinasyon içinde, 1997 yıl sonu rakamlarına göre Esenyurt ve Pendik'te iki adet basınç düşürme ve ölçüm istasyonu kurarak şehir doğal gaz talebini karşılayacak arz imkanlarını oluşturmuştur. Halen iki ilave istasyon kurulması çalışmaları yürütülmektedir.

İGDAŞ'ın doğal gaz dağıtım ve regülasyon sistemi iki ana başlık altında incelenecektir.

3.4.1 Doğal gaz çelik hat nakil sistemi:

İGDAŞ, İstanbul şehir şebekesi doğal gaz nakil hatları, toplam 515.424 metre uzunluktadır. Esenyurt'tan başlayarak en uç noktada regülatör istasyonlarına kadar, doğal gaz, bu çelik hatlarla iletilmektedir. 1997 yılı sonu itibariyle toplam çelik doğal gaz iletim hattı dökümü şöyledir: 30" (117,73 km), 28" (15,44 km), 24" (72,45 km), 20" (57,15 km), 16" (15,05 km), 12" (57 km), 8" (68,3 km) ve 4" (31,2 km).

1998 yılı yatırımlarını devreye alınması ile birlikte yaklaşık olarak 600 km'lik bir çelik nakil hattına İstanbul şebekesi sahip olacaktır.

Doğal gaz nakil hattı boyunca gömülü tip, uygun çapta redüksiyonlu vanalar ve vana odaları mevcuttur. Bu vanaların amacı, ilave branşmanlar, acil müdahaleler ve planlı çalışmalar için çelik hat üzerinde yapılacak çalışmalara imkan sağlamaktır. Ayrıca hattın ilk devreye alınması sırasında hat üzerindeki vanaların zarar görmeyeceği ve sistemin sıhhatli olarak devreye alınabilmesi maksadıyla gömülü vanalar ve vana odaları ana nakil hattı boyunca yerleştirilmektedir.

Vana odalarının konumunun tespitinde demografik faktörlerin yanı sıra, hattın güzergahı ve müdahale edilebilme kolaylığı da göz önünde bulundurulmaktadır.

Gömülü vanalarda asfalt ya da zemin seviyesindeki kapak kaldırılarak, yüzeyden sadece o hattı devreden çıkarabilmek mümkündür. Bu tip küresel redüksiyonlu vanalarla sadece hat üzerinde açma ve kapama işlemleri yapılabilmektedir.

Vana odaları ise hat çapına ve malzemesine uygun olarak monte edilen küresel vana, vana öncesine, sonrasına ya da hem öncesinde hem sonrasında bulunan hat çapına uygun tahliye (blowdown) vanalarını içermektedir.

Tahliye vanaları 20" ve üzeri çaplar için 6", 16" için 4" ve 12" ve altındaki çaplar için 2" çapında küresel vanalardır. Tahliye vanaları, acil durumda iki vana odası arasında kalan hattı, flair (baca) borularını kurarak boşaltmakta ve gazsız hattın devreye alınması sırasında; hattın, vana odasından sonraki kısmında ve vana öncesi gazlı kısımda basıncın stabil olarak dengelenmesinde kullanılmaktadır. Vana odaları, içinde iki personelin rahatça çalışabileceği şekilde iç hacme, havalandırma düzeneğine ve dışarıdan giriş-çıkış ve temizliği rahat yapılacak şekilde ergonomiye sahip olarak imal edilmektedir.

Doğal gaz, regülasyon sistemine gitmeden önce, çelik hatta alındıktan sonra kokulandırılmakta ve bu işlem Tetra Hidro Tiyofen ve Merkaptan kullanılarak yapılmaktadır.

3.4.2 Doğal gaz regülasyon sistemi:

İstanbul doğal gaz şebekesinde basınç düşürme istasyonu ya da diğer bir deyişle regülatör istasyonları, ortalama 20 bar basınç değerinde doğal gaz iletimi yapan ana çelik hattın doğal gazı alarak şehir içi dağıtım şebekesi kullanım ve çalışma basıncı olan 4 bar değerine regülasyon yaparlar. İstanbul doğal gaz şebekesinde basınç regülasyonu yapan yaklaşık 320 adet bölge regülatörü ve de sanayi istasyonu olarak basınç regülasyonu yapan yaklaşık 300 adet müşteri istasyonu (skid) bulunmaktadır. Bu rakamlar 1998 yıl sonu değerlerini içermektedir.

Doğal gaz regülasyon sistemlerinde, Fransız Sofregaz firmasıyla yapılan anlaşmalar gereği öncelikle Francel marka 5.000 ve 10.000 Nm³/h'lik doğal gaz regülatörleri kullanılmaktadır. Ayrıca sistemde RMG Messtechnik, Pietro Fiorentini, Tartarini, Schlumberger, Bryan Donkin gibi markalar da bölge ve müşteri regülatör istasyonu olarak kullanılmaktadır.

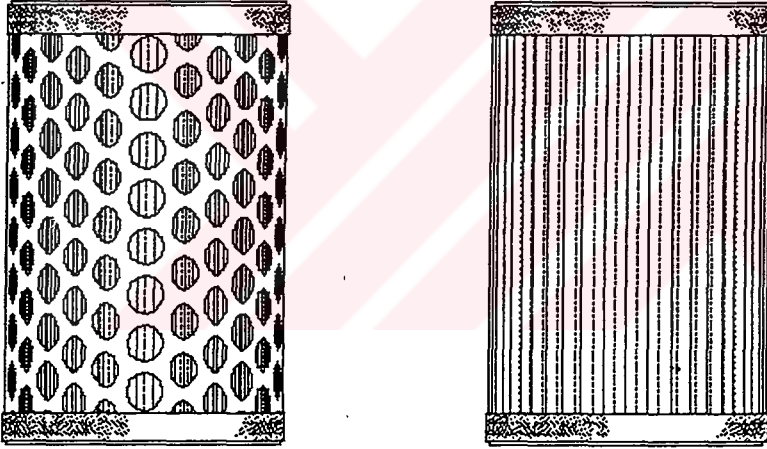
3.4.2.1 Regülatör istasyonu çalışma prensipleri:

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

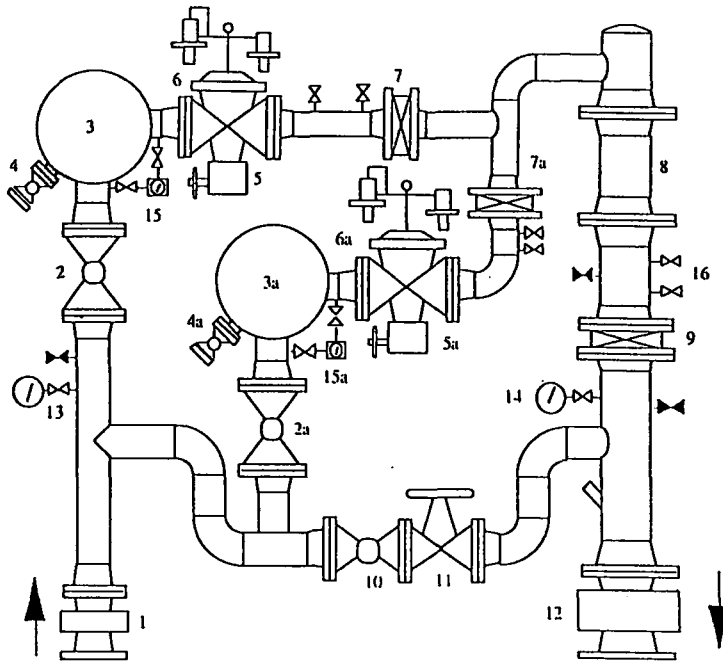
Bölge regülatör istasyonu olarak çift hatlı, by-pass vanalı ve pilot tahrikli basınç düşürme istasyonları kullanılmaktadır. Bölge regülatör istasyonlarında, I. Hat aktif, II. Hat ise yedek

hat olarak görev yapmaktadır. Şebekeden 20 bar'lık basınç değeriyle gelen doğal gaz, aktif olan I. Hatta gelerek öncelikle kartuj filtre kovanında filtre edilir. Kartuj filtre 5 mikron ve üzerindeki toz, sıvı ve partikülleri %99 verimle filtre eder. Şekil 3,5'te iki ayrı tip kartuj filtre gösterilmektedir. Filtre kovanında 1 bar'lık maksimum bir basınç kaybına müsaade edilmektedir. Filtre diferansiyel manometresinde okunan ΔP değerine göre filtre değişimine karar verilir ve kovan kapağı açılıp, uygun prosedüre göre filtre değişimi gerçekleştirilebilir.

20 bar'da filtre edilen gaz ön genişleme rölesinde 6 bar'a düşürülür ve pilot röle'ye gönderilir. Pilot röle'de ise 4 bar'lık istasyon çıkış basıncına düşürülür. Ön genişleme rölesi, pilot röleye devamlı sabit basınçta gaz gönderir. Pilot röle, çıkış basıncının artmasına ya da azalmasına göre, regülatör diyaframının üstündeki gazın azalmasını ya da artmasını sağlar. Böylece regülatörün çalışması sağlanır. Şebekede kullanılan çift hat ve by-pass'lı Francel marka doğal gaz regülatörünün çalışma şeması şekil 3.6'da verilmektedir. Şekil 3.7'de ise pilot tahrikli bir regülatörün çalışma diyagramı verilmektedir.

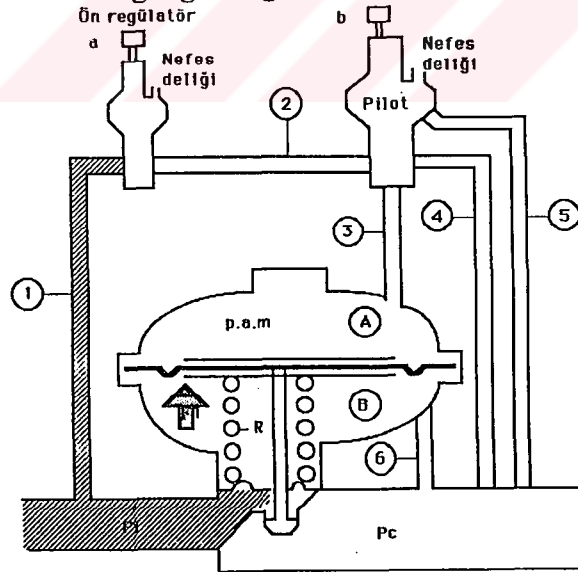


Şekil 3.5: İki değişik tipte kartuj filtre



REFERANS SAYI	VAZİYET PLANININ TANIMI	ÇAP	FLANŞLAR
1	1 Giriş izolasyon contası	4"	ANSI 300 RF
2 / 2a	2 Küresel vana tam geçişli	.4"	ANSI 300 RF
3 / 3a	2 Filtre	4" / 3"	ANSI 300 RF
4 / 4a	2 Hataki boğaltına için küresel vanası tam geçişli	2"	ANSI 300 RF
5 / 5a	2 Emniyet kapama vanası	3"	ANSI 300 RF
6	1 ASOFLEX "S" regülatör	3"	ANSI 300 RF
6a	1 ASOFLEX regülatör	3"	ANSI 300 RF
7/7a	2 Flanşlar monte edilen kelebek vanalar	3"	ANSI 150 RF
8	1 Sayaç manşonu	6"	ANSI 150 RF
9	1 Flanşla monte edilen kelebek vanalar	6"	ANSI 150 RF
10	1 Küresel vana tam geçişli	3"	ANSI 300 RF
11	1 Gaz ayar vanası	3"	ANSI 300 RF
12	1 Çıkış izolasyon contası	6"	ANSI 150 RF
13	1 Basınç göstergesi giriş 0-40 bar		
14	1 Basınç göstergesi çıkış 0-6 bar		
15 / 15a	2 Diferansiyel basınç göstergesi natvi DP indeks		
16	2 Küresel vana 1/4" BSP F silindirik		

Şekil 3.6: Francel marka doğal gaz regülatör istasyonu



Şekil 3.7: Pilot tahrikli regülatör ve yardımcı elemanları

Şekil 3.7'de bulunan semboller ve numaralar:

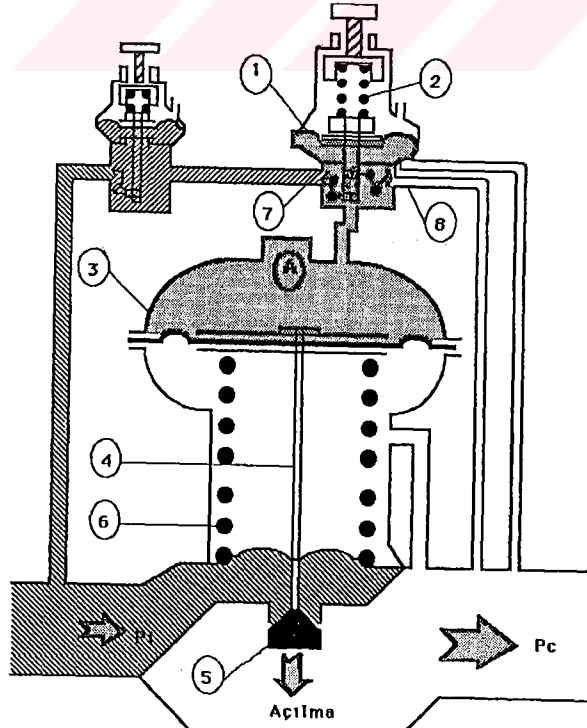
- 1) Regülatör giriş basıncı (P_i),
- 2) Ön genişleme rölesi çıkış basıncı ($P_{ö.g.ç.}$),

- 3) Regülatör diyaframına uygulanan üst basınç ($P_{d.a.}$)
- 4) Pilot röle drenaj borusu,
- 5) Pilot röleye gelen çıkış basıncı (P_c)
- 6) Regülatörün çalışması için gelen basınç (P_c)

Bahsedilen, $P_{ö.g.ç.}$ basıncı, pilot röleyi çalıştırarak, regülatör diyaframı üzerine gelen $P_{d.a.}$ basıncını ayarlar. Böylece $P_{d.a.}$ basıncı da regülatör vanasını açıp kapayarak çıkış basıncını ayarlamaktadır. Regülatör diyaframının orta mili yay kuvvetiyle baskı yaparak regülatörün slam-shut denilen kurma kolunu attırır; bu işlem, acil durumlarda, çıkış basınç değeri, regülatör set değerlerini maksimumunu aştığı ya da minimumunun altına düştüğü durumlarda, sistemin emniyetli çalışmasını sağlar. Bu işlemden sonra, I. Hattaki sorun giderilene kadar I. Hat devre dışı kalır ve slam-shut attıktan sonra istasyonunu II. Hattı devreye girer. I. Hat regülasyon set değerleri minimum 2.8 bar, maksimum 4.8 bar, II. Hat set değerleri ise minimum 2.6 bar ve maksimum 5.0 bardır. Regülasyon set değerleri bir iğne vana yoluyla I. ve II. hat regülatörlerinin üzerinden ayarlanabilmektedir.

Pilot tahrikli regülatörlerin çalışması sırasında;

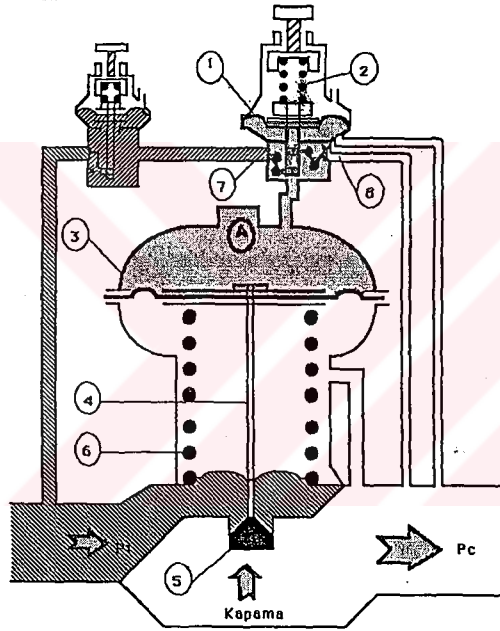
- a) Çıkış basıncı düştüğü zaman pilot üzerinde bulunan 2 nolu yay 1 nolu diyaframı aşağı doğru iter, böylece 7 nolu giriş vanasını açar, bu esnada 8 nolu çıkış vanasını kapatır. (Şekil 3.8)



Şekil 3.8: Çıkış basıncı düşmesi halindeki çalışma

b) Böylece A haznesinde bulunan $P_{d.a.}$ basıncını yükselterek 3 nolu diyaframı aşağı doğru iter. 4 nolu çubuk vasıtası ile 5 nolu vana açılır ve çıkış basıncı yükselir. Bu olay 6 nolu yay kuvveti ve çıkış basıncı 3 nolu diyaframın yapmış olduğu baskıyı karşılayana kadar devam eder. Bu kuvvetler dengelendiği anda, zaten çıkış tarafındaki basınç istenilen değere ulaşmış olacaktır.

Çıkış basıncı istenilen değeri aştığı zaman, şekil 3.9'da görüldüğü üzere, çıkış basıncının artması ile 1 nolu diyafram yukarı kalkacak, 7 nolu vana kapanacak ve 8 nolu vana açılacaktır. Böylece A haznesinde bulunan $P_{d.a.}$ basıncı düşecektir; bu basıncın düşmesiyle 3 nolu diyafram 6 nolu yay tarafından yukarı itilecek ve böylece 5 nolu vana da kapanmış olacaktır. Bu vana kapanınca çıkış basıncı da istediğimiz değere ulaşacaktır.



Şekil 3.9: Çıkış basıncı artması halindeki çalışma

4. DOĞAL GAZ NAKİL HATLARI TASARIM ESASLARI:

4.1 Tasarım Basıncı:

Tasarım basıncı, borunun karşılaşılabileceği iç ve dış basınçlar dikkate alınarak hesaplanan en büyük basınçtır. Bir borunun en yüksek çalışma basıncı olarak da ifade edilen tasarım basıncı, borunun çapına, et kalınlığına ve malzemenin gerilme direncine, fabrikasyon özelliklerine bağlıdır. (Gündoğmuş, 1993)

4.1.1. Gaz taşıma hatları tasarım basıncı:

ANSI B31.8-1975 “Gaz Transmission And Distribution Systems 1982” kodunda sıcaklık faktörünü içeren metal boru hatları formülü ile plastik gaz hatları formülü yer almaktadır. Gazın sıcaklıkla genişleyeceği dikkate alınarak sıcaklık faktörünü içeren formülün gaz boru hatları dizayn basıncı tespitinde kullanılması tercih edilmektedir

$$P = \frac{2StE}{D} FxC_T \quad (\text{Metal gaz boru hatları için}) \text{-----}(4.1)$$

Et kalınlığı ve tasarım basıncı formüllerinde geçen S ve S_A farklı kavramlardır.

4.1.2. Gaz ve sıvı taşıma hatları (ANSI, ASME B31.3-1983 Baskısı):

Yukarıda yer alan metal boru hatları tasarım basınç formülü dışında, ANSI B31.3 1976 “Petroleum Refinery Piping” kodunda aşağıdaki iki formülden birinin kullanılması da mümkündür.

$$P = \frac{2S_A t E}{D - 2tY} \Rightarrow t = \frac{PD}{2(S_A E + Py)} + C \text{-----}(4.2)$$

Bu formülün seçilmesinde $D/t > 4$ koşulu aranmalıdır. Y “ferritic” çelik borular için sıcaklık faktörüdür. Yüksek sıcaklıkta çalışacak boru hatlarının basınç dizaynında bu formülün kullanılması tercih edilmektedir.

Diğer formül “Lame denklemi” diye bilinir. Boru et kalınlığını bulmaya göre düzenlenmiş olan Lame formülü:

$$T = \frac{D}{2} \left[1 - \sqrt{\frac{SE - P}{SE + P}} \right] \text{-----(4.3)}$$

Basınç dizayn formüllerinden hesaplanan et kalınlığı t nin değerine göre, boru malzemesi seçiminde dikkat edilmelidir. Şöyle ki:

$t \geq D/6$ veya $(P/S_A E) \geq 0.385$ ise , boru malzemesi seçiminde yorulma (fatigue), bozunma ve ısı etkiler göz önünde bulundurulmalıdır.

Tip A için $F=0,72$

Tip B için $F=0,60$

Tip C için $F=0,50$

Tip D için $F=0,50$

E: yanal bağ faktörü

Dikişsiz borular için $E=1.00$

Elektrik füzyon kaynaklı ASTM A134 boru için $E=0.80$ spiral kaynak A211 için $E=0.80$

Dip veya kök (Butt) kaynak ASTM A53 ve API-5L borular için

$E= 0.60$

C: Korozyon payı

T(°F)	C _T	T(°F)	C _T
250	1,00	350	0,933
300	0,967	400	0,933
-	-	450	0,867

Y: “Ferritic” çelik boruların sıcaklığa bağlılık faktörü. Yüksek sıcaklıkta çalışacak boru hatlarında kullanılır.

T(°F/°C)	Y	T(°F/°C)	Y
≤900/482	0,4	1050/566	0,7
950/541	0,5	1100/593	0,7
1000/538	0,7	≥1150/621	0,7

$t \geq D/6$ ise $Y=d/(D+d)$ eşitliği kullanılabilir.

Genel anlamda, her metal borulama sistemi servis koşulları dikkate alınmadan -250°F ile $+250^{\circ}\text{F}$ arasında en düşük 10 psi'lik tasarım basıncına sahip olabilmelidir. Bu değerler temel değerlerdir.

4.2 Tasarım Sıcaklığı

Normal çalışma ortamında beklenen metal sıcaklığıdır. -20°F ile 250°F arasındaki metal sıcaklıklarında tasarım (design) ve gerilim basınçlarını (design stress) değiştirmeye gerek yoktur. Bununla birlikte bazı malzemeler, sıcaklık bandının düşük bölümüne uygun özellikler taşımayabilir. Düşük atmosferik sıcaklıklar için uygun malzeme seçimi yapılmalıdır.

Yukarıdaki formüllerden biri ile hesaplanan et kalınlığı aşağıda sıralanan nedenlerden dolayı artırılabilir.

- 1) Korozyon payı
- 2) Diş açma
- 3) Bükülmeden dolayı oluşabilecek inceleme
- 4) Nominal et kalınlığı için yapım hatası toleransı

4.3 Et Kalınlığı Sıra Numarası

E.K.S. Numarası Amerikan boru kodu formülüne dayanır. Özellikle basınçlı sistemlerde kullanılacak borular için bilinmesi gereken bir niceliktir.

$$E.K.S.N = (\text{Schedule Number}) = (P/S_A) 1000$$

1000=Kesirli sayıyı tamsayı yapmak için konmuştur.

$$\text{Sıcaklık sınırı: } -290 < T < 650^{\circ}\text{C}$$

S.N (Schedule) dizisinde, boru ağırlıkları bazı harflerle ifade edilir.

STD: Standart ağırlıklı boru

HX: Ekstra ağırlıklı boru

XXH: İki kat ekstra ağırlıklı boru

4.4. Boru Hattı Çapının Belirlenmesi:

Genel durumlar:

- 1) İstenen debi, Q , istenen çıkış basıncı P_2 ile çıkıştan alınabilmelidir.
- 2) Hattın herhangi bir noktasındaki basınç düşümü dizayn basıncına ulaşmamalıdır.
- 3) Optimum boru çapı, basınç düşümü ve boru maliyetine bağlıdır.
- 4) Herhangi bir hat içinde, akış basıncına karşıt olan ve yenmeye çalışan, giderek akışın durmasına yol açan basınç sürtünme basıncıdır. Hat başından verilen enerji sürtünme basıncını yenmeye çalışır. Bunun yanında akış yerçekimine karşı, yüksek bir yere taşınıyorsa, ayrıca onun için de enerji gereklidir. Dolayısıyla, hat başından verilen enerji, yatay olmayan bir hat için, eğer giriş çıkıştan düşük yerde ise, bir yandan sürtünme basıncını yenmeye bir yandan da, akışkanı istenen debide, istenen noktaya götürmek için kullanılacaktır. (Katz, 1990)

4.5 Sürtünme Basınç Kaybı

Yatay bir hat için, basınç kaybı sürtünmeden dolayı ortaya çıkacaktır. Çapın büyüklüğünü sürtünme kaybına bağlı olarak bulmak için, sürtünme basınç düşümü bilinmelidir.

$$\Delta P_f = 2f_f \frac{L}{D} \frac{V^2}{\rho_c} P = \frac{32f_f L Q^2}{\pi^2 D^5 \rho_c} P \leftarrow V^2 = \left(\frac{Q}{A}\right)^2 \text{-----(4.4)}$$

Boru çapı:

$$D^5 = \frac{32f_f L Q^2}{\Delta P_f \pi^2 \rho_c} P \text{-----(4.5)}$$

Bu formülün gaz hatlarındaki basınç düşümü ve çap belirlenmesinde kullanılması için P ve Q 'nun veya v 'nin akış basınç ve sıcaklığındaki değerlerini bulmak gerekir.

4.6 Ekonomik Çap:D

Boru hattı çapının etkin olduğu veriler:

ÇAP	Etkilediği veri	Formülü
D ↑	Q ↑ (Debi) v ↑ (hız) ΔP _f ↓ (sürtünme kaybı) C ↑ (maliyet)	$Q = (\pi / 4) (D^2) (v)$ $v = \frac{4(Q)}{\pi D^2}$ $\Delta P_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g_c}$ $C = BF (TL/M) L (m)$

Bir boru hattının ekonomik çapı, amortismanlı yatırım maliyeti ile optimum işletme maliyetinin toplamına bağlı olarak saptanır. Toplam maliyet birim zamana veya birim üretime düşen miktar şeklinde TL/M³, TL/varil, TL/yıl veya TL/gün gibi ifadelerle belirtilebilir. Bu toplam maliyetle minimum (ekonomik) çap arasında yapılan korelasyonlar sonucunda aşağıdaki ampirik formül elde edilmiştir.

$$D = \frac{Am^{0,45}}{p^{0,31}} \text{-----(4.6)}$$

4.7 Uzunluk: L

Hattın uzunluğu işin hacmini ve maliyetini belirler. Kesin uzunluk, hat güzergahının gerçek ölçümü ile bulunur. Topografik haritalardan yararlanmak suretiyle, harita üzerinden hat uzunluğunu hesaplamak mümkündür. Fakat, dere-tepe geçitleri içeren bir hattın uzunluğu ölçme ile sağlıklı bir şekilde elde edilir.

4.8 Sivri Kuvvetlerin Etkin Olduğu Noktalar

4.8.1 Değişik basınçlı iki hattın birleşmesi:

Her ne şekilde olursa olsun, ister vana yoluyla, ister kaynak bağlantı halinde düşük ve yüksek basınçlı iki hat bir noktada birbirlerine bağlanacaksa bağlantılarda kullanılacak malzemeler yüksek basınç hattının malzemesine uygun olmalıdır. Şöyle ki, farklı basınçta çalışan iki hat bağlandıklarında, hatları ayıran vana en kötü çalışma ortamında kalacaktır. Bir hat bir ekipmanın daha yüksek basınç koşullarında çalışan bir parçasına bağlanırsa ekipmandan hattı ayıran vana en az ekipmanın çalışma basıncına dayanır nitelikte olmalıdır. Aralarındaki borulama da operasyon koşullarına en azından dayanabilmelidir.

4.8.2 Dönüslere uygulanan statik ve dinamik basınç kuvvetleri:

Uzun bir boru hattı, pek nadir dümdüz ve dosdoğru gider. Bazı yerlerde ya istenen yönden ya da arazinin yapısından dolayı dönüşler yapar. Bu dönüşler borunun bükülebilme elastik sınırı içinde ise aradan boru bükülerek geçilir, eğer bu sınırı aşacak dönüş gerekiyorsa o durumda dirsekler kullanılır. Bükülebilirlik boru çapına ve malzemesine bağlıdır. Bakır boru veya tubing çelik boruya göre daha kolay bükülür.

- İç Basınçtan Dolayı Ortaya Çıkan Basınç Kuvveti

- Kapalı vana ve kör flanjlara üzerine:

- Basınç kuvveti= $P \times A$

- Dönüşler ve dirsekler üzerine

$$\text{Basınç kuvveti} = 2 \left(\sin \frac{\theta}{2} \right) (PA)$$

- Hız basıncının uyguladığı kuvvet

$$\text{Dinamik kuvvet} = 2 \left(\sin \frac{\theta}{2} \right) \left(\frac{PQv}{\rho_c} \right)$$

- Toplam basınç kuvveti= Statik + Dinamik:

$$F_t = 2 \left(\sin \frac{\theta}{2} \right) \left(\frac{PQv}{\rho_c} + PA \right)$$

$Q = vA$ yazılabilir.

$$F_t = 2 \left(\sin \frac{\theta}{2} \right) \left(\frac{Pv^2 A}{\rho_c} + PA \right) \text{ olur.} \text{-----(4.7)}$$

4.9 Basınç Kuvvetinin Hesabında Kullanılan İç Basınç, P_i :

- a) $P > (P_{mç} + P_v)$
 b) $P_i > P_{test}$ olmalıdır.

Akışkanın boru dönüşlerine veya vana, orifis plakası gibi kısıtlayıcı ya da kapayıcılara iç basıncın büyüklüğü ile belirgin bir şekilde artan bir kuvvet uygulanmaktadır. Vana dilleri (plug-inner valve) ve kör flanşlarla, orifis plakaları ya da dirsekler bu kuvvete dayanabilir malzemeden seçilmelidir. Dönüş yerleri dış desteklerle desteklenmelidir.

Boru desteklerinin aralıklarının en fazla ne kadar olabileceğine ilişkin öneriler

Çizelge 4.1 Boru destek aralıkları

Nominal boru çapı (inch)	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	24
Aralık (ft)	7	9	10	11	12	13	14	16	17	19	22	23	25	27	28	30	32

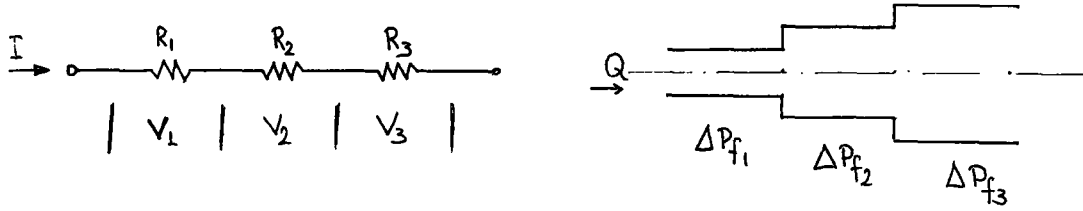
4.10 Karışık Bağlantılı Hatlar İle Elektrik Devre Bağlantılarındaki Benzerlikler

Uygulamada değişmez çaplı tek bir hat sistemi oldukça azdır. Özellikle proses borulamada akış toplama ve dağıtma bağlantılarında karmaşık yapılar kullanılır.

Çapları değişik olan boruların arka arkaya bağlanması seri (sıralı) bağlantı sistemine girer. Bu bağlantıda akış miktarı değişmez, fakat basınç kayıpları çap büyüklüklerine göre az veya çok olabilir. Seri bağlı elektrik devresi ile benzeşme kurulabilir.

4.10.1. Seri bağlı değişik çaplı hatlar:

	Elektrik	Akışkan
Akım \equiv Debi	$I=I_1=I_2=I_3$	$Q=Q_1=Q_2=Q_3$
Gerilim \equiv Basınç	$V=V_1+V_2+V_3$	$\Delta P_f = \Delta P_{f1} + \Delta P_{f2} + \Delta P_{f3}$
Direnç \equiv Direnç	$\frac{V}{I} = \frac{V_1}{I_1} + \frac{V_2}{I_2} + \frac{V_3}{I_3}$	$C \frac{\Delta P_f}{Q} = \frac{\Delta P_{f1}}{Q_1} C_1 + \frac{\Delta P_{f2}}{Q_2} C_2 + \dots$
	$R=R_1+R_2+R_3$	$K=K_1+K_2+K_3$



Şekil 4.1 Seri bağlı hatlarda elektrik bağlantı özdeşliği

Seri bağlı sistemde akış aynıdır, fakat basınçlar değişir. Bu nedenle basınçlar her değişik çaplı boru bölümü için ayrı ayrı hesaplanır.

4.10.2 Paralel bağlı hatlar:

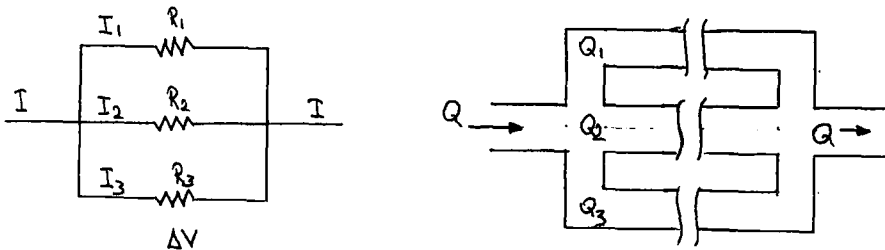
Paralel bağlı hatlarda durum yukarıdakinin tersinedir.

$$Q=Q_1+Q_2+Q_3$$

$$L_1=L_2=L_3 \text{ ve}$$

$$D_1=D_2=D_3 \text{ ise}$$

$$\Delta P_f = \Delta P_{f1} = \Delta P_{f2} = \Delta P_{f3}$$



Şekil 4.2 Paralel bağlı hatlarda elektrik bağlantı özdeşliği

Eğer, çap ve uzunluklarda değişme varsa o zaman basınç düşümü olarak en büyük basınç düşümü ΔP_f olarak kabul edilir.

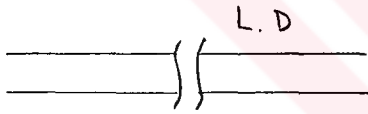
4.11 Boru Direnç Katsayısı

$$K=C \Delta P_f \Rightarrow C = f \frac{1}{\mu} AL \text{ 'dir.} \quad \text{-----(4.8)}$$

C: Boru ve akışkanın değişmez özelliklerine bağlı katsayı

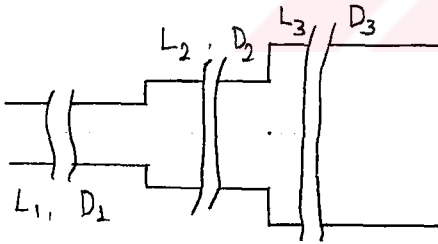
4.12 Karışık Bağlantılarda Q, P, L/D Ve Uzunlukları

Bağlantı **Debi ve Basınç Düşümü**



$$\Delta P_f = f \cdot \frac{Lv^2}{D \cdot 2 \rho_c}$$

Çapı değişmeyen basit tek hat

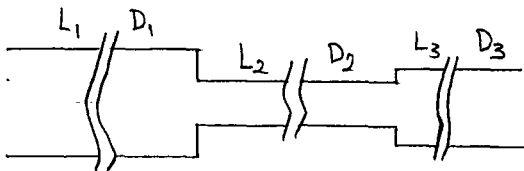


$$Q_1 = Q_2 = Q_3$$

$$\Delta P_f = \Delta P_{f1} + \Delta P_{f2} + \Delta P_{f3}$$

Değişik çaplı seri bağlı hat

$$Q_1 = Q_4 = Q_3 + Q_2$$



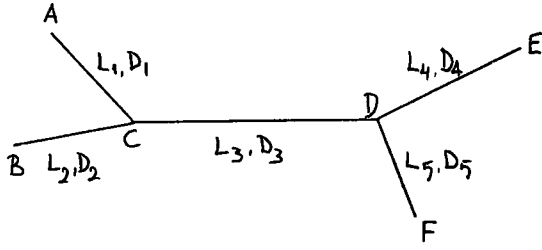
$$\Delta P_f = \Delta P_{f1} + \Delta P_{f3} \text{ (veya } \Delta P_{f2}) + \Delta P_{f4}$$

eğer $D_3 = D_2, L_3 = L_2$ ise, $\Delta P_{f3} = \Delta P_{f2}$ olur

D veya L eşit değilse toplama

büyük olan ΔP_f girer

Paralel bağlı hat



$$Q_3 = Q_1 + Q_2 = Q_4 + Q_5$$

AC arasında:

$$\Delta P_f = f \cdot \frac{L_1 v_1^2}{D_1 \cdot 2 \rho_c} \text{-----(4.9)}$$

diğerleri de aynı şekilde hesaplanır.

Karışık bağlı hat

Şekil 4.3 Değişik çaplı boruların seri ve paralel bağlantıları

Çizelge 4.2: Eşdeğer çap ve uzunluk formülleri

Eşdeğer çap ve uzunluk		
Nicelik	Weymouth	Panhandle
SERİ BAĞLANTI		
Eşdeğer Çap	$D_1 = D_2 \left(\frac{L_1}{D_2} \right)^{3/16}$	$L_1 = D_2 \left(\frac{L_1}{D_2} \right)^{0.2060}$
Eşdeğer Uzunluk	$L_1 = L_2 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^{16/3}$	$L_1 = L_2 \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^{4.854}$
PARALEL BAĞLANTI		
Eşdeğer Çap	$\frac{D_0^{8/3}}{L_0^{1/2}} = \frac{D_1^{8/3}}{L_1^{1/2}} + \frac{D_2^{8/3}}{L_2^{1/2}}$	$\frac{D_0^{2.618}}{L_0^{0.5394}} = \frac{D_1^{2.618}}{L_1^{0.5394}} + \frac{D_2^{2.616}}{L_2^{0.5394}}$

Aynı basınç kaybına, ufak çaplı borularda daha kısa mesafede rastlanırken, geniş çaplı borularda uzun mesafede rastlanacaktır. Bu da boru maliyeti ile basınç kaybının karşılığını göstermektedir.

$$\Delta P_f = f_a \frac{18278 v_a^2}{12/122 \rho_c} P = f_b \frac{102,44 v_b^2}{6/12 \quad 2 \rho_c} f' \text{ dir.} \text{-----(4.10)}$$

Eşdeğer uzunluklar, sürtünme basınç kaybının ekonomik yoldan hangi çaptaki boruyla karşılanabileceğinin kısa yoldan çözümüne ve aynı zamanda pompa seçimine ışık tutar. (16)

4.13 Hat Tasarımında İş Programı ve Malzeme Seçimi

- 1) Boru hattının döşeneceği ve geçeceği yerler büyük ölçekli (1/25.000) haritalar üzerinde işaretlenir.
- 2) Döşenecek hattın profili çıkarılır. Profilde, dönüş noktaları "some" kazıkları ile işaretlenir. Profilden alınan bilgiler kullanılarak basınç düşümü hesaplanır. En yüksek ve en düşük basınç noktaları belirlenir. Hattın basınçlandırılması gereken noktalarına kompresör kurulur.
- 3) Kanal açma işleminde kullanılacak ekipmanlar belirlenir. Kanalin kaya, toprak hafriyat miktarları ve m³ maliyetleri tahmini olarak hesaplanır. Kanal genişliği ve derinliği, hat çapına ve zeminine göre saptanır.
- 4) Basınç düşümüne, debiye, akışkan cinsine göre boru tipi belirlenir. Boru malzemesi, ASTM, ANSI, DIN ve TS 6047 standartlarına göre seçilebilir.
TS 647 göre borular: A25, A, Bx42, x46, x52, x56, x65, x70, x80 şeklinde sınıflanmıştır. Boru çapı, debi miktarı ve basınç kaybı dikkate alınarak belirlenir. Borunun malzemesinin seçiminde korozyon olgusu ön plana geçer. Korozyonla ilgili gerekli bilgi ve tespitlere ileriki kısımlarda değinilecektir.

4.14 Hat Tasarımında Bilinmesi Gerekenler

- 1) Boru hattı uzunluğu (m)
- 2) Kullanılacak çaplara göre metrajı (Örneğin, Bulgaristan-Ankara doğal gaz hattının 308,3 km.si 36", 428,5 km.si 26" çaplı borularla döşenmiştir).
- 3) Kullanılacak dirsekler (90⁰ LR, SR veya 45⁰ LR, SR tipler, LR:Long Radius, SR: Short Radius)
- 4) Kaynak elektrotlarının miktarı ve tipi
- 5) Boru hattının basınç düşüm profilinin çıkarılması (En yüksek ve en düşük basınç düşüm noktalarının belirlenmesi, kompresör istasyonları yer tespiti)
- 6) Basınç, sıcaklık, akış ölçüm aletlerinin firma, model, sayı, ölçüm kapasitelerinin ve ölçüm birimlerinin belirlenmesi, bağlantı şemalarını çıkartılması

7) Güvenlik aygıtlarının belirlenmesi: basınç emniyet vanaları (PSV: Pressure Safety Valve), kontrol vanaları, basınç anahtarları (PSH: Pressure Switch High). Emniyet vanaları çıkış kapasitelerinin hesaplanması

8) Kanal hafriyatında engel aşımı için gerekli işlemlerin tespiti, gerekiyorsa patlayıcı miktarının tespiti ve gerekli izinlerin alınması

9) Mühendis, teknisyen, kaynakçı gibi elemanların seçilmesi eğitimi

10) Hat işletme sistemi seçimi:

a) Her şey operatörlerce açılıp-kapatılabilir (Manuel sistem)

b) Yarı otomatik sistem (Vanaların bazıları otomatik bazıları manuel)

c) Tam otomatik (Operatörler sadece gözlemcidir, arıza halinde müdahale eder)

d) Tam otomatik uzaktan kumandalı sistem. (Elektro-pnömatik bilgisayar kontrol sistemidir.

Bir vananın açma-kapama işlemi km.lerce öteden yapılabilir) böyle tam otomatik uzaktan kumandalı sistem SCADA kısaltmasıyla ifade edilmektedir. (Katz, 1959)



5. DOĞAL GAZ NAKİL HATTI MALZEME STANDARTLARI ve TEST UYGULAMALARI

5.1 Giriş

İGDAŞ bünyesinde gerçekleştirilen çelik hat çalışmalarında ve öncesinde, ne gibi standartların uygulandığını vurgulamak, nakil hatlarımızda meydana gelen kirlilik probleminin anlaşılmasını ve irdelenmesini kolaylaştırıcı bir etken olacak ve şu ana kadar ki teknik verilerin ışığında, problemin kaynaklarını ve sistem bileşekelerini gözler önüne sererek faydalı olacaktır.

5.2. Çelik Boru Hattı Malzeme Standardı

25 barlık basınç değerinin altında çalışması planlanan doğal gaz nakil hatlarında API spec. 5L gradeB (1984) standartlarına uygun çelik boru malzemesi kullanılmaktadır. (Sofregaz, 1986)

5.2.1 Çelik karakteristikleri

5.2.1.1 Tip

Kullanılmakta olan borular kaynaklı çelik tipte ve karbon eşdeğer miktarı API spec. 5L grade B'de belirlenen miktarlara uygundur.

5.2.1.2 Kimyasal özellikler

Kaynaklı Boru Grade B:	Karbon (C)	: %0,26 max
	Manganez (Mn)	: %1,15 max
	Fosfor (P)	: %0,04 max
	Kükürt (S)	: %0,05 max

5.2.1.3 Mekanik özellikler

Kaynaklı Boru Grade B	: Akma noktası 24,6 kg/mm ²
	: Gerilme mukavemeti: 42,2 kg/mm ²

5.2.2 Boru karakteristikleri:

5.2.2.1 Boyutlar

Basic Grid ya da ana dağıtım hattı denilen çelik hat kısımlarını oluşturan her bir parça boru boyu 12 m.dir.

Nominal çapları ne olursa olsun, borular spiral ve uzunlamasına kaynaklıdır. Çizelge 5.1'de API spec. 5L grade B'ye göre boyutlar verilmektedir.

Çizelge 5.1 API 5L Grade B çelik boru spesifikasyonu

Ø Nominal		Dış Çap		Test Basıncı	Et Kalınlığı		İç Çap	Ağırlık (kg/m)
mm	İnch	mm	inch		mm	inch		
200	8	219,1	8 5/8	63	4,78	0,188	209,5	25,23
300	12	323,8	12 3/4	50	5,56	0,219	312,7	43,66
400	16	406,4	16	45	6,35	0,250	393,7	62,63
500	20	508,0	20	41	7,14	0,281	493,7	88,15
600	24	609,6	24	38	7,92	0,312	593,8	117,57
700	28	711,2	28	39	9,52	0,375	692,2	164,80
800	32	812,8	32	39	11,13	0,438	790,5	219,91

Boru uçları içten ve dıştan taşlanarak 30°'lik kaynak ağzı açılmış durumdadır.

5.2.3. Uygulanan testler

AKTİF SEKÖR İNŞAAT
DÖNÜŞÜM VE YATIRIM MENKUL DEĞERLER A.Ş.

Çelik boruların her bir boyu (12m), hidrostatik teste tabi tutulmuş ve API spec. 5L standartlarına göre sızdırmazlık sertifikalı olarak üretici firmadan alınır. Tablo 6.1'de boru çapına uygun test basınçları verilmiştir. İlk imalat sonrası tüm kontroller, boyut iç ve dış kaplamalar ve boru uçları belirlenen frekansta üretici firma tarafından yapılır.

Ayrıca çelik boruların mekanik mukavemeti ile ilgili testler de firma tarafından, belirlenen frekansta yapılır. Bu testler arasında boyuna çekme testi, enine çekme testi, kaynak gerilme testi, düzleştirme testi, bükme testi bulunmaktadır.

Kaynak bağlantıları ve izolasyon sargı kontrolleri de firma tarafından yapılmış olarak borular teslim alınmaktadır.

5.2.4. Dış ve iç kaplama

5.2.4.1. Dış kaplama

DIN 30670'e göre 3 kat Polietilen uygulanarak boru dış yüzeyi uçlardan 50 mm boşluk kalacak şekilde ve minimum 2.5 mm kaplama kalınlığında kaplanır. Üretici tarafından dış kaplamanın gözenek, darbe, yapışma, delici uca karşı direnç ve kopma uzaması testleri yapılmış olarak çelik borular teslim alınmaktadır.

5.2.4.2. İç kaplama

1998 yılı öncesinde alınan çelik borularda istenmemiş olukla beraber, 1998 yılı ve sonrası için alınan çelik borularda, API RP 5L2 standartlarına göre 50-70 μ m kalınlıklar arasında, boru uçlarında 50 mm kaplanmış bölge kalacak şekilde epoksi ile iç kaplama yapılmış olarak çelik borular teslim alınmaktadır.

Üretici tarafından film kalınlığı, gözenek, bükme, yapışma, su, soyma ve kür testleri yapılmaktadır. Test frekansları şartnamelerle belirlenmektedir.

5.3. Çelik Boruların Teslim Alınması ve Depolanması

İmalatçı firmadan İGDAŞ depolarına kadar çelik hat borularının hangi proseslerden geçmesi gerektiği, teslim şartları ve depolama şartları ele alınarak dikkatinize sunulacaktır.

5.3.1. Boru ve boru hattı ekipmanlarının teslim alınması

Boru ve boru hattı ekipmanlarının nakliyesi öncesinde çelik boru karakteristiği, arazi ve yol yapısı göz önünde bulundurularak bir plan hazırlanmaktadır. Bu plan çerçevesinde, konstrüksiyon programına göre teslimat yapılır. Yükleme ve boşaltma sırasında meydana gelebilecek hasarlar imalatçı firma tarafından giderilir, değişim yapılır.

5.3.2. Boruların depolanması

Yükleme, kaldırma, boşaltma ve depolama işlemleri sırasında kaplamalı çelik boruların zarar görmemesi için maksimum dikkat gösterilmelidir. Çelik halatların kullanımı veya zincirlerin kullanımı boruya zarar vereceğinden kesinlikle müsaade edilmemelidir. Taşıma ve yükleme işlemleri sırasında çelik boruların herhangi bir hasara uğramaması, yassılaştırmaması ve boru uçlarının deforme olmaması için boruların dikkatlice yüklenip takozlanması gerekmektedir. Boru tabakaları herhangi bir yuvarlanma tehlikesine karşı mesnetlenmelidir.

Boşaltma işlemlerinde boru kaplamasına zarar verebilecek tüm ekipmanlar kesinlikle kullanılmamaktadır. Bu işlemler sırasında boruların bükülmesini engellemek için bir denge çubuğu, en az 100 mm genişliğinde burgulu kenevir, plastik yada deri kayışlar kullanılabilir. Boşaltma yada yüklemede kullanılan ahşap kalaslar ya pürüzsüz olmalı yada plastik kaplamalı olmak zorundadır. Ayrıca sıcak havalarda, günün serin saatlerinde kaplamalı çelik boruların yükleme-boşaltma işlemleri yapılmalıdır. 0 °C'ın altındaki sıcaklıklarda da bu işlemleri yapmaktan kaçınılmalıdır.

Depolama işlemleri sırasında, aynı yığın üzerine farklı çaplarda kaplamalı boru konulmamalı ve çapraşık biçimde yığın yapılmamalıdır. Yığının yer ile teması, takozlama yada zarar vermeyecek plastik esaslı dolgu malzemeleri ile önlenmelidir.

Depolama alanında, oluşturulacak bir yığın için maksimum dış kaplamalı çelik boru tabakası adedi aşağıdaki gibidir:

Nominal Boru Çapı(Ø)	Tabaka Adedi
25 mm	10
32 mm	8
50 mm	6
80 mm ve üzeri	2

Yığın şartları arasına neopren şeritleri, hasır yada zarar vermeyecek plastik esaslı diğer esnek malzemeler yerleştirilmelidir.

5.3.3. Boru hattı ekipmanlarının depolanması

Vanalar, izolasyon flanşları ve flanşlar gibi boru hattı ekipmanlarının zemin ile teması altı takozlanarak ya da mesnetlenerek engellenir, üzerleri ise katranlı muşamba ya da naylon tabakalarla koruma altına alınır. İzolasyon flanşları ve vanaların her iki ucu da herhangi bir nem, toz, çamur girmemesi için, geçici olarak ahşap tapalarla ya da plastik tapalarla kapatılır.

5.4. Doğal Gaz Çelik Boru Hattının Hidrostatik Sızdırmazlık Testi

5.4.1. Test ilkeleri

Doğal gaz çelik boru hattı uzun ve kısa test olmak üzere iki ayrı şekilde test edilir; Uzun test hacimsel olarak 20 m³ değerinin üzerindeki boru hattı test üzerindeki kısımlarda uygulanmakta, kısa test ise hacimsel olarak 20 m³ değeri ve altındaki boru hattı test kısımlarında uygulanmaktadır.(Sofregaz, 1990)

Bu testler için öncelikle;

- Eğer varsa sıcaklık değişimlerini dikkate alarak, test süresince teste alınan kısım içindeki mevcut ve teorik basınç kayıpları kıyaslanarak boru hattı test kısmının sızdırmaz sayılabileceği kontrol edilmelidir.
- Eğer sızdırmazlıkta belirgin bozulma meydana gelirse, bir ihmal edilebilir kaçak değeriyle kıyaslanır ve eğer bulunan bu basınç düşüşü değeri, ihmal edilebilir basınç düşüşü değerinin yarısından küçükse, sızdırmazlıktaki bozulma tolerans sınırları için de kabul edilebilir.

5.4.2. Test hazırlıkları

ULKESTEK OCAK VE ZARFI
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Test hazırlıklarına başlamadan önce vurgulanması gereken iki nokta vardır:

- Test boyunca ölçülecek sıcaklıklar, boru hattının içindeki suyun o anki sıcaklığı değil, boru hattının hemen civarındaki zeminin sıcaklıklarıdır.
- Verilen basınç ve sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan, hava ve suyun hacmindeki değişimler benzer değildirler ve aynı formüller ile ifade edilmezler.

Bu ifadelerden yola çıkarak, sızdırmazlık testinin başlaması için iki adet hazırlık şartı olduğu söylenebilir:

- 1) Öncelikle boru hattı ile zemin arasındaki sıcaklık eşit hale gelmelidir. Pratik olarak, test edilecek kısmı su ile doldurduktan sonra, test edilecek kısmın hemen civarındaki zemin sıcaklığı ile suyun sıcaklığını birbirine yakın farz edecek yeterli zaman geçmiş olmalıdır; ki bu iki sıcaklık değerinin ileri ki bağlı dalgalanmaları, eğer olursa, aynı yönde olacaktır.
- 2) Öte yandan, test edilecek kısmı su ile doldurduktan sonra içeride kalan hava miktarı test sonucunu bozabilecek sınırları aşmamalıdır. Teste alınacak kısmın hava içeriği şöyle kontrol edilir; ilk olarak, hacimsel olarak belirli bir miktarda su boşaltılarak oluşan ΔP_1 basınç düşüşü değeri elde edilir. Daha sonra, teste alınacak kısım tamamıyla havadan arındırılmış kabul edilerek aynı miktardaki suyun boşaltılmasıyla oluşacağı hesaplanan ΔP_0 basınç düşüşü ile ΔP_1 basınç düşüşü değerleri kıyaslanarak hava içeriği tespit edilir.

5.4.3. Test uygulamaları

Herhangi bir sızdırmazlık testi, en fazla 3 basınç değeri okunarak yapılır. İlk iki okuma, boru hattının sızdırmaz sayılıp sayılmayacağına karar vermekte kullanılır. Aksi takdirde, kısa bir zaman ilavesinden sonra üçüncü bir okuma, sızdırmazlıkta mevcut bozulmayı tespit etmek amacıyla yapılır. Eğer bu 3 basınç okuması değerinin yorumlanmasından herhangi bir karara varılamamışsa, üç günlük bir süreyi aşmayacak şekilde, yeni bir test uygulanır.

5.4.3.1 Uzun test

5.4.3.1.1. Test uygulanan kısım sızdırmazlığının 24 saat boyunca kontrolü

24 Saat boyunca, sıcaklık değişimleri dikkate alınmalıdır. Bu nedenle teste alınan kısımda, testin başı ve sonu arasında ölçülen ($P_1 - P_2$) basınç değişim değeri, testin başı ve sonu arasındaki ($T_1 - T_2$) sıcaklık değişiminden kaynaklanan ΔP basınç değişimi ile mutlaka düzeltilmelidir.

Diğer taraftan, çelik boru hattının iç hacmi ($T_1 - T_2$) sıcaklık farkından kaynaklanan elastik deformasyona bağlı olarak değişmektedir.

Öte yandan, suyun hacmi, $(T_1 - T_2)$ sıcaklık farkından kaynaklanan ısı deformasyonuna bağlı olarak ve ΔP 'nin etkisi altında sıkıştırılabilirliğini takiben değişim göstermektedir.

Çelik boru hattının hacim değişimi, içindeki suyun hacim değişimi ile belirgin bir şekilde özdeşdir.

Buradan şu formüller elde edilir;

$$\Delta P = \frac{\mu - \gamma}{\chi + \frac{D}{E.e}} (T_1 - T_2) \quad \text{-----(5.1)}$$

veya

$$\Delta P = K (T_1 - T_2) \quad \text{-----(5.2)}$$

Sıcaklığa bağlı olan μ, γ ve χ , testin T_2 sıcaklığında diyagramlardan okunmalıdır. Esas olarak, test kısmının hemen yakınından ölçülen $(T_1 - T_2)$ sıcaklık değişimi tamamen suya geçmemektedir. Boru hattı ebadı büyüdükçe, yani dış yüzey alanının boru hacmine oranı küçüldükçe, test boyunca $(T_1 - T_2)$ 'nin suya aktarılan kısmı da azalır. Bu yüzden $(T_1 - T_2)$ değerine 0 ile 1 arasında değişen bir düzeltme faktörü (f) uygulanır. (f) boru dış çapına bağlı olarak diyagramdan okunmalıdır. Diyagram ise laboratuvar sonuçlarından elde edilmektedir.

Sonuç olarak ΔP şöyle elde edilebilir

$$\Delta P = K.f.(T_1 - T_2) \quad \text{-----(5.3)}$$

ve

a) Teorik olarak, eğer boru hattı sızdırmaz ise:

$$P_1 - P_2 - \Delta P = 0 \quad \text{-----(5.4)}$$

olur. ΔP , $(P_1 - P_2)$ ve $(T_1 - T_2)$ cebirsel olarak ifade edilmelidir.

b) Pratikte ise ΔP 'nin hesabında ve test kısmı boyunca suyun ortalama sıcaklığında evrensel bir H belirsizliği vardır. Bu sebeple test kısmı aşağıdaki durumda sızdırmaz kabul edilir.

$$|P_1 - P_2 - \Delta P| < H \quad \text{-----(5.5)}$$

Burada;

$$H = \frac{df}{f} |\Delta P| + 0,2 |K| f \quad \text{-----}(5.6)$$

olur. K, ΔP ve $P_1-P_2-\Delta P$ değerleri mutlak olarak ifade edilmelidir.

5.4.3.1.2. Bir saatlik test uzatımı boyunca bir bölümdeki mevcut sızdırmazlık bozulmasının yaklaşık olarak tespit edilmesi

Bu kadarlık bir zaman dilimi, ölçülen (P_2-P_3) basınç düşümü üzerinde herhangi bir sıcaklığa bağlı düzeltme gerektirmeyecek kadar kısadır.

(P_2-P_3) basınç düşümü, ihmal edilebilir bir kaçağın neden olacağı $\Delta P'_0$ basınç düşümü ile karşılaştırılır.

İhmal edilebilir kaçak ise, test basıncında, çaptaki 0,1 mm'lik ince bir delikten doğabilecek su kaçağıdır.

Test kısmı aşağıdaki durumda sızdırmaz kabul edilir:

$$(P_2-P_3) < 0,5 \Delta P'_0 \quad \text{-----}(5.7)$$

5.4.3.2. Kısa test

5.4.3.2.1. Bir saat boyunca bir bölümün sızdırmazlığının kontrolü

Bir zaman aralığı, ölçülen (P_1-P_2) basınç değişimi üzerinde, sıcaklığa bağlı herhangi bir düzeltme gerektirmeyecek kadar kısadır, ancak ölçülen basınç değişiminin belirsizliği aynı durumda kalmaktadır.

Bu sebeple, test kısmı şu durumda sızdırmaz kabul edilmektedir:

$$(P_2-P_2) < 0,5 \text{ bar.}$$

5.4.3.2.2. Yarım saatlik bir test uzatımı boyunca bir bölümdeki mevcut sızdırmazlık bozulmasının yaklaşık olarak tespiti

(P_2-P_3) basınç düşümü, ihmal edilebilir bir kaçağın yol açabileceği basınç düşümü $\Delta P'_0$ ile karşılaştırılmaktadır.

Test kısmı şu durumda sızdırmaz kabul edilmektedir:

$$(P_2-P_3) < 0,5 \Delta P'_0 \quad \text{-----}(5.8)$$

5.4.4. Test sonuçları

5.4.4.1. Test güvenilirliği

Bir sızdırmazlık testi, matematiksel bir formülün doğrulanmasına dayandığından, karşımıza üç farklı belirsizlik kaynağı çıkmaktadır:

- Matematiksel formüller sadece mevcut fiziksel değerleri yaklaşık olarak ifade etmektedir.
- Aletler sadece, fiziksel parametrelerin mevcut değerlerini yaklaşık olarak ölçmektedir.
- Test sonuçları aletlerden yaklaşık olarak okunmaktadır.

Bu sebeple, bir sızdırmazlık testi, test kısmında, sadece belirli bir hacme kadar içerideki su miktarının korunumunu garanti edecektir ve dolayısıyla da test kısmının sızdırmazlığının sadece belirli bir miktardaki kaçağa kadar garanti edecektir. Tespit edilemeyen bu kaçak seviyesi göz önünde bulundurulmamalıdır. Laboratuvar deneyleri, ihmal edilebilir kaçak dediğimiz kaçağa dayandırılan ve rastgele olmayan kararlara varmamızı sağlar.

5.4.4.2. Hacimler

Teste alınan bir test kısmının maksimum hacmi düzenlemelerle 5000 m^3 olarak sınırlandırılmıştır. Bu ise 150 mm çapta 250 km uzunluğa karşılık gelmektedir. Ana dağıtım hatları dikkate alındığında bu gibi uzunluklar pratikte uygun değildir. Esasen, test kısımları öyle sınırlandırılmalıdır ki 24 saat boyunca, ihmal edilebilir kaçağın yarısının neden olacağı basınç düşümü tespit edilebilsin. Buradan, test basıncına bağlı olarak, $5-10 \text{ km}$ uzunluğunda

bir maksimum test kısmı karşımıza çıkacaktır, boru hattının ebadı ve testin doğruluğu (A) şöyle olur;

$$v < \frac{12q}{A \left(\chi + \frac{D}{E.e} \right)} \text{-----(5.9)}$$

Şuna dikkat edilmelidir ki, test kısmının hacmi ne olursa olsun, en çok ihmal edilebilir kaçağın yarısı kadar bir sızdırmazlık bozulması kabul edilebilir sınırları içindedir. Bu sebeple, test kısmı uzadıkça, ihmal edilebilir kaçak test kısmının hacmine bağlı olmadığından, test işlemi de zorlaşacaktır.

Bir test kısmının hacmi 20 m³ ya da daha az ise, 24 saatlik testin yerine 1 saatlik bir test tercih edilir. Böyle bir limit rastgeledir. Vurgulanılmak istenen temel şey, ihmal edilebilir kaçağın yarısının neden olacağı sızdırmazlık bozulmasının çok kısa sürede tespit edilebildiği daha küçük test kısımları için, testin basitleştirilmesidir. Örneğin 30 barlık bir test basıncında 1 saatlik bir süre içinde en az 0,5 barlık basınç düşümünün ölçümüne kara verilmiş ise, test kısmının hacmi 30 m³'e kadar uzanabilir.

5.4.4.3 Basınç okumaları

Basınç, ölü ağırlık test ekipmanı ile ölçüldüğünden muhtemel barometrik basınç değişimleri için hiçbir düzeltme uygulanmamaktadır.

5.4.4.4 Sıcaklık okumaları

Test kısmı boyunca termometrelerin adedi, yerleştirme şekilleri ve doğruluk dereceleri testin güvenilirliği açısından hayati öneme sahiptir.

Test kısmı boyunca tüm sıcaklık değerleri $\pm 0,1$ °C doğruluğunda 1 saat içinde okunmalıdır, aksi takdirde metot uygulanabilirliğini yitirir.

5.4.4.5 Sıcaklıkların Dengelenmesi

Zemin ve su arasındaki, Q , ısı değişim oranını ifade eden formül şudur;

$$Q = \frac{\Delta Q}{R} \quad \text{-----(5.10)}$$

Burada:

$$R = \frac{\text{Log}_e \frac{4d}{D}}{2\pi K} \quad \text{-----(5.11)}$$

Zemin ve su sıcaklıklarının dengelenmesi için gerekli olan (t_f-t_1) ya da (t_f-t_2) zamanı, teorik olarak başlangıç anında su ve zemin sıcaklıkları arasındaki $\Delta\theta$ farkının değerine bağlıdır. Gerçekte, eğrinin şekline göre mesela (t_2-t_1) 'in $\Delta\theta$ 'sının etkisi, dengelenme zamanına kıyasla daha azdır. Deneylelerden de elde edildiği üzere, başlangıç $\Delta\theta$ değeri ne olursa olsun aşağıdaki dengelenme süreleri makul sayılmaktadır:

Boru dış çapı (D):
 $D > 750 \text{ mm} \Rightarrow 3 \text{ gün}$
 $400 \text{ mm} < D \leq 750 \text{ mm} \Rightarrow 2 \text{ gün}$
 $D \leq 400 \text{ mm} \Rightarrow 1 \text{ gün}$

5.4.4.6. Örnek olarak $q\Delta t$ litrelik suyun boşalması halinde oluşan ihmal edilebilir bir kaçağın neden olacağı ΔP_0^1 basınç düşümünün hesaplanması

$$\Delta P_0^1 = \frac{q\Delta t}{v \left(\chi + \frac{D}{E.e} \right)} \quad \text{-----(5.12)}$$

Burada P (bar), test basıncı olmak üzere;

$$P \leq 100 \text{ bar} \Rightarrow q = \frac{(P+5)}{15} \text{ lt/h}$$

$$P > 100 \text{ bar} \Rightarrow q = 7 \text{ lt/h}$$

5.4.4.7 H, belirsizliğin hesaplanması

Test süresince sıcaklık değişimine bağlı olarak, test kısmı içindeki ΔP basınç değişimini ifade eden formül şudur:

$$\Delta P = Kf(T_1 - T_2) \quad \text{-----}(5.13)$$

ΔP 'nin hesaplanması sırasındaki muhtemel hata oranı ise:

$$\frac{d(\Delta P)}{\Delta P} = \frac{dK}{K} + \frac{df}{f} + \frac{d(T_1 - T_2)}{T_1 - T_2}, \text{dir} \quad \text{-----}(5.14)$$

Buradan $H=d(\Delta P)$ belirsizliği şöyle ifade edilebilir;

$$H = d(\Delta P) = \frac{dK}{K} \cdot \Delta P + \frac{df}{f} \cdot \Delta P + \frac{d(T_1 - T_2)}{T_1 - T_2} \cdot \Delta P \quad \text{-----}(5.15)$$

Dikkat edilmelidir ki, K sıfıra eşit olabilir. Bu sebeple $\frac{dK}{K}$ değeri anlamsız bir şekilde yüksek çıkabilir. Bu ve benzeri olaylarla karşılaşmamak için $\frac{dK}{K} \Delta P$ terimi çıkartılmaktadır.

Bu işlem, test kabul edilebilirliğini güçleştiren H değerini minimize etmektedir. Bunun yanında, termometre doğruluğu $\pm 0,1$ °C olduğundan;

$$dT_1 = dT_2 = 0,1 \text{ ve } d(T_1 - T_2) = 0,2 \text{ olur.}$$

Ayrıca $\Delta P = K \cdot f \cdot (T_1 - T_2)$ olduğundan;

$$H = \frac{df}{f} |\Delta P| + 0,2 |K| f \quad \text{-----}(5.16)$$

olur.

ΔP ve K mutlak değer olarak ifade edilmelidir. $\Delta \frac{df}{f}$ değeri ise, farklı ortalama ısı iletkenlik katsayılarına sahip değişik zemin türlerine bağlı olarak f 'nin ortalama değeri civarında salınımını ifade eder.

5.4.4.8 Kısa testler boyunca Δp için 0,5 bar sınırının kabul edilebilirliği

Kısa testler göz önünde bulundurulduğunda (1 saatlik testler), eğer basınç düşümü 0,5 barı geçmişse, test kısmı sızdırmaz kabul edilir. Bu ise $\chi + \frac{D}{E.e}$ terimi en üst değeri olan $100 \cdot 10^{-6}$ 'ya eşit olduğu zaman 20 m^3 'lük bir test kısmı içinde 1 saat boyunca 1 litrelik bir kaçağın neden olduğu basınç düşümüne eşittir; ya da başka bir deyişle, boru hattı karakteristiklerinin en elverişsiz şartlarında, 10 barda, ihmal edilebilir bir kaçağın neden olabileceği basınç düşümüdür.

6. DOĞAL GAZ NAKİL HATLARINDA KİRLLENME OLAYI

6.1 Giriş

Doğal gaz nakil hatlarındaki kirlenme olayını konu alan çalışmanın bu aşamasına kadar, doğal gazın Türkiye'ye temininden BOTAŞ tarafından İGDAŞ'a teminine ve buradan da son kullanıcıya ulaştırılmasına kadar ki süreç içerisinde, doğal gaz sistemlerinin yapısı ve doğal gazın tabii tutulduğu işlemler ele alınarak, doğal gaz ve kirlenme olayı arasındaki bağlantıların anlaşılabilmesi için ön bilgilendirilme yapılmıştır. Doğal gaz, doğal gaz taşımacılığı ve dağıtımını ile ilgili sistemler ana hatlarıyla, akıllarda soru işareti bırakmayacak şekilde, açık ve yalın bir anlatımla ele alınmıştır.

Kirlenme olayının detaylarının ele alınacağı bu kısımda, doğal gaz nakil hatlarında kirlilik kavramı, analiz raporları ve oluşum sistemleri, nakil sistemine etkileri de dikkate alınarak irdelenecek, doğal gaz nakil hatlarında kirlenme ile karşılaşılmasında için işletmeye alma öncesi ve işletmeye alma sonrası ne gibi önlemlere başvurulacağı incelenecektir. Diğer bir deyişle, doğal gaz nakil hatlarındaki kirlilik olayı somut bir biçimde tecrübe ve bilimsel kanıtlar ışığında ele alınacaktır.

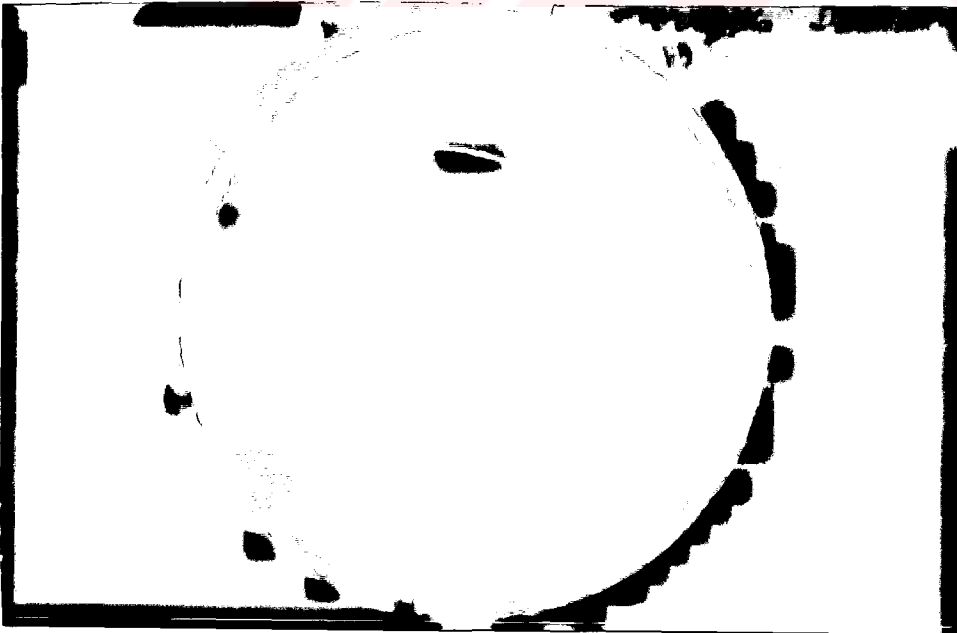
6.2. Kirlilik Kavramı

İstanbul'un şehir doğal gaz nakil hatlarının devreye alınmasıyla birlikte kirlenme olayları ilk sinyallerini vermeye başlamıştır. Kirlilik kavramı, bir realite olarak ilk defa, basınç regülatörlerinin filtre kovanlarındaki toz, kum, su ve pas gibi hat içinden gaz ile sürüklenip gelen bileşenlerin oluşturduğu bir birikim olarak karşımıza çıkmıştır. 1996 yılında İGDAŞ Beyoğlu Bölge Müdürlüğü'ne bağlı bakım-onarım şefliğinde işletme mühendisi olarak göreve başladığımda karşılaşılan en temel sorun kirlenme olayıydı. O zamanlarda ilk olarak aklımıza gelen sorun kaynağı, BOTAŞ'ın doğal gaz filtrasyonunda yetersiz kalması ve bizlere kirli gaz vermesi idi. Ancak zamanla nakil hatlarında bir kirlenme olduğu tespit edilmiş, doğal gazın içerdiği safsızlıkların sadece kendisinden kaynaklanmadığı anlaşılmıştır. Doğal gazın 5000 m³/h kapasiteli bir Francel marka regülatör istasyonunun 1. Hat giriş filtre kovanında bıraktığı kirlenme bileşenleri Şekil 6.1'de verilmektedir.



Şekil 6.1 Filtre kovanından elde edilen kirlenme bileşenleri

1999 yılı Mart ayında, 16" çelik hattımıza verilen hasar dolayısıyla yapılan bakım-onarım çalışmaları esnasında, doğal gaz nakil hatlarında kirlenme olayının ne boyutlarda olduğu açıkça gözlenmiştir. Bakım-onarım çalışmaları sırasında ana kesitten alınan görüntü Şekil 6.2'de verilmektedir. Buradan da açıkça anlaşılmaktadır ki, kirlenme olayı şehir doğal gaz nakil hatlarımızda ve regülasyon sistemimizde ciddi sorunlara neden olabilecek boyutlardadır.



Şekil 6.2 Kirlenme bileşenlerinin hat içindeki görüntüsü

6.3 Analiz Raporları:

Doğal gaz nakil sistemimizde karşılaştığımız kirlenme olayından yola çıkarak, sorunun çözümü için gerekli olan ilk şeyin sorun kaynağının tespit edilmesi ilkesiyle, doğal gaz regülasyon sistemlerinin filtre kovanlarından elde edilen birikintilerden numune alınarak, 1997 yılının hemen başında Yıldız Teknik Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü'nde analiz yaptırılmıştır. 21.01.1997 tarih ve 103 numaralı rapora göre, iki ayrı numune incelenmiş olup sonuçları tarafımıza bildirilmiştir. Şöyle ki;

- Örnek I diye adlandırılan ilk numunede: %5,25 Demir(Fe), %44,85 Silis(SiO₂), %46,75 Kalsiyum(Ca)'a rastlanmış olup Sülfür(S), Mangan(Mn) ve Krom(Cr)'a rastlanılmamıştır
- Örnek II diye adlandırılan numunede ise: %50,5 demir (Fe), %5,55 Silis (SiO₂), 55,75 Kalsiyum (Ca)'a rastlanılmış olup Sülfür (S), Mangan (Mn) ve Krom (Cr)'a rastlanılmamıştır.

Sonuç olarak Örnek I'de çoğunlukla, toprağın temel bileşenlerinden silis ve kalsiyuma rastlanmış olup, bu veriden, hattın içerisinde belli bir miktarda kum, toprak olduğu yargısına varılabilmektedir. Ayrıca, Örnek II'de ise büyük oranda demir-3 oksite rastlanmış olup, boru içlerinde çeperlerde belli miktarlarda korozyon ve paslanma olabileceği yargısına varılabilmektedir. Belirli bir basınç değişiminde, hat içindeki doğal gazın laminer akıştan, türbülanslı akışa geçmesi nedeniyle, hızlanan gaz akışıyla birlikte sürüklenerek gelen pas, kum, toprak vs'den oluşan kirlenme bileşenlerinde az miktarlarda da merkaptan kokusu, analizler sonucunda hissedilmiş olup, bunun nedeni ise pasın ve parçacıkların absorbe ettiği kokulandırıcı maddeler (THT ve TBM, tetra hidrotiofen ve tersiyer-butil merkaptan) dir.

Numuneler üzerinde yapılan analizlerin sonucuna göre, nakil hatlarımızda mevcut kirlenme kaynağı tespit edilmiş, bu sonuçlar ışığında, kirlenme bileşenlerinin sisteme etkileri de göz önünde bulundurularak, kirlenme olayına neden olan proseslerin ve uygulamaların önüne geçilmesi için gerekli çalışmalar başlatılmıştır.

6.4 Kirlenme Olayının Nedenleri:

Kirlenme bileşenlerinden alınan numuneler üzerinde yapılan analizler sonucunda, bu bileşenlerin kum, toprak, demir tozu, pas ve nem, yani su olduğunun tespitinden hareketle, doğal gaz nakil hatlarında meydana gelen kirlenme olayının nedenleri süreçlere indirgenerek

açıklanabilir. Doğal gaz çelik boru hattı malzemesinin temininden hidrostatik teste kadar, daha ötesinde hat devreye alınana kadar geçen süreç içerisinde, bazı proses ve işlemlerde aksaklık ya da standart dışı uygulamalar olmadan, yani hiçbir etken olmadan, bu kirlenme olayının meydana gelmesi beklenmemelidir. Buradan yola çıkarak, kirlilik oluşum nedenleri, kirlenme bileşenlerini ayrı ayrı başlık olarak değerlendirerek sıralanabilmektedir. Bu tür değerlendirmede esas olan toprak, demir oksit ve nem gibi bileşenlerin hangi işlemler sırasında oluşabileceğini, işlemler karmaşasına neden olmadan, açık olarak gözler önüne sermektir.

6.4.1 Kum-toprak:

Doğal gaz nakil hatlarında kum veya toprağın karşımıza birer kirlenme bileşeni olarak çıkmasının değişik nedenleri vardır. İmalat aşamasından devreye alma işlemlerine kadar ki zaman aralığı içinde, nakil hattının içine kum-toprak gibi bileşenlerin girmesi ya da sızmasının nedenleri şöyle sıralanabilir:

- a) Doğal gaz boru hattı çelik boru malzemesinin içine toz, kum gibi bileşenlerin, öncelikle açık depolama sahalarında, daha sonra da, imalat müteahhidine teslim edildikten sonra ki şantiye yahut açık olan depo sahalarında, depolama aşamasında sızdıkları gözlenmiştir.
- b) İmalat aşamasında boru çekimi esnasında nakil hattının ağız kısımlarından hattın içine kum-toprak gibi bileşenlerin sızabildiklerini gözlenmiş, özellikle yağışlı mevsimlerde yapılan ve uzun zaman süren boru çekimi işlemleri sırasında açık noktalardan sızmaların arttığı tespit edilmiştir.
- c) Hidrostatik test sonrasında ve dallanma bağlantıları sırasında yine açık noktalardan kum-toprak sızmaları olabilmektedir.

Doğal gaz nakil hattı içine kum ve toprağın sızabilmesi ya da girmesinin teknik olarak izah edilebilecek bir nedeni yoktur. Yani, hattımızın içinde bu tip bileşenlerin çıkmasının nedeni büyük ölçüde önemsememek ya da ihmallerden kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak hattımızda kum-toprak vardır, bu bir realitedir. Bunları doğal gazın kendisinin getirdiği söylenemez, çünkü BOTAŞ filtrasyon ünitelerinin yetersiz olduğu varsayılrsa idi, BOTAŞ'tan gaz alan diğer kuruluşların da kirlenme sıkıntısı yaşamaları beklenirdi. Diğer başka mekanizmalarca da kum-toprak üretilmeyeceğinden, imalat aşamasındaki hatalardan dolayı, nakil hattımızın içindeki bu bileşenlerin var olduğu yargısına varılabilmektedir.

6.4.2 Su-nem

Doğal gaz nakil hatları içinde safsızlık olarak bulunan su, hidrostatik test amacıyla hattın içine basılıp daha sonra atılamayan test suyundan kaynaklanmaktadır. Büyük ölçüde deşarj edilemeyen su birikimlerinden oluşan bu kirlenme, test sonrasında ve imalat aşamasında yağışlı mevsimlerde yapılan işlemlerde açık kalan noktalardan su girmesi yoluyla da oluşabilmektedir. Buradan şu sonuç çıkmaktadır: Eğer doğal gaz nakil hattı devreye alındıktan sonra hattın içinden nem yada su çıkıyorsa, devreye alma öncesi uygun kurutma ve nem-su alma işlemleri, sağlıklı olarak uygulanmıyor demektir.

6.4.3 Demir tozu ve oksitleri:

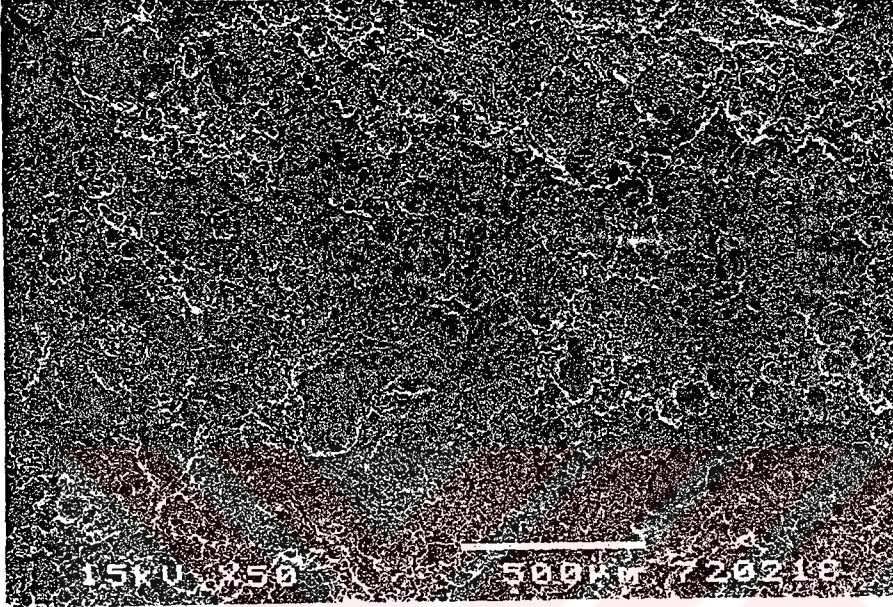
Kirlenme bileşenleri analizi sonucunda demir oksitlerinin elde edilmiş olması, hattı oluşturan çelik boruların iç korozyona uğramış olabileceği endişesini yaratmıştır. Kaynak döküntüleri ve demir tozlarının elde edilmiş olması zaten beklenen bir sonuçtur. Çünkü hat bağlantı çalışmaları esnasında çapakların ya da kaynak cürüfları, döküntülerinin içeri kaçmaması imkansız gibidir. Burada endişeye neden olan demir oksitleri ve hattın iç yapısı ile ilgili birkaç analiz yaptırılmıştır.

6.4.3.1 Analiz I:

İ.T.Ü. Kimya Metalürji Fakültesi Metalürji Mühendisliği Bölümü'nden alınan 10.09.1997 tarihli ve B.30.2.İTÜ. 0.50.00.00/414 sayılı sonuç raporunda, elden iletilen 20" çaplı ve 20 bar basınç altında çalışan çelik borudan alınan parçanın korozyon hasarı açısından değerlendirilmesi yapılmış olup, sonuçlar korozyon olayı incelenerek tarafımıza iletilmiştir.

Bu rapora göre; gözle inceleme sonucunda, borunun bir tarafından birikintilerin daha yoğun bulunduğu ve buralarda paslanmanın daha fazla olduğu gözlenmiştir. Bu bölgeden çıkartılan parçanın incelenmesinde ise korozyonun boru dilimindeki ile aynı nitelikte olduğu ve siyah-kahve rengi renkte, yer yer tüberküller şeklinde siyah birikintiler ve derinlikleri 150-200 mikron'a varan yoğun çukurlaşmaların oluşu gözlenmiştir. Boruların iç yüzeylerinin, gelişen korozyon nedeniyle oldukça pürüzlü hale gelmiş olduğu ve yer yer süngerimsi görüntü arz ettiği gözlenmiştir.

Yapılan taramalı elektron mikroskobu incelemelerine göre, paslı yüzeyin korozyon ürünlerinden temizlendikten sonraki görüntüsü şekil 6.3'te verilmiştir. Malzeme korozyon sonucu süngerimsi bir görüntü arz etmiş ve yüzeyde mm. genişliğinde sığ ve yaygın oyukların yanında, derinliği, yüzeyden kestirilemeyen (siyah bölgeler) derin oyukların da varolduğu görülmüştür.

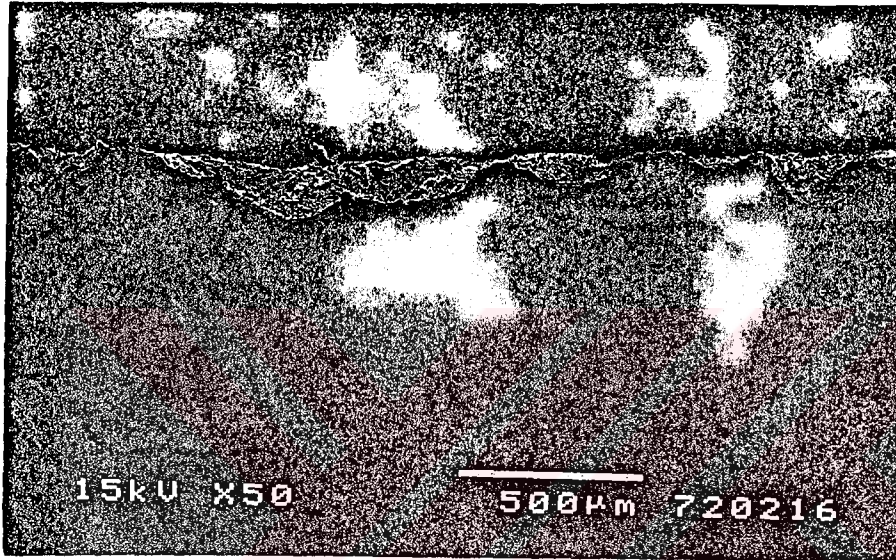


Şekil 6.3 20" çapında borudan alınan numunenin iç yüzeyinin, korozyon ürünleri temizlendikten sonraki taramalı elektron mikroskobu görüntüsü.

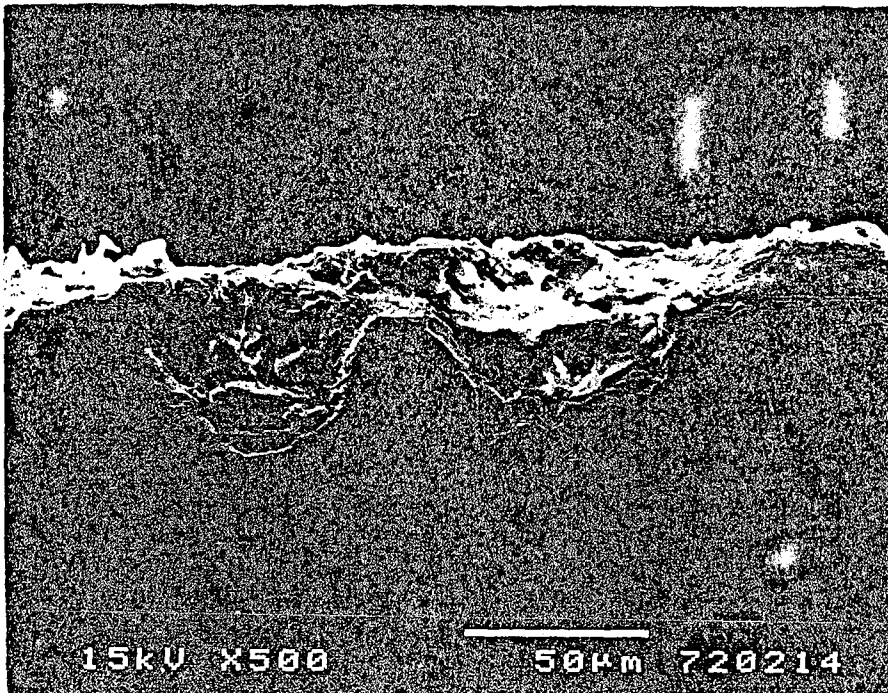
Paslı boru parçasının enine kesilmesinden sonra, boru kesiti parlatılarak taramalı elektron mikroskobunda incelenmiş, oyukların yüzeyden ne kadar içeriye doğru ilerlediği ve oyuk şekilleri belirlenmiştir. Kesitin bir bölgesinden alınan genel bir görüntü Şekil 6.4'de verilmiştir. Bu şekilde oyukların yaklaşık 100 mikron derinliğe kadar ilerlemiş ve geniş (mm çapında) olduğu gözlenmiştir. Şekil 6.5'de ise, ağız çapı daha küçük ve ağız çapına göre daha derine ilerlemiş (yaklaşık 50-100 mikron), uçları sivri oyukların da varlığı görülmektedir.

Demir-çelik malzemelerde nemli-sulu ortamlarda gelişen korozyon sonucu oluşan korozyon ürünleri, demir oksit-hidroksitlerdir. Bu korozyon ürünleri hacimli ve gözeneklidir, dolayısıyla korozyonu yavaşlatma özellikleri yoktur ve bu ürünlerin altında korozyon, oksijen konsantrasyon hücreleri oluşması nedeni ile bölgesel olarak daha hızlı ilerler. Bu tür ortamlarda gelişen korozyonun hızını ortam özellikleri belirler. Korozyon hızını belirleyen temel ortam özellikleri atmosferik ortamın bağıl nem içeriği ve atmosferik ortamda bulunabilecek kükürtlü gazları, klorürler ve partiküler maddelerdir. Ortam nem içeriğinin

yüksek olduğu denizel ortamlar, eğer hava kirliliği de mevcutsa, atmosferik korozyonun en hızlı geliştiği ortamlardır. Ayrıca ortamdaki kükürtlü ve klorürlü bileşiklerin varlığı, bunların korozyon ürünleri içerisinde yer alarak malzeme üzerindeki oluşan hasarın şeklini de değiştirmelerine neden olabilirler. Temiz atmosferik ortamda gelişen korozyon homojen niteliktedir, yani metal içerisine derin ve tercihli olarak ilerleyen bölgesel nitelik arz etmez. Ancak ortamdaki klorür iyonları gibi kirleticilerin varlığı ve yüzeyde korozyon ürünlerinin birikimi korozyon hasarının bölgeselleşmesine neden olur.



Şekil 6.4 Numune kesiti korozyon ürünlerinin temizlendikten sonraki detay görüntüsü.



Şekil 6.5 Numune kesitinin detay görüntüsü.

İncelenmiş olan boru parçalarının iç yüzeylerinin görüntüsü, nemli, kirli atmosferik ortamda ve birikinti altında gelişen korozyon sonucu oluşan yapılara benzerlik göstermektedir. Yüksek basınçla çalışan borularda, bu çalışmada görüntülediği tipte derin ve keskin oyukların bulunması halinde bölgeler gerilme yoğunlaşmasına maruz kalabilirler.

6.4.3.2 Analiz II

Bu analiz Kalite Kontrol Araştırma ve Uygulama biriminden Prof. Dr. Ahmet TOPUZ ve Yrd. Doç. Dr. Nurhan CANSEVER imzası taşımaktadır. 14.08.1997 tarihli ve 1897 sayılı ilk araştırma raporunda, yapılan araştırmalar sonucunda, boru numunelerinin iç yüzeyinde pas tabakası tespit edilmiştir. Analize konu olan 4 numuneden ilk ikisi Ayamama deresi diğer ikisi de Ayvalı Dere geçişi deplaseleri sırasında alınan numunelerdir.

Bu rapora göre, yapılan oyuk derinliği ölçümlerinde elde edilen değerler, her bir numune için, aşağıda verilen değerler arasında değişmektedir.

1 nolu numunede	47,43 μm -269.35 μm
2 nolu numunede	50,82 μm -172.79 μm
3 nolu numunede	22.00 μm -101.64 μm
4 nolu numunede	42.35 μm -105.03 μm

Bu analizden elde edilen sonuçlara göre, her 4 numune de korozyon tespit edilmiş olmakla beraber, 1 ve 2 nolu numunelerde korozyon, 3 ve 4 nolu numunelere (Ayvalı Dere geçişi numuneleri) göre daha fazladır. Bu paslanmanın nedeni ortamda nem bulunmasıdır. Doğal gazdan kaynaklanan herhangi bir korozyon değildir.

6.5 Korozyon

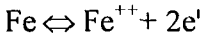
Metal ve alaşımlarının içinde buldukları ortamla etkileşimleri sonucunda fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinde istenmeyen değişikliklerin meydana gelmesine korozyon denir. Şekil 6.6'da korozyona uğramış bir çelik hat çalışma parçası görülmektedir. (Wright, 1987)



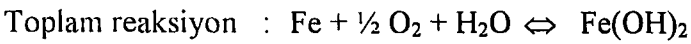
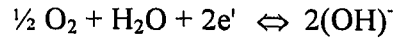
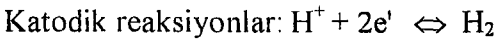
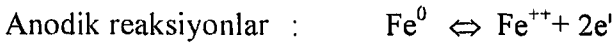
Şekil 6.6 Çelik hattın korozyona uğramış yüzey görüntüsü

Korozyonun nedeni, metalin birleşik halinde olması eğilimidir. Metal kararlı hale geçmek için durum değiştirir ve reaksiyona girer, bu da korozyona neden olur. Yani, korozyon, metallerin doğal durumuna dönmek istemeleri sonucu ortaya çıkar. (Parker ve Peattie, 1984)

Korozyon reaksiyonları aşağıdaki gibidir;



İki elektron karşılığında bir iyonlaşma söz konusudur.



6.5.1 Korozyon çeşitleri

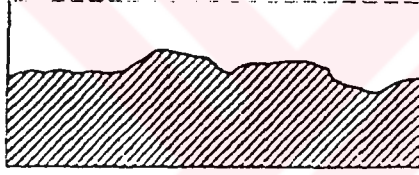
Temel reaksiyonları aynı olmakla beraber korozyon olayı pratikte çeşitli mekanizmalarla oluşur. Korozyona uğramış olan metalin görüntüsü de farklıdır. Genel bir sınıflama yapacak olursak;

1) Üniform korozyon

- 2) Galvanik korozyon
- 3) Çatlak korozyon
- 4) Çukurlaşma (pitting) korozyonu
- 5) Taneler arası korozyon
- 6) Seçimli korozyon
- 7) Erozyonlu korozyon
- 8) Stres korozyon

6.5.1.1 Üniform korozyon

Metal yüzeyinde eşdeğer şiddette oluşan korozyon türüdür. Korozyon sonucu metal kalınlığı her noktada aynı miktarda azalır. Atmosferde bırakılan bir metal genellikle üniform biçimde korozyona uğrar. Şekil 6.7 üniform korozyonu göstermektedir.(Çizmecioğlu, 1996)

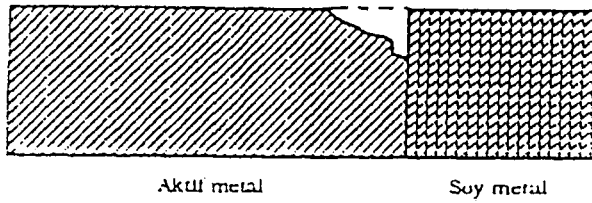


Şekil 6.7 Üniform korozyon

Mekanik açıdan en az zararlı olan korozyon çeşidi üniform korozyondur. Çünkü metal delinmeden ve kırılmadan uzun süre işletmede kalabilir

6.5.1.2 Galvanik korozyon

Farklı potansiyelde olan iki metal, bir elektrolit içine daldırılır ve bunlar birbirleri ile temas ederlerse galvanik bir pil oluşur. Bu pilin anodu yani daha negatif potansiyelde olan metal korozyona uğrar. Şekil 6.8 galvanik korozyonu göstermektedir.



Şekil 6.8 Galvanik korozyon

Korozyon hızı, anot ve katot bölgeleri arasındaki potansiyel farkına ve devrenin toplam direncine bağlıdır. Galvanik korozyon olayına pratikte sıkça rastlanır. Eski boru hatlarının tamirâtı sırasında ara yerde yeni bir boru kullanılması halinde borular arasında potansiyel farkı meydana gelir. Yani boru anot olarak süratle korozyona uğrar. Çelik yapıda başka bir cins perçin kullanılması halinde de farklı iki metalin teması sağlanmış olur.

Galvanik boru olayının pratikte etkili olması aşağıdaki faktörlere bağlıdır.

a) Çevrenin-Koroziflik Derecesi: Metallerin içinde bulunduğu çevre ne derece korozif özellikte ise galvanik etki daha şiddetle kendini gösterir. Bu durum atmosferik korozyonda daha belirgindir. Deniz atmosferinde galvanik etki daha hızlı bir korozyona neden olur. Eğer kuru bir atmosfer söz konusu ise galvanik korozyon söz konusu olmaz.

b) Metaller Arası Mesafe: Galvanik korozyon genellikle iki metali birbirine bağlantı noktası yakınında en şiddetli olarak kendini gösterir. Mesafenin etkisi çözeltinin iletkenliğine bağlıdır. Elektrolit direnci fazla ise korozyon olayı hemen bağlantı yakınında oyuk şeklinde kendini gösterir. Eğer çözelti iletkenliği yüksek ise korozyon olayı daha geniş bir alana dağılacaktır.

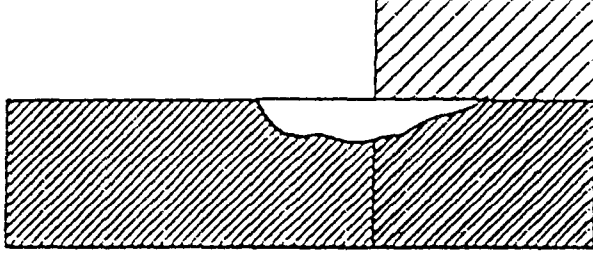
c) Katot / Anot Yüzey Oranı: Büyük bir anot ile küçük bir anottan bir galvanik hücrede anot kısa sürede yıpranır, katot / anot oranının büyük oluşu anot akım yoğunluğunun büyümesine ve küçük bir bölgeden fazla miktarda madde kaybına neden olur. Örneğin bakır plakaların çelik perçin ile tutturulmasında çelik perçinler kısa sürede parçalanır.

Kaplama yapılmış bir boru hattında kaplaması küçük bir bölgede bozulması halinde de, büyük bir katot ile küçük bir anodun etkisi kendini gösterir. Kaplamanın bozulmuş olduğu bölgede yüksek bir akım yoğunluğuna erişilerek boru bu noktadan delinebilir.

6.5.1.3 Çatlak korozyonu

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Metal yüzeyinde bulunan bir çatlak içinde veya bir dar aralıkta oluşan korozyon çeşididir. Bu korozyonun temel nedeni çatlak içi ile çevre elektrolit arasında oksijen konsantrasyonu veya metal iyonu konsantrasyonunun farklı oluşumudur.



Şekil 6.9 Çatlak korozyonunun genel görünüşü

Milimetrenin binde biri kadar küçük bir çatlak bile korozyonun başlaması için yeterlidir. 2-3 mm büyüklüğündeki aralıklarda çatlak korozyonu için uygundur.

Çatlağın dış kısmı katot olacağından bu bölgelerde korozyon görülmez. Şekil 6.9 Çatlak korozyonu göstermektedir.

6.5.1.4 Çukur korozyonu (Pitting)

Metal yüzeyinde bazı noktalarda çeşitli noktalarda başlayan korozyon olayının o noktalarda mikro çukurlar haline dönüşmesi ve gittikçe büyümesi olayıdır. Bu çukurların derinliği yaklaşık çapı büyüklüğüdür. Çukurların ağız bölgeleri genellikle korozyon ürünleri ile dolu haldedir. Şekil 6.10 Çukur korozyonu göstermektedir.



Şekil 6.10 Tipik çukur korozyonu görünüşü

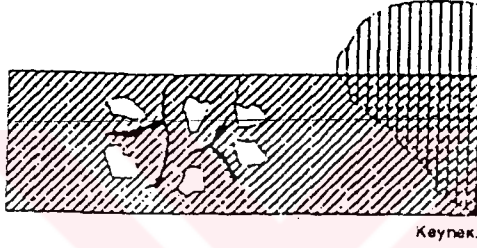
Çukur korozyonu az miktarda metal kaybı olduğu zaman bile delinmeye neden olabilir. Bu bakımdan en tehlikeli korozyon çeşididir.

Çukur korozyonu herhangi bir noktada başladıktan sonra otokatodik olarak süratle gelişir.

6.5.1.5. Taneler arası korozyon

Metal atomları daima geometrik bir düzen içinde kristallenir. İki veya daha fazla metalden oluşan homojen yapıdaki alaşımlarda belli bir düzen içinde kristallenir. Bunlara katı çözültü denilebilir. Heterojen yapıdaki alaşımlarda ise, iki veya daha fazla karışım söz konusudur. Böyle bir alaşımda kristaller üniform yapıda değildir.

Taneler arası korozyon, taneler arasında sınır çizgilerinde meydana gelir. Bu bölgelerde metallere göre daha düşük konsantrasyonda bulunur. Bu nedenle sınır çizgilerine korozyona uygun bir ortam oluşturur. Paslanmaz çelikte kaynak yapıları bölgede bu tip taneler arası korozyon olayı meydana gelir. Şekil 6.11 taneler arası korozyonu göstermektedir.

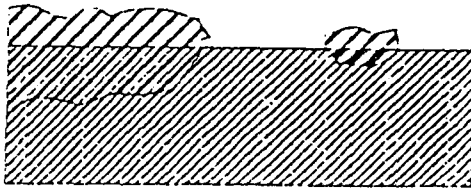


Şekil 6.11 Kaynak bölgesinde taneler arası korozyon

6.5.1.6 Seçimli korozyon

Bir alaşım içinde bulunan metallere birinin diğerinden önce korozyona uğraması halidir. %70 Cu + %30 çinkodan oluşan pirinç içinde bulunan çinko kolayca korozyona uğrayabilir. Korozyon sonucu oluşum yüzeyinde çinko konsantrasyonu azalır ve normal sarı renk, bakır kırmızısına dönüşür. Çok sık rastlanan bu seçimli korozyon olayına “dezincification” adı verilir.

Buna benzer olarak dökme demirin seçimli korozyonu da “grafitization” adını alır. Dökme demir içinde serbest halde grafit bulunur. Grafit, demire göre daha soydur ve katı olur. Grafit çevresinde bulunan demir anot olarak çözünür. Korozyon sonucunda metal yüzeyinde grafit iskelet pas birikintileri görülür. Şekil 6.12 Seçimli korozyonu göstermektedir.



Şekil 6.12 Bir alaşımdan seçimli korozyon

6.5.1.7 Erozyonlu korozyon

Sıvı akışının sürtünme etkisi ile oluşan erozyon korozyon olayını arttırır. Metal yüzeyinde oluşan korozyon ürünleri su ile sürüklenerek uzaklaşır ise yüzeyde koruyucu bir kabuk oluşması mümkün olmaz. Eğer su içinde katı tanecikler varsa erozyon olayı daha şiddetle ortaya çıkar.

Demir, alüminyum ve kurşun gibi korozyon ürünlerinin metal yüzeyinde birikerek kalıntı oluşturduğu metaller erozyonlu korozyondan daha fazla zarar görür. Erozyonlu korozyon olayı sonucu akış yönünde gelişen oyuklar meydana gelir. Şekil 6.13 Erozyonlu korozyonu göstermektedir.



Şekil 6.13 Erozyonlu korozyon

6.5.1.8. Gerilmeli korozyon

Korozif ortamda bulunan bir metal aynı zamanda gerilme altında ise korozyon hızında artış olur ve çatlama şeklinde kırılma olur. Başlangıçta çukur korozyonu biçiminde olan korozyon, etkisi ile çatlak halini alır. Şekil 6.14. Gerilmeli korozyonu göstermektedir.



Şekil 6.14 Gerilmeli korozyon sonucu oluşan çatlaklar

Gerilmeli korozyonun oluşması metal cinsine ve çevrenin bileşimine bağlıdır. Örneğin kazanlarda perçin çevresinde “kostik kırılmalılığı” denilen çatlaklara rastlanır. Paslanmaz çelikler klorürlü ortamlarda gerilmeli korozyon etkisinde daha çabuk çatlama gösterirler.

6.5.2 Yer altı ve sualtı korozyonu

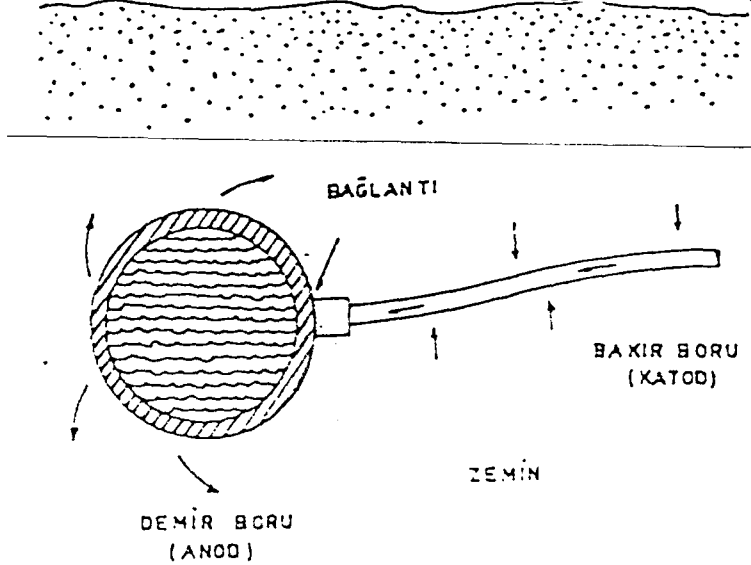
Çeşitli amaçlarla yeraltına veya su altına konulmuş olan metal yapılar özellikle çelik borular, kazıklar, tanklar, suyun ve zeminin korozif etkisi nedeniyle kısa sürede korozyona uğrayarak kullanılmaz hale gelirler. Yeraltında ve su altında korozyon hücrelerinin oluşma nedenleri çok çeşitlidir. Pratikte en çok rastlanan korozyon nedenleri şunlardır:

- Galvanik etki sonucu oluşan korozyon
- Zemin yapısındaki farklılıktan ileri gelen korozyon
- Farklı havalanma sonucu oluşan korozyon
- Kaplama bozuklukları sonucu oluşan korozyon
- Biyolojik korozyon
- Kaçak akım ve interferans korozyonu

Bunlardan hangisinin daha çok etkili olacağı söz konusu metalin ve bulunduğu çevrenin yapısına ve özelliklerine bağlıdır. Bazı halde yalnız biri, bazı halde de bütün faktörler bir arada bulunarak metali korozyona uğratabilir.

6.5.2.1. Galvanik korozyon

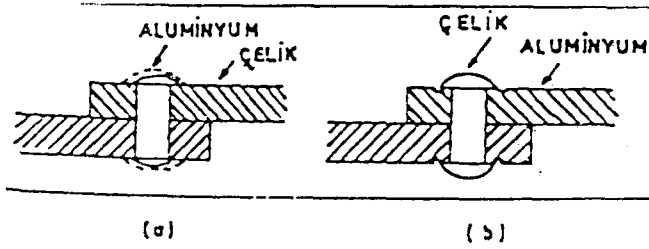
Aynı çözelti içine daldırılmış olan farklı iki metal arasında bir potansiyel farkı oluşur. Bu iki metal bir iletken ile birbirlerine bağlanırsa pil oluşur ve devreden akım geçer. Burada daha negatif potansiyelli olan metal anot olarak korozyona uğrar. Bu tip korozyon olayına pratikte çok rastlanır. Şekil 6.15 Farklı metallerin teması sonucu galvanik korozyonu göstermektedir.



Şekil 6.15 Farklı metallerin teması sonucu oluşan galvanik korozyon

Şekilde bir demir boruya bir bakır boru bağlanmıştır. Bu durumda demir anot, bakır katot olur. Ancak anot yüzey alanının, katot yüzey alanına göre çok büyük olması nedeniyle anodik akım yoğunluğu oldukça küçüktür.

Galvanik etki sonucu oluşan korozyon katot/anot yüzey alanının büyüklüğüne bağlı olarak etkili olur. Aksine olarak anot yüzey alanı katoda göre çok büyükse, korozyon olayı olmakla beraber pratik bakımdan önemsizdir. Şekil 6.16 Katot/anot ara yüzey etkisini göstermektedir.



Şekil 6.16 Katot/anot yüzey oranının etkisi

Şekilde her iki halde de çelik katot, alüminyum anot olur. Her iki halde de daha negatif potansiyeli olan alüminyum korozyona uğrar. Ancak (a) da görüldüğü gibi alüminyum perçinin yüzey alanını katot yüzeyine göre çok küçük olması halinde, perçin kısa sürede parçalanır.

Galvanik etki sonucu hangi metalin anot hangisinin katot olacağı, söz konusu metallerin çözelti içinde göstereceği elektrot potansiyeli ile anlaşılabilir.

6.5.2.1.1 Metallerin standart elektrot potansiyelleri

Bir metalin elektrot potansiyeli çözelti içinde bulunan iyon cinsi ve konsantrasyonuna göre değişir. Bu nedenle aynı bir metalin çeşitli çözeltiler içindeki elektrot potansiyeli birbirinden farklıdır.

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln a_1 \quad \text{-----(6.1)}$$

Burada E^0 : Standart elektrot potansiyeli,

a_1 : Söz konusu metal iyonlarının çözelti içindeki aktifliğidir.

Standart elektrot potansiyeli, metalin aktivitesi 1 olan çözeltisi içine daldırılması halinde 25 °C sıcaklıkta ölçülen potansiyelidir. Referans elektrot olarak kullanılan hidrojen referans elektroduna göre ölçülen elektrot potansiyelleri sıraya konularak Nernst Gerilim sırası elde edilir.(Çizelge 6.1)

Nernst gerilimi sırasında en aktif metaller yukarıdadır. Aşağıya doğru gidildikçe metal aktifliği azalır. Bu listede daha yukarıda bulunan bir metal, kendinden daha aşağıdaki metalin anodu olur. Örneğin demirden daha yukarıda bulunan, magnezyum, alüminyum ve çinko metalleri demiri katodik olarak korumak üzere anot olarak kullanılabilir.

Çizelge 6.1 Nernst gerilim sırası

Metal	Yükseltgenme Reaksiyonu	Standart Elektrot Potansiyeli, Volt
Magnezyum	$Mg=Mg^{+2} +2e$	-2,37
Alüminyum	$Al=Al^{+3} +3e$	-1,66
Çinko	$Zn=Zn^{+2} +2e$	-0,76
Krom	$Cr=Cr^{+2} +2e$	-0,56
Demir	$Fe=Fe^{+2} +2e$	-0,44
Nikel	$Ni=Ni^{+2} +2e$	-0,23
Kalay	$Sn=Sn^{+2} +2e$	-0,14
Kurşun	$Pb=Pb^{+2} +2e$	-0,12
Hidrojen	$H_2=2H^+ +2e$	0
Antimon	$Sb=Sb^{+2} +2e$	+0,10
Bakır	$Cu=Cu^{+2} +2e$	+0,34
Gümüş	$Ag=Ag +e$	+0,80
Civa	$Hg=Hg^{+2} +2e$	+0,80
Platin	$Pt=Pt^{+3} +3e$	-0,86
Altın	$Au=Au^{+3} +3e$	+1,36

6.5.2.1.2. Zemin içindeki elektrot potansiyelleri

Nernst gerilim sırasında verilen elektrot potansiyelleri standart haldeki potansiyellerdir. Metalin zemin veya su içinde ölçülen potansiyeli bu değerlerden oldukça farklıdır. Diğer taraftan pratikte referans elektrot olarak standart hidrojen elektrot kullanılamaz. Bunun yerine kalomel elektrot veya bakır/bakır sülfat referans elektrodu kullanılır. Bu elektronların standart hidrojen elektroduna göre ölçülen potansiyel değerleri şöyledir:

Kalomel elektrot = 0,280 volt

Bakır/bakır sülfat = +0,316 volt

Zemin içinde genellikle doymuş bakır/bakır sülfat referans elektrodu kullanılır. Çeşitli metal ve alaşımların doymuş bakır/bakır sülfat referans elektroduna göre zemin içinde ölçülen potansiyel değerleri Çizelge 6.2'de görülmektedir.

Zemin içinde farklı metallerin teması sonucu meydana gelen galvanik hücre E.M.K. değeri Çizelge 6.2'de verilen potansiyel değerleri göz önüne alınarak değerlendirilmeli ve buna göre anot-katot belirlenmelidir.

Çizelge 6.2. Çeşitli metal ve alaşımların zemin içindeki elektrot potansiyelleri (doymuş Cu/CuSO₄ elektroduna göre)

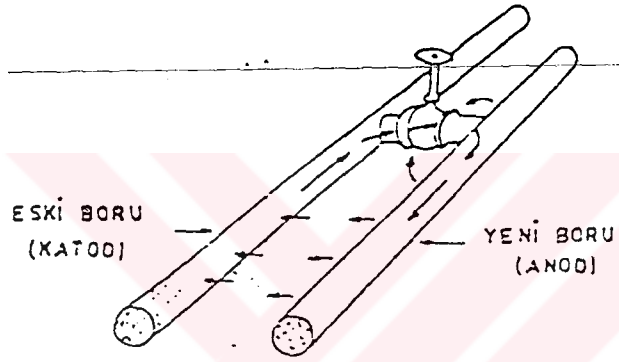
Metal veya Alaşım	Elektrot Potansiyeli Volt (*)
Magnezyum (saf)	-1,75
Magnezyum AZ-63	-1,60
Çinko (saf)	-1,10
Alüminyum (%5 Zn)	-1,05
Alüminyum(saf)	-0,80
Demir(Pik)	-0,50
Yumuşak çelik(temiz)	-0,50-0,80
Yumuşak çelik(paslı)	-0,20-0,50
Kurşun	-0,50
Bakır	-0,20
Pirinç	-0,20
Bronz	-0,20
Karbon, Grafit, Kok	+0,30

(*) Nötral zemin içindeki potansiyeller.

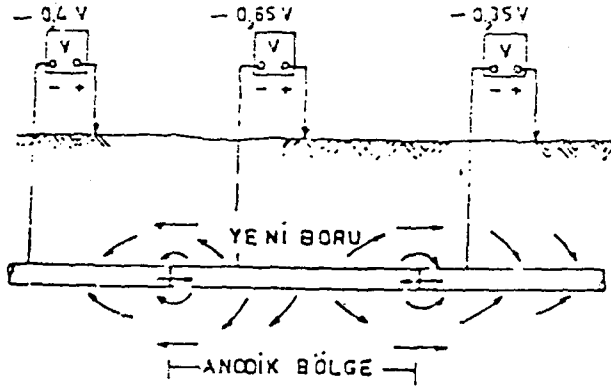
Zemin içinde ölçülen elektrot potansiyellerinde, elektrot , metalin mümkün olduğu kadar yakınına konulmalıdır. Aksi halde Omik direncin etkisi nedeniyle ölçüm sonuçları hatalı olabilir.

6.5.2.1.3 Boru hatlarında oluşan galvanik hücreler

Galvanik hücreler iki farklı metalin teması ile oluştuğu gibi, bazı halde aynı bir metalin yüzeyindeki farklılıklar veya kabuklaşmalar nedeniyle de meydana gelebilir. Bunun tipik bir örneği eskiyen bir borunun yerine yeni bir boru takılması olayında görülür. Şekil 6.17, Eski ve yeni borular arasında galvanik korozyonu göstermektedir. Şekil 6.18 de ise eski ve yeni boru hattı arasındaki potansiyel farkı oluşması görülmektedir.



Şekil 6.17 Eski ve yeni borular arasındaki galvanik korozyon

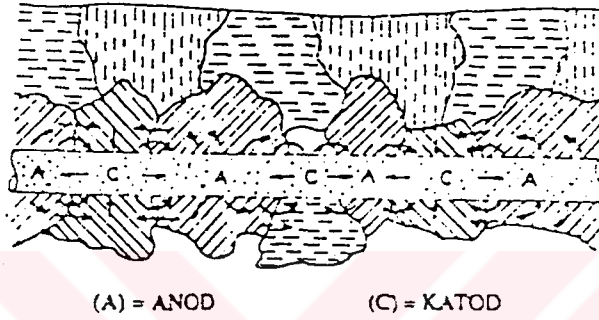


Şekil 6.18 Eski ve yeni boru arasındaki potansiyel farkı oluşması

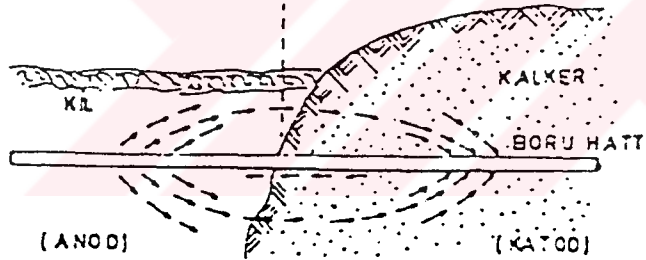
Şekilde görüleceği üzere yeni boru anot olacağı için kısa sürede korozyona uğrar.

6.5.2.1.4 Zemin yapısından ileri gelen korozyon

Zemin taş, kum, kil, su gibi çeşitli malzemelerin karışımından oluşan heterojen yapıda bir elektrolittir. Bu nedenle kısa mesafeler içinde bile büyük farklılıklar gösterebilir. Çözünmüş tuz cinsi ve konsantrasyonu da değişebilir. Zemin yapısındaki farklılık boru hattı üzerinde korozyon hücrelerinin oluşmasına neden olur. Şekil 6.19'da kısa mesafelerde korozyon hücresi görülmektedir. Bu tip korozyon, boru hattının değişik jeolojik yapılarda zemin içinden geçmesi halinde uzun mesafeler arasında korozyon hücreleri oluşması şeklinde de görülebilir. Şekil 6.20'de uzun mesafelerde oluşan korozyon hücreleri görülmektedir.

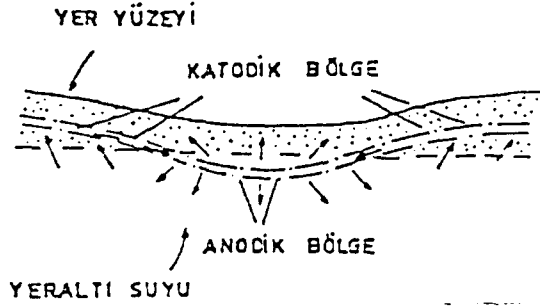


Şekil 6.19 Kısa mesafelerde toprak heterojenliğinin oluşturduğu korozyon hücreleri



Şekil 6.20 Uzun mesafelerde toprak yapısındaki değişimin oluşturduğu korozyon hücresi

Bazı halde zemin yapısı aynı kaldığı halde zemin içinde çözünmüş olan tuz cinsi ve konsantrasyonu değişebilir. Bu durumda da boru hattı boyunca bölgeler arasında potansiyel farkı doğabilir. Çözünmüş tuz konsantrasyonunun daha yüksek, yani zemin elektrik direncinin daha düşük olduğu bölgeler anot olarak korozyona uğrar. Şekil 6.21, çözünmüş tuz konsantrasyonunun farklı oluşumundan ileri gelen korozyonu göstermektedir.

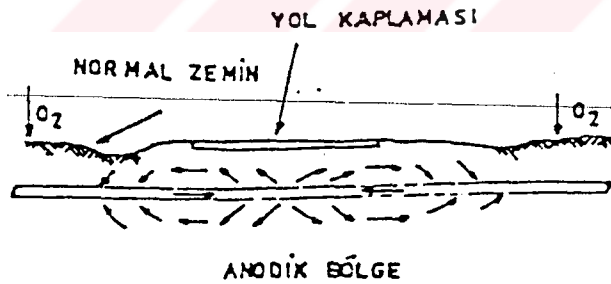


Şekil 6.21 Çözünmüş tuz konsantrasyonunun farklı oluşundan ileri gelen korozyon.

6.5.2.1.5 Farklı havalanma sonucu oluşan korozyon

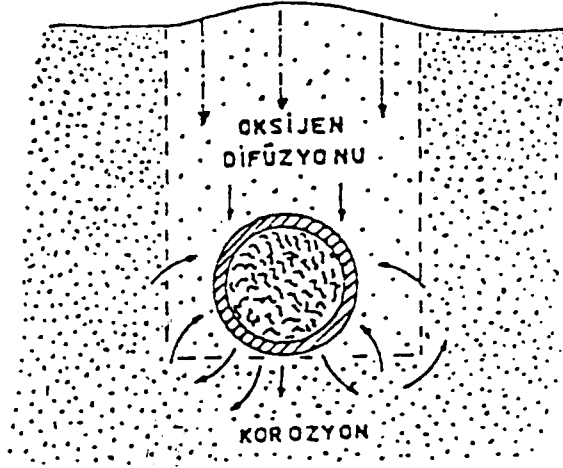
Yukarıda açıklanmış olduğu gibi, nötral sulu çözeltiler içinde katodik olayın devamı için katot bölgesine oksijen difüzyonu gereklidir. Atmosferden zemin içine doğrudan oksijen taşınması oldukça güç bir olaydır. Zemin yapısı ve porozitesine bağlı olarak ancak 1-2 m derinliğe kadar oksijen girebilir.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

Farklı havalanma nedeniyle hücre oluşumu olayına yer altı boru hatlarına çok sık rastlanır. Bir boru hattının üst kısmı hava almayacak şekilde kapatılmış (örneğin asfalt ile kaplanmış) durumda ise, bu bölge boru hattının diğer kısımlarına göre daha az hava alacağından anot olacaktır. Şekil 6.22. farklı havalandırma sonucu oluşan korozyonu göstermektedir.



Şekil 6.22 Farklı havalanma sonucu oluşan korozyon

Boru hatları yer altına yerleştirildikten sonra boru üst kısmı yeniden toprak ile doldurulur. Bu dolgunun oksijen geçirgenliği, doğal zemine göre farklıdır. Bu durum borunun üst ve alt kısımlarında farklı havalanmaya neden olur. Borunun atmosfere yakın olan ve oksijen alabilen üst kısmı katot, borunun zemine oturduğu ve oksijene alamayan veya az oksijen alabilen alt kısmı anot olur. Şekil 6.23, farklı havalanma nedeniyle boru tabanında oluşan korozyonu göstermektedir.



Şekil 6.23 Farklı havalanma nedeniyle boru tabanında oluşan korozyon

6.5.2.1.6 Kaplama bozukluğu nedeniyle oluşan korozyon

Kaplama yapılmış bir borunun potansiyeli ile kaplamasız borunun potansiyeli birbirinden farklıdır. İşçilik hataları nedeniyle kaplamanın bazı bölgelerinin bozulması veya delinmesi halinde bu bölgeler anot olacaktır. Şekil 6.24, kaplama bozukluğu nedeniyle oluşan korozyonu göstermektedir.

Bu tip korozyon metal yüzeyinde çok küçük bölgelerde yoğunlaşan bir korozyondur. Homojen dağılımlı korozyon olayındaki madde kaybına göre çok daha az madde kaybı olmasına rağmen, borunun kısa sürede delinmesine neden olduğu için pratikte büyük tehlikeler yaratabilir.



Şekil 6.24 Kaplama bozukluğu nedeniyle oluşan korozyon

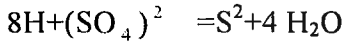
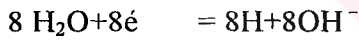
6.5.2.2. Biyolojik korozyon

Zemin içinde doğal olarak bir çok bakteri ve mikro organizmalar bulunur. Bunlardan bazıları çelik borular üzerinde etkili olur. Bazı bakteriler demire doğrudan etki yaparak korozyona uğratabilirler. Bu grup bakteriler demir iyonu içeren ortamlarda kolaylıkla çoğalabilirler.(Peabody, 1967)Korozyona direkt olarak etkide bulunabilen ve korozyona neden olabilen bakterilerin çoğunlukla 'Psudomonas' türü ve 'Basilüs' türü bakteriler oldukları bilinmektedir.

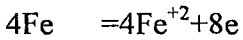
Ayrıca anaerobik ortamlarda yaşayan ve sülfat redükleyici bakteri olarak bilinen desulfovibro desulfirican türü bakterilerde demirin korozyonuna yardımcı olurlar. Sülfat redükleyici bakteriler esas itibariyle zemin içinde bulunan sülfat iyonunu redükleyerek H₂S oluştururlar. Oluşan H₂S ise demire etki yaparak, demir sülfür oluşturmaktadır.

Biyolojik etkilerle meydana gelen korozyon olayının katot ve anot reaksiyonları şöyledir:

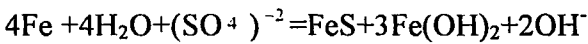
Katot reaksiyonu



Anot Reaksiyonu



Toplam Korozyon Reaksiyonu



Reaksiyon sonucu oluşan hidroksit iyonları çevrede bulunan karbon ve silikat iyonları ile yer değiştirerek karbonat veya hidroksit çözeltilerini oluşturabilir. Böylece demir yüzeyinde sert bir kabuk oluşur. Biyolojik korozyonun etkili olduğu hallerde, demir yüzeyine yapışmış korozyon ürünleri içinde daima bir miktar (FeS) bileşiğine rastlanır. Genellikle Fe(OH)₂/FeS oranı 2.4 – 3.4 arasında değişir.

6.5.2.3. Kaçak akım ve interferans korozyonu

Yer altına konulmuş olan boru hattı, başka kaynaklardan zemin içine geçen kaçak akımların etkisinde kalabilir. Bu akımlar özellikle kaplamanın zayıf olduğu bölgelerden boruya girerek boru üzerinde anodik bölgelere doğru akar. Çevre zemin direncinin en düşük olduğu bölgelerden boruyu terk eder. Akımın boruyu terk etmiş olduğu bölgeler anot olarak korozyona uğrar.

6.5.3 Korozyona etki eden parametreler

6.5.3.1. Potansiyel –Ph’ın etkisi

Metallerin, oksitlerin iyonların termodinamik kararlılığa sahip oldukları alanları gösterir. Yani bir faz diyagramı niteliği taşırlar. Komşu alanları birbirinden ayıran sınırlarla, kimyasal ve elektrokimyasal dengeleri tanımlar.

Potansiyel –PH diyagramları en düşük iyon konsantrasyonuna göre çizilir. $C:10^{-6}$ N konsantrasyonlar değişirse eğrilerde kayar. PH diyagramları bize metalin korunması için hangi potansiyel ve PH aralığında çalışacağımızı, anodik veya katodik koruma imkanlarını verir. Hangi koşullarda ne tip bir reaksiyon bekleyeceğimizi gösterir. Bu diyagramlar su ile beraber sistemde mevcut diğer iyonlar da, örneğin klorür (Cl) sülfat gibi iyonlar dikkate alınarak çizilebilir. Ayrıca termodinamik olarak kararlı olmayan fakat pratikte kararlı oldukları bilinen ara fazlar da dikkate alınarak geliştirilebilir. Bu şekilde uygulamaya daha yakın sonuçlar verebilecek bir diyagram elde edilir. Ancak potansiyel –PH diyagramları ,metal bileşiklerin koruyucu olup olmadıklarını söylemez. Reaksiyonunu hızını da bildirmezler.

Toprağın PH ve tuz oranı; toprağın içinde çözülmüş tuzlar ve alkali asit iyonlar toprak içindeki suyla birleşerek iletkenlik kazanırlar. Toprağın PH değeri 4-8 arasında olmalıdır.

6.5.3.2. Zemin etkisi

Bir çelik boru hattında oluşacak korozyonun hızı, öncelikle boru hattının içinde bulunduğu zeminin cinsi ve özelliklerine bağlıdır.

Zeminin korozif özelliği, geniş ölçüde toprağın bileşimiyle değişir. Bunlar nem miktarı, asitlik, baziklik, havanın, oksijenin ve suyun toprak tarafından geçirilebilme yeteneği, kaçak akım ve biyolojik organizmalar vb. toprağın direncine etki ederler. Yüksek dirençli toprakta korozyon az olur. Topraktaki su ve tuz oranı arttıkça toprağın iletkenliği ve korozyon artar. Toprağın içindeki metalik yapılar, yüzeydeki su filmi ve bunu içindeki çözünmüş oksijenin etkisiyle korozyona uğrarlar. Toprakta hareket olmadığı için, su ve oksijen gibi korozif maddelerin metal yüzeyine erişmesi toprağın yapısı ve bileşimi ile yakından ilgilidir. Topraktaki su içeriği az olduğundan korozyon hızı düşüktür.

6.5.3.3 Zeminin sıcaklığı ve biyolojik yapısı

Toprağın sıcaklığı -50°C ile $+50^{\circ}\text{C}$ arasında değişir. Toprak 0°C 'de donar iletkenlik ve korozyon azalır. Biyolojik aktivite toprak içindeki korozyon hızı, topraktaki bakterilerin etkisiyle değişir. Bunlar oksijenin yanında veya oksijensiz büyüme yeteneklerine göre sınıflandırılır.

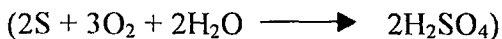
Metabolizma olayını oksijenin yanında sürdürebilen organizmalara aerobik organizmalar denir. Oksijen bulunmayan ve az oksijen bulunan ortamlarda daha iyi büyüyen organizmalara anaerobik organizmalar denir.

Anaerobik organizmalar, sülfatları, sülfürlere indirgerler,



Oluşan sülfür iyonları; Fe ile birleşerek FeS meydana getirirler.

Aerobik bakterilerde S oksijenli ortamda H_2O ile birleşerek sülfürik aside dönüşürler.



Çok korozif bir ortam ortaya çıkar. Kükürt elementel ve bileşik halde bulunmamalıdır.

6.5.3.4 Oksijen konsantrasyonunun etkisi

Toprağa gömülü çelik boru hatlarının katodik korunmasında korozyonu etkileyen önemli parametrelerin birisi de oksijen konsantrasyonudur.

Toprağın içindeki çözünmüş oksijen miktarı ne kadar yüksek olursa borunun korozyona uğrama ihtimali de o kadar yüksek olur. Kumlu ve killi toprağı karşılaştıracak olursak; kumlu toprakta çözünmüş oksijen miktarı, killi topraktan daha fazla olduğu için, kumlu toprakta korozyon daha hızlı olur ve korozyon olma ihtimali killi toprağa göre daha yüksektir. Bu gibi durumlarda oksijenin çok olduğu yerler katot, az olan yerler ise anot olarak davranır.

6.5.3.5 Zemin elektrik özgül direnci

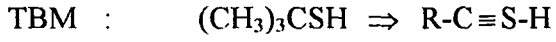
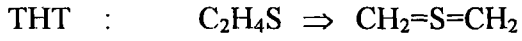
Boru hattının geçeceği zeminin elektrik özgül direnci ölçülür. Ölçüm, boru hattının geçeceği yol izlenerek zeminin değişken yapıda olduğu bölgelerde en az 100 m en çok 250 m aralıklarla yapılır. Zemin cinsi ve yapısının tek düze olduğu bölgelerde ise 500 m – 1000 m aralıklarla yapılması yeterlidir. Zeminler elektrik özgül dirençlerine göre çizelge 6.3'de verildiği gibi dört gruba ayrılır.

Çizelge 6.3. Zeminlerin elektrik özgül dirençlerine göre gruplandırılması

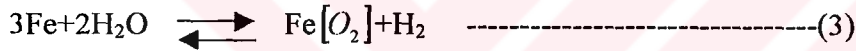
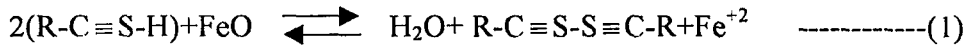
Zemin elektrik özgül direnci ρ (ohm- om)	Zemin korozif özelliği
$\rho < 1000$	Çok korozif
1000 - 3000	Korozif
3000 – 10000	Orta korozif
$10000 < \rho$	Az korozif

6.5.3.6 Kokulandırma maddelerinin korozyona etkileri

Bilindiği gibi İGDAŞ'ta, doğal gaz kokulandırıcısı olarak THT(Tetra Hidro Tiyofen) veya TBM(Tersiyer Butil Merkaptan) kullanılmış ya da kullanılmaktadır. Kükürt içeren bu iki kokulandırıcı teorik olarak korozyona neden olmaktadır.



Korozyon reaksiyonları:



(1)'deki reaksiyonun gerçekleşme oranını tespitinde ya oksijensiz ortamda Fe^{+} iyon miktarı ölçülür ya da $\text{R}-\text{C}\equiv\text{S}-\text{S}\equiv\text{C}-\text{R}$ 'nin gaz fazdaki oranı tespit edilir.

7. KİRLENME OLAYININ DOĞAL GAZ NAKİL SİSTEMİNE ETKİLERİ

7.1 Giriş

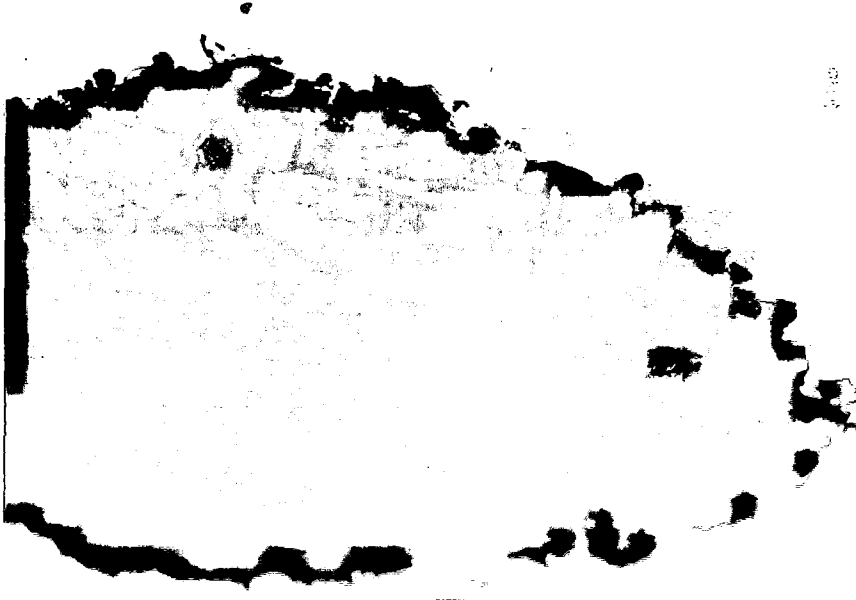
Doğal gaz nakil hatlarında kirlenme olayı, çalışmanın şu aşamasına kadar bir sonuç olarak ele alınmış, kirlenmeye neden olan işlemler, imalat aşamaları ve prosedürler gözler önüne serilmiştir. Kirlenme olayının doğal gaz nakil sistemine etkilerinin inceleneceği bu kısımda tecrübeler ışığında olay örneklemeleriyle ve şekillerle kirlenmenin şebeke ve işletme açısından sisteme etkileri, teknik ve ekonomik yönden ele alınacaktır. Dolayısıyla, kirlenme olayı bu aşamada bir sebep olarak göz önünde bulundurulacak ve nakil sisteminde yol açtığı fonksiyonel arızalar ve ekonomik yükü ağır olan zararlar ayrı ayrı incelenecektir.

7.2 Taşıyıcı Sisteme Etkileri

Doğal gaz nakil sistemlerinin temel unsurlarından biri, taşıyıcı sistem olarak adlandırılan boru hattı sistemidir. Taşıyıcı sistem, boru hattı, hat vanaları ve Esenyurt ve Dolayoba basınç düşürme ve ölçüm istasyonlarından başlayarak, doğal gazı, regülasyon sistemine ulaştıran sistem bileşenlerinden oluşmaktadır.

İşletmeye alma öncesi ve işletmeye alınması sonrasında, doğal gaz nakil hatlarında mevcut olan kirlenme bileşenlerinin, taşıyıcı sisteme olan etkilerini incelemek için iki öngörümüz vardır. Birincisi, bilimsel olarak analiz raporlarına dayalı olarak tespit edilen etkiler, ikincisi ise mevcut kirlenme bileşenlerinin muhtemel olarak neden olabileceği, varlığı ancak araştırmalarla kanıtlanabilecek olan etkilerdir. Bunlara ilave olarak tecrübelerle de, kirlenmenin taşıyıcı sisteme etkileri üzerine tespitler yapılabilmektedir.

Kirlenme bileşenleri analizi ve çelik boru parçası analizlerine dayalı olarak çıkartılabilecek en önemli sonuç, kirlenme bileşenleri ile korozyonun adeta bir tavuk-yumurta zincirleme ilişkisi sürdürdüğüdür. İlk önce kirlenme bileşenlerine neden olan, demir-oksitlerin oluşumuna yani hat içi paslanma ve döküntülere neden olan korozyon, varlığını nem, su gibi kirlenme bileşenlerinin yardımıyla kuvvetlendirerek sürdürmekte, kirlenme bileşenlerinden, demir-oksitleri de bu sayede varlığını sürdürmektedir.(Şekil 7.1)



Şekil 7.1 Demir oksit döküntüleri

Tecrübelerle dayalı olarak, kirlenme olayının özellikle hat bileşenlerinden vanalara olumsuz etkide bulunduğu gözlenmiştir. Özellikle, hat üzerinde çalışma yapılırken aç-kapa işlemleri sırasında ya da bakım-onarım işlemleri ve periyodik kontroller sırasında, kirlenme bileşenlerinden özellikle toz-toprak ve demir tozlarının, vanaların lamellerini, hassas temas yüzeylerini, yoğunlukla küresel vanalarda yıprattığı ve vana sızdırmazlığını yok ettiği tespit edilmiştir. Ayrıca hat içinde varlığı ispatlanmış olan kirlenme bileşenlerinin, yoğun gaz kullanımı dolayısıyla hat içi doğal gaz basıncının düşmesi ve gazın akış karakterini değiştirerek laminer akıştan türbülanslı akışa geçmesi ve hızını artırması nedeniyle sürüklenmeleri ve boru hattı çeperlerine taşlama etkisi yapması muhtemeldir. Özellikle 90° ve 45° dirseklerde, W ve S geçişlerde, yani dönüş içeren özel geçişlerde, bu taşlama etkisinin yoğunlaşması kaçınılmazdır. Bu durumların deneysel olarak araştırılması gerekmektedir.

7.3 Regülasyon Sistemine Etkileri

Doğal gaz nakil hatlarından 25 bar maksimum değerinde taşınan doğal gazı alarak basıncını polietilen şebeke ve bölgesel dağıtım basıncına regüle eden, genellikle 4 bar, basınç indigeme elemanları regülasyon sisteminin önemli kısmını oluşturmaktadır. Regülasyon

sistemleri, bölge regülatörleri ve müşteri regülatör istasyonları, hatta daha da ileri giderek, son kullanıcı kullanım basıncı regülatörlerini de kapsamaktadır.

Doğal gaz nakil hatlarında kirlenme olayının varlığının ilk önce tespit edildiği noktalar olan regülatör istasyonları, bu olaydan en çok etkilenen sistem elemanlarıdır. Kışın, hava sıcaklığının düşerek doğal gaza olan talebin, tüketim dolayısıyla çekişin artması ve doğal gaz hattı içinde basınç düşüklüğüne neden olması, hat içindeki akış hızının artmasına ve kirlenme bileşenlerinin sürüklenerek regülatör istasyonlarına yönelmelerine neden olmaktadır. Bu ise, en alışlagelmiş filtre elemanlarında yoğunlaşmalara ve hat filtresinin dolmasına neden olmakta ve zamanla tamamen tıkanarak doğal gaz akışının engellenmesine neden olmaktadır. Bilindiği gibi, regülatör istasyonları çift hatlı olup, her iki hattında da filtre elemanı bulunmaktadır. I. hat filtresi tıkanıp hat devreden çıkarsa , II. hat devreye girmekte, II. hat filtresi de tıkanırsa regülatör istasyonu devre dışı kalmaktadır. Bu işletmecilik açısından istenmeyen bir durumdur. Ayrıca, basınç regülatör istasyonlarında ortalama 20 barlık bir basınç, 4 barlık bir değere düşürülmektedir. Burada verilmek istenen nokta şudur; her 1 barlık bir basınç düşümünde doğal gazın sıcaklığı $0,56^{\circ}\text{C}$ düşmekte, yani regülatör istasyonlarında doğal gazın sıcaklığı: $(20-4)\times 0,56^{\circ}\text{C}=8,96^{\circ}\text{C}$ 'lik bir düşüğe uğramaktadır. Doğal gaz hattının içinde kirlenme bileşeni olarak su mevcutsa, doğal gaz ile sürüklenerek gelen su buharı tanecikleri, hava sıcaklığı 9°C 'in altında iken, basınç düşürme ünitelerinde donma ve tıkanmalara neden olduğu ve regülatör istasyonlarının devre dışı kalmasına neden olduğu gözlenmiştir. Bu durum ile, özellikle yeni devreye alınan doğal gaz nakil hatlarından beslenen regülatör istasyonlarında karşılaşılmakta, bu olay ise yeni devreye alınan hatlarda ilgili kurutma işlemlerinin sıhhatli bir şekilde yapılmadığını göstermektedir.

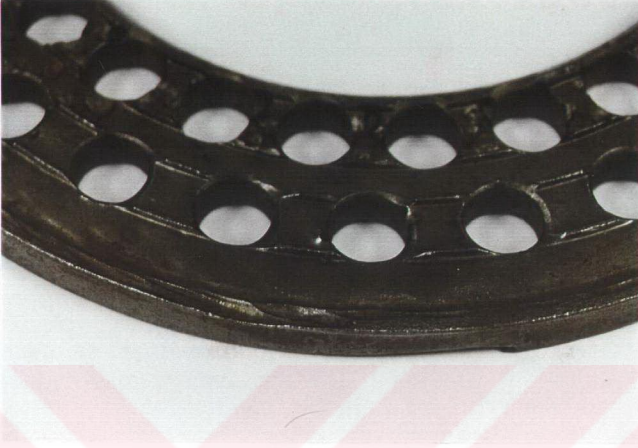
Kirlenme olayı, işletmesel olarak regülatör istasyonlarının devre dışı kalması ve abonelere gaz ulaştırılmamasına yol açtığı gibi regülatör istasyonlarında da bazı fonksiyonel ve mekanik arızalara neden olabilmektedir. Öyle ki yoğun kullanım zamanlarında filtre elemanından geçerek regülatör gövdesine ulaşan partiküller, regülatörün basınç dengeleme elemanları olan diyafra ve modüllerde hasarlara yol açmıştır.(Şekil 7.2, 7.3, 7.4, 7.5, 7.6)



Şekil 7.2 Hasara uğrayan diyafram görüntüsü



Şekil 7.3 Hasara uğrayan kalın modül görüntüsü



Şekil 7.4 Hasara uğrayan kalın modül görüntüsü



Şekil 7.5 Hasara uğrayan ince modül görüntüsü



Şekil 7.6 Hasara uğrayan diyafram görüntüsü

Kauçuk hammaddeden mamul diyaframın zarar görmesi bir yana, çelikten yapılan kalın ve ince modüllerin zarar görmesi , üzerinde dikkatle durulması gereken bir konudur. Hatta partiküllerin B-9 Etiler bölge regülatörünün gövdesinde dahi hasara neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, kirlenme bileşenlerinin tutulduğu filtre kovanlarının hemen altındaki 2" küresel vanalar ve 3/4" PN40 vanaların, yoğun zaman kullanımı neticesinde filtre kovanında biriken gazın tahliyesi için geçen kısa sürelerde 3-4 sn, tahliye sırasında aç-kapa işlemleri esnasında sızdırmazlıklarını kısmen yitirdikleri tespit edilmiştir.

Bölge regülatör istasyonlarından 4 bar basınçta çıkan doğal gazın, yoğun çekiş olduğu zamanlarda, belirli miktarlarda, filtreden ve regülasyon ünitelerinden geçen kirlenme parçacıkları içermesinden dolayı son kullanıcı regülatörlerinde de akümüle olan parçacıklardan dolayı bir tıkanma meydana gelmekte ve regülatörün devre dışı kalmasına neden olabilmektedir.

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Görüldüğü gibi, regülasyon sistemi elemanlarında, aşınma, yıpranma, delinme gibi mekanik-fonksiyonel arızalarla karşılaşıldığı gibi, regülatör ve istasyonların devre dışı kalması gibi

işletmesel arızalarla da karşılaşılabilir. Dolayısıyla, kirlenme olayı, sisteme etkileri göz önünde bulundurulursa göz ardı edilemeyecek kadar büyük öneme sahiptir.

7.4 Etkilerin İktisadi Değerlendirmesi

Kirlenme olayının, doğal gaz nakil sistemine etkilerinin ekonomik açıdan değerlendirmeleri, iki şekilde ele alınacaktır. Öncelikle teknik açıdan ekonomik etkileri değerlendirilecek, daha sonra da işletmesel açıdan kirlenme olayının yarattığı ekonomik yük ele alınacaktır.

Ekonomik etkilerin teknik açıdan değerlendirilmesinden kasıt, kirlenme olayı dolayısıyla taşıyıcı sistemde ve regülasyon sisteminde oluşan parça, malzeme hasarları ve uzun vadede boru hattı hasarlarıdır.

Taşıyıcı sistemdeki etkileri göz önünde bulundurulursa, kirlenme olayının en ağır ekonomik yükü, taşıyıcı sistemde yani boru hattındadır. Kirlenme olayına sebep olan ve kirlenme olayıyla büyüyerek devam etmesi kuvvetle muhtemel korozyon olayının noktasal tespiti için gerekli pig uygulamaları ve tamir çalışmaları büyük maliyetler doğurmaktadır. Amerika' da her yıl milyonlarca dolarlık bir bütçe, korozyon tespiti ve tamir çalışmaları için oluşturulmaktadır. Ekonomik yükün, boru hatlarında en büyük miktarlarda varsayılmasının nedeni, boru hatlarındaki kirlenme olayının etkilerinin ve korozyon olayının boyutlarının belirsiz olması ve tespitinin maliyetinin büyük miktarlarda olmasıdır.

Regülasyon sistemindeki etkilenmenin ekonomik büyüklüğü tespit edilebilir niteliktedir. Teknik açıdan değerlendirecek olursak, regülasyon sisteminde aşağıda parça-malzeme maliyetleri oluşacaktır;

- 1) Devamlı değiştirilen kartuj filtre elemanlarının maliyeti
- 2) Regülasyon sisteminin yıpranma maliyeti
- 3) Değiştirilen kalın-ince modül, diyafram, diferansiyel manometre maliyetleri
- 4) 2" küresel ve 3/4" PN40 vanaların maliyeti
- 5) Personel malzemelerinin ve ekipmanın yıpranma maliyeti

Kirlenme olayının işletmesel yönden ekonomik etkilerinden kasıt ise, gerekli parça-malzeme değişimleri ve gerekli bakım-onarım işlemlerinin yapılması sırasında şirket üzerinde oluşan personel ve idari ekonomik yüküdür.

Regülasyon sistemindeki etkilenmenin işletmesel açıdan değerlendirilmelerinde, en önemli başlığı personel gideri oluşturmaktadır. Abonelere kesintisiz gaz temini için yüklenilen maliyeti aşağıdaki işletme maliyetleri oluşturmaktadır;

- 1) Kirlenme olayından dolayı kesintisiz gaz teminin sağlamak için personelin fazla mesai maliyeti,
- 2) Personelin araç, yemek, yakıt maliyeti,
- 3) Personel ihtiyacındaki artışın getirdiği ilave maliyetler (maaş, fazla mesai, sigorta, araç, yakıt, vs.)
- 4) Yoğun çekiş dönemlerinde, bir adet bölge regülatörünün ihtiyacı karşılayamayacağı endişesi ile yakın bölgeye konulan ilave regülatörün maliyetleri (yatırım, malzeme, işçilik).

Kirlenme olayının, doğal gaz nakil sistemine teknik ve işletmesel yönde etkisi yukarıda bahsedildiği şekilde basit olarak algılanabilecek boyutta olmakla beraber, şirket üzerindeki mali yükünün ne boyutlarda olduğunu tespiti başlı başına bir araştırma konusudur.

7.5 Örnek Olaylar

Kirlenme olayının sistem içinde ne boyutlarda olduğunu ve sistem üzerinde etkilerinin araştırılması amacıyla örnek olaylar ele alınacak ve fazla detaylara inilmeden gözler önüne serilecektir.

7.5.1 Ağır oto taburu olayı

İstanbul Gaziosmanpaşa ilçesi 500 Evler Kışla Caddesi üzerinde bulunan Ağır oto taburu, yeni devreye alınan 24" çaptaki hattımızdan 6"lik bir bağlantı ayırımı (take-off) ile doğal gaz almaktadır. Regülatör istasyonunda gaz 20 bar basınçtan 1 barlık bir çıkışa indirgenmektedir. 1998 yılı sonlarında devreye alınan bu istasyonda yaşanan problem pilot devrelerinde meydana gelen buzlanma ve donma idi.

Hattın içinde bulunduğu kesin olan su nedeniyle Ağır oto taburu regülatörü uzun süre donma problemi yaşamış ve gaz kesintisi dolayısıyla gece-gündüz müdahalemiz gerekmiştir.

7.5.2 G.O.P. Cebeci halk ekmek fabrikası olayı

Bu fabrika için konulan regülatör istasyonu da yeni devreye alınan 24" hattın 12" çaplı uzantısının uç noktasından doğal gaz almaktadır. Bu istasyondaki temel sorun da Ağır Oto taburundaki gibi donma ve buzlanma idi. Ancak bu regülatör istasyonunun özelliği, ekmek kapasitesi yüksek bir fırında olması ve gereken doğal gazın ekmeğin fırına girmesinden çıkışına kadar kesintisiz olarak temin edilmesi gereğidir. Yani donma dolayısıyla istasyonun devre dışı kalmasından ekiplerimizin istasyonu devreye almasına kadar geçecek süreye tahammül yoktu. Bu sebeple istasyonun donma olan kısımlarına rezistans sarılması gibi palyatif çözüme gidilmiş, sorun giderilmiştir. Ancak doğal gaz sisteminin kendisine rezistans sarılması, yani doğal gaz ve elektriğin iç içe bulunması hangi gerekçe ile açıklanabilir ya da açıklanamaz, bu bir soru işaretidir.

Buradaki sorunun kaynağı da 1998 sonunda devreye alınan hattın içinde bulunan ve tahliye edilmemiş olan sudur. Halk Ekmek Fabrikası regülatör istasyonu devreye alınmadan önce bölge onarım ekipleri yaklaşık 1,5 saat süre ile 2" tahliye borusu ile tahliye yapmışlardır ve bu işlemler sırasında suyun kesilmediği gözlenmiştir. Belirtilen süre sonunda %100 gaza ulaşılmış ancak neden sonra su tekrardan sorun oluşturmuştur.

7.5.3 Kağıthane 16" hattaki hasar olayı

1999 yılı mart ayı başında yaşanan, Kağıthane Silahtarağa Caddesi'nden geçen 16" çelik hattımıza verilen hasar sonrası gelişmeler, doğal gaz nakil hatlarındaki kirlenme olayı açısından bir kilometre taşı oluşturmuştur. Bu hatta verilen hasar sonrasında, yapılan bakım-onarım çalışmaları sırasında hattın içinden alınan görüntüler, hat içindeki kirlenme olayını gözler önüne sermektedir.

Bu nokta, her ne kadar üzerinde bulunduğu hattın bir ayırım noktasının son noktasını oluşturursa oluşturursun, ayırım noktasında bu denli birikimin, hele hele eski hat üzerinde oluşması akıllardaki kirlenme probleminin ne derece kayda değer olduğunu göstermektedir.

1999 yılı başlarında Kağıthane Loop'unun oluşturulması yani yeni çekilen 24" hat ile mevcut 16" hattın birleştirilmesi ve hattın devreye alınması ile birlikte hat güzergahı üzerindeki Tarabya İşletme Şefliği'ne bağlı bölge regülatörlerinden bir kaç kirlenme olayı nedeniyle

devre dışı kalmış, daha sonra yeni devreye alınan hattın sisteme su ve diğer bileşenlerin şarj olduğu tespit edilerek bağlantı vanaları daha sonra açılmak üzere kapatılmıştır.

İşte 1999 yılı mart ayında yaşanan ana hatta zarar verilmesi ve akışın kesilmesi sırasında Kağıthane Loop vanalarının açılması sayesinde bölge gazsız kalmaktan kurtulmuş ancak belirli miktarlarda su ve kirlenme bileşenleri de hat içine yeniden şarj edilmiştir. Vurgulanmak istenen temel olay eğer yeni hat daha önce devreye alınıp belirli miktarlarda su ve kirlenme bileşenleri mevcut hatta şarj olmasaydı ve hasar olayı sırasında ihtiyaç gereği devreye alınsa ve boyutu tahmin edilmeyen su ve kirlenme bileşenleri hatta şarj olup bölgede büyük sorunlara yol açsa idi ne olurdu sorusunun cevabıdır.

7.5.4 Diğer olaylar

- Yoğunlaşmanın, yani yoğun gaz çekişinin ilk gerçekleştiği zamanlarda, 1994-95 yıllarında - B-08 Levent bölge regülatöründe meydana gelen donma olayının önüne geçilmesi ve aracın egzoz gazı ısıyla, egzoz gazının hortumla devrelere tutularak gevşemenin sağlanması,
- B-20, B-09, B-10 ve B-50 bölge regülatörlerinde bir günlük süre zarfında yaklaşık 30 adet filtre değiştirilmesi,
- Bölge genelinde donma yaşanan regülatörlere rezistans bağlanması.

Doğal gaz nakit hatlarında kirlenme olayından kaynaklanan yukarıdaki ve benzeri olayların sayısını artırmak mümkündür. Ancak, kirlenme olayının, sisteme ne gibi etkilerde bulunduğu tespit edilmesi ve gözler önüne serilmesi açısından bu kadar örnek olay yeterli görülmüştür.

TE YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANI

TE YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANI

8. ÇÖZÜM METOTLARI

8.1 Giriş

Doğal gaz nakil hatlarında kirlenme olayının çözümü, öncelikle kirlenme bileşenlerinin üretilmemesi ya da meydana getiren proseslerin uygulanmamasından başlamaktadır. Bir sorunun en kolay çözümü, o sorunun hiç yaratılmamasını sağlamaktır. Ancak sorunla bir defa karşılaştıktan sonra da bilimsel yaklaşımlar içinde günü kurtaran değil kalıcı çözümler üretmek gerekmektedir.

Kirlenme olayı belki İGDAŞ açısından karşılaşılmış bir ve başlangıç aşamasında engellenememiş bir olaydır. Ancak tecrübelerimizden yola çıkarak diğer başka işletici ve dağıtıcı şirketlerin aynı sorunla karşılaşmaması sağlanabilecektir. Kirlenme olayı İGDAŞ için de çözülemeyecek ya da çözümü zor aşamalara henüz gelmemiştir. Belki başlangıcı kaçırılmıştır ama sorun henüz gelişme safhasındadır.

Kirlenme olayının çözümü, iki ana başlık altında incelenecektir. Bunlardan ilki, işletmeye alma öncesi, yani sorunla karşılaşılmadan önceki çözümler, ikincisi ise işletmeye alma sonrası yani sorunla bir defa karşılaşıldıktan sonraki ve hat içi tespitte ve tamirata yönelik çözümlerdir.

8.2 İşletmeye Alma Öncesi Çözümler:

Kirlenme olayının işletmeye alma öncesi çözümü demek, kirlenme bileşenlerinin oluşumunu sağlayan mekanizma ve proseslerin ortadan kaldırılması demektir. Analizler sonucunda kirlenme bileşenlerinin su, toprak-kum ve demir-oksitleri olduğunun tespitinden yol çıkarak, bu bileşenlerin oluşumunu sağlayan işlemlerin uygulamadan kaldırılması ile ilgili çözüm önerileri ortaya sunulacaktır.

8.2.1 Depolama şartları:

Doğal gaz nakil hatlarının oluşumunda esas teşkil eden çelik boruların, nemli ortamlardaki korozyonu tespit edilerek, İstanbul'un ya da bulunduğu yerin nem ve bağıl nem şartlarına

göre yapılan bu tespitler sonucunda ,korozyon oluşturmıyacak sürelerde, mesela 15 günlük süre için stok yapılarak,daha uzun süreli, korozyon başlangıcına neden olabilecek sürelerde stoğa gidilmemelidir.

Analiz sonuçlarına göre, çelik hattımızda meydana gelen korozyonun atmosferik ortamda ve bağıl nem oranı yüksek ortamlarda meydana gelen korozyonla özdeşlik gösterdiği tespit edilmiştir. Uygulama da, İstanbul'un herhangi bir yeri korozyona müsait olduğundan, depolarda birkaç ay bekleyen çelik boru hattı malzemeleri, birkaç ay da müteahhitin çalışma sahasında bekletilmekte olup, hidrostatik test sonrası birkaç hafta da devreye alınmayı beklediğinden, korozyon olayı başlamış olarak sisteme dahil olmaktadır.

Eğer stokta uzun süre beklemek zorunlu ise, çelik boru hattı parçaları, bağıl nem oranı kontrol altında tutulan bir yerde ağızları kapaklı olarak depolanır ise, korozyon olayının şimdiki kadar ki, tespit edilen boyutta olmaması beklenebilir. Ayrıca müteahhide teslimden boru çekimine kadar geçen zaman zarfında korozyona neden olabilecek uygulamalardan da kaçınılmalıdır. Çünkü zincirin herhangi bir halkasının kopması, alınan tüm tedbir ve uygulamaların boşa çıkmasına neden olacaktır.

8.2.2 Hattın temizlenmesi - pig kavramı

Doğal gaz nakil hatları işletmeye alınmadan önce, boru çekimi ve inşaat işlemleri sırasında hattın içine sızması mümkün olan toz-toprak gibi kirlenme bileşenlerinin ve hidrostatik test sonrasında hat içinde kalması mümkün olan ve kaldığı takdirde de korozyona neden olabilecek su-nem gibi kirlenme bileşenlerinin tahliyesi ve hattın temiz olarak devreye alınması, sağlıklı bir doğal gaz işletmeciliği ve nakil sistem ömrü açısından esastır.

İşletmeye alma öncesi döküntü ve su gibi bileşenlerin tahliyesi için "PIG" adı verilen ekipmanlar kullanılmaktadır. Çalışmanın bu aşamasında, işletmeye alma öncesi yapılan tahliye ve temizleme işlemlerinde kullanılan pig ekipmanları ve sistematığı ele alınacaktır. Böylece, ileri ki kısımda değinilecek olan akıllı pigler gibi özel uygulamaların kolayca anlaşılması sağlanmış olacaktır.

8.2.2.1 Pig nedir?

“Pig” kelimesi, esasen ilk olarak boru hattı içinde ilerleyen ve çeperlerdeki parafinleri kazımakta kullanılan kazıyıcılar için kullanılmıştır. Kullanılan kazıyıcı, karakteristik, yüksek ve domuz sesine benzer bir ses çıkarttığından dolayı, benzerliği göz önünde bulundurularak, şu anda boru hatları boyunca kullanılan aletleri tanımlamada da “pig” (domuz) ismi kullanılmaktadır.

Pig, boru hattının içinde temizleme, boyutlandırma ve tetkik amaçlı hareket eden cihaz olarak tanımlanır. Bu tanım, 500 farklı tasarımlı ve çeşitli pigleri içine alır.

8.2.2.2 Boru hattı neden piglenir?

Boru hattını piglemek için çok çeşitli nedenler vardır. Boru hattı kurulduktan sonra, yapım aşamasında hat içinde kalmış döküntüleri uzaklaştırmak için pigleri kullanmak gereklidir. Yemek kutuları, el aletleri, kaynak çubukları hat içinde kalmış ölü hayvanlar vs. bu döküntüleri oluşturur. Pigleme aynı zamanda hat içindeki kaynak çapaklarını da giderir. Boru hattı sahibi hattın ovalliğini doğrulamak için de bir piglemeye ihtiyaç duyabilir. Bunun için bir kalibreli pig veya bazen bir geometri pigi kullanılır.

Boru hattı temizlendikten sonra, piglerin hidrostatik test için hattı su ile doldurmak, suyu boşaltmak (suyun denemeden sonra uzaklaştırılması) ve kurutma için kullanıldığı, kabul edilebilirlik testleri kısmına geçilir. (Fisher, 1998)

Boru hattı bu aşamada kullanıma hazır olduğundan hattın verimli bir şekilde çalışması ve korozyonun kontrolünün sağlanması için piglemek gereklidir. Islak gaz sistemlerinde sıvıların uzaklaştırılması, ürün boru hatlarında birikmiş suyun uzaklaştırılması ve ham petrol boru hatlarında parafin uzaklaştırılması ve kontrolü gereklidir. Pigler aynı zamanda inhibitörleri ölçülendirmede kullanılır.

Zaman geçtikçe özel temizleme uygulamalarına ihtiyaç duyulabilir. Bir ILI, hat içi tetkik, cihazı kullanmadan önce, tetkik öncesi pigleme borunun temiz olmasını gerektirmeyecektir fakat bir optal pig ILI cihazının hat boyunca ilerleyebileceğini kesinleştirmek için kullanılır. Belirli şartlar altında, boru hatları kimyasal temizleme gerektirebilir veya jel piglerinin bir

dizisi belirli temizleme şartları için kullanılabilir. Hatlar bazen terkedilmiştir ve hattı naftalinlenmeden önce temizlik gerekir. (Tiratsoo, 1992)

Diğer uygulamalar hat içinde herhangi bir çöküntü veya bükülme olup olmadığını bulmak için geometri piginin kullanılmasını içerir. Boru hattı içindeki korozyon miktarını veya metal kaybını belirleyebilmek için, bir ILI cihazı kullanılır. Çeşitli derecelerdeki benzin, ısıtma yağları ve yakıtları gibi bir çok ürünü tutan boru hatları, bu ürünleri ayırmak için sıklıkla bir pig veya küre kullanılırlar. Pigler genellikle boru hattının alçak kısımlarında birikmiş suyu hattan uzaklaştırmak ve korozyonu azaltmak için kullanılırlar. Çift çaplı hatlarda piglerin kullanımı her zaman sorun çıkartır.

8.2.2.3 Pig tipleri

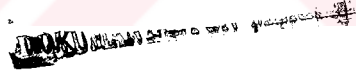
Pigler üç temel kategoriye bölünebilirler: Akım içinde veya rutin pigleme için klasik veya hizmet pigleri, tetkik için geometri pigleri, metal kayıpları ve korozyon için ILI (hat içi tetkik) cihazları kullanılmaktadır.

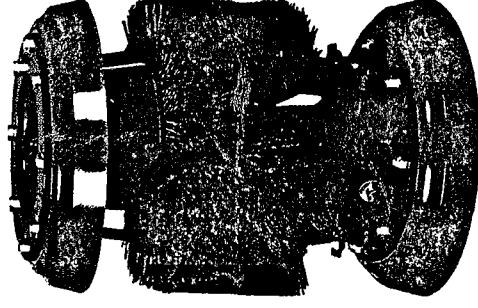
8.2.2.3.1 Klasik / hizmet pigleri

Geleneksel veya hizmet pigleri iki kategoriye sınırlanabilir; temizleme ve keçe pigleri

8.2.2.3.1.1 Temizleme pigleri

Temizleme pigleri boru hattının duvarlarından birikmiş katı ve kalıntıları uzaklaştırmada kullanılır. Bu ham petrol boru hatlarında normal olarak parafindir. Bir gaz boru hattında inhibitörler kullanıldığında, inhibitör içindeki çözücüler buharlaşarak boru duvarında temizleme pigleriyle uzaklaştırılabilen tabaka oluşturur. Temizleme pigleri aynı zamanda korozyon bölgelerini dağıtmak için hatların kimyasal iyileştirilmesi ve su, mikrop, korozyon ürünleri ve mikroplar için besin oluşturan maddeleri uzaklaştırılması için kullanılır. Temizleme pigleri normal olarak temizleme yapabilmek için fırçalar ve bıçaklarla donatılmıştır. Şekil 8.1'de bir temizleme pig gösterilmektedir.





Şekil 8.1. Temizleme pigi

8.2.2.3.1.2 Keçe pigleri

Keçe pigleri hidrostatik denemelerde hattı su ile doldurup boşaltmada kullanılır. Islak gaz sistemlerinde kondensatın ve suyun, ürün boru hatlarında suyun uzaklaştırılması veya ürünler boru hattında benzer olmayan ürünlerin ayrılması diğer uygulamalardır. Keçe pigleri küre, sert kalıp poliüretan veya keçeli vantuz veya diskli mil tipinde olabilir.

Bu kategoriler dört farklı tipte olabilir: Bunlar; mandrel pigler küreler, sert kalıp uretan pigler ve köpük (Polly) pigler.

8.2.2.3.1.2.1 Köpük pigler

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU

Poli pigler olarak ta bilinen köpük pigler, açık hücreli poliüretan köpükten üretilir. Köpük, hafif yoğunluk ($32,04 \text{ kg/m}^3$), orta yoğunluk ($80-128 \text{ kg/m}^3$) ağır yoğunluk ($144-160 \text{ kg/m}^3$) gibi farklı yoğunluklardadır. Normalde mermi şeklinde olmalarına rağmen, konkav uçlu, düz uçlu veya her uçta mermi burunlu gibi şekilleri de olabilirler. Poli pig çıplak köpük veya 90 durometre poliüretan madde ile kaplanmış halde olabilir. Kaplanmış pigler spiral poliüretan kaplamalı veya silikon karbid kaplamalı olabilir. Eğer pig çıplak köpükse tabanı kaplanmıştır. Standart poli pigin uzunluğu çapının iki katıdır.

Poli piglerin bazı özellikleri sıkıştırılabilir, genişleyebilir, hafif ve esnek olması şeklinde sıralanabilir. Poli pigler çok çaplı boru hatlarında ilerler ufak dirseklerden ve kısa çevreli 40^0 dirseklerden geçer. T dirsekler de ani dönüşler yaparlar, böylelikle yan yüzeyleri temizlerler. Aynı zamanda %65 açıklıktaki vanalardan da geçerler. Poli pigler aynı zamanda ucuzdurlar.

Poli piglerin dezavantajları ise bir kez kullanımlık olmaları, daha az kullanım süreleri olmaları ve bazı asitlerin yüksek konsantrasyonlarının ömrünü kısaltması şeklinde sıralanır.

Poli pigler aynı zamanda hattın denenmesi kurutulması ve süpürülmesi kalın yumuşak kalıntıların uzaklaştırılması, ıslak gaz boru hatlarında kondensatin uzaklaştırılması ve çok çaplı hatların piglenmesinde kullanılabilir. Tel fırça veya silikon karpit ile kaplanmış poli pigler boru hattının kazınması ve yumuşak şekilde aşındırılması için kullanılır şekil 8.2.'de çeşitli poli pigler gösterilmektedir.



Şekil 8.2 Çeşitli poli piglerin görüntüsü

8.2.2.3.1.2.2. Mandrel (çelik milli) pigler

İ.C. TÜRK
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Bu piglerin bir metal gövdesi vardır (çelik veya alüminyum) ve pigi boru hattının aşağısına doğru itmesi için basınç farklılığı sağlayan keçeler ile donatılmıştır. Hattı temizlemek için pig tel fırçalar ile donatılır.

Mandrel piglerin avantajları ya temizleme ya da keçeleme pigi ve bazen de bu ikisinin kombinasyonu olarak kullanılabilmesi şeklinde açıklanabilir. Keçeler ve fırçalar pigi yeniden kullanılabilir yapmak için çıkarılabilir ve yerine yenisi takılabilir, temizleme pigleri ağır kazıma için tasarlanmıştır ve tel fırçalar veya üretan bıçaklarla donatılabilirler. Uzun kullanım süreleri için tasarlanmıştır. Pigin burnunda hızı kontrol etmek için by-pass delikleri tasarlanmıştır.

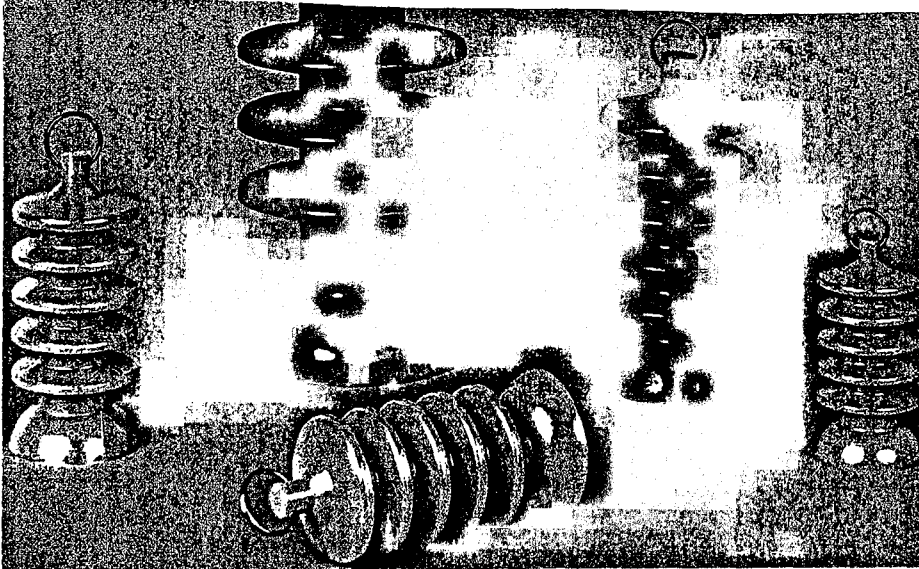
Aynı zamanda mandrel piglerinin dezavantajları da vardır. Pig'in yeniden düzenlenmesi maliyeti yüksektir ve daha büyük piglerin yüklenip bu yüklerin indirilmesi için özel ekipmanlar gerekir. Ara sıra tel fırçanın kılları kopar ve cihazın ve başka istenmeyen yerlerin içine girer. Ufak ebatlı mandrel pigler 1,5 D dirseklerle uyuşmaz.

8.2.2.3.1.2.3. Sert dökme pigler

Sert dökme piglerin çok çeşitli tasarımı vardır ve üretandan yapırlar. Ancak neopren, nitril, viton ve diğer lastik elastomerleri ufak boyutlu pigler için kullanılabilir. Keçe pigleri olarak görülürler, buna rağmen bazı sert dökme pigler etrafına sarılmış fırça halinde bulunabilir ve temizleme amaçlı kullanılabilir. Sert dökme pig vantuz disk veya vantuz/disk kombinasyonu tasarımı olabilir. Piglerin çoğu yekpare yapımlardır ancak bir çok üretici tüm üretan piglerini değiştirilebilir keçe elemanlı yapmıştır.

Mandrel piginin yeniden giydirilmesinin ve taşınmasının maliyetinden dolayı, birçok firma sert dökme pigleri 14 inç veya 16 inç'de kullanmaktadır. Bazı sert dökme pig tasarımlarında 36 inç ebatlar mevcuttur.

Sert dökme pigler ürün boru hatlarından sıvıların uzaklaştırılması, ıslak gaz sistemlerinden kondensatın ve suyun uzaklaştırılması ve ham petrol sistemlerinde parafin biriminin kontrolü için oldukça etkilidir. Şekil 8.3'de sert dökme pigine örnek olarak poliüretan pigler gösterilmektedir.



Şekil 8.3 Poliüretan sert dökme pigler

8.2.2.3.1.2.4 Küreler

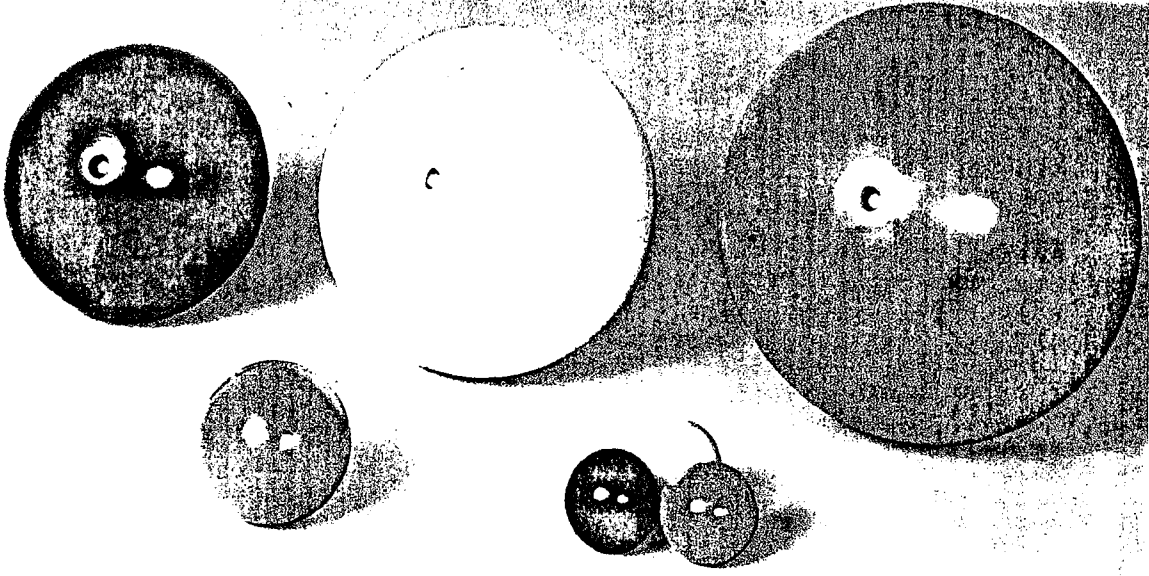
Küreler uzun yıllardan beri keçe pigi olarak kullanılmaktadır. Kürelerin dört temel çeşidi vardır; şişirilebilir, katı, köpük ve çözünebilir. Çözünebilir küre genellikle ham petrol boru hatlarında kullanılır ve parafin yavaşlatıcısı gibi davranan mikro-kristalin yağ ve amorf polietilen içerir. Kürenin bir kaç saat içinde çözülebilmemesine rağmen, çözünebilir kürelerin çözülme hızı akışkan sıcaklığının, akışkan hareketinin, sürtünme ve ham petrolün absorplama kabiliyetinin bir fonksiyonudur. Eğer hat daha önceden piglenmediyse çözünür pigin kullanılması iyi bir fikirdir. Eğer hat içinde takılı kalırsa, hattı engellemez.

Şişirilebilir küre, uygulamaya bağlı olarak çeşitli elastomerlerden üretilebilir (poliüretan, neopren, nitril ve viton). Küreyi suyla doldurmaya yarayan doldurma vanaları ile boş merkezi vardır. Küreler suyla veya su ve glikol ile doldurulur ve istenen ebada şişirilir. Kürelerin hiçbir zaman havayla şişirilmemelidir. Uygulamaya ve maddeye bağlı olarak, küre borunun iç çapının %1-2 fazlasına kadar şişirilir. Küre kullanım ile aşındıkça yeniden ebatlandırılır, kullanım süresi uzatılır. Küçük ebatlarda, küreler şişirme ihtiyacını engelleyerek katı halde üretilebilir. Şişirilemediklerinden, şişirilebilir kürelerin kullanım ömrü kadar uzun ömre sahip değildir.

Küreler aynı zamanda, açık hücreli poliüretan köpükten de üretilebilir. Daha iyi bir kaplama için üretan maddelerle kaplanır. Temizleme amaçları için, yüzeylerinde tel fırça olabilir. Köpük kürelerin avantajları hafif olması, ekonomik olması ve şişirmeye gerek duymaması şeklinde sıralanabilir.

Kürelerin genelde kullanımı kolaydır, kısa çevreli 90° dirseklerle düzensiz dönüşlerle ve dirseklerle uyum içindedir. Ufak yan hatlardan daha büyük ana hatlara geçerler ve otomatikleştirilmeleri diğer pig tiplerinden daha kolaydır.

Küreler genelde ıslak gaz sistemlerinden sıvıların uzaklaştırılması, ürün boru hatlarından suyun uzaklaştırılması, farklı ürünlerin ayrılması, ham petrol boru hatlarında parafin kontrolünde ve hat rehabilitasyonu veya hattın yeni yapımından sonraki hidrostatik denemelerde ve suyun uzaklaştırılmasında kullanılırlar. Küreleri kullanırken hat için özel tasarım durumları göz önünde tutulmalıdır. Özel akış T dirsekleri olmayan hatlarda hiçbir zaman kullanılmamalıdır. Şekil 8.4'te değişik tipte küreler gösterilmektedir.



Şekil 8.4 Değişik tipte küreler

8.2.2.3.1.3. Özel temizleme pigleri

Temizleme pigleri boru hattı içindeki katıları veya birikmiş döküntüleri uzaklaştırmak için tasarlanırlar. Katıları uzaklaştırmak için boru duvarını kazıyarak tel fırçaları vardır. 14 inç veya daha küçük pigler döner tekerlekli tel fırçaları kullanır. Bu fırçaların değiştirilmesi kolaydır ve bunlar ucuzdur. Bazı daha büyük piglerde özel döner fırçalar kullanılır. Büyük piglerin kaplama dengeleyici fırçaları vardır. Bu fırçalar ihtiyaç duyulduğunda ayrıca takılabilir. Bu fırçalar yaprak yaylarına, dirsek yaylarına veya bobin yaylarına monte edilebilir. Bu yaylar fırçayı duvara doğru iter. Tel, kaplamayı fırçaladıkça yayın kuvveti fırçayı duvarla temasta tutarak kaplamanın fırçalanmasını dengeler.

Birçok fırça maddesi vardır. Standart fırçalar ince veya kaba karbon çeliği telinden yapılır. İç kaplamalı boru hatları için Prostron tercih edilen maddedir. Bazı durumlarda paslanmaz çelik fırçalara gerek duyulur. Çukur temizleyici fırçalar gibi özel fırça tasarımları mevcuttur.

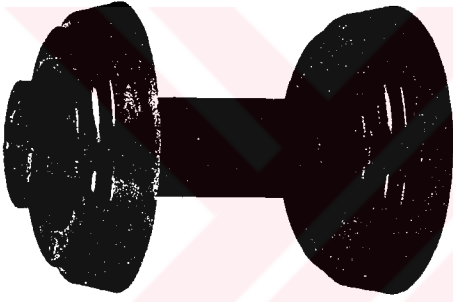
Parafin, çamur vb. gibi yumuşak kalıntıların temizlenmesi gerektiğinde, üretan bıçak mükemmel bir seçenektir. Bıçak tasarım fırçalar ile değişebilir.

By-pass muhafazaları pigın burnuna veya gövdesine kurulabilir. Bu muhafazalar akışkan geçişini kontrol etmede kullanılır. Eğer muhafazalar pigın gövdesindeyse, akış fırçalardan da geçecektir ve bunların temiz kalmasını sağlayacaktır. Akışkan pigın burnundaki muhafazadan geçtikçe, pigın önündeki döküntülerin karışmasına ve pigın önünden hareket etmesine yardımcı olur. By-pass'ı düzenlemek için aparatlar kullanılır.

Keçe elemanları ya elastomer vantuzlar ya da disklerdir. Diskler yumuşak döküntüleri uzaklaştırmak için temizleme ve keçeleme elemanlarının kombinasyonu olarak kullanılır. Vantuzlar standart veya konik tasarımıdır. Bazı uygulamaları için özel vantuzlar mevcuttur. Vantuz ve disk maddesi aşındırıcı aşındırma ve yırtma direnci gösteren fakat sınırlı sıcaklık aralığında kullanılabilen üretilen maddesinden üretilir. Neopren, nitril, EPDM ve viton yüksek sıcaklık uygulamaları için kullanılabilir.

8.2.2.3.1.4 Ayırma pigleri

Ayırma pigleri çeşitli derecedeki benzin, ısıtma yağı vs. gibi benzer olmayan akışkanların çoklu ürün boru hatlarında ayrılması için kullanılır. Bu pigler eğer sıyrıcı vantuzları varsa tek yönlü ve eğer diskleri varsa çift yönlüdür. Şekil 8.5'te bir ayırma pig gösterilmektedir.

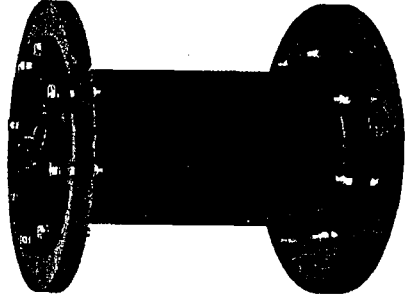


Şekil 8.5 Ayırma pig görüntüsü

**TC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

8.2.2.3.1.5 Yer değiştirme pigleri

Yer değiştirme pigleri bir akışkanı diğeri ile yer değiştirir. Tasarımda çift veya tek yönlü olabilir. Boru hattının deneme ve hazırlanma aşamalarında kullanılır. Hattın tahliyesi veya terk edilmesi, yer değiştirme piglerin başka bir kullanımınıdır. Şekil 8.6'da bir yer değiştirme pig gösterilmektedir.



8.6. Yer değiştirme pigi görüntüsü

8.2.2.3.1.6 lme pigleri

lme pigleri boru hattının yapımından sonra hatta herhangi bir engellenin olup olmadığının bulunmasında kullanılırlar. Hattın ovalliğinden, kabul edilebilir sınırı içinde, emin olunmasını sağlar. Kalibrasyon tabakası genellikle pigin önüne monte edilir ve yumuşak elik veya alüminyum tabakadan yapılır. Tabaka yuvalalı veya düz olabilir. Tabakanın dış çapı borunun iç çapının %90-95'i kadardır. Şekil 8.7'de bir lme pigi gösterilmektedir.



Şekil 8.7 lme pigi görüntüsü

8.2.2.3.1.7 Profil pigi

Bir profil pigi, çok tabakalı lme pigidir. Tabaka sayısı genellikle ttr. Bir plaka pigin önüne, biri ortaya ve biri de arkasına monte edilir. Normalde ILI cihazının kullanımından önce bu cihazın dirseklerden ve boru hattından geçişini kesinleştirmek için kullanılır.

8.2.2.3.1.8 Çift çaplı pigler

Ülkeyi kateden uzun miller boyunca çift çaplı boru hatları vardır. Bu hatlar ekonomik sebeplerden dolayı kurulmuştur ve bir pigın kullanımı esnasından çaplar arasındaki farklılıklardan dolayı önemli sorunlar çıkarır. Bu hatlar normalde iki farklı boru ebadından oluşur, örneğin 4 inç x 6 inç, 8 inç x 10 inç vs. Mandrel pigine küçük hatlar için düz diskler takılırken daha büyük hatlar için yuvalı diskler takılır. Eğer bu bir temizleme pigi ise, fırçalar bunu hat içinde destekleyecektir ve pigi merkezde tutacaktır.

Köpük veya poli pig bu uygulamada geniş bir şekilde kullanılır.

8.2.2.3.1.9 İletici pigler

Seyrek olarak pigler bir hat içinde tıkanır. Pigın tıkanma noktası gövdesinde bir iletici olan pigle bulunabilir. İletici bir sinyal yayar, böylelikle bir alıcı ile yeri belirlenebilir. Pigın yeri belirlendikten sonra, hat kazılır ve pig çıkartılır. İleticiler normalde mandrel, sert dökme, veya poli piglere takılır.

8.2.2.3.1.10 Özel pigler

Bir çok uygulama özel pigleri gerektirir. Pig endüstrisindeki üreticiler bir çok uygulama için özel pigler yapmıştır. Sertleştirilmiş uçlu çelik iğneler kullanan bir iğne tekerli pig, boru hattından yağları ve kabuğu uzaklaştırmak için geliştirilmiştir. Bir manyetik temizleme pigi boru hattında kalmış demir döküntüleri toplamak için geliştirilmiştir.

8.2.2.4 Pig belirleme kriterleri

Uygulama için bir pig seçmeden önce bazı belirli sorular cevaplandırılmalıdır(Spraggon, 1998)

- Pig hangi görevi yerine getirmelidir?
- Boru hattının hayatının hangi döneminde görev yerine getirilecektir?
- Pigın tasarımını etkileyecek önemli işletme özellikleri nelerdir?

Bu üç sorunun cevaplanması iş için doğru pigi sağlayacaktır. Herhangi bir pigin başarılı seçimi için gerekli anahtarlardan biri boru hattının işletim parametrelerinin düşünülerek değerlendirilmesidir. Bir çok durumda, bu tip parametreler kullanıcı tarafından fark edilmez, boru hattı iç çapı gibi sadece temel bilgiler sağlanır.

8.2.2.4.1 Anahtar parametreler

8.2.2.4.1.1 İtici ortam

Pigler kendilerini boru boyunca itebilmeleri için itici ortama ihtiyaç duyarlar. Mevcut ortam tipleri boru hattının hangi devreden olduğuna bağlıdır. Yapım esnasında sadece su gibi geçici ortamlar mevcuttur. Boru hattı kullanımdayken, hizmet pigi itmek için kullanılacaktır, bu sıvı veya gaz halinde olabilir. Ancak gazın hız sapması sonucu bir çok sorun çıkarabileceğinden dolayı sıvı tercih edilir.

8.2.2.4.1.2 Basınç

Basınç için üst sınırlama yoktur, ancak pigin belli bir yerin ekipmanı veya veri kaydedicisi olarak kurulduğu yerlerde dikkat edilmesi gerekir.

8.2.2.4.1.3 Hız

Piglerin işleminin hızının, pigin etkinliğine ve kullanım süresine doğrudan etkisi vardır, bu özellikle kuru aşındırıcı boru hatları için geçerlidir. Sıvı hatları için tavsiye edilen hız 1 ve 5 m/sn arasındayken pigleme gaz hattında yapılırsa, 7 m/sn.lik hızlar daha yaygındır.

Genellikle optimum pigleme hızları için ürün sıvılarını veya gazlarını kontrol etmek çok zordur, bu yüzden tek çözüm pig boyunca by-pass uygulamaktır. By-pass pigin arkasından gelen itici ortamın öne geçmesini sağlayarak pigi yavaşlatır.

Kontrol edilmeyen pigleme hızlarının sonucunda sıklıkla gözlenen bir sorun poliüretan keçe ortamın erimesidir. Bu genel olarak kuru gaz hatlarında aşırı hız sonucu ısı açığa çıkmasıyla ilgilidir. İtici gaz basıncı arttıkça, pigi ileriye doğru çok büyük hızlarda iter, sonuç olarak basınç azaldıkça durgun hale yaklaşır.

8.2.2.4.1.4 Sıcaklık

Poliüretan sıcaklık sınırlamaları getirir. Pig uygulamaları için tasarlanan poliüretan genelde – 20⁰C ile 80⁰C arasında kullanılır, (standart ve süper omnitan), ancak bazı özel uygulamalar için bazı poliüretanlar 120⁰C'ye (hiper omnitan) kadar kullanılabilir.

Isı üretimi boru hattı sıcaklığı ve artan pig hızındaki sürtünmeden oluşur. Poliüretan maksimum kullanılma sıcaklığına ulaştığında, özellikleri değişir ve özellikle standart ve süper omnitanda erimeler meydana gelir. Hiper omnitan 120⁰C'ye kadar değişmeyen özelliklere sahiptir.

8.2.2.4.1.5 Dirsekler

Dirsekler bir pig'in geçişine karşı önemli sorunlar çıkartabilir. Bu, özellikle diğer hat özelliklerinin veya uygulamalarının çok modüllü pig veya uzatılmış keçe uzunluğu gerektirdiği durumlarda daha fazladır. Dirseğin yarıçapı veya gerginliği ve yapım metotları göz önüne alınması gereken iki anahtar özelliktir.

Dirsek yarıçapı, bir çok pig konfigurasyonu için 3D (3x boru hattının nominal yarıçapı) tercih edilir, ancak 1,5 D'lik gibi daha gergin dirsekler özellikle eski boru hatlarında oldukça yaygın kullanımdadır. Ufak boru hatlarını pigleme için tasarlanmadığı yerlerde 1,5 D veya daha az dirsekler sıklıkla belirtilir. Genellikle köpük veya esnek piglerin kullanımıyla bunun üstesinden gelinir.

Dirsek yapımı metotları; dirsekler üç temel teknik kullanılarak yapılırlar: i) alan veya çekme dirsekler, ii) demir dirsekler iii) imal dirsekler.

T.C.
YATIRIM MENKUL DEĞERLER A.Ş.

Çekme dirsekler bükme esnasında fazla ovalik oluşmazsa bir sorun çıkarmaz. Dökme dirsekler, özellikle dirsek boyunca fazla duvar kalınlığının boru iç çapını azalttığı yerlerde genelde piglenemez. Hazır imal dirseklerde pig tasarımcısına sorun çıkarır. İmal edilmiş "istakoz sırtı" yapımlar pig'in tıkanmasına yol açan keçe kaybına sebep olur.

Sonuç olarak dirsekler keçe elemanının aşınmasını artırıcı yönde hareket ederler, bu yüzden dikkatli poliüretan seçimi gereklidir.

8.2.2.4.1.6 Vanalar

Vanalar kelebek ve tıpa tipleri dışında bir sorun çıkartmazlar. Bu iki tip vana piglenemez. Küre, kapı ve tek yönlü vanalar başarı ile piglenebilir, ancak tek yönlü vanalarda bir sorun çıkabilir. Bir pig bir tek yönlü vanadan geçecekse, her diskin önüne konik burun eklenmelidir. İlaveten pig gövdesindeki kanatların takılmasını engellemek için merkezi destek diski veya boydan boya çubuklar takılmalıdır. Genelde vanalar, eğer boru vana açıklığına uyarsa hiçbir açıklık olmazsa, vana açıklığı eş merkezli olur ve düzgün geçiş varsa piglenebilir.

8.2.2.4.1.7 T- Dirsekler

T dirsekler ve branşmanlar herhangi tipteki kullanım piglerini geçişine önemli sorunlar çıkartır. Branşman ebadının hat ebadının %70'ini geçtiği yerlerde, pigler takılabilir köpük pig kullanımında ise branşmana rahatlıkla geçer. Bunu engellemenin tek yolu, branşmanın kapatılması veya küre T dirseğinin takılmasıdır. Aynı zamanda branşmanın açık alanını iyice engellemesi için yeterli keçe uzunluğunda pig tasarlamaya da dikkat edilmelidir.

8.2.2.4.1.8 Çift çaplı boru hatları

Çift çaplı boru hatları keçe ve kılavuz elemanlarının doğru boru hattı müdahalesine göre kurulması sorununu çıkarırlar. Genel olarak çift çaplı pigler çift yönlü olmalıdır bu yüzden keçe elemanları disklerden yapılmalıdır. Çift çap uygulamalarında disklerin kullanımı segmanlı desteklerin ve bazı durumlarda da segmanlı keçelerin kullanımını gerektirir. Geniş ve ufak boru hatlarında keçelemeyi açıklamak için, çoklu disk konfigürasyonları gerekir. Bu piglerin tamamının özel olduğu ve sadece tüm şartlar bilindiğinde başarıyla kullanılabilecekleri vurgulanmalıdır.

8.2.2.4.1.9 Boru hattı uzunluğ

Boru hattı uzunluklarını pig tasarımı cinsinden belirlemek zordur. Genelde keçeleme ve kılavuz elemanları olarak poliüretan kullanıldığında bunlar maksimum kullanım uzunluğunu belirler. Yaklaşık bir hesapla boru hattı şartlarına bağlı olarak değişen şu değerler bulunur:

Yumuşak köpüklü pigler	3 km
Orta sertlikli köpüklü pigler	25 km
Sert köpüklü pigler	300 km
Standart omnitan poliüretan	100 km
Süper omnitan poliüretan	200 km
Hiper omnitan poliüretan	400 km

İlave destek veya kılavuz disklerin veya tekerlekler gibi diğer destek cihazların kullanımı kullanım ömrünü uzatır. Süper Omnitan poliüretan ve ilave tekerlekler ile kuru gaz hattında yaklaşık 800 km'lik bir kullanımı başarılmıştır. (Cordell, 1996)

8.2.2.5 Pig geometrisi

8.2.2.5.1 Uzunluk

Pigin tüm uzunluğu borunun nominal ebadının 1,5-2 katı arasında olmalıdır. Eğer uzunluk 1,5 katından daha az olursa, pig boru hattı içinde yuvarlanabilir. Gerçek tasarım terimleri olarak, bu uç destekler arasındaki boşluk boru ebadının 1,1 katından daha az olmamalıdır, anlamındadır. Daha uzun pigler dirseklerden geçerken takılıp kalabilir.

8.2.2.5.2 Sızdırmazlık diskleri

**T.C. YÖKSEK ÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Normalde sabit açıklık boru hatları için, borunun iç çapının %103 ve 108'i arasında ölçülendirilir. Boru hattı iç çapı farklılık gösterdiğinde en büyük boru iç çapının %103'ü kadar olur ancak en ufak ebadın %110'undan daha büyük olamaz. Eğer çap %110'dan daha büyük olursa, daha ince, daha esnek diskler kullanılabilir.

8.2.2.5.3 Hareket başlıkları

Kendinden destekli hareket başlıkları boru farklılıklarına disklerden daha toleranslıdır. Boru iç çapının en az yaklaşık %120'si kadar ebadlanır. Maksimum müdahale başlık omuzunun ebadı ile belirlenir.

8.2.2.5.4 Kılavuz diskler

Sabit açıklıklı boru hatları için kılavuz diskleri boru iç çapının %99'u ebadındadır. İç açıklık değişiklikleri olduğu yerlerde disk segmanlıdır.

8.2.2.5.5 Ölçme plakaları

Ölçme plakaları boru iç çapının %95'i ebadındadır.

8.2.2.5.6 Fırçalar

Dairesel ve yay montajlı fırçalar boru iç çapının %103'ü ebadındadır.

8.2.2.6. Pigleme için boru hattı tasarımı

Pigleme için uygun boru hattı:

- Uçtan uca mükemmel bir düzlükte olmalı,
- Kaynak delinmesi olmadan sabit iç çapa sahip olmalı,
- Düzgün şekilde eğimlenmeli,
- Parlatılmış veya epoksi ile kaplanmış iç yüzeyi olmalı,
- Yükselme olmamalı,
- Vana veya diğer başka cihazlar içermemeli,

Bu kriterlerin hiçbiri değilse de bir kaçını sağlanabilir, böylelikle bazı kabul edilebilir toleransların kurulması gereklidir.

8.2.2.6.1. Hat borusu

Sorunsuz pigleme için her zaman sabit iç çap belirlemek tavsiye edilir. Et kalınlığının artırılması gereken yerlerde, malzeme dış çapı eklenmelidir. Kodların standart dış çap tanımlamasına rağmen, satıcılar miktara ve ebada bağlı olarak istenildiğinde bu standart dışı iç çap ebatlarını sağlamaya hazırdırlar ve genelde bu çok az maliyette veya hiç maliyetsiz olur.

Yapım esnasında yaygın çalışmaların çoğunun elenmesi potansiyel maliyet sorunlarının engelleyecektir. Temel olarak hurda metallerin, kaynak çubuklarının ve diğer çöplerin boruya girmeleri engellenerek, kayda değer kazançlar sağlanabilir. Temiz çalışma işlemleri ve filtrelenmiş suyun kullanımı gibi şeylere olan ihtiyaç, şimdi birçok önemli boru hattı için yapım özelliklerinin bir parçası haline gelmekte ve her yeni projede göz önünde bulundurulmaktadır.

8.2.2.6.2. Dirsekler

Bir çok pig'in 1,5D'lik sıkı dirseklerde uyum içinde olabilmesine rağmen bunu genellikle belirli şartlar altında yapabilirler. Düşük akış hızlarında ve özellikle (ancak sadece değil) kuru haldeki gaz hatlarında, keçeler sıkı dirseklerde takılabilirler ve pig de tıkanıp kalır. Pigleme için 3D minimum değer olarak değerlendirilmeli, ufak çaplı hatlarda 5D veya daha büyüğü minimum olarak düşünülmelidir.

LC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
ULUSLARARASI SİMULASYON MERKEZİ

8.2.2.6.3. Bağlantılar

Kullanım piglerinin çoğu, çıkışları nominal hat ebadının %70'i kadar olan T dirseklerden güvenli şekilde geçer. Ancak, tüm T dirseklere %50'nin üzerindeki çıkış noktalı kılavuz çubukların takılması iyi olur. Bu sadece, kenar çıkışına çıkıntılık yaparak pig'in takılmasını engellemez aynı zamanda temizleme fırçaları veya bıçakları, tekerlek sensörler vs... gibi ilave parçaların engeli geçmesinde yardımcı olur.

Eğer kürelerin kullanılabilme ihtimali varsa, özel küre T dirsekleri kullanılmalıdır. Bunlar kürenin yan çıkışa girmesini veya akış geçişleri sırasında T dirsekte kalmasını engellerler.

8.2.2.6.4 Y Geçişleri

Piglerin sadece bir yöndeki Y geçişlerinden geçeceği unutulmamalıdır. Bu yön ,yanlardan ana hatta doğrudur.

8.2.2.6.5. Vanalar

Vanalar tartışmasız olarak pigleme sorunlarının en büyük sebepleridir. Tam açıklıklı vanalar gereklidir ve bunlar genelde rijit (içi boş duvar değil) küresel vanalardır. Eğer sürgülü vanaların kullanılması gerekiyorsa pigün düzgün geçişini engelleyerek boşluk yatak halkaları veya diğer özellikleri içermeyen oluklu tipte olmalıdır. Giriş ve çıkış boşlukları da eş merkezli olmalıdır.

Her vana, tapaların doğru düzenlendiğinden emin olmak için dikkatlice kontrol edilmelidir. Doğru prosedürler izlense bile, eğer pig ana hat vanaları tamamen açık değilken veya küre tam açık pozisyonun biraz ötesindeyken yollanırsa hem pige hem de vanaya ciddi ve maliyeti yüksek zararlar verebilir. Aşırı durumlarda, hattın durdurulmasına sebep olabilir.

Kontrol vanaları, çıkış noktasından pigün geçebileceği şekilde tasarlanmalıdır. Boru çapına tekrar geçişte hazne tatlı eğimli olmalıdır. Çan dilinin yüzü pigi yakalayarak veya pige veya üzerindeki etkilere zarar verecek herhangi bir özellikte olmamalı ve pig üzerindeki yükü ve etkiyi azaltacak şekilde dengelemelidir.

8.2.2.6.6. Özelliklerin bağıl konumu

Bazen bir boru hattı tüm bireysel parçalarıyla birlikte pigleme için uygun şekilde tasarlanır ancak tamamlanmış montaj uygun olmayan hale gelebilir.

Bunun en iyi örneği, çıkışları pigdeki keçelerdeki gibi aynı mesafede olacak şekilde yerleştirilmiş iki T dirsektir. Bunun sonucunda pig önde ve arkadaki keçelerden geçen akışkan ile sağlanır. Bu aynı durum bir T dirsek ve dirsekle, bir T dirsek ve bir kontrol vanasıyla ve bir çok başka kombinasyonda da oluşabilir. Bazı pigler arka arkaya kaynaklanmış iki dirsekten geçerken de zorluk çeker.

8.2.2.6.7. Pig tuzakları ve pig istasyonları

Pig tuzakları piglerin boru hattına sokulması ve sonra yollanması, alınması ve hattan çıkarılmasında kullanılır. İşletim amaçları için sürekli kuruluşlar daha az veya daha çok standart düzene eğilimlidirler.

Pig tuzaklarının tüm boyutları oldukça önemlidir. Bazı çok modüllü pigler tüm modüllerde itilirken bazıları sadece ön modül ile sürüklenir. Bu ikinci düzenleme, ön modülün tuzağın boşluk kısmına ulaşır ulaşmaz, itici akışkan by-pass olur ve pig durur. Arkadan gelen modüller, pigin büyük kısmı hala nominal boşluk kısmındayken bile ana hat vanasından alınır. Bir pig tüm modüllerce itildiğinde, son keçe boşluk alanına ulaşana kadar ileri doğru hareket devam edecektir. Eğer açıklık kesimi ilerletici modülleri kapsayacak kadar yeteri uzunlukta değilse, çok ciddi hasarlar kapanma riski ile meydana gelebilir. Bu yüzden tuzak deneyimli bir kişi tarafından tasarlanmalı ve tüm önde gelen pig üreticilerince onaylanmalıdır.

Yollayıcı içindeki boşluk içine olan ana bağlantı, genelde tekmeleyici olarak ve alıcı üzerindeki ana bağlantıda by-pass olarak adlandırılır. Bu bağlantılar cömertçe ebadlandırılmalıdır. Bu, eğer azaltıcı içinde pig keçeyi etkilenmiyorsa bile yollama yapılmasının sağlayacaktır. Benzer şekilde, alıcıda, by-pass bağlantısı aynı şekilde ebadlandırılarak tüm akış şartlarında düzgün yaklaşımı sağlar.

Güvenlik, pig tuzağı tasarımında en yüksek önemde olmalıdır. Kapamalar, tuzak içinde basınç varken açılmalarının engellemek için güvenlik kilitlerine sahip olmalıdır. Havalandırma bağlantıları tuzak içinde yüksek noktalara ve operatörün kolay ulaşacağı noktalara yerleştirilmelidir ve kilitlenme risklerini engellemek için cömertçe ebadlandırılmalıdır.

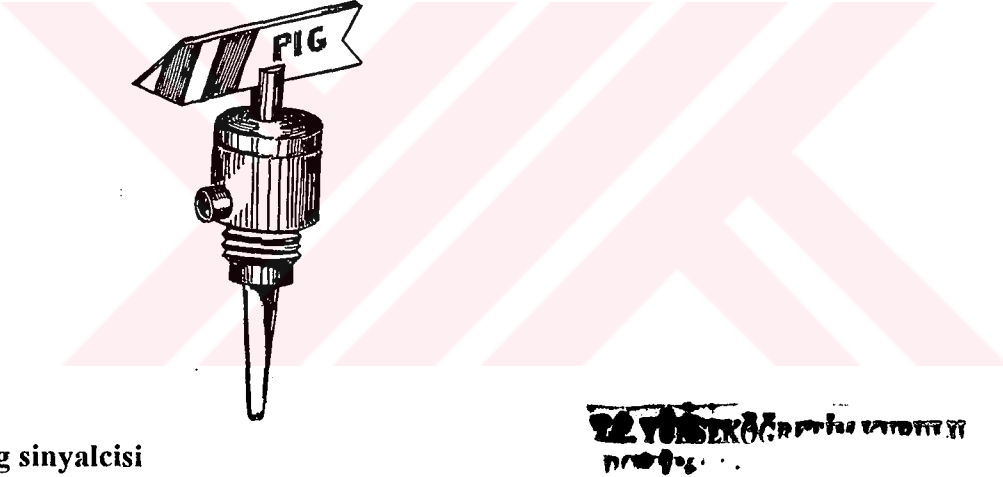
Aynı zamanda tuzağın uçları arasında basınç dengeleyici boru olmalıdır. Yollayıcıda, tuzak basınçlandıkça pigin ileriye ve vananın içine doğru hareket etmesini engeller ve böylelikle pigin keçelerinin gevşememesi sağlanır. Alıcıda, pig ve vana arasındaki basıncın tutulmasını sağlar. Kapak açıldığında pigin umulmadık şekilde fırlaması riskini de azaltır.

8.2.2.7. Pig sinyalleme, yerinin belirlenmesi ve izlenmesi

Pigin yollayıcıdan ne zaman çıktığının ve ne zaman alıcıya ulaştığının bilinmesi her zaman gereklidir. Pipleme rutin şartlar dışında ne zaman gerçekleşirse, pigin verilen herhangi bir zamanda nerede olduğunun bilinmesine yardımcı olur. Sonra, eğer herhangi bir şey yanlış giderse, bulunması için geçecek değerli zaman kazanılır.

8.2.2.7.1. Pig sinyalleme

Sinyalleme pigin boru hattı içinde belirli noktaya ulaştığında oluşur. Bu genelde bir başlatıcı cihazı veya sinyal verici kullanımıyla gerçekleştirilir. Bu hat içinde çıkıntı oluyorsa dalma piston veya kolun, fiziksel olarak hareket ettirilmesiyle veya pigin varlığını dışarıdan örneğin manyetik alan değişikliği ile uzaktan algılamakla olur. Bu genellikle zorlamasız sinyalciler olarak adlandırılır. Şekil 8.8’de bir pig sinyalcisi gösterilmektedir.



Şekil 8.8 Bir pig sinyalcisi

8.2.2.7.2. Pig yerinin belirlenmesi

Yer belirleme pigin bulunduğu konumun, normalde hareketsiz olduğu ve genelde tıkanıp kaldığı durumlarda bulunmasıdır. Bu normal olarak iletici cihaz ve alıcı taşıyan pig gerektirir.

8.2.2.7.3. Pig izlenmesi

İzleme, pigin yolunun tam olarak takip edilmesidir. Bu ya sürekli izleme ile ya da daha çok kullanıldığı üzere, daha önceden kararlaştırılmış noktalarda pigin yerini belirlemekle olur. Bu

işlem, iletilici/ alıcı sistemleri bilgisayar hesaplamalı kütle denklikleri ve akustik gibi farklı metotlarla yapılır.

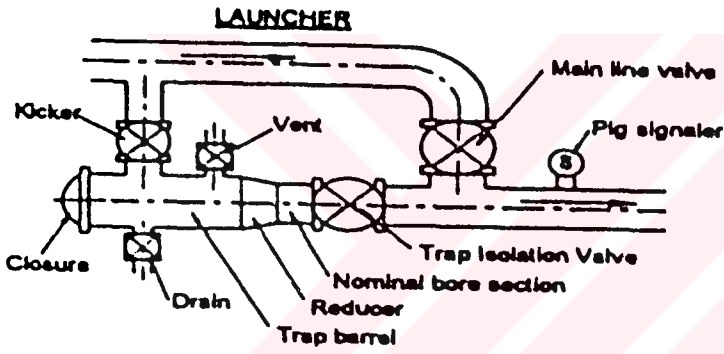
8.2.2.8 Pig atma ve pig alma istasyonları

Pig atıcılar, boru hattı içine pigi atmakta ve pig alıcılar da boru hattı içinde işlevini tamamlayan piglerin alınmasında kullanılmaktadırlar.

8.2.2.8.1. Pig atma işlemi

Pig atma işleminde sırasıyla aşağıdaki basamaklar uygulanmalıdır.

Pig atma istasyonu, Şekil 8.9'da gösterilmektedir.



TC MİLLETVEKİLİ MECLİSİ
BAKURANTASYON MERKEZİ

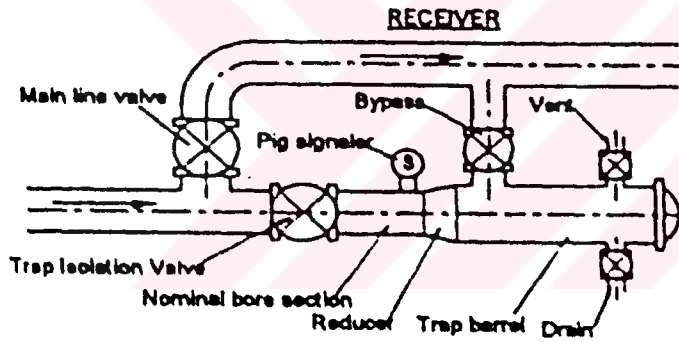
Şekil 8.9 Bir pig atma istasyonu

- Tuzak izolasyon vanası ve darbe musluğunun kapalı olduğundan emin olun,
- Havalandırma vanasını açarak, atıcı tuzağını havalandırın,
- Pig atıcı tamamı ile başlatıldığında (0 atm), havalandırma ve tahliye vanaları açık konumdayken, tuzak kapağını açın,
- Pigi atıcının nominal çaplı kısmı ile tuzak kısmı arasındaki redüksiyonlu, konik kısım sıkıca temas edeceği şekilde, bunun akış yönünde olacak halde yerleştirin,
- Kapak contasını ve diğer sızdırmazlık yüzeylerini iyice temizleyin ve gerekirse ilgili kısımları yağlayıp, tuzak kapağını kapatın,
- Tahliye vanasını kapatın. Yavaşça darbe musluğunu açarak, havalandırma vanası açık halde iken tuzağı doldurun,

- Dolma işlemi tamamlandığı zaman, havalandırma vanasını kapatarak tuzak izolasyon vanası ile basıncın dengelenmesini sağlayın,
- Tuzak izolasyon vanasını açın. Pig atışa hazır konumdadır,
- Ana hat vanasını kısmen kapatın. Bu, darbe musluğuna doğru ve pigin arkasına doğru akışı artıracaktır. Pig sinyalcisi tarafından gösterildiği üzere ana hattın içine doğru pig tuzağı terk edene kadar ana hat vanasını kapamaya devam edin,
- Pig tuzağı terk edip ana hatta girdikten sonra ana hat vanasını tamamıyla açın. Tuzak izolasyon vanası ve darbe musluğunu kapatın,
- Pig atma işlemi tamamlanmıştır.

8.2.2.8.2. Pig alma işlemi

Pig alınması işleminde aşağıdaki basamaklar uygulanmalıdır. Pig alma istasyonu Şekil 8.10'da verilmektedir.



Şekil 8.10 Bir pig alma istasyonu

- Tuzağın basınçlı olduğundan emin olun
- By-pass vanasını tamamı ile açın,
- Tuzak izolasyon vanasını ve by-pass vanasını kapatın,
- Tahliye vanası ve havalandırma vanasını açın,
- Tuzağın basınç göstergesinden basıncın sıfırlanmasını kontrol edin,
- Tuzak kapağını açın ve alıcı tuzaktan pigi çıkartın,
- Kapak contalarını ve diğer sızdırmazlık yüzeylerini temizleyin ve eğer gerekirse ilgili yüzeyleri yağlayarak tuzak kapağını kapatın,
- Pig alma işlemi tamamlanmıştır.

8.3 İşletmeye Alma Sonrası Çözümler

Kirlenme olayının, işletmeye alma sonrası çözümü demek, kirlenme olayı ve etkileriyle karşılaştıktan sonra, bu olayın bertaraf edilmesi anlamına gelmektedir. Şu durumda sistemde sorun meydana gelmiş, sisteme etkileri yaşanmış ve “zararın neresinden dönülse kardır” noktasına gelinmiştir.

İşletmeye alındıktan sonra, kirlenme olayının çözümünün, ya boru hattı içi tespit ve tetkik uygulamaları içeren pigleme yoluyla ya da tecrübelere dayalı olarak tespiti tarafından yapılmış basınç ayarlamaları ve akış düzenlemeleri yoluyla gerçekleşmesi ele alınacaktır.

8.3.1 Canlı hat içi tetkik sistemi (ILI)

Hat içi tetkik sistemleri cihazları manyetik akı sızıntı teknolojisine dayandırılmış korozyon ölçüm cihazının sunulmasıyla 1960’larda kullanılmaya başlandı. Bunun hemen ardından geometri ölçümleri için elektro mekanik pig geldi. Bu gün ILI hizmetleri sağlayan firmalar tarafından 30’dan fazla farklı cihazlar kullanılmaktadır. Birçok yıllık araştırma ve milyonlarca dolar para, gelişmeleri için harcanmıştır.

İki yaygın gereksinimin geometri(çap) ölçümleri ve metal kaybı (korozyon) denetlenmesi için olmasına rağmen, ILI hizmetleri ile elde edilebilecek bilgi, tetkikin ve sorun gidermenin daha geniş aralığında bilgi sağlar. Bunlar;

Geometri ölçümü	Eğrilik izlenmesi
Sızıntı denetimi	Boru hattı profili
Sıcaklık ve basınç boyutları	Haritalandırma
Dirsek ölçümleri	Metal kaybı denetimi
Ürün örneklemesi	Fotoğrafik tetkik
Yağ birikim ölçümü	Kırılma denetimi

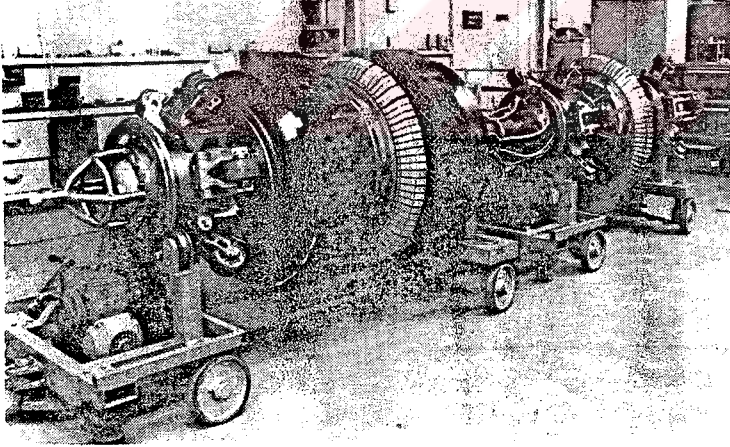
YATIRIM MENKUL DEĞERLER A.Ş.
YATIRIM MENKUL DEĞERLER A.Ş.
YATIRIM MENKUL DEĞERLER A.Ş.

8.3.1.1. Metal kaybı (korozyon) pigleri

Boru hattı işletimine devam ederken metal kaybının ölçümleri için en iyi metotların bulunması için araştırmalar en üst seviyelerde devam etmiştir. İki temel prensip ortaya çıkmıştır; manyetik akı sızıntısı (MFL) ve ultrason. Her iki tekniğin farklı güçleri ve zayıf tarafları vardır.

Manyetik akı sızıntısı tekniği hem sıvılarda hem de gazlarda kullanılabilir ve nispeten ince boru duvarlarında bile metal kaybını ölçebilir. Öte yandan ultrasonik pigler sadece homojen sıvılarda kullanılabilir. Ancak bazı manyetik akı piglere mümkün olandan daha kalın duvarları ölçebilir.

Manyetik akı kaybı (MFL) cihazlarında mıknatısın iki kutbu arasından boru duvarına bir manyetik akı uygulanır. Duvarda meydana gelmiş herhangi metal kaybı akı çizgilerinde bozulmayla sonuçlanır ve bu bozulma bir elektrik sinyali üreten bir dedektör tarafından algılanır ve metal kaybı gösterilmiş olur. Bu sinyaller gelişmiş mikroişlemcilerden geçer ve sonuçta elde edilen veri detaylı bilgisayar analizleri ve kullanımın sonundaki raporlama için depolanır. Şekil 8.11’de bir MFL pigini gösterilmektedir



**TC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANİZYASYON MERKEZİ**

Şekil 8.11 Bir MFL (Manyetik Akı Kaçağı) pigini görüntüsü

Ultrasonik cihazlar boru yüzeyine dik sinyaller çıkaran ileticilere sahiptirler. Duvarın iç ve dış yüzeylerinden bir yankı elde edilir ve bu geri dönüş sinyallerini zamanlayarak duvar kalınlığı bulunur.

8.3.1.2 Geometri pigleri

İlk geometri pigi ölçme pigleriyle elde edilen bilgi eksikliğinin üstesinden gelmek için tasarlanmıştır. Kat edilen mesafeyi ölçmek için odometre tekeri ve borunun iç çapını ölçmek için bir ortalama değer kullanırsak çaptaki azalmalar doğru şekilde ölçülebilir ve yeri belirlenebilir.

8.3.1.3 Sızıntı tespit pigleri

Boru hattındaki sızıntıları denetlemek ve yerini belirtmek için çok sayıda teknik vardır.

Bir sızıntı denetleme sistemi sıvının boru hattındaki küçük delikten basınç altında geçerken ultrasonik frekans yayacağı temelinde çalışır. Bu basitçe eğer boru hattının bir kısmı bir pig veya küre ile izole edilirse ve eğer bu kesimde sızıntı varsa basıncın düşeceği manasına gelir. Diğer bir sistemde gövdesinde akış ölçer taşıyan pigle sızıntıların yerinin belirlenmesi uygulanır. Radyoaktiviteye dayandırılmış başka bir sistemde, düşük seviyeli kısa yarı ömürlü radyoaktif kaynakların kullanılmasını sağlayan yüksek duyarlılıklı dedektörlerin geliştirilmesi ile mümkün kılınmıştır.

8.3.1.4 Haritalama pigleri

Özellikle fay hatlarındaki, deprem bölgelerindeki ve deniz altındaki boru hatlarının dayanıklılığı oldukça önem taşır ve bunu gösteren birçok cihaz vardır. En gelişmiş birimlerden biri, boru hattı eğimi, bu eğimin kaynağı ve konumu hesaplamak için veri sağlayan, hızlandırıcılar ve jiroskoplardan oluşmuş “aşağı şeritli iç ölçüm birimini” kullanır. Daha kompakt olan diğer bir cihaz, boru hattının rotasını araştıran, boru hattı konumunu doğrulayan ve herhangi bir yer hareketini kontrol eden gövde üstü iç yön tayin sistemini kullanır.

8.3.1.5 Dünya’da akıllı pig (hat içi tetkik) uygulamaları:

Macaristan’da, Macar Petrol ve Gaz şirketi MOL Rt’nin sahip olduğu ve işlettiği doğal gaz hattı uzunluğu 4668 km’dir. MOL Rt, ilk canlı hat içi tetkik uygulamasını 1989’da yapmıştır. Yıllık ortalama 10,5 milyar m³’lük bir taşıma kapasitesine sahip hat üzerinde yapılan bu ilk

tetkikler sonucunda, daha önceden hiç korozyona uğramadığı düşünülen noktalar da dahil olmak üzere birkaç yüz noktada metal kaybı korozyonuna rastlanmış ve et kalınlığındaki incelmelerin %50'yi aştığı tespit edilen noktalarda, planlı olarak onarım çalışmaları başlatılmıştır. Günümüze kadar ki süreç içinde kazanılan tecrübeler ışığında, akıllı pig uygulamalarının, canlı hat tetkiki hususunda en gerçekçi sonuçları verdiği ve en güvenilir metot olduğu kanaatine varılmıştır. (Bogoly ve Ketszeri, 1996)

Pikas, yaptığı çalışmalarda gerilme korozyonu kırılmalarının, akıllı pigleme sırasında gerilme korozyonunun tespiti ile azaltılabileceğini vurgulanmıştır. Amerikan Boru hattı Güvenliği Ofisi (OPS)'nin raporlarında, toplam boru hattı hasar nedenleri arasında, sadece %1,5'tan küçük olarak yer alan gerilme korozyonu ve neden olduğu kırılmaların, esasen tespit edilemediği için bu derece küçük yüzdeler pay aldığını, hat içi tetkik ve akıllı pigleme teknolojilerindeki gelişmenin bu noktayı aydınlatacağını savunmuştur.

Kershaw ise çalışmasında, canlı hat içi tetkik çalışmalarının belirli kalıplarla sınırlı kalamayacağını, çünkü her boru hattının aynı parametrelere bağlı kalmadığını, boru hattı karakteristiklerine göre tetkik çalışmalarının değişim gösterebileceğini vurgulamıştır.

Hayward, British Gas bünyesinde yaptığı çalışmalarda, şu ana kadar tespit ettiği boru hattı hasarları istatistiklerinden yola çıkarak, hat içi tetkik çalışmalarının boru hattı hasarlarını tespitteki etkinliğini belirtmiştir. Ayrıca akıllı pigleme metodu ile iç ve dış korozyonun, oyukların, çukurlaşmaların, çatlakların ve benzeri korozif sonuçların kolaylıkla tespit edilebildiğini ve manyetik alan kaçağı metodunun üzerinde durarak avantajlarını ifade etmiştir.

Payne, çalışmasında bir boru hattının işletme sırasında akıllı pigleme yoluyla iç korozyon tetkiklere hazırlaması için ne gibi çalışmalar yapılması gerektiğini ifade etmiştir. Canlı hat içi korozyon tetkikine yönelik akıllı pigleme çalışmalardan önce hat için korozyon tespitine hazır hale getirilmesi, yani temizlenmesi üzerinde durmuştur.

Pacific Gas and Electric Co, PG&E, Teksas ve Kuzeybatı Pasifik'te gaz işletim sahalarına sahip olan ve 10.000 mil uzunluğundaki hattı ile günde 170 milyon m³ gazı taşıyan bir şirkettir. PG&E, bu geniş boru hattı şebekesinin iç durumunu öğrenmek maksadıyla akıllı pigleri kullanmaktadır. Çapı 8" ve 36" arasında değişen 1600 mil uzunluğundaki boru

hattında akıllı pigleri kullanmaktadır ki, örneğin 36" lik pigın ağırlığı 3200 kg ve uzunluğu 4 m'dir. PG&E'de, akıllı pig uygulamasından önce, aptal diye adlandırılan temizleme pigini göndererek hattı temizleme yoluna gitmiş, akıllı pigın maliyeti yüksek olduğundan, işte atılmak istenmemiştir. Akıllı pigler ilk olarak Teksas'ta 1996'da daha sonra da 1998'de kullanılmış ve yapılan araştırmalar sonucunda tamir gerektirecek hiçbir bozulma tespit edilmemiştir. (King, 1999)

8.3.2 Basınç düşümü ile akış değişimi metodu:

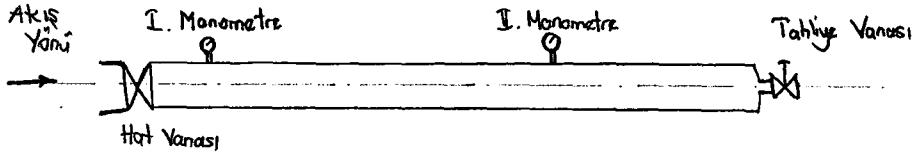
Doğal gaz nakil hatlarında kirlenme olayı ile ilk karşılaşmamızı sağlayan neden, kışın hava sıcaklığının düşmesinden dolayı artan doğal gaz talebinden kaynaklanan doğal gaz nakil hattı basıncında, özellikle son noktalardaki basınçta meydana gelen düşmedir. Doğal gaz nakil hattı basıncında meydana gelen düşme, eğer şebeke ortalama basıncı 20 bar olarak alınırsa, uç noktalarda 7-8 bara ulaşmakla birlikte, diğer noktalarda 4-5 bar ile sınırlı kalmıştır.

Basınç düşümü yukarıda bahsedildiği boyutlarda gerçekleştiği zamanlarda, regülatör istasyonlarının çıkış basıncı yükseltilerek, polietilen 4 bar dağıtım sisteminin ihtiyacı ve talebi karşılaması sağlanabilmiştir.

Kirlenme olayı problemini fark etmemizi sağlayan basınç düşümünün, mevcut nakil hattının temizlenmesinde yapıcı rol oynayabileceği fikri, tecrübelerle dayanarak bende şekillenmiş, bu sorunsalın kendisinden bizatihi çözüm metodu olarak faydalanılabileceği düşünülmüştür. Ancak bu işlemin sadece hat içinde mevcut ve serbest durumdaki kirlenme bileşenlerinin sistemden tahliyesini sağlayacağı, herhangi bir hat içi tetkik çalışması olmadığı bize korozyonla ilgili herhangi bir bilgi vermeyeceği ve korozyon önleyici herhangi bir metot olmadığı unutulmamalıdır. Bununla beraber, korozyona neden olabilecek bileşenlerin hat içinden tahliyesinin korozyonu yok etme bile, yavaşlatacağı muhakkaktır.

Sistemin prensibi şudur: Akış, basınç düşümü ile belirli bir basınç düşümü değerinden sonra laminer akıştan türbülanslı akışa geçecek ve hat çeperlerini, basınç düşümünden dolayı kazanacağı hız ile sıyrarak ve yalayarak, hat içinde mevcut kirlenme bileşenlerini uç noktalara sürükleyecektir. Uç noktalara tahliye düzenekleri kurularak kirlenme bileşenleri canlı hat içinden ve son noktalardan deşarj edilecektir.

Deşarj düzeneğinde ise (şekil 8.12) fark basıncı (diferansiyel) metodu uygulanacaktır. Son noktalarda hesaplanan mesafelerde iki ayrı manometre bulunacak, son noktaya en yakın olan manometre ile diğer manometre arası mesafenin kirlenme bileşenleri ile dolması nedeniyle oluşacak fark basıncı gözlenerek, belirli bir değerden sonra akış vanası kapatılarak dolan kısım deşarj vanasından boşaltılacaktır.



Şekil 8.12 Hat deşarj istasyonu

Bu işlemin uygulanmasından önce bazı soru işaretlerinin giderilmesi gerekmektedir. Şöyle ki, İGDAŞ'ın kesintisiz gaz taahhüdünde bulunduğu müşteriler mağdur edilmeyecek şekilde, kontrollü olarak basınç düşümü uygulanmalıdır. Sistem devre dışı kalmayacak şekilde son nokta basınç kayıpları hesaplanmalıdır. Çözüme karar verildikten sonra, gaz akış hızı, kirlenme bileşenlerinin sürüklenmesinden kaynaklanabilecek etkiler, deşarj hacim tespiti, tahliye düzeneği malzemesi ve uygun manometre konumu tespiti yapılmalıdır. Tüm bu soru işaretlerine rağmen, metot uygulanamaz görünmemektedir.

9. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Nakil hatları ile doğal gaz taşınması işlemi Türkiye için henüz 15 yılını doldurmamış olaydır. Her ne kadar 1970'lerde doğal gaz ile ilk karşılaşmamız gerçekleşse de, profesyonel anlamda, doğal gaz nakline 1988'de Rusya-Türkiye doğal gaz nakil hattın devreye girmesiyle başlamış bulunmaktayız. İGDAŞ için ise, doğal gaz naklinin ciddi boyutlara ulaşması 1995-1996 yıllarına rastlanmaktadır, yani doğal gaz nakil hatlarımız henüz ciddi bir problemle karşılaşmayacak kadar yenidir.

Doğal gaz nakil sistemimiz bu denli yeni olmasına rağmen, kirlenme olayı gibi doğal gaz taşıyıcı sistemine ve regülasyon sistemine direkt negatif etkileri bulunan bir olayla karşı karşıya kalınması çok manidardır. 1998 yılı sonu itibariyle 600 km'nin üzerinde bir uzunlukta çelik hatta, 300'ün üzerinde regülasyon istasyonuna ve 275 vana odasına sahip olan İGDAŞ'ta kirlenme bileşenlerinden etkilenen sistem elemanlarından, bölge regülatör istasyonlarının sadece birinin fiyatının 20-25 bin \$ civarında olması ve kirlenme olayından dolayı sistemin ekonomik ömrünün azalması, kirlenme olayının ekonomik boyutu hakkında fikir edinmemizi sağlamaktadır.

Çelik hattımız üzerinden alınan numunelerde yapılan analizler sonucunda, belirli miktarda korozyona rastlanmakla birlikte, korozyon olayının henüz tehlikeli boyutlara ulaşmadığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, korozyonun asla tamamen iyileşemeyeceğini bilmemiz, onunla birlikte yaşamaya alışmamız ve beraberinde getireceği yeni problemlere de hazırlıklı olmamız gerekmektedir. Bu sebeple, doğal gaz nakil hatlarının da korozyon ürünü olan ve korozyonun devamını sağlayan kirlenme bileşenlerinin hat içinde temizlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Doğal gaz nakil hatlarında meydana gelen kirlenme olayının en önemli çözüm metodu, yapım ve devreye alma işlemleri sırasında hattın hiç kirletilmemesidir. Ayrıca maliyeti yüksek olmakla beraber nakil hattı borularının içlerini epoksi ester ile kaplanması korozyon önleyici güncel çözümler arasındadır. Kaplama işlemleri sırasında, boru hattı içinin kumlama ile temizlendiği unutulmamalıdır ve kaplama yüksekliği ya da kalınlığının kumlama sonrası oluşan sivil çıkıntılarının üzerinde olması gerekmektedir. Aksi takdirde boru hattı içi kaplanmış olmasına rağmen, kaplama kalınlığından yüksek bir çapak ya da sivri çıkıntı korozyonun başlangıç noktası olacaktır.

Doğal gaz nakil hatlarındaki kirlenme olayının tespiti sonrasında İGDAŞ'ın yapması gereken, nakil hattı içindeki kirlenme bileşenlerini, uygun prosedürleri hazırlayıp hesaplamalarını yaparak, temizlemek ve hat içi tetkik prosedürlerini hazırlayarak, yüksek maliyete rağmen, nakil hattının durumunu kontrol altında tutmak ve fazla geç olmadan gerekli tetkikleri başlatmaktır.

Bu çalışmanın doğal gaz nakil hatlarında karşılaşılan kirlenme olayının tespiti, teşhisi ve çözülmesi hususundaki çalışmalara ışık tutacağı, yeni nakil hattı projelerini hayata geçirecek olan diğer firmalara kirlenme olayı ve işletme öncesi çözümleri hususunda yardımcı olacağı ve mevcut nakil hatlarındaki kirlenmenin diğer sonuçları hususundaki çalışmalara da anahtar olacağı kanaatindeyim.



KAYNAKLAR

- American Gas Association (1982) Volume II Transmission, A.G.A. Arlington
- Bogoly, S., Ketszeri, C. (1996) Intelligent Pigs: Decisions and Results, The Pipeline Pigging Conference, 14-16 February, Houston
- BOTAŞ (1996), "Doğal Gaz", Personel ve Eğitim Daire Başkanlığı
- BOTAŞ (1996), 1996 Yıllık Raporu, BOTAŞ
- BOTAŞ, (1988) BOTAŞ Doğal Gaz Sempozyumu Tebliğleri, Ankara
- Bulak, S. (1998), İstanbul'da Doğal Gaz, Doğal Gaz LPG Petrol ve Enerji Dergisi Mart/Nisan 1998
- Cordell, J. (1996) An Introduction to Conventional and Intelligent Pigging, The Pipeline Pigging Conference, 14-16 February, Houston.
- Cussak G.C. (1967), Handbook of Compressed Gases, Reinhold Publishing Corp., NY
- Çizmecioğlu, Z. (1996), Korozyon ve Katodik Koruma Semineri, İstanbul
- Fisher, H. (1998) The Art of Pigging, The Pipeline Pigging Conference, 29 June-2 July Kuala Lumpur.
- Gündoğmuş, H. (1993) Doğal Gaz Tekniği, Ankara
- Hayward, I. (1996) The Value of Pigging Within a Pipeline Maintenance Strategy, Conference Proceedings, Berlin.
- Homer, J., (1993), Natural Gas in Developing Countries, Washington
- İBŞB (1998), İGDAŞ 1998 Yılı Faaliyet Raporu, İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığı
- İtalgas (1997), Training Notes-Pressure Reduction And Regulation, Torino
- Katz, D. (1959), Handbook of Natural Gas Engineering, Mc Grawhill, USA
- Katz, D. Lee, R. (1990), Natural Gas Engineering, Chemical Engineering Series, NY
- Kershaw, C. (1996), Specialist Pigs and Pigging Techniques, The Pipeline Pigging Conference, 14-16 February, Houston.
- King, D. (1999). Smart Pigging Vital to Operation of Texas, Northwest Pipelines, Pipeline And Gas Journal, Volume 226, March 1999, 14-21.
- Mc Allister, E.W. (1993), Pipe Line Rules of Thumb Handbook, Gulf Publishing Comp, Texas

Morrow, J.R., Payne, L.D. (1996) Pigging for Corrosion, The Pipeline Pigging Conference, 14-16 February, Houston.

Parker, M.E., Peattie, E.G. (1984) Pipeline Corrosion and Cathodic Protection, Gulf Publishing Comp., Texas

Peabody, A.W. (1967), Control of Pipeline Corrosion, Nace, Texas

Pikas, J.L. (1996) Collapsible Pig Trials, The Pipeline Pigging Conference, 14-16 February, Houston

Segeler, C.G. (1965), Gas Engineering Handbook, American Gas Association, NY

Smith, R.V. (1990), Practical Natural Gas Engineering, Pennwell Books, Oklahoma

Snam (1996), Metano Ed Energia-Dati Statistici 1996, Milanese
SOFREGAZ (1986), Steel Line Pipe, Sofregaz Specs., France.

SOFREGAZ (1990), Clarifications on Hydrostatic Tightness Tests of Steel Pipelines Based on The French Regulations, Sofregaz Specs., France

Spraggon, J. (1998) Choosing the Right Pig for the Job, The Pipeline Pigging Conference, 29 June-2 July, 1998, Kuala Lumpur.

Tiratsoo, J.N.H. (1992) Pipeline Pigging Technology, Gulf Publishing, UK

Wright, J.E. (1987), Practical Corrosion Control Methods for Gas Utility Piping, Kansas

Yardımlı, G., (1998) Türkiye’de Doğal Gaz Arz-Talep Dengesi, Doğal Gaz LPG, Petrol ve Enerji Dergisi Mayıs/Haziran 1998

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	29.04 1974
Doğum yeri	Amasya
Lise	1982-1991 T.E.D. Ankara Koleji Vakfi Özel Lisesi
Lisans	1991-1996 Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1996-1999 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Enerji Makineleri Programı
Çalıştığı Kurum	1996- İGDAŞ İstanbul Gaz Dağıtım San. ve Tic. A.Ş. Beyoğlu Bölge Teknik Emniyet Şefi