

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

57498

TÜRKİYE İÇİN DOĞALGAZ DEPOLAMASININ
ÖNEMİ VE
İSTANBUL DOĞALGAZ BORU HATTI KATODİK
KORUMA PROJESİNİN İNCELENMESİ

Mak. Müh. Tümer GÜRSES

F. B. E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalında
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Ümit Doğay ARINÇ

İSTANBUL, 1996

İÇİNDEKİLER :

- 0 GİRİŞ**
- 0.1. TÜRKİYE İÇİN DOĞALGAZ DEPOLAMASININ ÖNEMİ**
- 0.2. İSTANBUL DOĞALGAZ BORU HATTI KATODİK KORUMA PROJESİNİN İNCELENMESİ**
- 1 TÜRKİYE İÇİN DOĞALGAZ DEPOLAMASININ ÖNEMİ**
- 1.1 DEPO GEREKLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**
- 1.1.1 Türkiye'nin Doğalgaz Tüketim Potansiyeli**
- 1.1.2 Konut Sektöründe Önümüzdeki Yıllar İçinde 4 Aylık Soğuk Dönemde Oluşabilecek Arz-Talep Dengesindeki Açık ;**
- 1.2 YER ALTI GAZ DEPOSUNUN ÖZELLİKLERİ**
- 1.2.1 TÜRKİYE'DE YERALTINDA GAZ DEPOLAMA OLANAKLARI**
- 1.3 DOĞALGAZIN SIVILAŞTIRILMASI VE SIVILAŞTIRILMIŞ DOĞALGAZIN DEPOLANMASI**
- 1.3.1 DOĞALGAZIN SIVILAŞTIRILMASI**
- 1.3.2 LNG DEPOLAMASI**
- 1.3.3 MARMARA EREĞLİSİ LNG İTHAL TERMİNALI**
- 2 İSTANBUL DOĞALGAZ BORU HATTI KATODİK KORUMA PROJESİNİN İNCELENMESİ**
- 2.1 KOROZYON HAKKINDA GENEL BİLGİLER**
- 2.2 ELEKTROKİMYASAL KOROZYON**
- 2.2.1.1 Gaz Hattının Özellikleriyle Oluşan Korozyonun Nedeni**
- 2.2.1.1.1 Gaz Hattında Farklı Malzemelerin Kullanılması**
- 2.2.1.1.2 Boru Hattında Yapılan Yalıtım Hataları**
- 2.2.2 Ortamın (Zeminin) Neden Olduğu Korozyon**
- 2.2.2.1 Düşük Elektriksel Özgül Dirençteki Zeminin Korozyona Etkisi**
- 2.2.2.2 Zeminin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleriyle Oluşan Korozyon**
- 2.2.2.3 Zemin Farklılıklarının Neden Olduğu Korozyon**
- 2.2.2.3.1 Zeminin farklı havalanmasından dolayı oluşan korozyon**
- 2.2.2.3.2 Yer altı suyunun seviyesindeki değişikliğin neden olduğu korozyon**
- 2.2.2.4 pH Etkisi**
- 2.2.2.5 Biyolojik Etkinin veya Redoks Potansiyelinin Neden Olduğu Korozyon**
- 2.2.3 Dış Kaynakların Boru Hattını Yüklemesiyle Oluşan Korozyon :**

- 2.3 KOROZYONDAN KORUNMA YÖNTEMLERİ VE KATODİK KORUMA
- 2.4 DIŞ AKIMLA KATODİK KORUMA TESİSATI PROJELENDİRMESİ VE ANADOLU YAKASI DOLAYOBA ÖRNEKTEPE DOĞALGAZ BORU HATTININ PROJELENDİRİLMESİ
 - 2.4.1 Ön Etüdler
 - 2.4.1.1 Boru - Zemin Potansiyelleri
 - 2.4.1.2 Zemin ile İlgili Ön Etüdler
 - 2.4.1.2.1 Zemin elektriksel özgül direnç
 - 2.4.1.2.2 Zemin pH Değeri
 - 2.4.1.2.3 Zemin Redoks Potansiyeli
 - 2.4.1.3 Borunun Teknik Etüdü
 - 2.4.1.3.1 Borunun Özellikleri
 - 2.4.1.3.2 Boru Kaplamasının Özellikleri
 - 2.4.1.4 Çevre İle İlgili Etüdler
 - 2.4.2 Katodik Koruma Proje Hesapları
 - 2.4.2.1 Attenuation Constant Değeri
 - 2.4.2.2 Gerekli Akım İhtiyacının Hesabı
 - 2.4.2.3 Anod Yatağının Dizaynı
 - 2.4.2.3.1 Kullanılacak Anodlar
 - 2.4.2.3.2 Anod yatağı Dolgu Malzemesi
 - 2.4.2.3.3 Anod Yatağının Tip ve Yer Seçimi
 - 2.4.2.3.4 Anod Yatağının Direnci
 - 2.4.2.3.5 Anod Ömrü
 - 2.4.3 Elektrik Donanımı
 - 2.4.3.1 Transformatör - Redresör Ünitesi
 - 2.4.3.2 Transformatör - Redresör Ünitesinin Seçimi
 - 2.4.4 Ölçü Kutularının Dizayn ve Dağılımı
- 2.5 Kaçak akımlara Karşı Alınacak Önlemler
 - 2.5.1 Boru hattı ile ray arasına
 - 2.5.2 Enerji Nakil Hatlarının Etkisi İçin Önlemler
 - 2.5.3 Yabancı Katodik Koruma Sisteminin Etkisi İçin Alınacak Önlemler
 - 2.5.3.1 Metalik Bağ Korunması
 - 2.5.3.2 Özel Kaplama Yapılması
 - 2.5.3.3 Galvanik Anod Kullanımı
- 3. SONUÇ
 - 3.1. TÜRKİYE İÇİN DOĞALGAZ DEPOLAMASININ ÖNEMİ
 - 3.2. İSTANBUL DOĞALGAZ BORU HATTI KATODİK KORUMA PROJESİNİN İNCELENMESİ

TEŐEKKÜR

Tez Danışmanım sayın **Prof. Ümit Doğay ARINÇ** ' a ;

Katodik Koruma konusunda, sayın **Prof.Dr Zeki ÇİMECİOĞLU** 'na;

Zemin ölçümleri esnasında **İGDAŞ Bakım Müdürlüğü, Elektrik Şefliğinden,** sayın **Erdal YOLAÇ** ve sayın **Metin ÇELİKER** 'e;

Doğalgaz depolaması hakkında, **İGDAŞ Küçük Çekmece İşletme Şefi** sayın **Hakan KIZILÖREN** 'e

DOĞALGAZ Dergisi Genel Yayın Yönetmeni, sayın **Süleyman BULAK** 'a

çok değerli yardımlarını esirgemediklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 : İgdaş verilerine göre 1995 yılında aylara göre, İstanbul konut sektörü doğalgaz tüketimleri. (m³)

Tablo 1.2 : Konutların doğalgazı %100, %50, %25 kullanma oranlarına göre tahmin edilen 1996 ve 2000 yıllarındaki yıllık yakıt gereksinimleri.

Tablo 1.3: Türkiye’de en soğuk dört ayda yapılması doğalgaz tüketiminin tahmin edilmesi için yapılan işlemlerin sonuçları

Tablo 2.1 : Bazı metallerin, standart demir tuzu elektroliti içinde hidrojen elektrot referans alınarak ölçülen standart potansiyelleri. (Volt cinsinden)

Tablo 2.2 : TS 5141’de verilen zeminin elektriksel özgül dirençine göre koroziyifliği

Tablo 2.3 : TS 5141’e göre redoks potansiyeline bağlı zeminin koroziyifliği

Tablo 2.4 : Katodik koruma sistemlerinin karşılaştırılması.

Tablo 2.5 : Anadolu yakası Örnektepe Dolayoba arası 33 km’lik yeni doğalgaz boru hattı üzerinde WENNER DÖRT ELEKTROD metoduyla ölçülen zemin elektriksel özgül direnç değerleri.

Tablo 2.6 : Zeminin rezistivitesine göre koroziyifliği ve ölçüm adet ve yüzdeleri

Tablo 2.7 : Anadolu yakası Dolayoba-Örnektepe arasındaki doğalgaz hattında kullanılacak boruların önemli teknik değerleri

Tablo 2.8 : Dış akımlı katodik koruma sistemlerinde kullanılmakta olan anodların özellikleri.

Tablo 2.9 : Dolgu malzemesi olarak kok tozunun önemli özellikleri

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1: İgdaş verilerine göre 1995 yıllarında aylara göre, konut sektörü doğalgaz talebinin (tüketimin) dağılımı. Doğalgaz debisi: $Q : (x \text{ milyar m}^3)$

Şekil 1.2: Konut sektörüne doğalgazın arzında depolamanın işlevi.

Şekil 1.3: Türkiye'nin toplam gaz talebinin milyon metreküp olarak yıllara göre değişimi.

Şekil 1.4: Türkiye'nin boru hattıyla dışardan satın almak zorunda olduğu gaz miktarının milyar metreküp olarak yıllara göre değişimi.

Şekil 1.5: Konut sektörü doğalgaz talebinin milyon metreküp olarak yıllara göre değişimi.

Şekil 1.6: Konut sektörü talebinin toplam talebe içindeki yüzdesinin yıllara göre değişimi.

Şekil 1.7: Türkiye'de en soğuk dört ayda yapılması tahmin edilen doğalgaz tüketiminin milyon metreküp olarak yıllara göre değişimi.

Şekil 1.8: Türkiye'de dört aylık soğuk dönemde konut sektörü tüketiminin boru hattıyla karşılanabilecek kısmı.

Şekil 1.9: Dört aylık soğuk dönemde konut sektörü doğalgaz talebinin, Marmara Ereğlisi'ndeki LNG terminalinden milyon metreküp olarak karşılanacak kısmı.

Şekil 1.10: Türkiye'nin önümüzdeki yıllarda en soğuk dört aylık dönemde arz-talep dengesinde oluşacak milyon metreküp olarak açık miktarı

Şekil 1.11 : Yeraltıdeposunun uygulanabilirliğinin üç önemli göstergesi.

Şekil 1.12: Tipik bir yeraltı doğalgaz deposunun kesiti. (Tek,1995)

Şekil 1.13 : Yastık gazı içerisindeki hacimleri göstermektedir.

Şekil 1.14: Klasik kaskad soğutma sistemindeki çevrimler.

Şekil 1.15: Tipik bir LNG depolama tankı

Şekil 2.1 : Toprak ortamı içerisinde çelik borularda oluşan ELEKTRO-KİMYASAL KOROZYONUN yapısı

Şekil 2.2: Eski boru hattına yeni bir boru ilave edildiğinde yeni boru daha yüksek potansiyelle sahip olacağından anodik davranış olarak korozyona uğrar.

Şekil 2.3: Boru hattın yapılan yalıtım hatalarının boru yüzeyinde oluşturduğu potansiyel farklılıklarıyla oluşan korozyon

Şekil 2.4: Zeminin kısa mesafelerdeki heterojenliği ile korozyon oluşumu.

- Şekil 2.5: Zeminin uzun meafelerdeki heterojenliği ile korozyon oluşumu.
- Şekil 2.6: Boru kesitinde farklı havalanma nedeniyle oluşan koronyon.
- Şekil 2.7: Yeraltı suyu seviyesinin boru hattı boyunca değişiminden dolayı oluşan korozyon.
- Şekil 2.8 : Diyagram demirin toprak içindeki potansiyel -PH diyagramıdır. Bu diyagramdaki bölgelerin etkileri şöyledir :
- Şekil 2.9 : Galvanik akımlı katodik koruma sisteminin şematik olarak gösterimi.
- Şekil 2.10 : Dış akımlı katodik koruma sisteminin şematik gösterimi.
- Şekil 2.11 : E - Log I daigramı. Grafik üzerinde Tafel doğrusunun başladığı nokta koruma potansiyelinin minimum değeridir.
- Şekil 2.12 : Cu/Cu sülfat referans elektrodu.
- Şekil 2.13 : Boru-Zemin potansiyelinin ölçüm düzeneği.
- Şekil 2.14 : WENNER DÖRT ELEKTROD yöntemiyle zemin elektriksel özgül direncinin ölçümü.
- Şekil 2.15 :Zemin rezistivitelerinin koroziflik derecelerinde yüzde dağılımı
- Şekil 2.16: Boru kaplamasının elektriksel direncinin taini için kullanılacak bir yöntem.
- Şekil 2.17: İstanbul Anadolu yakası Dolayoba-Örnektepe D.gaz boru hattı katodik koruma sisteminin anaod yatağı dizaynı.
- Şekil 2.18: Ölçü kutularının bağlantı şeması
- Şekil 2.19: Şehir içinde doğru akım kullanan doğru akım kaynaklarına örnek olarak raylı ulaşım araçlarının boru hattını yüklemesi.
- Şekil 2.20: Yüksek gerilim hatlarının boru hattını yüklemesi.
- Şekil 2.21: Tek yönlü diodun ray ile boru hattı arasına bağlanması
- Şekil 2.22: Redresör ünitesinin ray ile boru hattı arasına bağlanması
- Şekil 2.23: Galvanik anod kullanılarak interferans'ın önlenmesi
- Şekil 2.24: Bağ direncinin belirlenmesi için yapılan deney düzeneği
- Şekil 2.25: Bağ direncinin belirlenmesi için yapılan deney düzeneği

ÖZET

TÜRKİYE İÇİN DOĞALGAZ DEPOLAMASININ ÖNEMİ

İstanbul ili örnek alınarak İgdaş kayıtlarından 1995 yılı ayları içerisindeki konut sektörü doğalgaz tüketiminin aylara göre değişimi grafiksel olarak gösterildiğinde, yılın soğuk ve sıcak ayları içerisindeki doğalgaz tüketim farklılığı görülebilir. bu farkın; arz miktarının sabit kalmasından dolayı depolamayı gerektirdiği grafiksel yöntemle ortaya çıkarılır.

Konut sektörü için doğalgaz arz-talep dengesindeki açığın tahmin edilmesi için sadece ısıtma amacıyla Türkiye'nin doğalgaz tüketim potansiyelinin ve bunun önümüzdeki yıllar içindeki değişimi tahmin edildi. Yapılan varsayımlardan da faydalanarak bir yıl içerisindeki en soğuk dört aydaki arz-talep dengesindeki açık 1998 yılında 98 milyon m³ 'lük bir değere ulaştığı tahmin edildi. 2010 yılında ise 720 milyon m³'e ulaşmaktadır.

Bu sonuçlardan hareketle doğalgaz deposu için uygun çözüm olarak yeraltı gaz depolarının kullanılma gerekliliği üzerinde durularak tipik bir yeraltı gaz deposunun özellikleri hakkında incelemeler yapılarak tipik bir yeraltı gaz deposunun kesiti verildi. Yeraltı gaz deposunun teknik, ekonomik ve çevre yönünde uygulanabilmesi için sağlanması gereken şartlar verildi:

- stok kontrolü,
- dağıtım güvencesi
- gaz kayıplarına karşı alınacak önlemler.

Yeraltı gaz depolarının işlemlerinin (doğalgazın injeksiyonu ve tekara kullanıma verilmek üzere üretimi) yapılabilmesi için yeraltı doğalgaz deposu içerisinde gerilimlenemeyecek şekilde yastık gazının bulunması gerekmektedir ve bu yastık gazının yeraltı doğalgaz depo maliyetleri içerisinde değerlendirilmesi gerektiği belirtildi.

İSTANBUL DOĞALGAZ BORU HATTI KATODİK KORUMA PROJESİNİN İNCELENMESİ

Yeraltına döşenmiş olan çelik borular elektro-kimyasal korozyona uğrarlar. Zemin ortamının iyon içeren sulu bir çözelti olarak davranış göstremesinden dolayı çelik borunun üzerinde oluşacak potansiyel; çok çeşitli nedenlerle (başlıca nedenler; hat üzerindeki, boru metali, kaplama, zemindeğişiklikleri ve kaçak akımlardır) hat boyuca farklılık gösterir. Boru hattı üzerinde potansiyel farkı oluşarak, devra kurulur ve anod/ katot bölgesi meydana gelir. Boru üzerindeki anod bölgelerinde oluşan korozyonu önlemek için katodik koruma yöntemi uygulanır.

Zemin ortamında çelikten daha fazla potansiyel değeri oluşturarak, çeliğe karşı anod gibi davranacak metalleri boru hattına bağlayarak yapılan katodik koruma sistemi (galvanik anodlu) ve dışardan hattın doğru akım verilerek sistemin katodu durumuna getirilmesiyle yapılan koruma (dış akımlı) olarak iki farklı metotla yapılabilecek katodik koruma işleminde; uzun çelik boru hatları için çok fazla akım ihtiyacı doğduğunda ikinci yöntemle uygulanır. Dış akımlı katodik koruma sisteminde de devrenin tamamlanması için anodlara ve şehir elektrik şebekesinden alternatif akımı istenilen değerde doğru akıma çevirecek trafo-redresör ünitelerine ihtiyaç duyulur.

Katodik koruma sisteminin projelendirilmesi için boru hattı üzerinde 50 adet noktada zemin elektriksel özgül direnç değerleri ölçüldü ve bu değerlerin logaritmik ortalamaları alınarak 3750 ohm.cm olarak bulundu.

Çelik boru hatlarının katodik korumasında boru ile zemin arasındaki potansiyelin -850 volt ile -1200 volt arasında tutulması gerekmektedir. Katodik koruma sistemindeki devrede anod olarak kullanılmak üzere Fe-Si anodlar tercih edilip anodların yerleştirilmesi için uygun bölge seçimi yapılarak (Köy Hizmetleri 18. bölge müdürlüğü lojman sahası) buradada zemin elektriksel özgül direnç ölçümleri yapılarak 6800 ohm.cm bulundu. gerekli hesaplamalar yapılarak derin kuyu tipinde anod yatağı dizyn edildi. Yapılan hesaplar sonucunda devreden geçen akım 5,264 amper olarak bulundu ve 20 amper-24volt (max.) çıkış değerlerine sahip trafo-redresör sistemine karar verildi.

ABSTRACT

REQUIREMENT OF NATURAL GAS STORAGE FOR TURKEY

In regions which experience large seasonal variation in temperature, gas storage is needed so that normal supplies can be increased in cold weather, in line with public demand. The most common way to meet winter gas needs is to use the underground gas storage and possible gas storage facilities in Turkey are discussed in this thesis.

In underground storage, three performance attributes have been identified as critical indicators of technical, economical, and environmental viability. They are:

- 1 Verification of inventory
- 2 Assurance of deliverability
- 3 Safeguards against migrations

When natural gas is stored in depleted oil or gas reservoirs, aquifers, or salt cavities, the triad of attributes listed above must receive continuing engineering attention throughout the design, development and operation of storage reservoirs.

The LNG terminal in Marmara Ereğlisi and existing gas reservoirs in Thrace region are evaluated as possible as gas storage facilities.

DISCUSSING PROJECT OF CATHODIC PROTECTION OF ISTANBUL NATURAL GAS PIPELINE

Long distance lines made of steel are nowadays usually cathodically protected immediately after being laid. However, even pipelines some decades old and covered with woolfelt or bitumenised jute can be economically protected.

Introduction of protective current into the soil is effected by impressed current anodes. The protective current flows to the defects in the pipe coating and effects cathodic polarisation.

Cathodic protection of buried pipelines can be achieved technically and economically only if the following three conditions are fulfilled:

- 1 Continuous electrical conduction along the pipeline
- 2 Pipe coating of adequate electrical resistance
- 3 Electrical isolation of pipeline from other low resistance earthed insulations.

There are two types of cathodic protection: Sacrificial anode, or passive, systems and impressed-current, or active systems.

0. GİRİŞ

0.1. TÜRKİYE İÇİN DOĞALGAZ DEPOLAMASININ ÖNEMİ

Dünya genelinde birincil enerji tüketiminde kullanım oranı % 23 civarında olan doğalgazın; Türkiye’de kullanım oranı, ilk kullanıma girdiği yıldan beri hızla artmış olup; önümüzdeki yıllarda kojeneratif sistemlerde kullanılacak olmasından dolayı da çok daha fazla öneme sahip olacaktır. Türkiye doğalgaza; güç (örnek olarak elektrik) üretiminde, sanayii ihtiyaçlarında ve özellikle büyük kentlerdeki hava kirliliği nedeniyle konut ısıtmacılığı sektöründe her geçen yıl artan oranlarda gereksinim duymaktadır.

Önümüzdeki yıllarda doğalgazın kullanım oranının hızla artacak olması doğalgazla ilgili yurtiçi veya uluslararası alanlarda çizilecek politikaları oldukça kritik hale getirmektedir. Türkiye doğalgaza, gerek şimdiye kadar yaptığı yatırımlardan dolayı, gerekse önümüzdeki yıllarda çıkacak enerji darboğazını aşmak için bağımlı halde kalmış ve bu yüzden uluslararası anlaşmalarda zor koşullarda politika yürütmek zorunda kalmıştır. Konutların ısıtılması amaçlı doğalgaz tüketiminde ise, soğuk mevsimlerde normal arzın dışında fazlalık doğmakta ve bu da doğalgazla ilgili yurtiçi politikaları güçleştirmektedir. Artan talebi karşılamak için boru hattından gelen normal arzın dışındaki doğalgazın yeraltı depolarından elde edilmesi kalıcı ve ekonomik çözüm olabilir.

Türkiye’nin doğalgaz arz talep dengesini kurabilmesi için, doğalgaz talebi miktarında doğalgazı pazarına arz etmelidir. Bir yıl içerisindeki gaz talebi ve bu talebin yıl içerisindeki değişimi, bir yıl içerisindeki gaz arzına ve bu arzın yıl içerisindeki değişimine eşit olmalıdır.

Doğalgazın depolanması ; Türkiye’ye uluslararası anlaşmazlıklarda süre kazandırarak pazarlık gücü sağlayacak ve herhangi bir anlaşmazlık durumunda soğukta kalmayacağını bilecek olan tüketicisine bir güven duygusu vererek doğalgazın Türkiye’de pazarlanmasını kolaylaştıracaktır. Doğalgaz depolamasının önemini; Türkiye’nin, önümüzdeki yıllarda doğalgaz talebinin (tüketim potansiyelinin) bulunması ve soğuk dönemlerde arz talep dengesindeki sapmanın tahmini ortaya koyacaktır.

0.2. İSTANBUL DOĞALGAZ BORU HATTI KATODİK KORUMA PROJESİNİN İNCELENMESİ

Doğalgazın dağıtımı için kullanılmakta olan yeraltı çelik boru hatlarının en önemli sorunu olarak “korozyon” karşımıza çıkar. Doğalgaz taşıyan bir boru hattının korozyona uğramasıyla oluşabilecek zararlar metal kaybının ötesinde can kaybına; yangın ve patlamalarla oluşacak hasarlara, çevreye yayılacak gazın neden olacağı kirlilik ve zararlara, gaz kaybına, dağıtımın durmasıyla oluşacak zararlara ve sistemin tekrar onarımı sırasında harcanacak zaman ve maddi kayıplara neden olacaktır.

Bu tezde yeraltı gaz hatlarının maruz kaldığı elektro-kimyasal korozyonun oluşumu incelenecek ve çözüm yolları araştırılacaktır. Elektro-kimyasal korozyonun yapısı hakkında literatür olarak Timur KOÇ'un ve Mustafa DORUK'un çalışmalarından faydalanıldı.

Yeraltı çelik borularının korozyondan korunmasında bütün dünyada olduğu gibi Türkiye’de Katodik Koruma yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Çelik boru hatlarına toplam maliyetlerinin %1-2’yle uygulanacak olan katodik koruma; boru hattının ömrünü 10 ila15 yıl uzatmaktadır

İstanbul yeraltı doğalgaz boru hatlarında korozyon probleminin çözümü olarak Katodik Koruma teknik ve ekonomik olarak en uygun çözümdür. Anadolu yakası Dolayoba-Örnektepe arasına kurulacak olan 33 km uzunluğundaki yeni doğalgaz boru hattı için Katodik Koruma sistemi kullanılması kararı alınmış ve gerekli şartname ve proje hazırlanmıştır.

Bu tez çalışmaları kapsamında sözkonusu proje için yapılan ön etüdlere ve boru hattı üzerinde gerekli zemin elektriksel özgül direnç değerlerinin ölçümlerinde bulunulmuştur.

1. TÜRKİYE İÇİN DOĞALGAZ DEPOLAMASININ ÖNEMİ

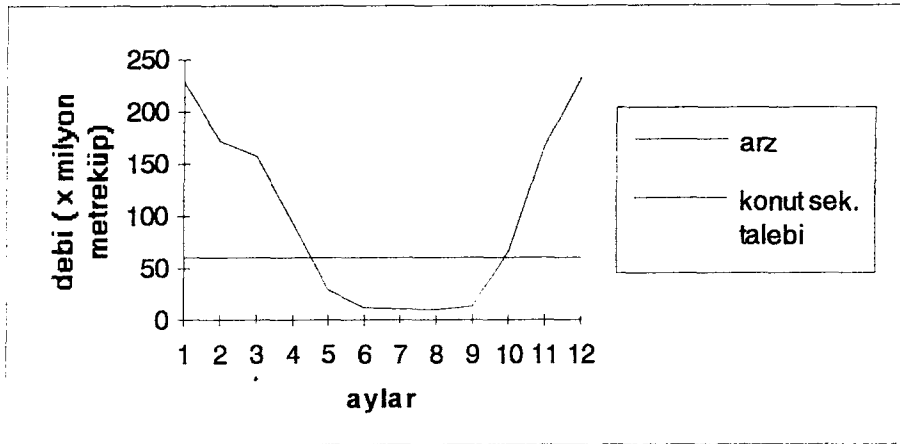
1.1. DEPO GEREKLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Bilindiği üzere doğal gaz, Türkiye’de ve İstanbul’da, “konut ısıtmacılığı” amacıyla ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. Bu da yılın soğuk dönemlerinde sıcak dönemlerine oranla büyük miktarda bir talep fazlalığı getirmektedir. Türkiye’de veya İstanbul’da bir yıl içinde dört mevsimin yaşanması ve yaz aylarıyla kış ayları arasındaki sıcaklık farkı bu sorunu doğurmaktadır.

Tablo1.1: İlgili verilerine göre 1995 yılında aylara göre, İstanbul konut sektörü doğalgaz tüketimleri abone sayısı 900.000’e ulaştığında oluşacak tüketim değerleri.

ay	abone sayısı	tüketim (x1000 m ³)	(tüketim x 900.000) abone sayısı	normalize edilmiş tüketim değeri (m ³)
1	220.623	56.000.	56.000.000 x 900.000 / 220.623	228.443.997
2	235.000	45.000.	45.000.000 x 900.000 / 235.000	172.340.425
3	250.000	43.754.	43.754.000 x 900.000 / 250.000	157.514.400
4	260.000	26.983.	26.983.000 x 900.000 / 260.000	93.402.692
5	264.000	8.730.	8.730.000 x 900.000 / 264.000	29.761.363
6	267.000	3.642.	3.642.000 x 900.000 / 267.000	12.276.404
7	275.393	3.507.	3.507.000 x 900.000 / 275.393	11.477.454
8	297.327	3.529.	3.529.000 x 900.000 / 297.327	Qtalep _{min} =10.693.939
9	305.752	4.416.	4.416.000 x 900.000 / 305.752	13.030.819
10	361.873	26.650.	26.650.000 x 900.000 / 361.873	66.440.443
11	449.411	83.922.	83.922.000 x 900.000 / 449.411	168.217.817
12	476.089	123.469.	123.469.000 x 900.000 / 476.089	Qtalep _{max} =233.449.789
	toplam	368.498.		1.198.598.236

Konut ısıtmacılığındaki gaz talebi (tüketimi) 1995 yılının değerlerinin abone sayısının 900.000’e normalize edilmiş tüketimin aylık değişim grafiği şöyle olur:



Şekil 1.1: 1995 yılındaki konut sektörü doğalgaz tüketiminin 900.000 abone sayısına göre normalize edilmiş halde aylara göre değişimi. (x 10⁶ m³)

Görüldüğü gibi gaz talebi sıcak veya soğuk aylara göre kesin bir değişim göstermektedir. Fakat talep yıl içerisinde de değişim göstermekte ve ister doğalgaz Türkiye’de üretilsin, ister dışarıdan satın alınsın, konut sektörüne sabit olarak sunulamaz. Bunun sebebi, doğalgaz üretiminin yıllık değişim gösteremeyeceğinden dolayı, büyük yatırım ve ekipmanlar gerektiren ve uzun süreli olmak zorunda olan uluslararası antlaşmalarda sabit debinin esas alınmasıdır.

Türkiye’nin dışarıdan sabit debiyle almak zorunda olduğu doğalgaz debisinden konut sektörüne yine sabit debiyle düşecek payı şekil 1.1 ‘de temsili olarak bir karşılaştırma yapmak amacıyla verilmiştir:

Tablo 1.1’de belirtilmiş olan 8. aydaki $Q_{talep_{min}}$ ve 12. aydaki $Q_{talep_{min}}$ değerleri şekil1.1’deki grafik üzerinde belirlenerek konut sektörü (Qarz) değerinin hangi noktada olacağı araştırılabilir:

Eğer ; $Qarz = Q_{talep_{max}}$ olursa ; Türkiye doğalgaz pazarındaki talebin maximum olduğu aylarda tükettiğimiz gaz miktarıyla üretilen (veya satın alınan) gaz miktarı eşit olacak yani bir sorunla karşılaşmayacak fakat, diğer aylarda satın alınan (üretilen) gazı harcayamayacak ve bu bir sorun teşkil edecektir.

Eğer $Qarz = Q_{talep_{min}}$ olursa ; biraz önceki durumun tam tersiyle karşılaşılacak $Q_{talep_{min}}$ olduğu aylarda bir sorun olmayacak, fakat diğer aylarda arz açığı ile karşılaşılacaktır.

Buradan $Qarz ; Q_{talep_{min}}$ ile $Q_{talep_{max}}$ arasında bir yerde olması gerektiği ortaya çıkar. Yine de yaz aylarında ihtiyaç duyulan miktardan fazla gaz alındığından dolayı oluşan arz fazlalığıyla, kış aylarında ihtiyaç duyulandan az gaz almamızdan dolayı oluşan arz açığı bir sorun teşkil eder.

Türkiye’nin (veya İstanbul’un) sınırlarını, gaz yakılan bir sistemin sınırları olarak düşünerek bu sorun için çözüm aranabilir.(Şekil 1.2)

Yaz ayları olarak düşünölen (5,6,7,8,9) bölgede sisteme fazla yakıt girmekte, fakat kış ayları olarak düşünölen (11,12,1,2,3) bölgede sisteme az yakıt girmektedir.

Talep eğrisinin altında kalan alan ($Stalep$) tüketilen yıllık debiyi ;
($Qtalep_{yillik} = Stalep$) gösterir.

Arz eğrisinin altında kalan alan ($Sarz$) satın alınan (üretilen) yıllık debiyi;
($Qarz_{yillik} = Sarz$) gösterir.

Türkiye'nin arz talep dengesini oluşturması için yani sistemin dengede olabilmesi için;

$$a) Qtalep_{yillik} = Qarz_{yillik} \quad (1.1)$$

(veya $Stalep = Sarz$)
Bu denge şartını gösterir.

Dengeden sapma miktarına $Qsapma$ veya $Ssapma$ dersek, dengesizlik durumunu ifade eden denklem elde edilir.

$$b) Qtalep - Qarz = Qsapma \quad (1.2)$$

$$(veya \ Stalep - Sarz = Ssapma)$$

Sistemin dengede olması için $Ssapma = 0$ olmalıdır. Denklem (1.1) ve (1.2) toplanarak bu görülür.

$$Stalep = A+A_1+B_1$$

$$Sarz = B+B_1+A_1$$

olduğu grafik üzerinden anlaşılacağı üzere ;

$$Stalep - Sarz = A+A_1+B_1 - (B+B_1+A_1) = Ssapma$$

c) Sonuçta $A - B = S_{\text{sapma}}$ (1.3)
olur.

S_{sapma} 'nın sıfır olabilmesi için yani arz talep dengesinin kurulması için A ve B bölgelerinin eşit olması gerekir.

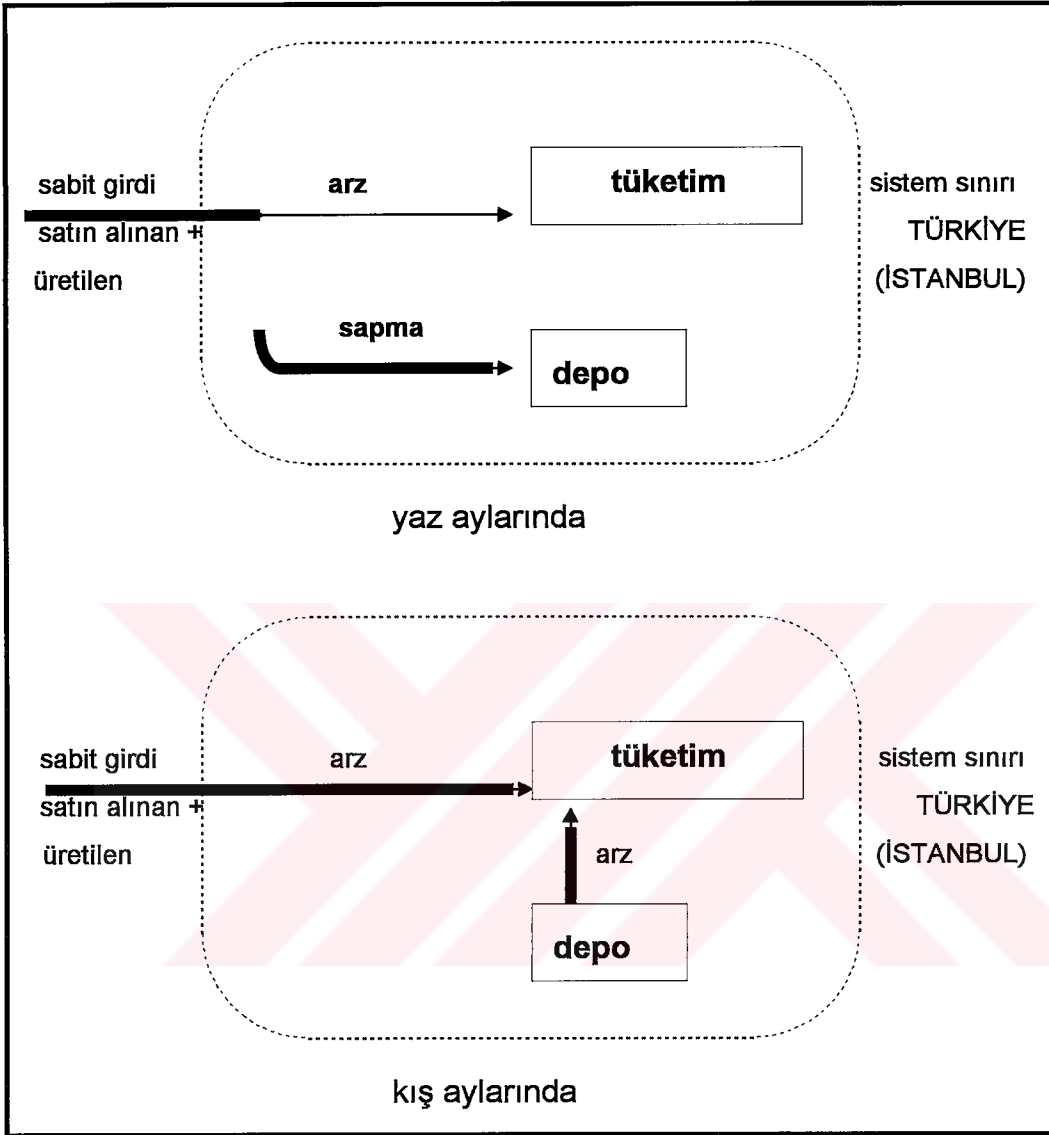
Bunun anlamı yaz aylarındaki arz fazlasıyla, kış aylarındaki arz açığı birbirini nötrlemelidir. Bu (doğalgaz arz-talep dengesi) kalıcı ve ekonomik bir çözümdür. Yani yaz aylarında harcanması gerekir. Hem bu gazın kış aylarına aktarılabilmesi için hem de Şekil 1.1'deki grafikte oluşacak beklenmeyen sapmaları (pik çekişleri veya ani çekişleri) karşılayabilmek için bir depoyu gerektirir.

Söz konusu depo, yüksek basınçla gazı sıkıştırma ile boru hattının kendisi olabildiği gibi bir yer altı deposu da olabilir. Ancak bu deponun denge durumundan toplam sapma miktarlarını karşılayabilmesi gerekir.

Deponun arz talep dengesinden sapmaları karşılayabilmesi için ;
 $V_{\text{depo}_{\text{max}}} - V_{\text{depo}_{\text{min}}} > V_{\text{talep}_{\text{max}}} - V_{\text{talep}_{\text{min}}}$ olması gerekir.

Türkiye'nin doğalgaz arz talep dengesini kurabilmesi için, doğalgaz talebi miktarında doğalgazı pazarına arz etmelidir. Bir yıl içerisindeki gaz talebi ve bu talebin yıl içerisindeki değişimi, bir yıl içerisindeki gaz arzına ve bu arzın yıl içindeki değişimine eşit olmalıdır.

Deponun işlevini Şekil 1.2'de şematik olarak gösterilmiştir:



Şekil 1.2 : Konut sektörüne doğalgazın arzında depolamanın işlevi.

Eğer boru hattında yüksek basınçla sıkıştırma yapılan depolama, arz talep dengesinden saptmaları karşılayabiliyorsa yer altı deposu zaruri değildir. Ama gerek İstanbul'da orta basıncın seçilmiş olması gerekse yer altı deposunun tahmin edilemeyen pik çekiş anlarındaki yüksek olabilecek gaz taleplerini de karşılayabilecek olması tercih nedeni olmaktadır.

Doğalgazın depolanması ; Türkiye'ye uluslararası anlaşmazlıklarda süre kazandırarak pazarlık gücü sağlayacak ve herhangi bir anlaşmazlık durumunda

soğukta kalmayacağını bilecek olan tüketicisine bir güven duygusu vererek doğalgazın Türkiye’de pazarlanmasını kolaylaştıracaktır. Türkiye’nin, önümüzdeki yıllarda doğalgaz talebinin bulunması (tüketim potansiyelinin) ve arz talep dengesindeki sapmanın tahmini ortaya koyacaktır.

1.1.1. Türkiye’nin Doğalgaz Tüketim Potansiyeli :

Şekil 1.1’deki grafikte, $Q_{talep_{min}}$ noktasından çizilen yatay doğrunun alt tarafı ; arz-talep dengesi açığını etkilememektedir. Grafikten bu yatay doğrunun alt tarafı çıkartıldığında sadece ısınma amacıyla doğalgaz tüketiminin aylara göre dağılımını gösterir.

Demek ki arz-talep dengesindeki açığın tahmin edilmesi için sadece ısıtma amacıyla doğalgaz tüketim potansiyelinin bulunması yeterli olacaktır.

Türkiye’de konutların doğalgaz tüketim potansiyelini tahmin edebilmek için de konutların bulunduğu yerleşim alanlarını, bu yerleşim alanlarındaki konut sayılarını ve ortalama bir konutun tüketebileceği gaz miktarını bilmek gerekmektedir.

Konutların bulunduğu yerleşim alanlarından kastedilen var olan, yapılmakta olan ve yapılması planlanan doğalgaz boru hatlarının ulaşabileceği alanlardır. Bu alan içerisine 74 ayrı yerleşim birimi girmektedir. (Satman ve diğerleri ,1996)

Bu yerleşim alanlarındaki konut sayısı için, buralarda yaşayan nüfus belirlenmelidir. Konut başına düşen kişi sayısının sabit kaldığı kabul edilerek konut sayısı bulunabilir. Var olan, planlanan ve inşa edilmekte olan doğalgaz boru hatlarının geçtiği yerleşim birimlerindeki nüfusları (1996’da ve 2000 yılındaki) Devlet İstatistik Enstitüsünün verileri ve nüfus artış hızı sabit alınarak 1996 için 19.500.000, 2000 yılı için 22.200.000 olarak tahmin edilmiştir. Konut başına düşen kişi sayısı da sabit kalacağı tahmin edilerek, konut sayısı bulunmuştur. (Satman ve diğerleri,1996).

Konutların ısıtılmasında doğalgaz gereksinimi ; konutun yer aldığı yerleşim alanlarının derece-gün değerine bağlı olarak tahmin edilmiştir.

Derece-gün sayısı şöyle ölçülür. (Satman ve diğerleri,1995):

- 18,7 °C dış hava sıcaklığı konutun ısıtılmasına gerek duyulmayan sıcaklık olarak saptanmıştır.
- O günkü dış hava sıcaklığıyla, 18.7 °C arasındaki fark o günkü °C-gün sayısı olarak alınır. Örnek olarak 10 °C ortalama dış hava sıcaklığındaki bir gün için derece gün sayısı 8,7 °C - gün olur. Dış hava sıcaklığının 18,7 °C'den fazla olduğu günler için derece-gün sayısı 0 olarak kabul edilir.

Böylece her gün için derece gün sayısı ölçülerek yıllık toplam derece-gün sayıları bulunur.

İstanbul için son 20 yılın derece-gün sayılarının ortalaması 2211°C-gün, Ankara için 2892°C-gün'dür. (Satman ve diğerleri,1995)

1°C-gün'de 1 m²'lik ısıtma alanı için 74,626 kcal/h enerji gerektiği kabul edilerek; (Satman ve diğerleri,1995)

İstanbul için ; 1 m²'lik ısıtma alanının enerji ihtiyacı;

2211 °C-gün x 74,626 = 165.000 kcal/h bulunur.

İstanbul'daki 100 m²'lik bir daire için

165.000 kCal/h x 100 = 16.500.000 kcal/h bulunur.

Doğalgazın ısıtma gücü 8.250 kcal/ m³ h 'dır.(İGDAŞ proje şartnamesi)

İstanbul'daki 100 m²'lik ortalama ısı yalıtım özelliklerini sağlayan bir daire için gerekli metre-küp olarak doğalgaz hacmi ;

16.500.000 kcal/h / 8.250 kcal/ m³ h =2000 m³'lük doğalgaza ihtiyaç duyulduğu bulunur.

Bu İstanbul'un derece-gün sayısında 100 m²'lik bir dairenin yıllık doğalgaz ihtiyacıdır. Ankara için bu değer 2616 m³ doğalgazdır. (Satman ve diğerleri,1995)

Bu şekilde doğalgaz hattının geçtiği her yerleşim birimi için, derece-gün sayısından, buralardaki tahmin edilen konut sayısı da kullanılarak doğalgaz ihtiyaçları bulunabilir.

Doğalgaz ihtiyacı, derece-gün yöntemiyle günlük, aylık, yıllık olarak bulunabilir.

Tablo 1.2 'de doğalgaz boru hatlarının geçtiği yerleşim birimlerindeki, konutların %100'ünün, %50'sinin ve %25'inin ısınma ihtiyaçlarını doğalgaz ile çözdüklerinde yıllık yakıt gereksinimleri verilmiştir.

Tablo 1.2 : Konutların doğalgazı %100, %50, %25 kullanma oranlarına göre tahmin edilen 1996 ve 2000 yıllarındaki yıllık yakıt gereksinimleri. (Satman ve diğerleri,1996)

Doğalgaz boru hatlarındaki şehirler	Konutların doğalgaz kullanma oranlarına göre yıllık yakıt gereksinimleri x10 ⁶ m ³					
	1996'da			2000 'de		
	%100	%50	%25	%100	%50	%25
Malkoçlar -Ankara Kırklareli,Tekirdağ, İstanbul,Kocaeli, Bursa, Eskişehir, Ankara	6654	3327	1664	7603	3801	1900
Bandırma,Çan, Çazkırı	87	43	22	95	48	24
Sakarya	80	40	20	87	44	22
Ege;Balıkesir, Manisa, İzmir,Aliağa	864	432	216	986	493	247
Güney;Kırıkkale,Kırşehir, Kayseri,Nevşehir, Aksaray,Konya,Adana, Mersin, İskenderun	1304	652	326	1456	728	364
Karadeniz; Zonguldak	135	68	34	144	72	36
TOPLAM	9124	4562	2282	10371	5186	2593

Arz-talep dengesindeki açığın tahmin edilebilmesi için ısıtma amaçlı doğalgaz tüketim potansiyelinin yıl içindeki dağılımını tahmin etmek gerekmektedir.

İstanbul'un bir yerleşim alanının yıllık derece-gün toplamının %70'i Aralık Mart ayı dönemindeki yılın en soğuk 4 ayı boyunca, %90'ı ise Kasım-Nisan dönemindeki 6 ay boyunca oluşmaktadır. Yani, yıllık yakıt tüketiminin (ısıtma amaçlı) %70'i Aralık-Mart döneminde, %90'ıda Kasım-Nisan döneminde gerçekleşmektedir. Yıllık talebin %80'i Aralık-Mart döneminde olurken boru hattının bu dönem içerisindeki arzının yılın sıcak dönemindeki arza göre değişmiyor olması arz-talep dengesinde yıl içinde sapmanın sebebi olduğu anlaşılır.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan Türkiye'nin konut sektörü doğalgaz sektörel tüketimi;

1995'de	$1 \times 10^9 \text{ m}^3$
2000'de	$2,7 \times 10^9 \text{ m}^3$
2010'da	$3,8 \times 10^9 \text{ m}^3$ olacaktır. (ETKB.Satman ve diğerleri,1991)

Derece-gün yöntemine dayanarak İstanbul'da bir konutun ısıtma amaçlı olarak ortalama 2000 m³/yıl gaz tükettiği göz önüne alınırsa, Türkiye genelinde $1 \times 10^9 \text{ m}^3$ 'lük konut sektörü tüketimi yaklaşık 500.000 konut için yeterli olacaktır. Her yerleşim alanındaki konut sayısı bilindiğinde ve yıllık derece-gün değerleri tesbit edildiğinde bu değerler bulunur.

2010 yılı için yapılan projeksiyonlardaki $3,8 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{yıl}$ 'lık toplam konut sektörü tüketimi yaklaşık 1,9 milyon konutun ısıtılmasına karşı gelecektir. Türkiye'de günümüz koşullarında planlanmış projelerin gerçekleşmesi durumunda doğalgaz abone sayısı yaklaşık 1,2 milyondur. Bu ise $2,4 \times 10^9$ konut sektörü doğalgaz talebini oluşturmasıdır ki Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı projeksiyonlarına göre bu talebin 1999 yılında gerçekleşmesi planlanmaktadır. (ETKB, Satman ve diğerleri, 1991)

Bu bilgiler ışığında yıllara göre konut ısıtma sektöründe doğalgaz - arz - talep dengesinde oluşulabilecek açık tahmin edilebilir.

1.1.2. Konut Sektöründe Önümüzdeki Yıllar İçinde 4 Aylık Soğuk Dönemde Oluşabilecek Arz-Talep Dengesindeki Açık ;

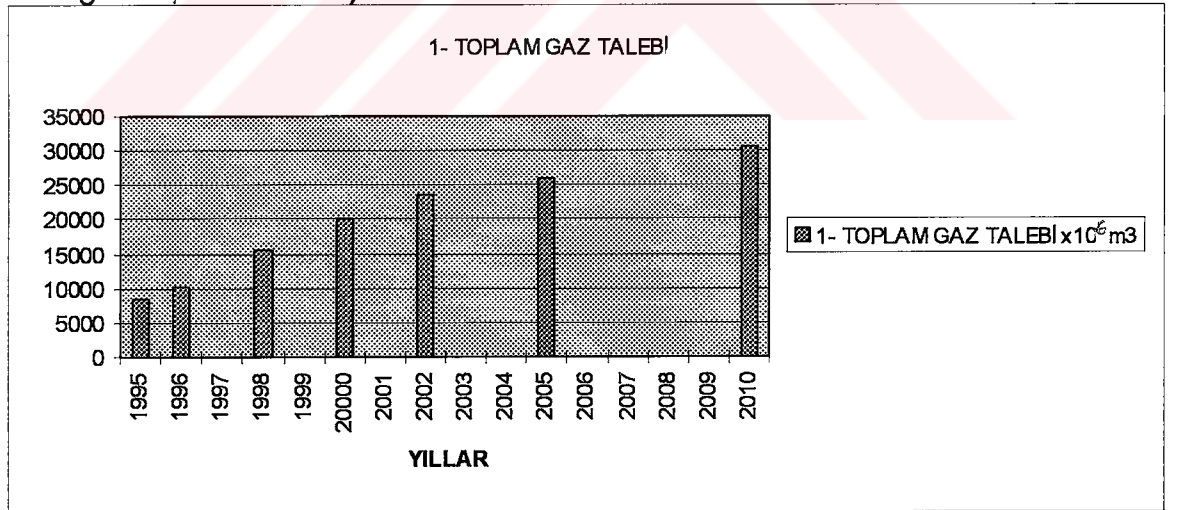
Arz-talep dengesindeki açığın tahmin edilebilmesi için aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır.

- a) Marmara Ereğlisinde bilindiği gibi bir LNG terminali bulunmaktadır. 1989'da yapımına başlanılan tesis 1994 yılında işletilmeye başlanmıştır. Rusya Federasyonundan alınan doğalgaz'a alternatif olması amacıyla kurulan tesis aynı zamanda depolamada da kullanılabilir. Ancak tesisin depolama kapasitesinin sınırlı olması ve doğalgazın sıvılaştırılması taşınması gerektiğinde tekrar gazlaştırılması doğalgazın fiyatını arttıracaktır. Arz-talep dengesini kapatmak için ; bu dezavantajlarına rağmen tesisin yıllık 2×10^9 m³'lük kapasite ile 4 aylık soğuk dönemde tamamen konut sektörüne üretim yapacağı varsayıldı.
- b) Yıllık konut sektörü talebinin %70'i 4 aylık dönemde oluştuğu varsayıldı.

Bu varsayımlara göre sırasıyla şu işlemler yapılır :

1. işlem:

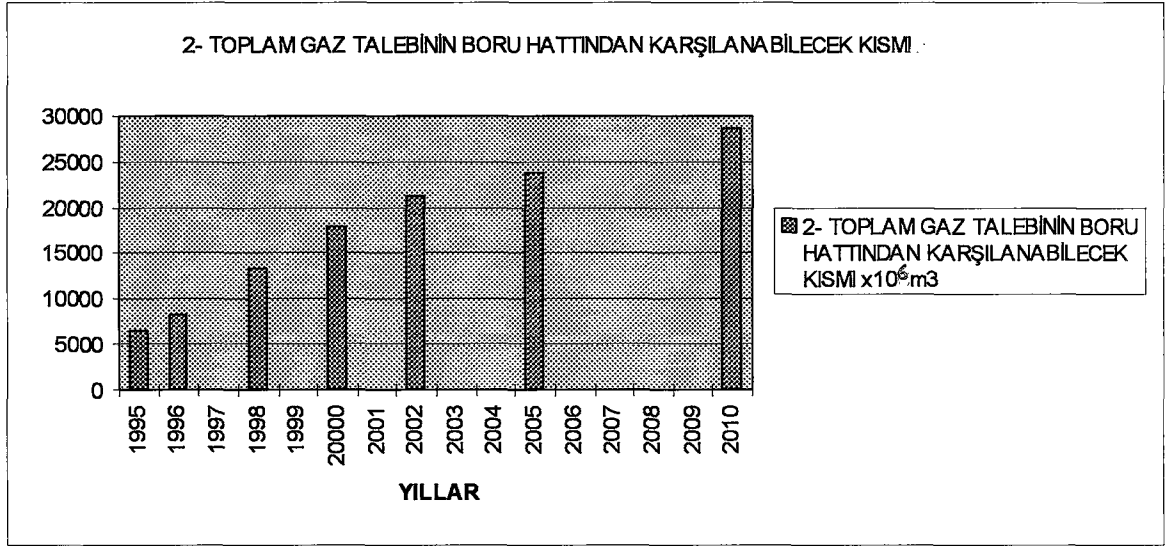
Toplam doğalgaz talebinin yıllara göre değişimi belirlenir. (Aktaş ve diğerleri, 1994 İZMİR)



Şekil 1.3: Türkiye'nin toplam gaz talebinin milyon metreküp olarak yıllara göre değişimi.

2. işlem:

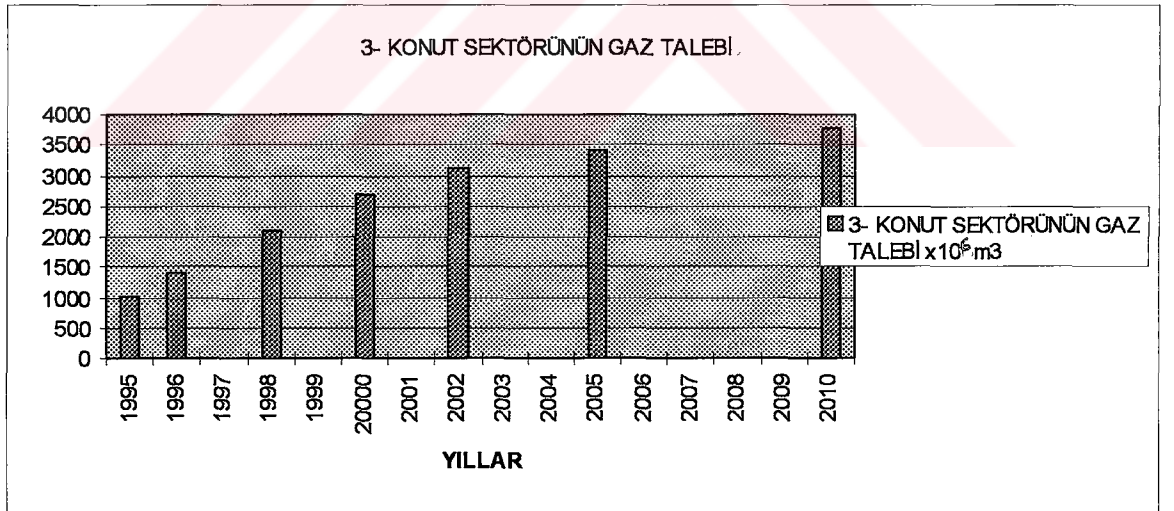
Toplam talep, boru hattıyla satın alınan doğalgazla ve Marmara Ereğlisindeki LNG tesisinden karşılanacağına göre toplam talepten, Marmara Ereğlisi Tesisinin kapasitesi çıkartıldığında yıllara göre satın alınacak gaz miktarları bulunur.



Şekil 1.4: Türkiye'nin boru hattıyla dışardan satın almak zorunda olduğu gaz miktarının milyar metreküp olarak yıllara göre değişimi.

3. işlem:

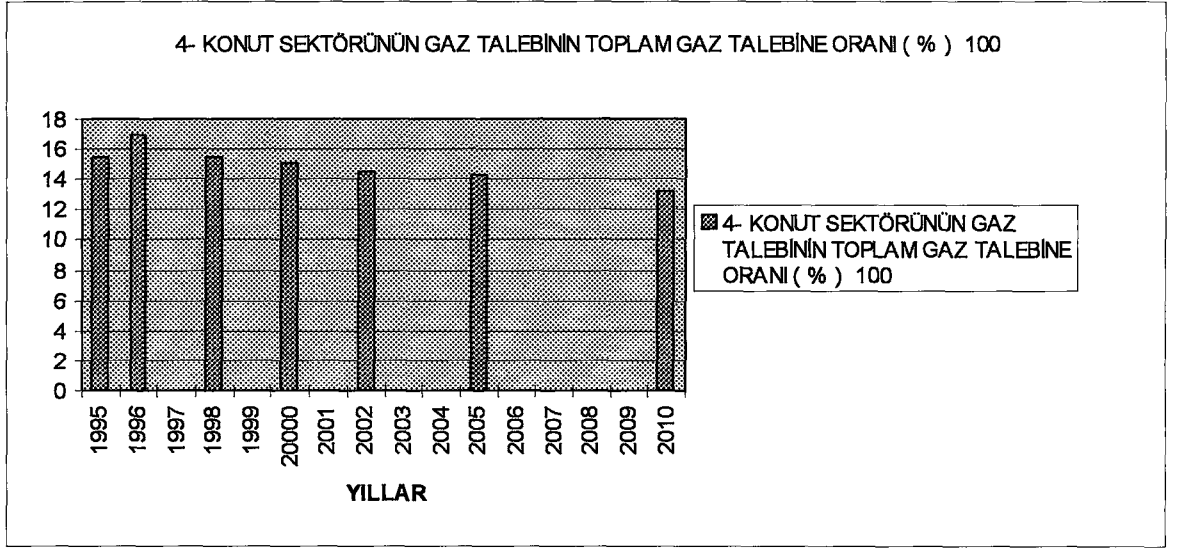
Konut sektörü doğalgaz talebi yıllara göre belirlenir. (Satman ve diğerleri, 1995)



Şekil 1.5: Konut sektörü doğalgaz talebinin milyon metreküp olarak yıllara göre değişimi.

4. işlem:

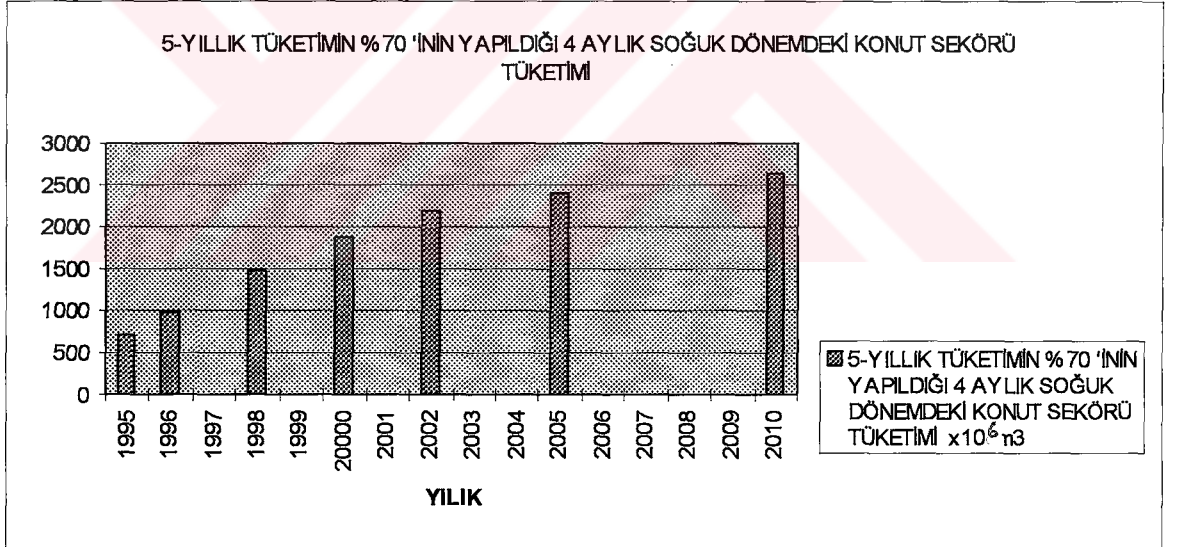
Konut sektörü talebinin toplam talebe göre yüzdesi bulunur.



Şekil 1.6: Konut sektörü talebinin toplam talebe içindeki yüzdesinin yıllara göre değişimi.

5. işlem:

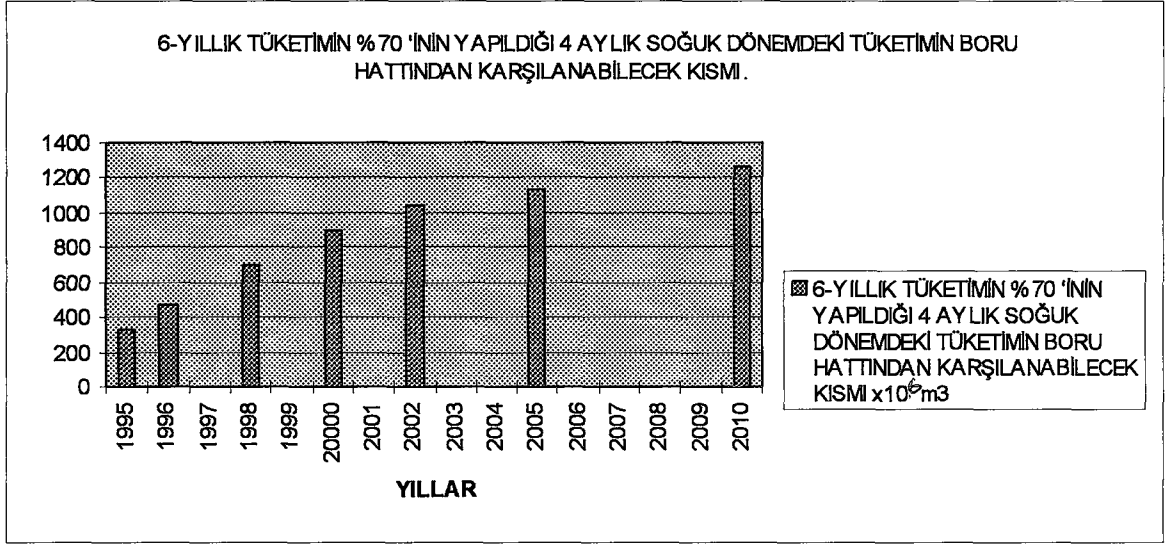
3 nolu işlemle bulunan konut sektörünün doğalgaz talebinin %70'i 4 aylık soğuk dönemde yapılan tüketimi verir.



Şekil 1.7: Türkiye'de en soğuk dört ayda yapılması tahmin edilen doğalgaz tüketiminin milyon metreküp olarak yıllara göre değişimi.

6. işlem:

Yıllık tüketimin %70'inin yapıldığı 4 aylık soğuk dönemdeki konut sektörü tüketiminin satın alınacak gaz ile karşılanılacak kısmı. (Satman ve diğerleri,1995)



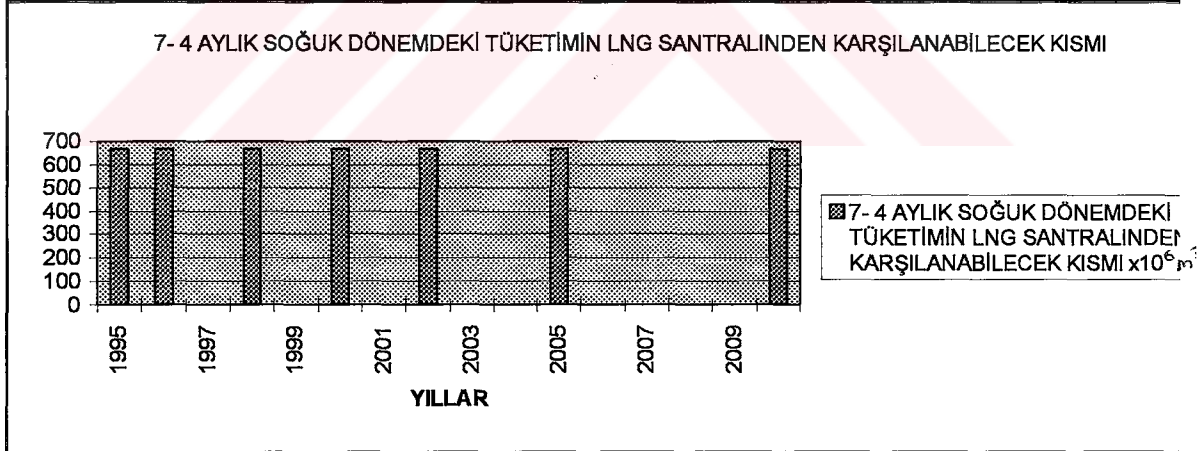
Şekil 1.8: Türkiye'de dört aylık soğuk dönemde konut sektörü tüketiminin boru hattıyla karşılanabilecek kısmı.

7. işlem:

4 aylık soğuk dönemde LNG terminalinden karşılanan kısım (LNG tesisinin her ay aynı üretimi yaptığı düşünülerek)

$$2 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{h} \times 4 / 12 = 0.667 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{h}$$

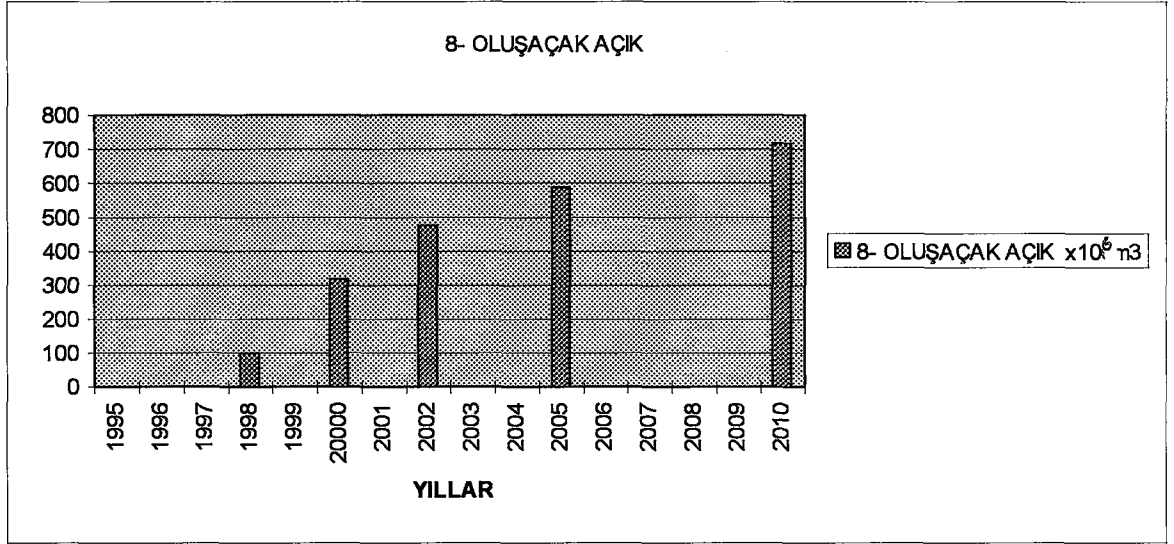
olarak her yıl aynı olmak üzere bulunur. (Satman ve diğerleri, 1995)



Şekil 1.9: Dört aylık soğuk dönemde konut sektörü doğalgaz talebinin, Marmara Ereğlisi'ndeki LNG terminalinden milyon metreküp olarak karşılanacak kısmı. (Marmara Ereğlisi'ndeki LNG terminalinin her yıl aynı kapasitede kalacağı ve her ay üretimi yapacağı varsayıldı.)

8. işlem:

Her yıl 4 aylık dönemde arz (1.8. ve 1.9'nolu şekillerdeki grafikler) ile talep (Şekil 1.7'deki grafik) arasında oluşacak ve depodan çekilmek istenecek gaz miktarları grafik 1.1'te gösterilen A bölgesinin sadece 4 aylık bölgesi,



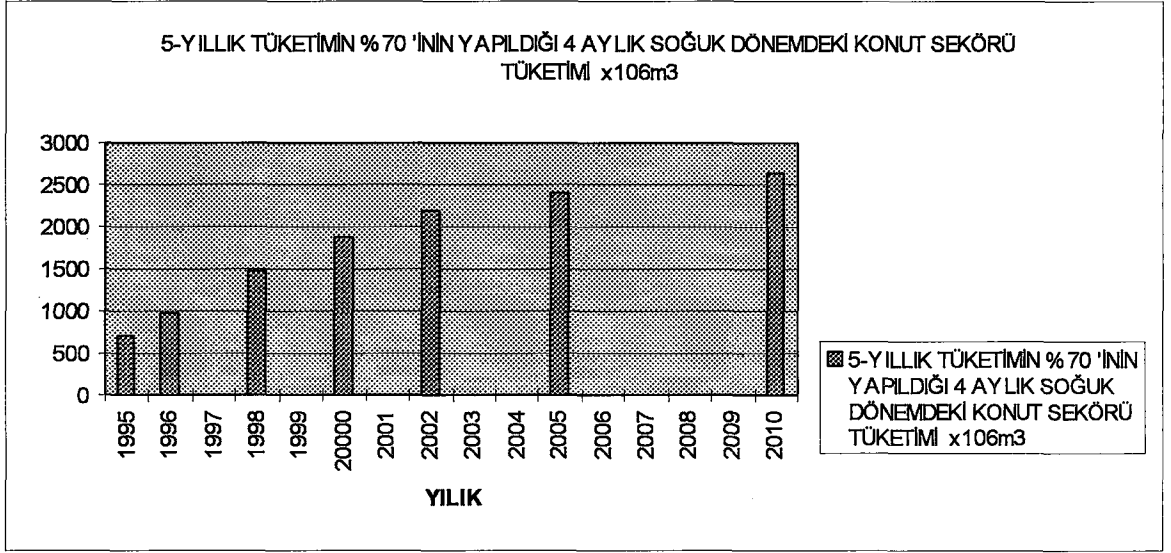
Şekil 1.10: Türkiye'nin önümüzdeki yıllarda en soğuk dört aylık dönemde arz-talep dengesinde oluşacak milyon metreküp olarak açık miktarı

Tablo 1.3 : Türkiye'nin önümüzdeki yıllarda en soğuk dört aylık dönemde arz-talep dengesinde oluşacak açık miktarını bulmak için yapılan işlemlerde bulunan sonuçlar. Doğalgaz debileri milyar metre küptür.

yıllar	1995	1996	1998	2000	2002	2005	2010
1.işlm.	8.501	10.327	15.460	19.988	23.762	25.879	30.594
2.işlm.	6.501	8.327	13.460	17.988	21.34	23.879	28.594
3.işlm.	1.009	1.409	2.093	2.692	3.126	3.423	3.781
4.işlm.	%15.5	%16.9	%15.5	%15.1	%14.6	%14.3	%13.2
5.işlm.	0.706	0.986	1.465	1.884	2.188	2.396	2.647
6.işlm.	0.336	0.469	0.7	0.897	1.402	1.141	1.26
7.işlm.				0,667 x 10 ⁹			
8.işlm.	-	-	0,098	0,32	0,479	0,588	0,72

1.2 YER ALTI GAZ DEPOSUNUN ÖZELLİKLERİ

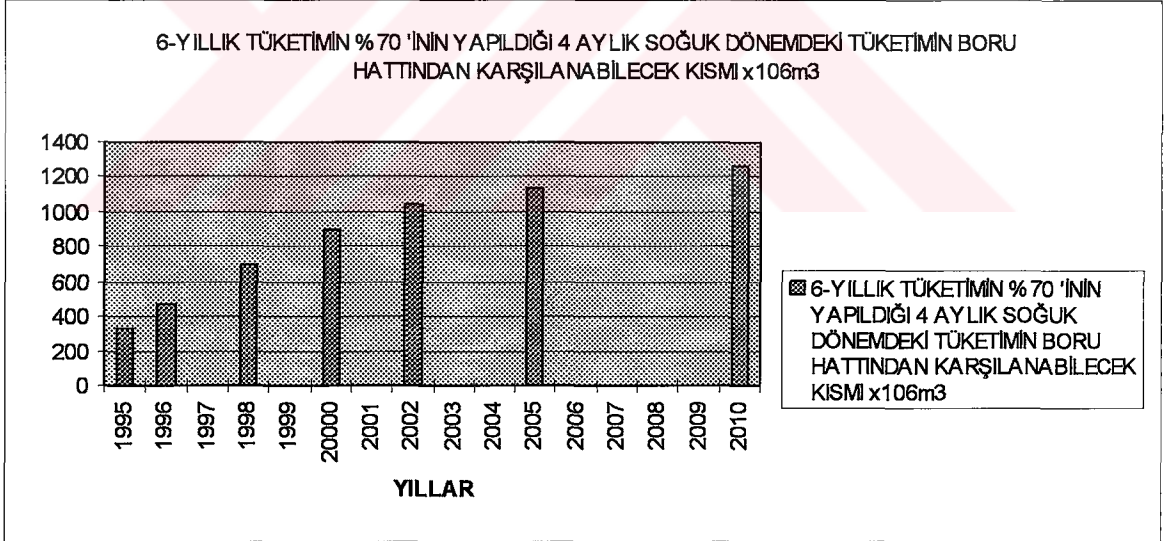
Yeraltında doğalgaz depolanması; tükenmiş petrol veya gaz rezervuarlarında, aküferlerde, yapay rezervuarlarda (Tuz yatakları, yer altında açılan boşluklar, terk edilmiş maden ocakları) yapılır. Yeraltı gaz deposu; içerisine gaz enjekte edildiğinde, yukarıya veya yanlara akışını engelleyen geçirimsiz bir örtü kayacıyla kaplı gözenekli ortam olarak tanımlanmaktadır. Buna göre içerdiği doğalgazın üretilmiş olduğu tükenmiş doğalgaz rezervuarları ; zaten gerekli yer üstü donanımlarının hazır olmasından dolayı da ideal bir depodurlar. Normal gaz rezervuarlarına göre yer altı gaz depolarının bir önemli farklılığı çok yüksek debilerde (günlük üretilebilen veya enjekte edilebilen hacim) gazın üretilmesine ve enjeksiyonuna uygun olmasıdır. Bu nedenle çok sayıda üretim / enjeksiyon kuyusu gerektirir ve kuyulardan merkez istasyona toplama ve boru hatlarının daha gelişmiş olması gerekir.



Şekil 1.7: Türkiye'de en soğuk dört ayda yapılması tahmin edilen doğalgaz tüketiminin milyon metreküp olarak yıllara göre değişimi.

6. işlem:

Yıllık tüketimin %70'inin yapıldığı 4 aylık soğuk dönemdeki konut sektörü tüketiminin satın alınacak gaz ile karşılanılacak kısmı. (Satman ve diğerleri, 1995)



Şekil 1.8: Türkiye'de dört aylık soğuk dönemde konut sektörü tüketiminin boru hattıyla karşılanabilecek kısmı.

7. işlem:

4 aylık soğuk dönemde LNG terminalinden karşılanan kısım (LNG tesisinin her ay aynı üretimi yaptığı düşünülerek)

$$2 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{h} \times 4 / 12 = 0.667 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{h}$$

olarak her yıl aynı olmak üzere bulunur. (Satman ve diğerleri, 1995)

Tükenmiş gaz rezervuarlarının yer altı gaz depolarına dönüştürülmesi tasarlanırken aşağıda sıralanan aşamalardan geçilir.

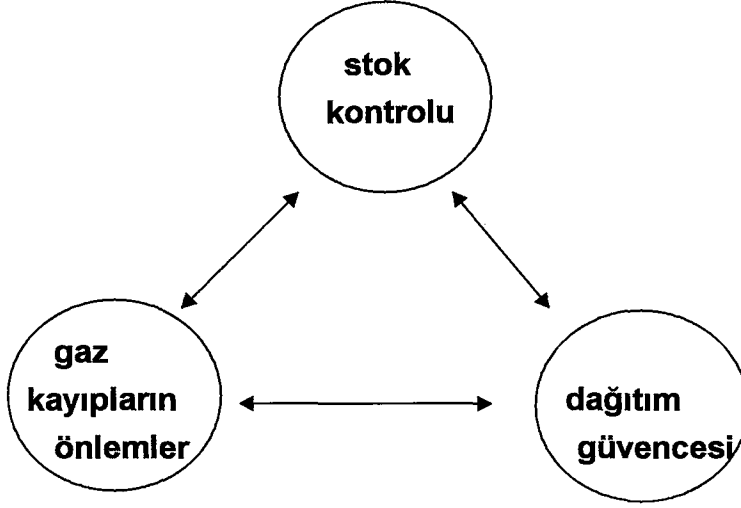
- Jeolojik ve mühendislik bilgileri toplanır.
- Var olan kuyuların mekanik durumlarının incelenmesi
- Rezervuarlarda depolanabilecek ve üretilebilecek gaz içeriğinin belirlenmesi
- Gerekli kuyu sayısının saptanması
- Kompresör, boru hattı, gazın arındırılması için yüzey donanımının seçilmesi

Sahanın değerlendirilmesi aşamasında gerekli bilgiler olarak ;

- Jeolojik bilgi
- İlk (orjinal) rezervuar basıncı
- Üretilen gaz miktarı - ortalama rezervuar basıncı ilişkisi
- Rezervuar sıcaklığı
- Gaz bileşimi
- Açılan kuyuların yerleri, derinlikleri, katot verileri
- Kuyulardan alınmış loplar
- Rezervuar yapısı
- Varsa su itişimi verileri
- Kuyuların akış kapasiteleri
- Kuyuların mekanik durumları

Bütün bu bilgilerin değerlendirilmesinde ve sahanın yer altı gaz deposuna dönüştürülmesinde petrol ve doğalgaz saha geliştirme-üretim-rezervuar mühendisliği bilgi ve deneyimi kullanılır.

Yer altında depolamanın teknik, ekonomik ve çevre yönünden uygulanabilirliğinin önemli göstergeleri olarak üç performans unsuru belirtilmiş olup; bunlar, stok kontrolü, dağıtım güvencesi ve gaz kayıplarına karşı alınabilecek önlemlerdir. (Tek, 1995)



Şekil 1.11 : Yeraltıdeposunun uygulanabilirliğinin üç önemli göstergesi

Şekil 1.11 'de bu üç unsurun birbirleri üzerinde oluşturdukları etkilenmeleri gösterir. Görüldüğü gibi birbirleriyle ikili olarak etkileşirler.

Stok ; depo rezervuarı içerisinde kalmış olan gaz miktarını anlatır. Depo rezervuarının stok yapılabilmesi direkt olarak rezervuarın derinliğine, şekline, kapaklığına, katmanlarının sıklığına ve pürüzlülüğüne bağlıdır. Ayrıca diğer iki unsurun (dağıtım güvencesi ve kaçaklarına karşı alınabilecek önlemler) stok kontrolü üzerinde etkisi vardır.

Dağıtılabirlik ; depo sahasına pazara gönderilecek gaz ile ilgili unsurdur. Geçirgenlik, basınç gibi şekilsel oranlarda ; depo ile gazın gönderileceği pazarı birleştirecek insan yapımı ekipmanların karakteristiklerine bağlıdır. Bu pazara gidecek boru hattının elverişliliğinin, akış dizisinin ve diğer yüzey elemanlarıyla oluşturulmuş, tüm sistemin ayrıntılarını içerir.

Gaz kayıplarına karşı alınacak önlemlerde, rezervuar üzerindeki geçirimsiz örtü kayacına bu kayaçın eşik basıncına, sırt şekline üzerindeki kırıklara, ve insan yapımı inceleme sistemlerinin elverişliliği gibi bazı karakteristikler önemlidir.

Yeraltı deposundaki toplam stok ; üst gaz (veya çalışma stoğu) ve temel gaz (veya yastık gazı)'dan oluşur. Üstgaz, pazarın talep edeceği oranda dağıtılacak

kısımdır; (Bu operasyona üretim denir) ve her üretim operasyonu sonunda depo içerisine tekrar gaz injekte edilir. Yastık gazı ; depo toplam gaz miktarıyla, üst gaz arasındaki farktır. Yastık gazının ana görevi ; boru hattına gönderilecek depo gazına gerekli ölçüde basınç enerjisi sağlamaktır. Çalışma gazını depo dışına itecek kuvveti oluşturmaktır.

Çalışma gazının miktarı, depo rezervuarının içinden ve dışından gaz ölçümü ile belirlenebilir. Zaten depoya giren ve depodan çıkartılan gaz miktarları belirlidir. Depo rezervuarının dizayn ve geliştirilme sürecinin başında, çalışma gazı miktarı ; tahmin edilen rezervuar performansının bilgisayar simülasyonu ve mühendislik hesaplarıyla tahmin edilebilir. Depo rezervuarı dizayn edildiğinde tam ve düzenli olarak depo operasyonları yapıldığında, çalışma gazı miktarı, rezervuarın limit kapasitesinde gerçek olarak üretilerek belirlenecektir. (Veya injeksiyon yapılarak belirlenebilir.) Avrupa ve Amerika'daki yer altı depolarında, özel sezon sonu testleri yapılarak deponun gerçek çalışma gazı hacmi ölçülür. Üretim (yani depodan gaz çekme) operasyonu esnasındaki çalışma gaz miktarı ; basınçlandırmaya, de-hidrasyona (depodan alınan gaz içerisindeki sonradan karışmış olan fazlalık hidro karbonların temizlenmesi), boru hattına ve diğer yüzey ekipmanlarına bağlıdır.

Yastık gazı iki komponente sahiptir ;

Üretilebilecek yastık gazı

Üretilemeyecek yastık gazı

Üretilebilecek yastık gazı iki sebepten dolayı depodan çekilerek kullanılmaz ;

1) Her depo rezervuarı pazardaki gaz talebine göre dizayn edilmiştir. Dağıtılabilirliğin gerektirdiği minimum basınç seviyesi ; üretim sezonunun son gününe veya ani çekişlerde (pik çekişlerde) kullanışlı olmalıdır. Yastık gazının üretilmesinin zorunlu olacağı durumdaki eşik, nokta, sadece ekipmanların yanlış fonksiyonlarında ve depolamanın kesilmesinde değil ; aynı zamanda gaz dağıtılmayla ilgili yapılan sözleşmelerdeki yıllık tahminleri de yüklenebilmelidir.

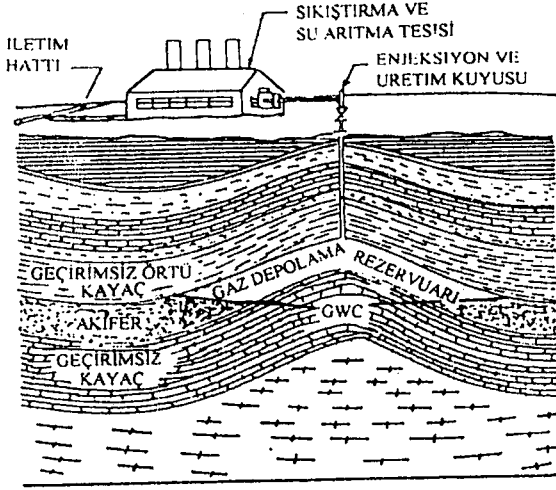
2) Rezervuar deposundan pazara kadar olan karakteristiklere göre dizayn edilmiş ekipmanlarla; dizayn eşik noktasının altındaki basınç seviyelerinde üretim ekonomik değildir.

Depo rezervuarının ve yüzey ekipmanlarının karakteristiklerinden dolayı, bütün çalışma gazı bittikten sonra üretilmesi zorunlu olacak yastık gazının sınırlı bir miktarı bulunur. Pratikte; yalnızca, bu miktar olağan üstü durumlarda kullanılır. Her depo rezervuarında yastık gazının önemli bir kısmı zaten üretilemez. Su itişimi olan rezervuarlarda, yastık gazının dağıtılmış olan kısmı toplam hareketsiz kalan kısma göre küçük miktardadır. Birçok üretim gaz rezervuarında "abandonment basıncı" olarak anılan yüzey basınç seviyesinde stoğun belli bir kısmı fiziksel geri alınmaz olarak düşünülür. Abandonment (bırakma) basıncının altındaki basınçlarda, gaz üretimi son derece pahalı ve fizibil değildir. Bu yüzden pratik olarak depo rezervuarında bırakılması düşünülür. Tükenmiş petrol sahalarında kurulmuş depo rezervuarlarında da, abandonment basıncında bir miktar gaz petrol içinde çözünerek kalmasından dolayı zaten fiziksel olarak üretilemez.

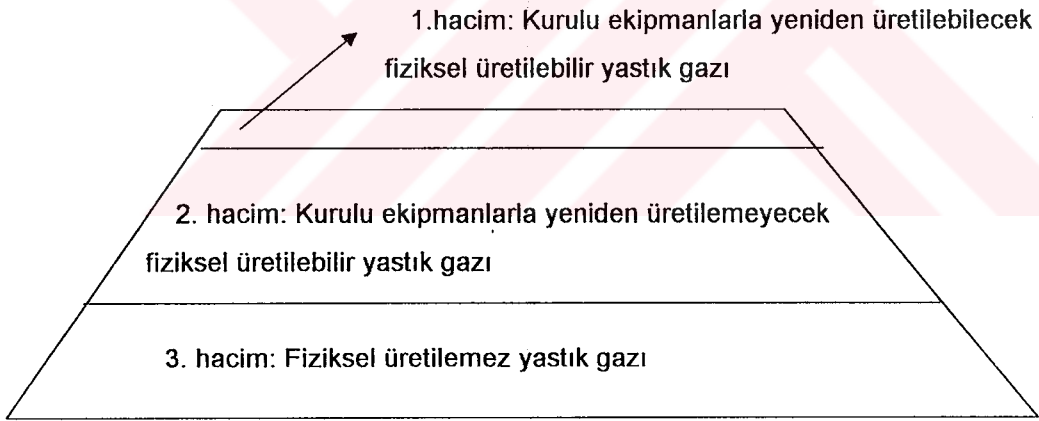
Şekil 1.12'de gösterildiği gibi üretim / injeksiyon kuyusu depo gazına kadar iner ve yüzey ekipmanlarıyla iletim hattıyla birleşir. Yüzey ekipmanları sıkıştırma, soğutma, seperatör, de-hidrasyon ekipmanlarıyla regülatör ve sayaçtan oluşur. Geçirimsiz örtü kayacının altında, aküfer ve gaz depolama rezervuarı bulunur, aküter ile gaz depolama rezervuarın birleştiği doğruya G WC (Gaz Water Contact) denir. Gaz ; aküferdeki su süspansiyonu ile doymuş bir halde bulunur. Aküferdeki gözeneklerin hacmi ; %100 olarak su ile dolu değil, aynı zamanda az miktarda gaz ve artık petrol ile karışık haldedir. Gaz depo rezervuarındaki gözenek hacimleri de %100 olarak gaz dolu olarak değil ; bir miktar suyu ve artık petrolü çatlaklar arasında bulundurur.

Şekil 1.13 yastık gazı içerisindeki hacinleri göstermektedir.

- 1 Çıkartma gereçleriyle üretilebilecek fiziksel geri alınabilir yastık gazı
- 2 Çıkartma gereçleriyle üretilmeyecek fiziksel geri alınabilir yastık gazı
- 3 Fiziksel olarak geri alınamayacak yastık gazı.



Şekil 1.12: Tipik bir yeraltı doğalgaz deposunun kesiti. (Tek,1995)



Şekil 1.13: Yastık gazının içerisindeki hacimler.

Yeraltı doğalgaz deposu maliyetleri içerisinde Yeraltı doğalgaz deposunun maliyeti içerisinde 2. ve 3. hacim yastık gazının (doğalgazın) maliyetleride katılmak zorundadır.

1.2.1 TÜRKİYE'DE YERALTINDA GAZ DEPOLAMA OLANAKLARI

Türkiye'de bilinen önemli gaz sahaları genelde Trakya bölgesindedir. Bu bölgedeki sahalar arasında Hamitabat, Kuzey Marmara, Değirmenköy ve Karacağolan en önemlileri olarak yer almaktadır. Bu gaz rezervuarlarının toplam üretilebilir rezervi 8×10^9 m³ olarak tahmin edilmektedir. Son yıllarda üretim aşamasına gelmiş olan Kuzey Marmara Gaz (Silivri açıklarında kıyıya 2,5 km uzaklıkta bulunmaktadır.) sahası özellikle geçirgenliğinin ve dolayısıyla üretilebilirliğinin yüksek olmasından dolayı, Trakya bölgesindeki gaz sahaları arasında doğalgaz depolaması amacına en uygun olan saha olarak görünmektedir. $2,5-3,5 \times 10^9$ m³ üretilebilir rezervi olduğu tahmin edilen bu sahanın mevcut planlanan duruma göre üretimi günde 1 milyon m³ olarak tahmin edilmekle beraber sahanın 2000'li yıllarda depo olarak kullanılması durumunda ek kuyu ve donanım ve tesislerle üretimin daha da yüksek olacağı tahmin edilmektedir.

Tuz gölünün Güneyinde Sultanhamam civarında TPAO'nun yaptığı çalışmalar sonunda bulunan tuz domlarının olası bir depolama rezervuarının olarak kullanılması gündemdedir. Bulunan tuz domunda 1 milyar m³ depolama kapasiteli olan bir yeraltı deposunun proje çalışmaları bu tür bir depodan soğuk dönemde depolanacak miktarın yaklaşık 170 milyon m³ olacağı tahmin edilmiştir. Tuz domu deposunun maliyeti gerek depolanacak sahaya boru hattı döşenme gereksiniminden ve depo olarak kullanılacak mağara açılmasının masraflarının yüksekliğinden ve gerekse yeraltı deposunun yastık gazı masraflarından dolayı, Trakya'daki gaz sahalarını depo olarak işletilmesi durumuna göre daha yüksek olacaktır.

1.3. DOĞALGAZIN SIVILAŞTIRILMASI VE SIVILAŞTIRILMIŞ DOĞALGAZIN DEPOLAMASI

Doğalgaz yer üstünde, atmosferik basınçta -161°C 'de sıvılaştırılarak sıvı fazda depolanabilir. Hacim sıvılaştırma işlemiyle 650 defa küçültüldüğünden özel olarak imal edilmiş gemilerle taşınabilir. Doğalgazın sıvılaştırılarak alım satımının yapılabilmesi için ihraç eden ülkenin sıvılaştırma ve ihraç

terminaline; ithal eden ülkenin ise depolama, yeniden gazlaştırma ve LNG ithal terminaline ihtiyacı vardır.

1.3.1 DOĞALGAZIN SIVILAŞTIRILMASI

Kritik nokta üzerindeki sıcaklıklarda, bir saf madde sadece gaz fazındadır.

Doğalgaz, metan dışında, su buharı, CO₂, H₂S, ağır hidrokarbonlar ve benzeri maddeler içerir. Sıvılaştırılması gereken gaz metan ise ilk olarak bu yabancı gazlardan arındırılarak yeteri kadar saflaştırılması gerekir. Doğalgazın ve benzeri gazların 1 bar veya orta basınç seviyelerinde çığ nokta sıcaklıkları oldukça düşüktür. (Metan için bu sıcaklık - 159 °C'dir.)

Böyle bir gazın sıcaklığının düşürülebilmesi için iç enerjinin kullanılması yada ısı transferi ile enerjinin çevreye transferi gerekir. Bu amaçla gaz sürekli olarak sıkıştırılarak mümkünse yoğunlaştırılması sağlanır. Metan bu şekilde sıvılaştırılmak istenirse ortam sıcaklığında 1200 barın üzerine çıkılması gerekir. Bu ise pratik değildir.

Bir başka yol olarak Joule-Thompson etkisinden yararlanarak gazın bir lülede genişletilmesi ile gaz sıcaklığının düşürülmesi suretiyle sıvılaştırılma yapılabilir. Mükemmel gazlarda entalpi sadece sıcaklığa bağlı olduğundan genişlemede Joule-Thompson katsayısı sıfırdır. Yani lülede genişleme ile sıcaklıkta bir değişiklik meydana gelmez. Ancak Metan bir mükemmel gaz olmadığı için lülede genişleme ile sıcaklığı düşürülebilir.

Metanın sıvılaştırılması bu iki yöntemin birlikte veya ayrı ayrı uygulanmasıyla da mümkün olabilir.

Metan için 1 bar basınçta, çığ noktası - 159 °C olup sıvılaştırma için bu sıcaklığa inilmesi gerekir. Bu amaçla kullanılacak eşanjör ve makinaların verimleri ve ekonomiklikleri göz önüne alındığında 60 °C - 90 °C üzerindeki sıcaklık farklarında tek kademeli soğutma yapmak gerekir. Ortam sıcaklığından daha düşük sıcaklıklara evaporatif soğutma söz konusudur. Sıcaklık farkı büyüdüğünde bu işlem kademeli olarak yapılır. (CAN, 1995)

Pratikte Metan sıvılaştırma işlemleri üç ana grupta yapılabilir :

- 1) Kaskad Soğutma Sistemleri:
- 2) Türbinle Genleşme Esaslı Soğutma Sistemleri
- 3) Stirling Çevrimli Soğutma Sistemleri

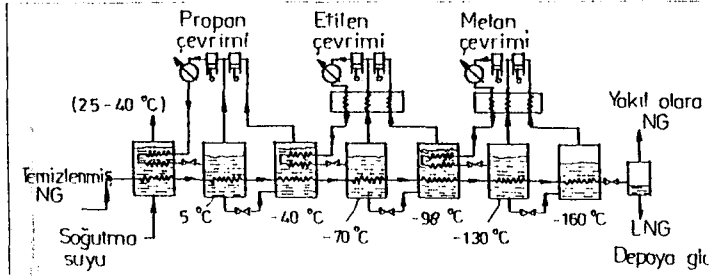
Bu sistemlerin seçiminde aşağıdaki kriterler göz önünde bulundurulur:

- * LNG sisteminin depolama ünitesine yada taşıma hattına olan uzaklığı
- * LNG için olan talebin sürekliliği, maksimum talep ile uzun süreli talep yükleri
- .
- * LNG talebinin güvenilirliği (kesinliği)
- * LNG için düşünülen kapasite ve debi,
- * LNG bileşimi ve fiatı
- * LNG ve gazlaştırma tesislerinin konumu yer ve bölge imkanları

Bu çalışmanın içerisinde Kaskad soğutma sistemleri hakkında bilgiler verilecektir:

1.3.1.1. Kaskad Soğutma Sistemleri

Birden fazla kademede, farklı akışkan ve devre kullanılır. Kompresör kapasitesi ve ısı değiştiricilerinin verimi ve yatırım masraflarına bağlı olarak kademe sayısı, akışkan cins ve sayısı bulunabilir. Akışkan gurubu olarak, üçlü kademede propan-etilen-metan, amonyak-etilen-metan veya freon22-freon13-metan kullanılabilir. Propan-etilen-metan soğutuculu sistemin çalışma şekli şekil 1.14'te gösterilmiştir. Yabancı bileşenlerden ayrıştırılarak gelen doğalgaz su ile ön soğutma yapıldıktan sonra E-1 ısı değiştiricisine gönderilir. E-1'de propan ile soğutulurak -40 °C sıcaklığa ulaşılır. E-1'de buharlaşan propan K-1'de soğutulurak çevrimini tamamlar. Doğalgaz bu aşamada 3,5 bar basınç seviyesindedir. E-2'de etilenle -100 °C sıcaklık ve 1 bar basınç; E-3'de metanla -160 °C sıcaklık ve 1bar basınç seviyesine getirilir.



Şekil 1.14: Klasik kaskad soğutma sistemindeki çevrimler.

Klasik kaskad sistemlerinde gerek ayrı kapalı devreler ve gerekse kompresörlerin fazlalığı gibi maliyet artırıcı sistemlerin iyileştirilmesiyle çok kullanılan ikili veya daha fazla akışkan karışımından meydana gelen kombine devreli soğutma çevrimleri geliştirilmiştir. Böyle bir sistem Şekil 1.15'de verilmiştir. Bu sistemde ön soğutmadan gelen Doğal gaz 5bar basınçta E-1'e girer ve $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'a soğutulur. E-2'den $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve E-3'ten $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ civarında soğutup çıkışta 1 bar basınçta LNG depolama tankına girer.

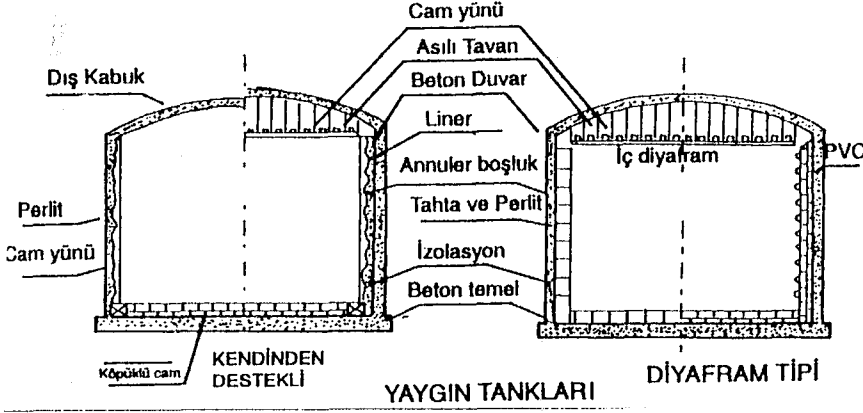
1.3.2. LNG'İN DEPOLANMASI

Sıvılaştırılmış doğalgaz ya atmosfer basınçında $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'da veya yüksek basınçlarda daha yüksek sıcaklıklarda depolanabilir. LNG depolarına hem sıvılaştırma terminallerinde hemde ihraç terminallerinde ihtiyaç duyulmaktadır.

Depolama tankları genel olarak çift cidarlı metalik tanklar veya çift duvarlı beton tanklar olarak imal edilirler. Metalik tankların yapımı daha ucuzdur, ancak beton duvarlı tanklar daha emniyetlidir. Özellikle yerleşim merkezleri ve hava alanları yakınlarında beton duvarlı tanklar tercih edilir. Depolama tankları, yeraltına tamamen gömüldüğü gibi Kısmi olarak gömülü veya yer üstünde gömülü olmayan konstrüksiyonlarda da imal edilebilirler. (CAN; 1995)

LNG tankı aşağıdaki şartları sağlamak zorundadır,

- * Tam sızdırmazlık
- * Basınç ve sıcaklıktan doğan stresslere karşı koyabilirlik
- * Dış çarpmalara karşı dayanıklı olabilmek



Şekil 1.15: Tipik bir LNG depolama tankı.

- * İzalasyon sızdırmazlığı
- * $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de kırılma olmamak
- * Değişik işletme durumların, değişik sıvı seviyelerinde soğutma ve ısıtmaya dayanıklı olmak

Tipik bir LNG tankı aşağıdaki kısımlardan oluşur.

- * LNG'nin hidrostatik basıncına dayanıklı iç tank
 - * Dış tank
 - * İki tank arasındaki izolasyon malzemesi
- İki ana tip LNG tank çeşidi vardır;
- * Kendi kendini taşıyan (self-Supporting) tanklar: Bunlar asılı bir kubbe ile çatılanmışlardır. İç tank hem LNG basıncına karşı koyarken aynı zamanda çok düşük LNG sıcaklıklarına dayanıklı olmak zorundadır. İç Tank %9 nikel çeliği olup dış tank karbon çeliğidir.
 - * Diafram (membrane) tipi tanklar: Burada basınçta dayanan malzeme soğüğün etkisinden bir izolasyon malzemesi ve bir sızdırmaz diafrala ayrılmıştır. LNG ile temas halinde bulunan malzeme kriyojenik bir alaşımdır. Tank duvarlarında cam yünü ve perlit izolasyonu kullanılırken, tabandaki izolasyon ise köpüklü camdır.

1.3.3. MARMARA EREĞLİSİ LNG İTHAL TERMİNALI

Türkiye, Rusya Federasyonun'dan boru hattıyla alınan doğalgaza alternatif olması ve aynı zamanda sıvı halde depolama yaparak talepteki dalgalanmalarında karşılayabilecek olmasından Cezayir'le LNG anlaşması

yapmış ve bunun gereği olarak Marmara Ereğlisi'nde LNG ithal terminalini 2-8-1994 yılında devreye almıştır.

LNG terminalinin kurulmasıyla oluşan LNG ticaretinin; boru hattıyla yapılan Doğalgaz ticaretine göre avantaj sağladığı noktalar şunlardır:

- LNG istenilen ülkeden alınabilir. Ancak ihracatçı ülkenin değiştirilmesiyle satın alınan LNG'nin kimyasal kompozisyonu değişebilir. Örnek olarak Libya'nın sattığı LNG içerisinde ağır hidrokarbonların yüzdesi çok fazladır.

- Antlaşma yapılan ülkenin LNG üretme limitleri bağlayıcı değildir. Aynı LNG terminali kullanılarak terminalin kapasitesi içerisinde kalınmak şartıyla birçok ülkeyle anlaşma yapılabilir.

- Yapılan antlaşmaların süresinde herhengi bir sınırlama yoktur. Bu yüzden Dünya üzerinde spot borsalar vardır. Örnek olarak BP ve Shell ile 1 yıllık sözleşmeler yapılabilir.

LNG ticareti bu avantajlar dolayısıyla Dünya Doğalgaz piyasasında önemli bir yer tutmaktadır. Japonya bütün gaz ihtiyacını 20 terminali kullanarak LNG ile karşılarken, İspanya'da 3, Fransa'da 2, İngiltere'de ve İtalya'da 1'er adet terminal bulunmaktadır.

Cezayir'le terminal arasında 125 bin m³ lük LNG kapasiteli bir gemi 12 günlük bir zamanda sevkiyat yapmaktadır. Dolayısıyla gemi her sevkiyatında 75 milyon m³ lük Doğalgaz taşımaktadır. Geminin terminale yılda 22 kez sefer yapabilmesinden dolayı terminalin yıllık kapasitesi 2 milyar m³ (Aylık 166 milyon m³) doğalgaz seviyesinde kalmaktadır. Terminal, ikinci bir geminin sefer yapmaya başlamasıyla 4-5 milyar m³ (Aylık 350 milyon m³) doğalgazı hatta verebilecek kapasitedir. Gemi sayısının daha fazla artırılması durumunda, terminaldeki yüksek basınç pompaları, boru çapları kapasiteyi limitleyici olmaktadır. Bu değerlere karşılık İstanbul'un 900.000 abone sayısına ulaşıldığında (10.1996 rakamlarına göre abone sayısı 800.000'dir.) konut sektörünün; yıllık tüketim değeri 1,198 milyar m³, aylık tüketim değeri max. 233 milyon m³ olmaktadır. Türkiye genelinde ise 1995 yılında toplam 8,501 milyar m³ doğalgaz ihtiyacı olmuştur.

2. İSTANBUL DOĞALGAZ BORU HATTI KATODİK KORUMA PROJESİNİN İNCELENMESİ

2.1 KOROZYON HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Korozyon genel olarak metal ve alaşımlarının kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonlar ile metalik özelliklerini kaybetmesi olayı olarak tarif edilebilir. Metal ve alaşımları endüstrinin temel taşı olduğuna göre ; korozyon endüstrinin gelişmesine bir engel teşkil ettiğinden çözülmesi gereken bir sorun olarak görülmelidir. Korozyonun neden olduğu kayıplar ; korozyona uğrayan metal ve alaşımlarının kullanıldığı sektörler göre çok çeşitli ve tehlikeli olur. Korozyonun direkt olarak neden olduğu kayıp olarak, korozyona uğrayan metal miktarı ; Türkiye'nin yılda ürettiği çeliğin 3'te 1'i boyutlarındadır. Yani Türkiye'nin sahip olduğu 3 tesisten 1'i ; korozyon kayıplarını karşılamak için çalışmaktadır. Korozyon nedeniyle Türkiye, Gayri Safi Milli Gelirinin %4 ila 5'ini heba etmektedir.

Korozyona uğrayan metal yapının kullanıldığı sektöre göre ; oluşacak tehlike çok farklıdır. Örneğin akaryakıt veya doğalgaz taşıyan bir boru hattının korozyona uğramasıyla oluşabilecek zararlar metal kaybının ötesinde can kaybına yol açabilir; yangın ve patlamalarla oluşacak hasarlara, çevreye yayılacak akaryakıtın (veya gazın) neden olacağı kirlilik ve zararlara, yakıt (veya gaz) kaybına, dağıtımın durmasıyla oluşacak zararlara ve sistemin tekrar onarımı sırasında harcanacak zaman ve maddi kayıplara neden olacaktır.

2.2 ELEKTROKİMYASAL KOROZYON :

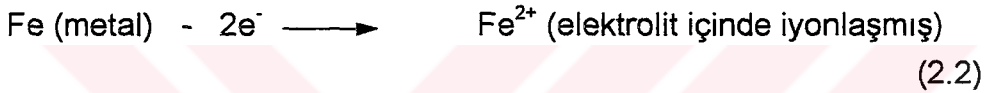
Korozyon kuru korozyon ve yaş korozyon olarak da bilinen elektro-kimyasal korozyon olmak üzere ikiye ayrılır. Bu tezde yeraltı gaz hatlarının maruz kaldığı elektro-kimyasal korozyonun oluşumu incelenecek ve çözüm yolları araştırılacaktır.

Metal yapı içerisinde olduğu ortamdan elektrokimyasal olarak etkilenecek korozyona uğrar. Elektrokimyasal korozyonun oluşabilmesi için metal yapının içerisinde olduğu ortamın "Elektrolit" olması gerekir. Elektrolit iyon içeren sulu çözelti anlamındadır. Elektrolit içerisinde korozyonun oluşabilmesi için metal yüzeyinde anot ve katot bölgeleri oluşmalıdır.

Anod bölgesi, üzerinde oksidasyon reaksiyonunun olduğu bölgedir. Demir için anodik bölgede şu reaksiyon oluşur :



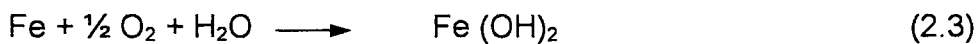
veya



Elektrolit içerisine geçemeyen elektronlar, metal üzerinde kalır ve metali negatif olarak yüklerler. Fe^{2+} iyonları elektrolit içerisinde, metalin yüzeyinde yer alırlar. Çözelti Fe^{2+} iyonlarını daha fazla alamayacak durumda dengeye ulaşıncaya kadar oksidasyon reaksiyonu devam eder. Böylece metal yüzeyinde pozitif ve negatif iki katman oluşur. Bu iki katman arasındaki çekime double layer (çift katman) denir. Herhangi bir metalin, bir elektrolit ortamı içerisinde oluşturduğu double layer potansiyeline standart erime potansiyeli denir.

Katodik bölgenin potansiyeli anodik bölgeden düşüktür ve genellikle katodik bölge anodik bölgeyle aynı metal üzerinde olduğundan herhangi bir şekilde temas halindedir ve bu yüzden anodik bölgeden katodik bölgeye elektron akımı oluşur. Anodik bölgeden ayrılan her iki elektron için bir (Fe^{2+}) iyonu metal yüzeyinden ayrılarak elektrolit içinde bulunan $(\text{OH})^{-}$ iyonlarıyla birleşir. Sonuçta $\text{Fe}(\text{OH})_2$ oluşur ve anod bölgesi korozyona uğramış olur.

Toplam reaksiyon;



olarak gösterilir.

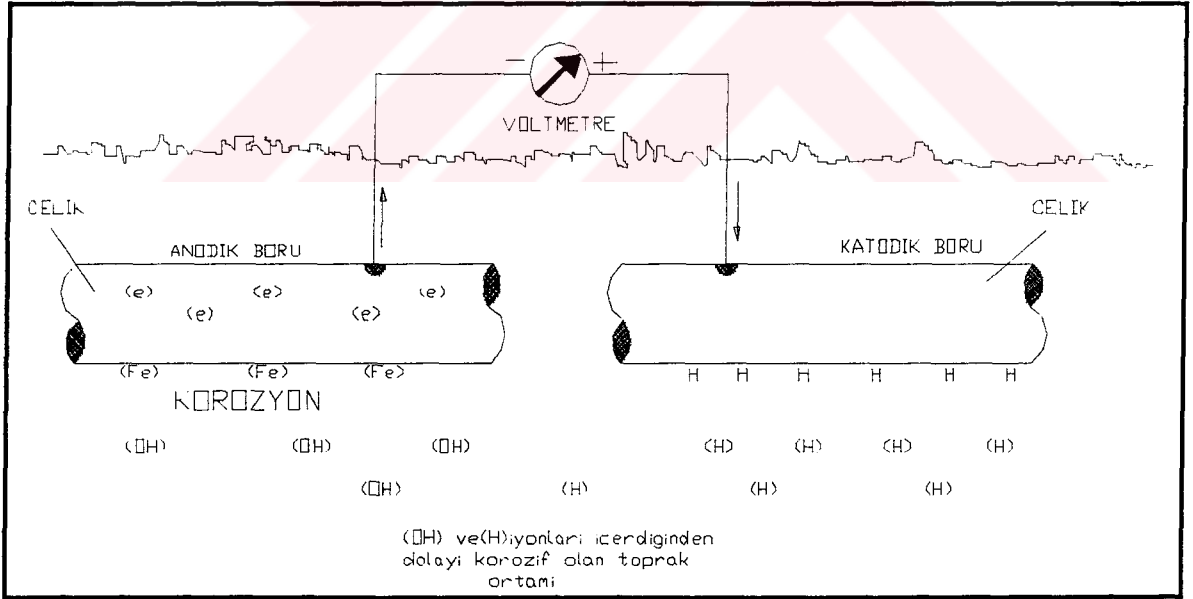
Katod yüzeyine gelen her iki elektron elektrolit içerisinde serbest halde bulunan H^+ iyonlarıyla birleşerek (H_2) gazı oluştururlar.



(2.4)

Genel olarak korozyonun oluşabilmesi için ;

- Elektrolit içerisinde iyonların olması (bu örnekte $(OH)^-$ ve $(H)^+$ iyonları),
- Anod bölgesinde yeteri kadar potansiyel oluşması,
- Katod bölgesinde anod potansiyelinden az bir potansiyel oluşması ve
- Anod ile katod arasında elektronların geçmesi için bir temas (iletkenlik) gerekir.



Pekil 2.1 : Toprak ortamı içerisinde çelik borularda oluşan ELEKTRO-KİMYASAL KOROZYONUN yapısı: Anod daha çok potansiyel tabiiyyından katoda elektronlarını göndererek Fe^{+2} iyonlarını ortam içerisine bırakır ve yüzeyde $Fe(OH)_2$ oluşturur. Katotta Hidrojen gazı açığa çıkar.

Metal yapının (boru hattının) ve içerisinde bulunduğu elektrolit ortamının özelliklerine bağlı olarak; oluşacak korozyonun derecesi artar veya azalır. Yer altına döşenmiş boru hatlarının maruz kaldığı elektro kimyasal korozyonun nedeni ;

- 1) Gaz hattının özelliklerinden ;
- 2) Gaz hattının içerisinde olduğu elektrolit ortam (zemin) özelliklerinden ;
- 3) Dış etkilerle gaz hattının elektriksel olarak yüklenmesinden dolayı oluşur.

Boru hattı üzerinde korozyon, bu nedenlerin tek tek veya genellikle bir arada bulunmalarıyla oluşur ve alınacak önlemlerde bu etkileri tamamen ortadankaldırmaya yöneliktir.

2.2.1 Gaz Hattının Özellikleriyle Oluşan Korozyonun Nedeni :

Gaz hattının elektro-kimyasal korozyon oluşturacak özellikleri ;

- a) Gaz hattında kullanılan boru malzemesinin farklı olması ve
- b) Gaz hattında kullanılan boru yalıtımında oluşan hatalardır.

2.2.1.1 Gaz Hattında Farklı Malzemelerin Kullanılması :

Her metal, aynı elektrolit içerisine daldırıldığında farklı potansiyeller oluştururlar. NERST tarafından yapılan, hidrojen elektrod referans alınarak, aynı elektrolit içerisinde metallerin oluşturdukları potansiyellere göre sıralandırma şöyledir :

Tablo 2.1 - Bazı metallerin, standart demir tuzu elektroliti içinde hidrojen elektrot referans alınarak ölçülen standart potansiyelleri. (Volt cinsinden)

Lityum	-3,03	↑	Korozyona kolay uğrayabilecek Anodik metaller
Potasyum	-2,92		
Sodyum	-2,71		
Magnezyum	-2,37		
Alüminyum	-1,66		
Çinko	-0,76		
Krom	-0,74		
Demir	-0,44		
Cadmium	-0,40		
Hidrojen	0		
Bakır	+0,33	↓	Korozyona dayanıklı Katodik metaller.
Cıva	+0,79		

Metallerin korozyona dayanıklılığını gösteren bu sıralamaya NERST ÖLÇEĞİ denir. Tablo 2.1'de önemli bazı metallerin nerst ölçeğine göre sıralandırmaları ve standart demir tuzu elektroliti içinde hidrojen elektrot referans alınarak ölçülen volt olarak standart potansiyelleri verilmiştir. NERST ÖLÇEĞİ'nde üst sıralardaki metaller elektrolit içerisinde, alt sıralardaki metaller göre daha çok potansiyel oluştururlar ve aynı yapı içerisinde iletken bağlantılı olduklarında anodik davranış göstererek korozyona uğrarlar.

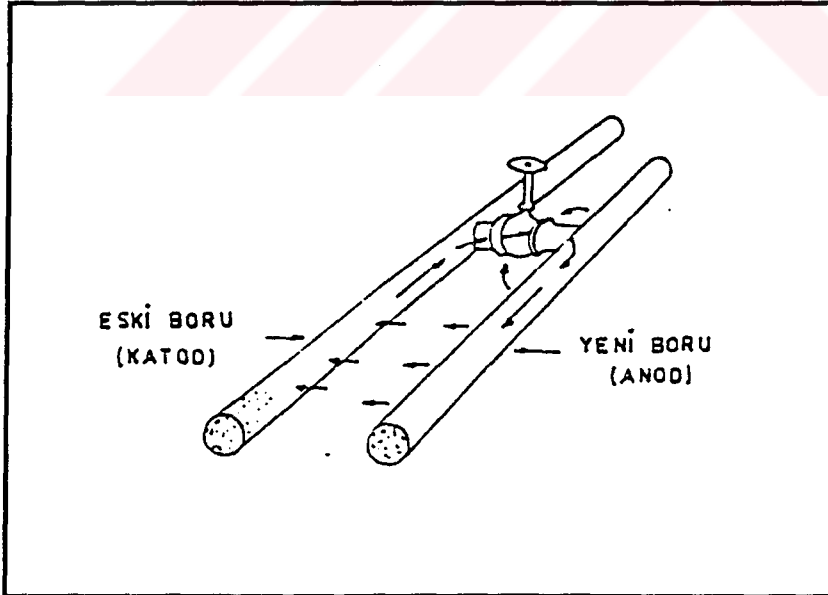
Anahat çelik borularına, bakır malzemeli bir hat bağlandığında NERST ölçeğinde alt sıralarda bulunan bakır daha az potansiyel oluşturur, çelik hat daha fazla potansiyel oluşturur. Bakır katodik, çelik anodik davranış gösterir. Korozyon çelik boruda oluşur. Korozyonun şiddeti ; iki metalin potansiyellerinin farkı oranında artar veya azalır. NERST ÖLÇEĞİ'nde birbirine yakın metaller birarada bulunduğu anda oluşacak akım ve dolayısıyla korozyon şiddeti az olur.

Örnek olarak aynı boru hattında ;

Çelik ve bakır kullanıldığında,	çelik
Çelik ve kaplanmış çelik kullanıldığında,	kaplanmış çelik
Çelik ve alüminyum kullanıldığında,	alüminyum
Çelik ve dökme demir kullanıldığında,	çelik
Çelik ve kurşun kullanıldığında,	çelik
Çelik ve bakırlı maddeler kullanıldığında,	çelik
korozyona uğrar.	

Çelik ve galvanizle çelik birarada kullanıldığında dahi bir potansiyel farkı oluşur ve galvanize ve galvanize çelik korozyona uğrar.

Boru hattı zemin içerisine konulduğunda zaman geçtikçe oluşturabileceği potansiyel seviyesinde bir azalma olur. Şekil 2.2'de gösterildiği gibi eski boru hattına aynı malzemeden yapılmış, yeni bir boru ilave edildiğinde potansiyeli eski boruya göre yüksek olacak yeni boru anodik davranış gösterecek ve korozyona uğrayacaktır.



Şekil 2.2: Eski boru hattına yeni bir boru ilave edildiğinde yeni boru daha yüksek potansiyele sahip olacağından anodik davranış olarak korozyona uğrar.

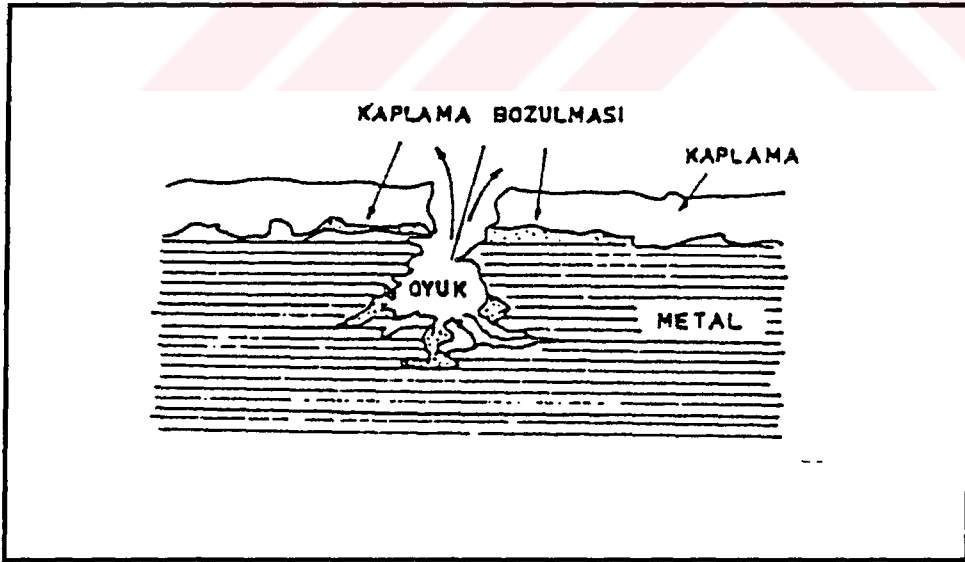
Sonuç olarak metal yüzeyinde yapılan farklılaşmalar, potansiyellerde de farklılaşmalar sonucu korozyona neden olur.

Boru hattı aynı malzemeden yapılmalı ama bu mümkün değilse, bağlantı yerleri elektriksel olarak yalıtılmalı olmalıdır.

2.2.1.2 Boru Hattında Yapılan Yalıtım Hataları :

Yer altı doğalgaz boru hatları korozyondan koprunmak için polietilen yalıtıcı ile kaplanırlar ve bu yüzden çıplak boruya göre kaplamalı boru, boru/zemin iletkenliği azaldığından daha az potansiyel seviyesinde kalır.

Kaplamada yapılan işçilik hatalarından dolayı bazı bölgelerde delinme bozulma, yırtılmalar oluşur. Bu bölgelerde boru çıplak kalır ve daha fazla potansiyele ulaşırlar. Kaplamada yapılan hatalar genellikle küçük alanların çıplak kalmasına neden olurlar. Daha yüksek potansiyele sahip olacak bu küçük alanlarda borunun anodik davranış göstererek uğrayacağı korozyon az metal kaybına neden olur, ancak derinlemesine oluşacağından borunun delinmesiyle sonuçlanabilir.



Şekil 2.3: Boru hattın yapılan yalıtım hatalarının bru yüzeyinde oluşturduğu potansiyel farklılıklarıyla oluşan korozyon

2.2.2 Ortamın (Zeminin) Neden Olduğu Korozyon

Elektro-kimyasal korozyona neden olan en önemli etken, doğalgaz boru hattının içerisinde olduğu ortamın özellikleridir. Boru hattının içerisinde olduğu ortam;

- 1) Elektrik özgül direnci,
- 2) Fiziksel, kimyasal özellikleri,
- 3) Yapısındaki farklılıklar,
- 4) PH değeri.
- 5) Biyolojik yapısı (Redoks pot.),

gibi unsurlarıyla korozyona sebep olur.

Bu unsurlar çoğu zaman aynı anda ve birbirlerinin değişik kombinasyonları halinde, farklı derecelerde; boru hattı üzerinde anodik ve katodik bölgeler oluşturarak korozyona neden oluştururlar.

2.2.2.1 Düşük Elektriksel Özgöl Dirençteki Zeminin Korozyona Etkisi

Zeminin elektriksel özgül direnci zeminin koroziflik özelliğini büyük ölçüde belirler. Düşük elektriksel özgül direncinin sebebi zeminin taşımış olduğu tuzluluk ve rutubettir. TS 5141'de zemin elektriksel özgül dirençlerine göre zemin korozifliği belirlenebilir.

Tablo 2.2: TS 5141'de verilen zeminin elektriksel özgül direncine göre koroziyifliği

Zemin elektriksel Özđül Direnci (Ohm.cm)	Koroziyiflik Özelliği
<1.000	Çok koroziyif
1.000 – 3.000	Koroziyif
3.000 – 10.000	Orta koroziyif
>10.000	Az koroziyif

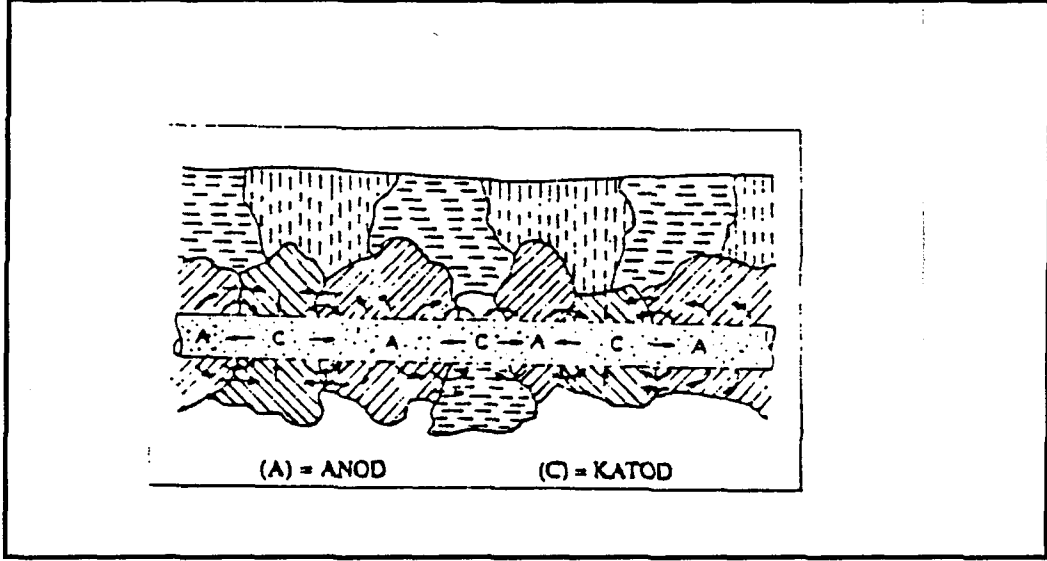
2.2.2.2 Zeminin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleriyle Oluşan Korozyon

Zemin rutubeti, hava alabilme durumu, sıkışma derecesi, zemin koroziyiflik derecesine büyük ölçüde etki eder. Toprağın cinsi değişmese bile rutubet yüzdesi ve oksijen konsantrasyonu korozyonda etkili olur. Tam olarak kuru zemin içerisinde korozyon olmaz, hiç oksijen bulunmayan sular içerisinde de korozyonun oluşması mümkün değildir. Oksijen konsantrasyonu yükseldikçe korozyon ihtimali artacaktır. Örneğin oksijen konsantrasyonu yüksek olan kumlu toprak koroziyif özellik taşır.

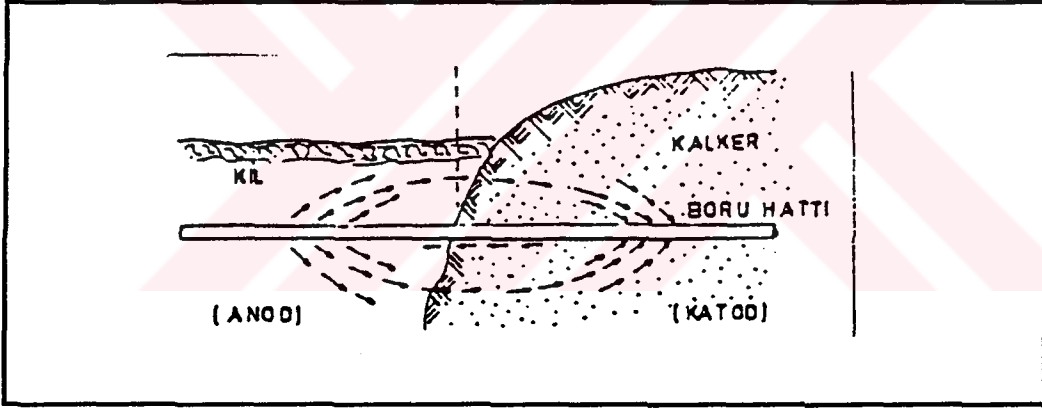
2.2.2.3 Zemin Farklılıklarının Neden Olduğu Korozyon :

Metal farklı elektrolitler içinde farklı potansiyellere sahip olur. Eğer boru hattının geçtiği zemin değişiklik arzederse boru değişik bölgelerde değişik potansiyellere sahip olur. Bu da korozyona sebep olur.

Zemin taş, kum, kil ve su gibi çeşitli malzemelerin karışımından oluşmuş heterojen yapıda bir elektrolittir. Bu özellikler kısa veya uzun mesafelerde çok çeşitli farklılıklar gösterir. (Şekil 2.4 ve Şekil 2.5)



Şekil 2.4: Zeminin kısa mesafelerdeki heterojenliği ile korozyon oluşumu.

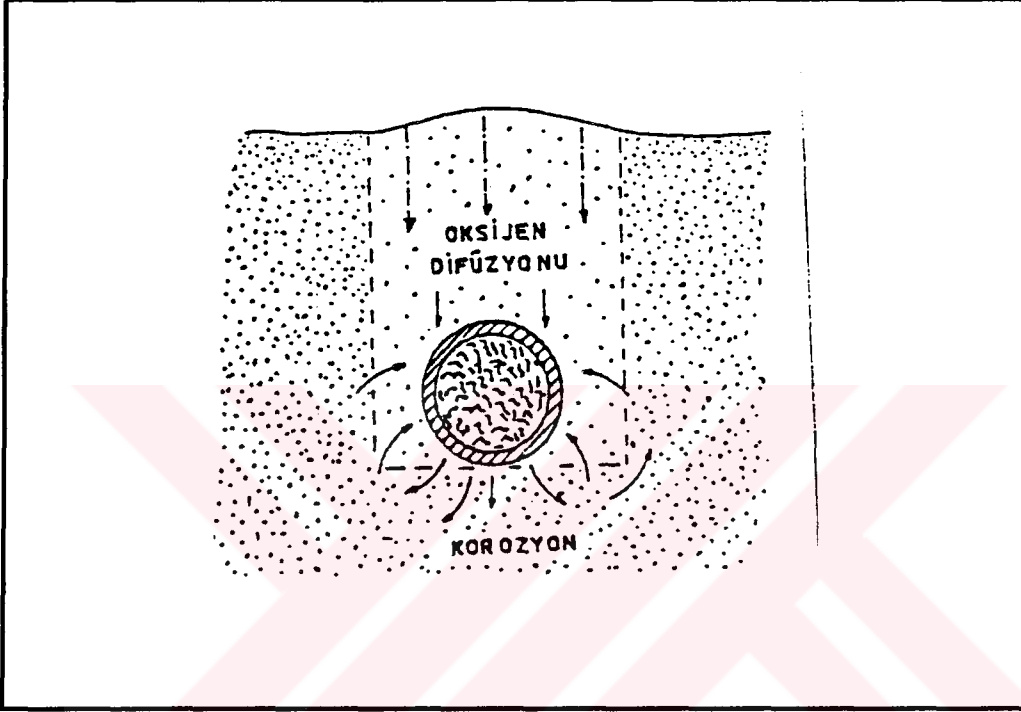


Şekil 2.5: Zeminin uzun meafelerdeki heterojenliği ile korozyon oluşumu.

2.2.2.3.1 Zeminin farklı havalanmasından dolayı oluşan korozyon (Differansiyel havalandırma) :

Killi toprak az havalanabilir, taşlık toprak ise tersine daha iyi şekilde havalanabilir. Boru hattı yer yer killi, yer yer taşlık olursa, killi toprakta korozyona uğrar. Taşlık bölgeden geçen boru hattı parçası daha fazla O_2 aldığından katodik davranış gösterir. (Çizmecioğlu, 1996)

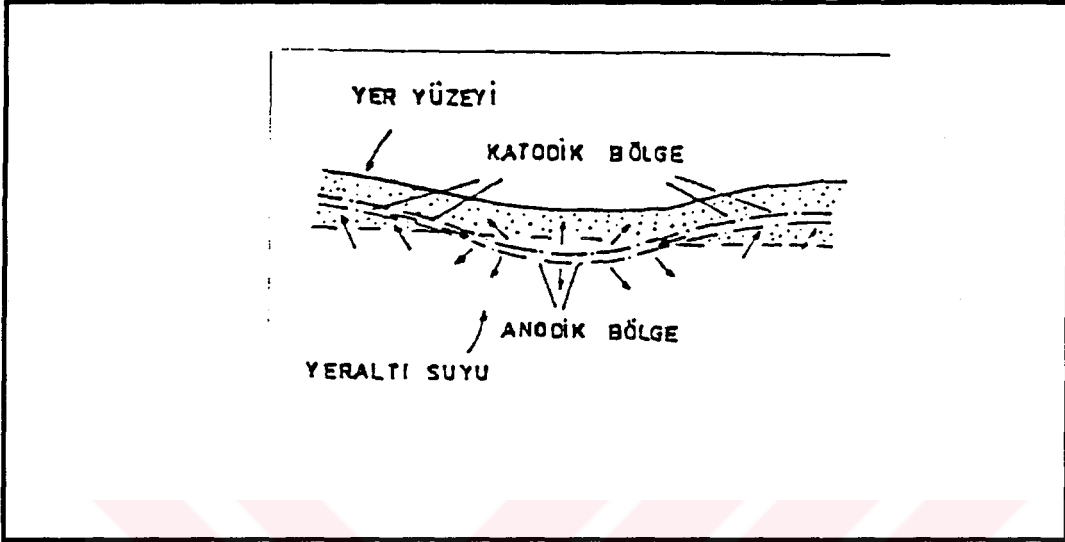
Boru hattı yeraltına yerleştirildiğinde borunun üst kısmı yeniden oksijen geçirgenliği zeminin oksijen geçirgenliğinden farklı toprak ile doldurulduğunda boru çevresindeki ortamda differansiyel havalandırmadan dolayı korozyon oluşur. Atmosfere yakın olan borunun üst kısmı oksijen alabildiğinden katotik, alt kısmı ise az oksijen aldığı için anodik davranış gösterir ve korozyona uğrar. (Şekil 2.6)



Şekil 2.6: Boru kesitinde farklı havalanma nedeniyle oluşan korozyon.

2.2.2.3.2. Yer altı suyunun seviyesindeki değişikliğin neden olduğu korozyon :

Boru hattının yer altı su seviyesinin altından geçmesi durumunda, ortamın tuz cinsi ve konsantrasyon derecesi değişiklik gösterecektir. Yer altı suyu seviyesinin altından geçen boru hattı anodik davranış göstererek korozyona uğrar. Tuz konsantrasyonu yüksek toprağın elektriksel özgül direncinin düşük olması bunun nedenidir. (Şekil 2.7)



Şekil 2.7: Yeraltı suyu seviyesinin boru hattı boyunca değişiminden dolayı oluşan korozyon.

2.2.2.4 PH Etkisi :

PH, metallerin, oksitlerin, iyonların termodinamik kararlılığa sahip oldukları alanlarını gösterir. Yani bir faz diagramı niteliğindedir. Komşu alanları birbirinden ayıran sınırla kimyasal ve elektro-kimyasal dengeleri tanımlar.

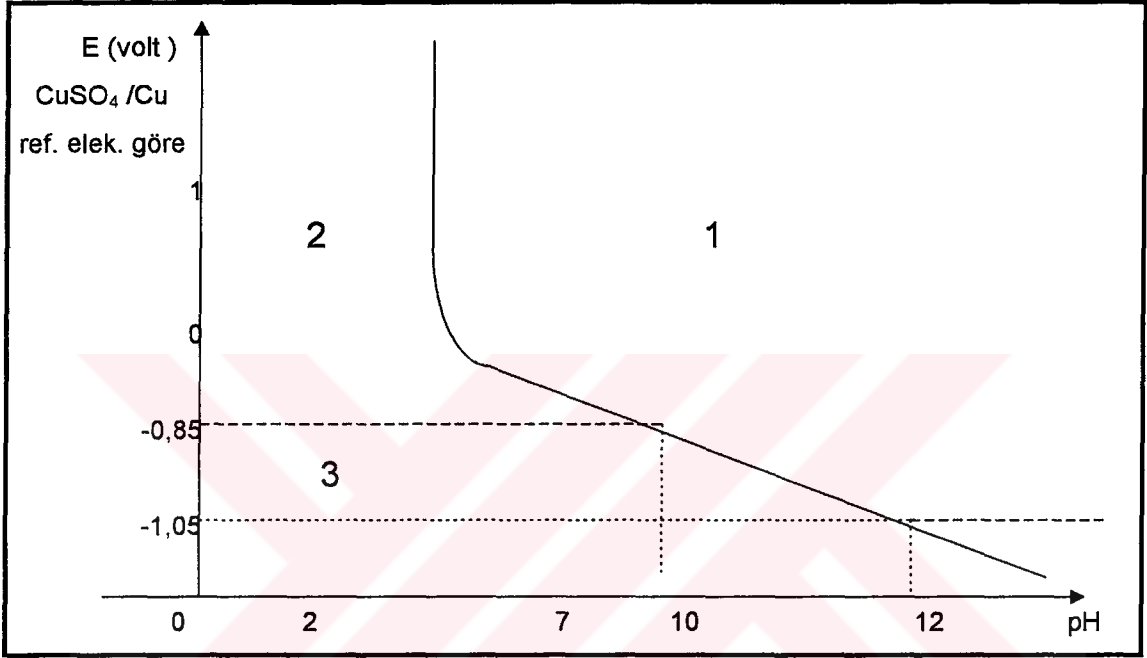
Şekil 8'de potansiyel PH diagramıdır. PH zemininin sahip olduğu değeri, potansiyel ise o zemin içinde demir metalinin $\text{Cu SO}_4/\text{Cu}$ elektrodu referans alınarak sahip olduğu potansiyeli gösterir.

PH potansiyel diyagramları en düşük iyon konsantrasyonuna göre çizilir. $\text{C}:10^{-6}$ N konsantrasyonlar değişirse eğrilerde kayar.

Bu diyagramlar sayesinde hangi potansiyel ve PH aralığında söz konusu boru hattının korozyona uğrayıp uğramayacağı anlaşılabilir.

Diyagramlardan metal bileşiklerinin koruyucu olup olmadıkları ve reaksiyonun hızı anlaşılabilir.

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.



Şekil 2.8'deki diyagram demirin toprak içindeki potansiyel -PH diyagramıdır. Bu diyagramdaki bölgelerin etkileri şöyledir :

1. Bölge : Kararsızlık ; Koordinatları bu alana düşen boru korozyona uğramaz. Yüzeyde bir takım koruyucu oksitler oluşur.
2. Bölge : Korozyon bölgesidir.
3. Bölge : Bağımsızlık ; Korozyon yok.

2.2.2.5 Biyolojik Etkinin veya Redoks Potansiyelinin Neden Olduğu Korozyon :

Zemin ortamında bulunan ve demir iyonu içeren ortamlarda kolaylıkla çoğalabilen bazı bakteriler demir yapıya direkt olarak etki ederek korozyon yapabilirler.

Anaerobik ortamlarda yaşam sülfat redükleyici bakteriler (desülfobro desülfiricon) demirin korozyonuna gerekli ortamı oluştururlar. Bu bakteriler zemin içindeki sülfat iyonlarını (+6) 'dan (-2) ' ye redükteyerek (H₂S) ' i ortaya çıkartırlar. (H₂S) ise demire etki ederek demir sülfür oluşturur.

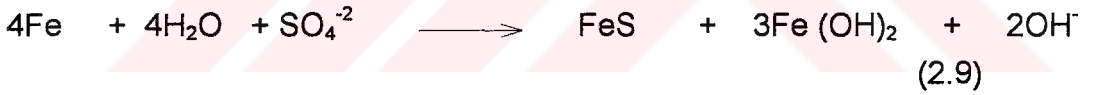
Katod ve Anod reaksiyonları şöyle işler :



toplam olarak katod reaksiyonu :



Anoddaki toplam reaksiyon;



Reaksiyon sonucu hidroksit iyonları çevresindeki karbon ve silikat iyonları ile yer değiştirip karbonat veya hidroksit çökeltisi oluşturur. Bu çözelti demir üzerinde sert bir kabuk olarak gözüktür.

Eğer boru yüzeyinde sülfat bulunmuyorsa katodik reaksiyon sonucu oluşan hidrojen atomlarını harcayarak boru yüzeyinin depolarize olmasını sağlarlar. Bu da borunun korozyondan korunma işlemini zorlaştıracaktır.

Zemin içerisinde sülfat redükleyici bakterilerin neden olabileceği korozyonun anlaşılması zeminin redoks potansiyel değeriyle anlaşılabilir.

Zemin redoks potansiyeline göre koroziflik özelliği Tablo 2.3'te verilmiştir. (TS5141)

Tablo 2.3: TS 5141'e göre redoks potansiyeline bağlı zeminin korozifliği

Redoks Potansiyeli	Koroziflik Özelliği
m/volt	
100	Çok korozif
100 – 200	Korozif
200 – 400	Orta korozif
400	Az korozif

2.2.3 Dış Kaynakların Boru Hattını Yüklemesiyle Oluşan Korozyon :

Yeraltında, tramway, demiryolu, maden gibi şehir hizmetlerinin veya fabrikaların ürettiği elektrik akımlarının sızıntısı olabilir. Doğalgazdan boru hatları bu akımlarla yüklenebilir ve boru metalinin potansiyelini artırırlar.

Kaçak akımlar boruya, kaplamalardaki hataların olduğu toprakla temas eden yüzeylerden geçerler ve borudaki muhtemel anod bölgelerine doğru akarlar. Zemin elektrik direncinin düşük olduğu bölgelerden borularda ayrılırlar.

Kaçak akımların en tehlikelisi doğru akımlardır. Bunlar güçlü ve hızlı bir korozyona neden olurlar. Kaçak akımların boruyu terk ettiği noktalar çok küçük olduğu için bu noktalardaki korozyon da derinlemesine oluşur ve boruyu delme riski doğururlar. Kaçak akımın yoğunluğu ne kadar fazlaysa oluşturdukları korozyon o kadar şiddetli ve hızlıdır. Önceki bölümlerde anlatılan nedenlerle oluşan korozyon miligram/saat cinsinden metal kaybı yaparken, kaçak akımların neden olduğu korozyon gram/saat cinsinden metal kaybı yapar.

2.3 KOROZYONDAN KORUNMA YÖNTEMLERİ VE KATODİK KORUMA

Korozyondan korunmak için alınacak önlemler şunlardır :

a) İşletmede alınan önlemler :

- * Geçici koruma altında taşıma, depolama sırasında alınan önlemler
- * Tasarım aşamasında alınan önlemler

b) Ortamda alınan önlemler :

- * Sıcaklığın değiştirilmesi,
- * Hızın değiştirilmesi,
- * Korozif elemanın ortamdaki uzaklaştırılması,
- * Konsantrasyonun değiştirilmesi,
- * Frenleyici kullanım

c) Malzemede alınan önlemler :

- * Metalin uygun seçimi
- * Metal dışı malzeme kullanımı
- * Alaşımların kullanımı

d) Kaplama ile metal ortam temasını önlemek

- * Daldırma, Sementasyon, metal püskürtme, cledleme, metal buharı yoğunlaştırılması, elektrolitik gibi metalik kaplamalar
- * Boya, lastik, Asfalt g,b, organik kaplamalar
- * Kimyasal dönüşümlü kaplamalar ve seramik emaye kaplamalar.

Elektro-kimyasal korozyonun önlenmesi; teorik olarak Şekil 2.1'de verilen elektrik devresinin herhangi bir şekilde kesilmesiyle yapılabilir. Bu amaçla boru hatları çeşitli türde kaplamalarla zeminden yalıtılmaya çalışılır. Günümüzde polietilen esaslı kaplamalar ile devreden geçen akım milivolt seviyelerine düşürülebilmektedir. Ancak yeraltı boru hatlarının korozif ortamdaki elektriksel olarak mükemmel bir yalıtımı yapılamaz. Pratikte, borunun inşaat yerine taşınması, yerine yerleştirilmesi, montajının yapılması sırasında boru kaplamasında yer yer bozulmalar, delinmeler meydana gelmekte ve bu yüzden korozyondan tam olarak korunması mümkün olamamaktadır. Boru hattının

kesin olarak elektro-kimyasal korozyondan korunması Katodik Koruma ile mümkün olabilir.

Yeraltı doğalgaz boru hatlarının korozyondan korunma yöntemi olarak " Katodik Koruma " tezimin konusunu teşkil edecektir. Katodik koruma yönteminin teorisi araştırılacak ve İstanbul doğalgaz boru hattının katodik koruma projesi incelenecektir.

Katodik koruma ilk kez Sir Humphrey Davy tarafından 1820'de İngiliz savaş gemilerinin korozyondan korunması için tavsiye edildi. Amerika Birleşik Devletleri'nde 1930 yılında yüksek basınçlı doğalgaz ve petrol boru hatlarının korozyonun kontrolü için kullanılmaya başlandı. Günümüzde yer altı boru hatlarının organik koruyucu kaplamalarla bir arada korozyondan korunması için en çok kullanılan yöntemdir. (Metals Handbook)

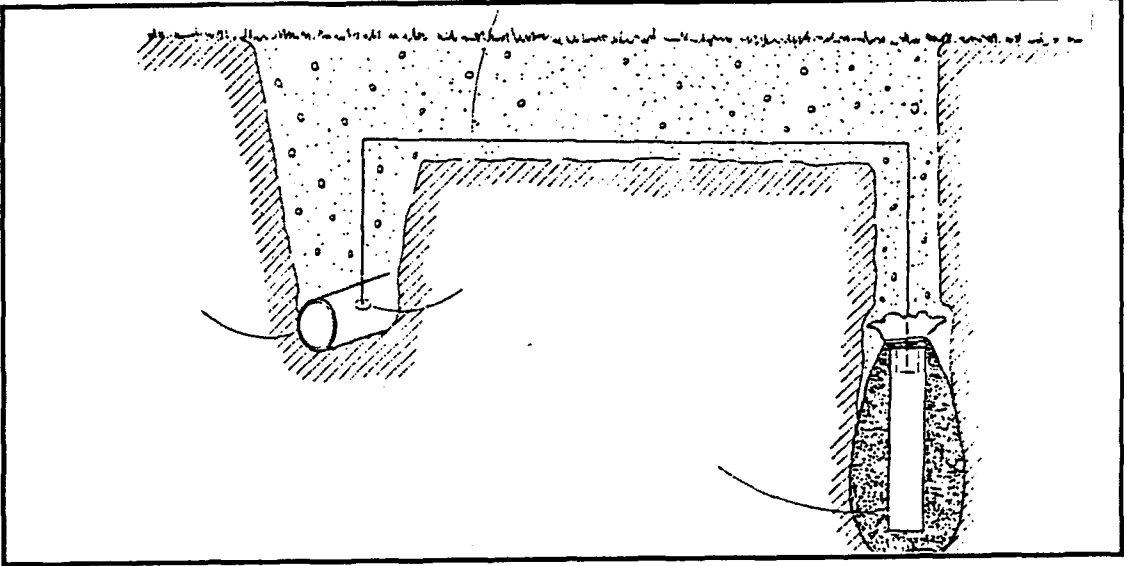
Katodik korumanın teorisi, normalde elektro-kimyasal olarak korozyona uğrayacak metali, katodik koruma ekipmanlarıyla birlikte oluşturulacak toplam sistemin katodu durumuna getirerek korozyondan korumaktır. Korunacak metal ya dışardan akım verilerek potansiyeli artırılarak, ya da kendisinden daha fazla anodik davranış gösterecek bir başka metale paralel olarak kaplanarak sistemin katodu durumuna getirilir. (Metals Handbook)

Katodik korunacak boru uygulanması gereken akım miktarının düşürülmesi için polietilen kaplamalar ile zeminden yalıtılır. Teorik olarak kaplaması olmayan borularında katodik korunması yapılabilir, ancak boruya uygulanması gereken akım ihtiyacı çok yükselmektedir. Kaplama ile akım ihtiyacı binde bire kadar düşürülebilmekte maliyetler buna göre çok düşük olmaktadır.

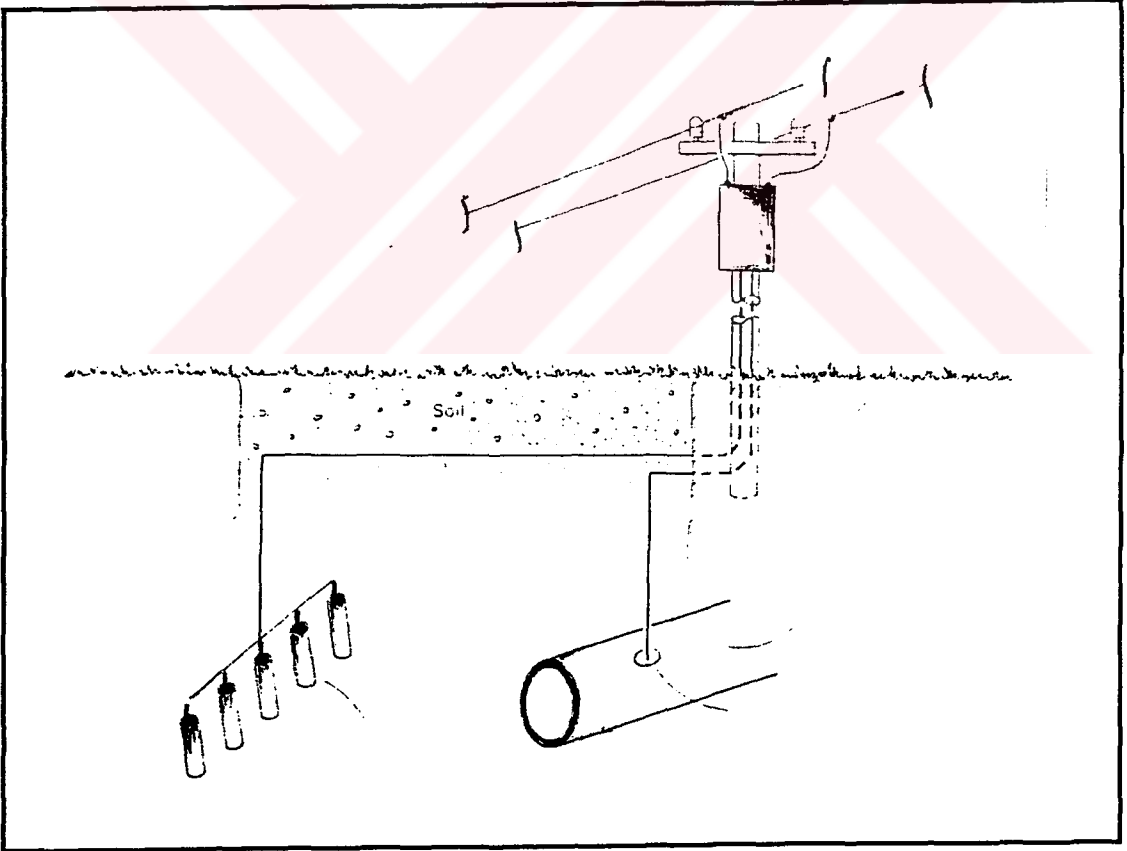
Eğer katodik koruma; borunun dışarıdan bir akım uygulanarak potansiyeli değiştirilerek yapılıyorsa, "dış akımlı katodik koruma" yada boru metalinden daha anodik davranış gösterecek bir metal, boru hattına elektriksel olarak bağlanarak yapılıyorsa "galvanik anodlu katodik koruma" olarak adlandırılır. (Şekil 2.9 ve Şekil 2.10)

Katodik koruma sistemlerinin birbirleriyle aralarında ki farklar Tablo 2.4'de gösterilmektedir.

Boru hatlarına katodik koruma uygulanması ekonomik açıdan da avantajlıdır. Hattın kendi maliyetinin %1/2'si oranında bir harcama ile işletme ömrünü 10/15 yıl uzatmak mümkündür.



Şekil 2.9:Galvanik akımlı katodik koruma sisteminin şematik olarak gösterimi. 1:kablo, 2:boru hattı, 3:Gömülü anod, 4: Kablo'nun kaynakla boruya bağlantısı, 5: Kum (toprak)



Şekil 2.10: Dış akımlı katodik koruma sisteminin şematik gösterimi. 1: Boru hattı, 2:kablonun kaynakla boruya bağlantısı, 3: Trafo-redresör(T-R) ünitesi, 4: Ana şehir (AC) şebekesi, 5: Kablo, 6: Anodlar ve anod yatağı, 7: Kum (toprak)

Tablo 2.4: Katodik koruma sistemlerinin karşılaştırılması.

GALVANİK ANODLU VE DIŞ AKIM KAYNAKLI KATODİK KORUMA SİSTEMLERİNİN BİRBİRLERİ İLE KIYASLANMASI	
GALVANİK ANODLU KATODİK KORUMA	DIŞ AKIM KAYNAKLI KATODİK KORUMA
1. Dış akım kaynağına gerek yoktur. Katodik koruma için gerekli akım galvanik anodlardan sağlanır	1. Bu sistem elektrik akımı bulunmayan bölgelerde uygulanamaz.
2. Bu sistemde akım maliyeti yüksektir. Galvanik anodlu katodik koruma sistemi yaklaşık olarak 0,5-1,0 Amper'den daha az akım ihtiyacı olan boru hatlarında ekonomik olabilir.	2. Elektrik akımı şebekeden alındığı için ucuzdur. Bu nedenle akım ihtiyacın için sınır yoktur. Bu sistem, trafo-redresör ünitesi sayısı artırılarak çok uzun boru hatlarında ekonomik olarak kullanılabilir.
3. Galvanik anodlu katodik koruma sistemlerinde devre potansiyeli küçük olduğundan, yüksek rezistiveli zeminler içinde bu sistemin uygulanması güçleşir. 5000 Ohm.cm'den daha yüksek rezistiveli zeminler içinde bu sistem uygulanmamalıdır.	3. Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinde zemin rezistivitesi için sınır yoktur. Anod yatağı direnç düşürülerek ve trafo-redresör sayısı artırılarak istenilen miktarda akım uygulanabilir
4. Yapımı basit ve kolaydır. İşletme sırasında hiçbir ayar gerektirmez.	4. Proje sırasında gözönüne alınmayan faktörler nedeniyle beklenmeyen şişmeler meydana gelirse, bunlar işletme sırasında ayar yapılarak düzeltiler.
5. Anodlar boru hattı boyunca dağılmış olduğundan, işletme sırasında kontrol güçtür. Arızanın belirlenmesi için her anodun ayrı ayrı kontrol edilmesi gerekir.	5. Trafo -redresör ünitesi kolayca erişilecek yerlere konulduğundan, işletme sırasında sistemin kontrolü kolaydır.
6. Anod zemin potansiyeli düşük olduğundan anod yatağının çevre metalik yapılar üzerinde interferans etkisi önemsizdir.	6. Anod yatağı civarında olan yabancı metalik yapılar üzerinde interferans etkisi yapabilir. Bunun için yabancı metalik yapılar üzerinde özel önlemler alınması gerekir.
7. Anotlardan çekilen akım kontrol edilemez. Borunun akım ihtiyacı polarizasyon nedeniyle zamanla azalır. bu durumda devre potansiyelide azalacağından anottan çekilen akım da kendiliğinden düşer.	7. Boru akım ihtiyacı değiştikçe sisteme uygulanan akım miktarı istenilen seviyeye ayarlanabilir
8. Anota yakın olan boru yüzeyinde aşırı voltaj nedeniyle boru kaplamasında soyulma meydana gelmez.	8. Anod yatağına yakın olan bölgede aşırı voltaj nedeniyle boru kaplamasında soyulmalar meydana gelebilir.

Galvanik anodlu sistem daha basittir. Sadece ortam içerisinde korunacak boru metalinden daha anodik davranış gösterecek yeteri miktarda metale ihtiyaç vardır. Anod metalinin seçimi Nerst ölçeğinden yapılabilir. Anod metalini ve boru hattını birbirine bağlayacak kablo direnci uygun olmalıdır.

Dış akımlı katodik koruma sistemi ise daha karmaşıktır. Bu sistemde kullanılacak anodun, galvanik anodlu sistemden farklı olarak boru metaline göre anodik olması gerekmez. Uygulamalarda anodun zamanla tükenebilir olmaması için boru malzemesi olan çeliğe göre normalde katodik davranış gösterecek metaller seçilebilir. Redresör-transformatör boru malzemesi olan çeliği yükleyerek sistemin katodu durumuna getirir. Bu sistemde, anod bağlantı kablosu ve anod, toprak, boru kaplaması boru hattı ve boru hattı kablosundan oluşan elektrik devresi, gerekli koruma akımını sağlayacak transformatör-redresör ünitesiyle kapanır. Anodlar sistemin (+) kutbuna boru hattı ise (-) kutbuna bağlanır. Akım anodlardan toprağa geçer. Toprakta, boru kaplamasının hatalarından boru metaline geçer ve hat boyunca ilerleyip bağlantı yerinden transformatör-redresör ünitesine geri gelir.

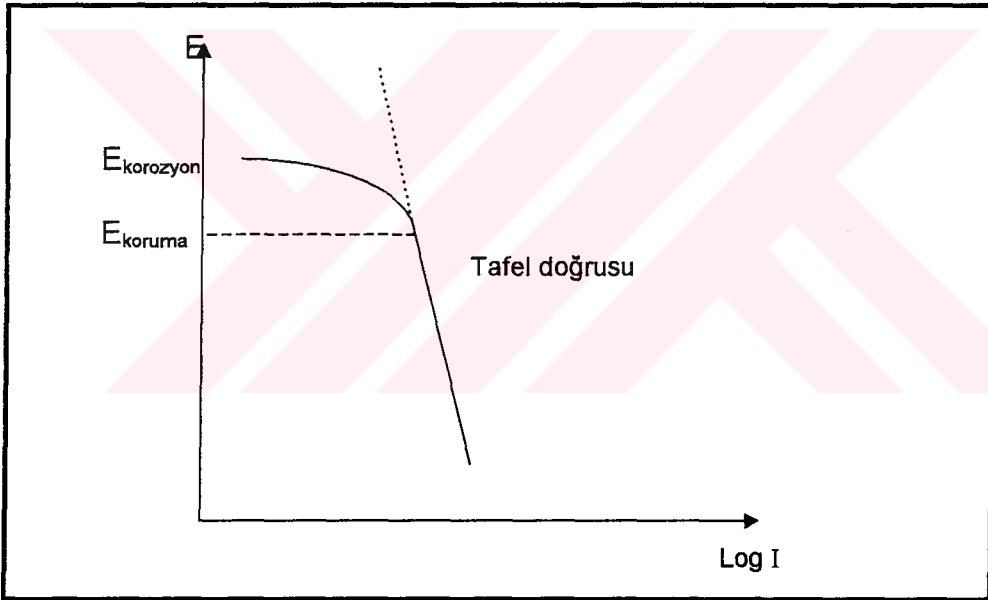
Bu sistemde uygulanacak akım dolayısıyla borunun yükleneceği potansiyel seviyesi çok önemlidir. Sistemin ve boru hattının belli bir direnci olduğundan boru hattının tamamı üniform olarak yüklenemez ve üzerinde oluşacak polarizasyon belli bir aralıkta oynar. Eğer bu aralığın üst limiti çok fazla seçilirse, (boru hattı boyunca anod yataklarına yakın bölgelerden ilk yükleme başladığından bu bölgelerde polarizasyon üst limitindedir.) boru yalıtımı hasar görür. Bu yüksek polarizasyon "aşırı koruma" olarak anılır. Aşırı koruma olan bölgelerde katodik reaksiyonların yoğun olmasından dolayı hidrojen gazı teşekkül eder ve metal ile kaplama arasında bir gaz birikimi meydana gelir. Bu kaplamanın delinmesine ve hasar görmesine neden olacaktır. Çelik boru hatları için üst polarizasyon limiti negatif yönde 1200 mV (CuSO₄/Cu referans elektroduna göre) olmalıdır. (Metals Handbook)

Çelik boru hatları için polarizasyon aralığının alt limiti ise; negatif yönde 850 mV'dan (CuSO₄/Cu referans elektroduna göre) aşağılara inmemelidir. Bu korunamamış olur. (Metals Handbook)

Polarizasyon aralığı boru hattı üzerinde anod yataklarına yakın bölgelerde maximum'dan boru hattının uç noktalarındaki minimum'a doğru, boru hattının direncinden dolayı bir azalış gösterir, ancak bu azalış değişik etmenlerden dolayı salınım gösterir.

Dökme demir veya çelik, gömülü boru hatlarının korozyondan katodik olarak korunabilirliğini belirleyebilmek için Amerikan N.A.C.E. (National Association of Corrosion Engineers) tarafından kullanılan kriterler şunlardır :

- 1) Boru hattının her noktasında, Cu/Cu Sülfat referans elektroduna göre boru akım altında iken ölçülen boru zemin potansiyeli 850 mV'luk potansiyele ulaşmalıdır.
- 2) Katodik koruma için her noktada, akım kesildikten 15 sn. sonra ölçülen E_{off} boru/zemin potansiyeli, daha önce hiç akım uygulanmadan ölçülen E_o boru/zemin potansiyeli arasındaki fark (potansiyel kayması) en az 300 mV olmalıdır.
- 3) Katodik koruma için her noktada akım altında ölçülen boru zemin potansiyeli değerleri arasındaki fark (polarizasyon kayması) en az 100 mV olmalıdır.
- 4) Uygulanacak potansiyel en az ; potansiyel - logaritmik uygulama akımı diyagramındaki (E - Log I), (Şekil 2.11) Tafel slope kısmına gelindiği noktanın değeri kadar bir potansiyel uygulanmalıdır.



Şekil 2.11: E - Log I daigramı. Grafik üzerinde Tafel doğrusunun başladığı nokta koruma potansiyelinin minimum değeridir.

- 5) Katodik koruma sisteminin ve korunacak boru hattının net olarak iyi bir iletken olması gerekir. (Metals Handbook)

Bu kriterleri kontrol edebilmek yapılması gereken E, E_o , ve E_{off} için boru/zemin potansiyeli ölçüm yöntemi ve Cu/Cu Sülfat referans elektrodunun tanımı Bölüm 2.4.1.1.' de anlatılmıştır.

1. kriter her iki katodik koruma sistemi için uygulanır. Galvanik anodlu sistemde 850 mV'luk potansiyel anodlar uygun seçilerek dış akımlı sistemde uygulanarak akım uygunluğu uygun seçilerek sağlanır. 2.3.4. kriterler galvanik anodlu sisteme uygulanamazlar.

5. kriterin uygulanması için katodik koruma sisteminde ve zemin ortamında olması gereken özellikler şunlardır ;

1) Boru hattı boyunca elektriksel iletkenliğinin sürekliliği :

Boru hattının potansiyelini gerekli aralıkta tutmak için (max 1200 mV, min 850 mV) ve üniform bir potansiyel dağılımı sağlamak için boru hattının direncinden dolayı olan gerilim düşümü ve salınımları minimuma indirmek gerekir. Boru hattı direncinin üniform olması, boru metalinin üniformluğu ile ve boru birleştiricilerinin iyi bir iletken olması ile sağlanabilir.

Boruların birleştirilmesi mümkün olduğunca kaynakla yapılır. Kaynaklı birleştirmenin mümkün olmaması durumunda özel ekleme vidaları ve elektrik akımını atlama köprüleri kullanılır. Bu vida ve köprülerin kullanılmaması durumunda flanş contaları ve vidalı bağlantıdaki dolgu malzemeleri elektrik akımını bozabilir ve bir direnç oluşturabilir.

2) Yer altındaki su ve neme karşı geçirimsizlik, iyon geçişlerine ve elektrik akımına karşı direnç gibi özelliklere sahip olması için boru kaplamasının yeterli kalınlık ve kalitede olması gerekir.

Yer altında anodlardan yayılan akımı boru hattı boyunca yeterli şekilde üniform olarak toplanması için boru kaplamasının elektriksel dirence sahip olması istenir. Kaplamanın direnci aynı zamanda borunun ihtiyaç duyduğu akım şiddetini aşağılara çeker. Yer altındaki akım kaplamadaki muhtemel işçilik hatalarından boru tarafından toplanabilir.

3) Anodlar akımı yer altında ; çevrelerine ayarlar ancak toprak direnci çok düşükse akım çok fazla dağılabilir. Bu durumu önlemek için borunun düşük dirençli zeminden izole edilmesi gerekir.

2.4 DIŞ AKIMLA KATODİK KORUMA TESİSATI PROJELENDİRMESİ VE ANADOLU YAKASI DOLAYOBA ÖRNEKTEPE DOĞALGAZ BORU HATTININ PROJELENDİRİLMESİ

Katodik koruma tesisatının projelendirilmesi kapsamında ;

- * Gerekli akım ihtiyacının belirlenmesi,
- * Transformator -redresör ünitesinin ve yerinin seçimi,
- * Anod yataklarının dizaynı ve yer seçimi bulunmaktadır.

Bu bilgilere bulunması veya hesaplanması için yapılaması gereken ön etüdüler olarak;

- * Boru hattı ile ilgili,
- * Ortam ile ilgili,
- * Çevre ile ilgili

gerekli bilgilerin toplanması gerekmektedir.

Katodik koruma dizaynı ön etüdüler yapıldıktan sonra aşağıdaki işlemlerle tamamlanır.

- * Katodik koruma tipi seçilir.
- * Sistemin ömrüne karar verilir.
- * Katodik koruma akımını tahmin etmek için boru kaplama tipine karar verilir.
- * Elektrik akımı hesaplanır.
- * Anod tipine, sayısına, konum ve sırasına, anod yatağının yerine, karar verilir.
- * Elektrik donanımlarının dizaynı yapılır. (Metals handbook)

2.4.1 Ön Etüdüler

2.4.1.1 Boru - Zemin Potansiyelleri :

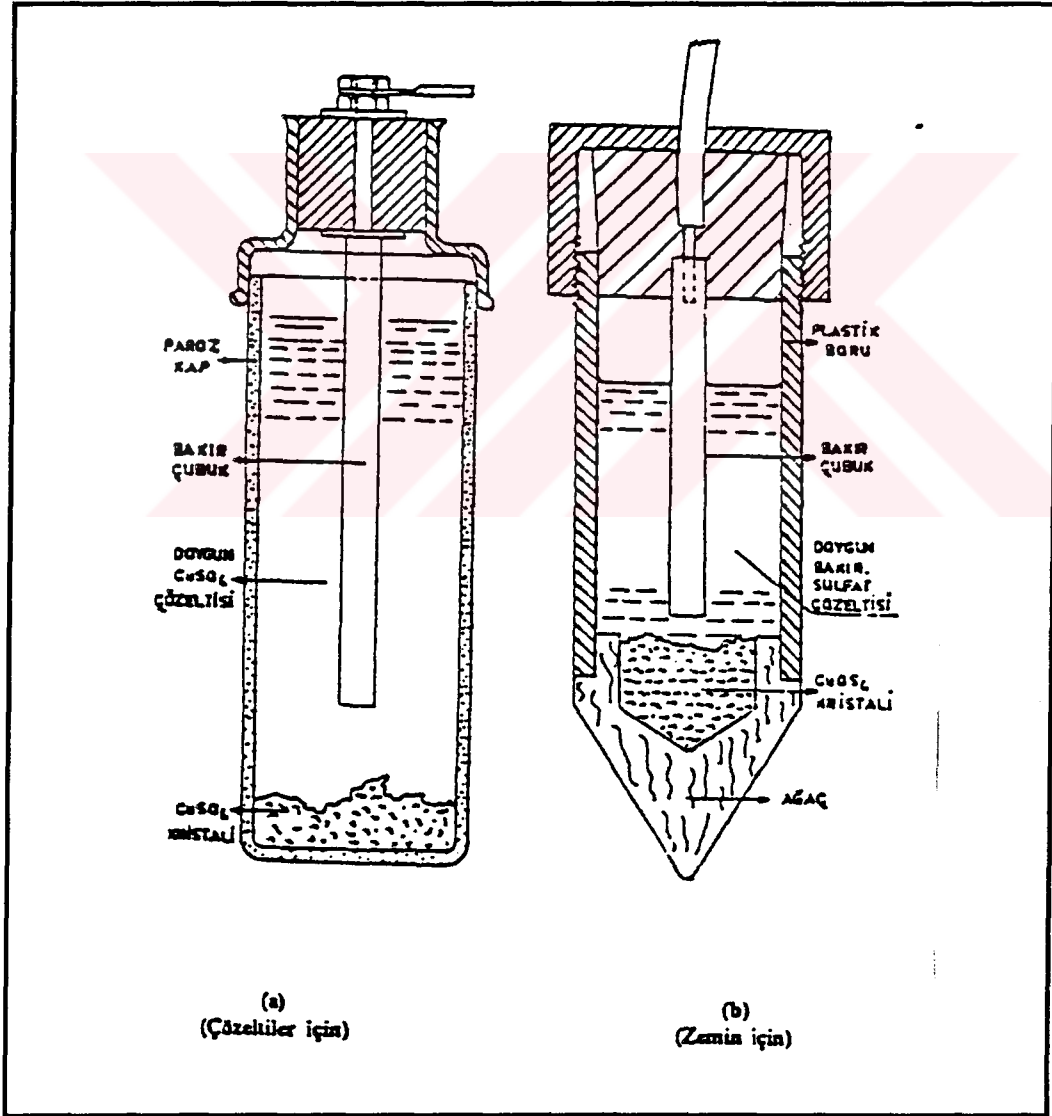
Boru hattı yer altına döşenmişse boru hattıyla, döşenmemişse boru metalinden (çelikten) yapılmış bir ray parçasıyla, referans elektrod olarak Cu/Cu Sülfat elektrodunun kullanılmasıyla yapılan ölçümdür. Şematik olarak şekil 2.12 'de Cu/Cu Sülfat referans elektrodu, şekil 2.13'de ölçüm düzeneği gösterilmektedir. Şekil 2.13'te görüldüğü gibi referans elektrod, voltmetre, boru hattı (veya ray parçası) ve topraktan oluşan bir devre yapılır. Voltmetreden okunan değer boru-zemin potansiyelini verir. Dikkat edilmesi gereken noktalar ;

* Referans elektrodunun toprağa değdiği yer suyla ıslatılmalıdır. Böylece toprak direnci düşürerek akımın geçmesini kolaylaştırır.

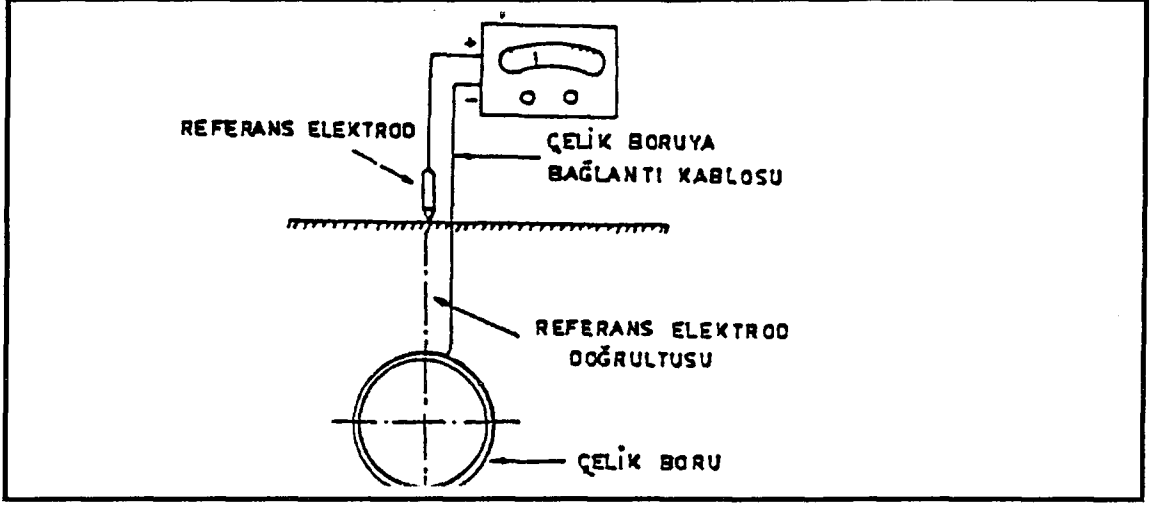
* Referans elektrodu mümkün olduğunca boruya yakın tutulması, eğer bu mümkün değilse borunun tam üst noktasına gelecek şekilde ölçüm yapılmalıdır.

* Kullanılan voltmetrenin direnci mümkün olduğunca yüksek seçilerek devreden geçen akım minimuma indirilmeye çalışılır.

* Boru hattı boyunca sabit aralıklarla ölçüm tekrarlanmalıdır. Bunun için boru hattının her noktasından kablo bağlantısı yapılamıyorsa boru hattının bir noktasından bağlanan uzun bir kablo ile voltmetre ve referans alaktrodu hat boyunca taşınarak ölçümler tekrarlanabilir.



Şekil 2.12: Cu/Cu sülfat referans elektrodu.



Şekil 2.13 : Boru-Zemin potansiyelinin ölçüm düzeneği.

2.4.1.2 Zemin ile İlgili Ön Etüdlere :

Bunlar ;

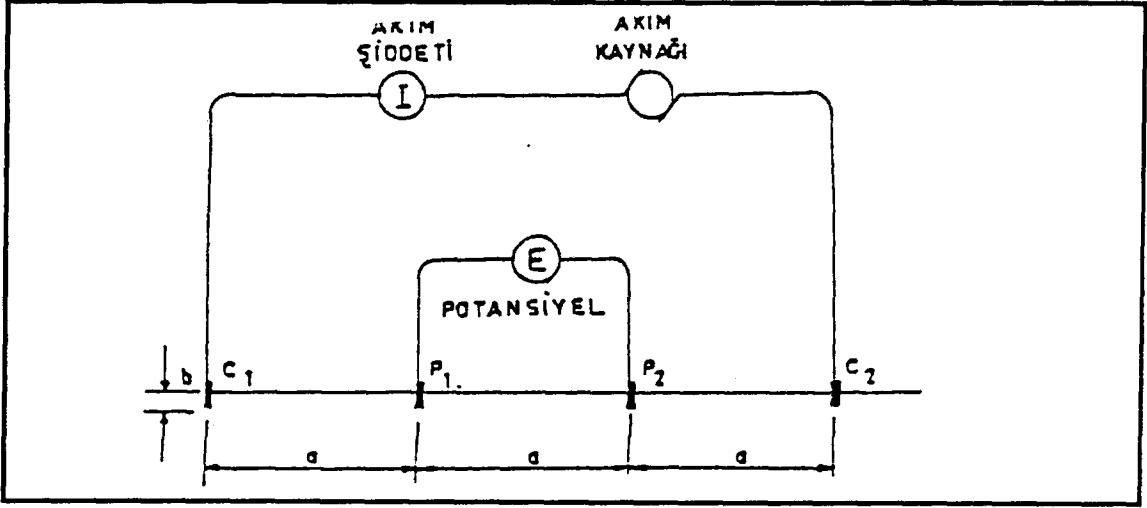
- * Zemin elektriksel özgül direnç (rezistivitesi) ve redoks potansiyeli ölçümleri
- * Zemin ile ilgili diğer bilgiler (nem oranı, pH, tuzluluk, havalanma durumu, genel yapısı, sıkışma özelliği gibi)

2.4.1.2.1 Zemin elektriksel özgül direnç

Zeminin elektriksel özgül direnç korozyona ve katodik korumaya olan etkileri daha önceki bölümlerde anlatıldı. Bu bölümde bu değerlerin boru hattı boyunca toprak zemin üzerinde belirleme yöntemi anlatılacaktır. Bu yöntemler TS-4363'de verilmiş olan yöntemlerdir.

Anadolu yakası yeni doğalgaz hattı üzerinde yapılan zemin elektriksel özgül direnç değerleri sunulacak ve bu hattın ortalama zemin elektriksel özgül direnç değeri belirlenecektir.

Zemin elektriksel özgül direnç belirlemek için en çok kullanılan yöntem WENNER dört elektrod yöntemidir. (Şekil 2.14) Bu yöntemde hat üzerinde aşağıdaki kurallara göre belirlenen noktalarda özel olarak dizayn edilmiş cihazın dört elektrodu aralarındaki açıklık a (160 cm alındı) olacak şekilde toprak içerisine daldırılır ve göstergede sabitlenen değer okunur. Zemin rezistivitesi bu değer 1000 katı olarak ohm-cm olarak belirlenir. Hat üzerinde ölçüm yapılacak noktaların tesbiti için verilen maddelere uyulur.



Şekil 2.14 : WENNER DÖRT ELEKTROD yöntemiyle zemin elektriksel özgül dirençnin ölçümü.

- * Hat boyunca 100-250 m'lik mesafelerde ölçüm yapılır.
- * Değerlerin tekdüze olduğu arazilerde mesafe 500-1000 m arasında alınabilir.
- * Eğer ardışık iki değer arasında %100'den fazla bir değişiklik olursa bu iki nokta arasında tekrar ölçüm yapılır.
- * Zemin rezistivitesi nem oranına bağlı olduğundan kuru ve ıslak mevsimde olmak üzere iki ayrı ölçümün ortalaması alınmalıdır.

Tablo 2.5'de Anadolu yakası doğalgaz yeni boru hattı üzerinde yapılan ölçümler gösterilmektedir.

Tablo : Anadolu yakası Örnektepe Dolayoba arası 33 km'lik yeni doğalgaz boru hattı üzerinde WENNER DÖRT ELEKTROD metoduyla ölçülen zemin elektriksel özgül direnç değerleri.

Dolayoba-Örnektepe gaz hattı üzerinde ölçülen zemin elctr. özg.dirençleri (Ohm.cm)							
Hat üzerindeki ölçüm sırasına göre				Değer büyüklüklerine göre			
1	1710	26	5410	1	1060	26	3670
2	2020	27	6900	2	1100	27	3900
3	1540	28	8110	3	1212	28	4040
4	1060	29	5000	4	1540	29	4070
5	1640	30	6050	5	1570	30	4120
6	2380	31	6820	6	1640	31	4500
7	4040	32	3220	7	1710	32	4600
8	2070	33	5360	8	1780	33	4950
9	2840	34	4120	9	1920	34	4970
10	2440	35	3670	10	1990	35	5000
11	2240	36	3530	11	2020	36	5090
12	34950	37	4070	12	2070	37	5230
13	1570	38	2530	13	2210	38	5360
14	3080	39	5230	14	2380	39	5410
15	1680	40	7630	15	2420	40	6050
16	3900	41	1710	16	2440	41	6820
17	4610	42	10720	17	2520	42	6900
18	1750	43	27400	18	2530	43	7630
19	5090	44	34300	19	2870	44	8110
20	4500	45	11190	20	2840	45	10170
21	1100	46	1212	21	3080	46	10720
22	1990	47	3290	22	3220	47	11190
23	2420	48	3610	23	3290	48	14150
24	4970	49	10170	24	3530	49	27400
25	14150	50	2520	25	3610	50	34300

Bu değerlerin logaritmik ortalaması şöyle bulunur :

Toprak Özgül Direnç Sınırı	Direnç Sınırı içinde tesbit edilen nokta sayısı	Logaritmik değer	NXL
ohm.cm	N	L	
1600	5	3,11	15,55
3200	16	3,33	53,28
6400	19	3,64	69,19
12.800	7	3,93	27,55
>12.800	3	4,98	13,13
toplam	50		178,7

$$\text{Ortalama zemin elektriksel özgül direnci} = \text{Log} \left(\frac{\sum N \times L}{\sum N} \right) \text{ ohm.cm} \quad (2.10)$$

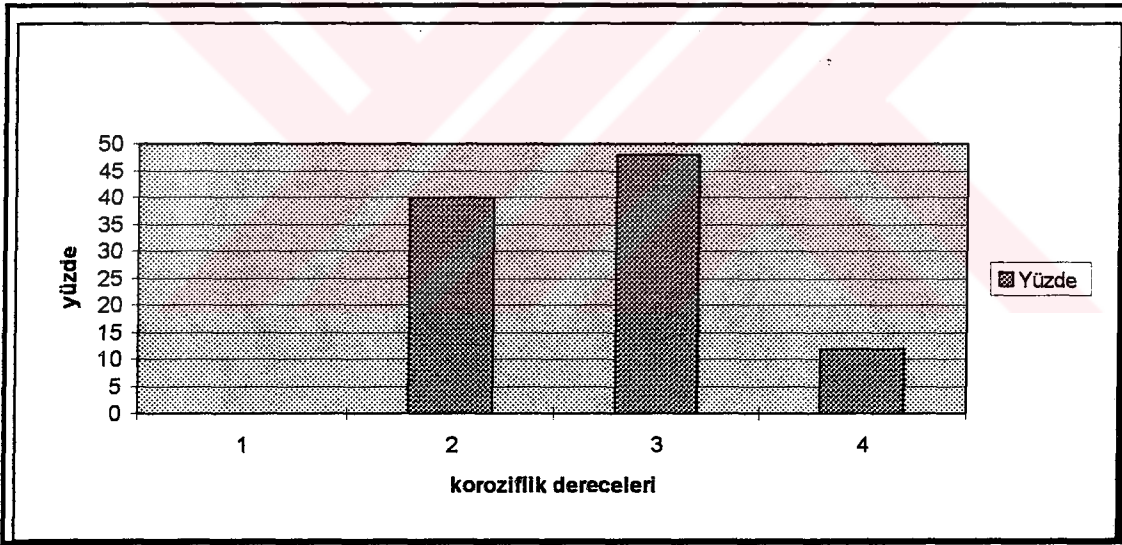
(Çizmecioğlu, 1996)

$$= \text{Log} \left(\frac{178,7}{50} \right) \text{ ohm.cm}$$

$$= 3.750 \text{ ohm.cm}$$

Bu değere göre Tablo 2.2'den zemin orta korozif bulunur.

Şekil 2.15 ve tablo 2.6'a göre ölçülen toprak elektrik özgül dirençlerinin yüzdeleri görülmektedir.



Pekil 2.15 : Zemin rezistivitesinin koroziflik derecelerinde yüzde dağılımı

Tablo 2.6 : Zeminin rezistivitesine göre korozifliği ve ölçüm adet ve yüzdeleri

KOROZİFLİK ÖZELLİĞİ	TOPRAK ELEKTRİKSEL ÖZGÜL DİRENÇ ARALIĞI ohm.cm	TAHMİNİ AKIM İHTİYAÇI amper	ÖLÇÜM ADEDİ, % DEĞERİ
ÇOK KOROZYF	0-1.000	>20	0, %0
KOROZYF	1.000-3.000	20 - 5	20, %40
ORTA KOROZYF	3.000-10.000	5 - 0.1	24, %48
ÇOK KOROZYF	> 10.000	< 0.1	6, %12

2.4.1.2.3 Zemin pH Değeri :

Zeminin korozifliğine pH'ıda etki eder.

Ph ölçümü şöyle yapılır :

- * Hat üzerinde sabit aralıklı noktalardan getirilmiş ve damıtık suyla doygun hale getirilmiş toprak içersine pH metrenin elektrodları daldırılarak veya
- * pH indikatör kapıtlarını almış olduğu rengin standart renk cetveline göre değeri bulunarak zeminin pH'ı belirlenir.

pH değerinin başka boru hattı üzerinde ve korozyona etkili olabilecek tuzluluk oranı, yer altı su seviyesi ve değişimleri havalanabilme, ve sıkışma özelliği tespit edilmelidir.

2.4.1.2.4 Zemin Redoks Potansiyeli :

Bölüm 2.2.2.5 'de anlatılan bakterilerin etkisinin olabileceği balçık, bataklık, gibi bölgelerde yapılması gerekli bir ölçümdür. Zemin redoks potansiyelinin bulunması için sırasıyla şu işlemler yapılır :

- * Boru hattı üzerinde gerekli bölgelerde platin elektroduna karşı Cu/Cu Sülfat referans elektrodu ile E değeri ölçülür.
- * Bu noktada pH değeri bulunur.
- * Bu iki değer $E_{redoks} = E + 316 + 60 (pH - 7)$ formülünde yerine konarak E_{redoks} , Zemin redoks potansiyeli bulunur. (2.11) (TS 5141)
- * Bu değer tablo 2.3 'e göre değerlendirilerek zeminin bakterilerden dolayı koroziflik özelliği bulunabilir.

2.4.1.3 Borunun Teknik Etüdü

- * Borunun et kalınlığı, cinsi, çapı, uzunluğu
- * Boru kaplamasının cinsi, kaplama direnci
- * Katodik koruma için önemlidir.

2.4.1.3.1 Borunun Özellikleri :

Anadolu Yakası yeni doğalgaz hattının teknik değerleri Tablo 2.7'de verilmiştir.

Tablo 2.7: Anadolu yakası Dolayoba-Örnektepe arasındaki doğalgaz hattında kullanılacak boruların önemli teknik değerleri

NOMİNAL ÇAP	UZUNLUK	ET KALINLIĞI	1 m. BORUNUN KÜTLESİ	DIŞ YÜZEY ALANI
İNÇ mm	km	mm	kg/m	m ² /m
24 600	27	7,91	141	1,914
20 500	5	7,14	117	1,595
16 400	0,05	6,35	93,2	1,276
12 300	5	5,56	73,9	1,017
8 200	1	4,78	42,6	0,688
6 150	1	4,37	28,3	0,528
4 100	1	4,37	16,1	0,359

Katodik koruma hesaplarında kullanılmak için gerekli diğer değerler ise şöyle hesaplanır;

$$L = \text{Toplam boru hattı uzunluğu} = 40\ 000 \text{ m}$$

$$D = \text{Dış çap} = 0,609 \text{ m}$$

$$t = \text{Et kalınlığı} = 0,00709 \text{ m}$$

$$C = \text{Boru çevresi, (m)} = \pi \cdot D \text{ (m)} \quad (2.11)$$

$$= \pi \cdot 0,609 \text{ m} = 1,912 \text{ m}$$

$$S = \text{Kesit alanı, (m}^2\text{)} = \pi \cdot T \text{ (m)} \cdot (D \text{ (m)} - T \text{ (m)}) \quad (2.12)$$

$$= \pi \cdot 0,00709 \text{ m} (0,609 \text{ m} - 0,00709 \text{ m})$$

$$= 14\ 911 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$= 14\ 911 \text{ m m}^2$$

R_L (ohm/km) : Metal elektriksel direnci, (ohm.km)

$$R_L \text{ (ohm/km)} = r \text{ (ohm.mm}^2\text{/km)} / S \text{ (m m}^2\text{)} \quad (2.12)$$

$$r = \text{çeliğin özgül elektriksel direnci} = 156 \text{ ohm.mm}^2\text{/km}$$

$$R_L = 156 \text{ (ohm.mm}^2\text{/km)} / 14\ 911 \text{ (m m}^2\text{)} = 0,010 \text{ ohm/km}$$

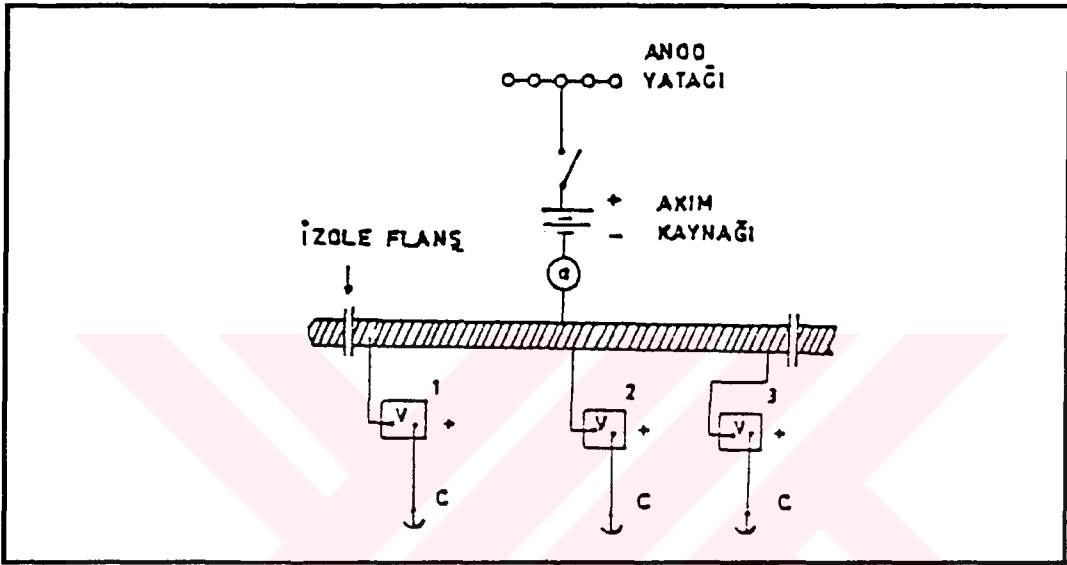
2.4.1.3.2 Boru Kaplamanının Özellikleri :

Borunun ihtiyaç duyduğu akımı belirleyen en önemli etken boru kaplamanının direncidir. Anadolu yakası yeni doğalgaz boru hattında polietilen malzeme kaplama olarak kullanılmıştır. Boru kaplamanının elektriksel direnci

diğer kaplama türlerinde zamanla azaldığı halde, bu kaplama sabite yakın kalmaktadır.

Boru kaplamasının elektriksel direnci deneysel olarak ölçülebilir. Boru kaplamasının direnci 1 m^2 yüzey alanlı borunun ohm cinsinden değeri olarak ifade edilir.

Deneylerden birisi şöyledir : Şekil 2.16



Şekil 2.16: Boru kaplamasının elektriksel direncinin taini için kullanılabilecek bir yöntem.

Deneyde iki ucunda izole flanşlarla yalıtılmış boru parçası kullanılır. Belli bir noktada sabit şiddette akım uygulanır. Otomatik anahtarla 45 sn akım verilir. 15 sn kesilir. Böylece boruda akım varken ve yokken E_o ve E_{off} boru/zemin potansiyelleri ölçülür.

Herhangi bir noktada ölçülen $E_{on} - E_{off}$ potansiyel farkının uygulanan akıma oranı sabittir. Bu oran kaplama direncini R_{kap} , verir.

$$R_{kap} = (E_{on} - E_{off}) / I_{uyg} \quad (2.13)$$

Literatürden PE (polietilen) kaplı borular için kaplama direnci olarak $R_w = 45 000 \text{ ohm m}^2/\text{km}$ alınabilir. Ancak etkili olabilecek direnç (hesaplamaya esas kaplama direnci) R_m , bir f : faydalanma föktörü ile çarpımı kadardır ve literatürlerden 0,55 olarak alınır.

$$\begin{aligned} R_m (\text{ohm.m}^2/\text{km}) &= f \cdot R_w (\text{ohm m}^2/\text{km}) \\ &= 0,55 (\text{ohm m}^2/\text{km}) \cdot 45 000 \\ &= 24 750 \text{ ohm m}^2/\text{km} \end{aligned} \quad (2.14)$$

olarak bulunur.

$$\begin{aligned}
 \text{Boru kaplamasının geçiş direnci} &= R_m \text{ (ohm m}^2/\text{km)} / 1000 \times C \text{ (m)} \\
 (2.15) & \\
 &= 24750 \text{ ohm m}^2/\text{km} / 1000 \times 1,912 \text{ m} \\
 &= 12,945 \text{ ohm m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kaplama iletkenliği: } G &= 1000.000 / R_m \text{ (ohm m}^2/\text{km)} \\
 (2.16) &
 \end{aligned}$$

$$= 40,4 \text{ SM}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Boru toprak geçiş direnci : } K_b &= 13 / C (G \cdot T)^{1/2} \\
 (2.17) & \\
 &= 13 / 1,912 \text{ m} \cdot (40,4 \text{ SM} \cdot 7,9 \text{ mm}) \\
 &= 0,381 \text{ ohm}
 \end{aligned}$$

2.4.1.4 Çevre İle İlgili Etüdüler :

Boru hattının çevresindeki korozyonu etkileyecek ve hızlandırabilecek unsurların tesbitidir. Bunlar ;

- * Metalik yapılar
- * Doğru akım yapabilecek kaynaklar
- * Zemin yapısını etkileyebilecek bataklık, tuzlu su, dere geçişleri
- * Yabancı katodik koruma sistemleri
- * Cıvardaki elektrik enerji kaynakları

tesbit edilmelidir.

Korozyona etkileri araştırılır ve gerekli önlemler alınır. Yukarıdaki unsurlardan en etkilileri elektrik akım kaynaklarıdır.

2.4.2 Katodik Koruma Proje Hesapları :

Bu bölümde 2.4.1'de belirlenen bilgi ve değerlerle gerekli proje hesapları yapılacak, Tablo 2.4 'de verilen katodik koruma sistemlerinin avantaj ve dezavantajlarına göre koruma sistemine karar verilecek, gerekli akım şiddeti,

anod yatakları, elektrik donanımları ve test kutularının dizayn ve hesapları yapılacaktır.

Koruma sisteminde bulunması gereken akım attenuation sabiti kullanılarak yapılacaktır.

2.4.2.1 Attenuation Constant Değeri :

Boru hattının ihtiyacı olan akımı belirlemek için attenuation sabitinden faydalanılır. Attenuation sabiti ;

$$a = (R_L / R_p)^{1/2} \quad (2.18)$$

ile ifade edilir.

Burada a ; Attenuation sabiti (m^{-1})
 R_L ; Borunun uzunluğuna direnci, ohm/ km
 R_p ; Borunun kaplama geçiş direnci, ohm.m²/ km

Attenuation sabiti ile istenen polarizasyon aralığında boru hattının maximum kaç metre katodik olarak, hangi akım şiddetinde korunabileceği bulunabilir.

Anadolu yakası yeni doğalgaz hattı için ;

$$a (m^{-1}) = (0,010 (ohm/ km) / R_p (ohm.m^2/ km))^{1/2}$$

$$= 0,028 m^{-1}$$

olarak bulunur.

2.4.2.2 Gerekli Akım İhtiyacının Hesabı :

Belli bir (L) uzunluğundaki boru hattına bir ucundan (I_0) akımı uygulayarak o ucundaki potansiyelini (E_0) (volt) ve diğer ucunda (E_m) (volt) kadar negatif yönde değiştirilmiş olduğunu düşünelim.

$$\text{Akım uygulanan noktada,} \quad E_0 = E_{on} - E_{off} \quad (2.19)$$

$$\text{Diğer uçta} \quad E_m = E_{on} - E_{denge} \quad (2.20)$$

bağıntıları mevcuttur.

E_m 'in katodik koruma kriterlerine göre min 0,3 volt olması gerekir.

Sonsuz uzaklıkta L1 aralığı için ;

$$E_{DR} \text{ (volt)} = E_m \text{ (volt)} \cdot e^{-A \text{ (m}^{-1}) \cdot L_1 \text{ (km)}} \quad (2.21)$$

$$I \text{ (amper)} = E_{DR} \text{ (volt)} / R_k \text{ (ohm)} \text{ 'dir} \quad (2.22)$$

Buradan ;

$$E_{DR} = 0,3 \text{ (volt)} \cdot e^{-0,028 \text{ (m}^{-1}) \cdot 40 \text{ (km)}} = 0,92 \text{ volt}$$

$$I = 0,92 \text{ (volt)} / 0,360 \text{ (ohm)} = 2,55 \text{ amper bulunur.}$$

Sınırlı uzaklıkta L1 aralığı için ;

$$E_{DR} \text{ (volt)} = E_m \text{ (volt)} \cdot \cos (A \text{ (m}^{-1}) \cdot L_1 \text{ (km)}) \quad \text{ve} \quad (2.23)$$

$$I \text{ (amper)} = (A \text{ (m}^{-1}) / R_L \text{ (ohm/km)}) \cdot E_{DR} \text{ (volt)} \cdot \sin (A \text{ (m}^{-1}) \cdot L_1 \text{ (km)}) \quad (2.24)$$

ise;

$$E_{DR} = 0,3 \text{ (volt)} \cdot \cos (0,028 \text{ (m}^{-1}) \cdot 40 \cdot 180/3,14) = 0,13 \text{ volt} \quad \text{ve}$$

$$I = (0,028 \text{ (m}^{-1}) / 0,010 \text{ (ohm/km)}) \cdot 0,92 \text{ (volt)} \cdot \sin (0,028 \text{ (m}^{-1}) \cdot 40 \cdot (km) 180/3,14) = 2,32 \text{ amper}$$

bulunur.

$$\text{Ortalama akım yoğunluğu (mAmpere /m}^2) = I \text{ (amper)} / L \text{ (m)} \cdot C \text{ (m)} \quad (2.25)$$

$$= 2,32 \text{ amper} \cdot 1000$$

$$\text{mAmpere} \cdot 40000 \text{ m} \cdot 1,912 \text{ m}$$

$$= 0,03 \text{ mAmpere /m}^2$$

$$\text{Gerekli toplam akım ihtiyacı (amper)} = \text{ort.akım yoğunluğu (mAmpere /m}^2) \cdot L \text{ (m)} \cdot S \text{ (m)} \quad (2.26)$$

$$= 0,03 \text{ mAmpere/m}^2 \cdot 40000 \text{ m} \cdot 1,912 \text{ m}$$

$$= 2,3 \text{ amper}$$

Akım şiddetinin yüksek çıkması katodik koruma sisteminin dış akımlı koruma olması gerektiğini gösterir.

2.4.2.3 Anod Yatağının Dizaynı

2.4.2.3.1 Kullanılacak Anodlar :

Dış akımlı katodik koruma sisteminde devrenin tamamlanabilmesi için ve gerekli oksidasyon reaksiyonlarının oluşacağı anodlara ihtiyaç duyulur. Anod malzemesinin ve yer altına yerleştirildiği yerin teknik ve ekonomik açıdan avantajlı olabilmesi için şu şartların saptanması gerekir :

- * Yüksek bir potansiyel yüklemeye gerekli akımı saptayabilmelidir.
- * Oksidasyon sonucu oluşan parçalanma süresi yeteri kadar uzun olmalıdır. Parçalanma ; anod üzerindeki 1 amper x yıl başına oluşan metal kaybıdır ve bu mümkün olduğunca az olmalıdır.
- * Anodlar delik, curut çatlak, gözenek gibi hatalar ihtiva etmemelidir.
- * Homogen bir yapıda olmalıdır.
- * Anodlardan çekilecek akım şiddeti boru hattının akım ihtiyacından yüksek olmalıdır. Buna göre anod direnci düşük olacaktır.
- * Katodik koruma ömrü süresince anodların kütlesinin en çok %50'si parçalanmış olmalıdır.

Bu özelliklere göre anod malzemesinde iki unsur teknik ve ekonomik olarak kriter olarak alınabilir. Çekilebilen maximum akım yoğunluğu ve 1 amper x yıl akım başına metal kaybı. Çeşitli anod malzemelerinin bu iki unsura göre değerlendirilmesi TS.5141'de verilmiş olan tablo 2.8'de bulunmaktadır. Bu tablodan görüldüğü gibi en uygun anod malzemesi Demir-Silikon tipidir. Ve yer altı çelik borularının katodik korumasında da sürekli olarak kullanılmaktadır.

Tablo 2.8: Dış akımlı katodik koruma sistemlerinde kullanılmakta olan anodların özellikleri.TS5141.

ANID CİNSİ	zemin icinde çekilebilien max akım yoğunluğu	kütle kaybı (parçalanma miktarı) yıpranma
	mA/cm ²	kg/amper.yıl
Demir-Silikon (%14,4 +0,4Si)	4	1,0
Grafit (%1,56-1,67 gr.cm ³)	2	1,0
Alüminyum (%99,5 saflıkta)	2	4,0
Hurda Demir	0,5	7,0
Hurda Çelik	0,5	9,0
Kurşun Alaşımı (%6Sb,%1 Ag)	2,0	yok

Bunun sebebi katodik koruma ömrü devreye yeterli akımı verebilecek kadar yeterli parçalanma süresine sahip olmalarıdır. Silisyum oksitlenerek yüzeyde Si O₂ filmi meydana getirir ve yüzeyi pasifleştirir. Demir-silisyum anodlarının 1 amper x yıl akım başına kayıplarının 1 kg kadar az olmasının sebebi bu pasifleşmedir.

Demir silisyum anodlarının da standart ve kloro karşı dirençli olmak üzere iki ayrı alaşımı vardır. Bunların kimyasal bileşimleri ;

<u>Element</u>	<u>Standart Alaşım (%)</u>	<u>Kloro Dirençli Alaşım (%)</u>
Si	14 - 15	14 - 15
Mn	0,7 - 0,8	0,7 - 0,8
C	0,9 - 1	0,9 - 1
Cr	—	4,3 - 4,7

Metal alaşımlama için uygun sıcaklık ve atmosferik kontrol altında bir elektrik fırında eritilmeli, daha sonra alaşım inpot formunda katılaşmalıdır. İnpotlar anodların dökülmesinden önce benzeri bir fırında en az iki kez yeniden eritilmeli, ısı gerilmeyi önlemek için alaşım yavaş soğutulmalıdır.

Anadolu yakası yeni doğalgaz boru hattı için seçilen anodun özellikleri şöyledir :

Max çalışma kapasitesi : 40 A/m² (TS)
 Yaklaşık parçalanma miktarı : 1 kg/Amper x yıl
 Uzunluk : 125 cm
 Çap : 70 cm
 Anod başının çapı : 7,6 cm

2.4.2.3.2 Anod yatağı Dolgu Malzemesi :

Dolgu malzemesi olarak kok tozu kullanılır. Dolgu malzemesi kullanılmasının sebebi ;

- * Anod boyutlarını arttırarak direnci düşürmek
 - * Kütle kaybını karşılayarak anod ömrünü arttırmak
- Kok tozu dolgu malzemesinin özelliklerini tablo 2.9'da gösteriliyor. Kok tozu içerisine %10'u geçmemek üzere sönmemiş kireç tozu ilave edilir.

Tablo 2.9: Dolgu malzemesi olarak kok tozunun önemli özellikleri

DOLGU KOK TOZU MALZE MESİ	
ÖZELLİKLER	DEDERLER
100 nolu elekten geçen	en çok % 5
Dane çapı	en çok 10 mm
Rutubet	% 10 - % 15
Uçuşu maddeler	en çok % 3
Kül	en çok % 20
Rezistivite	en çok 50 ohm.cm
Yoğunluk	0,7- 0,8 kg/litre
Parçalanma	en çok 0,1 kg/Amper x yı

2.4.2.3.3 Anod Yatağının Tip ve Yer Seçimi :

Anod yatağının yeri şu özellikleri sağlamalıdır :

- * Çevrede metalik yapı cve elektrik kaynakları olmamalıdır. Metalik yapılar 300 m'den yakınsa interferans etkisi oluşturabilirler.
- * anod yatağı trafo-redresör'e (dolayısıyla dış akım kaynağına) yakın olmalıdır.
- * Boru hattına anod yatağı dik olarak yerleştirilmelidir.
- * Boru hattı ile anod yatağı arasında 100 m. mesafe olmalı, bu aralıkta yol, bahçe, kazı işleri gibi etkiler olmamalıdır.
- * Zeminin düşük rezistiviteli olması gerekir.

Bu şartlar sağlanamadığı için Anadolu yakası yeni doğalgaz boru hattı hat koruma sisteminde ; derin kuyu anod yatağı kullanıldı. Yer olarak ise ; hattın orta noktası ve kamu arazisi olmasından dolayı soğanlık mevki Köy Hizmetleri 18. Bölge Müdürlüğü lojman arazisi seçildi. Arazinin toprak rezistivitesi 6800 ohm.cm olarak ölçüldü ve bu yüzden anod yatağı derinliğinin 50 cm olmasına karar verildi. Anod yatağının şematik gösterimi şekil 2.17'de veriliyor.

Derin kuyu anodlarının avantajları şöyledir ;

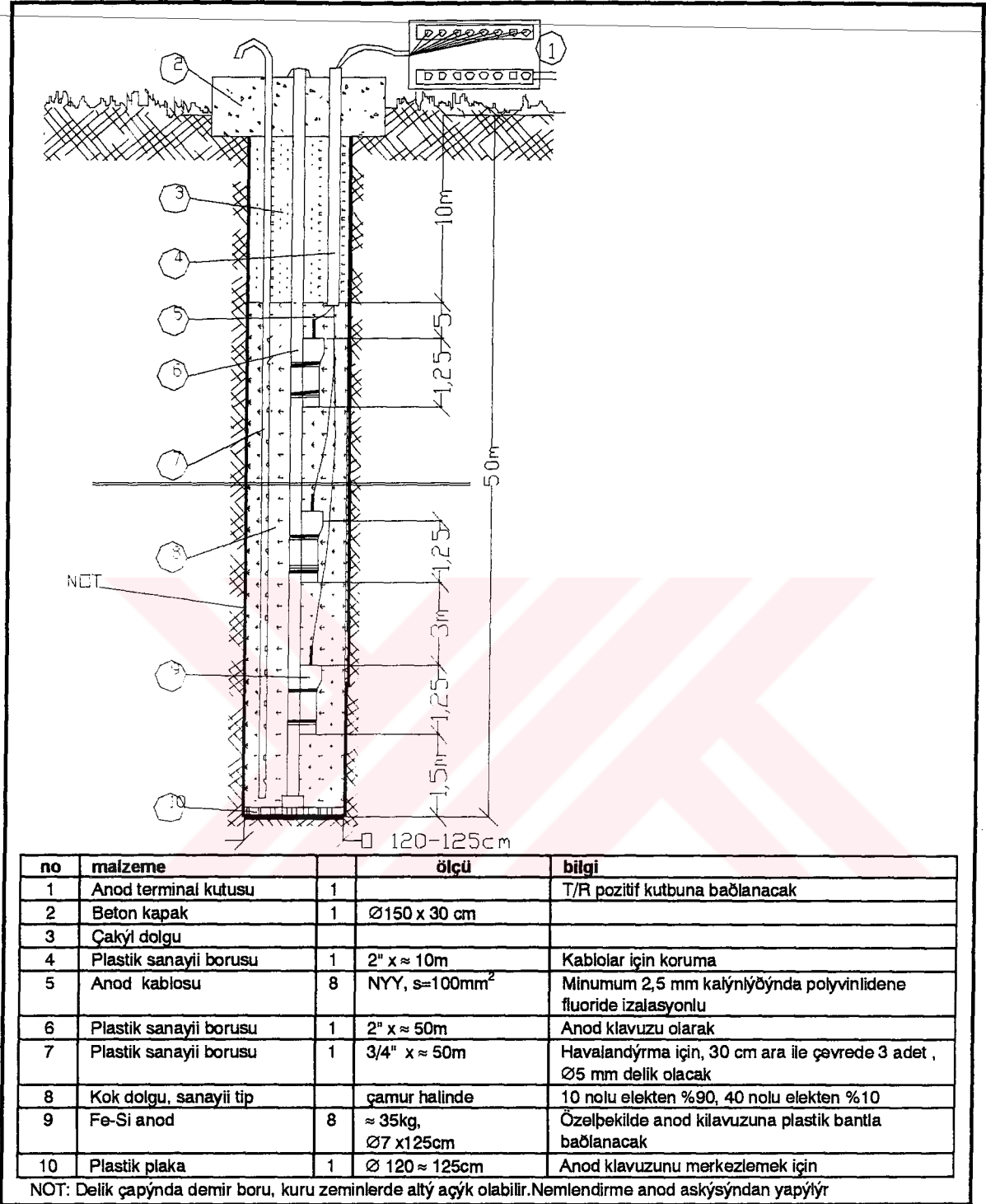
- * Normal anod yataklarına göre daha uniform akım dağılımı sağlarlar.

- * Yüzeydeki donma, kuruma, yapış gibi etkiler uzaktır.
- * Civardaki kazı ve yüzeysel çalışmalar sisteme zarar vermez.

Dezavantajları ise ;

- * Daha pahalıdırlar ve sondaj çalışması gerektirirler.
- * Gerekğinde tamir ve bakımı oldukça güçtür.





Şekil 2.17: İstanbul Anadolu yakası Dolayoba-Örnektepe D.gaz boru hattı katodik koruma sisteminin anod yatağı dizaynı.

2.4.2.3.4 Anod Yatağının Direnci

Anod yatağının direnci o b6lgedeki zeminin direncine bağlıdır.

Anod yatağı direncinin hesabı için şu değerler kullanıldı :

R_T : Toprak elektrik 6zg6l direnci = 6.800 ohm.cm
(Anod yatağının yerleştirilmesi için seçilen b6lgelerde yapılan 6l6mden.)

R_K : Kok tozu dolgusu elektriksel 6zg6l direnci = 50 ohm.cm
 L : Aktif b6lge uzunluğu =4.000 cm
 l : Anod boyu = 125 cm
 t : Ort. Anod derinliği = 3000 cm
 r_1 : Anod yarıçapı = 3,5 cm
 r_2 : Kok tozu yarıçapı = 12,5 cm
 N : Anod sayısı = 8 (kabul edildi)
 S : Anodlar arası mesafe = 300 cm

Tek anodun kok dolgusu ile geçiş direnci : R_d

$$R_{d \text{ (ohm)}} = (R_k \text{ (ohm.cm)} / 2\pi l \text{ (cm)}) \cdot \text{Ln} (r_2 / r_1) \quad (2.27)$$

$$= (50 \text{ (ohm.cm)} / 2 \cdot \pi \cdot 125 \text{ cm}) \cdot \text{Ln} (12,5 / 3,5)$$

$$= 0,081 \text{ ohm}$$

Aktif b6lge kok dolgu ile toprak geçiş direnci : R_y

$$R_{Y \text{ (ohm)}} = (R_T \text{ (ohm.cm)} / 2\pi L \text{ (cm)}) \cdot \text{Ln} (2L \text{ (cm)} / D \text{ (cm)}) \cdot \left(\frac{4t+3L}{3t+L} \right)^{1/2} \quad (2.28)$$

$$= (6800 \text{ (ohm.cm)} / 2 \cdot \pi \cdot 4000 \text{ cm}) \cdot \text{Ln} (4000 / 25) \cdot \left(\frac{4 \cdot 3000 + 3 \cdot 4000}{3 \cdot 3000 + 4000} \right)^{1/2}$$

$$= 1,913 \text{ ohm}$$

8 adet anodun girişim fakt6r6 : f

$$f = 1 + \left(R_T (\text{ohm.cm}) / \Pi . S (\text{cm}) . 1,81 \right) . \text{Ln} (0,66 . N) \quad (2.29)$$

$$f = 1 + \left(6800 (\text{ohm.cm}) / \Pi . 300 (\text{cm}) . 1,81 \right) . \text{Ln} (0,66 . 8)$$

$$f = 7,636$$

Toplam anod yatağı direnci : R_a

$$R_a (\text{ohm}) = \left(R_{Y(\text{ohm})} + R_{d (\text{ohm})} \right) . f / n \quad (2.30)$$

$$R_a (\text{ohm}) = (1,913 \text{ ohm} / 0,081 \text{ ohm}) . 7,636 / 8$$

$$R_a = 1,903 \text{ ohm}$$

bulunur.

2.4.2.3.5 Anod Ömrü

Anodun katodik koruma sistemine gerekli akımı sağlayabileceği maximum süreye anod ömrü denir. Anod kütlesine, akım şiddetine ve anod akım verimine bağlıdır. Matematiksel olarak şöyle hesaplanır :

$$\text{Anod ömrü, (yıl)} = \frac{\text{anod kütlesi (kg)} . \text{kullanma faktörü}}{\text{çekilen akım (amper)} . \text{parçalanma miktarı (kg/amper.yıl)}} \quad (2.31)$$

Kullanma faktörü literatürlerden 0,5 olarak alınabilir.

$$\text{Bir anod ömrü} = \frac{35 \text{ kg} . 0,5}{2,3 \text{ amper} . 1(\text{kg/amper.yıl})} = 7,608 \text{ yıl bulunur.}$$

8 anodun ömrü = $7,608 . 8 = 60,8$ yıldır.

2.4.4 Elektrik Donanımı

2.4.4.1 Transformatör - Redresör Ünitesi

Katodik koruma için gerekli akımı üretecek olan ünite, şehir şebekesi bulunan , boru hattının ortalarında ve anod yatağının yakınlarında uygun bir yere kurulur.

Şehir şebekesinden aldığı alternatif akımı transformatörde voltaja dönüştürdükten sonra redresörde doğru akıma çevirir. Ünite içerisinde

transformatör ve redresörden başka açma kapama anahtarı, voltmetre, sayaç, sabit gerilim regülasyonu, termometre, kurutucu bulunur. Bu ekipmanlar kilitlenebilir ve havalandırılmalı bir muhafaza içerisinde bulunur ve direnci 30 ohm'u aşmayacak şekilde topraklanmıştır.

Trafo 3,6,9,12,18 ve 24 volt gerilim kademelerinde akım çekebilir şekilde dizayn edilmiştir.

Ünitenin verimi şöyle hesaplanır :

$$\% \text{ verim} = \text{DC çıkış gücü} \cdot 100 / \text{AC giriş gücü} \quad (2.32)$$

Bu verimin %60 olması normal olarak kabul edilebilir. Trafo-redresör ünitesinin şeması şekil 2.18'de gösteriliyor.

2.4.4.2 Transformatör - Redresör Ünitesinin Seçimi :

Katodik koruma sisteminin toplam direnci ve kullanılacak akım yardımıyla ünitenin seçimi yapılabilir. devrenin toplam direnç formülü ; R_{devre}

$$R_{\text{devre}} = R_a + R_k + R_{\text{kablo}} \text{ 'dur.} \quad (2.33)$$

Burada: R_{kablo}

Pozitif kablo ; $s = 10 \text{ mm}^2$, $L = 20 \text{ m}$ ve $R_{\text{kablo (+)}} = 0,004 \text{ ohm}$

Negatif kablo; $s = 10 \text{ mm}^2$, $L = 10 \text{ m}$ ve $R_{\text{kablo (-)}} = 0,002 \text{ ohm}$

$R_{\text{kablo}} = 0,006 \text{ ohm}$ bulunur.

$$R_{\text{devre}} = R_a + R_k + R_{\text{kablo}} = 1,903 \text{ ohm} + 0,360 \text{ ohm} + 0,006 \text{ ohm}$$

$$= 2,269 \text{ ohm}$$

bulunur.

Buna göre gerilim düşümü ;

$$V = R_{\text{devre}} \cdot I \text{ (sonsuz aralıkta)} \quad (2.34)$$

$$= 2,269 \text{ ohm} \times 2,55 \text{ amper} = 2,785 \text{ Volt}$$

$$V = R_{\text{devre}} \cdot I \text{ (sınırlı aralıkta)} \quad (2.35)$$

$$= 2,269 \text{ ohm} \times 2,32 \text{ amper} = 5,26 \text{ Volt}$$

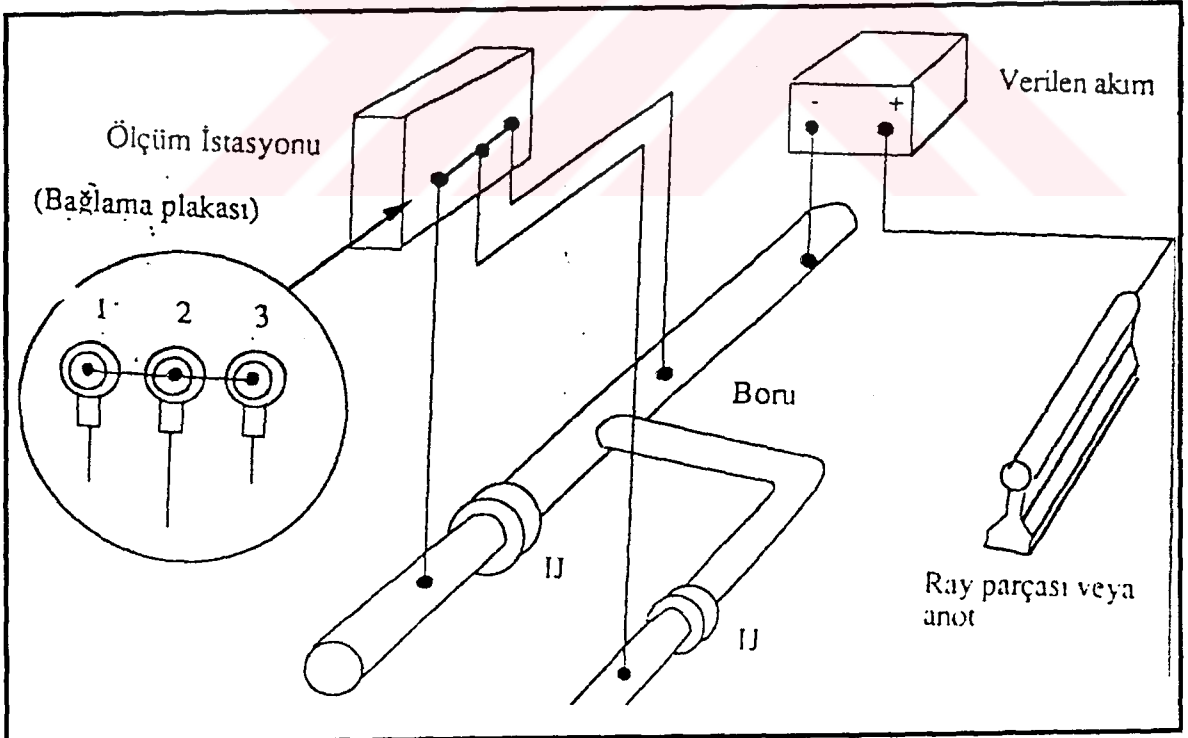
20 Amper x 24 V_{max} spesifikasyonuna sahip trafo redresör seçilmelidir.

2.4.5 Ölçü Kutularının Dizayn ve Dağılımı

Katodik koruma sisteminde yeterli potansiyelin olup olmadığını, kontrol etmek için sistemin gerekli noktalarına ölçü kutuları konulur. Boru hattının belirlenen bu noktalarında yeterli korumanın veya aşırı korumanın yapıp yapılmadığı bu şekilde anlaşılabilir. Bu yüzden ölçü kutularının devre bağlantıları ; boru hattının koruma için kritik noktalarına yapılır. Bu noktalar hat üzerinde 1 km'yi geçmeyecek aralıklarla olmalıdır. Kritik noktalar şunlardır ;

- * Zemin direncinin düşük olduğu noktalar
- * Boru hattının muhafaza içine alındığı bölgelerin her iki uç noktaları
- * Akarsu ve dere geçitleri
- * Komşu boru hatları ile kesim noktaları
- * Elektriki yalıtım noktaları
- * Kaçak akımlar için önlem alınan noktalar
- * Yardımcı anodların bulunduğu anod yatağı üzerine
- * Anod boru hattına bağlı her servis hattına
- * Şebekenin tüm uç noktalarıdır.

Ölçü kutularının devre bağlantı şeması şekil 2.18'de gösterilmiştir. Ölçü kutularının devre bağlantıları 16 mm² kesitli yalıtılmış bakır kablolar kullanılarak yapılır.

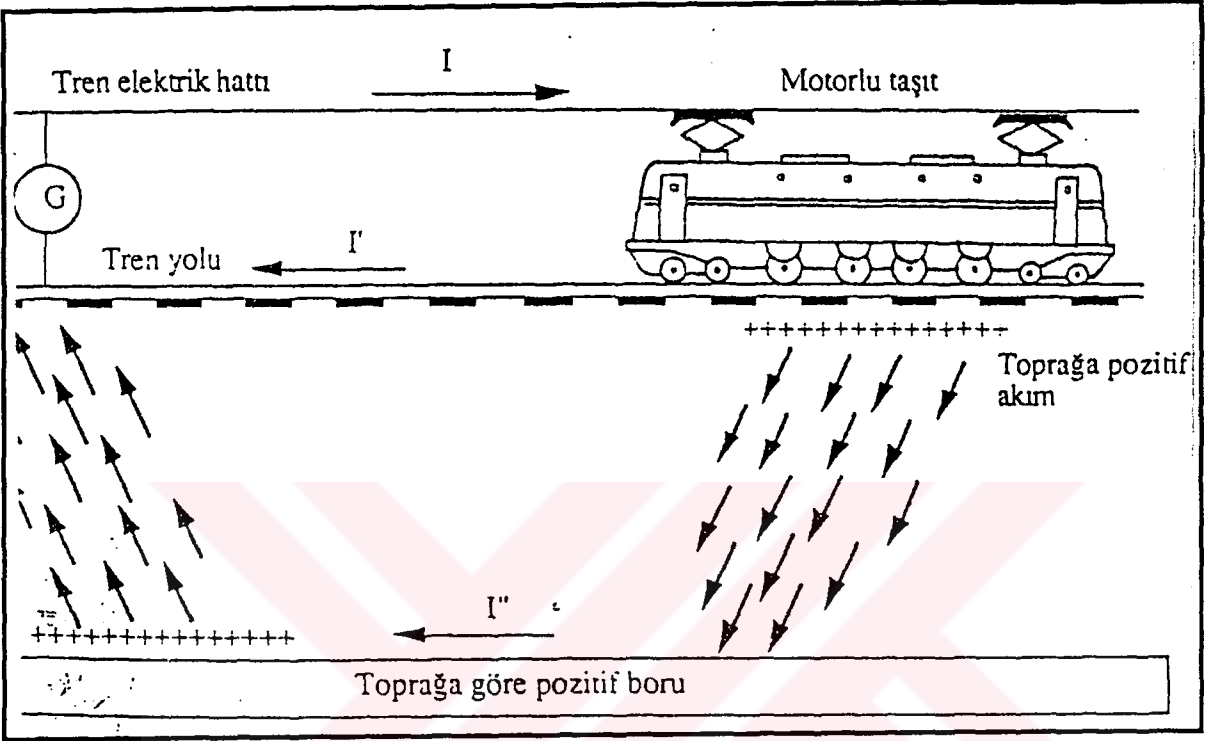


Şekil 2.18: Ölçü kutularının bağlantı şeması

2.5 Kaçak akımlara Karşı Alınacak Önlemler

Katodik olarak korunan boru hattı

* Şehir içi, doğru akım kullanan raylı ulaşım araçlarının (Şekil 2.19)



Şekil 2.19: Şehir içinde doğru akım kullanan doğru akım kaynaklarına örnek olarak raylı ulaşım araçlarının boru hattını yüklemesi. Bu akımların boruyu terk ettiği noktalarda korozyon hızlı ve tehlikeli bir şekilde oluşur.

* Yüksek gerilim hatlarının (Şekil 2.20)

* Yabancı katodik koruma sisteminin etkisinde kalarak Bölüm 2.2.3'te anlatıldığı şekilde korozyona uğrar. Alınacak önlemler şunlardır :

2.5.1 Boru hattı ile ray arasına ;

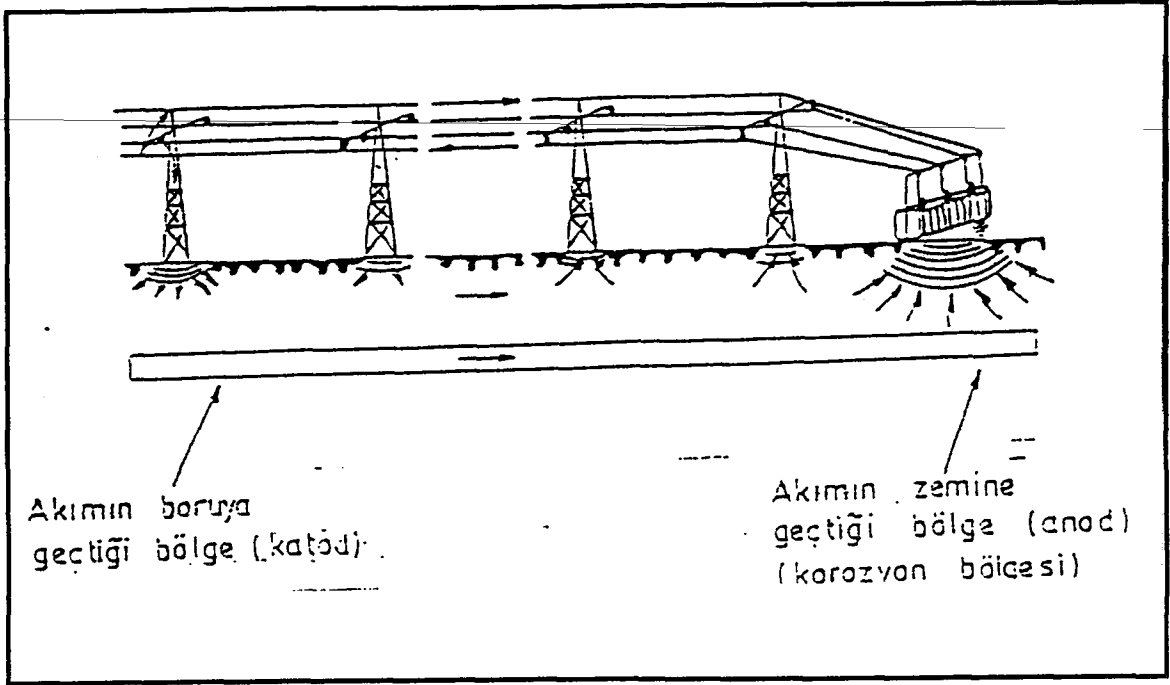
* Tek yönlü diod (Şekil 2.21)

* Redresör ünitesi (şekil 2.22)

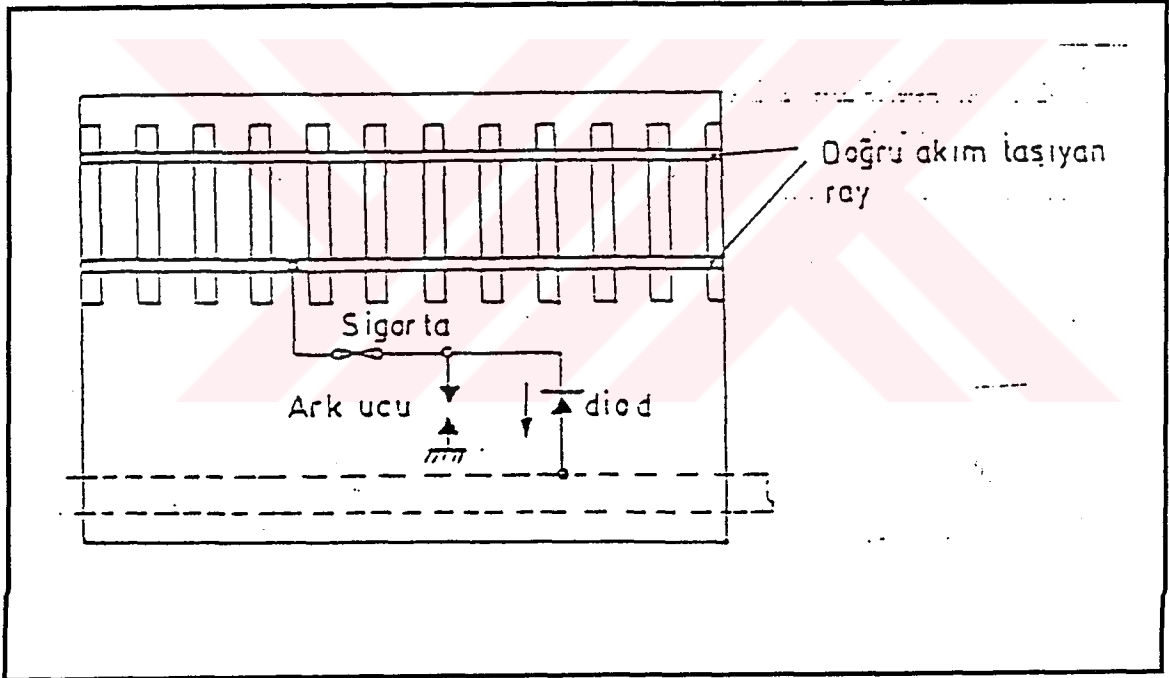
konularak önlem alınabilir.

2.5.2 Enerji Nakil Hatlarının Etkisi İçin Önlemler :

* Galvanik anodlar kullanılarak (şekil 2.23) önlem alınabilir.



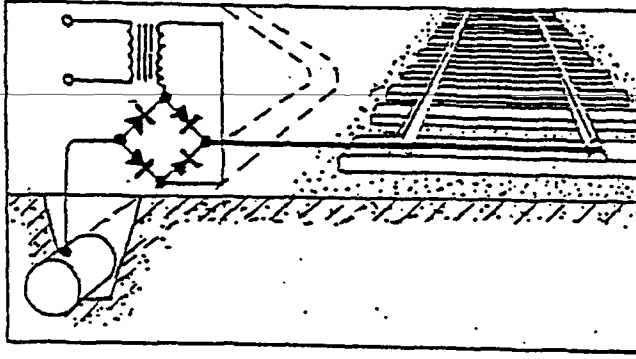
Şekil 2.20: Yüksek gerilim hatlarının boru hattını yüklemesi.



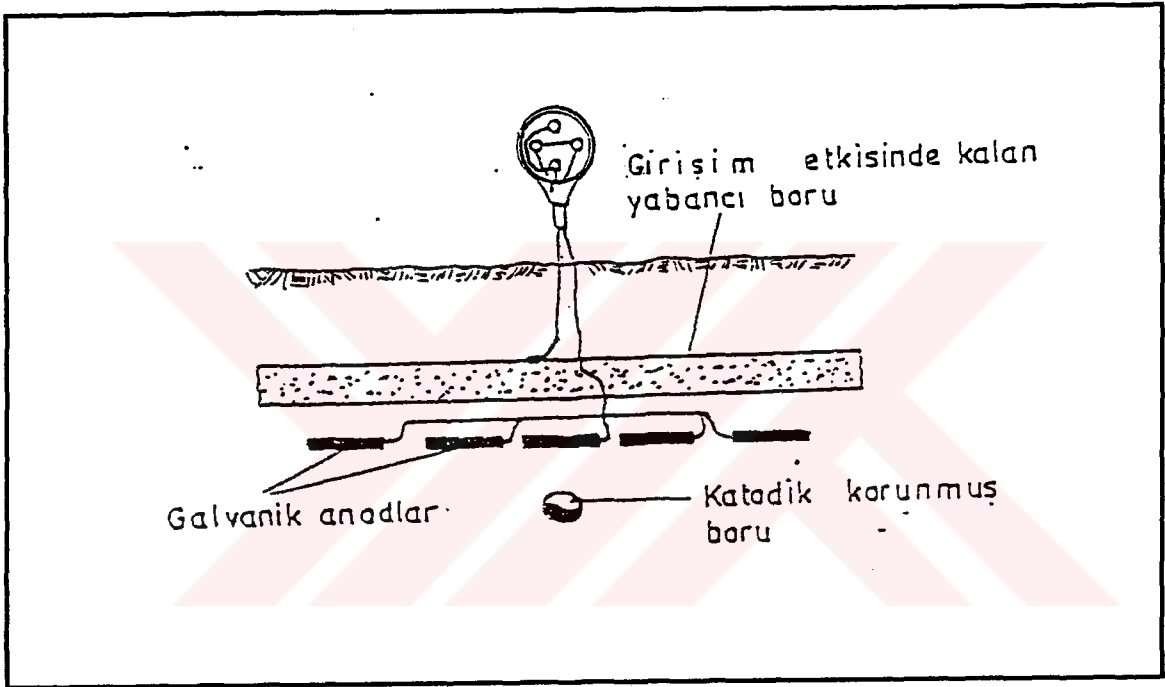
Şekil 2.21: Tek yönlü diodun ray ile boru hattı arasına bağlanması

2.5.3 Yabancı Katodik Koruma Sisteminin Etkisi İçin Alınacak Önlemler :

İki boru hattının birbirine yakın olduğu bölgelerde birbirleri arasında interferans etkisi oluşup oluşmadığının belirlenmesi gerekir. Bunun için katodik korunan boru hattının akımı kesilir. Diğer boru hattı üzerine boru/zemin potansiyelleri ölçülür. Ve kaydedilir. Katodik korunan diğer borunun akımı verilerek tekrar ölçüm yapılır ve ilk ölçümle karşılaştırılır. Aradaki fark interferans sebebiyle oluşmaktadır.



Şekil 2.22: Redresör ünitesinin ray ile boru hattı arasına bağlanması



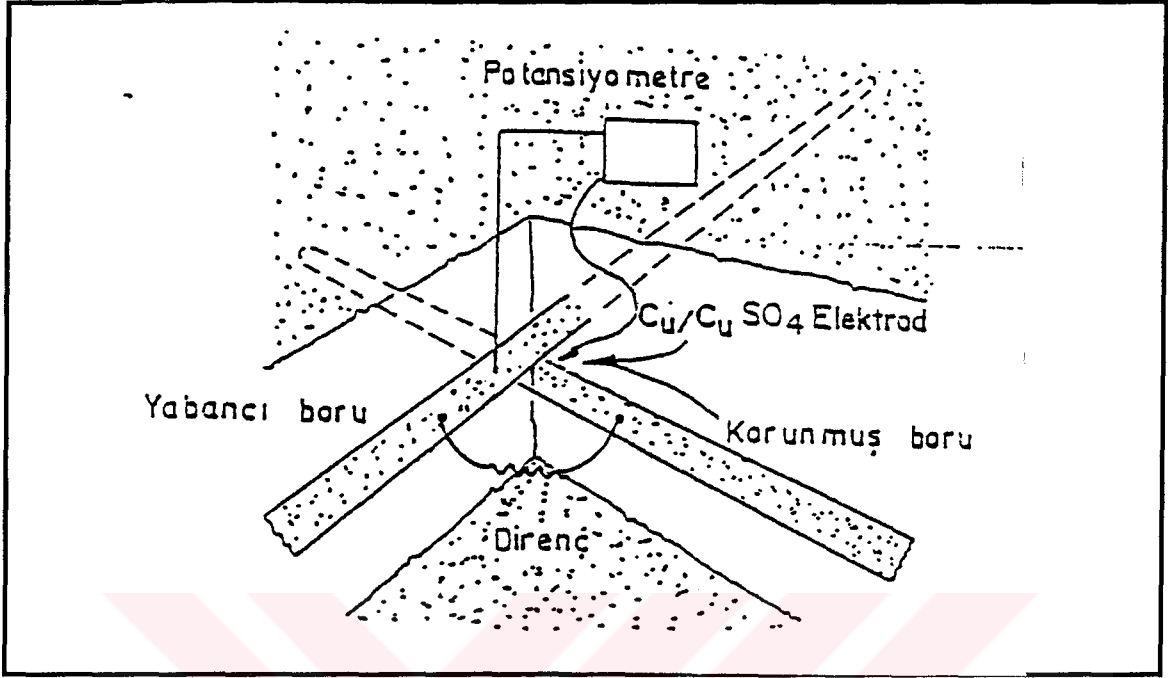
Şekil 2.23: Galvanik anod kullanılarak interferans'ın önlenmesi

Alınacak önlemler şunlardır ;

2.5.3.1 Metalik Bağ Korunması :

İki boru hattı en yakın oldukları yerde metal bir bağ ile bağlanır. Böylece iki boru arasından kaçak olarak akacak akım toprak üzerinden değil de bu bağ üzerinden akar. Ancak bağın direnci çok önemlidir. Çok düşük seçilirse, korunacak borunun ihtiyacı olan akım artar ve potansiyel düşmesi görülür. Çok yüksek seçilirse metalik bağ vazifesini yapamaz ve akım yine topraktan geçer.

Bağ direncinin belirlenmesi şu deney ile yapılabilir : (Şekil 2.24)



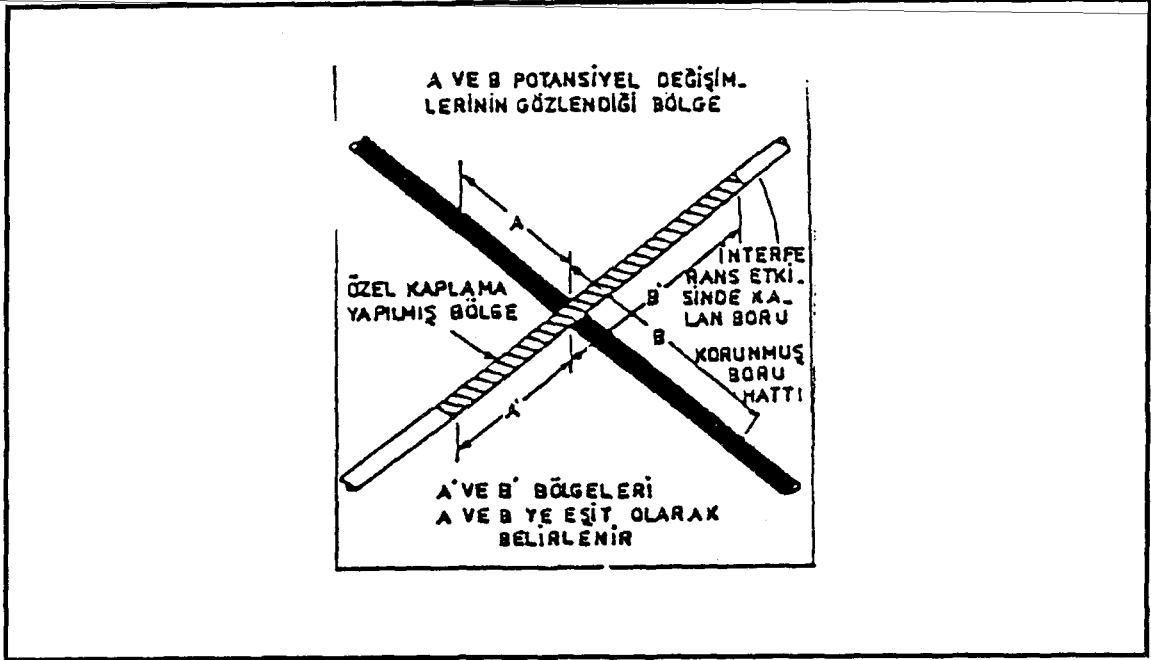
Şekil 2.24: Bağ direncinin belirlenmesi için yapılan deney düzeneği

Kesişim noktası kazılarak iki boru arasına referans Cu/Cu Sülfat elektrodu konur. Referans elektrod, voltmetre, ve yabancı boru hattı ile hattı ile devre oluşturur. İki boru arasında üzerinde bir reosta bulunan metalik bağ yapısı. Reostanın direnci ilk olarak maximuma getirilir. Katodik koruma devresinin on/off durumlarında voltmetreden okunan değerler arasındaki fark belirlenir. Reostanın direnci azaltılarak bu işlemlere voltmetreden okunan on/off potansiyellerinin farkı sıfır olunacaya kadar devam edilir. Reostanın bu direnci metalik bağ için en uygun değerdir.

2.5.3.2 Özel Kaplama Yapılması :

Korozyona neden olacak boru hattı üzerinden zemine akım kaçağı olmaması için iyi bir şekilde yalıtılır. (Şekil 2.25)

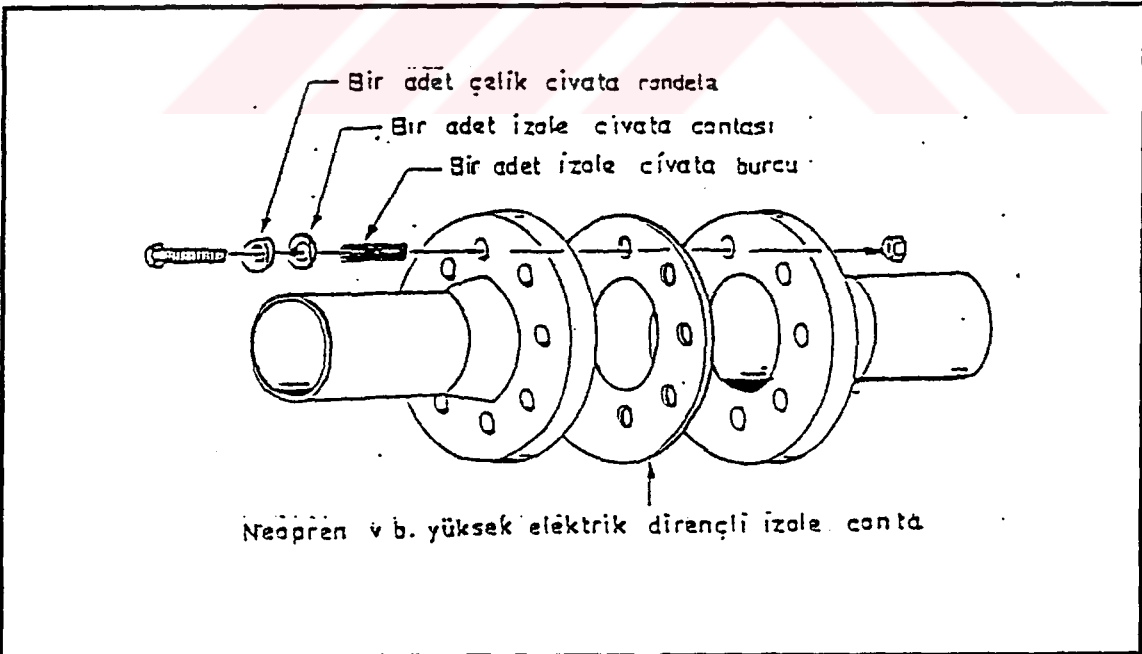
Yalıtımın etkili olup olmadığını anlamak için kesişme noktasında potansiyel ölçümleri tekrar yapılır.



Şekil 2.25: Boru hattına yalıtım yapılması

2.5.3.3 Galvanik Anod Kullanımı :

Kesişme bölgesinde korozyona uğrayacak boru hattına ilave galvanik anodlar bağlanabilir.(şekil 2.23). Ancak boru ek eyrlerinin şekil 2.26 daki gibi yalıtılması gerekir.



Şekil 2.26: Boru ekyerlerinin yalıtılması.

3 SONUÇ

3.1 TÜRKİYE İÇİN DOĞALGAZ DEPOLAMASININ ÖNEMİ

Konut sektörü için doğalgaz arz-talep dengesindeki açığın tahmin edilmesi için sadece ısıtma amacıyla Türkiye'nin doğalgaz tüketim potansiyelinin ve bunun önümüzdeki yıllar içindeki değişimi tahmin edildi. Yapılan varsayımlardan da faydalanarak bir yıl içerisindeki en soğuk dört aydaki arz-talep dengesindeki açık 1998 yılında 98 milyon m³ 'lük bir değere ulaştığı tahmin edildi. 2010 yılında ise 720 milyon m³'e ulaşmaktadır.

Doğalgazın depolanması ; Türkiye'ye uluslararası anlaşmazlıklarda süre kazandırarak pazarlık gücü sağlayacak ve herhangi bir anlaşmazlık durumunda soğukta kalmayacağını bilecek olan tüketicisine bir güven duygusu vererek doğalgazın Türkiye'de pazarlanmasını kolaylaştıracaktır. Doğalgaz depolamasının önemini; Türkiye'nin, önümüzdeki yıllarda doğalgaz talebinin (tüketim potansiyelinin) bulunması ve soğuk dönemlerde arz talep dengesindeki sapmanın tahmini ortaya koyacaktır.

Türkiye genelinde varolan doğalgaz yeraltı gaz deposuna elverişli sahalar tespit edilmeli depolama için gerekli çalışmalar bir an önce başlatılmalıdır.

Trakya'da bulunan gaz sahalarının hangilerinin depolamaya uygun olacağı ve depolama özelliklerinin belirlenmesi, ön etüdlerin yapılarak gerekli bilgilerin toplanması ve mühendislik çalışmalarının sonucu gerçekleştirilebilir.

3.2. İSTANBUL DOĞALGAZ BORU HATTI KATODİK KORUMA PROJESİNİN İNCELENMESİ

Anadolu yakası Dolayoba-Örnektepe 33 km'lik doğalgaz boru hattının katodik korumasında Bölüm 2.3'te belirtilen kriter ve kuralların uygunluğu korumanın oluşabilmesi için şarttır.

Katodik korumanın gerçekleşebilmesi için boru/zemin potansiyelinin bölüm 2.3 ta anlatılan aralıkta olması gerekir. Bu potansiyelin kontrolü için ölçü kutularının gerektiği yerlere konularak, sürekli olarak ölçümlerin yapıp bilgisayar sistemine kaydedilmesi gerekir.

Sistemin işletimi süresince;

- Boru zemin potansiyelinin;
- Transformatör-redresör ünitesi çıkış potansiyelinin
- Akım şiddetinin
- Anod yatağı elektriki dirençinin

ölçümlerinin düzenli olarak yapılması gerekir.

KAYNAKLAR

- 1- **AKTAŞ,M., FİKRET, H., ÇELEBİ,E.** 1994 "Türkiye Enerji Sektörünün Gelişimi ve Arz Talep Projeksiyonları (1970 - 2010)." Türkiye 6. Enerji Kongresi'nde sunuldu.17-22 Ekim 1994, İzmir.
- 2- **ÇİZMECİOĞLU, Zeki** (Prof. Dr.,YTÜ, İGDAŞ Katodik Koruma Danışmanı) : 1996, "Anadolu Yakası Dolayoba-Örnektepe Arası 33 km'lik Yeni Doğalgaz Boru Hattının Katodik Koruma Şartnamesi ve Projesi " İGDAŞ Genel Müdürlüğü, İstanbul: 6-14
- 3- **DORUK, Mustafa** (ODTÜ) 1982 " Korozyon ve Önlenmesi" , ODTÜ, Ankara, 1982. sf: 154-169
- 4- **HEİDERSBACH, Robert H.** (California P.S. University) " Metals Handbook : Cathodic Protection " , pg:468-477
- 5- **KOÇ, Timur** (Doç. Dr., Gazi Üniv., İSKİ Katodik Koruma Danışmanı) 1992. " Korozyon ve Katodik Koruma" , İSKİ Genel Müdürlüğü, İstanbul.
- 6- **TEK, M. Rasin** (Prof. E., University of Michigan, USA); 1995, " Verification of Inventory in Underground Storage ", Jour. Turkish Journal of Oil and Gas, volume: 1, October, 1995, TMMOB, PMO; pg:6 -11
- 7- **SATMAN, Abdurrahman** (Prof.Dr. İTÜ) ve **KIZILÖREN, Hakan** (İGDAŞ) "Türkiye'de Doğalgaz Depolaması Gereksinimi ve Olanakları "Doğal Gaz dergisi Eylül/Ekim sayı 40 , 1995, sf: 110-115.

8- SATMAN, Abdurrahman (Prof.Dr. İTÜ) , **KARAALIOĞLU, Hülya** (İTÜ) **KIZILÖREN, Hakan** (İGDAŞ) **SATMAN, Abdurrahman** (Prof.Dr. İTÜ) ve **KIZILÖREN, Hakan** (İGDAŞ) 1996 ; " Türkiye'de Yeraltı Gaz Dolaması Olanakları " ; Türkiye 11. Petrol Kongresi'inde sunuldu. TMMOB PMO 15-17/4 1996, Ankara sf: 289-292

9- TS 5141 / Nisan 1987; " Yeraltı Çelik Boru Hatlarının Katodik Korunması Kuralları" , sf 5-17

10-YARDIM, Gökhan (Botaş Doğalgaz Dairesi Başkanı),1995;
" Türkiye'de Doğalgazın Geleceği ve Politikalar " Doğal Gaz dergisi Kasım/Aralık sayı 41, 1995, sf: 134-138.

