



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**YÜKSEK GERİLİM HATLARININ BORU  
HATLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ VE  
BELİRLİ BİR BÖLGEDEKİ AC  
KOROZYONUNUN GİDERİLMESİ**

**Emre KARATAŞ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Mayıs- 2019**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

### TEZ KABUL VE ONAYI

Emre KARATAŞ tarafından hazırlanan “Yüksek Gerilim Hatlarının Boru Hatları Üzerindeki Etkileri ve Belirli Bir Bölgedeki AC Korozyonunun Giderilmesi” adlı tez çalışması 17.05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği /oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

#### Jüri Üyeleri

##### Başkan

Prof.Dr. Ercan YALDIZ

##### Danışman

Doç.Dr. Levent SEYFİ

##### Üye

Dr.Öğr.Üyesi M.Fahri ÜNLERŞEN

#### İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Yakup KARA  
Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Emre KARATAŞ

Tarih: 17.05.2019

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

# YÜKSEK GERİLİM HATLARININ BORU HATLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ VE BELİRLİ BİR BÖLGEDEKİ AC KOROZYONUNUN GİDERİLMESİ

Emre KARATAŞ

Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Levent SEYFİ

2019, 50 Sayfa

Jüri

Doç.Dr. Levent SEYFİ

Prof.Dr. Ercan YALDIZ

Dr.Öğr.Üyesi Dr.Öğr.Üyesi M.Fahri ÜNLERŞEN

Yüksek gerilim enerji nakil hatlarının manyetik alanlar üretmesi boru hattı üzerinde alternatif akım girişimlerine (AC enterferans) neden olmaktadır. Dışarıdan gelen bu girişim zamanla boru hattında korozyona neden olarak boru hattı sisteminde hem işletme kayıplarına hem de ekonomik maliyetlere yol açmıştır.

Bu tez çalışmasında; çelik boru hatlarındaki korozyondan ve korozyon oluşumundan, korozyondan korunma yöntemi olan katodik koruma sistemlerinden, boru hatları üzerinde meydana gelen girişimlerden ve girişim kaynaklarından bahsedilmektedir. Alternatif akım girişimlerinin oluşma yöntemleri ve mekanizmaları açıklanmaya çalışılmıştır. Alternatif akım girişimlerinin etkisi ile gelişebilecek AC korozyon ve AC korozyon mekanizması ifade edilmiştir. Ayrıca AC girişimlerin bertaraf edilmesine yönelik yöntemlerden de bahsedilmektedir.

Afyon bölgesinde yer alan boru hattında meydana gelebilecek olan AC girişim etkileri değerlendirilerek, etkilerinin giderilmesine yönelik uygulamaları içeren rapor doğrultusunda arazide boru hattı üzerinde katodik koruma sistemlerine ilave olarak imalatlar gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen imalatların, boru hattı üzerindeki AC girişim etkilerinin bertaraf edilmesindeki yeterliliğini değerlendirmek amacıyla arazi üzerindeki ölçüm noktalarından veri kayıt cihazları ile ölçümler alınmıştır.

Ölçüm sonuçları ilgili standartlar doğrultusunda değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler neticesinde boru hattı üzerindeki AC girişim etkilerinin giderilmesine yönelik gerçekleştirilen imalatların yetersiz geldiği anlaşılmıştır. İlave imalatlar ile boru hattı üzerindeki AC girişimlerin bertaraf edilebileceği anlaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** AC enterferans, AC korozyon, boru hattı, katodik koruma, polarizasyon hücresi, yüksek gerilim hattı.

## **ABSTRACT**

## **MS THESIS**

# **THE EFFECTS OF HIGH VOLTAGE LINES ON PIPELINES AND REMOVAL OF AC CORROSION IN A SPECIFIC AREA**

**Emre KARATAŞ**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Electrical and Electronics Engineering**

**Advisor: Assoc.Prof. Dr. Levent SEYFİ**

**2019, 50 Pages**

**Jury  
Assoc.Prof.Dr. Levent SEYFİ  
Prof.Dr. Ercan YALDIZ  
Asist.Prof.Dr.M.Fahri ÜNLERŞEN**

The generation of magnetic fields by high voltage power transmission lines causes alternating current (AC) interference on the pipeline. This external interference caused corrosion in the pipeline system and led to both operating losses and economic costs in the pipeline system.

In this thesis; corrosion and corrosion formation in steel pipelines, cathodic protection systems which are a method of protection from corrosion, interventions on the pipelines and sources of interference. The methods and mechanisms of alternating current attempts are explained. AC corrosion and AC corrosion mechanism that can develop by the effect of alternating current interferences are expressed. In addition, methods for disposing of AC enterprises are also mentioned.

In addition to cathodic protection systems on the pipeline, in line with the report including the applications to eliminate the effects of the AC interference effects that may occur in the pipeline in the Afyon region, the productions were carried out in addition to the cathodic protection systems. Measurements were taken from the measuring points on the field with data loggers to evaluate the adequacy of the realized production to eliminate the AC interference effects on the pipeline.

The measurement results were evaluated in accordance with the relevant standards. As a result of the evaluations, it was understood that the productions performed to eliminate the AC interference effects on the pipeline were insufficient. It was understood that the AC enterprises on the pipeline could be disposed of with additional manufactures.

**Keywords:** AC interference, AC corrosion, Pipeline, Cathodic protection, Polarization cell, High voltage line.

## ÖNSÖZ

Hazırladığım bu tez çalışmasında, yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım Doç.Dr. Levent SEYFİ' ye, konu hakkında çalışmak için beni yönlendiren Ali BOZAN' a, değerli katkılarıyla her zaman yanımda yer alan Veysel ŞAHİN' e ve bütün öğrenim hayatım boyunca emeği geçen tüm hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan anne, babama ve beni her konuda daima destekleyen eşime teşekkürü bir borç bilirim.

Emre KARATAŞ

KONYA-2019

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
SİMGELER.....	ix
KISALTMALAR .....	ix
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. KOROZYON VE KATODİK KORUMA SİSTEMLERİ .....</b>	<b>4</b>
2.1. Korozyon.....	4
2.1.1. Elektrokimyasal korozyon hücresi .....	5
2.1.2. Korozyonu etkileyen faktörler .....	6
2.1.2.1 Potansiyel-pH ilişkisi .....	6
2.1.2.2. Zemin özgül direnci .....	7
2.1.2.3. Redoks potansiyeli .....	8
2.1.3. Korozyon türleri .....	8
2.2. Katodik koruma.....	9
2.2.1. Galvanik anotlu katodik koruma .....	10
2.2.2. Dış akım kaynaklı katodik koruma .....	10
<b>3. ELEKTRİKSEL ENTERFERANS VE AC KOROZYON.....</b>	<b>12</b>
3.1. Doğru Akım (DC) Enterferansı.....	12
3.2. Alternatif Akım (AC) Enterferansı .....	12
3.2.1. Kapasitif bağlantı .....	13
3.2.2. İletken veya dirençli bağlantı .....	14
3.2.3. İndüktif bağlantı .....	15

3.3. AC Korozyon .....	16
<b>4. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>19</b>
<b>5. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>23</b>
5.1. Katı Durumlu Polarizasyon Hücresi (SSPC) .....	24
5.2. Yardımcı Anot.....	26
5.3. Kupon Ölçü Kutusu (CTS).....	27
5.4. Ölçü Kuponu .....	29
5.5. Sabit Tip Referans Elektrot .....	29
5.6. Veri Kayıt Cihazı .....	30
5.7. Topraklama Ölçüm Cihazı (Meger) .....	32
5.8. Multimetre.....	32
<b>6. ÖLÇÜM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....</b>	<b>34</b>
<b>7. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>44</b>
7.1. Sonuçların Değerlendirilmesi.....	44
7.2. Öneriler .....	47
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>48</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>50</b>



## SİMGELER

$\rho$	: Zemin özgül direnci [ $\rho.m$ ]
$E_{redoks}$	: Redoks potansiyeli [mV]
$Fe_3O_4$	: Magnetit
$Fe_2O_3$	: Hematit
$kV$	: Elektriksel gerilim birimi
$Hz$	: Frekans birimi
$kA$	: Elektriksel akım birimi

## KISALTMALAR

<b>PE</b>	: Polietilen
<b>SSPC</b>	: Katı Durumlu Polarizasyon Hücresi (Solid State Polarization Cell)
<b>HVAC</b>	: Yüksek Gerilimde Alternatif Akım (High Voltage Alternative Current)
<b>CTS</b>	: Kupon Ölçü Kutusu (Coupon Test Station)
<b>AC</b>	: Alternatif Akım (Alternative Current)
<b>DC</b>	: Doğru Akım (Direct Current)
<b>LV</b>	: Hat Vanası (Line Valve)
<b>API 5L</b>	: Amerikan Petrol Enstitüsü Çelik Boru Üretim Standardı

## 1. GİRİŞ

Metal veya alaşımların doğadaki cevher haline dönme eğiliminde olan kararsız yapıda yer almaları nedeniyle elektrokimyasal bir olay olan korozyon meydana gelmektedir. Korozyon ilk olarak sadece malzeme kaybı olarak değerlendirilse bile taşınan maddelerin çevreye vereceği zararlar, tesislerin devre dışı kalması nedeniyle oluşacak zararlar ve işçilik kayıpları gibi dolaylı maliyetlere de yol açmaktadır.

Bıyık (2013) tarafından yapılan tez çalışmasında, korozyonun malzeme özelliklerini bozarak kullanılmaz durumuna getirmesini engellemek için 1824 yılında Sir Humphry Davy tarafından gövdesi bakır kaplı Samarang isimli harp gemisinin çinko anotlarla korunduğu ancak bakırın korozyona uğramaması nedeniyle deniz canlılarının gemi gövdesine yapışması neticesinde geminin seyir hızının düştüğü ve bundan dolayı çalışmanın başarısız olduğunu düşünülerek iptal edildiği ifade edilmiştir.

Yaklaşık yüzyıl sonra petrolün boru hatları ile taşınması zorunlu hale gelince katodik koruma çalışmaları yeniden başlamış ve günümüze kadar gelişerek gelmiştir. Günümüzde yer altına gömülen boru hatları üzerinde metalin toprakla doğrudan temasının kesilmesi için yalıtkan kaplama yapılırken aynı zamanda katodik koruma sistemleri tesis edilerek korozyon ile mücadele edilmektedir.

Teknolojinin gelişmesi nedeniyle enerji ihtiyaçlarının artması enerji ağlarının artmasına neden olmuştur. Fosil yakıtların taşınması için boru hattı inşaat çalışmaları artarken aynı zamanda elektrik enerjisinin taşınması için yüksek gerilim enerji iletim hatları da yaygınlaşmıştır. İnşaat maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle kamulaştırma çalışmalarında boru hatları ve enerji iletim hatlarının aynı koridor içerisinde yer alması boru hatları için alternatif akım kaynaklı bir korozyona neden olmaya başlamıştır.

Brenna (2012) yaptığı doktora tez çalışmasında; ilk olarak 1986 yılında Almanya'da katodik olarak bir gaz hattında korozyon olayı meydana gelmesi üzerine G. Helm ve ark. tarafından korozyonun nedeni araştırılmaya başlandığı ve araştırmacılar tarafından yapılan saha ölçümleri ve laboratuvar çalışmaları neticesinde korozyonun nedeni olarak, yüksek gerilim hattının boru hattı üzerinde AC indüklenmesine neden olabileceği ve bunun da korozyona neden olabileceği düşüncesine ulaştıkları ifade edilmiştir. Böylece enerji iletim hatları ile boru hatları arasındaki enterferans etkileri araştırılmaya ve çözüm yolları geliştirilmeye başlanmıştır.

Enerji iletim hattı ile boru hatları arasındaki etkileşim nedeniyle boru hattı üzerinde indüklenen gerilim öncelikli olarak boru hattı üzerinde çalışanlar, daha sonra boru hattı üzerindeki kaplama kusurlarından toprağa akan akım yoğunlukları nedeniyle boru hattı ve boru hattı ile beraber taşınması neticesinde boru hattı ekipmanları ve katodik koruma sistemleri için tehlike kaynağı olduğu tespit edilmiştir.

Öncelikli olarak AC korozyona neden olacak AC girişimin nasıl gerçekleştiği ve hangi parametrelerden etkilendiği konuları araştırılmıştır. Daha sonra AC kaynaklı korozyon mekanizmasının nasıl işlediği araştırılarak korozyon mekanizması açıklanmıştır. Nedeni ve mekanizması tespit edilen AC korozyondan korunmak için yöntem belirlenmiş ve günümüzde halen geliştirilmeye çalışılmaktadır.

(NACE\_SP0177, 2007) standardına göre, boru hattı üzerinde indüklenen geriliminin azaltma sistemleri uygulanarak azaltılması mümkündür. Boru hattı üzerinde oluşturulan deşarj noktaları ile biriken AC gerilimin toprağa aktarılması sağlanmaktadır. Ancak boru üzerinde biriken AC gerilimin toprağa aktarılması sağlanırken, borunun katodik olarak korunmasını sağlayan DC gerilimin toprağa aktarılması da önlenmelidir.

Doğru akıma yüksek, alternatif akıma düşük empedans gösteren polarizasyon hücreleri yardımıyla boru hattı üzerindeki alternatif akımın azaltılması mümkündür. Ancak alternatif akım azaltma yöntemlerinin maliyetleri sebebiyle doğru olarak planlanıp uygulamasının yapılması mühendislik çözümleri açısından daha uygun olacaktır.

Bu tez çalışmasında Afyon bölgesinde yer alan 8" çapında API 5L X46 kalitedeki 5.20 mm et kalınlığında ve 3 mm. kalınlığında 3 katlı polietilen kaplamalı yüksek basınçlı doğal gaz boru hattı üzerinde, 154 kV yüksek gerilim enerji nakil hattının olası enterferans etkilerinin öngörüldüğü bir rapor referans kabul edilerek; NACE SP0177 ve TS EN 15280 standartları doğrultusunda uygulanan alternatif akım azaltma yöntemlerinin başarısı ölçüm sonuçları ile değerlendirilecektir.

Bu tez çalışması kapsamında aktarılacak bilgiler, yapılan ölçümler ve yorumlanan ölçüm sonuçları Türkiye'de AC korozyon konusunda ilk yazılı akademik kaynak olma niteliği taşıyacak olup; daha sonra yapılacak olan çalışmalara referans olma özelliğinde olacaktır.

Tez çalışmasının 2. Bölümünde korozyon çeşitleri açıklanacak ve korozyondan korunma yöntemi olan katodik koruma çeşitleri hakkında da temel bilgiler aktarılacaktır. 3. Bölümde, boru hatları üzerindeki elektriksel enterferansın tanımlaması yapılarak, enterferans kaynaklarına değinilecektir. Ayrıca AC korozyon olayı tanımlanarak, korozyon mekanizmasının nasıl işlediği anlatılacaktır. 4. Bölümde, AC korozyon ile alakalı olarak

yapılan çeşitli araştırma ve deneylere yer verilecektir. 5. Bölümde, AC korozyonun giderilmesi için bu tez çalışmasında malzemeler ve bağlantıları ile alakalı bilgiler verilecektir. 6. Bölümde, sahada alınan ölçümlerin ara yüz programı yardımı ile grafiklere dönüştürülmesi ve yorumlanması sağlanacaktır. 7. Bölümde, gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi neticesinde boru hattı üzerindeki alternatif akımın standartlarda belirtilen seviyeleri sağlayıp sağlamadığı değerlendirilecek, sağlamıyorsa ilave tedbirlerin nasıl ve ne şekilde alınması gerektiğine değinilecektir.



## 2. KOROZYON VE KATODİK KORUMA SİSTEMLERİ

### 2.1. Korozyon

Metallerin çoğunluğu doğada cevher içerisinde tuz, oksit gibi kararlı bileşikler halinde yer alırlar. Cevherlerin ayrıştırma ve indirgeme işlemlerinden geçirilmesi sonucunda saf haldeki metaller elde edilirler. Saf haldeki bu metaller kararsız bir yapıya sahip olduklarından dolayı sürekli olarak tekrar kararlı hale yani ilk cevher haline dönme eğilimi içindedirler. Metallerin doğadaki ilk cevher hallerine yeniden dönmesi anlamına gelen korozyon, kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonlar sonucunda malzeme yüzeyinden başlayarak, malzeme derinliklerine doğru etki ederek devam eden ve malzeme özelliğinin değişmesine yol açan bir bozunma sürecidir (Bıyık, 2013).



Şekil 2.1. Metal üretimi ve korozyon oluşumu

Şekil 2.1’de demir cevherinin mamül ürüne (boru) dönüştürülmesi ve daha sonrasında ise yeniden cevher haline dönüşme isteği (yani korozyon oluşumu) gösterilmektedir.

DIN 50900 normuna göre ise korozyon, metal malzemenin ölçülebilir değişim göstermesine neden olan metal-çevre tepkimesi olarak tanımlanmaktadır. Yine aynı normda korozyonun zararı ise metal bir yapı parçasının ya da bir bütün sistemin fonksiyonuna verilen zarar olarak tanımlanmaktadır (Bıyık, 2013).

Korozyon sırasında anodik (elektron veren, yükseltgenme) reaksiyonlar ile katodik (elektron alan, indirgenme) reaksiyonlar birlikte oluşur. Çizelge 2.1’de anodik ve katodik reaksiyonlar basitçe gösterilmektedir.

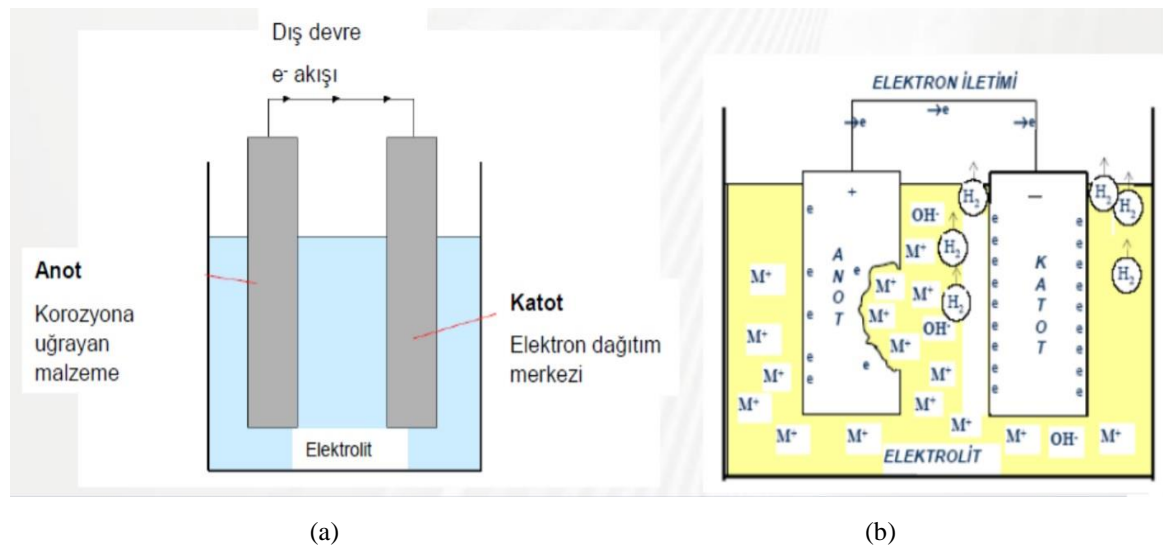
Çizelge 2.1. Katodik ve anodik reaksiyonlar

Reaksiyon	Giren		Ürün
Anodik	$Fe^0$	→	$Fe^{+2} + 2e^-$ (İyonlaşma)
Katodik	$\frac{1}{2}O_2 + H_2O + 2e^-$	→	$2(OH)^-$
	$2H^+ + 2e^-$	→	$H_2$ (Asitli Ortamda)
Toplam	$Fe^0 + \frac{1}{2}O_2 + H_2O$	→	$Fe(OH)_2$ (Pas)

### 2.1.1. Elektrokimyasal korozyon hücresi

Korozyonun meydana gelebilmesi için elektrokimyasal korozyon hücresinin oluşması gerekmektedir. Korozyon hücresinin oluşabilmesi için ise, anot, katot, elektrolit ve bağlantı yolu gereklidir. Bu faktörlerden herhangi birinin olmaması halinde ise korozyon gerçekleşmez (Bıyık, 2013).

Korozyon olayı anotta gerçekleşir. Anoda göre daha az aktif olan ve korozyona uğramayan elektrot ise katottur. Elektronların anottan katoda taşındığı yola ise bağlantı yolu denilmektedir. Şekil 2.2'de korozyon hücresi ve korozyon hücresinde yer alan olaylar gösterilmektedir.



Şekil 2.2. a) Korozyon hücresi, b) Korozyon hücresinde yer alan olaylar

Yeraltı metalik yapıların korozyonunda, metalik yapının içerisine yerleştirildiği zemin elektrolit rolü oynamaktadır. Zemin boşluklarındaki su (nem) içerisinde başta klorür ve sülfat olmak üzere çeşitli iyonlar çözünmüş halde yer almaktadır. Ayrıca çözünmüş halde veya gaz halindeki oksijen de elektrolit içinde yer almaktadır. Böyle bir elektrolit içerisinde korozyon hücresi meydana gelmesi için iki ayrı metalin yer alması zaruri değildir. Metalik yapı veya elektrolit içerisindeki bazı farklılıklar nedeniyle meydana gelecek olan potansiyel fark, mikro veya makro korozyon hücreleri meydana getirebilecektir. Bunun sonucunda ise metalik yapının bazı bölgeleri anot, bazı bölgeleri katot olarak davranış sergilerken bağlantı yolu ise metal üzerinden gerçekleşmektedir (Yalçın ve Koç, 1999).

## **2.1.2. Korozyonu etkileyen faktörler**

### **2.1.2.1 Potansiyel-pH ilişkisi**

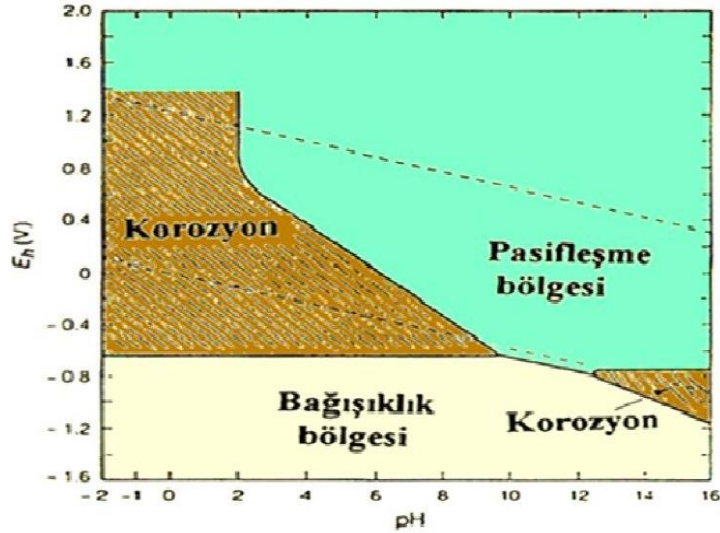
Kimyasal bir reaksiyonun kendiliğinden yürüyüp yürüyemeyeceği termodinamik yöntemlerle kesin olarak belirlenebilmektedir. Termodinamik yasalarına göre bir kimyasal reaksiyon ancak serbest enerji değişiminin negatif olduğu zamanlarda yürüyebilmektedir. Bu ifadeden hareketle anot ve katot reaksiyonlarının toplamından oluşan korozyon reaksiyonunun serbest enerji değişimi hesaplanarak korozyonun meydana gelip gelmeyeceği belirlenebilmektedir (Yalçın ve Koç, 1999).

Termodinamik yöntemlerle bir metalin sulu çözeltiler içinde korozyon bakımından aktif veya pasif halde olduğu, çözeltinin pH derecesine bakarak ve metalin çözelti içerisindeki elektrot potansiyeli grafiğe dönüştürülerek kesin şekilde belirlenebilmektedir (Yalçın ve Koç, 1999).

Marcel Pourbaix tarafından potansiyel-pH diyagramları bütün metaller için hazırlanmıştır. Söz konusu diyagramlarda sulu çözeltiler içinde yer alan metallerin korozyona uğramadığı bölge kesin olarak gösterilmektedir. Metallerin korozyona uğrama ihtimali olan bölgelerde ise, metaller termodinamik açıdan stabil halde olmadıklarından dolayı korozyon olayı görülmeyebilir (Yalçın ve Koç, 1999).

Şekil 2.3'de sulu çözelti içerisinde yer alan demire ait Pourbaix diyagramları görülmektedir. Bahse konu diyagramda gösterilen "korozyon bölgeleri" demirin korozyona uğrama riskinin en fazla olduğu bölgeyi göstermektedir. Aynı diyagramda yer alan "bağışıklık bölgesi" demirin termodinamik açıdan stabil halde olduğu ve korozyona uğramadığı bölgeyi

göstermektedir. Yine aynı diyagramda yer alan “pasiflik bölgesi” demir yüzeyinde  $Fe_3O_4$  ve  $Fe_2O_3$  oksit bileşiklerinin meydana gelmesiyle metalin pasif kalmasına neden olduğu bölgeyi göstermektedir. Bu bölgede korozyon olayının gerçekleşip gerçekleşmeyeceği hakkında karar verilememektedir (Yalçın ve Koç, 1999).



Şekil 2.3. Sulu çözelti içerisinde yer alan demire ait Pourbaix diyagramı

### 2.1.2.2. Zemin özgül direnci

Zemin özgül direnci, zeminlerin korozyon derecesi hakkında fikir vermektedir. Zemin içerisinde çözülmüş tuzların fazla olması, rutubet ve sıcaklığın artması gibi durumlarda zemin özgül direnci azalmaktadır. Doğal halde sıkışmış bulunan zeminler örselenmiş zeminlere oranla daha düşük zemin özgül direncine sahiptirler (Yalçın ve Koç, 1999).

Zemin özgül direnci düştükçe zeminin korozyon özelliği artmaktadır. Düşük zemin özgül dirençlerinde, metal yüzeyinde meydana gelen korozyon hücrelerinin daha küçük potansiyel farklarda bile etkili olmasına ve korozyon akımlarının artmasına neden olduğu da bilinmektedir (Yalçın ve Koç, 1999; Metin, 2007).

Boru hatları zaman zaman yüksek ve düşük zemin özgül direncine sahip olan farklı yapıda zeminlerin içerisinde geçmektedir. Bu durumlarda zemin özgül direnci düşük olan bölgeler anot, zemin özgül direnci yüksek olan bölgeler ise katot rolü oynamaktadır. Kısa mesafe içerisinde meydana gelen bu değişimler anot-katot arasında etkili korozyon hücreleri meydana getirebilmektedir (Yalçın ve Koç, 1999).



Çizelge 2.2’ de zemin özgül direnç değerlerine göre zeminlerin koroziflik dereceleri yer almaktadır.

**Çizelge 2.2.** Zemin özgül direncine göre zeminlerin koroziflik dereceleri

Zemin Özgül Direnci-( $\rho$ ) (ohm·m)	Koroziflik Derecesi
$\rho < 10$	Çok korozif
$10 < \rho < 30$	Korozif
$30 < \rho < 100$	Orta korozif
$\rho > 100$	Korozif değil

### 2.1.2.3. Redoks potansiyeli

Metalik yapıların içerisinde bulunduğu zeminin katodik redüksiyon gücü hakkında bilgi vermektedir. Zemin içerisindeki çözülmüş oksijen konsantrasyonu arttıkça redoks potansiyeli de artış göstermektedir. Bu nedenle redoks potansiyeli özellikle mikrobiyolojik korozyonda zeminlerin koroziflik dereceleri hakkında bilgi vermektedir (Yalçın ve Koç, 1999). Çizelge 2.3’ de redoks potansiyeli değerlerine göre zeminlerin koroziflik dereceleri yer almaktadır.

**Çizelge 2.3.** Redoks potansiyeli değerlerine göre zeminlerin koroziflik dereceleri

Redoks Potansiyeli (mV)	Koroziflik Derecesi
$E_{redoks} < 100$	Şiddetli korozif
$100 < E_{redoks} < 200$	Korozif
$200 < E_{redoks} < 400$	Orta korozif
$E_{redoks} > 400$	Az korozif

### 2.1.3. Korozyon türleri

Korozyonun metal üzerindeki göstermiş olduğu etkileri birbirine benzer de olsa basitçe şöyle sınıflandırmak mümkündür:

1. Yüzeysel Korozyon
2. Galvanik Korozyon
3. Taneler Arası Korozyon
4. Pullanma Korozyonu
5. Çatlak Korozyonu
6. Çukur Korozyonu
7. Seçimli Korozyon
8. Erozyon Korozyonu
9. Biyolojik Korozyon
10. Kaplama Bozukluğu Korozyonu
11. Gerilmeli Korozyon
12. Yorulma Korozyonu
13. Kavitasyon Korozyonu
14. Bıçak Çizgisi Korozyonu
15. Aralık Korozyonu
16. Kaçak Akım Korozyonu

## 2.2. Katodik koruma

Temel ilkeleri elektrokimyasal korozyon teorisine dayanan korozyondan koruma yöntemidir. Korunacak olan metal yapının, oluşturulacak bir elektrokimyasal hücrenin katodu haline getirerek metal yüzeyindeki anodik akımların giderilmesi işlemi katodik koruma olarak adlandırılır (Yalçın ve Koç, 1999).

Katodik koruma, korunacak metali kendisinden daha aktif bir metal ile (galvanik anot veya kurban anot) eşleyerek sağlanabileceği gibi dıştan akım uygulayarak da gerçekleştirilebilir. Korozyonu kontrol altına almak için elektrik akımına dayanan bu sistemde; koruma elektrik akımı kesilirse, korozyon materyal/çevre kombinasyonu için normal değerlerde gelişmesine devam edecektir. Eğer besleme akımı bütün sistemi korumak için yetersizse korozyon azaltılmış değerde gelişecektir (Metin, 2007; Bıyık, 2013).

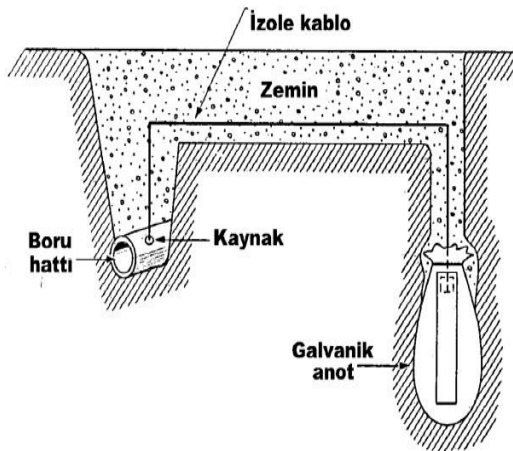
Katodik koruma sistemleri, galvanik anotlu ve dış akım kaynaklı olarak iki farklı şekilde tesis edilebilmektedirler.

### 2.2.1. Galvanik anotlu katodik koruma

Galvanik anotlu katodik koruma sistemlerinde korunması istenilen metal yapıya kendisinden daha negatif potansiyelde bir metal (anot) bağlanarak bir galvanik pil oluşturulur. Böylece metal yapı katot haline getirilir. Galvanik anot, bulunduğu ortamda pozitif iyon halinde çözünerek akım üretimini sağlayan elektrottur (Yalçın ve Koç, 1999).

Galvanik anotlar kendiliğinden çözünerek aynen bir pil gibi akım üretirler. Galvanik olarak bağlanan metalde gerçekleşen yükseltgenme reaksiyonları ile açığa çıkan elektronlar, dış bağlantıdan katoda (korunan metal yapıya) taşınarak katodik reaksiyonlar için gerekli olan elektronları sağlar. Böylece korunan metal yüzeyindeki bütün anodik reaksiyonlar tam olarak durur (Bıyık, 2013).

Galvanik anotlar koruma sırasında belirli hızlarla çözünerek ağırlıklarını kaybederler. Bunları uygun zaman aralıklarıyla yenilemek, koruma işlevine süreklilik kazandırır (Yalçın ve Koç, 1999; Metin, 2007; Bıyık, 2013). Galvanik anotlu katodik koruma sistemi Şekil 2.4'de görülebilir.

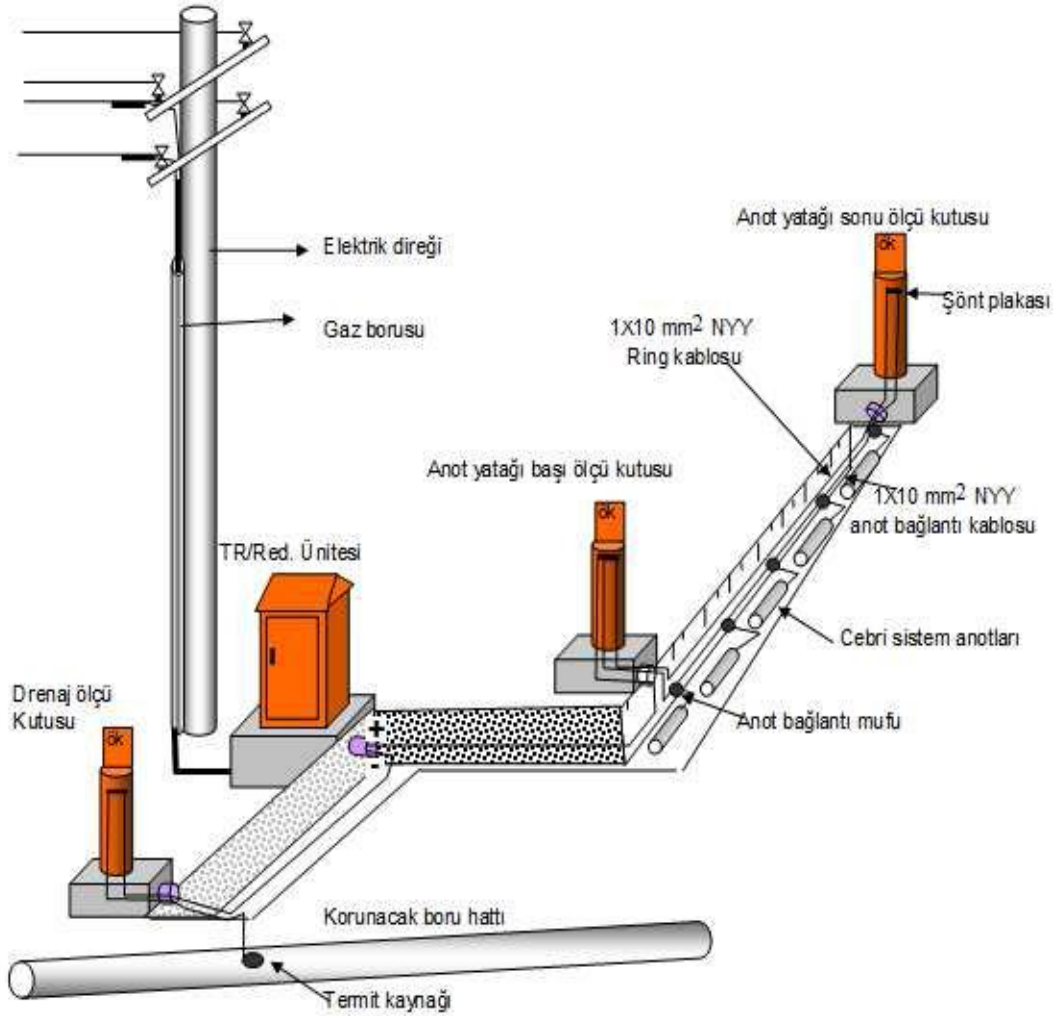


Şekil 2.4. Galvanik anotlu katodik koruma sistemi

### 2.2.2. Dış akım kaynaklı katodik koruma

Şekil 2.5'de görüldüğü üzere dış akım kaynaklı katodik koruma sisteminde katot reaksiyonu için gerekli elektronlar bir dış kaynaktan verilir. Bu sayede anot reaksiyonu ile elektron üretilemez ve anotta yürüyen korozyon olayı da durmuş olur (Bıyık, 2013).

Uygulamada bir akım kaynağından alınan yeterli şiddet ve potansiyeldeki doğru akım, korunacak yapıya uygulanarak, yapı katot haline getirilir. Doğru akım genellikle bir şebekeden alınan alternatif akımın bir Transformatör/Redresör ünitesinden geçirilmesiyle elde edilir. Transformatör/Redresör ünitesinden çıkan doğru akımın (+) ucu anot yatağına, (-) ucu da korunacak olan yapıya bağlanır (Yalçın ve Koç, 1999; Bıyık, 2013).



Şekil 2.5. Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemi

### **3. ELEKTRİKSEL ENTERFERANS VE AC KOROZYON**

Katodik Koruma Sistemleri devredeyken bile yer altındaki yapılarda AC ve DC parazitlerden kaynaklı ciddi hasarlar meydana gelebilmektedir. Genel olarak enterferans girişim, herhangi bir yabancı yapının, elektrik alanında meydana getirdiği değişimdir. Yabancı yapı katodik olarak korunan borudan daha pozitif potansiyele sahip ise, akım korunan boruya doğru; eğer daha negatif bir potansiyele sahip ise, akım yabancı yapıya doğru hareket eder. Her iki durumda da, elektrolit içinde akım ve potansiyel çizgilerinin yeniden dağılımı gerçekleşir (Brenna, 2012).

Genel olarak elektriksel enterferans bir bozucu kaynak, bir bağlantı yolu ve bir alıcıdan oluşur.

#### **3.1. Doğru Akım (DC) Enterferansı**

DC Enterferans sabit durumlu ve değişken durumlu olmak üzere iki farklı şekilde gelişebilmektedir.

Sabit durumlu enterferans, boru hattı inşaatı yapılırken aynı güzergâh üzerindeki katodik olarak korunan veya korunmayan yabancı yeraltı yapılar ile paralel gitme ve kesişme gibi durumlarda söz konusu olabilir. Bu tip durumlarda inşaatı yapılan boru hattı üzerinde enterferans etkisi meydana gelir.

Değişken durumlu enterferans ise, elektrik alanının değişken olduğu koşullarda meydana gelir. Örneğin; doğru akımla çalışan demiryolu sistemlerinde trenin geçişi esnasında meydana gelir.

#### **3.2. Alternatif Akım (AC) Enterferansı**

Boru hattı güzergahları projelendirilirken, geçtiği coğrafi koşullar (sarp araziler vb.) ve kamu yararı (kamulaştırma bedelleri vb.) gözetilerek Yüksek Hızlı Demiryolu ve Yüksek Gerilim Enerji Nakil Hatları gibi boru hattı üzerinde AC gerilim indüklenmesine sebep olabilecek kaynaklar ile aynı koridorun kullanılması veya kesişim yapılması gerekebilmektedir.

Alternatif akım kullanan yüksek hızlı demiryollarında elektrik enerjisi, havai hattan tren üzerindeki pantograf vasıtası ile alınıp raylar üzerinden devresi tamamlanmaktadır (Brenna, 2012).

Mumyatkaz ve ark. (2004) yılında yapmış oldukları çalışmada, günümüzde alternatif akım kullanan demiryollarında genel olarak 25 kV ve 50 Hz AC sistemler kullanılmakta olduğunu belirtmişlerdir. Dolayısıyla yakındaki yüksek hızlı trene ait bir demiryolu, boru hattı üzerinde bir AC enterferansa neden olabilmektedir. Fakat pratik uygulamada en çok karşılaşılan AC enterferans kaynağı yüksek gerilim hatlarıdır.

Dünya genelinde elektrik enerjisinin belirli mesafeler arasında mümkün olan en az kayıpla taşınabilmesi için gerilim seviyesinin kV'lar mertebesine yükseltilerek havai iletim hatları ile taşınması yöntemi kullanılmakta olduğu bilinmektedir.

Günümüzde enerji ihtiyaçlarının sürekli artması, enerji nakil hatları ve boru hatlarının aynı güzergahtan geçirilmesi nedeniyle enerji nakil hatları ile boru hatlarının kesişimleri de birçok noktada kaçınılmaz olmaktadır. Ayrıca elektrik ağının boyut ve gücü arttıkça, normal çalışma ve kısa devre akımları da yükselmektedir. Dolayısıyla boru hattı üzerindeki enterferans etkisi de artmaktadır.

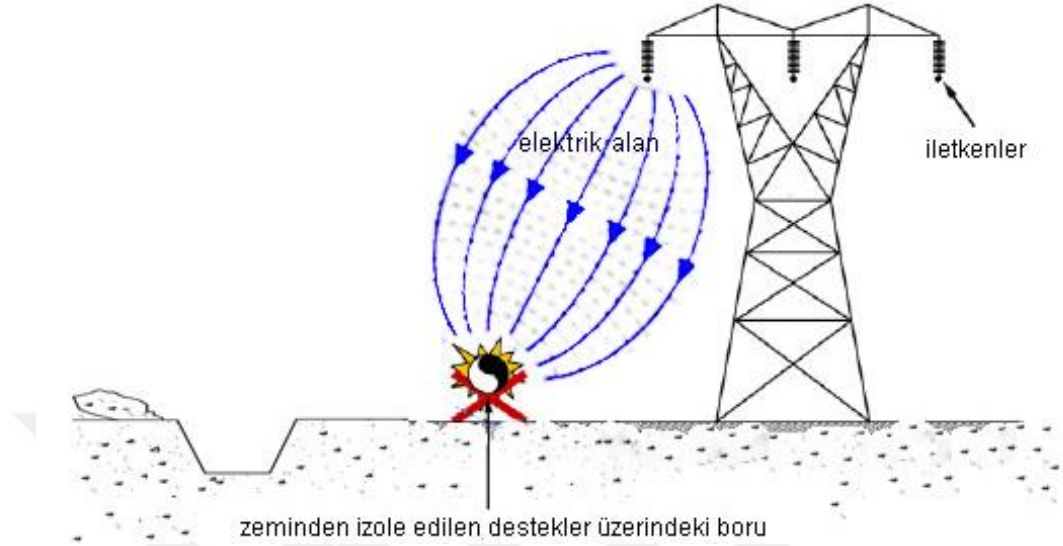
(NACE\_SP0177) ve (TS\_EN\_15280) standardı, yüksek gerilim enerji nakil hatları ile boru hatları arasındaki AC enterferansın 3 şekilde meydana geldiğini belirtmektedir. Bunlar, kapasitif bağlantı, iletken veya dirençli bağlantı ve indüktif bağlantı şeklinde sıralanabilir.

### **3.2.1. Kapasitif bağlantı**

Kapasitif bağlantı veya elektrostatik girişim, yüksek gerilim enerji nakil hattının iletkenlerinden geçen AC akımın ürettiği elektromanyetik alana bağlı olarak meydana gelirken; zeminde elektriksel olarak izole edilmiş çelik boru hattı üzerinde bir gerilim oluşturabilir. Yani Şekil 3.1'de görüleceği üzere kapasitif bağlantı esnasında boru hattı inşaatı esnasında boru yeryüzünden izole edilen destekler üzerindeyken bir tehlike kaynağıdır.

Boru hattı ve yüksek gerilim hattının iletkeni arasındaki hava, dielektrik malzeme gibi davranan ve elektrik alanını minimum güç kaybıyla koruyabilen bir kondansatör olarak yük oluşturabilmesi nedeniyle boru ile çevresindeki toprak arasında bir potansiyel farka sebep olur. Meydana gelebilecek olan potansiyelin büyüklüğü, öncelikli olarak boru hattının yüksek gerilim iletkenlerine olan mesafesine, yüksek gerilim enerji hattı gerilim seviyesi ve yüksek gerilim enerji nakil hattı fazlarının düzenlemesine bağlıdır. Kapasitif bağlantı neticesinde

oluşan potansiyel birikimi boru hattı inşaatında çalışacaklar için elektrik çarpması veya ark oluşturabilmesi riskinden dolayı önemlidir (Brenna, 2012).



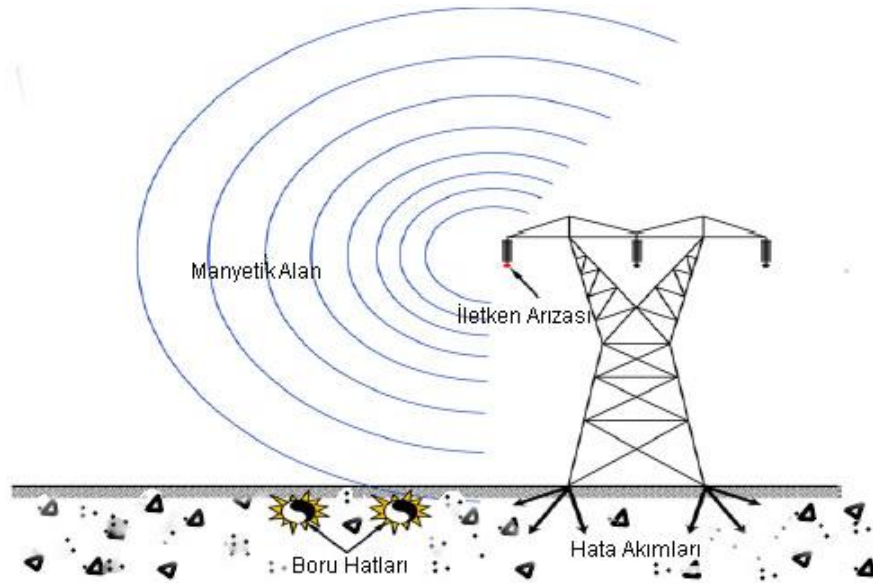
Şekil 3.1. Kapasitif bağlantı

### 3.2.2. İletken veya dirençli bağlantı

Dirençli bağlantı, devreler arasında iletken yollar (metalik, yarı iletken veya elektrolitik) vasıtasıyla iki veya daha fazla devrenin birbirini etkilemesinden kaynaklanmaktadır. Yüksek gerilim elektrik nakil hattı direğinde (veya bir elektrik santralinde) Şekil 3.2’de gösterildiği gibi topraklama arızası meydana geldiğinde, eğer boru hattı doğrudan yüksek gerilim sisteminin topraklamasına bağlandıysa (yani elektrik santrali içindeyse), ya da direk veya güç istasyonunun etki alanına girdiyse aşırı akımların toprağa geçmesi nedeniyle boru hattı bölgesinde bir zemin potansiyeli yükselmesi görülür. Bu durumda enerji direği veya enerji sistemi ile yakınında bulunan boru hattı arasında iletken bağlantı oluşur.

Uygulamada iletken bağlantı çoğunlukla etki alanına girildiği zaman oluşur (boru hattı bölgesinde toprak potansiyelinin yükselmesi). Boru hattı bölgesinde meydana gelen herhangi bir zemin potansiyelindeki yükselme doğrudan boru izolasyonu kaplamasına uygulanır. Kaplamanın dielektrik direnci (mukavemeti) aşıldığında kaplamada delinme gerçekleşebilir. Hatta boru hattı, topraklama elektrotuna çok yakın olduğu zaman borunun erimesi bile meydana gelebilir (Brenna, 2012).

Boru hattı bölgesinde yükselen potansiyel boru hattına aktarılır. Aktarılan bu potansiyel boru hattı ile beraber izolasyon contası, boru hattı erişim noktası veya katodik koruma sistemi gibi uzak noktalara iletilebilir. Büyüklüğüne bağlı olarak, bu aktarılan potansiyel izolasyon contası veya katodik koruma sistemi üzerinde dielektrik stres veya erişim noktalarında boru hattına dokunan veya yakınındaki işçilere uygulanabilecek temas ve adım gerilimleri yaratabilir.

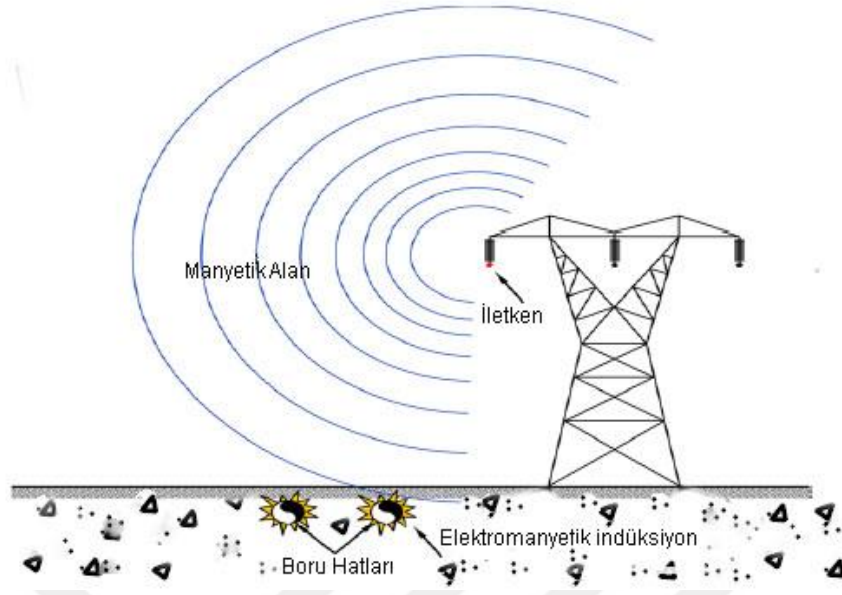


Şekil 3.2. İletken veya dirençli bağlantı

### 3.2.3. İndüktif bağlantı

Yeraltı boru hatları, Şekil 3.3’de görüleceği üzere yüksek gerilim enerji nakil hatlarına paralel veya yakın olduğunda, iletim hatları tarafından üretilen ve zamanla değişen manyetik alanların neden olduğu indüklenmiş gerilime maruz kalır. İndüktif elektromotor kuvvetler (EMK) boru hattında akım dolaşımına ve boru hattı ile çevredeki toprak arasındaki gerilime neden olur (Jackuet ve ark., 1995).

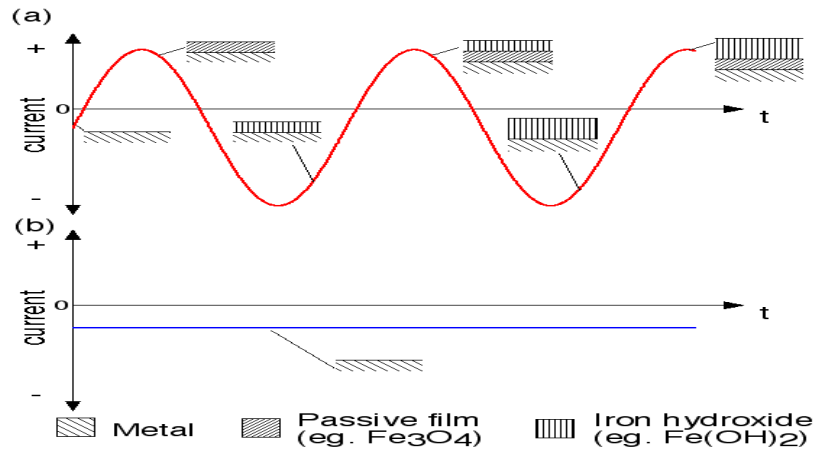




Şekil 3.3. İndüktif bağlantı

### 3.3. AC Korozyon

Katodik olarak korunan boru hatlarında AC gerilim olduğunda, sistemin empedansına bağlı olarak metal üzerindeki kaplama kusurları üzerinden bir akım akacaktır. Alternatif gerilimin pozitif yarım dalgası esnasında eğer gerilim yeterince büyükse (genellikle AC gerilim 1 V'dan büyük olduğunda) akım metal yüzeyden ayrılacaktır. Metal yüzeyden çıkan akım Helmholtz çift katlı kapasitansın şarjına, hidrojenin oksidasyonu ile korozyon ürünlerinin azaltılması ve boru hattının oksidasyonuna neden olabilir. Metal yüzeyinden çıkan akım bir takım korozif olmayan işlemleri beslediğinden, boru hattında belirgin bir korozyona neden olması için genellikle 4-10 V arasındaki daha yüksek gerilim seviyesi gerekir. Ayrıca kaplama kusurunun yayılma direnci, toprak bileşenleri, katodik koruma düzeyi vb. gibi değişken parametreler de bu oluşumu etkilemektedir (Juhlin ve ark., 2006).



**Şekil 3.4.** Kaplama hatasında boru hattının metal yüzeyindeki akımın ve gerçekleşen elektrokimyasal proseslerin şematik bir gösterimi. a) AC gerilim indüklenmiş ve katodik korumalı durum, b) Katodik korumalı durum

Şekil 3.4(a)'da gösterildiği gibi metal yüzeyinden çıkan akım nedeniyle, akımın pozitif dalgası esnasında çıplak metal yüzeyi oksidize edilir ve böylece pasif film tabakası oluşur. Negatif dalga sırasında ise metale akım girdiğinden pasif film tabakası demir hidroksite (pas) dönüşür. Bir sonraki anodik devrede tekrar bir pasif film oluşur. Daha sonra demir hidroksit (pas) tabakası büyüyerek devam eder. Böylece her döngüde bir miktar pas oluşur. Uzun vadede metal kayıplarına neden olur. Şekil 3.4(b)'de gösterilen durumda ise, metal yüzeyinde AC akım ve gerilim indüklenmesi olmadığı ve sabit bir akım girişi olduğu için metal kaybı yaşanmaz.

Juhlin ve ark. (2006), CIGRE (Conseil International des Grands Reseaux Electriques, C4.2.02) çalışma grubunda oluşturulan raporda bahsedilen döngüyü destekler nitelikte sonuçlar ifade etmiştir. AC enterferansa maruz kalan bir boru hattı üzerinde, boru izolasyonu kaplamasındaki 15x20 mm büyüklüğündeki kusurun meydana getirdiği etki Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



a) Kaplama kusuru (15x20 mm), delik yaklaşık birkaç mm<sup>2</sup>

b) Oksidasyon (40x40 mm) ve korozyon etkisi

c) Boru hattı korozyonu (çap = 5mm, derinlik = 0.5 mm)

**Şekil 3.5.** AC korozyon vakası

AC Korozyon olayını esasen etkileyen faktörler CEN/TS 15280 standardında belirtilmiştir. Bunlar;

- İndüklenen AC Gerilim
- Açıkta kalan metal üzerindeki AC akım yoğunluğu
- DC akım yoğunluğu
- AC/DC akım yoğunlukları oranı
- Toprak karakteristiği
- Korozyon derecesi (hızı)
- Frekans etkisi



#### 4. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Brenna (2012) yaptığı tez çalışmasında, G. Helm ve ark. tarafından 1986 yılında Almanya'daki yüksek basınçlı bir gaz boru hattında meydana gelen korozyon olayını AC korozyon ile ilişkilendirdiği, saha ve laboratuvar incelemeleri neticesinde izolasyon ile kaplanmış boru hattında katodik koruma kriterleri sağlansa bile AC korozyon meydana gelebileceğini tespit ettiklerini, ayrıca araştırmacılar AC akım yoğunluğunun belirli bir seviyeden sonra katodik koruma ile korozyon kontrolünün sağlanamayacağını belirttiklerini ifade etmiştir.

Wakelin ve ark. (1998) AC korozyon varlığından şüphelenilen Ontario'daki (Kanada) katodik olarak korunan çelik boru hattının bazı arıza durumlarını ele aldılar. Araştırmacılar, DC gerilimin korozyon oluşturmadığını belirterek yaklaşık 100 A/m<sup>2</sup> veya daha fazla bir AC yoğunluğunun korozyonun meydana gelmesine olanak sağladığını tespit etmişlerdir. AC yoğunluğu arttıkça korozyon hızlarının arttığı gözlenmiştir. Araştırmacılar ayrıca AC yoğunluğunun haricinde AC korozyon aktivitesinin önemli göstergelerinden olabilecek bazı faktörlerin olmasına rağmen, tüm arıza durumlarını birbirine bağlayan başka ortak paydanın olmadığını tespit etmişlerdir.

Nielsen ve Cohn (2000) yapmış oldukları çalışmada, AC korozyon mekanizmasının ve hangi parametrelerin hangi süreçleri etkilediğinin daha iyi anlaşılabilmesi için statik ve dinamik elemanlardan oluşan bir eşdeğer devre modeli oluşturmuşlardır. Tasarladıkları eşdeğer devre modelinde boru hattı üzerindeki AC akımı temsil etmesi için AC gerilim kaynağı, katodik koruma akımını temsil etmesi için ise DC gerilim kaynağını kullanmışlardır. Ayrıca borunun içinde bulunduğu toprağın karakteristiği, kaplama kusurundaki yayılma direnci ve katodik korumaya ait Off potansiyelinin bir fonksiyonu olarak tanımlanan polarizasyon direncinin temeli olarak kabul edilen şarj transfer empedansı gibi frekanstan bağımsız elemanları statik elemanlar olarak tanımlamışlardır. Frekansa bağlı empedans elemanları olarak ifade edilen arayüz kapasitansı ve difüzyon elemanları ise dinamik elemanlar olarak tanımlanmıştır.

Nielsen ve Galsgaard (2005) katodik olarak korunan bir boru hattına ER (Elektrik özdirenç) kuponları bağlayarak yapmış oldukları saha çalışmasında iki farklı çalışma geriliminde korozyon hızlarını ölçtüler. İlk senaryoda, aşırı katodik koruma uygulamak için olabildiğince fazla çalışma potansiyeli (-1.5 V) verildi. İkinci senaryoda ise, çalışma

potansiyeli  $-1.25$  V olarak belirlendi. Saha çalışması neticesinde, ilk senaryoda korozyon hızının daha fazla olduğunu tespit ettiler.

Budnik ve Machczyński (2009) Matlab-Simulink kullanarak gömülü boru hattı üzerinde indüktif bağlantı ile oluşabilecek gerilim seviyelerini ve korozyon hızlarını hesapladılar. Kullandıkları simülasyon devresinde toprak parametreleri, katodik koruma gerilimi akımı ve ayrıca AC enterferans kaynağının parametrelerini dikkate alan elektrokimyasal olayların doğrusal olmayan Butler-Volmer denklemleri ile temsil edildiği AC korozyonuna bağlı blok simülasyon paketi de uygulanmıştır. Ayrıca hazırlanan program ile örnek bir boru hattı ve yüksek gerilim hattı arasındaki enterferans ilişkisini gösteren bir simülasyon yapılarak programdan alınan çıktılar yorumlanmıştır.

Fu ve Cheng (2012) AC enterferans varlığında katodik koruma sisteminin korozyona karşı yeterli olmadığını, AC enterferansın çelik boru hatları üzerindeki etkilerini değerlendirmek ve yeni bir katodik koruma kriteri belirlemek için X65 kalitedeki bir boru hattını temsil eden çelik elektrotlar üzerinde laboratuvar ortamında çeşitli testler yapmışlardır. Boru hattını temsil eden numune üzerinde  $0.5 \text{ cm}^2$  lik alan çıplak bırakılarak üzerine çeşitli akım yoğunluklarında AC akım uygulanmıştır. Uygulanan AC akım yoğunluğu ile beraber katodik koruma gerilim seviyeleri de değiştirilerek numune üzerine uygulanmıştır. Yaptıkları deneylerin sonuçlarında AC enterferansın boru hattı bölgesindeki toprağın pH seviyesini ve iletkenliğini zamanla arttırdığını, bunun da zamanla korozyon riskinde artışa neden olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca çeşitli AC akım yoğunluklarında katodik koruma gerilim seviyeleri değiştirilerek, AC kaynaklı korozyonun engellenebileceğini elektron mikroskobu kullanarak gözlemlemişlerdir. Çalışma sonucunda AC enterferans varlığında korozyonu engellemek için yeni bir katodik koruma kriteri önermişlerdir.

Brenna ve ark. (2013) yılında yapmış olduğu çalışmada kaplama kusurundaki AC akım yoğunluğunun, boru hattı üzerindeki indüklenen AC gerilim ve zemin direnci ile bağlantılı olduğunu ve formülize edilebileceğini söylemişlerdir. Ayrıca aslında katodik bir akımın varlığının, katyonların katodik olarak korunan metale doğru yönelmesine ve metal yüzeyinde meydana gelen katodik reaksiyonlar nedeniyle pH'ın metalin yakınında artmasına neden olduğunu, toprağın içeriğine bağlı olarak pH artışının toprağın özgül direncinde artış veya düşümlere neden olabileceğini söylemiştir.

Tang ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada Katodik Koruma sistemlerinin, DC akım yoğunluğuna bağlı olarak AC korozyonu hafifletebileceğini öngörmüştür. Yaptıkları

laboratuvar çalışmasında AC akım yoğunluğunun  $100 \text{ A/m}^2$  yi geçmediği zamanlarda DC Akım yoğunluğunun artırılarak AC korozyonun hafifletilebileceğini söylemişlerdir.

M'hamed ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada yüksek gerilim güç hattının X70 kalitedeki çelik boru hattı üzerindeki elektromanyetik etkisini ve bu etkileşime neden olan faktörleri incelemiştir. Boru hattı üzerindeki indüklenen gerilimi, iletkenler arasındaki uzaklıklar, topraklama telinin varlığı, iletim hattı ve boru hattı arasındaki ayrılma mesafesi ve paralellik mesafesi için hesaplanmıştır. İndüklenen AC akım yoğunluğu indüklenen gerilime, zemin özgül direncine ve kaplama kusurunun çapına göre hesaplanmıştır. X70 kalitedeki çeliğin elektrokimyasal karakteri alternatif akımları olan ve olmayan simüle edilmiş toprak çözeltilerinde incelenmiştir. Sonuçlar, simüle edilmiş toprak çözeltilerindeki X70 kalite çeliğin AC akım varlığında korozyon derecesinin hızlandığını göstermektedir.

Olesen ve Nielsen (2016) yapmış oldukları çalışmada katodik olarak korunan boru hatlarında EN 15280 standardında belirtilen AC korozyonun araştırılması için kullanılan  $1 \text{ cm}^2$  lik dairesel alanın boru hatlarındaki kaplama kusurlarında teorik olarak ifade edilen şekilde gerçekleşmeyeceğinden; çeşitli yüzey alanlarında, çeşitli geometrilerde, çeşitli kaplama kalınlıklarında, çeşitli katodik koruma gerilim seviyelerinde ve boru hattının çeşitli yerlerinde olabilecek kaplama kusurlarının etkilerini araştırdılar. Laboratuvar ortamında oluşturmuş oldukları deney düzenekleri ile yapmış oldukları testlerin sonucunda AC korozyon oluşma olasılığında en tehlikeli durumun; kaplama kalınlığı düşük, çizik ve gömülü boru hattı üzerinde yönü yukarıya dönük kaplama kusurlarının olduğunu tespit etmişlerdir.

Ding ve Fan (2016) yayınlanan çalışmalarında Q235 kalitedeki DN 20 çapında ve 2.50 mm et kalınlığındaki 3 m uzunluğundaki boruyu deney ve ölçüm noktaları haricinde yalıtkan malzeme ile kaplayıp, toprağı doğadaki şekliyle simüle edebilecekleri bir kutuya yerleştirerek, boru hattı üzerinde çeşitli deneyler gerçekleştirmişlerdir. AC korozyona neden olabilecek sabit bir AC akımın varlığında çeşitli boyutlardaki kaplama kusurlarının, AC enterferans kaynağı ile olan paralellik mesafesinin, AC kaçak akımda meydana gelen artışların ve AC enterferans durumunda katodik koruma gerilim seviyesinde meydana getirilecek artışların Katodik Koruma seviyelerinde meydana getirdiği değişimleri incelemiştir. Yapmış oldukları deneyler sonucunda elde etmiş oldukları verileri grafikler halinde yayımlamışlardır.

Babaghayou ve ark. (2018) yapmış oldukları çalışmada Cezayir'deki API 5L X52 kalitedeki bir boru hattının AC korozyon korunması için katodik koruma sistemine ek olarak geliştirecekleri sistemi sayısal ortamda test etmişlerdir. COMSOL yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen simülasyonda boru hattını temsilen numune, elektrolit ortam, katodik koruma

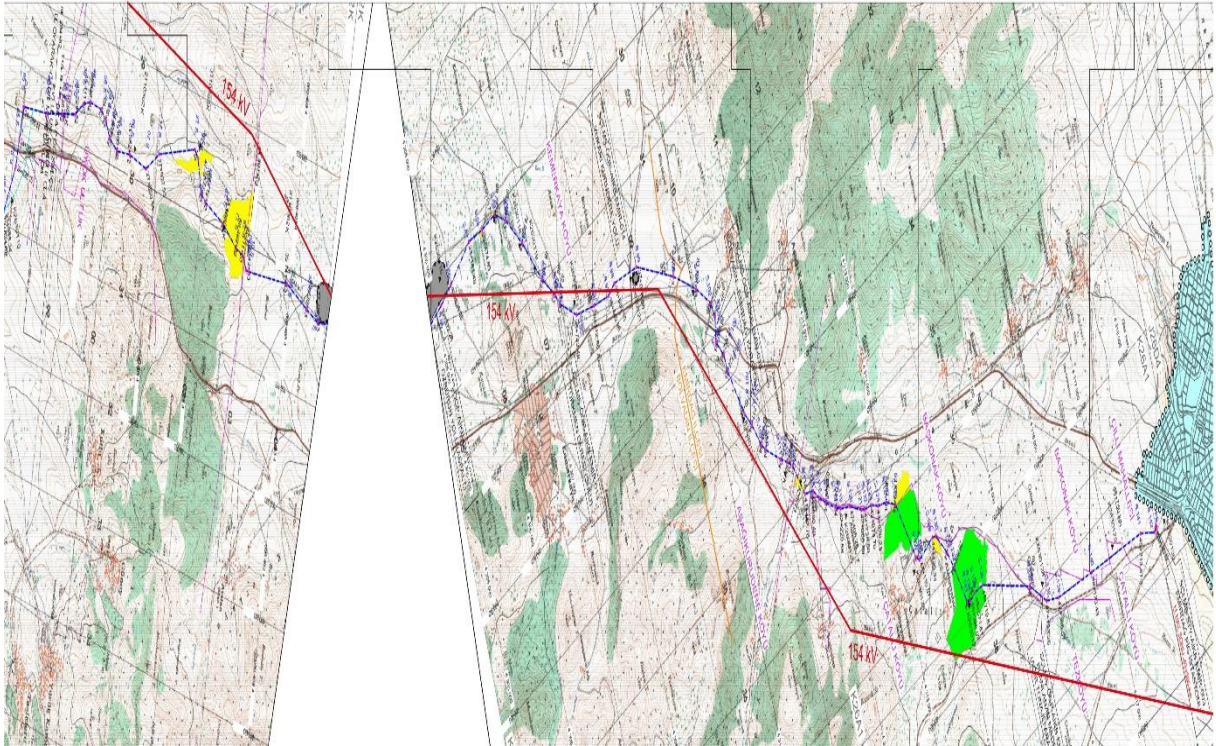
ve AC enterferansı temsilen akım kaynakları ve referans elektrot yazılım programının modülleri aracılığı ile kullanılmıştır. Boru hattını Pourbaix diyagramında bağıklık bölgesinde tutacak olan bir döngü yardımıyla simülasyon programında AC enterferanstan kaynaklanabilecek korozyondan korunmanın mümkün olduğunu göstermişlerdir.

Adedeji ve ark. (2018) Güney Afrika' nın Strydpan sahasında yer alan ve yüksek gerilim hatları ile aynı koridoru paylaşan 1 m çapındaki boru hattının özelinde MATLAB programının grafiksel kullanıcı ara yüzü (GUI) kullanılarak sahada alınan ölçümler ile beraber boru hattı üzerindeki AC korozyon riskini hesaplamışlardır. Hazırladıkları ara yüz programında boru hattı bilgileri (çapı, et kalınlığı, kaplama kalınlığı vb.), yüksek gerilim hattı bilgileri (pilon yükseklikleri, iletkenler arası mesafe, iletim hattı gerilim seviyesi vb.) ve toprak bilgileri (zemin özgül direnci, pH vb.) girilerek program içerisinde kullanılan hesaplama formülleri neticesinde çıktı olarak boru hattında indüklenen gerilim, boru-toprak potansiyeli, AC akım yoğunluğu ve korozyon riski olasılığı alınmıştır. Ayrıca hesaplanan korozyon riski olasılığına göre de AC azaltma yöntemleri de önerilmiştir.

## 5. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, Afyon bölgesindeki 8" çapında, 5.20 mm et kalınlığında, API 5L X46 kalitede ve 3 mm kalınlığında üç katlı PE kaplamalı toplam 49,646.00 metre uzunluğundaki yüksek basınçlı doğalgaz boru hattının yaklaşık 24,600.00 metrelik kısmında AC enterferans etkisinde kalınacağı düşüncesiyle önceden hazırlanan rapor ve teknik şartnamelere göre; katı durumlu polarizasyon hücreleri monte edilerek deşarj noktaları oluşturulmuştur. Yine boru hattı üzerinde TS EN 15280 standardı doğrultusunda oluşturulan kupon ölçüm noktalarından 30 saniye aralıklarla yaklaşık 24 saatlik veri kayıtları yapılmıştır. Bu çalışmada Z- Log 44 veri kayıt cihazı kullanılmıştır. Çalışma sonunda elde edilen ölçüm değerleri EkoLog 4100 arayüzü kullanılarak grafiklere dönüştürülmüştür. İnceleme sonucunda boru hattı üzerinde AC korozyon oluşma ihtimali TS EN 15280 standardı doğrultusunda değerlendirilmiştir.

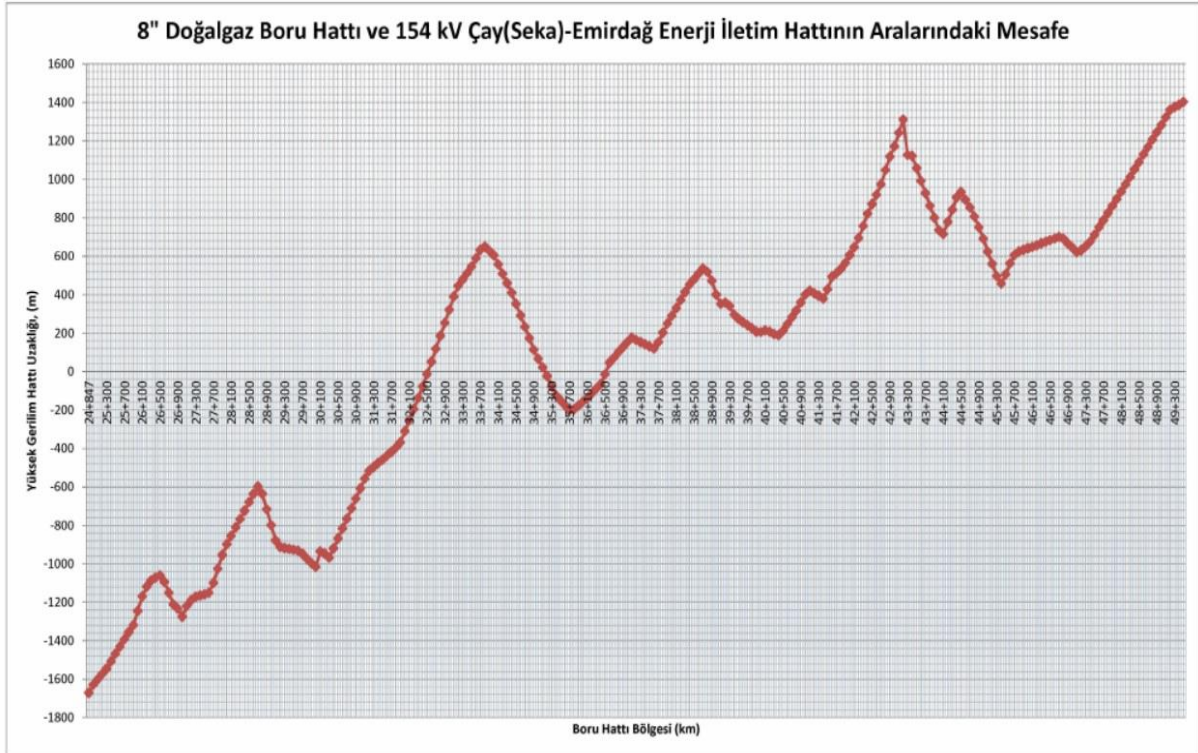
Şekil 5.1’de doğalgaz boru hattı ile 154 kV Çay (Seka)-Emirdağ Enerji İletim hattının birbirlerine göre olan pozisyonları gösterilmektedir. Boru hattına göre yaklaşık Km:24+900’den başlayıp, Km: 49+500’e kadar paralel devam eden ve 3 noktada boru hattı ile kesişen bir güzergâh meydana getirmektedir.



Şekil 5.1. Doğalgaz boru hattının enerji nakil hattından etkilenme ihtimali olan bölge



Şekil 5.2’de ise enerji iletim hattı ile boru hattı arasındaki mesafeler metre cinsinden gösterilmektedir. Yatay eksen boru hattı mesafelerini göstermekteyken, kırmızı grafik ise enerji iletim hattının boru hattına göre uzaklıklarını ve yön değişimlerini göstermektedir.



Şekil 5.2. Doğalgaz boru hattı ile enerji nakil hattının birbirlerine olan mesafesi

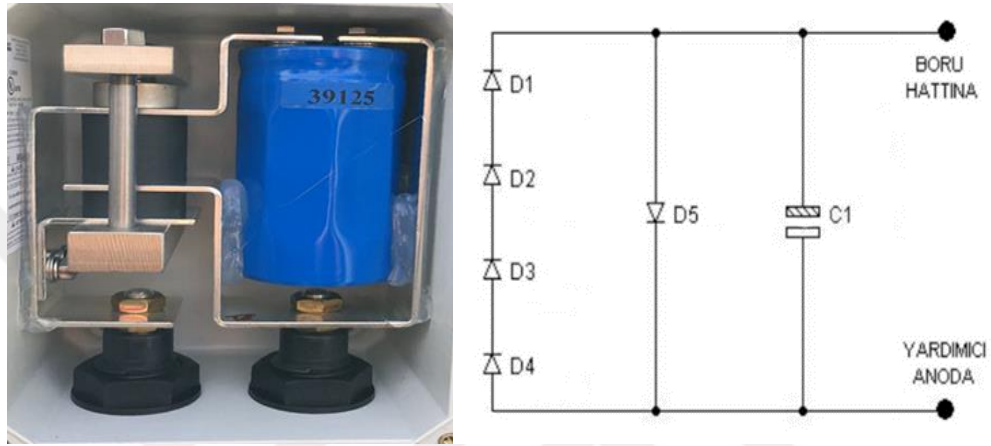
### 5.1. Katı Durumlu Polarizasyon Hücresi (SSPC)

Tez çalışmasına konu boru hattı üzerinde önceden hazırlanan “AC Enterferans raporu” ve “Teknik Şartnameler” doğrultusunda yıldırım akımlarının ve AC indüklenmesinin olabileceği öngörülen noktalara 4 adet SSPC montajı uygun şekilde yapılmıştır. Kullanılan SSPC’lerden 2 adeti 10 kA, 2 adeti ise 650 A hata akımına dayanıklı olarak seçilmiştir.

Boru hattı bölgesinde meydana gelen yıldırımın olayının toprak potansiyelinde artışa neden olması ve artan bu potansiyelin doğrudan boru hattına uygulanması veya yüksek gerilim hatlarının manyetik alan etkileri ile boru hattında indüklenen alternatif akımlar, doğru akıma yüksek ve alternatif akıma düşük empedans gösteren polarizasyon hücreleri marifetiyle boru hattından uzaklaştırılır.

Şekil 5.3’de gösterilen uluslararası standart ve normlarda kabul görmüş ve pratikte kullanımı yaygın olan katı durumlu polarizasyon hücresinde (SSPC); devrede yer alan C1

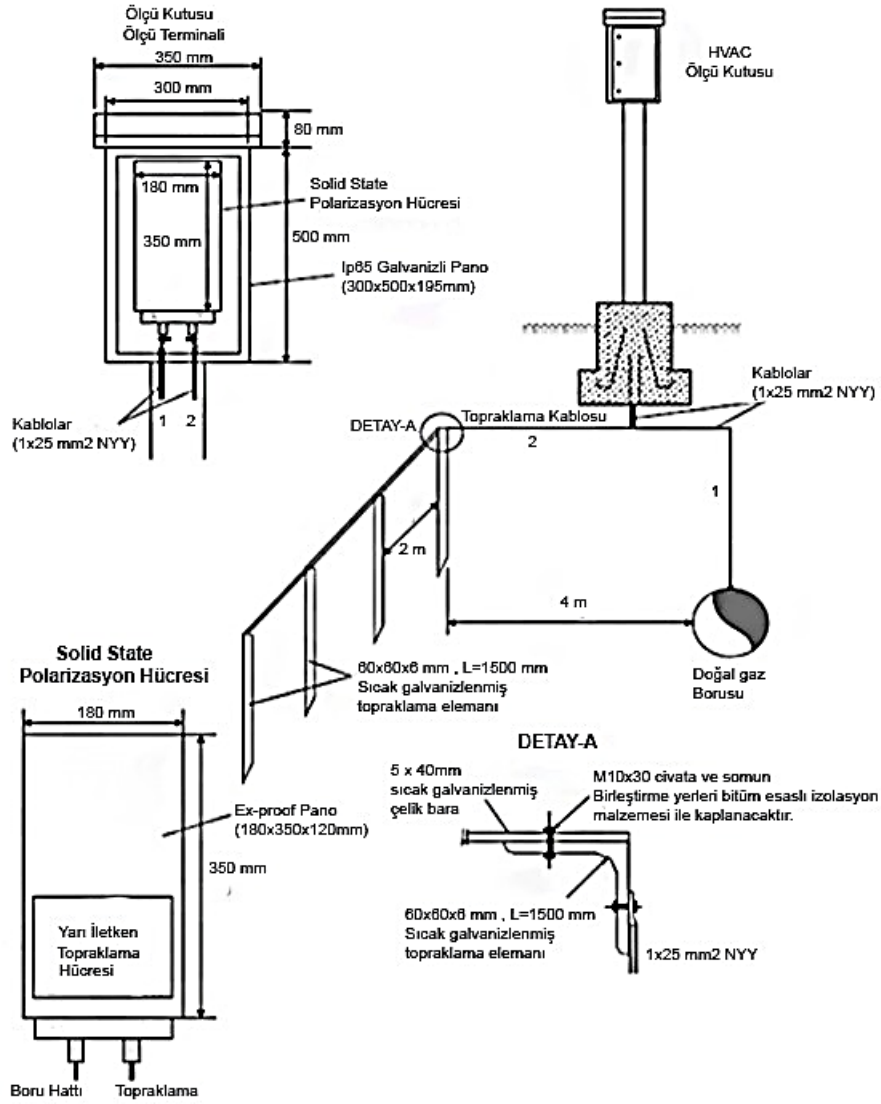
kondansatörü belirli bir empedans meydana getirerek boru hattı üzerindeki meydana gelen alternatif gerilimlerin toprağa aktarılmasını sağlamaktadır. D1, D2, D3 ve D4 diyotları ise boru hattı üzerindeki gerilimleri sınırlayarak koruma geriliminden daha fazla oluşabilecek olan gerilimlerin boru hattından uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Devrede yer alan D5 diyotu ise boru hattı üzerinde meydana gelebilecek olan yıldırım düşmesi durumunda devreye girerek boru hattı geriliminin toprağa göre daha pozitif olmasını engellemektedir.



Şekil 5.3. Katı durumlu polarizasyon hücresi (SSPC)

Katı durumlu polarizasyon hücreleri Şekil 5.4'deki HVAC ölçü kutusu bağlantı tipik çizimlerine uygun olarak boru hattı üzerinde Km: 32+750 (650 A), Km: 35+440 (650 A), Km: 36+500 (10 kA) ve Km: 40+500 (10 kA) noktalarına yerleştirilmiştir.

Seçilen noktalardan; 10 kA'lık SSPC'lerin yerleştirildiği yerler hazırlanan raporda AC indüklenmesinin en fazla olacağı bölgelerde en düşük zemin özgül dirençli yerler olarak seçilmiştir. 650 A'lık SSPC'ler ise boru hattı üzerinde Şekil 5.2'de görüleceği üzere, boru hattı ile enerji nakil hattı arasındaki kesişim bölgelerine rapordan bağımsız olarak yerleştirilmiştir.



Şekil 5.4. HVAC ölçü kutusu bağlantı şeması

## 5.2. Yardımcı Anot

Katı durumlu polarizasyon hücrelerinin çalışabilmesi için Şekil 5.4'den de anlaşılacağı üzere yardımcı anoda yani topraklama elemanlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Topraklama elemanı olarak sıcak daldırma yöntemi ile galvanizlenmiş 60x60x6 mm köşebent ve 1.50 m uzunluğundaki levhalar kullanılmıştır.

Topraklama değeri ise; AC Enterferans raporunda belirtildiği gibi 10 ohm kriterinin altında ve 1  $cm^2$ 'lik kupon veya prob üzerinde yapılan 24 saatlik ölçümler neticesinde 30  $A/m^2$  değerinin de altında olması gerekmektedir.

Şekil 5.5’de görünen topraklama elemanları, boru hattından asgari 4 metre uzaklaştıktan sonra 2 metre aralıklarla birbirlerine paralel olarak bağlanıp monte edilmiştir.

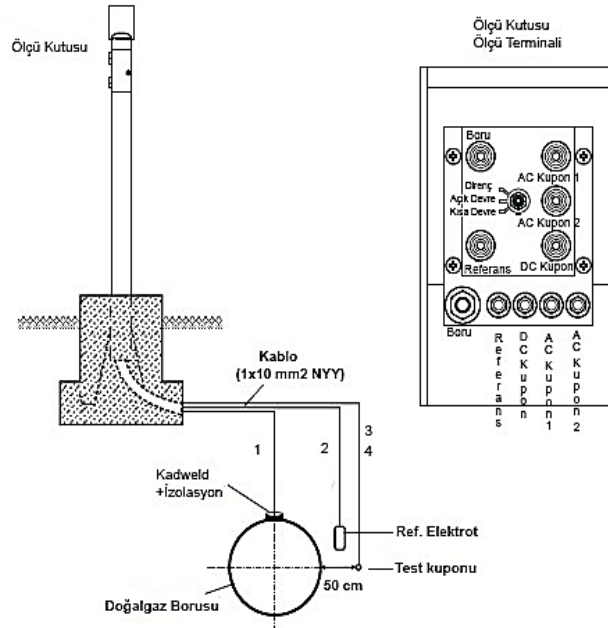


Şekil 5.5. Sıcak daldırma galvanizli topraklama elemanları

### 5.3. Kupon Ölçü Kutusu (CTS)

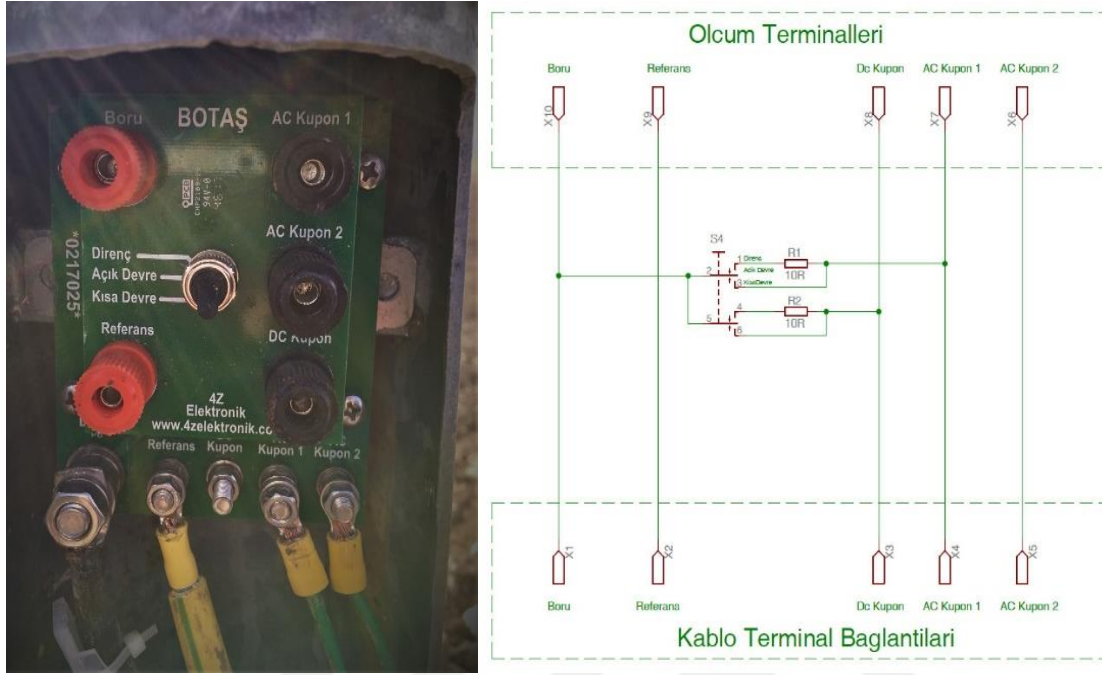
Kupon ölçü kutusu boru hattı üzerindeki AC Enterferans oluşması muhtemel noktalarda, boru üzerindeki akım yoğunlukları ve gerilimlerin ölçülebilmesi için tesis edilen ölçüm noktalarıdır.

Tez çalışmasının gerçekleştirildiği boru hattı üzerinde 10 farklı bölgede 10 adet kupon ölçü kutusu Şekil 5.6’da gösterildiği gibi tesis edilmiştir.



Şekil 5.6. Kupon ölçü kutusu (CTS) tipik çizimi

Şekil 5.6’ daki tipik çizimde yer alan ölçü kutusu ölçü terminali, ölçü kutusu içerisine Şekil 5.7’deki gibi monte edilmiştir.



Şekil 5.7. Ölçü terminali bağlantısı ve devre şeması

Şekil 5.7’deki ölçü terminali üzerinde yer alan 3 konumlu anahtar sayesinde standartları TS 15280 ile belirlenen “Kupon” ile “Boru” arasında aşağıdaki bağlantılar sağlanır.

- 10R ile bağlantı
- Açık Devre
- Kısa Devre

Kupon üzerindeki akımı ölçmek için anahtar “Direnç” konumuna getirilerek “Boru” ve “AC Kupon” terminalleri arasındaki gerilim ölçümü yapılmıştır. Gerilim cinsinden okunan değer daha sonra ohm kanunundan ( $Akım = Gerilim/Direnç$ ) faydalanılarak akım cinsinden değerlendirilmiştir.

#### 5.4. Ölçü Kuponu

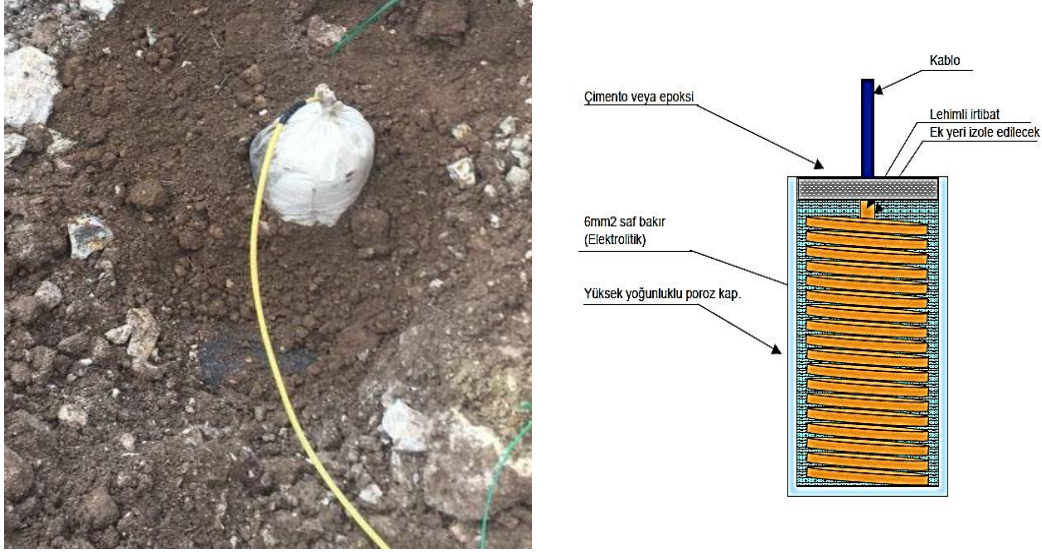
Ölçü kuponu boru hattı üzerindeki kaplama kusurlarını temsil eden ve TS 15280 standartlarına göre yüzey alanı  $1 \text{ cm}^2$  olarak belirlenen, akım yoğunluğunun ölçülebilmesini sağlayan çelikten üretilen malzemedir.



Şekil 5.8. Ölçü kuponu

#### 5.5. Sabit Tip Referans Elektrot

Şekil 5.7'deki ölçüm terminali üzerinden boru hattı üzerinde indüklenen AC gerilim ve katodik koruma sistemi çalışma geriliminin ölçülebilmesi için, Şekil 5.6'daki CTS ölçü kutularının montajlandığı yerlerde Şekil 5.9'da gösterilen sabit tip referans elektrotlar monte edilmiştir.



**Şekil 5.9.** Sabit tip referans elektrot görünümü

Kullanılan sabit tip referans elektrotun temel özellikleri:

Elektrolit: Saf bakır sülfat kristali ( $\text{CuSO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}$ ) min %99.0- Klorür maks %0.005- Azot maks %0.004- Kurşun maks %0.001

Bakır Elektrot: %99.99 saflıkta 12 m boyunda eksiz elektrolitik bakır

Dış Dolgu: TSE 5141 B Tipi Anot Dolgusu (%50 jips + %25 bentonit + %25 sodyum sülfat) yaklaşık 10 kg. (pamuklu torba içine doldurulmuş)

## 5.6. Veri Kayıt Cihazı

Tez çalışmasında kullanılan Z-Log 44, uzun süreli veri toplama gerektiren uygulamalar için tasarlanmış 4 adet galvanik izolasyonlu kanalı ile aynı anda hem AC hem de DC değerleri kaydedebilen bir veri kayıt cihazıdır. Kaydedilen veriler USB bağlantısı ile bilgisayar ortamına aktarılarak, tablo ve grafik üzerinde incelenebilir. LCD ekranı ile tüm kanal ölçümleri, pil ve hafıza durumu izlenebilmektedir.

Yapılan ölçüm çalışmaları esnasında Şekil 5.10'da gösterilen veri kayıt cihazından eş zamanlı olarak 4 adet bağlanarak kayıt işlemi gerçekleştirilmiştir. Ölçümler veri kayıt cihazının A ve C kanalları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan kanallardan alınan ölçümler 30 saniye aralıklarla yaklaşık 24 saat boyunca kaydedilmiştir.



Şekil 5.10. Z-Log 44 veri kayıt cihazı

Çizelge 5.1’de Z Log 44 veri kayıt cihazının teknik özellikleri gösterilmektedir.

Çizelge 5.1. Z-Log 44 veri kayıt cihazının teknik özellikleri

Girişler	İzolasyon	Koruma	Ölçüm Tipi	Ölçüm Sahası		Çözünürlük	Hassasiyet		Filtreleme	Giriş Empedansı
				DC	AC		DC	AC (50 & 60Hz)		
Kanal A	Evet	300V	Eş Zamanlı AC ve DC	±40V	28V	5mV	0.5%+0.1V	2%+0.5V	50&60Hz Notch	-10MΩ
Kanal B	Evet	300V	Eş Zamanlı AC ve DC	±80V	56V	10mV	0.5%+0.1V	2%+0.5V	50&60Hz Notch	-10MΩ
Kanal C	Evet	150V	Eş Zamanlı AC ve DC	±80mV	56mV	10µV	1%+0.1mV	3%+0.5mV	50&60Hz Notch	-200kΩ
Kanal D	Evet	500V	Eş Zamanlı AC ve DC	±160V	110V	20mV	0.5%+0.3V	2%+1V	50&60Hz Notch	-10MΩ
Kayıt Aralığı	1mS - 9999S.									
Hafıza	500.000 Örnek/Kanal, Toplam 4.000.000 örnek kapasitesi									
Hafıza Dayanıklılığı	>100000 Yazma/Silme									
Hafıza veri saklama süresi	>100 Yıl									
Ekran	3x16 karakter LCD Ekran									
Ekran Bilgileri	Her kanal için AC ve DC değerler, Pil durumu, Hafıza durumu, Kayıt veya Bekleme durumu									
Buton	4 Adet									
Çalışma Gerilimi	5-12V DC/8 Adet 1.5V AA Alkaliin Pil									
Çalışma Akımı (Örnekleme)	100mA En fazla									
Çalışma Sıcaklığı	-20 – 55 °C									
Haberleşme	USB									
Ölçüler (Kablo ve konnektörler hariç)	E:55xB:275xY:52mm									
Ağırlık (Piller Dâhil)	~1kg									
IP Koruma	IP65 (Toz ve Su fışkırmalarına karşı korumalı)									



### 5.7. Topraklama Ölçüm Cihazı (Meger)

Boru hattına ait katodik koruma projesinin hazırlanması, boru hattı üzerinde AC girişim oluşup oluşmayacağını hesaplandığı AC enterferans raporu için boru hattı bölgesindeki toprağın zemin özgül direnci ölçümlerinde ve katı durumlu polarizasyon hücresinin yardımcı anodu olan topraklama elemanlarının topraklama direncini ölçmede Şekil 5.11’de gösterilen Geotest 2016 modeli topraklama ölçüm cihazı kullanılmıştır.



Şekil 5.11. Geotest 2016 topraklama ölçüm cihazı

### 5.8. Multimetre

Referans elektrotla birlikte kullanılarak boru hattı üzerindeki katodik koruma sistemine ait DC akım ve gerilim ile AC girişimler neticesinde boru hattı üzerinde meydana gelebilecek olan AC akım ve gerilimleri anlık olarak ölçmek için Şekil 5.12’de gösterilen Fluke 87 V dijital multimetre kullanılmıştır.



Şekil 5.12. Fluke 87 V multimetre

## 6. ÖLÇÜM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Doğalgaz boru hattının yaklaşık Kp: 24+900 noktasından başlayarak yaklaşık KP: 49+500 noktasına kadar 154 kV Çay (Seka)-Emirdağ Enerji İletim hattı ile paralellik ve 3 farklı noktada kesişim yapmış olduğu ve doğalgaz boru hattının yaklaşık 24,600.00 metrelik kısmında AC korozyon oluşma ihtimali değerlendirilmiştir. Bu kapsamda boru hattı üzerinde önceden hazırlanan rapora göre Şekil 5.4’de uygun olarak yerleştirilen HVAC ölçü kutuları ile boru hattı üzerinde biriken AC enterferans etkisi bertaraf edilmeye çalışılmıştır. Yine boru hattı üzerine yerleştirilen CTS ölçü kutuları yardımı ile boru hattı üzerindeki AC enterferans etkisinin değerlendirilmesi için ölçümler alınmıştır. Alınan bütün ölçümler 4 farklı kanaldan hem AC hem de DC olarak kayıt yapabilme yeteneğine sahip olan Z-Log 44 veri kayıt cihazının A ve C kanalları kullanılarak yapılmıştır. Veri kayıt cihazının A kanalından boru hattının bulunduğu çevredeki toprağa göre AC gerilim seviyesi ve boru hattının toprağa göre olan DC gerilim seviyesi yani katodik koruma gerilimi ölçümleri yapılmıştır. C kanalından ise, Şekil 5.8’deki tipik çizimde gösterildiği üzere yerleştirilen 1  $cm^2$ ’lik çelik prob üzerindeki hem AC hem de DC akım yoğunluklarının ölçümleri ölçü kutusu terminali üzerinde yer alan 10 ohm’luk direnç yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

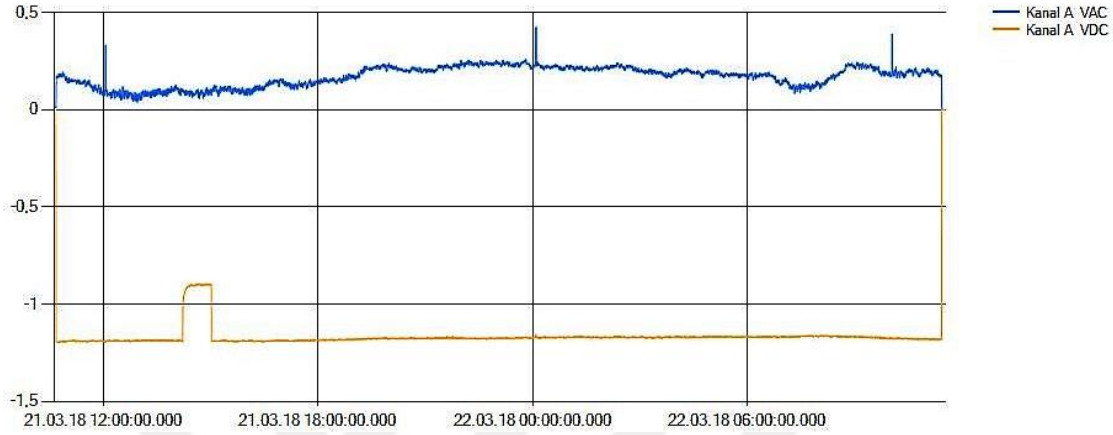
Alınan ölçümler, CTS ölçü kutuları içerisindeki ölçüm terminaline bağlanan veri kayıt cihazı yardımıyla ölçü terminalinde yer alan 10 ohm’luk direnç üzerinden gerilim cinsinden alınmıştır. Ancak Denklem 6.1’den faydalanılarak grafikteki mV (AC) değerleri mA (AC)’ye çevrildiğinde örneğin 10 mV’luk bir değer 1 mA’e karşılık geldiği hesaplanmıştır.

$$V=I \times R \quad (6.1)$$

Korozyon oluşma ihtimalinin değerlendirilebilmesi için 1  $cm^2$ ’lik kupon üzerindeki akım yoğunluğunun  $m^2$ ’deki akım yoğunluğu cinsinden birim dönüşümü yapılması gerektiği anlaşılmıştır. Yine basit bir birim dönüşümü hesabı ile 1 mA/ $cm^2$ ’lik değer 10 A/ $m^2$ ’ye karşılık geldiği hesaplanmıştır. Yani grafik üzerinde yazılı bulunan mV cinsinden ifade edilen değerlerin, A/ $m^2$  birim cinsinden değerlendirilmesinin doğru olacağı anlaşılmıştır.

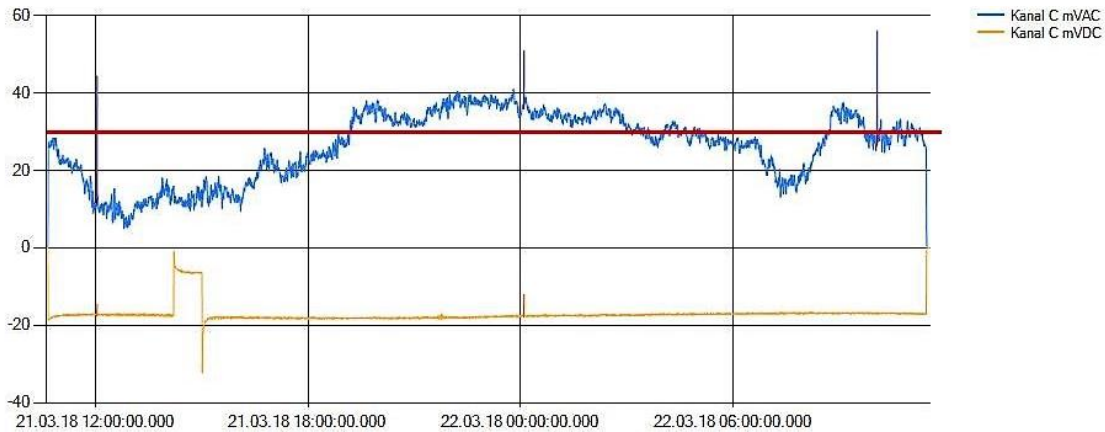
Boru hattı üzerinde belirlenen ölçüm noktalarından ilk olanı, AC enterferans ihtimalinin başlangıç noktası olarak adlandırılan Kp:24+900’e monte edilen CTS-01 ölçü kutusu olarak belirlenerek; Z- Log 44 veri kayıt cihazı yardımıyla yaklaşık 24 saat boyunca 30 saniye aralıklarla 2990 adet ölçüm alınmıştır.

Şekil 6.1’de CTS-01 ölçü kutusu yardımıyla boru hattı üzerinden alınan AC ve DC gerilim seviyeleri gösterilmektedir. Grafikteki mavi çizgi boru hattı üzerindeki AC gerilim seviyesini ifade etmekte iken, kırmızı çizgi ile gösterilen grafik ise boru hattının katodik koruma gerilim seviyesini (DC gerilim) göstermektedir.



Şekil 6.1. CTS-01 ölçü kutusunda boru hattından alınan ölçümler

Şekil 6.2’de ise CTS-01 ölçü kutusuna bağlı kupon üzerinden alınan ölçüm değerleri gösterilmektedir. Grafikteki pozitif değerler kupon üzerindeki AC akım yoğunluğunu  $A/m^2$  cinsinden ifade etmekte olup, TS EN 15208 standardından AC korozyon oluşma eşik değeri olarak belirtilen  $30 A/m^2$  değeri kırmızı çizgi ile gösterilmiştir.



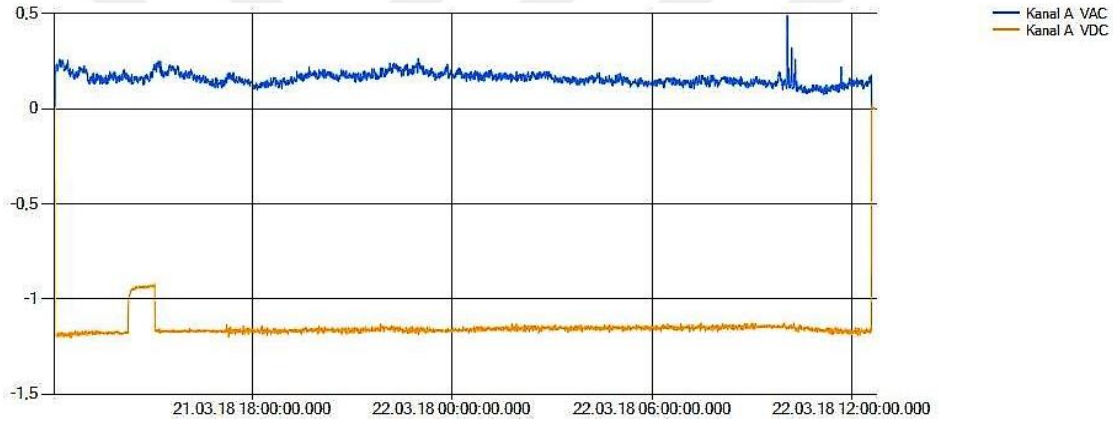
Şekil 6.2. CTS-01 ölçü kutusuna bağlı kupondan alınan ölçümler

Boru hattı güzergahı ile enerji iletim hattı arasında boru hattına göre km: 36+550’de yaşanan kesişimden sonra boru hattı, enterferans ihtimali olan bölgesinin sonuna kadar enerji nakil hattına göre kuzey, kuzey batı yönünde yer almaktadır. Bu kesişim noktasından sonra

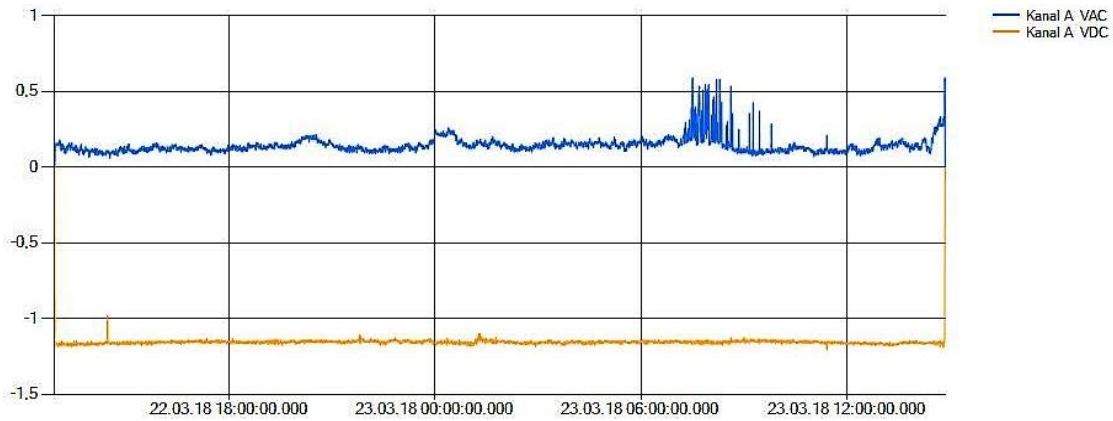
boru hattı ile enerji iletim hattı arasındaki mesafe en az 47 m en çok 1403 m aralığında salınmaktadır.

Sonraki ölçüm noktası olarak bu kesişimden sonraki ilk CTS ölçü kutusu olan Kp:37+915'deki CTS-06 ölçü kutusundan yaklaşık 24 saat boyunca 30 saniye aralıklarla alınan ölçümler 2 kere tekrarlanmıştır. İlk yapılan ölçümde yaklaşık 24 saat boyunca 30 saniye aralıklarla 2958 ölçüm alınmıştır. Yapılan ikinci ölçümde ise yine yaklaşık 24 saat boyunca 30 saniye aralıklarla 3118 ölçüm alınmıştır.

Şekil 6.3'de CTS-06 ölçü kutusuna bağlanan veri kayıt cihazının A kanalından yapılan boru hattı üzerindeki AC ve DC gerilim seviyelerine ait ilk gün ölçümleri gösterilmektedir. Şekil 6.4'de ise CTS-06 ölçü kutusundan aynı yöntem ile alınan ikinci gün ölçümleri gösterilmektedir.

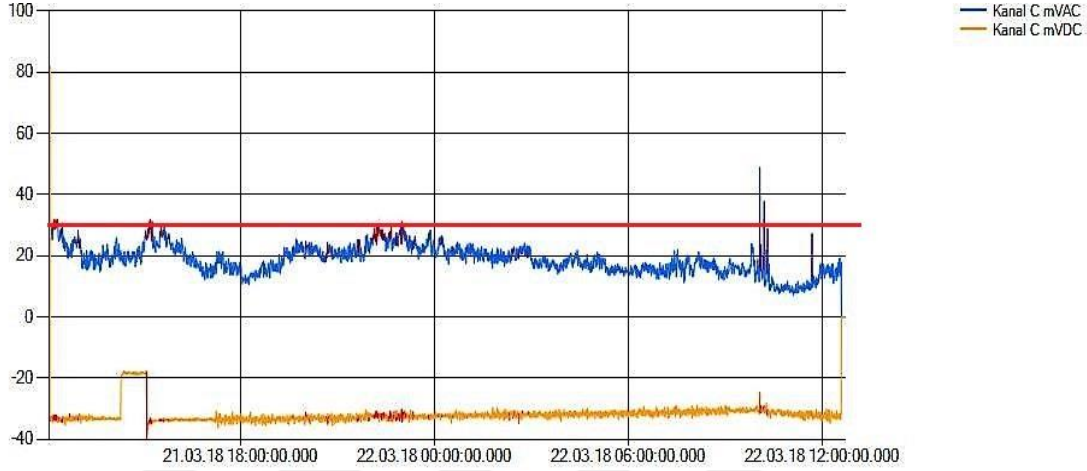


Şekil 6.3. CTS-06 ölçü kutusunda boru hattından alınan ilk gün ölçümleri

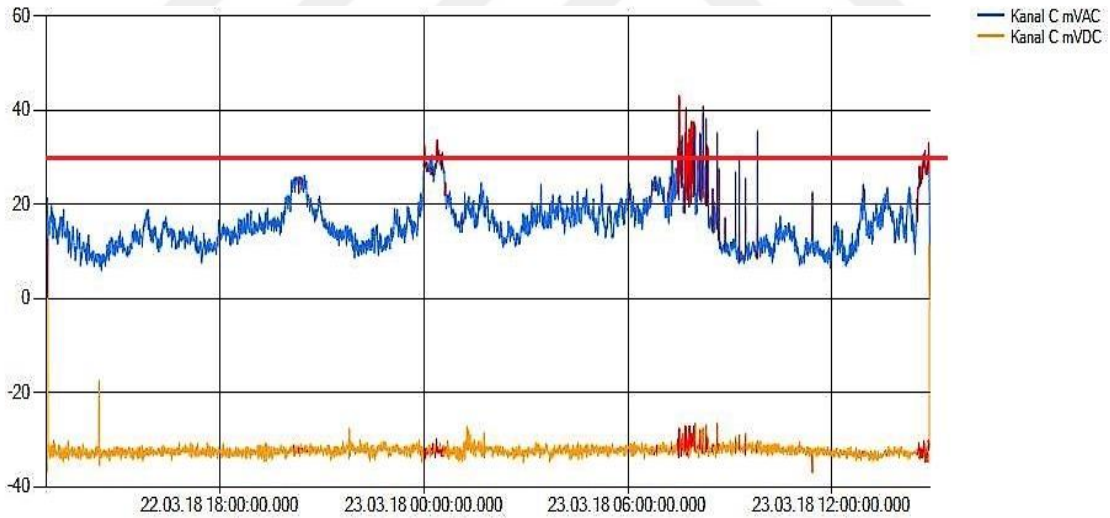


Şekil 6.4. CTS-06 ölçü kutusunda boru hattından alınan ikinci gün ölçümleri

Şekil 6.5’de CTS-06 ölçü kutusuna bağlanan veri kayıt cihazının C kanalı aracılığıyla ölçü kutusuna bağlı kupon üzerindeki AC akım yoğunluğu seviyelerine ait ilk gün ölçümleri gösterilmekte iken, Şekil 6.6’da ise CTS-06 ölçü kutusundan aynı yöntem ile alınan ikinci gün ölçümleri gösterilmektedir.



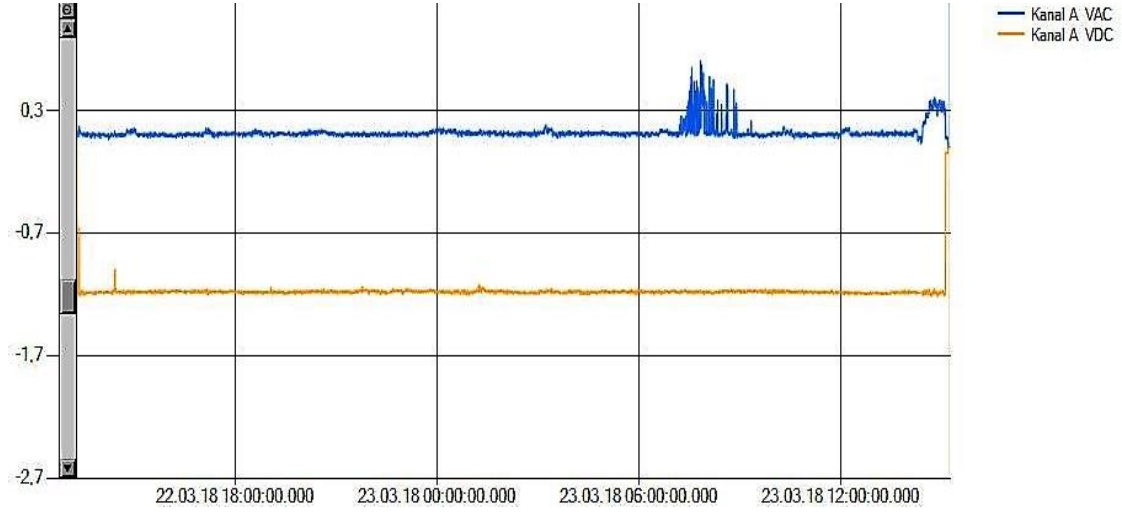
Şekil 6.5. CTS-06 ölçü kutusuna bağlı kupondan alınan ilk gün ölçümleri



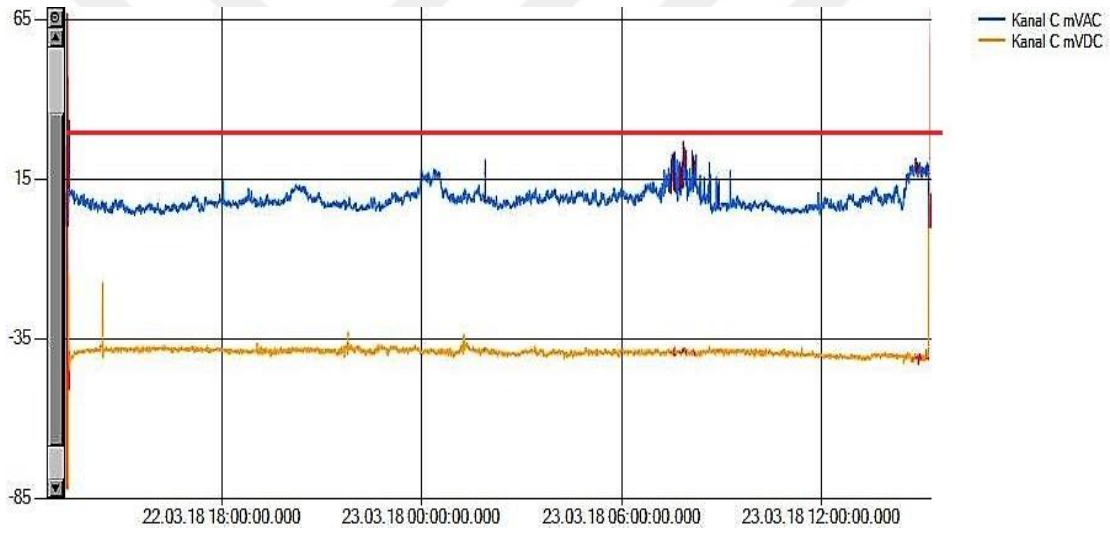
Şekil 6.6. CTS-06 ölçü kutusuna bağlı kupondan alınan ikinci gün ölçümleri

3. ölçüm noktası olarak Kp:39+015’de yer alan CTS-07 ölçü kutusu belirlenerek, yaklaşık 24 saat boyunca 30 saniye aralıklarla 2958 ölçüm alınmıştır.

Şekil 6.7’de CTS-07 ölçü kutusu yardımıyla boru hattı üzerinden alınan AC ve DC gerilim seviyeleri gösterilmektedir. Şekil 6.8’de ise CTS-07 ölçü kutusuna bağlı kupon üzerinden alınan değerler gösterilmektedir.



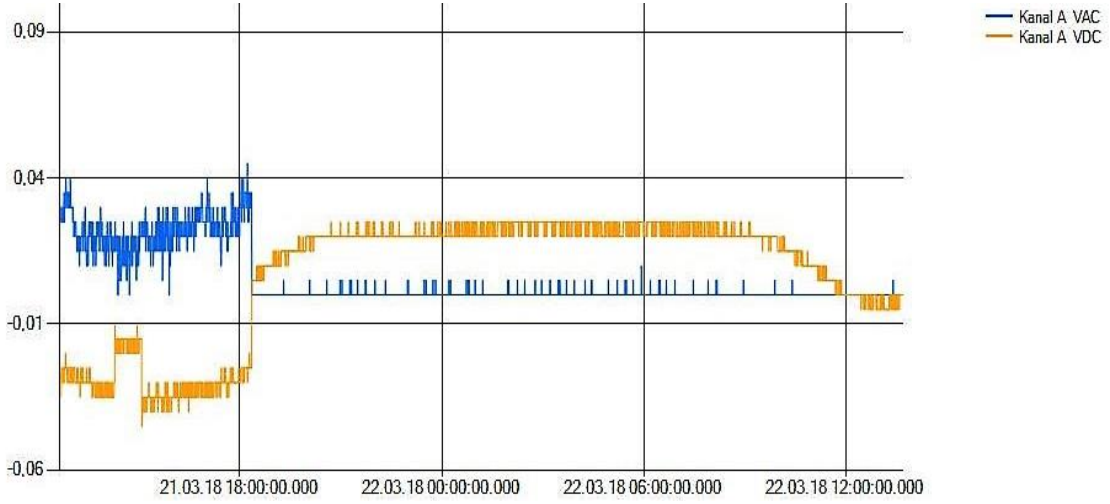
Şekil 6.7. CTS-07 ölçü kutusunda boru hattından alınan ölçümler



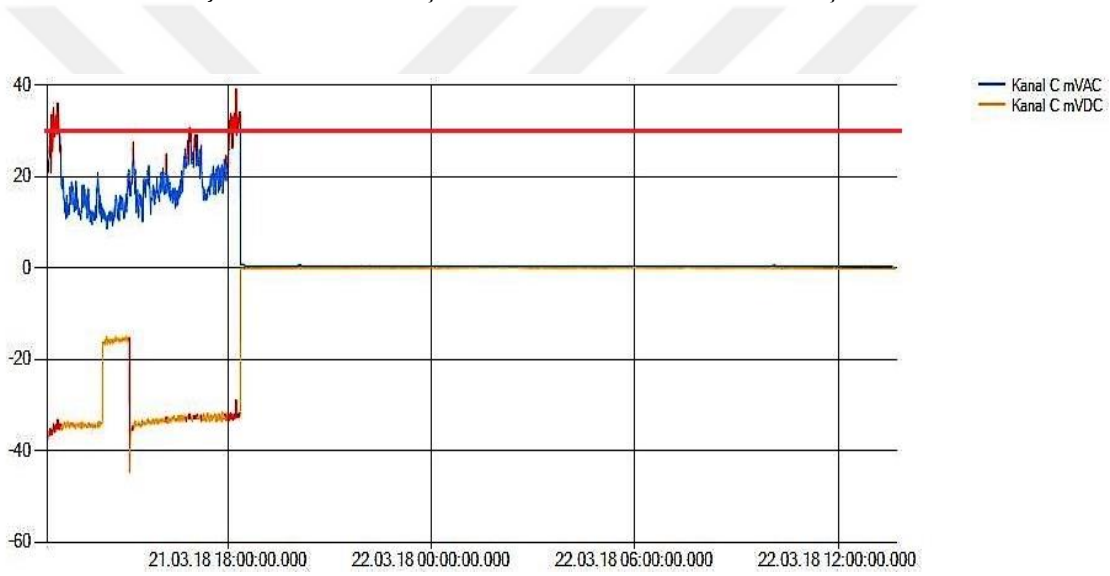
Şekil 6.8. CTS-07 ölçü kutusuna bağlı kupondan alınan ölçümler

4. ölçüm noktası olarak belirlenen Kp:41+455’de yer alan CTS-08 ölçü kutusundan ise yaklaşık 24 saat boyunca 30 saniye aralıklarla 3006 ölçüm alınmıştır.

Şekil 6.9’da CTS-08 ölçü kutusu yardımıyla boru hattı üzerinden alınan AC ve DC gerilim seviyeleri gösterilmektedir. Şekil 6.10’da ise CTS-08 ölçü kutusuna bağlı kupon üzerinden alınan değerler gösterilmektedir.



Şekil 6.9. CTS-08 ölçü kutusunda boru hattından alınan ölçümler

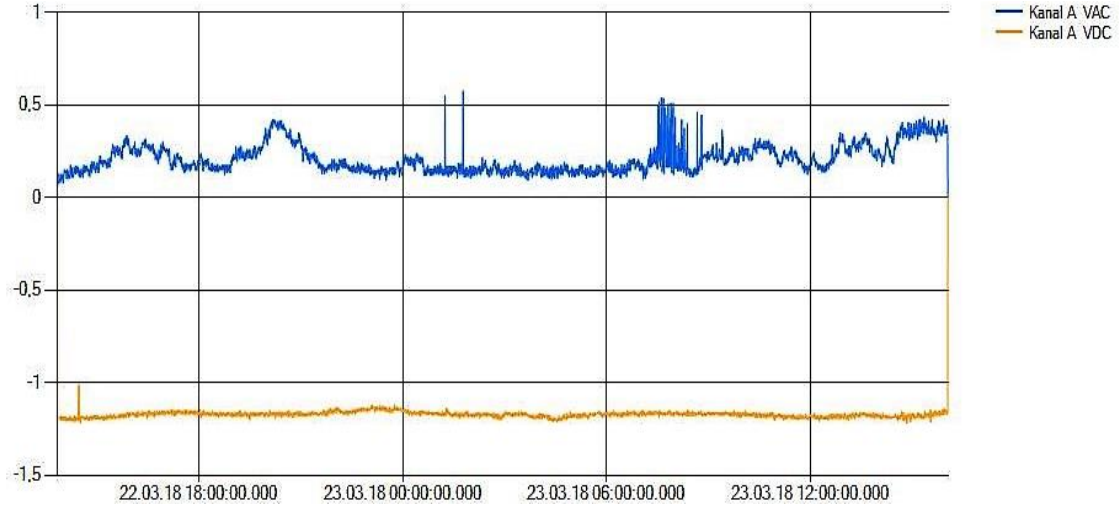


Şekil 6.10. CTS-08 ölçü kutusuna bağlı kupondan alınan ölçümler

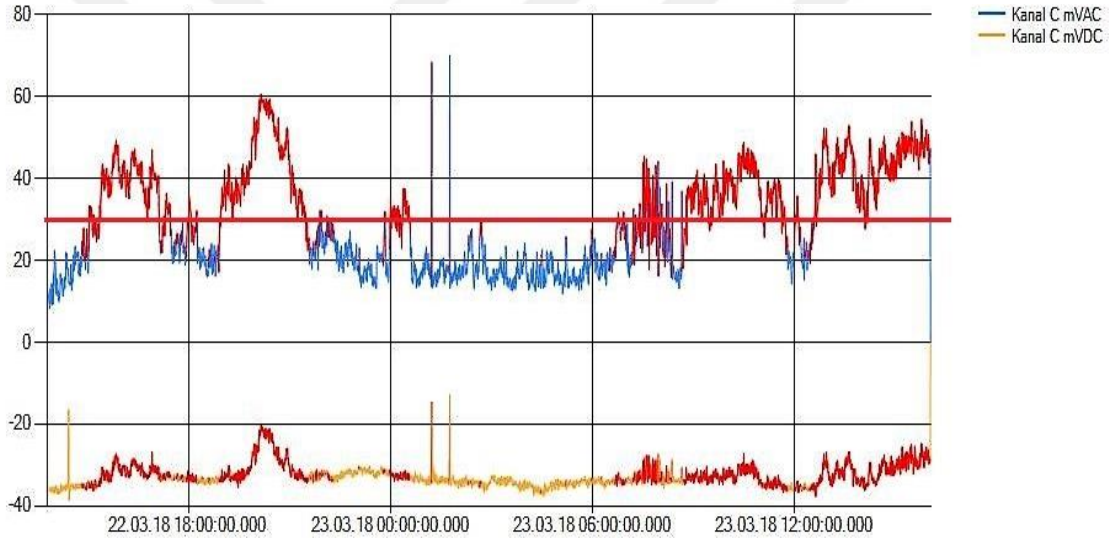
Yapılan ölçümlere ait grafikler değerlendirildiğinde elde edilen sonuçların önceki CTS ölçü kutularından alınan değerlere benzemediği ve ölçümün uzun süreli olduğu düşünüldüğünde herhangi bir nedenden kaynaklanabilecek dış faktörler nedeniyle bir süre sonra ölçüm alınamadığı fark edilmiştir. Bunun üzerine yapılan ölçümler yaklaşık 24 saat boyunca 30 saniye aralıklarla 3150 ölçüm ile tekrar edilmiştir.

Tekrar eden ölçümler neticesinde Şekil 6.11'deki CTS-08 ölçü kutusu yardımıyla boru hattı üzerinden alınan AC ve DC gerilim seviyeleri ve Şekil 6.12'deki ise CTS-08 ölçü kutusuna bağlı kupon üzerinden alınan değerler ile oluşturulmuş grafiklerdir.





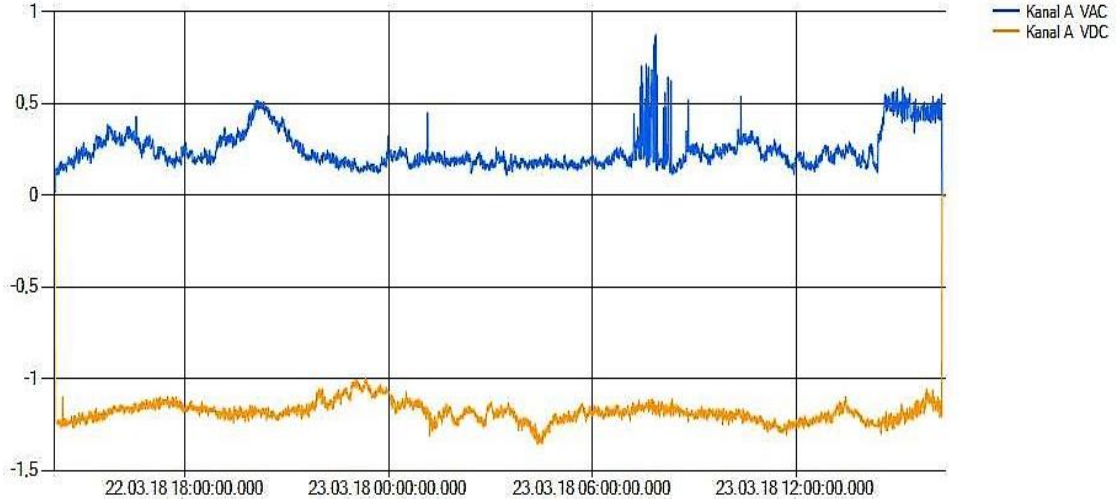
Şekil 6.11. CTS-08 ölçü kutusunda boru hattından tekrar alınan ölçümler



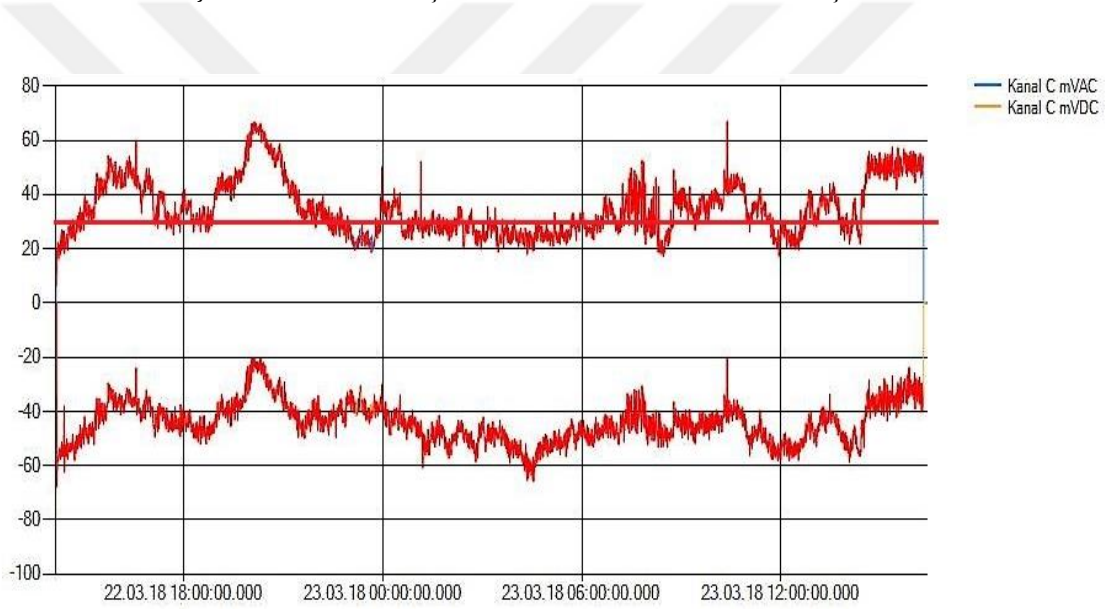
Şekil 6.12. CTS-08 ölçü kutusuna bağlı kupondan tekrar alınan ölçümler

Son ölçüm noktası olarak belirlenen Kp:46+736' de yer alan CTS-09 ölçü kutusundan yaklaşık 24 saat boyunca 30 saniye aralıklarla 3150 ölçüm alınmıştır.

Şekil 6.13'de CTS-09 ölçü kutusu yardımıyla boru hattı üzerinden alınan AC ve DC gerilim seviyeleri gösterilmektedir. Şekil 6.14' de ise CTS-09 ölçü kutusuna bağlı kupon üzerinden alınan değerler gösterilmektedir.



Şekil 6.13. CTS-09 ölçü kutusunda boru hattından alınan ölçümler



Şekil 6.14. CTS-09 ölçü kutusuna bağlı kupondan alınan ölçümler

Yapılan bütün ölçümler, boru hattı üzerinde Km: 22+133'de yer alan LV-01 Hat vanası istasyonunda tesis edilmiş olan dış akım kaynaklı katodik koruma sistemi çalışır vaziyette iken alınmıştır. Katodik koruma sistemine ait redresör ünitesinin çalışma gerilimi olarak -1250 mV belirlenmiştir.

Ayrıca Z-Log 44 veri kayıt cihazı yardımıyla alınan bütün değerler, veri kayıt cihazının kendine özgü Ekolog 4100 arayüz programı ile grafik haline dönüştürülmüştür. Bahsedilen arayüz programı yardımı ile alınan ölçüm değerlerinin tablo halinde incelenmesi de gerçekleştirilmiştir.

Boru hattının enerji nakil hattı ile 3 farklı yerde kesişim gerçekleştirdiği daha önce ifade edilmişti. Veri kayıt cihazı alınan ölçümler AC enterferans riskinin en fazla olduğu bölgelerde yapılmıştır. Boru hattının enerji nakil hattı ile ilk kesişim noktası ile ikinci kesişim noktası arasında kalan CTS-04 ölçü kutusundan ölçü aleti ve sabit tip referans elektrot ile anlık olarak alınan AC akım yoğunluğu değerleri Şekil 6.15’de gösterilmektedir.



Şekil 6.15. CTS-04 ölçü kutusunda alınan anlık değer

Şekil 6.15’de gösterildiği üzere CTS-04 ölçü kutusuna bağlı  $1 \text{ cm}^2$ ’lik kupon üzerinde anlık olarak  $1.83 \text{ mA}$  değeri ölçülmüştür. Yine daha önce açıklandığı üzere  $1.83 \text{ mA/cm}^2$ ’lik değer  $18.3 \text{ A/m}^2$ ’ye karşılık geldiği ve bu değer standartlar gereğince korozyon oluşumuna neden olmayacağı tespit edilmiştir.

Boru hattı ile enerji nakil hattı arasındaki ikinci kesişim noktası ile üçüncü kesişim noktası arasında kalan CTS-05 ölçü kutusundan ölçü aleti ve sabit tip referans elektrot aracılığı ile anlık olarak alınan değer Şekil 6.16’da gösterilmektedir.

Şekil 6.16’dan görüleceği üzere CTS-05 ölçü kutusuna bağlı  $1 \text{ cm}^2$ ’lik kupon üzerinde anlık olarak  $0.10 \text{ mA}$  değeri ölçülmüştür. Yine daha önce açıklandığı üzere  $0.10 \text{ mA/cm}^2$ ’lik değer  $1.00 \text{ A/m}^2$ ’ye karşılık geldiği ve bu değer standartlar gereğince korozyon oluşumuna neden olmayacağı tespit edilmiştir.



Şekil 6.16. CTS-05 ölçü kutusunda alınan anlık değer

Dolayısı ile boru hattı km:32+750'de içerisine 650 A'lık SSPC montajı yapılan HVAC-03 ölçü kutusu yardımıyla boru hattının enerji nakil hattı ile ilk ve ikinci kesişimi arasında kalan kısmında, boru hattı üzerinde biriken alternatif akımın boru hattından uzaklaştırıldığı anlaşılmış olup, uzun süreli ölçüm yapılmasına gerek olmadığı kanaatine varılmıştır.

Benzer şekilde boru hattı km: 35+440'da içerisine 650 A'lık SSPC montajı yapılan HVAC-04 ölçü kutusu yardımıyla boru hattının enerji nakil hattı ile ikinci ve üçüncü kesişimi arasında kalan kısmında, boru hattı üzerinde biriken alternatif akımın boru hattından uzaklaştırıldığı anlaşılmış olup, uzun süreli ölçüm yapılmasına gerek olmadığı kanaatine varılmıştır.

## 7. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER

### 7.1. Sonuçların Değerlendirilmesi

Boru hattı üzerinde enterferans etkilerinin başladığı öngörülen CTS-01 ölçü kutusundan alınan uzun süreli ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde; Şekil 6.1'deki grafikte boru hattı için belirlenen -1250 mV'luk gerilim seviyesinin genel olarak sabit kaldığı ve Şekil 6.2'deki grafikte ise, özellikle enerji ihtiyacının arttığı saat aralıklarında boru hattı üzerinde indüklenen AC akım yoğunluğunun standartlarda belirlenen  $30 \text{ A/m}^2$  değerinin üzerine çıktığı görülmüştür.

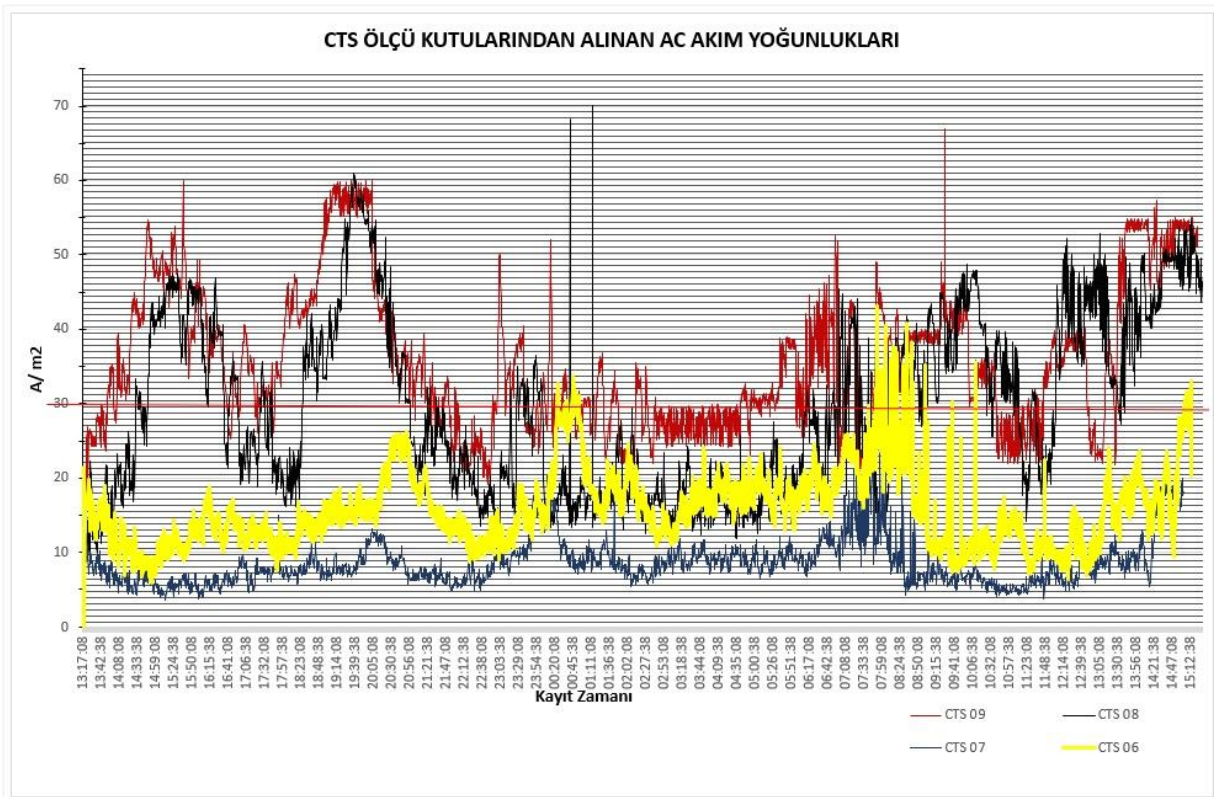
Ölçüm alınan 2. nokta olan CTS-06 ölçü kutusundan 2 gün arka arkaya alınan ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde; Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'te görüldüğü üzere katodik koruma geriliminin her iki grafikte de sabit kaldığı, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da ise AC akım yoğunluğunun ölçüm aralığının çok uzun bir süresinde  $30 \text{ A/m}^2$  değerinin üzerine çıkmadığı tespit edilmiştir.

Ölçüm alınan 3. nokta olan CTS-07 ölçü kutusundan alınan ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde; Şekil 6.7'deki grafikte boru hattı katodik koruma geriliminin sabit kaldığı ve Şekil 6.8'deki grafikte ise AC akım yoğunluğunun  $30 \text{ A/m}^2$  değerinin üzerine hiç çıkmadığı görülmüştür. Enterferans raporunda belirtildiği üzere CTS-07 ölçü kutusundan yaklaşık 1500 m uzaklıkta, km: 40+500'deki HVAC-08 ölçü kutusu içerisinde montajı yapılan 10 kA'lık SSPC'nin indüklenen alternatif akımı toprağa yönlendirebildiği kanaatine varılmıştır.

4. ölçüm noktası CTS-08'den alınan ölçümler değerlendirildiğinde; Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'dan görüldüğü üzere yaklaşık ilk 5 saatlik dilim içerisinde alınan veriler hakkında az da olsa bir yorum yapılmakta iken geri kalan yaklaşık 19 saatlik zaman dilimi içerisinde alınan ölçümlere herhangi bir anlam verilememiştir. Bunun üzerine aynı ölçü noktasından tekrar ölçüm alınarak, elde edilecek olan ölçüm sonuçları ile mevcut ölçüm sonuçları mukayese edilerek bir sonuç elde edilmesine karar verilmiştir. Bu düşünce üzerine CTS-08 ölçü kutusundan alınan ölçümler tekrar edilmiştir. 2. gün ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde ise; Şekil 6.11'den görüleceği üzere katodik koruma gerilim seviyesinin sabit kaldığı ve Şekil 6.12'den görüleceği üzere ise AC akım yoğunluğunun  $30 \text{ A/m}^2$  değerinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Yapılan ilk gün ölçümleri ile mukayese edildiğinde ise; ilk ölçümlerinde elde edilen anlamsız değerlerin, ölçüm esnasında belirlenemeyen herhangi bir sebepten dolayı

ölçüm alınan referans elektrot ve kupon ile olan bağlantısının kesildiği ve bu yüzden herhangi bir değer okunamadığı kanaatine varılmıştır.

Son ölçüm noktası CTS-09 ölçü kutusundan alınan ölçümler değerlendirildiğinde ise; ölçüm alınan diğer CTS ölçü kutularının aksine bu ölçü kutusunda Şekil 6.13’de görüldüğü gibi katodik koruma geriliminin dalgalı bir seyir izlediği ve Şekil 6.14’den anlaşılacağı üzere AC akım yoğunluğunun  $30 A/m^2$  değerinin üzerinde olduğu görülmüştür. AC akım yoğunluğundaki dalgalanmayı takip eden bir dalgalanmanın katodik koruma gerilim seviyesinde yaşandığı da gözlemlenmiştir.



Şekil 7.1. CTS ölçü kutularında alınan alternatif akım yoğunluğu değerleri

Şekil 7.1’ de ölçüm alınan CTS 06, CTS 07, CTS 08 ve CTS 09 ölçü kutusundan alınan alternatif akım yoğunlukları aynı grafik üzerinde gösterilmektedir. Grafik üzerinde kırmızı renk ile gösterilen değerler CTS 09 ölçü kutusundan ölçülen alternatif akım yoğunluklarıdır. Siyah renk ile gösterilen değerler ise CTS 08 ölçü kutusundan ölçülen alternatif akım yoğunluklarıdır. Elde edilen bu veriler incelendiğinde kayıt alınan zaman aralığının büyük bölümünde TS 15280 standardında AC korozyon oluşması muhtemel olarak belirtilen  $30 A/m^2$  değerinin üzerinde olduğu görülecektir.

Her CTS ölçü kutusuna ait alınan ölçüm sonuçları toplanarak toplam ölçüm sayısına bölündüğünde ortalama akım yoğunluğunun hesaplanabileceği düşünülmüştür. Yapılan hesaplamalar neticesince CTS 09 ölçü kutusunda ortalama akım yoğunluğunun  $35.78 \text{ A/m}^2$ , CTS 08 ölçü kutusunda ortalama akım yoğunluğunun  $29.72 \text{ A/m}^2$ , CTS 07 ölçü kutusunda ortalama akım yoğunluğunun  $8.64 \text{ A/m}^2$  ve CTS 06 ölçü kutusunda ortalama akım yoğunluğunun  $15.88 \text{ A/m}^2$  değerinde olduğu bulunmuştur.

Hesaplanan ortalama akım yoğunlukları elde edilen grafikler ile benzer sonuçlar içermektedir. Ancak CTS ölçü kutularının boru hattı üzerinde buldukları yerler arasında veri kayıt cihazı bağlanması için geçen zaman nedeniyle %100 olarak aynı zaman aralığı içerisinde veri alınmadığından, hesaplanan ortalama akım yoğunluğunun tamamen gerçek değerler olduğu söylenememektedir.

Ancak boru hattı ile enerji nakil hattı arasındaki paralellik mesafesi uzadıkça, boru hattı üzerindeki enterferans etkilerinin arttığı hem Şekil 7.1'deki grafikte hem de hesaplanan ortalama akım yoğunluğunda açıkça görülmektedir.

Akım yoğunluğunun standartlarda belirlenen kriterin üzerinde olması ve AC korozyon oluşma ihtimalinin ortaya çıkmasından sonra NACE SP0177 standardında bir başka parametre olan zemin özgül direncine dair yorum yapılması gerekmiştir. AC enterferans gerçekleşmesi muhtemel olan boru hattının bu bölgesinde daha önceden 100 m aralıklarla yapılan zemin özgül direnci ölçümleri değerlendirilmiştir. Wenner yöntemiyle gerçekleştirilen zemin özgül direnci ölçümlerine göre bu bölgenin; en yüksek  $425.38 \text{ ohm}\cdot\text{m}$ , en düşük  $31.15 \text{ ohm}\cdot\text{m}$  olmak üzere ortalama  $116.50 \text{ ohm}\cdot\text{m}$  zemin özgül direncine sahip olduğu görülmüştür.

TS EN 15280 standardında ise boru hattının bu bölgesinin zemin özgül direnci bakımından da orta derecede korozyon riski taşıdığı anlaşılmıştır. Ayrıca Şekil 6.6 ve Şekil 6.14'deki grafikler mukayese edildiğinde boru hattı üzerindeki AC akım yoğunluğu ve gerilim seviyelerindeki artışın özellikle Şekil 6.14'de görüldüğü üzere, katodik koruma gerilim seviyesinde de dalgalanmalar yaşanmasına sebebiyet verdiği anlaşılmaktadır.

Yapılan ölçümler ve ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi neticesinde, önceden hazırlanan AC enterferans raporunda boru hattı üzerinde 2 farklı bölgede km:36+500 ve km:40+500'de olmak üzere 2 adet 10 kA'lık SSPC bağlantısı ile AC enterferansın engellenebileceği öngörülmesine rağmen, bahse konu tedbirlere ilave olarak km:32+750 ve km:35+440'da 2 adet 650 A'lık SSPC ile tedbir alınması durumunda bile halen boru hattı üzerinde orta derecede AC korozyon riski olduğu tespit edilmiştir.

## 7.2. Öneriler

Boru hattı üzerindeki AC korozyon riskine karşılık boru hattı üzerinde ilave tedbirler uygulanması önerilmiştir. Boru hattı üzerinde CTS-06 ölçü kutusunun bulunduğu km: 37+915, CTS-08 ölçü kutusunun bulunduğu km:41+455, CTS-09 ölçü kutusunun bulunduğu km:46+715 ve km:47+405'de olmak üzere toplam 4 adet 650 A'lik SSPC monte edilmiştir. Yapılan anlık ölçümler sonucunda boru hattı üzerinde indüklenen AC akım yoğunluğunun  $30 \text{ A/m}^2$  değerinin altında yer aldığı ve AC korozyon riskinin ortadan kalktığı kanaatine varılmıştır.

İlave tedbirler neticesinde alınan ölçümler zaman yetersizliği nedeniyle anlık olarak alınabilmiştir. AC korozyon riskinin kesin olarak bertaraf edildiğinden emin olunması için tekrar veri kayıt cihazları bağlanarak uzun dönemli ölçüm yapılması elbette faydalı olacaktır.

Bölüm 7.1'de ortalama akım yoğunluklarının kabaca bir hesaplama ile yapıldığı anlatılmıştır. Ortalama akım yoğunluğunu hesaplayabilmek için daha uzun süreli ve tamamen aynı zaman dilimleri içerisinde ölçüm yapılmasının daha kesin sonuçlar elde edilmesinde faydalı olabileceği kanaatine varılmıştır.

Bu çalışma kapsamında kullanılan tamamen yerli üretim olan veri kayıt cihazı olan Z-Log 44'ün ölçüm aralığının genişletilerek daha geniş bir aralıkta ölçüm yapılmasının daha net sonuçlar alınması açısından faydalı olacağı ve ölçüm esnasında dış faktörlerden etkilenmemesi için ölçü terminaline daha sıkı bağlantı yapılması gerektiği anlaşılmıştır. Ayrıca veri kayıt cihazına ait arayüz programı olan Ekolog 4100 arayüzünde alınan ölçümlerin grafik ve tablo şeklinde incelenmesi esnasında zorluk yaşandığı ve bu arayüz programının da geliştirilmesi gerektiği anlaşılmıştır.



## KAYNAKLAR

- Adedeji, K. B., Ponnle, A. A., Abe, B. T., Adisa A. Jimoh, Abu-Mahfouz, A. M. ve Hamam, Y., 2018, GUI-Based AC Induced Corrosion Monitoring for Buried Pipelines near HVTLs, *Engineering Letters*, 26 (4), 489-497.
- Babaghayou, F., Zegnini, B. ve Tahar, S., 2018, Numerical study and remediation of ac interference corrosion on neighbouring pipelines, *Journal of Engineering Science and Technology*, 13 (7), 2047-2064.
- Bıyık, G., 2013, Katodik Koruma Sistemleri, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*.
- Brenna, A., 2012, A proposal of AC corrosion mechanism of carbon steel in cathodic protection condition, Ph.D. Thesis, *Polytechnic of Milan, Department of Chemistry, Materials and Chemical Engineering*.
- Brenna, A., Ormellese, M. ve Lazzari, L., 2013, A Proposal of AC Corrosion Mechanism of Carbon Steel in Cathodic Protection Condition, *National Assoc. of Corrosion Engineers International*, 2013, 15.
- Budnik, K. ve Machczyński, W., 2009, AC corrosion computer simulation as an element of pipeline system integrity process, *24th World Gas Conference*, 4, 2920-2929.
- Ding, Q. M. ve Fan, Y. M., 2016, Experimental Study on the Influence of AC Stray Current on the Cathodic Protection of Buried Pipe, *International Journal of Corrosion*.
- Fu, A. Q. ve Cheng, Y. F., 2012, Effect of alternating current on corrosion and effectiveness of cathodic protection of pipelines, *Canadian Metallurgical Quarterly*, 51 (1), 81-90.
- Jackuet, B., Allen, G., Arkinstall, L. N., Blanchet, L., Britten, A. C., Brasil, D. O. C. d., Rocca, A. D., Dörnemann, C., Kouteynikoff, P., Öhlin, H. G., Palu, C., Paul, H. U., Platowicz, A., Poirson, B., Rochereau, H., Solbiati, G. L. ve Thorson, J. M., 1995, Guide on the influence of high voltage AC power systems on metallic pipelines- Electromagnetic Compatibility with telecommunication circuits, low voltage networks and metallic structures, *CIGRE (International Council on Large Electric System), Working Group 36.02*, 145.
- Juhlin, L.-E., Bräunlich, R., Diesendorf, J., Gregoor, R., Lucca, G., Öhlin, H.-G., Rajotte, Y., Siew, W. H. ve Thomas, D., 2006, AC Corrosion On Metallic Pipelines Due To Interference From AC Power Lines-Phenomenon, Modelling And Countermeasures, *CIGRE (International Council on Large Electric System), Joint Working Group C4.2.02*, 110.
- M'hamed, O., Omar, T. ve Rachid, I., 2016, Diagnosis of AC corrosion on the buried pipeline due to the high voltage power line, *Journal of Electrical Engineering*, 16 (2), 83-88.
- Metin, E., 2007, Katodik Koruma Sistemleri, Yeni Uygulamalar ve Ekonomik Analiz, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*.
- Mumyalmaz, B., Ünsal, A. ve Tunaboşlu, N. S., 2004, Elektrikli Demiryollarında Enerji Kalitesi Problemleri ve Çözüm Önerileri, *International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, 5.
- NACE\_SP0177, 2007, Mitigation of Alternating Current and Lightning Effects on Metallic Structures and Corrosion Control Systems. National Assoc. of Corrosion Engineers International: 22.
- Nielsen, L. V. ve Cohn, P., 2000, AC-Corrosion and Electrical Equivalent Diagrams, *Committee on the Study of Pipe Corrosion and Protection (CeoCor)*, 20.

- Nielsen, L. V. ve Galsgaard, F., 2005, Sensor technology for on-line monitoring of AC induced corrosion along pipelines, *National Assoc. of Corrosion Engineers International*, 2005, 12.
- Olesen, A. J. ve Nielsen, L. V., 2016, Effect of coating fault geometry and orientation in AC corrosion of buried pipelines, *Commitee on the Study of Pipe Corrosion and Protection (CeoCor)*, 2016, 13.
- Tang, D., Lu, M., Du, Y., Jiang, Z. ve Dong, L., 2014, Study on CP criteria for mild steel in the presence of AC interference, *National Assoc. of Corrosion Engineers International*, 12.
- TS\_EN\_15280, 2014, Evaluation of a.c. corrosion likelihood of buried pipelines applicable to cathodically protected pipelines. Türk Standartları Enstitüsü. 02: 38.
- Wakelin, R. G., Gummow, R. A. ve Segall, S. M., 1998, AC corrosion - Case histories, test procedures, & mitigation, *National Assoc. of Corrosion Engineers International*, 14.
- Yalçın, H. ve Koç, T., 1999, Katodik Koruma, p. 356.



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Emre KARATAŞ  
**Uyruğu** : TC  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Beypazarı 1987  
**Telefon** : +90(555) 716 58 60  
**Faks** : --  
**e-mail** : emre.06.karatas@gmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Mamak Anadolu Lisesi	2005
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği	2010
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik- Elektronik Mühendisliği ABD	Devam ediyor
Doktora	:	

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2011-2012	Özgürler Trafik İşaretleri A.Ş.	Saha Mühendisi
2012-	BOTAŞ (Boru Hatları ile Petrol Taşıma A.Ş.)	Başmühendis

### UZMANLIK ALANI

Boru Hattı, Katodik Koruma, AC Enterferans, AC Korozyon

### YABANCI DİLLER

İngilizce

### YAYINLAR

Emre Karataş, Levent Seyfi, Afyon Bölgesinde Yer Alan Doğalgaz Boru Hattı Üzerindeki AC Enterferans Seviyelerinin Ölçülmesi ve AC Korozyon İhtimalinin Değerlendirilmesi, *2nd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies (ISAS 2018)*, Samsun, Turkey, Nov 30- Dec 2, 2018 (Yüksek Lisans Tezinden yapılmıştır).