

**EREĞLİ YÜKSEK BASINÇ DOĞALGAZ BORU HATTININ  
KATODİK KORUMA SİSTEMİNİN DEĞİŞİK ANOT  
MATERYALLERİ KULLANILARAK OPTİMİZASYONU**

**Fatih Mehmet BÖLÜK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EYLÜL 2006**

**ANKARA**

Fatih Mehmet BÖLÜK tarafından hazırlanan EREĞLİ YÜKSEK BASINÇ DOĞALGAZ BORU HATTININ KATODİK KORUMA SİSTEMİNİN DEĞİŞİK ANOT MATERYALLERİ KULLANILARAK OPTİMİZASYONU adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr.Niyazi Alper TAPAN  
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof.Dr. Deniz ÜNER\_\_\_\_\_

Üye : Dr. Niyazi Alper TAPAN\_\_\_\_\_

Üye : Prof.Dr. Suna BALCI\_\_\_\_\_

Üye : Yrd.Doç.Dr. Nuray OKTAR\_\_\_\_\_

Üye : Yrd.Doç.Dr. Meltem DOĞAN\_\_\_\_\_

Tarih : 22/09 / 2006

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Fatih Mehmet BÖLÜK

**EREĞLİ YÜKSEK BASINÇ DOĞALGAZ BORU HATTININ  
KATODİK KORUMA SİSTEMİNİN DEĞİŞİK ANOT MATERYALLERİ  
KULLANILARAK OPTİMİZASYONU**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Fatih Mehmet BÖLÜK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Eylül 2006**

**ÖZET**

Doğal bir olay olan korozyon, malzemenin çevre ile etkileşimi sonucu aşınması olarak tanımlanır. Katodik koruma, korozyonu önlemede uygulanan en etkili yöntemlerden biridir. Katodik koruma sistemleri genel olarak, yapıyı korumak için gerekli akım ihtiyacı saptandıktan sonra, anot çeşit ve konfigürasyonu geliştirilerek dizayn edilmektedir. Yeraltı doğalgaz boru hatlarında katodik korumanın önemi çok büyüktür bunun nedeni katodik korumanın korozyonu kesin olarak önlemesidir. Bu çalışmada Ereğli Yüksek Basınç Doğalgaz boru hattında, yapılan arazi inceleme ve toprak rezistivitesi ölçümleri kullanılarak dış akım kaynaklı katodik koruma sistemi tasarlanmıştır. Katodik koruma uygulamalarında kullanılan dört farklı anot tipi ( karma metal oksit kaplı titanyum anot, demir silikon anot, grafit anot ve platin kaplı titanyum anot) anot kütle kaybı, anot akım verimi ve anot boyutları kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda karşılaştırılarak, Ereğli branşmanında kullanılacak en uygun anodun seçimi yapılmaya çalışılmıştır. Çalışma sonucunda bütün anot yatağı dirençleri 0,93 ohm ile 0,99 ohm aralığında çıkmıştır. Elde edilen anot yatağı dirençleri yeterlidir. Toplam anot sayıları bakımından grafit anotlar 37 adet anot sayısı ile en fazla, demir silikon anotlar ise 31 adet anot sayısı ile en az anot tesis edilmesini gerektiren anot çeşididir. Karma metal oksit kaplı titanyum anotlar 32 anot, platin kaplı titanyum anotlar

ise 33 adet anot gerektirmektedir. Anot yatağı direnci ve gerekli anot sayıları bakımından, grafit anot hariç diğer anot çeşitleri arasında belirgin bir fark olmadığı tespit edilmiştir. Bu benzerliğe rağmen, akım kapasiteleri ve kütle kayıpları bakımından çalışmada kullanılan anot materyalleri büyük farklılıklar göstermektedirler. Karma metal oksit kaplı titanyum anotların akım kapasiteleri diğer anotlar arasında en yüksek, kütle kayıpları ise en düşük değerdedir. Ayrıca bu anotların her türlü ortamda rahatlıkla kullanma kolaylığı ve işletme sırasında pasifleşme göstermemeleri bakımından en uygun anot tipi olduğuna karar verilmiştir.

**Bilim Kodu** : 912  
**Anahtar Kelimeler** : Korozyon, katodik koruma, anot, metal oksit  
**Sayfa Adedi** : 79  
**Tez Yöneticisi** : Dr. N. Alper TAPAN

**OPTIMIZATION OF EREGLI HIGH PRESSURE NATURAL GAS PIPE  
LINE CATHODIC PROTECTION SYSTEM BY USING DIFFERENT  
ANODE MATERIALS**

**(M.Sc. Thesis)**

**Fatih Mehmet BOLUK**

**GAZİ UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY  
September 2006**

**ABSTRACT**

**Corrosion is a natural phenomena which can be defined as the deformation of a material due to the interaction with its environment. Cathodic protection is one of the most effective methods to prevent corrosion. Cathodic protection system designs are generally based on the determination of the current required to protect the targetted structure by changing anode type and configuration. Cathodic protection can also prevent corrosion completely in underground natural gas pipeline systems. In this study, an impressed current cathodic protection system design was carried out on the Ereğli High Pressure Natural Gas Pipeline. In order to design the cathodic protection system, site survey and soil resistivity measurements along the pipeline were performed. Four types of anode material (mixed metal oxide coated titanium anode, iron silicone anode, graphite anode and platinum coated titanium anode) were selected for cathodic protection. These anode materials were compared from the point of mass loss, current efficiency, and the number of anodes required for cathodic protection (with specified dimensions). By analyzing these parameters, most suitable anode material was determined for Ereğli High Pressure Natural Gas Pipeline.**

**On this study it is determined that, resistivity of all anode beds are between 0,93 to 0,99 ohm. So resistivity of anode beds are sufficient. From the point of number of anodes used, highest number of graphite anodes (37) and lowest number of iron silicone anodes (31) were determined for the cathodic protection. It is also required 32 mixed metal oxide coated titanium anodes and 33 platinum coated titanium anodes. From the point of anode bed resistivity and the number of anodes; it is determined that there is no significant difference between anode types except graphite anode. In spite of this similarity, it is known that there is a huge difference in current capacity and mass loss values of the anode materials considered in this study. Mixed metal oxide coated titanium anode is the highest, on the other hand, mass loss value of the same anode is the smallest. As a result of this study, it is decided that mixed metal oxide coated titanium anode is the most appropriate one not only due to low anode number, current capacity and mass loss but also its being adaptable to any kind of environment and its non passivizing character during operation.**

**Science Code : 912**  
**Key Words : Corrosion, cathodic protection, anode, metal oxide**  
**Page Number : 79**  
**Adviser : Dr. N. Alper TAPAN**

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Sayın hocam Dr. N. Alper TAPAN'a, bu çalışmanın temelini teşkil eden ve daha önce hazırlamıő olduğumuz Ereğli-Niğde-Aksaray Doğalgaz Boru Hattı Katodik Koruma Projesi'nden yararlanmama izin veren Kortek firmasına, tezin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen Kimya Yüksek Mühendisi Çetin ÇAKANYILDIRIM'a manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan arkadaşlarıma, aileme, eőime ve özellikle babam Ayhan BÖLÜK'e teşekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
3. KOROZYON.....	7
3.1. Korozyonun Tanımı.....	7
3.2. Yeraltı Korozyonu.....	8
3.2.1. Yeraltı korozyonunun oluşumu.....	9
3.2.2. Zemin içinde korozyonun oluşum nedenleri.....	10
3.3. Polarizasyon.....	10
3.4. Katodik Koruma.....	11
3.4.1. Katodik korumanın termodinamik ilkeleri.....	13
3.4.2. Katodik koruma sistemlerinin karşılaştırılması.....	15
3.4.3. Boru hatlarının katodik koruması.....	18
3.4.4. Katodik koruma akım ihtiyacı.....	18
3.4.5. Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemi.....	19
4. YAPILAN ÇALIŞMA.....	27

	<b>Sayfa</b>
4.1. Ereğli Yüksek Basınç Doğalgaz Boru Hattı Bilgileri.....	27
4.2. Arazi Etüd ve İncelemeleri.....	27
4.2.1. Boru hattı boyunca zemin özgül dirençleri.....	28
4.2.2. Katodik koruma istasyonu yerleri etüdü.....	30
4.2.3. Arazi incelemeleri ile ilgili değerlendirmeler.....	31
4.3. Katodik Korumanın Projelendirilmesi.....	32
4.3.1. Boru hattı istasyonlar arası ortalama özgül dirençleri.....	32
4.3.2. Katodik koruma istasyon yerlerinin tespiti.....	33
4.3.3. Akım drenaj noktası potansiyel değişimi ve akım ihtiyacı.....	34
4.3.4. Katodik koruma istasyonlarının tasarımı.....	35
4.3.5. Karma metal oksit kaplı titanyum anotlar ile anot yatağı tesis edilmesi.....	37
4.3.6. Demir silikon anotlar ile anot yatağı tesis edilmesi.....	42
4.3.7. Grafit anotlar ile anot yatağı tesis edilmesi.....	43
4.3.8. Platin kaplı titanyum anotlar ile anot yatağı tesis edilmesi.....	44
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	47
KAYNAKLAR.....	49
EKLER.....	51
EK-1 Doğalgaz boru hattı katodik koruma istasyonları yerleri.....	52
EK-2 Zemin rezistivitesi değerleri grafiği.....	53
EK-3 Güzergah boyunca istasyonlar arası ortalama zemin rezistivitesi değerleri.....	58
EK-4 Değişik anot tipleri denenerek yapılan katodik koruma sistemi algoritması.....	64
EK-5 Akım ihtiyacı çizelgeleri.....	66
EK-6 Değişik anotlar ile anot yatağı direnci hesapları.....	68
ÖZGEÇMİŞ.....	79

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Çıplak çelik boruların değişik zeminler içindeki akım ihtiyacı.....	19
Çizelge 4.1. Zeminlerin özgül elektrik direncine göre sınıflandırılması.....	30
Çizelge 4.2. Güzergah boyunca yerüstü yapıları ve bu noktalarda tespit edilen anot yatağı yerlerinde zemin özgül direnci değerleri.....	31
Çizelge 4.3. İstasyonlar arası mesafeler, bu bölgelerde ortalama zemin özgül direnci değerleri.....	33
Çizelge 4.4. Zemin özgül direncine bağlı boru kaplama direnci.....	34
Çizelge 4.5. KKİ-1 istasyonundan pig istasyonu yönüne akım ihtiyacı .....	36
Çizelge 4.6. KKİ-1 istasyonundan iki nolu istasyon yönüne akım ihtiyacı.....	36
Çizelge 4.7. Herbir katodik koruma istasyonu için akım ihtiyacı değerleri ve anot yatağı dizayn akım kapasiteleri .....	37
Çizelge 4.8. Katodik koruma istasyonları için hesaplanan minimum karma metal oksit kaplı titanyum anot sayıları .....	38
Çizelge 4.9. Karma metal oksit kaplı titanyum anot ile KKİ-01 istasyonu için anot yatağı direnci hesabı .....	39
Çizelge 4.10. Arttırılmış karma metal oksit kaplı titanyum anot sayısı ile KKİ-01 istasyonu için anot yatağı direnci hesabı.....	40
Çizelge 4.11. Karma metal oksit kaplı titanyum anotlar için yapılan hesaplama sonuçlarının karşılaştırması.....	41
Çizelge 4.12. Katodik koruma istasyonları için hesaplanan minimum demir silikon anot sayıları.....	42
Çizelge 4.13. Katodik koruma istasyonları için hesaplanan minimum grafit anot sayıları.....	43
Çizelge 4.14. Katodik koruma istasyonları için hesaplanan minimum platin kaplı titanyum anot sayıları.....	44
Çizelge 4.15. Hesaplama sonuçlarının karşılaştırılması.....	45

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Bir galvanik hücrenin polarizasyonu.....	11
Şekil-3.2. Bir elektrokimyasal hücre.....	12
Şekil-4.1 Wenner dört elektrot yöntemine göre elektrot dizilişleri.....	28
Şekil-4.2. Zemin rezistivitesi değerleri grafiği.....	29
Şekil-4.3. Karma metal oksit kaplı titanyum anot için anot yatağı dirençleri ve anot sayıları.....	41
Şekil-4.4. Herbir anot yatağı için değişik anotlar kullanılarak oluşturulan anot yatak dirençleri.....	45
Şekil-4.5. Herbir anot yatağında hesaplanan anot sayıları.....	46

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>A</b>	Boru kesit alanı, m <sup>2</sup>
<b>a</b>	Sönüm (Attenuation) sabiti, m <sup>-1</sup>
<b>C</b>	Nominal boru çevresi, m
<b>D</b>	Boru çapı, m
<b>d</b>	Anot çapı, cm
<b>E<sub>dr</sub></b>	Drenaj yeri boru zemin potansiyel değişimi, V
<b>E<sub>s</sub></b>	Boru sonu potansiyel kayması, V
<b>E<sub>0</sub></b>	Akım drenaj noktası boru zemin potansiyeli, V
<b>G</b>	Rezistivite, Ohm.cm
<b>H</b>	Nem yüzdesi
<b>I</b>	Akım ihtiyacı, A
<b>K</b>	Zeminin koroziflik derecesi
<b>L</b>	Korunacak boru uzunluğu, m
<b>L<sub>a</sub></b>	Anot boyu, cm
<b>R<sub>d</sub></b>	Dik olarak yerleştirilen tek anot direnci, Ohm
<b>R<sub>k</sub></b>	Boru hattı karakteristik direnci, ohm
<b>R<sub>ort</sub></b>	Ortalama rezistivite değeri, ohmcm
<b>R<sub>t</sub></b>	Boru geçiş direnci, ohmm
<b>R<sub>y</sub></b>	Yatay olarak yerleştirilen tek anot direnci, Ohm
<b>R<sub>0</sub></b>	Boru-toprak kaplama direnci, ohmm <sup>2</sup>
<b>R<sub>1</sub></b>	Boru uzunluğuna direnç, ohmm <sup>-1</sup>
<b>r<sub>dış</sub></b>	Boru dış yarıçapı, m
<b>r<sub>iç</sub></b>	Boru iç yarı çapı, m
<b>t</b>	Boru et kalınlığı, m

**Simgeler****Açıklama** $\rho$ 

Boru malzemesi özgül direnci, ohmm

 $\rho_a$ 

Anot yatağı rezistivitesi , Ohm.cm

**Kısaltmalar****Açıklama****AC**

Alternatif akım

**BOTAŞ**

Boru Hatları ile Petrol Taşıma A.Ş.

**KKİ**

Katodik koruma istasyonu

**LV**

Hat vanası

**Me**

Metal

**PE**

Nitelikli polietilen kaplama

**PS**

Pig istasyonu

**TR**

Trafo redresör ünitesi

## 1. GİRİŞ

Metal ve alaşımlar, insanoğlunun ihtiyacı olan temel maddelerin büyük bir kısmının üretiminde kullanılmaktadır. Uzun zaman korunmadan yeraltında bırakılan metal ve alaşımları, zamanla içinde buldukları zeminin cinsine bağlı olarak korozyona uğrarlar ve kullanılamaz hale gelirler.

Korozyon reaksiyonlarının neden olduğu aşınma metal üretim maliyetini de aşan ekonomik zararlara neden olmaktadır. Bu ekonomik zararlar içerisinde en önemlileri, korozyonun neden olduğu metal kaybı, korozyon sonucu meydana gelen arızanın tamiri için geçen süre içerisinde tesisin devre dışı kalarak üretimin durması, bir tankın, deponun veya boru hattının korozyona uğrayarak delinmesinin farkına varılıncaya kadar geçen süre içinde oluşan ürün kaybı, çözünen korozyon ürünlerinin kimyasal madde içine karışarak kirliliğe neden olması ve metali korozyona karşı korumak için kullanılan kaplamaların maliyetleridir.

Korozyonla mücadele etmek üzere çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Ortamın yapısına göre dayanıklı malzeme kullanarak, metal yüzeyini kaplayarak, çevrenin koroziflik etkisini giderecek şekilde ortama kimyasal madde ekleyerek ve katodik koruma yaparak korozyonla mücadele etmeye çalışılmaktadır.

Uygulanmasına 1930'lu yıllarda İngiltere'de başlanmış olan katodik korumada son yıllarda büyük gelişmeler olmuş ve korozyonla mücadelede en etkili ve en ekonomik yöntem durumuna gelmiştir. Katodik korumanın ilk uygulamaları boru hatları üzerinde olmuştur. Günümüzde iskele ayakları, gemiler, su ve petrol depolama tankları, kimyasal maddeleri taşıyan kaplar, ısı değiştiriciler, betonarme demirleri ve benzeri birçok metalik yapı katodik koruma yöntemi ile korozyona karşı korunmaktadır. Katodik olarak korunacak metal yapının yüzeyi uygun bir malzeme ile kaplanarak akım ihtiyacı azaltılabilir. Pratikte kaplama ve katodik koruma genellikle birlikte uygulanır. Endüstriyel koşullarda yapılmış olan en mükemmel kaplamalarda bile daima mikro delikler ve işçilik hatalarından ileri gelen bozukluklar bulunabilir. Bu tehlikeli durumun önlenmesi için kaplama ile katodik koruma da

uygulanması gerekir. Özellikle yüksek basınçlı petrol ve doğal gaz boru hatlarının emniyetle işletilebilmesi ancak katodik koruma yapılarak mümkün olabilmektedir.

Katodik koruma korozyonu önlemek üzere uygulanan bir elektrokimyasal yöntemdir. Buna göre korunacak metali oluşturulacak bir elektrokimyasal hücrenin katodu haline getirerek metal yüzeyindeki anodik akımların giderilmesi işlemidir. Metal katodik olarak polarize edilerek potansiyeli belli bir değere yükseltilir. Galvanik anotlu katodik koruma ve dış akım kaynaklı katodik koruma olmak üzere iki tür katodik koruma uygulaması vardır. Bunlardan galvanik anotlu katodik koruma daha çok korunacak yüzey alanının küçük olduğu sistemlerde uygulanır. Yüzey alanının büyük olduğu ve bu sebepten dolayı akım ihtiyacının çok olduğu sistemlerde dış akım kaynaklı katodik koruma sistemi tercih edilmektedir. İki sistem arasındaki farklar daha sonra irdelenecektir.

Bu çalışmada, korozyona karşı korunacak Ereğli yüksek basınç boru hattının çapının ve uzunluğunun büyük olması nedeniyle dış akım kaynaklı katodik koruma sistemi uygulaması yapılmış olup katodik koruma uygulamalarında kullanılan dört farklı anot tipi ( karma metal oksit kaplı titanyum anot, demir silikon anot, grafit anot ve platin kaplı titanyum anot) anot kütle kaybı, anot akım verimi ve anot boyutları kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda karşılaştırılarak, kullanılacak en uygun anodun seçimi yapılmaya çalışılmıştır.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Korozyonla mücadelenin en emin ve ekonomik yolu olan katodik koruma alanında bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de geniş kapsamlı çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar her geçen gün daha yaygın hale gelmektedir.

Gurrappa, çalışmasında soğutma suyu sistemlerinde katodik koruma sisteminin gerekliliği, katodik korumanın çeşitleri ve sistemin galvanik anotlu veya dış akım kaynaklı olmasına göre değişen anot çeşitlerini analiz etmiştir. Analizinde galvanik anotlu sistemin, korunacak yüzey alanının küçük olması bu nedenle akım ihtiyacının düşük olması sebebiyle dış akım kaynaklı sisteme göre akım maliyeti bakımından daha uygun olacağı sonucuna ulaşmıştır. Soğutma suyu sisteminde galvanik anot olarak çinko anot, magnezyum anot ve alüminyum anotların kullanılabilceğini fakat akım verimliliği ve maliyet bakımından en uygun anotların çinko anotlar olduğunu belirtmiştir. Ayrıca bu çalışmada iki ayrı sistemin avantajları ve dezavantajlarını belirtmiş, katodik korumanın ekonomisiyle ilgili bir örnek vermiştir, son olarak ta değişik uygulamalar için tasarım ve uygun malzemelerin seçiminin önemine değinmiştir [1]. Katodik koruma sistemi seçiminde bu kaynağın sağladığı bilgilerden yararlanılmıştır ve iki sistemin arasındaki farkları belirtmesi bakımından bu çalışma yararlı olmuştur.

Maurin, çalışmasında toprak koroziyifliğini etkileyen faktörleri araştırmıştır. Bunun için zeminin rutubetini pH'ını ve rezistivitesini ölçmüştür. Maurin çalışmasında zemin koroziyifliğinin rezistivite, rutubet yüzdesi ve pH derecesine bağlı olduğunu ileri sürmüştür. Zemin koroziyifliğini belirlemek için pratik ve hızlı bir sonuç veren bir formül çıkarmıştır [2]. Formülden de görüleceği gibi zemin koroziyifliği zemin rutubeti ile doğru orantılı pH ve rezistivite ile ters orantılıdır.

$$\% K = 2 \times \frac{10 - pH}{\sqrt{G}} \times (10 + Z) \quad (2.1)$$

Eş. 2.1'de K : zeminin koroziflik derecesi,  
G : Rezistivite, Ohm.cm,  
Z : Nem yüzdesidir.

K.R Butler ve W.H.J Vernon çalışmalarında zemin içinde metallerin korozyonunu araştırmışlardır. Zemin içindeki korozyona etki yapan faktörleri şöyle sıralamışlardır: Zeminin kimyasal yapısı, başka bir deyişle zeminin pH derecesi ve tuz içeriği, toprağın havalanma derecesi, kaçak akımlar. Ayrıca anaerobik sülfat redükleyici bakterilerin korozyon üzerine etkili olduğunu göstermişlerdir [3]. Ereğli yüksek basınç boru hattının geçtiği güzergahta zemin rezistivitesi ölçümleri yapılmış olup zeminin heterojen yapıda olduğu gözlenmiş zemin direncini etkileyecek derecede tuz içeriği olmadığı saptanmıştır. Borunun geçtiği güzergahta endüstriyel alan olmaması nedeniyle pH derecesinin farklılıklar göstereceği düşünülmemektedir. Sülfat redükleyici anaerobik bakteriler genellikle bataklık larda bulunmaktadır güzergahta bataklık olmaması nedeniyle bu bakterilerin de boru hattı için bir sorun teşkil etmeyeceği düşünülmüştür. Ayrıca bu güzergahta kaçak akım etkisi yaratacak yabancı yeraltı yapısına rastlanmamıştır.

R.A Adey ve P.Y Hang çalışmalarını zemin ve deniz suyu üzerinde yoğunlaştırmışlardır. Çalışmalarında anotlardan çekilecek akımı bulmak için bir bilgisayar programı tasarlamışlardır. Bu bilgisayar programı gereken akımı elde eden optimum anot sayısını hesaplayan bilgisayar modellemesidir. Çalışmalarındaki en önemli kriter ise anot yataklarının hangi elektrolit içinde bulunması gerektiği olmuştur. Kok tozunun anot yatağı direncini düşürmesi, kolaylıkla bulunabilmesi, fiyatının düşük olması bakımından katodik koruma sistemi için uygun bir elektrolit olduğu sonucuna varmışlardır. [4].

V.G DeGiorgi, E.D Thomas, K.E Lucas ve A.K de çalışmalarında çevresel etkilerin katodik koruma sistemi üzerindeki etkilerini daha çabuk bir şekilde analiz edebilmek için bir program geliştirmişlerdir. Bu çevresel etkiler, elektrolitin iletkenliği, metalin polarizasyon davranışları, yabancı yapıların konumu ve elektron sağlayan güç kaynaklarının boyutu olmuştur [5].

R.Adey ve J.Baynham çalışmalarında boru hatlarına uygulanan katodik korumanın bilgisayar modellemesinin uygulanmasını sunmuşlar ve kaçak akımları tayin edecek optimizasyonu yapmışlardır. Giderek artan yeraltındaki kompleks yapılar (boru hatları, endüstriyel yapılar, tren rayları vb.) diğer çelik yapılar ile etkileşim içine girerler. Bundan dolayı oluşan kaçak akımlar korozyonu önlemedeki katodik koruma sisteminin yeteneğini ve yeterliliğini düşürürler. Bu faktörler, dizaynın bir parçası olan yeraltındaki elektriksel alan etkileşimini önlemeyi zorunlu hale getirirler. Bu yüzden yaptıkları bilgisayar modellemesi ile hem katodik koruma sistemlerinin dizaynı için pratik çözümler sunmuşlar hem de kaçak akımların tayininin optimizasyonunu sunmuşlardır. Kaçak akım optimizasyonu için üç kriter belirlemişlerdir:

- 1-Katodik koruma sistemi tarafından üretilen elektriksel alanla ilgili olarak yabancı yapının yeri,
- 2-Elektriksel alanın büyüklüğü,
- 3-Kaçak akıma yabancı yapının elektrokimyasal etkileri [6].

Ereğli-Aksaray boru hattının geçtiği güzergahta herhangi bir yabancı metalik yapıya rastlanmamıştır. Bu nedenle boru hattında kaçak akım tehlikesi mevcut değildir.

V.G DeGiorgi, A.Kee ve E.D Thomas, çalışmalarında boru hatlarında dış akım kaynaklı katodik koruma projesi yaparken gerekli olan akım ihtiyacını bulmak amacıyla bilgisayar programı geliştirmişlerdir. Çalışmalarında deneysel yollarla ve bilgisayar programı ile elde ettikleri sonuçları karşılaştırdıklarında akım ihtiyacı hesaplamaları ile gerçek değerler arasında %5-10 sapma olduğunu tespit etmişlerdir. [7].

H.M Shalaby, W.T Riad, A.A Alhazza, M.H Behbehani, çalışmalarında 52km uzunluğunda 16” çapında spiral kaynaklı API 5L-X52 yakıt boru hattı üzerinde yapmış oldukları hata araştırma sonuçlarını sunmuşlardır. Bu boru hattı rafineriden güç istasyonuna yakıt taşımaktadır. Boru hattının tesis edildiği günden bu güne kadar yapılan (aralıklı katodik koruma problemleri, kaplama bozuklukları, ince boru et kalınlıkları vb.) hataların boru hattı üzerinde bozukluklara neden olduğunu

saptamışlardır. Bu bozukluklara yakıt kalitesinin ve boru kaynaklarının sebep olmadığına karar vermişlerdir [8].

S. Üneri, çalışmasında korozyonun temel ilkelerine değinmiş, korozyonu izleme, kaynağı ve türüne tanı koyma ve önleme yollarını tasarlayarak uygulama konularında bilgiler sunmuştur. Ayrıca korozyonun elektrokimyasal işlergesi bir pilde yürüyen olaylar örnek gösterilerek anlatılmış, çalışma sonunda korozyonun izlenmesinin önemine değinilmiştir [9].

A. Çakır, çalışmasında korozyon açısından tasarım ve malzeme seçiminin önemine değinmiştir. Uygun malzeme seçimi, koruma, korozyon izleme, ölçme, önceden tahmin etme, tasarım, ortamın ıslah edilmesini korozyon kontrolünde titizlikle üzerinde durulan ve başvurulmuş çareler olarak belirlemiştir. Uygun malzeme seçimi ve uygun tasarımı belirleme çalışmalarında göz önünde bulundurulması gerekli hususları etraflıca incelendiği bu çalışmada, değişik korozyon türleri, detaya inilmeden sadece temel esaslar yönünden kısaca açıklanmış ve bunların önlenmesine yönelik olarak yapılacak malzeme seçimi ve uygulanabilir tasarım esasları ele alınmıştır [10].

### 3. KOROZYON

#### 3.1. Korozyonun Tanımı

Genel anlamda korozyon, malzemelerin buldukları ortamlarda özelliklerini kaybetmesi ve kullanılamaz hale gelmesidir. Metal korozyonu ise metallerin çevresi ile kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyonlara girerek metalik özelliklerini kaybetmeleridir.

Bütün metaller doğada mineral olarak buldukları hale dönüşmek eğilimindedir [11]. Doğada bulunan mineraller, söz konusu metalin en düşük enerji taşıyan bileşikleridir (en kararlı halidir). Bu mineraller özel metalürjik yöntemlerle ve enerji harcanarak metal haline getirilir. Ancak metallerin çoğu element halinde termodinamik olarak kararlı değildir. Uygun bir ortamın bulunması halinde taşımış oldukları kimyasal enerjiyi geri vererek yeniden minimum enerji taşıyan kararlı bileşikler haline dönüşmek isterler. Bu nedenle korozyon olayları enerji açığa çıkararak kendiliğinden yürür. Bazı soy metaller hariç teknolojik öneme sahip bütün metal ve alaşımlar korozyona uğrayabilir. Örnek olarak demiri ele alabiliriz. Demirin doğada en çok rastlanan minerali Hematit adı ile bilinen  $Fe_2O_3$  dür. Bu mineral yüksek fırınlarda yüksek sıcaklıkta reaksiyona sokularak metalik demir haline dönüştürülür. Elde edilen demir, sulu çözeltiler içinde veya atmosfer etkisinde kendiliğinden korozyona uğrayarak pas denilen korozyon ürünlerini oluşturur. Pasın bileşimi de hematit mineraline benzer şekilde demir hidroksit ve demir oksitten oluşur.

Korozyon reaksiyonunun yürütücü kuvveti, reaksiyon sırasında açığa çıkan enerji yani Gibbs Serbest Enerji azalışıdır. Termodinamik olarak, bir reaksiyonun kendiliğinden yürümesi için, reaksiyon Gibbs Serbest Enerji değişiminin mutlaka negatif olması gerekir [12]. Buna göre herhangi bir metalin belli bir ortamda korozyona uğrayıp uğramayacağı, serbest entalpi değişiminin pozitif veya negatif olduğuna bakılarak anlaşılabilir. Eğer serbest entalpi değişimi pozitif ise, metalin söz konusu ortamda korozyona uğramayacağı kesin olarak söylenebilir. Bunun tersi,

yani serbest entalpi değişiminin negatif olması, korozyon olayının olabileceğini gösterir. Ancak bazı durumlarda metalin termodinamik açıdan korozyona uğraması beklendiği halde, pratikte reaksiyonun yürümediği veya önemsiz derecede yavaş yürümekte olduğu görülür. Bu durum metal yüzeyinde kabuk oluşumu ve pasifleşme gibi nedenlerle reaksiyon hızının azalmasından kaynaklanır.

Korozyon olayı endüstrinin her bölümünde kendini gösterir. Açık atmosferde bulunan tanklar, depolar, direkler, korkuluklar, taşıt araçları, yeraltı boru hatları, betonarme demirleri, iskele ayakları, gemiler, fabrikalarda kimyasal madde doldurulan kaplar, borular, depolar ve bir çok makine parçası korozyon olayı ile karşı karşıyadır. Bütün bu yapılar korozyon nedeniyle beklenenden daha kısa sürede işletme dışı kalmakta ve büyük ekonomik kayıplar meydana gelmektedir.

### 3.2. Yeraltı Korozyonu

Korozyon metal yüzeylerinde oluşan korozyon hücrelerinin anot ve katodunda meydana gelen elektrokimyasal reaksiyonlar ile yürür. Bir korozyon hücresinin oluşması için şu üç koşulun bir arada bulunması gerekir [13].

1-İyon içeren bir sulu çözelti (elektrolit)

2-Yeteri kadar negatif potansiyelli anot (indirgenme potansiyeli daha negatif anot)

3-Anottan daha pozitif potansiyelli bir katot (indirgenme potansiyeli daha pozitif olan katot)

Böylelikle ;  $E_{\text{hücre}} = E_{\text{Katot}} - E_{\text{Anot}} > 0$  olacaktır ve reaksiyon kendiliğinden yürüyecektir.

Bu üç koşuldan birinin bulunmaması halinde korozyonun oluşmayacağı kesin olarak söylenebilir. Fakat bu üç koşulun bulunması halinde bile, eğer kinetik koşullar mevcut değilse, örneğin elektrolit direnci çok yüksek veya anot-katot arasındaki potansiyel farkı çok düşük ise, korozyon olayı pratik olarak yine de gerçekleşmeyebilir.

### 3.2.1. Yeraltı korozyonunun oluşumu

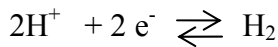
Yeraltındaki metallerin korozyonunda zemin elektrolit rolü oynar. Zemin boşlukları içinde az veya çok su bulunur. Bu su içinde başta klorür ve sülfat tuzları olmak üzere çeşitli iyonlar çözülmüş haldedir [14]. Ayrıca çözülmüş veya gaz halinde oksijen de bulunur. Böyle bir elektrolit içinde korozyonun yürümesi için mutlaka iki ayrı metalin bulunması şart değildir. Metal yapısında veya elektrolitte bulunan bazı farklılıklar nedeniyle meydana gelen potansiyel farkı, mikro veya makro korozyon hücreleri oluşturabilir. Bunun sonucu olarak, metal yüzeyinin bazı bölgeleri katot, bazı bölgeleri de anot olur. Elektron akımı metal üzerinden gerçekleşir.

Korozyon hücresinin elektroliti doğal su veya zemin olduğunda katot reaksiyonu genellikle oksijen redüksiyonu ile gerçekleşir. Korozyon olayı metalin iyon haline yükseltgenmesi ile anot bölgelerinde meydana gelir. Anotta metal iyon halinde çözeltiye geçer. Bu iyonlar alkali ortamlarda yüzeyin yakınında su ile hidroliz olarak hidroksit halinde çöker.

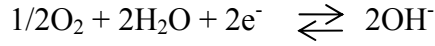


Korozyon olayında katot reaksiyonu ortam koşullarına bağlıdır. Katotda herhangi bir redüksiyon olayı meydana gelebilir. Katot reaksiyonu elektrolit ortamının pH'ına ve çözülmüş oksijenin konsantrasyonuna bağlıdır. Doğal elektrolitler içinde yürüyen korozyon olaylarında başlıca aşağıdaki iki katot reaksiyonu söz konusu olur [15].

a) Asidik ortamlarda katot reaksiyonu hidrojen iyonu indirgenmesi ve hidrojen çıkışı ile gerçekleşir.



b) Nötral ve çözünmüş oksijenin bulunduğu ortamlarda katot reaksiyonu su içinde çözülmüş olan oksijenin elektron alarak hidroksil iyonu haline dönüşmesi şeklinde yürür.



Doğal sular içinde pH genellikle 7'den daha yüksektir. Bu nedenle doğal sular ve zemin içindeki korozyon olayı genellikle (b) de olduğu gibi katotta oksijen redüksiyonu ile gerçekleşir. Bu durumda yeraltı ve sualtı korozyonu hızını elektrolit (toprak veya su) içinde çözülmüş oksijen konsantrasyonu kontrol eder.

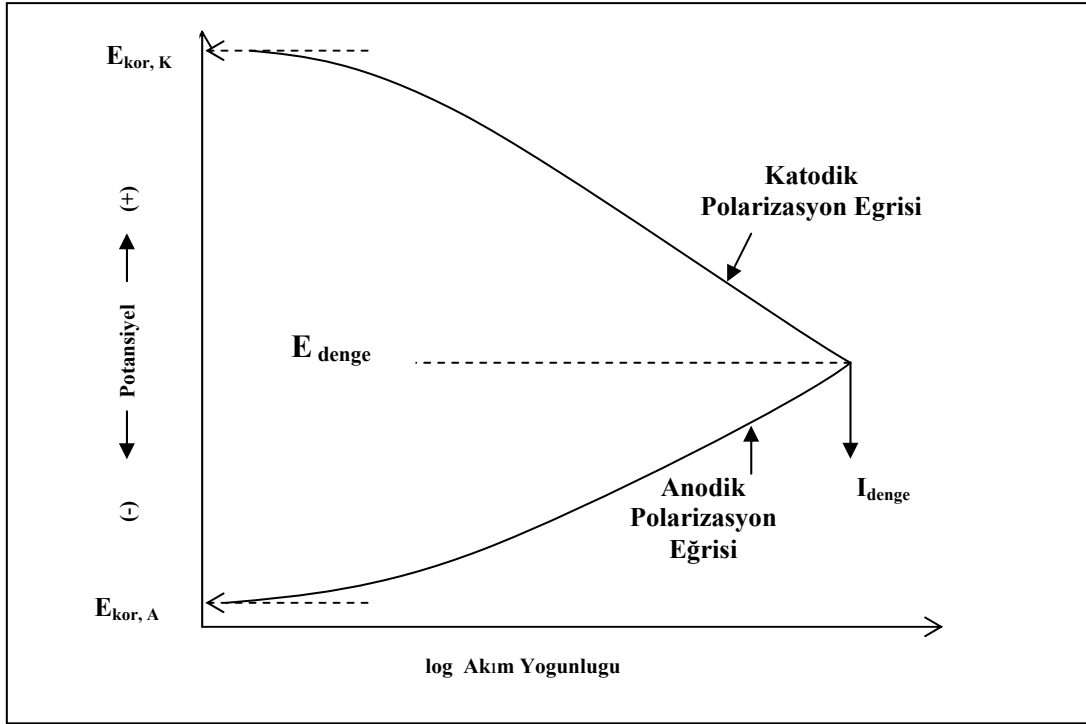
### 3.2.2. Zemin içinde korozyonun oluşum nedenleri

Zemin içinde bulunan bir çelik yapı çok çeşitli nedenlerle korozyona uğrayabilir. Bunlardan en önemlileri şunlardır:

1. Metal yüzeyinde yerel farklılıklar oluşması,
2. Zemin cinsi veya yapısının değişmesi,
3. Metal cinsi veya yapısının değişmesi,
4. Farklı havalanma ( çelik yapının içinde bulunduğu zeminin bir kısmının daha sert toprak veya kaya olması ve böylelikle bu kısımlarda oksijen içeriğinin daha az olması sebebiyle oksijence daha zengin olan kısmın katot diğer kısmın ise anot olması durumudur)

### 3.3. Polarizasyon

Polarizasyon, bir elektroda dıştan uygulanan akımın neden olduğu potansiyeldeki değişim olarak tanımlanmaktadır [13]. Bir galvanik hücreden akım geçtiği zaman katot potansiyelinde negatif yönde anot potansiyelinde de pozitif yönde değişim (polarizasyon) meydana gelir. Polarizasyon sonucu katot ve anot potansiyelleri gittikçe birbirine yaklaşarak bir denge potansiyeline ulaşır.

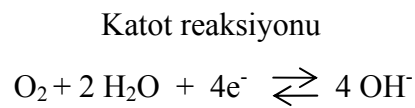
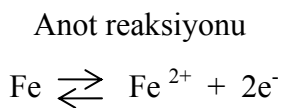


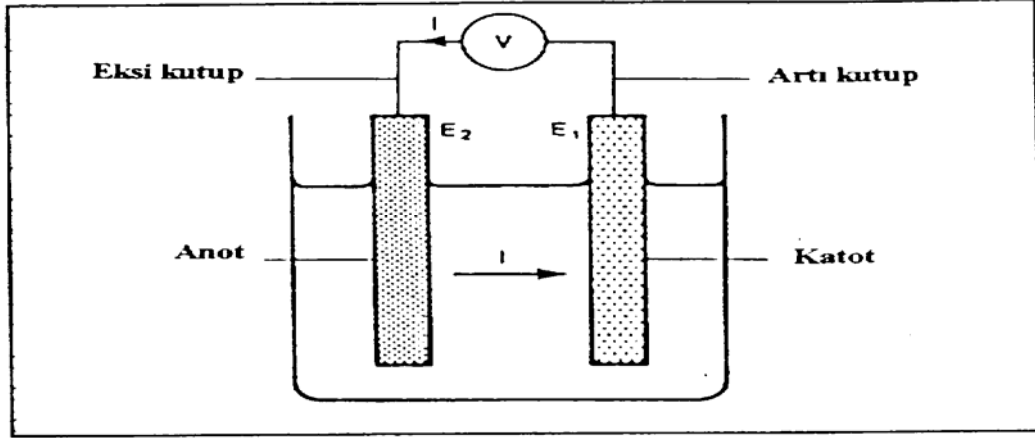
Şekil 3.1. Bir galvanik hücrenin polarizasyonu [14]

Başlangıçta katot potansiyeli  $E_{kor,K}$  ve anot potansiyeli  $E_{kor,A}$  dır. Anot ve katot birbirine bağlandıktan sonra hücreden geçen akımın etkisi ile bir  $E_{denge}$  potansiyeli oluşur. Denge potansiyelinde anodik ve katodik reaksiyonların hızı birbirine eşittir [14].

### 3.4. Katodik Koruma

Katodik koruma, korunacak metali oluşturulacak bir elektrokimyasal hücrenin katodu haline getirerek metal yüzeyindeki anodik akımların giderilmesi işlemidir. Örnek olarak nötral bir sulu çözelti içinde korozyona uğrayan bir demir metalini ele alalım. Demir yüzeyinde yürüyen anot ve katot reaksiyonları şöyledir:





Şekil 3.2. Bir elektrokimyasal hücre [11]

Korozyon olayı bu iki reaksiyonun bir arada yürümesi ile gerçekleşir. Elektronlar anottan katoda doğru metal üzerinden geçmektedir. Şekil-3.2 de korozyona uğrayan bu metalin polarizasyonu görülmektedir. Katot reaksiyonu anottan gelen bu elektronları kullanarak yürüyebilir. Eğer katotda bu elektronlar kullanılamaz ise, bu durumda anottaki oksidasyon reaksiyonu da yürüyemez. Yani katot bölgesinde yeterli oksijen bulunmazsa korozyon meydana gelmez. Diğer taraftan eğer katot reaksiyonu için gerekli olan elektronlar bir dış kaynaktan verilecek olursa, anot reaksiyonu ile elektron üretilmez. Bu durumda anotta yürüyen korozyon olayı da durmuş olur. Dış akım kaynaklı katodik koruma ile korozyonun önlenmesi bu elektrokimyasal ilkeye dayanır [11].

Metale dıştan uygulanan akım ile verilen elektronlar, metal yüzeyinde yürümekte olan anodik reaksiyonları tam olarak durdururken, katodik reaksiyonun hızını da artırır. Anot reaksiyonları artık korunmakta olan metal yüzeyinde değil katodik koruma devresinde bulunan yardımcı anotta yürür. Korunmakta olan metal yüzeyi ise artık tam olarak katot olur.

Korozyona uğramakta olan bir metale kendinden daha aktif bir metal (galvanik anot) bağlanacak olursa, bu durumda katot reaksiyonu için gerekli olan elektronlar galvanik anot olarak bağlanan metalin kendiliğinden yürüyen yükseltgenme reaksiyonu ile karşılanır. Böylece korunan metal yüzeyindeki bütün anodik

reaksiyonlar tam olarak durur. Galvanik anotlu katodik koruma da bu temel ilkeye dayanır.

### 3.4.1. Katodik korumanın termodinamik ilkeleri

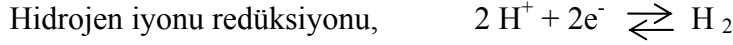
Katodik koruma metalleri korozyondan korumak üzere kullanılan en etkili yöntemdir. Katodik korumanın temel ilkeleri elektrokimyasal korozyon teorisine dayanır. Buna göre bir elektrokimyasal hücreden net bir akım geçtiğinde anotda oksidasyon reaksiyonu, katotda buna eşdeğer olacak şekilde redüksiyon reaksiyonu yürür. Böyle bir sistem içinde katot bölgesinde hiçbir şekilde korozyon olayı meydana gelmez. Bu teoriye dayanarak bir metalin yüzeyindeki anodik bölgeler katot haline dönüştürülerek korozyon olayı kesin şekilde önlenir.

Katodik koruma yapabilmek için, elektrolit içine ikinci bir metal anot görevi yapmak üzere daldırılır. Anot metali eğer korunacak olan metalden daha aktif bir metalden seçilmiş ise, bu iki metalin bağlantısından galvanik bir pil oluşur. Bu durumda devreden kendiliğinden bir akım geçer. Korunması istenilen metal bu pilin katodu olacağından korozyona uğramaz. Buna karşılık devreden geçen akım miktarı ile eşdeğer olarak anot metali çözünerek iyon haline geçer. Böylece yürüyen galvanik anotlu katodik koruma sistemleri büyük ölçekli bir galvanik pil gibi çalışır.

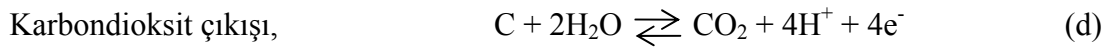
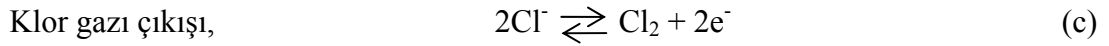
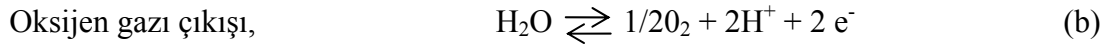
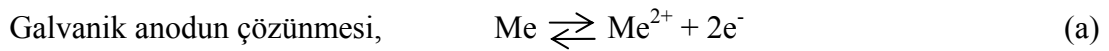
Katodik koruma inert anotlar ile de uygulanabilir. Bu durumda sisteme dıştan bir doğru akımın uygulanması gerekir. Doğru akım kaynağının (+) ucu anoda, (-) ucu da korunacak olan metal yapıya bağlanır. Böylece bir elektroliz hücresi elde edilmiş olur. Bu hücrenin katodunda redüksiyon, anodunda da oksidasyon reaksiyonları meydana gelir. Ancak anottaki reaksiyon metalin çözünmesi şeklinde olmaz. Anotta inert metaller kullanılmış olduğu için başka tipte oksidasyon reaksiyonları meydana gelir.

En genel halde bir katodik koruma sisteminin katot ve anodun da aşağıdaki reaksiyonlar meydana gelebilir.

Katot reaksiyonları;



Anot reaksiyonları;



Galvanik anotlu katodik koruma sistemlerinin anotlarında (a) reaksiyonu gerçekleşir.

Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinin anot yataklarında ise, ortam koşullarına göre diğer üç reaksiyondan biri meydana gelir. Zemin ve tatlı sular içinde (b) reaksiyonu, deniz içinde (c) reaksiyonu ve grafit anotlar ile kok tozu anot yataklarında da (d) reaksiyonu söz konusu olur [15].

Genel ilke olarak dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinde kullanılan anotların kalıcı özellikte olması, yani hiçbir kimyasal reaksiyona girmeden ve polarize olmadan uzun süre dayanmaları istenir. Buna rağmen bu anotlar akım geçtikçe az da olsa kütle kaybına uğrayabilir.

Teorik ilkeleri birbirinin aynı olan bu iki katodik koruma sistemi endüstride geniş şekilde uygulanmaktadır. Başta yer altı boru hatları olmak üzere, elektrolit içinde bulunan (su, toprak, beton, vb.) bütün metalik yapılar katodik koruma yapılarak korozyondan korunabilir. Bir yapıyı korozyondan korumak için galvanik anotlu veya dış akım kaynaklı katodik koruma sisteminden hangisinin uygun olacağı, yapının cinsi, elektrolit ortamın özellikleri ve ekonomik koşullar göz önüne alınarak karar verilir.

### 3.4.2. Katodik koruma sistemlerinin karşılaştırılması

#### Akım maliyeti bakımından

*Galvanik anotlu katodik koruma* : Galvanik anotlardan üretilen akım, dış akım sisteminde kullanılan alternatif akımdan (AC) daha pahalıdır. Bu nedenle galvanik anotlu katodik koruma sistemi genellikle akım ihtiyacı küçük olan yerlerde ekonomik olabilir.

*Dış akım kaynaklı katodik koruma*: Elektrik akımı maliyeti galvanik anotlara göre daha ucuzdur. Ancak ilk tesis masrafları galvanik anotlu sisteme göre daha fazladır. Bu nedenle kısa ömürlü ve akım ihtiyacı küçük olan katodik koruma sistemlerinde bir yıllık koruma için gerekli akım maliyeti yüksek olabilir.

#### Zemin rezistivitesi bakımından

Metalik yapının içinde bulunduğu zeminin rezistivitesi (direnci) korozyon olayının hızını belirleyen en önemli faktördür. Zemin rezistivitesinin düşük olması korozyon hızını arttırmaktadır. Bunun yanında zemin rezistivitesinin yüksek oluşu, anot yatağının direncini arttırdığından sistemin düzgün çalışmasını önlemektedir.

*Galvanik anotlu katodik koruma* : Yüksek rezistiviteli zeminler içinde uygulanamaz. Galvanik anotlu katodik koruma sistemlerinin genellikle 5000 ohm.cm rezistiviteye kadar kullanılması uygundur [16].

*Dış akım kaynaklı katodik koruma*: Rezistivitenin yüksek oluşu engel oluşturmaz. Anot yatağı direncini azaltan kok tozu kullanımı ile yüksek rezistiviteli zeminler içinde de dış akım kaynaklı katodik koruma uygulanabilir.

### Uygulama kolaylığı bakımından

*Galvanik anotlu katodik koruma* : Uygulaması çok kolaydır. Projede göz önüne alınmayan etkenler nedeniyle akım ihtiyacında artış olursa, sisteme sonradan yeni anotlar ilave edilerek kapasite arttırılabilir.

*Dış akım kaynaklı katodik koruma*: Projelendirmeye özen gösterilmesi gerekir. Elektrik kaynağından sağlanan alternatif akımı doğru akıma çeviren potansiyeli ayarlayıp sisteme doğru akım sağlayan trafo redresör ünitesinin (TR) akım kapasitesi işletme sırasında projede öngörölmüş olan değerlerin dışına çıkarılamaz. Anot yatağı direnci işletme sırasında düşürülemez.

### Elektrik enerjisi bakımından

*Galvanik anotlu katodik koruma* : Dış akım kaynağına gerek yoktur. Bu sistem elektrik enerjisinin bulunmadığı yerlerde tercih edilmektedir.

*Dış akım kaynaklı katodik koruma*: Elektrik akımının bulunmadığı yerlerde uygulanamaz. Şebeke akımından uzak olan bölgelerde jeneratör kullanarak veya güneş enerjisinden yararlanarak elektrik akımı üretilir.

### Akım şiddetinin ayarlanması bakımından

*Galvanik anotlu katodik koruma* : Galvanik anotlardan çekilen akımı ayarlamak mümkün değildir. Galvanik anotlar katodik koruma için gerekli olan akımı kendiliğinden ayarlar. Yapının akım ihtiyacında artış olursa, potansiyeli düşer, böylece anot – katot arasındaki potansiyel farkında ( yürütücü kuvvet ) artış olur ve anottan daha fazla akım çekilir.

*Dış akım kaynaklı katodik koruma*: Dış akım kaynaklı Katodik koruma sisteminde, akım ihtiyacında herhangi bir değişme olması halinde trafo ünitesinde akım ve potansiyelin yeniden ayarlanması gerekir. Bu işlem el ile (manuel) yapıldığı gibi,

Katodik koruma devresine sabit bir referans elektrot konularak otomatik olarak da yapılabilir. Aksi halde yapının akım ihtiyacı arttığında potansiyeli koruma kriteri altına düşebilir. Bunların dışında çeşitli nedenlerle yapının akım ihtiyacında azalma söz konusu olursa, aşırı koruma meydana gelebilir.

#### Periyodik kontroller bakımından

*Galvanik anotlu katodik koruma* : Periyodik kontrollerde, dağınık durumda olan her bir anodun ayrı ayrı kontrol edilmesi gerekir.

*Dış akım kaynaklı katodik koruma*: Periyodik kontroller daha kolaydır. Trafo istasyonu genellikle kolay ulaşılabilecek bir yerde bulunur. Bütün tesis bir noktadan kontrol edilebilir. Akım ihtiyacı bir noktadan ayarlanabilir.

#### İşletme ve kontrol bakımından

*Galvanik anotlu katodik koruma* : Anotlardan biri kullanılamaz hale geldiğinde yalnız bu anot değiştirilerek diğer sağlam anotlarla korumaya devam edilir.

*Dış akım kaynaklı Katodik koruma*: Anot yatağında ortaya çıkan bir arızada bütün sistem devre dışı kalır.

#### İnterferans etkisi bakımından

Katodik koruma sistemi ile koruma altına alınan metalik yapıdan çevredeki yabancı metalik yapılara doğru oluşan akım kaçakları interferans etkisi olarak tanımlanmaktadır [17].

*Galvanik anotlu katodik koruma* : Galvanik anotların çevre yapılar üzerine interferans etkisi yoktur.

*Dış akım kaynaklı katodik koruma:* Anot yatağı çevresinde bulunan yabancı metalik yapılara akım kaçağı olabilir. Kaçak akım nedeniyle yabancı yapılar üzerindeki korozyonu önlemek üzere sürekli kontrol edilmesi ve özel önlemler alınması gerekir.

### **3.4.3. Boru hatlarının katodik koruması**

Boru hatlarına katodik koruma uygulamadan önce bazı ön etütlerin yapılması gerekir. Boru hattının geçeceği bölgede bulunan dere geçişleri, yol geçişleri, doğru akım ile çalışan raylı taşıma sistemleri, yüksek gerilimli elektrik hatları ve yabancı boru hatları ile kesişme noktaları belirlenmiş olmalıdır. Bu noktalarda interferans etkisini gidermek için daha proje aşamasında özel önlemlerin alınması gerekir. Bunun dışında katodik koruma projesine ön hazırlık olarak, boru hattının içinden geçmekte olduğu zemin cinsi, yer altı su seviyesi, rezistivite gibi zeminin korozyonluğuna hakkında fikir veren özellikleri de belirlenmelidir.

Pratikte katodik koruma uygulamalarında karşılaşılan en önemli sorun, katodik koruma akım ihtiyacının belirlenmesidir. Akım ihtiyacı metalik yapının içinde bulunduğu zeminin cinsine ve boru kaplama kalitesine bağlı olarak değişir. Bu nedenle akım ihtiyacı için genel değerler vermek doğru olmaz.

### **3.4.4. Katodik koruma akım ihtiyacı**

Katodik koruma projelendirmesi yapılmadan önce akım ihtiyacının ya deneysel olarak, ya da literatürde çeşitli ortamlar için verilmiş olan listelerden alınarak belirlenmesi gerekir. Değişik korozyon ortamları için akım ihtiyacı değerleri Çizelge 3.1 de görülmektedir.

Katodik koruma sisteminde transformator / redresör ünitelerinin kapasitesi (TR ünitesinin sisteme vereceği akım ve voltaj kapasiteleri), tesis ömrü (sistemin kaç yıl ömür öngörülerek tesis edileceği), anot kütlesi ve sayısı proje koşulları için ön görülen akım ihtiyacı değerine göre hesaplanır. Çeliğin kaplamalı ve kaplamasız olarak çeşitli ortamlarda korunması için gerekli olan yaklaşık akım ihtiyacı değerleri literatürde listeler halinde verilmiştir. Zemin içinde bulunan bir boru hattının akım

ihtiyacı büyük ölçüde kaplama kalitesine ve direncine bağlıdır. Boru hattının içinde bulunduğu zeminin rezistivitesi de etkili olmakla beraber zemin direnci boru kaplama direnci yanında çok küçük kaldığından ihmal edilebilir.

Çizelge 3.1. Çıplak boruların değişik zeminler içindeki akım ihtiyacı [18]

Zemin Elektrik Özgül Direnci (Ohm.cm)	Borunun Ortalama Akım İhtiyacı (mA/m <sup>2</sup> )
< 1000	20 < i
1000-3000	20 > i > 5
3000-10000	5 > i > 0,1
10000 <	i < 0,1

Projelendirme sırasında akım ihtiyacı belirlenirken tablolarda belirlenmiş olan bu akım ihtiyacı değerlerinin, katodik koruma ilk uygulandığında gerekli olan ve metal yüzeyi polarize olmadan önceki akım ihtiyacı olduğu gözden uzak tutulmamalıdır. Polarizasyon gerçekleştikten sonra akım ihtiyacında önemli ölçülerde düşüş görülür. Buna karşılık kaplama direnci de zamanla azalacağından akım ihtiyacında artış meydana gelir. Katodik koruma akım ihtiyacının belirlenmesinde en güvenilir değerler gerçek ortamlarda yapılan akım ihtiyacı deneyleri ile elde edilebilir.

#### 3.4.5. Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemi

Bir doğru akım kaynağından alınan yeterli şiddet ve potansiyeldeki doğru akım boru hattına uygulanarak boru hattı katodik olarak korunabilir. Doğru akım genellikle bir alternatif akım kaynağından transformatör-redresör ünitesi yardımı ile üretilir. Transformatör-redresör ünitesinden çıkan doğru akımın (+) ucu anot yatağına, (-) ucu da korunacak olan boru hattına bağlanır. Boru zemin potansiyelinin sürekli olarak kontrol edilebilmesi için, boru yakınına bir de sabit referans elektrot yerleştirilir. Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinde, galvanik anotlu katodik koruma sistemlerinden farklı olarak akım ve potansiyel istenildiği kadar artırılabilir. Bu nedenle bir anot yatağı ile çok uzun boru hatları korunabilir. Ancak aşırı korumaya

neden olmaması için boru/zemin potansiyelinin akım uygulanan noktada belli bir değerin üzerine çıkarılmaması gerekir. Bir noktadan korunabilen boru uzunluğu, borunun cinsine (çapına ve boru et kalınlığına), kaplama kalitesine ve katodik koruma akım ihtiyacına bağlıdır.

#### Transformatör redresör üniteleri

Katodik koruma sistemlerinde kullanılan transformatör redresör üniteleri ile şebekeden alınan alternatif akım önce bir transformatörden geçirilerek potansiyeli istenilen seviyelere düşürülür. Daha sonra bu düşük potansiyelli alternatif akım bir redresörden geçirilerek doğru akım haline dönüştürülür. Elde edilen doğru akım potansiyelini istenilen düzeye ayarlayabilmek için TR ünitesinde değişik potansiyel kademeleri bulunur [19].

Bazı hallerde katodik koruma sistemlerinde sabit potansiyelde doğru akım üreten TR ünitelerinin kullanılması gerekir. Özellikle çevreden kaçak akım olduğunda, veya anot yatağı direncinin mevsimlere bağlı olarak değişmesi halinde, akım ihtiyacında değişiklik olur. Böyle durumlarda TR ünitesi akımı otomatik olarak azaltıp çoğaltmak suretiyle boru/zemin potansiyelinin istenilen düzeyde sabit kalmasını sağlar.

#### Dış akım kaynaklı sistemde kullanılan anotlar

Katodik koruma devresinden akım geçebilmesi için anot ve katot yüzeylerinde aynı anda ve eşdeğer miktarda kimyasal reaksiyonların yürümesi gerekir. Anot ve katot yüzeylerinde yürüyen kimyasal reaksiyonlar katodik koruma sistemlerinin performansını belirleyen en önemli faktörlerdir.

Galvanik anotlu katodik koruma sistemlerinde anot reaksiyonu galvanik anodun çözünmesi şeklinde yürüdüğü halde, dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinde anot metali ve elektrolit cinsine bağlı olarak anot yüzeyinde çeşitli reaksiyonlar meydana gelir. Anot reaksiyonu anodun verimine ve ömrüne doğrudan etki yapar. Metal cinsi ne olursa olsun, anotta daima bir oksidasyon reaksiyonu meydana gelir.

Anot yüzeyinde hangi oksidasyon reaksiyonunun yürüyebileceğini ortam koşullarına bağlı olarak muhtemel reaksiyonların serbest entalpi değişimleri belirler. Ancak anotta meydana gelen bazı metal oksitlerin anot yüzeyinde çökmesi ile metal-elektrolit ara yüzeyinde yürümesi beklenen reaksiyonun hızı yavaşlayabilir. Bütün bunlar anot reaksiyonlarını oldukça karışık bir hale dönüştürür.

#### Anotlardan beklenen özellikler

Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinde çok çeşitli cins ve boyutta anot kullanılmaktadır. Anot seçiminde gözönüne alınacak temel kriterler şöyle özetlenebilir:

1. Katodik koruma sistemlerinde ilk tesis maliyetinin yaklaşık yarısı anotlara harcanır. Bu nedenle anot metalinin ucuz olması ekonomik açıdan önem taşır.
2. Anot birim yüzeyinde çekilebilen akım mümkün olduğunca yüksek olmalı ve anot direnci zamanla fazla artış göstermemelidir.
3. Anottan çekilebilen birim akım (A.Yıl) başına anot kütle kaybı mümkün olduğunca küçük olmalıdır. Anotlar kendilerinden beklenen süre ve miktarda akım üretebilmelidir [20] .

Bunun dışında anotlar sağlam, hafif ve kimyasal etkilere dayanıklı olmalı ve çevreyi kirletici toksit maddeler yaymamalıdır. Ticari anotlar değerlendirilirken yalnız fiyatı değil, bütün bu teknik özelliklerinin de göz önüne alınması gerekir. Endüstride su altında, zemin içinde, deniz suyunda ve değişik kimyasal elektrolitler içinde kullanılmak üzere çeşitli anot tipleri geliştirilmiştir. Projelendirilmede uygun bir seçim yapabilmek için başlıca ticari anotların teknik özelliklerinin tam olarak bilinmesi gerekir.

*Grafit anotlar* : Ülkemizde çok fazla kullanılmayan grafit anotlar, ekonomik oluşları nedeniyle deniz suyu, tatlı su ve zemin içinde yardımcı anot olarak kullanılmaktadır.

Anot reaksiyonu sonucu daima gaz çıkışı meydana geldiğinden, grafit anotların yüzeyinde bir pasif tabaka oluşmaz. Zemin ve tatlı sular içinde karbondioksit ve oksijen çıkışı meydana gelir. Deniz suyu içinde ise, esas olarak klor gazı oluşur. Yüksek akım yoğunluklarında klor yanında az miktarda oksijen ve karbondioksit gazları da çıkabilir. Grafit anotların tatlı sular içinde  $4 \text{ A/m}^2$ , zemin içinde  $10 \text{ A/m}^2$ , deniz suyu içinde  $30 \text{ A/m}^2$  den fazla akım çekilmesi sakıncalıdır. Normal halde grafit anotlardan  $2,5 - 3,0 \text{ A/m}^2$  akım çekilmesi uygundur. Bu durumda anot kütle kaybı  $0,5 \text{ kg/A.yıl}$  değerinin altında kalır. Yüksek akım yoğunluklarında kullanılan grafit anotlar kısa sürede parçalanır [11].

*Demir-silikon anotlar* : Demir silikon anotlar zemin ve tatlı sular içinde oldukça dayanıklıdır. Anot kütle kaybı  $20 \text{ A/m}^2$  akım yoğunluğunda  $0,5-0,75 \text{ kg/A.yıl}$  civarındadır. Deniz suyu içinde klor gazı çıkışı nedeniyle, demir silikon anotların yüzeyindeki pasiflik bozulur. Bu durumda anot yüzeylerinde çukur tipi korozyon görülür. Demir silikon anotların en büyük dezavantajı anodun ağır ve kırılğan oluşudur. Diğer taraftan anot yatağının kurulması halinde akım çıkışında büyük ölçüde azalma meydana gelir [21].

*Platin kaplı titanyum anotlar* : Titanyum metali üzerine  $5-10 \text{ }\mu\text{m}$  kalınlığında platin kaplanarak yüksek performanslı anotlar elde edilir. Bu anotlardan deniz suyu içinde çok yüksek yoğunluklarda akım çekilebilir. Akım çıkışı, zeminde kok tozu anot yatağı içinde özelliğini kaybetmeden çalışabilmesi için  $70-80 \text{ A/m}^2$  civarındadır. Platin kaplanmış titanyum (veya niobyum) anotların kütle kaybı çok azdır. Deniz suyu içinde kütle kaybı  $5-10 \text{ mg/A.yıl}$ ' dan daha azdır [19].

Platin kaplı anotlar klor çıkışına karşı dayanıklı oluşları ve yüksek akım yoğunluğu nedeniyle ideal bir anottur. Ancak bu anotların pahalı oluşları yanında önemli bir dezavantajı daha vardır. Bu anotlar  $8 \text{ Volt}$ ' dan daha yüksek potansiyelde çalıştırılacak olursa platin kaplama bozulabilir. Diğer taraftan transformatör redresör sisteminde frekans oynaması halinde de anot kaplamasında yine bozulma meydana gelebilir. Bu durumda anot pasifleşerek kullanılamaz hale gelir.

*Karma metal oksit kaplı titanyum anotlar* : Titanyum üzerine iletken özellikte metal oksitler kaplanarak hiç pasifleşme göstermeyen anotlar elde edilmiştir. Bu anotlardan en önemlisi Nikel-Ferrit anotlardır. Bu anotlar  $NiO+Fe_2O_3$  oksitlerinin uygun bir karışımının, titanyum metali üzerine kaplanmasıyla elde edilmektedir. Bu tip anotlar, anot reaksiyonu sonucu klor veya oksijen çıkışından hiç etkilenmemekte ve pH=1 değerine kadar asitlere dayanmaktadır. Bu inert özelliği nedeniyle oksit kaplı titanyum anotların kütle kaybı 1 mg/A.yıl dan daha küçük değerlerdedir. Deniz suyu içinde  $600 A/m^2$ , zemin içinde kok tozu anot yatağı kullanılarak  $100 A/m^2$  çekilebilir [11].

Bu anotların yüksek akım yoğunluklarında oksijen ve klor gazları çıkış reaksiyonlarında anot aşırı gerilimleri fazla yükselmemektedir. Hem klor hem de oksijen ayrışma gerilimleri oksit kaplı titanyum anotlarda düşüktür. Oksit kaplı titanyum anotlarda ayrışma gerilimi akım yoğunluğuna göre çok az artış gösterir. Bu durum uygulanan dış akım potansiyelini fazla arttırmadan, anotlardan yüksek akım çekebilme imkanı vermesi bakımından pratikte büyük önem taşımaktadır. Böylece daha küçük boyutlu anotlar kullanarak anot yatağını küçültmek mümkün olmaktadır. Oksit kaplı titanyum anotlar özellikle asitler ve çeşitli aktif kimyasal bileşiklerin bulunduğu elektrolitler içinde diğer anotlara tercih edilmektedir [13].

#### Dış akım kaynaklı sistemde anot yatakları

Anot yatakları katodik koruma sistemlerinin en önemli ünitesini oluşturur. Proje maliyetinin büyük bir kısmı anot yatağının malzeme ve montajına aittir. Sistemin performansı ve ömrü doğrudan anot yatağına göre belirlenir. Bu nedenle katodik koruma projelerinde anot yatağı yerinin belirlenmesi, kullanılacak anot cinsi ve sayısının tayini ve anot yatağı direncinin hesaplanması büyük önem taşır. Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinde biri sığ, diğeri derin kuyu olmak üzere iki tip anot yatağı kullanılmaktadır. Sığ anot yataklarında 2m derinlikte kok tozu yatağı içine yatay ve dikey konumda yerleştirilmektedir. Derin kuyu anot yataklarında ise anotlar yeterli derinlikte bir kuyu içine dikey olarak sallandırılıp, gerekirse kuyu içine kok tozu doldurulmaktadır.

### Anot yatağı dolgusu

Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinde kullanılan yardımcı anotlar bir anot yatağı içine konur. Anotlar yatak içine yerleştirilirken anot çevresi kok tozu ile doldurulur. Anot yatağı içine konulan kok tozu dolgusu, anot etkin boyutlarını artırarak anot yatağı direncini düşürür ve anot kütle kaybını azaltıcı rol oynar. Anot yatağı dolgu maddesi olarak grafit, petrol koku veya kok kömürü tozu kullanılır.

### Tek anot direnci

Anot yatağı direncini belirlemek için her şeyden önce zemin içinde bulunan tek anot direncinin hesaplanması gerekir. Tek anot direnci H.B.Dwight formülü ile hesaplanabilir [22].

$$R_{A,B} = \left[ \frac{\rho}{2\pi L} \right] \left[ \ln \left( 4L^2 + \frac{4L\sqrt{(H^2+L^2)}}{DH} \right) + \left( \frac{H}{L} \right) + \frac{\sqrt{(H^2+L^2)}}{L} - 1 \right] \quad (3.1)$$

Burada;

$R_A$  = Yatay olarak yerleştirilmiş tek bir anodun direnci (Ohm)

$R_B$  = Kok dolgu toprağa geçiş direnci (Ohm)

$L$  = Anot boyu (cm)

$H$  = Anot derinliğinin iki katı (cm)

$D$  = Dolgu ile birlikte eşdeğer anot çapı (cm)

$\rho$  = Anot yeri zemin özgül direnci (Ohm.cm)

Yukarıda verilen Dwight formülü hem anot metali için hem de anot yatağı kok dolgusu için geçerlidir.

Yatay olarak yerleştirilmiş tek bir anodun direnci :  $R_A$

Anot yatağının dolgu direncini:  $R_B$  ile ifade edersek,

Paralel bağlı anotlarla teşkil edilmiş anot yatağının toplam direnci:  $R_{GB}$  (Ohm)

$$R_{GB} = R_B + \frac{R_A \times F_A}{N} \quad (3.2)$$

Eşitliği ile bulunur [22]

Yukarıdaki eşitlikte,

$F_A$  : Paralel bağlı anotlar arasında interferans faktörü (başka bir ifadeyle anotlar arası dirençtir),

$N$  : Paralel bağlı anot sayısıdır.

Burada interferans faktörü  $F_A$  :

$$F_A = 1 + \frac{\rho}{\pi \times E \times R_A} \times \ln(0,656 \times N) \quad (3.3)$$

Eşitliği ile bulunur [22].

$\rho$  : Anot yatağı dolgu malzemesi direnci (Ohm.cm)

$E$  : Uçtan uca anotlar arası mesafe (cm)

$N$  : Anot sayısı

#### Anot yatağı direnci

Katodik koruma sistemlerinde anot yatağı direncinin mümkün olduğunca küçük olmasına çalışılır. Anot yatağı direncinin yüksek oluşu, katodik koruma akımının daha yüksek bir potansiyel ile uygulanmasına neden olur. Yüksek potansiyel akım maliyetini artırır. Anot yatağı direncini azaltmak için aşağıdaki önlemler alınabilir:

1. Anot çevresine kok tozu konularak anot boyutları arttırılır.
2. Anot yatağı düşük rezistiviteli bir zemin içinde açılır.
3. Anot sayısı arttırılır. Ancak bu durum da maliyette de artış olur.
4. Paralel bağlanmış anotlar arasındaki mesafe arttırılır.
5. Büyük anot yerine aynı kütlede fakat daha küçük boyutlu anotlar kullanılır.
6. Boy/çap oranı daha büyük olan anotlar tercih edilir [14].

### Anot sayısı

Yukarıda açıklanmış olduğu gibi, anot sayısı artırıldıkça direnç düşer, buna karşılık maliyet artar. Bu nedenle projelendirme aşamasında minimum anot sayısının belirlenmesi gerekir. Anot sayısı katodik koruma akım ihtiyacına ve söz konusu olan zeminin rezistivitesine bağlıdır. Zemin rezistivitesi arttıkça, aynı akımı çekebilmek için daha fazla anot kullanmak gerekir.

#### 4. YAPILAN ÇALIŞMA

Bu çalışmada amaç, katodik koruma projesi daha önce yapılmış olan Ereğli-Aksaray-Niğde Yüksek Basınç Doğalgaz boru hattının en uzun bölümü olan Ereğli yüksek basınç branşmanında değişik tip anotlar denenerek katodik koruma için en uygun anotların seçilmesidir.

##### 4.1. Ereğli Yüksek Basınç Doğalgaz Boru Hattı Bilgileri

Boru hattı güzergahı : Boru hattı mevcut Kayseri-Konya-Seydişehir doğalgaz branşmanında bulunan Aksaray istasyonundan başlamakta Ereğli'de bulunan basınç düşürme istasyonunda son bulmaktadır.(Bkz. Ek-1)

<i>Boru hattı uzunluğu</i>	: 91617 m
<i>Boru hattı çapı</i>	: 16" ( 0,400m )
<i>Boru et kalınlığı</i>	: 0,0064 m
<i>Boru malzemesi</i>	: Paslanmaz çelik
<i>İmalat Tipi</i>	: Spiral kaynaklı
<i>Dizayn Basıncı</i>	: 75 bar
<i>Çalışma sıcaklığı</i>	: -5 °C / 50 °C
<i>Boru kaplaması</i>	: Üç katmanlı polietilen ( PE ) kaplama ( 0,0024m)

##### 4.2. Arazi Etüd ve İncelemeleri

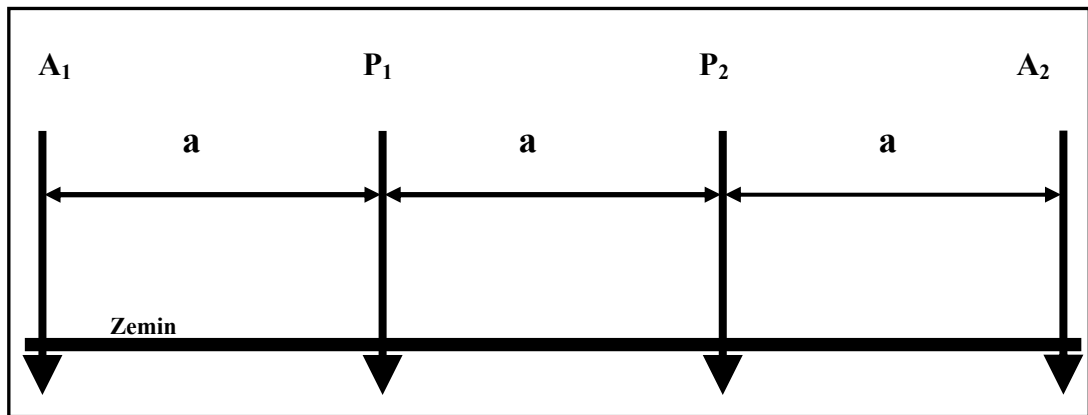
Boru hattı mevcut 40" çapında Kayseri-Konya-Seydişehir doğalgaz branşmanı üzerinde bulunan Aksaray istasyondan başlamaktadır. Boru hattı genel de mera tipi yüzeylerden geçtikten sonra Ereğli Organize Sanayi içerisinde bulunan Ereğli basınç düşürme istasyonunda son bulmaktadır.

#### 4.2.1. Boru hattı boyunca zemin özgül dirençleri

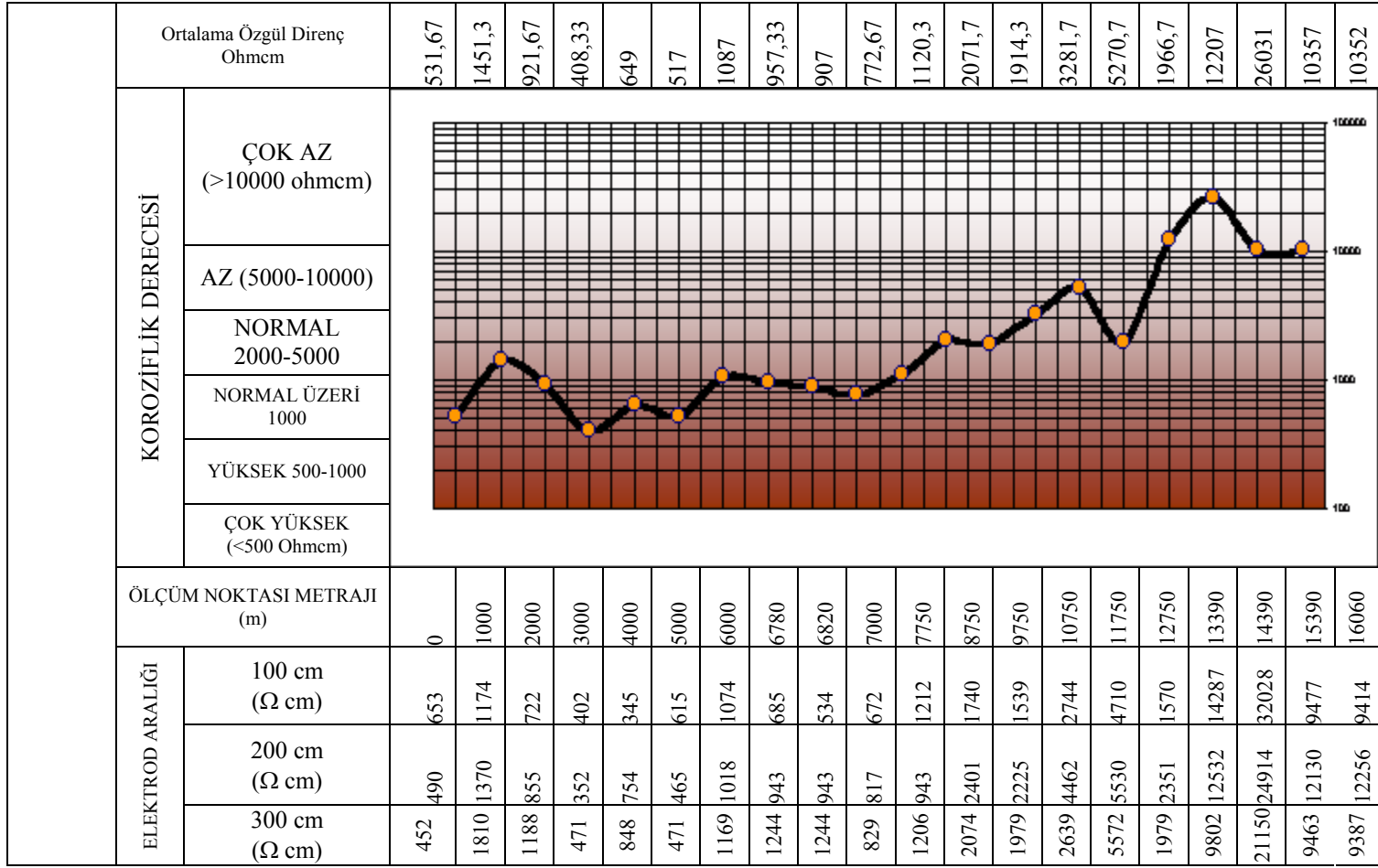
Güzergahlar boyunca hat başlangıcından itibaren yaklaşık her kilometrede bir, Wenner dört elektrot yöntemi ile 1m, 2m ve 3m elektrot açıklıklarında zemin özgül direnci değerleri ölçülmüş olup, sonuçlar grafik haline dönüştürülmüştür. Bu grafiklerin ilk 16 km lik kısmı Şekil-4.1 de sunulmuştur. İlk 16 km den daha sonraki kısım ekler bölümünde sunulmuştur (Bkz.Ek-2). Grafiklerden de görüleceği üzere boru hattı güzergahı bölgesel olarak farklı zemin yapısına sahip arazilerden geçmektedir. Katodik koruma projesi yapılmadan önce arazi etüdünün yapılp zeminin koroziflik derecesinin belirlenmesi projede uygulanacak akım ihtiyacının belirlenmesi yönünden çok önemli olmakla birlikte ayrıca bu etüdle boru hattının veya metalik yapının inşaa edileceği zemin hakkında da detaylı bilgi sağlamaktadır.

##### Wenner dört elektrot yöntemi

Arazide belli bir derinliğe kadar olan zemin rezistiviteleri Wenner dört elektrot yöntemi ile doğrudan tayin edilebilir. Bu yöntemde zemine sabit aralıklarla ( $a$ ) elektrot çakılır. Şekil-4.2 de görüldüğü gibi dıştaki elektrotlarla ( $A_1$  ve  $A_2$ ) zemine bir alternatif akım uygulanır. Bu akımın zemin içinde yaratmış olduğu potansiyel farkı içteki iki elektrot arasından ( $P_1$  ve  $P_2$ ) ölçülür. Daha sonra Ohm yasası kullanılarak direnç hesaplanır [23].



Şekil 4.1. Wenner dört elektrot yöntemine göre elektrot dizilişleri



Şekil 4.2 Zemin rezistivitesi değerleri grafiği

Zeminler, özgül direncine bağlı olarak korozyon yapıcılığı yönünden Çizelge 4.1’de sınıflandırılmaktadır.

Çizelge 4.1. Zeminlerin özgül elektrik direncine göre sınıflandırılması [20]

Zemin Özgül Elektrik Direnci $\Omega.cm$	Zeminin Korozif Niteliği
<1000	Çok Korozif
1000-3000	Korozif
3000-10000	Orta Korozif
10000<	Az Korozif

Arazi etüdü sırasında toplam 108 ayrı noktada yapılan ölçümler sonucu elde edilen zemin direnci değerlerinin ortalaması alınmış olup bu değer 7367 ohm.cm dir. Genel değerlendirme ortalama zemin özgül direncine göre yapılacağından, hat güzergahları zemini, hesaplanan ortalama zemin özgül direnci değerine göre; orta korozif özelliklidir (Bkz.Ek-3).

#### 4.2.2. Katodik koruma istasyonu yerleri etüdü

Güzergah üzerinde katodik koruma istasyonlarının hat vanaları veya basınç düşürme istasyonlarının çevrili sahası içinde tesis edilmesi en uygun görüş olup, AC enerji temini ve kontrol açısından da en uygun yerler olduğu belirlenmiştir. Katodik koruma istasyonları yerlerinin tespiti aşağıdaki kriterlere göre yapılmıştır.

- Anot yatağı yapılacak yerde zemin özgül direnci mümkün mertebe düşük olmalıdır.
- Anot yatağı yeri, boru hattından mümkün mertebe uzakta (>100m) tesis edilmelidir.
- Trafo redresör ünitesini besleme enerjisi (220V alternatif akım), rahatlıkla sağlanmalıdır.
- Anot yatağı, interferansa yol açmamak için başka metalik yeraltı yapılarından da uzak olmalıdır.

- Katodik koruma istasyonu, çevreden hasarlara karşı iyi korunan mekanlarda tesis edilmelidir. Böylece, kontrol ve bakımı da kolay olur.

Katodik koruma istasyonlarının, hat vanaları ve basınç düşürme istasyonlarının (RMS) tesis edileceği yerlerde yapılması, bu yerlerin korunan alan olması ve buralara elektrik enerjisi istasyon içi kullanımı için getirileceğinden uygun bir görüştür. Boru hattından ve istasyonlardan yeterli uzaklıkta ve düşük dirençli yerler tespit edildiğinde tüm kriterler sağlanmış olur.

Bu çalışmalar sonucunda tespit edilen hat vanası ve istasyon yerlerinde ölçümler yapılmış olup, uygun anot yatakları yerleri tesbit edilmiştir. Tespit edilen bu anot yatağı yerlerinde üç farklı noktada elektrotlar 2 metre aralıklarla (anot yatağı derinliğinin 2 metre olmasından dolayı) açılarak zemin özgül dirençleri ölçülmüştür. Ölçülen değerler ve ortalamaları aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.2. Güzergah boyunca yerüstü yapıları ve bu noktalarda tespit edilen anot yatağı yerlerinde zemin özgül direnci değerleri

Sıra No	Güzergah Üzerinde Boru Hattı Yerüstü Yapıları			Tespit Edilen Anot Yatağı Yerlerinde	
	Yeri	Adı	m	Ölçülen Zemin Özgül Dirençleri ( $\Omega$ .cm)	Ortalama Zemin Özgül Dir. ( $\Omega$ .cm)
1	Ereğli	LV-01	30480	2568, 3215, 3612	3132
2	Ereğli	LV-02	59351	2614, 2895, 2314	2608
3	Ereğli	PS-02	91615	2896, 2541, 2222	2553

#### 4.2.3. Arazi incelemeleri ile ilgili değerlendirmeler

- Boru hattı çoğunlukla kırsal alandan geçmektedir.
- Boru hattı güzergahı üzerinden ölçülen zemin özgül direnci değerlerinden boru hattının genellikle orta korozif bölgeden geçtiği gözlenmektedir.

- Boru hatlarının büyük bir bölümünün kırsal alandan geçmesi nedeniyle boru hattına yakın herhangi bir metalik altyapı gözlenmemiştir. Keza, katodik koruma sistemini etkileyecek herhangi bir üst yapı da mevcut değildir. Bu nedenlerle, boru hattı üzerinde interferans gözlenmesi beklenmemektedir.
- Hat, kaynaklı imalatla tesis edilecektir. Bu nedenle elektriksel olarak süreklilik göstermektedir.
- Katodik koruma istasyonları için muhtemel yerler olan hat vanası ve istasyonlarda anot yatakları için gerekli etüd ve incelemeler yapılmıştır. Proje hesapları sonucunda bunların arasından katodik koruma istasyonu tesis edilecek yerler belirlenmiştir.

### **4.3. Katodik Korumanın Projelendirilmesi**

İşlem basamakları olarak;

- Katodik koruma istasyonu kurmak için düşünülen noktalar arasında ortalama özgül dirençler belirlenmiş,
- Akım-drenaj noktası potansiyel değişimlerden hareketle korunabilecek maksimum mesafeler belirlenmiştir.
- Bu çalışmalardan ve hat vanalarının yerlerini de dikkate alarak katodik koruma istasyon yerleri belirlenmiştir.
- Katodik koruma istasyonları akım ihtiyaçları belirlenmiş ve anot yatakları tasarlanmıştır.

#### **4.3.1. Boru hattı istasyonlar arası ortalama özgül dirençleri**

Bir katodik koruma istasyonu ile korunabilecek maksimum mesafe ve koruma için gerekli akım ihtiyacı, akım drenaj noktası potansiyel ve akım değişimleri yöntemine göre hesaplanır. Boru hattının branşmanlara ayrılması, değişik uzunluklarda olması ve bölgesel olarak farklı zemin özgül dirençlerine sahip olmasına bağlı olarak, katodik koruma hesaplamalarını tüm hattın ortalama zemin özgül direncine göre yapmak doğru sonuçlar vermeyebilir. Katodik koruma istasyonlarının da uygun hat

vanalarında tesis edilebileceği dikkate alındığında; hesaplamalarda her katodik koruma istasyonunun koruma etkisinde kalan bölgenin ortalama zemin özgül dirençlerini kullanmak doğru olur. Ortalama zemin özgül dirençleri hesaplanarak aşağıdaki tabloda sunulmuştur. Hat vanaları arası mesafe, bu mesafelerde ortalama zemin özgül dirençleri ve bu hesaplamalardan yola çıkılarak elde edilen hattın ortalama özgül direnci değerleri Çizelge 4.3’de sunulmuştur.

#### 4.3.2. Katodik koruma istasyon yerlerinin tespiti

Zemin etütlerinde belirtilen olası katodik koruma istasyonu yerlerinden sistemimiz için uygun olanlarının tespiti bu bölümde incelenecektir. Bunun için diğer tüm katodi

Çizelge 4.3. İstasyonlar arası mesafeler, bu bölgelerde ortalama zemin özgül direnci değerleri (Bkz. Ek-3)

İstasyon No	Yeri	İstasyonlar Arası Mesafe (m)	Ortalama Rezistivite ( $\Omega$ cm)
KKİ-1	30480	Başlangıca=30480	12020
KKİ-2	59351	28871	7239
KKİ-3	91166	31815	3402

koruma istasyonunda olması gereken özelliklerin yanı sıra katodik koruma istasyonu seçiminde diğer bir etken olan ve hesaplanan drenaj noktası potansiyel değişimi değerleri incelenerek, iki istasyon arası mesafenin koruma bölgesi içinde kalıp kalmadığı kontrol edilmiştir.

Polietilen kaplı boruların kaplama direnci  $10^8 \Omega.m^2$  gibi oldukça yüksek bir değerdir [24]. Polietilen kaplı boruların kaplama direnci oldukça yüksek olmakla birlikte kaplama tabakasının çeşitli özgül dirençli zeminlerde 20 yıl sonraki değerlerinin temin edilmesi dikkate alınmıştır. Zemin özgül direncine bağlı boru kaplama direnci değerleri Çizelge 4.4’de sunulmuştur.

Çizelge 4.4. Zemin özgül direncine bağlı boru kaplama direnci [24].

Zemin Özgül Direnci ( $\Omega\text{cm}$ )	Boru-Toprak Kaplama Direnci ( $\Omega\text{m}^2$ )
2500 den küçük	3000
2500-4000 arası	5000
4000-10000 arası	6000
10000 den büyük	12000

Çizelge 4.3' de verilen istasyonlar arası ortalama zemin özgül dirençlerine göre kaplama direnci seçilerek akım drenaj noktası potansiyel değişimleri hesaplanır.

#### 4.3.3. Akım drenaj noktası potansiyel değişimi ve akım ihtiyacı

Katodik koruma kriterine göre, boru hattı boyunca tüm noktalarda ölçülen boru-zemin potansiyeli,  $-850\text{mV}$ 'dan (doygun bakır-bakır sülfat referans elektroduna göre) daha negatif olmalıdır [15]. Boru hattına akım akıtma noktasında (akım drenaj noktası) boru toprak potansiyeli en yüksek değerdedir. Bu noktadan itibaren potansiyel ve akımdaki değişim iki tarafa doğru hiperbolik fonksiyon olarak azalır. Bu fonksiyon aşağıda verilmiştir. Bu fonksiyon ile boru sonu potansiyel kayması ( $E_{\text{dr}}$ ) hesaplanır [25].

$$E_{\text{dr}} = E_s \cdot \text{Cosh}(a.L) \quad (4.1)$$

Burada;

Boru sonu potansiyel kayması ( $E_s$ ) :  $0,4\text{ V}$  dur. Bunun nedeni  $450\text{ mV}$  olarak kabul edilen boru tabii potansiyelinden  $400\text{ mV}$  luk sapma yaparak boru sonunda da  $850\text{mV}$  luk koruma kriterini sağlamak amaçlıdır. Bir başka deyişle boru sonunda (borunun korunacak en son noktasında) minimum  $400\text{ mV}$  luk kayma öngörülmektedir. Böylelikle boru sonunda dahi koruma kriterleri içerisinde kalınmış olunmaktadır.

a: Sönüm (Attenuation) sabiti ( $\text{m}^{-1}$ )

L: Korunacak boru uzunluğudur (m)

#### 4.3.4. Katodik koruma istasyonlarının tasarımı

Öncelikle her bir katodik koruma istasyonu için akım ihtiyacı değerleri ve korunabilecek maksimum boru uzunlukları belirlenmiştir. Çizelge 4.5, Çizelge 4.6 ve Ek-5 de bulunan çizelgelerde hesaplanan akım ihtiyacı değerlerini kullanarak dört farklı anot için hesaplamalar yapılmış ve gerekli anot sayıları belirlenmiştir. Anot sayıları belirlenirken anot yatağı direnci değerlerinin 1ohm'un altında olması gerekmektedir [25]. Yapılan çalışmanın daha yakından incelenmesi için bir algoritma hazırlanmıştır (Bkz. Ek-4).

Boru hatlarını korumak için gereken potansiyel artışı ve akım aşağıdaki semboller ile tarif edilmiştir.

- D = Boru çapı (m).  
 $r_{dış}$  = Boru dış yarıçapı (m).  
 $r_{iç}$  = Boru iç yarı çapı (m).  
 $R_{ort}$  = Ortalama rezistivite değeri (ohm.cm) (Bkz. Çizelge 4.3).  
 $R_0$  = Boru–toprak kaplama direnci (ohm.m<sup>2</sup>) (Bkz. Çizelge 4.4).  
t = Boru et kalınlığı (m).  
L = Korunacak boru uzunluğu (m).  
 $\rho$  = Boru malzemesi özgül direnci (ohm.m).  
 $E_s$  = Boru sonu potansiyel kayması (V).  
C = Nominal boru çevresi (m).  
A = Boru kesit alanı (m<sup>2</sup>).  
 $R_l$  = Boru uzunluğuna direnç (ohm.m<sup>-1</sup>).  
 $R_t$  = Boru geçiş direnci (ohm.m).  
a = Sönüm (Attenuation) sabiti (m<sup>-1</sup>) [11].  
 $R_k$  = Boru hattı karakteristik (aksamının) direnci (ohm) [11].  
 $E_{dr}$  = Drenaj noktası boru zemin potansiyel değişimi (V) [11].  
I = Akım ihtiyacı (A) [11].  
 $E_0$  = Akım drenaj noktası boru zemin potansiyeli (V) [11].  
Çelik için boru malzemesi özgül direnci ( $\rho$ ) =  $0,18 \cdot 10^{-6}$  ohm.m dir [22].

Çizelge 4.5. KKİ-01 istasyonundan pig istasyonu yönüne akım ihtiyacı çizelgesi

PİG İST. ← KKİ-1				
BORU ÇAPI	D	0,400		m
BORU DIŞ YARIÇAPI	$r_{dış}$	0,200		m
BORU İÇ YARIÇAPI	$r_{iç}$	0,194		m
ORTALAMA ZEMİN ÖZGÜL DİRENCİ	$R_{ort}$	12020		$\Omega\text{cm}$
BORU KAPLAMA DİRENCİ	$R_o$	12000		$\Omega\text{m}^2$
BORU ET KALINLIĞI	t	0,0064		m
KORUNACAK BORU UZUNLUĞU	L	30480		m
BORU MALZEMESİ ÖZGÜL DİRENCİ	$\rho$	$1,8 \times 10^{-7}$		$\Omega\text{m}$
BORU SONU POTANSİYEL KAYMASI	$E_s$	0,4		V
NOMİNAL BORU ÇEVRESİ	C	1,256	$\pi \cdot D$	m
BORU KESİT ALANI	A	0,0079	$\pi \cdot (r_{dış}^2 - r_{iç}^2)$	$\text{m}^2$
BORU UZUNLUĞUNA DİRENÇ	$R_l$	$2,28 \times 10^{-5}$	$\rho / A$	$\Omega\text{m}^{-1}$
BORU GEÇİŞ DİRENCİ	$R_t$	9554,14	$R_o / C$	$\Omega\text{m}$
SÖNÜM (ATTENUATION) SABİTİ	a	$4,88 \times 10^{-5}$	$\sqrt{(R_l / R_t)}$	$\text{m}^{-1}$
KARAKTERİSTİK DİRENÇ	$R_k$	0,47	$\sqrt{(R_l \cdot R_t)}$	$\Omega$
DİRENAJ NOKTASI BORU-ZEMİN POTANSİYEL DEĞİŞİMİ	$E_{dr}$	0,9304	$E_s \text{Cosh}(a \cdot L)$	V
<b>AKIM İHTİYACI</b>	<b>I</b>	<b>1,80</b>	<b><math>(E_o / R_k) \text{Sinh}(a \cdot L)</math></b>	<b>A</b>
AKIM NOK. BORU ZEMİN POTANSİYELİ	$E_o$	1,2		V
KORUNABİLECEK MAKSİMUM BORU UZUNLUĞU	X	36118	$\text{ArcCosh}(E_o / E_s) / a$	m

Çizelge 4.6. KKİ-01 istasyonundan iki nolu istasyon yönüne akım ihtiyacı çizelgesi

KKİ-1 → KKİ-2				
BORU ÇAPI	D	0,400		m
BORU DIŞ YARIÇAPI	$r_{dış}$	0,200		m
BORU İÇ YARIÇAPI	$r_{iç}$	0,194		m
ORTALAMA ZEMİN ÖZGÜL DİRENCİ	$R_{ort}$	7239		$\Omega\text{cm}$
BORU KAPLAMA DİRENCİ	$R_o$	6000		$\Omega\text{m}^2$
BORU ET KALINLIĞI	t	0,0064		m
KORUNACAK BORU UZUNLUĞU	L	14436		m
BORU MALZEMESİ ÖZGÜL DİRENCİ	$\rho$	$1,8 \times 10^{-7}$		$\Omega\text{m}$
BORU SONU POTANSİYEL KAYMASI	$E_s$	0,4		V
NOMİNAL BORU ÇEVRESİ	C	1,256	$\pi \cdot D$	m
BORU KESİT ALANI	A	0,0079	$\pi \cdot (r_{dış}^2 - r_{iç}^2)$	$\text{m}^2$
BORU UZUNLUĞUNA DİRENÇ	$R_l$	$2,28 \times 10^{-5}$	$\rho / A$	$\Omega\text{m}^{-1}$
BORU GEÇİŞ DİRENCİ	$R_t$	4777,07	$R_o / C$	$\Omega\text{m}$
SÖNÜM (ATTENUATION) SABİTİ	a	$6,90 \times 10^{-5}$	$\sqrt{(R_l / R_t)}$	$\text{m}^{-1}$
KARAKTERİSTİK DİRENÇ	$R_k$	0,33	$\sqrt{(R_l \cdot R_t)}$	$\Omega$
DİRENAJ NOKTASI BORU-ZEMİN POTANSİYEL DEĞİŞİMİ	$E_{dr}$	0,6155	$E_s \text{Cosh}(a \cdot L)$	V
<b>AKIM İHTİYACI</b>	<b>I</b>	<b>1,42</b>	<b><math>(E_o / R_k) \text{Sinh}(a \cdot L)</math></b>	<b>A</b>
AKIM NOK. BORU ZEMİN POTANSİYELİ	$E_o$	1,2		V
KORUNABİLECEK MAKSİMUM BORU UZUNLUĞU	X	25540	$\text{ArcCosh}(E_o / E_s) / a$	m

Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6 da yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen akım ihtiyaçları toplamı KKi-01 katodik koruma istasyonunun sağlaması gereken akım ihtiyacıdır.

Diğer katodik koruma istasyonları için de gerekli olan akım ihtiyaçları belirlenmiş ve korunabilecek maksimum uzunluklar her yönde hesaplanmıştır (Bkz. Ek-5). Hesaplanan akım ihtiyaçları anot yatağı dizayn akım kapasitelerini bulmak üzere 1,15 katsayısı ile çarpılır [22]. Bu işlem sonucunda bulunan değerler Çizelge 4.7'de sunulmaktadır.

Çizelge 4.7. Herbir katodik koruma istasyonu için akım ihtiyacı değerleri ve anot yatağı dizayn akım kapasiteleri

Katodik Koruma İstasyon No		Hesaplanan Akım İhtiyacı ( A )			ANOT YATAĞI DİZAYN AKIM KAPASİTESİ 1,15 x A
		Yönler		Toplam	
Adı	Yeri	Aksaray	Ereğli		
KKi-01	LV-01	1,80	1,42	3,22	3,70
KKi-02	LV-02	1,42	2,01	3,43	3,95
KKi-03	PiG İst.	2,01	-	2,01	2,31
			Toplam	8,66	9,96

#### 4.3.5. Karma metal oksit kaplı titanyum anotlar ile anot yatağı tesis edilmesi

$$\text{Anot Yatağı Ömrü} = 20 \text{ Yıl}$$

$$\text{Anotlardan Çekilebilecek Akım} = 100 \text{ A/m}^2 \text{ [15].}$$

$$\text{Anot Boyutları} = 3 \times 20 \times 750 \text{ mm [15].}$$

$$\begin{aligned} \text{Anot Yüzeyi} &= 2 \times 20 \text{ mm} \times 750 \text{ mm} \\ &= 30000 \text{ mm}^2 = 0,03 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Bir anottan 20 yıl ömür için  $100 \text{ A/m}^2$  akım çekileceğine göre 20 yıl ömürde bir anottan çekilebilecek maksimum akım:

$$I = 100A/m^2 \times 0,03 m^2 = 3,00 A$$

Örnek olarak KKI-01 nolu istasyon için tesis edilecek anot yatağında gerekli anot ağırlığı;

$$\text{Anot Sayısı} = \frac{3,7}{3,00} = 1,23 = 2 \text{ Adet olarak bulunur}$$

Yukarıda sunulan örneğe göre diğer iki katodik koruma istasyonu içinde hesaplamalar yapılmış olup sonuçlar Çizelge 4.8’de verilmektedir.

Çizelge 4.8. Katodik koruma istasyonları için hesaplanan minimum karma metal oksit kaplı titanyum anot sayıları

KATODİK KORUMA		ANOT YATAĞI DİZAYN AKIM KAPASİTESİ	Bir Adet Anodun Akım Çıkışı, A	Anot Sayısı n	Minimum Anot Sayısı, n
İSTASYON NO					
ADI	YERİ	1,15 x A			
KKI-01	LV-01	3,70	3,00	1,23	2
KKI-02	LV-02	3,95	3,00	1,32	2
KKI-03	PİG İST.	2,31	3,00	0,77	1

Akım ihtiyacına göre minimum anot sayıları belirlenmiştir. Fakat gerçek anot sayılarını bulmak için ayrıca anot yatağı direnci hesaplamasının da yapılması gerekir. Anot yatağı direnci hesaplamasında da anot yatağı direncinin 1 ohm dan yüksek çıkmamasını sağlayacak anot sayısı hesaplanacaktır. Böylelikle her bir anot yatağı için gerçek anot sayısına ulaşılmış olacaktır. Öncelikle KKI-1 istasyonu örnek hesaplamasında akım ihtiyacına göre elde edilen minimum anot sayısını kullanarak anot yatağı direnci Çizelge 4.9 da hesaplanmıştır.

Çizelge 4.9. Karma metal oksit kaplı titanyum anot ile KKİ-01 istasyonu için anot yatağı direnci hesabı

ANOT YATAĞI DİRENCİ HESABI								
(Karma metal oksit kaplı titanyum anot ile)								
KKİ-01 NO'LU KATODİK KORUMA İSTASYONU İÇİN								
Yatay olarak yerleştirilmiş tek bir anodun kok dolgu maddesine ( $R_A$ ) veya kok dolgunun toprağa geçiş direnci ( $R_B$ ) Dwight eşitliğinden bulunur [ 22 ].								
$R_{A,B} = \left[ \frac{\rho}{2\pi L} \right] \left[ \ln \left( 4L^2 + \frac{4L\sqrt{(H^2+L^2)}}{DH} \right) + \left( \frac{H}{L} \right) + \frac{\sqrt{(H^2+L^2)}}{L} - 1 \right]$								
Kok Dolgu Madde Özgül Direnci	$\rho_{kok}$	50	Ohm.cm	$\rho_{toprak}$	3132	Anot yatağı yerinde toprak özgül direnci		
Anot Boyu	$L_A$	75	Cm	$L_B$	704,8	Kok dolgu boyu		
Anot Çapı	$D_A$	1,27	Cm	$D_B$	45,13	Kok dolgu çapı		
Anot Yatağı Derinliği 2 Katı	H	320	Cm	H	320	Anot yatağı derinliğinin iki Katı		
Tek Anodun Direnci	$R_A$	0,49	Ohm	$R_B$	2,84	Kok dolgunun toprağa geçiş direnci		
Paralel bağlı anotlarla teşkil edilmiş anot yatağının direnci :								
$R_{GB} = R_B + \frac{R_A \times F_A}{N}$								
Tek Anodun Direnci	$R_A$	0,49	Ohm					
Kok Dolgu Direnci	$R_B$	2,84	Ohm					
İnterferans Faktörü	$F_A$	1,06		$\rho_{kok}$	50	Ohmcm		
				$R_A$	0,49	Ohm		
				E	150	Cm		
				N	2	Anot Adedi		
Anot Yatağı Direnci	$R_{GB}$	3,10	Ohm					
Anot Yatağı boyu $L_B = ((75+E) \times N) + 100$ cm' dir.								
Anotlar Arası Mesafe E = 150 cm' dir.								
Anot yatağı dolgu maddesi eşdeğer çapı 40x40 cm kesitli kok için $D_B = 45,13$ cm' dir								

Bulunan minimum anot sayısı kullanılarak yapılan yukarıdaki hesaplamada anot yatağı direnci çok yüksek çıkmıştır. Çizelge 4.10'da anot sayısı, anot yatağı direnci 1ohm civarında olacak şekilde arttırılmış ve gerekli anot sayısı elde edilmiştir.

Çizelge 4.10. Arttırılmış karma metal oksit kaplı titanyum anot sayısı ile KKİ-01 istasyonu için anot yatağı direnci hesabı

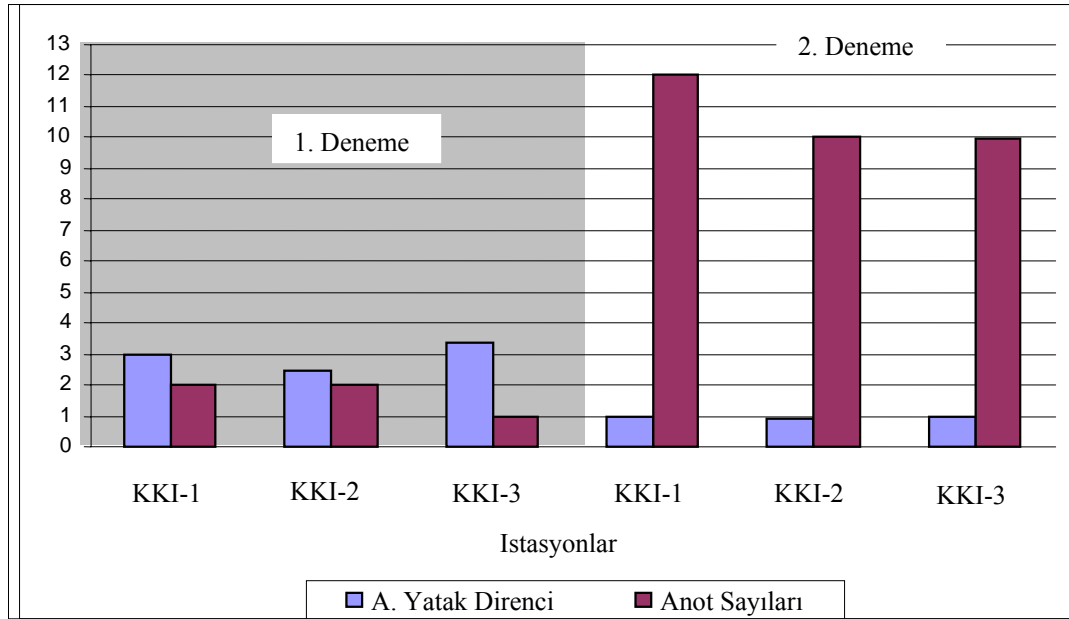
ANOT YATAĞI DİRENCİ HESABI							
(Karma metal oksit kaplı titanyum anot ile)							
KKİ-01 NO'LU KATODİK KORUMA İSTASYONU İÇİN							
Yatay olarak yerleştirilmiş tek bir anodun kok dolgu maddesine( $R_A$ ) veya kok dolgunun toprağa geçiş direnci ( $R_B$ ) Dwight eşitliğinden bulunur [ 22 ].							
$R_{A,B} = \left[ \frac{\rho}{2\pi L} \right] \left[ \ln \left( 4L^2 + \frac{4L\sqrt{(H^2+L^2)}}{DH} \right) + \left( \frac{H}{L} \right) + \frac{\sqrt{(H^2+L^2)}}{L} - 1 \right]$							
Kok Dolgu Madde Özgül Direnci	$\rho_{\text{kok}}$	50	Ohm.cm	$\rho_{\text{toprak}}$	3132	Anot yatağı yerinde toprak özgül direnci	
Anot Boyu	$L_A$	75	Cm	$L_B$	3728,8	Kok dolgu boyu	
Anot Çapı	$D_A$	1,27	Cm	$D_B$	45,13	Kok dolgu çapı	
Anot yatağı Derinliğinin iki katı	H	320	Cm	H	320	Anot yatağı derinliğinin iki katı	
Tek Anodun Direnci	$R_A$	0,49	Ohm	$R_B$	0,94	Kok dolgunun toprağa geçiş direnci	
Paralel bağlı anotlarla teşkil edilmiş anot yatağının direnci :							
$R_{GB} = R_B + \frac{R_A \times F_A}{N}$							
Tek Anodun Direnci	$R_A$	0,49	Ohm				
Kok Dolgu Direnci	$R_B$	0,94	Ohm				
İnterferans Faktörü	$F_A$	1,06		$\rho_{\text{kok}}$	50	Ohmcm	
				$R_A$	0,49	Ohm	
				E	150	Cm	
				N	12	Anot Adedi	
Anot Yatağı Direnci	$R_{GB}$	0,99	Ohm				

Diğer iki anot yatağı (KKİ-02 ve KKİ-03) için de hesaplamalar yapılmış olup anot yatağı direnci 1ohm'dan yüksek olmayacak şekilde gerekli anot sayıları hesaplanmıştır (Bkz. Ek-6). Bu hesaplama sonuçları Çizelge 4.11'de görülmektedir.

Çizelge 4.11. Karma metal oksit kaplı titanyum anotlar için yapılan hesaplama sonuçlarının karşılaştırılması

Anot Yatağı Adı	1. Deneme		2. Deneme	
	Anot Sayısı	Anot Yatağı Direnci (Ohm)	Anot Sayısı	Anot Yatağı Direnci (Ohm)
KKİ-01	2	3,10	12	0,99
KKİ-02	2	2,63	10	0,96
KKİ-03	1	3,62	10	0,94

Elde edilen bu sonuçlar ışığında Şekil-4.3'de her bir anot yatağı için anot yatağı direnci değerleri ve anot sayıları görülmektedir. 1. denemede anot yatağı dirençleri yüksektir. Bu dirençleri düşürmek için anot sayılarını arttırmamız gerekmiştir. Böylelikle anot yatağı dirençleri 1ohm'un altına düşürülmüştür.



Şekil-4.3. Karma metal oksit kaplı anot için anot yatağı dirençleri ve anot sayıları

Bir sonraki aşama olarak karma metal oksit kaplı titanyum anotların hesaplamalarına benzer şekilde diğer anot çeşitleri için de aynı hesaplamalar yapılmış olup bunlar aşağıda sunulmuştur.

#### 4.3.6. Demir silikon anotlar ile anot yatağı tesis edilmesi

Anot Yatağı Ömrü	=	20	Yıl
Anotların Kütle Kaybı	=	0,35	kg/A.yıl [21].
Anotların Eskime Faktörü	=	%75	[21].
Anotlardan Çekilecek Akım	=	(Bkz. Çizelge 4.7)	
Anot Ağırlığı	=	23	kg [21].

$$\text{Anot Ağırlığı} = \frac{\text{A. Yatağı Ömrü} \times \text{Çekilen Akım} \times \text{A.Kütle Kaybı}}{\text{Eskime Faktörü}}$$

KKİ-01 nolu istasyon için tesis edilecek anot yatağında gerekli anot ağırlığı;

$$\begin{aligned} \text{Anot Ağırlığı} &= \frac{20 \text{ yıl} \times 3,70 \text{ A} \times 0,35 \text{ kg/A.yıl}}{0,75} \\ &= 34,57 \text{ kg} \end{aligned}$$

50mm x 1500mm boyutlu 23 kg'lık yüksek silisyum ve kromlu dökme demir anotlar kullanılması durumunda gerekli minimum anot sayısı:

$$\text{Anot Sayısı} = \frac{34,57}{23} = 1,50 = 2 \text{ Adet olarak bulunur}$$

Yukarıda sunulan örneğe göre diğer iki katodik koruma istasyonu içinde hesaplamalar yapılmış olup sonuçlar aşağıdaki çizelgede verilmektedir.

Çizelge 4.12. Katodik koruma istasyonları için hesaplanan minimum demir silikon anot sayıları

KATODİK KORUMA İSTASYON NO		ANOT YATAĞI DİZAYN AKIM KAPASİTESİ	Minimum Ağırlığı	Anot Sayısı	Minimum Anot Sayısı, n
ADI	YERİ	1,15 x A	kg	n	
KKİ-01	LV-01	3,70	34,57	1,50	2
KKİ-02	LV-02	3,95	36,83	1,60	2
KKİ-03	İST.	2,31	21,60	0,94	1

Akım ihtiyacına göre minimum anot sayıları demir silikon anotlar için de belirlenmiştir. Fakat yine gerçek anot sayılarını bulmak için ayrıca anot yatağı direnci hesaplamasının da yapılması gerekir. Anot yatağı direnci hesaplamasında anot yatağı direncinin 1 ohm'dan düşük çıkmasını sağlayacak anot sayıları hesaplanmıştır (Bkz.Ek-6). Hesaplama sonuçları Çizelge 4.15' te sunulmuştur.

#### 4.3.7. Grafit anotlar ile anot yatağı tesis edilmesi

Anot Yatağı Ömrü	=	20	Yıl
Anotların Kütle Kaybı	=	0,4	kg/A.yıl [11].
Anotların Eskime Faktörü	=	%75	[11].
Anotlardan Çekilecek Akım	=	(Bkz. Çizelge 4.7)	
Anot Ağırlığı	=	23	kg [11].

$$\text{Anot Ağırlığı} = \frac{\text{A. Yatağı Ömrü} \times \text{Çekilen Akım} \times \text{A.Kütle Kaybı}}{\text{Eskime Faktörü}}$$

KKİ-01 nolu istasyon için tesis edilecek anot yatağında gerekli anot ağırlığı;

$$\text{Anot Ağırlığı} = \frac{20 \text{ yıl} \times 3,70 \text{ A} \times 0,4 \text{ kg/A.yıl}}{0,75} = 39,51 \text{ kg}$$

23 kg'lık grafit anotlar kullanılması durumunda gerekli minimum anot sayısı:

$$\text{Anot Sayısı} = \frac{39,51}{23} = 1,72 = 2 \text{ Adet olarak bulunur}$$

Çizelge 4.13. Katodik koruma istasyonları için hesaplanan minimum grafit sayıları

KATODİK KORUMA İSTASYON NO		ANOT YATAĞI DİZAYN AKIM KAPASİTESİ	Minimum Ağırlığı	Anot Sayısı	Minimum Anot Sayısı, n
ADI	YERİ	1,15 x A	kg	n	
KKİ-01	LV-01	3,70	39,51	1,72	2
KKİ-02	LV-02	3,95	42,09	1,83	2
KKİ-03	PİG İST.	2,31	24,69	1,07	1

Akım ihtiyacına göre minimum anot sayıları grafit anotlar için de belirlenmiştir. Fakat yine gerçek anot sayılarını bulmak için ayrıca anot yatağı direnci hesaplamasının da yapılması gerekir. Anot yatağı direnci hesaplamasında anot yatağı direncinin 1 ohm' dan düşük çıkmasını sağlayacak anot sayıları hesaplanmıştır (Bkz. Ek-6). Hesaplama sonuçları Çizelge 4.15' te sunulmuştur.

#### 4.3.8. Platin kaplı titanyum anotlar ile anot yatağı tesis edilmesi

$$\begin{aligned} \text{Anot Yatağı Ömrü} &= 20 \text{ Yıl} \\ \text{Anotlardan Çekilebilecek Akım} &= 70 \text{ A/m}^2 \text{ [11].} \\ \text{Anot Boyutları} &= D=575 \text{ mm, L=19mm [11].} \\ \text{Anot Yüzeyi} &= 0,0135 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Bir anottan 20 yıl ömür için  $70\text{A/m}^2$  akım çekileceğine göre 20 yıl ömürde bir anottan çekilebilecek maksimum akım:

$$I = 70\text{A/m}^2 \times 0,0135 \text{ m}^2 = 1 \text{ A}$$

KKİ-01 nolu istasyon için tesis edilecek anot yatağında gerekli anot ağırlığı;

$$\text{Anot Sayısı} = \frac{3,7}{1} = 3,7 = 4 \text{ Adet olarak bulunur}$$

Yukarıda sunulan örneğe göre diğer iki katodik koruma istasyonu içinde hesaplamalar yapılmış olup sonuçlar aşağıdaki çizelgede verilmektedir.

Çizelge 4.14. Katodik koruma istasyonları için hesaplanan minimum platin kaplı titanyum anot sayıları

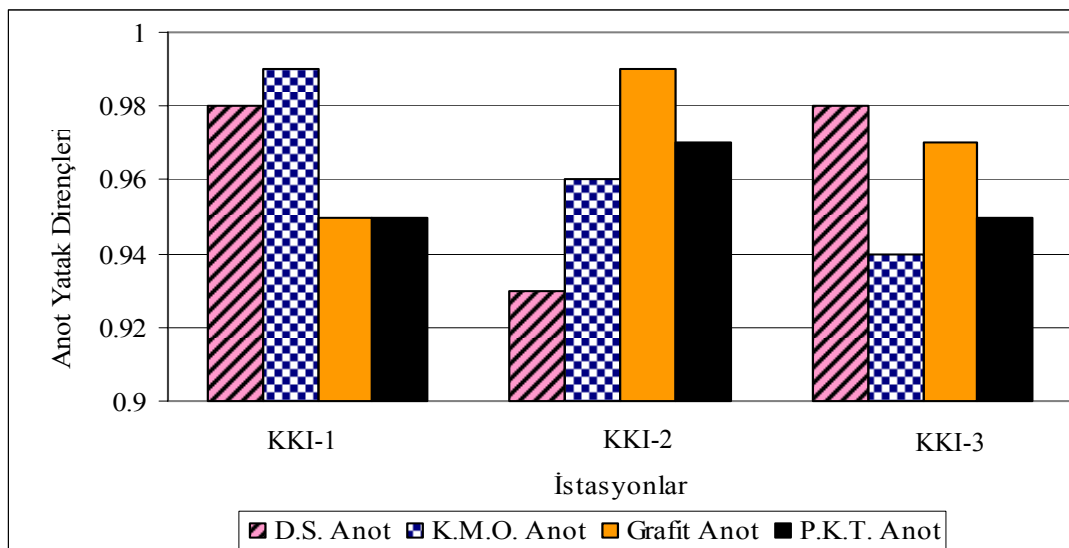
KATODİK KORUMA İSTASYON NO		ANOT YATAĞI DİZAYN AKIM KAPASİTESİ	Bir Adet Anodun Akım Çıkışı, A	Anot Sayısı n	Minimum Anot Sayısı, n
ADI	YERİ	1,15 x A			
KKİ-01	LV-01	3,70	1,0	3,70	4
KKİ-02	LV-02	3,95	1,0	3,95	4
KKİ-03	PİG İST.	2,31	1,0	2,31	2

Akım ihtiyacına göre minimum anot sayıları platin kaplı titanyum anotlar için de belirlenmiştir. Fakat yine gerçek anot sayılarını bulmak için ayrıca anot yatağı direnci hesaplamasının da yapılması gerekir. Anot yatağı direnci hesaplamasında anot yatağı direncinin 1 ohm'dan düşük çıkmasını sağlayacak anot sayıları hesaplanmıştır (Bkz. Ek-6). Hesaplama sonuçları Çizelge 4.15' te sunulmuştur.

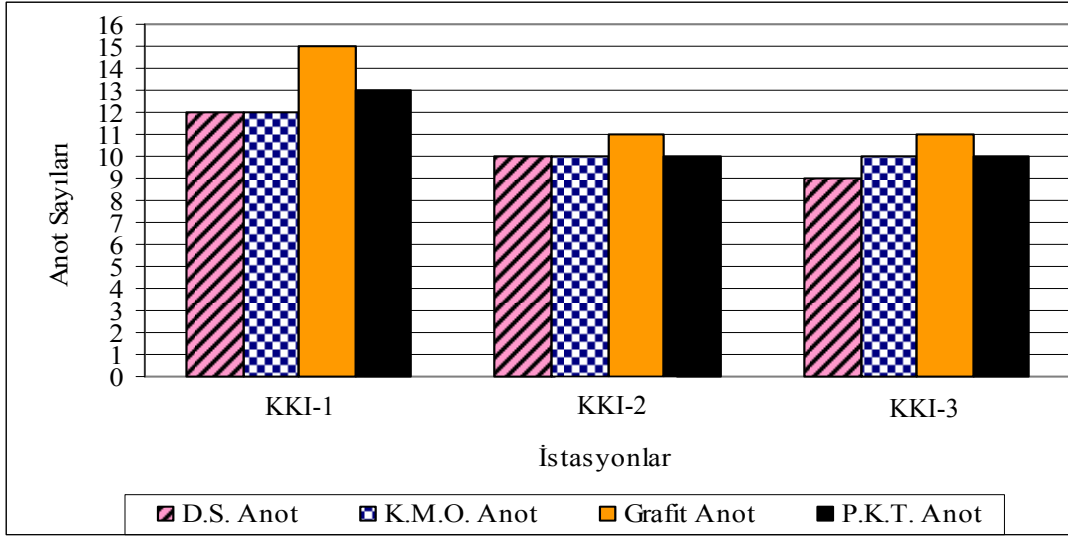
Üç ayrı anot yatağı (KKI-01, KKI-02 ve KKI-03) için yapılan ve dört farklı anot türünü (karma metal oksit kaplı titanyum anot, demir silikon anot, grafit anot ve platin kaplı titanyum anot) anot yatağı direnci ve anot sayısı bakımından karşılaştıran Çizelge 4.15 aşağıda sunulmaktadır.

Çizelge 4.15. Hesaplama sonuçlarının karşılaştırılması

İstasyon Adı	Karma Metal Oksit Kaplı Titanyum Anot		Demir Silikon Anot		Grafit Anot		Platin Kaplı Titanyum Anot	
	Anot Sayısı	Anot Yatağı Direnci (Ohm)	Anot Sayısı	Anot Yatağı Direnci (Ohm)	Anot Sayısı	Anot Yatağı Direnci (Ohm)	Anot Sayısı	Anot Yatağı Direnci (Ohm)
KKI-1	12	0,99	12	0,98	15	0,95	13	0,95
KKI-2	10	0,96	10	0,93	11	0,99	10	0,97
KKI-3	10	0,94	9	0,98	11	0,97	10	0,95
TOPLAM	32	-	31	-	37	-	33	-



Şekil-4.4. Herbir anot yatağı için değişik anotlar kullanılarak oluşturulan anot yatak dirençleri



Şekil-4.5. Herbir anot yatağında hesaplanan anot sayıları

Çizelge-4.15, Şekil-4.4 ve Şekil-4.5’ de de görüldüğü gibi anot sayıları ve anot yatağı dirençleri arasında büyük farklılıklar yoktur. Anot yatakları dirençlerinin 1ohm’un altında olmasını sağlamak üzere yapılan hesaplamalar sonucunda bu değeri sağlamak için gerekli olan anot sayıları genelde birbirine çok yakın çıkmıştır. Herbir anot yatağında da anot sayıları bakımından grafit anotların sayısı en yüksek çıkmıştır. Fakat diğer anot sayıları arasında belirgin bir ilişki yoktur.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Korozyonla mücadelenin en etkin yöntemi olan katodik koruma eksik veya yanlış uygulanması durumunda, uygulanmaması halinden daha kötü sonuçlar doğurabilir. Teorik olarak çok kolay olan katodik korumanın uygulamasında zaman zaman çeşitli sorunlar yaşanmaktadır. Bu nedenle katodik koruma projelerinin mutlaka temel teorik bilgiler ve standartlara göre hazırlanması gerekmektedir.

Katodik koruma projesi hazırlanırken aynı zamanda proje mühendisinin tecrübesi de ön plana çıkmaktadır. Proje mühendisi uygulanan katodik korumanın işlerliği için hangi anot materyallerin proje için uygun olduğunu belirlemelidir.

Bu bağlamda katodik korumanın iki çeşit uygulama yönteminden biri olan dış akım kaynaklı katodik koruma sistemi üzerinde durulmuş, bu sistemde kullanılan dört farklı anot türü arasından, Ereğli-Niğde-Aksaray Doğal Gaz Boru Hattı'nın en uzun bölümü olan Ereğli branşmanında yardımcı anot olarak kullanılabilen en uygun anodun seçimine çalışılmıştır. Öncelikle, yapılan arazi inceleme çalışması ve toprak rezistivitesi ölçümleri kullanılarak hat üzerinde anot yatağı yerleri ve ortalama toprak rezistivitesi değerleri tespit edilmiştir. Ortalama rezistivite değerleri, korunacak boru uzunlukları vb. değerler kullanılarak her bir katodik koruma istasyonu için gerekli akım ihtiyaçları belirlenmiş son olarakta dört farklı anot türü kullanılarak anot yatağı direnci 1 ohm'un altında kalacak şekilde anot sayıları belirlenmiştir. Çalışma sonucunda bütün anot yatağı dirençleri 0,93 ohm ile 0,99 ohm aralığında çıkmıştır. Elde edilen anot yatağı dirençleri yeterlidir. Toplam anot sayıları bakımından grafit anotlar 37 adet anot, platin kaplı titanyum anotlar 33 adet, demir silikon anotlar 31 adet, karma metal oksit kaplı titanyum anotlar ise 32 adet anot tesis edilmesini gerektirmektedir. Bu değerlerden de anlaşılacağı üzere tesis edilmesi gereken anot sayısı bakımından en yüksek sonuç grafit anotlarda çıkmıştır. Diğer anot çeşitleri arasında belirgin bir fark yoktur. Karma metal oksit kaplı titanyum anotların akım kapasiteleri diğer anotlar arasında en yüksek, kütle kayıpları ise en düşük değerdedir. Ayrıca bu anotların, anot reaksiyonu sonucu klor veya oksijen gazı çıkışından hiç

etkilenmemeleri, pH=1 değerine kadar asitlere dayanmaları her türlü ortamda rahatlıkla kullanma kolaylığı, ağırlıklarının hafif, kırılmalıklarının çok düşük olması ve işletme sırasında pasifleşme göstermemeleri bakımından en uygun anot tipi olduğuna karar verilmiştir.

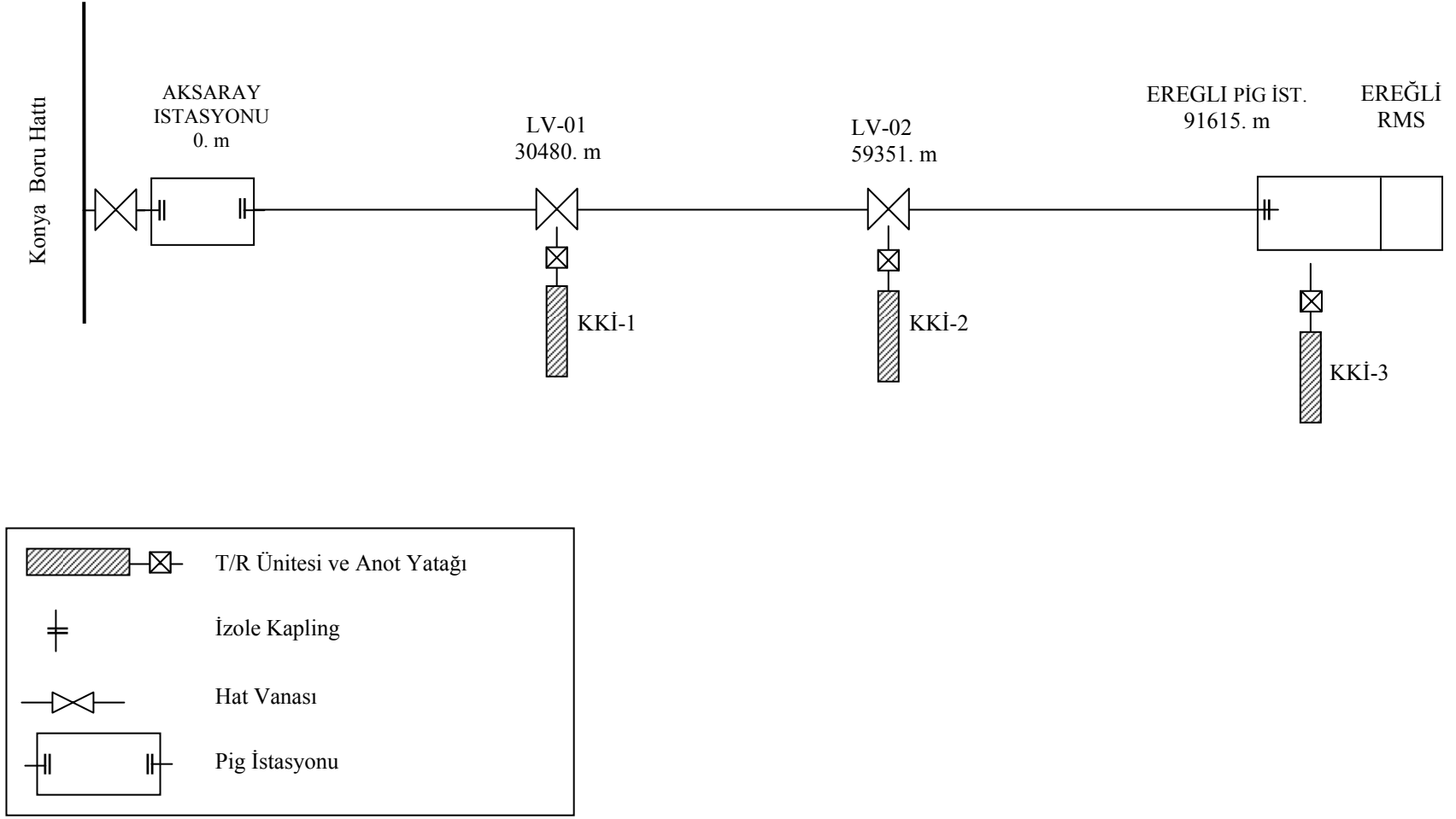
## KAYNAKLAR

1. Gurrappa, I., “Cathodic protection of cooling water systems and selection of appropriate materials”, *Journal of Mat. Pro. Tech.*, 166: 256-267 (2005).
2. Abu-Hamed, T., “Çeliğin zemin içindeki korozyonu”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 3-7 (1998).
3. Gündaş, G., “Yer altı boru hatlarının katodik korumasının bilgisayar modellemesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 3-7 (2002).
4. Adey, R. A., Pei Yuan Hang, “Computer simulation as an aid to corrosion control and reduction”, *Corrosion* **99**, 2: 256-267 (1999).
5. De Giorgi, V. G., Thomas, E. D. and Lucas, K. E., “A combined design methodology for impressed current cathodic protection systems”, *Boundary element technology XI.*, 8: 38-43 (1996).
6. Adey, R.A., Baynham, J., “Computer simulation as an aid to CP (Cathodic Protection) system design and interference prediction, *Computational mechanics BEASY*, S040 (7AA): 144-157, (1999).
7. Demirel, B., “Düzce-Karadeniz Ereğli doğalgaz boru hattında manyetik alan etkisi ile meydana gelen kaçak akımların incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 3-5 (1997).
8. Shalaby H.M., Riad W.T., Alhazza A.A., Behbehani M.H., Gurrappa, I., “Failure analysis of fuel supply pipeline”, *Engineering failure analysis*, 1350: 1-8 (2005).
9. Üneri S., “Korozyonda temel ilkeler”, **8. Uluslararası Korozyon Sempozyumu Bildiriler Kitabı**, Eskişehir, 1-31 (2002).
10. Çakır A., “Korozyon açısından tasarım ve malzeme seçimi”, **6. Korozyon Sempozyumu Bildiriler Kitabı**, İzmir, 161-181 (1998).
11. Yalçın, H., Koç, T., “Katodik Koruma”, *Palme Yayınları*, Ankara, 35-43, (1999).
12. Talbot, D., Talbot J., “Corrosion science and technology”, **CRC Pres LLC**, New York, 57-187 (1998).
13. Üneri, S., “Elektrokimya”, **Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi**, Ankara, 68, (1978).

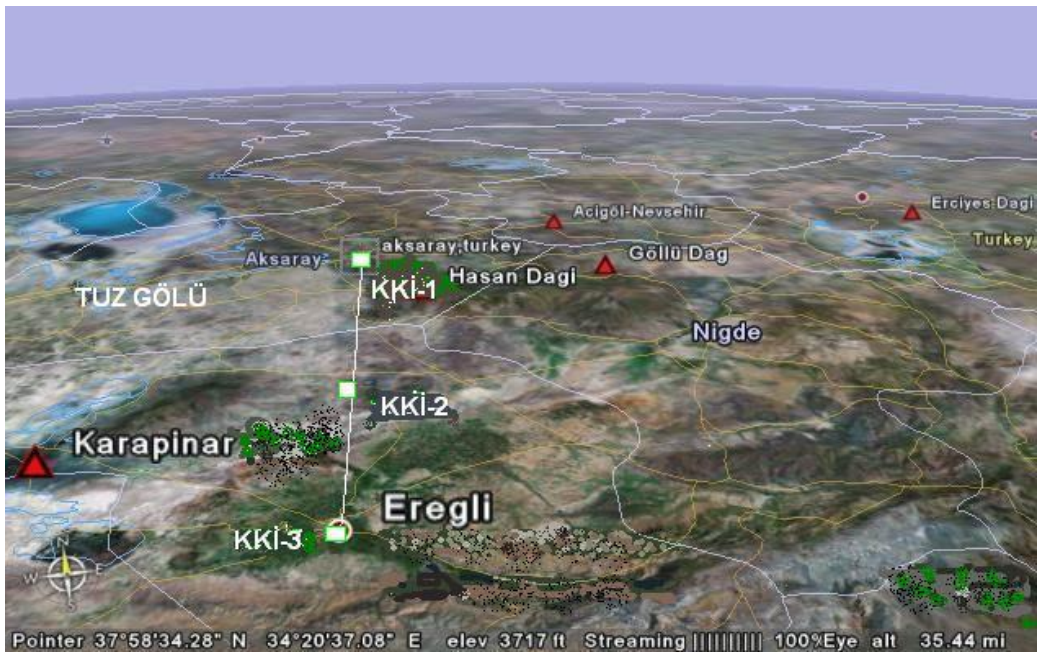
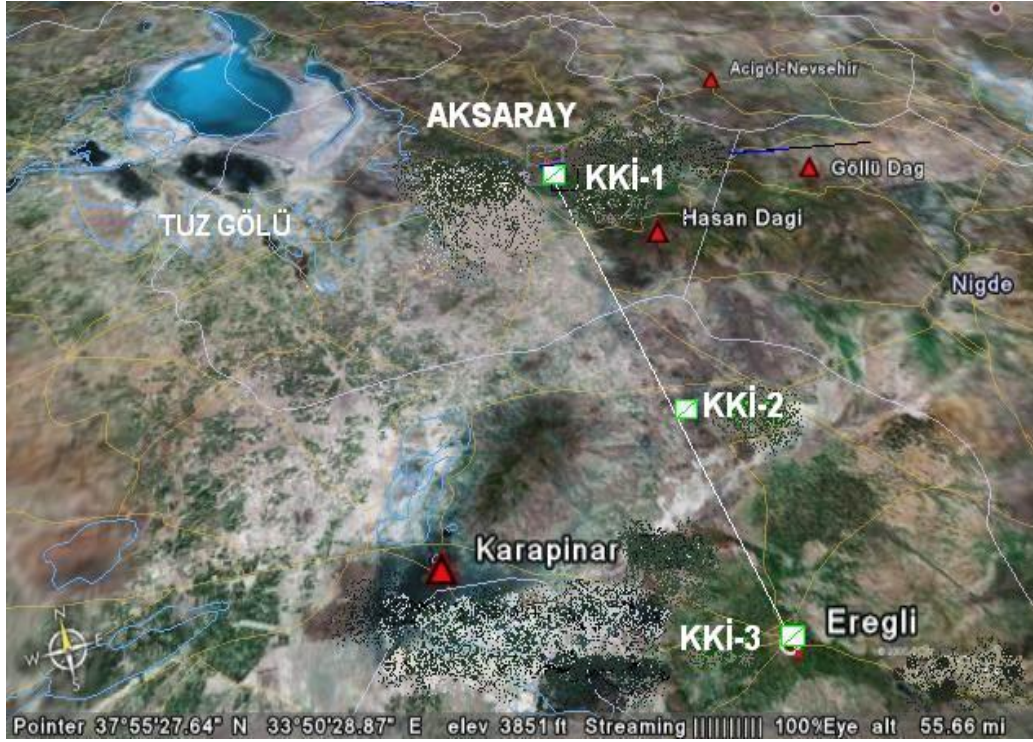
14. Yalçın, H., Koç, T., “Mühendisler için korozyon”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi*, Ankara, 32-158 (1998).
15. Yalçın, H., Koç, T., “Korozyon ve katodik koruma”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi*, Ankara, 56-123 (1995).
16. Fontana, M. G., “Corrosion engineering”, *Mc Graw Hill Book Company*, Fontana, 445-452 (1987).
17. Mattsson, E., “Basic corrosion technology for scientists and engineers”, *Ellis Horwood Limited*, Stockholm, 89-97 (1989).
18. Türk Standartları Enstitüsü “Yer altı boru hatlarının katodik koruması”, *TSE TS-5141*, Ankara, 5, (1987).
19. Schweitzer, P. A., “Corrosion and corrosion protection handbook”, *Marcel Dekker Inc.*, New Jersey, 17-24 (1983).
20. British Standards Institution “Cathodic protection part 1. code of practice for land and marine applications”, *BS 7361*, London, 8-87 (1991).
21. Petroleum Pipeline Corporation, “Silicon-Iron anodes”, *BOTAŞ 8011*, Ankara, 2-4 (1994).
22. Petroleum Pipeline Corporation, “Cathodic protection calculation and sizing”, *BOTAŞ 8002*, Ankara, 2-4 (1994).
23. Türk Standartları Enstitüsü “Doğal zeminlerin elektrik özgül dirençlerinin sahada tayini – Wenner dört elektrot yöntemi ile” *TS-4363*, Ankara, 1-2, (1984).
24. Türk Standartları Enstitüsü “Çelik boruları korozyona karşı korumak için polietilen ile kaplanması kuralları”, *TSE TS-5139*, Ankara, 3, (1987).
25. Petroleum Pipeline Corporation, “Cathodic protection design criteria and general philosophy”, *BOTAŞ 8001*, Ankara, 2-10 (1994).

**EKLER**

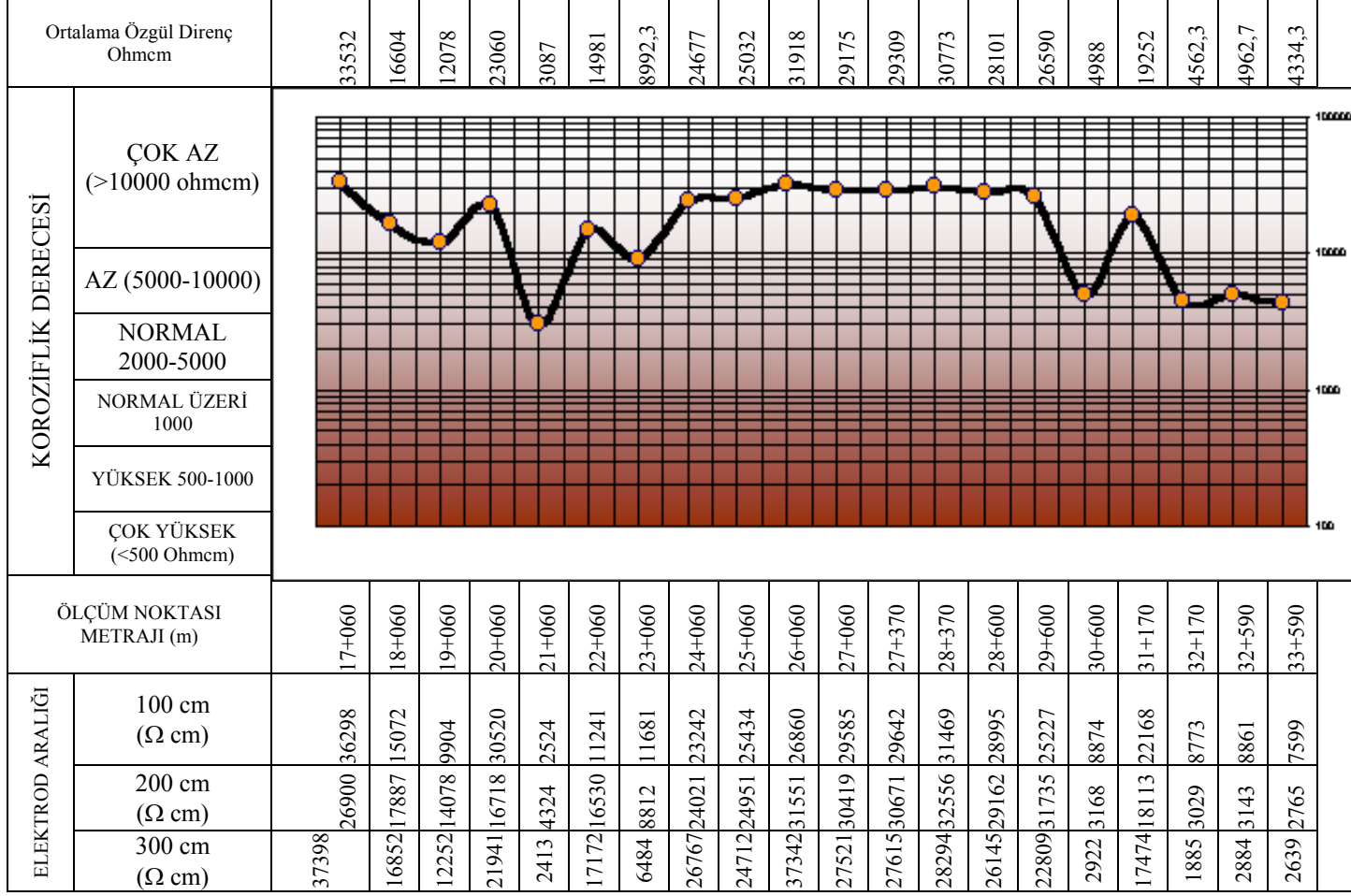
EK-1 Doğalgaz boru hattı katodik koruma istasyonları verileri



## EK-1 (Devam) Doğalgaz boru hattı katodik koruma istasyonları yerleri

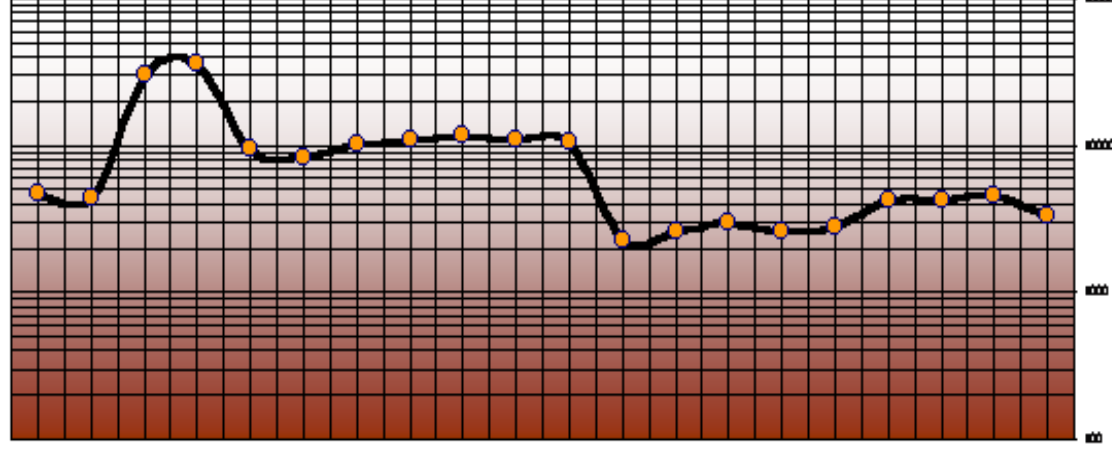


EK-2 Zemin rezistivitesi değerleri grafiği



EK-2 (Devam) Zemin rezistivitesi değerleri grafiği

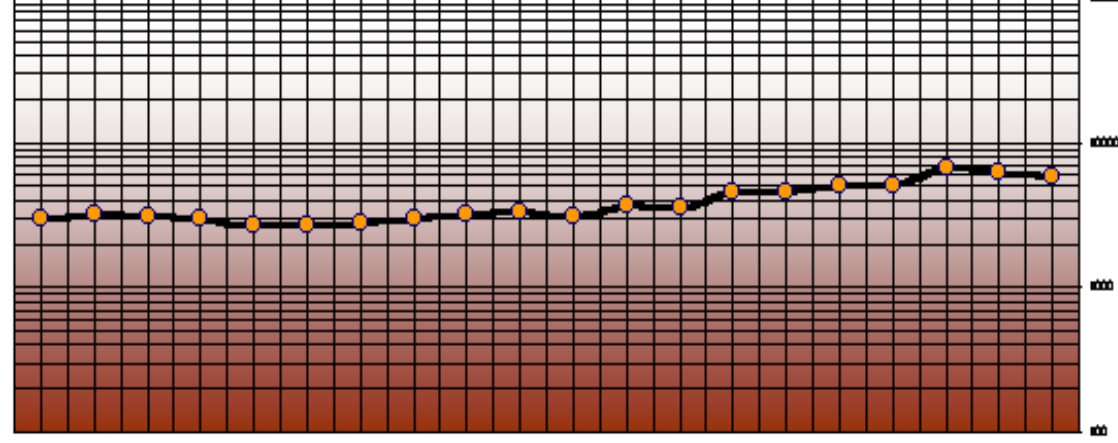
ELEKTROD ARALIĞI	ÖLÇÜM NOKTASI METRAJİ (m)		ORTALAMA ÖZGÜL DİRENÇ OHMCM		
	100 cm (Ω cm)	200 cm (Ω cm)		300 cm (Ω cm)	
	3186	4198	6607	34+590	4663,7
	2828	4148	6198	35+590	4391,3
	37040	29162	25290	36+590	30497
	37888	37459	32216	37+590	35854
	8049	10307	10161	38+590	9505,7
	7295	8988	8867	39+590	8383,3
	9180	11527	10079	40+590	10262
	4637	16668	11951	41+590	11085
	5108	17611	12621	42+590	11780
	4147	16492	11875	43+590	10838
	4599	15386	11938	44+290	10641
	2922	2124	1696	45+290	2247,3
	3204	2376	2198	46+290	2592,7
	3713	2639	2650	47+290	3000,7
	3110	2476	2255	48+290	2613,7
	3393	2552	2581	48+790	2842
	2922	3482	6267	48+810	4223,7
	2828	3708	6029	49+290	4188,3
	3713	3595	6223	50+290	4510,3
	3676	2640	3517	51+290	3277,7



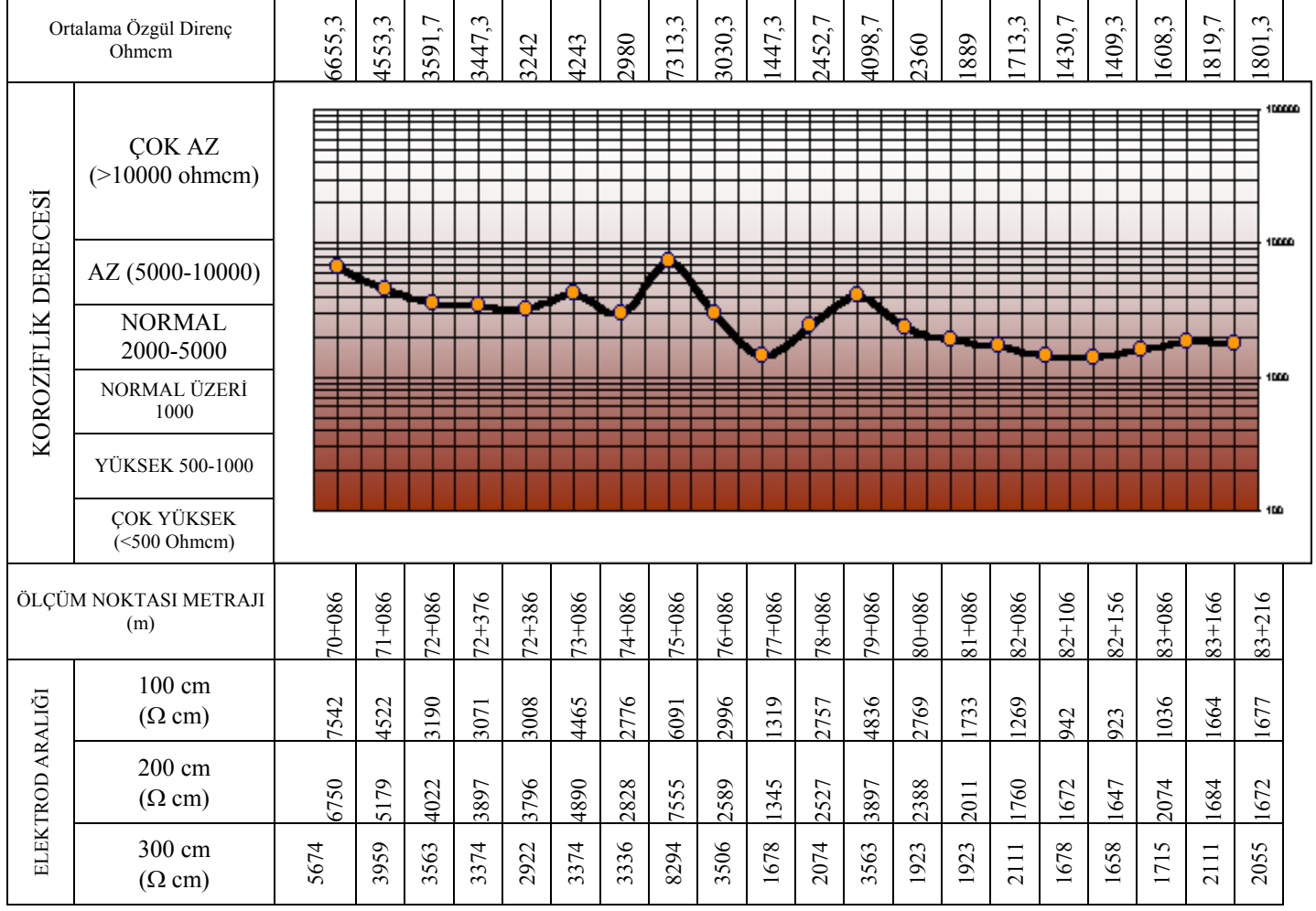
KOROZİFLİK DERECESESİ	
ÇOK AZ (>10000 ohmcm)	
AZ (5000-10000)	
NORMAL 2000-5000	
NORMAL ÜZERİ 1000	
YÜKSEK 500-1000	
ÇOK YÜKSEK (<500 Ohmcm)	

EK-2 (Devam) Zemin rezistivitesi değerleri grafiği

ELEKTROD ARALIĞI	ÖLÇÜM NOKTASI METRAJİ (m)			KOROZİFLİK DERECESESİ	Ortalama Özgül Direnç Ohmcm
	100 cm (Ω cm)	200 cm (Ω cm)	300 cm (Ω cm)		
	2889	2753	3450		3030,7
	2952	3143	3487	ÇOK AZ (>10000 ohmcm)	3194
	2889	2765	3582	AZ (5000-10000)	3078,7
	2575	2791	3563	NORMAL 2000-5000	2976,3
	2060	3356	2582	NORMAL ÜZERİ 1000	2666
	2072	3394	2639	YÜKSEK 500-1000	2701,7
	2135	3419	2733	ÇOK YÜKSEK (<500 Ohmcm)	2762,3
	2518	3582	2827		2975,7
	3278	2577	3713		3189,3
	2952	4299	2658		3303
	2763	4022	2601		3128,7
	3843	3633	3600		3692
	3680	3394	3563		3545,7
	4528	4412	4976		4638,7
	4458	4274	4807		4513
	5168	4890	5108		5055,3
	5714	4664	5033		5137
	7649	6888	5806		6781
	7517	5636	5759		6304
	5759	5908	5561		5742,7



EK-2 (Devam) Zemin rezistivitesi değerleri grafiği





EK-3 Güzergah boyunca istasyonlar arası ortalama zemin direnci değerleri

Sıra No	Mesafe (m)	Elektrod Açıklığı $\Omega$ cm			Ortalama Direnç $\Omega$ cm	İstasyonlar Arası Mesafe (m)	Ortalama Direnç $\Omega$ cm
		100 cm	200 cm	300 cm			
1	0	653	490	452	532	<b>30480</b>	<b>12020</b>
2	1000	1174	1370	1810	1451		
3	2000	722	855	1188	922		
4	3000	402	352	471	408		
5	4000	345	754	848	649		
6	5000	615	465	471	517		
7	6000	1074	1018	1169	1087		
8	6780	685	943	1244	957		
9	6820	534	943	1244	907		
10	7000	672	817	829	773		
11	7750	1212	943	1206	1120		
12	8750	1740	2401	2074	2072		
13	9750	1539	2225	1979	1914		
14	10750	2744	4462	2639	3282		
15	11750	4710	5530	5572	5271		
16	12750	1570	2351	1979	1967		
17	13390	14287	12532	9802	12207		
18	14390	32028	24914	21150	26031		
19	15390	9477	12130	9463	10357		
20	16060	9414	12256	9387	10352		
21	17060	36298	26900	37398	33532		
22	18060	15072	17887	16852	16604		
23	19060	9904	14078	12252	12078		
24	20060	30520	16718	21941	23060		

EK-3 (Devam) Güzergah boyunca istasyonlar arası ortalama zemin direnci değerleri

Sıra No	Mesafe (m)	Elektrod Açıklığı $\Omega$ cm			Ortalama Direnç $\Omega$ cm	İstasyonlar Arası Mesafe (m)	Ortalama Direnç $\Omega$ cm
		100 cm	200 cm	300 cm			
25	21060	2524	4324	2413	3087		
26	22060	11241	16530	17172	14981		
27	23060	11681	8812	6484	8992		
28	24060	23242	24021	26767	24677		
29	25060	25434	24951	24712	25032		
30	26060	26860	31551	37342	31918		
31	27060	29585	29175	30419	27521		
32	27370	29642	29309	30671	27615		
33	28370	31469	30773	32556	28294		
34	28600	28995	28101	29162	26145		
35	29600	25227	26590	31735	22809		
	<b>30480</b>		<b>LV-01</b>		<b>KKİ-01</b>		
36	30600	8874	4988	3168	2922		
37	31170	22168	19251	18113	17474		
38	32170	8773	4562	3029	1885		
39	32590	8861	4963	3143	2884		
40	33590	7599	4334	2765	2639		
41	34590	6607	4664	4198	3186		
42	35590	6198	4391	4148	2828		
43	36590	25290	30497	29162	37040		
44	37590	32216	35854	37459	37888		
45	38590	10161	9506	10307	8049		
46	39590	8867	8383	8988	7295		
47	40590	10079	10262	11527	9180		

EK-3 (Devam) Güzergah boyunca istasyonlar arası ortalama zemin direnci değerleri

Sıra No	Mesafe (m)	Elektrod Açıklığı $\Omega$ cm			Ortalama Direnç $\Omega$ cm	İstasyonlar Arası Mesafe (m)	Ortalama Direnç $\Omega$ cm
		100 cm	200 cm	300 cm			
48	41590	11951	11085	16668	4637	<b>28871</b>	<b>7239</b>
49	42590	12621	11780	17611	5108		
50	43590	11875	10838	16492	4147		
51	44290	11938	10641	15386	4599		
52	45290	1696	2247	2124	2922		
53	46290	2198	2593	2376	3204		
54	47290	2650	3001	2639	3713		
55	48290	2255	2614	2476	3110		
56	48790	2581	2842	2552	3393		
57	48810	6267	4224	3482	2922		
58	49290	6029	4188	3708	2828		
59	50290	6223	4510	3595	3713		
48	41590	11951	11085	16668	4637		
49	42590	12621	11780	17611	5108		
50	43590	11875	10838	16492	4147		
51	44290	11938	10641	15386	4599		
52	45290	1696	2247	2124	2922		
53	46290	2198	2593	2376	3204		
54	47290	2650	3001	2639	3713		
55	48290	2255	2614	2476	3110		
56	48790	2581	2842	2552	3393		
57	48810	6267	4224	3482	2922		
58	49290	6029	4188	3708	2828		
59	50290	6223	4510	3595	3713		

EK-3 (Devam) Güzergah boyunca istasyonlar arası ortalama zemin direnci değerleri

Sıra No	Mesafe (m)	Elektrod Açıklığı $\Omega$ cm			Ortalama Direnç $\Omega$ cm	İstasyonlar Arası Mesafe (m)	Ortalama Direnç $\Omega$ cm
		100 cm	200 cm	300 cm			
60	51290	3517	3278	2640	3676		
61	52210	2889	2753	3450	3031		
62	53210	2952	3143	3487	3194		
63	53470	2889	2765	3582	3079		
64	54210	2575	2791	3563	2976		
65	55210	2060	3356	2582	2666		
66	56210	2072	3394	2639	2702		
67	57856	2135	3419	2733	2762		
68	58876	2518	3582	2827	2976		
	<b>59351</b>		<b>LV-02</b>		<b>KKİ-02</b>		
69	59876	3278	2577	3713	3189		
70	60996	2952	4299	2658	3303		
71	61966	2763	4022	2601	3129		
72	62966	3843	3633	3600	3692		
73	63276	3680	3394	3563	3546		
74	64276	4528	4412	4976	4639		
75	65276	4458	4274	4807	4513		
76	66276	5168	4890	5108	5055		
77	66756	5714	4664	5033	5137		
78	67756	7649	6888	5806	6781		
79	68756	7517	5636	5759	6304		
80	69186	5759	5908	5561	5743		
81	70086	7542	6750	5674	6655		
82	71086	4522	5179	3959	4553		

EK-3 (Devam) Güzergah boyunca istasyonlar arası ortalama zemin direnci değerleri

Sıra No	Mesafe (m)	Elektrod Açıklığı $\Omega$ cm			Ortalama Direnç $\Omega$ cm	İstasyonlar Arası Mesafe (m)	Ortalama Direnç $\Omega$ cm
		100 cm	200 cm	300 cm			
83	72086	3190	4022	3563	3592	<b>31815</b>	<b>3402</b>
84	72376	3071	3897	3374	3447		
85	72386	3008	3796	2922	3242		
86	73086	4465	4890	3374	4243		
87	74086	2776	2828	3336	2980		
88	75086	6091	7555	8294	7313		
89	76086	2996	2589	3506	3030		
90	77086	1319	1345	1678	1447		
91	78086	2757	2527	2074	2453		
92	79086	4836	3897	3563	4099		
93	80086	2769	2388	1923	2360		
94	81086	1733	2011	1923	1889		
95	82086	1269	1760	2111	1713		
96	82106	942	1672	1678	1431		
97	82156	923	1647	1658	1409		
98	83086	1036	2074	1715	1608		
99	83166	1664	1684	2111	1820		
100	83216	1677	1672	2055	1801		
101	83966	1181	2087	2262	1843		
102	84966	1809	1772	2262	1948		
103	85966	2054	2489	3110	2551		
104	86966	4019	3784	3713	3839		
105	87966	2763	2740	2036	2513		
106	88966	1947	2376	2281	2201		

EK-3 (Devam) Güzergah boyunca istasyonlar arası ortalama zemin direnci değerleri

Sıra No	Mesafe (m)	Elektrod Açıklığı $\Omega$ cm			Ortalama Direnç $\Omega$ cm	İstasyonlar Arası Mesafe (m)	Ortalama Direnç $\Omega$ cm
		100 cm	200 cm	300 cm			
107	89656	3058	2740	2130	2643		
108	91166	2430	2640	2149	2406		
	<b>91166</b>		<b>Pig İst.</b>		<b>KKİ-03</b>		

Microsoft Excel - Ek-4Algoritma

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help

S12 =

B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z AA AB

1 Ek-4 Değişik anot tipleri denenerak yapılan katodik koruma sistemi algoritması

2 Ek-4 (Devam) Değişik a

3

4 Rezistivite değerlerinin girilmesi

6 Herbir katodik koruma istasyonunun koruyacağı mesafeler için ortalama rezistivitelerin hesaplamasının yapılması

8

9 Boru Çapı

10 Boru et kalınlığı

11 Korunacak Boru Uzunluğu değerlerinin girilmesi

12

13 Akım ihtiyacı ve korunabilecek maksimum boru uzunluğunun hesaplanması

14

15

16 Demir silikon anotlar için hesaplamalar

17 Karma metal oksit kaplı titanyum anotlar için hesaplamalar

18 Anot yatağı ömrü

19 Anotların Kütle Kaybı

20 Anotların Eskime Faktörü

21 Anot Ağırlığı değerlerinin girilmesi

22

23 Gerekl minimum anot sayılarının hesaplanması

24 Gerekl minimum anot sayılarının hesaplanması

25 Anot yatağı yerlerindeki rezistivite değerlerinin girilmesi

26 Anot yatağı yerlerindeki rezistivite değerlerinin girilmesi

27 Anot yatağı yerlerindeki ortalama rezistivite değerlerinin hesabı

28 Anot yatağı yerlerindeki ortalama rezistivite değerlerinin hesabı

29 Herbir anot yatağı için hesaplanan minimum anot sayıları kullanılarak anot yatağı dirençlerinin hesaplanması

30 Herbir anot yatağı için hesaplanan minimum anot sayıları kullanılarak anot yatağı dirençlerinin hesaplanması

31

32 Anot yatağı direnci lohm dan düşük mü ?

33 Anot yatağı direnci lohm dan düşük mü ?

34 HAYIR EVET Bu yatak direncinin grafiğe yerleştirilmesi

35 HAYIR EVET Bu yatak direncinin grafiğe yerleştirilmesi

36

37

38 Anot sayısının 1 artırarak anot yatağı direnci hesaplanması

39 Anot sayısının 1 artırarak anot yatağı direnci hesaplanması

40

Ek-4 (Devam) Değişik a

Crafit anotlar için hesap

Anot Yatağı Ömrü

Anotların Kütle Kaybı

Anotların Eskime Faktörü

Anot Ağırlığı değerlerini

Gerekl minimum anot s

Anot yatağı yerlerindeki

Anot yatağı yerlerindeki

Herbir anot yatağı için he

kullanılarak anot yatağı

Anot yatağı dire

HAYIR

Anot sayısının 1 arttırara

Sayfa1/

Draw AutoShapes

Ready NUM

Başlat

2 MSN Me...

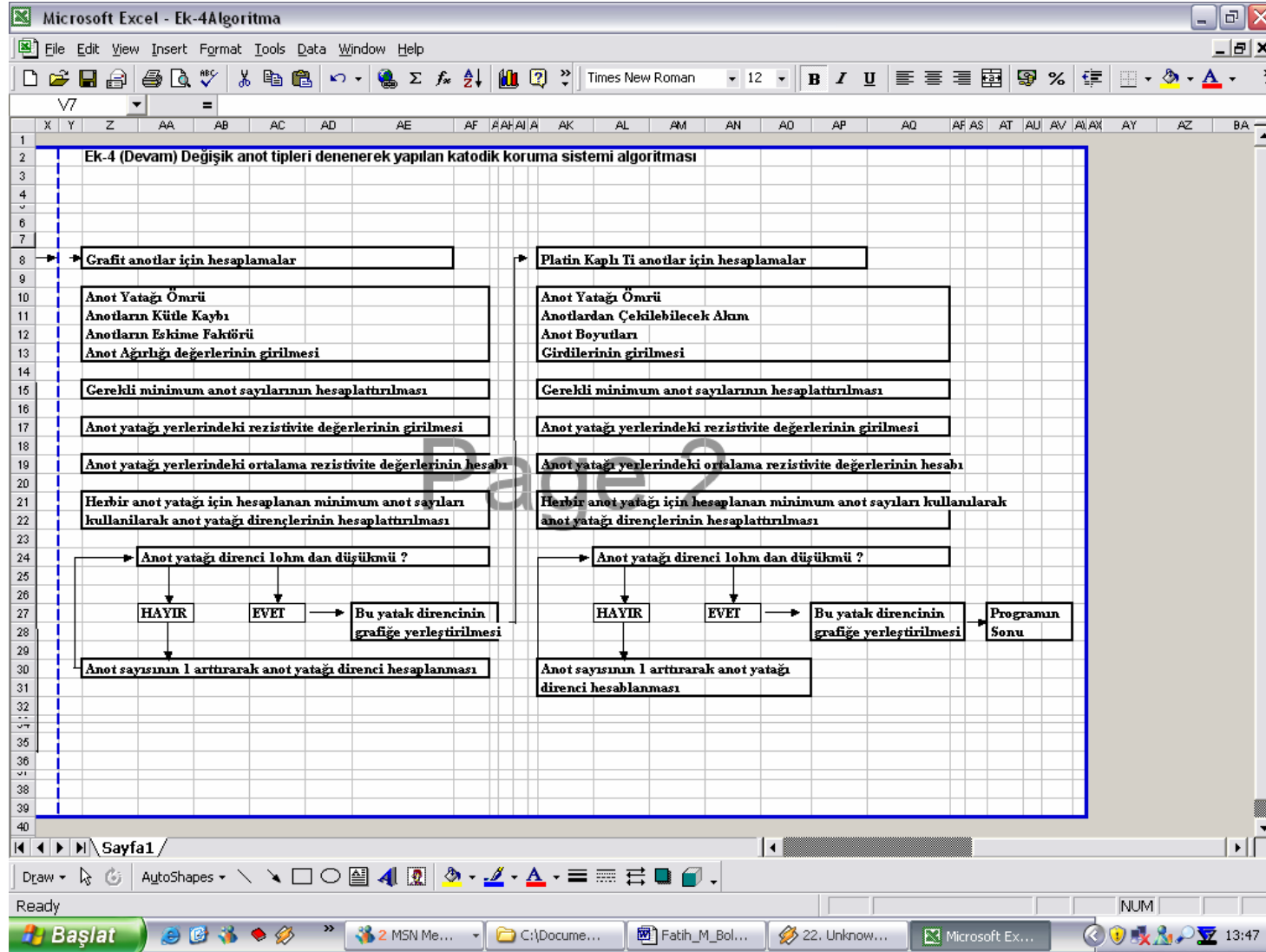
C:\Docume...

Fatih\_M\_Bol...

22. Unknow...

Microsoft Ex...

13:45



## EK-5 Akım ihtiyacı çizelgeleri

## a) KKİ-02 istasyonundan bir nolu istasyon yönüne akım ihtiyacı çizelgesi

KKİ-1 ←		→ KKİ-2		
BORU ÇAPI	D	0,400		m
BORU DIŞ YARIÇAPI	$r_{dis}$	0,200		m
BORU İÇ YARIÇAPI	$r_{ic}$	0,194		m
ORTALAMA ZEMİN ÖZGÜL DİRENCİ	$R_{ort}$	7239		$\Omega\text{cm}$
BORU KAPLAMA DİRENCİ	$R_o$	6000		$\Omega\text{m}^2$
BORU ET KALINLIĞI	t	0,0064		m
KORUNACAK BORU UZUNLUĞU	L	14435		m
BORU MALZEMESİ ÖZGÜL DİRENCİ	$\rho$	$1,8 \times 10^{-7}$		$\Omega\text{m}$
BORU SONU POTANSİYEL KAYMASI	$E_s$	0,4		V
NOMİNAL BORU ÇEVRESİ	C	1,256	$\pi \cdot D$	m
BORU KESİT ALANI	A	0,0079	$\pi \cdot (r_{dis}^2 - r_{ic}^2)$	$\text{m}^2$
BORU UZUNLUĞUNA DİRENÇ	$R_1$	$2,28 \times 10^{-5}$	$\rho / A$	$\Omega\text{m}^{-1}$
BORU GEÇİŞ DİRENCİ	$R_t$	4777,07	$R_o / C$	$\Omega\text{m}$
SÖNÜM (ATTENUATION) SABİTİ	a	$6,90 \times 10^{-5}$	$\sqrt{(R_1 / R_t)}$	$\text{m}^{-1}$
KARAKTERİSTİK DİRENÇ	$R_k$	0,33	$\sqrt{(R_1 \cdot R_t)}$	$\Omega$
DİRENAJ NOKTASI BORU-ZEMİN POTANSİYEL DEĞİŞİMİ	$E_{dr}$	0,6155	$E_s \cdot \text{Cosh}(a \cdot L)$	V
<b>AKIM İHTİYACI</b>	<b>I</b>	<b>1,42</b>	<b><math>(E_o / R_k) \cdot \text{Sinh}(a \cdot L)</math></b>	<b>A</b>
AKIM NOK. BORU ZEMİN POTANSİYELİ	$E_o$	1,2		V
KORUNABİLECEK MAKSİMUM BORU UZUNLUĞU	X	25540	$\text{ArcCosh}(E_o / E_s) / a$	m

## b) KKİ-02 istasyonundan üç nolu istasyon yönüne akım ihtiyacı çizelgesi

KKİ-2 →		→ KKİ-3		
BORU ÇAPI	D	0,400		m
BORU DIŞ YARIÇAPI	$r_{dis}$	0,200		m
BORU İÇ YARIÇAPI	$r_{ic}$	0,194		m
ORTALAMA ZEMİN ÖZGÜL DİRENCİ	$R_{ort}$	3402		$\Omega\text{cm}$
BORU KAPLAMA DİRENCİ	$R_o$	5000		$\Omega\text{m}^2$
BORU ET KALINLIĞI	t	0,0064		m
KORUNACAK BORU UZUNLUĞU	L	15908		m
BORU MALZEMESİ ÖZGÜL DİRENCİ	$\rho$	$1,8 \times 10^{-7}$		$\Omega\text{m}$
BORU SONU POTANSİYEL KAYMASI	$E_s$	0,4		V
NOMİNAL BORU ÇEVRESİ	C	1,256	$\pi \cdot D$	m
BORU KESİT ALANI	A	0,0079	$\pi \cdot (r_{dis}^2 - r_{ic}^2)$	$\text{m}^2$
BORU UZUNLUĞUNA DİRENÇ	$R_1$	$2,28 \times 10^{-5}$	$\rho / A$	$\Omega\text{m}^{-1}$
BORU GEÇİŞ DİRENCİ	$R_t$	3980,89	$R_o / C$	$\Omega\text{m}$
SÖNÜM (ATTENUATION) SABİTİ	a	$7,56 \times 10^{-5}$	$\sqrt{(R_1 / R_t)}$	$\text{m}^{-1}$
KARAKTERİSTİK DİRENÇ	$R_k$	0,30	$\sqrt{(R_1 \cdot R_t)}$	$\Omega$
DİRENAJ NOKTASI BORU-ZEMİN POTANSİYEL DEĞİŞİMİ	$E_{dr}$	0,7259	$E_s \cdot \text{Cosh}(a \cdot L)$	V
<b>AKIM İHTİYACI</b>	<b>I</b>	<b>2,01</b>	<b><math>(E_o / R_k) \cdot \text{Sinh}(a \cdot L)</math></b>	<b>A</b>
AKIM NOK. BORU ZEMİN POTANSİYELİ	$E_o$	1,2		V
KORUNABİLECEK MAKSİMUM BORU UZUNLUĞU	X	23314	$\text{ArcCosh}(E_o / E_s) / a$	m

## EK-5 (Devam) Akım ihtiyacı çizelgeleri

## c) KKİ-03 istasyonundan iki nolu istasyon yönüne akım ihtiyacı çizelgesi

KKİ-2 ←————— KKİ-3				
BORU ÇAPI	D	0,400		m
BORU DIŞ YARIÇAPI	$r_{dış}$	0,200		m
BORU İÇ YARIÇAPI	$r_{iç}$	0,194		m
ORTALAMA ZEMİN ÖZGÜL DİRENCİ	$R_{ort}$	3402		$\Omega cm$
BORU KAPLAMA DİRENCİ	$R_o$	5000		$\Omega m^2$
BORU ET KALINLIĞI	t	0,0064		m
KORUNACAK BORU UZUNLUĞU	L	15907		m
BORU MALZEMESİ ÖZGÜL DİRENCİ	$\rho$	$1,8 \times 10^{-7}$		$\Omega m$
BORU SONU POTANSİYEL KAYMASI	$E_s$	0,4		V
NOMİNAL BORU ÇEVRESİ	C	1,256	$\pi \cdot D$	m
BORU KESİT ALANI	A	0,0079	$\pi \cdot (r_{dış}^2 - r_{iç}^2)$	$m^2$
BORU UZUNLUĞUNA DİRENÇ	$R_1$	$2,28 \times 10^{-5}$	$\rho / A$	$\Omega m^{-1}$
BORU GEÇİŞ DİRENÇİ	$R_i$	3980,89	$R_o / C$	$\Omega m$
SÖNÜM (ATTENUATION) SABİTİ	a	$7,56 \times 10^{-5}$	$\sqrt{(R_1 / R_i)}$	$m^{-1}$
KARAKTERİSTİK DİRENÇ	$R_k$	0,30	$\sqrt{(R_1 \cdot R_i)}$	$\Omega$
DİRENAJ NOKTASI BORU-ZEMİN POTANSİYEL DEĞİŞİMİ	$E_{dr}$	0,7259	$E_s \cdot \text{Cosh}(a \cdot L)$	V
<b>AKIM İHTİYACI</b>	<b>I</b>	<b>2,01</b>	<b><math>(E_o / R_o) \cdot \text{Sinh}(a \cdot L)</math></b>	<b>A</b>
AKIM NOK. BORU ZEMİN POTANSİYELİ	$E_o$	1,2		V
KORUNABİLECEK MAKSİMUM BORU UZUNLUĞU	X	23314	$\text{ArcCosh}(E_o / E_s) / a$	m

## EK-6 Değişik anotlar ile anot yatağı direnci hesapları

- a) Karma metal oksit kaplı titanyum anot ile KKİ-02 istasyonu için anot yatağı direnci hesabı

ANOT YATAĞI DİRENCİ HESABI							
(Karma metal oksit kaplı titanyum anot ile)							
KKİ-02 NO'LU KATODİK KORUMA İSTASYONU İÇİN							
Yatay olarak yerleştirilmiş tek bir anodun kok dolgu maddesine veya kok dolgunun top dolgunun toprağa geçiş direnci Dwight eşitliğinden bulunur [ 22 ].							
$R_{A,B} = \left[ \frac{\rho}{2\pi L} \right] \left[ \ln \left( 4L^2 + \frac{4L\sqrt{(H^2+L^2)}}{DH} \right) + \left( \frac{H}{L} \right) + \frac{\sqrt{(H^2+L^2)}}{L} - 1 \right]$							
Kok Dolgu Madde Özgül Direnci	$\rho_{kok}$	50	Ohm.cm	$\rho_{toprak}$	2608	Anot yatağı yerinde toprak özgül direnci	
Anot Boyu	$L_A$	75	Cm	$L_B$	3124	Kok dolgu boyu	
Anot Çapı	$D_A$	1,27	Cm	$D_B$	45,13	Kok dolgu çapı	
Anot Yatağı Derinliği 2 Katı	H	320	Cm	H	320	Anot yatağı derinliğinin iki Katı	
Tek Anodun Direnci	$R_A$	0,49	Ohm	$R_B$	0,89	Kok dolgunun toprağa geçiş direnci	
Paralel bağlı anotlarla teşkil edilmiş anot yatağının direnci :							
$R_{GB} = R_B + \frac{R_A \times F_A}{N}$							
Tek Anodun Direnci	$R_A$	0,49	Ohm				
Kok Dolgu Direnci	$R_B$	0,89	Ohm				
İnterferans Faktörü	$F_A$	1,41	$\rho_{kok}$	50	Ohmcm		
			$R_A$	0,49	Ohm		
			E	150	Cm		
			N	10	<b>Anot Adedi</b>		
<b>Anot Yatağı Direnci</b>	<b><math>R_{GB}</math></b>	<b>0,96</b>	<b>Ohm</b>				
Anot Yatağı boyu $L_B = ((75+E) \times N) + 100$ cm' dir.							
Anotlar Arası Mesafe E = 150 cm' dir.							
Anot yatağı dolgu maddesi eşdeğer çapı 40x40 cm kesitli kok için $D_B = 45,13$ cm' dir							

## EK-6 (Devam) Değişik anotlar ile anot yatağı direnci hesapları

## b) Karma metal oksit kaplı titanyum anot ile KKİ-03 istasyonu için anot yatağı direnci hesabı

ANOT YATAĞI DİRENCİ HESABI							
(Karma metal oksit kaplı titanyum anot ile)							
KKİ-03 NO'LU KATODİK KORUMA İSTASYONU İÇİN							
Yatay olarak yerleştirilmiş tek bir anodun kok dolgu maddesine veya kok dolgunun top dolgunun toprağa geçiş direnci Dwight eşitliğinden bulunur [ 22 ].							
$R_{A,B} = \left[ \frac{\rho}{2\pi L} \right] \left[ \ln \left( 4L^2 + \frac{4L\sqrt{(H^2+L^2)}}{DH} \right) + \left( \frac{H}{L} \right) + \frac{\sqrt{(H^2+L^2)}}{L} - 1 \right]$							
Kok Dolgu Madde Özgül Direnci	$\rho_{kok}$	50	Ohm.cm	$\rho_{toprak}$	2553	Anot yatağı yerinde toprak özgül direnci	
Anot Boyu	$L_A$	75	Cm	$L_B$	3124	Kok dolgu boyu	
Anot Çapı	$D_A$	1,27	Cm	$D_B$	45,13	Kok dolgu çapı	
Anot Yatağı Derinliği 2 Katı	H	320	Cm	H	320	Anot yatağı derinliğinin iki Katı	
Tek Anodun Direnci	$R_A$	0,49	Ohm	$R_B$	0,87	Kok dolgunun toprağa geçiş direnci	
Paralel bağlı anotlarla teşkil edilmiş anot yatağının direnci :							
$R_{GB} = R_B + \frac{R_A \times F_A}{N}$							
Tek Anodun Direnci	$R_A$	0,49	Ohm				
Kok Dolgu Direnci	$R_B$	0,87	Ohm				
İnterferans Faktörü	$F_A$	1,41	$\rho_{kok}$	50	Ohmcm		
			$R_A$	0,49	Ohm		
			E	150	Cm		
			N	10	<b>Anot Adedi</b>		
<b>Anot Yatağı Direnci</b>	<b><math>R_{GB}</math></b>	<b>0,94</b>	<b>Ohm</b>				
Anot Yatağı boyu $L_B = ((75+E) \times N) + 100$ cm' dir.							
Anotlar Arası Mesafe E = 150 cm' dir.							
Anot yatağı dolgu maddesi eşdeğer çapı 40x40 cm kesitli kok için $D_B = 45,13$ cm' dir							

## EK-6 (Devam) Değişik anotlar ile anot yatağı direnci hesapları

## c) Demir silikon anotlar ile KKİ-01 istasyonu için anot yatağı direnci hesabı

ANOT YATAĞI DİRENCİ HESABI							
(Demir Silikon Anot ile)							
KKİ-01 NO'LU KATODİK KORUMA İSTASYONU İÇİN							
Yatay olarak yerleştirilmiş tek bir anodun kok dolgu maddesine veya kok dolgunun top dolgunun toprağa geçiş direnci Dwight eşitliğinden bulunur [ 22 ].							
$R_{A,B} = \left[ \frac{\rho}{2\pi L} \right] \left[ \ln \left( 4L^2 + \frac{4L\sqrt{(H^2+L^2)}}{DH} \right) + \left( \frac{H}{L} \right) + \frac{\sqrt{(H^2+L^2)}}{L} - 1 \right]$							
Kok Dolgu Madde Özgül Direnci	$\rho_{kok}$	50	Ohm.cm	$\rho_{toprak}$	3132	Anot yatağı yerinde toprak özgül direnci	
Anot Boyu	$L_A$	152,4	Cm	$L_B$	704,8	Kok dolgu boyu	
Anot Çapı	$D_A$	5,1	Cm	$D_B$	45,13	Kok dolgu çapı	
Anot Yatağı Derinliği 2 Katı	H	320	Cm	H	320	Anot yatağı derinliğinin iki Katı	
Tek Anodun Direnci	$R_A$	0,21	Ohm	$R_B$	0,94	Kok dolgunun toprağa geçiş direnci	
Paralel bağlı anotlarla teşkil edilmiş anot yatağının direnci :							
$R_{GB} = R_B + \frac{R_A \times F_A}{N}$							
Tek Anodun Direnci	$R_A$	0,21	Ohm				
Kok Dolgu Direnci	$R_B$	0,94	Ohm				
İnterferans Faktörü	$F_A$	2,04	$\rho_{kok}$	50	Ohmcm		
			$R_A$	0,21	Ohm		
			E	150	Cm		
			N	12	<b>Anot Adedi</b>		
<b>Anot Yatağı Direnci</b>	<b><math>R_{GB}</math></b>	<b>0,98</b>	<b>Ohm</b>				
Anot Yatağı boyu $L_B = ((152,4 + E) \times N) + 100$ cm' dir.							
Anotlar Arası Mesafe $E = 150$ cm' dir.							
Anot yatağı dolgu maddesi eşdeğer çapı $40 \times 40$ cm kesitli kok için $D_B = 45,13$ cm' dir							

## EK-6 (Devam) Değişik anotlar ile anot yatağı direnci hesapları

## d) Demir silikon anotlar ile KKİ-02 istasyonu için anot yatağı direnci hesabı

ANOT YATAĞI DİRENCİ HESABI							
(Demir Silikon Anot ile)							
KKİ-02 NO'LU KATODİK KORUMA İSTASYONU İÇİN							
Yatay olarak yerleştirilmiş tek bir anodun kok dolgu maddesine veya kok dolgunun top dolgunun toprağa geçiş direnci Dwight eşitliğinden bulunur [ 22 ].							
$R_{A,B} = \left[ \frac{\rho}{2\pi L} \right] \left[ \ln \left( 4L^2 + \frac{4L\sqrt{(H^2+L^2)}}{DH} \right) + \left( \frac{H}{L} \right) + \frac{\sqrt{(H^2+L^2)}}{L} - 1 \right]$							
Kok Dolgu Madde Özgül Direnci	$\rho_{kok}$	50	Ohm.cm	$\rho_{toprak}$	2608	Anot yatağı yerinde toprak özgül direnci	
Anot Boyu	$L_A$	152,4	Cm	$L_B$	3124	Kok dolgu boyu	
Anot Çapı	$D_A$	5,1	Cm	$D_B$	45,12	Kok dolgu çapı	
Anot Yatağı Derinliği 2 Katı	H	320	Cm	H	320	Anot yatağı derinliğinin iki Katı	
Tek Anodun Direnci	$R_A$	0,21	Ohm	$R_B$	0,89	Kok dolgunun toprağa geçiş direnci	
Paralel bağlı anotlarla teşkil edilmiş anot yatağının direnci :							
$R_{GB} = R_B + \frac{R_A \times F_A}{N}$							
Tek Anodun Direnci	$R_A$	0,21	Ohm				
Kok Dolgu Direnci	$R_B$	0,89	Ohm				
İnterferans Faktörü	$F_A$	1,95	$\rho_{kok}$	50	Ohmcm		
			$R_A$	0,21	Ohm		
			E	150	Cm		
			N	10	Anot Adedi		
<b>Anot Yatağı Direnci</b>	<b><math>R_{GB}</math></b>	<b>0,93</b>	<b>Ohm</b>				
Anot Yatağı boyu $L_B = ((152,4+E) \times N) + 100$ cm' dir.							
Anotlar Arası Mesafe $E = 150$ cm' dir.							
Anot yatağı dolgu maddesi eşdeğer çapı $40 \times 40$ cm kesitli kok için $D_B = 45,13$ cm' dir							

## EK-6 (Devam) Değişik anotlar ile anot yatağı direnci hesapları

## e) Demir silikon anotlar ile KKİ-03 istasyonu için anot yatağı direnci hesabı

ANOT YATAĞI DİRENCİ HESABI							
(Demir Silikon Anot ile)							
KKİ-03 NO'LU KATODİK KORUMA İSTASYONU İÇİN							
Yatay olarak yerleştirilmiş tek bir anodun kok dolgu maddesine veya kok dolgunun top dolgunun toprağa geçiş direnci Dwight eşitliğinden bulunur [ 22 ].							
$R_{A,B} = \left[ \frac{\rho}{2\pi L} \right] \left[ \ln \left( 4L^2 + \frac{4L\sqrt{(H^2+L^2)}}{DH} \right) + \left( \frac{H}{L} \right) + \frac{\sqrt{(H^2+L^2)}}{L} - 1 \right]$							
Kok Dolgu Madde Özgül Direnci	$\rho_{kok}$	50	Ohm.cm	$\rho_{toprak}$	2553	Anot yatağı yerinde toprak özgül direnci	
Anot Boyu	$L_A$	152,4	Cm	$L_B$	2822	Kok dolgu boyu	
Anot Çapı	$D_A$	5,1	Cm	$D_B$	45,13	Kok dolgu çapı	
Anot Yatağı Derinliği 2 Katı	H	320	Cm	H	320	Anot yatağı derinliğinin iki Katı	
Tek Anodun Direnci	$R_A$	0,21	Ohm	$R_B$	0,94	Kok dolgunun toprağa geçiş direnci	
Paralel bağlı anotlarla teşkil edilmiş anot yatağının direnci :							
$R_{GB} = R_B + \frac{R_A \times F_A}{N}$							
Tek Anodun Direnci	$R_A$	0,21	Ohm				
Kok Dolgu Direnci	$R_B$	0,94	Ohm				
İnterferans Faktörü	$F_A$	1,90	$\rho_{kok}$	50	Ohmcm		
			$R_A$	0,21	Ohm		
			E	150	Cm		
			N	9	<b>Anot Adedi</b>		
<b>Anot Yatağı Direnci</b>	<b><math>R_{GB}</math></b>	<b>0,98</b>	<b>Ohm</b>				
Anot Yatağı boyu $L_B = ((152,4+E) \times N) + 100$ cm' dir.							
Anotlar Arası Mesafe $E = 150$ cm' dir.							
Anot yatağı dolgu maddesi eşdeğer çapı $40 \times 40$ cm kesitli kok için $D_B = 45,13$ cm' dir							

## EK-6 (Devam) Değişik anotlar ile anot yatağı direnci hesapları

## f) Grafit anot ile KKI-01 istasyonu için anot yatağı direnci hesabı

ANOT YATAĞI DİRENCİ HESABI							
(Grafit anot ile)							
KKI-01 NO'LU KATODİK KORUMA İSTASYONU İÇİN							
Yatay olarak yerleştirilmiş tek bir anodun kok dolgu maddesine veya kok dolgunun top dolgunun toprağa geçiş direnci Dwight eşitliğinden bulunur [ 22 ].							
$R_{A,B} = \left[ \frac{\rho}{2\pi L} \right] \left[ \ln \left( 4L^2 + \frac{4L\sqrt{(H^2+L^2)}}{DH} \right) + \left( \frac{H}{L} \right) + \frac{\sqrt{(H^2+L^2)}}{L} - 1 \right]$							
Kok Dolgu Madde Özgül Direnci	$\rho_{kok}$	50	Ohm.cm	$\rho_{toprak}$	3132	Anot yatağı yerinde toprak özgül direnci	
Anot Boyu	$L_A$	100	Cm	$L_B$	3850	Kok dolgu boyu	
Anot Çapı	$D_A$	10	Cm	$D_B$	45,13	Kok dolgu çapı	
Anot Yatağı Derinliği 2 Katı	H	320	Cm	H	320	Anot yatağı derinliğinin iki Katı	
Tek Anodun Direnci	$R_A$	0,23	Ohm	$R_B$	0,92	Kok dolgunun toprağa geçiş direnci	
Paralel bağlı anotlarla teşkil edilmiş anot yatağının direnci :							
$R_{GB} = R_B + \frac{R_A \times F_A}{N}$							
Tek Anodun Direnci	$R_A$	0,23	Ohm				
Kok Dolgu Direnci	$R_B$	0,92	Ohm				
İnterferans Faktörü	$F_A$	2,07	$\rho_{kok}$	50	Ohmcm		
			$R_A$	0,23	Ohm		
			E	150	Cm		
			N	15	<b>Anot Adedi</b>		
<b>Anot Yatağı Direnci</b>	<b><math>R_{GB}</math></b>	<b>0,95</b>	<b>Ohm</b>				
Anot Yatağı boyu $L_B = ((100+E) \times N) + 100$ cm' dir.							
Anotlar Arası Mesafe $E = 150$ cm' dir.							
Anot yatağı dolgu maddesi eşdeğer çapı $40 \times 40$ cm kesitli kok için $D_B = 45,13$ cm' dir							

## EK-6 (Devam) Değişik anotlar ile anot yatağı direnci hesapları

## g) Grafit anot ile KKI-02 istasyonu için anot yatağı direnci hesabı

ANOT YATAĞI DİRENCİ HESABI							
(Grafit anot ile)							
KKI-02 NO'LU KATODİK KORUMA İSTASYONU İÇİN							
Yatay olarak yerleştirilmiş tek bir anodun kok dolgu maddesine veya kok dolgunun top dolgunun toprağa geçiş direnci Dwight eşitliğinden bulunur [ 22 ].							
$R_{A,B} = \left[ \frac{\rho}{2\pi L} \right] \left[ \ln \left( 4L^2 + \frac{4L\sqrt{(H^2+L^2)}}{DH} \right) + \left( \frac{H}{L} \right) + \frac{\sqrt{(H^2+L^2)}}{L} - 1 \right]$							
Kok Dolgu Madde Özgül Direnci	$\rho_{kok}$	50	Ohm.cm	$\rho_{toprak}$	2608	Anot yatağı yerinde toprak özgül direnci	
Anot Boyu	$L_A$	100	Cm	$L_B$	2850	Kok dolgu boyu	
Anot Çapı	$D_A$	10	Cm	$D_B$	45,13	Kok dolgu çapı	
Anot Yatağı Derinliği 2 Katı	H	320	Cm	H	320	Anot yatağı derinliğinin iki Katı	
Tek Anodun Direnci	$R_A$	0,23	Ohm	$R_B$	0,95	Kok dolgunun toprağa geçiş direnci	
Paralel bağlı anotlarla teşkil edilmiş anot yatağının direnci :							
$R_{GB} = R_B + \frac{R_A \times F_A}{N}$							
Tek Anodun Direnci	$R_A$	0,23	Ohm				
Kok Dolgu Direnci	$R_B$	0,95	Ohm				
İnterferans Faktörü	$F_A$	1,93	$\rho_{kok}$	50	Ohmcm		
			$R_A$	0,23	Ohm		
			E	150	Cm		
			N	11	<b>Anot Adedi</b>		
<b>Anot Yatağı Direnci</b>	<b><math>R_{GB}</math></b>	<b>0,99</b>	<b>Ohm</b>				
Anot Yatağı boyu $L_B = ((100+E) \times N) + 100$ cm' dir.							
Anotlar Arası Mesafe $E = 150$ cm' dir.							
Anot yatağı dolgu maddesi eşdeğer çapı $40 \times 40$ cm kesitli kok için $D_B = 45,13$ cm' dir							

## EK-6 (Devam) Değişik anotlar ile anot yatağı direnci hesapları

## h) Grafit anot ile KKI-03 istasyonu için anot yatağı direnci hesabı

ANOT YATAĞI DİRENCİ HESABI							
(Grafit anot ile)							
KKI-03 NO'LU KATODİK KORUMA İSTASYONU İÇİN							
Yatay olarak yerleştirilmiş tek bir anodun kok dolgu maddesine veya kok dolgunun top dolgunun toprağa geçiş direnci Dwight eşitliğinden bulunur [ 22 ].							
$R_{A,B} = \left[ \frac{\rho}{2\pi L} \right] \left[ \ln \left( 4L^2 + \frac{4L\sqrt{(H^2+L^2)}}{DH} \right) + \left( \frac{H}{L} \right) + \frac{\sqrt{(H^2+L^2)}}{L} - 1 \right]$							
Kok Dolgu Madde Özgül Direnci	$\rho_{kok}$	50	Ohm.cm	$\rho_{toprak}$	2553	Anot yatağı yerinde toprak özgül direnci	
Anot Boyu	$L_A$	152,4	Cm	$L_B$	2850	Kok dolgu boyu	
Anot Çapı	$D_A$	5,1	Cm	$D_B$	45,13	Kok dolgu çapı	
Anot Yatağı Derinliği 2 Katı	H	320	Cm	H	320	Anot yatağı derinliğinin iki Katı	
Tek Anodun Direnci	$R_A$	0,23	Ohm	$R_B$	0,93	Kok dolgunun toprağa geçiş direnci	
Paralel bağlı anotlarla teşkil edilmiş anot yatağının direnci :							
$R_{GB} = R_B + \frac{R_A \times F_A}{N}$							
Tek Anodun Direnci	$R_A$	0,23	Ohm				
Kok Dolgu Direnci	$R_B$	0,93	Ohm				
İnterferans Faktörü	$F_A$	1,93	$\rho_{kok}$	50	Ohmcm		
			$R_A$	0,23	Ohm		
			E	150	Cm		
			N	11	<b>Anot Adedi</b>		
<b>Anot Yatağı Direnci</b>	<b><math>R_{GB}</math></b>	<b>0,97</b>	<b>Ohm</b>				
Anot Yatağı boyu $L_B = ((100+E) \times N) + 100$ cm' dir.							
Anotlar Arası Mesafe $E = 150$ cm' dir.							
Anot yatağı dolgu maddesi eşdeğer çapı $40 \times 40$ cm kesitli kok için $D_B = 45,13$ cm' dir							

## EK-6 (Devam) Değişik anotlar ile anot yatağı direnci hesapları

## 1) Platin kaplı titanyum anot ile KKİ-01 istasyonu için anot yatağı direnci hesabı

ANOT YATAĞI DİRENCİ HESABI							
(Platin kaplı titanyum anot ile)							
KKİ-01 NO'LU KATODİK KORUMA İSTASYONU İÇİN							
Yatay olarak yerleştirilmiş tek bir anodun kok dolgu maddesine veya kok dolgunun top dolgunun toprağa geçiş direnci Dwight eşitliğinden bulunur [ 22 ].							
$R_{A,B} = \left[ \frac{\rho}{2\pi L} \right] \left[ \ln \left( 4L^2 + \frac{4L\sqrt{(H^2+L^2)}}{DH} \right) + \left( \frac{H}{L} \right) + \frac{\sqrt{(H^2+L^2)}}{L} - 1 \right]$							
Kok Dolgu Madde Özgül Direnci	$\rho_{kok}$	50	Ohm.cm	$\rho_{toprak}$	3132	Anot yatağı yerinde toprak özgül direnci	
Anot Boyu	$L_A$	57,5	Cm	$L_B$	4031	Kok dolgu boyu	
Anot Çapı	$D_A$	1,27	Cm	$D_B$	45,13	Kok dolgu çapı	
Anot Yatağı Derinliği 2 Katı	H	320	Cm	H	320	Anot yatağı derinliğinin iki Katı	
Tek Anodun Direnci	$R_A$	0,59	Ohm	$R_B$	0,89	Kok dolgunun toprağa geçiş direnci	
Paralel bağlı anotlarla teşkil edilmiş anot yatağının direnci :							
$R_{GB} = R_B + \frac{R_A \times F_A}{N}$							
Tek Anodun Direnci	$R_A$	0,59	Ohm				
Kok Dolgu Direnci	$R_B$	0,89	Ohm				
İnterferans Faktörü	$F_A$	1,38	$\rho_{kok}$	50	Ohmcm		
			$R_A$	0,59	Ohm		
			E	150	Cm		
			N	13	<b>Anot Adedi</b>		
<b>Anot Yatağı Direnci</b>	<b><math>R_{GB}</math></b>	<b>0,95</b>	<b>Ohm</b>				
Anot Yatağı boyu $L_B = ((57,5+E) \times N) + 100$ cm' dir.							
Anotlar Arası Mesafe $E = 150$ cm' dir.							
Anot yatağı dolgu maddesi eşdeğer çapı $40 \times 40$ cm kesitli kok için $D_B = 45,13$ cm' dir							

## EK-6 (Devam) Değişik anotlar ile anot yatağı direnci hesapları

## j) Platin kaplı titanyum anot ile KKİ-02 istasyonu için anot yatağı direnci hesabı

ANOT YATAĞI DİRENCİ HESABI							
(Platin kaplı titanyum anot ile)							
KKİ-02 NO'LU KATODİK KORUMA İSTASYONU İÇİN							
Yatay olarak yerleştirilmiş tek bir anodun kok dolgu maddesine veya kok dolgunun top dolgunun toprağa geçiş direnci Dwight eşitliğinden bulunur [ 22 ].							
$R_{A,B} = \left[ \frac{\rho}{2\pi L} \right] \left[ \ln \left( 4L^2 + \frac{4L\sqrt{(H^2+L^2)}}{DH} \right) + \left( \frac{H}{L} \right) + \frac{\sqrt{(H^2+L^2)}}{L} - 1 \right]$							
Kok Dolgu Madde Özgül Direnci	$\rho_{kok}$	50	Ohm.cm	$\rho_{toprak}$	2608	Anot yatağı yerinde toprak özgül direnci	
Anot Boyu	$L_A$	57,5	Cm	$L_B$	3124	Kok dolgu boyu	
Anot Çapı	$D_A$	1,27	Cm	$D_B$	45,13	Kok dolgu çapı	
Anot Yatağı Derinliği 2 Katı	H	320	Cm	H	320	Anot yatağı derinliğinin iki Katı	
Tek Anodun Direnci	$R_A$	0,59	Ohm	$R_B$	0,89	Kok dolgunun toprağa geçiş direnci	
Paralel bağlı anotlarla teşkil edilmiş anot yatağının direnci :							
$R_{GB} = R_B + \frac{R_A \times F_A}{N}$							
Tek Anodun Direnci	$R_A$	0,59	Ohm				
Kok Dolgu Direnci	$R_B$	0,89	Ohm				
İnterferans Faktörü	$F_A$	1,34	$\rho_{kok}$	50	Ohmcm		
			$R_A$	0,59	Ohm		
			E	150	Cm		
			N	10	<b>Anot Adedi</b>		
<b>Anot Yatağı Direnci</b>	<b><math>R_{GB}</math></b>	<b>0,97</b>	<b>Ohm</b>				
Anot Yatağı boyu $L_B = ((57,5+E) \times N) + 100$ cm' dir.							
Anotlar Arası Mesafe $E = 150$ cm' dir.							
Anot yatağı dolgu maddesi eşdeğer çapı $40 \times 40$ cm kesitli kok için $D_B = 45,13$ cm' dir							

## EK-6 (Devam) Değişik anotlar ile anot yatağı direnci hesapları

## k) Platin kaplı titanyum anot ile KKI-03 istasyonu için anot yatağı direnci hesabı

ANOT YATAĞI DİRENCİ HESABI							
(Platin kaplı titanyum anot ile)							
KKI-03 NO'LU KATODİK KORUMA İSTASYONU İÇİN							
Yatay olarak yerleştirilmiş tek bir anodun kok dolgu maddesine veya kok dolgunun top dolgunun toprağa geçiş direnci Dwight eşitliğinden bulunur [ 22 ].							
$R_{A,B} = \left[ \frac{\rho}{2\pi L} \right] \left[ \ln \left( 4L^2 + \frac{4L\sqrt{(H^2+L^2)}}{DH} \right) + \left( \frac{H}{L} \right) + \frac{\sqrt{(H^2+L^2)}}{L} - 1 \right]$							
Kok Dolgu Madde Özgül Direnci	$\rho_{kok}$	50	Ohm.cm	$\rho_{toprak}$	2553	Anot yatağı yerinde toprak özgül direnci	
Anot Boyu	$L_A$	57,5	Cm	$L_B$	3124	Kok dolgu boyu	
Anot Çapı	$D_A$	1,27	Cm	$D_B$	45,13	Kok dolgu çapı	
Anot Yatağı Derinliği 2 Katı	H	320	Cm	H	320	Anot yatağı derinliğinin iki Katı	
Tek Anodun Direnci	$R_A$	0,59	Ohm	$R_B$	0,87	Kok dolgunun toprağa geçiş direnci	
Paralel bağlı anotlarla teşkil edilmiş anot yatağının direnci :							
$R_{GB} = R_B + \frac{R_A \times F_A}{N}$							
Tek Anodun Direnci	$R_A$	0,59	Ohm				
Kok Dolgu Direnci	$R_B$	0,87	Ohm				
İnterferans Faktörü	$F_A$	1,34	$\rho_{kok}$	50	Ohmcm		
			$R_A$	0,59	Ohm		
			E	150	Cm		
			N	10	<b>Anot Adedi</b>		
<b>Anot Yatağı Direnci</b>	<b><math>R_{GB}</math></b>	<b>0,95</b>	<b>Ohm</b>				
Anot Yatağı boyu $L_B = ((57,5+E) \times N) + 100$ cm' dir.							
Anotlar Arası Mesafe $E = 150$ cm' dir.							
Anot yatağı dolgu maddesi eşdeğer çapı $40 \times 40$ cm kesitli kok için $D_B = 45,13$ cm' dir							

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BÖLÜK, Fatih Mehmet  
 Uyuğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 06.03.1976 Kayseri  
 Medeni hali : Evli  
 Telefon : 0 (312) 250 12 81  
 e-mail : [boluk9429@hotmail.com](mailto:boluk9429@hotmail.com)

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü	2000
Lise	Sümer Lisesi	1994

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2006-.....	Kuwait Oil Company (KOC)	Kimya Mühendisi
2001-2006	KORTEK Müh. Müş ve Tan. Ltd. Şti.	Kimya Mühendisi

### Yabancı Dil

İngilizce

### Hobiler

Bilgisayar teknolojileri ile ilgilenmek, kitap okumak.