

67504

T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

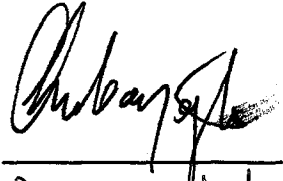
EĞİRDİR - ISPARTA YER ALTI İÇME SUYU BORU HATTININ
KATODİK KORUNMASI VE PROJELENDİRME ESASLARI

Aydın ŞANLITÜRK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



Yrd. Doç. Dr. Ş.Yılmaz GÜVEN
Danışman



Prof. Dr. C. Phit
KURBANOGU

ÖZET

Bu çalışmamda yer altı korozyonuna mağruz kalan yeraltı boru hatlarının korozyondan korunmaları, koruma yöntemi olarak katodik korumaya konuları işlenmiş ve Eğirdir-Isparta yeraltı içmesuyu boru hatlarının katodik korunması ve projelendirilmesi yapılmıştır.

Çalışma konumuzda korozyon; Metal ve alaşımlarının kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonlar ile metelik özelliklerini kaybetmesi olayıdır. Korozyondan dolayı çok büyük kayıplar meydana gelmektedir. Tesisleri korozyondan korumak için geliştirilmiş en ekonomik ve uzun ömürlü koruma sistemi katodik koruma sistemidir.

Katodik korunma, zemin içine gömülü bulunan borunun yapay olarak katod haline getirilmesidir. Katod halinde oksidasyon olmayacağına göre bu yöntemde katod haline getirilen boruda korozyon olmaz.

Katodik koruma sistemi, dış akım kaynaklı ve galvanik anot ile katodik koruma sistemleri olmak üzere ikiye ayrılır.

Dış akım kaynaklı katodik koruma; bir dış doğru akım kaynağının negatif ucu(-) boruya, pozitif(+) ucu yardımcı anot veya anotlara bağlanarak borunun katot haline getirilmesidir.

Galvanik anot ile katodik koruma; Boruya yeter miktarda galvanik anot bağlanarak borunun katot haline getirilmesidir. Galvanik anotlu katodik koruma; çok ekonomik bir sistem olmasına rağmen, ömrü galvanik anodun ömrüyle sınırlı olduğundan dolayı çok kısadır.

Eğirdir-Isparta yeraltı içme suyu boru hattı 34347 m uzunluğunda Ø1000-1100 JÇB olduğu için, dış akım kaynaklı katodik koruma sistemiyle korunması düşünülmüş ve beş noktada oluşturulan T/R üniteleriyle koruma için gerekli akım ihtiyacı sağlanmıştır.

Bu çalışmada yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Yrd.Doç.Dr. Şevki Yılmaz Güven'e teşekkürlerimi sunarım.

ABSTRACT

In His study, protection the underground pipe lines from corrosion is the subject. Katodic protection was the study subject as a protection method. Katodic protection of underground pipe lines which was belonging to EĞRİDİR-İSPARTA drinking water and had been made the project.

In the study subject; corrosion is losing the metallic characteristics with chemical and electro chemical reactions of metals and metal mixtures. Corrosion, causes a lot of water loss.

To protect the construction from corrosion, the katodic protection system is the cheapest and long-lasting protection system.

Katodic protection is a kind of method that pipe which was buried into ground, became katode artificially. There would be no oxidation of the katode state, for this reason, in this method, the pipe became katode state there are no corrosion.

Katodic protection system is divided into two groups; outside current source second, galvanic anode.

Source from outside current, katodic protection system; pipe became katode by joining the pipe to a outside direct current (dc) source (the negative side (-)) and positive side (+) to anode or cathode.

Galvanic anode katodic protection system; the pipe would be become katode state, by joining galvanic anode to the pipe. In spite of this protection system is very economical system it is lasting as much as galvanic anode, For this reason it is not long-lasting.

Drinking water of EĞRİDİR-İSPARTA underground pipe lines is 34347 m in length, 1000-1100 JCB, According to this information, source from outside current katodic protection. would be suitable and T/R value of five point, would be enough to meet current for protection.

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ.....	1
2. YERALTI KOROZYONU	3
3. BORU HATLARININ KOROZYONA KARŞI KAPLANMASI	4
3.1 Koruyucu Kaplamalar.....	4
3.1.1 Yeraltı Borularının Kaplanması:	5
3.1.2 Kaplama ile İlgili Standartlar	6
3.1.3 Kaplama Tipleri.....	7
3.1.4 Kaplama Cinsi Seçimi	10
4. YERALTI BORU HATLARININ KATODİK KORUNMASI.....	10
4.1 Katodik Koruma Projesi İçin Ön Etüdler	12
4.1.1 Zemin İle İlgili Etüdler	12
4.1.2 Boru/Zemin Potansiyeli	13
4.1.3 Redoks Potansiyeli	19
4.1.4 Boru Üzerinde Yapılan Etüdler	20
4.1.5 Akım İhtiyacı	20
4.1.6 Boru Kaplamaları	22
4.1.7 Çevre İle İlgili Etüdler	23
4.2 Katodik Koruma Projelendirmesi.....	24
4.2.1 Katodik koruma Kriterleri	24
4.2.2 Sistem Seçimi	26
4.2.3 Dış Akım kaynaklı Katodik koruma Trasformatör-Redresör Ünitesi	28
4.2.4 Anot Yatağı Dolgu Maddesi.....	30
4.2.5 Anot Yatağı Direnci.....	31
4.2.6 Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma Sistemlerinin Projelendirilmesi	37
4.2.7 Galvanik Anotlu Katodik Koruma	40
4.3 Katodik Koruma Sistemlerinin İşletme ve Bakım.....	49
4.3.1 Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma sistemlerinde Yapılan Kontroller	51
4.3.2 Dış Akım Kaynaklı Bir Katodik Koruma Sisteminin İşletmeye Alınması.....	53

4.3.3 Galvanik Anotlu Katodik Koruma Sistemlerinde Yapılan Kontroller	55
5. ISPARTA - EĞİRDİR YERALTI İÇMESUYU BORUHATTININ KATODİK KORUMASI VE PROJELENDİRİLMESİ	56
5.1 Sistemin Tanıtılması.....	56
5.2 Anot Yatakları Hesabı	58
5.2.1 T/R 1 Nolu İstasyon.....	58
5.2.2 T/R 2. Nolu istasyon.....	59
5.2.3 T/R 3. Nolu istasyon.....	60
5.2.4 T/R 4. Nolu İstasyon.....	61
5.2.5 T/R 5. Nolu istasyon.....	62
KAYNAKLAR.....	71
EKLER.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	84

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.	Boru/Zemin potansiyelinin zemin cinsi ve kaplama kalitesine göre değişimi	14
Şekil 2.	Boru/Zemin potansiyelinin ölçülmesi	15
Şekil 3.	Boru/Zemin potansiyelinin zemin cinsi ve kaplama kalitesine göre değişimi	15
Şekil 4.	Uzun kaplama yöntemiyle boru/zemin potansiyelinin ölçülmesi	16
Şekil 5.	Çift elektrot yöntemiyle boru/zemin potansiyelinin ölçülmesi	17
Şekil 6.	Boru üzerinden ölçülen Boru/zemin potansiyelinin değerleri	18
Şekil 7.	Boruya 10m uzaklıkta olan referans elektrot ile ölçülen boru/zemin potansiyeli değerleri	18
Şekil 8.	Çeşitli kaplama cinslerinin elektriksel direnci ve akım ihtiyacı	21
Şekil 9.	Borunun yeraltında kaldığı süreye bağlı olarak akım ihtiyacında meydana gelen değişme	22
Şekil 10.	Asfalt kaplama direncinin yıllara göre değişimi	23
Şekil 11.	Galvanik anotlu ve dış akım kaynaklı katodik koruma sistemleri	26
Şekil 12.	Transformatör-redrezör ünitesi (kesintisiz çalışan)	29
Şekil 13.	Bir trafo-redresör ünitesinde verimin doğru akım çıkış voltajına göre değişimi	29
Şekil 14.	5cmx150cm boyutundaki bir demir-silikon anodun, kok tozu içine dik olarak yerleştirilmesi	33
Şekil 15.	5cmx150cm boyutundaki bir demir-silikon anodun, 30cm kalınlığındaki kok tozu içine yatay olarak yerleştirilmesi	33
Şekil 16.	Aynı yatak içinde yatay olarak konulmuş paralel anotlar	36
Şekil 17.	1000 ohm.cm özgül direnci olan zemine 30cmx30cm lik bir yatak içinde 120cm derinlikte ve anotların merkezden merkeze 3m aralıkla yerleştirilmesi halindeki dirençleri	36
Şekil 18.	Galvanik anotların yer altına konulması	47
Şekil 19.	Grup anotların bağlantısı	47
Şekil 20.	Galvanik anodun ölçü kutusu üzerinde boruya bağlantısı	48
Şekil 21.	Borulu Tip ölçü istasyonu	49
Şekil 22.	Anot yatağı direncinin ölçülmesi	53

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1.	Korozyondan korunma amacıyla alınmış olan önlemlerin maliyet yüzdeleri	2
Çizelge 2.	Sıcak tatbikli kaplama kalınlıkları	8
Çizelge 3.	Polietilen kaplama kalınlıkları	9
Çizelge 4.	Zeminlerin elektrik özgül dirençlerine göre sınıflandırılması	13
Çizelge 5.	Çift elektrot yöntemi ile elde edilen ölçümlerden Boru/Zemin potansiyelinin hesaplanması	17
Çizelge 6.	Redoks potansiyeli Değerlerine göre zeminlerin korozif özelliği	20
Çizelge 7.	Kaplamalı boruların akım ihtiyacı	21
Çizelge 8.	Çıplak çelik boruların değişik zeminler içindeki akım ihtiyaç değerleri	21
Çizelge 9.	Çelik boruların akım ihtiyacı	22
Çizelge 10.	Yardımcı anotların akım özellikleri	30
Çizelge 11.	Anot yatağı dolgu maddesi olarak kullanılan kok tozunun özellikleri	31
Çizelge 12.	Çeşitli boyutlardaki anotların 1000 Ohm.cm özgül direnci olan zemin içindeki dikey olarak dirençleri, ohm.	35
Çizelge 13.	Paralel bağlanmış dikey anotların interferans faktörleri	35
Çizelge 14.	Galvanik anotların elektro kimyasal özellikleri	42
Çizelge 15.	Magnezyum anotların kimyasal bileşimi	42
Çizelge 16.	Çinko anotların kimyasal bileşimi	43
Çizelge 17.	Alüminyum anotların kimyasal bileşimi	43
Çizelge 18.	D. Profil Magnezyum anotları	44
Çizelge 19.	Anot yatağı dolgu malzemesi	45
Çizelge 20.	Zemin elektrik özgül dirençleri	57

1. GİRİŞ

Teknolojik öneme sahip metallerin, bir kaç istisna dışında hemen hemen tümü tabiatla “bileşik” halinde bulunurlar. Başka bir deyişle metallerin tabiatın etkisine milyonlarca yıl dayanabilen şekli “bileşik” halidir. Bileşiklerden metallerin veya alaşımlarının üretimi ancak ilave bir malzeme-enerji-emek ve bilgi sarfı ile mümkündür. Üretilen metal ve alaşımları ise tekrar kararlı halleri olan “bileşik” haline dönme eğilimi yüksektir. Bunun sonucu olarak metallere içinde buldukları ortamın elemanları ile reaksiyona girerek, önce iyonik hale ve oradan da ortamdaki başka elementlerle birleşerek “bileşik” haline dönmeye ve çalşırlar yani kimyasal değişime uğrarlar ve bozulurlar. Sonuçta metal ve alaşımlarının fiziksel, kimyasal, mekanik ve elektriksel özellikleri istenmeyen değişikliklere uğrar. Korozyon hem metal ve alaşımlarının bozulma reaksiyonuna hem de bu reaksiyonun sebep olduğu zarara verilen addır.

Endüstrinin her dalında metal kullanımı yıldan yıla artmaktadır. Metallere içinde demir ve çeliğin özel bir yeri vardır. Demir üretimi diğer bütün metallere üretimlerinin toplamından dokuz kat daha fazladır. Üretilen demirin ancak çok az bir kısmı paslanmaz çelik veya kaliteli alaşımlar halinde, geri kalanı ise yumuşak çelik veya dökme demir halinde kullanılmaktadır.

Gerekli önlemler alınmadığı için her yıl ülkemizde büyük boyutlarda korozyon kayıpları meydana gelmektedir. Bütün kayıpların toplam değerinin hesaplanması oldukça güç olmakla beraber, ülkemizde bir yılda korozyon kayıplarının yıllık çelik üretiminin yaklaşık üçte bir düzeyinde olduğu kabul edilmektedir.

Korozyon bir ülkenin en büyük israf kaynağıdır. Korozyon nedeniyle ülkelerin uğradıkları malzeme, enerji, emek ve bilgi kaybının yıllık değeri Gayri safi milli gelirinin %3,5 ile 5'i düzeyindedir. Ülkemiz için bu kaybın %4,5 civarında olduğu tahmin edilmektedir. Bu ise yılda 2,5 Milyar Dolar civarında bir kayıp demektir.

Bu değerlere korozyonun neden olduğu üretim ve ürün kaybı dahil değildir. Örneğin İstanbul şehrinin delik su borularından kaybettiğı suyun değeri yılda 140 Milyon Dolara yaklaşmaktadır ki iki yıllık kayıp bir boğaz köprüsü inşaa ettirmeye yeterlidir.

Korozyon sonucu ortaya çıkan fakat metal kaybı gibi açıkça görünmeyen çeşitli kayıplar söz konusudur. Bir boru hattının korozyon sonucu delinmesi halinde boru malzemesi dışında ortaya çıkan öteki kayıplar şunlardır.

- Borunun delinmesinin anlaşılmasına kadar borudan çevreye kaçan ürün kaybı,
- Çevreye yayılan akışkanın neden olduğu kirlilik ve zararlı etkiler ,
- Akaryakıt halinde yangın ve patlama tehlikesi, şehir suyu halinde salgın hastalık tehlikesi,
- İşletme kesikliğinden doğan zararlar ve idarenin karındaki kayıp,
- Eski borunun sökülüp yeni borunun değiştirilmesi için harcanan işçilik,

Bunların her biri doğrudan ulusal ekonomiye yansıyan önemli kayıplardır.

Kaçak suların pompajı için ülke genelinde 1,5 milyar kw saat elektrik enerjisi boş yere harcanmaktadır.

Korozyonun ülke ekonomisine yüklediği maliyet kesin olarak belirlemek oldukça güçtür.

Endüstride korozyon dan korunmak üzere alınan önlemler maliyet yükü sırasına göre

Çizelge 1: Korozyon dan korunma amacı ile alınmış olan önlemlerin maliyet yüzdeleri

Sıra No	Korozyondan Korunmak Üzere Alınan Önlem	Toplam Maliyet İçindeki % si
1	Metal yüzeylerini korumak üzere kullanılan anti korozyon boyalar, yüzey temizliği ve parlatma dahil.	38,0
2	İçten yanmalı motorlarda ve taşıt araçlarında korozyon kayıpları	19,0
3	Paslanmaz çelik üretimi	11,4
4	Yeraltı boru hatlarındaki bakım ve onarım masrafları	11,1
5	Kalaylı teneke üretiminde kullanılan kalay	5,8
6	Kalorifer kazanları ve sı ısıtıcılarında alınan önlemler	4,1
7	Nikel kaplama ve nikel alaşımları	3,4
8	Galvanizli tel, teneke ve boru üretiminde kullanılan çinko	2,5
9	Endüstriyel kazanlar ve su buharı sistemlerindeki korozyonu önlemek üzere alınan önlemler	1,2
10	Kimya ve petrokimya tesislerinde korozyon kayıpları	1,1
11	Diğerleri	2,4

Korozyon kayıplarını en aza indirmek üzere son yıllarda çok yönlü araştırmalar yapılmaktadır. Bunların en önemli olanları şöyle özetlenebilir;

- Boya ile kaplamalar,
- Pazlanmaz çelik ve pozitifleştirilmiş metaller kullanımı,
- Katodik korunma

Son 30 yılda katodik koruma konusunda büyük gelişmeler olmuştur. Katodik korunma korozyonla mücadelede en emin ve aynı zamanda en ucuz yöntemdir. Bu yöntemle bir tesisin ömrü, maliyetinin %2-5 i arasında bir masrafla iki katına çıkartılabilmektedir.

Katodik koruma, yüzeyi koruyucu kaplama ile kaplanmamış çıplak çelik yapılara uygulandığı gibi, daha çok yüzeyi koruyucu kaplamalarla korunmuş olmasına rağmen kaplamalardaki devamsızlıklar altında açığa çıkan metalin korunmasında kullanılır.

Katodik korunmanın prensibi, korunacak metal yapının kendisinden daha aktif bir başka metalle irtibatlandırılarak çözülmesinin durdurulması ve yerine aktif metalin çözüldürülmesine dayanır. Aktif metal çözünürken açığa çıkan elektronları korunacak metal harcar.

Korunacak metale elektronlar aktif bir metal yerine bir akım kaynağı vasıtası ile de sağlanabilir. Katodik davranmaya zorlanarak çözülmesi engellenecek metale bu amaçla bir akım uygulanır. Akımın miktarı; yüzeyin çıplak veya kaplamalı ve ortamın korozivitesine bağlı olarak geniş sınırlar içerisinde değişir.

2. YERALTI KOROZYONU

Çeşitli amaçlarla yeraltına konulmuş olan metal yapılar özellikle çelik borular, kazıklar, tanklar, suyun ve zeminin koroziv etkisi nedeniyle kısa sürede korozyona uğrayarak kullanılmaz hale gelirler, Yeraltı korozyon hücrelerinin oluşma nedenleri çok çeşitlidir. Pratikte en çok rastlanan korozyon nedenleri şunlardır;

- Galvanik etki sonucu oluşan korozyon
- Zemin yapısındaki farklılıktan ileri gelen korozyon
- Farklı havalanma sonucu oluşan korozyon
- Kaplama bozuklukları sonucu oluşan korozyon
- Biyolojik korozyon

3. BORU HATLARININ KOROZYONA KARŞI KAPLANMASI

3.1 Koruyucu Kaplamalar

Bir boru hattında muhtemel korozyonu önlemek üzere başlıca aşağıdaki önlemler alınır:

- Boru yüzeylerinin uygun bir malzeme ile kaplanması
- Borunun diğer metalik yapılardan izole flanşlar ile ayrılması
- Katodik koruma yapılması

Bu önlemler ayrı ayrı uygulanabildiği gibi üçünün birlikte kullanılması da mümkündür.

Yalnız kaplama yapılmak suretiyle boru hattının korozyondan kesin bir şekilde koruyabilmek mümkün olamaz. Endüstriyel koşullarda yapılan en mükemmel kaplamalarda bile daima mikro koşullarda yapılan en mükemmel kaplamalarda delikler bulunabilir. Diğer taraftan üretim yerinde kaplanmış olan bir borunun, kullanılacağı bölgeye kadar taşınması ve yerine yerleştirilmesi sırasında daima söz konusu olabilen işçilik hataları nedeniyle kaplamada yer yer bozulmalar meydana gelebilir.

Çelik boruların montajında ek yerleri kaynak edildikten sonra şantiyede kaplanır. Bu kaplamalar, gerek yüzey temizliği gerekse kaplama kalitesi açısından yeterli düzeyde olmayabilir. Bu ve buna benzer zayıf kaplamalı bölgelerde korozyon olayını önlemek üzere, kaplama yapılmış olan boru hattına ayrıca katodik koruma yapılması gerekir. Böylece hem korozyon kesin olarak önlenmiş hem de koruma akım ihtiyacı yaklaşık %1 e kadar düşürülmüş olduğu için maliyet büyük ölçüde azaltılmış olur.

Boru hattının diğer metalik yapılardan izole flanşlar ile ayrılması, boru hattı boyunca meydana gelen korozyon akımlarının uygulanmamış boru hatlarında bile izole flaş kullanılması faydalıdır. Böylece boru hattı boyunca makro düzeyde korozyon hücrelerinin oluşması önlenmiş olur.

Korozyondan korunmak üzere alınacak önlemler hem teknik yönden yeterli, hemde ekonomik yönden uygun olmalıdır. Özellikle kaplama cinsi ve kalitesinin belirlenmesi pratikte büyük önem taşır.

3.1.1 Yeraltı Borularının Kaplanması

Boru kaplaması için çeşitli malzemeler kullanılmaktadır. Son yıllarda hem kaplama malzemelerinin çeşidinde, hem de kaplama tekniğinde büyük gelişmeler olmuştur. Bir kaplamanın etkili olabilmesi için şu özellikleri taşıması gerekir:

- Kaplama malzemesi elektriksel bakımdan yalıtkan olmalıdır.
- Kaplama her çeşit mekanik etkilere karşı dayanıklı olmalı ve boru yüzeyine sağlam şekilde yapışmalıdır.
- Kaplama tabakası gözeneksiz ve kesiksiz bir film oluşturmalı ve yeraltında uzun süre çürümeden dayanabilmelidir.

Yukarıdaki koşullar dışında kaplama malzemelerinin sıcaklığa ve kimyasal etkilere karşı da dayanıklı olması istenir. Ancak bütün bu özelliklerin ekonomik limitler içinde bir arada sağlanması oldukça güçtür. Diğer taraftan kaplama malzemesi çok mükemmel olsa bile, pratikte çeşitli nedenlerle boru kaplamasında bozukluklar meydana gelebilir. Kaplama bozukluğunun başlıca nedenleri şunlardır:

- a- Kaplama sırasındaki işçilik hataları ve malzeme heterojenliğinden ileri gelen bozukluklar,
- b- Kaplanmış boruların taşınması, depolanması ve yerine yerleştirilmesi sırasında meydana gelen delinmeler,
- c- Borunun yerleştirilmiş olduğu çukurun doldurulması sırasında, taş kaya, vb. sert malzemelerin etkisi ile meydana gelen bozulmalar,
- d- Boru hattından taşınan akışkanın sıcaklığının değişmesi nedeniyle meydana gelen termal gerilmeler,
- e- Borunun yeraltında bulunduğu sırada çeşitli yükler ve mekanik kuvvetler etkisinde kalması,
- f- Bazı zeminlerin aşırı derecede rötre (büzülme) özelliği nedeniyle boru kaplamasında soyulma meydana gelmesi,
- g- Bazı bitki köklerinin, özellikle ayırık otu gibi yabancı bitkilerin boru kaplaması üzerine delici etkisi,
- h- Boru hattı boyunca herhangi bir noktada kaplama malzemesini çözebilen, organik solventlerin zemin içine yayılması,

i- Yeraltında bulunan çeşitli bakteri ve mikroorganizmaların kaplama malzemesi üzerinde yaşam faaliyetleri,

j- Aynı bölgede yapılmakta olan başka inşaat işleri sırasında dozer vb. iş makinalarının sebep olduğu kazalar,

k- Katodik koruma yapılmış boru hatlarında, akım uygulanan noktada aşırı potansiyel nedeniyle meydana gelen katodik soyulmalar.

3.1.2 Kaplama ile İlgili Standartlar

Boru kaplaması ile ilgili halen dört Türk standardı mevcuttur. Bunlar aşağıdadır.

TS-4356: Çelik borular, korozyona karşı korunma

Bitüm esaslı maddelerle sıcak olarak kaplanması kuralları

TS-4357: Çelik borular, korozyona karşı korunma

Maden kömürü esaslı maddelerle sıcak olarak kaplanması kuralları

TS-5139: Çelik borular, korozyona karşı korumak için polietilen ile kaplama kuralları

TS-5140: Çelik borular, korozyona karşı koruma

Maden kömürü katranı epoksi reçinesi ile kaplama kuralları

Bu standartlarda, kaplama malzemesi özellikleri boru yüzeyinin kaplamadan önce temizlenmesi metotları ile kaplama yapımı sırasında uyulması gereken kurallar belirtilmektedir. Yukarıda sözü edilen kaplama bozukluklarının minimuma indirilmesi için standartlarda verilen kurallara tam olarak uyulması gerekir.

Kaplama yapılırken uyulması gereken kurallar, kullanılan malzeme cinsine bağlı olarak birbirinden farklılıklar gösterir. Ancak bütün kaplamalar için uyulması gereken genel kurallar şöyle özetlenebilir:

a- Kaplamanın ömrü ve sağlamlığı doğrudan yüzey temizliğine bağlıdır. Boru yüzeyleri kaplamadan önce standartlarda öngörülen şekilde temizlenmiş olmalıdır.

b- Boru yüzeylerine kaplama tabakası uygulanmadan önce uygun bir astar malzemesi ile astarlanmalıdır. Astar, kaplamanın boruya sağlamca yapışmasını sağlar.

c- Kaplamada kullanılan malzemelerin özellikleri standartlarda verilen değerlere uygun olmalı ve kaplama kalınlığı bütün boru hattı boyunca uniform kalmalıdır.

d- Sıcak uygulamalı kaplamalarda malzemenin ve borunun sıcaklık limitlerine dikkat edilmelidir. Bant sargısı ile yapılan kaplamalarda bantın çekme gerilimi sabit tutulmalıdır.

e- Kaplama kuru ve temiz ortamlarda yapılmalıdır. Malzeme kalitesi ve işçilik sürekli kontrol altında tutulmalıdır.

f- İmalattan sonra her boru ayrı ayrı kontrol edilmeli ve kabul edilemeyecek kaplama bozuklukları olan borular ayrılarak, bunların kaplaması sökülüp yeniden yapılmalıdır.

g- Hangi tip hataların, kaplamayı sökmeden tamir etmek suretiyle kullanılabilir hale getirilebileceği belirlenmeli ve bu borular için özel tamir yöntemleri uygulanmalıdır.

h- Depolama, yükleme ve taşıma işlemleri de kaplamanın bir parçası olarak düşünülmeli ve bu konuda TS-2170⁽¹⁾ de belirtilen kurallara uyulmalıdır.

i- Boru ek yerlerinin arazide kaplanması için özel ekipler oluşturulmalı ve ek yerleri borunun diğer bölgelerinden daha kalın olarak kaplanmalıdır.

j- Kaplama yapılmış borular çukur içinde kum üzerine oturtulmalı ve üst kısmının dolgusunda boru kaplamasını bozucu taş ve çakıl gibi iri malzemeler bulunmamalıdır.

Bütün bu tedbirler alınmış olsa bile kaplamada yine hatalar bulunabilir. Kaplama hatalarının minimuma indirilmesi için kaplama yapılmış bütün borular, elektriksel yalıtım muayenesine tabi tutulmalıdır.

3.1.3 Kaplama Tipleri

Boru kaplamasında çok eskiden beri bitümlü malzemeler kullanılmaktadır. Son zamanlarda epoksi tipi sentetik reçineler plastikler ile kaplama yöntemleri de geliştirilmiştir.

Bu malzemeler, elektriksel iletkenlik, boruya yapışma ve yeraltında dayanma ömrü açısından birbirinden farklıdır. Aralarında malzeme ve işçilik maliyeti farklılıkları da vardır. Seçim yapılırken teknik özellikler ve maliyetler bir arada değerlendirilir.

Ülkemizde başlıca aşağıdaki kaplama tipleri kullanılmaktadır:

¹ TS-2170 Çelik boru hatlarının yeraltına konulması kuralları

3.1.3.1 Sıcak Tatbikli Bitüm Kaplamalar

Maden kömürü zifti (TS-4357) veya yumuşama noktası en az 75° C, en çok 120° C olan asfalt (TS-4356) kullanarak ve içine gerektiğinde %25-35 oranında inert dolgu katılarak hazırlanan kaplama malzemesi eritilerek sıcak halde kaplama yapılır. Bu malzemeler soğuduktan sonra sert bir kabul oluşturur. Bu nedenle bu kaplamalara “enamel” adı verilir.

Bazı halde kaplama üzerine ayrıca bir veya iki kat bitüm emdirilmiş cam tülü sargı da sarılır. Sargılı ve sargısız kaplama kalınlıkları Çizelge 2 de verilmektedir.

Çizelge 2: Sıcak tatbikli kaplama kalınlıkları

Kaplama Cinsi	Kaplama Kalınlığı, mm
Sıcak asfalt kaplama	2,4 ± 0,8
Tek kat sargılı sıcak asfalt kaplama	3,2 ± 0,4
Çift kat sargılı sıcak asfalt kaplama	6,0 ± 0,6
Boru ek yerlerinin kaplanması	Normal kaplamanın bir kat fazlası uygulanır

3.1.3.2 Soğuk Tatbikli Bitüm Kaplamalar

Maden kömürü zifti veya asfalt uygun solventler içinde çözülerek ve yeterli miktarda inert dolgu maddesi katılarak fırça ile sürülebilecek kıvamda bir kaplama malzemesi elde edilir. Bu malzeme astar vurulmuş boru üzerine fırça ile veya tabanca ile püskürtülerek uygulanabilir Malzeme içinde bulunan solvent kısa sürede buharlaşarak boru yüzeyinde sert bir kabuk meydana gelir Gerektiğinde üst kısma bitüm emdirilmiş cam tülü sargı yapılabilir. (TS-5139)

3.1.3.3 Epoksi Tipi Kaplamalar

Bu malzemeler iki bileşenlidir. Kaplama yapılmadan önce iki bileşen uygun oranlarda karıştırılır. Uygulama yapıldıktan sonra en çok 12 saat içinde sertleşir. Sağlam bir kabuk oluşturması için epoksi reçine maden kömürü katranı katılarak kullanılmaktadır (TS-5140). Kaplama kalınlığı 350-500 µ m arasındadır.

3.1.3.4 Bant Sargular ve Plastik Kaplamalar

Temizlenmiş boru üzerine uygun bir yapıştırıcı astar malzeme sürülür veya boru ısıtılarak üzerine toz halde astar malzemesi püskürtülür. Boru yüzeyinde eriyen plastik malzeme boruya sağlam şekilde yapışır. Bu astar üzerine polietilen veya başka cins plastiklerden yapılmış bant sargısı yapılır (TS-5193).

Kaplama kalınlıkları boru çapına bağlı olarak Çizelge 3 de verilen değerler arasındadır.

Çizelge 3: Polietilen Kaplama Kalınlıkları

<u>Boru anma çapı, mm</u>	<u>Kaplama Kalınlığı, mm</u>	
	<u>Normal Kaplama</u>	<u>Kalın Kaplama</u>
<100	1,8	2,5
100-250	2,0	2,5
250-500	2,2	3,0
500-800	2,5	3,5
800<	3,0	3,5

Küçük çaplı boruları, eritilmiş bir plastik hamuru içinden geçirerek, boruyu plastik ile doğrudan kaplamak da mümkündür. Bu amaçla hem termoplastik hem de termosetting tipi plastik hammaddeleri kullanılabilir.

3.1.3.5 Beton Kaplamalar

Yeraltı boru hatlarını korozyondan korumak için beton ve harç kaplama da kullanılmaktadır. En çok kullanılan yöntem, boru yerine konulduktan sonra kare kesitli bir tahtakalıp içine alınarak çevresine beton dökülmek suretiyle yapılan kaplamadır. Kaplama kalınlığı en az 5 cm olmalıdır. Beton dozajı 2 kısım kum + 1 kısım çimento olacak şekilde seçilmelidir. Taze betonun kalıp içine dökülmesi sırasında, boru alt kısımlarına kolayca akabilecek şekilde beton akıcı kıvamda olmalıdır. Beton içinde hava boşluğunun minimum düzeyde kalmasına dikkat edilmelidir. Bunu sağlamak için beton içine hava sürükleyici katkı maddesi ve beton kıvamını artırıcı katkı maddeleri katılması faydalıdır. Kalıp söküldükten sonra, beton yüzeyleri asfalt ile kaplanır. Beton dökümünden önce taban kısmına da bir miktar asfalt dökülmesi betonun geçirimsizliği açısından faydalı olur.

Ayrıca çelik boruların iç ve dış yüzeyleri yüksek dozajlı beton ile 1,5-2,5 cm kalınlığında kaplanarak inşaat yerinde kaynak edilebilir.

Beton kaplama çeliği pasif hale getirdiği için, eğer klorür etkisi yoksa ayrıca katodik koruma yapılmasına da gerek yoktur.

3.1.4 Kaplama Cinsi Seçimi

Kaplama malzemesi seçiminde teknik özellikler yanında maliyet de göz önüne alınır. Kaplama maliyeti, yüzey temizliği + astarlama + kaplama malzemesi maliyeti + işçilik toplamıdır.

Kaplama ömrü yalnız kaplama cinsine değil yapılmış olan yüzey temizliğine de bağlıdır. Özellikle epoksi ve plastik tipi kaplamalarda, boru yüzeyinin son derece temiz olması gerekir.

Boru kaplaması için seçim yapılırken söz konusu boru hattı ve çevresinin koşulları göz önüne alınarak aşağıdaki kurallara uyulmalıdır.

a- Boru hattı taşlık ve kayalık bölgelerden geçiyorsa, mekanik dayanıklılığı fazla olan çift kat sargılı kaplamaların kullanılması gerekir.

b- Boru hattı nehir yatağı veya bataklık gibi erişilmesi güç bölgelerden geçiyorsa, boru kesiksiz olarak kaplanmalı ve yeraltına tek parça halinde konulmalıdır. Bu durumda en uygun kaplama plastik bant olabilir.

c- Boru hattının taşımış olduğu akışkan sıcaklığının normalden yüksek olması halinde, sıcaklığa dayanıklı bir kaplama cinsi seçilmelidir.

d- Boru hattı ömrünün kısa olması halinde, en ucuz kaplama tipi ile yetinilmelidir.

4. YERALTI BORU HATLARININ KATODİK KORUNMASI

Yeraltı boru hatlarını korozyondan korumak üzere bilinen en uygun yol, boruyu uygun bir malzeme ile kapladıktan sonra buna ek olarak katodik koruma uygulamaktır. Boruları asfalt, maden kömürü zifti veya son zamanlarda gittikçe önem kazanan plastik bantlarla kaplamak suretiyle korozyon etkisi büyük ölçüde azaltılabilmektedir. Ancak, yapılmış olan en mükemmel kaplamalarda bile daima elektrik akımını geçirebilen mikro gözenekler bulunmaktadır. Diğer taraftan, borunun inşaat yerine taşınması ve yerine yerleştirilmesi sırasında da çeşitli işçilik hataları sonucu boru kaplamasında yer yer bozulmalar ve delinmeler meydana gelmektedir. Eğer boruya katodik koruma uygulanmaz ise, bu mikro gözenekler ve kaplama bozuklukları korozyon açısından büyük tehlike yaratmaktadır. Çünkü bu küçük anodik bölgeler, çok geniş bir katot bölgesinin akım

yükünü çekmekte ve akım yoğunluğu bu noktalarda çok yüksek değerlere erişmektedir. Dolayısıyla kaplanmış borulara ayrıca katodik koruma uygulanması emniyet bakımından zorunlu olmaktadır.

Kaplama yapılmamış olan boru hatlarında da katodik koruma uygulanmasında teorik açıdan hiçbir sakınca yoktur. Ancak bu durumda borunun katodik koruma akım ihtiyacı çok yüksek olacağından maliyet artmaktadır. Kaplama yapılarak borunun akım ihtiyacı yüzde bire, hatta binde bire kadar düşürebilmekte ve katodik koruma maliyeti de buna paralel olarak azalmaktadır. Yapılan araştırmalar katodik koruma uygulanacak borulara çok mükemmel kaplama yapılmasının da gereksiz olduğunu ortaya koymuştur. Çünkü boru akım ihtiyacının mikro amper seviyesinden daha aşağılara düşürmek katodik koruma maliyetine pratik olarak hiçbir etki yapmamaktadır.

Yeraltı boru hatlarına katodik koruma uygulanması, yalnız teknik açıdan değil, ekonomik açıdan da en uygun çözümü oluşturmaktadır. Boru hatlarına, kendi maliyetlerinin yaklaşık %1-2'si oranında bir harcama ile katodik koruma uygulayarak boru hattının işletme ömrünü 10-15 yıl uzatmak mümkün olabilmektedir.

Katodik korumanın temel ilkeleri elektro kimyasal korozyon teorisine dayanmaktadır. Bu nedenle katodik koruma projesi veya uygulamasını yapacak olan teknik elemanların yeterli teorik bilgilere sahip olması gerekmektedir. Uygulama basit olmakla beraber, pratikte bir çok problemle karşılaşmaktadır. Teorik ilkelere uyulmaması halinde tehlikeli sonuçların doğması muhtemeldir. Hatalı bir uygulama sonucu, boru hattını korozyondan koruma yerine, bazı bölgeler anot haline getirilerek şiddetle korozyona uğramasına yol açılabilir.

Burada katodik koruma projelendirilmesi sırasında uyulması gereken genel kurallar ele alınacaktır. Bu konuda yeni yürürlüğe girmiş olan bir Türk Standardı mevcuttur⁽²⁾. Bu standarda uyulması zorunludur. Ancak standart da belirtilmesine gerek duyulmayan veya bağlayıcı bir değer verilmeden serbest bırakılan birçok husus mevcuttur. Bunların ve projelendirme sırasında kullanılacak olan diğer bütün kriterlerin ayrı ayrı ele alınarak tartışılması uygun görülmüştür.

² TS-5141 Yeraltı Çelik Boru Hatlarının Katodik Korunması Kuralları 5 Nisan 1987 tarihinden itibaren yürürlüktedir.

4.1 Katodik Koruma Projesi İçin Ön Etüdler

Katodik koruma projesi yapılmadan önce, boru hattı yeraltına konulmuş durumda olsun veya olmasın, zemin, boru ve çevre koşulları ile ilgili bazı bilgilerin toplanması ve bazı deneylerin yapılması gerekir. Yapılacak olan bu ön etüdler aşağıdaki şekilde gruplandırılabilir.

Zemin ile İlgili Etüdler

- Zemin rezistivitesi ve redoks potansiyeli ölçümleri,
- Zemin tuzluluğu, rutubeti, asitliği, havalanabilme ve sıkışma özellikleri ve yeraltı su seviyesine ait bilgiler.

Boru ile İlgili Etüdler

- Boru cinsi, çapı, et kalınlığı ve uzunluğu
- Boru kaplama cinsi ve kaplama direnci veya attenuation sabiti
- Boru yeraltına konulmuş ise boru/zemin potansiyelinin ölçülmesi
- Boru yeraltına konulmuş ise akım ihtiyacının deneysel olarak belirlenmesi

Çevre ile İlgili Etüdler

- Boru hattı boyunca elektrik akımı kaynağının bulunduğu bölgeler
- Boru hattı boyunca, yol köprü, dere, bataklık ve çöl gibi özel geçitlerin belirlenmesi
- Boru hattı ile kesişen veya yakınından geçen yabancı metalik yapıların belirlenmesi
- Anot yatağı için uygun bölgelerin belirlenmesi

4.1.1 Zemin İle İlgili Etüdler

Zemin Elektrik Özgül Direnci

Boru hattının içinden geçmekte olduğu zeminin cinsi ve özellikleri korozyon açısından çok önemlidir. Özellikle zeminin özgül elektrik direnci, yani rezistivite değeri, zeminin korozif özelliğini belirlemede ölçü olarak kullanılmaktadır.

Zeminin taşınmış olduğu tuzluluk ve rutubet arttıkça zemin rezistivitesi azalır. Bu durumda zeminin elektriksel iletkenliği artacağından metal yüzeyinde korozyon hücrelerinin oluşması kolaylaşır. Zemin rezistivitesi ile korozyon hücrelerinin oluşması kolaylaşır. Zemin rezistivitesi ile korozif özelliği arasındaki bu bağıntıya dayanılarak

zeminleri korozif özellikleri yönünden sınıflandırabilmek mümkün olabilmektedir. Bu amaçla çeşitli sınıflandırmalar yapılmıştır. Türk Standardı (TS-5141)'de verilmiş olan sınıflandırma aşağıdadır (Çizelge 4).

Çizelge 4: Zeminlerin Elektrik Özgül Dirençlerine Göre sınıflandırılması

Zemin Elektrik Özgül Direnci (Ohm.cm)	Zeminin Korozif Özelliği
<1000	Çok korozif
1000-3000	Korozif
3000-10000	Orta korozif
10000<	Az korozif

Bu sınıflandırma genel bir hüküm vermekle beraber kesin değildir.

Zeminin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

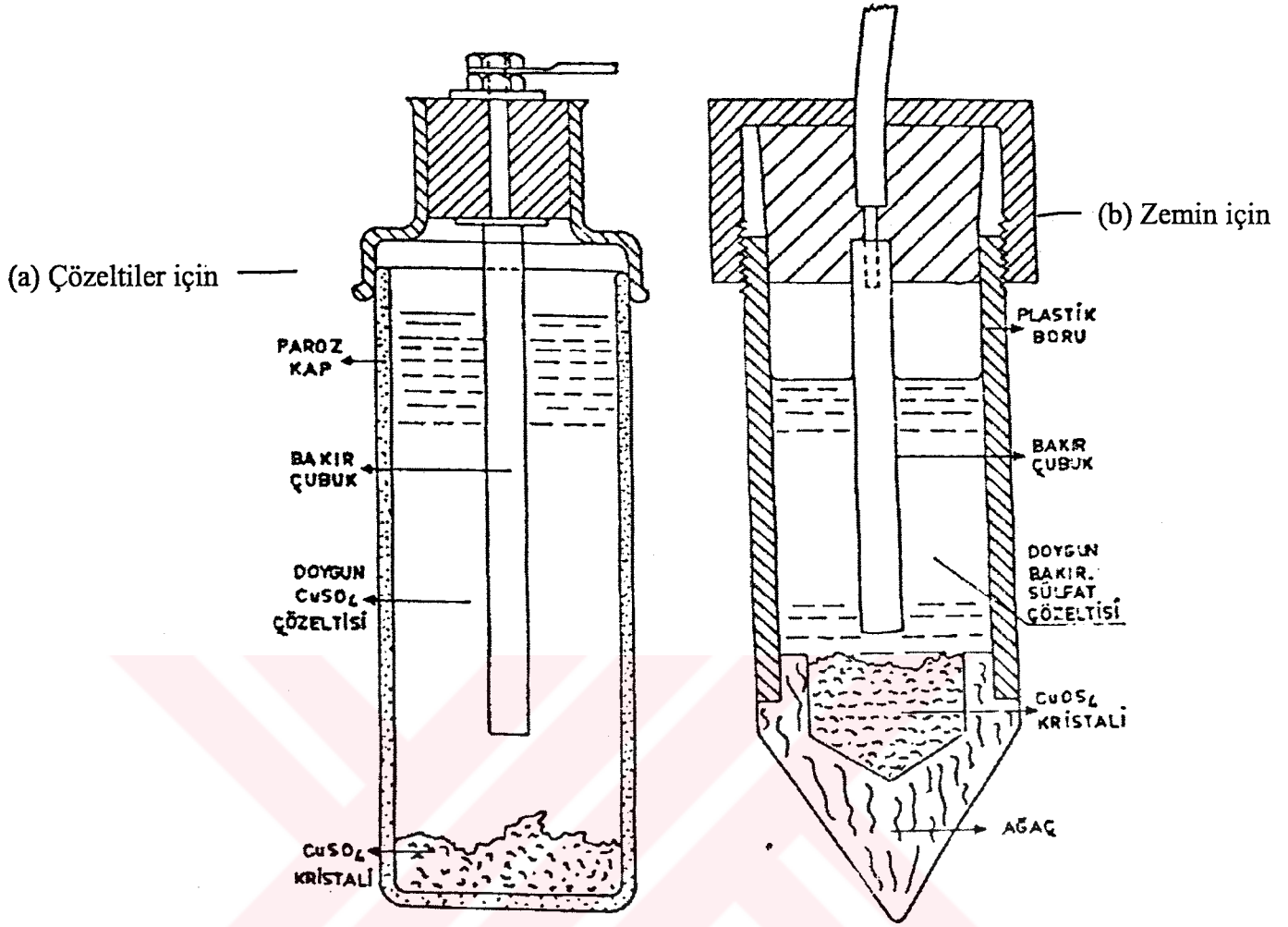
Zemin heterojen bir elektrolittir. Kısa mesafeler içinde zeminin yapısı çok değişir. Aynı jeolojik yapıda olsa bile, zemin rutubeti, hava alabilme durumu, sıkışma derecesi gibi fiziksel özellikleri zeminin korozif özelliğine büyük ölçüde etki yapar. Yalnız zemin cinsinin değişmesi halinde değil, aynı bir zemin içinde rutubet yüzdesi ve oksijen konsantrasyonu yer yer değişiklik gösterebilir. Tam olarak kuru olan zemin içinde korozyon söz konusu değildir. İçinde hiç oksijen bulunmayan sular içinde de korozyon olmaz. Ancak zeminler içinde daima serbest halde bir miktar su ve bu su içinde de bir miktar tuz çözülmüş halde bulunur.

Zeminlerin korozif özelliğini, zemin içinde bulunan çözülmüş tuzların cinsi ve miktarı ve pH değeri belirler. Doğal zeminlerin pH sı genellikle $4 < \text{pH} < 9$ arasındadır. Bu aralıkta yeraltı korozyonu, katotda hidrojen çıkışı ile değil, su içinde çözülmüş olan oksijenin katodik depolarizasyonu ile yürür. Ancak pH değerinin düşük oluşu korozyona uğrayan demir yüzey üzerinde oluşan pasifliği azaltıcı olarak rol oynar.

Zeminin pH'sı, arazi tipi pH metrelerle yerinde ölçülebilir. Araziden alınan zemin numuneleri laboratuvara getirilerek pH derecesi ve tuzluluk laboratuvarında da tayin edilebilir.

4.1.2 Boru/Zemin Potansiyeli

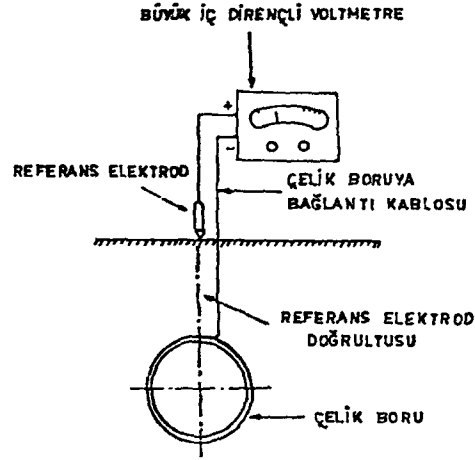
Boru/zemin potansiyeli doymuş bakır/bakırsülfat referans elektroduna göre ölçülür (Şekil 1).



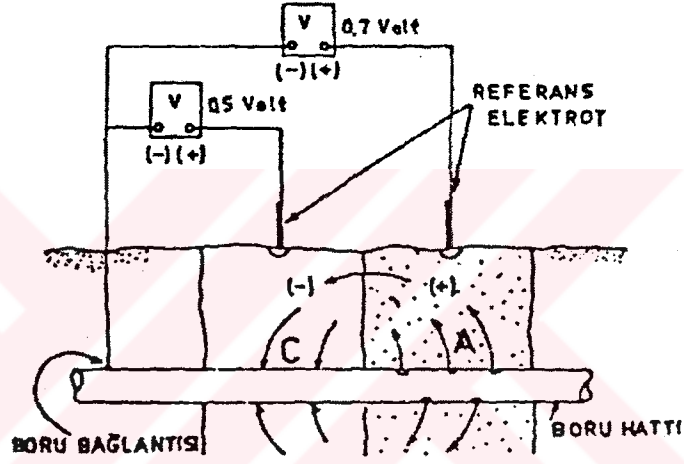
Şekil - 1 : Boru/Zemin potansiyelinin zemin cinsi ve kaplama kalitesine göre değişimi

Bu elektrodun hidrojen elektroda göre potansiyeli 0,316 Volt'dur. Boru/zemin potansiyelini ölçmek için referans elektrod, boruya mümkün olduğu kadar yakın olacak şekilde zemin ıslatılarak direnç düşürülür. Ölçüm için iç direnci yüksek olan bir voltmetre kullanılır. Böylece devreden geçen akım minimuma indirilmiş olur. Pratikte, referans elektrodu borunun yanına kadar yaklaştırmak çoğu zaman mümkün olmaz. Bu durumda referans elektrod, borunun tam üzerine gelecek şekilde zemin üzerine konularak boru/zemin potansiyeli ölçülür (Şekil 2).

Katodik koruma yapılmadan önce borunun yeraltındaki denge potansiyelinin belirlenmesi çok önemlidir. Bu potansiyel boru hattı boyunca zemin cinsi ve kaplama kalitesi değiştiğçe değişebilir. Şekil 3'de bir borunun (A) ve (B) zeminleri içinde kalan bölgelerinin potansiyel değerleri görülmektedir.



Şekil - 2 : Boru/zemin potansiyelinin ölçülmesi

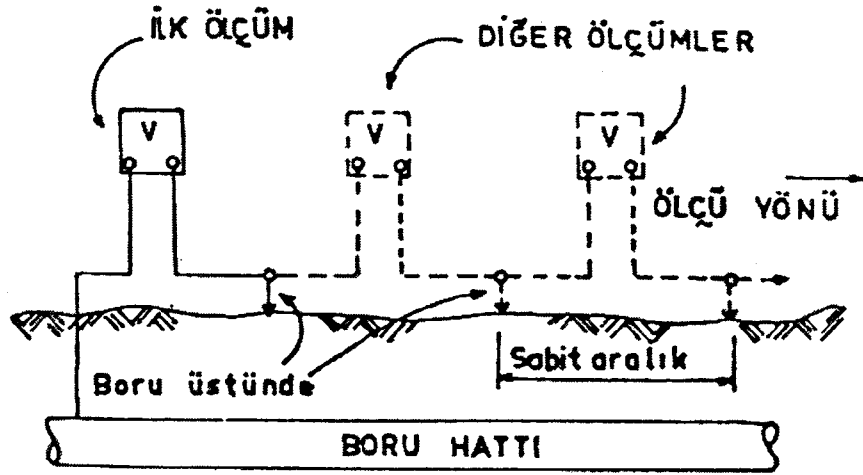


Şekil - 3 : Boru/zemin potansiyelinin zemin cinsi ve kaplama kalitesine göre değişimi

Her noktada boruya bağlantı yapmak mümkün olmadığından, boru hattı boyunca boru/zemin potansiyelinin ölçülmesi oldukça güçtür. Ölçü istasyonları dışında boru/zemin potansiyelini ölçebilmek için iki yöntem geliştirilmiştir.

- 1- Uzun kablo yöntemi ile boru/zemin potansiyelinin ölçülmesi.
- 2- Çift elektrot yöntemi ile boru/zemin potansiyelinin ölçülmesi

1. Boru hattı üzerinde kısa mesafeler ile boru bağlantı uçları mevcut değilse, uzun bir kablo kullanarak boru hattı boyunca belirli aralıklarla boru/zemin potansiyelleri ölçülebilir (Şekil 4).



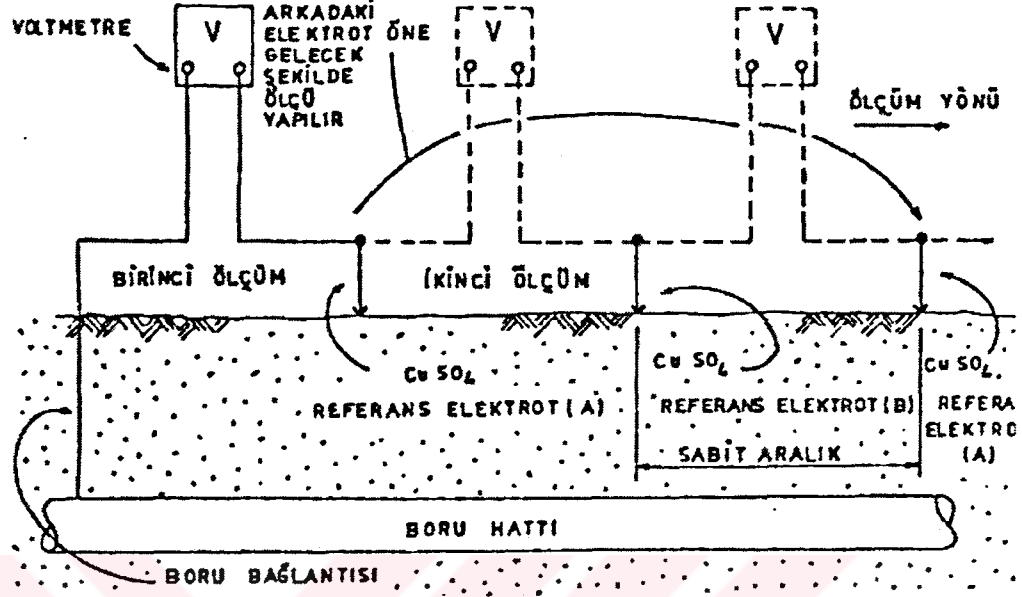
Şekil - 4 : Uzun kablo yöntemiyle
boru/zemin potansiyelinin ölçülmesi

Bu yöntem, boru hattı boyunca, trafik ve kablo çekimine engel teşkil edecek sabit yapıların bulunmadığı hallerde uygulanabilir. Böylece yaklaşık 1 km uzunluğundaki boru hattının potansiyelini yalnız bir bağlantı noktasından ölçebilmek mümkün olabilir. Kablo direncinin potansiyel ölçümleri üzerine etkisi ihmal edebilecek kadar azdır. Yukarıda da belirtildiği üzere potansiyel ölçümlerinde devreden minimum akım geçmesini sağlamak için direncin büyük olması istenir. Bu amaçla kullanılan voltmetrelerin iç direnci 60.000 Ohm/V mertebesindedir. 1000 m uzunluğundaki kablonun direnci ise en çok 60 Ohm olabilir. Bu durumda boru/zemin potansiyelinde yaklaşık 0,5 mV luk bir sapma meydana gelebilir.

2. Çift elektrot yöntemi ile boru/zemin potansiyelinin ölçülmesi

Bir çok halde boru hattı boyunca kablo çekebilmek mümkün olmaz. Bu durumda iki doygun bakır/bakırsülfat referans elektrodu kullanarak boru hattı boyunca zemin/zemin potansiyel farkının ölçülmesi yoluna gidilir. Bu amaçla boru hattının herhangi bir uç noktasında boru-zemin potansiyeli ölçüldükten sonra, aralarında belli bir uzaklık bulunan iki referans elektrot, boru hattı boyunca diziliş sıraları değiştirilmeden sıçramalar şeklinde hareket ettirilerek zemin/zemin potansiyel farkları ölçülür. Voltmetreden okunan Voltaj değerleri (+) ve (-) işaretleri belirtilerek kaydedilir (Şekil 5). Daha sonra bu değerler, başlangıçta okunan boru/zemin potansiyeline eklenerek veya çıkarılarak, boru hattı

boyunca potansiyel değişimi hesaplanır. Çizelge 5'de elde edilen sonuçların değerlendirilmesi görölmektedir.



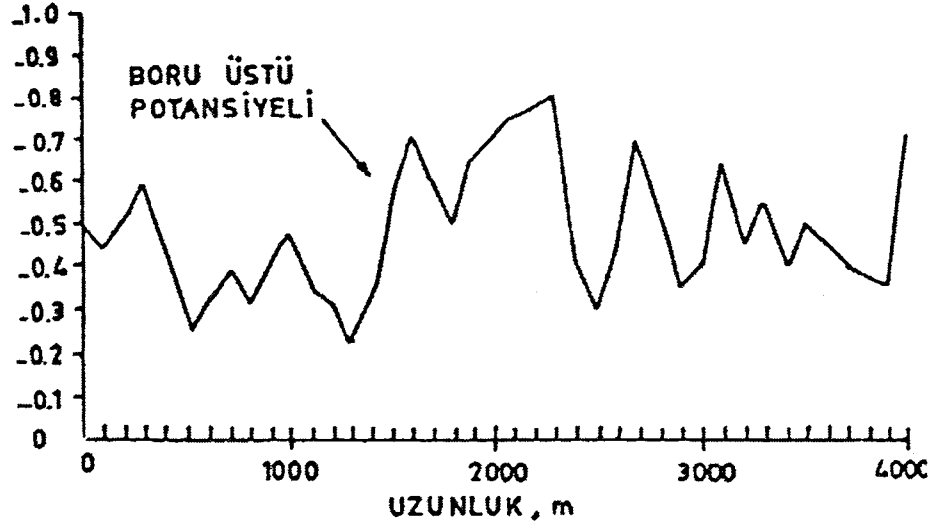
Şekil - 5 : Çift elektrot yöntemiyle boru/zemin potansiyelinin ölçülmesi

Çizelge 5: Çift Elektrot Yöntemi ile Elde Edilen Ölçümlerden Boru/Zemin Potansiyelinin hesaplanması

İstasyon No	Ölçülen zemin/zemin Potansiyeli	Doygun Cu/CuSO4 referans elektroda göre boru/zemin Potansiyeli
1	-	-0,625 Volt(*)
2	80 mV	-0,705 Volt
3	40 mV	-0,745 Volt
4	-75 mV	-0,670 Volt
5	-10 mV	-0,570 Volt

(*) (1) Nolu istasyonda ölçülen boru/zemin potansiyeli

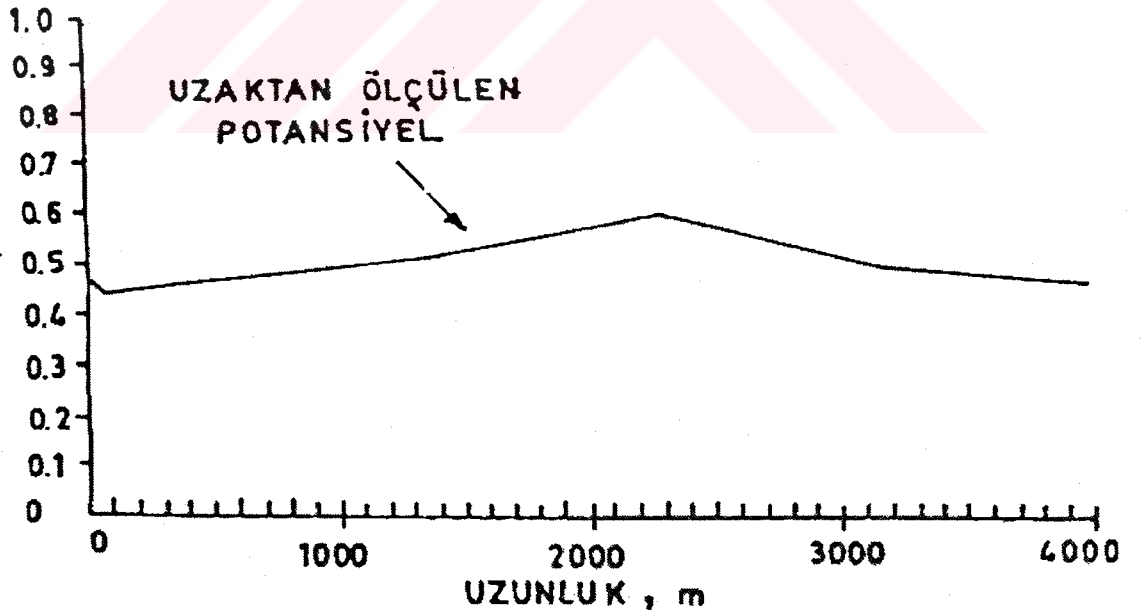
Borunun tam üst kısmına konulmuş olan referans elektrotlar ile elde edilen bu değerler boru hattı boyunca mesafeye göre grafiğe geçilirse Şekil 6 da görölen grafik elde edilir.



Şekil - 6 : Boru üzerinden ölçülen boru/zemin potansiyeli değerleri

Grafikteki pik noktalar o bölgelerde korozyon ihtimalinin mevcut olduğunu ifade eder.

Potansiyel ölçümleri boru hattının yaklaşık 10 m kadar uzağından yapılacak olursa, daha düzgün değişim gösteren bir eğri elde edilir (Şekil7).



Şekil - 7 : Boruya 10 m uzaklıkta olan referans elektrot ile ölçülen boru/zemin potansiyeli değerleri

Grafikte yalnız bir pik noktası görülmektedir. Bu bölge anodlu oluşturur. Borunun her iki ucundan korozyon akımları bu bölgeye doğru akar. Akım bu bölgeden zemine geçtiği için, korozyon bölgede meydana gelir.

İyi kaplama yapılmış borularda boru/zemin potansiyelini boru üzerinde ölçmek suretiyle Şekil 56 deki gibi bir eğri elde edilebilir. Bu durumda ayrıca boru uzağından ölçüm yapılmasına gerek kalmaz.

4.1.3 Redoks Potansiyeli

Zemin koroziflik özelliğini tam olarak belirleyebilmek için, boru hattı boyunca gerekli görülen yerlerde redoks potansiyeli değerleri de ölçülür. Balçık, bataklık gibi bazı zeminlerde anaerobik ortamlarda yaşayan bazı bakteri türleri, korozyon hızını artırıcı olarak rol oynarlar. Bunlardan en önemlisi sülfat redükleyici (*desülfovibrio desulfuricans*) bakterilerdir. Bu bakteri anaerobik ortamlarda sülfatın bileşiminde bulunan oksijeni kullanarak sülfüre dönüştürür. Yani (+6) değerli kükürdü (-2) değerli kükürt haline indirir. Ayrıca boru yüzeyinde sülfat bulunmaması halinde katodik reaksiyon sonucu oluşan hidrojen atımlarını harcayarak boru yüzeyinin depolarize olmasına neden olurlar. Bu olaylar korozyonun ve katodik koruma yapılmış borularda akım ihtiyacının artmasına neden olur.

Bir zeminde anaerobik korozyonun mevcut olup olmadığı, zeminin redoks potansiyeli ölçülerek anlaşılabilir.

Redoks potansiyelini ölçmek için platin elektrot kullanılır³. Platin elektrot zemin içine daldırıldıktan sonra herhangi bir referans elektrot ile arasındaki potansiyel farkı ölçülür. Ayrıca bir pH metre yardımı ile söz konusu zemini pH değeri de tayin edilir. Zemin redoks potansiyeli şu formül ile hesaplanır.

$$E_{red.} = E_p + E_{ref} + 60(\text{pH} - 7)$$

Burada,

$E_{red.}$: Zemin redoks potansiyeli, mV

E_p : Zemin içine daldırılan platin elektrodun potansiyeli, mV

$E_{ref.}$: Kullanılmış olan referans elektrodun hidrojen elektroda göre potansiyel farkı. (Doygun bakır sülfat elektrodu kullanılması halinde $E_{ref}=316$ mV)

³ Platin elektrot inert bir elektrottur. Burada hidrojen elektrok olarak kullanılmaktadır. Hidrojen elektrotta

$2H^+ + 2e = H_2$ reaksiyonu meydana gelir. Elektrot potansiyeli $E = E^{\circ} - \frac{RT}{nF} \ln[H^+]$ formülü ile hesaplanır.

pH : Zeminin pH değeridir.

Redoks Potansiyeli değerleri göz önüne alınarak zeminler aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir (Çizelge 6).

Çizelge 6: Redoks Potansiyeli Değerlerine Göre Zeminlerin Korozif Özelliği

Redoks potansiyeli mV	Zeminin korozif özellği
<100	Şiddetli korozif
100-200	korozif
200-400	Orta korozif
400<	Az korozif

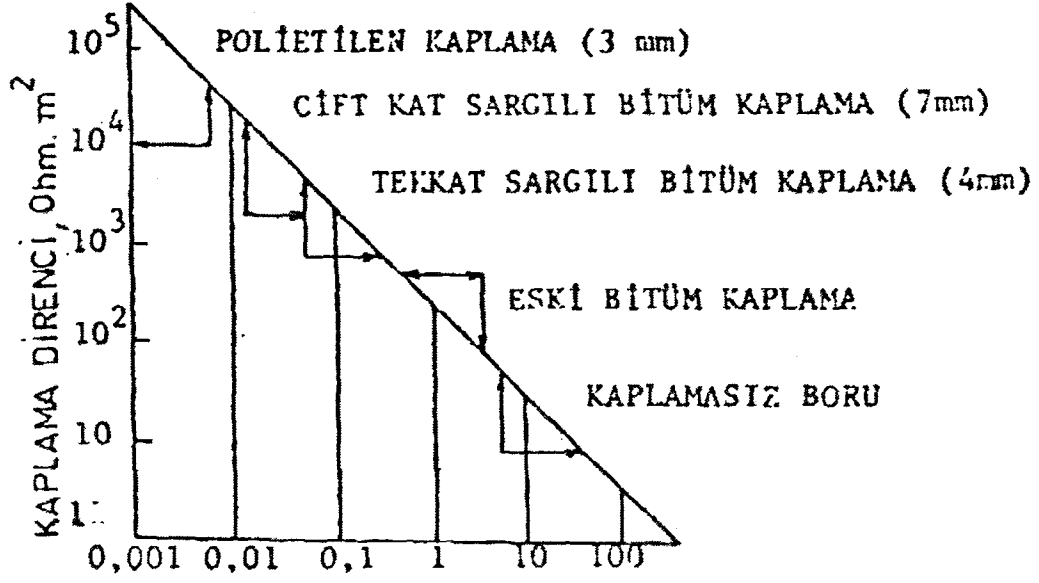
4.1.4 Boru Üzerinde Yapılan Etüdler

Boru henüz yeraltına konulmamış ise bu durumda borunun cinsi ve kaplama özelliği göz önüne alınarak katodik koruma akım ihtiyacı belirlenebilir. Bu amaçla standartlarda verilen değerlerden yararlanılabilir.

4.1.5 Akım İhtiyacı

Literatürde çeşitli kaplama cinslerine göre kaplama elektriksel direnci ve katodik koruma akım ihtiyacı değerleri alt ve üst sınırlar halinde verilmiştir (Şekil 8 ve Çizelge 7). Bu değerler kaplamada kullanılmış olan malzeme cinsine, işçiliğe ve özellikle borunun taşınması ve yeraltına konulması sırasında kaplamada meydana gelen bozuklukların derecesine bağlıdır. Bu nedenle çok geniş aralıklarla verilmiş olan bu değerlerin projelendirme sırasında kullanılmasında daime en kötü hallerin göz önüne alınması gerekir.

Katodik koruma akım ihtiyacı, zemin cinsine de bağlıdır. Çıplak çelik boruların değişik zemin cinsleri içindeki akım ihtiyacı değerleri Çizelge 8 de görülmektedir.



Şekil - 8 : Çeşitli kaplama cinslerini elektriksel direnci ve akım ihtiyacı

Çizelge 7: Kaplamalı boruların akım ihtiyacı

Kaplama Cinsi	Akım İhtiyacı, mA/m ²
Sıcak bitüm kaplama	0,5-2,0
Bitüm emdirilmiş tek kat sargılı kaplama	0,2-0,5
Bitüm emdirilmiş tek kat cam elyaf sargılı kaplama	0,05-0,2
Bitüm emdirilmiş çift kat cam elyaf sargılı kaplama	0,005-0,05
Polietilen veya Plastik kaplama	<0,005

Çizelge 8: Çıplak çelik boruların değişik zeminler içindeki akım ihtiyaç değerleri (TS-5141)

Zemin Cinsi	Elektrik özgül direnci Ohm,cm	akım ihtiyacı i, mA/m ²
Çok korozyif	<1000	20 < i
Korozyif	1000 - 3000	20 > i > 5
Orta korozyif	3000 - 10000	5 > i > 0,1
Az korozyif	1000 <	i < 0,1

Değişik ortamlarda boru akım ihtiyacının yaklaşık değerleri Çizelge 4'de görülmektedir.

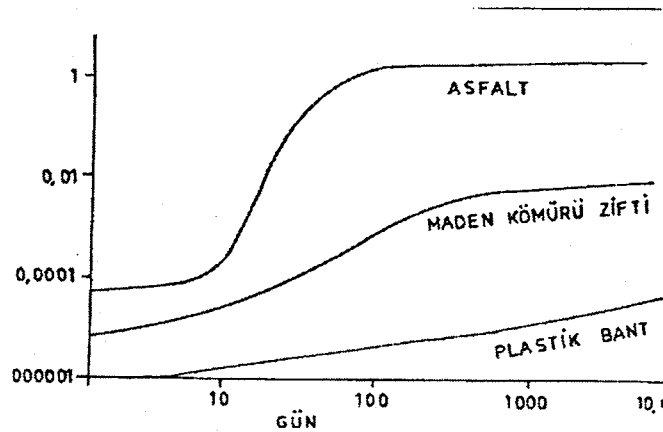
Çizelge 9: Çelik boruların akım ihtiyacı

Boru ve içinde bulunduğu ortam	Yaklaşık akım ihtiyacı, mA/m ²
Hareketli deniz suyu içinde çıplak boru	100 - 150
Durgun deniz suyu içinde çıplak boru	50 - 80
Rutubetli zemin içinde çıplak boru	10 - 30
Zemin veya su içinde çıplak boru	0,05
Zemin veya su içinde mükemmel kaplanmış boru	0,005 veya daha az

4.1.6 Boru Kaplamaları

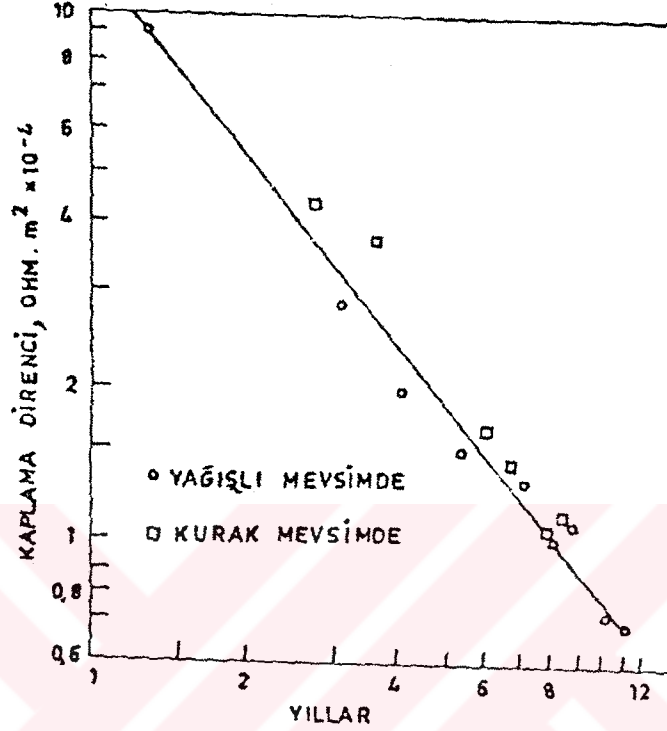
Yeraltına konulan borular, çevre zeminin korozif etkilerini azaltmak amacıyla çok eskiden beri kaplanmaktadır. Bu malzemeler standartlara uygun olarak kullanıldığı zaman boruyu uzun süre korozyona karşı koruyabilmektedir. Özellikle cam elyaf sargılı olarak yapılan kaplamalar, hem mekanik olarak dayanıklı hem de elektriksel geçirgenlik açısından istenilen yalıtımı sağlayabilmektedir.

Son zamanlarda borular epoksi tipi çift bileşenli boyalarla veya polietilen batlarla da kaplanmaktadır. Bu kaplamalar borunun akım ihtiyacını çok küçük değerlere düşürdüğü gibi, yeraltında uzun süre yıpranmadan kalmaktadır. Oysa asfalt veya zift ile yapılmış kaplamaların elektriksel direnci borunun yeraltında kaldığı ilk yıl büyük ölçülerde azalmaktadır. Bunun başlıca nedeni bu malzemelerin su absorbe etmesinden ileri gelmektedir. Çeşitli kaplama cinslerinin yeraltında kalmış oldukları süreye bağlı olarak, akım ihtiyacına meydana gelen değişme Şekil 9 da görülmektedir.



Şekil - 9 : Borunun yeraltında kaldığı süreye bağlı olarak akım ihtiyacında meydana gelen değişme

Borunun yeraltında kaldığı süre içinde asfalt kaplamanın elektriksel direncide meydana gelen azalma Şekil 10 da görülmektedir. Kaplama direnci yağışlı mevsimlerde daha çok azalmakla beraber ortalama olarak 10 yıl sonunda direncin onda bir değerine kadar düşmüş olduğu görülmektedir.



Şekil - 10 : Asfalt kaplama direncinin yıllara göre değişimi

4.1.7 Çevre İle İlgili Etüdler

Bir boru hattında yukarıda belirtilen etüd ve deneylerin yapılması çok uzun zaman alabilir. Her zaman bütün deneylerin yapılması zorunlu değildir. Bazı değerler önceki tecrübelerle dayanılarak doğrudan alınabilir.

Ancak çevre ile ilgili etüdlere her zaman yapılması gerekir. Bu etüdler başlıca şu bilgileri kapsar.

- Boru uzunluğu, çapı, et kalınlığı
- Boru hattı boyunca zeminin genel ve jeolojik yapısı, bataklık, tuzlu su veya dere geçişleri
- Boru hattını kesen veya boru hattı yakınında bulunan bütün yabancı metalik yapıların durumu ve özellikleri
- Boru hattı yakınında yabancı bir anot yatağı bulunup bulunmadığı

- Boru hattı boyunca elektrik enerjisinin mevcut olduğu bölgeler
- Boru hattı çevresinde zemin içine kaçak akım yayabilen doğru akım kaynaklarının bulunup bulunmadığı
- Boru hattının taşıdığı akışkan cinsi ve işletme ömrü
- Bütün bunlara ek olarak çevrede meskun mahal veya sulanan tarım arazisi bulunup bulunmadığı tespit edilir.

4.2 Katodik Koruma Projelendirmesi

Katodik korumanın amacı korozyonu en ekonomik şekilde önlemektir. Projelendirmede bu amaca bağlı kalınarak, boru hattı en ucuz ve en emin şekilde korunmağa çalışılmalıdır. Bunu sağlamak için, proje seçenekleri yalnız teknik açıdan değil ekonomik açıdan da analiz edilmelidir.

Bir katodik koruma sisteminin toplam maliyeti, ilk tesis masrafları ile işletme ve bakım masraflarının toplamından oluşur. Bu masrafların her ikisi de katodik koruma ömrüne bağlıdır. Değişik katodik koruma sistemlerini ekonomik açıdan birbiri ile kıyaslayabilmek için, yıllık koruma maliyetleri esas alınır. Yıllık koruma maliyeti söz konusu boru hattını bir yıl koruyabilmek için yapılan tüm harcamaların toplamıdır. Bu değer ilk tesis maliyetinin bir yıla düşen payı, yıllık işletme maliyeti ve yıllık bakım onarım maliyetlerinin toplamından oluşur.

Katodik koruma, biri galvanik anotlu diğeri dış akım kaynaklı olmak üzere iki şekilde uygulanır Şekil 11 (a), (b) . Bu sistemler aynı teorik ilkeye dayanır ve her iki sistem seçiminde genellikle ekonomik nedenler rol oynar.

Projelendirme sırasında yalnız sistem seçimi değil, transformatör-redresör ünitesi sayısı, kapasitesi ve anot cinsi, sayısı ve boyutlarının belirlenmesinde de teknik özelliklerin yanında ekonomik faktörler göz önünde bulundurulmalıdır.

4.2.1 Katodik koruma Kriterleri

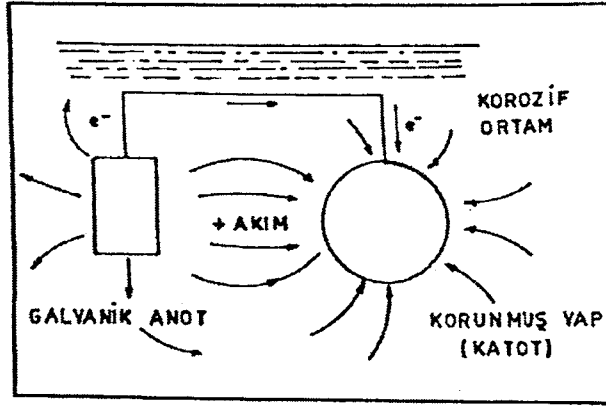
Hangi sistem uygulanırsa uygulansın, katodik korumanın boru hattını korozyondan tam olarak koruyabilmesi için aşağıdaki kriterlerden en az birinin gerçekleşmesi zorunludur.

- Boru hattının her noktasında, iken ölçülen boru/zemin potansiyeli (sistem potansiyeli) -0,850 Volt veya bundan daha negatif bir değere erişmiş olmalıdır.

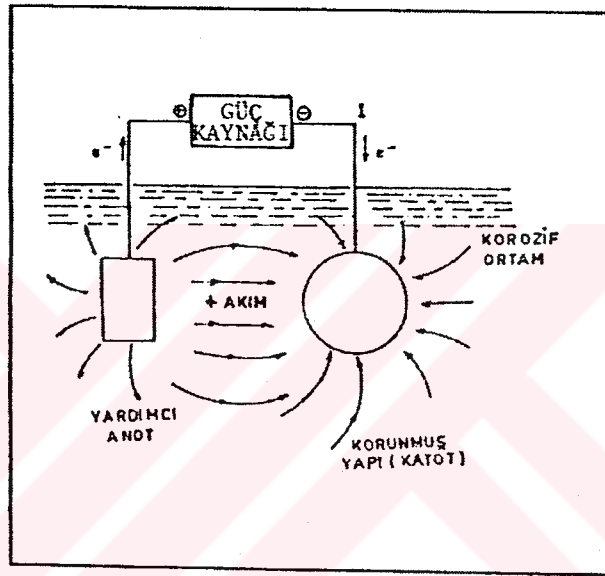
■ Boru hattının her noktasında, boru/zemin potansiyelinde en az 300 mV'luk bir kayması, o noktada akım altında ölçülen boru/zemin potansiyelinden, boruya hiç akım uygulanmadan önce ölçülmüş olan denge halindeki boru/zemin potansiyeli çıkarılarak bulunur.

■ Borunun her noktasında, polarizasyon voltajında en az 100 mV'luk bir kayma meydana gelmiş olmalıdır. Polarizasyon kayması, akım uygulanmakta olan borunun potansiyeli ile, akım kesildikten hemen sonra okunan potansiyeli arasındaki farktır.

Boru hattına yeterli miktarda akım uygulanarak bu kriterlerden herhangi birinin sağlanması ile boru etkili şekilde katodik olarak korunmuş olur. Ancak boruya gereğinden fazla akım uygulayarak boru zemin potansiyelinin -1,2 Volt değerinden daha negatif hale (bakır/bakır sülfat referans elektrodu ile -1,55 Volt) getirilmesi de sakıncalıdır. Bu durumda hidrojen çıkışı nedeniyle boru kaplaması parçalanabilir (Bu değer pratikte maksimum 2,0 Volt olarak uygulanmaktadır).



(a) Galvanik anotlu katodik koruma



(b) Dış akım kaynaklı katodik koruma

Şekil - 11 : Galvanik anotlu ve dış akım kaynaklı katodik koruma sistemleri

4.2.2 Sistem Seçimi

Her katodik koruma projesinde her şeyden önce sistem seçimi yapılması gerekir. Galvanik anotlu ve dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinden hangisini seçileceği belirlenirken aşağıdaki kriterler göz önüne alınır.

GALVANİK ANOTLU VE DIŞ AKIM KAYNAKLI KATODİK KORUMA SİSTEMLERİNİN BİRBİRİ İLE KIYASLANMASI

Galvanik Anotlu Katodik Koruma

1. Dış akım kaynağına gerek yoktur. Katodik koruma için gerekli akım galvanik anotlardan sağlanır.

2. Bu sistemde akım maliyeti yüksektir. Bu nedenle akım ihtiyacı yüksek olan boru hatlarında tercih edilmez. Galvanik anotlu katodik koruma sistemi yaklaşık olarak 0,5-1,0 Amper'den daha az akım ihtiyacı olan boru hatlarında ekonomik olabilir.

3. Galvanik anotlu katodik koruma sistemlerinde devre potansiyeli küçük olduğundan, yüksek rezistiviteli zeminler içinde bu sistemin uygulanması güçleşir. 5000 Ohm,cm'den daha yüksek rezistiviteli zeminler içinde bu sistem uygulanmamalıdır.

4. Yapımı basit ve kolaydır. İşletme sırasında hiç bir ayarı gerektirmez.

5. Anotlar boru hattı boyunca dağılmış olduğundan, işletme sırasında kontrol güçtür. Arızanın belirlenmesi için her anodun ayrı ayrı kontrol edilmesi gerekir.

6. Anot/zemin potansiyeli düşük olduğundan, anot yatağının çevre metalik yapılar üzerine interferans etkisi önemsizdir.

7. Anotlardan çekilen akım kontrol edilemez. Borunun akım ihtiyacı polarizasyon nedeniyle zamanla azalır. Bu durumda devre potansiyeli de azalacağından anottan çekilen akım da kendiliğinden düşer.

8. Anota yakın olan boru yüzeyinde aşırı voltaj nedeniyle boru kaplamasında soyulma meydana gelmez.

Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma

1. Bu sistem elektrik akımı bulunmayan bölgelerde uygulanamaz.

2. Elektrik akımı şebekeden alındığı için ucuzdur. Bu nedenle akım ihtiyacı için sınır yoktur. Bu sistem, trafo-redresör ünitesi sayısı artırılarak çok uzun boru hatlarında ekonomik olarak kullanılabilir.

3. Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinde zemin rezistivitesi için sınır yoktur. Anot yatağı direnci düşürülerek ve trafo-redresör sayısı artırılarak istenilen miktarda akım uygulanabilir.

4. Proje sırasında göz önüne alınmayan faktörler nedeniyle beklenmeyen değişimler meydana gelirse, bunlar işletme sırasında ayar yapılarak düzeltilebilir.

5. Trafo-redresör ünitesi kolayca erişilecek yerlere konulduğundan, işletme sırasında sistemin kontrolü kolaydır.

6. Anot yatağı civarında olan yabancı metalik yapılar üzerinde interferans etkisi yapabilir. Bunun için yabancı metalik yapılar üzerinde özel önlemler alınması gerekir.

7. Boru akım ihtiyacı değiştikçe sisteme uygulanan akım miktarı istenilen seviyeye ayarlanabilir.

8. Anot yatağına yakın olan bölgede aşırı voltaj nedeniyle boru kaplamasında soyulmalar meydana gelebilir.

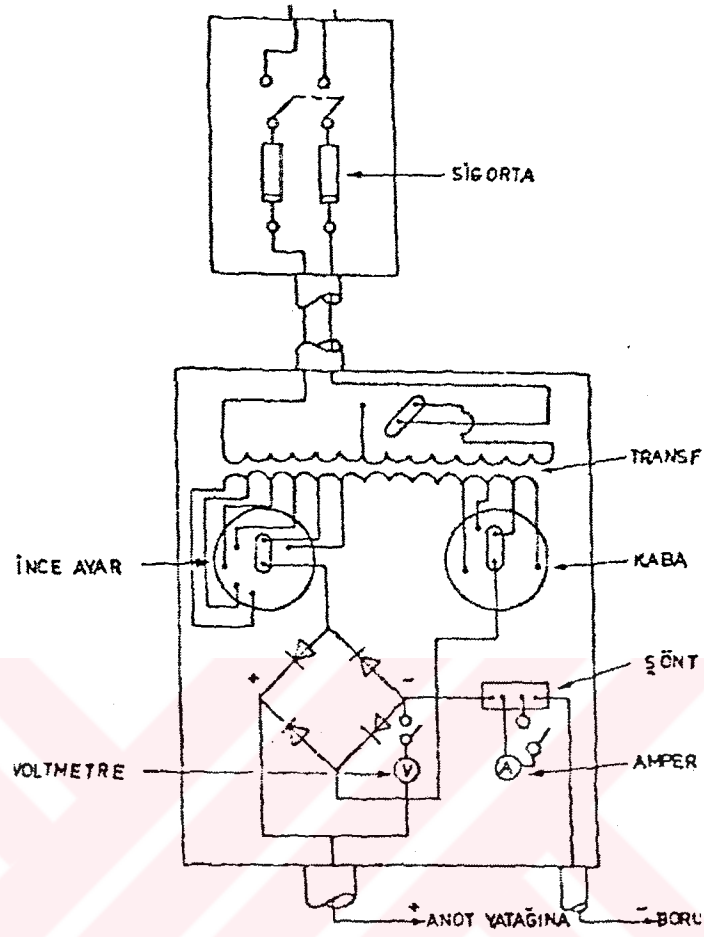
4.2.3 Dış Akım kaynaklı Katodik koruma Trasformatör-Redresör Ünitesi

Katodik koruma için gerekli olan doğru akım bir trafo-redresör sisteminden elde edilir. Şekil 12’de bir trafo-redresör ünitesinin şeması görölmektedir. Şebekeden alınan alternatif akım önce bir trasformatörden geçirilerek potansiyeli istenilen seviyeye düşürölür. İstenilen seviyeye düşürölün bu akım bir redresörden geçirilerek doğru akım haline dönüştürölür. Doğru akımın pozitif ucu anot yatağına, negatif ucu da korunacak olan boruya bağlanır.

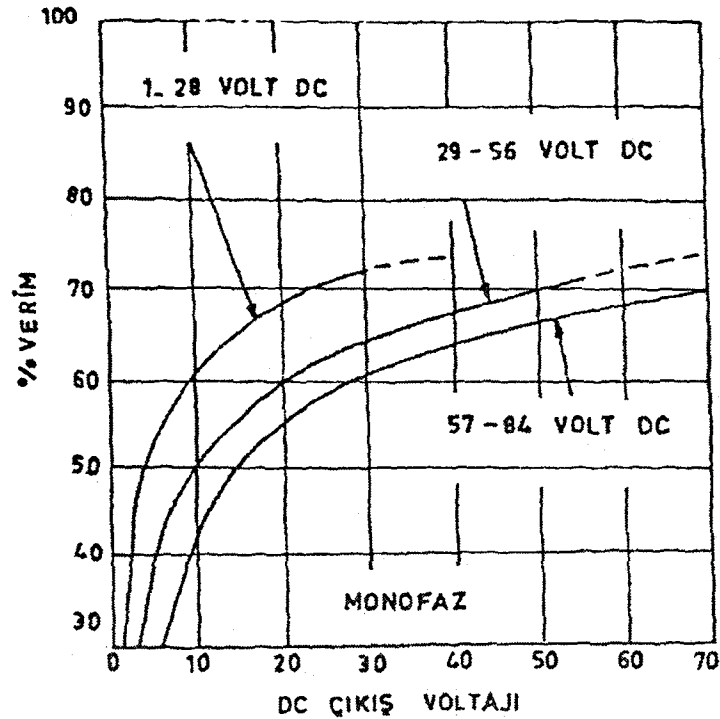
Trafo-redresör üniteleri alternatif akımı doğru akıma dönüştürölürken bir miktar enerji kaybı olur. Trafo redresör verimi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$\% \text{ verim} = \frac{\text{Doğru akım çıkış gücü}}{\text{Alternatifakımgirişgücü}} \times 100$$

norla trafo-redresör ünitelerinde bu verim %60-70 civarındadır. Verim, üniteden çekilen doğru akımın potansiyeline de bağlıdır. Şekil 13 de çeşitli potansiyel kademelerindeki trafo-redresör ünitelerinin verimi görölmektedir.



Şekil - 12 : Transformatör-redresör ünitesi (Kesintisiz çalışan)



Şekil - 13 : Bir trafo-redresör ünitesinde verimin doğru akım çıkış voltajına göre değişimi

Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma Sistemlerinde Kullanılan Yardımcı Anotlar

Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinde yardımcı anot olarak çeşitli metaller kullanılabilir. Hatta eski borular, raylar travers gibi hurda demir ve çelik malzemelerde yardımcı anot olarak kullanılabilir. Yardımcı anotta aranan başlıca özellikler, yüksek bir potansiyele gerek duyulmadan istenilen akımı verebilmesi ve diğer taraftan yeterli süre parçalanmadan dayanabilmesidir. Bütün yardımcı anotlar, anotta meydana gelen bazı reaksiyonlar sonucu az çok parçalanırlar. Ancak bu makul sınırlar içinde olmalıdır. Yani 1 Amper x yıl akım başına ağırlık kaybı mümkün olduğunca az olmalıdır. Diğer taraftan 1 cm² anot yüzeyinden çekilebilen akım miktarı da mümkün olduğunca yüksek olmalıdır.

Zemin içinde kullanılan başlıca anot cinsleri ve özellikleri Çizelge 10 de görülmektedir.

Çizelge 10: Yardımcı anotların akım özellikleri (TS-5141)

Yardımcı Anot Cinsi	Zemin içinde çekilebilen maksimum akım yoğunluğu mA/cm ²	1 Amper x yıl akım başına kaybı, kg
Demir Silikon Anot	4	1
Grafit Anot	2	1
Alüminyum anot	2	4
Kurşun Anot (%6 Sb + %1 Ag)	2	Çok az
Hurda Çelik	0,5	9

4.2.4 Anot Yatağı Dolgu Maddesi

Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinde kullanılan yardımcı anotlar zemin içine yerleştirilirken, anot çevresi kok tozu ile doldurulur. Anot yatağı dolgu maddesi olarak kok tozu kullanılmasının başlıca iki amacı vardır.

- Anot boyutlarını arttırarak direncini düşürmek,
- Akım sonucu meydana gelen kütle kaybını karşılayarak anot ömrünü artırmak.

Anot yatağı dolgu maddesi olarak kullanılan kok tozunun özellikleri Çizelge 11 de görülmektedir.

Çizelge 11: Anot yatağı dolgu maddesi olarak kullanılan kok tozunun özellikleri

Özellikler	Değerler
100 Nolu elekten geçen	en çok %5
Dane çapı	en çok 10 mm
Rutubet	%10-%15
Uçucu Maddeler	en çok %3
Kül	en çok % 20
Rezistivite	0,7-0,8 kg/litre
Yıpranma	ençok 0,1 kg/ampexyıl

4.2.5 Anot Yatağı Direnci

Katodik koruma sistemine uygulanacak akım maliyetini azaltmak için anot yatağı direncinin mümkün olduğunca düşürülmesi gerekir. Fazla sayıda anodu paralel bağlayarak anot yatağı direnci düşürülebilir. Ancak bu durumda ilk tesis masraflarında artış olur. Proje yapılırken, en ekonomik anot sayısının belirlenmesi gerekir.

Anot yatağı direncini düşürebilmek için şu önlemler alınabilir.

- Anot çevresine konulan anot yatağı malzemesi artırılarak anodun efektif boyutları artırılır. Böylece anottan zemine geçiş direnci düşer.

- Paralel bağlanmış anotlar arasındaki mesafe artırılarak anotlar arasındaki interferans azaltılır. Böylece anot yatağı toplam direncinde azalma olur.

- Tek anot direncini düşürmek üzere L/d oranı daha büyük olan anotlar kullanılır.

- Toplam anot kütlesi değiştirilmeden daha küçük boyutlu anotlar seçilerek paralel bağlanmış anot sayısı artırılabilir. Böylece katodik koruma ömrü değiştirilmeden anot yatağı direnci düşürülmüş olur.

Tek Anot Direnci

Anot yatağı direncini belirlemek için her şeyden önce tek anot direncinin hesaplanması gerekir. Anot direnci, anodun yeraltına dikey veya yatay olarak konulmasına göre birbirinden farklıdır. Dikey haldeki anot direnci, yatay haldeki anot direncinden daha büyüktür.

Tek anot direncinin hesaplanması için H.B. Dwight formülleri kullanılır.

Dik olarak yerleştirilen tek anot direnci:

$$R_d = \frac{Q}{2\pi L} \left[\ln \frac{8L}{d} - 1 \right]$$

Yatay olarak yerleştirilen tek anot direnci:

$$R_y = \frac{p}{2\pi L} \left[\ln \frac{4L}{d} - 1 \right]$$

Burada;

R_d : Dik olarak yerleştirilen tek anot direnci, Ohm

R_y : Yatay olarak yerleştirilen tek anot direnci, Ohm

P : Zemin rezistivitesi (veya anot yatağı malzemesinin rezistivitesi) Ohm.cm

L : Anot boyu, cm (anot yatağı dahil)

d : Anot çapı, cm (anot yatağı dahil)

(N) sayıda anot (a) cm aralıklarda paralel olarak bağlanırsa anot yatağının toplam direnci,

$$R = \frac{P}{2\pi LN} \left(\ln \frac{8L}{d} + \frac{2L}{a} \ln 0,656N - 1 \right)$$

Bir yardımcı anodun anot yatağı içine dik olarak yerleştirilmesi Şekil 14 de görülmektedir.

Bu anodun, özgül elektrik direnci 1000 Ohm.cm olan bir zemin içindeki direnci Dwight formülü ile şöyle hesaplanabilir.

P : 1000 Ohm.cm

L : 210 cm (Kok tozu dahil)

d : 20 cm (kok tozu dahil)

$$R = \frac{1000}{2 \times 3,14 \times 210} \left[\ln \frac{8 \times 210}{20} - 1 \right] = 2,60 \text{ Ohm}$$

Bu direnç, akımın anot yatağından zemine geçiş direncidir. Buna ilave olarak akımın anot metalinden anot yatağına geçiş direnci de söz konusudur. Buna anodun iç direnci denir. Şekil-67'de görülen anodun iç direnci şöyle hesaplanabilir.

P : 50 Ohm.cm (anot yatağında kullanılmış olan kok tozunun özgül direnci)

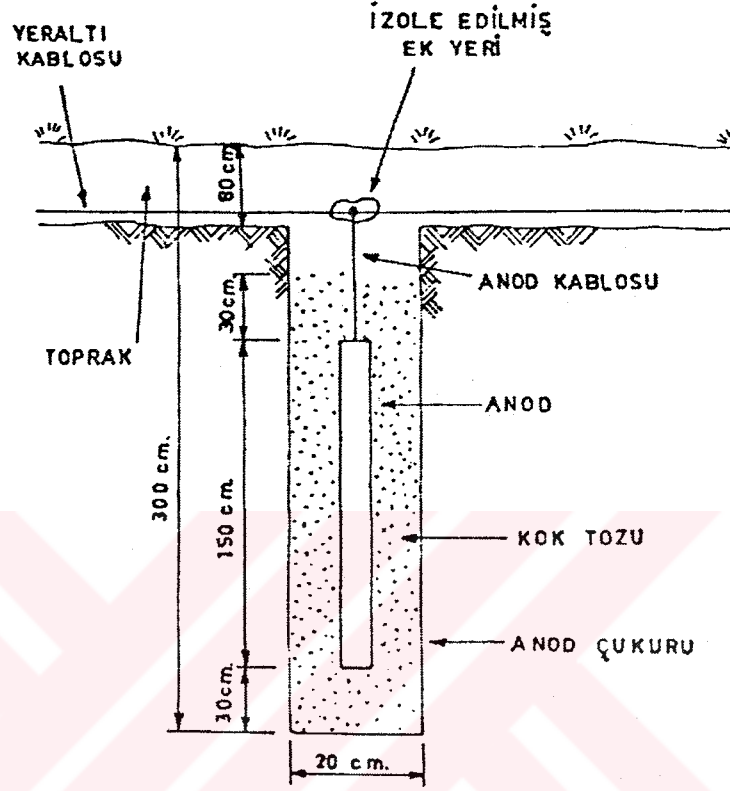
L : 150 cm

d : 5 cm

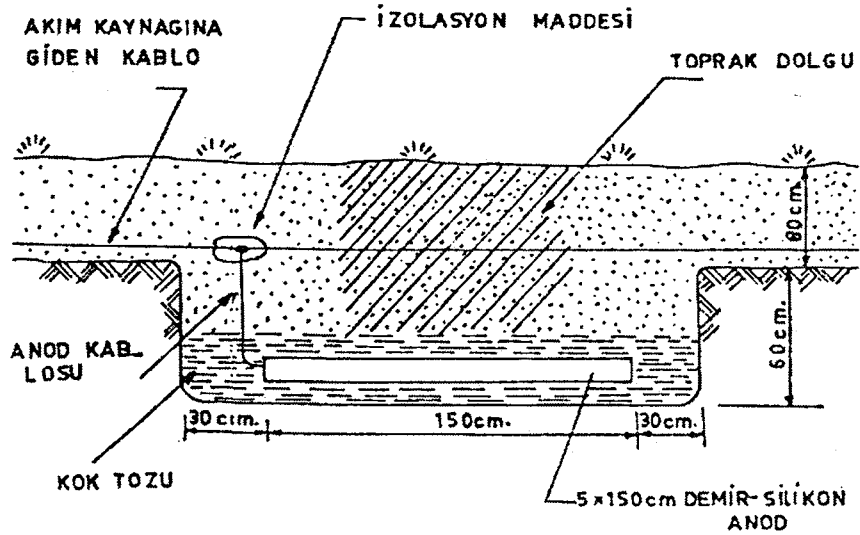
$$R_{iç} = \frac{50}{2 \times 3,14 \times 150} \left[\ln \frac{8 \times 150}{5} - 1 \right] = 0,24 \text{ Ohm x}$$

Çoğu kez bu direnç ihmal edilir.

5 cmx150 cm boyutundaki demir silikon anodun 30 cm boyutundaki demir silikon anodun 30 cm kalınlığındaki kok tozu içine yatay olarak konuluşu Şekil 15 de görülmektedir.



Şekil - 14 : 5 cm x 150 cm boyutlarındaki bir demir-silikon anodun, kok tozu içine dik olarak yerleştirilmesi



Şekil - 15 : 5 cm x 150 cm boyutlarındaki bir demir-silikon anodun, 30 cm kalınlığındaki kok tozu içine yatay olarak yerleştirilmesi

Yatay olarak yerleştirilmiş olan bu anodun, özgül elektrik direnci 1000 Ohm.cm olan bir zemin içindeki direnci Dwight formülü ile şöyle hesaplanabilir.

$$P : 1000 \text{ Ohm.cm}$$

$$L : 210 \text{ cm}$$

$$d : 20 \text{ cm}$$

$$R_y = \frac{P}{2\pi L} \left[\ln \frac{4L}{d} - 1 \right] = 2,08 \text{ Ohm}$$

Dik olarak yerleştirilmiş olan anot direnci hesap edildikten sonra, bu değerden $(1,1/L)$ Ohm çıkarılır, yatay anot dirençleri bulunabilir. Burada, $L(m)$ olarak anodun boyudur. Yukarıda söz konusu edilen anot için bu değer, $\frac{1,1}{2,1} = 0,52$ Ohm'dur. Dik ve yatay

anot dirençleri arasındaki bağıntı : $R_d - \frac{1,1}{L} = R_y$ dir.

Çeşitli boyutlardaki anotların 1000 Ohm.cm özgül elektrik direnci olan zemin içindeki dirençleri Çizelge 12 de verilmektedir. Eğer zemin direnci 1000 Ohm.cm'den farklı ise, anot direnci şu bağıntı ile hesaplanabilir.

$$R = \frac{P}{1000} \cdot R_0$$

Burada,

R : Özgül direnci (p) Ohm.cm olan zemin içindeki tek anot direnci, Ohm

p : Zemin rezistivitesi, Ohm.cm

R_0 : 1000 Ohm.cm özgül dirençli zemin içindeki tek anot direnci, Ohm.

Çizelge 12: Çeşitli boyutlardaki anotların 1000 Ohm.cm özgül direnci olan zemin içindeki dikey olarak dirençleri, Ohm.

Çap cm	Anot boyu, cm						
	60	90	120	150	180	210	250
5	9,5	7,0	5,6	4,8	4,1	3,7	3,2
10	7,5	5,7	4,7	4,0	3,5	3,1	2,8
15	6,4	5,0	4,1	3,5	3,1	2,8	2,5
20	5,7	4,5	3,7	3,2	2,9	2,6	2,3
25	5,1	4,1	3,5	3,0	2,7	2,4	2,2
30	4,0	3,8	3,2	2,8	2,5	2,3	2,1
35	4,2	3,5	3,0	2,6	2,3	2,1	2,0
40	3,9	3,3	2,8	2,5	2,2	2,0	1,9

Dirençleri (R_i) Ohm olan paralel bağlanmış (N) adet anodun toplam direnci (R_t) Dwight formülü ile doğrudan hesaplanabildiği gibi interferans faktörü (F) göz önüne alınarak aşağıdaki bağıntı ile de hesaplanabilir.

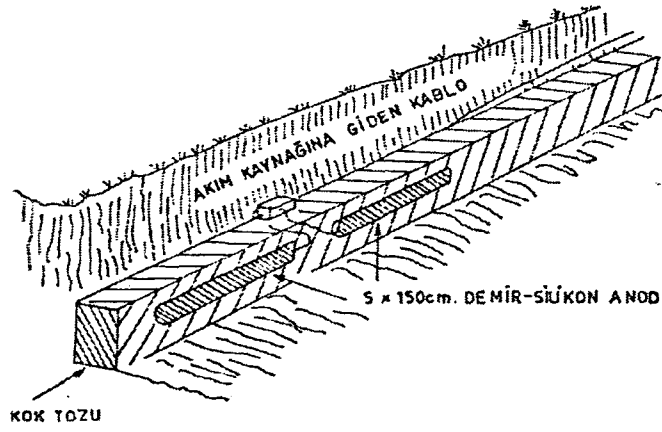
$$R_t = \frac{R_i}{N} \cdot F$$

(F) faktörü anot sayısı ve anotlar arasındaki mesafeye bağlı olarak değişir. Çizelge 13 de paralel bağlanmış anotların toplam direnci için interferans faktörleri verilmektedir.

Çizelge 13: Paralel bağlanmış dikey anotların interferans faktörleri

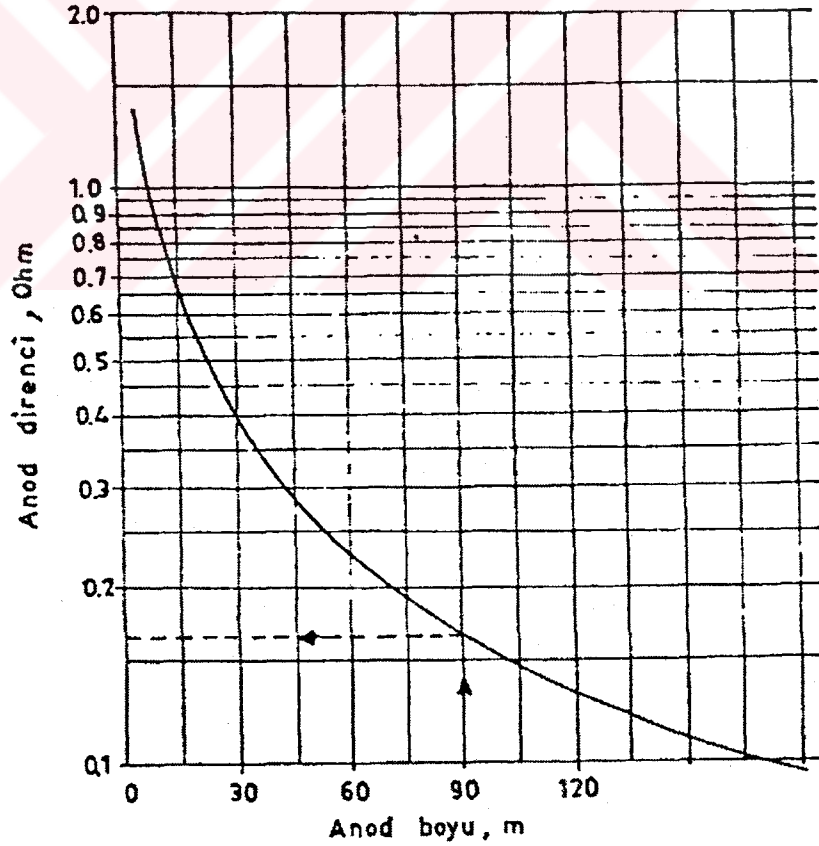
Paralel bağlanmış anot sayısı	Anotlar arasındaki uzaklık, m			
	1.5	3.0	4.5	6.0
2	1.087	1.042	1.026	1.020
3	1.220	1.107	1.071	1.053
4	1.316	1.156	1.102	1.078
5	1.393	1.193	1.129	1.096
6	1.453	1.224	1.149	1.109
7	1.505	1.250	1.167	1.124
8	1.553	1.274	1.182	1.136
9	1.587	1.293	1.194	1.142
10	1.623	1.309	1.206	1.152
20	2.31	1.70	1.46	1.35

Pratikte anotları aynı bir anot yatağı içine koyarak sürekli şekilde kok tozu ile doldurmak daha kolay olur (Şekil 16).



Şekil - 16 : Aynı yatak içine yatay olarak konulmuş paralel anotlar

Böyle bir anot yatağının direnci, bir tek uzun anot olarak hesaplanabilir. Ancak her bir anodun iç direnci de ayrıca göz önüne alınmalıdır. Tek yataklı anotların direnci Şekil 17 de grafik olarak verilmektedir.



Şekil - 17 : 1000 Ohm.cm özgül direnci olan zemine 30 cm x 30 cm'lik bir yatak içine 120 cm derinlikte ve anotların merkezden merkeze 3.0 m aralıklarla yerleştirilmesi halindeki dirençleri

4.2.6 Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma Sistemlerinin Projelendirilmesi

Boru hattı ve çevresi üzerinde yukarıda belirtilen etüdler tamamlandıktan sonra ekonomik ve teknik kriterler göz önüne alınarak aşağıdaki hususlar belirlenir.

1. Önce toplam akım ihtiyacı ve katodik koruma ömrü göz önüne alınarak galvanik anot veya dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinden hangisinin ekonomik olacağı belirlenir.

Tesis 1 yıl korumak için minimum masrafi gerektiren katodik koruma sistemi en ekonomik sistemdir. Her projede bu seçimin özel olarak yapılması gerekir. Bu konuda aşağıdaki genel ilkelere dayanarak doğrudan sistem seçimi de yapılabilir.

■ Akım ihtiyacı 0,5 Amperden küçük olduğu zaman genellikle galvanik anotlu katodik koruma tesisleri daha ekonomiktir.

■ Elektrik akımın mevcut olmadığı yerlerde zorunlu olarak galvanik anotlu katodik koruma sistemi kullanılır.

■ Zemin rezistivitesinin yüksek olduğu bölgelerde zorunlu olarak dış akım kaynaklı katodik koruma sistemi uygulanır.

■ Katodik koruma ömrü çok kısa ise, (1-2 yıl) bu durumda da galvanik anotlu katodik koruma daha ekonomiktir.

2. Dış akım kaynaklı katodik koruma sisteminin uygulanması halinde, boru hattında bir noktadan korunabilecek maksimum mesafe belirlenir. Buna göre katodik koruma için gerekli olan minimum traforedresör sayısı bulunur.

3. Tesis için gerekli toplam akım miktarı göz önüne alınarak her bir anot yatağından çekilecek akım şiddeti hesaplanır. Ekonomik açıdan trafo-redresör ünitesi çıkış voltajının 0-28 Volt arasında bulunması uygundur. Bu durumda dc çıkış voltajı maksimum 25 Volt alınabilir. Bu değerler yardımı ile katodik koruma sistemi için müsaade edilebilecek maksimum direnç belirlenmiş olur.

Katodik koruma sisteminin toplam direnci,

$$R_t = R_{\text{anot}} + R_{\text{boru}} + R_{\text{kablo}}$$

bağıntısı ile bulunabilir. Borunun ve kabloların direnci bilindiğine göre anot yatağı direnci belirlenir.

4. Amaç, kullanılan anot sayısını mümkün olduğu kadar azaltarak maliyeti düşürmektir. Ancak en ekonomik çözüm daima en az anot ile elde edilemez.

Bazı halde anot sayısı gereğinden fazla artırılarak anot yatağı direnci biraz daha azaltılıp sisteme uygulanacak doğru akım potansiyelinin düşürülmesi yoluna gidilir. Böylece ilk tesis maliyetinde biraz artış olmakla beraber, sistemin işletme sırasında harcadığı akım maliyetinde azalma meydana gelir. Diğer taraftan anot yatağına uygulanan doğru akım potansiyelinin düşük oluşu, çevre yapılar üzerine interferans etkisinin de azalmasına neden olur.

4.2.6.1 Anot Yatağı Yerinin Seçimi

Anot yatağı yeri aşağıdaki hususlar göz önüne alınarak seçilir.

- Anot yatağı çevre metalik yapılardan uzak olmalıdır. Anot bölgesine 300 m'den daha yakın olan yabancı metalik yapılar interferans etkisi nedeniyle zarar görür.

- Anot yatağı, dış elektrik akım kaynağına yakın olmalıdır.

- Anot yatağı için boru hattından yaklaşık 100 m uzaklıkta boş bir arazi bulunmalıdır. Bu arazinin yol, bahçe veya başka amaçlarla kullanılmaması gerekir.

- Anot yatağı, mümkün olduğunca düşük rezistiviteli bir zemin içinde olmalı ve meteorolojik koşullardan fazla etkilenmemelidir.

Anot yatağı için bu koşullara uygun yer bulunamaz ise, en az 15 m derinlikte derin kuyu anot yatağının kullanılması gerekir.

4.2.6.2 Anot Cinsi ve Sayısının Belirlenmesi

Tesiste kullanılacak anot yatağı şu iki özelliği birlikte sağlamalıdır.

1. Anot yatağından çekilecek akım şiddeti, boru hattının akım ihtiyacından yüksek olmalıdır. Yani anot yatağı direnci belli bir değerden küçük olmalıdır.

2. Katodik koruma ömrü süresince anotların kütlelerinin en çok % 50 si yıpranmış olmalıdır.

Hangi tipte, kaç anodun bu iki şartın ikisini bir arada sağlayabileceği deneme yanılma yoluyla hesap edilebilir.

Örnek olarak, aşağıda özellikleri verilen bir anot yatağı için gerekli anot cinsi ve sayısını belirleyelim.

4.2.6.3 Anot Yatağı Özellikleri

- Boru akım ihtiyacı : 20 A

- Trafo-redresör de, voltajı : 24 volt
- Zemin rezistivitesi : 2800 Ohm.cm
- Anot yatağının boruya uzaklığı : 100 m
- Anot yatağı dolgusu : 20 cm x 210 cm kok tozu
- Kok dolgu rezistivitesi : 40 Ohm.cm

Anot yatağı direncini belirlemek üzere aşağıdaki dirençleri ayrı ayrı hesaplayalım.

4.2.6.4 Boru Hattı Direnci, (R_b)

Boru akım ihtiyacı 20 Amper olduğuna göre, borunun maksimum direnci,

$$R_b = \frac{1,5\text{Volt}}{20\text{Amper}} = 0,075 \text{ Ohm}$$

alınabilir.

4.2.6.5 Kablo Direnci (R_k)

Sistemde toplam olarak 200 m yeraltı kablosu kullanılmış olduğunu düşünelim.

$$R_k = 200 \times 18 \times 10^{-4} \frac{\text{Ohm}}{\text{m}} = 0,36 \text{ Ohm}$$

4.2.6.6 Toplam Sistem Direnci

Anot yatağı ile boru arasında hiç akım geçmezken 2 Voltluk bir galvanik potansiyel farkı mevcuttur. Bu fark kok tozu ile boru arasındaki farktır. Bu durumda sisteme uygulanmış olan 24 Volt potansiyel anot yatağı ile boru arasında 22 Voltluk bir fark oluşturur. Devreden geçen akım şiddeti 20 Amper olduğuna göre sistemin toplam direnci,

$$R_t = \frac{22}{20} = 1,10 \text{ Ohm}$$

bulunur. Bu değerler kullanılarak anot yatağı maksimum direnci şöyle hesaplanır:

$$R_t = R_a + R_k + R_b$$

$$R_a = 1,10 - 0,36 - 0,075$$

$$R_a = 0,665 \text{ Ohm}$$

Anot olarak 5 x 150 cm.lik demir silikon anotları kullanılmış olduğumuzu düşünelim. Bu anodun 30 x 210 cm.lik kok tozu içindeki direnci,

$$R = \frac{2800}{2 \times 3,14 \times 210} \left[\ln \frac{8 \times 210}{30} - 1 \right]$$

$$R = 6,42 \text{ Ohm}$$

Bu anotlardan 10 adedini 3 m aralıklarla dikey olarak yerleřtirdiđimizi dűřnelim. Anot interferans faktűru $F=1,309$ olduđuna gűre, anot yatađı direnci,

$$R_a = \frac{6,42}{10} (1,309) = 0,84$$

Bu değerere, anot i dirençleri dahil edilmemiştir. Tek anodun metalden-kok tozuna geçiş direnci,

$$R = \frac{40}{2 \times 3,14 \times 150} \left[\ln \frac{8 \times 150}{5} - 1 \right]$$

$$R = 0,19 \text{ Ohm}$$

Paralel bağlanmış 10 anodun toplam iç direnci

$$R = \frac{0,19}{10} = 0,019 \text{ Ohm}$$

Toplam anot yatağı direnci,

$$R_a = 0,84 + 0,019 = 0,86 \text{ Ohm}$$

bulunur. Bu deđer istenilen limitin altındadır. Paralel bađlanmıř 5 x 150 cm boyutundaki 10 adet demir-silikon anodun űmrű,

$$\text{Anot űmrű} = \frac{200 \times 0,50}{20 \times 1} = 5 \text{ yıl}$$

bulunur. Anot űmrűnű artırmak için daha bűyűk kűtlede anotların kullanılması gerecektir. űrneđin 7,5 x 150 cm lik demir-silikon

$$\text{Anot űmrű} = \frac{500 \times 0,50}{20 \times 1} = 12,5 \text{ yıl}$$

bulunur.

7,5 x 150 cm.lik 10 adet demir silikon anot paralel olarak bađlanırsa, sűz konusu kořullarda 20 Amper akım verebilir. Anot űmrű ise en az 12,5 yıldır. Bűylece istenilen her iki kriter birlikte sađlanmıř olur.

4.2.7 Galvanik Anotlu Katodik Koruma

Galvanik anotlar akım űreterek iyon haline gelirler. Bu nedenle bu anotlara kurbanlık anot da denilir. Faraday kanuna gűre, 1 ekivalent gram anot metali iyon haline

dönüşürken 96500 kulon akım üretir. Ancak anot metalinin bir kısmı da çevrenin etkisi ile doğrudan korozyona uğrayarak akım üretilmeden iyon haline dönüşebilir. Anodun akım üreterek harcanan kütlesinin, iyon haline geçen toplam anot kütlesine oranı verim olarak tanımlanır. Bu verim ekonomik açıdan büyük önem taşır. Yeraltı yapılarında galvanik anot olarak genellikle magnezyum ve çinko anotlar kullanılır. Alüminyum anotlar daha çok su altı (özellikle deniz içi) yapılarda kullanılmaktadır.

Galvanik anot yönteminin teknik açıdan en büyük avantajı, akımın boru hattı boyunca üniform bir şekilde dağıtılmasına imkan vermesidir. Halbuki dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinde, bütün akımın bir noktadan uygulanması sonucu, anot yatağı yakınında gereğinden fazla potansiyel yükselmeleri önlememektedir.

Bu yöntemin teknik açıdan en büyük dezavantajı ise, zemin rezistivitesinin yüksek olduğu bölgelerde etkili olmayışıdır. Anot-boru arasındaki potansiyel farkı (driving voltage) magnezyum anotlarda 650 mV, çinko anotlarda 250 mV civarındadır. Bu nedenle yüksek rezistiviteli zeminler içinde anottan çekilen akım şiddeti oldukça küçüktür. Diğer taraftan bu yöntemde akım ve potansiyel değerlerini, dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinde olduğu gibi sonradan ayarlamak mümkün değildir.

Galvanik anotlu katodik koruma sistemi başlıca aşağıdaki hallerde tercih edilmektedir.

- Dış akım kaynağının mevcut olmadığı bölgelerde,
- Çevre metalik yapılar üzerinde interferans etkisini önlemek üzere,
- Kaplama bozukluğu, kaçak akım etkisi gibi yerel korozyon etkilerinin önlenmesinde,
- Akım ihtiyacının çok küçük olduğu durumlarda galvanik anotlu katodik koruma sistemi daha uygundur.

4.2.7.1 Galvanik Anotlar

Zemin içindeki elektrot potansiyeli yüksek olduğu için, yeraltı yapılarının katodik korumasında genellikle magnezyum anotlar kullanılır. Çinko anotların verimi daha yüksek olmasına rağmen, potansiyeli düşük olması nedeniyle kullanılma alanı sınırlıdır. Magnezyum, çinko ve alüminyum anotların elektrokimyasal özellikleri Çizelge 14 de görülmektedir. Bu anotların kimyasal bileşimleri de Çizelge 15, 16, 17 da verilmektedir.

Çizelge 14: Galvanik anotların elektrokimyasal özellikleri

Anot Özelliği	Magnezyum	Çinko	Alüminyum
Teorik akım kapasitesi, Amper x saat/kg	2200	820	2965
kg/Amper x yıl	3.94	10.66	3.15
Anot verimi (*), %	50	90	90
Gerçek akım kapasitesi, Amper x saat/kg	1100	738	2670
kg/Amper x yıl	7.88	11.84	3.5
Elektrot potansiyeli (**), V (Deniz suyu içinde, Cu/CuSO ₄ referans elektroda göre))	1.55	1.10	1.10
Çeliğe karşı devre potansiyeli, mV	650	250	250
Yoğunluk, g/cm ³	1.74	7.14	2.70

(*) Anot verimi, anottan çekilen akım şiddetine de bağlıdır. Akım yoğunluğu arttıkça anot anot verimi de artar. Çizelgede verilen anot verimi, Anottan 0.03 mA/cm² akım çekilmesi hali içindir.

(**) Elektrot potansiyeli, anot içinde yabancı metal bulunması halinde değişir.

Çizelge 15: Magnezyum anotların kimyasal bileşimi

Element	Kütle, % olarak	
	Yüksek Potansiyelli M-YP	AZ-63 Alaşımı M-AZ
Alüminyum	En çok, 0,05	5,3-6,7
Çinko	En çok, 0,03	2,5-3,5
Manganez(*)	0,5-1,5	0,25-0,40
Silisyum	En çok, 0,05	En çok, 0,3
Bakır	En çok, 0,02	En çok, 0,08
Demir	En çok, 0,03	En çok, 0,03
Nikel	En çok, 0,002	En çok, 0,003
Magnezyum	Kalan	Kalan

(*) M-YP anotlarda manganez yüzdesi en az [0,5+0,6(%A1)] olmalıdır.

Çizelge 16: Çinko anodların kimyasal bileşimi

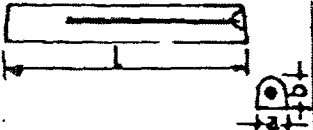
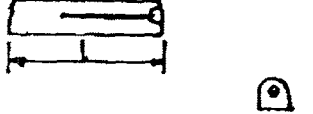
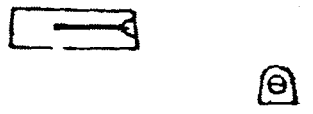


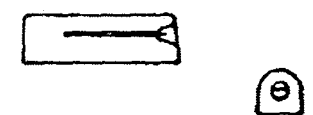

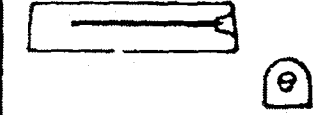
Element	Kütle, % olarak
Kurşun	En çok, 0,006
Demir	En çok, 0,005
Bakır	En çok, 0,005
Kadmiyum	En çok, 0,15
Alüminyum	En çok, 0,50
Silisyum	En çok, 0,125
Çinko	Kalan

Çizelge 17: Alüminyum anodların kimyasal bileşimi

Element	Kütle, % olarak	
	İndiumlu Alüminyum Anod, A-In	Civalı Alüminyum Anod A-Hg
Çinko	2,1-2,7	0,35-0,5 g
Kadmiyum	0,003-0,032	-
Silisyum	0,01-0,15	0,11-0,21
Demir	En çok 0,25	En çok 0,25
İndium	0,017-0,024	-
Civa	-	0,035-0,45
Alüminyum	Kalan	Kalan

4.2.7.2 Anot Boyutları

Değişik boyutta ve biçimde magnezyum anot kullanılmaktadır. Yeraltı çelik boru hatlarının katodik koruması için TS-5141'de verilen anot boyutları Çizelge 18 de görülmektedir.

ANOD ŞEKLİ	ANOD TİPİ	ÇIPLAK ANOD				ANOD BÖLGE MALZ.			Paketlenmiş Anod Ağırlığı m (kg)
		a (mm)	b (mm)	L (mm)	Kütlesi m (kg)	D (mm)	L (mm)	Ağırlığı m (kg)	
	M-1	30	30	970	1.6	130	1700	11	12.6
	M-2	60	60	470	3	160	550	9	12.0
	M-3	100	100	300	5	200	400	9.5	14.5
	M-4	100	100	460	8	200	550	11.4	19.5
	M-5	100	100	560	10	200	650	14.0	24.0
	M-6	130	130	500	15	225	600	17	32.0
	M-7	130	130	580	17	225	700	19	36.0
	M-8	130	130	700	20	225	800	21	41.0
ANOD BOYUTLARINDA TOLERANS % 3 ANOD KÜTLESİNDE TOLERANS % 5									

Çizelge - 18 : D Profil magnezyum anotlar (TS-5141)

Pratikte yabancı ülkelerden ithal edilen standart anotlarda kullanılmaktadır. Bu anotlardan çok kullanılan bazılarının boyutları Çizelge-18 de verilmektedir.

4.2.7.3 Anot Yatağı Dolgusu

Galvanik anotlar direnci azaltmak ve polarizasyonu önlemek üzere özel olarak hazırlanmış bir anot yatağı dolgu maddesi içine konur. Böylece anottan çekilebilen akım şiddeti artar.

Anot yatağı dolgu maddesi bentonit içine alçı ve sodyum sülfat katılarak elde edilir. Sülfat iyonu, çinko, anodların yüzeyinde oluşan hidroksit ve karbonat tabakasını bozarak anodun pasifleşmesini önler.

Magnezyum ve çinko anotlar için kullanılan anot yatağı dolgu malzemesi Çizelge 19 da verilmiştir.

Çizelge 19: Anot Yatağı dolgu malzemesi(*) (TS-5141)

Bileşenler	Tip(A) (**)	Tip B
Jibs (CaSO ₄ ,2HaO), %	70-75	25-30
Bentonit, %	20-25	40-50
Sodyum Sülfat (Na ₂ SO ₄), %	5-6	25-30
Özgül elektrik direnci, (Ohm.cm)	50-100	25-50

(*) Zemin elektrik özgül direnci düşük olan zeminlerde Tip A, zemin elektrik özgül direnci yüksek zeminlerde Tip B kullanılmalıdır. Zemin özgül elektrik direncinin 500 Ohm.cm'den düşük olması halinde anot yatağı kullanılmayabilir.

(**) Magnezyum anotlar için Tip A, çinko anotlar için Tip B dolgu malzemesi uygundur.

Anot yatağı malzemesi kullanılmasının sağladığı diğer avantajlar şunlardır:

- Anot yatağı içinde anot daha düzgün ve üniform olarak harcanır. Bunun sonucu olarak anot kütlelerini kullanılabilirlik yüzdesi artar.
- Anot yatağı, anot çevresini sürekli rutubetli ve düşük dirençli tutar.
- Anot yatağı dolgu malzemesi yardımı ile galvanik anotları yüksek dirençli zeminler içinde de kullanabilmek mümkün olur.

4.2.7.4 Galvanik Anot Ömrü

Galvanik anotlu katodik koruma sistemlerinin ömrü, galvanik anot ömrüne bağlıdır. Belli kütlede bir anodun ömrü aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\text{Anot ömrü (yıl)} = \frac{\text{Anot Kütle} (\text{kg}) \times \text{Anot Verimi} \times \text{Kullanma Faktörü}}{\text{Akım Şiddeti (A)} \times \text{Teorik Akım Kapasitesi} \times \frac{\text{kg}}{\text{A} \times \text{Yıl}}} \times$$

Galvanik anot verimi, 1 kg anot metalinden çekilen akım miktarının, teorik olarak verebileceği akım miktarına oranıdır. Bu değer projelendirme sırasında magnezyum anotlar için %50, çinko ve alüminyum anotlar için % 90 olarak alınabilir.

Anot ömrünün hesaplanmasında söz konusu olan “kullanma faktörü” anot kütlelerinin kullanılabilen yüzdesini ifade eder. Bu değer genellikle %85 alınır. Bunun anlamı, anot kütlelerinin % 15 i kalıncaya kadar anottan akım çekilebileceğidir.

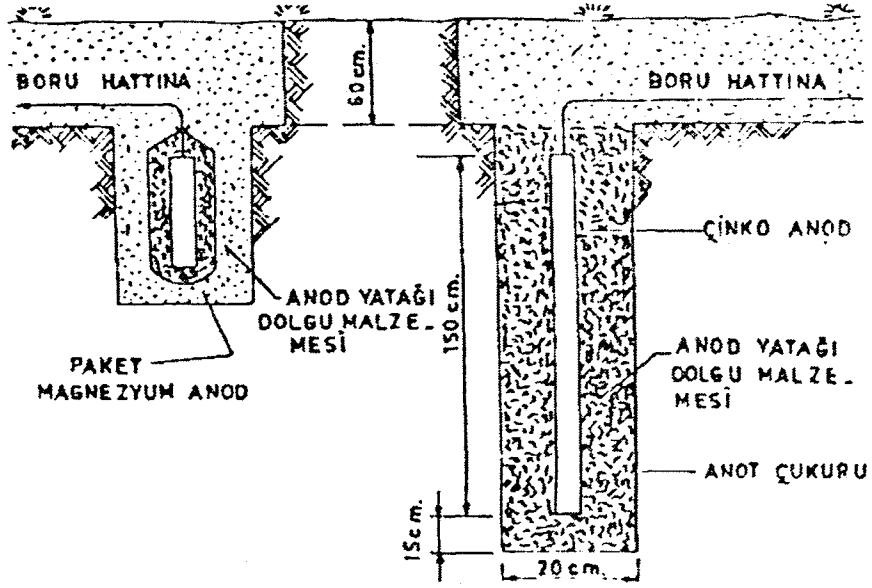
4.2.7.5 Galvanik Anot Montajı

Galvanik anotlar boru hattı boyunca uygun aralıklarla dağıtılır. Anotların zemin rezistivitesinin en düşük olduğu bölgelere konulması uygundur. Birden fazla anodun boruya bir noktadan bağlanması halinde anotlar önce paralel olarak bağlanır, daha sonra bir grup halinde boruya kaynak edilir.

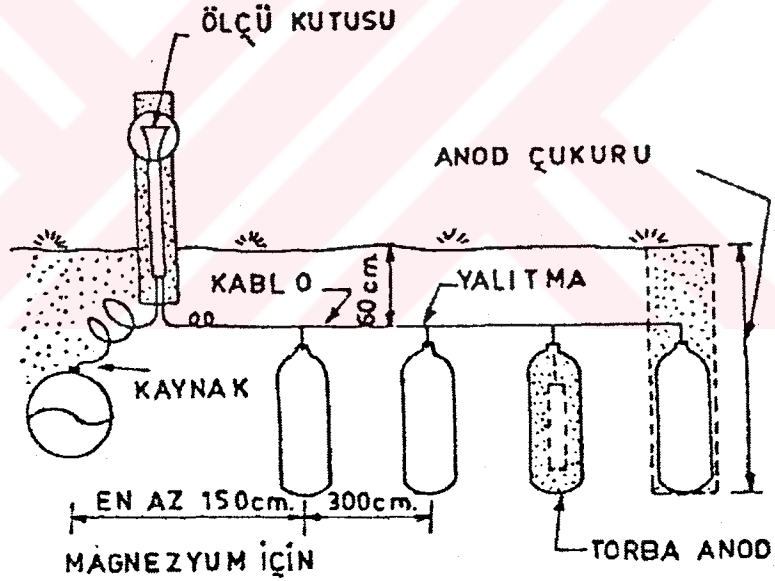
Anotların boruya bağlantısı termit kaynağı ile yapılır. Kaynak yerleri ve kablo bağlantı noktaları sağlam bir şekilde izote edilir.

Anotları boruya bağlamak için NY Y tipi yeraltında dayanaklı olan özel kablolar kullanılır. Bu kabloların direncinin küçük olması için en az 6 mm² kesitinde olmalıdır.

Anotlar paketlenmiş halde ise, doğrudan açılmış olan çukur içine yerleştirilir ve üzerine su dökülerek ıslatılır. Çıplak haldeki galvanik anotları yerleştirmek için, önce anot yatağı malzemesinin üçte biri anot çukuru içine konur, daha sonra anot ortalanarak çevresi anot yatağı dolgu maddesi ile doldurularak sıkıştırılır. Paket halinde ve çıplak haldeki anotların montajı şekil 18 ve şekil 19 da görülmektedir.



Şekil - 18 : Galvanik anotların yeraltına konulması



Şekil - 19 : Grup anotların bağlantısı

4.2.7.6 Ölçü Kutuları

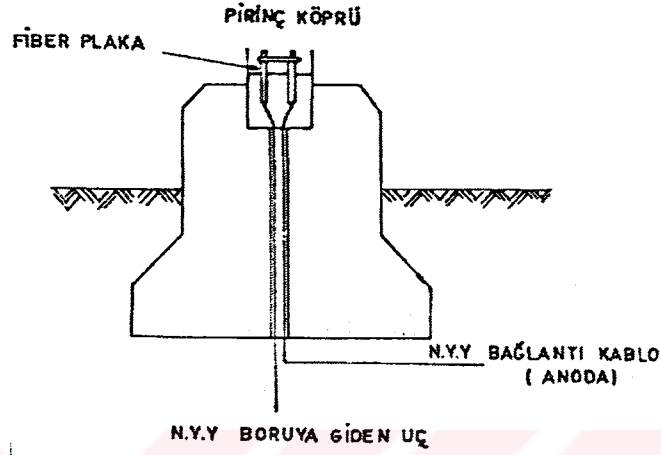
Katodik koruma sisteminin etkili şekilde çalışıp çalışmadığını kontrol edebilmesi için, boru hattı boyunca uygun aralıklarla ve bazı kritik bölgelere ölçü kutuları konur.

Ölçü kutusu konulmasının gerekli olduğu noktalar şunlardır:

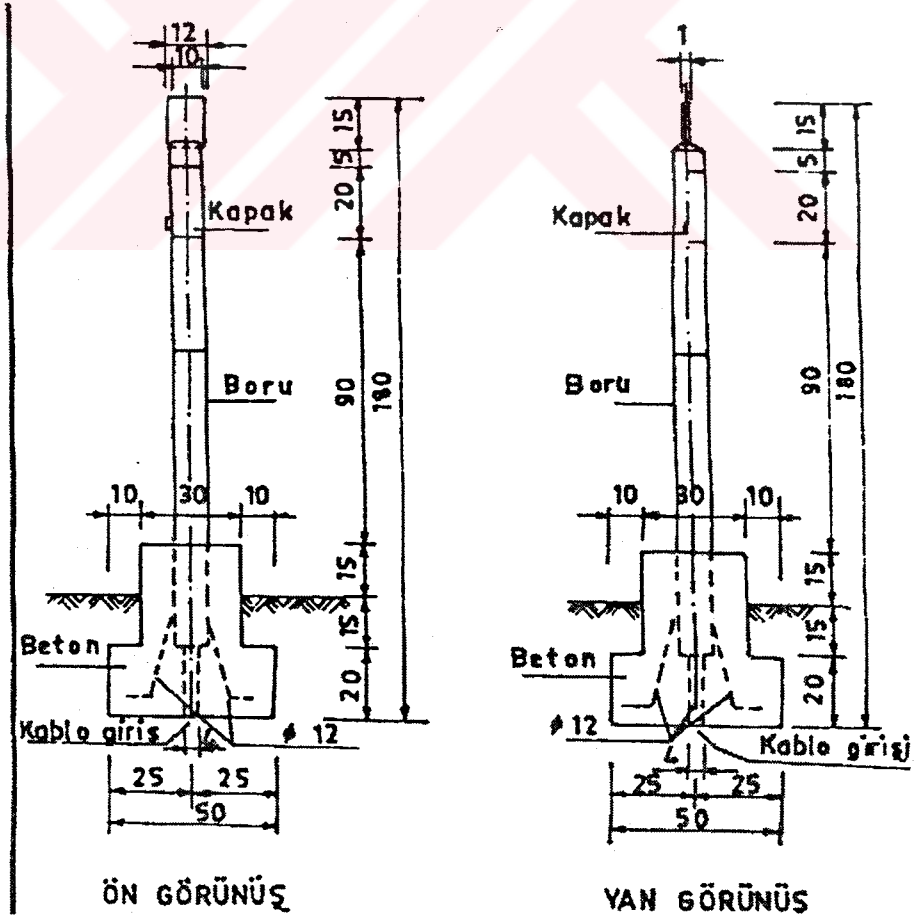
- Akarsu ve dere geçitlerine
- Komşu boru hatları ile kesim noktalarına

- Galvanik anotların bağlantı noktalarına
- Kaçak akım için önlem alınan noktalara
- Borunun izole flanş ile yalıtılmış olduğu noktalara

Bir galvanik anodun ölçü kutusu üzerinden boruya bağlantısı Şekil 20 ve Şekil 21 de görülmektedir.



Şekil - 20 : Galvanik anodun ölçü kutusu üzerinde boruya bağlantısı (TS-5141)



Şekil - 21 : Borulu tip ölçü istasyonu (TS-5141)

4.2.7.7 Galvanik Anotlu Katodik Koruma sistemlerinin Projelendirilmesi

Akım ihtiyacı bilinen bir boru hattının galvanik anotlarla katodik olarak korunması oldukça basittir. Boruyu korumak için gerekli olan akım miktarı yeterli sayıda galvanik anot kullanılarak sağlanabilir. Projede önemli olan hangi cins anottan, hangi boyutta ve kaç adet kullanılacağıının belirlenmesidir.

Anot cinsinin belirlenmesinde öncelikle zemin rezistivitesi göz önüne alınır. Kesin bir kriter olmamakla beraber pratikte, 1500 Ohm.cm'den daha yüksek rezistiviteli zeminler içinde çinko anotlar kullanılmamaktadır.

Diğer taraftan daha uzun ömürlü katodik koruma tesislerinde çinko antoların kullanılması daha ekonomik olmaktadır.

Kullanılacak anot hem katodik koruma için gerekli akım şiddetini sağlamalı hem de tesis ömrü boyunca dayanacak kütlede belirlemek için şu iki bağıntı kullanılır.

1. Minimum akım ihtiyacı şartı

$$\text{Anot Sayısı} = \frac{\text{Katodik koruma için gerekli toplam akım şiddeti}}{\text{Biranot tan çekilenakımşiddet i}}$$

2. Minimum anot kütlesi ihtiyacı şartı

$$\text{Anot sayısı} = \frac{\text{Katodik koruma ömrü boyunca yeterli toplam anot kütlesi}}{\text{Tekanotkütlesi}}$$

Bu iki şartı bir arada sağlayan en uygun anot boyunu denenerek bulunur.

4.3 Katodik Koruma Sistemlerinin İşletme ve Bakım

Bir katodik koruma sistemi en mükemmel şekilde projelendirilmiş olsa bile, işletme sırasında periyodik kontroller ve bakım yapılmaz ise, güvenli bir koruma sağlanamaz. Hatta bazı halde hiç katodik koruma uygulamamaktan daha tehlikeli sonuçlar doğabilir. Çünkü kontrolsüz çalışan bir katodik koruma sisteminde bazı bölgelerde ters etki veya interferans oluşarak borunun kısa sürede korozyonuna sebep olabilir.

Diğer taraftan yeraltı boru hatlarının katodik koruma sistemlerinde meydana gelen arızaların yeryüzü yapılarında olduğu gibi dışarıdan fark edilmesi de mümkün değildir. Korozyonun mevcut olduğu ancak boru delinince anlaşılabilir. Bu durumda ise, boruyu yenisi ile değiştirmekten başka hiçbir çare kalmamıştır.

Katodik koruma sistemlerinin periyodik olarak kontrol edilmesi, yalnız tesis işletme ömrünü artırmak için değil, aynı zamanda işletme masraflarının minimum halde tutulması

için de gereklidir. Aksi halde küçük bir arıza nedeniyle tesisin tamamen devre dışı kalması veya gereğinden fazla harcanması söz konusu olabilir.

Bir katodik koruma sisteminde meydana gelmesi muhtemel başlıca arızalar veya bozulmalar şunlardır:

1. Rektifiye Ünitesinde

Rektifiye ünitesinin redresörü, transformatörü veya soğutma sistemi arızalanmış olabilir. Sigorta atması bağlantıların kopması veya yanması da mümkündür.

2. Anot Yatağı

Anotlardan bir veya birkaçı devre dışı kalmıştır. Zemin veya anot yatağı rutubeti azaldığından anot yatağı direnci yükselmiştir. Anotlar fazla akım çekilmesi nedeniyle beklenen süreden önce harcanarak akım veremez hale gelmiştir. Anot yatağına giden kablo veya anotlar arasındaki kablolar kopmuştur.

3. Boru Hattı

Borunun yalıtımını sağlayan izole flanjlara etkisiz hale gelmiştir. Başka bir metalik yapı ile doğrudan temas söz konusu olmuştur. Boru kaplaması aşırı voltaj nedeniyle veya eskiyerek parçalanmıştır. Boruya giden kablo veya bağlantı kopmuştur.

4. Çevre

Boru hattı yakınına, yabancı bir katodik koruma tesisinin anot yatağı konulmuş olabilir. Veya boru hattı ile kesişen yabancı bir boru hattı tesis edilmiştir. Boru hattının geçmiş olduğu bölgede kaçak akım yaratan başka bir elektriksel tesis devreye girmiş olabilir.

Bu durumlardan herhangi birinin mevcut olması katodik koruma sisteminin sağlıklı bir şekilde çalışmasına engel olabilir. Periyodik kontroller bu arızaların vakit geçirilmeden belirlenerek gerekli önlemlerin alınması ile yapılır. Bir katodik koruma sisteminde arıza olması halinde hemen hemen daima boru/zemin potansiyelinde düşme görülür. Bu nedenle arıza olsun ve olmasın boru/zemin potansiyellerinin periyodik olarak ölçülerek kaydedilmesi gerekir. Böylece boru potansiyelinde zamanla meydana gelecek değişimler değerlendirilerek arızaların belirlenmesi daha kolay hale gelir. Ancak arızanın kesin şekilde belirlenmesi için bazı özel ölçü ve kontrollerin de yapılması gerekir.

4.3.1 Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma Sistemlerinde Yapılan Kontroller

Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemleri işletmeye alındıkları ilk ay içinde haftada bir, ilk üç ay içinde on beş günde bir, dah sonraki günlerde ayda bir kontrol edilmelidir. Başlangıç devresindeki bu kontroller sistemin akım ve potansiyel ayarı için gereklidir. Sistem en çok ilk üç ay içinde kararlı hale gelir.

Bir yıldan sonra periyodik kontroller üç ayda bir de yapılabilir. Ancak kontrollerin daha sık aralıklarla yapılması sistemin uzun süre devre dışı kalmasını önlemek ve arızanın sebebini daha kolay belirlemek bakımından yararlıdır.

Periyodik kontrollerde şu ölçümler yapılır.

1. Boru hattı boyunca (on), (off) boru/zemin potansiyeli ölçümleri yapılır.
2. İzole flanj dirençleri ve varsa interferans akım bağından geçen akım şiddeti ölçülür.
3. Rektifiye ünitesinden sisteme uygulanan doğru akım şiddeti ve rektifiye çıkış potansiyeli kaydedilir. Mevsim nedeniyle akım ihtiyacında azalma veya artma varsa, rektifiye ünitesinde gerekli ayarlamalar yapılır.
4. Rektifiye ünitesindeki Wattmetre den (eğer varsa) sisteme giren akım miktarı kW x saat olarak okunur.

Periyodik deneyler ve ölçümler dışında yılda bir kere de rektifiye ünitesinde aşağıdaki kontroller ve bakım yapılmalıdır.

1. Rektifiye ünitesinin kapağını açmadan önce dıştan muayene edilir. Bu muayenede tahrip olan bir yer bulunup bulunmadığı, rektifiye kutusu sıcaklığının ne derece yükseldiği ve sistemin çalıştığını belli eden sesin dıştan duyulup duyulmadığı incelenir.
2. Kapak dikkatle açılır. Rektifiye kutusu içinde yılan, örümcek, böcek gibi haşarat var mı kontrol edilir. Daha sonra sisteme verilen doğru akım şiddeti ve çıkış potansiyeli kaydedilir.
3. Dış akım kaynağı düğmesi kapatılır. Rektifiye ünitesinin her parçasının bu anda sıcak halde olması gerekir. Elle yoklanarak soğuk kalmış kısımlar tespit edilir. Böylece devre dışı kalmış olan cihazlar kolayca anlaşılır. Gereğinden fazla ısınmış olan cihazlar varsa bunlar kaydedilir.

4. Bütün bağlantılar temizlenir ve sağlamlığı kontrol edilir. Hava soğutma vantilatörü temizlenir. Bütün ölçü aletlerinin ayarı kontrol edilir. Akım kesilmiş halde iken kW x saat ölçen aletin tam olarak hareketsiz kalıp kalmadığı kontrol edilir.

5. Yağ soğutmalı rektifiye ünitelerinde yağın seviyesi ve temizliği kontrol edilir. Yağ berrak ve açık renkli değilse değiştirilir.

6. Kablolardan izolasyonu bozulmuş olanlar varsa değiştirilir. Akım kesiciler, düğmeler kontrol edilir. Bozuk olanlar varsa değiştirilir. Boyanması gerekli olan paslanmış parçalar belirlenir.

7. Devreye yeniden akım verilerek, rektifiye ünitesinin verimi aşağıdaki şekilde kontrol edilir. Rektifiye verimi şu bağıntı ile hesaplanır.

$$\% \text{ Verim} = \frac{\text{Doğru akım gücü (çıkış)}}{\text{Alternatifakımgücü(giriş)}} 100$$

Rektifiyeden çekilen doğru akımın gücü, paneldeki voltmetre ile ampermetreden okunan değerlerin çarpımı ile bulunur. Rektifiye sistemine giren alternatif akımın gücü ile Wattmetre yardımıyla aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\text{Güç (Watt)} = \frac{3600 N k}{t}$$

Burada, N : Aletin disketinin dönme sayısı

k : Aletin kapağında yazılı olan katsayı

t : Saniye olarak dönme sayısının ölçüldüğü süredir.

Rektifiye ünitesinin verimi normal halde % 50-60 arasındadır. Bu değer zamanla azalır. %25 in altına düşmesi halinde rektifiye ünitesinin değiştirilmesi gerekir.

Dış Akım Kaynaklı Katodik koruma Sistemlerinde Arızanın Belirlenmesi

Boru hattı üzerinde yapılan boru/zemin potansiyeli ölçümleri korumanın yetersiz olduğunu gösterirse, ilk olarak rektifiye ünitesine bakılır. Rektifiye ünitesindeki akım ve potansiyel değerlerine göre aşağıdaki haller söz konusu olabilir.

1. Rektifiye ünitesinden normal potansiyel düzeyinde yeterli akım çekiliyorsa bu durumda arıza boru hattı ile ilgilidir. Ve şu sebeplerden ileri gelebilir:

a) İzole flanjlardan herhangi biri görevini yapmamaktadır.

b) Boru hattına bir ilave yapılarak akım ihtiyacı artırılmıştır.

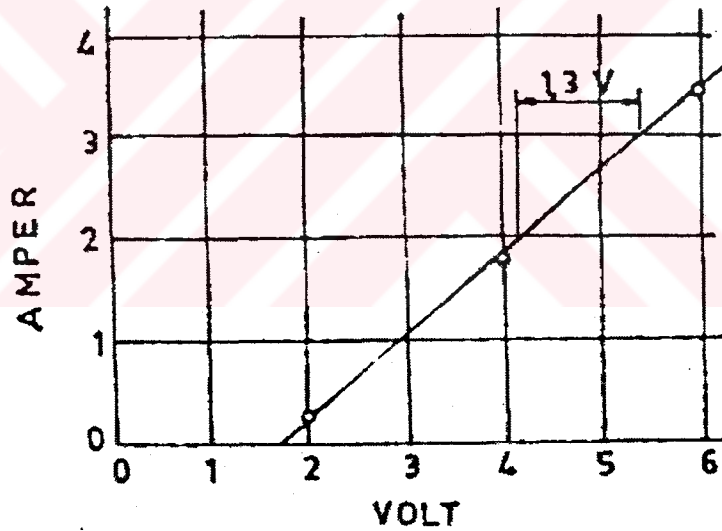
c) Çevre metalik yapılara kaçak akımlar söz konusudur.

d) Yukarıda belirtilen hususlardan hiç biri mevcut değilse boru kaplamasının eskime ve bozulması nedeniyle akım ihtiyacının artmış olduğuna karar verilir.

2. Rektifiye ünitesinden fazla akım çekilmesine rağmen potansiyel normal kalmış ise, bu durumda da arıza büyük bir ihtimalle boru hattındadır. Başlıca neden çevre yapılardan boruya giren kaçak akınlar olabilir.

3. Rektifiye ünitesinden çekilen doğru akımın voltajı norma veya yüksek olduğu halde, akım şiddeti düşük ise, bu durumda arıza anot yatağında olabilir. Anot yatağında bazı anotların kablo kopukluğu nedeniyle devre dışı kalması veya anot yatağının koruması sonucu direncinin artması düşünülebilir.

Anot yatağı direnci şöyle ölçülür: Anot yatağına rektifiye ünitesinden belli potansiyellerde akım uygulanır. Her bir potansiyele karşı gelen akım şiddeti ölçülür. Amper-Volt değerleri grafiğe geçilir (Şekil 22). Elde edilen doğrunun eğimi Ohm cinsinden anot yatağı direncini verir.



Şekil - 22 : Anot yatağı direncinin ölçülmesi

Grafikte akımın sıfır olduğu noktadaki 1,7 Volt luk potansiyel değeri, boru ile anot yatağı arasındaki galvanik potansiyel farkıdır.

4.3.2 Dış Akım Kaynaklı Bir Katodik Koruma Sisteminin İşletmeye Alınması

Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinde T/R ünitelerinin ilk olarak devreye sokulması ve ilk ayarının yapılması sırasında aşağıdaki kurallara uyulmalıdır.

1. T/R ünitesi de çıkışındaki (+) ucun anoda, (-) ucun katoda bağlanmış olduğu kontrol edilmelidir. Bu bağlantılarda gevşeklik olmamalıdır.

2. Manuel tip T/R ünitelerinde potansiyel kademesi sıfır (0) kademesine alınmalıdır. Otomatik çalışan T/R ünitelerinde potansiyel en küçük değere getirilmelidir.

3. Akım uygulanmadan önce, trafo çıkış kabloları ve pano şalter girişleri kontrol edilerek bağlantılarda ark yapabilen temaslar önlenmelidir.

4. T/R ünitesine ac girişini sağlayan düğme kapatılarak sisteme enerji verilmelidir.

5. Akın uygulandıktan sonra manuel tip T/R ünitelerinde aşağıdaki işlemler yapılır:

■ T/R ünitesindeki de çıkış potansiyel kademesi en küçük değere getirilir. Bu kademe de çıkış voltajı ve sisteme uygulanan akım şiddeti ölçülür.

■ Sisteme verilen akım kademeli olarak artırılır. Her kademe de çıkış voltaj ve amper değerleri okunur. Her kademe de korumaya alınan yapının potansiyel değeri de (P/S) ölçülmelidir. Bu değerler yapıyı korumaya yetecek minimum seviyede olmalı ve fakat hiç bir değer üst limit değerini aşmamasına özen gösterilmelidir.

6. Korunan sistem bir boru hattıysa, akım uygulanan noktadan en uzak olan bir ölçü istasyonunda P/S potansiyel değerinin doygun bakır/bakırsülfat referans elektroduna göre, -0,850 Volt değerinden daha negatif bir değere düşmesi sağlanmalıdır. Ancak bu değeri tutturmak için T/R ünitesinin limit kapasite değerleri aşılmamalıdır.

7. Pako şalteri T/R ünitelerinde, her ayar kademesinde 10 dakika beklenmeli bu süre içinde voltmetre ve ampermetrelerde ani değişim, titreşim, salınım vb. olağan dışı hareketlerin görülmesi halinde potansiyel kademesi bir kademe geriye alınarak, özellikle trafo çıkışları ile pako şalter bağlantıları tekrar kontrol edilmelidir. Sürekli ayarlanabilen T/R ünitelerinde, de voltajı sıfırdan başlayarak birer volt ara ile ünitenin son kademesine kadar artırılmalı, her kademe de 5-6 dakika beklenerek voltmetre ve ampermetrelerdeki hareketler kontrol edilmelidir.

8. Yukarda belirtildiği üzere yapılan potansiyel artışlarında her kademe de yeterli süre beklendikten sonra sistem tarafından çekilen akım şiddeti kaydedilmelidir. Bu değer şartnamede istenilen değere uygun olmalı ve fakat hiç bir şekilde de voltajı 50 Volt değerini aşmamalıdır.

9. T/R ünitesinin test işlemi tamamlandıktan sonra, ünite minimum korumayı sağlayabilen en düşük potansiyel kademesine ayarlanmalıdır. Bu durumda boru hattının en

uç noktasındaki P/S değeri doygun bakır/bakır sülfat referans elektroduna göre en az 0,850 Volt olmalıdır. Ancak akım uygulanan noktadaki P/S değeri de 2,000 Volt değerini aşmamalıdır. (Kaplamaşız borularda bu değeri daha büyük olabilir.)

10. Yukarıda belirtilen ayarda çalışmaya bırakılan T/R ünitesi bir hafta süreyle her gün kontrol edilerek yeniden ayarlanmalıdır. Sistem bir süre çalıştıktan sonra akım ihtiyacında değışmeler olacaktır. Bu nedenle katodik korumanın başlangıç periyodunda, sistem kararlı hale gelinceye kadar potansiyel ve akım değerleri sık sık ayarlanmalıdır.

4.3.3 Galvanik Anotlu Katodik Koruma Sistemlerinde Yapılan Kontroller

Galvanik anotlu katodik koruma sistemlerinin kontrol ve bakımı dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerine göre daha kolaydır. Bu sistemde, kazı veya inşaat nedeniyle anot bağlantıları kopmamış ise, başka yollarla arızanın meydana gelmesi ihtimali çok azdır. Buna rağmen yine de üç ayda bir periyodik kontrollerin yapılması gerekir. Bu kontrollerde aşağıdaki ölçümler yapılır.

1. Anot boruya bağlı halde iken boru/zemin potansiyeli (sistem potansiyeli).
2. Açık devre boru/zemin potansiyeli,
3. Açık devre anot/zemin potansiyeli,
4. Anottan çekilen akım şiddeti,
5. Anotun bulunmadığı özel noktalardaki ölçü kutularından boru/zemin potansiyelleri ölçülür.

Boru/zemin potansiyelleri yeterli düzeyde ise, anotlarda herhangi bir arıza söz konusu değildir.

Belli bir noktada boru/zemin potansiyeli koruma seviyesinden daha düşük bulunmuşsa, o bölgedeki anottan çekilen akım miktarına bakılır. Eğer anot hiç akım vermiyorsa, kablonun kopmuş olduğu anlaşılır. Bu durumda boru/zemin ve anot/zemin potansiyellerine bakılarak kablonun hangi yönden kopmuş olduğu saptanır.

Eğer anottan akım çekilmekle beraber beklenenden daha az ise bu durumda, şu ihtimaller söz konusudur.

- Anot yatağı kuruyarak direnci artmıştır.
- Anotlardan biri veya birkaçı devre dışı kalmıştır.
- Anottan öngörülenden fazla akım çekilmesi sonucu anot ömrü vaktinden önce dolmuştur.

5. ISPARTA - EĞİRDİR YERALTI İÇMESUYU BORUHATTININ KATODİK KORUMASI VE PROJELENDİRİLMESİ

5.1 Sistemin Tanıtılması

Ham su 917 m kotundaki su alma yapısından (TMI) 1034 m kotundaki DY7 deposuna (TM2) 2858 m ϕ 1000 mm JÇB ile, buradan da ikinci kademe olarak DY8 deposuna 1990 m ϕ 1000 mm JÇB ile terfi edilmektedir.

DY8 deposundan 29799 m ϕ 1100 mm JÇB ile arıtma tesisine cazibe ile iletilmektedir.

Sistem seçimi

Boru hattı 34347 m uzun bir hat olduğu ve tesis ömrü en az 30 yıl planlandığı için dış akım kaynaklı katodik koruma sistemi seçilmiştir ve sistemin 5 noktadan korunması düşürülmüş ve ortalama koruma mesafeleri 6870 m dir.

Boru tecridi

Boru hattı tecridi bitüm emdirilmiş tek kat sargılı kaplama (Akım ihtiyacı 0,2-0,5 m A/m²) ve kaynaklı birleştirme yerlerinde sıcak bitüm kaplama (Akım ihtiyacı 0,5-2,0 m A/m²) dir.

Zemin elektrik özgül direnci

Boru hattı güzergahında alınan toprak elektrik özgül dirençleri içinde yüksek korozif, korozif ve normal korozif bölgeler mevcut olup, ortalama zemin elektrik özgül direnci 5600 Ohm.cm dir. Zemin elektrik özgül dirençleri çizelge 20 de görülmektedir.

Katodik koruma Transformator/Redresör (T/R) ünitelerinin yerleri:

T/R üniteleri dış akım elektrik kaynağına yakın olarak tespit edilen yerler:

1 nolu T/R ünitesi : TM1 - 0,5 km

2 Nolu T/R ünitesi : TM1 - 9 km

3 Nolu T/R ünitesi: TM1 - 16 km

4 Nolu T/R ünitesi : TM1 - 25 km

5 Nolu T/R ünitesi : TM1 - 30 km

Çizelge 20: Zemin - elektrik özgül dirençleri

		ZEMİN ELEKTRİK ÖZGÜL DİRENCİ			
		Ohm.cm			
TM1	ARITMA	ÇOK		ORTA	AZ
NO	Km	KOROZİF	KOROZİF	KOROZİF	KOROZİF
1	0				10000
2	0.5		1600		
3	1.4			7000	
4	2.2			5000	
5	2.8			4000	
6	3.8				10000
7	3.4				16000
8	6				16000
9	7.3		1500		
10	8.3		1800		
11	9.1		1100		
12	10.1			4000	
13	11.1			3500	
14	12.1		2100		
15	13.1			5000	
16	14.1			4000	
17	15.1			5000	
18	16.3			4000	
19	17.8			5500	
20	19			8000	
21	20.2			7000	
22	21.5			5300	
23	23				11600
24	24			6800	
25	25			3500	
26	26		1500		
27	27		2200		
28	28			8500	
29	29			9000	
30	30				10000
31	31			8500	
32	32				12000

5.2 Anot Yatakları Hesabı

5.2.1 T/R 1 Nolu İstasyon

Anot yatağı sistem toplam direnci : 1. Ohm

Anot yatağı zemin elektrik özgül direnci : 1600 Ohm.cm

Seçilen Anot : 5 x 150 cm lik demir-silikon anot

Anot yatağı dolgusu 30 x 210 cm lik kok tozu içerisinde yerleştirilmiştir.

Kok dolgu rezistivitesi : 40 Ohm.cm

Anot yatağının boruya uzaklığı : 300 m

Kullanılan kablo : 1 x 10 NYY kablo, direnci $0,18 \times 10^{-3}$ Ohm

Boru tecridi g: 3200 mikrosimens m^2

Boru et kalınlığı : T=10 mm, T=12 mm

a) Kablo direnci Rk:

$$R_k = L \cdot R$$

$$R_k = 300 \cdot 0,18 \times 10^{-3}$$

$$R_k = 0,54 \text{ Ohm}$$

b) Akım drenaj gerilimi : EDR

$$E_{DR} = 0,4 \cdot \cos(0,0116 \cdot \frac{q}{T} \cdot L)$$

$$= 0,4 \cdot \cos(0,0116 \cdot \frac{3200}{10} \cdot 7)$$

$$E_{DR} = 0,36 \text{ V}$$

c) Boru geçiş direnci Rb

$$R_b = \frac{11,6}{1.024 \cdot \pi \sqrt{q \cdot T}}$$

$$R_b = \frac{11,6}{1.024 \cdot \pi \sqrt{3200 \cdot 10}}$$

$$R_b = 0,020 \text{ Ohm}$$

d) Anot yatağı direnci Ra

$$R_a = R_T - R_k - R_b$$

$$R_a = 1 - 0,54 - 0,02$$

$$R_a = 0,44 \text{ Ohm}$$

Şekil 17 den: (özgül direnci 1000 Ohm.cm ye göre)

Tabloyu kullanabilmek için

$$R_a = R_a \frac{1000}{1600}$$

$$R_a = 0,44 - \frac{1000}{1600}$$

$$R_a = 0,275 \text{ Ohm}$$

e) Anot direnci $R_a=0,275$ e göre Tablodan

Anot boyu : 45 m

Anot ara mesafesi 3m

Anot sayısı : $45/3 = 15$ adet 5 x 150 cm lik demir-silikon anot

f) Akım ihtiyacı I:

$$I = \frac{E_{DR}}{R_b}$$

$$I = \frac{0,36}{0,02}$$

$$I = 18 \text{ Amper}$$

seçilen T/R ünitesi kapasitesi 50 Amper 50 Volt

5.2.2 T/R 2. Nolu istasyon

Anot yatağı sistem toplam direnci : 1 Ohm

Zemin rezisivitesi : 1100 Ohm.cm

Kullanılan kapla : 1 x 10 N x Y 180 m

a) Kablo Direnci R_k

$$R_k = 180 \cdot 0,18 \cdot 10^{-3}$$

$$R_k = 0,32 \text{ Ohm}$$

b) Akım drenaj gerilimi E_{DR}

$$E_{DR} : 0,4 \cdot \cos(0,0116 \cdot \frac{3200}{12} \cdot 7)$$

$$E_{DR} : 0,37 \text{ V}$$

c) Boru geçiş direnci R_b

$$R_b = \frac{11,6}{1,024 \cdot \pi \sqrt{3200 \cdot 12}}$$

$$R_b = 0,018 \text{ Ohm}$$

d) Anot yatağı direnci R_a

$$R_a = 1 - 0,32 - 0,018$$

$$R_a = 0,66 \text{ Ohm.}$$

e) Tabloya uyarlırsak :

$$R'_a = 0,66 \cdot \frac{1000}{1100}$$

$$R'_a = 0,6 \text{ Ohm}$$

Anot boyu : 18 m.

Anot Arç mesafesi 3m

Anot Sayısı : $18/3=6$ Adet 5 x 150 cm lik demir-silikon Anot

f) Akım ihtiyacı I

$$I = \frac{0,37}{0,018}$$

$$I = 20 \text{ Amper}$$

Seçilen T/R ünitesi kapasitesi 50 Amper 50 Volt

5.2.3 T/R 3. Nolu istasyon

Anot yatağı sistem toplam direnci : 10 hm

Zemin rezistivitesi 4000 Ohm.cm

kullanılan kablo : L.10.NYY. 170 m.

a. Kablo direnci R_k .

$$R_k : 170 \cdot 0,18 \cdot 10^{-3}$$

$$R_k : 0,3 \text{ Ohm.}$$

b) Akım drenaj gerilimi EDR

$$E_{DR} = 0,4 \cdot \cos(0,0116 \cdot \frac{3200}{12} \cdot 7)$$

$$E_{DR} = 0,37 \text{ V}$$

c) Boru geçiş direnci R_b .

$$R_b = \frac{11,6}{1.024 \cdot \sqrt{3200 \cdot 12}}$$

$$R_b = 0,019 \text{ Ohm}$$

d) Anot yatağı direnci R_a

$$R_a = 1 - 0,3 - 0,018$$

$$R_a = 0,68 \text{ Ohm.}$$

e) Tabloya uyarlıysak

$$R'_a = 0,66 \cdot \frac{1000}{4000}$$

$$R'_a = 0,17 \text{ Ohm}$$

Anot boyu : 90 m

Anot Ara Mesafesi : 3 m

Anot sayısı : $90/3 = 30$ Adet 5 x 150 cm lik demir-silikon anot

f) Akım ihtiyacı I :

$$I = \frac{0,37}{0,018}$$

$$I : 20 \text{ Amper}$$

Seçilen T/R ünitesi kapasitesi 50 Amper 50 Volt

5.2.4 T/R 4. Nolu İstasyon

Zemin rezistivitesi : 3500 Ohm.cm

Kullanılan kapla : 170 m

a) Kablo direnci R_k

$$R_k : 170 \cdot 0,18 \cdot 10^{-3}$$

$$R_k : 0,3 \text{ Ohm}$$

b) Akım drenaj gerilimi $EDR = 0,37 \text{ V}$

c) Boru geçiş direnci $R_b = 0,018 \text{ Ohm}$

d) Anot yatağı direnci $R_a = 0,68 \text{ Ohm}$

e) Tabloya uyarlıysak $R'_a = 0,68 \cdot \frac{1000}{3500}$

$$R'_a = 0,19 \text{ Ohm}$$

Anot boyu : 75 m

Anot Ara Mesafesi 3m

Anot sayısı, $75/3 = 25$ Adet 5 x 150 cm lik demir-silikon-Anot

$$f: \text{Akım ihtiyacı } I = \frac{0,37}{0,018}$$

$$I = 20 \text{ Amper}$$

Seçilen T/R ünitesi kapasitesi 50 Amper 50 Volt

5.2.5 T/R 5. Nolu istasyon

Zemin Rezistivitesi : 10.000 Ohm.cm

kullanılan kablo : 1 x 10 NYY kablo 180 m.

$$a) \text{ Kablo Direnci } R_k = 180 \cdot 0,18 \cdot 10^{-3}$$

$$R_k = 0,32 \text{ Ohm}$$

$$b) \text{ Akım drenaj gerilim } EDR = 0,37 \text{ V}$$

$$c) \text{ Boru geçiş direnci } R_b = 0,018 \text{ Ohm}$$

$$d) \text{ Anot yatağı direnci } R_a = 0,66 \text{ Ohm}$$

$$e) \text{ Tabloya uyarlı } R_a' = 0,66 \cdot \frac{1000}{10000}$$

$$R_a' = 0,066 \text{ Ohm}$$

Anot boyu : 130 m

Anot Ara mesafesi : 3 m

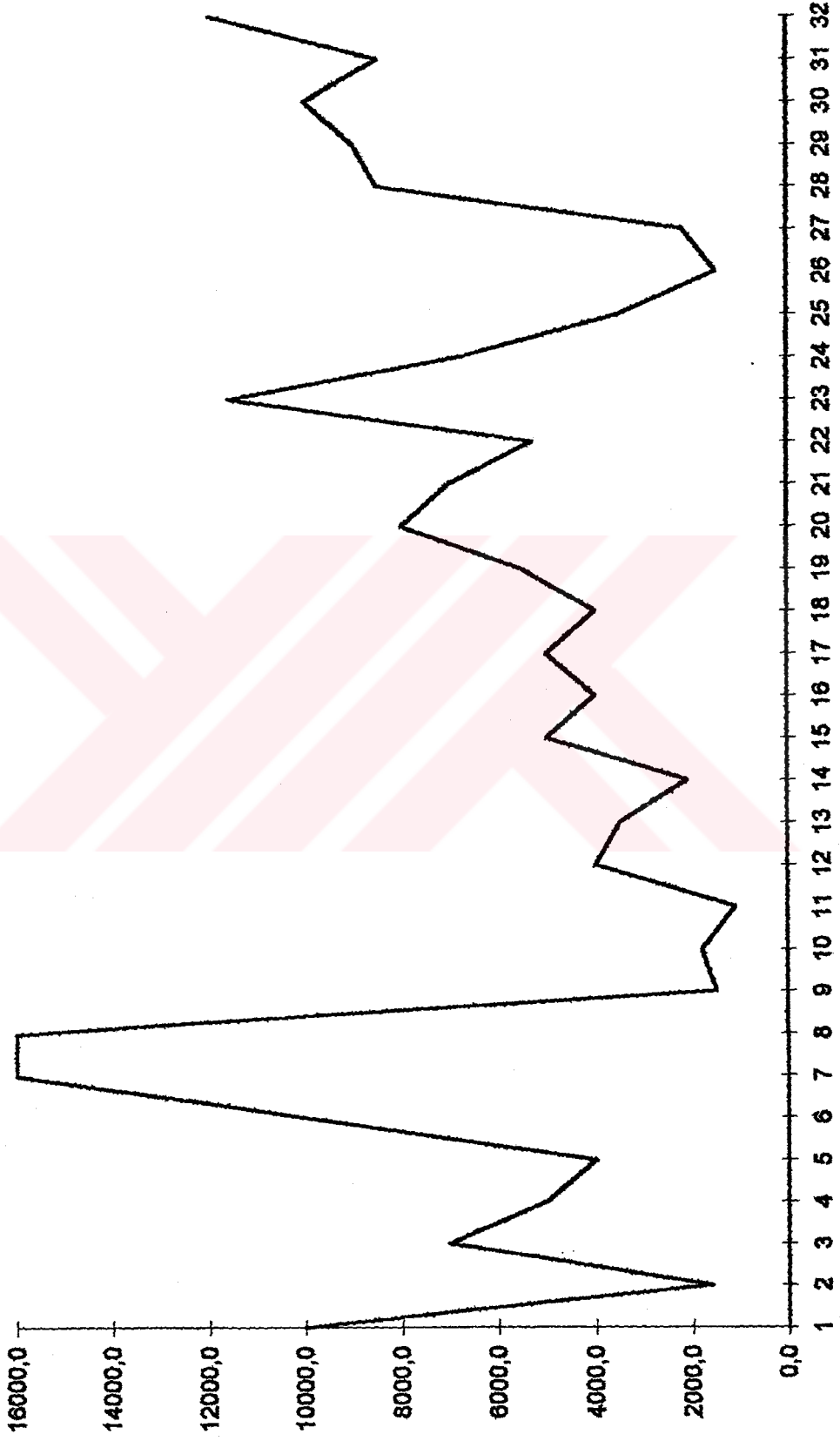
Anot Sayısı $130 / 3 = 44$ Adet 5 x 150 cm lik demir-silikon Anot

$$f) \text{ Akım ihtiyacı } I:$$

$$I = \frac{0,37}{0,018}$$

$$I = 20 \text{ Amper}$$

Seçilen T/R ünitesi kapasitesi 50 Amper, 50 Volt

Zemin elektrik 6zgül dirençleri profili

T/R 1

EĞİRDİR GÖLÜ

ÖZEL İDARE
RESTAURANT

TM 1

Ø 1000 JCB BORU

← ISPARTA

AC Direği

T/R

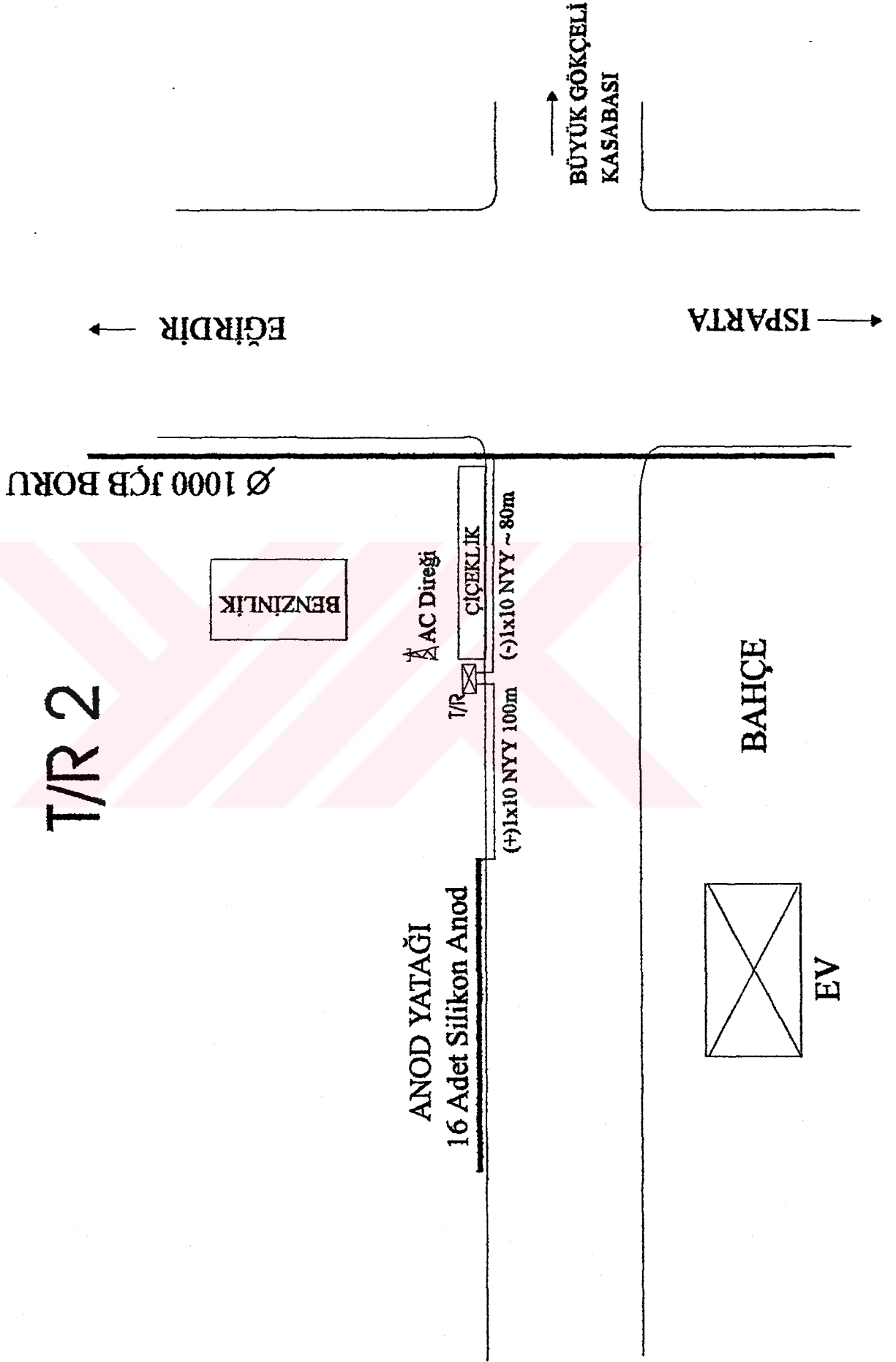
(+) 1x10 NYY ~ 50m

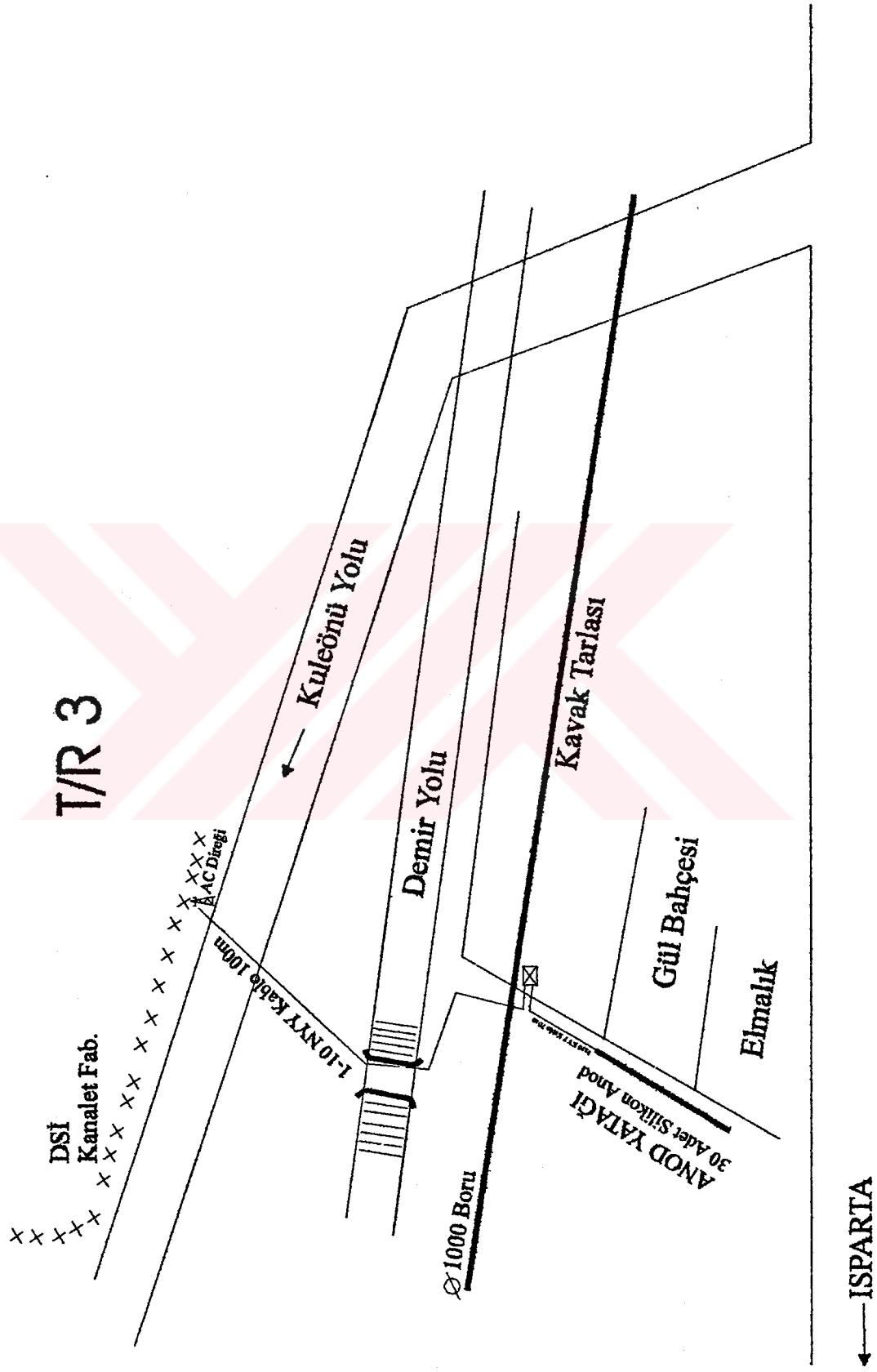
(-) 1x10 NYY Kablo ~ 250m

ANOD YATAĞI

15 Adet Silikon Anod

SU KANALI





T/R 4

 ϕ 1000 Boru

TEK

(-)

(+)-1x10 NYY 170m Kablo

T/R \boxtimes AC Direği**ANOD YATAğI**
25 Adet Silikon Anod

T/R 5

TAŞ DUVAR

TAŞ DUVAR

TAŞ DUVAR

TAŞ DUVAR

TAŞ DUVAR

TAŞ DUVAR

ANOD YATAĞI
44 Adet Silikon Anod

**BELEDİYE
SAHASI**

**BELEDİYE
TAMİRHANESİ**

(+) 1x10 NYY 100m

AC
Direği

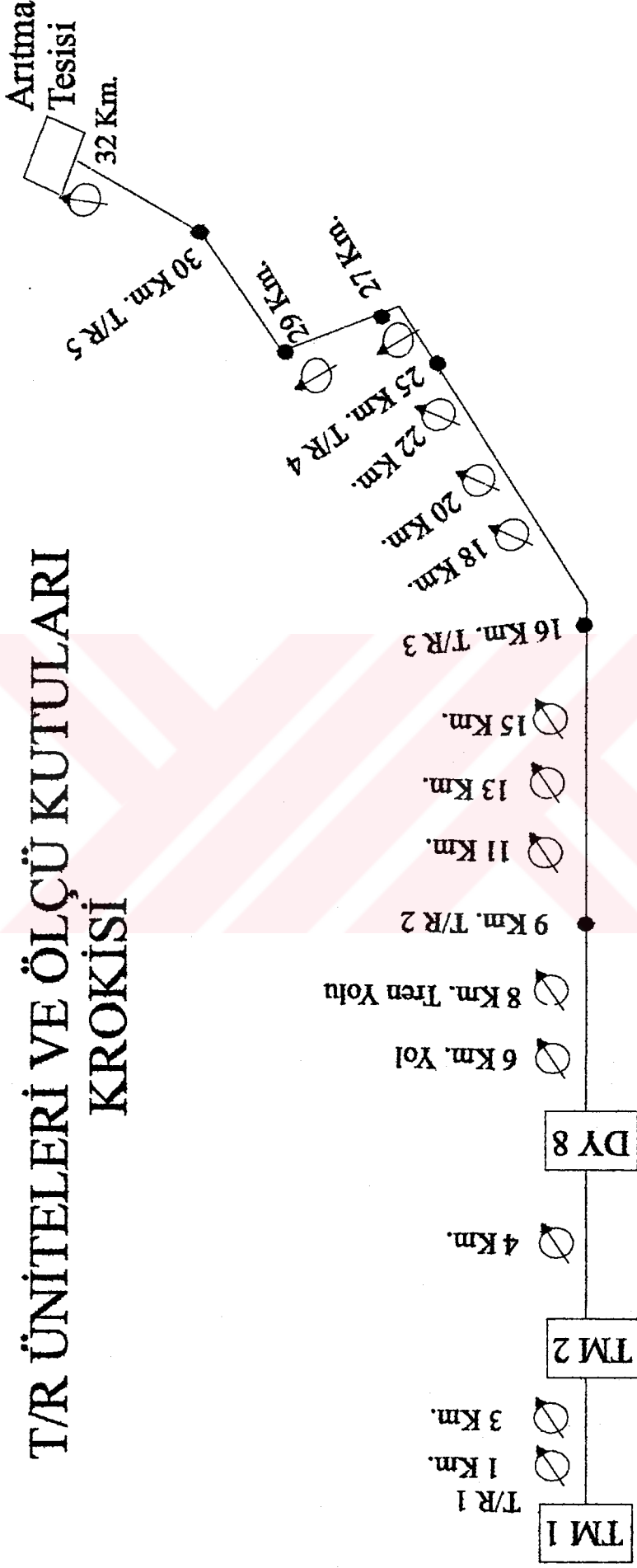
(-) 1x10 NYY 80m

TAŞ DUVAR

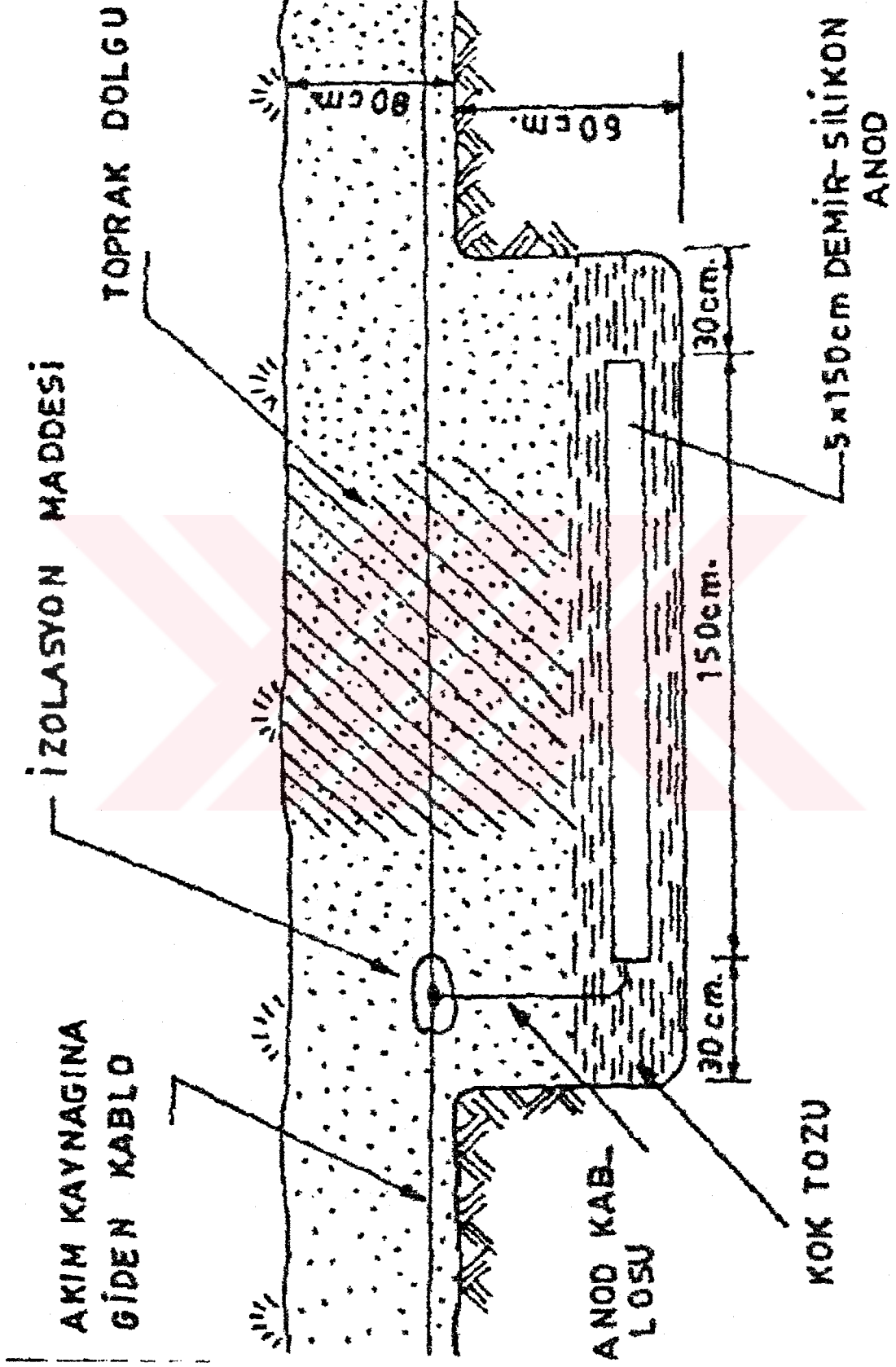
Ø 1000 BORU

DERE YATAĞI (Kuru Dere)

T/R ÜNİTELERİ VE ÖLÇÜ KUTULARI KROKİSİ



Boru hattı güzargahında : 14 adet ölçü kutusu
Anod yataklarında : 10 adet ölçü kutusu
TOPLAM : 24 adet ölçü kutusu



5x150 cm boyutlarındaki bir demir- silikon anodun 30 cm kalınlığındaki kok tozu içine yatay olarak yerleştirilmesi

KAYNAKLAR

- [1] YALÇIN, H., KOÇ, T.,
“Demir ve çelik yapıların korozyonu ve katodik korunması” İller Bankası Genel Müdürlüğü, sayfa 123-202, ANKARA 1991
- [2] ÜNERİ, S., “Korozyon Mühendisliği”, SEGEN, sayfa 341, Ankara 1981
- [3] YILDIRIM, Y., U., “Katodik korunma” YUY yayınları, İstanbul 1975
- [4], “Katodik korunma” ALKAN yayınları, Balıkesir 1986
- [5] Borusan pastası, 22. İstanbul
- [6] ÇAKMANUS, İ., “Petrol boru hatları”, Mühendis ve Makine, Ankara 1995
- [7] Türk Standartları Enstitüsü TSE 5141/Nisan 1987, Ankara
- [8] H. YALÇIN, T. KOÇ, Çelik Boru Hatlarının Yeraltı Korozyonu, TÜBİTAK MAG - 590 Araştırma Projesi Raporu, Ankara, (1984)
- [9] H. YALÇIN, T. KOÇ, Yeraltı Çelik Boru Hatlarının Katodik Korunması, TÜBİTAK MAG - 683 Araştırma Projesi Raporu, (1988)
- [10] Türk Standartı, TS-4356, Çelik Borular, korozyona Karşı Koruma-Bitüm Esaslı Maddelerle Sıcak Olarak Kaplanması Kuralları, 19 Mart 1985, Ankara
- [11] Türk Standartı, TS-4357, Çelik Borular-Korozyona Karşı Koruma-Maden Kömürü Esaslı Maddelerle Sıcak Olarak Kaplanması Kuralları, 11 Nisan 1985, Ankara

- [12] Türk Standartı, TS-4359, koruyucu Kaplamalar, Atmosfer Etkisinde Kalan Çelik Yapılar İçin, 18 Şubat 1986, Ankara
- [13] Türk Standartı, TS-4363, Doğal Zeminlerin Elektrik Özgül Dirençlerinin Sahada Tayini, Genner Dört Elektrod Metodu İle, 11 Aralık 1984, Ankara
- [14] Türk Standartı, TS-5139, Çelik-Borular Korozyona Karşı Korumak İçin Polietilen Kaplanması Kuralları, 7 Nisan 1987, Ankara
- [15] Türk Standartı, TS-5140, Çelik Borular- Korozyona Karşı- Maden Kömürü Katranı Epoksi Reçinesi İle Kaplanması Kuralları, 7 Nisan 1987, Ankara
- [16] Türk Standartı, TS-5141, Yeralı Çelik Boru Hatlarının Katodik Korunması, Kuralları, 7 Nisan 1987, Ankara

EK I

KATODİK KORUMA İLE İLGİLİ TERİMLER

TARİFLER

1 - Anod

Anod, oksidasyon (Yükseltgenme) reaksiyonunun yürüdüğü elektroddur. Anodda doğru akım metalden elektrolite geçer.

2 - Galvanik Anod

Galvanik anod, standart elektrod potansiyeli demirden daha negatif olan magnezyum, çinko v.b. metal anodlardır.

3 - Yardımcı Anod

Yardımcı anod, dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinde, transformatör-redresör sisteminden katodik koruma devresine verilen doğru akımın pozitif ucunun bağlandığı grafit, metal veya alaşımlardır.

4 - Anod Yatağı Dolgu Malzemesi

Anod yatağı dolgu malzemesi, zemin içine yerleştirilen anodun elektrik direncini azaltmak için anod çevresine konulan iletken malzemedir.

5 - Elektrod

Elektrod, tanımı TS 43631'de verilmiştir.

6 - Elektrolit

Elektrolit, elektrik akımını ileten iyonları ihtiva eden çözelti, toprak, su veya rutubetli malzemelerdir.

7 - Elektrod Potansiyeli

Elektrod potansiyeli, bir referans elektroda karşı ölçülebilen potansiyeldir.

NOT - Bu ölçme sırasında devreden olabildiğince az (ihmal edilebilecek mertebede) akım geçmelidir.

8 - Boru/Zemin potansiyeli

Boru/zemin potansiyeli, zemin içine yerleştirilmiş borunun bir referans elektroda karşı ölçülen potansiyelidir.

9 - Açık Devre Boru/Zemin Potansiyeli

Açık devre boru/zemin potansiyeli, boruya dış akım uygulanmadan veya galvanik anod bağlantısı olmadan ölçülen boru/zemin potansiyelidir.

10 - Kapalı Devre Boru/Zemin Potansiyeli (Sistem Potansiyeli)

Kapalı devre boru/zemin potansiyeli, boru koruyucu akım altında iken ölçülen boru/zemin potansiyelidir.

11 - Bakır/Bakır Sülfat Referans Elektrodu

Bakır/bakır sülfat referans elektrodu, doymuş bakır sülfat çözeltisi içine saf bakır metal daldırılarak yapılan elektroddur. (Hazırlanışı TS 4363 de açıklanmıştır).

12 - Referans Elektrod

Referans elektrod, tarifi TS-4363 de verilmiştir.

13 - Korozyon

Bu standardda korozyon, metal ve alaşımlarının kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonlar ile metalik özelliklerin kaybetmesi olayıdır.

14 - Katodik Koruma

Katodik koruma, zemin içine gömülü veya su altında bulunan yapay (suni) olarak katod haline getirilmesidir. (katod da yükseltgenme(oksidasyon) olamayacağından bu yolla katod haline getirilmiş boruda korozyon olmaz).

15 - Dış Akım Kaynağı ile Katodik Koruma

Dış akım kaynağı ile katodik koruma, bir dış akım kaynağının negatif (-) ucu boruya, pozitif ucu yardımcı anod veya anodlara bağlanarak borunun katod haline getirilmesidir.

16 - Galvanik Anod ile Katodik Koruma

Galvanik anod ile katodik koruma, boruya yeter miktarda galvanik anod bağlayarak borunun katod haline getirilmesidir.

17 - Galvanik Anod Ömrü

Galvanik anod ömrü, anodun belli bir akım şiddetinde akım verebildiği maksimum süredir.

18 - Galvanik Anod Verimi

Galvanik anod verimi, anod kütlelerinin elektrik akımına dönüştürülebilir yüzdesidir.

19 - Katodik Koruma Akım İhtiyacı

Katodik koruma akım ihtiyacı, bir boru hattını katodik olarak koruyabilmek için gerekli olan minimum elektrik akım şiddetidir.

20 - Zemin

Zemin, tarifi TS - 4363 de verilmiştir.

21 - Zemin Elektrik Özgül Direnci

Zemin elektrik özgül direnci, tarifi TS-4363 da verilmiştir.

22 - Zemin Redoks Potansiyeli

Zemin redoks potansiyeli, adı geçen zemin içinde platin elektrodur bir referans elektrod olarak kullanılarak ölçülen elektrod potansiyeli ve zemin pH değerinden hesaplanan potansiyel değeridir.

23 - Çelik Boru

Çelik boru, TS 346 ve TS 416 da özellikleri verilen dikişli ve dikişsiz, genel amaçlar için kullanılan borulardır.

24 - Kaçak Akımlar

Kaçak akımlar, bir doğru akım elektrik kaynağından veya başka bir yapıdan zemin içine dağılan elektrik akımlarıdır.

25 - Kaçak Akım Korozyonu

Kaçak akım korozyonu, zemin içindeki kaçak akımların sebep olduğu korozyondur.

26 - Dış (Cebri) Akım

Dış akım (cebri akım), katodik koruma devresine bir dış akım kaynağından verilen doğru akımdır.

27 - Boru Akımı

Boru akımı, katodik koruma yapılmış bir boru metalinden geçen doğru akımdır.

28 - Akım Süreklilik Bağı (Akım Köprüsü)

Akım süreklilik bağı, borunun ek ve bağlantı yerlerinde oluşan dirençlerin etkisini ortadan kaldıracak koruma akımının iletilmesini sağlayan metalik bağlardır.

29 - Akım Yoğunluğu

Akım yoğunluğu, birim yüzdeye düşen akım şiddetidir (Birimi A/m^2).

30 - Devre Gerilimi

Devre gerilimi, açık devre boru/zemin potansiyeli ile açık devre anod/zemin potansiyeli arasındaki farktır.

31 - Polarizasyon

Polarizasyon, bir elektrodan akım geçmesi sonucu elektrod potansiyelinde meydana gelen değişimdir.

32 - Boru/Boru Potansiyeli

Boru/boru potansiyeli, aynı zemin içine gömülü olan iki boru arasında ölçülen potansiyel farkıdır.

33 - Zemin/zemin Potansiyeli

Zemin/zemin potansiyeli, aynı zemin içine gömülü olan iki boru arasında ölçülen potansiyel farkıdır.

34 - Boru Kaplaması

Boru kaplaması, tarifi TS-2169 da verilmiştir.

35 - Yalıtkan Ayırma Elemanları

Yalıtkan ayırma elemanları, boru ek yerlerine konulan ve elektrik akımının bir borudan diğerine geçmesini önleyen yalıtkan flanş ve contalardır.

36 - Transformatör-Redresör Ünitesi

Transformatör-redresör ünitesi, bir akım kaynağından verilen alternatif akımı doğru akıma çeviren ve çıkış potansiyelinde ayarlanabilen sistemdir.

37 - Transformatör-Redresör Verimi

Transformatör-redresör verimi, transformatör-redresör ünitesine giren alternatif akım enerjisinin doğru akıma dönüşen yüzdesidir.

NOT - Transformatör-redresör verimi aşağıdaki eşitlikte hesaplanır.

$$\% \text{ Transformatör-redresör verimi} = \frac{\text{Doğru akım gerilimi (V) x Doğru akım şiddeti (A)}}{\text{Alternatif akım gerilimi (V) x Alternatif akım şiddeti (A)}}$$

38 - Polarizasyon Kayması

Polarizasyon kayması, bir dış akım uygulanarak polarize edilmiş olan bir elektrodun potansiyeli de, akım kesildikten hemen sonra ölçülen potansiyel arasındaki farktır.

39 - Anod Akım Kapasitesi

Anod akım kapasitesi, 1 kg akım metalinin verebildiği amperxsaat olarak akım miktarıdır.

40 - Sülfat İndirgeyici Bakteriler

Sülfat indirgeyici bakteriler, oksijensiz zeminlerde bulunan ve sülfat iyonunu indirgeyerek sülfür haline dönüştüren bakteri türleridir.



EK II
TABLolar

Ek II.A. Demirin değişik akım yoğunluğundaki korozyon hızları

Akım Yoğunluğu	Korozyon Hızı	
	MPY (mm/yıl)	GMD (g/m ² gün)
1 A/cm ²	0,0116	0,250
10	0,1159	2,501
100	1,1591	25,006
200	2,3181	50,001
300	3,4772	75,017
400	4,6362	100,00
500	5,7953	125,028
600	6,9543	150,034
700	8,1134	175,099
800	9,2734	200,045
900	10,4315	225,050
1 mA/m ²	11,5905	250,056
2	23,1810	500,113
3	34,7715	750,169
4	46,3620	1000,226
5	57,9225	1250,282
6	69,5430	1500,339
7	81,1335	1750,395
8	92,7240	2000,452
9	104,3145	2250,508
10	115,9050	2500,565

$$1\text{mm/yıl} = 11,5905 (i)$$

$$(i = \text{mA/cm}^2)$$

$$1 \text{ GMD} = 250,056 (i)$$

Ek II.B. Korozyon hız birikimleri

Metallerin korozyon hızları prensip olarak iki ayrı şekilde ifade edilir.

1 - Birim zamanda, birim yüzeyde meydana gelen kütle kaybı,

2 - Birim zamanda metal yüzeyde meydana gelen kalınlık azalması

Korozyon akım yoğunluğunun bilinmesi halinde, Faraday Kanunu yardımıyla korozyon hızı hesaplanabilir.

Faraday elektroliz formülü :

$$m = \frac{Mit}{zF}$$

Burada,

m : Korozyona uğrayan metal kütlesi, g

M : Atom ağırlığı

z : Elektron sayısı

I : Korozyon akımı, A

t : zaman saniyedir.

1 cm² yüzeyde, 1 günde korozyona uğrayan metal kütlesi,

$$m = \frac{Mi(86400)}{z(96500)} = 0,895 \frac{Mi}{z} \text{ g/cm}^2 \cdot \text{gün}$$

veya 1 m² yüzey alan için,

$$m = 0,895 \frac{M(10000)}{z(1000)} = 8,95 \frac{Mi}{z} \text{ g/m}^2 \cdot \text{gün}$$

Burada, i : mA/cm² dir.

1 yılda, metal yüzeyinde meydana gelen kalınlık azalması,

$$\frac{m}{p} = \frac{Mi(86400)(365)}{z(96500)p} = 327 \frac{Mi}{pz}$$

Burada,

$$p : \text{g/cm}^3$$

$$i : \text{mA/cm}^2$$

olarak alınır, ve $V = m/p \text{ cm}^3$ cinsinden yazılırsa,

$$h = 327 \frac{Mi}{z(1000)p} = 0,327 \frac{Mi}{pz} \text{ cm/yıl}$$

$$h = 3,27 \frac{M}{zp} \text{ mm/yıl olarak bulunur.}$$

Daha önce hesaplanmış olan $(\text{g/m}^2 \cdot \text{gün})$ korozyon hızı değeri burada yerine konularak,

$$(\text{mm/yıl}) = (\text{g/m}^2 \cdot \text{gün}) \frac{0,365}{p} \text{ veya,}$$

$$(\text{g/m}^2 \cdot \text{gün}) = 2,74 (p) \text{ (mm/yıl) bulunur.}$$

Ek II.C. Değişik Korozyon hızlarının birbirlerine dönüştürme faktörleri

Bilinen korozyon hızı	Çarpılacak sayı	Elde edilecek korozyon hızı
MDD mg/dm ² . gün	10	GMD g/m ² . gün
MDD mg/dm ² . gün	0,03652/p (*)	MPY mm/yıl
GMY g/m ² . yıl	0,0274	MDD mg/dm ² . gün
IPY Pound-ft ² . year	133,8	MDD mg/dm ² . gün
Korozyon akım yoğunluğu	$8,95 \frac{M}{z}$ (**)	GMD g/m ² . gün

(*) : Söz konusu metalin yoğunluğu , g/cm³

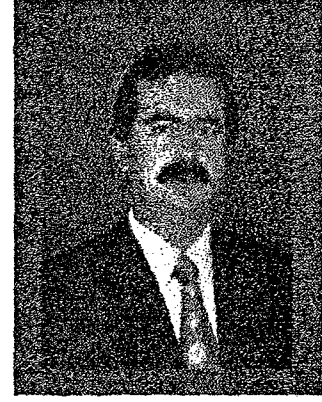
(**) : M = atom ağırlığı, z = değerlik

Ek II . D. Yeraltı kabloların (NYY) elektriksel direnci

Kablo Kesiti TS-212	1m uzunluğundaki kablunun 25°C deki direnci, 10 ⁻³ Ohm
4	4,18
6	2,79
10	1,67
16	1,05
25	0,67
35	0,48
50	0,33
70	0,24
95	0,18
120	0,14
150	0,11
185	0,090
200	0,084
240	0,070

GEÇMİŞ

10.01.1963 tarihinde Isparta'da doğdum. İlk, orta ve lise eğitimi tamamladıktan sonra 1981 yılında 1. D. M. M. Akademisi Makine Mühendisliği bölümüne girdim. 19.10.1987 tarihinde Isparta Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi'nden Makine Mühendisi olarak mezun oldum.



Askerliğimi 201. dönem yedek subay olarak 3. Ana Jet Üsümlüğü'nde inşaat kontrol mühendisi olarak yaptım.

1989-1992 yıllarında bir özel sektör fabrikasında idareci olarak çalıştıktan sonra Ağustos 1992 tarihinde Isparta Belediyesinin açmış olduğu memuriyet sınavını kazanarak göreve başladım.

Halen Isparta Belediyesinde; Su Otobüs ve Tesisler Müdürlüğü'nde görevimi sürdürmekteyim.