

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KATODİK KORUMA SİSTEMLERİ, YENİ UYGULAMALAR VE  
EKONOMİK ANALİZ**

Elektrik Mühendisi Emre METİN

**FBE Elektrik Mühendisliği Bölümü Elektrik Tesisleri Programında Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı** : Yrd. Doç. Dr. Ferit ATTAR (Yıldız Teknik Üniversitesi)

**İSTANBUL, 2007**

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

|                                                         |      |
|---------------------------------------------------------|------|
| SİMGE LİSTESİ .....                                     | vi   |
| KISALTMA LİSTESİ .....                                  | vii  |
| ŞEKİL LİSTESİ .....                                     | viii |
| ÇİZELGE LİSTESİ .....                                   | xi   |
| ÖNSÖZ .....                                             | xii  |
| ABSTRACT .....                                          | xiv  |
| GİRİŞ .....                                             | 15   |
| 1. KOROZYON .....                                       | 15   |
| 1.1 Korozyon Reaksiyonları .....                        | 15   |
| 1.2 Korozyon Hücresi Ve Akımı .....                     | 16   |
| 1.3 Nerst Skalası .....                                 | 16   |
| 1.4 Korozyona Etki Eden Parametreler .....              | 18   |
| 1.5 Korozyon Tipleri .....                              | 20   |
| 1.5.1 Korozyon Hücreleri(Korozyon Tipleri).....         | 20   |
| 1.5.1.1 Farklı Çevreler .....                           | 20   |
| 1.5.1.2 Oksijen Konsantrasyonu:.....                    | 20   |
| 1.5.1.3 Nemli/Kuru Elektrolitler: .....                 | 21   |
| 1.5.1.4 Homojen Olmayan Toprak .....                    | 22   |
| 1.5.1.5 Beton / Toprak Ara yüzeyi .....                 | 22   |
| 1.5.1.6 Dolgu Katkısı:.....                             | 23   |
| 1.5.1.7 Biyolojik Etkiler: .....                        | 23   |
| 1.5.1.8 Galvanik Korozyon: .....                        | 23   |
| 1.5.1.9 Eski –Yeni Sendromu .....                       | 24   |
| 1.5.1.10 Farklı Alaşımlar:.....                         | 25   |
| 1.5.1.11 Metallerin Kirliliğinden dolayı Korozyon ..... | 25   |
| 1.5.1.12 Çizikli ve oluklu yüzeyler.....                | 25   |
| 1.5.1.13 Kaçak akım Korozyonu .....                     | 26   |
| 1.5.1.14 Doğru akımlı taşıma sistemleri .....           | 27   |
| 1.5.1.15 Kaynak makinaları ve işlemleri .....           | 27   |
| 1.5.1.16 Katodik Koruma Sistemleri .....                | 28   |
| 1.5.2 Metalurjik olarak Korozyon tipleri .....          | 29   |
| 2. KATODİK KORUMA; .....                                | 31   |
| 2.1 Katodik korumanın esasları; .....                   | 32   |
| 2.2 Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma;.....              | 33   |
| 2.3 Galvanik Anotlu Katodik Koruma .....                | 35   |

|         |                                                                                                                                   |    |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.4     | Katodik Koruma Sistemi Elemanları .....                                                                                           | 36 |
| 2.4.1   | Yatay Anot Yatakları .....                                                                                                        | 36 |
| 2.4.2   | Derin Kuyu Anot Yatakları .....                                                                                                   | 38 |
| 2.4.3   | Yardımcı Anotlar .....                                                                                                            | 40 |
| 2.4.4   | Anot Yatağı Dolgu Malzemesi (Metalurjik Kok Tozu) .....                                                                           | 41 |
| 2.4.5   | Katot Kablosu Bağlantı Metodu .....                                                                                               | 41 |
| 2.4.6   | Ölçü Kutuları .....                                                                                                               | 47 |
| 2.4.7   | Sabit Tip Referans Elektrod .....                                                                                                 | 50 |
| 2.4.8   | Galvanik Anot Yatağı ve Referans Elektrotlar İçin Dolgu Malzemesi .....                                                           | 53 |
| 2.4.9   | Magnezyum Anotlar .....                                                                                                           | 53 |
| 2.5     | Katodik Koruma Sistemleri Projelendirmesi .....                                                                                   | 57 |
| 2.5.1   | Zemin elektriksel özgül direnci ölçümü ve yorumlanması .....                                                                      | 57 |
| 2.5.2   | Zemin Redoks Potansiyelinin Ölçülmesi .....                                                                                       | 58 |
| 2.5.3   | Korunacak Metal Yapıların Tespiti ve Akım İhtiyacının Hesaplanması .....                                                          | 59 |
| 2.5.4   | Katodik Koruma Sistem Seçimi .....                                                                                                | 60 |
| 2.6     | Katodik Koruma Sistemlerinin Devreye Alınması .....                                                                               | 62 |
| 2.6.1   | Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma .....                                                                                            | 62 |
| 2.6.2   | Galvanik Anotlu Katodik Koruma .....                                                                                              | 62 |
| 3.      | BORU HATLARINDA DIŞ AKIM KAYNAKLI KATODİK KORUMA SİSTEMİNİN HESABI .....                                                          | 63 |
| 3.1     | Boru Hattı Karakteristikleri .....                                                                                                | 63 |
| 3.1.1   | Boru hattı uzunluğu : .....                                                                                                       | 63 |
| 3.1.2   | Boru çapı ve boru et kalınlığı: .....                                                                                             | 64 |
| 3.1.3   | Kaplama tipi , Kaplama kalınlığı , Koruma akım ihtiyacı .....                                                                     | 64 |
| 3.1.4   | Direncini bulmak için metodlar .....                                                                                              | 67 |
| 3.1.4.1 | Kısa hat metodu .....                                                                                                             | 67 |
| 3.1.4.2 | Uzun hat metodu .....                                                                                                             | 69 |
| 3.1.5   | Yeni tesis edilecek Boru hattında boru kaplama direnci ve koruma akım yoğunluğunun tesbiti .....                                  | 71 |
| 3.1.5.1 | Toprak spesifik direncinin (özgül direnç) ölçülmesi .....                                                                         | 71 |
| 3.1.5.2 | Kaplamasız boru hatlarında Koruma akım yoğunluğu .....                                                                            | 72 |
| 3.1.5.3 | Kaplamalı hatlar. ....                                                                                                            | 74 |
| 3.2     | Boru hatlarının dış akım kaynaklı katodik korunmasında koruma akım ihtiyacının belirlenmesi ve azamı koruma akımının hesabı ..... | 77 |
| 3.2.1   | Kesintisiz Boru hattında Katodik koruma koruma uygulaması .....                                                                   | 77 |
| 3.2.2   | Sistemdeki akım ve gerilim ifadeleri .....                                                                                        | 79 |
| 3.2.3   | Tek katodik koruma istasyonunun azamı koruma uzunluğu .....                                                                       | 80 |
| 3.2.4   | Gerekli katodik koruma istasyon sayısı .....                                                                                      | 81 |
| 3.3     | Kesintili Boru Hattında Katodik Koruma uygulaması .....                                                                           | 81 |
| 3.3.1   | Sistemdeki akım ve gerilim ifadeleri .....                                                                                        | 82 |
| 3.3.2   | Kesintili uygulamada katodik koruma sisteminin azamı boru koruma uzunluğu .....                                                   | 82 |
| 3.4     | Anod sayısı, anod tipi, anod yatağı uzunluğunun ve toplam anod yatağı direnci ve anod ömrünün belirlenmesi .....                  | 86 |
| 3.4.1   | Yatay anod yatağı ve anodların yatay yerleştirilmesi .....                                                                        | 87 |
| 3.4.2   | Anod yatağındaki anodların toplam direnci .....                                                                                   | 87 |
| 3.4.3   | Anod yatağı dolgu-toprak direnci .....                                                                                            | 88 |
| 3.4.4   | Anod yatağı direnci .....                                                                                                         | 89 |
| 3.4.5   | Anod bağlantı kablosu direnci .....                                                                                               | 89 |
| 3.4.6   | Boru hattının direnci .....                                                                                                       | 89 |

|          |                                                                                                    |     |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.4.7    | Boru hattı toprak direnci.....                                                                     | 89  |
| 3.4.8    | Yatay anod yatağı ve anodların düşey yerleştirilmesi .....                                         | 90  |
| 3.4.8.1  | Tek anod-toprak direnci.....                                                                       | 90  |
| 3.4.8.2  | Tek dolgu- toprak direnci .....                                                                    | 90  |
| 3.4.8.3  | Toplam anod yatağı direnci .....                                                                   | 90  |
| 3.4.8.4  | Anod yatağı işletme ömrünün belirlenmesi ve İşletme ömrüne göre anod<br>kütlesinin hesabı .....    | 95  |
| 3.5      | Transformator –Doğrultucu Ünitesinin (T/R)Gerilim ve Akım Değerlerinin<br>Belirlenmesi.....        | 97  |
| 3.5.1    | T/R ünitesinin akım değeri .....                                                                   | 97  |
| 3.5.2    | T/R Ünitesi gerilim değerinin belirlenmesi .....                                                   | 97  |
| 4.       | KATODİK KORUMA SİSTEMİ İLE KORUNAN BORU HATLARINDA<br>GERÇEKLEŞTİRİLEN ÖLÇÜ VE TESTLER .....       | 99  |
| 4.1      | Koruma Seviyesi Testleri .....                                                                     | 99  |
| 4.1.1    | Referans elektrodları.....                                                                         | 100 |
| 4.1.1.1  | Bakır/Bakır sülfat referans elektrodu.....                                                         | 100 |
| 4.1.1.2  | Gümüş klorid referans elektrodu .....                                                              | 101 |
| 4.1.1.3  | Minimum korunma noktaları .....                                                                    | 102 |
| 4.2      | Ölçüm hataları .....                                                                               | 103 |
| 4.2.1    | Referans elektrodunun doğruluğu .....                                                              | 103 |
| 4.2.2    | Referans elektrodunun temizlenmesi ve hazırlanması .....                                           | 104 |
| 4.3      | Test .....                                                                                         | 104 |
| 4.4      | IR düşümü veya Gerilim düşümü hatası.....                                                          | 106 |
| 4.5      | Anod gradyent hatası .....                                                                         | 106 |
| 4.6      | Temas direnci hatası .....                                                                         | 108 |
| 4.7      | Karma potansiyel hatası.....                                                                       | 109 |
| 4.8      | Katodik koruma potansiyelinin Pratik ölçümleri.....                                                | 109 |
| 4.8.1    | Test Kriterlerinin Seçimi .....                                                                    | 109 |
| 4.8.2    | Galvanik Katodik Koruma Sistemi.....                                                               | 110 |
| 4.8.3    | Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma Sistemi .....                                                     | 110 |
| 4.8.4    | -0,85 Volt-ON Kriteri için Test Metodları (Tek elektrod potansiyel ölçümü) ....                    | 112 |
| 4.8.5    | -0,85 Volt ani-OFF kriteri için test metodu .....                                                  | 113 |
| 4.8.6    | Yapı-Toprak Potansiyeli Sınırları.....                                                             | 114 |
| 4.8.7    | Adım-Adım Potansiyel Testi (Çift Elektrod Potansiyel Ölçüm Metodu) .....                           | 116 |
| 4.8.8    | İzole Flanşların veya İzole Kaplinlerin testi.....                                                 | 117 |
| 4.8.8.1  | Radyo frekanslı İzole Flanş test cihazı ile yapılan test.....                                      | 119 |
| 4.8.9    | Geçici Katodik Koruma İstasyonu Vasıtasıyla İzole Flanşın Test edilmesi .....                      | 119 |
| 4.8.10   | Toprak içindeki İzole Flanşların Testi.....                                                        | 120 |
| 4.8.11   | Katodik Koruma Uygulanmış Bir Boru Hattına ait Kesonun Testi.....                                  | 125 |
| 4.8.11.1 | Depolarizasyon Metodu ile Keson Testi .....                                                        | 127 |
| 4.8.12   | Keson Kısa Devre yerinin Belirlenmesi için Testler .....                                           | 128 |
| 4.8.13   | Birbirine Yakın yapılar arasındaki Kısa Devreler İçin Testler .....                                | 130 |
| 4.8.14   | Katodik korumalı ve katodik korumasız iki yapı arasında kısa devre için test ...                   | 130 |
| 4.8.15   | Katodik koruma sistemlerine sahip İki boru hattı arasındaki kısa devre testleri...                 | 132 |
| 4.9      | Akım Ölçü Test İstasyonları .....                                                                  | 134 |
| 4.9.1    | Girişim Test Prosedürleri.....                                                                     | 137 |
| 4.9.2    | Katodik Koruma sistemine ait Transformatör/Doğrultucu(T/R) ünitesinin neden<br>olduğu girişim..... | 138 |
| 4.10     | $R_{KC}$ Boru Kaplama Direncinin değerini bulmak için metotlar .....                               | 143 |

|           |                                                                                                                                                                        |     |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.10.1    | Kısa hat metodu .....                                                                                                                                                  | 143 |
| 4.10.2    | Uzun hat metodu .....                                                                                                                                                  | 146 |
| 4.11      | Katodik koruma sistemi ile korunan Boru Hatları üzerinde bulunan ölçü ve test istasyonları .....                                                                       | 148 |
| 4.11.1    | Boru hattı Potansiyel ölçü ve test istasyonu .....                                                                                                                     | 148 |
| 4.11.2    | Eş potansiyel Test ve Ölçü İstasyonu .....                                                                                                                             | 149 |
| 4.11.2.1  | Yabancı Boru Hattı ile Paralel gitme durumu .....                                                                                                                      | 149 |
| 4.11.2.2  | Yabancı Boru ile Kesişme durumu .....                                                                                                                                  | 150 |
| 4.11.3    | Keson Test ve Ölçü Kutusu .....                                                                                                                                        | 151 |
| 4.11.4    | Akım (IR-gerilim düşümü) ölçü ve test kutusu .....                                                                                                                     | 152 |
| 4.11.5    | İzole Flanş Test ve Ölçü Kutuları .....                                                                                                                                | 153 |
| 4.11.5.1  | İki hatlı Keson Test ve Ölçü Kutusu .....                                                                                                                              | 153 |
| 4.11.6    | 6-hatlı Keson Test ve Ölçü Kutusu .....                                                                                                                                | 154 |
| 4.12      | Boru-toprak potansiyel Test ölçü sonuçlarının değerlendirilmesi .....                                                                                                  | 155 |
| 4.12.1    | Galvanik anodlu Katodik Koruma Sistemlerinde .....                                                                                                                     | 155 |
| 4.12.2    | Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma Sistemleri .....                                                                                                                      | 157 |
| 4.12.3    | 100 mV Polarizasyon kriteri için Test Prosedürü .....                                                                                                                  | 160 |
| 4.13      | Doğru akım Kullanarak Hata Yerinin Bulunması .....                                                                                                                     | 165 |
| 4.14      | Katodik Koruma sistemi ile Korunan Boru Hatlarında Girişimin Kontrolü .....                                                                                            | 167 |
| 4.14.1    | Katodik olarak korunan boru hattı ile yabancı boru hattını birbiri ile bağlamak .....                                                                                  | 167 |
| 4.14.2    | Katodik olarak korunan boru hattının direnç üzerinden birbirleriyle bağlantısı .....                                                                                   | 169 |
| 4.14.3    | Galvanik anodlar kullanmak suretiyle girişimin kontrol altına alınması .....                                                                                           | 170 |
| 4.14.4    | Korunmuş boru hattına ilave kaplama yapılması .....                                                                                                                    | 171 |
| 4.14.5    | Akım çekme bölgesi ile akım deşarj bölgesi arasına, kaçak akım bölgesinde Yabancı yapı üzerine izole flanşlar veya bu bölgede metalik olmayan bölümler kullanmak ..... | 172 |
| 4.14.6    | Karma metot kullanılması .....                                                                                                                                         | 173 |
| SONUÇ     | .....                                                                                                                                                                  | 174 |
| KAYNAKLAR | .....                                                                                                                                                                  | 175 |
| ÖZGEÇMİŞ  | .....                                                                                                                                                                  | 176 |

## SİMGE LİSTESİ

|   |                                             |
|---|---------------------------------------------|
| M | Serbest haldeki metal kütlesi (gr)          |
| A | Metalin atomik kütlesi                      |
| I | Akım Şiddeti (Amper)                        |
| T | Zaman (sn)                                  |
| n | Değerlik sayısı                             |
| F | Faraday sabiti (96500 Coloumb / eşdeğer gr) |

## **KISALTMA LİSTESİ**

|       |                                                   |
|-------|---------------------------------------------------|
| IEEE  | Institute of Electrical and Electronics Engineers |
| İSKİ  | İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi               |
| BOTAŞ | Boru Hatları ile Taşıma AŞ                        |
| İGDAŞ | İstanbul Gaz Dağıtım AŞ                           |
| TCK   | Karayolları Genel Müdürlüğü                       |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                                                    | Sayfa |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 1.1 Farklı çevre yapılarının sebep olduğu korozyon hücreleri.....                                            | 20    |
| Şekil 1.2 Farklı Oksijen konsantrasyonlarından etkilenen Konsantrasyon hücreleri.....                              | 21    |
| Şekil 1.3 Suyun farklı konsantrasyonları tarafından etkilenen Konsantrasyon hücreleri.....                         | 21    |
| Şekil 1.4 Homojen olmayan topraklar tarafından etkilenen korozyon hücreleri.....                                   | 22    |
| Şekil 1.5 Beton ve Toprak Elektrotları tarafından etkilenen Korozyon hücreleri.....                                | 22    |
| Şekil 1.6 Farklı metaller tarafından etkilenen Galvanik korozyon hücreleri .....                                   | 24    |
| Şekil 1.7 Eski –Yeni Sendromu.....                                                                                 | 24    |
| Şekil 1.8 Çizikli ve oluklu yüzeyler .....                                                                         | 25    |
| Şekil 1.9 Dış anod ve katod un sebep olduğu galvanik korozyon hücresi .....                                        | 26    |
| Şekil 1.12 Katodik koruma sistemi tarafından neden olunan kaçak akım korozyon hücresi...                           | 28    |
| Şekil 2.3 Anod Kuyusu- Yatay detay çizimi .....                                                                    | 37    |
| Şekil 2.3 Derin Kuyu Anod Yatağı detay çizimi.....                                                                 | 39    |
| Şekil 2.4 Termal Kaynak Detayı .....                                                                               | 41    |
| Katodik Koruma Trafo Redresör Ünitesi .....                                                                        | 42    |
| Şekil 2.5 Örnek Trafo-Redresör Ünitesi Gösterge Ekranı.....                                                        | 43    |
| Şekil 2.6 Katodik Koruma Trafo Redresör Ünitesi Gösterge Paneli.....                                               | 43    |
| Şekil 2.7 Trafo Redresör Ünitesi Detay Resmi (Yağ Soğutmalı) .....                                                 | 44    |
| Şekil 2.8 T / R Ünitesi Detay Resmi (Hava Soğutmalı).....                                                          | 45    |
| Şekil 2.9 T / R Ünitesi Kaide Beton Montaj Resmi .....                                                             | 46    |
| Şekil 2.10 Ölçü Kutusu Detay çizimleri.....                                                                        | 48    |
| Şekil 2.12 Sabit Tip Referans Elektrod .....                                                                       | 51    |
| Şekil 2.13 Seyyar Tip Referans Elektrod .....                                                                      | 52    |
| Şekil 2.14 Wenner Metodu.....                                                                                      | 58    |
| Şekil 3.1 Dış akım kaynaklı katodik koruma istasyonunun genel görünüşü.....                                        | 63    |
| Şekil 3.2 Boru hattında kaplama direncinin ve koruma akım yoğunluğunun belirlenmesi .....                          | 66    |
| Şekil 3.3 Akım ölçü test kutusu.....                                                                               | 66    |
| Şekil 3.4 Kısa hat metodu ile kaplama direncinin tayini.....                                                       | 67    |
| Şekil 3.5 Uzun hat metodu ile kaplama direncinin tayini.....                                                       | 69    |
| Şekil 3.6 Wenner in 4-elektrod metoduna göre toprak spesifik direncinin ölçümü .....                               | 72    |
| Şekil 3.7 Boru hattı üzerindeki katodik koruma istasyonlarının birbirini etkilediği kesintisiz koruma metodu ..... | 77    |
| Şekil 3.8 Boru hattı üzerindeki katodik koruma istasyonlarının birbirini                                           |       |

|                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 3.10 Yatay anod yatağı anodların düşey yerleşimi .....                                             | 90  |
| Şekil 4.1 Yapının Potansiyelinin Ölçümü .....                                                            | 99  |
| Şekil 4.2 Bakır/Bakır sülfat elektrodu .....                                                             | 101 |
| Şekil 4.3 Gümüş klorid referans elektrodu .....                                                          | 102 |
| Şekil 4.3: Referans elektrodunun kalibrasyonu için düzenek.....                                          | 105 |
| Şekil 4.4: IR Düşümü veya Gerilim düşümü hatası .....                                                    | 106 |
| Şekil 4.5 Anod gradyent hatası .....                                                                     | 107 |
| Şekil 4.6 Temas direnci hatası .....                                                                     | 108 |
| Şekil 4.7 Karma potansiyel hatası .....                                                                  | 109 |
| Şekil 4.8 Bitüm kaplı bir boru hattında ölçülen ON-OFF potansiyelleri .....                              | 111 |
| Şekil 4.9 Tek elektrod metodu ile Potansiyel ölçümü .....                                                | 112 |
| Şekil 4.10 Dijital voltmetre kullanarak potansiyel değerlerinin görüntülenmesi .....                     | 113 |
| Şekil 4.11 Potansiyel pozitif olduğunda akımın ve boru hattı üzerindeki anodik alanın yönü               | 116 |
| Şekil 4.12 Potansiyel negatif olduğunda akımın ve boru hattı üzerindeki anodik alanın yönü               | 116 |
| Şekil 4.13 Potansiyel profili .....                                                                      | 117 |
| Şekil 4.14 İzole Flanş Testi .....                                                                       | 118 |
| Şekil 4.15 Radyo frekanslı İzole Flanş Test cihazı kullanımı .....                                       | 119 |
| Şekil 4.16 Geçici Katodik Koruma İstasyonu ile test.....                                                 | 119 |
| Şekil 4.17 6-Hatlı Test İstasyonunda İzole Flanşın Test edilmesi .....                                   | 120 |
| Şekil 4.18 İki Hatlı Test İstasyonunda İzole Flanş Testi .....                                           | 121 |
| Şekil 4.19 Magnetik Pusula Metodu ile İzole Flanşın Test edilmesi .....                                  | 122 |
| Şekil 4.22 Tipik Keson Tesisi .....                                                                      | 124 |
| Şekil 4.23 Katodik koruma sistemine sahip boru hattı üzerindeki Kesonun Test edilmesi ...                | 125 |
| Şekil 4.24 Geçici katodik koruma istasyonu tesis ederek Keson Testi .....                                | 126 |
| Şekil 4.25 Depolarizasyon metodu ile Kesonun test edilmesi .....                                         | 127 |
| Şekil 4.26 Boru hattı ile Keson arasına doğru akım uygulayarak kısa devre yerinin bulunması              | 129 |
| Şekil 4.27 İki yapı arasındaki kısa devre testi .....                                                    | 130 |
| Şekil 4.28 Geçici katodik koruma istasyonu tesis ederek iki boru hattı arasında<br>kısa devre testi..... | 131 |
| Şekil 4.29 Katodik koruma sistemine ait iki boru hattında kısa devre testi .....                         | 132 |
| Şekil 4.30 Akım test ölçü istasyonu .....                                                                | 134 |
| Şekil 4.31 Akım test ölçü istasyonundan direnç ve kalibrasyonun belirlenmesi .....                       | 135 |
| Şekil 4.32 Gerilim polaritelerine göre akımların akış yönleri .....                                      | 137 |

|                                                                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 4.33 Katodik koruma sisteminin neden olduğu girişimler.....                                                                           |     |
| Şekil 4.34 Boru hattı sistemlerinde girişim bölgelerinin tanımı.....                                                                        | 139 |
| Şekil 4.35 Yabancı boru hattı üzerinde adım-adım polarite .....                                                                             | 141 |
| Şekil 4.36 Korunmuş veya korunmamış yapıların normal ve anormal potansiyelleri. ....                                                        | 142 |
| Şekil 4.37 Kısa hat metodu ile kaplama direncinin tayini.....                                                                               | 143 |
| Şekil 4.38 Uzun hat metodu ile kaplama direncinin tayini.....                                                                               | 146 |
| Şekil 4.39 Potansiyel ölçü ve test istasyonu.....                                                                                           | 148 |
| Şekil 4.40 Yabancı Boru hattı ile paralel olma durumunda Eşpotansiyel Test ve Ölçü<br>İstasyonu. ....                                       | 149 |
| Şekil 4.41 Yabancı Boru Hattı ile kesişme durumunda Eş Potansiyel Test ve Ölçü Kutusu.                                                      | 150 |
| Şekil 4.42 Keson test ve Ölçü Kutusu .....                                                                                                  | 151 |
| Şekil 4.43 Akım(IR-düşümü) Test ve Ölçü Kutusu .....                                                                                        | 152 |
| Şekil 4.44 2-hatlı İzole Flanş Test ve Ölçü Kutusu.....                                                                                     | 153 |
| Şekil 4.45 6-hatlı İzole Flanş Test ve Ölçü kutusu.....                                                                                     | 154 |
| Şekil 4.46 Sağlam bir boru hattında yapılan ölçüm değerleri ve Kaplama direnci ve<br>koruma akım yoğunluğu değerleri .....                  | 162 |
| Şekil 4.47 Boru hattında yabancı bir yapı ile olan temas sonucu elde edilen ölçme sonuçları<br>ve kaplama direnci ve akım yoğunlukları..... | 163 |
| Şekil 4.48 Akım ölçü test kutusundan ölçümlerin alınması .....                                                                              | 165 |
| Şekil 4.49 Yabancı bir boru hattı ile elektriksel temas yerinin bulunması için gerekli ölçümler                                             | 166 |
| Şekil 4.50 Katodik korumalı boru hattının yabancı boru hattı ile doğrudan bağlanması.....                                                   | 167 |
| Şekil 4.51 Birbiri ile İzole flanş üzerinden birleşen iki boru hattı için tesis edilen<br>Test ve ölçü kutusu. ....                         | 168 |
| Şekil 4.52 Boru hatları arasındaki bağlantıların doğrudan yapılması .....                                                                   | 169 |
| Şekil 4.53 Yabancı boru hattı ile bağlantının direnç üzerinden yapılması.....                                                               | 169 |
| Şekil 4.54 Galvanik anodlar tesis etmek suretiyle girişimin kontrol altına alınması .....                                                   | 170 |
| Şekil 4.55 İlave kaplama yapmak suretiyle girişimin kontrol altına alınması.....                                                            | 171 |
| Şekil 4.56 İzole flanşlar veya izole bölümler kullanmak suretiyle girişimin kontrol altına<br>alınması.....                                 | 172 |
| Şekil 4.57 Karma metot kullanarak girişimin kontrol altına alınması.....                                                                    | 173 |

## ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

|                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Çizelge 1.1 Anodik ve Katodik reaksiyonlar.....                                                       | 15  |
| Çizelge 1.2 Nerst Skalası.....                                                                        | 17  |
| Çizelge 1.3 Çeşitli Metal ve Alaşımların Cu / CuSO <sub>4</sub> elektroduna göre potansiyelleri ..... | 18  |
| Çizelge 1.4 Anodik ve Katodik reaksiyonlar.....                                                       | 19  |
| Çizelge 2.1 Elektrod potansiyeli.....                                                                 | 31  |
| Çizelge 2.2 Dolgu Malzemeleri.....                                                                    | 53  |
| Çizelge 2.3 Magnezyum anotlarda istenmeyen elementler .....                                           | 53  |
| Çizelge 2.4 Magnezyum Anotların Elektrokimyasal Özellikleri .....                                     | 54  |
| Çizelge 2.5 Magnezyum Anotların Kimyasal Bileşimleri.....                                             | 54  |
| Çizelge 2.6 Rezistiviteye göre zeminin korozyonluk özelliği .....                                     | 57  |
| Çizelge 2.7 Redoks potansiyeline göre zeminin korozyonluk özelliği.....                               | 59  |
| Çizelge 3.1 Spesifik kaplama dirençlerinin karşılaştırılması .....                                    | 64  |
| Çizelge 3.2: $\frac{U_{OFF}}{U_{ON}} = \frac{1}{6}$ gerilim oranlarına göre düzeltme faktörleri ..... | 68  |
| Çizelge 3.3 Toprak spesifik direnç sınıflandırılması.....                                             | 73  |
| Çizelge 3.4 Kaplamasız hatları boru koruma akım yoğunluğu .....                                       | 74  |
| Çizelge 3.5 Kaplamalı çelik yapılarda katodik koruma koruma akım yoğunluğu ihtiyacı .....             | 76  |
| Çizelge 3.6 Toprak özgül direncine göre kaplama direnci.....                                          | 76  |
| Çizelge 4.1 Toprak içinde bulunan yapıların potansiyel sınır değerleri.....                           | 115 |
| Çizelge 4.2 Kısa devre testi .....                                                                    | 133 |
| Çizelge 4.3 $\frac{U_{OFF}}{U_{ON}} = \frac{1}{6}$ gerilim oranlarına göre düzeltme faktörleri.....   | 144 |

## ÖNSÖZ

Bu tez Katodik Koruma Sistemlerinin tanıtılması ve disiplinler arası bir mühendislik çözümü olarak Elektrik Mühendisliği alanında da anlaşılması amacıyla yazılmıştır.

Katodik koruma sistemi toprağa gömülü ve sıvı içindeki metalik yapıların korozyonunu önlemek veya kontrol altına almak için kullanılan elektrokimyasal bir metottur. Katodik koruma sistemi korozyonu kontrol altına almak için elektrik akımına dayanan aktif bir sistemdir.

Katodik koruma uygulandığı alanlar

- a.) **Yeraltı yakıt ve petrol depolama tankları ve toprak seviyesi tank tabanları**
- b.) **Yakıt ve petrol dağıtım sistemleri**
- c.) **Toprak seviyesi veya üstündeki sıvı depolama tanklarının iç kısımları**
- d.) **İçme suyu dağıtım sistemleri**
- e.) **Doğal gaz dağıtım sistemleri**
- f.) **Sıkıştırılmış hava dağıtım sisitemleri**
- g.) **Yangın sistemleri**
- h.) **Kanalizasyon sistemleri**
- i.) **Deniz rıhtımlarının çelik kazıkları**
- j.) **İskele çelik kazıkları**

olarak sıralanabilir. Katodik koruma yapılmadığında ne gibi zararlar doğacağı yukarıdaki kullanım alanlarına bakıldığında rahatlıkla anlaşılacaktır. Katodik Koruma yapılmaması durumunda öncelikle maliyet sorunu ortaya çıkmaktadır. Maliyet ise sisteminin kurulma maliyetini, çevresel tahribat sonucu oluşabilecek maliyeti ve sistemin durması sonucu oluşacak zararlar göz önüne alınarak yapılır. Tabii ki maliyetten önce insan hayatı ve doğal çevre de göz önüne alınmalıdır. Özellikle şehir içi doğalgaz, içme suyu ve atık su borularının korunması insan hayatı için önemlidir.

Katodik koruma metalleri korumak amacıyla kullanılan tek yöntem değildir. Ancak mevcut uygulanabilir sistemler içerisinde optimum mühendislik çözümü olarak sıkça kullanılan bir çözümdür.

Bu tezin yazılmasında beni destekleyen hocam Yrd. Doç. Dr. Ferit ATTAR'a, bu konuda tez çalışması yapmamı destekleyen iş yerim Elektrik Mühendisleri Odası'na ve sabırları için aileme teşekkür ederim.

## ÖZET

Taş çağının sonunda metallerin keşfi ve kullanılması modern teknolojinin gelişiminde önemli adımlardan biridir. Çoğu temel metaller ne yazık ki kararlı değildir. Olumsuz ortamlarda korozyonun değişik oranlarıyla bozulabilirler. Korozyon reaksiyonu ve hangi metallere nasıl etki yaptığı büyük ekonomik anlam taşımaktadır.

Katodik korumanın aşamaları bilimsel olarak diğer koruma sistemlerine göre daha kısa açıklanabilir. Prensip olarak sıvı veya sulu ortamlardaki metallerin korozyonunun çözümü elektriksel gerilimle kontrol edilen elektrokimyasal bir prosesdir. Elektrokimya yasalarına göre reaksiyonun yönü ve oranı potansiyelin düşüşü ile birlikte azalacaktır. Tüm bu ilişkiler yüzyıldır bilinmesine rağmen katodik koruma sınırlı bir alanda kullanılmaktadır, uygulamalar genişletilmelidir. Katodik koruma elektrik mühendisliği alanında halen garip ve yabancı olarak görülüp geri planda kalmaktadır. Katodik koruma pratikte teoriden daha karmaşıktır.

Sıvılarla ve suyla temas eden malzemelerde katodik koruma genel olarak kullanılan tek yöntemdir. Fakat gelecekte endüstriyel alanlarda daha çok kullanılacaktır.

**Anahtar sözcük:** Katodik koruma, anod, ölçme

## **ABSTRACT**

The discovery and use of metals at the end of the Stone Age was one of the most important steps in the development of modern technology. Most base metals are, unfortunately, not stable. In unfavorable environments they can be destroyed at variable rates by corrosion. The study of such corrosion reactions and the methods by which corrosion of metals can be fought is a task of great economic significance.

The processes of cathodic protection can be scientifically explained far more concisely than many other protective systems. Corrosion of metals in aqueous solutions or in the soil is principally an electrolytic process controlled by an electric tension, i.e., the potential of a metal in an electrolytic solution. According to the laws of electrochemistry, the reaction tendency and the rate of reaction will decrease with reducing potential. Although these relationships have been known for more than a century and although cathodic protection has been practiced in isolated cases for a long time, it required an extended period for its technical application on a wider scale. This may have been because cathodic protection used to appear curious and strange, and the electrical engineering requirements hindered its practical application. The practice of cathodic protection is indeed more complex than its theoretical base.

At present cathodic protection is only generally applied for materials in contact with natural waters and soil, but future applications are envisaged for industrial plants and containers.

Keywords: Cathodic protection, Anod, measurement

## GİRİŞ

### 1. KOROZYON

Malzemelerin zaman içerisinde bulundukları ortamın etkisiyle tahribata uğraması korozyon olarak tanımlanır. Korozyonun en fazla görüldüğü malzeme türü ise elektrokimyasal reaksiyonlara eğilimlerinin yüksek olmasından dolayı metallerdir. Metallerin korozyona uğrama miktarları oksijene olan ilgileriyle alakalıdır. Serbest halde kararlı olan (Titanyum vb) metallerin korozyon dayanımları daha yüksekken, oksijen ilgisi nispeten daha fazla olan (demir vb) metaller daha kolay oksitlenme eğilimindedirler. Metallerin korozyona uğramaları için ana ölçüt oksijen ilgileriyle bunun yanı sıra birçok yan etken de mevcuttur. Mesela Alüminyum oksijen ilgisinin iyi olmasından dolayı korozyon direnci yüksek bir malzeme halini alır. Şöyle ki alüminyumun dış yüzeyi çok hızlı oksitlenir ve yüzey tamamen oksitlendikten sonra oksitlenme durur ve daha alt yüzeylerin oksitlenmesi engellenir. Yani yüzey oksitlenmeye karşı alüminyum oksitle kaplanmış olur. Halk arasında demirin korozyonuna paslanma adı verilir. Pas;  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  formüllü bir korozyon ürünüdür.

Metallerin korozyonları içerisinde en önemli ve tehlikeli boyutta olanı demirin korozyonudur. Üretim kolaylıkları ve düşük maliyet birçok yerde çelik ve demir kullanımını yaygınlaştırmıştır. Özellikle boru hatlarında ve tanklarda metal üzeri korozyona karşı korunma amaçlı kaplanmaktadır. Ancak bu kaplamanın herhangi bir noktasında oluşabilecek muhtemel tahribat neticesinde belli noktadan başlayarak çok hızlı şekilde korozyon mekanizması çalışmaya başlar

#### 1.1 Korozyon Reaksiyonları

Korozyon sırasında anodik (elektron veren, yükseltgenme ) reaksiyonlar ile katodik (elektron alan, indirgenme) reaksiyonları birlikte oluşur. Demir metalinin bulunduğu ortamdaki anodik ve katodik reaksiyonlar şunlardır.

Çizelge 1.1 Anodik ve Katodik reaksiyonlar

| Reaksiyon | Giren                                                      |               | Ürün                                       |
|-----------|------------------------------------------------------------|---------------|--------------------------------------------|
| Anodik    | $\text{Fe}^0$                                              | $\rightarrow$ | $\text{Fe}^{+2} + 2\text{e}^-$ (İyonlaşma) |
| Katodik   | $\frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$ | $\rightarrow$ | $2(\text{OH})^-$                           |

|        |                        |               |                        |
|--------|------------------------|---------------|------------------------|
|        | $2H^+ + 2e^-$          | $\rightarrow$ | $H_2$ (Asitli Ortamda) |
| Toplam | $Fe^0 + 1/2O_2 + H_2O$ | $\rightarrow$ | $Fe(OH)_2$ (Pas)       |

## 1.2 Korozyon Hücresi Ve Akımı

Metal herhangi bir elektrolit ortamda ortama elektron vererek korozyona uğrar. Ortama yayılan pozitif yüklü demir iyonları bir korozyon akımı meydana getirir. Faraday elektroliz kanunu korozyondan dolayı ortama yayılan metal miktarlarını hesaplamakta kullanılır.

$$M = A \times I \times t / n \times F$$

M = Serbest haldeki metal kütlesi (gr)

A = Metalin atomik kütlesi

I = Akım Şiddeti (Amper)

T = Zaman (sn)

n = Değerlik sayısı

F = Faraday sabiti (96500 Coulumb / eşdeğer gr)

Bu formül ışığında yapılacak olan hesaplamada 1 amperlik korozyon akımıyla yaklaşık olarak 9 kg çelik iyonlaşır.

## 1.3 Nerst Skalası

Metallerin oksitlenme eğilimini NERST Skalası yardımıyla öğrenebiliriz. Bu skala, 1 atmosferde ve 25°C 'de 1 mol / lt iyon sulu çözeltisi hidrojen gazı ile temastaki platin elektrodu standart referans elektrot kabul edilerek, her bir metalin 25 ° C'deki çözeltisinde metal ile çözelti arasında ölçülen potansiyel değerlerinin sırasındır. Nernst skalasında hidrojene göre daha negatif olan metaller daha aktif, yani iyonlaşma eğilimi daha fazla olan metali; hidrojene göre daha pozitif olan metaller ise daha soy, yani iyonlaşma eğilimi daha az olan metali karakterize etmektedir. Bir metalin aktifliği, elektronunu verme eğilimi, diğer bir ifade ile reaksiyona girme eğilimidir. Metaller aktifleştikçe daha kolay korozyona maruz kalır.

NERST Skalasında verilen elektrot potansiyelleri, standart potansiyellerdir. Pratikte su ve zemin içerisindeki elektrot potansiyeli için kalomel veya doygun Cu / CuSO<sub>4</sub> (Bakır / Bakır sülfat) referans elektrotu kullanılır. Bu elektrotların standart hidrojen elektroduna göre ölçülen elektrot potansiyelleri;

$$\text{Kalomel elektrot} = +0,280 \text{ V}$$

$$\text{Cu} / \text{CuSO}_4 = +0,316 \text{ V}$$

## NERST SKALASI

Çizelge 1.2 Nerst Skalası

| Metal     | Reaksiyon         |                                        | Potansiyeli (V) |
|-----------|-------------------|----------------------------------------|-----------------|
| Lityum    | $\text{Li}^+$     | $+ e^- \rightleftharpoons \text{Li}$   | -3,03           |
| Potasyum  | $\text{K}^+$      | $+ e^- \rightleftharpoons \text{K}$    | -2,925          |
| Sodyum    | $\text{Na}^+$     | $+ e^- \rightleftharpoons \text{Na}$   | -2,713          |
| Magnezyum | $\text{Mg}^{++}$  | $+ 2e^- \rightleftharpoons \text{Mg}$  | -2,371          |
| Alüminyum | $\text{Al}^{+++}$ | $+ 3e^- \rightleftharpoons \text{Al}$  | -1,66           |
| Çinko     | $\text{Zn}^{++}$  | $+ 2e^- \rightleftharpoons \text{Zn}$  | -0,763          |
| Krom      | $\text{Cr}^{++}$  | $+ 2e^- \rightleftharpoons \text{Cr}$  | -0,74           |
| Demir     | $\text{Fe}^{++}$  | $+ 2e^- \rightleftharpoons \text{Fe}$  | -0,44           |
| Kadmiyum  | $\text{Cd}^{++}$  | $+ 2e^- \rightleftharpoons \text{Cd}$  | -0,402          |
| Nikel     | $\text{Ni}^{++}$  | $+ 2e^- \rightleftharpoons \text{Ni}$  | -0,23           |
| Kalay     | $\text{Sn}^{++}$  | $+ 2e^- \rightleftharpoons \text{Sn}$  | -0,14           |
| Kurşun    | $\text{Pb}^{++}$  | $+ 2e^- \rightleftharpoons \text{Pb}$  | -0,126          |
| Hidrojen  | $2\text{H}^+$     | $+ 2e^- \rightleftharpoons \text{H}_2$ | 0               |
| Bakır     | $\text{Cu}^{++}$  | $+ 2e^- \rightleftharpoons \text{Cu}$  | +0,337          |
| Civa      | $\text{Hg}^{++}$  | $+ 2e^- \rightleftharpoons \text{Hg}$  | +0,792          |
| Gümüş     | $\text{Ag}^+$     | $+ e^- \rightleftharpoons \text{Ag}$   | +0,799          |
| Platin    | $\text{Pt}^{++}$  | $+ 3e^- \rightleftharpoons \text{Pt}$  | +1,2            |
| Altın     | $\text{Au}^{+++}$ | $+ 3e^- \rightleftharpoons \text{Au}$  | +1,45           |

Çizelge 1.3 Çeşitli Metal ve Alaşımların Cu / CuSO<sub>4</sub> elektroduna göre potansiyelleri

| <u>Metal veya Alaşım</u>      | <u>Elektrot Potansiyeli (V)</u> |
|-------------------------------|---------------------------------|
| Saf Magnezyum                 | -1,75                           |
| AZ-63 Magnezyum Alaşımı       | -1,60                           |
| Saf Çinko                     | -1,10                           |
| %5 Çinkolu Alüminyum          | -1,05                           |
| Saf Alüminyum                 | -0,80                           |
| Pik Demir                     | -0,50                           |
| Yumuşak Çelik (Temiz yüzeyli) | -0,50 ila - 0,80 arası          |
| Yumuşak Çelik (Paslı yüzeyli) | -0,20 ila - 0,50 arası          |
| Kurşun                        | -0,50                           |
| Bakır                         | -0,20                           |
| Pirinç                        | -0,20                           |
| Bronz                         | -0,20                           |
| Karbon, Grafit, Kok           | +0,30                           |

#### 1.4 Korozyona Etki Eden Parametreler

1. Ortamın Etkisi; Metallerin korozyona uğrama hızı büyük ölçüde bulunduğu ortamla alakalıdır. Ortamdaki nem miktarı, asitlik – baziklik durumu, havanın oksijenin veya suyun ortam tarafından geçirilebilme yeteneği, kaçak akımlar ve çeşitli bakteriler korozyonu başlatıcı ve hızlandırıcı etken olarak karşımıza çıkar.
2. Sıcaklığın Etkisi; Ortam sıcaklığının artması iyon hareketini artırarak korozyon hızını artırır. Ortam sıcaklığı –50 ila +50 °C derece arasında değişen toprak 0 derecede donar ve iyon hareket hızı minimuma düşer. Sıcaklığın artmasının oksijen yoğunluğunu düşürücü ve dolayısıyla korozyon hızını düşürücü etkisi de vardır. Ancak bu etki iyon hareketinin artmasından dolayı olan reaksiyonların yanında oldukça zayıf kalmaktadır.

3. Malzeme Seçiminin Etkisi; Korozyona sebep olan etkenlerden biri de birbiriyle potansiyel farkı bulunan metallerin bir arada kullanılmasıdır. Bu durum korozyonu başlatıcı ve hızlandırıcı bir etkindir. Mesela çok düşülen bir hata olarak çelik saçtan yapılan panoların üzerine konulan paslanmaz çelik cıvata ve contalar bulundukları bölgede galvanik korozyona sebep olmaktadır. Bu tip durumlarda ana yüzeydeki civatalar ya da contalar plastik civatalar ile izole edilmelidir.
4. Taneler Arası Özellik Farkları; Metallerin tane boyutları arasındaki farklar ve iki tanedeki farklı yoğunluklar neticesinde iki tanenin sınırı korozyon başlangıcı için uygun bir ortam oluşturur. Çok düşülen bir hata olarak paslanmaz çelik malzemeden imal edilen tanklar ve benzeri yapılardaki kaynak bölgeleri üretici tarafından hiç beklemediği halde korozyona uğramaktadır. Bu korozyonun önüne geçmenin yolu ya elektrodlu kaynak kullanmamak ya da önleyici olarak galvanik anotlu katodik koruma sistemi uygulamaktır.
5. Sistem Dizaynı; Korozi malzemelerin depolandığı sistemlerde korozi ortamının (su vb) birikmesini engellemeye yönelik tasarımlar uygulanmalıdır. Ayrıca arasında sıvı birikintisine sebep olabilecek çok ince aralıklardan kaçınılmalıdır.
6. Sistemin Bulunduğu Ortamın Oksijen Konsantrasyonu; Aynı tip toprak içerisinde çözünmüş hava konsantrasyonu her yerde aynı olmayabilir. Farklı havalandırma koşullarındaki sistemlerde yan yana duran sistem bir bölgede anot iken hemen yanındaki bölgede katot görevi görerek elektrokimyasal korozyona sebep olabilir.
7. Zemin Elektriksel Özgöl Direncinin Etkisi; Düşük elektriksel özgül dirençli bölgelerde iletkenliğin yüksek olması iyonik ortamın daha aktif olmasına sebep olmaktadır. Bundan dolayı korozyon mekanizması daha hızlı gelişir.

Çizelge 1.4 Anodik ve Katodik reaksiyonlar

| Zemin Elektrik Özgöl Direnci ( $\square$ ) | Zemin Korozi Özelliği |
|--------------------------------------------|-----------------------|
| $\square < 1.000$                          | Çok Korozi            |
| $1.000 < \square < 3.000$                  | Korozi                |
| $3.000 < \square < 10.000$                 | Orta Korozi           |
| $10.000 < \square$                         | Az Korozi             |

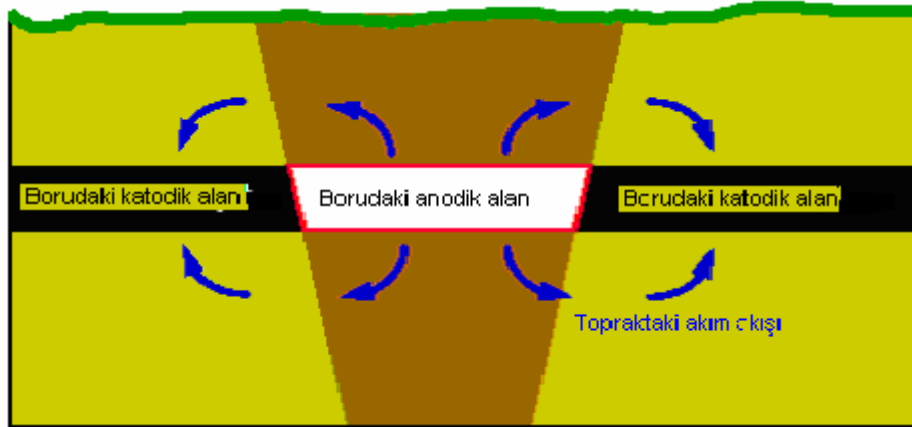
## 1.5 Korozyon Tipleri

### 1.5.1 Korozyon Hücreleri(Korozyon Tipleri)

#### 1.5.1.1 Farklı Çevreler

Boru hatları birçok farklı tip topraklardan geçer. Metaller farklı topraklarda farklı potansiyeller gösterir. Bu topraklardaki elektrik potansiyelleri farklı yerlerde bazen anod bazen de katod olur. Anod ve Katod her ikisinin de elektriksel ve elektrolitik sürekliliği akım akışı, oksidasyon sonucu ve hidrojen artmasına(Korozyon ve koruma) bağlıdır. Boru hattı sahası veya Tank sahası Anod çürümesine maruz kalır.

Eğer toprak Farklı yapılarıdaki yatay katmanları ihtiva ediyorsa enine birçok toprak katmanlarını geçen boru hatları korozyonun bu tiplerinden sık sık etkilenecektir.

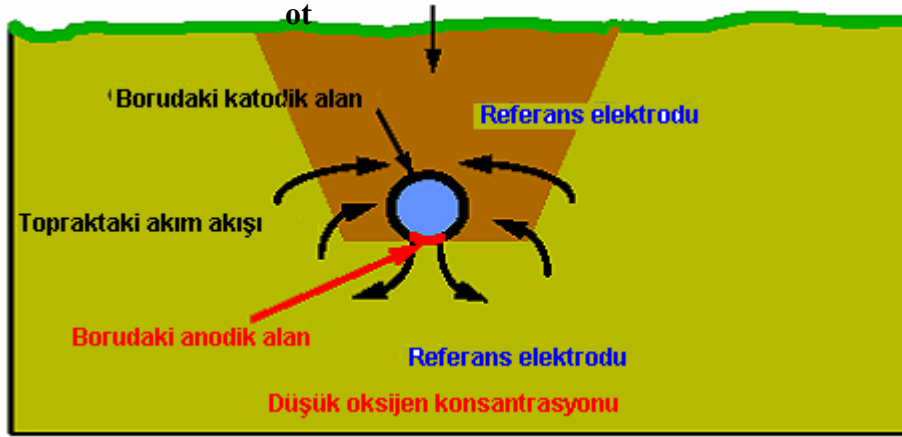


Şekil 1.1 Farklı çevre yapılarının sebep olduğu korozyon hücreleri

#### 1.5.1.2 Oksijen Konsantrasyonu:

Düşük oksijen konsantrasyonlu elektrolite maruz kalan boru hatları ve tankların yüzeyi yüksek oksijen konsantrasyonuna maruz kalan boru hattı veya tankların yüzeyine göre genellikle anodik özellik gösterir ve korozyona uğrar. Boru hattının veya tankın kazı veya toprak dolgu esnasındaki boru altında kalan toprak zemin düşük oksijen ihtiva eder, boru üzerine yapılan kum ve toprak dolgular daha yüksek oksijen eder, böylece boru altındaki

kısım anod, boru üzerinde kalan dolgu bölüm fazla oksijen içerdiğinden Katod özelliği gösterir



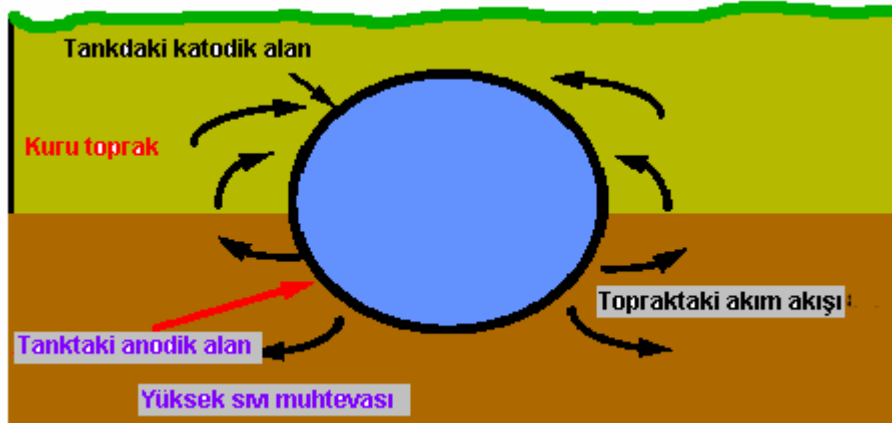
Şekil 1.2 Farklı Oksijen konsantrasyonlarından etkilenen Konsantrasyon hücreleri

#### 1.5.1.3 Nemli/Kuru Elektrolitler:

Az veya çok su içeren Elektrolitler boru veya tank sahalarında farklı kısımlarda farklı potansiyeller oluşturur.

Genellikle çok su içeren kısımlar elektrokimyasal korozyon hücrelerinde Anod olur.

Boru hattı sert bir bataklık alanından kuru bir alana geçerken veya tank yeri kuru bir toprakta iken tankın tabanı yeraltı su seviyesi ile doygunluğa ulaşır.



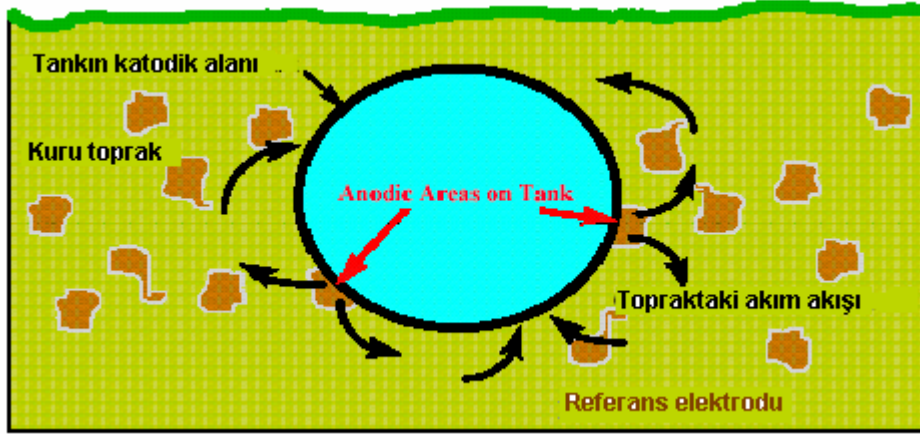
Şekil 1.3 Suyun farklı konsantrasyonları tarafından etkilenen Konsantrasyon hücreleri

#### 1.5.1.4 Homojen Olmayan Toprak

Boru hatları ve tanklar homojen olmayan farklı toprak yapılarında elektrolitler farklı elektrik potansiyelleri gösterir.

Bu homojen olmayan toprak karışık metallere oluşan mikroskobik öğelerin etkisinde kalır. Bu yüksek potansiyelli alanlarda Elektrokimyasal korozyon hücreleri Anod olur.

Boru hattı veya tankın daha sert zeminlerdeki farklı büyük potansiyellere maruz kalan kısmı bir elektrolittir veya bu kısımlarda küçük anodik alanlar ve büyük katodik alanları vardır.

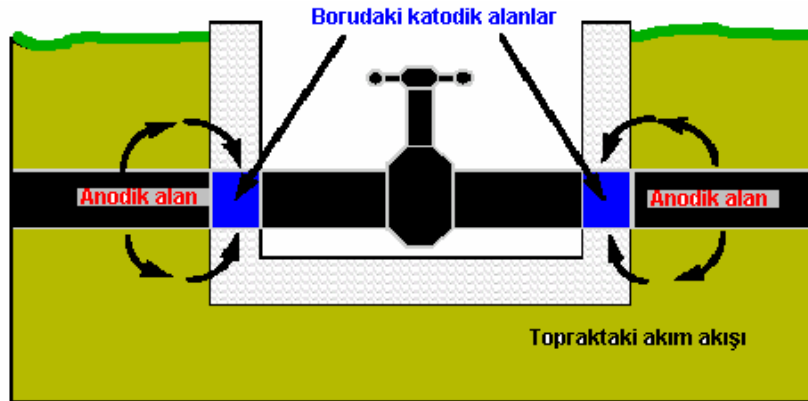


Şekil 1.4 Homojen olmayan topraklar tarafından etkilenen korozyon hücreleri

#### 1.5.1.5 Beton / Toprak Ara yüzeyi

Boru hatları ve tankların çimento ile temas eden yüzeyleri ve diğer elektrolit etkisindeki kısım her alanda farklı potansiyeller gösterir. Çimento ile temas etmeyen bölümler de elektrokimyasal korozyon hücreleri Anod olur.

Bir boru hattı ve tankın çimento ve toprak (veya su) ile temas eden kısmında korozyon hücreleri çok katı olur, çünkü metallerin Farklı büyük potansiyelleri iki farklı elektrot oluşturur.



Şekil 1.5 Beton ve Toprak Elektrotları tarafından etkilenen Korozyon hücreleri

#### **1.5.1.6 Dolgu Katkısı:**

Toprak içersine sonradan konulan homojen olmayan katkı maddeleridir.

Bu yapılarda herhangi bir metal Anod veya Katod durumunda olabilir. Ayrıca farklı şartlarda ki elektrolitlerde izoleli malzemeler veya metalik malzemeler gerçekten anot veya Katod konumunda olabilir(Galvanik Korozyon)

Genel örnek olarak paslı çelikten yeni çeliğe, Karbon veya Bakır bağlantısından Çeliğe olan bağlantılar (yeni) çelik yapıda, anod olur.

#### **1.5.1.7 Biyolojik Etkiler:**

Biyolojik Organizmalar metallerin yüzeyinde büyür ve nüfuz ederler, farklı çevre faktörlerinde metal yüzeylerinde kötü korozyona sebep olur.

Genellikle bakteriler 15 ° ile 45° arasındaki sıcaklıklarda korozyon büyümesini hızlandırır.

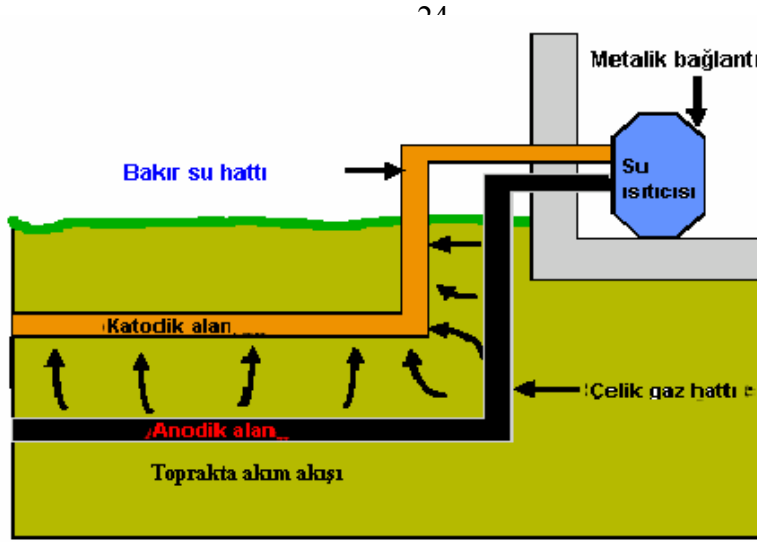
Bu bakteriler genellikle oksijen ihtiyaçlarına göre oksijenli veya oksijensiz alanlara göre sınıflandırılmıştır. Bunların metabolizması elektrokimyasal reaksiyon oluşturur, bu oluşum malzemelerin iyon akışını ve pH değerini engeller.

Bazı bakteriler Korozyon oranının kimyasal dengelerinin bozulmasında ve metal iyonlarının direk olarak oksidasyonunda ve indirgenmesinde etkilidir. Oksijenli ortamda yetişen bakteriler ve kimyasal konsantrasyon hücreleri, havadar ortamda oksijen oluşturma yeteneğindeki bakteriler korozyon oluşumunu hızlandırır.

Yapı kaplamasının bozulmasından dolayı birçok mineral ve organik asitler üretilir. Bu bozulmalar sonucu oluşan üretimler bazen yiyecek olarak kullanılır ve bundan dolayı korozyon hızlanır.

#### **1.5.1.8 Galvanik Korozyon:**

Bu tip korozyon metalin bir bölümünün Anod olması diğer kısmının Katod olmasından dolayı oluşan potansiyel farkı neticesi meydana gelen elektrokimyasal bir korozyon hücresidir. Aynı elektrolit içinde bulunan farklı metaller farklı potansiyellere sahiptir. Bu potansiyel farkı bir korozyon hücresinin gerilimini meydana getirir ve elektrokimyasal korozyon başlar, eğer elektrolit Anottan Katoda süreklilik arz ediyorsa ve elektron için metalik yol mevcutsa elektrik devresi tamamlanacak ve elektrokimyasal korozyon meydana gelecektir.

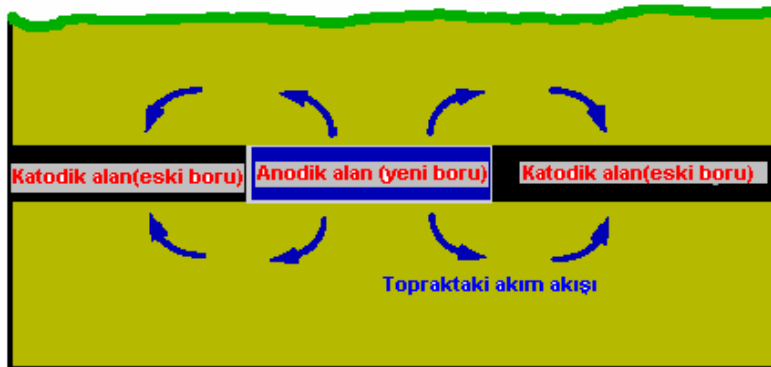


Şekil 1.6 Farklı metaller tarafından etkilenen Galvanik korozyon hücreleri

#### 1.5.1.9 Eski –Yeni Sendromu

Bu korozyon tipi her şeye rağmen çok etkili olabilir. Çelik üretimindeki yüksek enerji oluşumundan dolayı, çeliği bir metal sınıfına koyabiliriz. Yeni çelik eski paslanmış çeliğe göre daha aktiftir.

Potansiyel yeni çeliğin oluşturduğu yüksek negatif potansiyelden farklıdır ve eski çeliğin oluşturduğu düşük potansiyel Elektrokimyasal korozyon hücresinin bir sürücüsü veya gerilimidir. Eski kaplamasız çelik boru bu tip korozyona bir misal teşkil eder ve yeni borunun kaplamalı kısmı bir Anod paslanmış kısmı ise Katod görevi gösterir



Şekil 1.7 Eski –Yeni Sendromu

#### 1.5.1.10 Farklı Alaşımlar:

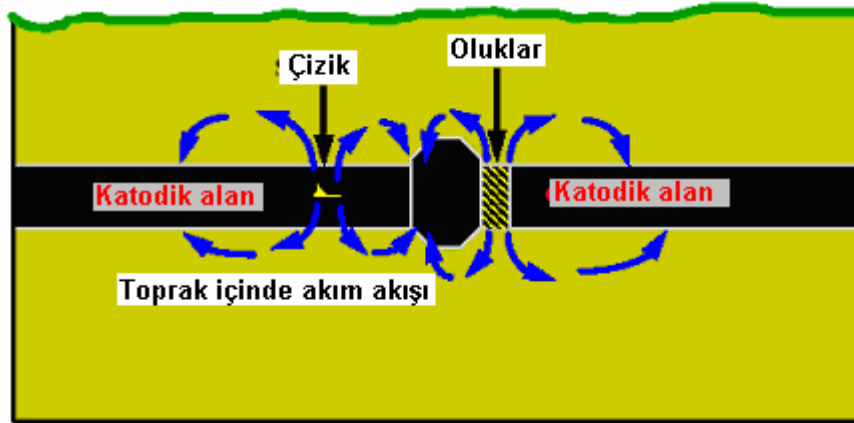
En çok görünen korozyon şeklidir. Zira 200 den fazla farklı metal alaşımı mevcuttur. Ayrıca metaller yüzde yüz saf değildir. Her farklı metal alaşımı farklı elektriksel potansiyele sahiptir. Bu farklı potansiyellerden dolayı korozyona sebep olacak elektromotor kuvvetleri üretilir ve farklı metal alaşımlarından dolayı korozyon ortaya çıkar.

#### 1.5.1.11 Metallerin Kirliliğinden dolayı Korozyon

Hiçbir imalatçı prosesi mükemmel değildir. Bazı pislikler metaller imal edilirken ve soğutulurken metal içine karışabilir. Metal yüzeyindeki bu pislikler korozyon hücresi meydana getiren elektrolitlere sebep olabilirler.

#### 1.5.1.12 Çizikli ve oluklu yüzeyler

Çizikli ve oluklu yüzeyler metal yüzeyinde anodik alanlar meydana getirir. Buradaki korozyon şekli eski-yeni sendromuna benzer. Boru hattının tesisi sırasında boruların kanallara yerleştirilmesi ve boruda yapılan işlemler esnasında boruda bu tür yüzeyler oluşur. Boru toprağa gömüldükten sonra bu durum daha da kötüleşir zira söz konusu yüzeylerde metal incelir.



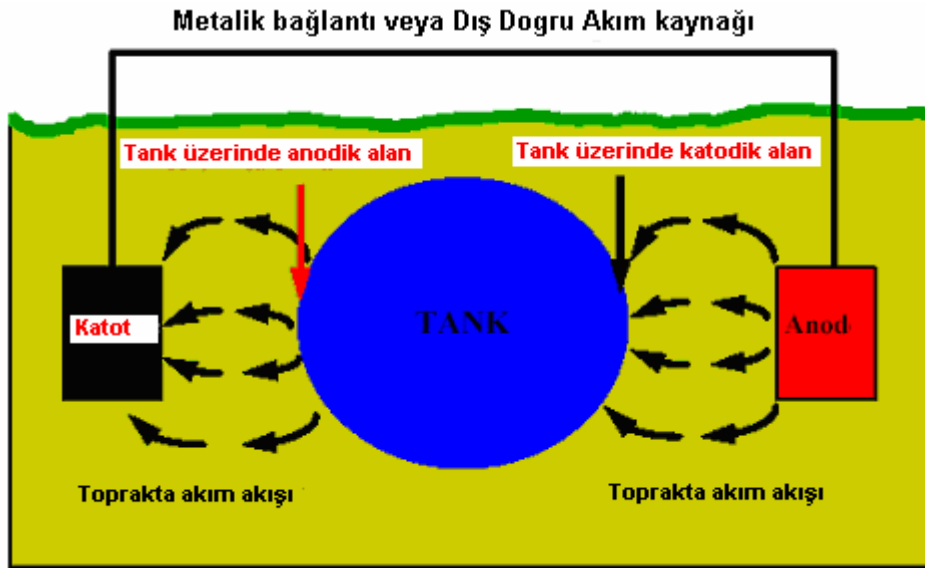
Şekil 1.8 Çizikli ve oluklu yüzeyler

### 1.5.1.13 Kaçak akım Korozyonu

Bu tip elektrokimyasal korozyon hücresi elektrolit içinde herhangi bir dış kaynağın yapı üzerine etkisiyle bir potansiyel gradyanının gelişmesiyle ortaya çıkan elektromotor kuvvet tarafından veya metalde endüklenen akım tarafından meydana getirilir.

Bu tip korozyon dış enerji kaynakları tarafından yüksek gerilimlere meydana getirileceğinden şiddetli olur.

Kaçak akım korozyonu dışardan akım endüklenmesi ve esas olarak toprak özgül direnci, pH , galvanik hücre gibi çevre şartlarından bağımsız olduğundan önceki bölümlerde açıklaması yapılan doğal korozyondan farklıdır.

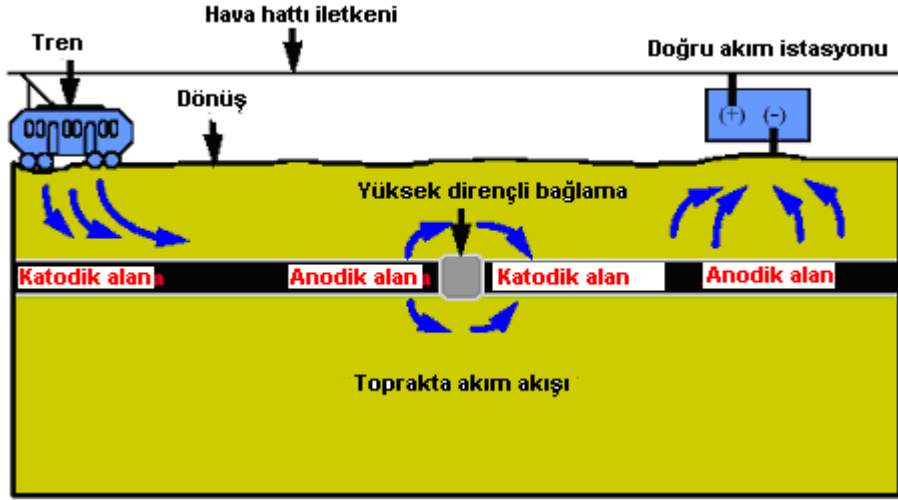


Şekil 1.9 Dış anod ve katod un sebep olduğu galvanik korozyon hücresi

Bu tip kaçak akım korozyonu anod ve katod arasındaki akım akışı doğrudan metal yapı üzerinden olduğu için çok şiddetli bir korozyondur.

#### 1.5.1.14 Doğru akımlı taşıma sistemleri

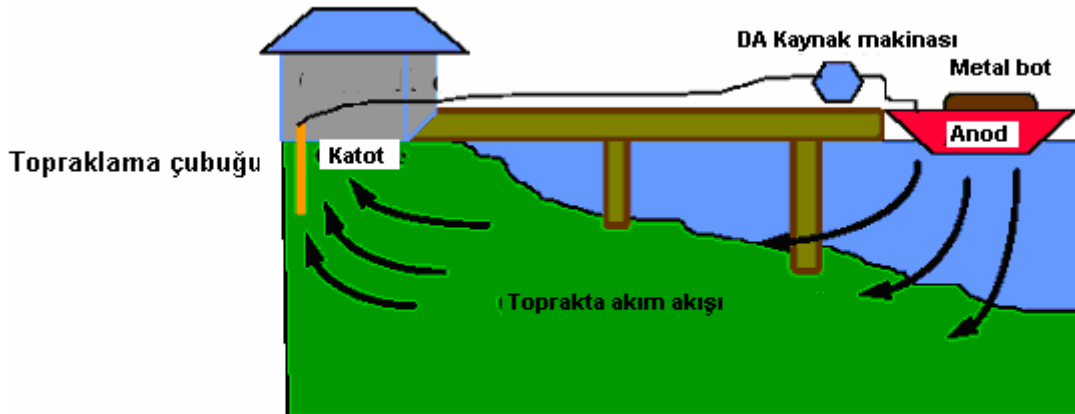
Elektrikli demir yolları, elektrikle çalışan raylı sistemler başlıca kaçak akım korozyonunun doğru akım kaynağıdır. Bu sistemlerde kaçak akımların etkisi 24 saattir.



Şekil 1.10 Doğru Akım Taşıma sisteminin sebep olduğu kaçak akım korozyonu

#### 1.5.1.15 Kaynak makinaları ve işlemleri

Doğru akım kaynak makineleri kaçak akım korozyonuna neden olabilen doğru akım kaynaklarıdır. Şekilde görüleceği üzere doğru akım hatlarının biri topraklama çubuğu üzerinden topraklanmıştır. Bu durumda metal olan bot anod olarak ve topraklama çubuğu ise katot olarak çalışır.



Şekil 1.11 Doğru akım kaynak işleminin neden olduğu kaçak akım korozyonu

### 1.5.1.16 Katodik Koruma Sistemleri

Katodik koruma sistemleri diğer metalik yapılar üzerinde kaçak akım korozyonunun başlıca kaynağıdır. Bu elektrokimyasal korozyon hücresine örnek yabancı bir boru hattının korunmuş boru hattının anod yatağının yakınından geçip ve sonra boru hattını kesme durumudur.



Şekil 1.12 Katodik koruma sistemi tarafından neden olunan kaçak akım korozyon hücresi

### 1.5.2 Metalurjik olarak Korozyon tipleri

**TABAKALAŞMA KOROZYONU;** Taneler arası korozyon, ekstrüzyon veya hadde yüzeyine paralel olarak gerçekleşirse buna ‘tabakalaşma korozyonu’ denir. Alüminyum ve alaşımlarında görülen bu tür korozyonda hasar, haddeleme yönünde uzamış tane sınırlarında meydana gelir. Korozyona uğramış metal tabakalar birbirinden ayrılır ve oluşan korozyon ürünleri malzemenin tabakalar halinde birbirinden ayrılmasına sebep olur.

**SEÇİMLİ KOROZYON;** Bir alaşım içinde bulunan metallerden birinin diğerinden önce korozyona uğramış halidir. %70 Cu + %30 Zn’den oluşan pirinç içinde bulunan Zn kolayca korozyona uğrayabilir. Korozyon sonucu, alaşım yüzeyinde Zn konsantrasyonu azalır ve normal sarı renk, bakır kırmızısına dönüşür. Çok sık rastlanan bu seçimli korozyon olayına ‘‘çinko azalması’’ adı verilir.

**KAPLAMA BOZUKLUĞU KOROZYONU;** Kaplama yapılmış bir metalin potansiyeli ile kaplamasız metalin potansiyeli birbirinden farklıdır. İşçilik hataları nedeniyle kaplamanın bazı bölgelerinin bozulması veya delinmesi halinde bu bölgeler anot olacaktır ve korozyona uğrayacaktır. Bu tip korozyon metal yüzeyinde çok küçük bölgelerde yoğunlaşan bir korozyondur.

**GERİLMELİ KOROZYON;** Çekme gerilmesine maruz ve saldırgan bir ortamda bulunan korozyona duyarlı malzemelerde ortaya çıkar. Çekme gerilmesine dik bölgesel çatlakların oluşumu ile malzeme hasara uğrar.

**KAVİTASYON KOROZYONU;** Kavite korozyonu hızla akan sıvıların malzeme yüzeyine yakın bölümlerinde oluşan alçak basınç kabarcıklarının büyümesi ve patlaması ile meydana gelir. Oluşan şok dalgaları yüzeye çarparak malzeme yüzeyini örten tabakayı tahrip ederler. Açığa çıkan metal çözünerek korozyona uğrar. Bu tür korozyona uğrayan yüzeylerin görünümü kaba ve deliklidir, oyuklar sıktır, yüzeyde petek görünümü oluşur.

**BIÇAK ÇİZGİSİ KOROZYONU;** Stabilize edilmiş paslanmaz çelikler,(Ti ve Nb'lu çelikler) 1100°C'a ısıtıldığı zaman (Genellikle kaynak sırasında) Ti ve Nb karbürler çözünür. Hızla soğutulduğunda çözelti içinde kalırlar. Daha sonra metal Krom Karbür çökelme sıcaklığına ısıtıldığı zaman Ti ve Nb karbür oluşturamaz ve alaşım sanki stabil olmamış gibi davranır. Korozyon hasarı kaynağa komşu çok dar bir bölgede meydana gelir.

**ARALIK KOROZYONU;** Perçin, civata, conta gibi altı örtülü yüzeylerde ve aralıklarda meydana gelen önemli bir korozyondur. Aralık korozyonunun meydana gelmesi için aralığın çözeltinin girebileceği kadar geniş, aynı zamanda çözeltinin çıkamayacağı kadar dar olmalıdır. Sistemin mekanizması; aralık içinde bulunan sözü geçen çözelti durgun olduğu için gerekli oksijen kısa zamanda tükenir. Böylece aralığın içi ve dışı arasında oksijen iyonu konsantrasyonu farkı aralık korozyonuna sebep olur.

## 2. KATODİK KORUMA;

Katodik korumanın temel ilkeleri elektro- kimyasal korozyon teorisine dayanmaktadır. Katodik koruma korozyona uğrayan metallerin katot olarak polarizasyonunu gerektirir. Bu korunacak metali daha aktif bir metal ile (galvanik anot veya kurban anot) eşleyerek sağlanacağı gibi dıştan akım uygulayarak da gerçekleştirilebilir. İlk yöntemde koruma için gerekli doğru akım korunan metal ve galvanik anot çiftinin oluşturduğu elektrokimyasal hücre tarafından üretilir.

Galvanik anotlar koruma sırasında belirli hızlarla çözünerek ağırlıklarını kaybederler. Bunları uygun zaman aralıklarıyla yenileyerek koruma işlevine süreklilik kazandırılır. İkinci yöntemde korunan metal ve anot çiftinin akım üretir nitelikte olması gerekmez. Çünkü koruma için gerekli akım uygun bir dış kaynaktan çekilir.

Galvanik anotlu, katodik koruma sistemlerinde kullanılan anot malzemeleri genellikle çinko, alüminyum ve magnezyumdur.

Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinde Fe-Si, Pb-Sb-Ag ve Ti bazlı anotlar kullanılır.

Katodik olarak korunmuş olan bir metal yapının korunup korunmadığı aşağıda belirtilen referans elektrotların karşısındaki koruma potansiyel değerlerini sağlamak gerekir.

Çizelge 2.1 Elektrod potansiyeli

| Referans Elektrot                                     | Koruma Potansiyeli (mV) |
|-------------------------------------------------------|-------------------------|
| Doygun kalomel elektrot ( $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ ): | -780                    |
| Gümüş-Gümüşklorid ( $\text{Ag}/\text{AgCl}$ ):        | -810                    |
| Bakır-Bakırsülfat ( $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ ) :     | -850                    |
| Çinko (Zn):                                           | +250                    |

Katodik korumanın en fazla uygulandığı alanlar;

- Gemilerin taban yüzeylerinde,
- Gemilerin balast tanklarında,

- Dubalarda ve balast tanklarında,
- Yeraltı boru hatlarında,
- Mavnalarda ve-iskele ayaklarında,
- Petrol depolama tanklarında,
- Su depolama tanklarında,

## 2.1 Katodik korumanın esasları;

Katodik Koruma korozyona uğrayan metalin (korozyon sisteminde anot olarak davranan metalin) potansiyelini değiştirerek onu katot olarak davranmaya zorlamaktadır. Çözünmeyen bir soy anot yardımıyla korunacak bir yapı devrenin negatif kutbunu oluşturacak şekilde doğru akım devresine bağlanır. Bu tip korumaya "DIŞ AKIM KAYNAKLI KATODİK KORUMA" denir.

Korunacak yapı, elektrik devresinin katodik kutbunu oluşturduğu için doğru akım kaynağından buraya sürekli bir elektron beslenmesi söz konusudur. Bu ise sürekli bir elektron çıkışı ile ( $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{+2} + 2\text{e}^-$ ) çözünmesi söz konusu olan metalin korozyonunun durmasına neden olur. Çünkü çözünme anında salınan ve korozyon hücresinin katoduna akan elektronlar doğru akım kaynağından fazlası ile geri beslenecektir.

Katodik korumanın bir başka şekli ise korunacak metalden daha aktif bir metali anot olarak kullanarak elektrokimyasal bir devre oluşturup, aktif metalin korozyonu ile korozyona karşı korunacak yapıya elektron transferi sağlayarak yapıyı katot haline getirerek korumaktadır, ki bu metoda **"GALVANİK ANOTLU KATODİK KORUMA"** denir.

Katodik korumanın amacı, belirli bir ortamda metal için sabit bir potansiyel eşiğinin altında metalin elektrolit ortama göre negatif olarak kutuplaştırarak korozyondan korumaktır.

Sonuçta metal yapının her noktasında birim alana devamlı olarak akım gelmektedir.

Bu akım yoğunluğu kaplamanın direncine ve o bölgedeki potansiyel farkına bağlıdır. Dolayısıyla, koruma için seçilen ölçüt, metalin toprak/deniz ile bağının kuracağı minimum potansiyelidir. Ölçümler genellikle Bakır/Bakır Sülfat elektrotu referans alınarak yapılmaktadır.

Bu şartlar altında:

- Demir için katodik koruma -850 mVoltun altında,
- Bakır için katodik koruma -250 mVoltun altında sağlanmaktadır.

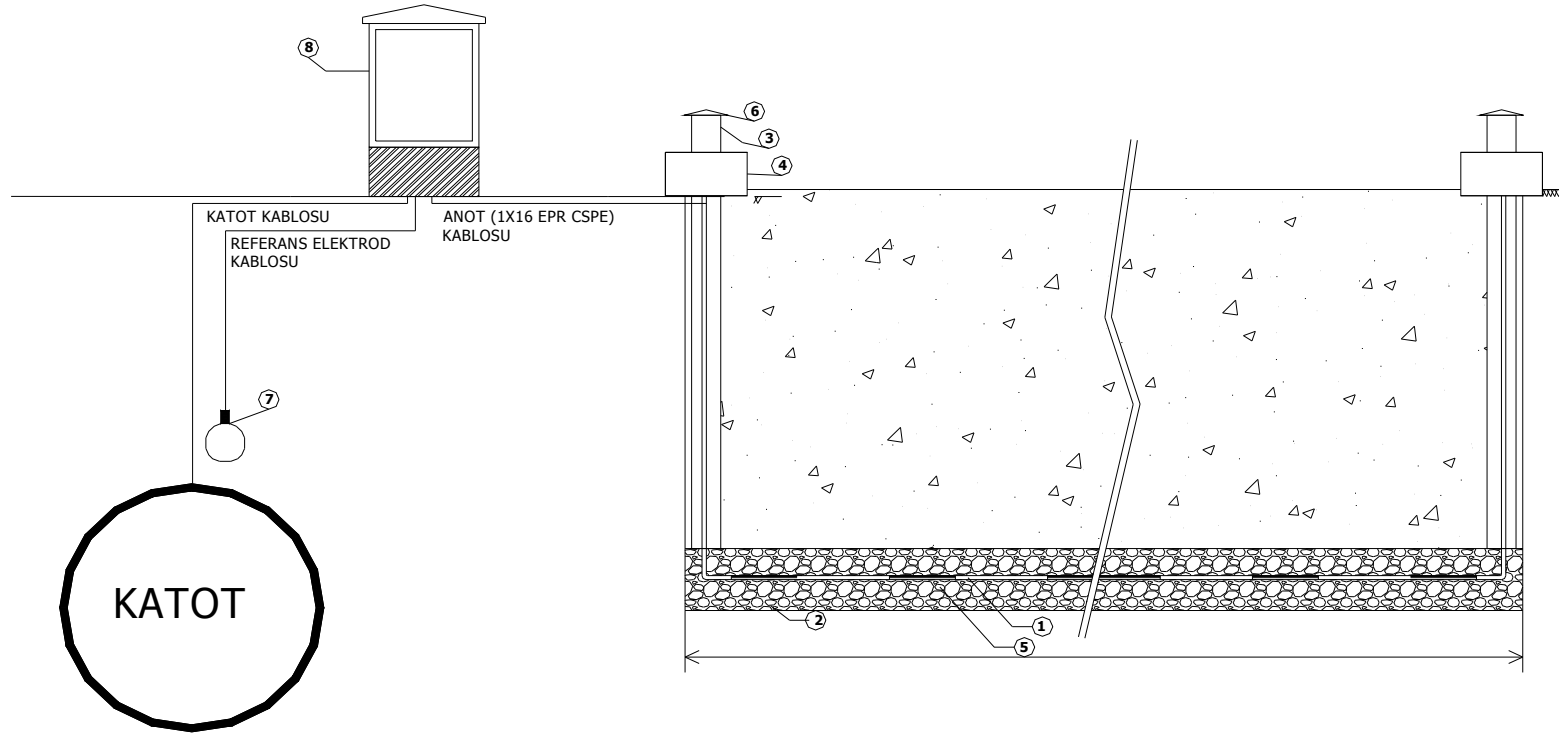
Elektrolit ortam ile temas halindeki metalin her noktasında minimum potansiyele erişilmiş olması gerekir.

## **2.2 Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma;**

Katodik koruma yapılacak yüzey alanın fazlalığından veya zemin koroziyetliğinin fazlalığından kaynaklanan akım ihtiyaç fazlalığı galvanik anotlarla karşılanamıyorsa dış akım kaynaklı sistem tercih edilir. Aynı zamanda bu sistem zemin rezistivitesinin yüksek olduğu yerlerde de galvanik anotlu sistemden daha olumlu sonuçlar verir.

Dış akım kaynaklı katodik koruma sisteminin bütün bu avantajlarının yanında, diğer avantajı da; Akım ihtiyacının değişen koşullara bağlı olarak düşürülmesine veya yükseltilmesine izin vermesi ve işletmesinin kolay olmasıdır.

Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemi temel olarak bir anot yatağı bir trafo redresör ünitesi ve bir sabit tip referans elektrodun katot (korunacak boru) la bir elektrokimyasal devre kurmasıdır.



Şekil 2.1 Toprak Zeminler İçin Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma Şeması

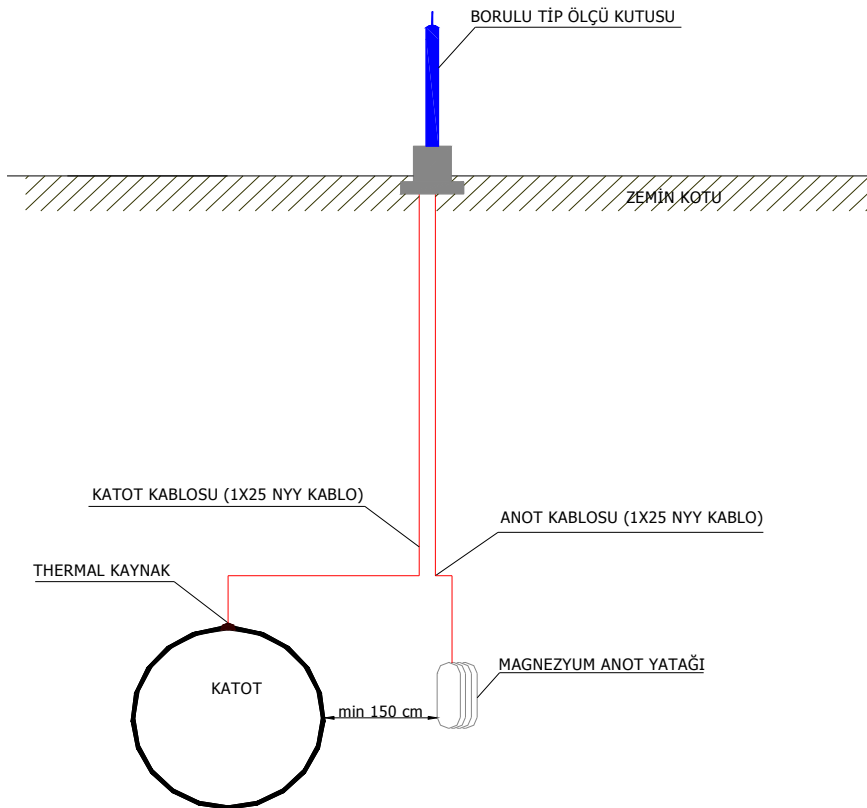
### 2.3 Galvanik Anotlu Katodik Koruma

Boru hattına, elektrod potansiyeli çelikten daha elektro negatif olan magnezyum anot bağlanarak oluşturulan elektrokimyasal devrede boru Hattı katot durumuna getirilerek korozyonun önlenmesi sağlanır.

Galvanik anotlu katodik koruma sistemlerinin istenilen akımı belli bir süre kesiksiz olarak vermesi için anotların uygun şekilde seçilmesi ve bağlantıların çevreden çok iyi yalıtılması gerekir.

Teorik olarak, elektrod potansiyeli demirden daha elektronegatif olan her metal galvanik anot olarak kullanılabilir. Ancak katodik koruma için gerekli akım ve potansiyeli zamanla değişmeyecek bir şekilde sağlayan ve ekonomik ölçüler içinde kullanılması uygun olan metaller magnezyum, çinko ve bunların alaşımlarıdır.

Toprak elektriksel özgül direnci 4000 ohm.cm den yüksek olan yerlerde ve akım ihtiyacı yüksek çok uzun boru hatlarında kullanılması uygun değildir.

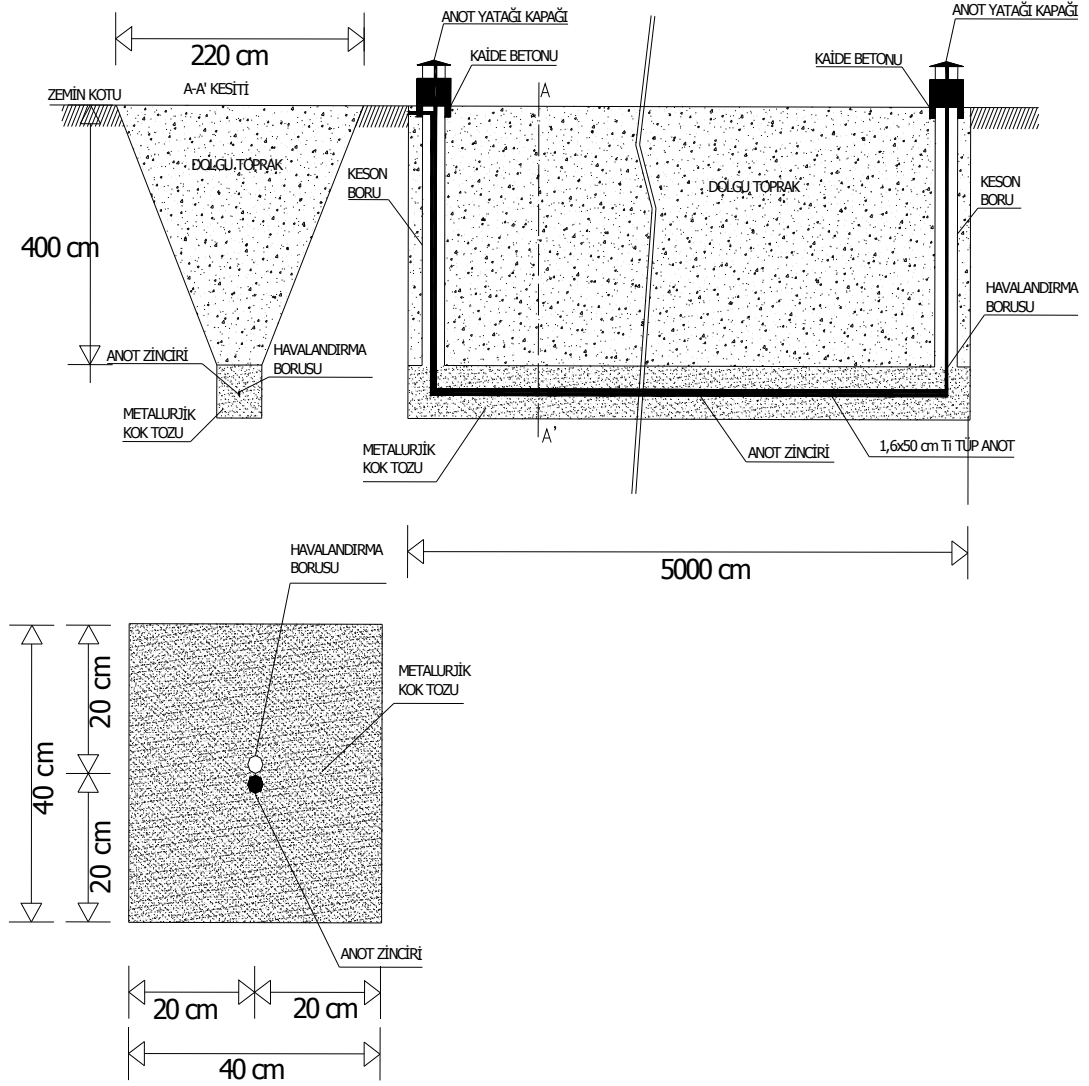


Şekil 2.1 Kara Yapıları İçin Magnezyum Anotlu Galvanik Katodik Koruma Şeması

## **2.4 Katodik Koruma Sistemi Elemanları**

### **2.4.1 Yatay Anot Yatakları**

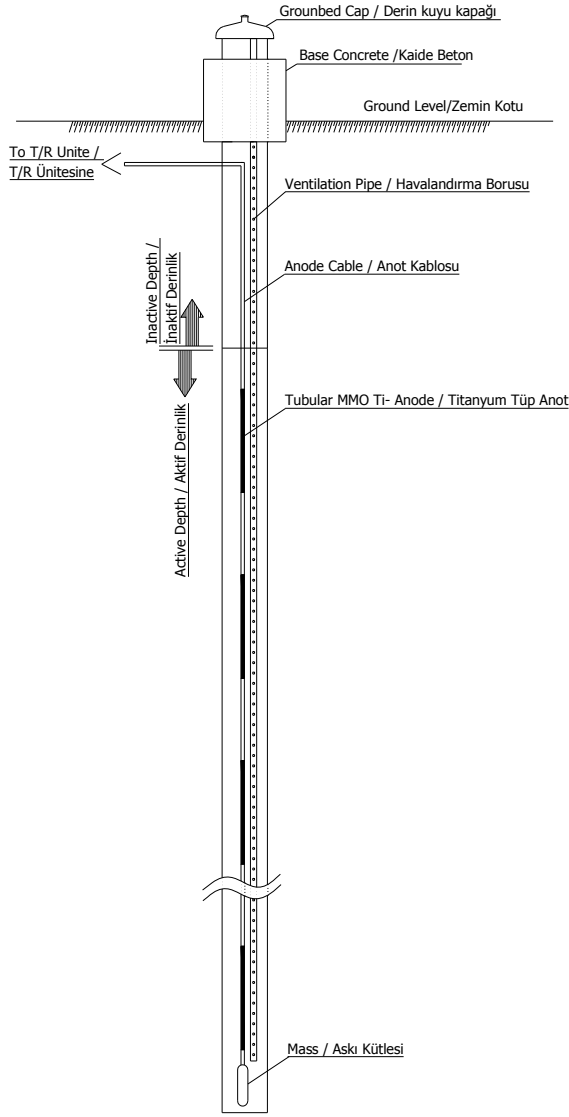
Sistem projesinde belirtilmiş olan derinlikte ve genişlikte korunacak olan boruya paralel olarak ve minimum 30 mt, maksimum 100 mt olacak şekilde kurulmalıdır. Anot yatağı derinliği borunun derinliğine göre belirlenir. Anot yatağı uzunluğu ise sistemin ihtiyaç duyduğu akıma göre belirlenmiş miktarda yardımcı anotu içeren anot zinciri boyunda olmalıdır. Anot zincirinin anot yatağına indirilmesinden önce yatak tabanına 20 cm yüksekliğinde kok tozu serilecektir. Anot zinciri yatağın tam ortasına kok tozunun üzerine serilecek ve üzeri 20 cm kok tozu ile kapatılacaktır. Anot zincirine paralel olarak ve kelepçelerle bağlı havalandırma borusu kullanılacaktır. Yatay anot yatağının başladığı ve bittiği yerlerde havalandırma borusu yüzeye çıkacak ve anot yatağı başlangıç ve bitiş noktalarında kurulacak olan kaide betonu içerisinden perforesiz keson boru içerisinden yüzeye çıkan havalandırma borularının gaz tahliyesi sağlanacaktır. Aşağıda anot yatağı örnek çizimi verilmiştir.



Şekil 2.3 Anod Kuyusu- Yatay detay çizimi

#### 2.4.2 Derin Kuyu Anot Yatakları

Sistem projesinde belirtilmiş olan derinlikte ve genişlikte ve korunacak olan boruya dik olarak minimum 30 maksimum 100 mt uzaklıkta olacak şekilde kurulmalıdır. Anot yatağı derinliği sistemin ihtiyaç duyduğu akıma göre belirlenmiş miktarda yardımcı anotı içeren anot zincirini boyunda olmalıdır. Anot yatağı çapı istenen rezistivite değerini sağlayacak genişlikte sistem projesinde belirtilen çapta olmalıdır. Anot zinciri bir askı kütleye bağlanarak anot zincirine kelepçelerle bağlı havalandırma borusu ile birlikte anot yatağına sarkıtılmalıdır. Havalandırma borusu yüzeye çıkacak ve anot yatağının yüzey seviyesine monte edilecek olan kaide betonun içerisindeki perfore edilmemiş keson boru içerisinden anot yatağı kapağına bağlanacaktır. Aşağıda derin kuyu anot yatağı örnek çizimi verilmiştir.



Şekil 2.3 Derin Kuyu Anod Yatağı detay çizimi

### 2.4.3 Yardımcı Anotlar

Katodik koruma sistemlerinde çağdaş yardımcı anotlar olarak Karma Metal Oksit Kaplı Titanyum Tüp Anotlar kullanılmaktadır. KMO Ti Tüp anotlar elektrokatalitik kaplama yöntemiyle bir soy metal olan Grade – 1 Titanyum tüplerin karma metal oksit kaplanmasıyla elde edilir. Elde edilen kaplamalı Titanyum tüpler sürekli ve kesintisiz elektriksel iletkenliği sağlamanın yanı sıra, 20 yıl boyunca kütle kaybetmeme özelliğine haizdir. Kara tipi KMO kaplı titanyum anotların maksimum akım kapasiteleri 100 A/m<sup>2</sup>, deniz tipi anotların ise 600 A/m<sup>2</sup>'dir.

Çizelge 2.2 Kullanılacak olan Titanyum tüp anotların özellikleri

| 1) Anot Tipi   | 2) Boyutlar        | 3) Max Akım Çıkışı | 4) Tek Olabilecek Anot Miktarları | Zincirde Max |
|----------------|--------------------|--------------------|-----------------------------------|--------------|
| 5) ST 1,6/50   | 6) 16 x 500 mm     | 7) 2,50 amp        | 8) 15                             |              |
| 9) ST 2,5/50   | 10) 25,4 x 500 mm  | 11) 4,00 amp       | 12) 15                            |              |
| 13) ST 1,6/100 | 14) 16 x 1000 mm   | 15) 5,00 amp       | 16) 10                            |              |
| 17) ST 2,5/100 | 18) 25,4 x 1000 mm | 19) 8,00 amp       | 20) 15                            |              |

### Şekil 2.4 Termal Kaynak Detayı

### Katodik Koruma Trafo Redresör Ünitesi

Dış akım kaynaklı Katodik Koruma sisteminde gerekli olan doğru akım için trafo redresör ünitesi kullanılır. Trafo redresör ünitesi şebekeden aldığı alternatif akımı trafo ünitesi ile doğru akıma çevirip istenilen gerilime düşürür. Bu akım redresörden geçirilerek pozitif uç anoda negatif uç katoda bağlanır.

T/R ünitesi korunan metalin bulunduğu ortamdaki değişikliklere göre referans elektrodlar yardımıyla gerekli akım ihtiyacını tespit ederek otomatik olarak verilecek akımı ayarlamakta ve sisteme vermektedir.

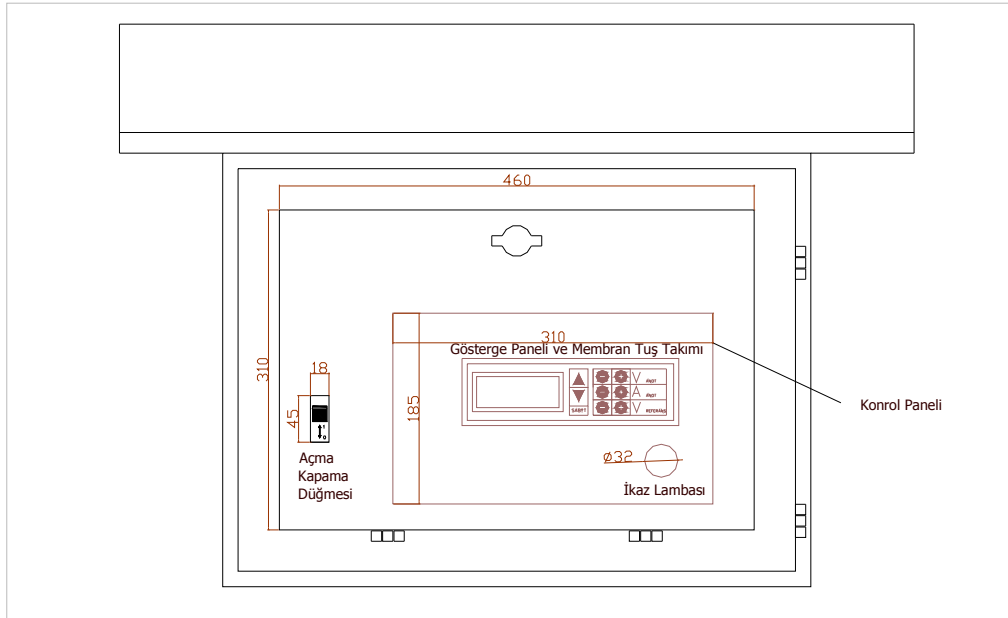
Transformatör Redresör Ünitesi kullanıldığı iklim koşullarına veya yerine göre hava ve yağ soğutmalı olarak tasarlanılır. T/R tipinin seçiminde en önemli etken trafo ünitesinin en kolay nasıl soğutulabileceğidir.

T/R ünitesi aynı zamanda el ile ve otomatik olarak çalışabilmektedir. Ön gösterge panelinde boru ile referans elektrot arasındaki potansiyeli farkı, Bağlı olan anotlardan çekilen akımı (amper) ve anot voltajını gösterir.

|                                    |                                                                                       |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 21) Besleme Gerilimi               | 22) Mono faz 200 – 250V AC, 45 – 65Hz                                                 |
| 23) Çalışma Sıcaklığı              | 24) +70°C –30 °C                                                                      |
| 25) Pano Ölçüsü                    | 26) 800x600x1000 mm                                                                   |
| 27) Doğruluk Kontrolü              | 28) Gerilim/Akım $\leq \pm 0.5\%$ :                                                   |
| 29) Soğutma Sistemi                | 30) Trafo Ünitesi, Diyot ve Tristör takımları ve Şönt Direnci Yağ veya Hava Soğutmalı |
| 31) Nominal DC Akım                | 32) 40 Amper                                                                          |
| 33) Nominal DC Gerilimi            | 34) 50 Volt                                                                           |
| 35) Bağlantı Gücü                  | 36) 2000 VA                                                                           |
| 37) Dış Kabin                      | 38) 2 mm Galvanizli Sac (IP 65)                                                       |
| 39) Voltaj/Akım/<br>Referans Ayarı | 40) Membran Tuş Takım                                                                 |

|                       |                                                                                                  |                      |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| 41) Koruma Kontrol    | 42) Ters Diyot<br>Kısa Devre<br>Yüksek Gerilim ve Akım Koruması                                  | Koruması<br>Koruması |
| 43) Gösterge Paneli   | 44) 4x20 satır Likit Kristal Gösterge (LCD)                                                      |                      |
| 45) Bağlantı Paneli   | 46) 220 AC Besleme bağlantıları(Ray klemens)<br>Anot(+)<br>47) Katot(-)<br>48) Referans Elektrot |                      |
| 49) Redresör Grubu    | 50) Mikro İşlemci Tabanlı Tristör Ateşlemeli sistem, Hata Kontrollü                              |                      |
| 51) Kontrol Modülleri | 52) Anot-Katot Akım<br>Anot-Katot Gerilim<br>Katot-Referans Elektrot Gerilim Kontrolü            | Kontrolü<br>Kontrolü |

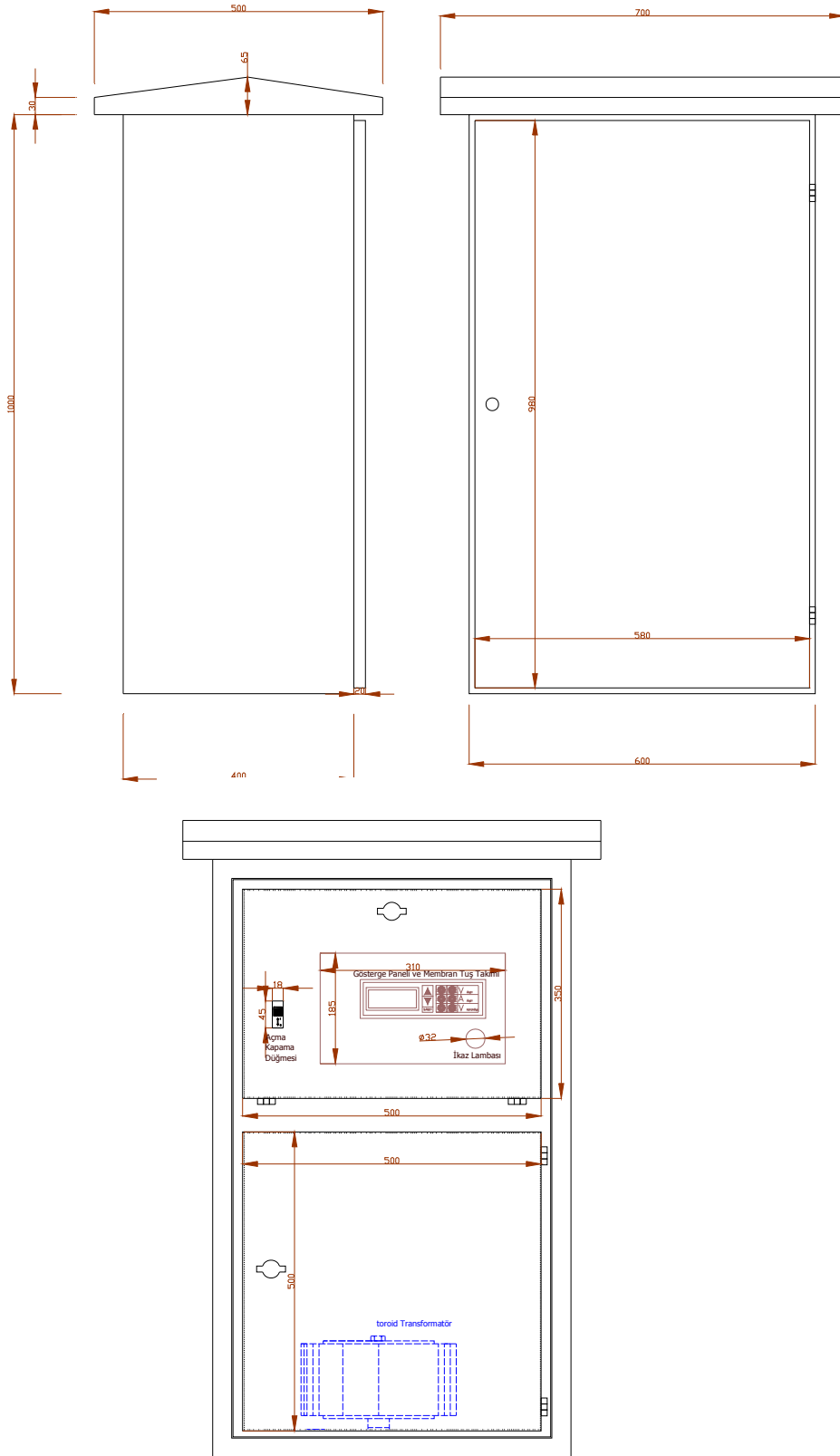
Şekil 2.5 Örnek Trafo-Redresör Ünitesi Gösterge Ekranı



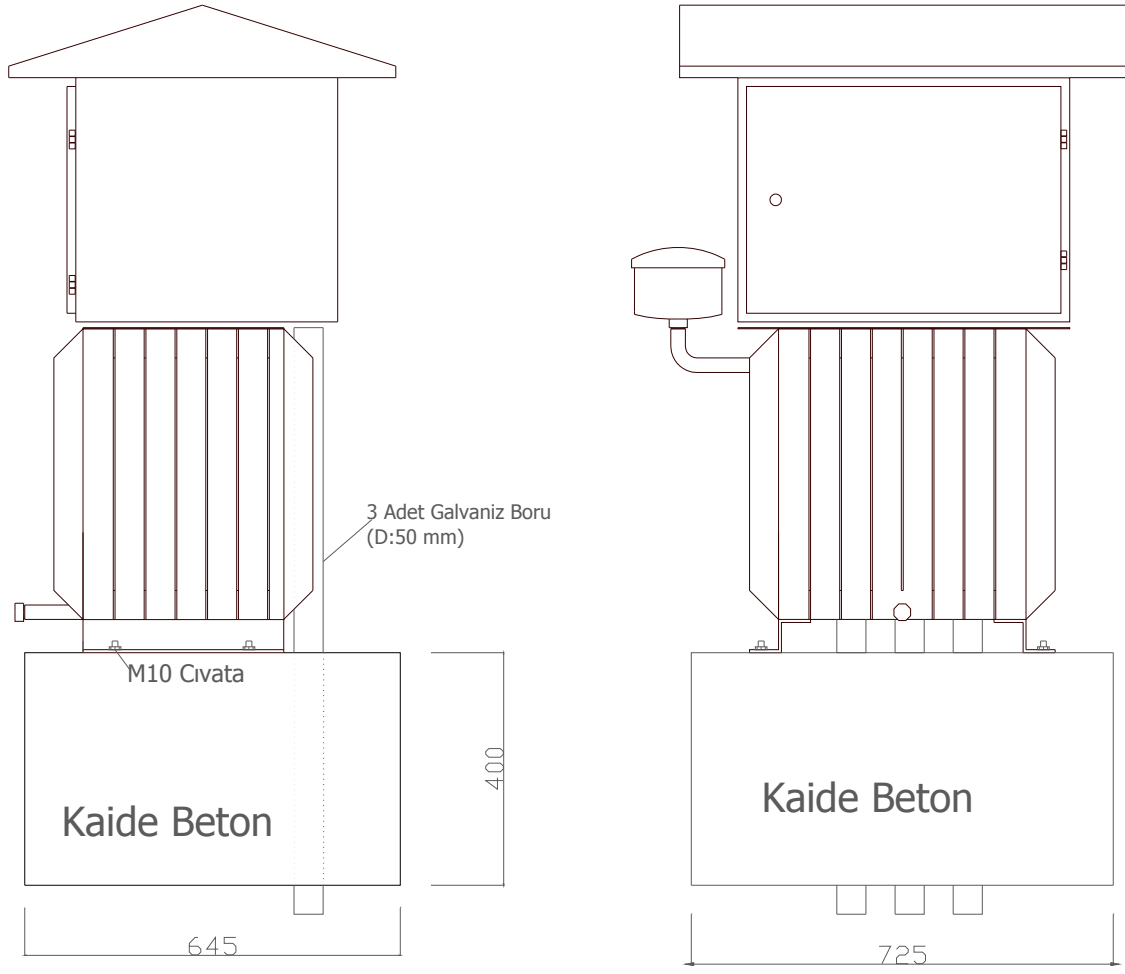
Şekil 2.6 Katodik Koruma Trafo Redresör Ünitesi Gösterge Paneli



Şekil 2.7 Trafo Redresör Ünitesi Detay Resmi (Yağ Soğutmalı)



Şekil 2.8 T / R Ünitesi Detay Resmi (Hava Soğutmalı)



Şekil 2.9 T / R Ünitesi Kaide Beton Montaj Resmi

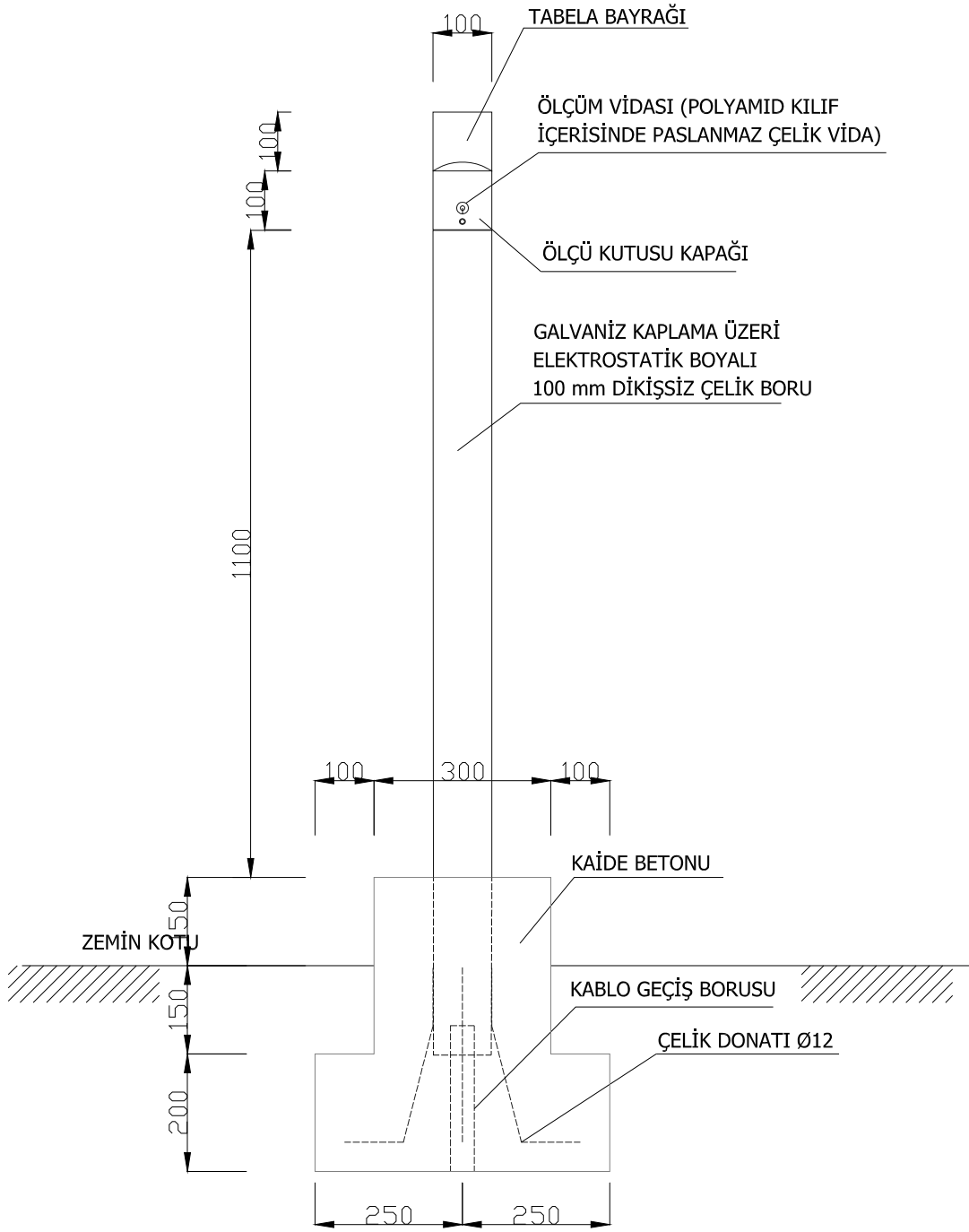
#### 2.4.6 Ölçü Kutuları

Ölçü kutuları, 2 mm et kalınlığında çelik borudan imal edilecek ve üzeri sıcak daldırma galvaniz kaplanacaktır. İmalat TSE 5141'de verilen verilere uygun olarak detay çizimlerde belirtildiği şekilde yapılmalıdır.

Boru Hattına uygulanan koruma akımlarının etkili olup olmadığının işletme süresince kontrol edilebilmesi için, boru hattı boyunca yeteri sayıda ölçü istasyonu konulmalıdır.

Ölçü istasyonları en çok 1 km yi geçmeyecek aralıklarla ve özellikle zemin elektrik direncinin düşük olduğu bölgelere gelecek şekilde boru Hattı boyunca dağıtılmalıdır. Ayrıca normal ölçü istasyonlarına ek olarak aşağıda belirtilen noktalara da özel olarak ölçü istasyonu konulmalıdır.

- Boru Hattının muhafaza borusu içine alındığı bölgelerin her iki ucuna,
- Akarsu ve dere geçitlerine,
- Komşu boru hatları ile kesim noktalarına,
- Elektrik yalıtım noktalarına,
- Galvanik anotların bağlantı noktalarına,
- Kaçak akımlar için önlem alınan noktalarına,
- Yardımcı anotların bulunduğu anot yatağı üzerine



Şekil 2.10 Ölçü Kutusu Detay çizimleri



Şekil 2.11 Ölçü Kutusu Kapağı

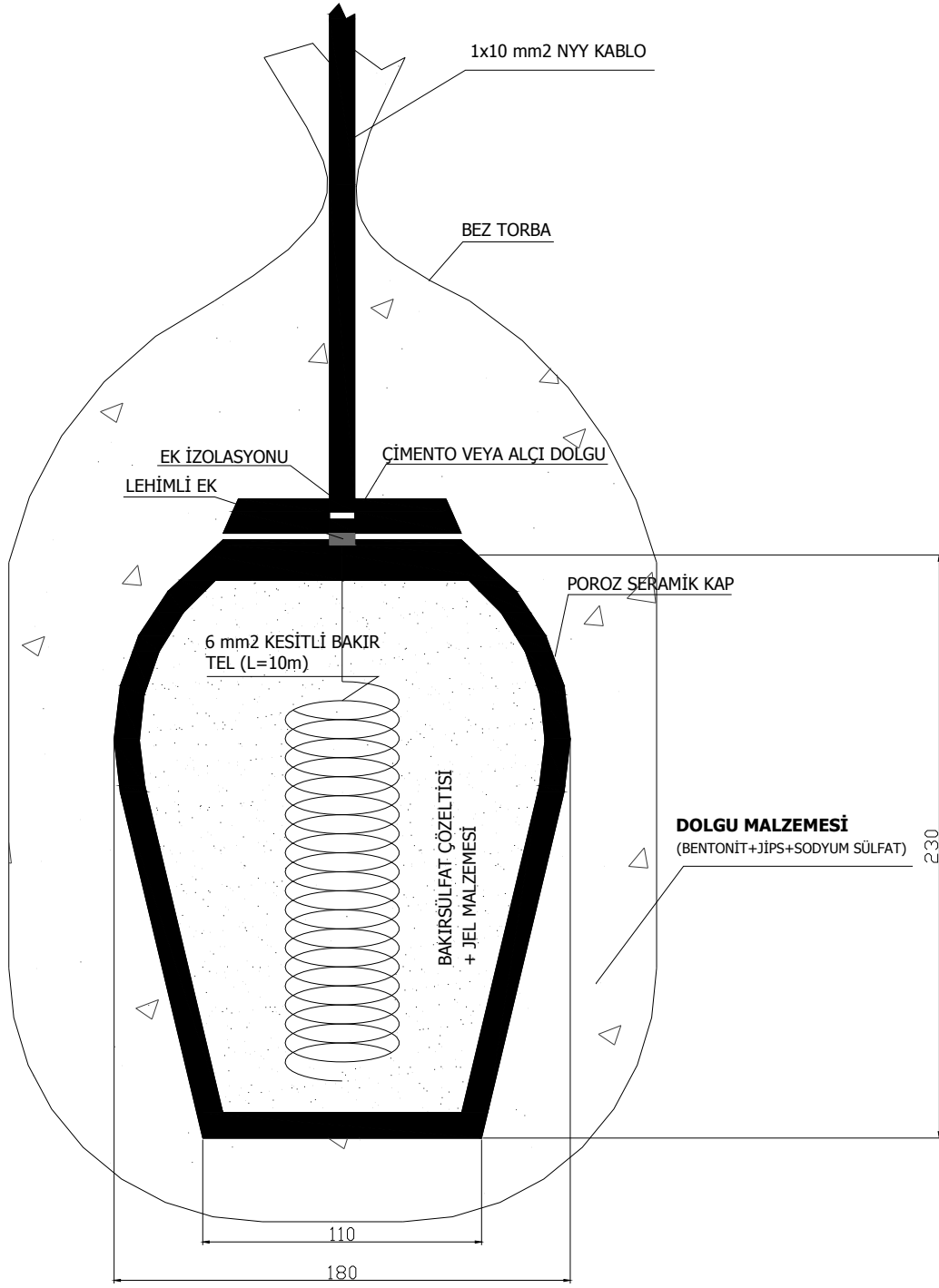
### 2.4.7 Sabit Tip Referans Elektrod

Çinko tipli, Cu/CuSO<sub>4</sub> ve Ag/AgCl tipli olmak üzere en çok kullanılan 3 tip referans elektrot vardır. Referans elektrot, tarifi TS-4363’de verilmiştir.

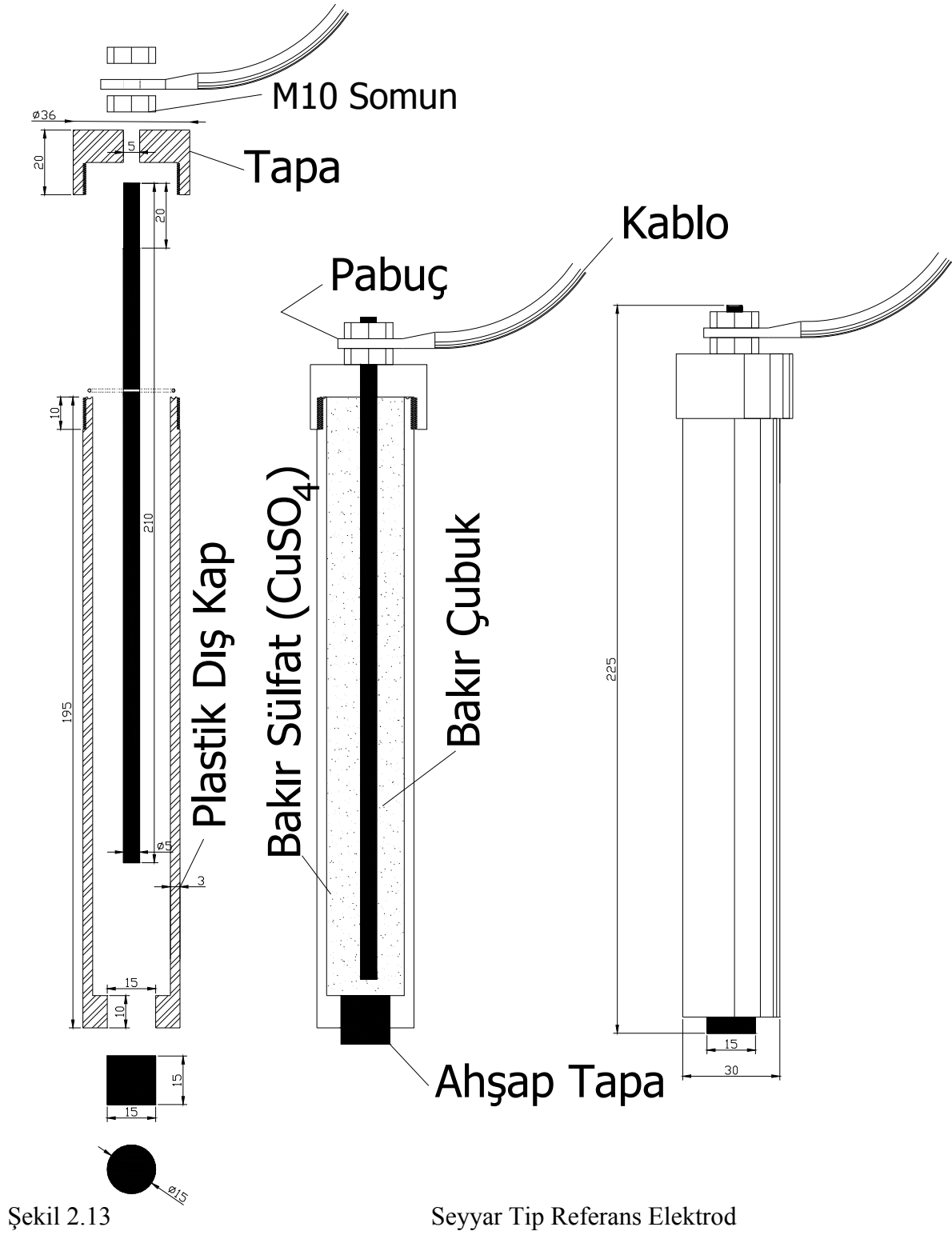
Çinko tipli referans elektrodun çeliğin korozyonuna sebep olması ve boya filminde fazla potansiyel gerilimi oluşturması sebebiyle kullanılması mahsurludur. Ag/AgCl tipli elektrot ise daha çok deniz suyunun kirlilik faktörlerinden etkilenmemesi ve AgCl’ nin çözünmemesi sebebiyle deniz suyundaki ölçümler için kullanılır. Bakır/Bakır sülfat Referans Elektroda toprak altı yapıların ölçülmesinde sık kullanılan, doygun bakır sülfat çözeltisi içine elektrolitik bakır metal daldırarak yapılan elektroddur. Hazırlanışı TS 4363’de açıklanmıştır. Doygun Bakır/Bakır sülfat Referans Elektrodunun standart hidrojen elektroduna karşı potansiyeli –316 mV’dur.

Kullanılacak referans elektrodundan beklenen özellikler aşağıdaki gibi olmalıdır;

- Referans Elektrot, devreden akım geçtiği zaman elektrottaki omik gerilim azalmasından dolayı ortaya çıkan hataları düzeltmek için en az iç dirence sahip olmalıdır.
- Referans Elektrotlar, anotlara 15-20 m uzaklığa monte edilmelidir.
- Ortam şartlarında kararlı ve güvenilir olmalıdır.
- Referans elektrotun akım şiddeti hiçbir şekilde endüktif etki olmamalıdır
- Polarize olmamalıdır, yeni ölçme devresinde yüklenen akımdan dolayı potansiyel değişmemelidir.



Şekil 2.12 Sabit Tip Referans Elektrod



## 2.4.8 Galvanik Anot Yatağı ve Referans Elektrotlar İçin Dolgu Malzemesi

Çizelge 2.2 Dolgu Malzemeleri

| Bileşenler                                             | Tip (A)** | Tip B |
|--------------------------------------------------------|-----------|-------|
| Jips( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), (%) | 70-75     | 25-30 |
| Bentonit, (%)                                          | 20-25     | 40-50 |
| Sodyum Sülfat( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), (%)         | 5-6       | 25-30 |
| Özgül Elektriksel Direnci (ohm.cm)                     | 50-100    | 25-50 |

Anot yatağı dolgu malzemesinin kullanılmasının sağladığı diğer avantajlar şunlardır;

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

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.

## 2.4.9 Magnezyum Anotlar

Katodik koruma sistemlerinde galvanik anot olarak en çok magnezyum anotlar kullanılmaktadır. Magnezyum anotların elektrokimyasal ve kimyasal özellikleri aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Çizelge 2.3 Magnezyum anotlarda istenmeyen elementler

|               |       |
|---------------|-------|
| Fe, %, en çok | 0.020 |
| Pb, %, en çok | 0.006 |
| Si. %, en çok | 0.200 |

|               |       |
|---------------|-------|
| Cu, X. en çok | 0.050 |
| Mn. %. en çok | 0.170 |
| Sn, %. en çok | 0.001 |
| Ni, %. en çok | 0.010 |

Çizelge 2.4 Magnezyum Anotların Elektrokimyasal Özellikleri

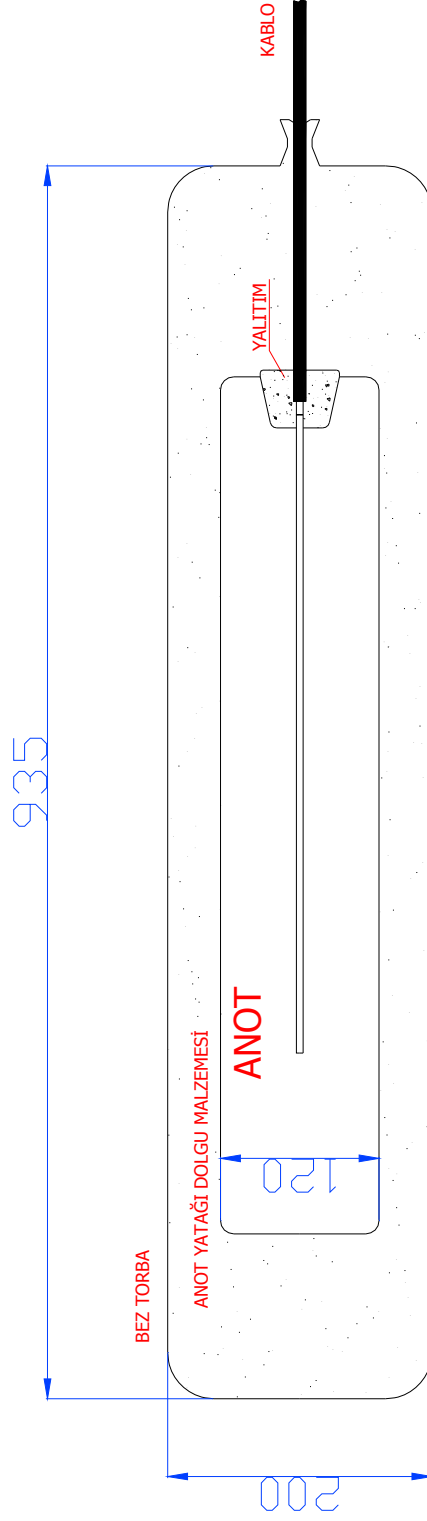
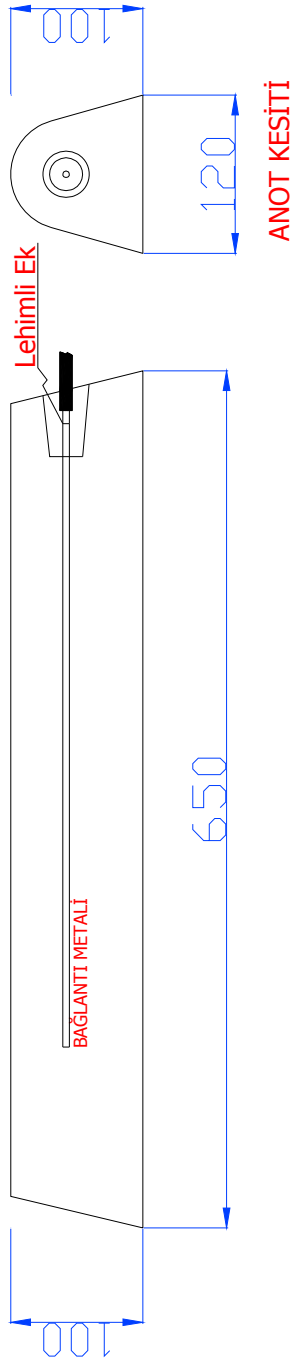
|                                                                                                |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Atom Ağırlığı (gr/mol)                                                                         | 24.3      |
| Yoğunluk, (g/cm <sup>3</sup> )                                                                 | 1,74      |
| Elektrot potansiyeli, (mV) (Cu-CuSO <sub>4</sub> referans elektroduna göre. deniz suyu içinde) | -1500     |
| Teorik akım kapasitesi (amper, saat /kg)                                                       | 2200      |
| Teorik yıpranma (kfc/amper.yıl)                                                                | 4         |
| Anot akım verimi. (%)                                                                          | 50        |
| Çeliğe karşı devre potansiyeli (mV)                                                            | 550 - 700 |
| Kullanılacağı zeminin özgül elektrik direnci (Ohm.cm), en çok                                  | 4000      |

Magnezyum anotlar kullanılacak yere ve istenen akım ihtiyacına göre AZ 63 ve yüksek potansiyelli olarak iki tipte imal edilmektedir.

Çizelge 2.5 Magnezyum Anotların Kimyasal Bileşimleri

| ELEMENT   | KÜTLE OLARAK %              |                 |
|-----------|-----------------------------|-----------------|
|           | Yüksek Potansiyelli Mg Anot | AZ – 63 Mg Anot |
| 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 0,3   |
| Nikel    | En Çok 0,002 | En Çok 0,003 |



## TORBALI 17LB. MAGNEZYUM ANOT

## 2.5 Katodik Koruma Sistemleri Projelendirmesi

Katodik koruma sistemlerinin projelendirmesinde aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir.

### 2.5.1 Zemin elektriksel özgül direnci ölçümü ve yorumlanması

Sistem elektriksel özgül direncinin ölçümü zeminin koroziyonluğunun tespiti açısından önemlidir. Ayrıca zemin elektriksel özgül direnci anot yatağı direncinin hesaplanmasında dolayısıyla her bir anodun verebileceği maksimum akımın bulunmasında gereklidir.

Türk Standardında TS-5141’de verilmiş olan sınıflandırma aşağıdaki gibidir.

Çizelge 2.6 Rezistiviteye göre zeminin koroziyonlu özelliği

| Zemin Elektrik Özgül Direnci ( $\rho_s$ ) | Zemin Koroziyon Özelliği |
|-------------------------------------------|--------------------------|
| $\rho_s < 1.000$                          | Çok Koroziyonlu          |
| $1.000 \leq \rho_s < 3.000$               | Koroziyonlu              |
| $3.000 \leq \rho_s < 10.000$              | Orta Koroziyonlu         |
| $10.000 \leq \rho_s$                      | Az Koroziyonlu           |

Bu sınıflandırma genel bir hüküm vermekle beraber kesin değildir. Zemin rezistivitesi dışında kalan diğer özellikler de korozyon hızına etki edebilir.

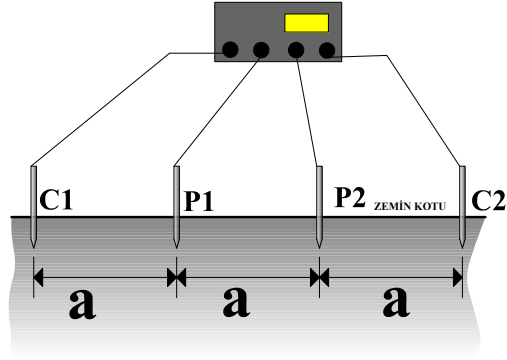
Zemin özgül direnci çeşitli yöntemler ile ölçülmektedir. En çok kullanılan metot WENNER 4 elektrot metodudur (**Şekil 1**). Bu yöntem ile ölçülen değerler aşağıda değerlendirilmiştir. Aletten okunan R direnci kullanılarak aşağıdaki formül ile rezistivite değeri hesaplanmaktadır.

$$\rho_s = \frac{R}{a} \cdot \pi \cdot a^2$$

$\rho_s$  : Zemin Elektriksel Özgül Rezistivitesi ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )

**a**: Ölçümde kullanılan elektrotlar arası mesafe (cm)

**R**: Ölçüm cihazında okunan direnç ( $\Omega$ )



Şekil 2.14 Wenner Metodu

### 2.5.2 Zemin Redoks Potansiyelinin Ölçülmesi

Zeminin korozyon özelliğini tam olarak belirleyebilmek için, boru Hattı boyunca gerekli görülen yerlerdeki 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 (desülfobrio desulfuricans) bakterilerdir. Bu bakteri anaerobik ortamlarda sülfatın bileşiminde bulunan oksijeni kullanarak sülfüre dönüştürür. Yani (+6) değerli kükürdü (-2) değerli kükürt haline indirger. Ayrıca boru yüzeyinde sülfat bulunmaması halinde katodik reaksiyon sonucu oluşan hidrojen atomlarını harcayarak boru yüzeyinin depolarize olmasına neden olurlar. Bu olay 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 kullanılır. Platin elektrot zemin içine daldırıldıktan sonra herhangi bir referans elektrot ile arasındaki potansiyel fark ölçülür. Redoks potansiyeli değerleri göz önüne alınarak zeminler aşağıdaki şekillerde sınıflandırılabilir;

Çizelge 2.7 Redoks potansiyeline göre zeminin korozyon özelliği

| <u>Redoks Potansiyeli, mV</u> | <u>Zemin Korozyon özelliği</u> |
|-------------------------------|--------------------------------|
| <100                          | Şiddetli korozyon              |
| 100-200                       | Korozyon                       |
| 200-400                       | Orta korozyon                  |
| 400<                          | Az korozyon                    |

Redoks Potansiyeli aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanır;

$$E_{red} = E_p + E_{ref} + 60 \cdot (PH - 7,00)$$

$E_{red}$  : Redoks Potansiyeli (mV)

$E_p$  : Platin Elektrot Potansiyeli (mV)

$E_{ref}$  : Kullanılan referans elektrotun hidrojen referans elektrota göre potansiyeli (mV)

(Cu/CuSO<sub>4</sub> için  $E_p + E_{ref} = 316$  mV)

$PH$  : Zemin Ph'sı

### 2.5.3 Korunacak Metal Yapıların Tespiti ve Akım İhtiyacının Hesaplanması

Katodik koruma sistemine elektriksel olarak bağlı bulunan toprak altındaki her metal yapı katodik

koruma sisteminde korunacak yapıların içerisinde düşünülmelidir. Katodik koruma sisteminin herhangi bir başka yapıdan ayırmak için izole flanşlar kullanılarak katodik koruma sistemi sınırlandırılabilir.

Akım ihtiyacı tayin edilirken TSE'den veya tecrübeler göz önüne alınarak hazırlanmış

tablolardan yararlanılabilir. Bu tablolardan alınan akım ihtiyaç katsayısı korunacak yüzey alanıyla çarpılarak akım ihtiyacı tespit edilir. Ayrıca katodik koruma sistemlerinde minimum

X 1,5 güvenlik katsayısı alınmalıdır.

Akım ihtiyaç katsayısı borunun cinsi, kaplaması, içinde bulunduğu ortam, yaşı v.b. kriterlerle değişkenlik göstermektedir. Örneğin BURSU – 12 projesi kapsamında yapılan katodik koruma işlerinde Bitüm kaplı çelik borular için akım ihtiyaç katsayısı 0,96 mA / m<sup>2</sup> alınmışken polietilen kaplı çelik borular için 0,29 mA / m<sup>2</sup> alınmıştır.

Akım ihtiyacı tayininde daha güvenli ve kesin metod akım ihtiyaç testi uygulanmasıdır. Bu test korunacak olan metal yapıya bir test trafosu yardımıyla kurulacak olan geçici anot yatağı üzerinden akım vermek koşuluyla koruma kriterini sağlayan akımın tespit edilmesidir.

#### **2.5.4 Katodik Koruma Sistem Seçimi**

Katodik koruma sistemi olarak iki ayrı alternatifimiz vardır.

1. Galvanik anotlu katodik koruma
2. Dış akım kaynaklı katodik koruma

Sistem seçimi yapılırken dikkat edilmesi gereken konu en önce sistemin işletme kolaylığı ve ekonomikliğidir. Galvanik anotlu sistem daha düşük akım ihtiyacı olan yapılarda ekonomik çözümler sunabilirken dış akım kaynaklı sistem büyük sistemlerde gerek ekonomik açıdan gerekse sistemin sağlığı açısından galvanik anotlu sistemden çok daha iyi netice vermektedir.

Galvanik anotlu sistemin tercih edileceği durumlar;

1. Elektrik temininin mümkün olmadığı ya da pahalıya malolduğu durumlar
2. Akım ihtiyacı oldukça düşük sistemler
3. Trafo işletme ve bakımının yapılamadığı durumlar
4. Keson geçiş boruları

Dış akım kaynaklı sistemin tercih edileceği durumlar;

Çok düşük akım ihtiyacına sahip sistemler haricinde hemen her sistemde dış akım kaynaklı sistem uygulanabilir. Günümüzde enerji temini çeşitli dahili enerji kaynakları ile kolaylıkla sağlanabilmektedir. (Rüzgar jeneratörü, güneş paneli) Bunun yanı sıra trafo ünitesinin merkezden uzak olduğu yerlerde bakımının zor olacağı düşünülerek dış akım kaynaklı sistemin tercih edilmemesi oldukça yaygındır. Bunun çözümü de SCADA sistemiyle birbiriyle haberleşen trafolar ve merkezi bilgisayardır.

Ayrıca her ne koşul olursa olsun çok yüksek akım ihtiyacına sahip sistemlerde dış akım

kaynaklı katodik koruma sisteminin kullanımı bir zorunluluktur.

Tüm bunların yanı sıra yüksek elektriksel dirence sahip zeminlerde galvanik anotlu sistem

kullanımı sağlıklı dğildir. 4000 ohm.cm'den daha yüksek elektriksel özgül dirence sahip sistemlerde Mg anotlu sistemin kullanılmaması TSE 5141 tarafında önerilmektedir.

## **2.6 Katodik Koruma Sistemlerinin Devreye Alınması**

### **2.6.1 Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma**

Katodik koruma sistemi kurulduktan ve trafo redresör ünitesi çalışmaya başladıktan sonar kısa bir süre hattın polarizasyonunu tamamlaması için beklenir. Hat polarizasyonunu tamamlayana kadar yapılan ölçümler yanıltıcıdır.

Sistem çalışmaya başladığı andan itibaren dış akım kaynaklı katodik koruma ölçü kutularından okunacak katot – zemin potansiyeli – 850 mV’un mutlak değerinin üzerinde olmalıdır. Bakteriyel korozyon riski bulunan yerlerde bu değerin –950 mV’un üzerinde olması gerekmektedir.

Ayrıca trafo redresör ünitesi drenaj noktasından hatta verilecek potansiyelin kötü kaplanmış borularda – 1500 mV un mutlak değerinden yüksek olması kaplama bozukluklarına sebep olabilmektedir.

Sistem kontrolleri her mevsimde en az bir kez yapılmalıdır. Tüm hattın dolaşılması mümkün olmayan durumlarda en azından kritik noktalar kontrol edilmelidir. Kritik noktalar;

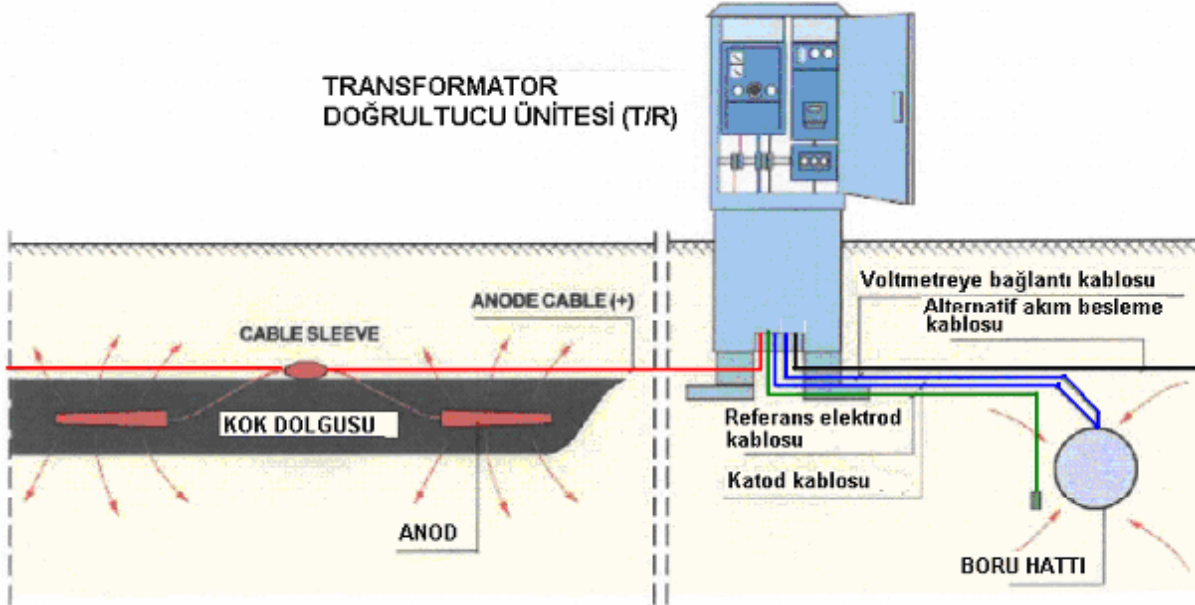
Har başı, hat sonu, dere geçişleri, by-pass kablosu bağlantı noktaları, izole flanş noktaları v.s.

### **2.6.2 Galvanik Anotlu Katodik Koruma**

Galvanin anotlu katodik koruma için de sistemin kontrolü aynı kriterleri içermektedir. Ancak galvanik anotlu sistemde ayrıca anot – zemin potansiyeli ve anot – katot akımı ölçümleri de yapılmalıdır. Bu ölçümler kullanılan anotların nizami olup olmadıkları konusunda ve miktarları hakkında bizi bilgilendirici niteliktedir.

Her iki sistem için de hattın devreye alınması sonucunda eğer hat üzerinde A.C. akım görülürse polarizasyon hücresi yardımı ile bu A.C. akımın boru üzerinden alınması gerekir.

### 3. BORU HATLARINDA DIŞ AKIM KAYNAKLI KATODİK KORUMA SİSTEMİNİN HESABI



Şekil 3.1 Dış akım kaynaklı katodik koruma istasyonunun genel görünüşü

Çelik borunun katodik olarak korunması için

- Bakır/Bakır sülfat referans elektroduna göre boru-toprak veya boru-su potansiyeli - 850mV veya daha negatif olacaktır.
- Toprağa gömülü veya suya daldırılmış boru yüzeyi ile Bakır/BakırSülfat referans elektrodu arasındaki polarizasyon kayması 100 mV veya daha fazla olmalıdır.

#### 3.1 Boru Hattı Karakteristikleri

##### 3.1.1 Boru hattı uzunluğu :

km cinsinden verilir. Bu verilen boru hattı uzunluğu olup gerçekte boru hattında kullanılan borunun uzunluğuna aşağı yukarı eşittir.

### 3.1.2 Boru çapı ve boru et kalınlığı:

Kullanılan boruda çap çoğunlukla inch cinsinden verilir ancak katodik koruma hesaplarında milimetre cinsine çevrilip uygulama yapılacaktır. Boru et kalınlığı milimetre ölçü birimine çevrilip kullanılacaktır.

### 3.1.3 Kaplama tipi , Kaplama kalınlığı , Koruma akım ihtiyacı

$R_K$  Kaplama direnci  $\rho_K$  kaplamanın spesifik direnci ve  $s$  kaplama kalınlığı olmak üzere aşağıda verilen ifade ile belirlenir.

$$R_K (\text{ohm.m}^2) = 10^{-5} \cdot \rho_K (\text{ohm.cm}) \cdot s (\text{mm}) \quad (1)$$

Çizelge 3.1 Spesifik kaplama dirençlerinin karşılaştırılması

| Kaplama malzemesi | $\rho_K$<br>(ohm.cm) | s<br>(mm) | $R_K$<br>(ohm.m <sup>2</sup> ) | $R_{K0}$<br>(ohm.m <sup>2</sup> ) | s<br>(mm) | $R_{KC}$<br>(ohm.m <sup>2</sup> ) |
|-------------------|----------------------|-----------|--------------------------------|-----------------------------------|-----------|-----------------------------------|
| Bitum(asfalt)     | $>10^{14}$           | 4         | $4 \times 10^9$                | $3 \times 10^5$                   | 4-10      | $-10^4$                           |
| PE                | $10^{18}$            | 2         | $2 \times 10^{13}$             | $10^{11}$                         | 2-4       | $-10^5$                           |
| EP                | $10^{15}$            | 0,4       | $4 \times 10^9$                | $10^8$                            | 0,4       | $-10^4$                           |
| PUR               | $3 \times 10^{14}$   | 2         | $6 \times 10^9$                | $10^9$                            | 2,5       |                                   |

Çizelge 3.1'deki  $R_K$  değerleri 1.nolu ifadeye göre hesaplanan değerdir.  $R_{K0}$  değeri laboratuvar ortamlarında veya boru ortama yerleştirilirken herhangi bir tahribata uğramayan borunun saha ölçüm değerleridir. Bu değer boru satın alınırken imalatçı firma tarafından verilir.  $R_{KC}$  ise genellikle boru toprağa veya suya yerleştirilirken tesis çalışmaları sırasında kaynaklar yapılırken meydana gelen tahribatlara ve ortamın spesifik direncine bağlı olarak boru kaplama direncinin alacağı değerdir.

Çok uzun boru hatlarında  $R_{K0}$  ile  $R_{KC}$  fark çok daha artacaktır.

$R_{KC}$  mevcut boru hatlarında akım ve gerilim ölçümleri sonucu aşağıda verilen ifade kullanılarak bulunur. Bunun için mevcut boru hatlarında gerekli ölçümleri almak üzere Transformator-doğrultucu ve anodlardan oluşan geçici katodik koruma istasyonları ile akım ve gerilim ölçümleri için test kutuları tesis edilir

$$R_{KC} = \frac{\Delta U'_N}{\Delta I_N} S \quad (2)$$

$$\Delta U'_N = \frac{1}{2} (\Delta U_N + \Delta U_{N+1}) \quad (3)$$

$$\Delta I_N = I = i_N - i_{N+1} \quad (4)$$

$$\Delta U = U_{ON} - U_{OFF} \quad (5)$$

$$\Delta I = i_1 - i_2 \quad (6)$$

#### Korunacak yüzeyin alanı

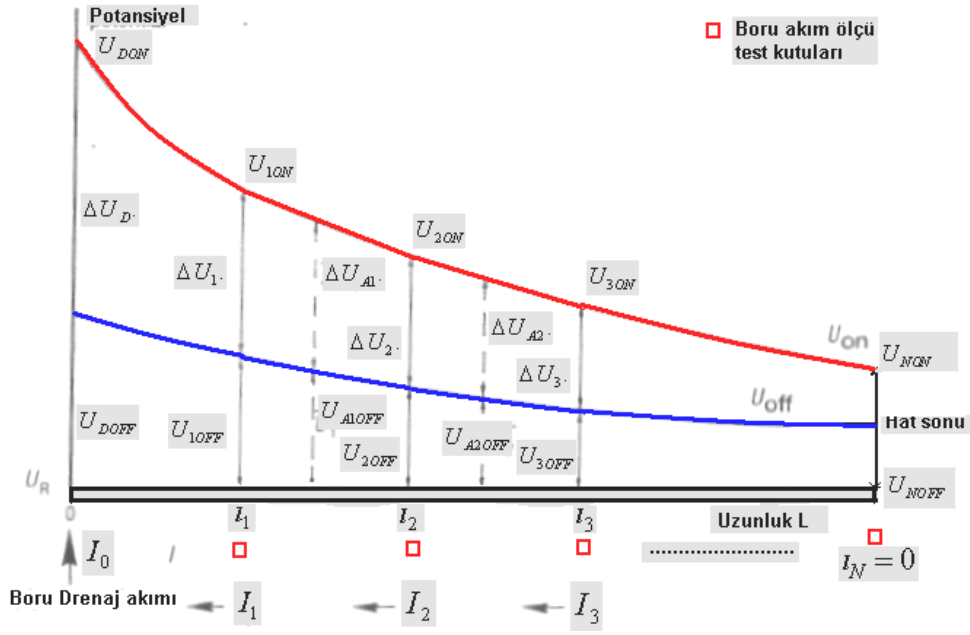
$$S = (\pi \cdot d) \cdot L \quad (7)$$

**d** boru yarı çapı

**L** iki ölçü kutusu arası uzaklık

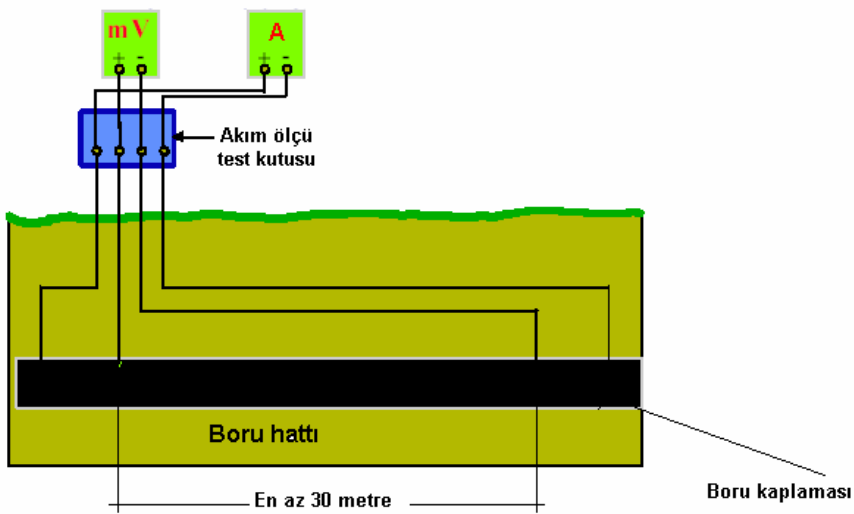
#### Koruma akım yoğunluğu

$$I_s = \frac{\Delta I}{S} = \frac{I}{S} \quad (8)$$



Şekil 3.2 Boru hattında kaplama direncinin ve koruma akım yoğunluğunun belirlenmesi

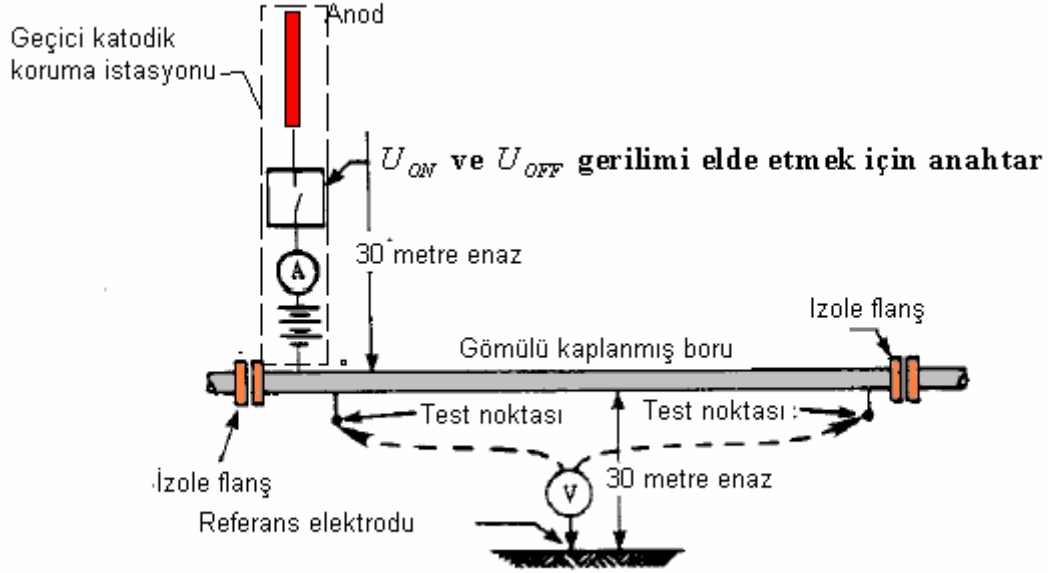
Akım ölçümleri boru hattı üzerinde tesis edilen hat akımları boru hattı üzerinde tesis edilen ölçü test kutuları vasıtasıyla gerçekleştirilir. Şekil 3.3 Kutular üzerinde bulunan akım ölçü terminalleri vasıtasıyla akım değerleri, gerilim terminalleri vasıtasıyla önce doğrultucu devrede iken  $U_{ON}$  potansiyeli ve  $I$  akımı ölçülür ve sonra doğrultucu devre dışı edilerek  $U_{OFF}$  gerilimi ölçülerek  $\Delta U = U_{ON} - U_{OFF}$  potansiyel farkı bulunur. Doğrultucu devre dışı iken  $I = 0$  değerindedir.



Şekil 3.3 Akım ölçü test kutusu

### 3.1.4 Direncini bulmak için metodlar

#### 3.1.4.1 Kısa hat metodu



Şekil 3.4 Kısa hat metodu ile kaplama direncinin tayini

Bu metod takriben 3 km ye kadar kısa hatlar için uygulanır.

Geçici katodik koruma istasyonundan  $I_o$  test akımı uygulanır. Anahtarı açıp kapamak suretiyle istasyon devreye sokulup çıkartılır. İstasyon devrede iken 1 ve 2 test noktalarındaki  $U_{1ON}$  ve  $U_{2ON}$  gerilimleri ve istasyon devre dışı iken  $U_{1OFF}$  ve  $U_{2OFF}$  okunur. Eğer bir test noktasında ölçülen gerilimler arasındaki oran  $\frac{U_{OFF}}{U_{ON}} = \frac{1}{6}$  ve daha fazla ise  $U_{OFF}$  gerilim aşağıda tablo 2 de verilen düzeltme faktörleri ile çarpılır.

Çizelge 3.2:  $\frac{U_{OFF}}{U_{ON}} = \frac{1}{6}$  gerilim oranlarına göre düzeltme faktörleri

| ORAN | FAKTÖR |
|------|--------|
| 1.6  | 0.919  |
| 1.7  | 0.908  |
| 1.8  | 0.896  |
| 1.9  | 0.886  |
| 2.0  | 0.876  |
| 2.1  | 0.868  |
| 2.2  | 0.860  |
| 2.3  | 0.851  |
| 2.4  | 0.843  |
| 2.5  | 0.835  |
| 2.6  | 0.829  |
| 2.7  | 0.821  |
| 2.8  | 0.814  |
| 2.9  | 0.809  |
| 3.0  | 0.802  |

### Örnek 1

42inch çapında 3 km uzunluğunda boru hattının tamamında ortalama kaplama direncinin ve ortalama koruma akım yoğunluğunun bulunması.

#### Drenaj Noktasında

$$U_{DON} = 1,30V \dots\dots\dots U_{DOFF} = 0,800V \dots\dots\dots I_D = 1,200A$$

$$\Delta U_D = U_{DON} - U_{DOFF} = 1,30 - 0,800 = 0,500V$$

#### Hat sonunda

$$U_{NON} = 0,910V \dots\dots\dots U_{NOFF} = 0,750V \dots\dots\dots I_N = 0A$$

$$\Delta U_N = U_{NON} - U_{NOFF} = 0,910 - 0,750 = 0,160V$$

$$\Delta I = I_0 = I_D - I_N = 1,200 - 0 = 1,200A$$

$$\Delta U_{D,N} = (\Delta U_1 + \Delta U_{2\phi}) / 2 = (0,500 + 0,160) / 2 = 0,330V$$

Gerilimler arası oran  $\frac{U_{DON}}{U_{DOFF}} = \frac{1,3}{0,8} = \frac{1,625}{1}$  ve  $\frac{U_{NON}}{U_{NOFF}} = \frac{0,91}{0,75} = \frac{1,213}{1}$  olduğundan Çizelge

3.2 deki faktörlerle çarpmaya gerek yoktur.

**Kaplama direnci  $R_{KC}$**

$$R_{KC} = \frac{\Delta U_N}{\Delta I} \cdot S = \frac{0,330}{3,000} \cdot 10066 \approx 3322 \text{ ohm.m}^2$$

**S 42 inch çapında 3 km uzunluğunda boru hattının direnci olup**

**d=42 inch=1,068 m boru yarı çapı**

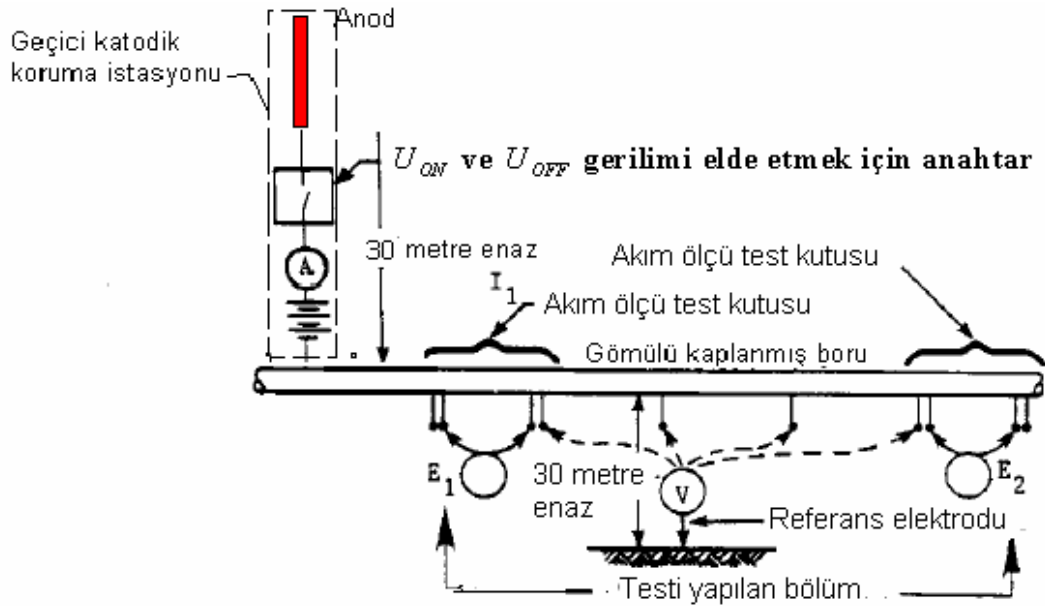
**L=3000 m iki ölçü kutusu arası uzaklık**

$$S = (\pi \cdot d) \cdot L = (\pi \cdot 1,068) \cdot 3000 = 10066 \text{ m}^2$$

**30 km lik boru hattı tamamında koruma akım yoğunluğu**

$$I_s = \frac{\Delta I}{S} = \frac{3,000}{10066} \approx 300 \mu\text{A/m}^2$$

### 3.1.4.2 Uzun hat metodu



Şekil 3.5 Uzun hat metodu ile kaplama direncinin tayini

Bu metotta geçici katodik koruma istasyonundan  $I_0$  akımı uygulanır. Hat boyunca akan akım iki akım ölçü test kutusundan  $I_1$  ve  $I_2$  ölçülür. Daha sonra her iki akım test kutusunda doğrultucu devrede iken  $U_{1ON}$  ve  $U_{2ON}$  ve doğrultucu devre dışı iken  $U_{1OFF}$  ve  $U_{2OFF}$  gerilimleri ölçülür.

Eğer bir test noktasında ölçülen gerilimler arasındaki oran  $\frac{U_{OFF}}{U_{ON}} = \frac{1}{6}$  ve daha fazla ise  $U_{OFF}$  gerilim aşağıda tablo 2 de verilen düzeltme faktörleri ile çarpılır.

## Örnek 2

Boru hattının 1 ve 2 noktaları arasındaki uzaklık 2 km'dir. Bu iki nokta arasındaki ortalama kaplama direncini bulalım.

### 1. no.lu akım ölçme kutusundaki potansiyel ve akım ölçüm değerleri

$$U_{1ON} = 1,180V \dots\dots U_{1OFF} = 0,900V \dots\dots I_1 = 0,500A$$

### 2. no.lu akım ölçme kutusundaki potansiyel ve akım ölçüm değerleri

$$U_{2ON} = 1,140V \dots\dots U_{2OFF} = 0,875V \dots\dots I_2 = 0,350A$$

#### 1. Ölçü kutusunda

$$\Delta U_1 = U_{1ON} - U_{1OFF} = 1,180 - 0,900 = 0,280V$$

#### 2. Ölçü kutusunda

$$\Delta U_2 = U_{2ON} - U_{2OFF} = 1,140 - 0,875 = 0,265V$$

**iki ölçü kutusu arasındaki ortalama değer**

$$\Delta U_{1,2} = (\Delta U_1 + \Delta U_{2\delta}) / 2 = (0,280 + 0,265) / 2 = 0,273V$$

**2km lik boru kısmından geçen akım**

$$\Delta I = I_2 = I_1 - I_2 = 0,500 - 0,350 = 0,150A$$

**Kaplama direnci  $R_{KC}$**

$$R_{KC} = \frac{\Delta U_{1,2}}{\Delta I} \cdot S = \frac{0,273}{0,150} \cdot 6710 \approx 12212 \text{ohm.m}^2$$

**S 42 inch çapında 2 km uzunluğunda buru hattının direnci olup**

**d=42 inch=1,068 m boru yarı çapı**

**L=2000 m iki ölçü kutusu arası uzaklık**

$$S = (\pi \cdot d) \cdot L = (\pi \cdot 1,068) \cdot 2000 = 6710 \text{m}^2$$

**2 km lik bölümde koruma akım yoğunluğu**

$$I_s = \frac{\Delta I}{S} = \frac{0,150}{12212} \approx 12,3 \mu A / \text{m}^2$$

### **3.1.5 Yeni tesis edilecek Boru hattında boru kaplama direnci ve koruma akım yoğunluğunun tesbiti**

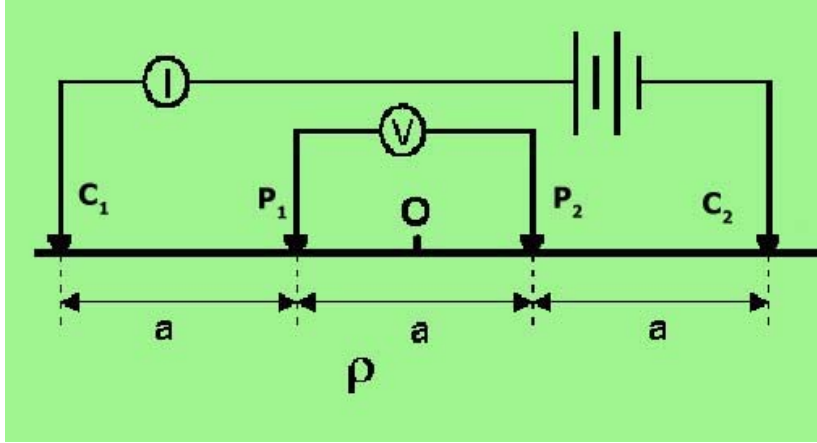
Bu işlemi yapabilmek için öncelikle boru hattı güzergahı boyunca toprak spesifik direncinin ölçülmesi gerekir

#### **3.1.5.1 Toprak spesifik direncinin (özgül direnç)ölçülmesi**

Toprak spesifik direncinin ölçülmesi Wennerin 4 elektrod metoduna göre yapılır. Elektrodlar arası açıklık boru hattı derinliğine göre ayarlanır. Elektrodlar arasındaki açıklıklar ölçü derinliğini verir. Genelde boru hattı 2 m derinliğe gömüldüğünden elektrodlar arası açıklıkta 2 m olacaktır.

Ölçüm boru hattı güzergahının her 500 m açıklığında bir ve her toprak karakterinin değiştiği yerlerde yapılacaktır. İki ölçü arasındaki değer birinin iki katından fazla ise

Geriye dönüp bu iki nokta arasında ölçü alınmalıdır.



Şekil 3.6 Wenner in 4-elektrod metoduna göre toprak spesifik direncinin ölçümü

Eski tip cihazlarda hem gerilim ve hem de akım değeri okunur .bu gibi cihazlarda ifade (9) a göre direnç değeri bulunur ve ifade (10) a göre toprak spesifik direnci hesaplanır. .Yeni cihazlarda ise doğrudan direnç değeri okunur ve (10 ) ifadesine göre toprak spesifik direnci hesaplanır.

Cihazdan okunan direnç değeri  $R = \frac{V}{I}$  ohm (9)dur

Elde edilen bu değerden aşağıda verilen (10) ifadesine göre  $\rho_s$  toprak spesifik direnci bulunur

$$\rho_s = 2.\pi.a.R \text{ ohm.cm(10)}$$

**a:** elektrod açıklığı

**R:** cihazdan okunan direnç

### 3.1.5.2 Kaplamasız boru hatlarında Koruma akım yoğunluğu

Boru hattı güzergahı boyunca ölçülen toprak spesifik dirençlerinin aritmetik ortalaması aşağıda verilen ifadeye göre alınır.

$$\rho_{ort} = \frac{\Sigma \rho_n - [(\rho_{max} + \rho_{min}) / 2]}{n - 1} \quad (11)$$

$\rho_{ort}$  Ortalama spesifik toprak direnci direnci ohm.cm

$\Sigma \rho_n$  Ölçülen tüm toprak spesifik dirençlerin toplamı ohm.cm

$\rho_{max}$  Ölçülen en yüksek toprak spesifik direnci ohm.cm

$\rho_{min}$  Ölçülen en düşük spesifik toprak direnci ohm.cm

Boru hattı ortalama spesifik direnci belirlendikten sonra bu değer esas alınarak Çizelge 3.4'e göre kaplamasız hatlar için koruma akım yoğunluğu belirlenir.

Çizelge 3.4'e göre akım yoğunluklar belirlenirken ortalama boru hattı spesifik direnci değerleri esas alınarak Çizelge 3.3'deki korozyonluk değerleri göz önüne alınır. Korozyonluk derecesine göre akım yoğunluğu belirlenir. Eğer düşük ortalama dirençli yani korozyonluğu yüksek olan toprak yapılarında buna göre yüksek akım yoğunluğu seçilir.

Çizelge 3.3 Toprak spesifik direnç sınıflandırılması

| Spesifik toprak direnci , $\rho$<br>(ohm.cm) | Toprağın korozyon karakteristikleri |
|----------------------------------------------|-------------------------------------|
| 1000 Kadar                                   | Çok korozyon                        |
| 1000 to 5000                                 | Korozyon                            |
| 5000 to 10,000                               | Orta korozyon                       |
| 10,000 ve yukarısı                           | Hafif korozyon                      |

Çizelge 3.4 Kaplamasız hatlarda  $I_s$  boru koruma akım yoğunluğu (mA/m<sup>2</sup> için değerler 10 ile çarpılacak)

(üst değerler spesifik toprak direnci düşük toprak veya su değerleri için alınır)

| Ortam                                             | Koruma akım yoğunluğu<br>mA/m <sup>2</sup> |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Toprak rezistivitesi <1,000 ohm-cm                | 60 - 250                                   |
| Toprak rezistivitesi 1,000 - 10,000 ohm-cm        | 30 - 60                                    |
| Toprak rezistivitesi 10,000 - 30,000 ohm-cm       | 20 - 30                                    |
| Toprak rezistivitesi >30,000 ohm-cm               | 10 - 20                                    |
| Anerobik bakteri ihtiva eden yüksek etkili toprak | 150 - 400                                  |
| Durgun taze su                                    | 20 - 40                                    |
| Akar su                                           | 40 - 60                                    |
| Hareketli taze su                                 | 50 - 150                                   |
| Sıcak taze su                                     | 50 - 150                                   |
| Durgun deniz suyu                                 | 10 - 30                                    |
| Hareketli deniz suyu                              | 30 - 250                                   |
| Beton                                             | 55 - 15                                    |

Koruma akım yoğunluğunun belirlenmesiyle (8) ifadesi

$$\Delta I = I_s \cdot S \quad (12) \quad \text{Şekline getirilerek koruma akım ihtiyacı belirlenir.}$$

### 3.1.5.3 Kaplamalı hatlar.

Kaplamalı hatlarda akım ihtiyacını belirlemek için çeşitli metodlar vardır

a.) Boru hattı ortalama toprak spesifik rezistivitesine göre tablo 3: den koruma akım yoğunluğu ihtiyacı belirlenir. Aşağıda verilen ifade kullanılarak koruma akım ihtiyacı bulunur.

$$I = S \times I_s \times (1 - C_E) \quad (13)$$

$S$  Toplam korunacak alan m<sup>2</sup>

$I_s$  Akım yoğunluğu Tablo 3 den alınacak mA/m<sup>2</sup> Çizelge 3.4 deki değerler 10 ile çarpılarak mA/m<sup>2</sup> değerinden alınır.

$I$  Toplam koruma akım ihtiyacı

$C_E$  Kaplama verimliliği

Kaplama verimi kaplama cinsine göre verilir ve tecrübelerle dayanarak tahmin edilir. Genellikle asfalt kaplamalar için %90 ve PE kaplamalar için %98-99 alınır.

b.) Boru hattı spesifik toprak direncine göre Tablo 4 deki değerler kullanılır. Tablodaki üst değerler ortalama toprak spesifik direnci düşük olan toprak veya su içindeki boru hattı ve yapılar için kullanılır.

Çizelge 3.5 deki değerler seçilirken tablo 4 deki uygulamalarda olduğu gibi Çizelge 3.3 deki sınıflandırma esas alınarak boru hattı için akım yoğunluğu belirlenir

Çizelge 3.5 Kaplamalı çelik yapılarda katodik koruma koruma akım yoğunluğu ihtiyacı

mA/m<sup>2</sup>

| Ortam                                                   | Koruma akım yoğunluğu<br>mA/m <sup>2</sup> ± ) |
|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Boru hattı epoksi veya diğeryüksek performanslı kaplama | 0,01 - 0,05                                    |
| Boru hattı kuvvetlendirilmiş kömür katranı              | 0,05 - 0,25                                    |
| Boru hattı sarmal çres kaplama                          | 0,5 - 1,50                                     |
| Boru hattı asfalt reçinesi 1/2" kalınlık                | 0,01 - 0,05                                    |
| Boru hattı eski asfalt veya diğerkorunmuş kaplamalar    | 0,5 - 3,5                                      |
| Boru hattı eski boya kaplama                            | 1,0 - 3,0                                      |
| Tankların tabanları                                     | 0,5 - 20                                       |
| Tanklar soğuk içme suları için                          | 0,5 - 20                                       |
| Tanklar Tanklar soğuk deniz suları için                 | 0,5 - 40                                       |
| Hareketli soğuk su veya kullanım su tankları            | 3 - 30                                         |
| Temiz su tarafındaki çelik kazıklar                     | 1,0 - 15                                       |
| Deniz suyu tarafındaki çelik kazıklar                   | 1,0 - 20                                       |
| Toprak tarafındaki çelik kazıklar                       | 0,5 - 10                                       |

Seçilen akım yoğunluğu esas alınarak aşağıda verilen ifade yardımıyla akım yoğunluğu belirlenir.

$$I = S \times I_s \quad (14)$$

c.) BOTAŞ ın gaz ve petrol boru hatlarına ait boru kaplamalarının boru güzergahı ortalama toprak spesifik direncine göre aldığı değerler Çizelge 3.6 da göre verilmiştir. Bu değerlerden hareketle kaplama spesifik direnci bulunur.

Çizelge 3.6 Toprak özgül direncine göre kaplama direnci

| Ortalama toprak rezistivitesi ohm.cm | $R_{KC}$ spesifik kaplama direnci ohm.m <sup>2</sup> |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 2500 den az                          | 3000                                                 |
| 2500-4000                            | 5000                                                 |
| 4000-10000                           | 6000                                                 |
| 10000 den fazla                      | 12000                                                |

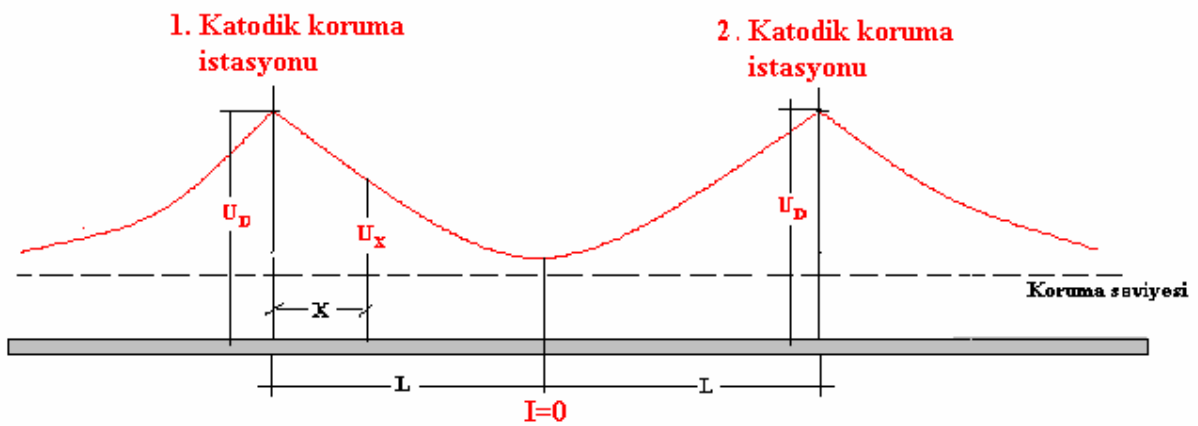
### 3.2 Boru hatlarının dış akım kaynaklı katodik korunmasında koruma akım ihtiyacının belirlenmesi ve azamı koruma akımının hesabı.

Boru hatlarının katodik korunmasında Katodik koruma istasyonlarının etkisi açısından 2 uygulama yapılır.

#### 3.2.1 Kesintisiz Boru hattında Katodik koruma koruma uygulaması

Bu uygulamada korunacak hattın üzerindeki katodik olarak korunacak boru hattı herhangi bir şekilde izole flanşlarla izole edilmez. İstasyon giriş ve çıkışlarında izole flanş varsa her iki bölüm kablo ile köprülenerek bölümler arasında iletkenlik sağlanır. Şekil 3.7 Boru hattı, tesis edilen katodik koruma istasyonları vasıtasıyla birlikte korunurlar.

Bu tip çalışmaya ingilizce teknik literatürde (Pipeline of finite length protected) yani korunmuş sonlu uzunlukta boru hattı denilmesinin sebebi (14) ifadede  $x=L$  alındığında yani Şekil 3.7 de görülen 1. No. lu katodik koruma istasyonunun  $L$  koruma uzunluğunun sonunda  $I$  Koruma akımının sıfır olması yani korumanın bu noktada sonlandırılmasıdır. Türkçe olarak daha iyi anlaşılması için Katodik korumada Boru hattının kesintisiz iletkenliği söz konusu olduğundan Kesintisiz boru hattında katodik koruma uygulaması olarak adlandırılmıştır.



Şekil 3.7 Boru hattı üzerindeki katodik koruma istasyonlarının birbirini etkilediği kesintisiz koruma metodu



### 3.2.2 Sistemdeki akım ve gerilim ifadeleri

Potansiyel ifadesi

$$U_x = U_D \cdot \frac{\cosh[\alpha(L-x)]}{\cosh(\alpha L)} \quad (15)$$

Akım ifadesi

$$I = I_D \frac{\sin[\alpha(L-x)]}{\sin(\alpha L)} \quad (16)$$

Bu eşitliklerin geçerli olabilmesi için

- Kaplama direncinin yüksek, üniform ve omik, direncin boru hattı boyunca gerilim düşümünden bağımsız olması
- Anod yatağının boru hattından uzak olması gerekir

Kesintisiz koruma metodunda Şekil 3.7 den görülen L koruma uzaklığı sonundaki akım sıfırdır.

$\alpha$  zayıflama sabiti olup

$$\alpha = \sqrt{\frac{R'}{R_t}} = \sqrt{R' G'} \quad (17)$$

$R'$  Boru iç direnci olup

$$R' = \frac{\rho_B}{\pi \cdot (d - t) \cdot t} \quad (\text{ohm/metre}) \quad (18)$$

ifadesinden belirlenir

$t$  boru malzemesinin et kalınlığı (metre)

$\rho_B = 0,18 \cdot 10^{-6}$  ohm.m boru çelik malzemesinin spesifik direnci

$d$  boru çapı (metre)

$R_t$  Boru hattı kaçak direnci veya  $G'$  kaçak iletkenliği

$$R_t = \frac{1}{G'} = \frac{R_{KC}}{\pi \cdot d} \quad (\text{ohm.metre}) \quad (19)$$

ifadesi ile elde edilir.

$R_{KC}$  borunun spesifik kaplama direnci  $\text{ohm.m}^2$

### 3.2.3 Tek katodik koruma istasyonunun azami koruma uzunluğu

Yukarıdaki verilen ifadeler gerekli matematiksel işlemlere tabi tutulup gerekli kısaltmalar yapıldığında kesintisiz korumada azami koruma açıklığı aşağıda verilen basitleştirilmiş ifade elde edilir.

$$(2L)^2 = \frac{8 \cdot \Delta \bar{U} \cdot t}{\rho_B \cdot I_s} \quad (\text{m}^2) \quad (20)$$

$$(2L) = \sqrt{\frac{8 \cdot \Delta \bar{U} \cdot t}{\rho_B \cdot I_s}} \quad (\text{metre}) \quad (21)$$

$t$  boru malzemesinin et kalınlığı (mm)

$\rho_B = 0,18 \cdot 10^{-6} \text{ ohm.m}$  boru çelik malzemesinin spesifik direnci

$\Delta \bar{U}$  (V) Hat başı ile hat sonu arasındaki katodik koruma istasyonu devrede iken hat başı ve hat sonu potansiyellerinin farkıdır, yani drenaj noktası ile katodik olarak korunan hattın L uzaklığının sonundaki potansiyellerin farkıdır.

Örneğin : Drenaj noktası potansiyeli  $U_D = -1,2.V$  L uzaklığındakda potansiyel katodik koruma şartı gereği  $U_L = -0,85.V$  olmak zorundadır. Buna göre

$$\Delta \bar{U} = U_D - U_L = -1,2 - (-0,85) = -0,35.V \text{ alınır}$$

**Boru hattı katodik koruma toplam akım ihtiyacını veren basit ifade söz konusu işlemlerle elde edilir.**

$$I = 2 \cdot \pi \cdot d \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot \Delta \bar{U} \cdot t \cdot 10^{-3}}{\rho_B}} \cdot I_s \quad (\text{Amper}) \quad (22)$$

### 3.2.4 Gerekli katodik koruma istasyon sayısı

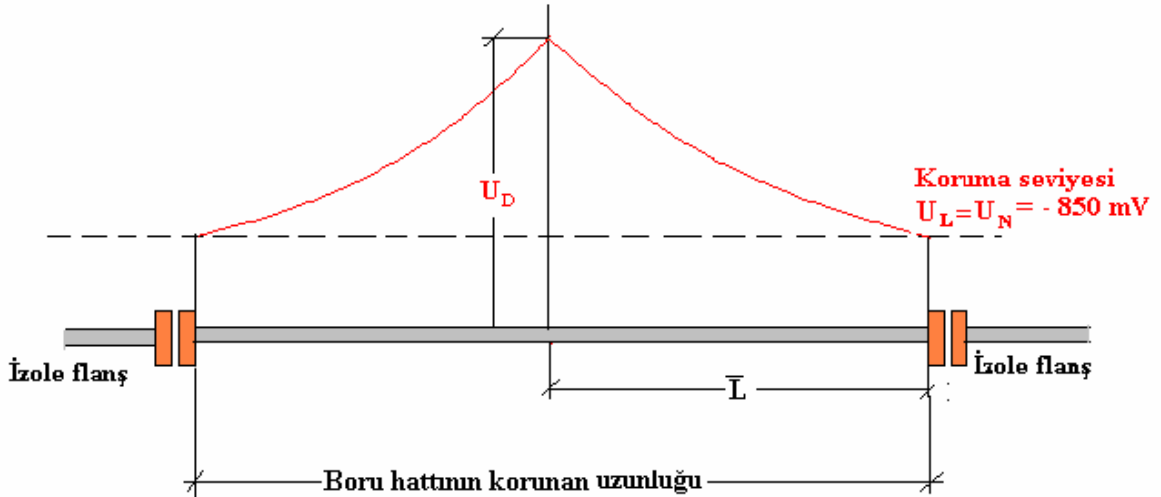
$$n = \frac{\Sigma L}{2L} \quad (23)$$

$\Sigma L$  Korunacak boru hattının toplam uzunluğu

### 3.3 Kesintili Boru Hattında Katodik Koruma uygulaması

Bu uygulamada bir katodik koruma istasyonu ile korunacak boru hattı bölümü boru hattının diğer bölümlerinden izole flanşlar vasıtasıyla elektriksel olarak birbirinden ayrılmıştır. Boru hattı üzerine tesisi edilen diğer katodik koruma sistemlerinin söz konusu boru hattı bölümüne hiçbir etkisi yoktur.

Bu tip çalışmaya İngilizce teknik literatürde (Pipeline of infinite length protected) yani korunmuş sonsuz uzunlukta boru hattı denilmesinin sebebi (24) ifadede  $x=L$  alındığında yani Şekil 8 de görülen katodik koruma istasyonunun  $L$  koruma uzunluğunun sonunda boru hattı izole flanş vasıtasıyla sonlandırıldığı halde  $I$  Koruma akımının sıfırdan farklı olmasıdır.. Türkçe olarak daha iyi anlaşılması için Katodik korumada Boru hattı katodik koruma istasyonunun koruduğu uzaklık açısından kesintiye uğradığı için Kesintili boru hattı katodik koruma uygulaması olarak adlandırılmıştır.



Şekil 3.8 Boru hattı üzerindeki katodik koruma istasyonlarının birbirini etkilemediği kesintili uygulama

### 3.3.1 Sistemdeki akım ve gerilim ifadeleri

Potansiyel ifadesi

$$U_x = U_D \cdot \exp(-\alpha \cdot x) \quad (24)$$

$x=L$  olduğunda

$$U_L = U_D \cdot \exp(-\alpha \cdot x) \quad (25)$$

olacaktır.

Akım ifadesi

$$I_x = I_D \cdot \exp(-\alpha \cdot x) \quad (26)$$

### 3.3.2 Kesintili uygulamada katodik koruma sisteminin azami boru koruma uzunluğu

$\bar{L}$  kesintili işletmenin tek yönlü uzunluğu ve  $L$  ise kesintisiz uygulamanın tek yönlü uzunluğu olmak üzere ,birbirleri arasında aşağıda verilen bağlantı mevcuttur.

$$\frac{\bar{L}}{L} = \frac{Ln2}{\sqrt{2}} = 0,49 \quad (27) \text{ (Handbook cathodic corrosion handbook W.Von Beackman)}$$

Buna göre kesintili uygulamada azami koruma uzunluğu

$$(2.\bar{L})^2 = 0,24 \frac{3\Delta\bar{U}t}{\rho_B \cdot I_s} = \frac{1,921\Delta\bar{U}t}{\rho_B \cdot I_s} \quad (m^2)(28)$$

Azami koruma uzunluğu

$$(2.\bar{L}) = \sqrt{\frac{1,921\Delta U t}{\rho_B \cdot I_s}} \quad (\text{metre}) \quad (29) \quad (2.\bar{L})$$

Katodik koruma istasyon sayısı

$$n = \frac{\Sigma L}{2L} \quad (23)$$

$\Sigma L$  Korunacak boru hattının toplam uzunluğu

$\alpha$  zayıflama sabiti için (15) , (16) , (17) ifadeleri bu sistemdede aynı şekilde kullanılacaktır.

Koruma akım ihtiyacı

$$\frac{\bar{I}}{I} = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1,16$$

(30) (Handbook cathodic corrosion protection W.Von Beackman)

Toplam koruma akım ihtiyacı

$$\bar{I} = 1,16 \cdot 2 \cdot \pi \cdot d \cdot \sqrt{3 \Delta \bar{U} \cdot \frac{t \cdot 10^{-3}}{\rho_B} \cdot I_s} = 2,32 \cdot \pi \cdot d \cdot \sqrt{3 \Delta \bar{U} \cdot \frac{t \cdot 10^{-3}}{\rho_B} \cdot I_s} \quad (31)$$

Örnek 3: Kesintisiz uygulama

$t = 12 \text{ mm}$

Boru uzunluğu =200 km

$\rho_B = 0,18 \cdot 10^{-6} \text{ ohm.m}$  boru çelik malzemesinin spesifik direnci

Boru çapı  $d = 42 \text{ inch} = 1,068 \text{ metre}$

$$\Delta \bar{U} = U_{DON} - U_{NON} = 1,2 - 0,85 = 0,35V$$

$$I_s = 0,035 \text{ mA/m}^2$$

Boru azami koruma uzunluğu

$$(2L)^2 = \frac{8 \Delta \bar{U} \cdot t}{\rho_B \cdot I_s} = \frac{8 \times 0,35 \times 12}{0,18 \cdot 10^{-6} \times 0,035} = 5333 \cdot 10^6 \cdot m^2$$

$$2L = 730296 \cdot metre \approx 73 \cdot km$$

Katodik koruma istasyon sayısı

$$N = \frac{\Sigma L}{(2L)} = \frac{200}{73} = 2,74$$

**Koruma istasyonu sayısı 3 olarak belirlendi**

**Her bir katodik koruma istasyonunun koruyacağı uzunluk**  $2L = \frac{\Sigma L}{n} = \frac{200}{3} = 66,7.km$

**Boru hattının toplam koruma akım ihtiyacı**

$$I = 2.\pi.d.\sqrt{3.\Delta\bar{U}.\frac{t.10^{-3}}{\rho_B}.I_S} = 2.\pi.1,068.\sqrt{3.0,35.\frac{12.10^{-3}}{0,018.10^{-6}}.0,035.10^{-3}} = 33,2.A$$

**Herbir istasyonun drenaj noktasından çekilecek akım**

$$I_D = \frac{I}{N} = \frac{33,2}{3} \approx 12.A$$

**Örnek 4 : Kesintili boru hattı uygulaması**

**t= 12 mm**

**Boru uzunluğu =200 km**

**$\rho_B=0,18.10^{-6}$  ohm.m boru çelik malzemesinin spesifik direnci**

**Boru çapı d=42 inch=1,068 metre**

$$\Delta\bar{U} = U_{DON} - U_{NON} = 1,2 - 0,85 = 0,35V$$

$$I_S = 0,035.mA/m^2$$

$$(2L)^2 = 0,24.\frac{8.\Delta\bar{U}.t}{\rho_B.I_S} = \frac{1,921.\Delta\bar{U}.t}{\rho_B.I_S} = \frac{1,921 \times 0,35 \times 12}{0,18.10^{-6} \times 0,035} = 1281.10^6.m^2$$

$$2L \approx 35386.metre = 35,386.km$$

**Katodik koruma istasyon sayısı**

$$N = \frac{\Sigma L}{(2L)} = \frac{200}{35,386} = 5,65$$

**Koruma istasyonu sayısı 6 olarak belirlendi**

**Her bir katodik koruma istasyonunun koruyacağı uzunluk**  $2L = \frac{\Sigma L}{n} = \frac{200}{6} = 33,3.km$

**Yani korunacak boru her 33,3 km de bir izole flanşlar vasıtasıyla elektriksel olarak birbirlerinden izole edilecektir.**

**Boru hattının toplam akım ihtiyacı**

$$\bar{I} = 2,32 \cdot \pi \cdot d \cdot \sqrt{3 \Delta \bar{U} \cdot \frac{t \cdot 10^{-3}}{\rho_B}} \cdot I_s \approx 39.A$$

**Herbir istasyonun drenaj noktasından çekilecek akım**

$$\bar{I}_D = \frac{\bar{I}}{N} = \frac{39}{6} \approx 7.A$$

**Örnek 3 ve 4 incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılır.**

Kesintisiz katodik koruma uygulaması uzun boru hatlarının katodik koruması hem toplam katodik koruma akım ihtiyacı ve hemde katodik koruma istasyonu sayısı açısından uygun olmaktadır

Kesintili katodik koruma uygulamasında koruma istasyonu sayısı ve bunlara ait koruma uzunluğu belirlendikten sonra, koruma uzunluklarına ait bölümlere ait toprak spesifik dirençlerine göre kısım 1.3.3.2 de verilen (9) ifadesine göre yeniden ortalama toprak spesifik direnci hesaplanarak bu değer için bulunan koruma akım yoğunluğuna göre yeniden her bir istasyona ait katodik koruma akım ihtiyacı, azami koruma uzunluğu hesaplanarak kontrol edilmelidir. Zira kesintisiz işletmede tüm hatta ait ortalama toprak spesifik direnci etkili olduğu halde ,kesintili uygulamada etkili olan her bölüme ait ortalama toprak spesifik direncidir. Bu nedenle ortalama toprak spesifik direncinin yüksek olduğu bölümlerde daha az akım ihtiyacı ve daha az sayıda katodik koruma istasyonu ve ortalama toprak spesifik direnç değerleri düşük olan yerlerde daha yüksek akım ihtiyacı ve daha fazla katodik koruma istasyonu gerekebilir.

### 3.4 Anod sayısı, anod tipi, anod yatağı uzunluğunun ve toplam anod yatağı direnci ve anod ömrünün belirlenmesi

Boru hatlarında çoğunlukla yatay anod yatakları yatay ve düşey anod tertibi genellikle kullanıldığından bu tip anod yataklarının dizaynı incelenecektir.

Anod malzemesi olarak yüksek silikonlu demir anodlarla , metal oksit kaplı titanyum anod kullanılmaktadır.

Anoda sayısını belirleyen faktörler

- Anod yatağının toprak spesifik direnci
- Katodik koruma sisteminin toplam devre direnci ve boru hattı toprak geçiş direnci
- Anod yatağı direnci
- Katodik koruma sisteminin işletme ömrü
- 

Katodik koruma sisteminin elektrik devresinde aşağıda belirtilen dirençler görülmektedir.

$R_A$  Anod anod direnci

$R_W$  Anodun bağlantı hattının direnci

$R_p$  Boru direnci

$R_{AB}$  Anod dolgu direnci

$R_{BG}$  Dolgu toprak direnci

$R_{PG}$  Boru-Toprak direnci

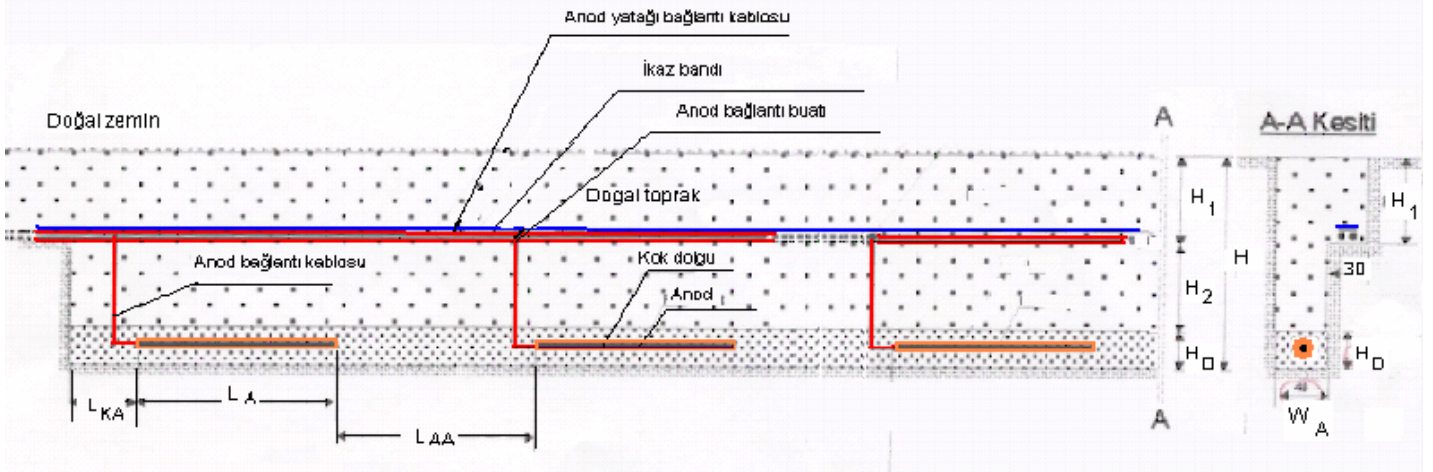
$\Sigma R_{GB}$  Toplam anod yatağı direnci

Katodik koruma toplam devre direnci

$$\Sigma R_T = \Sigma R_{GB} + R_W + R_p + R_{PG} \quad (32)$$

### 3.4.1 Yatay anod yatağı ve anodların yatay yerleştirilmesi

Anodların şekil 3.8 de görüldüğü gibi yatay olarak düzenlenmesi durumunda bir anod için toprak geçiş direnci Dwight formülüne göre



Şekil 3.8 Yatay anod yatağı anodların yatay yerleşimi

#### 3.1.1 Tek anod-dolgu direnci

$$R_A = \frac{\rho_C}{2\pi L_A} \left[ L_A \left( \frac{4L_A^2 + 4L_A \sqrt{(2H)^2 + L_A^2}}{D_A (2H)} \right) + \frac{(2H)}{L_A} - \frac{\sqrt{(2H)^2 + L_A^2}}{L_A} - 1 \right] \quad (33)$$

$D_A$  anod çapı (metre)

$\rho_C$  Dolgunun spesifik direnci (ohm. metre) yaklaşık değeri 0,2 ile 0,5 ohm.metre arasında değişmektedir. Kok dolgunun yıllık tüketim değeri ise 2kg/A.yıl

$L_A$  Anod boyu (metre)

$H$  Anod yatağı derinliği (metre)

### 3.4.2 Anod yatağındaki anodların toplam direnci

Anod yatağında birden fazla anod bulunduğundan bunlar arasında girişim olacağından toplam anod direnci hesaplanırken aşağıda verilen ifadeye göre girişim faktörü ile çarpılır.

Girişim faktörü

$$F_A = 1 + \frac{\rho_c}{\pi \cdot L_{AA} \cdot R_A} \cdot \ln(0,656 \cdot N) \quad (34)$$

Anod yatağındaki anodların toplam direnci

$$\Sigma R_A = \frac{R_A}{N} \cdot F_A \quad (35)$$

$N$  Anod yatağındaki toplam anod sayısı

$L_{AA}$  Anod yatağındaki anodların uçtan uca birbirlerinden uzaklığı (metre)

### 3.4.3 Anod yatağı dolgu-toprak direnci

Tek anod direnci hesabındaki ifade dolgu yatağı boyutları esas alınarak uygulanır.

$$R_{BG} = \frac{\rho_s}{2\pi \cdot L_{BG}} \cdot \left[ L \ln \left( \frac{4 \cdot L_{BG}^2 + 4 \cdot L_{BG} \cdot \sqrt{(2H)^2 + L_{BG}^2}}{D_{BG} \cdot (2H)} \right) + \frac{(2H)}{L_{BG}} - \frac{\sqrt{(2H)^2 + L_{BG}^2}}{L_{BG}} - 1 \right] \quad (36)$$

Anod yatağı toplam uzunluğu veya dolgu uzunluğu Şekil 7 den

$$L_{BG} = 2 \cdot L_{KA} + N \cdot L_A + (N - 1) L_{AA} \quad (37)$$

$N$  toplam anod sayısı

Dolgu eşdeğer çapı

$$D_{BG} = 2 \cdot \sqrt{\frac{H_D \cdot W_A}{\pi}} \quad (38)$$

$H_D$  Dolgu yüksekliği (metre)

$W_A$  Dolgu genişliği

$\rho_s$  Anod yatağı spesifik direnci (ohm.metre)

### 3.4.4 Anod yatağı direnci

$$\Sigma R_{GB} = R_{BG} + \Sigma R_A = R_{GB} + \frac{R_A}{N} \cdot F_A \quad (39)$$

### 3.4.5 Anod bağlantı kablosu direnci

Katodik koruma sistemlerinde kablolarının iletkenleri mutlaka bakır olacaktır

$$R_W = \frac{L_K(\text{metre})}{\chi(\text{metre / ohm.mm}^2) \cdot S_K(\text{mm}^2)} \cdot (\text{ohm}) \quad (40)$$

$L_K$  Anod yatağı ana kablosu uzunluğu (metre)

$\chi = 56.(\text{metre / ohm.mm}^2)$  Bakır kablonun  $20^0\text{C}$  deki özgül iletkenliği

$S_K.(\text{mm}^2)$  Bakır kablo iletkeninin kesiti

### 3.4.6 Boru hattının direnci

$$R_P = \frac{\rho_B(\text{ohm.m})}{\pi \cdot (d(m) - t(m)) \cdot t(m)} \cdot L(m) \quad \text{ohm} \quad (41)$$

$\rho_B = 0,18.10^{-6}$  ohm.m boru çelik malzemesinin spesifik direnci

$L$  (metre) korunacak boru hattı uzunluğu

$t$  (metre) boru et kalınlığı

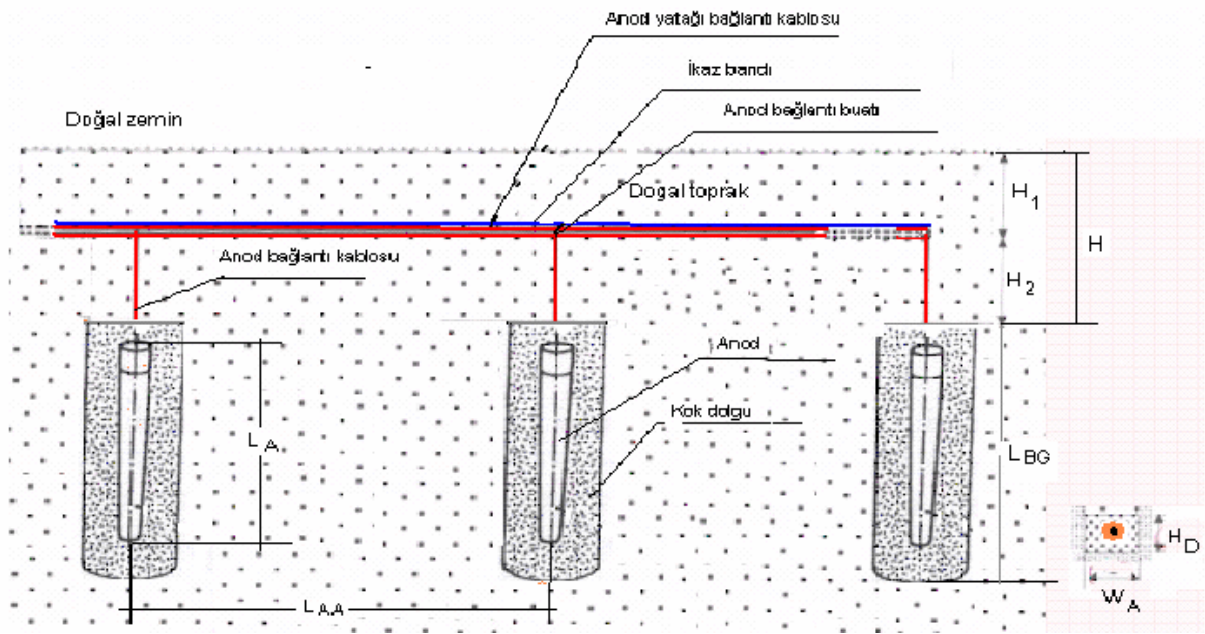
### 3.4.7 Boru hattı toprak direnci

$$R_{PG} = \frac{R_{KC}(\text{ohm.m}^2)}{S(\text{m}^2)} \quad \text{ohm} \quad (42)$$

### 3.4.8 Yatay anod yatağı ve anodların düşey yerleştirilmesi

#### 3.4.8.1 Tek anod-toprak direnci

$$R_A = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\rho_c (\text{ohm.cm})}{L_A (\text{cm})} \cdot \left[ \ln \frac{8L (\text{cm})}{D_A (\text{cm})} - 1 \right] \text{ ohm (43)}$$



Şekil 3.10 Yatay anod yatağı anodların düşey yerleşimi

#### 3.4.8.2 Tek dolgu- toprak direnci

$$R_{BG} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\rho_s (\text{ohm.cm})}{L_{BG} (\text{cm})} \cdot \left[ \ln \frac{8L_{BG} (\text{cm})}{D_{BG} (\text{cm})} - 1 \right] \text{ ohm (44)}$$

$D_{BG}$  kok dolgu eşdeğer çapı için (28) ifadesi kullanılacaktır.

#### 3.4.8.3 Toplam anod yatağı direnci

$$\Sigma R_{GB} = \left( \frac{R_A + R_{BG}}{N} \right) \cdot F_A \text{ ohm (45)}$$

$F_A$  Girişim faktörü için  $F_A = 1 + \frac{\rho_s}{\pi \cdot L_{AA} \cdot R_{BG}} \cdot \ln(0,656 \cdot N)$  (34) ifadesi kullanılır.

### Örnek 5:

30 km uzunluğunda 42 inch çapında boru et kalınlığı 14,3 mm olan boru hattının ortalama toprak spesifik direnci 11400 ohm.cm dir. Boru hattının kaplaması yüksek kaliteli olup PE dir. Boru hattını katodik olarak korumak için kesintili metod uygulanacaktır.

**Borunun spesifik kaplama direnci Tablo 6dan  $R_{KC}=12000 \text{ ohm.m}^2$  olarak belirlendi**

### Akım yoğunluğu ihtiyacı

$$I_s (\mu A / m^2) = \frac{4 \cdot 10^5 (\text{Volt})}{R_{KC} (\text{ohm.m}^2)} = \frac{4 \cdot 10^5}{12000} \approx 35 \mu A / m^2$$

### Boru hattı toplam akım ihtiyacı için

$$I(A) = 2,32 \cdot \pi \cdot d(m) \cdot \sqrt{3 \cdot \Delta U (\text{Volt}) \cdot \frac{t \cdot 10^{-3}}{\rho_B (\text{ohm.m})}} \cdot I_s (A) = 2,32 \cdot \pi \cdot 1,068 \cdot \sqrt{3 \cdot 0,4 \cdot \frac{14,3 \cdot 10^{-3}}{0,18 \cdot 10^{-6}}} \cdot 35 \cdot 10^{-6} \approx 15 \cdot A$$

Anod yatağı katodik koruma istasyonundan 100 m uzakta olup anod yatağı 1x50mm2 kesitinde kablo ile anod bağlantıları sağlanacaktır. Kablo direncini (38)ifadesini kullanarak

$$R_w (\text{ohm}) = \frac{L_K (m)}{\chi (m / \text{ohm.mm}^2 \cdot S_K (\text{mm}^2))} = \frac{100}{56 \cdot 50} \approx 0,0357 \text{ ohm}$$

### Boru hattı direnci

$$R_p (\text{ohm}) = \frac{\rho_B (\text{ohm.m})}{\pi \cdot [d(m) - t(m)] \cdot t(m)} \cdot L(m) = \frac{0,18 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot (1,068 - 0,0143) \cdot 0,0143} \cdot 30000 \approx 0,00163 \text{ ohm}$$

### Boru toprakdirenci

$$R_{PG} (\text{ohm}) = \frac{R_{KC} (\text{ohm.m}^2)}{S(m^2)} = \frac{12000}{107501} = 0,116 \text{ ohm}$$

toplam katodik koruma devresi direnci 2 ohm değerini aşmaması gerektiği göz önüne alınarak

$2 = \Sigma R_{GB} + 0.0357 + 0,00163 + 0,116$  eşitliğinden **toplam anod yatağı direnci**

$\Sigma R_{GB} \approx 1,85.ohm$  **değerini aşmamalıdır**

Anod yatağı için  $\rho_s = 2128 ohm.cm$  değerinde spesifik dirence sahip yerde

Boy  $L_A = 150.cm$  ve çapı  $D_A = 5 cm$  olan demir silikon anod kullanılacaktır.

Yatay anod yatağında anodlar yatay yerleştirilecek ve anodların birbirlerine olan uzaklığı 3 m olacaktır. Anod yatağı derinliği 160 cm dir.

Öncelikle anod sayısını bulabilmek ve dolgu boyunu belirlemek için tek anodun toprak geçiş direnci bulunacaktır

Tek anodun dolgu ile olan direnci dolgu direnci  $\rho_C = 50.ohm.cm$  alınarak

$$R_A = \frac{2128}{2 \cdot \pi \cdot 150} \left[ \ln \left( \frac{4 \cdot (150)^2 + 4 \cdot 150 \cdot \sqrt{(2 \cdot 160)^2 + (150)^2}}{5 \cdot (2 \cdot 160)^2} \right) + \frac{(2 \cdot 160)}{150} - \frac{\sqrt{(2 \cdot 160)^2 + (150)^2}}{150} - 1 \right] \approx 3,94$$

**Anod sayısı**

$$N = \frac{3,94}{1,85} = 2,13 \approx 3 \text{ veya } 2 \text{ adet anod kullanılacaktır.}$$

**Buna göre anod yatağı dolgu boyu**

$$L_{BG} = 2 \cdot L_{KA} + N \cdot L_A + (N - 1) \cdot L_{AA} = 2 \cdot 2,5 + 3 \cdot 1,5 + (3 - 1) \cdot 3 = 15,5.m = 1550.cm \quad \text{veya} \quad \text{iki}$$

**anodlu sistem için**

$$L_{BG} = 2 \cdot L_{KA} + N \cdot L_A + (N - 1) \cdot L_{AA} = 2 \cdot 2,5 + 2 \cdot 1,5 + (2 - 1) \cdot 3 = 11.m = 1100.cm$$

Anod yatağının dolgu ile birlikte kesiti  $H_D(30cm) \times W_A(40 cm) cm^2$  olarak alınacaktır.

Dolgu eşdeğer çapı

$$D_{BG} = 2 \sqrt{\frac{H_D \cdot W_A}{\pi}} = 2 \sqrt{\frac{30 \cdot 40}{\pi}} \approx 39.cm \text{ bulunur.}$$

**Dolgunun toprak direnci**

$$R_{BG} = \frac{2128}{2.\pi.1550} \left[ \ln \left( \frac{4.1550^2 + 4.1950\sqrt{320^2 + 1550^2}}{39.320} \right) + \frac{320}{1550} - \frac{\sqrt{320^2 + 1550^2}}{1550} - 1 \right] \approx 1,212.ohm$$

**İki anodlu sistem**

$$R_{BG} = \frac{2128}{2.\pi.1100} \left[ \ln \left( \frac{4.1100^2 + 4.1100\sqrt{320^2 + 1100^2}}{39.320} \right) + \frac{320}{1100} - \frac{\sqrt{320^2 + 1100^2}}{1300} - 1 \right] \approx 1,565.ohm$$

**Tek anodun dolgu direnci**

$$R_A = \frac{50}{2.\pi.150} \left[ \ln \left( \frac{4.150^2 + 4.150\sqrt{320^2 + 150^2}}{39.320} \right) + \frac{320}{150} - \frac{\sqrt{320^2 + 150^2}}{150} - 1 \right] \approx 0,086.ohm$$

**Anodlar arası girişim faktörü**

$$F_A = 1 + \frac{50}{\pi.500.0,086} \ln(0,656.3) \approx 1,25$$

**İki anodlu sistem**

$$F_A = 1 + \frac{50}{\pi.500.0,086} \ln(0,656.2) \approx 1,01$$

**Toplam anod yatağı direnci**

$$\Sigma R_{GB} = 1,212 + \frac{0,086}{3} . 1,25 = 1,248.ohm \leq 1,85ohm$$

**İki anodlu sistem**

$$\Sigma R_{GB} = 1,565 + \frac{0,086}{2} . 1,101 \approx 1,613.ohm \leq 1,85ohm$$

**Anodların yatay yerleştirilmesi suretiyle yapılan sistemde direnç hesabı açısından iki anodlu sistem uygun görülmektedir.**

**Yatay anod yatağında anodların düşey yerleştirilmesi halinde Şekil 8:**

**Tek anodun toprak direnci**

$$R_A = \frac{2128}{2.\pi.150} \left[ \ln \frac{8.150}{5} - 1 \right] = 10.11.ohm$$

**Gerekli anod sayısı**  $N = \frac{10,11}{1,85} = 5,46$  **5 veya 6 anod kullanılacaktır.**

**Dolgu boyutlar 30x40 cm<sup>2</sup> den dolgu yarıçapı**  $D_{BG} = 39.cm$  **ve dolgu yüksekliği**

$L_{BG} = 300.cm$  **olarak alınacaktır**

**Tek anod dolgu direnci**

$$R_A = \frac{50}{2.\pi.150} \left[ \ln \frac{8.150}{5} - 1 \right] = 0,238.ohm$$

**Tek dolgu-toprak direnci**

$$R_{BG} = \frac{2128}{2.\pi.300} \left[ \ln \frac{8.300}{39} - 1 \right] = 4,65.ohm$$

**Girişim faktörü , 3 anodlu sistem için ve anodlar arası mesafe**

$L_{AA} = 300.cm$  **için**

$$F_A = 1 + \frac{2128}{\pi.300.4,65} \ln(0,656.6) \approx 1,665$$

**Toplam anod yatağı direnci**

$$\Sigma R_{BG} = \left( \frac{0,238 + 4,65}{6} \right) . 1,665 = 1,356.ohm \leq 1,85.ohm$$

**5 anod kullanıldığında**

$$F_A = 1 + \frac{2128}{\pi.300.4,65} \ln(0,656.5) \approx 1,577 \leq 1,85.ohm$$

**Toplam anod yatağı direnci**

$$\Sigma R_{BG} = \left( \frac{0,238 + 4,65}{5} \right) . 1,576 = 1,542ohm$$

**4 anod kullanıldığında**

$$F_A = 1 + \frac{2128}{\pi.300.4,65} \ln(0,656.4) \approx 1,469$$

### Toplam anod yatağı direnci

$$\Sigma R_{BG} = \left( \frac{0,238 + 4,65}{4} \right) \cdot 1,469 = 1,795 \text{ ohm} \leq 1,85 \text{ ohm}$$

Anod yatağı kurumasıda göz önüne alınarak 5 anodlu anod yatağı seçildi.

Görüleceği üzere anodların yatay tertibiyle yapılan anod yatağı anod yatağı direnci açısından en uygun tertiptir.

Katodik koruma toplam devre direnci, anodların yatay tertip ve sayısının 3 olması halinde

$$\Sigma R_T = 1,248 + 0,0357 + 0,00163 + 0,116 = 1,401 \text{ ohm} \leq 2 \text{ ohm}$$

### düşey tertip ve anod sayısı 5 olması halinde

$$\Sigma R_T = 1,577 + 0,0357 + 0,00163 + 0,116 = 1,73 \text{ ohm} \leq 2 \text{ ohm}$$

Yatay anod yatağında anodların yatay yerleştirilmesi anodların düşey yerleştirilmesinen göre hem ekonomik ve hemde anod yatağı direnci değerinin düşük olması bakımından daha uygun olduğu aşikardır.

#### 3.4.8.4 Anod yatağı işletme ömrünün belirlenmesi ve İşletme ömrüne göre anod kütlesinin hesabı

Bir adet katodik koruma istasyonunun anod yatağı için anod kütlesi aşağıda verilen ifade yardımıyla bulunur.

$$W = \frac{Y \cdot W_L \cdot I_D}{E} \quad (46)$$

**W bir anod yatağı için toplam anod ağırlığı (kg)**

**Y Katodik koruma istasyonunun işletme süresi (yıl)**

**$W_L$  Anodun çalışma sırasında kütle kaybı (demir-silikon anodlar için 0,3 kg/Amper.yıl, metal oksit kaplı titanyum anodlar için 0,001 kg/Amper.yıl)**

**$I_D$  Katodik koruma istasyonu drenaj akımı (A)**

**$E$  Anod verimi %50 alınacaktır**

**Gerekli anod sayısı**

$$N_A = \frac{W}{W_A} \quad (47)$$

**$W_A$  Bir anodun ağırlığı (kg) İmalatçı firma kataloglarından belirlenir.**

**Örnek 6:**

**Örnek 3 de bulunan bir katodik koruma sistemine ait drenaj akımı  $I_D = 12.A$**

**Sistemde demir-silikon anod kullanılacaktır İşletme süresi 20 yıldır. Gerekli anod ağırlığı**

$$W = \frac{Y.W_L.I_D}{E} = \frac{20 \times 0,3 \times 12}{0,50} = 144.kg$$

**sistemde 23 kg lık anod kullanılacaktır. Gereken anod sayısı**

$$N_A = \frac{W}{W_A} = \frac{144}{23} = 6,26 \dots\dots$$

**7 adet 23 kg lık demir silikon anod kullanılacaktır.**

Tüm boru hattı boyunca 3 adet katodik koruma istasyonu tesis edileceğinden toplam  $3 \times 7 = 27$  adet 23 kg lık demir silikon anod kullanılacaktır.

Katodik koruma sistemindeki anod sayısını belirlemek için anod yağı direncine göre bulunan anod sayısı ile işletme süresine göre bulunan anod sayısı karşılaştırılır, anod sayıları her iki durumdaki şartları gerçekleştirecek sayıda olması gerektiğinden fazla olan anod sayısını veren durumlar göz önüne alınır. Anod yatağı direncine göre belirlenen anodlar daha fazla ise bu sayıya göre anod sayısı kabul edilir, işletme süresi sayısına göre daha yüksekse bu şartlardaki miktarlar kabul edilerek, verilen anod miktarlarına göre yeniden anod yatağı direnci hesabı yapılır.

### 3.5 Transformator –Doğrultucu Ünitesinin (T/R)Gerilim ve Akım Değerlerinin Belirlenmesi

#### 3.5.1 T/R ünitesinin akım değeri

Transformatorun akım değeri belirlenirken katodik koruma sistemi akım ihtiyacı göz önüne alınır. Gelecekteki boru kaplama izolasyonundaki bozulmalar göz önüne alınarak T/R ünitesi akım değeri hesaplanırken koruma akım değerinin %20 veya %50 kadar fazlası alınır.

T/R ünitesi akımı ni belirlemek için aşağıda verilen ifade kullanılır.

$$I_{T/R} = (1,2 - 1,5)I \quad (48)$$

$I$  katodik koruma sistemi akım ihtiyacı

**Örnek 6.**

**Örnek 5 de verilen akım ihtiyacı  $I = 15.A$  için T/R ünitesi akımı**

$$I_{T/R} = (1,2 - 1,5).I = (1,2 - 1,5).15 = 18 - 22,5.A \text{ T/R ünitesi akımı olarak}$$

$$I_{T/R} = 20.A \text{ seçilir.}$$

#### 3.5.2 T/R Ünitesi gerilim değerinin belirlenmesi

Bu değer belirlenmesinde  $\Sigma R_T$  katodik koruma sistemi T/R ünitesi devre direnci çok küçük olduğundan ihmal edilerek toplam devre direnci ve koruma akım ihtiyacı değeri esas alınarak aşağıda verilen ifadeye göre hesaplanır.

$$U_{T/R} = \Sigma R_T \cdot I_{T/R} \quad (49)$$

**Örnek 7**

**Örnek 5  $\Sigma R_{GB} = 1,565 + \frac{0,086}{2} \cdot 1,101 \approx 1,613.ohm \leq 1,85ohm$  ve 7 deki  $I_{T/R} = 20.A$  değerlere göre  $U_{T/R} = \Sigma R_T \cdot I_{T/R} = 1,613 \times 20 = 32,3.V$**

Gerilim değeri

$U_{T/R} = 48.V$  seçildi. Bu nominal gerilim değerine göre akımı revize etmek gerekir Zira 20 A

akım değeri 32,3 V da verilmektedir, doğrultucu ünitesi 32.3 V da bu akım değerini vercektir.

Buna göre doğrultucunun akım değeri 48V gerilim için  $I_{T/R} = \frac{48}{32.3} \cdot 20 \approx 30.A$  olmalıdır.

#### 4. KATODİK KORUMA SİSTEMİ İLE KORUNAN BORU HATLARINDA GERÇEKLEŞTİRİLEN ÖLÇÜ VE TESTLER

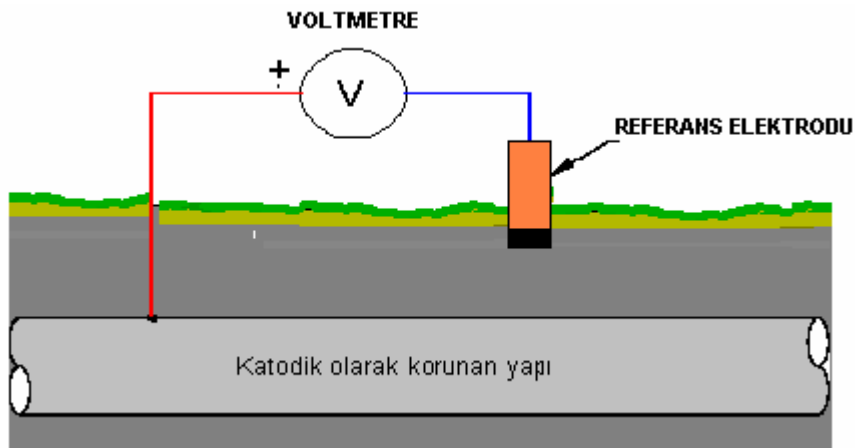
Metalik yapıların korozyondan korunması için tesis edilen katodik Koruma sisteminin gerekli performansa sahip olduğunu anlamak için aşağıda belirtilen testlerin gerçekleştirilmesi gerekir.

1. Koruma seviyesi testi
2. Toprak özgül direncinin ölçümü
3. Akım ihtiyacı testi
4. Boru hattı akımlarının ölçümü
5. Girişim testleri
6. Boru hattında kullanılan donanımların testi
7. Cihazlar ve enstrümanlar.

##### 4.1 Koruma Seviyesi Testleri

Koruma seviyesi testleri katodik koruma sistemine sahip metalik yapıların katodik olarak korunma yeterliliğinin belirlenmesi için yapılır. Yapı katodik olarak korunduğunda korunan yapının potansiyeli kendisini çevreleyen ortama göre farklılık arz eder.

Koruma seviyesi korunan yapı ile çevresine yerleştirilen referans elektrodu arasındaki potansiyel farkı ölçülerek belirlenir.



Şekil 4.1 Yapının Potansiyelinin Ölçümü

Eğer korunan yapı toprağa gömülü ise ölçülecek potansiyel yapı ile toprak arasındaki potansiyel ,su içinde ise yapı ile su arasındaki potansiyeldir.

Ölçü yüksek dirence haiz voltmetrenin negatif ucuna referans elektrodu, pozitif ucuna test edilecek çelik yapı kablolar vasıtasıyla bağlanarak ve referans elektrodu elektrolit(toprak veya su) temas ettirilerek alınır.

Toprakta ve tatlı suda bakır sülfat referans elektrodu, tuzlu su veya deniz suyunda gümüş klorid referans elektrodu kullanılır.

Yanlış okumalardan sakınmak için kullanılan voltmetre normal şartlarda 10 milyon ohm giriş direncine, kayalık ve çok kuru ortam şartları altında 200 milyon ohm değerine kadar giriş direncine haiz olmalıdır.

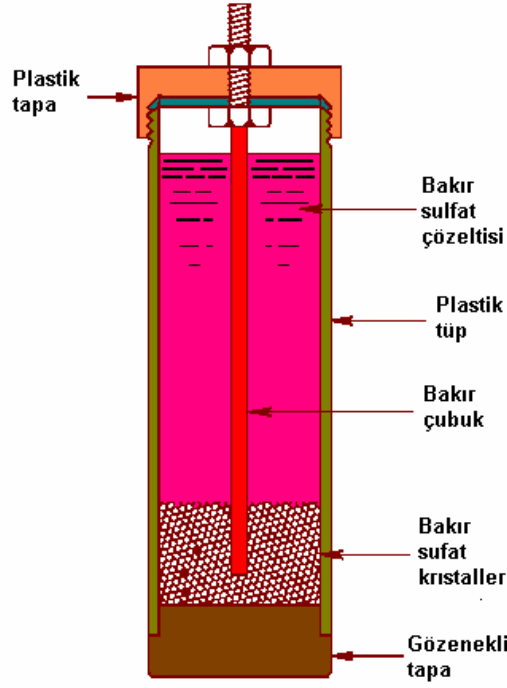
Toprağa gömülü çelik yapının katodik olarak korunması için gerekli potansiyel bakır sülfat referans elektroduna göre -0,85 Volt veya daha negatif, Deniz suyu içerisindeki çelik yapılarda ise gümüş klorid referans elektroduna göre -0,80 veya daha negatif olması gerekir.

#### **4.1.1 Referans elektrodları**

##### **4.1.1.1 Bakır/Bakır sülfat referans elektrodu**

Normal olarak çelik yapı toprak potansiyelini ölçmek için kullanılır.

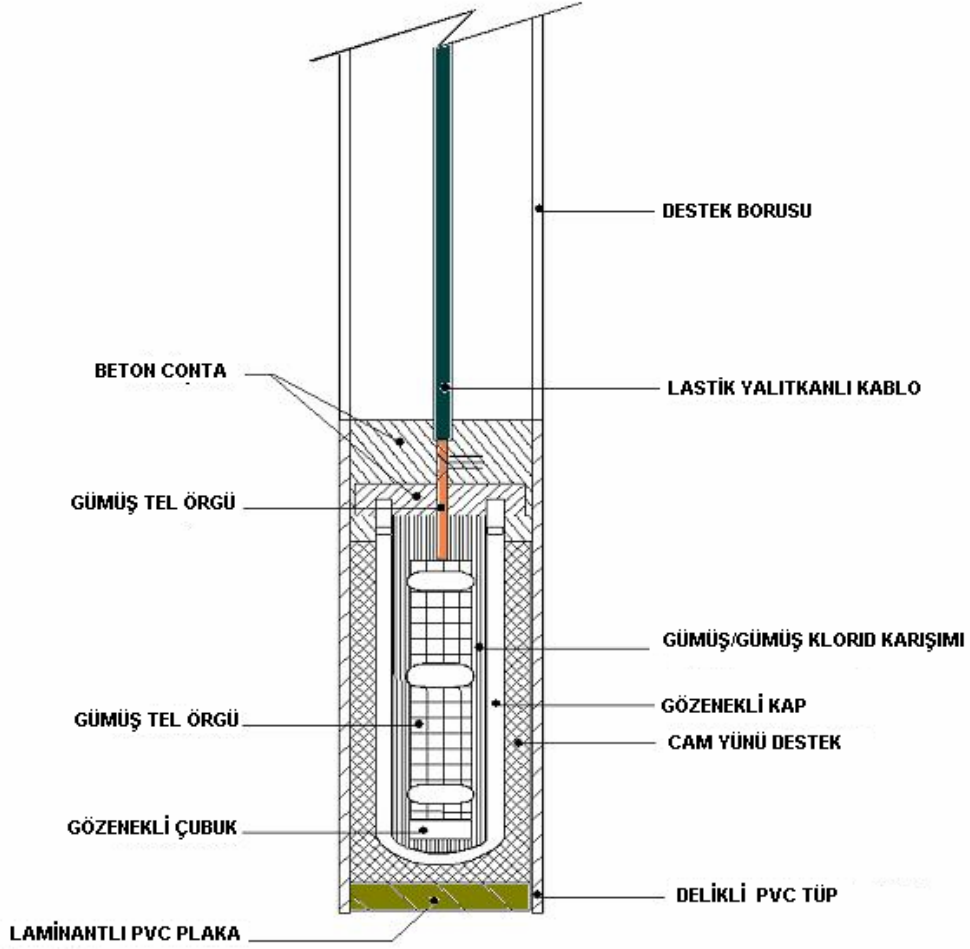
Bakır sülfat referans elektrodu esas olarak içi boş silindirin içine doldurulmuş bakır sülfat çözeltisi ve bunun içine daldırılmış elektrolitik bakır çubuktan meydana gelir. Gözenekli tapa toprakla temas ettirilir ve referans elektroduna bağlı kablo temas kutusundaki yapı ile bağlantılı klemensle bağlanarak toprak potansiyeli ölçülür.



Şekil 4.2 Bakır/Bakır sülfat elektrodu

#### 4.1.1.2 Gümüş klorid referans elektrodu

Referans elektrodu bağlantı kablosu ile birlikte metalik gümüş ve gümüş kloritten meydana gelir. Bu eleman içine elektrolitin girmesine izin veren delikli plastik silindir vasıtasıyla korunur.



Şekil 4.3 Gümüş klorid referans elektrodu

Gümüş/gümüş klorid referans elektrodu özellikle deniz suyu veya yüksek klorid ihtiva eden sulardaki yapıların çelik –su potansiyelini ölçmede kullanılır.

#### 4.1.1.3 Minimum korunma noktaları

Eğer bir yapı katodik olarak korunuyorsa korunan yapı ile toprak arasında bakır sülfat referans elektrodu ile ölçülen yapı-toprak potansiyelinin değeri en az -0,85V olmalıdır, yani başka bir deyimle yapı üzerinde ölçülen potansiyeller en az bu değerde ise yapının tamamı katodik olarak korunmaktadır.

Kaplama derecesi çok iyi olan hatlarda koruma akım ihtiyacı çok düşüktür ve topraktaki gerilim düşümü genellikle önemli değildir. Bu şartlar altında referans elektrodu kritik değildir. Buna rağmen çok iyi kaplamalı hatlarda da tesis sırasında hasarlar oluşur bundan dolayı bu gibi hatlarda bir kaç yerden ölçü almak doğru olacaktır. Bu okumalar karşılaştırıldığında pek az milivolt değerinde farklar mevcut ise referans elektrodu kritik

değildir. Eğer önemli derecede farklar var ise ilave ölçüler alınarak minimum koruma noktalarının belirlenmesi gerekir.

## 4.2 Ölçüm hataları

Yapılarda gerçekleştirilen hatalı potansiyel ölçümlerinde beş hata kaynağı mevcuttur

- Referans elektrodunun doğruluğu
- Akım akışından dolayı meydana gelen IR düşümü yani gerilim düşümü
- Akım akışından dolayı anod gradyent alanının varlığı
- Referans elektrodu ile elektrolit(toprak veya su) arasındaki kötü temastan dolayı kontak geçiş direnci hatası
- Yabancı yapıların etkisi (potansiyellerin karışması)

### 4.2.1 Referans elektrodunun doğruluğu

Hatalı potansiyel ölçümlerinden sakınmak için referans elektrodunun güvenilir olması gerekir. Bunu sağlamak için kalibrasyon sertifikalı referans elektrod ile ölçümde kullanılacak referans elektrodunun tatlı su içine daldırılarak voltmetre vasıtasıyla karşılaştırılması gerekir. Karşılaştırma sonunda iki, elektrod arasındaki potansiyel farkı 5 mV aşmamalıdır.

Bundan sonra söz konusu referans elektrodunun uygun şekilde bakımı esastır. Referans elektrodunun içindeki elektrolit (bakır sülfat veya gümüş klorid çözeltileri )kirli veya referans elektrodunun içindeki metal kirli veya oksitli ise referans elektrodunun potansiyeli değişir.

Geçerli ve ölçüm için gerekli şartlara haiz referans elektrodu potansiyel ölçümlerinin hepsinde kullanılmalıdır.

Ayrıca referans elektrodunun potansiyeli üzerine ortam sıcaklığının etkisi de vardır. Her bir  $1^{\circ}\text{C}$  için yaklaşık olarak referans elektrodunun potansiyelinde 0,9 mV değişim mevcuttur. Şöyle ki  $21^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta -0,85 V olan potansiyel değeri  $4^{\circ}\text{C}$  de -0,835 V olacaktır.

#### 4.2.2 Referans elektrodunun temizlenmesi ve hazırlanması

Referans elektrodu doğru potansiyel değeri için uygun bir şekilde temizlenir ve hazırlanır. Uygun temizlenmeyen ve hazırlanmayan referans elektrodunun potansiyelinde önemli derecede farklılıklar vardır.

Temizleme: Referans elektrodu içindeki metal elektrod, metalik olmayan malzeme kullanılarak temizlenmelidir. Metalik kumlama kağıdı, eye, tel fırça bıçak, zımpara gibi metalik temizleme metotları kullanılmamalıdır. Örneğin alüminyum oksit kumlama kağıdı kullanıldığında gözle görülemeyen alüminyum oksit parçacıkları veya tel fırça kullanıldığında yine gözle görülemeyen çelik parçacıkları metal elektrod üzerinde kalabilir. Bu ise elektrodun potansiyelinde değişikliğe yol açar. Bakır metalik elektrodun temizlenmesinde en uygun yol metalik olmayan kumlama kâğıdı veya bez kullanmaktır. Bakır oksidin(yeşil renk)tamamı elektrod üzerinden kaldırılmalıdır.

Elektrolit çözeltisinin hazırlanması: Elektrolitin tamamı doymuş bakır sülfat çözeltisi olmalıdır. Çözelti referans elektrodunun tüpü içerisine konmadan önce damıtılmış su ile tüp iyice çalkalanarak temizlenmelidir.

Referans elektrodu içine yerleştirilen bakır sülfat kristallerinin hacmi yaklaşık tüpün hacminin 1/3 ü olmalıdır. Geri kalan kısım damıtılmış su ile doldurulur.

Bu işlem yavaş yavaş damıtılmış su ilave edilerek yapılmalıdır.

Uygun çözelti koyu mavi renktedir ve kuvvetli çalkalamadan sonra tüpün içinde bakır sülfat kristalleri kalmışsa doymuş çözelti hazır demektir.

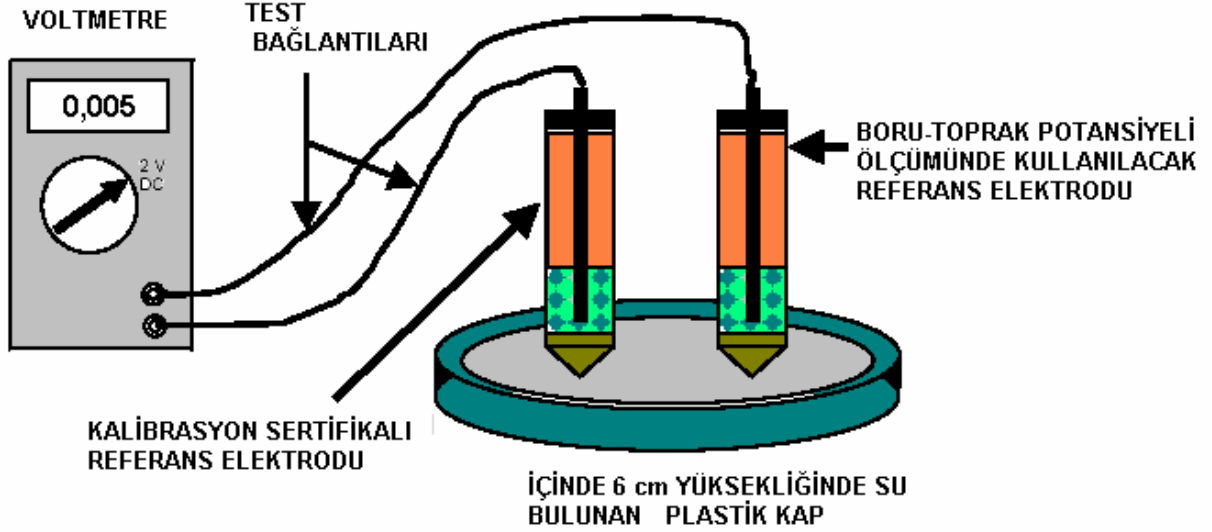
Eğer referans elektrodu daha önceden kullanılmışsa bunun tekrar kontrol edilmesi gerekir. Tüm parçalar çatlama ve bozunmalar açısından kontrol edilmelidir. Elektrolit çözelti kaçağı önlenmelidir. Şayet çözelti azalmışsa ilave edilmelidir ve uygun bir şekilde sızdırmazlık sağlanmalıdır.

#### 4.3 Test

Referans elektrodunun doğruluğunu tespit etmek için kalibrasyon sertifikalı başka bir referans elektrodu kullanılır. Bu iki referans elektrodu arasındaki potansiyel farkı mV kademesinde bir voltmetre kullanılarak her iki referans elektrotlarının birbirine birleştirilerek aralarındaki potansiyel farkı ölçülür. Potansiyel farkı 5 mV aşmamalıdır.

Boru-toprak potansiyelinin ölçümünde kullanılacak referans elektrodunun kalibrasyonu aşağıda açıklanan işlem sırasına göre yapılır.

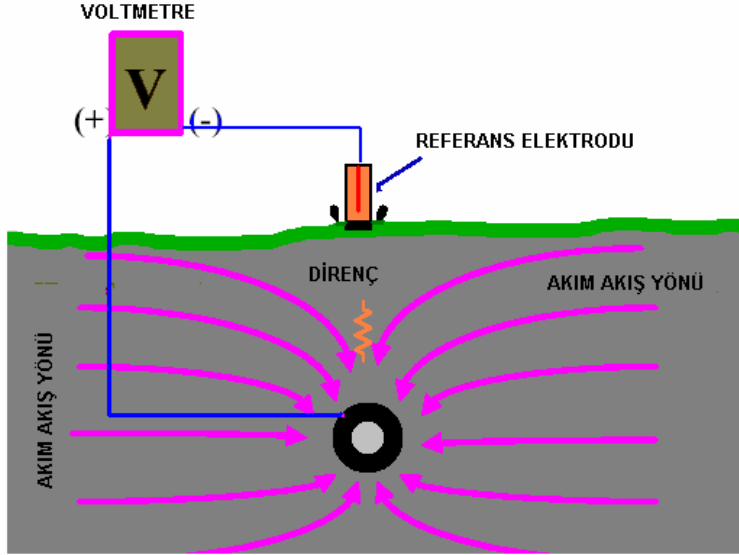
- Şekil 4.3 de gösterilen düzenek kurulur



Şekil 4.3: Referans elektrodunun kalibrasyonu için düzenek

- Dijital voltmetre doğru gerilim ölçüsüne ve ölçü kademesi de 2 Volt değerine alınır.
- Boru-toprak potansiyeli işleminde kullanılacak referans elektrodu ile kalibrasyon sertifikalı referans elektrodu temiz ve metalik olmayan, içine 6 cm derinliğinde su bulunan kabın içine yerleştirilir. Kabın içindeki su kesinlikle damıtılmış saf su olmamalıdır. Referans elektrotlarının her birinin alt uçları suya daldırılmış ve kesinlikle dik olarak yerleştirilecektir.
- Voltmetreden her iki referans elektrodu arasındaki potansiyel farkı okunur, eğer 5 mili voltan yüksek değerde potansiyel farkı okunursa ölçü işlemlerinde kullanılacak referans elektrodu uygun bir şekilde temizlenir ve potansiyel farkı 5 mV veya daha aşağı değerde oluncaya kadar yeni çözelti ile tekrar doldurulur.
- Kalibrasyon elektrodunun kirlenmesini önlemek için test tamamlandıktan sonra kısa bir süre su içinde bırakılır.

#### 4.4 IR düşümü veya Gerilim düşümü hatası



Şekil 4.4: IR Düşümü veya Gerilim düşümü hatası

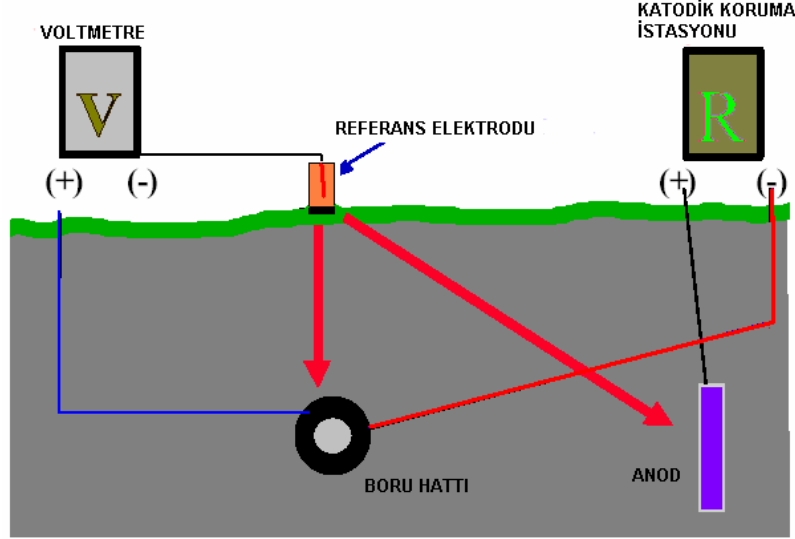
IR veya gerilim düşümü hatası elektrolit boyunca akan akım tarafından meydana getirilir. Bu hata elektrolit direnci, koruma akımı ve referans elektrodu ile yapı arasındaki mesafe ne kadar fazla ise söz konusu hata o kadar fazla olur. Bu hata negatif yönde gelişir, örneğin hata halinde ölçülen -0,85 Volt olan doğru gerilim hata için düzeltme yapıldığında -0,75 Volt olabilir.

#### 4.5 Anod gradyent hatası

Test esnasında katodik koruma sistemine bağlı olan anodda oluşan gerilim gradyentleri yapı-toprak potansiyelinin ölçüm testinde ölçme hatasına neden olur. Bu hatanın miktarı anod gerilim ne kadar yüksek ve referans elektrodu ile anod arasındaki mesafe ne kadar az ise o kadar fazla olacaktır.

Katodik koruma sistemi devre direnci, anod sayıları ve elektrolit özgül direnci anod gradyent büyüklüğüne etki eder.

Devre direncinin yüksek, toprak özgül dirençleri fazla olması aynı zamanda anod sayılarının az olması ve anodların birbirine çok yakın yerleştirilmesi anod gradyentinin geniş olmasına sebep olur.

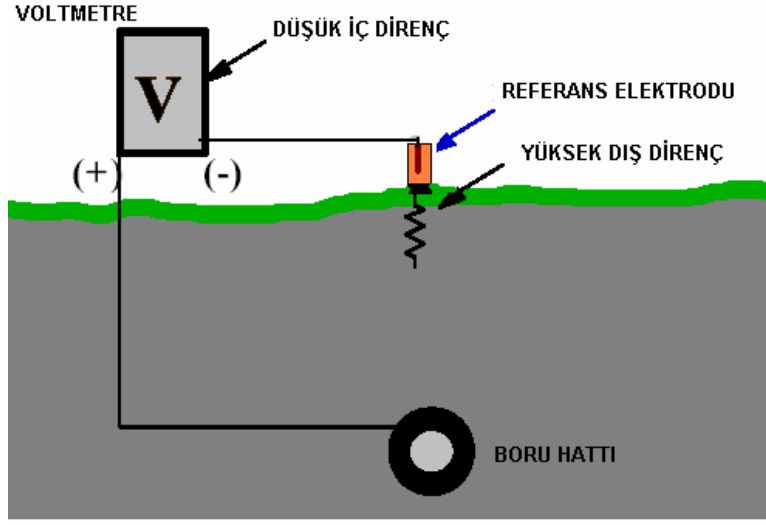


Şekil 4.5 Anod gradyent hatası

Referans elektrodunun yerleşim yeri gerçek yapı-toprak potansiyelinin belirlenmesinde başlıca faktördür. Bir dış akım kaynaklı katodik koruma sistemi ile korunan yapıda koruma sistemine ait anodlar korunan yapıya yeterli uzaklıkta değilse yapı-toprak potansiyeli anod potansiyeli ile karışık okunur. Ani OFF potansiyel ölçümü ile yani katodik koruma Transformatör/Redresör ünitesinin enerjisinin kesilmesinden hemen sonra yapılan potansiyel ölçümünün yapılması ile bu ölçme hatası ortadan kaldırılır.

Anod gradyent hatası negatif yönde oluşur yani hata durumunda -0,85Volt okunan yapı-toprak potansiyeli hata için düzeltme yapıldığında -0,75 Volt okunabilir ve gerçekte yapı-toprak potansiyeli -0,75 Volttur.

#### 4.6 Temas direnci hatası



Şekil 4.6 Temas direnci hatası

Referans elektrodunun elektrolitle zayıf teması şeklinde ortaya çıkan hata şeklidir. Referans elektrodunun toprağa olan zayıf temas direnci kayalık ve kuru toprak şartları altında büyük problemdir. Bu nedenle kuru toprağa su uygulanır ve çok yüksek giriş dirençli voltmetreler kullanılır.

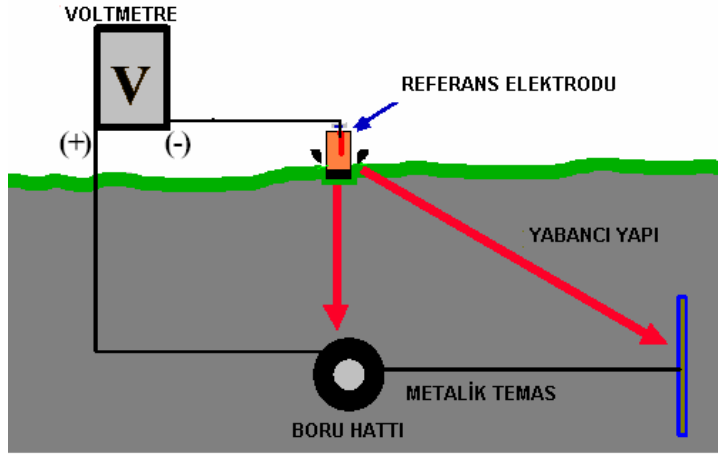
Katodik korumanın testlerinde kullanılan voltmetreler 1 milyon ohmdan 200 milyon ohma kadar seçici anahtarla ayarlanabilir giriş direncine sahip olmalıdır. Normal olarak 10 milyon ohm potansiyel ölçümü için seçilmiş skaladır ve daha sonraki seçimler voltmetre üzerindeki seçici anahtar kullanarak gerçekleştirilir.

Kademe değişiminde okunan potansiyellerin değeri değişmiyorsa okuma hatası verecek kadar temas direnci değeri önemli değildir. Eğer kademe değiştirildiğinde değişiyorsa sonraki daha yüksek giriş direnci kademesi seçilerek ve okuma değeri değişmeyinceye kadar devam edilir. En yüksek kademe hala değişim devam ediyorsa referans elektrodunun toprağa temas yerine su ilave ederek test işlemine yeniden başlanır.

Temas direnci hatası pozitif yönde meydana gelir. Örneğin hata şartları altında -0,85 Volt okunan potansiyel hata düzeltildikten sonra -0,95 Volt okunur.

Ölçü aletinin giriş direnci doğru bir ölçü okuyabilmek için temas direncinden çok daha fazla olması gerekir.

#### 4.7 Karma potansiyel hatası



Şekil 4.7 Karma potansiyel hatası

Test uygulanan yapıya bağlı diğer yapıların potansiyeli ile test edilen yapının birbirine karışması sonucu ortaya çıkan hatadır. Hata test edilen ve katodik olarak korunan yapının kaplaması çok iyi ve diğer yapılar katodik koruma sisteminden izole değil ise önemli boyutlara ulaşır.

Genellikle pozitif yönde meydana gelir. Örneğin hatalı şartlar altında ölçülen -0,85 Volt doğru gerilim, hatasız şartlar altında -0,95 Volt ölçülecektir.

Ancak bu hata eğer daha anodik yani daha negatif potansiyele haiz metalle temas olunursa negatif yönde de meydana gelebilir.

#### 4.8 Katodik koruma potansiyelinin Pratik ölçümleri

##### 4.8.1 Test Kriterlerinin Seçimi

Potansiyel ölçümlerinde kullanılan test metodları; yapıların tipleri ve okunan potansiyellerin değerlendirilmesi için ele alınan farklı kriterler için çok çeşitlilik arz eder. Bazı farklı kriterler aynı yapıların farklı alanları için de ele alınırlar.

Seçilen kriterler büyük bir çoğunlukla test edilen yapının tipine, izole veya izolesiz olma durumuna, kaplama tipi ve kaplamanın verimliliğine, katodik korumanın tipine, toprak zėl direncine, katodik koruma sisteminden çekilen koruma akım miktarına ve test için elde bulunan cihazlara bağlıdır.

#### **4.8.2 Galvanik Katodik Koruma Sistemi**

Galvanik katodik koruma sisteminde test kriteri korunan yapının herhangi bir yerinde yapı-elektrolit potansiyelinin -0,85 Volt tan daha az olmamasıdır.

IR veya gerilim düğümü hatası; l sırasında referans elektrodu mümkün olduğu kadar çok yakınına boru hattı lmelerinde tam boru üzerine yerleğtirmek ve referans elektrodunu l sırasında mümkün olduğu kadar uzak tutarak giderilir.

Bundan sonra yapının kaplama şekli, anodlar arası açıklık ve anod boyutları, anod akım bilgileri, birlikte gz nne alınarak galvanik katodik koruma sisteminin yeterliliği değerlendirilir.

Galvanik katodik koruma sistemi dğk toprak zėl direncine haiz (2000 ohm/cm den yüksek zėl toprak zėl direncine haiz yerlerde bu katodik koruma sistemi etkili değildir) ve kaplama seviyesi yüksek olan yapılarda kullanıldığından ve çok küçük sürme potansiyeline (1 Volt kadar) sahip olduğu için sistemden çok küçük bir akım akar ve bu nedenle IR hata seviyesi küçük olur.

Boyutları çok küçük ve izolasyon seviyesi yüksek vanalar, dirsekler gibi yapılarda 100 mV polarizasyon kayma kriteri kullanılır.

Galvanik anodlu sistemin tamamı için tüm anodlardan akımın kesilmesini sağlayabilecek şekilde tasarım yapılmığsa 100 mV polarizasyon kayması kriterine gre test yapılabilir.

- 0,85 Volt-OFF kriterine gre test çok nadir durumlar haricinde galvanik katodik koruma sisteminde gerekleğtirilemez. Bu nedenle 100 mV polarizasyon kayması kriteri ve -0,85 Volt-ON kriterine gre test yapılmalıdır.

#### **4.8.3 Dığ Akım Kaynaklı Katodik Koruma Sistemi**

Dığ akım kaynaklı katodik koruma sisteminde kullanılacak test kriterlerinin belirlenmesi için ncelikle anod yatağının tipidir.

Pompa istasyonlarında uygulanan dağıtılmış anod yataklı dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinde -0,85 Volt-OFF VE 100 mV polarizasyon kayma kriteri kullanılmalıdır. -0,85Volt-ON kriteri kullanılmamalıdır. Kaplamasız veya zayıf ve bozuk kaplamaya haiz yapıları korumak için tesis edilen katodik koruma sistemlerinde -100 mV kriteri kullanılmalıdır.

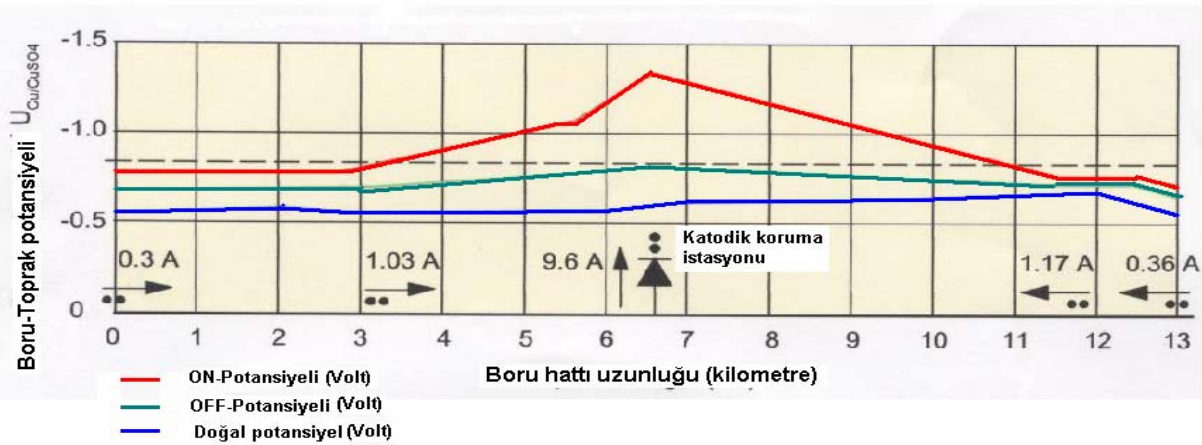
Boru hatları için uygulanan uzak anod yataklı dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinde tüm kriterler veya kayma kriterleri uygulanır. Anodların test noktalarına uzak olduğu durumlarda elektrolit direnci düşük, kaplamanın dielektrik dayanımı yüksek ve katodik koruma sisteminin toplam devre direnci düşük ise -0,85 Volt-ON kriteri IR-hatasını göz önünde bulundurmamak kaydıyla yeterlidir.

Yapı kaplamasına ait dielektrik dayanımları, yapının boyutu, elektrolit özgül direnci ve katodik koruma dış akım kaynağından çıkan akım miktarı göz önüne alınarak katodik koruma sisteminin yeterliliği belirlenir.

Eğer bir şüphe varsa veya potansiyel okuma değerleri sorunlu ise başka kriterler uygulanır veya muhtemel IR-hatalarını azaltmak için geçici veya kalıcı referans elektrodunu kazı yapılarak yapının mümkün olan yakınına kadar yerleştirilir ve ölçüler tekrarlanır.

Kaplamasının dielektrik dayanımı yüksek olan yapılarda; elektrolit özgül direncine anodlardan uzaklığa veya katodik koruma sistemi devre direncine bakılmaksızın -0,85 Volt-OFF kriteri rahatlıkla uygulanır. Bununla birlikte

100 mV polarizasyon kayması kriteri uygulanır.



Şekil 4.8 Bitüm kaplı bir boru hattında ölçülen ON-OFF potansiyelleri

#### 4.8.4 -0,85 Volt-ON Kriteri için Test Metodları (Tek elektrod potansiyel ölçümü)

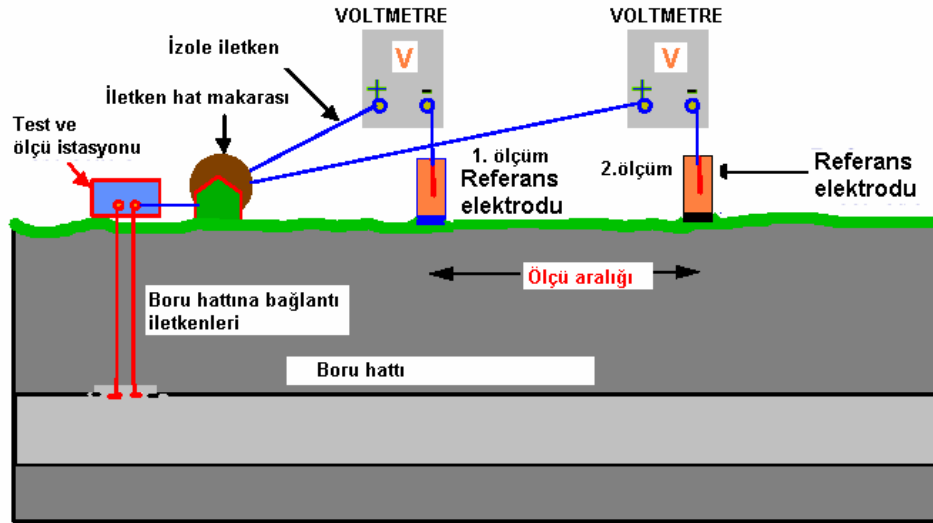
Yüksek empedanslı veya yüksek iç dirençli (10mega ohm ve daha yukarı değerde) voltmetre kullanarak uygulanan yapı-elektrolit potansiyel ölçüm metodudur.

Voltmetrenin pozitif ucu testi yapılacak yapıya izole iletken hat vasıtasıyla bağlıdır ve voltmetrenin negatif ucu ise referans elektroduna bağlanır.

Bakır sülfat referans elektrodu da yapının yakınında ( boru hattının tam üstünde)elektrolit yani toprak ve su ile temas ettirilir.

Testlerin gerçekleştirildiği esnada katodik koruma sistemi Transformatör/doğrultucu ünitesi sürekli devrede olup sürekli olarak korunan yapıya koruma akımı vermektedir.

Potansiyel ölçümleri yapılırken ölçüm hataları göz önüne alınmalıdır.



Şekil 4.9 Tek elektrod metodu ile Potansiyel ölçümü

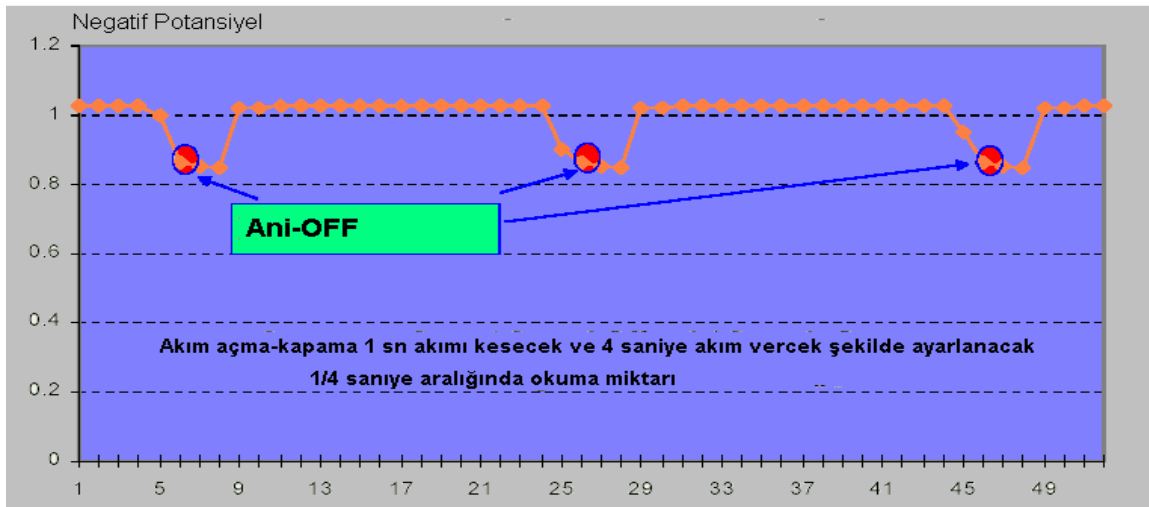
IR-hatalarının azalmasına veya başka bir deyimle korozyon miktarının yavaşlaması veya durması için gerekli faktörler.

- Yapıya ait kaplama direncinin yüksek dielektrik dayanıma sahip olması katodik koruma sisteminden verilen akımın az olmasına sebep olur. Akımın azalmasından dolayı IR-hatası da azalır.

- Düşük elektrolit direnci Özgül direnç azaldığında katodik koruma sistemi devre direnci azalacağından IR-hatası da azalır ve bununla birlikte anod gradyent hatası da azalır.
- Yüksek pH derecesi (7-13).Yüksek pH derecesi korunan yapının yanında katodik koruma sisteminin var olduğunu gösterir.
- Düşük sıcaklık korozyon değerini azaltır.
- Çift metalli bağlantıların azaltılması veya mümkünse ortadan kaldırılması
- Girişim korozyonunun azaltılması. Girişim korozyonuna maruz yerlerde yapı elektrolit potansiyeli hatalı okunur.

#### 4.8.5 -0,85 Volt ani-OFF kriteri için test metodu

0,85 Volt-OFF potansiyeli ölçüm esnasında yapıdan katodik koruma akımı akmayacaktır. Bundan amaç söz konusu potansiyel ölçülürken olabilecek hataları kaldırmaktır. OFF potansiyeli ölçmesinde çeşitli metodlar uygulanır. Ölçümler sonucu bakır sülfat referans elektroduna göre potansiyel -0,85 Volt ve daha fazla negatif değerde ise ölçüt sağlanmış demektir. Ani-OFF potansiyeli ölçümü için kullanılan kullanılan test metodu kullanılacak ölçü cihazı tipi ve akım açma kapama (current interrupter)cihazı tarafından belirlenir. Bu test metodunun kullanılmasıyla tüm IR-(gerilim düşümü)hataları ile anod gradyent hataları ortadan kaldırılır. Bu akım açma –kapama işlemini yapmak için Katodik koruma istasyonunda bulunan Transformatör/Doğrultucu ünitesi (kısaca T/R) açma kapama(current interrupter) cihazı ile donatılır. Söz konusu cihaz sayesinde 1 saniye korunan yapının koruma akımı kesilir ve 4 saniye süre ile yapıya koruma akımı uygulanır.



Şekil 4.10 Dijital voltmetre kullanarak potansiyel değerlerinin görüntülenmesi

#### 4.8.6 Yapı-Toprak Potansiyeli Sınırları

Katodik koruma sistemi ile korozyona karşı korunan bir yapıda aşırı koruma gerilimi ve dolayısıyla meydana gelecek aşırı katodik koruma akımı katod yüzeyinde aşırı miktarda hidrojen gazı üretimine sebep olur. Eğer gaz üretimi hızlı ise bir kısmı kaplamadan çıkamayıp kaplamanın içine nüfuz eder ve kaplama içinde kabarcıklar meydana getirir. Kaplamada meydana gelecek tahribatın miktarı üretilen gazın miktarına ve kaplamanın cinsine bağlıdır. Kaplama tahribatı sonucu yapının elektrolitle temas edeceği çıplak yüzey artacağından anodla katod arasındaki direnç azalır ve devreden daha fazla akım akmaya ve daha fazla hidrojen gazı üretilmeye başlar. Sonuçta daha fazla kaplama tahribatı meydana gelir ve akım dağılımı için çok olumsuz durum ortaya çıkar.

Su depolama ve içyapısında su bulunan petrol depolama tanklarında kullanılan kaplamalar bu türden tahribatlara çok müsaittirler Bu tanklarda emniyetli seviyede akım değerini sürdürmek çok önemlidir.

Kaplamalı tanklarda ölçülen -1,10 Volt –ON potansiyeli kaplama emniyeti açısından kritik bir değerdir yani -1,1,0 Volt üzeri negatif potansiyel kaplamanın tahrip olmaya başladığı izlenimini verir ve hemen Ani-OFF potansiyeli ölçülmelidir.

Toprak içindeki yapıların kaplamaları genellikle bu zararlara karşı dayanıklıdır. Toprak içindeki yapılarda ölçülen yapı-toprak ON potansiyeli ölçümündede birçok hatalar vardır. Eğer ölçülen ON potansiyeli aşağıda verilen tablodaki değerlerin üzerinde ise ani-OFF potansiyel değerleri ölçülerek kaplamanın durumu incelenecektir.

Çizelge 4.1 Toprak içinde bulunan yapıların potansiyel sınır değerleri

| Ortalama özgül toprak direnci | Kaplama Tahribatı |                 |
|-------------------------------|-------------------|-----------------|
|                               | Tahribat Şüphesi  | Tahribat mevcut |
| 2.000                         | -1,20             | -1,80           |
| 3.000                         | -1,30             | -2,20           |
| 5.000                         | -1,40             | -2,50           |
| 10.000                        | -1,60             | -2,70           |
| 15.000                        | -1,75             | -2,75           |
| 20.000                        | -1,90             | -3,00           |
| 30.000                        | -2,05             | -3,30           |
| 40.000                        | -2,20             | -3,60           |

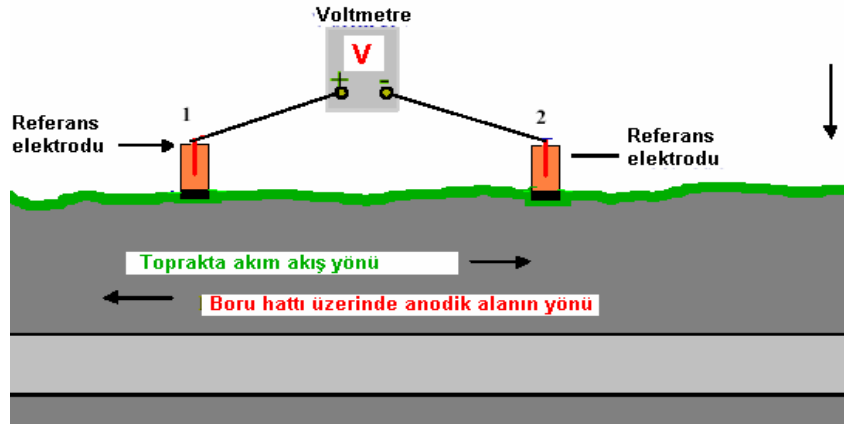
Kaplamalı yapılarda kaplama cinsine bağlı olarak katodik koruma drenaj noktasında uygulanması gereken azami katod potansiyel sınırları

- Füzyon bağlı (fusion bonded) kaplamalarda ani-OFF potansiyeli -1,07 Volt değerini aşmamalı, kesinlikle -1,12 Volt değerinin üstünde olmamalıdır.
- Bitüm veya kömür katranlı (coal tar) kaplamalarda ani-OFF potansiyeli -1,12 Volt değerini aşmamalı ve kesinlikle -1,20 Volt değerini geçmemelidir.
- Plastik şerit kaplamalar için ani-OFF potansiyeli -1,02 Voltu geçmemeli ve kesinlikle -1,07 Volt değerini aşmamalıdır.
- Kaplamasız hatlar için hiçbir teorik sınır mevcut olmayıp bu sınır anodun çekebileceği azami akım ve anod ömrüne göre belirlenir.

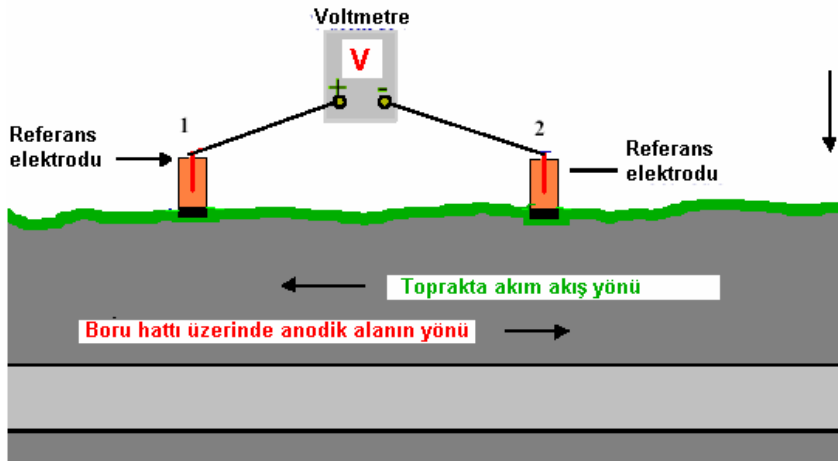
#### 4.8.7 Adım-Adım Potansiyel Testi (Çift Elektrod Potansiyel Ölçüm Metodu)

Adım adım potansiyel test metodu topraktaki akım yönünü belirlemek özellikle katodik koruma sistemi vasıtasıyla korunmayan boru hatları üzerindeki anodik alanları ve anodik alan yönlerini belirlemek için uygulanır. Söz konusu test katodik koruma sistemi ile korunan yapılarda uygulanmaz.

Boru hattının tamamı için katodik koruma yapılmasının fizibl ve ekonomik olmadığı durumlarda bazen kısmi (Hot-spot) katodik koruma uygulanır. Bu test prosedürü bu tip boru hatlarında katodik koruma uygulanması gereken boru hattı üzerindeki anodik alanların belirlenmesinde kullanılır. İki referans elektrodu arasındaki potansiyel farkı akımın ve anodik alanın yönünü gösterir.



Şekil 4.11 Potansiyel pozitif olduğunda akımın ve boru hattı üzerindeki anodik alanın yönü

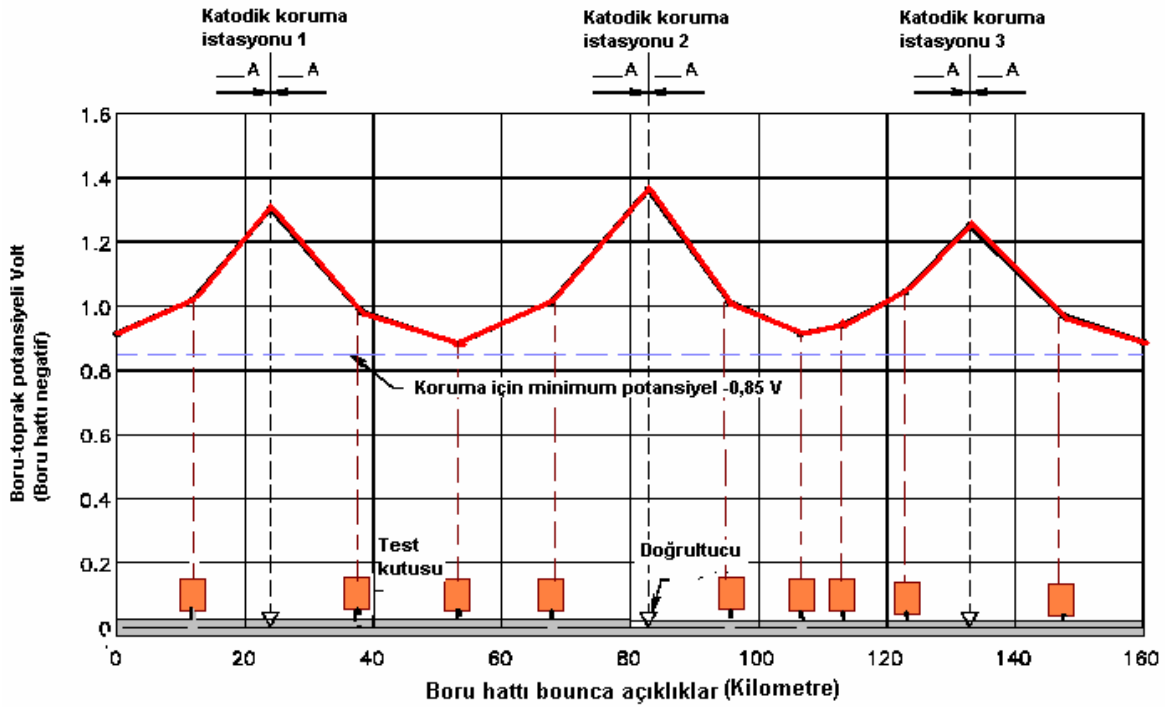


Şekil 4.12 Potansiyel negatif olduğunda akımın ve boru hattı üzerindeki anodik alanın yönü

Adım-adım(çift elektrodlu)potansiyel testi uygulandığında her iki referans elektrodunun

uyumluluğu kesinlikle belirlenmelidir. Tüp tübe temas ettirilen referans elektrodları arasında okunan potansiyel farkı 5 mV aşmamalıdır.

Potansiyel Profili.

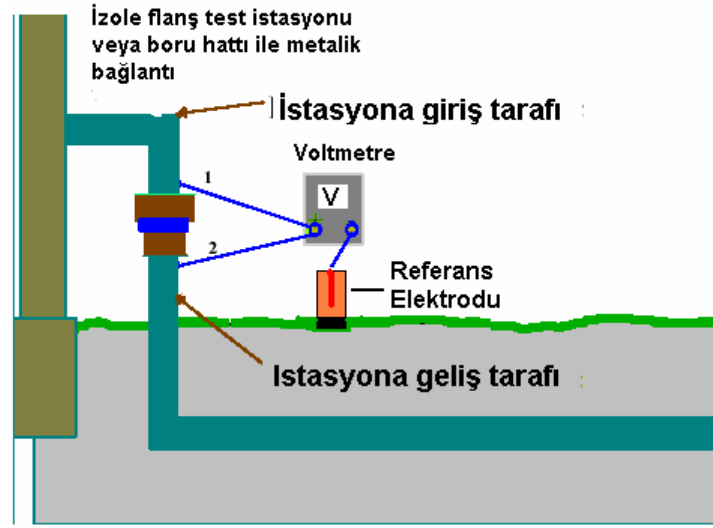


Şekil 4.13 Potansiyel profili

Boru hattında ölçülen boru-toprak potansiyeli değerleri ölçekli kâğıt üzerine yerleştirilerek potansiyel profili çizilir. Kâğıt üzerine katodik koruma istasyonlarının test kutularının ve diğer boru hattı elemanlarının yerleri açıklıkları işaretlenir. Boru hatından geçen akımların büyüklüğü ve yönü işaretlenir. Her ölçme işlemi için bu çizim tekrarlanır ve daha önce çizilen potansiyel profilleri ile karşılaştırılarak boru hattının durumu incelenir.

#### 4.8.8 İzole Flanşların veya İzole Kaplinlerin testi

Boru hatlarının toprak üstüne çıkışı ve istasyonlara girişi izole flanşlar vasıtasıyla gerçekleştirilir. Şekil 4.14 de görüldüğü gibi izole flanşın testi her iki tarafında bakır sülfat elektrodu ile potansiyel ölçümü yapılır.



Şekil 4.14 İzole Flanş Testi

Eğer her iki tarafında ölçülen potansiyeller arasında önemli bir fark mevcutsa (10 mV'un üzerinde) izole flanş uygundur. İzole flanşın istasyona geliş tarafında boru hattının topraktan boru hattına bağlı bölümü katodik koruma şartları altındaki potansiyele haizdir ve potansiyelin değeri -0,85 mV veya daha fazla negatiftir.

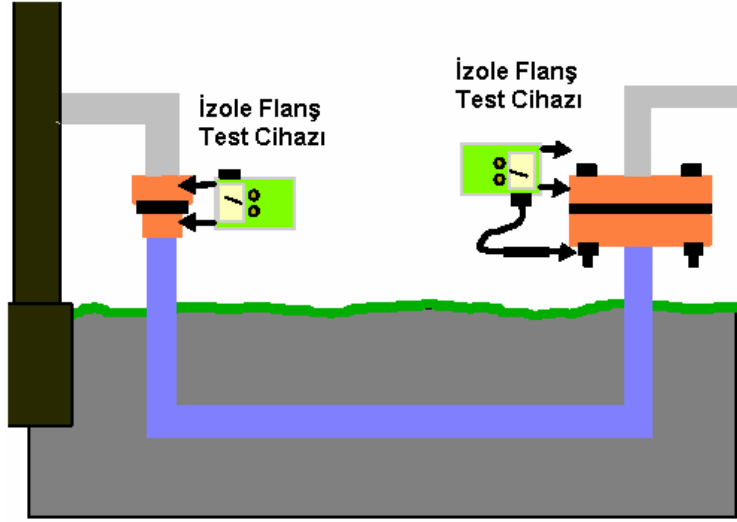
İstasyona giriş tarafında toprak üstündeki boru üzerinde yaklaşık -0,15 mV ile -0,45 mV arasında potansiyel mevcuttur. İzole flanşın her iki tarafındaki bölümler arasındaki potansiyel farkı 400 -700 mV'dur.

Ancak izole kontrolü yapılan izole flanş uygun olup ve fakat istasyon tarafındaki borunun potansiyeli daha fazla negatif ise istasyonun diğer tarafında bulunan çıkış izole flanşında hata olduğu şüphesi ortaya çıkar ve istasyonundan çıkış izole flanşın kontrol edilmesi ve herhangi bir metalik temasın olup olmadığı kontrol edilmelidir.

İzole flanşın iki tarafında ölçülen potansiyeller arasında önemli bir fark(10 mVdan az) yoksa izole flanş kısa devre olabilir. Bu nedenle ilave testler yapılması gereklidir.

Tercih edilen metod radyo frekanslı İzole flanş test cihazıdır.

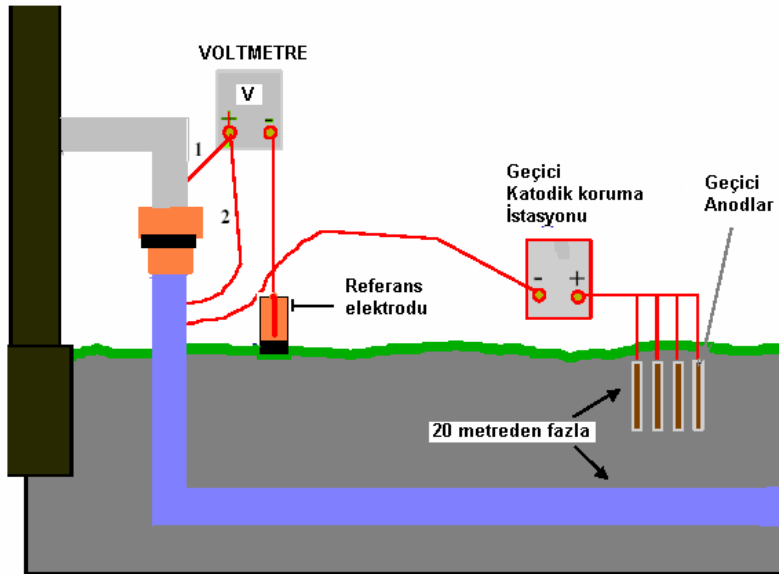
#### 4.8.8.1 Radyo frekanslı İzole Flanş test cihazı ile yapılan test



Şekil 4.15 Radyo frekanslı İzole Flanş Test cihazı kullanımı

Bu metod en doğru ve en kesin sonucu veren izole flanş test metodudur. İzole flanş test cihazı üzerindeki ayar anahtarı gösterge üzerindeki kontrol ibresi sıfıra gelinceye kadar çevrilir ve ayar anahtarına dokunmadan test anahtarı çevrilerek cihaz test konumuna getirilir ve test yapılır.

#### 4.8.9 Geçici Katodik Koruma İstasyonu Vasıtasıyla İzole Flanşın Test edilmesi



Şekil 4.16 Geçici Katodik Koruma İstasyonu ile test.

İstasyona geliş tarafında toprak içindeki boru hattının koruma akımını arttırmak için şekil 16 de görüldüğü gibi geçici katodik koruma istasyonu kurulur. Sadece mevcut sistemin akım seviyesi artırılır. Burada dikkat edilmesi gereken husus test olan bölgeye doğru akım dağılımı ya da geçici katodik koruma istasyonu tesis etmektir.

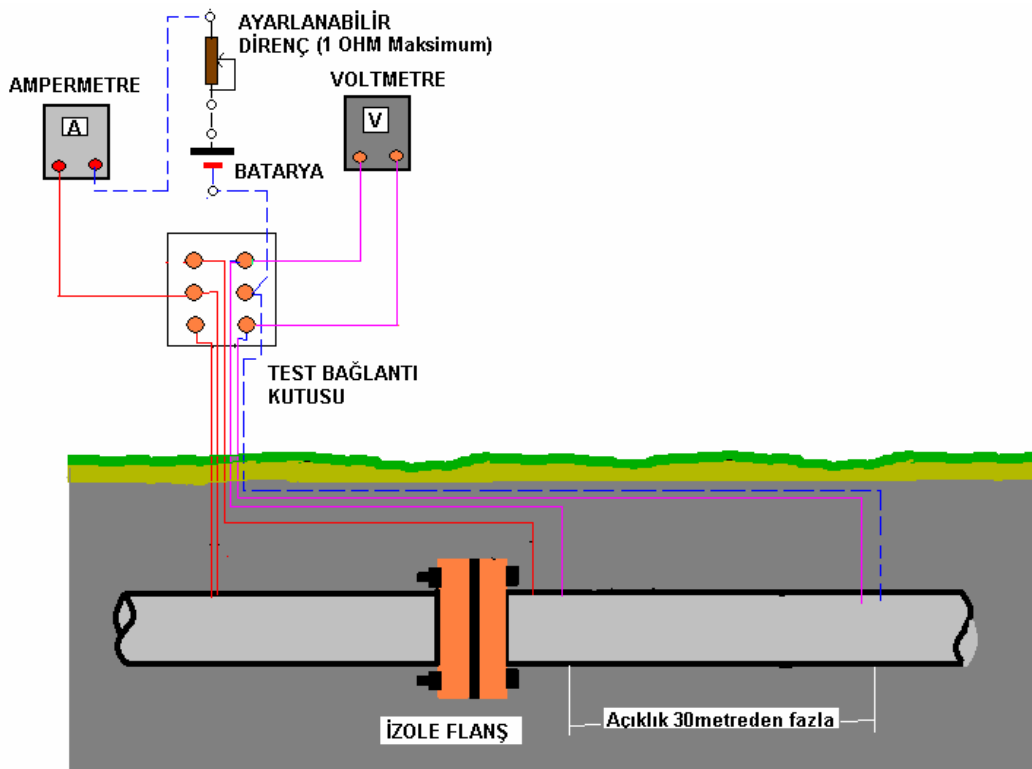
Bundan sonra akım arttırılarak izole flanşın her iki tarafındaki borunun bakır sülfat ree Frans elektroduna göre potansiyeli ölçülür.

Eğer ölçüler sonucu izole flanştan istasyona giren borunun potansiyeli yaklaşık olarak aynı kalır veya pozitif yönde (negatifliğin azalması) değişir ve izole flanşın istasyona geliş tarafında bulunan toprağa gömülü borunun potansiyeli negatif yönde artarsa izole flanş uygundur.

Her iki taraftaki potansiyel değişimi akım seviyesi arttırıldığında daha fazla negatif yönde değişirse izole flanş hatalıdır yani izolasyonu bozuk ve kısa devre olmuştur.

#### 4.8.10 Toprak içindeki İzole Flanşların Testi

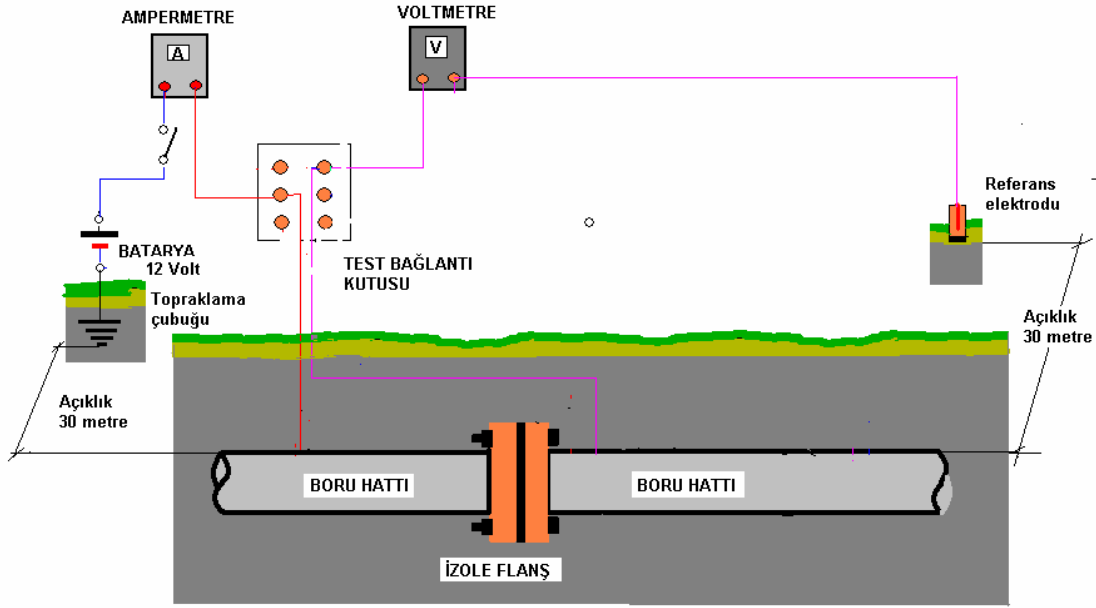
##### A.) 6 Hatlı Test İstasyonunda İzole Flanş Testi



Şekil 4.17 6-Hatlı Test İstasyonunda İzole Flanşın Test edilmesi

Test esnasında hat bağlantılarında kopukluk olmamasına ve bağlantı sürekliliğinin var olduğu kontrol edilmelidir. Ayarlanabilir direnç vasıtasıyla akımın minimum 12 Amperi geçmesi sağlanır. Akım kaynağı ve direnç değerleri test şartlarına uygun seçilmelidir. Test esnasında voltmetreten ölçülen IR-(gerilim ) düşümü değeri 0,1 mV değerinden az ise izole flanş uygundur.

#### B.) İki Hatlı Test İstasyonunda İzole Flanş Testi

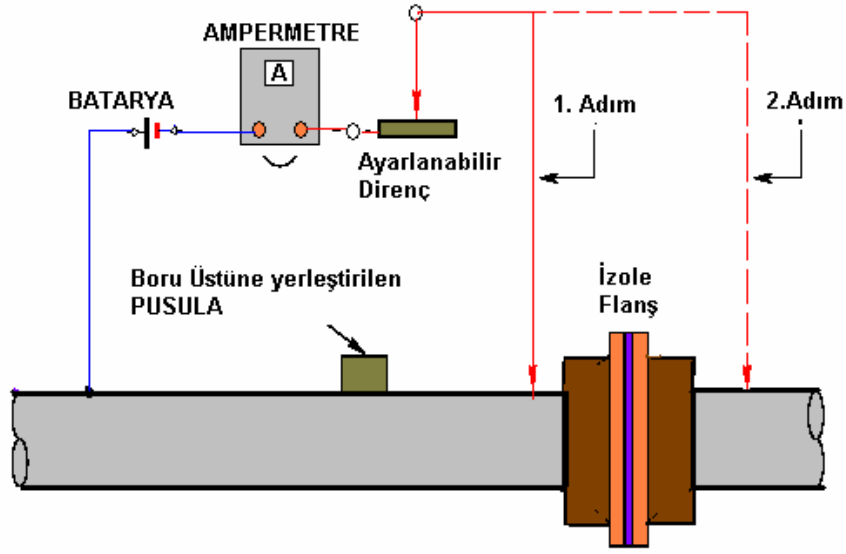


Şekil 4.18 İki Hatlı Test İstasyonunda İzole Flanş Testi

Devreye anahtar vasıtasıyla test gerilimi veya akımı uygulandığında voltmetre pozitif yönde değişim veya okuma göstermiyorsa izole flanş uygundur.

#### C.)Magnetik Pusula Metodu.

Bu metod izole flanş toprağa gömülmeden veya diğer ölçme sonuçları olumsuz olduğunda izole flanşın üzeri açıldığında uygulanır.



Şekil 4.19 Magnetik Pusula Metodu ile İzole Flanşın Test edilmesi

Bu test için bir adet ampermetre , ,magnetik pusula, ayarlanabilir direnç, akü gereklidir. Test bağlantısı Şekil 4.19 da görüldüğü gibi yapılır.

1. Adımda direnç ayarlanarak ampermetreden akım akışı gözlenir devreden akım geçtiğinde boru üzerine yerleştirilen magnetik pusulanın ibresinde sapma gözlenecektir.

2. Adımda iletken izole flanşın şekilde görüldüğü gibi 2. tarafına temas ettirilecektir. Eğer bu durumda magnetik pusulanın ibresinde sapma görülüyorsa izole flanş uygundur.

Test esnasında iletkenlerin boru hattına temas ettikleri noktalar izolesiz olmalıdır. Test bitiminden sonra bu noktalarda yalıtım tamirâtı yapılmalıdır.

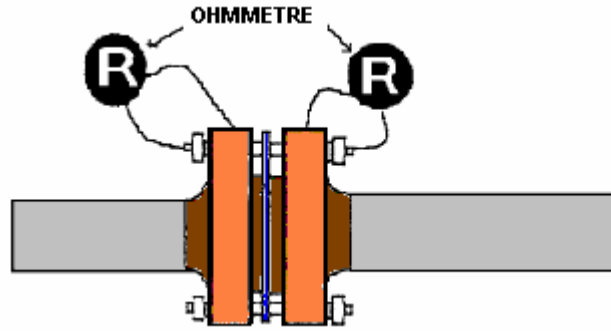
Testin yapılması aşağıda açıklanan sıra ile gerçekleştirilecektir.

1. 1.Adımdaki bağlantılar yapılır.
2. Direnç ayarlanarak devreden yaklaşık 5 A geçmesi sağlanır.
3. Bir anahtar vasıtasıyla sıra ile devre açılıp kapatılır ve pusulanın ibresinin salınım yapıp yapmadığı izlenir. Eğer pusulanın ibresinde kayda değer bir hareket gözlenmiyorsa akım ayarlanabilir direnç vasıtasıyla tatmin edici şekilde bir hareket gözleninceye kadar artırılır.

4. Gerekli akım ve pusula ibresinin sapma miktarları kaydedilir.
5. Aynı tarzda şekil 15 de görülen 2. Adım bağlantısı gerçekleştirilir
6. Ayarlanabilir direnç daha önceden kaydedilen değerine getirilir veya daha hassas test için direnç değeri akım değerinin birkaç katına ayarlanır.
7. Sıra ile devre açıp kapanarak pusulanın ibresinin hareketi izlenir. Eğer flanşın izolasyonunda bir bozukluk var ise pusulanın ibresinde salınım izlenecektir.

#### D.) İzole Flanşın Bağlantı Elemanlarının İzolasyonunun Kontrolü

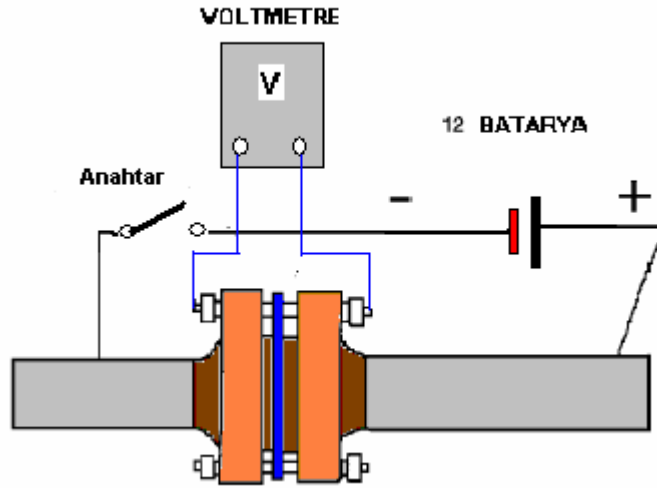
İzolasyon kontrolünde izole flanşlarda bir bozukluk bulunduğunda bozukluklar sıklıkla bağlantı elemanlarının(civata, rondela ,manşon) izolasyonlarında rastlanılmaktadır.



Şekil 4.20 İzole flanş bağlantı elemanlarının kontrolü

Bağlantı elemanları normal bir ohmmetre ile kontrol edilir. Direnç ölçümü flanş ile bu flanşa bulunan her bir bağlantı elemanı arasında yapılır. Eğer okunan değer pek az ohm veya sıfır ohm ise bağlantı elemanlarının izolasyonu bozuktur. Eğer bağlantı elemanlarının izolasyonu iyi ise ya flanşın contasının izolasyonu bozuk veya flanşın içinde kısa devre vardır.

Eğer izole flanşa ait civata flanşın bir tarafında izole edilmişse aşağıdaki şekile göre test yapılır. Devre bir anahtar vasıtasıyla açıp kapatılır. Anahtar her açıldığında izole flanşın iki tarafında yüksek gerilimler meydana gelir.



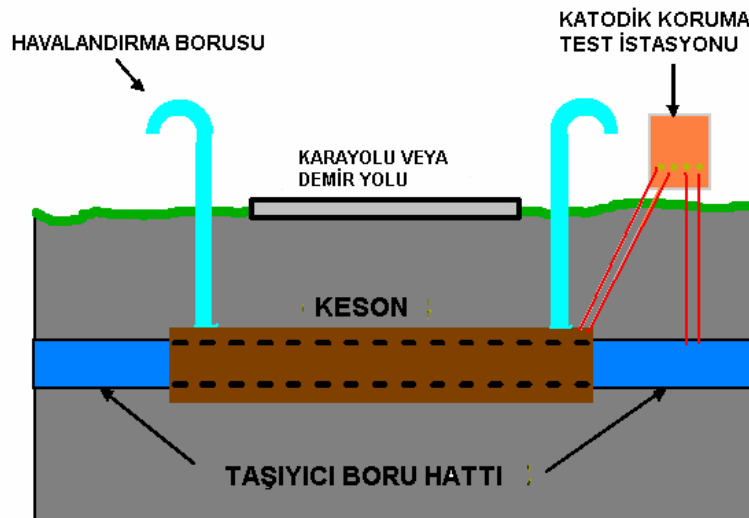
Şekil 4.21 İzole flanş bağlantı elemanlarının Voltmetre metodu ile kontrolü.

Voltmetrede gerilim okunursa bağlantı elemanının izolasyonunda hata vardır.

### Keson Borularının Testi

Özellikle karayolu ve demir yolu geçişlerinde taşıyıcı boru hattı keson borular içinde geçirilirler. Keson borular korozyon kontrolü açısından boru hattının en problemsiz ekipmanı olmasına rağmen bazı durumlarda taşıyıcı boru hattına ait katodik koruma sisteminde ciddi problemler meydana getirirler.

Taşıyıcı borular ile elektrolit üzerinden veya doğrudan galvanik temas dolayısıyla kısa devre yoksa boru hattı için bir kalkan görevi görürler. Eğer temas veya kısa devre varsa boru hattının katodik koruma akımını çararlar.

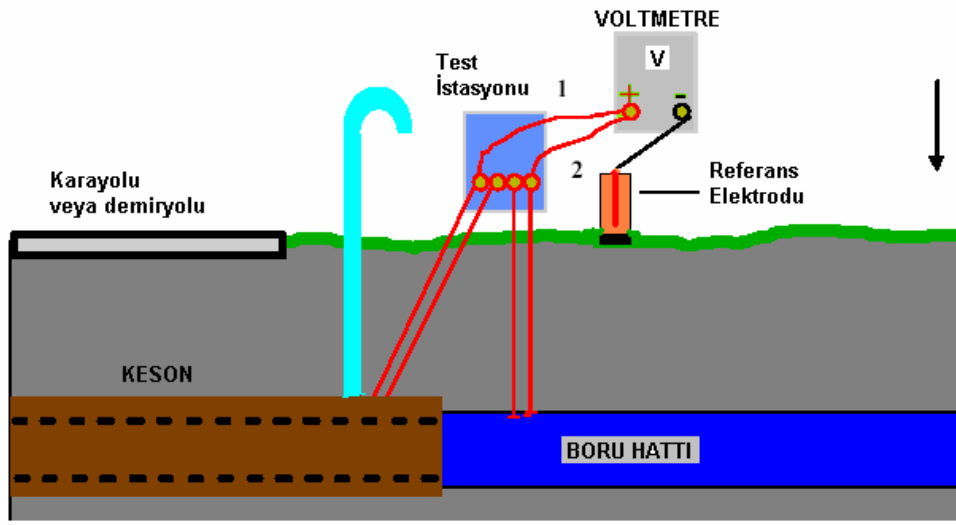


Şekil 4.22 Tipik Keson Tesisi

Bu gibi şeylerden sakınmak için keson içine aralıklarla ve uygun boyutlarla yerleştirilen iletken olmayan takozlarla taşıyıcı borunun içinden geçtiği kesonla temas etmesini önlemek, ve keson borunun her iki giriş ucunu iletken olmayan malzeme ile contalayarak kapatmak suretiyle su veya benzeri elektrolit malzemenin keson içine sızmasını önleyerek keson ile, içinden geçen taşıyıcı boru arasında tam bir izolasyon sağlamaktır.

Kesonlar kaplamasız ve taşıyıcı borular ise iyi kaplamaya haizdir. Kesonların normal olarak bir veya her iki tarafında havalandırma boruları ve korozyon kontrol test kutusu vardır

#### 4.8.11 Katodik Koruma Uygulanmış Bir Boru Hattına ait Kesonun Testi

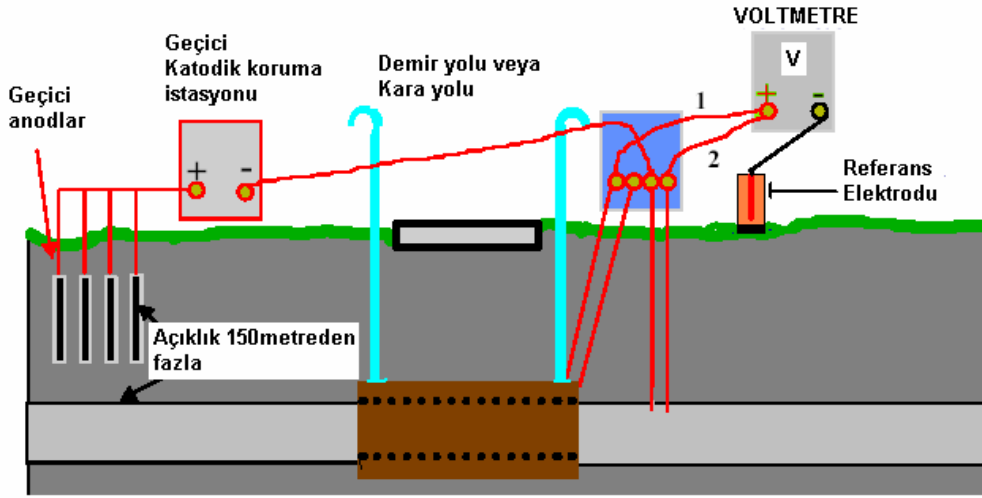


Şekil 4.23 Katodik koruma sistemine sahip boru hattı üzerindeki Kesonun Test edilmesi

Şekil 4.23 de görüldüğü şekilde boru hattının yapı-toprak potansiyelleri bakır sülfat referans elektroduna göre ölçülür.

- Ölçülen iki potansiyel arasında önemli bir fark varsa (10 mV yukarı) kesonla boru hattı arasında bir kısa devre yoktur. Normal olarak katodik koruma sistemi ile korunan boru hattının doru-toprak potansiyeli -0,85 V değerinin üzerinde negatif değerdedir. Keson-toprak potansiyeli yaklaşık -0,35 ile -0,65 Volt potansiyele sahiptir. İki yapı arasındaki potansiyel farkı yaklaşık 100 ile 500 mili Volt arasındadır.
- Ölçülen potansiyeller arasında önemli bir fark yoksa (10 mili Voltun altında) Keson ile boru arasında kısa devre olabilir ve ilave test yapılması gerekir. Zira keson için galvanik anodlu katodik koruma sistemi var ise potansiyeller aşağı yukarı aynı değerde olabilir. İlave test boru hattından keson testi yapılan boru hattı bölümünden geçen koruma akım miktarını arttırmak suretiyle yapılır. Borudan geçen akım miktarı

ya eğer mümkünse mevcut katodik koruma sisteminin drenaj noktası (katodik koruma istasyonundaki transformatör/doğrultucu T/R ünitesinin - çıkışının boru hattına bağlandığı nokta) potansiyelini artırmak suretiyle veya test yerine Şekil 24 de görüldüğü gibi geçici katodik koruma istasyonu tesis edilerek artırılır.



Şekil 4.24 Geçici katodik koruma istasyonu tesis ederek Keson Testi

Geçici katodik koruma sistemi kara yolu veya demir yolu geçişinde katodik koruma test kutusunun karşı tarafına tesis edilmelidir yani test kutusu ile geçici katodik koruma sistemi yolun ayrı taraflarında olmalıdır. Ayrıca geçici katodik koruma sisteminin geçici anodları borudan ve kesondan en az 150 metre uzağa tesis edilmelidir.

Borudan geçen akım arttırıldıktan sonra yeniden boru-toprak ve keson-toprak potansiyel ölçümü yapılır.

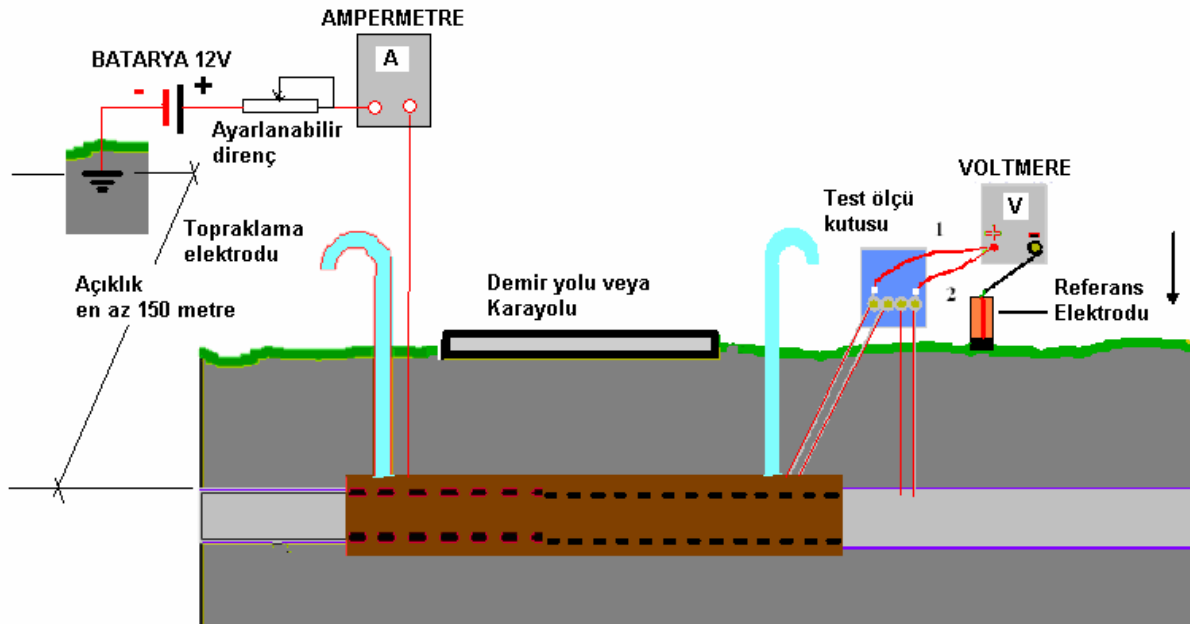
- Keson-toprak potansiyeli yaklaşık olarak aynı kalır veya pozitif yönde değişir (negatifliğin azalması) ve aynı durumda boru hattının boru-toprak potansiyeli negatif yönde değişirse kesonla boru hattı arasındaki izolasyon iyidir.
- Boru-toprak potansiyeli ile keson-toprak potansiyelinin her ikisinin birden değeri akım arttırıldığında daha fazla negatif olursa boru hattı ile keson arasında kısa devre vardır.

#### 4.8.11.1 Depolarizasyon Metodu ile Keson Testi

Bu test metodunda şekil 4.25 de gösterilen test düzeneği kurulur. Doğru akım kaynağı test kutusunun karşı tarafına yerleştirilir. Doğru akım kaynağının pozitif ucu ampermetre üzerinden kesona bağlanır ve diğer negatif ucu ise topraklama elektrodu vasıtasıyla keson ve boru hattına en az 150 metre uzaklıkta toprakla irtibatlandırılır.

Bakır sülfat referans elektrodu kesonun hemen sonlandığı terde boru hattının üzerine yerleştirilir ve test süresince IR-(GERİLİM) düşüm hatalarından sakınmak için hiçbir suretle yerinden oynatılmamalıdır.

Çeşitli değerlerde akım uygulayarak kesonla toprak arasındaki potansiyel izlenir. Eğer iki yapı arasında elektriksel olarak metalik bağlantı yoksa boru ile keson arasında önemli derecede potansiyel farkları okunur. Test akımlarının uygulanma süresi, gerilim okuma süresi göz önüne alınarak boru hattının depolarize olmasını önleyecek miktarda olmalıdır.



Şekil 4.25 Depolarizasyon metodu ile Kesonun test edilmesi

Test esnasında en az üç akım artışı uygulanır. Bakır sülfat referans elektrodu ile akım uygulaman önce ve sonra boru-toprak ve keson toprak potansiyelleri okunur ve kaydedilir. Aynı şekilde uygulanan akım çıkışlarının belirlenmesi amacıyla akım çıkış değerleri de kaydedilir.

Kesonla boru hattı arasında metalik bir kısa devre yoksa akım arttırıldıkça keson toprak potansiyelinde, boru-toprak potansiyelinden daha az negatif potansiyel oluşmaya (pozitif yönde sapma)başlar. Boru-toprak potansiyeli sabit kalır veya negatifliğinde çok az bir azalma olur.

Bu test prosedürü yardımıyla direnç hesabı yapılarak keson-boru arasındaki izolasyon hakkında karara varılabilir.

$R$  Ortalama direnç (ohm)

$U_{BT}$  Akım uygulanmadan önce ölçülen boru-toprak potansiyeli (Volt)

$U_{KT}$  Akım uygulanmadan önce ölçülen keson-toprak potansiyeli (Volt)

$U'_{BT}$  Akım uygulandıktan sonra ölçülen boru-toprak potansiyeli (Volt)

$U'_{KT}$  Akım uygulandıktan sonra ölçülen keson-toprak potansiyeli (Volt)

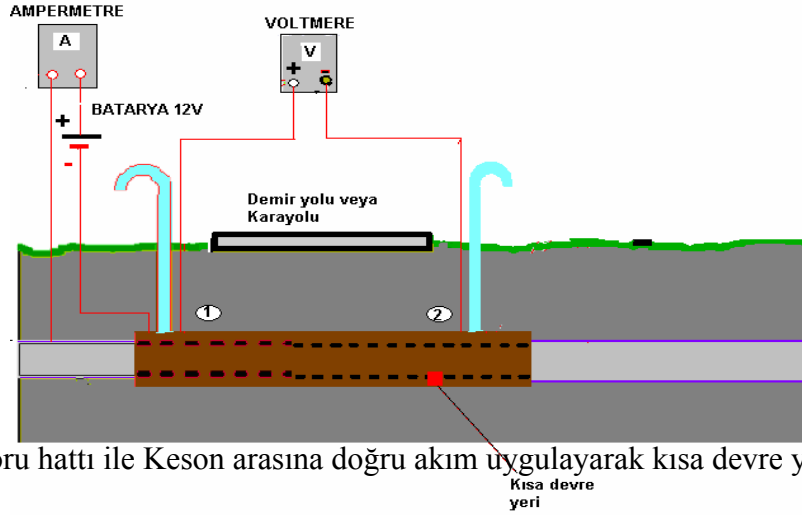
$I$  Uygulanan akım değeri (Amper)

$$R = \frac{(U_{BT} - U'_{BT}) - (U_{KT} - U'_{KT})}{I} (ohm)$$

Ortalama direnç değeri 0,08 ohm dan daha yüksek çıkarsa kesonla boru arasında metalik bir kısa devre yoktur.Ortalama direnç değeri 0,08 ohm dan az ise metalik kısa devre göz önüne alınır. Direnç hesaplamaları sonucu bazen negatif değer olarak ortaya çıkar ve bu teknik olarak imkânsızdır. Bu nedenle hesaplanan direncin mutlak değeri göz önüne alınır.

#### 4.8.12 Keson Kısa Devre yerinin Belirlenmesi için Testler

Boru hattı ile Keson arasına Doğru Gerilim Uygulaması



Şekil 4.26 Boru hattı ile Keson arasına doğru akım uygulayarak kısa devre yerinin bulunması

Şekil 4.26 de görülen bağlantılar gerçekleştirilir. Bataryadan gerilim uygulanmasıyla boru hattı ile keson arasındaki metalik kısa devre yerinden devresini tamamlayan bir akım geçer. Akım miktarı çok fazla ise akım devresine ilave ayarlanabilir direnç bağlanarak akım seviyesi ayarlanır.

Bataryadan geçen akım miktarı akım devresine bağlı ampermetrelerden okunur. Keson boyunca meydana gelen gerilim düşümü 1 ve 2 noktaları arasına bağlanan voltmeter ile okunur.

Ohm kanunu uygulanarak aşağıda verilen ifadeler yardımıyla kısa devre yeri belirlenir.

$$\Delta U = U_K - U_S \text{ (Volt)}$$

$$R_{1K} = \frac{\Delta U}{I} \text{ (ohm)}$$

$$L_{1K} = \frac{R_{1K}}{R} \text{ (metre)}$$

Burada

$\Delta U$  Gerilim farkı (Volt)

$U_K$  Akım uygulandığında 1 ve 2 noktalarında okunan gerilim (Volt)

$R_{1K}$  1 noktası ile kısa devre yeri arasındaki direnç (ohm)

$L_{1K}$  1. noktası ile kısa devre yeri arasındaki mesafe

$U_S$  Akım uygulamadan önce 1 ve 2 noktaları arasındaki gerilim (Volt) Boru hattı katodik

olarak korunmuyorsa gerilimin değeri sıfır olacağından ölçülmesine gerek yoktur.

Ancak boru hattı katodik olarak korunduğu zaman  $U_s$  gerilim değeri mutlaka ölçülmeli ve  $\Delta U$  gerilim farkı değeri esas alınarak bulunmalıdır. Bu işlem göz önüne alınmadan yapılan hesaplarda ekseriyetle kısa devre yeri uzunluğu keson boyundan daha uzun çıkmaktadır.

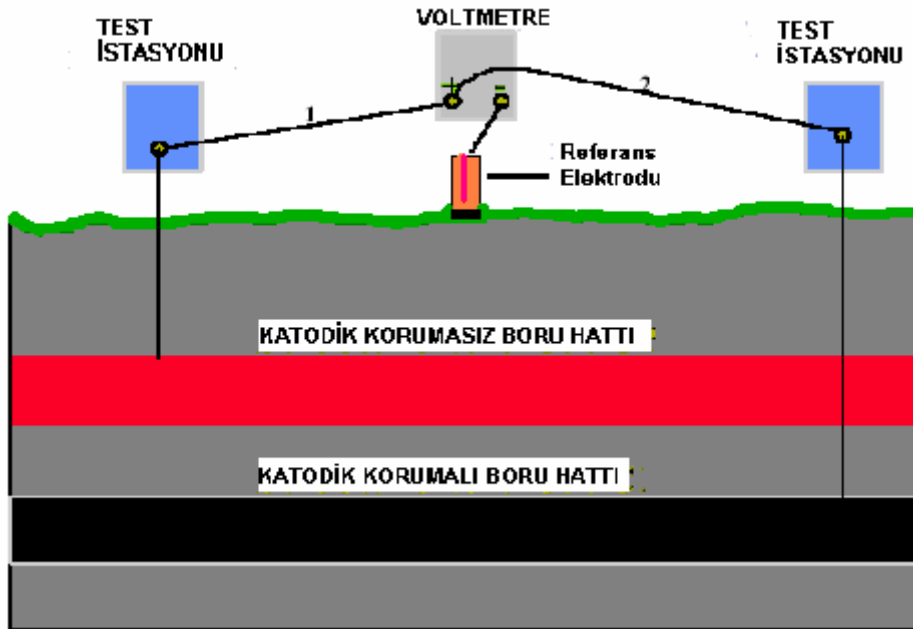
$I$  Test esnasında devreye uygulanan akım (Amper)

$R$  Kesonun çapına, et kalınlığına ve malzeme cinsine bağlı birim metre başına omik direnci (ohm/metre)

#### 4.8.13 Birbirine Yakın yapılar arasındaki Kısa Devreler İçin Testler

Birbirine yakın ve paralel giden boru hatları arasında boru hattı tesisi sırasında oluşabilecek borunun kaplamasında olan tahribatlarından dolayı devresini toprak üzerinden tamamlayan kısa devreler oluşabilir. Kısa devreler katodik koruma sisteminde akım dağılışını olumsuz olarak etkiler. Bu durumu belirlemek için tercih edilen metot potansiyel metodudur.

#### 4.8.14 Katodik korumalı ve katodik korumasız iki yapı arasında kısa devre için test



Şekil 4.27 İki yapı arasındaki kısa devre testi

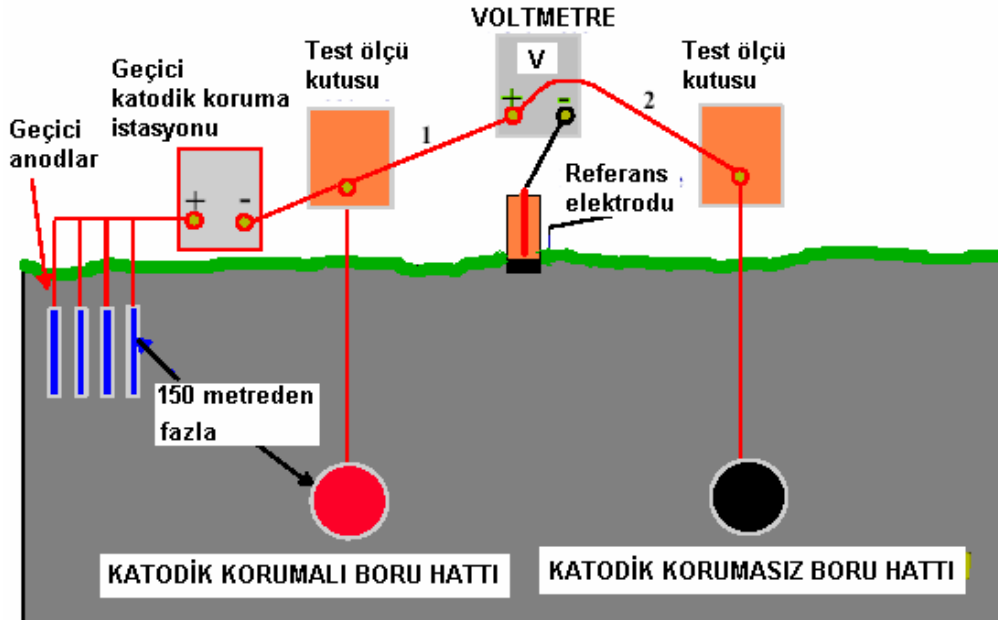
Şekil 4.27 de görüldüğü gibi referans elektrodu iki boru hattının ortasına yerleştirilir. Her iki boru hattına ait ölçü kutusundan her iki boru hattına ait boru zemin potansiyeli ölçülür.

Potansiyel ölçüleri yapılırken referans elektrodu IR-gerilim düşümü hatalarından sakınmak için hiç hareket ettirilmeden her iki potansiyel ölçülmelidir.

Ölçülen boru-toprak potansiyelleri arasında önemli bir potansiyel farkı varsa (10 mVdan fazla) iki boru hattı arasında kısa devre yoktur. Katodik korumalı hattın boru toprak potansiyeli -0,85 V daha fazla negatif değerdedir. Katodik korumasız diğer yapının boru-toprak potansiyeli -0,35 V ile -0,65 V civarındadır olduğundan iki boru arasındaki potansiyel farkı yaklaşık 200 mV ile 500 mV arasında değişir.

İki boru hattında yapılan boru-toprak potansiyelleri ölçümü sonucu elde edilen potansiyel farkı önemli miktarda değilse (10 mV'dan az) iki boru arasında kısa devre mevcut olabilir ve ilave test yapmak gerekir.

Test uygulaması Şekil 4.28 de görüldüğü gibi geçici katodik koruma istasyonu tesis edilerek veya eğer mümkünse katodik koruma sistemine haiz boru hattının drenaj noktası potansiyelini yükselterek boru hattından geçen koruma akımı artırılır.



Şekil 4.28 Geçici katodik koruma istasyonu tesis ederek iki boru hattı arasında kısa devre testi

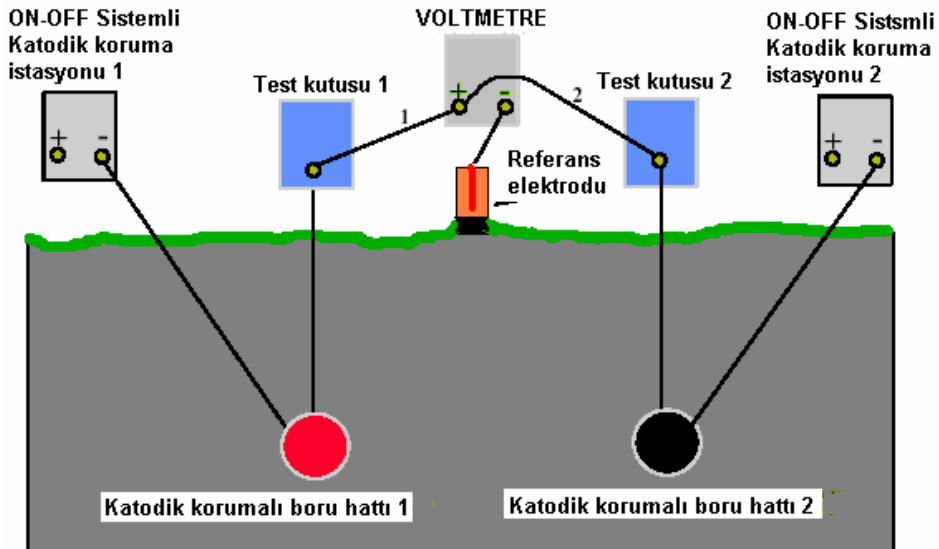
Her iki boru hattının boru-toprak potansiyel ölçümleri tekrar edilir. Korumasız boru hattının boru-toprak potansiyeli aynı kalır veya pozitif yönde değişirse (negatifliğin azalması) ve bu durumda katodik koruma sistemine sahip boru hattının potansiyeli negatif yönde artarsa iki boru hattı arasında kısa devre yoktur. Her iki boru hattının boru zemin potansiyeli negatif yönde artarsa iki yapı birbiri ile kısa devredir.

#### 4.8.15 Katodik koruma sistemlerine sahip İki boru hattı arasındaki kısa devre testleri

Her iki boru hattına ait boru –toprak potansiyelleri yukarıda açıklandığı şekilde ölçülür. Referans elektrodu her iki ölçüm yapılırken aynı noktada hareket ettirilmeden tutulur. İki boru hattının ölçülen boru-toprak potansiyelleri arasında 25 mili Voltun üzerinde olmak kaydıyla önemli miktarda potansiyel farkı varsa iki boru hattı arasında metalik bir kısa devre yoktur.

Her iki boru hattında normal şartlar altında -0,85 Volttan daha negatif değerde boru-toprak potansiyeli mevcuttur.

Eğer iki boru hattına ait ölçülen boru-zemin potansiyeli arasındaki fark 25 mV'un altında ise iki boru hattının arasında kısa devre olabilir ve ilave test yapılması gerekir.



Şekil 4.29 Katodik koruma sistemine ait iki boru hattında kısa devre testi

Katodik koruma sistemine sahip boru hatlarından birinin katodik koruma istasyonu T/R ünitelerinden (Transformatör/Doğrultucu) birisi devre dışı edilerek boru hatlarından birinin koruma akımı kesilir. Boru-toprak potansiyel ölçümleri her iki boru hattı için tekrarlanır.

Eğer katodik koruma sistemi devrede olan boru hattının ölçülen boru-toprak potansiyeli aynı kalır veya katodik koruma sistemi devre dışı edilen boru hattının potansiyeli pozitif yönde değişirken (negatifliği azalırken) katodik koruma sistemi devrede olan boru hattının boru toprak potansiyeli negatif yönde değişiyorsa(negatifliği artıyorsa) boru hatları arasında metalik bir kısa devre yoktur.

Eğer katodik koruma sistemlerinden birisi devre dışı edildiğinde her iki boru hattına ait boru-toprak potansiyeli pozitif yönde değişiyorsa veya her iki boru hattına ait

Boru-toprak potansiyellerinin büyüklüğü aynı kalıyorsa bu iki boru hattı arasında metalik bir kısa devre mevcuttur.

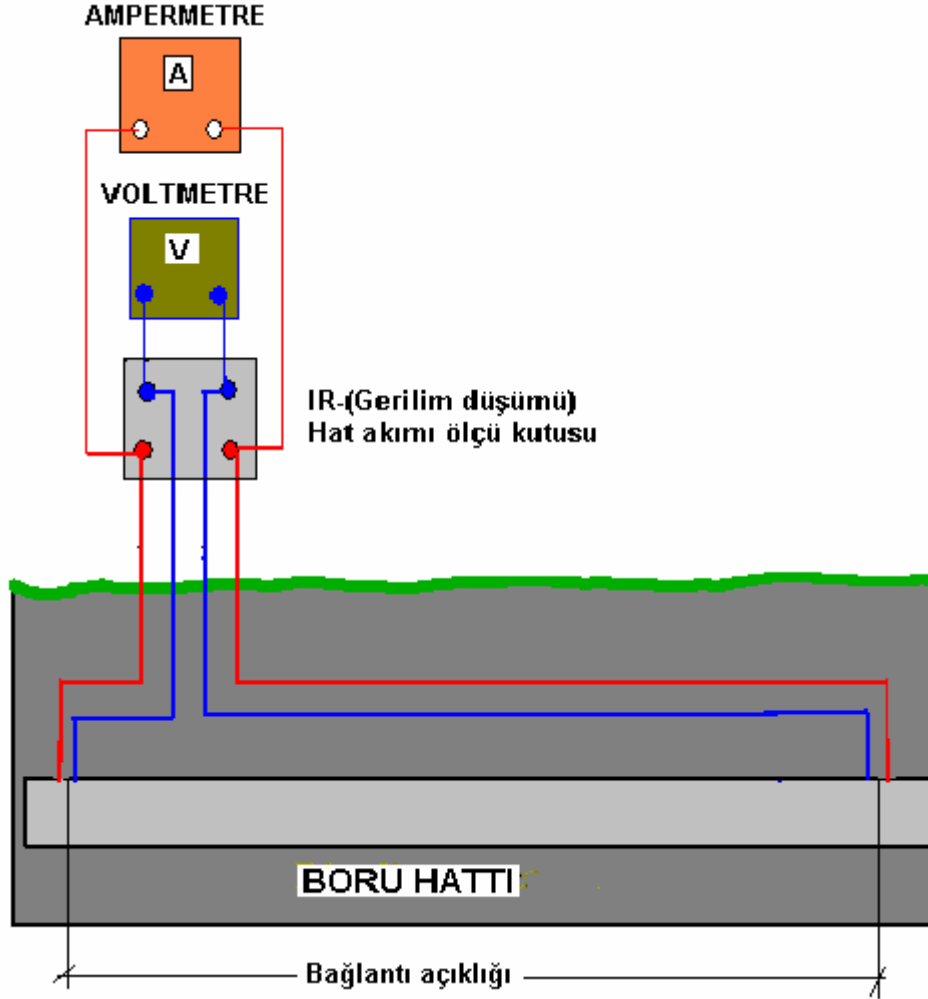
Aşağıdaki Çizelge 4.2 de söz konusu testler için tipik örnek değerler verilmiştir.

| <b>Boru hatları kısa devre</b>                        |                                 |                                      |                                     |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Katodik koruma Sistemi 1</b>                       | <b>Katodik koruma Sistemi 2</b> | <b>Boru hattı 1</b>                  | <b>Boru hattı 2</b>                 |
| ON                                                    | ON                              | -0.955                               | -0.965                              |
| ON                                                    | OFF                             | -0.745                               | -0.750                              |
| OFF                                                   | OFF                             | -0.550                               | -0.550                              |
| OFF                                                   | ON                              | -0.750                               | -0.750                              |
| <b>Boru hatlarında kısa devre ve enterferans yok</b>  |                                 |                                      |                                     |
| <b>Katodik koruma Sistemi 1</b>                       | <b>Katodik koruma Sistemi 2</b> | <b>Boru hattı 1</b>                  | <b>Boru hattı 2</b>                 |
| ON                                                    | ON                              | -0.955                               | -0.965                              |
| ON                                                    | OFF                             | -0.955                               | -0.555                              |
| OFF                                                   | OFF                             | -0.545                               | -0.555                              |
| OFF                                                   | ON                              | -0.545                               | -0.965                              |
| <b>Boru hatlarında kısa devre yok enterferans var</b> |                                 |                                      |                                     |
| <b>Katodik koruma Sistemi 1</b>                       | <b>Katodik koruma Sistemi 2</b> | <b>Boru hattı 1<br/>Deşarj alanı</b> | <b>Boru hattı 2<br/>Çekme alanı</b> |
| ON                                                    | ON                              | -0.955                               | -0.965                              |
| ON                                                    | OFF                             | -0.965                               | -0.565                              |
| OFF                                                   | OFF                             | -0.545                               | -0.555                              |
| OFF                                                   | ON                              | -0.535                               | -0.955                              |

Çizelge 4.2 Kısa devre testi

#### 4.9 Akım Ölçü Test İstasyonları

Akım ölçü test istasyonları boru hattı üzerinden akan akımın büyüklüğünün ve yönünün belirlenmesi için hayati öneme sahip katodik koruma test ölçü istasyonlarıdır.

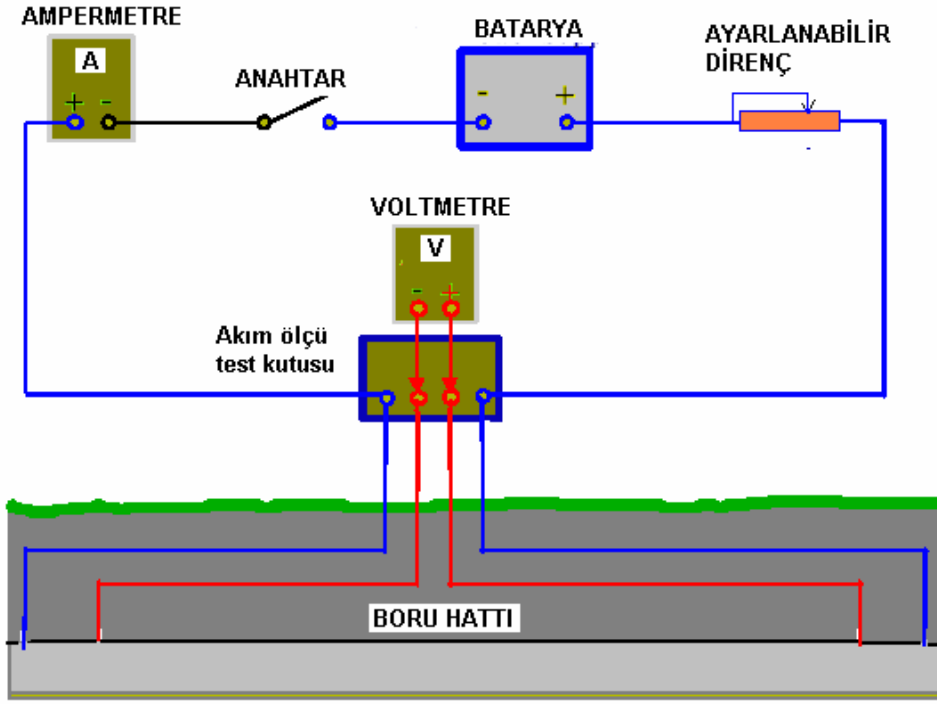


Şekil 4.30 Akım test ölçü istasyonu

Katodik koruma sistemi ile korunan hatlarda akım test ölçü istasyonu boru hattındaki akım dağılımının incelenmesi, kaçak veya girişim akımlarının belirlenmesi ve tesis edilen transformatör/doğrultucu (T/R) ünitesinin ve anod yatağının etkisini belirlemede kullanılır.

Bu test kutusu vasıtasıyla belirli bir miktarda akım uygulandığında veya borudan belirli bir miktarda akım geçtiğinde şekil 29 da görülen bağlantı açıklıklarında ki gerilim düşümü ölçülür. Bağlantı açıklıkları arasındaki mesafe ve boru hattının boyutları bilindiğinde direnç bulunabilir.

Tercih edilen metot ise test akımı kullanarak boru hattının direncini ölçmektir. Teste uygulanacak akım miktarı boru hattının çapına ve bağlantı açıklığının mesafesine bağlıdır. Geniş boru hatlarında yüksek değerlerde akım gereklidir. Akım test ölçü istasyonunda bağlantılar arasındaki açıklık az ise gerekli gerilim düşümünü sağlamak için yüksek akım gereklidir.



Şekil 4.31 Akım test ölçü istasyonundan direnç ve kalibrasyonun belirlenmesi

Akım ölçü kutusu iki ölçü devresinden meydana gelir. Dıştaki devreden ampermetre vasıtasıyla akım ölçülür. Doğru akım beslemesi bir anahtar vasıtasıyla(ON-OFF) sağlanır ve değişken direnç yardımıyla ölçmelerde akım ayarlaması yapılır.

İç devreden giriş direnci yüksek (10 mega ohm dan fazla) mili volt skalasında bir voltmetre ile devrenin gerilim düşümü ölçülür.

Boru hatlarının üzerinden doğası itibarıyla bir akım geçer. Bundan dolayı gerilim düşümündeki her değişme borudan geçen test akım miktarıyla karşılaştırılır.

Bu nedenle boru hattında akım ölçü kutusunda her ölçümden önce şekil 4.31 de görülen düzenek ile akım ölçü kutusundaki test bağlantı açıklıklarının direnci ve akım ölçü kutusunun kalibrasyon faktörünün bulunması gerekir.

Bağlantı açıklık direncinin ve kalibrasyon faktörünün bulunması için aşağıdaki işlemler yapılır.

- a.) Ölçü işleminde polarite borudan akan akımın yönünün belirlenmesi için çok önemlidir. Bu nedenle doğru akım güç kaynağının bağlantı polaritesine dikkat edilmesi gerekir.
- b.) Ölçmeler yapılmadan eğer boru hattı katodik koruma istasyonuna bağlı ise devreden çıkartılır ve akım kesilir. Dış devreden akım kesildiğinde şekil 31 de görülen iç devreden gerilim mV olarak okunur ve kaydedilir.
- c.) Şekil 31 de görülen dış devreden düşük seviyeden akım verilmeye başlanarak direncin değeri ayarlanmak suretiyle akım test değerine kadar arttırılır. Uygulanan test akımının değeri kaydedilir.
- d.) Bu anda iç devredeki gerilim düşümü mV olarak kaydedilir.
- e.) Aşağıda verilen ifadeler uygulanarak direnç ve kalibrasyon faktörü değerleri belirlenir

Bağlantı açıklıkları arasındaki direnç

$$R_s = \frac{U_{ON} - U_{OFF}}{I_s} = \frac{\Delta U}{I_s} \text{ (ohm)}$$

Kalibrasyon faktörü

$$KF = \frac{I_s}{U_{ON} - U_{OFF}} = \frac{I_s}{\Delta U}$$

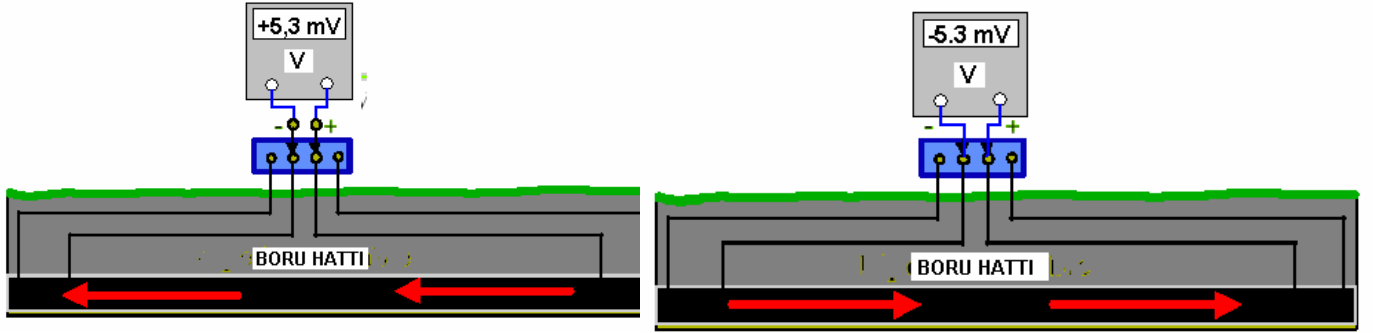
Gerilim düşümü ölçülerinde polaritenin göz önüne alınması çok önemlidir.

Örneğin  $U_{ON} = 5,3.mV \rightarrow U_{OFF} = 1,8.mV \Rightarrow \Delta U = U_{ON} - U_{OFF} = 5,3 - 1,8 = 3,5mV$  ve

$U_{ON} = 5,3.mV \rightarrow U_{OFF} = -1,8.mV \Rightarrow \Delta U = U_{ON} - U_{OFF} = 5,3 - (-1,8) = 7,1mV$  olacaktır.

- f.) Bağlantı ve kalibrasyon faktörü değerleri kaydedilir. Boru hattının sıcaklığı mevsim değişmelerine rağmen sabit kalıyorsa kalibrasyon faktörü şablon olarak kullanılabilir. Boru hattının sıcaklığı için bir şüphe varsa veya sıcaklığın değişimi söz

konusu ise her ölçü işleminde kalibrasyon faktörü belirlenmelidir.



Şekil 4.32 Gerilim polaritelerine göre akımların akış yönleri

Boru hattının akım değeri ölçü test kutuları arasındaki açıklık ve boru hattı malzemesi ile boru hattının boyutları doğru olarak bilindiğinde hesapla bulunabilir. Ancak boru hattındaki sıcaklık değişimleri boru malzemesinin özgül direncini değiştireceğinden hesaplar üzerine olumsuz etki yapar.

mV olarak gerilim düşümleri mV skalasına sahip voltmetre kullanılarak ölçülür. Ölçü sırasında gerilim düşümünün polaritesinin belirlenmesi boru hattı üzerinde akan akımın yönünün belirlenmesi için çok önemlidir. İleride gerçekleştirilecek diğer test prosedürleri için esas alınır.

Örneğin Şekil 4.32 de görüldüğü gibi pozitif gerilim düşümü boru hattında akımın sağdan sola aktığını ve negatif gerilim düşümü ise akımın soldan sağa doğru aktığını gösterir.

#### 4.9.1 Girişim Test Prosedürleri

Akım elektrolit boyunca aktığından, direnci en az olan yol boyunca geçer. Eğer metalik yapı elektrolite daldırılmış veya gömülmüş ise akım akış yolu direnci en düşük olan yoldur. Elektrolitten yapıya elektronların noktada korozyon hızlanacaktır, elektronların yapıyı terk ettiği noktada korozyon yavaşlayacaktır.

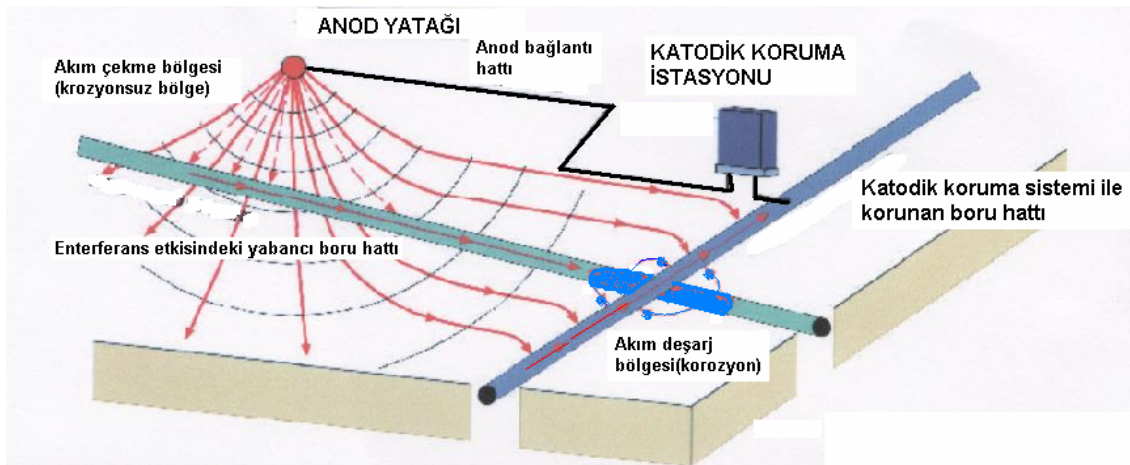
Katodik girişime çoğunlukla gömülü yapılarda rastlanır. Katodik girişim elektriksel ölçmeler yardımıyla algılanır ve kontrol altına alınır. Katodik koruma sistemi bazen katodik koruma sistemine bağlanmayan yapılar üzerinde arzu edilmeyen etkilere sebep olur. Söz konusu yapıların bir noktasından katodik koruma sistemine ait akımlar çekilir ve yapının diğer bir noktasından deşarj olarak katodik koruma sistemi üzerinden devresini tamamlar. Korozyon akımların deşarj olduğu bu noktalarda meydana gelir.

Girişim kaynakları sabit veya değişken olabilir. Sabit akım kaynakları özellikle katodik koruma sistemine ait Transformatör /Doğrultucu (T/R) ları gibi sabit akım çıkışına sahip kaynaklardır. Değişken akım kaynakları ise elektrikli demir yolu sistemleri, kömür çıkarma sistemleri, kaynak makineleri gibi değişken doğru akım çıkışına sahip kaynaklardır.

#### 4.9.2 Katodik Koruma sistemine ait Transformatör/Doğrultucu(T/R) ünitesinin neden olduğu girişim

Katodik koruma sistemleri bu sisteme bağlanmayan diğer metalik yapılar üzerindeki kaçak akımların(stray currents)başlıca kaynağıdır. Aynı katodik koruma sistemine bağlanmamış yapılara yabancı yapılar olarak adlandırılacaktır.

Söz konusu yabancı yapılar katodik koruma sistemine bağlı dış akım kaynaklı anodlardan korunmuş yapılara doğru akan akımlara alternatif bir yol sağlarlar. Eğer bu yol yeterli kadar düşük dirençli ise önemli bir miktarda yabancı yapı üzerinde bir akım geçişi meydana gelir. Bu akımlar yabancı yapının üzerinden elektrolite ve oradan akım kaynağına deşarj olur. Sonuçta yabancı yapıya ait deşarj olan yüzeyde şiddetli bir korozyon meydana gelir.

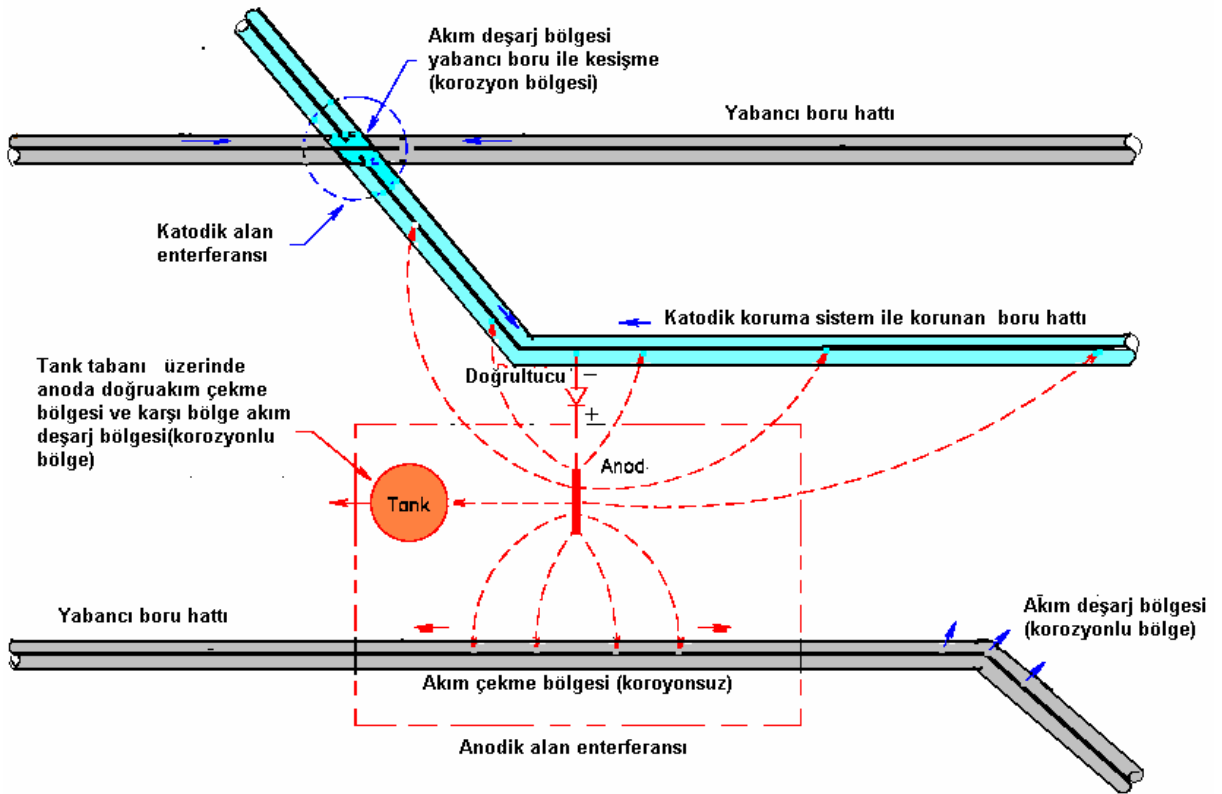


Şekil 4.33 Katodik koruma sisteminin neden olduğu girişimler

Girişim testleri genellikle katodik koruma sistemleri ilk defa olarak tesis edildiğinde yapılmakla birlikte zaman zaman yapılan rutin saha ölçümlerinde girişim etkileri de kontrol edilmelidir. Ölçümlerde düzenli kayıt tutulması katodik koruma girişim etkilerinin önlenmesi için çok faydalı olmaktadır.

Girişim testleri çevrede bulunan, katodik koruma sistemine yakın ve bu sisteme bağlanmayan yabancı yapıların hepsine uygulanır.

Katodik girişimler katodik koruma sisteminde bulunan ON-OFF çalıştırıcısı(ON-OFF interrupter) cihazı vasıtasıyla periyodik olarak koruma akımı ON-OFF yapılmak suretiyle yapı-toprak potansiyelleri, anod gradyentleri, akım ölçü kutuları vasıtasıyla gerçekleştirilen IR-düşümü(gerilim düşümü) ölçmeleri yapılarak belirlenir.



Şekil 4.34 Boru hattı sistemlerinde girişim bölgelerinin tanımı

Yapı-toprak potansiyeli ölçümleriyle yabancı yapı üzerinde akım çekme ve akım deşarj bölgeleri arasındaki bağlantı belirlenir.

Katodik koruma doğrultucusunun çıkış doğru akım ve gerilimi dalgalı şekle sahiptir. Yabancı

yapı üzerinde okunan dalgalı doğru akım ve gerilim doğrultucudan yapıya olan girişimi belirler.

Girişim bölgesinin belirlenmesinde en iyi metot girişim kaynağı olan katodik koruma sistemini periyodik olarak ON-OFF yapmak suretiyle yabancı yapı üzerinde ölçülen yapı-toprak ON-OFF potansiyelleri arasındaki cebrik fark(potansiyel kayması) yabancı yapı üzerindeki girişim etkisini belirler.

En yüksek pozitif(korunmamış) yönde potansiyel değişiminin bulunduğu yer kritik nokta veya kontrol noktası olarak adlandırılır. Bu nokta katodik olarak korunmuş boru ile korunmasız borunun kesiştiği deşarj bölgesi olup girişim korozyonun olduğu yerdir.

Negatif yönde (korunmuş) potansiyel değişimi gösteren yerler ise akım çekme(pick-up area) bölgesi olarak adlandırılır. Yabancı boru üzerindeki çekme bölgelerinin varlığı borunu üzerinde girişimin var oluşunu gösterir ve boru üzerinde bazı yerlerde deşarj bölgesinin varlığını ikaz eder.

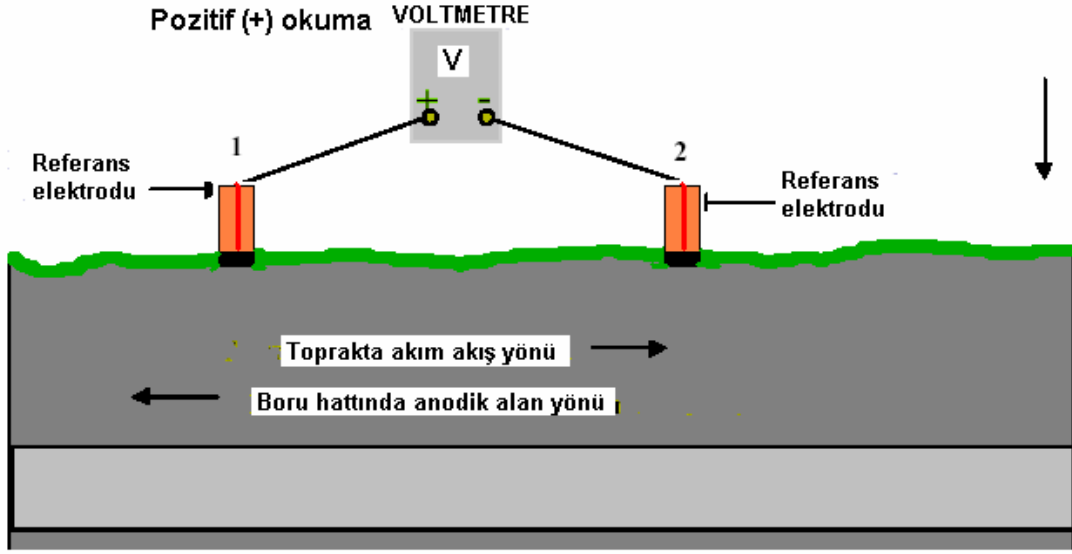
Eğer yabancı boru ile katodik koruma sistemine ait doğrultucunun negatif terminali arasında metalik bağlantı var ise girişim bulunmayıp yabancı yapı korunmaktadır.

Girişimin kaynağı bilinmiyorsa katodik koruma sistemi ON konumunda yani katodik koruma sistemi devrede iken boru toprak potansiyeli ve potansiyel gradyentleri ölçülerek katodik girişim incelenir.

Potansiyel gradyentleri adım-adım test prosedürüne göre ölçülür. Alınan ölçülerle yabancı boru hattı boyunca akım deşarj ve akım çekme bölgeleri belirlenir. Polarite akım akış yönünün ve akım miktarının belirlenmesinde önemlidir.

Akım deşarj bölgesine doğru akacaktır. Akımın büyüklüğü deşarj bölgesine yakın yere doğru artacaktır. Akım akış yönü deşarj noktasından geçilirken tersine dönecektir. Akımın en yüksek değerine kritik veya kontrol noktası geçilirken sahip olacak ve bu noktadan sonra akım değeri azalacaktır.

Deşarj noktası girişime neden olan yapının yakınındadır. Akım çekme bölgesi ise anod yatağı yakınındadır. Girişim kaynağının yerinin tespiti açısından akım çekme bölgesinin yerinin bulunması önemlidir



Şekil 4.35 Yabancı boru hattı üzerinde adım-adım polarite .

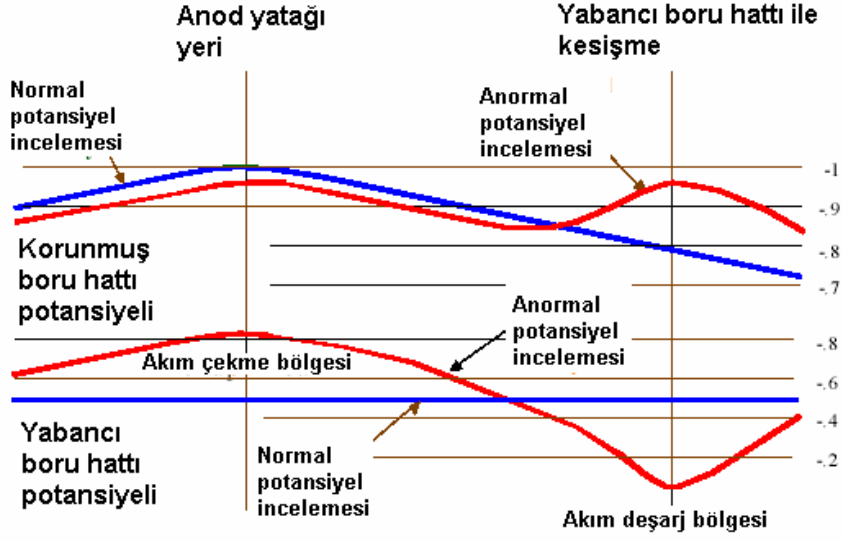
Voltmetre negatif Gerilim gösterdiğinde topraktaki akım akış yönü tersine olacak şekilde anodik alanı gösteren ok tersine olarak deşarj alanına yönelecektir.

Açıklanan metodlardan herhangi bir sonuç alınamazsa yabancı boru hattı üzerinde akım ölçüleri(IR-düşümü) gerçekleştirilir. Yabancı boru üzerinde yapılan akım okumaları(IR-düşümü) akım çekme ve akım deşarj bölgeleri arasındaki bağlantıyı gösterir. Yabancı boru üzerindeki akım akışı incelenerek akım çekme ve akım deşarj bölgelerinin yönü belirlenir.

Akım büyüklüğü deşarj noktasına doğru ciddi bir şekilde artar. Ölçüler eğer akım ölçü test kutuları yabancı boru üzerinde tesis edilmişse test kutuları vasıtasıyla kolaylıkla ölçülebilir. Akım ölçü kutularından ölçü alma prosedürü 5. bölümde detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Katodik koruma sistemine sahip bir boru hattında beklenmeyen ve anormal akım dağılışıları yabancı bir yapının muhtemel girişim etkisini gösterir. Normal olarak katodik koruma sistemi ile korozyona karşı korunan bir boru hattının potansiyeli anodlardan uzaklaştıkça yavaşça azalır. Kaplamada tahribat varsa koruma potansiyeli hızla azalır. Normal olarak boru hattındaki potansiyelin anodlardan uzak bir mesafede artması, akım çekildiğini gösterir.

Eğer bir boru hattının potansiyeli yabancı bir boru hattını keserken artarsa boru hattı üzerinde girişim ihtimali vardır. Akım kaynağı ON-OFF yapılarak gerçekleştirilen potansiyel ölçümleri girişimin varlığını ve miktarını belirler.



Şekil 4.36 Korunmuş veya korunmamış yapıların normal ve anormal potansiyelleri.

Katodik koruma sistemine ait doğrultucuların doğru akım ve doğru gerilim çıkışları dalgalı şekle haizdir. Bu sinyaller birim saniyede 100 Hz kapasiteli boru hattı detektörleri(pipe locator) ile belirlenebilir. Dalgalı sinyallerin varlığı yabancı boru hattının üzerindeki girişimin varlığını gösterir. Bu akım şüpheli akım kaynağı

ON-OFF cihazı ile kombine edilerek boru hattı detektörü ile girişimin kaynağı çok çabuk ve kolayca belirlenebilir.

Uygulama ise korunan boru hattına ait katodik koruma sisteminin T/R ünitesinde bulunan ON-OFF cihazı çalıştırılarak gerçekleştirilir. Doğrultucudan boru hattına akım verilince eğer yabancı boru hattında girişim etkisi varsa boru hattı detektöründe söz konusu sinyal görülür, akım kesilince sinyal kesilir. Herhangi bir girişim etkisi yoksa katodik korumalı hatta akım verilse dahi yabancı boru hattı üzerinde tutulan boru hattı detektöründe sinyal algılanamaz.

Sinyalin gücü bazı durumlarda akım deşarj ve akım çekme alanlarının yönünü tayin etmekte de kullanılır. Normal olarak sinyalin gücü deşarj noktasına doğru artar.

Eğer yabancı boru hattı da katodik olarak korunuyorsa birbirlerine olan girişim etkilerini belirlemek için Boru hatlarından bir devreden çıkartılır diğeri ON-OFF olarak çalıştırılıp test yapılır. Sonra diğeri devreden çıkartılıp birincisi ON-OFF çalıştırılarak testler tekrarlanır.

Değişken Güç kaynaklarından meydana gelen girişim.

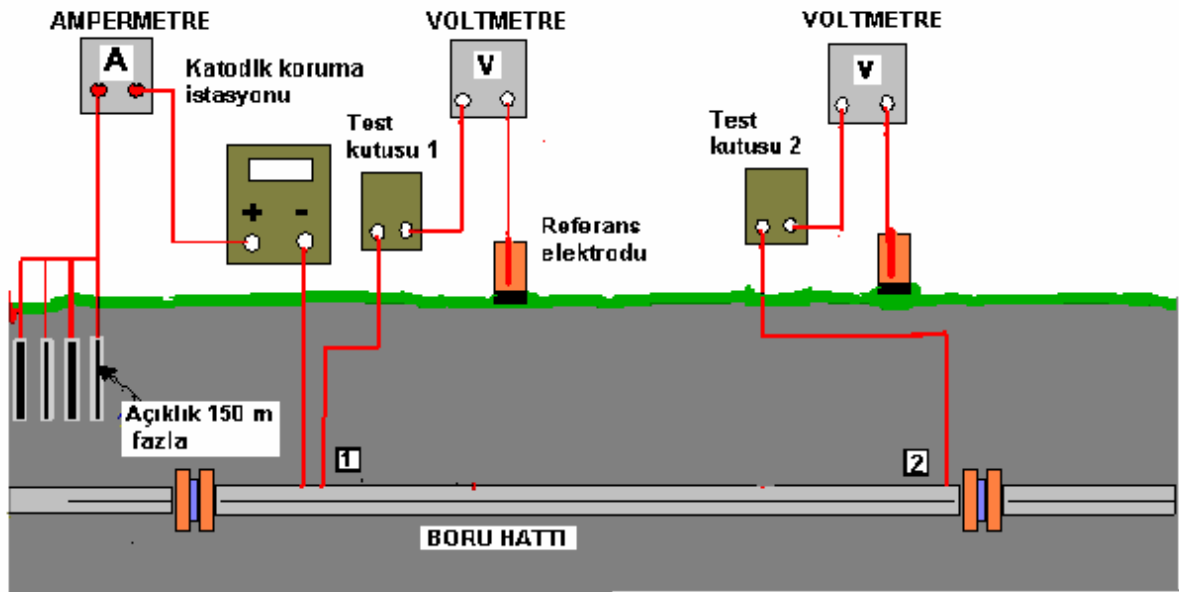
Değişken kaynakların girişim etkileri sürekli olmayıp zaman zaman kendini gösterdiğinden bunları tesbit etmek için sürekli test gereklidir. Test metodu diğer girişim metodları ile aynıdır. Ancak sabit kaçak akımlarının etkilerini belirlemek için girişim testleri yapılırken değişken kaçak akımlarının etkileri de araştırılır.

Boru-elektrolit potansiyelindeki periyodik değişiklikler, ölçüm sırasında akım değerinde meydana gelen değişiklikler değişken kaynaklı kaçak akımların varlığını gösterir.

Değişken kaçak akımların etkisinin katodik koruma sisteminden dolayı meydana gelen girişim etkisinden bir farkı yoktur.

#### 4.10 $R_{KC}$ Boru Kaplama Direncinin değerini bulmak için metotlar

##### 4.10.1 Kısa hat metodu



Şekil 4.37 Kısa hat metodu ile kaplama direncinin tayini

Bu metot takriben 3 km ye kadar kısa hatlar ve bir adet katodik koruma sistemine haiz için uygulanır.

Katodik koruma istasyonundan  $I_o$  test akımı uygulanır. Anahtarı açıp kapamak suretiyle istasyon devreye sokulup çıkartılır. İstasyon devrede iken 1 ve 2 test noktalarındaki  $U_{ION}$  ve

$U_{2ON}$  gerilimleri ve istasyon devre dışı iken  $U_{1OFF}$  ve  $U_{2OFF}$  okunur. 1. noktası katodik koruma istasyonunun negatif terminalinin boru hattına bağlandığı ve drenaj noktası denilen yerdir. 2 noktası ise boru hattının sonlandığı yerdeki test ölçü kutusudur. Eğer bir test noktasında ölçülen gerilimler arasındaki oran  $\frac{U_{OFF}}{U_{ON}} = \frac{1}{6}$  ve daha fazla ise  $U_{OFF}$  gerilim aşağıda tablo 2 de verilen düzeltme faktörleri ile çarpılır.

Çizelge 4.3  $\frac{U_{OFF}}{U_{ON}} = \frac{1}{6}$  gerilim oranlarına göre düzeltme faktörleri

| ORAN | FAKTÖR |
|------|--------|
| 1.6  | 0.919  |
| 1.7  | 0.908  |
| 1.8  | 0.896  |
| 1.9  | 0.886  |
| 2.0  | 0.876  |
| 2.1  | 0.868  |
| 2.2  | 0.860  |
| 2.3  | 0.851  |
| 2.4  | 0.843  |
| 2.5  | 0.835  |
| 2.6  | 0.829  |
| 2.7  | 0.821  |
| 2.8  | 0.814  |
| 2.9  | 0.809  |
| 3.0  | 0.802  |

## Örnek 1

42inch çapında 3 km uzunluğunda boru hattının tamamında ortalama kaplama direncinin ve ortalama koruma akım yoğunluğunun bulunması.

Drenaj Noktasında

$$U_{1ON} = 1,30V \dots\dots U_{1OFF} = 0,800V \dots\dots I_1 = 1,200A$$

$$\Delta U_1 = U_{1ON} - U_{1OFF} = 1,30 - 0,800 = 0,500V$$

Hat sonunda

$$U_{2ON} = 0,910V \dots\dots U_{2OFF} = 0,750V \dots\dots I_2 = 0A$$

$$\Delta U_2 = U_{2ON} - U_{2OFF} = 0,910 - 0,750 = 0,160V$$

$$\Delta I = I_0 = I_1 - I_2 = 1,200 - 0 = 1,200A$$

$$\Delta U_{1,2} = (\Delta U_1 + \Delta U_{2\ddot{o}}) / 2 = (0,500 + 0,160) / 2 = 0,330V$$

$$\text{Gerilimler arası oran } \frac{U_{1ON}}{U_{2OFF}} = \frac{1,2}{0,5} = \frac{2,4}{1} \text{ ve } \frac{U_{NON}}{U_{NOFF}} = \frac{0,91}{0,75} = \frac{1,21}{1} \text{ olduğundan tablo 2}$$

deki faktörlerle çarpmaya gerek yoktur.

Kaplama direnci  $R_{KC}$

$$R_{KC} = \frac{\Delta U_N}{\Delta I} \cdot S = \frac{0,330}{1,200} \cdot 10066 \approx 2768 \text{ohm.m}^2$$

S 42 inch çapında 3 km uzunluğunda boru hattının direnci olup

d=42 inch=1,068 m boru yarı çapı

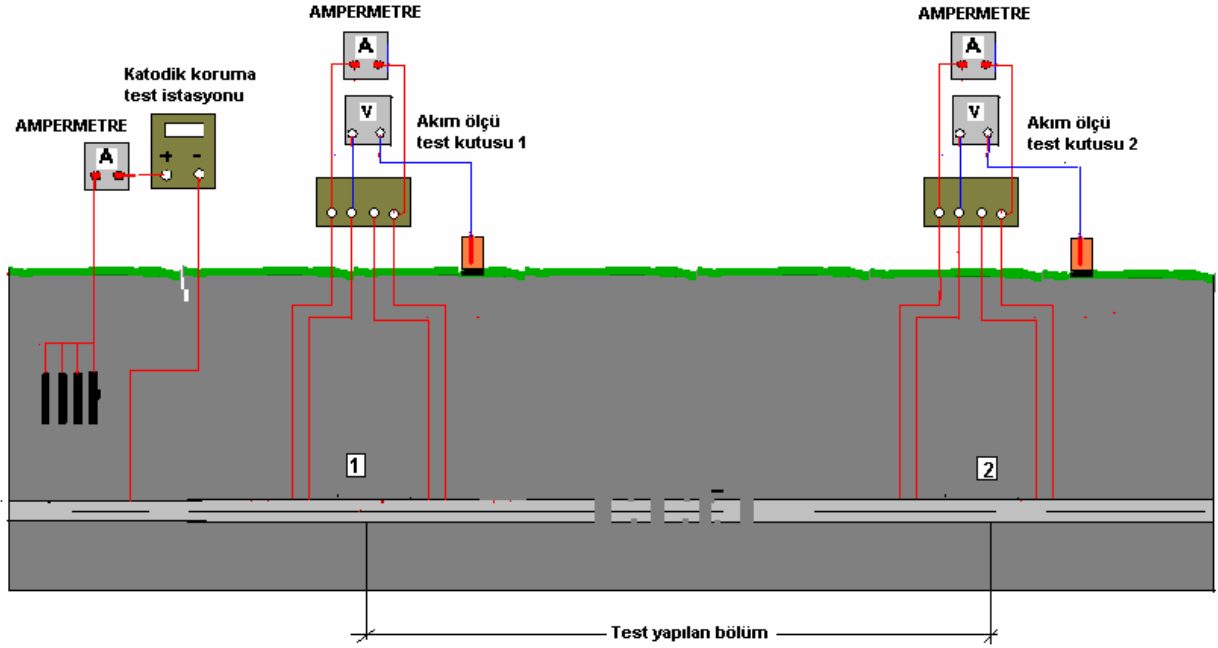
L=3000 m iki ölçü kutusu arası uzaklık

$$S = (\pi \cdot d) \cdot L = (\pi \cdot 1,068) \cdot 3000 = 10066 \text{m}^2$$

3 km lik boru hattı tamamında koruma akım yoğunluğu

$$I_s = \frac{\Delta I}{S} = \frac{1,200}{10066} \approx 120 \mu A / \text{m}^2$$

#### 4.10.2 Uzun hat metodu



Şekil 4.38 Uzun hat metodu ile kaplama direncinin tayini

Bu metotta katodik koruma istasyonundan  $I_0$  akımı uygulanır. Hat boyunca akan akım iki akım ölçü test kutusundan  $I_1$  ve  $I_2$  ölçülür. Daha sonra her iki akım test kutusunda doğrultucu devrede iken  $U_{1ON}$  ve  $U_{2ON}$  ve doğrultucu devre dışı iken  $U_{1OFF}$  ve  $U_{2OFF}$  gerilimleri ölçülür.

Eğer bir test noktasında ölçülen gerilimler arasındaki oran  $\frac{U_{OFF}}{U_{ON}} = \frac{1}{6}$  ve daha fazla ise  $U_{OFF}$  gerilim aşağıda tablo 2 de verilen düzeltme faktörleri ile çarpılır.

#### Örnek 2

Boru hattının 1 ve 2 noktaları arasında bulunan akım ölçü test kutuları arasındaki uzaklık 2 kmdir Bu iki nokta arasındaki ortalama kaplama direncini bulalım.

3. no.lu akım ölçme kutusundaki potansiyel ve akım ölçüm değerleri

$$U_{1ON} = 1,180V \dots\dots U_{1OFF} = 0,900V \dots\dots I_1 = 0,500A$$

4. no.lu akım ölçme kutusundaki potansiyel ve akım ölçüm değerleri

$$U_{2ON} = 1,140V \dots\dots U_{2OFF} = 0,875V \dots\dots I_2 = 0,350A$$

3. Ölçü kutusunda

$$\Delta U_1 = U_{1ON} - U_{1OFF} = 1,180 - 0,900 = 0,280V$$

4. Ölçü kutusunda

$$\Delta U_2 = U_{2ON} - U_{2OFF} = 1,140 - 0,875 = 0,265V$$

iki ölçü kutusu arasındaki ortalama değer

$$\Delta U_{1,2} = (\Delta U_1 + \Delta U_2) / 2 = (0,280 + 0,265) / 2 = 0,273V$$

2km lik boru kısmından geçen akım

$$\Delta I = I_2 - I_1 = 0,500 - 0,350 = 0,150A$$

Kaplama direnci  $R_{KC}$

$$R_{KC} = \frac{\Delta U_{1,2}}{\Delta I} \cdot S = \frac{0,273}{0,150} \cdot 6710 \approx 12212 \text{ ohm.m}^2$$

S 42 inch çapında 2 km uzunluğunda buru hattının direnci olup

d=42 inch=1,068 m boru yarı çapı

L=2000 m iki ölçü kutusu arası uzaklık

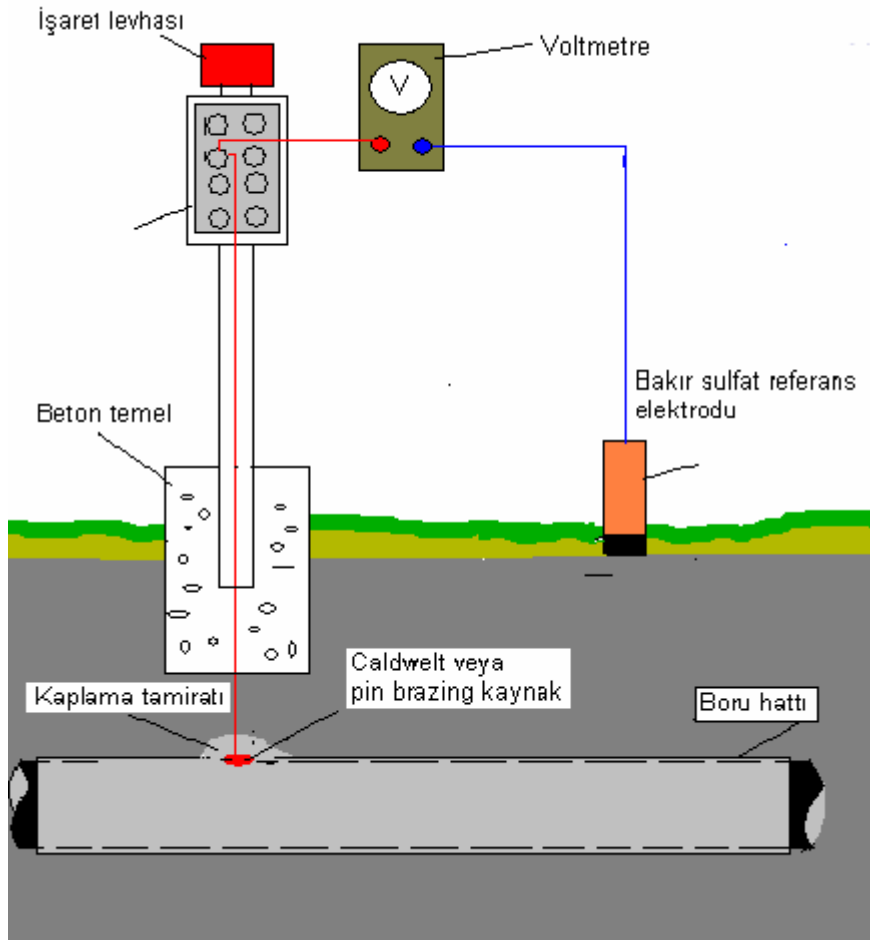
$$S = (\pi \cdot d) \cdot L = (\pi \cdot 1,068) \cdot 2000 = 6710 \text{ m}^2$$

2 km lik bölümde koruma akım yoğunluğu

$$I_s = \frac{\Delta I}{S} = \frac{0,150}{12212} \approx 12,3 \mu A / m^2$$

#### 4.11 Katodik koruma sistemi ile korunan Boru Hatları üzerinde bulunan ölçü ve test istasyonları

##### 4.11.1 Boru hattı Potansiyel ölçü ve test istasyonu



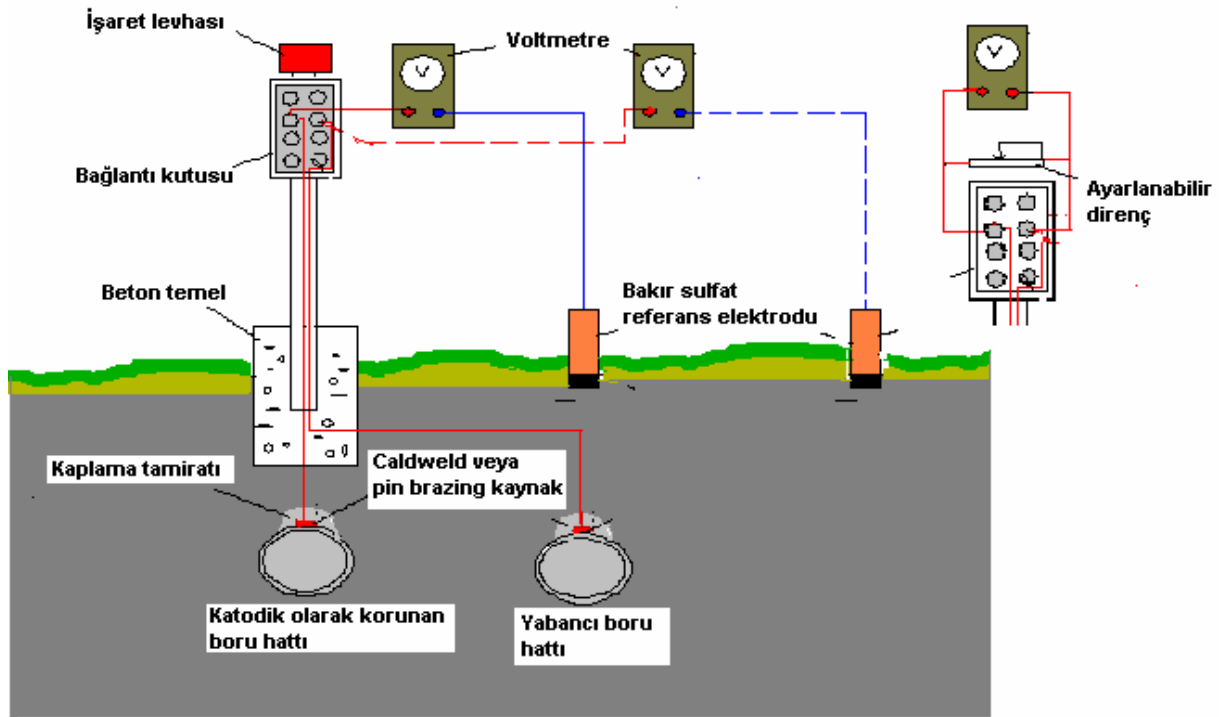
Şekil 4.39 Potansiyel ölçü ve test istasyonu

Bağlantı kutusu ile boru arasındaki kablo bağlantı süreklilik testi ve kablonun hasar alması durumunda yedek kablo kullanımı için çift devre alarak çekilir. Boruya kablo bağlantısı caldweld veya pin brazing kaynakla yapılır. Isı etkisinin boruya zarar vermemesi için pin brazing kaynak tercih edilir. Zira caldweld kaynağın kaynak sıcaklığı  $2000-2500^{\circ}\text{C}$  iken pin brazing kaynağın sıcaklığı  $650^{\circ}\text{C}$  dir.

Potansiyel test istasyonundan boru-toprak potansiyelleri ölçülmekle beraber boruyu etkileyen girişimlerin varlığı da izlenebilir.

#### 4.11.2 Eş potansiyel Test ve Ölçü İstasyonu

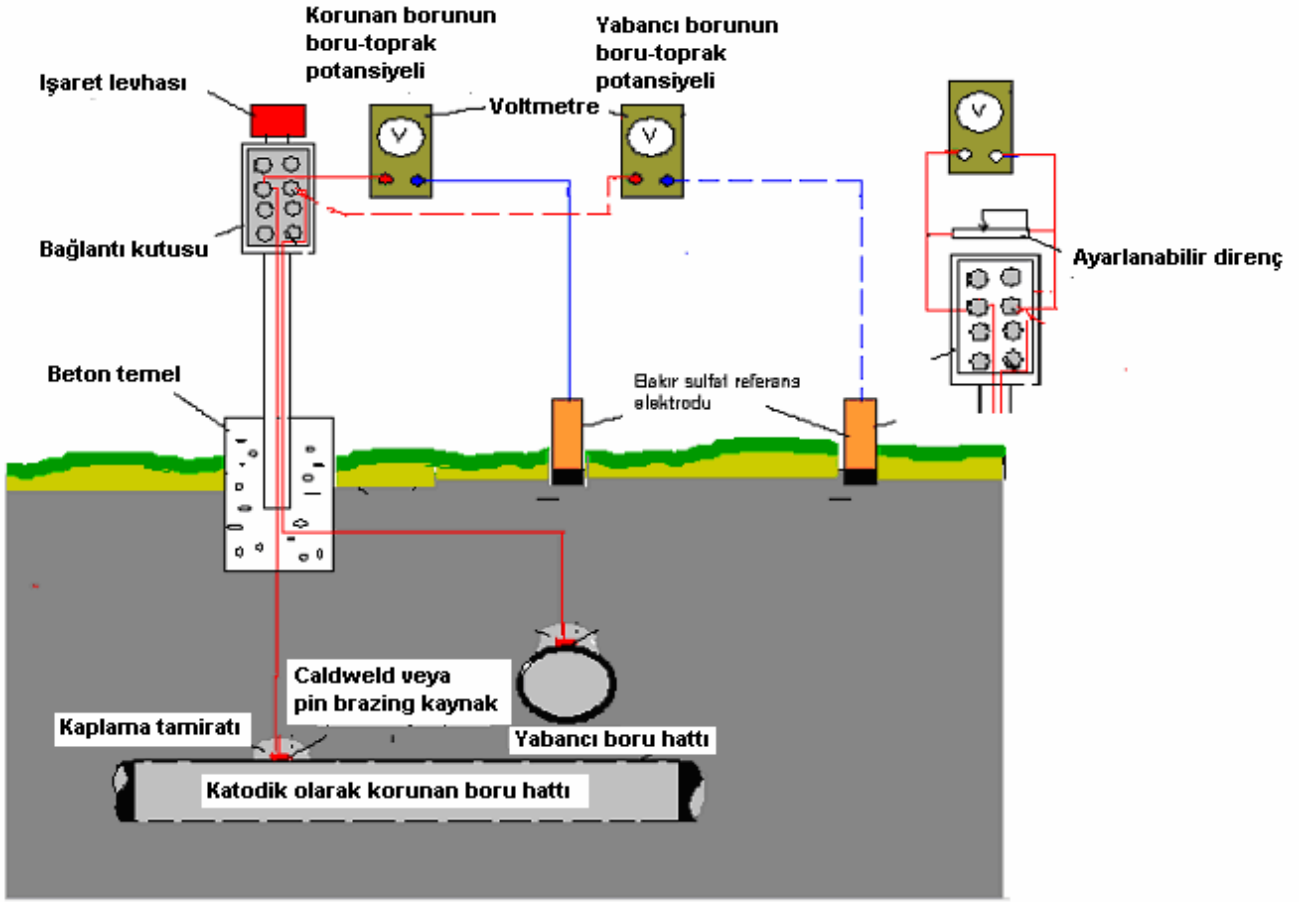
##### 4.11.2.1 Yabancı Boru Hattı ile Paralel gitme durumu



Şekil 4.40 Yabancı Boru hattı ile paralel olma durumunda Eşpotansiyel Test ve Ölçü İstasyonu.

Katodik koruma sistemine sahip boru hattı ile yabancı boru hattı arasındaki metalik kısa devreyi bulmak ve boru hatları arasındaki girişim etkilerinin test ve ölçümünde kullanılır. Eğer girişim etkisi ve metalik bir kısa devrenin bulunması halinde iki boru hattı arasındaki potansiyel farkı eğer yabancı boruda katodik koruma sistemine sahipse şekilde görüldüğü gibi ayarlanabilir direnç vasıtasıyla iki boru hattındaki potansiyel farkı 25 mili Voltun altına düşürülür. Ayrıca söz konusu test ve ölçü kutusu yardımıyla boru-toprak potansiyelleri de ölçülebilir.

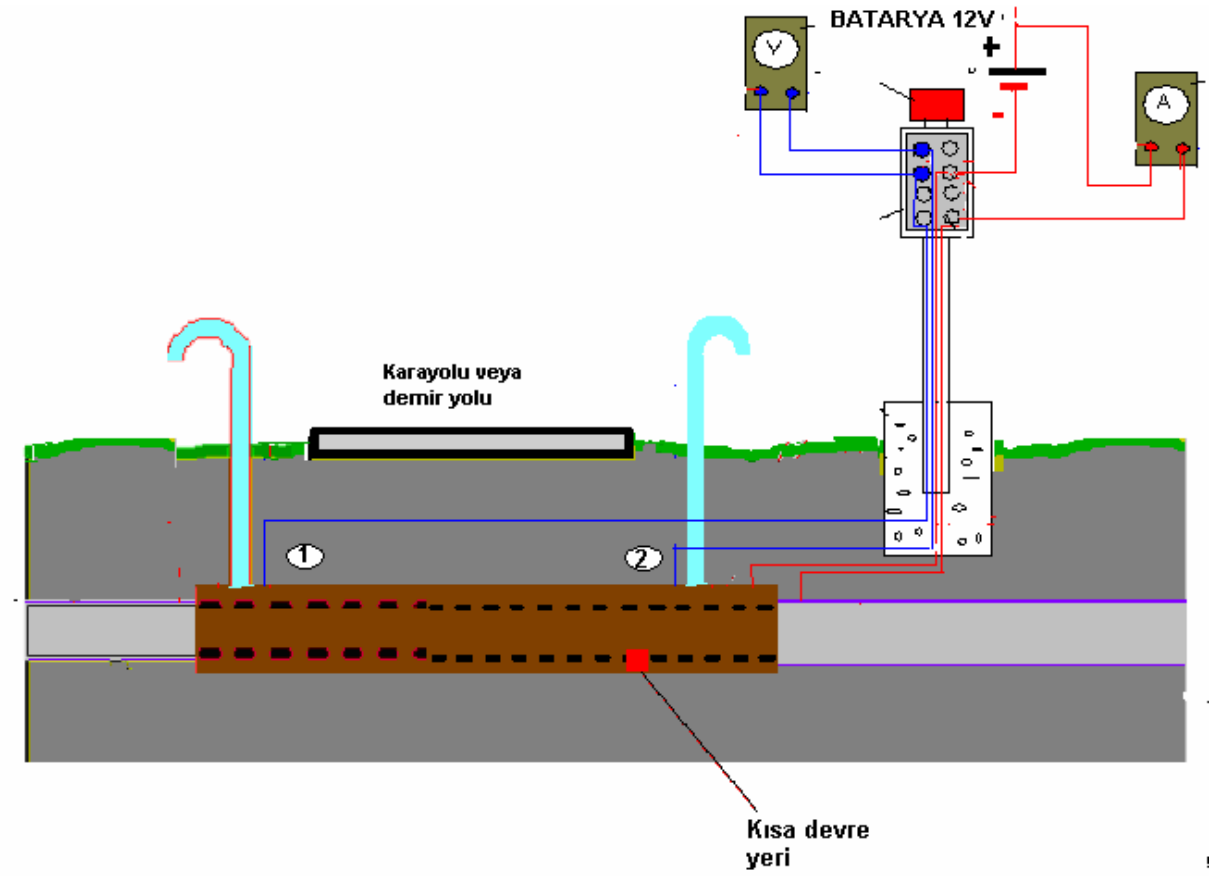
#### 4.11.2.2 Yabancı Boru ile Kesişme durumu



Şekil 4.41 Yabancı Boru Hattı ile kesişme durumunda Eş Potansiyel Test ve Ölçü Kutusu

Fonksiyonları ve test ve ölçü işlemleri yukarıdaki gibi aynıdır.

### 4.11.3 Keson Test ve Ölçü Kutusu

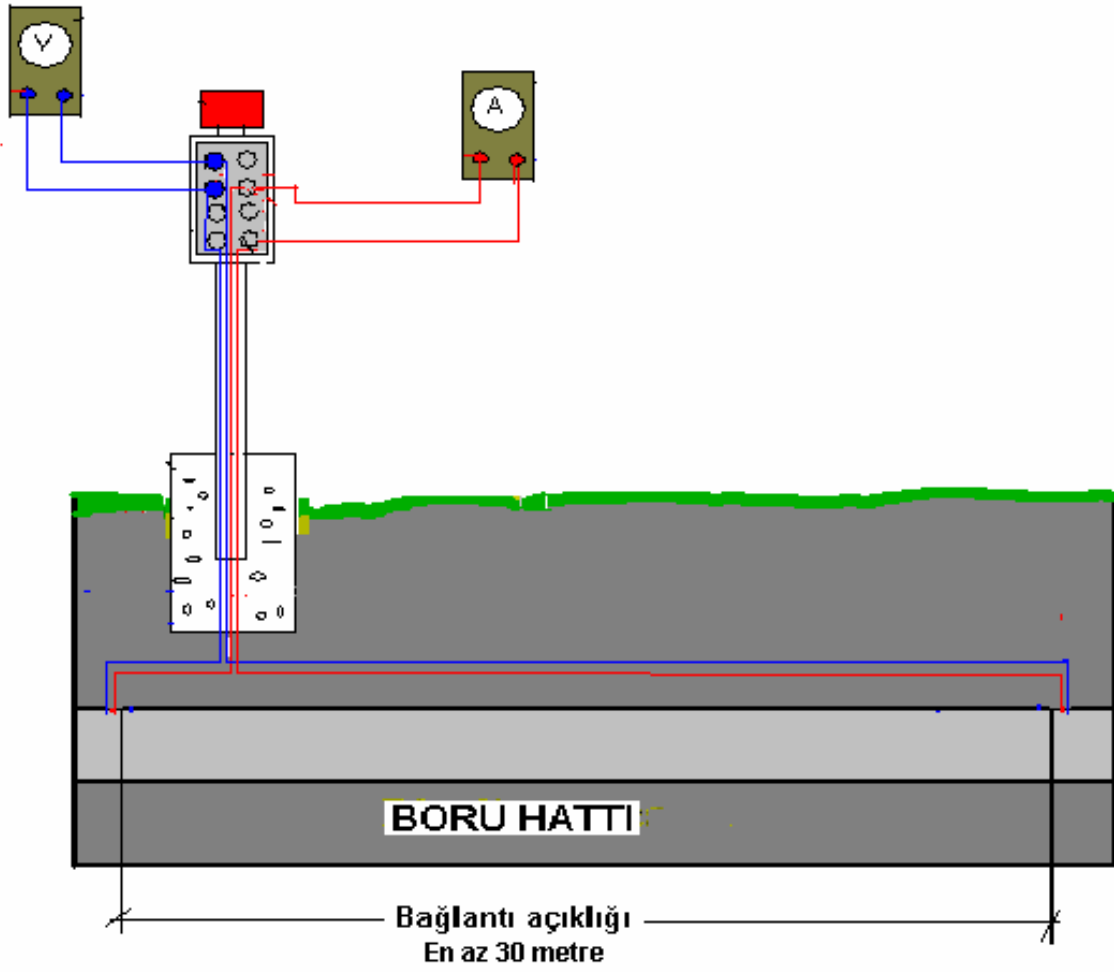


Şekil 4.42 Keson test ve Ölçü Kutusu

Keson Test ve ölçü kutusu ile Kesonla katodik koruma sistemi tarafından korunan boru hattı ile arasındaki izolasyon durumu belirlenir. Eğer ikisi arasında bir kısa devre varsa kısa devre bu test kutusu tarafından yapılan ölçmeler sonucu belirlenir.

Bu test kutusu vasıtasıyla ayrıca boru-toprak potansiyelleri ölçülebilir.

#### 4.11.4 Akım (IR-gerilim düşümü) ölçü ve test kutusu



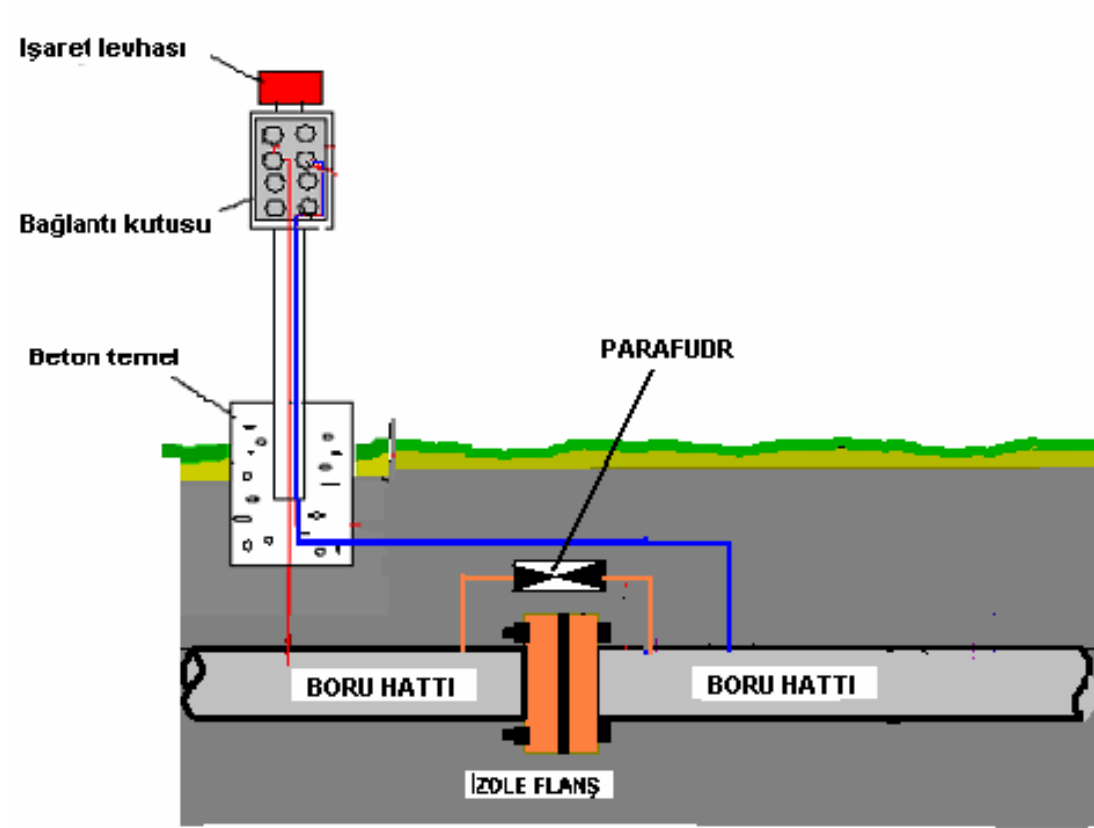
Şekil 4.43 Akım(IR-düşümü) Test ve Ölçü Kutusu

Akım Test ve ölçü kutusu yardımıyla boru hattının izolasyon durumu, girişim etkileri, boru kaplama direnci, boru hattı katodik koruma akım ihtiyacı ve boru hattı boru kaplama izolasyon seviyesi ile boru hattındaki kaplama tahribatları belirlenir.

Bu test kutusu vasıtasıyla ayrıca boru-toprak potansiyelleri ölçülebilir.

#### 4.11.5 İzole Flanş Test ve Ölçü Kutuları

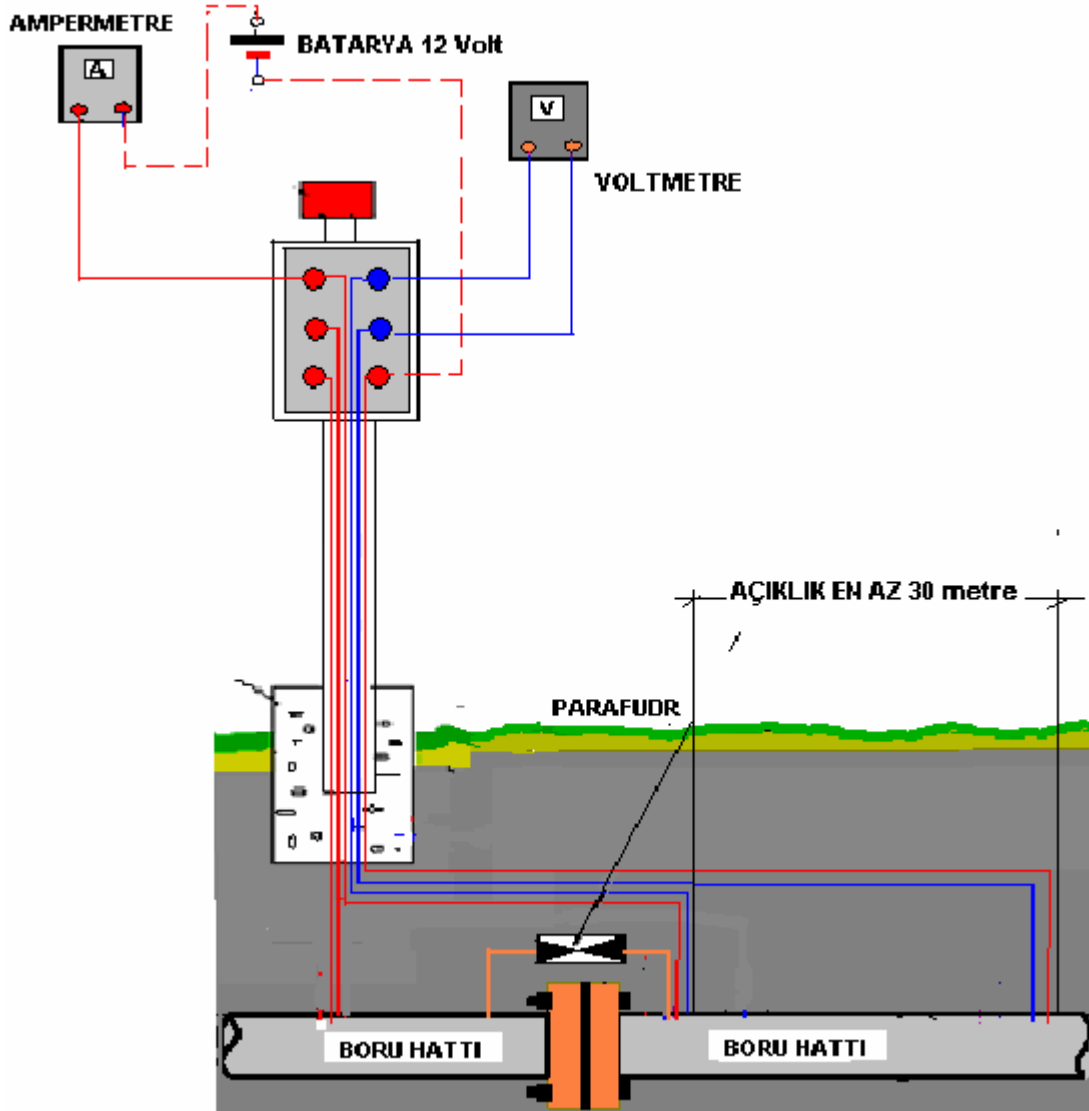
##### 4.11.5.1 İki hatlı Keson Test ve Ölçü Kutusu



Şekil 4.44 2-hatlı İzole Flanş Test ve Ölçü Kutusu

İzole flanşı izolasyon seviyesi kontrol edilir. Ayrıca İzole flanşın her iki tarafında bulunan boru hatlarına ait boru toprak potansiyelleri ölçülür.

#### 4.11.6 6-hatlı Keson Test ve Ölçü Kutusu



Şekil 4.45 6-hatlı İzole Flanş Test ve Ölçü kutusu

Yapılan işlemler ve fonksiyonlar yukarıdaki ile aynı olmakla beraber bu test ve ölçü kutusu yardımıyla boru hattının hat akımları da ölçülebilir.

#### 4.12 Boru-toprak potansiyel Test ölçü sonuçlarının değerlendirilmesi

##### 4.12.1 Galvanik anodlu Katodik Koruma Sistemlerinde

| Galvanik Anodlu Katodik Koruma Sistemi ile Korunan Boru Hatlarında Boru-Toprak Potansiyel Ölçümlerinin Genel Değerlendirilmesi |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gerilim (mV) ON                                                                                                                | GENEL DEĞERLENDİRME                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Voltmetre pozitif değer gösteriyor.                                                                                            | Test bağlantılarının doğru polaritede bağlanıp bağlanmadığı kontrol edilir. Doğru akım ölçme konumuna alınan Voltmetrenin negatif ucu bakır sülfat referans elektroduna, pozitif ucu da borudan gelen kabloya bağlı test kutusu terminaline bağlanır. Eğer hala pozitif değer okunuyorsa bu durumda boru hattını etkileyen kuvvetli bir girişim vardır. |
| 0 ile -100 mV arası                                                                                                            | Boru hattı ile test kutusu terminali arasındaki bağlantıda kopukluk vardır.                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| -101 ile -399 mV arası                                                                                                         | Ölçme işlemi tekrarlanır. Eğer yine aynı sonuç çıkıyorsa bu boru hattının bakır gibi daha az negatif veya pozitif doğal potansiyele haiz bir metalle arasında elektriksel bir bağlantının olduğunu gösterir. Boru hattında kuvvetli bir korozyon vardır.                                                                                                |
| -400 ile -599 mV                                                                                                               | Genel olarak katodik korumanın etkili olmadığını gösterir. Mevcut galvanik anodların görevini yapamadığı galvanik anodların tükendiği anlaşılır.                                                                                                                                                                                                        |
| -600 ile -849 mV arası                                                                                                         | Sistemde yeterli seviyede katodik koruma bulunmadığı anlaşılır. Bunun sebebi ya boru hattının kaplamasında bozuklukların olduğu veya galvanik anodların tükenmiş olmasıdır. Değişen iklim ve çevre şartlarında testler tekrarlanır. Aynı durum devam ediyorsa galvanik anodlar ve boru kaplama direnci                                                  |

|                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                         | kontrol edilir.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| -850 ile -1100mV arası                                                  | Eğer boru hattı çinko anodlarla korunuyorsa katodik koruma sistemi yeterlidir.                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| -850 ile -1600 mV arası                                                 | Boru hattı magnezyum anodlarla korunuyorsa katodik koruma sistemi yeterlidir.                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Çinko anodlu galvanik katodik koruma sistemi ile boru hattı korunuyorsa | Çinko anodların-1100 mV'dan daha yüksek değerde doğal potansiyele sahip olması imkansızdır. Eğer boru hattı üzerinde -1100 mV'dan daha yüksek değerde boru-toprak potansiyeli okunuyorsa, boru hattı kaçak akımlardan dolayı girişim etkisi altındadır. Kaçak akım ve girişim testleri yapılmalıdır.                                                                                      |
| -1600 mV dan daha negatif değer okunursa                                | Herhangi bir katodik koruma sistemi ile korunan boru hattında katodik koruma sisteminin boruyu -1600 mV dan daha negatif değere ulaştırması teorik olarak imkansızdır. Söz konusu boru hattı üzerinde -1600 mV dan daha negatif bir değer okunursa boru hattı girişim etkisi altında olabilir. Girişim testlerinin yapılması gereklidir.                                                  |
| Değişimler ve Salınımlar.                                               | Eğer voltmetre ibresi ölçü sırasında değişimler gösteriyorsa kaçak akımlar tarafından katodik koruma sistemi ile korunan boru hattının girişim etkisine maruz kaldığı şüphesi ortaya çıkar. Kaçak akımların şekli bazen girişim kaynağı veya yerini bulmaya yardımcı olur. Örneğin akımın devrede olması ve kesilmesi çevrede bir doğru akım kaynak makinesinin çalıştığını ortaya koyar. |
|                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Hızlı değişimler ve Hızlı salınımlar.                                   | Voltmetre ibresi stabil olmayıp sürekli salınım halinde ise, ölçü devresi bağlantılarının bir yerinde yüksek direnç oluşmuştur. Bağlantı hatlarının ve bağlantıların                                                                                                                                                                                                                      |

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | sağlam ve temiz olduğu kontrol edilir ve sağlam olduğundan emin olunur. Ayrıca referans elektrodunun yerleştirildiği veya toprakla temas ettiği yer kuru olabilir. Bu yere su ilave edilir veya yağmur yağdıktan sonra ölçüler tekrar edilir. Petrol bulaşığı topraklar yüksek toprak direncine neden olurlar. Referans elektrodunun toprakla temas ettirilen alt uç tapası temizlenir veya değiştirilir. |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

#### 4.12.2 Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma Sistemleri

| Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma Sistemi ile Korunan Boru Hatlarında<br>Boru- Toprak Potansiyel Ölçümlerinin Genel Değerlendirilmesi |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gerilim mV                                                                                                                           | GENEL DEĞERLENDİRME                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Pozitif potansiyel veya o ile<br>-100 mV arası ON veya OFF potansiyeli                                                               | Bu değerlerde potansiyel okunduğunda boru hattı ile katodik koruma sistemi arasında bir bağlantı olmadığı anlaşılır. Bu nedenle elektriksel bağlantının sürekliliği testi yapılır. Pozitif ve negatif bağlantı hatları sistem tesisi sırasında yanlış bağlanmış olabilir. Negatif hat korunacak botu hattına pozitif hat ise katodik koruma sistemi anodlarına bağlanır. Test kutularındaki bağlantılarda ters olabilir. Pozitif hat boru hattına negatif hat ise referans elektroduna bağlanmalıdır. Ayrıca kaçak akımlardan dolayı boru hattı etkilenebilir. Bağlantılarda hata yoksa boru hattına girişim testleri uygulanır. |
| -101 ile -399 mV arasında ON veya OFF potansiyel değerleri                                                                           | Bu ölçülerden emin olmak için tekrar ölçü alınır. Eğer aynı ölçüler alınıyorsa boru hattı bakır gibi daha az negatif veya pozitif potansiyele haiz bir metalle temas halinde olduğunu gösterir. Söz konusu bağlantı noktasında boru hattı şiddetli                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

|                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                       | koroziona uğramıştır.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| -400 ile -599 mV arasında ON veya OFF potansiyelleri. | Genellikle boru hattında katodik koruma sisteminin etkili olmadığı anlamına gelir. Hali hazırda var olan katodik koruma sistemine ait anodların tamamen tükenmiş olduğunu veya anot bağlantılarının kopmuş olabileceğini veya katodik koruma sistemi ile korunan boru hattı arasındaki negatif hatta kopukluk olduğunu gösterir.                                                                                                                                                                  |
| -600 ila -849 mV arasında ON veya OFF potansiyeli     | Genellikle boru hattı üzerinde katodik korumanın var olduğunu gösterir. Düşük okumanın nedenleri <ul style="list-style-type: none"> <li>• Transformatör/Redresör ünitesi nin kapasitesi yeterli olmayabilir</li> <li>• Anodlar yeterli boyutta değildir veya anod yataklarının toprak direnci yeterli seviyede değildir.</li> <li>• Katodik korumaya bağlı diğer yapılarla arasında bağlantı olmayabilir.</li> <li>• Çevre şartlarından dolayı tatmin edici şekilde ölçü alınamabilir.</li> </ul> |
| - 850 mV veya daha fazla negatif ON potansiyeli       | Boru hatlarında yeterli seviyede katodik koruma olduğu ile ilgili kesin sonuç vermez. Zira Katodik koruma sistemi boru hattına sürekli olarak gönderdiği koruma akımı boru hattı boyunca gerilim(IR)düşümüne sebep olur.Bu nedenle ON potansiyeli yeterli bir katodik korumanın olduğuna dair kesin bir kriter değildir. Bu nedenle boru hattında ani-OFF potansiyelleri okunmalıdır.                                                                                                             |
| -850 mV veya daha fazla negatif OFF potansiyeli       | Boru hattı kesin ve düzenli bir şekilde katodik olarak korunmaktadır. Koruma akımı geçici olarak kesildiği anda okunan -850 mV veya daha fazla negatif ani-OFF potansiyeli boru hattının yeterli bir katodik koruma sistemi tarafından                                                                                                                                                                                                                                                            |

|                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                  | korunduğunu ifade eder.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| -1220 mV daha fazla negatif<br>OFF potansiyeli   | Ani-OFF potansiyelinin bölüm 2.5.3 de açıklananlar doğrultusunda katodik olarak korunan boru hattında olmaması gereken potansiyel değeridir.-1220mV dan daha yüksek değerde daha negatif ani-OFF potansiyeli okunursa boru hattında kaçak akım girişiminin olduğu şüphesi ortaya çıkar. Kaçak akımlar boru hattının hızlı bir şekilde korozyona uğratacağından acilen kaçak akım testleri yapılarak kaçak akımların kaynağının belirlenmesi ve gereken tedbirlerin alınması gerekir.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| -2000mV dan daha fazla<br>negatif ON potansiyeli | <p>Genellikle anod yataklarının yüksek dirence sahip olmasından dolayı yüksek gerilim düşümleri meydana gelir. Bu durum normal olarak gerilim değeri yüksek ve akım değeri yüksek olarak redresör çıkışlarında görülür.</p> <p>Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemi ile korunan bir boru hattında yüksek değerde negatif ON potansiyellerinin görülmesinin nedenleri aşağıda açıklananlarının biri, birkaçı veya hepsi olabilir.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Boru hattı kaplamasının tahribata uğradığını</li> <li>• Boru hattının korozyona uğradığını</li> <li>• Anodların tükenmiş olduğunu</li> <li>• Boru hattının kuvvetli kaçak akımlarının etkisi altında olduğu dur.</li> </ul> <p>Açıklanan nedenlerin kaynağının acilen tesbit edilmesi bu etkilere karşı gerekli tedbirlerin alınması gerekir.</p> |
| Değişken ON veya OFF<br>potansiyelleri           | Eğer okunan potansiyel değerleri değişiyorsa katodik olarak korunan boru hattının değişken kaynaklı kaçak akımlardan etkilendiği ortaya çıkar. Örneğin boru hattı yakınlarında bir kaynak makinesi çalışıyorsa bu durumda voltmetrede okunan                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

|                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                            | ON-OFF potansiyel değerleri, yüksek kaynak makinesi çalışmadığı zaman ON-OFF potansiyel değerleri düşük okunur.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| ON-OFF potansiyellerinde hızlı değişim veya salınım olursa | Eğer voltmetrenin göstergesi stabil olmayıp sürekli değişim gösteriyorsa ölçü devresinin bir yarlarında yüksek direnç veya kötü temas mevcuttur. Bütün bağlantı hatları ve bağlantı yerleri kontrol edilip temiz ve metalik olarak sağlam bağlanıldığından emin olunur. Ayrıca referans elektrodunun toprağa temas ettiği yer çok kuru olabilir. Söz konusu yere su ilave edilir ve tekrar ölçü alınır. Petrol bulaşığı olan toprak yüksek geçiş direncine sebep olabilir. Referans elektrodunun alt tapası temizlenir ve gerekiyorsa değiştirilir. |

#### 4.12.3 100 mV Polarizasyon kriteri için Test Prosedürü

-0,85 V ani-OFF kriteri için yapılan test işlemleri için yapılan işlemlerin benzeri yapılır. Ancak gerçekleştirilen ani-OFF boru-toprak potansiyel okumaları ile boru hattına katodik koruma akımı uygulamadan önce gerçekleştirilen boru-toprak doğal potansiyel okumaları ile karşılaştırılır.

Katodik koruma sistemi ile korunmayan Kaplamalı boru hatları için Potansiyel kayması test prosedürü.

- Boru hattı boyunca anodik (negatif boru-toprak potansiyeli en yüksek) alanları belirlemek üzere boru-toprak potansiyeli ölçülerek boru hattındaki doğal potansiyeller belirlenir.
- 100 mV potansiyel kayması kriterinin gerçekleştiğini görebilmek için Şekil 28 deki gibi geçici katodik koruma istasyonu kurularak ani-OFF potansiyelleri okumaları yapılır. Örneğin boru hattında boru-toprak doğal potansiyeli en fazla negatif potansiyel

okunan yerde potansiyel değeri -0,603 Volt ise eğer boru-toprak ani-OFF potansiyel değeri  $-0,603-(0,100)=-0,703$  Volt okunursa kriter gerçekleşmiş olur.

- Ani-OFF potansiyeli boru hattının tamamında ölçülür.

Katodik koruma sistemi ile korunmayan Kaplamasız boru hatları için Potansiyel kayması test prosedürü.

- Boru hattı boyunca anodik (negatif boru-toprak potansiyeli enyüksek) alanları belirlemek üzere boru-toprak potansiyeli ölçülerek boru hattındaki doğal potansiyeller belirlenir. Eğer bu okumalar sonucu elde edilen değerler olağan dışı yüksek ise (örneğin -0,700 Volt üzeri), bu değerlerin üzerine ilave edilen 100 mV eklenerek elde edilen değerleri ölçme sonucu bulunan o yere ait ani-OFF değerleri ile karşılaştırılır. Eğer -0,700 Volttan yüksek değerler boru hattının büyük bir bölümünde görülüyorsa ani-OFF -0.85 Volt kriteri ve 100 mV kriteri boru hattının tamamı için uygulanır.
- Ani-OFF okumalarında boru-hattı için 100 mV polarizasyon kaymasının gerçekleştiği görülecektir. Örneğin -0,603 V olarak ölçülen doğal boru-toprak potansiyeline haiz noktada ani-OFF potansiyeli  $-0,603 -(0,100)=-0,703$  V olmalıdır.
- Ani-OFF kriteri boru hattının doğal boru-toprak potansiyeli esas alınarak uygulanır.

Katodik koruma sistemi ile korunan Kaplamalı boru hatları için Potansiyel kayması test prosedürü.

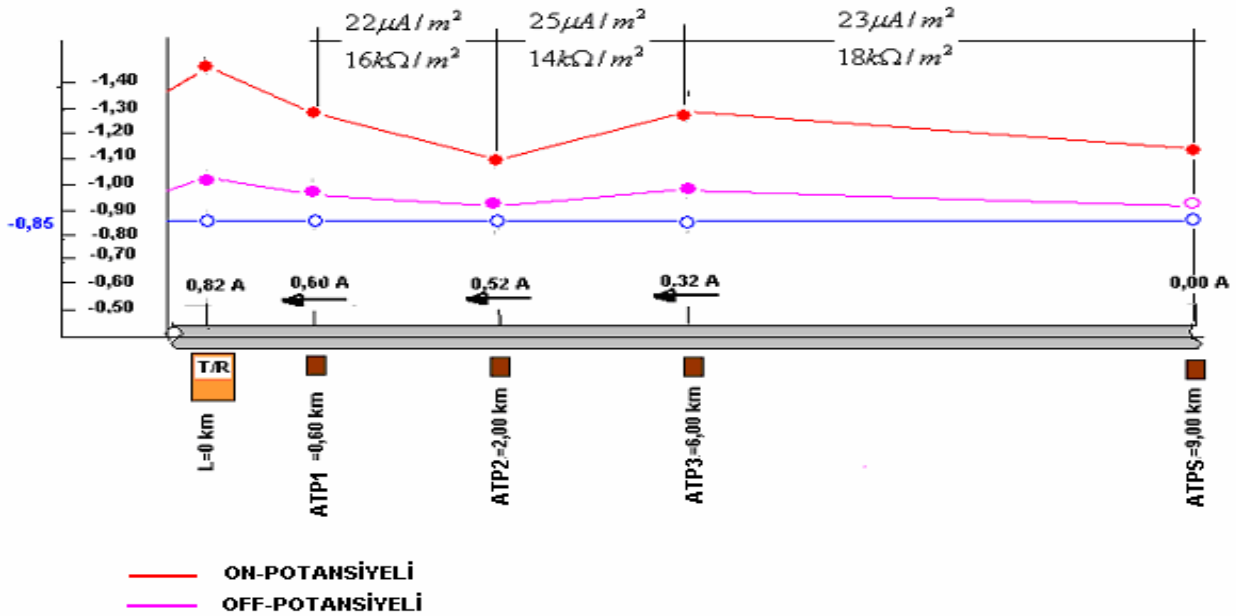
- Eğer katodik koruma sistemi devreye alınmadan boru hattının doğal boru-toprak potansiyel değerleri ölçülüp kayıt altına alınmışsa yukarda açıklanan işlemlere göre prosedür gerçekleştirilir ve analiz yapılır.
- Eğer bu işlem yapılmamışsa 100mV kriterini kullanmak üzere boru-hattının doğal boru-toprak potansiyellerini belirlemek üzere boru hattı depolarize edilir. Katodik koruma sistemi devre dışı edilerek koruma akımı kesildikten sonra aşağıda açıklanan süreler kadar beklenilir.
  1. İyi kaplamaya haiz toprağa gömülü boru hatlarında 60-90 gün
  2. Zayıf kaplamalı ve kaplamasız boru hatlarında 2-30 gün
- Depolarizasyon hızı toprak şartlarına göre değişir. Genellikle yüksek korozyon değerlerine haiz ortamlarda, oksijen seviyesinin yüksek olduğu, elektrolitin hareketli (akarsu) olduğu ortamlarda depolarizasyon çok hızlı olacaktır. İyi kaplamalı boru

hatlarında ve yüksek özgül dirence sahip toprak yapısında ve düşük oksijen seviyesine sahip ortamlarda depolarizasyon çok yavaş olacaktır.

- Eğer ani-OFF potansiyeli doğal potansiyel ile 100mV polarizasyon kayması ile toplamından daha negatif değerde çıkarsa kriter gerçekleşmiş olur.

#### Katodik Koruma Sistemi ile Korunan Boru Hatlarında Boru hattı Üzerindeki Hata Yerlerinin Bulunması

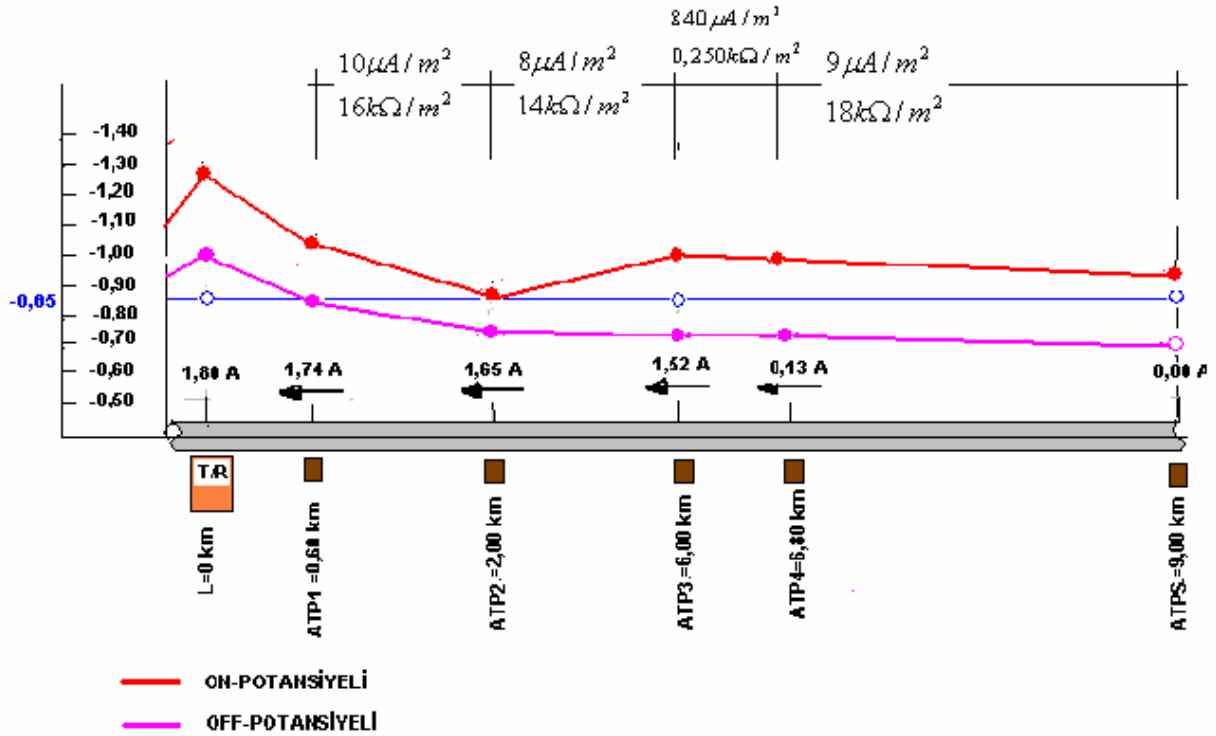
Katodik olan eski boru hatları diğer yabancı yapılar ile birçok ba noktada bağlantı halinde olabilir. Aynı durum yeni tesis edilen boru hatlarında kötü işçilik ve dikkatsizlik nedeniyle yabancı boru hatlarıyla elektriksel iletkenlik sebebiyle köprülenebilir. ON-OFF Potansiyellerindeki değişim veya boru hattı boyunca meydana gelen potansiyel farklılıkları katodik korumanın etkisini önleyen hataların görülmesini sağlar. Boru hattının katodik olarak korunması için gereken akım ihtiyacı boru hattının kaplamasının yıpranması da göz önüne alınarak katodik koruma sisteminin proje safhasında tecrübelerle de dayanarak tahmin edilir. Aşağıdaki şekil 4.46. da boru hattının devreye alındığı zaman yapılan akım ölçü test (ATP) kutularından yapılan ON-OFF potansiyel ve akım ölçümleri sonucunu ve bu değerlere göre hesaplamalar sonucu belirlenen kaplama direnci ve koruma akım yoğunluğu değerlerini göstermektedir.



Şekil 4.46 Sağlam bir boru hattında yapılan ölçüm değerleri ve Kaplama direnci ve koruma akım yoğunluğu değerleri

Hattın problemsiz olduğuna karar verebilmek için şekilde görüldüğü gibi ON ve OFF boru-toprak potansiyelinin  $-850$  mV değerinin üzerinde olması ve Akım ölçü test kutularından ölçülen akım değerleri ve boru hattı boyutları esas alınarak hesaplanan boru kaplama direnci değerleri ve koruma akım yoğunluğu arasında olağan üstü farklılıkların olmaması gerekir.

Şekil 4.47 de aynı boru hattının ATP3 ile ATP4 akım ölçü test kuruşu arasında kalan bölgede yapancı bir yapı ile temas durumunu göstermektedir.



Şekil 4.47 Boru hattında yabancı bir yapı ile olan temas sonucu elde edilen ölçme sonuçları ve kaplama direnci ve akım yoğunlukları

Şekil 4.47 dende görüleceği üzere boru hattında OFF-potansiyelinin ölçülmesinin gerekli olduğudur. Zira sadece ON-potansiyeli ölçülürse şekildende görüleceği üzere boru hattının problemsiz olduğu sonucuna varılır. Hâlbuki boru hattı yabancı bir yapı ile temas halinde ve boru hattını koruyan katodik koruma sistemi ATP 1 den sonra etkisiz durumdadır. ON-OFF potansiyeli ölçümleri alabilmek için dış akım kaynaklı katodik koruma sistemine ait

Transformatör/Redresör (T/R) ünitesi 1 saniye koruma akımın kesen ve 4 saniye koruma akımı veren akım açma-kapama sistemi (Current Interrupter) sistemi ile donatılmalıdır. Ne yazık ki ülkemizde uygulanan dış kaynaklı katodik koruma sisteminde söz konusu akım açma kapama mekanizması hemen hemen hiç bir sistemde mevcut olmadığından gerekli ilave testlerin yapılmasına gerek duyulmadan boru hattının korozyon ve katodik koruma sistemi açısından problemsiz olduğu kanaatine varılmaktadır.

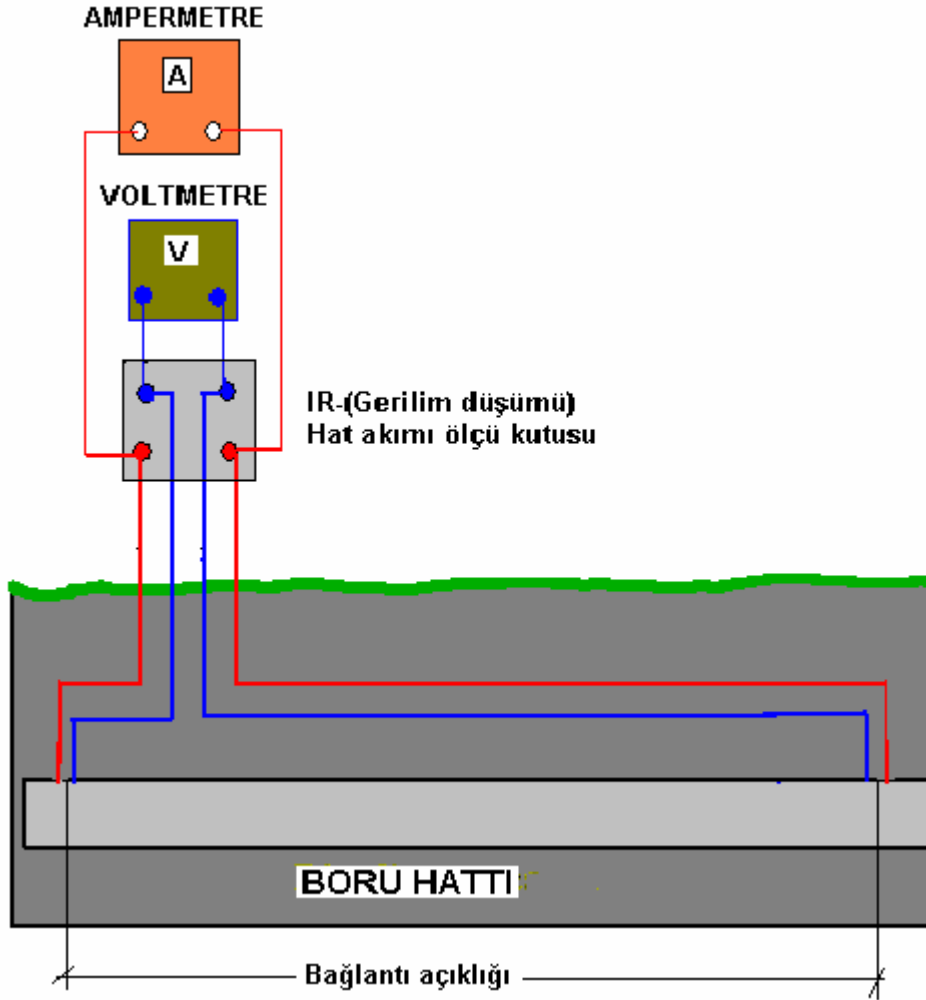
Diğer boru hattıyla veya toprakla temas yeri, boru hattı üzerinde akım ölçü ve test kutuları vasıtasıyla gerçekleştirilen akım ölçüm değerleri kullanılarak bir kaç yüz metre içinde bulunabilmektedir.

Yabancı boru hatları ile temaslar katodik olarak korunan boru hattındaki koruma akımı ON-OFF edilerek bulunabilir. Koruma akımı ON edildiğinde eğer yabancı boru hattı üzerindeki potansiyel daha az negatif veya daha pozitif değerde olacaktır.

Eğer korunan boru hattı ile yabancı boru hattı arasında elektriksel bir temas varsa korunan boru hattına ait katodik koruma sistemi ON konumuna alınınca yabancı boru hattında ölçülen potansiyel bir öncekine göre daha negatif değer alacaktır.

#### 4.13 Doğru akım Kullanarak Hata Yerinin Bulunması

Hata yerinin bulunması ohm kanunun uygulanmasına dayanır.



Şekil 4.48 Akım ölçü test kutusundan ölçümlerin alınması

Akım ölçü test kutusunda bağlantı açıklıklarından okunan akımı, koruma akımı çok küçük olduğundan dolayı hata akımı olarak kabul ederek ve akım ölçü kutusundan ölçülen gerilim(gerilim düşümü değerini) değerini esas alarak ve aynı zamanda boru hattına ait boyuna direnç  $R_L$  bilindiğinden

Hata yerinin ölçü kutusuna uzaklığı

$$L_H = \frac{\Delta U}{I_H \cdot R_L}$$

$\Delta U$  Akım test ve ölçü kutusundan ölçülen gerilim(IR-gerilim düşümü) değeri(Volt)

$I_H$  Akım test ve ölçü kutusundan ölçülen hata akımı değeri(Amper)

$R_L$  Boru hattının boyuna direnci olup

$$R = \frac{r_B}{(D-t)t} \text{ (ohm / m) ifadesiyle belirlenir}$$

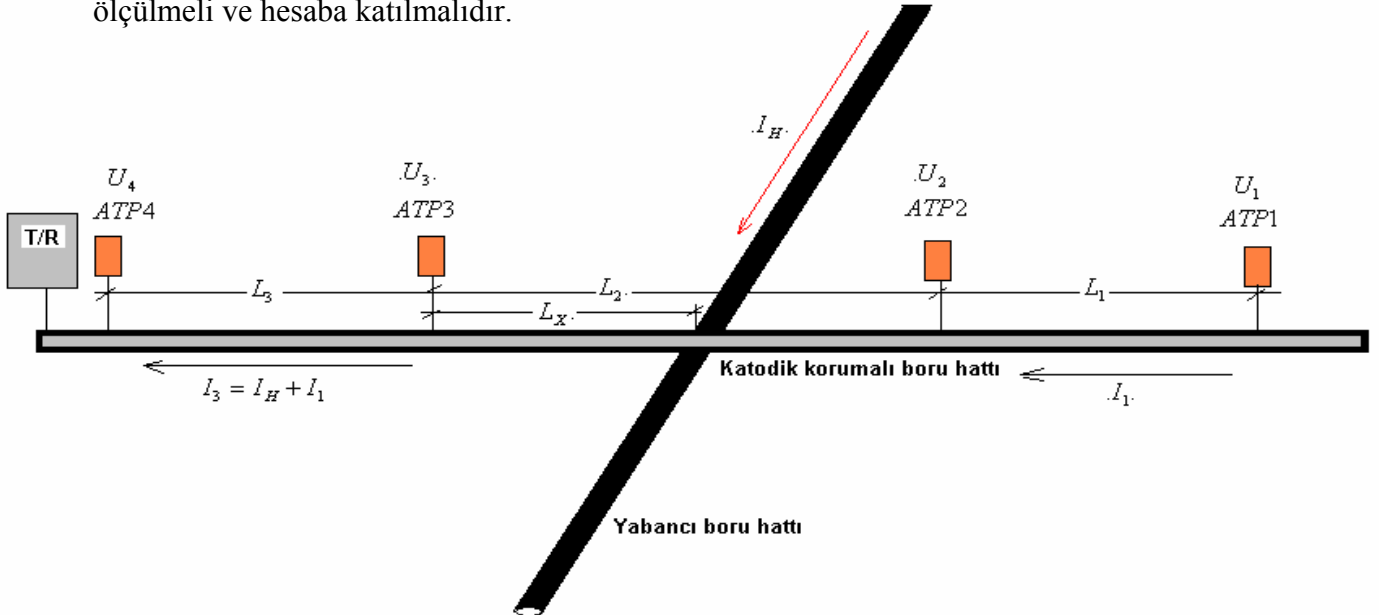
Burada

$r_B = 0,18 \cdot 10^{-6} \text{ (ohm.m)}$  borunun metre başına özgül direnci

$D$  Boru çapı (metre)

$t$ .(metre) Boru et kalınlığı

Bu basitleştirilmiş hesap şekli ancak çok düşük temas direnci olduğunda ve boru hattından diğer akımlar akıyorsa kullanılabilir. Boru hattının dışına doğru olan akım akışları ayrı ayrı ölçülmeli ve hesaba katılmalıdır.



Şekil 4.49 Yabancı bir boru hattı ile elektriksel temas yerinin bulunması için gerekli ölçümler

Şekil 4.49 de görüldüğü gibi ATP akım ölçü ve test kutuları vasıtasıyla gerekli akım ve gerilim ölçümleri muhtemel temas noktasının her iki tarafında da yapılmalıdır. Ölçü değerleri bulunduktan sonra aşağıdaki ifade yardımıyla elektriksel temas yeri aşağıda verilen ifade yardımıyla bulunur.

$$L_X = \frac{\Delta U_2 - I_1 \cdot L_2 \cdot R_L}{I_H \cdot R_L} = \frac{(U_2 - U_1)}{(U_3 - U_1)} \cdot L_2$$

$$I_3 = I_H + I_1$$

$$\Delta U_2 = U_3 - U_2$$

$R_L$  Boru hattının boyuna direnci olup

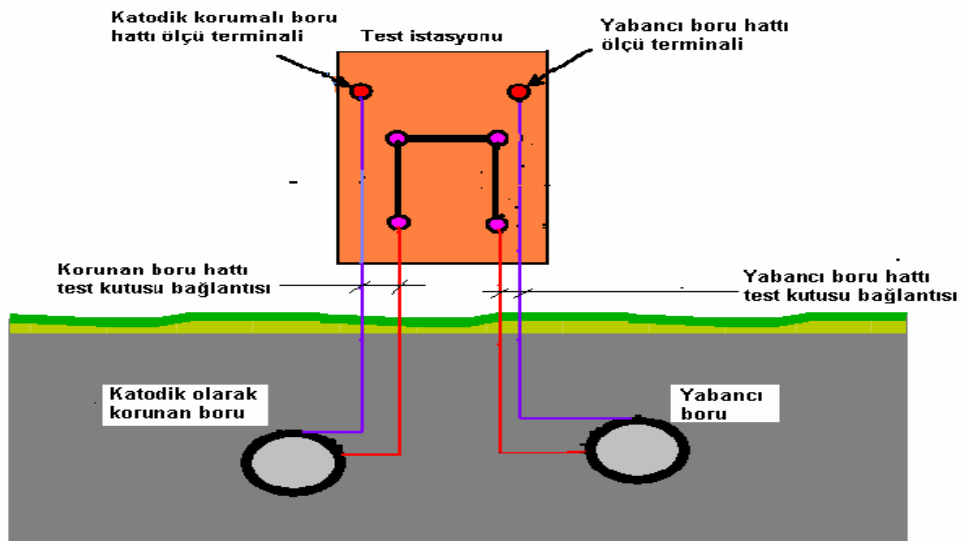
$$R = \frac{r_B}{(D - t)t} \text{ (ohm / m) ifadesiyle belirlenir.}$$

$I_H$  Yabancı boru ile temas sonucu akan hata akımı

#### 4.14 Katodik Koruma sistemi ile Korunan Boru Hatlarında Girişimin Kontrolü

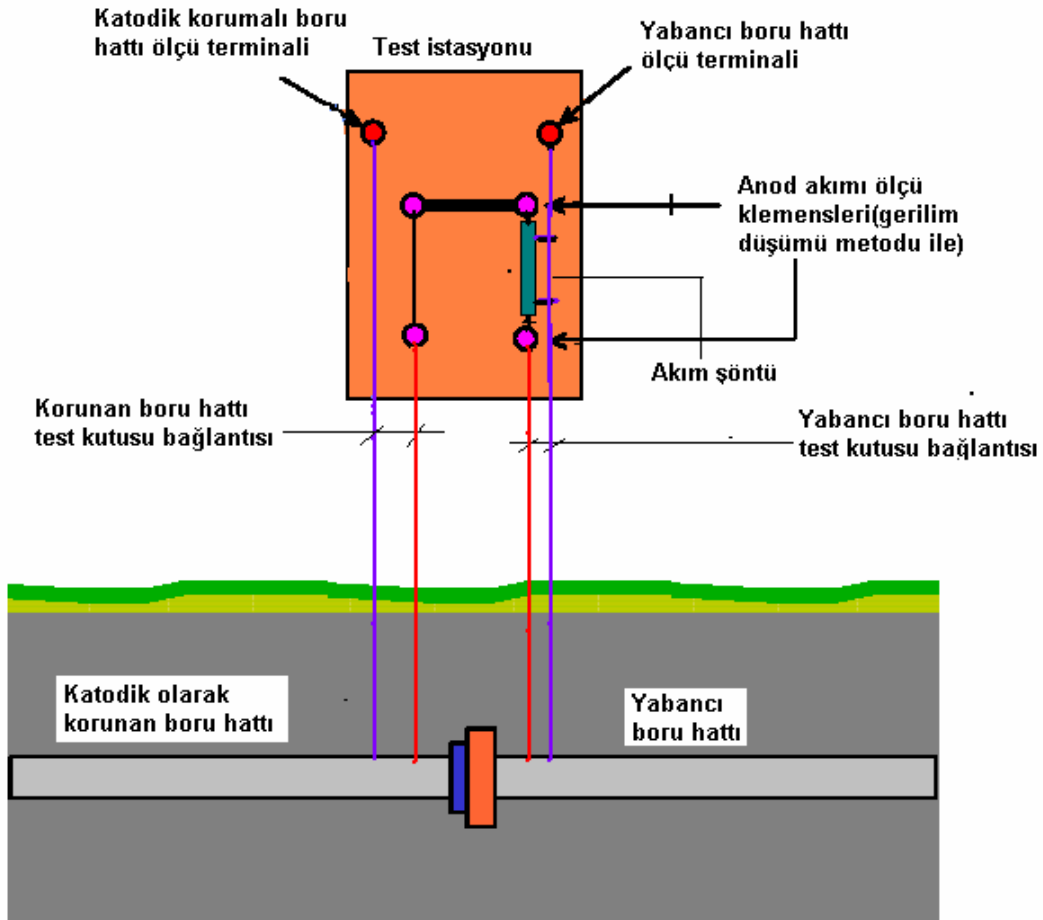
##### 4.14.1 Katodik olarak korunan boru hattı ile yabancı boru hattını birbiri ile bağlamak

Girişimin kontrol altına alınması metotlarından birincisi yabancı boru hattını katodik olarak korunan boru hattına Şekil 1 de görülen test ve ölçü kutusuyla birbirine bağlamaktır.



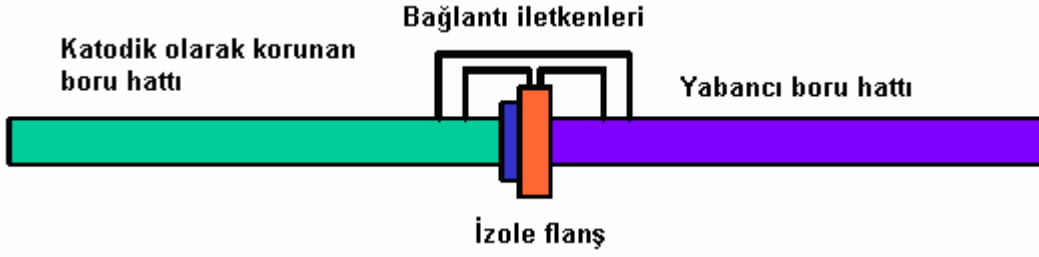
Şekil 4.50 Katodik korumalı boru hattının yabancı boru hattı ile doğrudan bağlanması

Genellikle iletken bağlantının sürekliliğini kontrol edebilmek ve bağlantı iletkeni boyunca akan akımı ölçebilmek için test ve ölçü kutusu tesis edilir. Her bir boru hattına ait boru toprak potansiyelini ölçebilmek için test ve ölçü kutusu 4-hatlı olarak kurulur. Akım ölçüleri (şekil 2) normalde kalibrasyonlu şönt direnç kullanarak direnç üzerindeki gerilim düşümünü ölçmek suretiyle gerilim direnç metodu kullanılarak alınır. Böyle bir imkân yoksa dijital pens ampermetre ile veya akım devresini açmak suretiyle devreye düşük giriş direncine sahip ampermetre sokarak akım ölçüleri alınır.



Şekil 4.51 Birbiri ile İzole flanş üzerinden birleşen iki boru hattı için tesis edilen Test ve ölçü kutusu.

Yabancı boru hattı ile izole flanş vasıtasıyla birleşme durumunda eğer birleşme noktasında yabancı boru katodik olarak korunuyorsa ve üzerinde yeterli seviyede ( $-0,85\text{ V}$ ) boru-toprak potansiyeli mevcutsa ölçü kutusuna gerek kalmadan şekil 3 de görüldüğü gibi birbirleriyle doğrudan bağlanabilir.



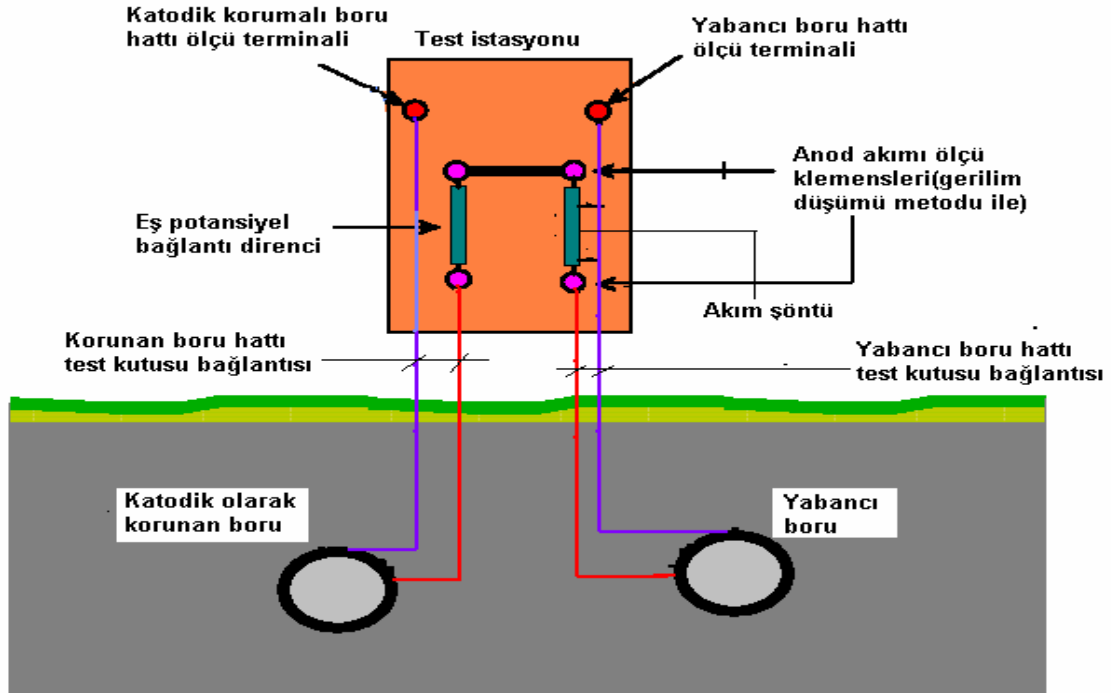
Şekil 4.52 Boru hatları arasındaki bağlantıların doğrudan yapılması

#### 4.14.2 Katodik olarak korunan boru hattının direnç üzerinden birbirleriyle bağlantısı

Doğrudan bağlantı ya mevcut katodik koruma sisteminin vereceği koruma akımının her iki boru hattı için yeterli olamamasından veya yabancı boru hattı sahipleriyle yeterli seviyede organizasyonun gerçekleştirilememesinden dolayı her zaman tercih edilmemektedir.

Bu nedenle yabancı boru hattına akacak akımın en aza indirilmesi istenir. Böyle durumlarda iki boru hattı arasındaki bağlantı direnç üzerinden yapılır. Direnç değeri iki yapı üzerinde girişim meydana getirmeyecek şekilde her iki yapının potansiyelini aşağı yukarı aynı yapacak ve yabancı boruya akan akımı en aza indirecek şekilde yapılır.

Direnç değerinin ayarlaması Şekil 4.4 de görülen test kutusu vasıtasıyla yapılır.



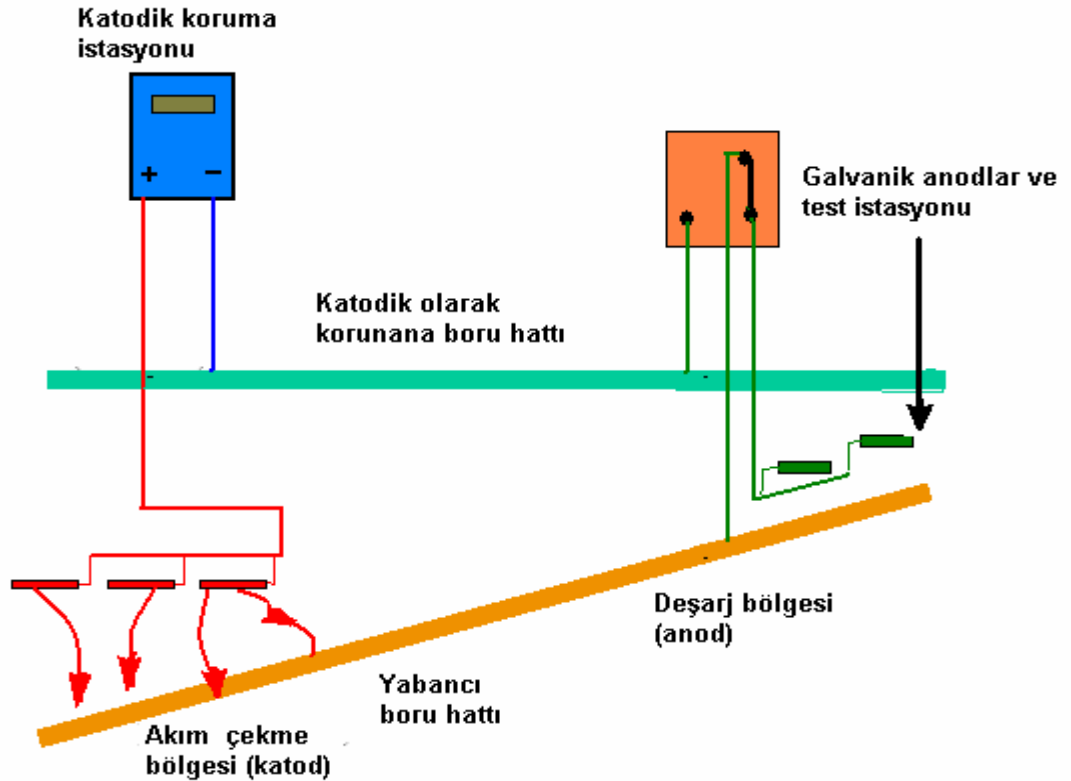
Şekil 4.53 Yabancı boru hattı ile bağlantının direnç üzerinden yapılması

Sol tarafta görülen eş potansiyel direnci önce doğrudan bağlanır. Sonra ayarlanabilir akım şöntü direnci ile bu direncin bağlandığı iki terminal arasında potansiyel 20 mili Volt okununcaya kadar direncin değeri değiştirilir. Bu değer veya bu değere yakın potansiyel değerinin okunduğu direnç değeri eşpotansiyel bağlantı direnç değeri olarak belirlenir. Değeri belirlenen eşpotansiyel direnç şekilde görülen yerine takılır ve akım şöntü sökülerek bunun bağlandığı terminaller uygun kesitte kablo vasıtasıyla birleştirilir. Eş potansiyel kutularındaki ölçümler 30 günde bir tekrarlanarak borular arasındaki potansiyel farkının uygun olup olmadığı kontrol edilmeli ve gerekiyorsa testler tekrar edilerek uygun değerde dirençle değiştirilmelidir.

#### 4.14.3 Galvanik anodlar kullanmak suretiyle girişimin kontrol altına alınması

Bazı durumlarda girişim şekil 4.5 de görüldüğü gibi deşarj bölgesinde yabancı boru hattı üzerine galvanik anodlar tesis edilmek suretiyle girişim kontrol altına alınır.

Burada amaç yabancı yapının negatifliğini yükselterek deşarj bölgesindeki akımların devresini galvanik anodlar üzerinden tamamlamaktır.

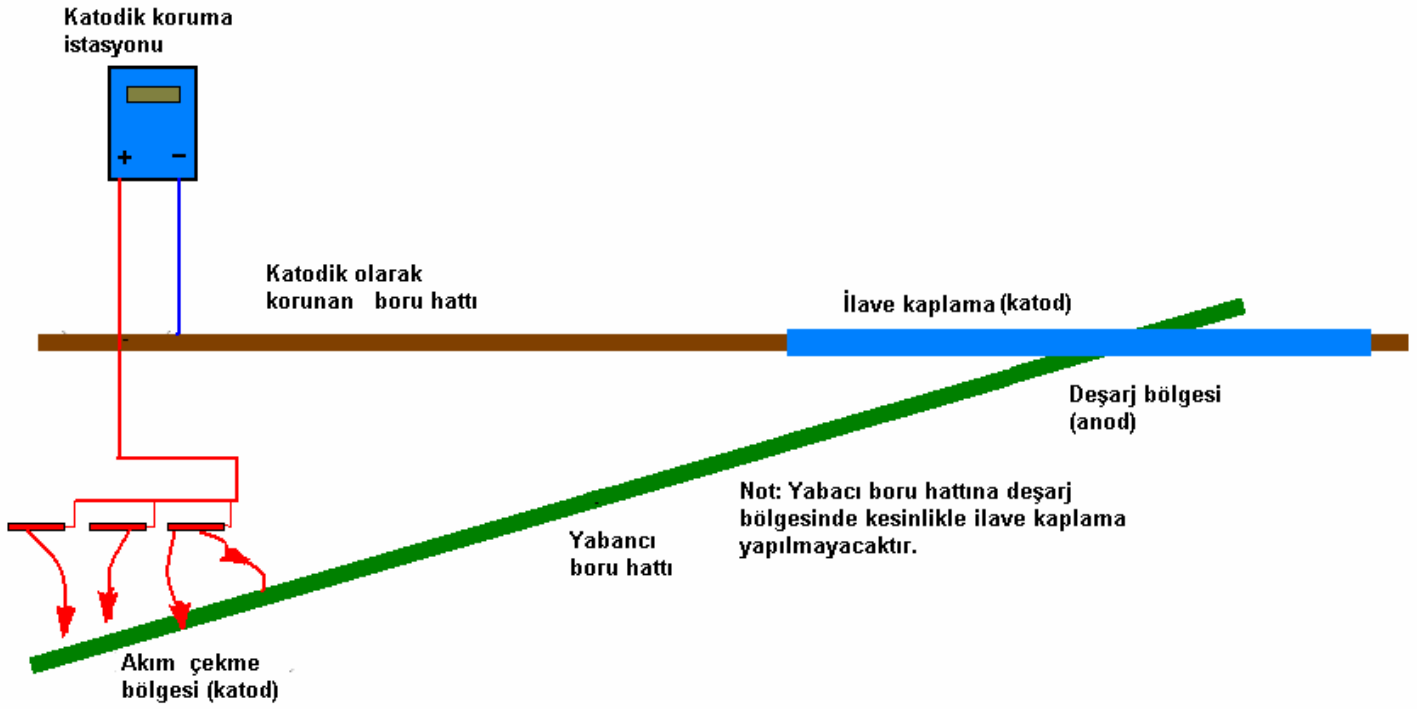


Şekil 4.54 Galvanik anodlar tesis etmek suretiyle girişimin kontrol altına alınması

Ancak söz konusu metot yabancı boru hattı kaplamasının iyi olduğu ve girişim akımlarının oldukça düşük olduğu durumlarda uygulanabilir. Ayrıca bu metot deşarj bölgesi yakınlarında katodik olarak korunan boru kaplamasına ilave kaplama yapmak suretiyle kombine edilebilir.

#### 4.14.4 Korunmuş boru hattına ilave kaplama yapılması

İki boru hattının kesiştiği yerde katodik olarak korunan boruya ilave kaplama yaparak deşarj yerindeki geçiş direncini arttırmak suretiyle girişim etkileri ortadan kaldırılır.

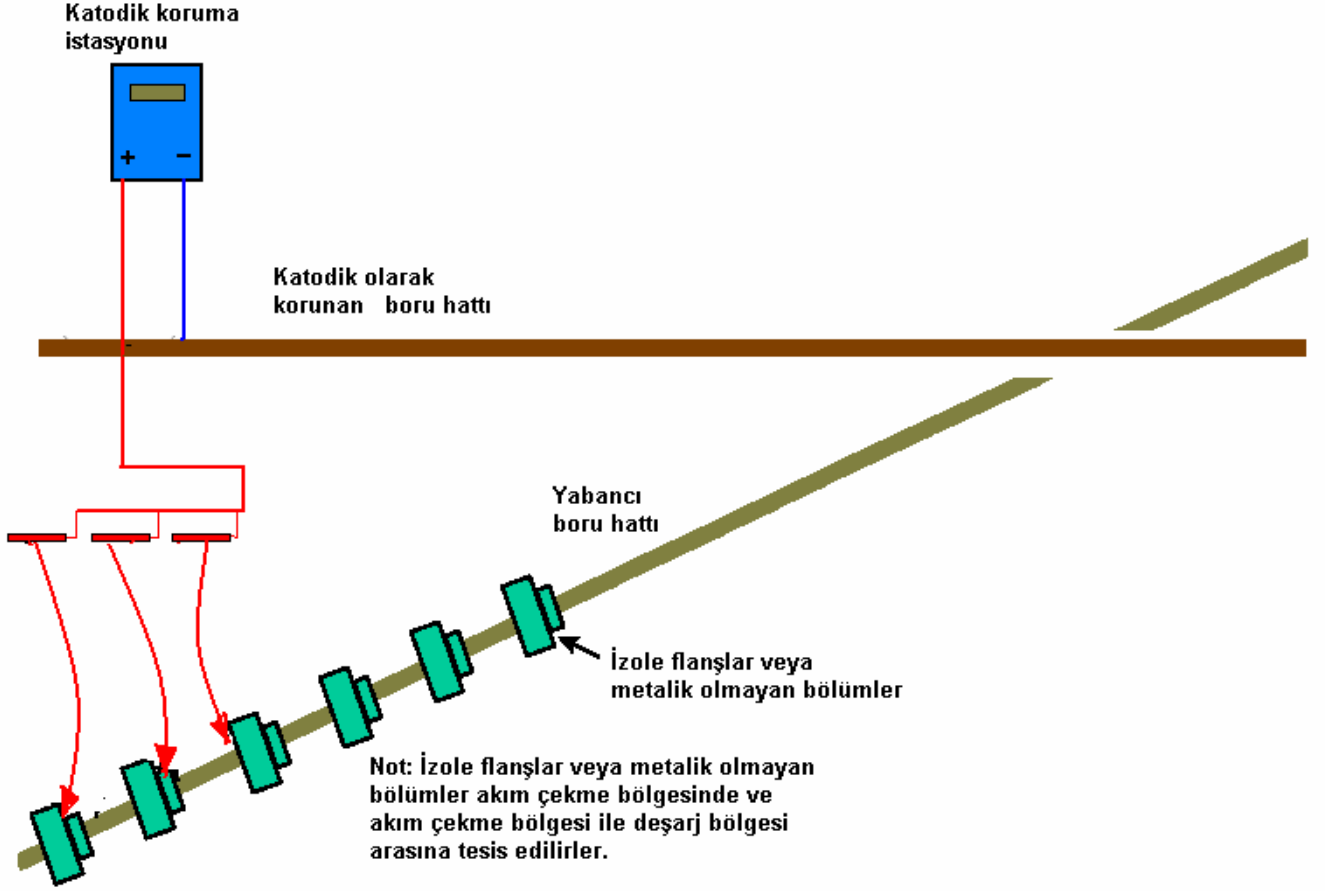


Şekil 4.55 İlave kaplama yapmak suretiyle girişimin kontrol altına alınması

İlave kaplamanın boyu çok uzun olmalıdır. İki boru hattının kesişme noktasından iki tarafa en az 12 metre ve toplam en az 24 metre boyunda olmalıdır.

Bu girişim kontrol metodu yabancı boru hattı veya katodik olarak korunan boru hattı dizayn veya yapım safhasında ise en ekonomik metottur.

**4.14.5 Akım çekme bölgesi ile akım deşarj bölgesi arasına, kaçak akım bölgesinde Yabancı yapı üzerine izole flanşlar veya bu bölgede metalik olmayan bölümler kullanmak**

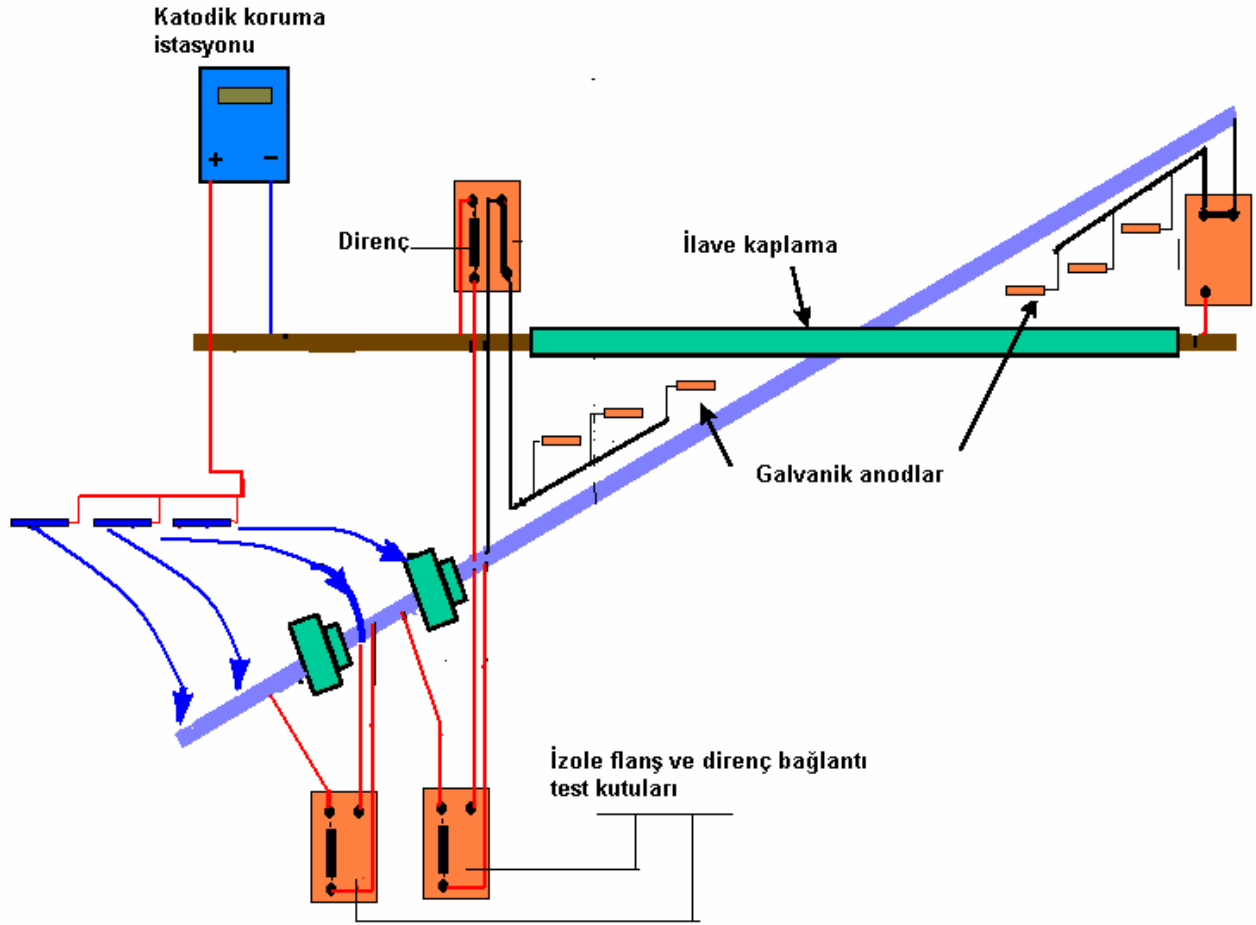


Şekil 4.56 İzole flanşlar veya izole bölümler kullanmak suretiyle girişimin kontrol altına alınması

Bu metottan ekseriyetle katodik olarak korunan boru hattına yakın olan yapılar üzerindeki girişim etkilerini ortadan kaldırmak için yararlanılır. Metottaki amaç kaçak akım yolunun direncinin değerini büyük ölçüde arttırmak suretiyle girişim akımının büyüklüğünü önemli ölçüde azaltmaktır. İzolasyonlar ve izole bölümler akım çekme bölgesi ile akım deşarj bölgesi arasında akım bölgesinde tesis edilir.

#### 4.14.6 Karma metot kullanılması

Bir çok durumlarda kaçak akımların büyüklüğüne, korunan boru hattının kaplama kalitesine, yabancı boru hattının kalitesine bağlı olarak yukarıda anlatılan metotlar karma olarak kullanılır.



Şekil 4.57 Karma metot kullanarak girişimin kontrol altına alınması

## SONUÇ

Bu çalışmanın sonucunda metalik yapılarda oluşan Korozyon ve korozyonu önlemek için yapılacak olan koruma yöntemleri içerisinde Katodik Koruma sistemi incelenmiştir. Özellikle yurtdışında yaygın olarak hesaplanan korozyonun zararları ülkemizde de son 10 yılda devlet kurumlarının da (BOTAŞ, İSKİ, TCK, İGDAŞ, İller Bankası, DSİ gibi) nitelikli çalışmalarıyla hesaplanmaya başlanmış ve buna karşı alınacak önlemler geliştirilmiştir. Özellikle tehlikeli yakıtların taşındığı ve saklandığı ortamlarda yapılan korumalar çok önemlidir ve disiplinler arası çalışmayı gerektirir.

Korozyonun ekonomimize olan zararları maddi olarak henüz hesaplanamamıştır. Bu hesaplamalar yurtdışında, özellikle ABD’de her yıl güncellenerek yapılmaktadır. Bu rakam 276 milyar dolar olarak hesaplanmıştır. Yine ABD’de Savunma Bakanlığı ve Amerikan Ordusu bu konuda literatüre girecek çalışmalar yapmaktadırlar. Özellikle petrol taşıma hatları ile gemi ve limanlara yönelik olarak geniş çaplı araştırmalar yapılmıştır. Büyük petrol firmaları da bu konuda akademik çalışmalara destek vermektedirler. Ülkemizde de yine petrol firmalarının bu konuda ilgili bölümleri mevcuttur. Özellikle off-shore petrol sahalarındaki koruma gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Bir diğer konuda insan sağlığını etkileyebilecek içme suyu ve atık su taşımasıdır.

Katodik Koruma alanında son dönemdeki önemli gelişmelerden biri de ölçüm istasyonlarının SCADA ve GSM hatları üzerinden takibidir. Bu sistemlerle korunacak malzemenin takibi ve arızalara müdahale de arazi şartlarından ve insan hatasından bağımsız hale gelmektedir.

Katodik Koruma Elektrik Mühendisliği alanında özel bir konu olmakla birlikte disiplinler arası bir alan olması nedeniyle Yüksek Lisans konusu olarak işlenebilecek bir konudur. Özellikle ekonomiye olan etkisi nedeniyle yurtdışı örnekleri ve özel şirketlerin çalışmaları incelenerek yeni koruma malzemeleri ya da mevcut malzemelerin iyileştirilmesi sağlanabilir. Bugün ülkemizde anod üretilebiliyorsa da özellikle Bakü-Tiflis-Ceyhan boru hattında yurtdışından gelen malzemelerin kullanılıyor olması bu konuda çalışmamız gerektiğini göstermektedir.

**KAYNAKLAR**

ABD Deniz Kuvvetleri (1988)Electrical Engineering Cathodic Protection Handbook Naval Engineering Department, ABD

ArGEM AŞ, (2006), Kurumiçi Dokümanları, İstanbul

BOTAŞ,(1992-1994-2001), Katodik Koruma Şartnameleri, Ankara

Cathodic Protection Headquarters Department Of Army, Electrical Design, (1992), ABD

Jones D.A., (1996) Princibles of Cathodic Protection, Wiley Yayınları ABD

Von Beackman W., Schwenk W., Prin W., (1993) Handbook of Cathodic Corrosion Protection, Wiley Yayınları, ABD

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi 03.09.1981

Doğum yeri Kırşehir

Lise 1996-1999 Düzce Anadolu Öğretmen Lisesi

Lisans 1999-1989 Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fak.  
Elektrik Mühendisliği Bölümü

**Çalıştığı kurum(lar)**

2004- ..... TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası  
İstanbul Şubesi