

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İSTANBUL SU VE KANALİZASYON İDARESİ  
KATODİK KORUMA UYGULAMALARI  
VE EKONOMİK ANALİZ**

Elektrik Mühendisi Yusuf MUTLU

**FBE Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Tesisleri Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Selim AY (YTÜ)**

**İSTANBUL, 2010**

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ .....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ .....	ix
ÖNSÖZ .....	xi
ÖZET .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
1. GİRİŞ .....	1
1.1 Korozyon Süreci.....	1
1.1.1 Korozyon Hücresi.....	2
1.2 Metalik ve İyonik İletkenlik .....	4
1.3 Nernst Skalası.....	5
1.4 Polarizasyon .....	8
1.5 Faraday Elektroliz Kanunu.....	8
1.6 Korozyon Hızı .....	9
1.7 Korozyona Etki Eden Değişkenler .....	10
1.7.1 Zeminin Özellikleri.....	10
1.7.1.1 Zeminin Elektrik Özgül Direnci .....	11
1.7.2 Sıcaklık.....	11
1.7.3 pH Değeri.....	11
1.7.4 Tuzluluk Oranı.....	12
1.8 Korozyon Çeşitleri.....	14
1.8.1 Homojen Korozyon.....	14
1.8.2 Galvanik Korozyon.....	15
1.8.3 Çukur (Oyuklanma) Korozyonu .....	19
1.8.4 Kaplama Bozukluğu Korozyonu .....	19
1.8.5 Tanelerarası Korozyon .....	20
1.8.6 Erozyon Korozyonu .....	21
1.8.7 Kavitasyon Korozyonu .....	21
1.8.8 Kaçak Akım Korozyonu .....	21
1.8.9 Enterferans Korozyonu .....	22
1.9 Korozyondan Korunma Teknikleri.....	23

2.	KATODİK KORUMA.....	25
2.1	Katodik Korumanın Esasları .....	25
2.1.1	Minimum Potansiyel Yaklaşımı .....	26
2.1.2	Galvanik Anotlu Katodik Koruma Sistemi .....	26
2.1.3	Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma Sistemi.....	29
2.1.4	Deniz İçi Metalik Yapıların Katodik Koruması .....	32
2.2	Katodik Koruma Sisteminin Projelendirilme Esasları.....	33
2.2.1	Katodik Koruma Projesi Ön Etütleri .....	33
2.2.1.1	Zeminin Elektrik Özgül Direncinin Tespiti .....	33
2.2.1.2	Zeminin Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi.....	34
2.2.1.3	Boru/Zemin Potansiyelinin Ölçülmesi.....	35
2.2.1.4	Redoks Potansiyelinin Tespiti .....	37
2.2.1.5	Akım İhtiyacının Belirlenmesi .....	39
2.2.1.6	Sönümlenme Sabitinin Belirlenmesi .....	41
2.2.1.7	Çevre ile İlgili Etütler .....	41
2.2.2	Katodik Koruma Sisteminin Projelendirilmesi .....	41
2.2.2.1	Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma Sisteminin Projelendirilmesi .....	42
2.2.2.2	Galvanik Anotlu Katodik Koruma Sisteminin Projelendirilmesi.....	44
2.3	Katodik Koruma Sisteminin Elemanları .....	46
2.3.1	Trafo/Redresör Ünitesi.....	46
2.3.2	Yardımcı Anotlar ve Galvanik Anotlar.....	47
2.3.3	Referans Elektrotu .....	51
2.3.4	Ölçü Kutuları.....	52
2.4	Katodik Koruma Sisteminin İşletme ve Bakım Esasları.....	53
2.5	Kaçak Akımlara ve Enterferans Etkisine Karşı Alınan Önlemler .....	56
2.5.1	Kaçak Akımlara Karşı Alınan Önlemler.....	56
2.5.2	Kesişen Yeraltı Çelik Borularda Alınan Önlemler .....	58
2.5.3	E.N.H.'larının Enterferans Etkisine Karşı Alınan Önlemler.....	61
2.6	İSKİ Katodik Koruma Uygulamaları.....	63
2.6.1	Temiz Su Çelik Boru İsale Hatlarında Katodik Koruma .....	63
2.6.2	Atıksu Arıtma Tesisleri Kara ve Deniz Deşarjlarında Katodik Koruma .....	71
3.	EKONOMİK ANALİZ VE ENDEKS SAYILARI .....	80
3.1	Ekonomik Analizde Kullanılacak Olan Kavramlar .....	80
3.1.1	Değerleme Oranı.....	80
3.1.2	Enflasyon ve Endeks Sayıları.....	82
3.1.3	Birim Fiyat Analizi .....	88
3.1.4	Amortisman .....	90
3.1.4.1	Amortisman Yöntemleri .....	91
3.1.5	İstatistiksel Verilerin İşlenmesiyle Durum Kestirimi .....	93
3.1.5.1	Lineer Regresyon.....	95
3.2	Mühendislikte Ekonomik Karar Verme Yöntemleri .....	97
3.2.1	Belirlilik Varsayımıyla Analize İlişkin Karar Verme Yöntemleri .....	98
3.2.1.1	Şimdiki Değer Yöntemi .....	99
3.2.1.2	Yıllık Değer Yöntemi .....	99

4.	İSKİ KATODİK KORUMA SİSTEMLERİNİN EKONOMİK ANALİZİ VE İŞLETME PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	102
	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	117
	KAYNAKLAR.....	119
	EKLER.....	120
	Ek 1 İSKİ Birim Fiyat Tarifleri .....	121
	Ek 2 Regresyon Analizi ve Sonuçları .....	128
	ÖZGEÇMİŞ.....	133

## SİMGE LİSTESİ

e	Enflasyon
esk	Eskalasyon
$\Phi$	Çap
I	Akım şiddeti
$\rho$	Elektriksel özgül direnç
Mg	Magnezyum
Ti	Titanyum
T/R	Trafo/Redresör ünitesi
TS	Türk standardı
$p_1$	Cari yıl fiyatı
$q_0$	Baz yıl miktarı

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Metalin elektrolit içerisinde iyonlaşması.....	2
Şekil 1.2 Korozyon akımı.....	3
Şekil 1.3 Korozyon hücresi .....	3
Şekil 1.4 Metalik iletkenlik .....	4
Şekil 1.5 İyonik iletkenlik .....	5
Şekil 1.6 Polarizasyon eğrisi .....	8
Şekil 1.7 Saf demirin korozyon diyagramı.....	12
Şekil 1.8 Deniz içine çakılı çelik malzemenin derinliğe göre korozyon hızının değişimi.....	13
Şekil 1.9 Çelik boru içinden akan deniz suyunun hızına göre korozyon hızının değişimi .....	14
Şekil 1.10 Homojen (Uniform) korozyon .....	14
Şekil 1.11 Bakır ve çelik borunun galvanik çift oluşturulması .....	15
Şekil 1.12 Eski ve yeni boru arasında galvanik korozyon .....	16
Şekil 1.13 Eski ve yeni boru arasında potansiyel farkı oluşması .....	16
Şekil 1.14 Katot-Anot yüzey oranının etkisi .....	17
Şekil 1.15 Kısa mesafelerde toprak heterojenliğinin oluşturduğu korozyon hücreleri.....	17
Şekil 1.16 Uzun mesafelerde toprak yapısındaki değişimin oluşturduğu korozyon hücresi .	18
Şekil 1.17 Farklı havalanma sonucu oluşan korozyon.....	18
Şekil 1.18 Farklı havalanma sonucu boru tabanında oluşan korozyon.....	19
Şekil 1.19 Malzeme yüzeyinde çukur korozyonu etkisi ile oyuk oluşumu.....	19
Şekil 1.20 Kaplama bozukluğu sebebiyle oluşan korozyon.....	20
Şekil 1.21 Tanelerarası korozyon .....	20
Şekil 1.22 Erozyon korozyonu .....	21
Şekil 1.23 Kavitasyon korozyonu .....	21
Şekil 1.24 Doğru akımla çalışan taşıma sisteminin sebep olduğu kaçak akım korozyonu .....	22
Şekil 1.25 Kesişen iki borunun enterferans etkisiyle korozyon oluşturması .....	23
Şekil 2.1 Metalin elektron akımı ile katodik korunması .....	25
Şekil 2.2 Katodik korumada akım ihtiyacını gösteren polarizasyon diyagramı.....	26
Şekil 2.3 Galvanik çiftin teşkili .....	27
Şekil 2.4 Galvanik anotlu katodik koruma sistemi .....	27
Şekil 2.5 Saf demirin potansiyel-pH diyagramı .....	29

Şekil 2.6 Dış akım kaynaklı katodik koruma sisteminin teşkili .....	30
Şekil 2.7 Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemi .....	31
Şekil 2.8 Wenner metodu ile elektriksel özgül direnç ölçümü.....	34
Şekil 2.9 Boru/zemin potansiyelinin ölçülmesi .....	35
Şekil 2.10 Boru/zemin potansiyelinin zemin cinsi ve kaplama kalitesine göre değişimi .....	36
Şekil 2.11 Uzun kablo yöntemi ile boru/zemin potansiyelinin ölçülmesi .....	36
Şekil 2.12 Boru üzerinden ölçülen boru/zemin potansiyeli değerleri.....	37
Şekil 2.13 Akım ihtiyacının zamanla değişimi.....	40
Şekil 2.14 Grup anotların bağlantısı .....	45
Şekil 2.15 Trafo/Redresör ünitesinde manuel ve otomatik çalışma .....	46
Şekil 2.16 Trafo/Redresör ünitesi .....	47
Şekil 2.17 EPR/CSPE kablo .....	49
Şekil 2.18 Cu/CuSO <sub>4</sub> referans elektrotu.....	51
Şekil 2.19 Borulu tip ölçü istasyonu (TS 5141) .....	53
Şekil 2.20 Anot yatağı direncinin ölçülmesi .....	55
Şekil 2.21 Doğru akımla çalışan raylı taşıma sistemlerinin boru hattına etkisi .....	57
Şekil 2.22 Boru hattı ile ray arasına diyot yerleştirilmesi .....	57
Şekil 2.23 Boru hattı ile ray arasına doğrultucu ünite yerleştirilmesi .....	58
Şekil 2.24 Enterferansa maruz kalan boru hattının potansiyel değişimi.....	59
Şekil 2.25 Paralel veya kesişen iki borunun enterferans etkisi .....	59
Şekil 2.26 Metalik bağ direncinin belirlenmesi.....	60
Şekil 2.27 İzole flanş detayı .....	60
Şekil 2.28 Galvanik anot kullanılarak enterferans etkisinin giderilmesi .....	61
Şekil 2.29 Enterferans etkisinin kaplama yapılarak önlenmesi.....	61
Şekil 2.30 Enerji nakil hattının enterferans etkisi.....	62
Şekil 2.31 Galvanik anotlarla yapılan ilave koruma .....	62
Şekil 2.32 Metalik kalkan ile koruma .....	62
Şekil 2.33 T/R ünitesi dış ve iç görünüm.....	65
Şekil 2.34 KMO kaplı Ti anotların yerleştirilmesi .....	65
Şekil 2.35 Avrupa yakası çelik isale hatları boru/zemin potansiyel grafiği.....	67
Şekil 2.36 Asya yakası çelik isale hatları boru/zemin potansiyel grafiği .....	69

Şekil 2.37 Kılavuz (Keson) geçişi Mg anot bağlantısı.....	70
Şekil 2.38 Galvanik usulde Mg Anotların döşenmesi .....	71
Şekil 2.39 Boru dış yüzeyine Al anotla uygulanan katodik koruma .....	72
Şekil 2.40 Boru iç yüzeyine Mg anotla uygulanan katodik koruma.....	73
Şekil 2.41 Primer tank iç yüzeyinin Zn anotla korunması .....	74
Şekil 2.42 Primer ve sekonder tankların dış taban ve beton donatılarının korunması.....	74
Şekil 2.43 Paşabahçe AAT boru hattı tek hat şeması .....	78
Şekil 4.1 Beş hattın katodik koruma maliyeti .....	112
Şekil 4.2 2004-2009 yılları arası harcanan enerji değerleri.....	114



## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1 Nernst skalası .....	6
Çizelge 1.2 Çeşitli metal ve alaşımların Cu/CuSO <sub>4</sub> elektrotuna göre potansiyelleri.....	7
Çizelge 1.3 Zeminlerin elektrik özgül dirençlerine göre sınıflandırılması (TS 5141).....	11
Çizelge 1.4 Galvanik çift örnekleri.....	16
Çizelge 1.5 Korozyondan korunma teknikleri.....	24
Çizelge 2.1 Çift elektrot yöntemi ile boru/zemin potansiyelinin hesaplanması .....	37
Çizelge 2.2 Zeminlerin redoks potansiyeli değerlerine göre sınıflandırılması .....	39
Çizelge 2.3 Kaplamalı boruların akım ihtiyacı.....	39
Çizelge 2.4 Çıplak çelik boruların değişik zeminler içindeki akım ihtiyaçları (TS 5141) .....	40
Çizelge 2.5 Yardımcı anotların akım özellikleri (TS 5141).....	48
Çizelge 2.6 Toprakta kullanılan KMO kaplı titanyum anot çeşitleri.....	49
Çizelge 2.7 Galvanik anotların elektrokimyasal özellikleri .....	50
Çizelge 2.8 Katodik koruma yapılmış boru hattı uzunluğu ve alanları .....	64
Çizelge 2.9 Katodik koruma yapılmış boru hattı uzunluğu ve alanları .....	64
Çizelge 2.10 Bazı Avrupa yakası isale hatlarının özellikleri .....	66
Çizelge 2.11 Bazı Asya yakası isale hatlarının özellikleri .....	68
Çizelge 2.12 Atıksu arıtma tesisleri katodik koruma uygulamaları.....	71
Çizelge 2.13 Primer (A) tankı ölçüm değerlendirme raporu.....	75
Çizelge 2.14 Sekonder (A) tankı ölçüm değerlendirme raporu.....	76
Çizelge 2.15 Normal bağlantıda yapılan ölçümler .....	76
Çizelge 2.16 Bütün ölçü kutuları şöntleri açılarak yapılan ölçümler .....	77
Çizelge 2.17 Tank taban ve donatıları ölçüm değerlendirme raporu.....	77
Çizelge 2.18 Paşabahçe AAT ölçüm değerlendirme raporu .....	79
Çizelge 3.1 Yeniden değerlendirme oranının yıllara göre değişimi .....	84
Çizelge 3.2 Faydalı ömürler ve amortisman oranları (333 ve 339 sayılı VUK tebliği).....	93
Çizelge 4.1 2008 ve 2009 yılları sarf malzemeleri fiyatları .....	102
Çizelge 4.2 2008 ve 2009 yılları arıza sayıları .....	103
Çizelge 4.3 1998-2009 yılları birim fiyatları.....	104
Çizelge 4.4 2009 yılı personel durumu .....	105
Çizelge 4.5 Paşabahçe AAT teçhizat listesi .....	105

Çizelge 4.6 2008 yılı akım yoğunlukları.....	106
Çizelge 4.7 2009 yılı akım yoğunlukları ve enerji tüketimleri.....	107
Çizelge 4.8 Bazı isale hatlarının özellikleri ve maliyeti .....	108
Çizelge 4.9 2006-2010 yılları performans değerleri.....	108
Çizelge 4.10 2004-2009 yılları tüketilen enerji ve maliyet.....	108
Çizelge 4.11 Bakım onarım işleri endeks sayıları .....	109
Çizelge 4.12 Eskalasyon ve reel eskalasyon .....	110
Çizelge 4.13 Paşabahçe AAT endeks sayıları .....	115
Çizelge 4.14 Performans değerleri endeks sayıları.....	116

## ÖNSÖZ

Bu tezin amacı, çelik boru temiz su isale hatları ve atıksu yapılarının katodik korunması ile ilgili sistemlerin kurulması için gerekli ön etütlerin yapılması, dizayn edilecek sistemin projelendirilmesi, teçhizatın devreye alınması ve ekonomik olarak incelenmesi olacaktır.

Tezde İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi temiz su çelik boru isale hatları ile atıksu arıtma tesisleri dahili sistemleri ve deniz deşarj hatlarının korozyonunun önlenmesi için tesis edilen katodik koruma sistemleri ele alınmıştır. İSKİ tarafından kullanılan çelik boru isale hatları bitümlü (kömür katranı veya asfalt içeren) ve polietilen kaplamalı olup polietilen kaplı hat oranı artıka katodik koruma enerji maliyeti düşmektedir.

Yapılan araştırmalara göre ülkemizde korozyondan doğan hasarlar gayri safi milli hasılanın yaklaşık %1-3,5'i kadardır. Bu da işletmelerin verimli ve karlı çalışmasını etkilemektedir. Hatta gerekli önlemler alınmazsa işletmelerin çökmesine veya yenilenmesine sebebiyet vermektedir. Korozyonla mücadelede bir çok teknik kullanılmaktadır. Bunlardan başlıcaları, katodik koruma (toprak altı, su ve su altı sistemlerinde), anodik koruma (su ve asidik ortamlarda), metalik ve metalik olmayan kaplamalar (kısmen su, asidik ve atmosferik ortamlarda) ve boyama (genelde atmosferik ve sulu ortamlar) olarak sayılabilir.

Yüksek lisans tez danışmanım olan, gerek lisans eğitimimde gerekse tez çalışmam sırasında bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen, çok değerli hocam sayın Prof. Dr. Selim AY'a teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Ayrıca bilgi ve doküman paylaşımında desteklerini esirgemeyen Baraj İşletmeleri ve Katodik Koruma Şube Müdürü sayın İbrahim ÖZER'e, Jeoloji Müh. sayın Orhan GÖÇ'e, sayın Ökkeş ABA'ya, sayın Mesut VARDAR'a, sayın Ali Asker KABAK'a, sayın Saadettin ÖZDEMİR'e, Elektromekanik İşleri Şube Müdürü sayın Şenol ARSLAN'a, değerli arkadaşım İnşaat Müh. sayın Akın ARSLAN'a ve tez çalışmam sırasında sabır ve desteklerini hiç eksik etmeyen biricik eşim ve aileme de teşekkürlerimi sunarım.

Ocak, 2010

Yusuf MUTLU  
Elektrik Mühendisi

## ÖZET

Nemli atmosferde, beton içinde, yeraltında ya da su altında metallerdeki korozyon, bir metalden diğerine veya aynı metalin yüzeyinde bir noktadan diğer bir noktaya geçen galvanik akımlardan kaynaklanır. Bu elektrik akımlarının gerçekleşebilmesi için akımın geçişine izin veren ortamda ıslak bir iletken veya elektrolit olmak zorundadır. Korozyonun görülebilmesi için elektrolitin varlığı vazgeçilmez bir koşuldur. Sulu ortam özellikle de tuzlu su mükemmel bir elektrolittir.

Katodik koruma sistemi, toprağa gömülü veya sıvı içerisinde bulunan metalik yapıların korozyonunu önlemek veya kontrol altına almak için kullanılan elektrokimyasal bir metottur. Eğer koruma elektrik akımı kesilirse, korozyon materyal çevre kombinasyonu için normal değerlerde gelişmesine devam edecektir. Eğer besleme akımı bütün koruma için yetersizse, korozyon azaltılmış değerde gelişecektir.

Katodik koruma, alelade metali anot olarak çalıştırarak korozyona uğratmak ve buna karşılık korozyondan korunacak yapıyı veya yapıları katot olarak çalıştırmak suretiyle korozyona karşı koruyan geniş bir korozyon hücresi oluşturmak olarak özetlenebilir. Katodik koruma, galvanik katodik koruma ve dış akım kaynaklı katodik koruma olmak üzere iki yolla gerçekleştirilir. Katodik koruma sistemleri, çelik yapıların, çelik su veya petrol boru hatları ve depolama tanklarının, çelik iskele ve köprü ayaklarının, gemilerin ve petrol arama platformlarının korunmasında yaygın olarak kullanılmaktadır.

**Anahtar sözcükler:** Korozyon, galvanik hücre, katodik koruma, anot

## **ABSTRACT**

In humid atmosphere, in concrete, under ground or under water, corrosion at metals arise from galvanic currents which pass through from a metal to the other or one point to the other point at the same metal surface. To actualize these electrical currents, there must be a wet conductor or electrolyte in the environment which allows to pass current. For the appearance of corrosion, electrolyte's presence is an essential condition. Watery environment, especially saltwater is an excellent electrolyte.

Cathodic protection system is an electrochemical's method which prevents or gets under control the corrosion of metallic structures under ground or in the fluid. If the protection electrical current interrupts, corrosion will continue the improvement in normal rates for material environment combination. If the supply current is insufficient for complete protection, corrosion will continue in diminished rate.

Cathodic protection method can be summarized as achieving an extensive corrosion cell which will protect against to corrosion by corroding regular metal by using it as anode and making the structures that should be protected as cathode. Cathodic protection is implemented by two methods. These are galvanic cathodic protection and impressed current cathodic protection. Cathodic protection systems are most commonly used to protect steel structures, water or fuel pipelines and storage tanks, steel pier piles, ships and oil platforms.

**Keywords:** Corrosion, galvanic cell, cathodic protection, anode

## 1. GİRİŞ

Bir çok metal doğada cevher içerisinde tuz, oksit gibi mineral adı verilen kararlı bileşikler halinde bulunurlar. Cevher ayrıştırma ve indirgeme işlemlerinden geçirilerek elde edilen saf haldeki metal, kararsız bir yapıya sahip olur. Eğer metal yeraltına gömülecek olursa tekrar kararlı hale gelebilmek için değişim gösterecektir. Metalin içerisinde bulunduğu ortamın, metal üzerindeki elektrokimyasal tahribatı korozyon olarak tanımlanabilir.

Nemli atmosferde, yeraltında, beton içinde ve sualtında metallerdeki korozyon, bir metalden diğerine veya aynı metalin yüzeyindeki bir noktadan diğer bir noktaya geçen akımlarından kaynaklanır. Bu elektrik akımlarının gerçekleşebilmesi için elektrik akımının geçişine izin veren ortamda ıslak bir iletken veya elektrolit olması gerekir. Korozyonun görülebilmesi için elektrolitin varlığı vazgeçilmez bir koşuldur. Sulu ortam, özellikle de tuzlu su mükemmel bir elektrolittir.

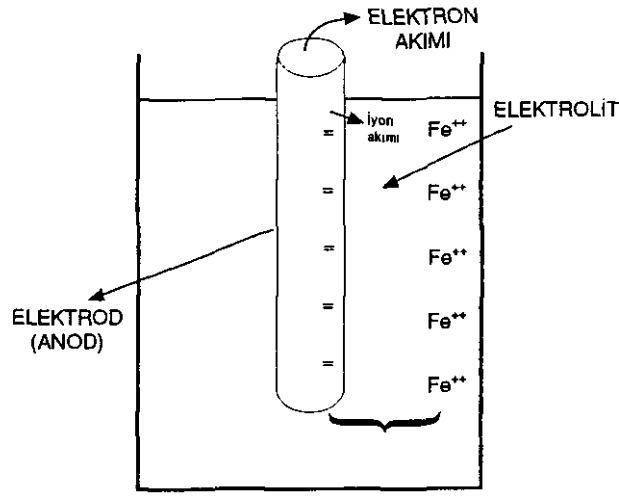
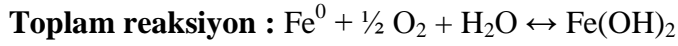
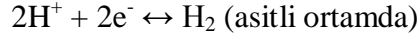
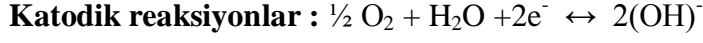
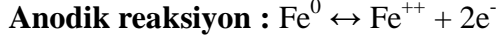
Korozyonla mücadelede bir çok teknik kullanılmaktadır. Bunlar, katodik koruma (toprak altı, su ve sualtı sistemlerinde), anodik koruma (su ve asidik ortamlarda), metalik ve metalik olmayan kaplamalar (kısmen su, asidik ve atmosferik ortamlarda) ve boyama (genelde atmosferik ve sulu ortamlarda) olarak sayılabilir.

Korozyon bir elektrokimyasal olay olduğu için, sistemde elektron alışverişi olmaktadır. Doğada bulunan elementlerin birbirlerine göre kimyasal olarak zayıf ve kuvvetli olanları vardır. Metallerin serbest elektronları metal bünyesinden kolaylıkla bir başka malzemeye verilebildiğinden, metaller kimyasal bakımdan reaksiyona girme eğilimi taşırlar yani metaller kimyasal bakımdan zayıftırlar. Kuvvetli elementler zayıf olan elementlerden elektron koparırlar ve böylece zayıf olan elementleri korozyona uğratırlar. Dolayısıyla korozyonun sebebi, metallerin serbest elektronlarını vererek daha kararlı bileşikler haline dönme isteğidir. Zayıf olan elementleri korozyondan korumak için kuvvetli olan elementlere dışarıdan elektron verilerek bu denge sağlanabilir veya elektron alışverişinin olduğu ortam ile yapı arası polarizasyon sağlanarak bağlantısı kesilebilir. Bu olaya katodik koruma adı verilir.

### 1.1 Korozyon Süreci

Korozyon sırasında anodik (elektron veren, yükseltgenme ) reaksiyonlar ile katodik (elektron alan, indirgenme) reaksiyonlar birlikte oluşur. Metallerin korozyonu elektrokimyasal bir işlemdir. Bu işlem, devrenin bir bölümünde kimyasal reaksiyonlardan dolayı elektronların yer

değiştirmesinden kaynaklanan bir elektrik akımının meydana gelmesidir. Şekil 1.1'de iyonlaşma yoluyla metalin korozyonu açıklanmaktadır.

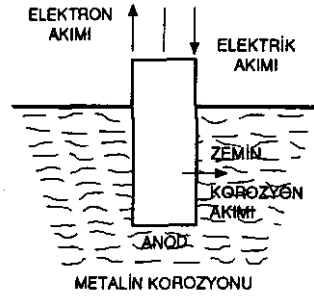


Şekil 1.1 Metalin elektrolit içerisinde iyonlaşması

Korozyon anot yüzeyinde, hidrojen çıkışı da katot yüzeyinde meydana gelir. Korozyon kontrol sistemleri, korunan yapıları bir katot yaparak oksitletme reaksiyonlarının yer değiştirmesi esasına dayanan katodik koruma sistemidir.

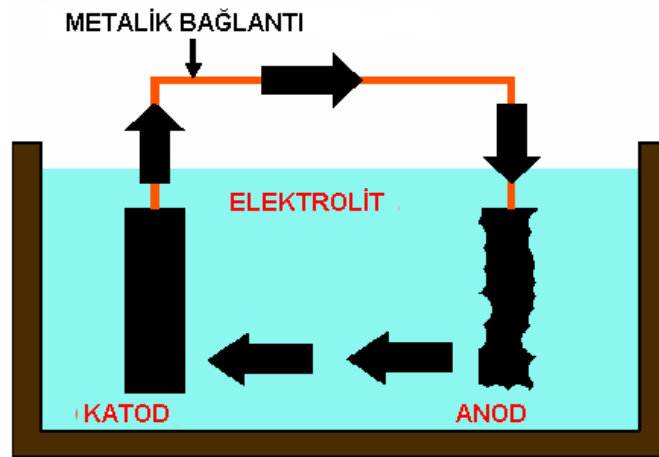
### 1.1.1 Korozyon Hücresi

Elektrolit adı verilen iyonik iletken bir ortam içerisine daldırılan bir metal, çözeltiliye pozitif iyonlar vererek metalde kalan fazla elektronlar sebebiyle negatif yüklü hale geçer. Şekil 1.2'de zemin içerisindeki metalik çelik borunun bir pil gibi davranarak ortama demir iyonları verdiği ve metalde (elektrotta) kalan elektronların negatif yük oluşturduğu görülmektedir. Çelik borudan iyon halinde parçacıklar ayrılmaktadır. 1 Amp.h'lik bir korozyon akımı, 1 yılda 10 kg çeliği iyonlaştırabilmektedir. Korozyon hücresi anot, katot, elektrolit ve metalik bağlantı bölümlerinden meydana gelir. (Çizmecioğlu,1998)



Şekil 1.2 Korozyon akımı

Korozyon hücrelerinin en fazla göze çarpan bölümü anotlardır. Anot, korozyonun meydana geldiği bölgedir. Katot ise korozyon hücrelerinin korunan bölümüdür. Korozyon hücrelerinde bir elektrot diğer elektrotta göre meydana gelen potansiyele göre ya anottur veya katottur. Bu elektriksel potansiyel farkı anot ve katot arasındaki potansiyel farkıdır. Elektriksel olarak daha aktif veya daha negatif olan elektrot anot olarak belirlenir, diğer elektrot ise katot olur. Elektrolit, korozyon hücrelerinin üçüncü bölümüdür. Bu bölümde iyon akışı meydana gelir. Elektrolit hem anoda hem de katoda temas eden bir materyaldir ve burada hem anoda hem de katoda iyon akışı oluşur. Metalik bağlantı ise korozyon hücrelerinin dördüncü bölümü olup elektriksel devreyi tamamlar ve elektron akışını sağlar. Metalik bağlantı hem anoda hem de katoda temas eden ve elektron akışını sağlayan bir metaldir. Bu elektron akışı elektrokimyasal reaksiyon oluştuğunda görülür.

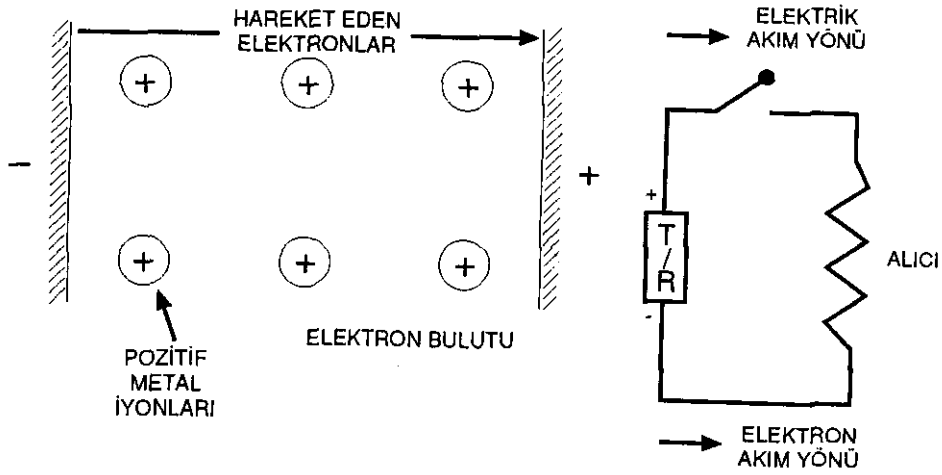


Şekil 1.3 Korozyon hücresi



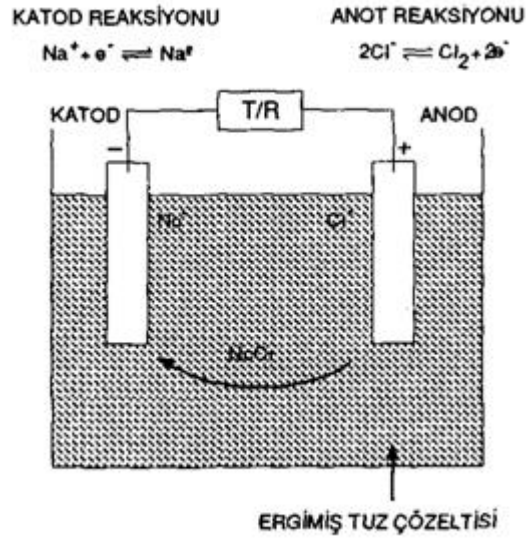
## 1.2 Metalik ve İyonik İletkenlik

Bir elektrik alanının etkisi ile metalin en dış kabuğundaki elektronlar, potansiyelin yüksek olduğu pozitif (+) kutba doğru hareket ederler ki, metallerin bu iletkenliğine elektronik iletkenlik denir. Metallerin elektronik iletkenliği sıcaklıkla azalır. Çünkü artan sıcaklık, pozitif iyonların termal titreşimini artırır ve elektron hareketini sınırlar. Elektrik akımı, elektron akımının zıt yönündedir (Şekil 1.4). Elektronik iletkenlik  $10^5 \text{ ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  civarındadır.



Şekil 1.4 Metalik iletkenlik

Tuz, asit veya baz sulu çözeltisi olabilen elektrolit, iyonik iletken bir ortamdır. Yani elektrolit içerisinde elektrik akımı iyon hareketi ile gerçekleşir. İyonik iletkenlik, elektronik iletkenliğe göre oldukça düşüktür. Elektrolitin iyonik iletkenliği artan sıcaklıkla, atom ve iyonların difüzyonu artacağından dolayı artar (Şekil 1.5). Çözeltilerin iletkenliği  $10^{-4}$  ile  $1 \text{ ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  arasındadır.



Şekil 1.5 İyonik iletkenlik

### 1.3 Nernst Skalası

Metallerin korozyon eğilimini Nernst skalası yardımıyla öğrenebiliriz. Bu skala, 1 atmosfer basınçta ve 25°C'de 1 mol/lit iyon sulu çözeltisi hidrojen gazı ile temastaki platin elektrotu referans standart kabul edilerek her bir metalin 25°C'deki çözeltisinde metal ile çözelti arasında ölçülen potansiyel değerlerinin sırasındır (Çizelge 1.1). Nernst skalasında hidrojene göre daha negatif olan metaller daha aktif yani iyonlaşma eğilimi daha fazla 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.

Çizelge 1.1 Nernst skalası

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

Nernst skalasında verilen elektrot potansiyelleri standart haldeki potansiyellerdir. Metallerin zemin veya su içinde ölçülen potansiyelleri ise bu değerlerden oldukça farklıdır. Diğer taraftan pratikte referans elektrot olarak standart hidrojen elektrot kullanılamaz. Bunun yerine bakır/bakır sülfat referans elektrotu kullanılır. Bu elektrotun standart hidrojen elektrotuna göre ölçülen potansiyel değeri, + 0,316 volt'tur.

Zemin içinde genellikle doygun bakır/bakır sülfat ( $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ ) referans elektrotu kullanılır. Çeşitli metal ve alaşımların doygun bakır/bakır sülfat referans elektrotuna göre nötral zemin içerisinde ölçülen potansiyel değerleri Çizelge 1.2'de görülmektedir. Zemin içinde farklı metallerin teması sonucu meydana gelen galvanik hücre elektromotor kuvveti değeri Çizelge 1.2'de verilen potansiyel değerleri göz önüne alınarak değerlendirilmeli ve buna göre anot-katod belirlenmelidir. (Çizmecioğlu,1998)

Çizelge 1.2 Çeşitli metal ve alaşımların  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$  elektrotuna göre potansiyelleri

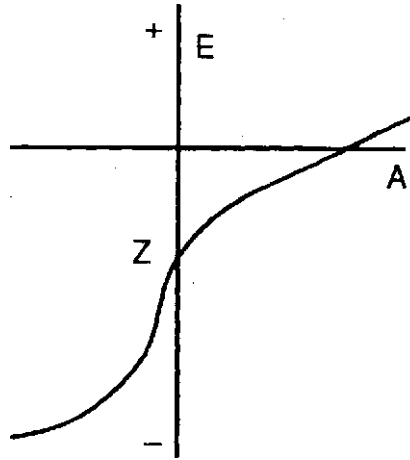
<b>METAL veya ALAŞIM</b>	<b>ELEKTROT POTANSİYELİ (V)</b>
Magnezyum (Saf)	- 1,75
Magnezyum (AZ-63)	- 1,60
Çinko (Saf)	- 1,10
Alüminyum (%5 Zn)	- 1,05
Alüminyum (Saf)	- 0,80
Demir (Pik)	- 0,50
Yumuşak Çelik (Temiz)	-0,50 ile -0,80 arası
Yumuşak Çelik (Paslı)	-0,20 ile -0,50 arası
Kurşun	- 0,50
Bakır, Pirinç, Bronz	- 0,20
Karbon, Grafit, Kok	+ 0,30

#### 1.4 Polarizasyon

Herhangi bir metal ve bu metalin içinde bulunduğu elektrolit arasındaki potansiyel farkı, birinden diğerine geçen akımın yön ve yoğunluğu ile değişir. Bu değişiklik polarizasyon ile tanımlanır. Potansiyel ile akım arasındaki bağlantı özel bir düzenceyle tayin edilebilir. Elde edilen polarizasyon eğrisi Şekil 1.6'da görülmektedir.

Bu eğrinin Z-A kısmı korozyon olayını kapsar ve korozyon mertebesi büyüdükçe potansiyel artar. Pratikte, metal ve sıvı - toprak arasındaki potansiyel farkının ölçülmesinden, korozyon mertebesinin kesin değerini anlamak zordur.

Ayrıca Şekil 1.6'daki polarizasyon eğrisinin, elektrolitin özelliğine göre ve Z noktası (sıfır akım) civarında hızlı bir potansiyel değişimi söz konusudur. Bununla beraber, potansiyel değerini daha çok pozitif yapan bir akım geçtiğinde, korozyon oluşma ihtimalinin daha da artacağı görülmüş olacaktır. Tam aksine, negatif yönde bir potansiyel değişimi korozyon oranını düşürecek ve tamamen korozyonu önleyebilecektir.



Şekil 1.6 Polarizasyon eğrisi

#### 1.5 Faraday Elektroliz Kanunu

Elektroliz sırasında serbest hale geçen maddenin kütlesi, elektrolitten geçen elektrik akımıyla doğru orantılıdır. 1 Q (coulomb), 1 amper şiddetindeki elektrik akımının bir iletken üzerinde 1 saniye süre ile akması durumunda taşıdığı elektrik yükü miktarıdır ve (1.1) eşitliği ile hesaplanır.

$$Q = I.t \quad (1.1)$$

Bu ifadede I akım şiddeti (amper), t ise zaman (sn)'dir.

Elektrik akımı, belli bir miktarda madde kütlesinin (gr) katot üzerinde toplanmasına neden olur. Serbest hale gelen maddenin kütlesi o maddenin elektrokimyasal eşdeğerinin bir fonksiyonudur. Bir maddenin elektrokimyasal eşdeğeri, elektroliz esnasında Q coulomb'luk elektrik yükü geçtiğinde bırakılan kütledir. Serbest hale geçen maddenin kütlesi de eş değerlik/gr birimiyle ifade edilir. 1 eş değerlik/gr'ın serbest hale geçmesi için 96500 coulomb elektrik yükü miktarına ihtiyaç vardır.

t zamanda, I akım şiddeti ile serbest hale geçen maddenin kütlesi (1.2)'de verilen Faraday Elektroliz Kanunu ile belirlenir.

$$m = \frac{A.I.t}{n.F} \quad (1.2)$$

Bu eşitlikte, m serbest hale geçen metalin kütlesini (gr), A metalin atomik kütlesini (gr/mol), I akım şiddetini (amper), t zamanı (sn), n metalin değerlik sayısını ve F faraday sabitini (96500 coulomb/eşdeğer gr) ifade etmektedir. (1.2)'den, 1 amperlik akımın 1 yılda korozyona uğrattığı çeliğin yaklaşık 10 kg olduğu bulunabilir.  $m = 56.1.24.365.3600 / 2.96500 = 9150$  gr

## 1.6 Korozyon Hızı

Faraday kanunu, sadece reaksiyonun gerçekleştirilme eğilimini açıklamaktadır, reaksiyon hızı hakkında bilgi vermemektedir. Korozyon hızı, birim yüzeyde birim zamanda kaybolan metal miktarı olarak belirtilir. Ağırlık kaybı gr. veya mgr. olarak verildiği gibi, mm. ve µm. gibi kalınlık cinsinden de verilebilir. Kalınlık cinsinden verilen korozyon birimleri, korozyonun malzeme bünyesinde ilerleme hızı hakkında bir fikir vermesi açısından daha tercih edilmektedir. Homojen korozyon hızı (1.3) eşitliği ile ifade edilir.

$$R = \frac{k.W}{A.t.d} \quad (1.3)$$

Bu eşitlikte, R korozyon hızını (mm/yıl, m/yıl), k sabit sayıyı (korozyon hızı birimine bağlı), W ağırlık kaybını (gr), A yüzey alanını (cm<sup>2</sup>), t zamanı (saat, yıl) ve d yoğunluğu (gr /cm<sup>3</sup>)

ifade etmektedir.

Bir malzeme için,  $R < 0,15$  mm/yıl ise bu malzeme korozyona dayanıklı,  $0,15$  mm/yıl  $< R < 1,5$  mm/yıl ise bu malzeme orta derecede korozyona dayanıklı,  $R > 1,5$  mm/yıl ise bu malzeme korozyona dayanıksızdır.

## 1.7 Korozyona Etki Eden Değişkenler

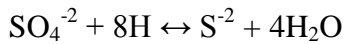
### 1.7.1 Zeminin Özellikleri

Bir çelik boru hattında oluşacak korozyon hızı, öncelikle boru hattının içinde bulunduğu zeminin cinsi ve özelliklerine bağlıdır.

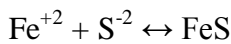
Zeminin korozif özelliği, geniş ölçüde toprağın bileşimiyle değişir. Bunlardan nem miktarı, asitlik, baziklik, havanın, oksijenin ve suyun toprak tarafından geçirilebilme yeteneği, kaçak akım ve biyolojik organizmalar toprağın direncine etki eder. Yüksek dirençli toprakta korozyon az olur. Topraktaki su ve tuz oranı arttıkça toprağın iletkenliği ve dolayısıyla korozyon artar. Toprağın içindeki metalik yapılar, yüzeydeki su filmi ve bunun içindeki çözünmüş oksijenin etkisiyle korozyona uğrarlar. Daha fazla hava ile temas eden metal, daha fazla korozyona uğrar.

Korozyon hızı, topraktaki bakterilerin etkisiyle de değişmektedir. Bu etki oksijenli ve oksijensiz ortama göre değişiklik göstermektedir. Metabolizma olayını oksijenin yanında sürdürebilen organizmalara aerobik organizmalar denir. Oksijen bulunmayan ve az oksijen bulunan ortamlarda daha iyi büyüyen organizmalara da anaerobik organizmalar denir.

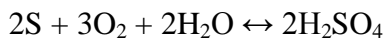
Anaerobik organizmalar, sülfatları ( $SO_4$ ) sülfürlere ( $S^{-2}$ ) indirgerler.



Oluşan sülfür iyonları demir (Fe) ile birleşerek demir sülfürü (FeS) meydana getirirler.



Aerobik bakteriler de sülfürü, oksijenli ortamda su ( $H_2O$ ) ile birleştirerek sülfirik aside ( $H_2SO_4$ ) dönüştürürler. Bu durumda çok korozif bir ortam meydana gelir.



### 1.7.1.1 Zeminin Elektrik Özgöl Direnci

Boru hattının geçeceği zeminin elektrik özgöl direnci ölçümü TS 4363'e uygun olarak, hattının geçeceği yol boyunca zeminin değişken yapıda olduğu bölgelerde en az 100 m, en çok 250 m aralıklarla yapılır. Zemin cinsi ve yapısının tek düze olduğu bölgelerde ise en az 500 m, en çok 1000 m aralıklarla yapılır. İki ölçü arasındaki değer birinin iki katından fazla ise geriye dönüp bu iki nokta arasında bir ölçüm daha alınmalıdır. Zeminler, elektrik özgöl dirençlerine göre Çizelge 1.3'de verildiği gibi korozyon bakımından dört gruba ayrılır.

Çizelge 1.3 Zeminlerin elektrik özgöl dirençlerine göre sınıflandırılması (TS 5141)

Zeminin Elektrik Özgöl Direnci $\rho$ (ohm.cm)	Zeminin Korozyon Özelliği
< 1000	Çok Korozyon
1000 – 3000	Korozyon
3000 – 10000	Orta Korozyon
10000 <	Az Korozyon

### 1.7.2 Sıcaklık

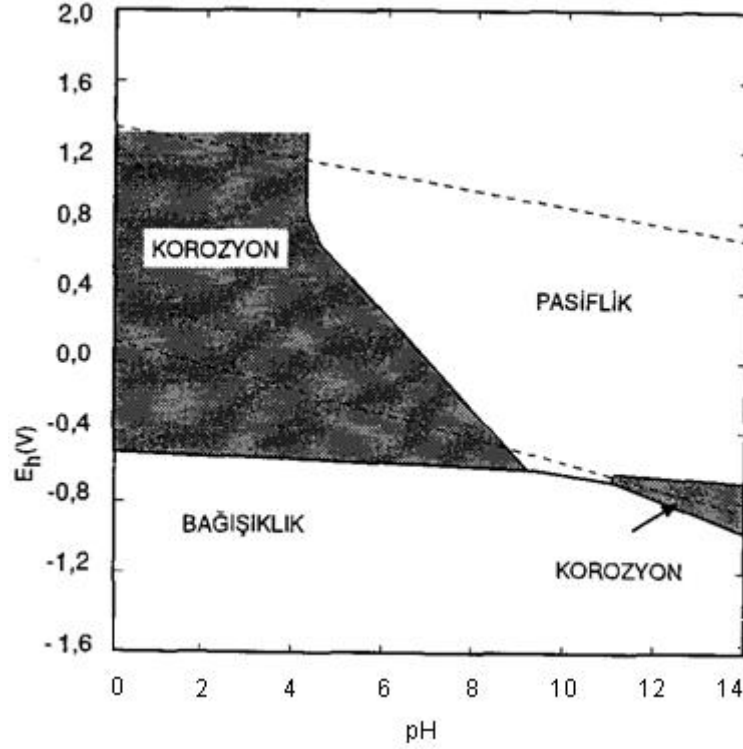
Sıcaklık arttıkça iyon hareketi dolayısıyla da korozyon artar. Toprağın sıcaklığı  $-50^{\circ}\text{C}$  ile  $+50^{\circ}\text{C}$  arasında değişir. Toprak  $0^{\circ}\text{C}$ 'de donar. Bu durumda iletkenlik ve korozyon azalır. Sıcaklığın oksijen çözünürlüğünü azaltıcı yani korozyon hızını düşürücü etkisi de bulunmaktadır. Ancak bu etki iyon hareketinin artmasından dolayı olan reaksiyonların yanında oldukça zayıf kalmaktadır.

### 1.7.3 pH Değeri

Şekil 1.7'de saf demirin korozyon davranışı verilmiştir. Bu diyagramda, demir bileşiklerinin olduğu kararsız (pasif) bölge, demirin iyon halinde bulunduğu korozyon bölgesi ve demirin serbest metal halinde bulunduğu bağımsızlık bölgesi görülmektedir. Nötr zeminde (pH=7) korozyon, hidrojen indirgenmesi reaksiyonuna bağlı kalmaksızın yalnızca oksijen



indirgenmesi reaksiyonu ile yürüdüğünden korozyon hızı, bu ortamlarda pH değerinden etkilenmemektedir. pH'ın 12'den büyük olduğu şartlara toprak zeminde rastlanmaz.



Şekil 1.7 Saf demirin korozyon diyagramı

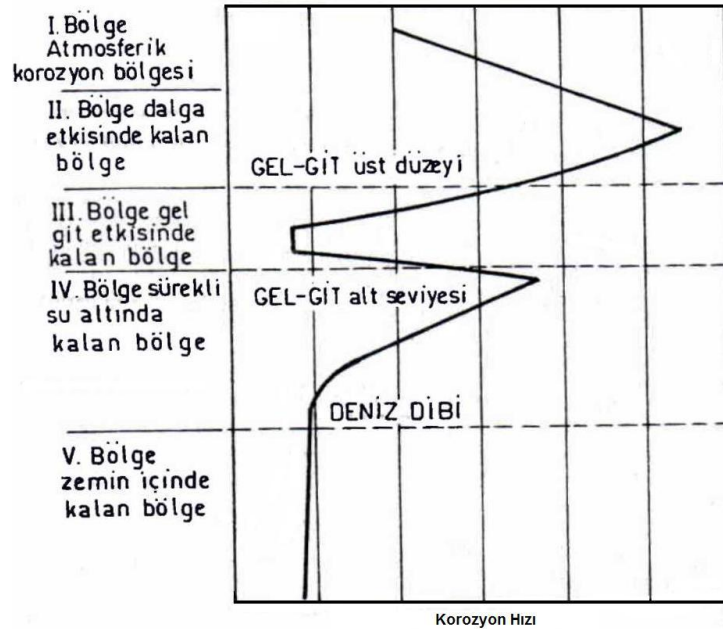
#### 1.7.4 Tuzluluk Oranı

Bileşiminde fazla miktarda çözülmüş tuz içerdiği için iletkenliği oldukça yüksek olan deniz suyu, metal yapılar için şiddetli korozif bir ortam oluşturur. Özellikle fazla miktarda bulunan klorür iyonu ve diğer halojenler çelik yüzeyin pasifleşmesini önleyerek çukur tipi korozyonun oluşmasına neden olurlar. Anodik reaksiyon sonucu metal iyonları çözülmeye geçer. Bunlar anot bölgesinde birikmeyip, suda kolay çözünebilen klorür tuzları halinde uzaklaşır. Deniz suyu pH derecesi, 8 civarında olduğundan katot reaksiyonu yalnızca oksijen redüksiyonu şeklinde yürüyebilir. Bu durum deniz içindeki korozyon olayının esas itibariyle metal yüzeylerinde oksijen difüzyonuna bağlı kalmasına neden olur. Deniz içi çelik yapıların korozyon hızı ortalama olarak 0,08 - 0,125 mm/yıl verilmekle beraber, bu değer başta metal yapının karakteristikleri olmak üzere bir çok çevresel faktöre bağlı kalır. Deniz suyunun tuzluluk derecesi (örneğin çözülmüş tuz konsantrasyonu Akdeniz'de 40g/lt, Karadeniz'de 20g/lt civarında), sıcaklığı, derinliği ve metal yapının veya suyun hareket hızı deniz içi

korozyon hızına önemli derecede etki yapan unsurlardır.

Deniz suyunun korozyon açısından en önemli özelliği elektriksel direncinin küçük oluşudur. Deniz suyu rezistivitesi 16-40  $\Omega$ .cm arasında değişir. Bu durum, metal yüzey üzerinde oluşan düşük potansiyelli korozyon hücrelerinin bile aktif halde çalışmasına ortam oluşturur. Katodik koruma uygulanan çelik yüzeylerde hızlı bir kabuklaşma olayı görülür. Bu durum, ilk günlerde yüksek olan katodik koruma akım ihtiyacının zamanla azalmasına neden olur. Eğer sabit bir dış akım uygulanacak olursa, çeliğin potansiyelinde zamanla artış görülür. Kabuklaşma süresi, uygulanan dış akım yoğunluğuna bağlıdır.

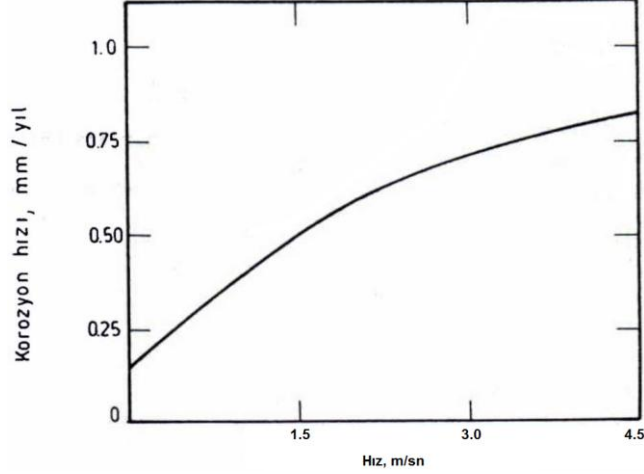
Deniz suyu içindeki çeliğin korozyon hızı katot bölgesine oksijen difüzyonu kontrolü altındadır. Bu nedenle çözülmüş oksijen korozyon açısından büyük önem taşır. Deniz suyu içindeki oksijen konsantrasyonu sıcaklığa ve tuzluluğa bağlıdır. Oksijen konsantrasyonu deniz yüzeyinden tabana doğru gidildikçe azalır. Su yüzeyine yakın bölgede oksijen konsantrasyonu ve korozyon hızı maksimum değerdedir. Derine doğru inildikçe, çözülmüş oksijen konsantrasyonuna paralel olarak korozyon hızı da gittikçe azalmaktadır. Korozyon açısından en tehlikeli bölge, yapının atmosferik oksijenle doğrudan temas ettiği ve deniz suyu ile ıslandığı üst bölgedir (Şekil 1.8).



Şekil 1.8 Deniz içine çakılı çelik malzemenin derinliğe göre korozyon hızının değişimi

Deniz suyu sıcaklığı arttıkça korozyon hızı da artış gösterir. Ancak, sıcaklıkla deniz suyunun

çözünmüş oksijen konsantrasyonu azalır. Bu da korozyon hızının azalmasına neden olur. Dolayısıyla sıcaklığın korozyon hızı üzerindeki etkisi konusunda kesin bir karara varmak güçtür. Ayrıca, suyun ve metal yapının hareketli olması da korozyon hızının artmasına neden olur (Şekil 1.9). (Koç vd., 1990)



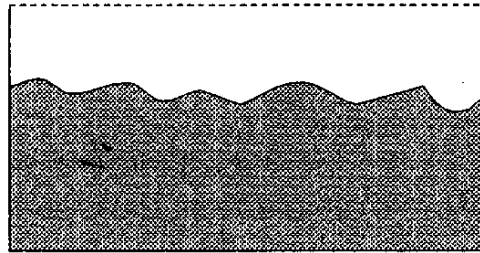
Şekil 1.9 Çelik boru içinden akan deniz suyunun hızına göre korozyon hızının değişimi

## 1.8 Korozyon Çeşitleri

Temel reaksiyonları aynı olmakla beraber, korozyon olayı pratikte çeşitli mekanizmalarla oluşur.

### 1.8.1 Homojen Korozyon

Metal yüzeyinde eşdeğer şiddette oluşan korozyon türüdür. Korozyon sonucu metal kalınlığı her noktada aynı miktarda azalır. Atmosferde bırakılan bir metal genellikle üniform biçimde korozyona uğrar. Şekil 1.10'da üniform korozyon görülmektedir.



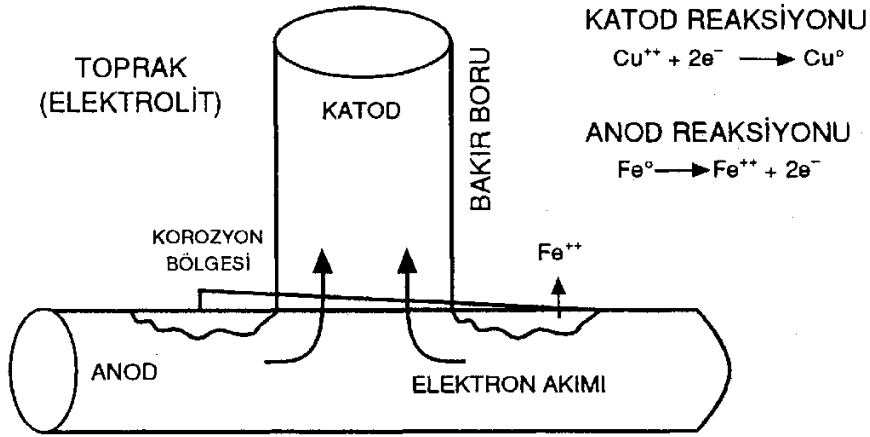
Şekil 1.10 Homojen (Uniform) korozyon

Mekanik yönden en az zararlı olan korozyon çeşidi üniform korozyondur. Çünkü metal delinmeden ve kırılmadan uzun süre işletmede kalabilir.

### 1.8.2 Galvanik Korozyon

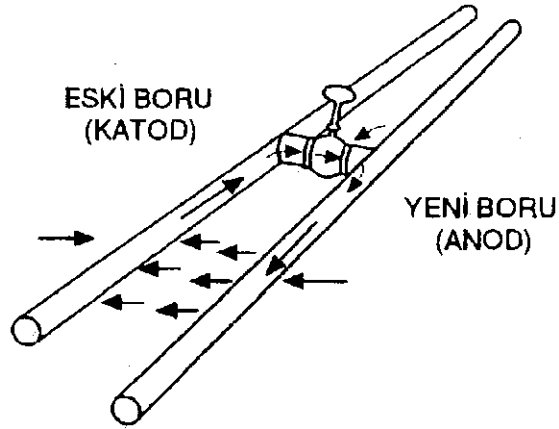
Boru malzemelerinin veya zemin yapısının farklılığından dolayı ortaya çıkan korozyon tipidir.

İki farklı malzemeden yapılmış boru, aynı zemin içerisinde bulunduğunda pil mekanizması oluşur. Nernst skalasına göre iki farklı metal, aynı çözelti içerisinde farklı potansiyele sahiptir. Metallerin bağlı iyonlaşma potansiyel sırası da toprak içerisinde Nernst skalasındaki sıraya uygun olacaktır. Yani, bakır bir boru, çelik bir boru ile temas halinde ise bu iki borudan çelik boru, bakır boruya göre daha aktif davranacak ve korozyona uğrayacaktır. Bakır boru ise polarize olacaktır. Şekil 1.11’de bakır boru ile çelik borunun aynı zemin içerisindeki davranışı görülmektedir. (Yılmaz, 2003)

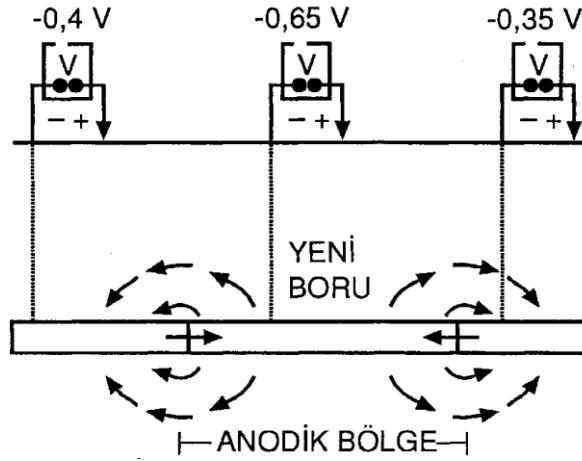


Şekil 1.11 Bakır ve çelik borunun galvanik çift oluşturulması

Galvanik korozyon olayına pratikte sık rastlanır. Eski boru hatlarının tamirâtı sırasında arazide yeni bir boru kullanılması halinde borular arasında potansiyel farkı meydana gelir. Yeni boru, anot olarak hızla korozyona uğrar. Şekil 1.12’de eski ve yeni borular arasındaki galvanik korozyon görülmektedir. Şekil 1.13’de ise eski ve yeni boru hattı arasındaki potansiyel farkı oluşması görülmektedir.



Şekil 1.12 Eski ve yeni boru arasında galvanik korozyon



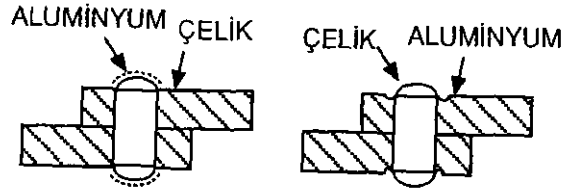
Şekil 1.13 Eski ve yeni boru arasında potansiyel farkı oluşması

Boru hatlarında oluşabilecek çeşitli galvanik çift örnekleri Çizelge 1.4'de verilmiştir.

Çizelge 1.4 Galvanik çift örnekleri

Galvanik Çift	Korozyona Uğrayan Boru
Çelik ve Bakır Boru	Çelik Boru
Çıplak ve Bitüm Kaplanmış Çelik Boru	Çıplak Çelik Boru
Çelik ve Alüminyum Boru	Alüminyum Boru
Çelik ve Dökme Demir Boru	Çelik Boru
Çelik ve Kurşun Boru	Çelik Boru
Çıplak ve Galvanizli Çelik Boru	Galvanizli Çelik Boru
Yeni ve Eski Boru	Yeni Boru

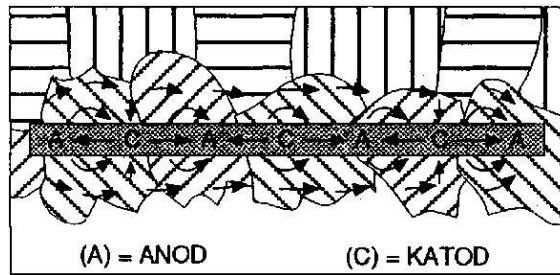
Galvanik etki sonucu oluşan korozyon, katot-anot yüzey oranının büyüklüğüne bağlı olarak etkili olur. Anot yüzey alanı, katot yüzey alanına göre çok büyükse, korozyon olayı olmakla beraber pratik bakımdan önemsizdir. Şekil 1.14’de katot/anot ara yüzey etkisi görülmektedir.



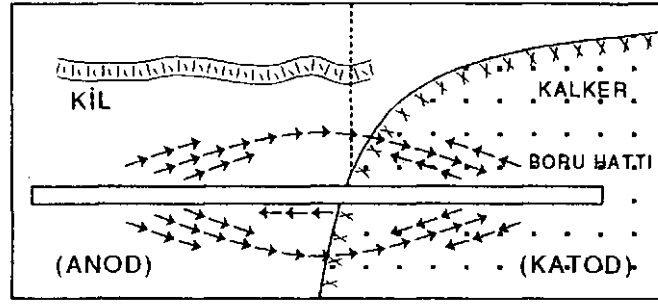
Şekil 1.14 Katot-Anot yüzey oranının etkisi

Bir yapıda başka cins bir perçin kullanılması halinde de farklı iki metalin teması sağlanmış olur. Şekil 1.14’de her iki durumda da çelik katot, alüminyum anot olur. Her iki halde de daha negatif potansiyele sahip olan alüminyum korozyona uğrar. Ancak, alüminyum perçinin yüzey alanının katot yüzeyine göre çok küçük olması halinde, perçin kısa sürede parçalanır.

Galvanik korozyon zemin yapısının farklı olmasından dolayı da oluşmaktadır. Zemin, taş, kum, kil, su gibi çeşitli malzemelerin karışımından oluşan heterojen yapıda bir elektrolittir. Bu nedenle kısa mesafeler içinde bile büyük farklılıklar gösterebilir. Zemin yapısındaki farklılık boru hattı üzerinde korozyon hücrelerinin oluşmasına sebep olur. Şekil 1.15’de kısa mesafelerde korozyon hücresi görülmektedir. Bu tip korozyon, boru hattının değişik jeolojik yapılarda zemin içinden geçmesi halinde uzun mesafeler arasında korozyon hücreleri oluşması şeklinde de görülebilir. Şekil 1.16’da uzun mesafelerde oluşan korozyon hücreleri görülmektedir.

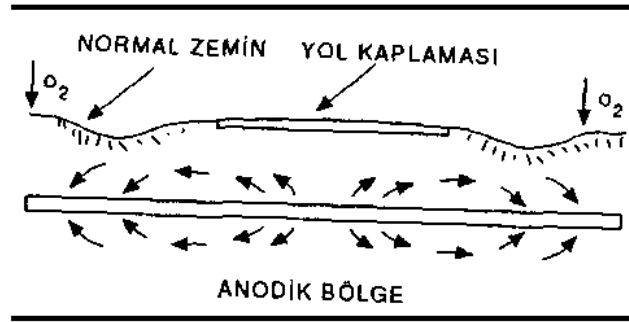


Şekil 1.15 Kısa mesafelerde toprak heterojenliğinin oluşturduğu korozyon hücreleri



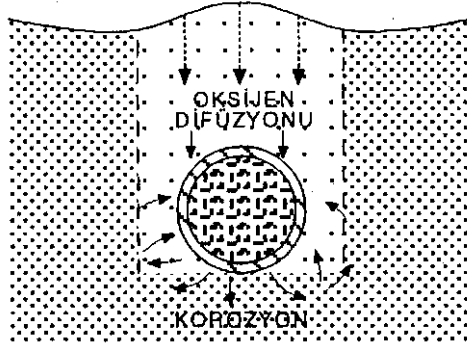
Şekil 1.16 Uzun mesafelerde toprak yapısındaki değişimin oluşturduğu korozyon hücresi

Farklı havalanma nedeniyle oluşan korozyona da yeraltı boru hatlarında çok sık rastlanır. Bir boru hattının üst kısmı hava almayacak şekilde kapatılmış (asfalt kaplama vb.) durumda ise, bu bölge boru hattının diğer kısımlarına göre daha az hava alacağından anot olacaktır. Şekil 1.17’de farklı havalanma sonucu oluşan korozyon görülmektedir.



Şekil 1.17 Farklı havalanma sonucu oluşan korozyon

Boru hatları yeraltına yerleştirildikten sonra boru üst kısmı yeniden toprak ile doldurulur. Bu dolgunun oksijen geçirgenliği, doğal zemine göre farklıdır. Bu durum borunun alt ve üst kısımlarında farklı havalanmaya neden olur. Borunun atmosfere yakın olan ve oksijen alabilen üst kısmı katot, borunun zemine oturduğu ve daha az oksijen alabilen veya hiç alamayan alt kısmı anot olur. Şekil 1.18’de farklı havalanma nedeniyle boru tabanında oluşan korozyon görülmektedir.

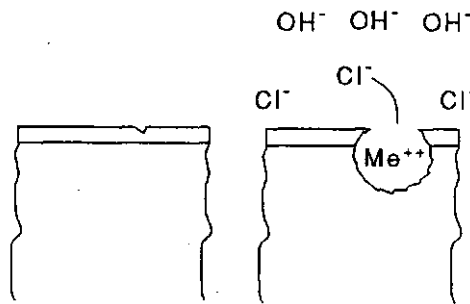


Şekil 1.18 Farklı havalanma sonucu boru tabanında oluşan korozyon

### 1.8.3 Çukur (Oyuklanma) Korozyonu

Korozyonun çok dar bölgeler üzerinde yoğunlaşması sonucu derin ve dar oyuklar şeklinde meydana gelen korozyona oyuklanma korozyonu denir (Şekil 1.19). Metal yüzeyinde karıncalanma görünümünde, tehlikeli bir bölgesel hasardır. Korozyonun sebep olduğu malzeme kaybı diğer homojen korozyonlara göre çok az olmasına rağmen, parçalar kısa zamanda delinerek kullanılmaz hale gelirler. Bu bakımdan en tehlikeli korozyon çeşididir.

Klor ( $\text{Cl}^-$ ), brom ( $\text{Br}^-$ ), iyot ( $\text{I}^-$ ) gibi halojen iyonları ihtiva eden ortamlarda meydana gelir. Özellikle tuz ( $\text{NaCl}$ ) ve oksijeni ( $\text{O}_2$ ) fazla miktarda bulunduran deniz suyunda çok fazla meydana gelir.



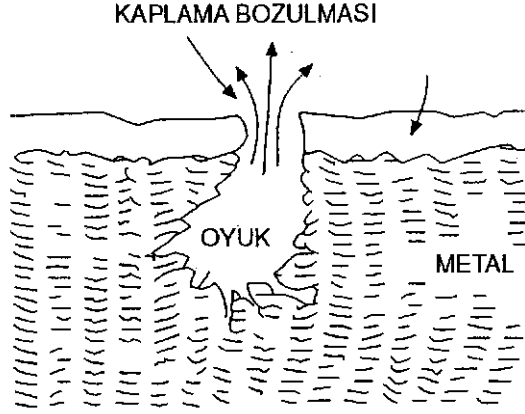
Şekil 1.19 Malzeme yüzeyinde çukur korozyonu etkisi ile oyuk oluşumu

### 1.8.4 Kaplama Bozukluğu Korozyonu

Kaplama yapılmış bir borunun potansiyeli ile kaplamasız bir borunun potansiyeli birbirinden farklıdır. Kaplamanın bazı bölgelerinin bozulması veya delinmesi halinde bu bölgeler anot olacaktır. Metal yüzeyinde çok küçük bölgelerde yoğunlaşan bir korozyon tipidir ve borunun



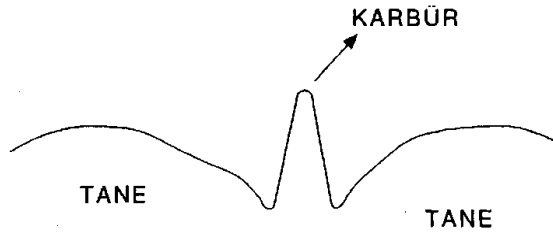
kısa sürede delinmesine neden olmaktadır. Şekil 1.20’de kaplama bozukluğu nedeniyle oluşan korozyon görülmektedir.



Şekil 1.20 Kaplama bozukluğu sebebiyle oluşan korozyon

### 1.8.5 Tanelerarası Korozyon

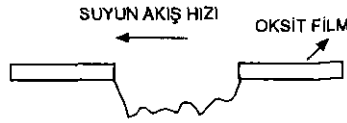
Heterojen yapıdaki alaşımlarda, iki veya daha fazla katının karışım söz konusudur. Böyle bir alaşım üniform yapıda kristellenmez. Tanelerarası korozyon, tanelerarası sınır çizgilerinde meydana gelir. Bu bölgelerde metallere göre daha düşük konsantrasyonda bulunur. Bu nedenle sınır çizgileri korozyon için uygun bir ortam oluşturur. Paslanmaz çelikte kaynak yapılan bölgede sıcaklık değişimlerinden dolayı bu tip tanelerarası korozyon olayı meydana gelir. Kaynak işleminden sonra havada soğumaya bırakılan parçalar, 500 - 800°C arasında oluşan krom karbür ( $Cr_{23}C_6$ ) bileşikleri nedeniyle tanelerarası korozyona uğrar ve meydana gelen korozyon hasarı kaynak bölgesinden biraz uzakta dar bölgeler şeklinde olur. Şekil 1.21’de tanelerarası korozyon görülmektedir.



Şekil 1.21 Tanelerarası korozyon

### 1.8.6 Erozyon Korozyonu

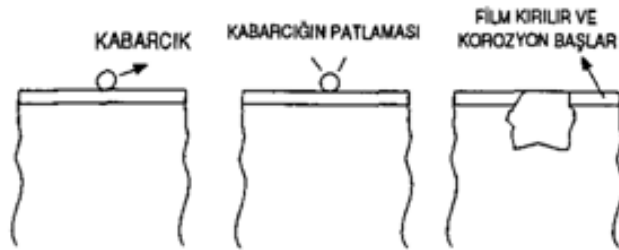
Boru sistemlerinde çok rastlanan bir korozyon türüdür. Metal ile korozif ortam arasındaki bağıl hareket nedeniyle metalin aşınma hızı artmakta ve metal yüzeyinde delikler, oluklar oluşmaktadır. Su içinde hareket halindeki birçok yapıda görülebilir. Ortamda katı parçacıkların varlığı korozyon hızını daha da artırır. Şekil 1.22’de erozyon korozyonu görülmektedir.



Şekil 1.22 Erozyon korozyonu

### 1.8.7 Kavitasyon Korozyonu

Kavitasyon korozyonu hızla akan sıvıların malzeme yüzeyine yakın bölümlerinde Şekil 1.23’de görüldüğü gibi oluşan alçak basınç kabarcıklarının büyümesi ve patlamasıyla meydana gelir. Oluşan şok dalgaları yüzeye çarparak malzeme yüzeyini örten tabakayı tahrip ederler. Açığa çıkan metal çözünerek korozyona uğrar. Bu tip korozyona uğrayan yüzeyler petek görünümlüdür. Yüzey delikli ve oyuklar sıktır.

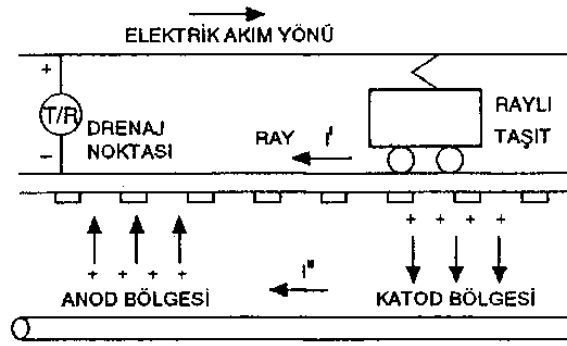


Şekil 1.23 Kavitasyon korozyonu

### 1.8.8 Kaçak Akım Korozyonu

Toprak zemin içerisinde tren, tramvay ve metro gibi raylı taşıtların kaçak akımı yeraltı borularında çok şiddetli ve hızlı korozyona neden olur. Hattın her noktasında toprağa doğru bir akım oluşur ve boru hattını Faraday Kanunu’na (1.2) göre korozyona uğratar. Eğer metalin

korozyonu borunun bütün yüzeyine yayılmış olsaydı, metaldeki korozyon homojen olarak yayılacak ve tehlike az olacaktı. Ancak akım, küçük bir yüzey üzerinden aktığında akım yoğunluğu artacak ve korozyonun şiddetli olmasına yol açacaktır. Korozyonun şiddeti, korozyon akımının yoğunluğuna bağlıdır. Yani toprakla temas halindeki metal yüzeyindeki birim metal yüzeyinden geçen akım şiddeti önemlidir. Bina içerisindeki kaçak akımlar da çelik boru hatlarının yüklenmesine ve korozyonuna sebep olabilirler. Bilhassa ısıtıcı yolu ile birbirine bağlanan gaz ve su borularında kaçak akımlara çok sık rastlanmaktadır. Şekil 1.24'de raylı taşıt aracının yakınındaki borunun kaçak akımlarla etkilenmesi görülmektedir.

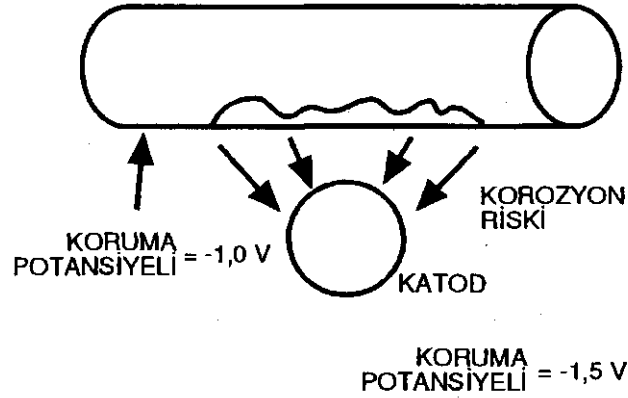


Şekil 1.24 Doğru akımla çalışan taşıma sisteminin sebep olduğu kaçak akım korozyonu

Şekil 1.24'de gösterilen  $I''$  akımı (50-100A) toprağa göre daha düşük dirençteki boru üzerinden tekrar drenaj noktasına geri dönecek ve drenaj civarında korozyon riski taşıyan anot bölgesi oluşturacaktır. Faraday Kanunu'na (1.2) göre korozyona uğrayan metal miktarı hesaplanabilir.

### 1.8.9 Enterferans Korozyonu

Yeraltında yakın mesafede kesişen veya birbirine paralel olarak giden boruların katodik koruma potansiyellerinin farklı olması halinde, bu borular arasında zeminden geçerek kaçak akım oluşturması yolu ile ortaya çıkan korozyona enterferans (etkileşim, girişim) korozyonu adı verilir. Şekil 1.25'de farklı potansiyellere sahip yakın mesafede kesişen iki borunun birinden diğerine akım çıkması yoluyla korozyon oluşumu görülmektedir. Daha düşük potansiyele sahip boru anot, diğeri katot olmaktadır. Anot boru, korozyona uğramaktadır.



Şekil 1.25 Kesişen iki borunun enterferans etkisiyle korozyon oluşturmaları

### 1.9 Korozyondan Korunma Teknikleri

Korozyona neden olan etkenlerin çokluğu kadar korozyondan korunmak için de basit veya karmaşık birçok tedbir mevcuttur. Nerede hangi tedbirin uygulanacağı en önemli husustur. Öncelikle korozyonu meydana getiren sebepleri tespit edip, ona göre bu sebepleri ortadan kaldıracak, dolayısıyla korozyonu önleyecek en ekonomik tedbir seçilmelidir.

Korozyondan korunma tekniklerinden ilki işletmede alınan tedbirlerdir. Bunun için korunacak parçalar taşıma ve depolama aşamalarında gres yağı, bal mumu veya plastik malzemelerle geçici olarak kaplanır. Ayrıca, malzemeleri korozyondan etkilenmeyecek şekilde üretmek de tasarım aşamasında alınabilecek bir tedbirdir. Örneğin, galvanik korozyonu önlemek için farklı metaller arasındaki temas kesilmeli, yapı mümkün olduğunca homojen olmalıdır. Metal birleştirmelerinde civata ve perçin yerine mümkünse kaynak tercih edilmelidir.

Korozyondan korunma tekniklerinden ikincisi korozyon ortamında alınan tedbirlerdir. Bunlar; ortam sıcaklığının düşürülmesi, korozif ortam (sıvı) hızının azaltılması, korozif elemanların ortamdaki uzaklaştırılması, oksitleyici özelliği olan sülfürik ( $H_2SO_4$ ), nitrik ( $HNO_3$ ) ve fosforik ( $H_3PO_4$ ) asitlerin bulunduğu bir ortamda asit konsantrasyonunun azaltılması ve korozyon ortamına ilave edildiğinde korozyon hızını azaltan frenleyicilerin (silikat, nitrat vb.) kullanılması olarak sıralanabilir.

Korozyondan korunma tekniklerinden üçüncüsü korozyonlu ortamda kullanılacak malzemede alınabilecek tedbirlerdir. Kullanılan yere uygun malzeme seçimi ve malzemeye kaplama yapmak korozyonun etkilerini azaltabilir. Örneğin, nitrik asitli ortamlarda paslanmaz çelik,

yoğun sülfürik asitli ortamlarda çelik, seyreltik sülfürik asitli ortamlarda ise kurşun kullanılması uygun olur. Malzemeyi metalik veya metal olmayan kaplama ile kaplamak suretiyle korozyon direncini arttırmak da kullanımı yaygın ve etkili bir yöntemdir.

Korozyondan korunma tekniklerinden dördüncü ve sonuncusu ise katodik koruma tekniğidir. Korozyondan korunma teknikleri özet olarak Çizelge 1.5’de verilmiştir. (Çizmecioğlu,1998)

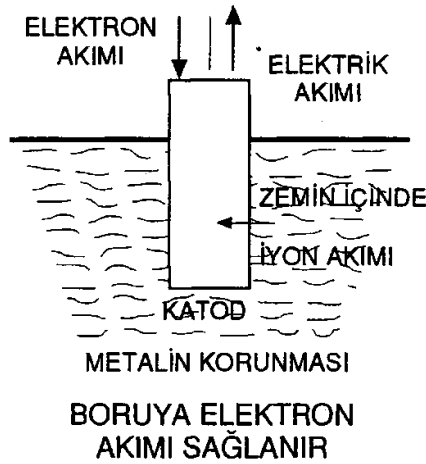
Çizelge 1.5 Korozyondan korunma teknikleri

<b>KOROZYONDAN KORUNMA TEKNİKLERİ</b>						
<b>İŞLETMEDE ALINAN ÖNLEMLER</b>	<b>ORTAMDA ALINAN ÖNLEMLER</b>	<b>MALZEMEDE ALINAN ÖNLEMLER</b>			<b>KATODİK KORUMA</b>	
Taşıma ve Depolama Sırasında Alınan Geçici Koruma Önlemleri	Sıcaklığın Değiştirilmesi	<b>MALZEME SEÇİMİ</b>	<b>KAPLAMA</b>			Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma
		Metal	<b>METAL</b>	<b>METAL OLMAYAN</b>		
	Daldırma		<b>ORGANİK</b>	<b>İNORGANİK</b>		
	Metal Püskürtme		Boya	Kimyasal Dönüşümlü Kaplamalar		
Hızın Değiştirilmesi	Metal Dışı	Sementasyon	Lastik		Galvanik Anotlu Katodik Koruma	
		Cladleme				
	Konsantrasyonun Değiştirilmesi	Alaşım	Metal Buharı Yoğunlaştırma	Asfalt		Seramik, Emaye Kaplama
Frenleyici Kullanımı			Elektrolitik			

## 2. KATODİK KORUMA

### 2.1 Katodik Korumanın Esasları

Katodik koruma, korozyona uğrayan (korozyon sisteminde anot olarak davranan) metalin potansiyelini değiştirerek onu katot olarak davranmaya zorlamaktır. Çözünmeyen bir soy anot yardımıyla korunacak bir yapı devrenin negatif kutbunu oluşturacak şekilde doğru akım devresine bağlanır. Bu tip korumaya *dış akım kaynaklı katodik koruma* adı verilir. Korunacak yapı elektrik devresinin katodik kutbunu oluşturduğu için doğru akım kaynağından buraya sürekli bir elektron beslenmesi söz konusu olur. Bu ise sürekli bir elektron çıkışı ( $M \leftrightarrow M^{+2} + 2e^-$ ) ile çözünmesi söz konusu olan metalin korozyonunun durmasına neden olur. Çünkü çözünme anında salınan ve korozyon hücresinin katoduna akan elektronlar doğru akım kaynağından fazlasıyla geri beslenecektir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Metalin elektron akımı ile katodik korunması

Katodik korumanın bir başka şekli ise korunacak metalden daha aktif bir metali anot olarak kullanarak suni bir pil devresi oluşturup, aktif metalin korozyonu ile korozyona karşı korunacak yapıya elektron transferi sağlayarak yapıyı katot haline getirerek korumaktır ki bu metoda *galvanik anotlu katodik koruma* adı verilir.

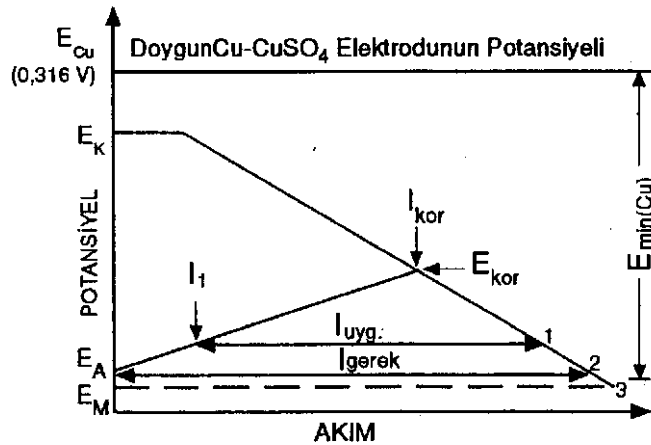
Katodik korumanın amacı, belirli bir ortamda her metal için sabit bir potansiyel eşliğinin altında, metali toprağa göre negatif olarak kutuplaştırarak her tür korozyondan korumaktır. Sonuçta hattın her noktasında birim alana devamlı olarak akım gelmektedir. Bu akımın yoğunluğu kaplamanın yalıtım direncine ve o bölgedeki potansiyel farkına bağlıdır.

Dolayısıyla koruma için seçilen kriter, metalin toprak ile bağının kurulacağı minimum potansiyeldir. Ölçümler, genellikle bakır / bakırsülfat ( $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ ) elektrodu referans alınarak yapılır.

Bu şartlar altında, demir için katodik koruma  $-850$  mV'un altında, bakır için  $-250$  mV'un altında sağlanır. Toprak ile temas halindeki metalin her noktasında minimum potansiyele erişilmiş olması gerekir.

### 2.1.1 Minimum Potansiyel Yaklaşımı

Uygulanan yöntem ister dış akım kaynaklı, isterse galvanik anotlu yöntem olsun koruma için temel şart, korozyona uğrayan metali polarize ederek potansiyelini ( $E_M$ ) anodik çevrelerin açık devre potansiyeli ( $E_A$ ) hizasına kaydırmaktır. Bu potansiyel, minimum potansiyel ( $E_{\min}$ ) olarak adlandırılır. Şekil 2.2'deki polarizasyon diyagramından görüleceği üzere minimum potansiyel katodik koruma yönteminin akım ihtiyacını ( $I_{\text{gerek}}$ ) belirler. Korunan metal ve galvanik anot çifti tarafından üretilen veya uygun bir dış kaynaktan çekilerek koruma devresine verilen akım ( $I_{\text{uyg}}$ ) bu akım ihtiyacını karşılar büyüklükte olmalıdır. Tam koruma ancak bu şartla ( $I_{\text{uyg}} = I_{\text{gerek}}$  ve  $E_M = E_{\min}$ ) sağlanır. Şekil 2.2'de görülen 1 seviyesinde yetersiz koruma, 2 seviyesinde tam koruma, 3 seviyesinde ise aşırı koruma söz konusudur.

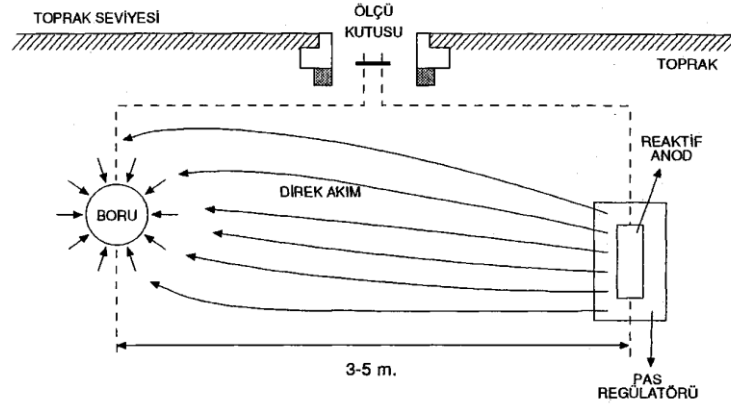


Şekil 2.2 Katodik korumada akım ihtiyacını gösteren polarizasyon diyagramı

### 2.1.2 Galvanik Anotlu Katodik Koruma Sistemi

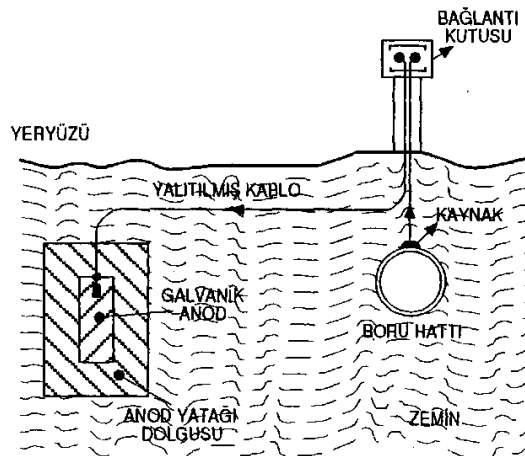
Korunması gereken metalden daha elektronegatif bir metal ile bir pilde galvanik çift oluşturulur. Bu pilde, pozitif elektrot yani anot tahrip olurken, diğeri yani katot polarizasyona

maruz kalır. (Şekil 2.3)



Şekil 2.3 Galvanik çiftin teşkili

Toprağa çelik bir boru döşendiğinde, bu borunun sistemin katodu olması gereklidir, dolayısıyla daha elektronegatif bir metal anot olarak kullanılır. Nernst skalasına (Çizelge 1.1) bakılırsa, sınıflandırmada demirden daha aktif metaller, magnezyum, alüminyum ve çinkodur. Alüminyumoksit yalıtkan olduğundan, alüminyum kullanılmaz. Galvanik anotlar, magnezyum veya çinkodan yapılır. Zemin içindeki elektrot potansiyeli yüksek olduğu için, yeraltı yapılarının katodik korumasında genellikle magnezyum anotlar kullanılır. Çinko anotların verimi daha yüksek olmasına rağmen, potansiyelinin düşük olması nedeniyle kullanılma alanı sınırlıdır. Şekil 2.4’de galvanik anotlu katodik koruma sistemi görülmektedir.



Şekil 2.4 Galvanik anotlu katodik koruma sistemi

Çinko anodun ağırlığı 20 kg. olup iyonlaşma potansiyeli -1,1 V'tur. Bir anodun kullanım



süresi, Faraday Kanunu (1.2) kullanılarak belirlenebilir. Teorik olarak 1 A.h, 1.22 gr çinkoyu serbest bırakır. Çinko anotlar, % 90'ı tahrip olana kadar verimli olarak çalışabilirler.

Bu tür korumada güç azdır ve anodun kullanım süresi sınırlıdır. Bu sebeple bu tür koruma, uzun olmayan ya da çok iyi yalıtılmış hatlar ile geçici korumalar için ve 10 mA civarında akım ihtiyacında kullanılır. Anot yerleştirilmesi için gerekli başlıca şart, hattın etki gücü düşük dirençli ( $\leq 50\Omega.cm$ ) topraktan geçmesidir. Bir boru hattının korunması için gerekli anot sayısını belirten bağlantı (2.1)'de verilmiştir.

$$N = \frac{S.i}{I} \quad (2.1)$$

Burada, S boru yüzeyi, i koruma için gerekli akım yoğunluğu, I anottan geçen akım debisidir. Anotlar korunacak metalin 3-5 m ilerisine dikey olarak yerleştirilirler. Anotlar, korozyon regülatörü veya anot dolgusu denilen ve anot ile toprak arasında sabit temas direncini sağlayan bölmelere konurlar. Zaten anot (çinko) ile katodun (boru) oluşturduğu hücrenin iyi çalışabilmesi için anot/toprak direncinin çok düşük yani 0-1  $\Omega$  arasında olması gerekir.

Galvanik anotlu katodik koruma sisteminin özellikleri şöyle sıralanabilir :

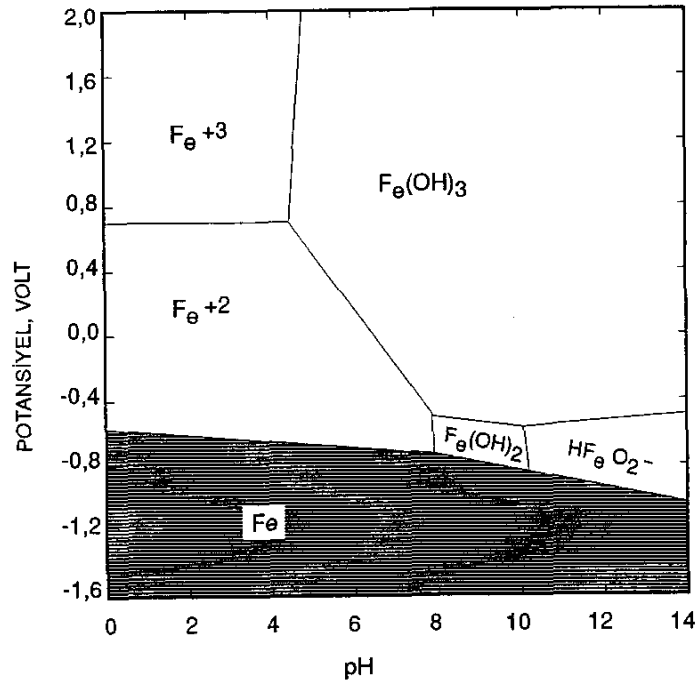
1. Dış akım kaynağına gerek yoktur. Katodik koruma için gerekli akım galvanik anotlardan sağlanır. Ancak galvanik anotlardan çekilen akımın maliyeti, şebekeden çekilen akımdan daha yüksek olduğundan, akım ihtiyacı fazla olan boru hatlarında tercih edilmez. 0,5-1,0 A'den daha az akım ihtiyacı olan boru hatlarında ekonomik olabilir.
2. Devre potansiyeli küçük olduğundan, yüksek elektriksel özgül dirençli zeminlerde bu sistemin uygulanması güçleşir. 5000 $\Omega.cm$ 'den yüksek elektriksel özgül dirençli zeminlerde bu sistem uygulanmamalıdır.
3. Yapımı basit ve kolaydır. İşletme sırasında hiç bir ayar gerektirmez. Fakat, anotlar boru hattı boyunca dağılmış olduğundan, işletme sırasında kontrol güçtür. Arızanın belirlenmesi için her anodun ayrı ayrı kontrol edilmesi gerekir.
4. Anotlardan çekilen akım kontrol edilemez. Borunun akım ihtiyacı polarizasyon nedeniyle zamanla azalır. Bu durumda devre potansiyeli de azalacağından anottan çekilen akım da kendiliğinden düşer.
5. Anot/Zemin potansiyeli düşük olduğundan, anot yatağının çevre metalik yapılar üzerine enterferans etkisi önemsizdir.

6. Anoda yakın olan boru yüzeyinde aşırı gerilim nedeniyle boru kaplamasında soyulma meydana gelmez.

### 2.1.3 Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma Sistemi

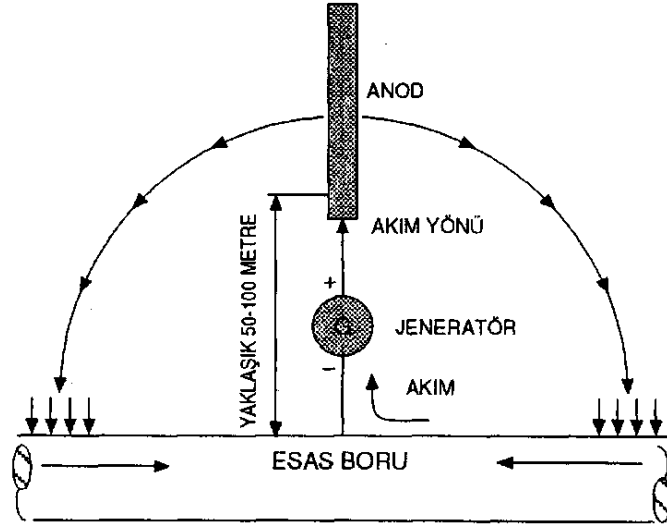
Bu sistemde sürekli akım kaynağı kullanılır. Negatif kutup korunacak boruya, pozitif kutup da zemin yatağı ya da toprak plakasına bağlanır. Zemin yatağı genelde grafit, demirli silisyum çubuktan veya karma metal oksit kaplı titanyum tüp anottan yapılmıştır. Anotlar kendini yok ettiğinden ve elektrik akımı yüksek olduğundan, 20 yıla uygun bir kullanım süresi için gerekli malzeme öngörülmalıdır.

Şekil 2.5'de saf demirin suda, 1 atmosfer basınçta ve 25°C'deki potansiyel-pH diyagramı görülmektedir. Diyagramdan, hattın potansiyelinin - 600 mV'luk bir teorik değere getirilmesi gerektiği görülebilir. Pratikte bakır / bakır sülfat elektrotu referans olarak kullanılarak yapılan ölçümlerde potansiyel, toprağa göre - 850 mV veya daha negatif ise hattın korunduğu kabul edilir.



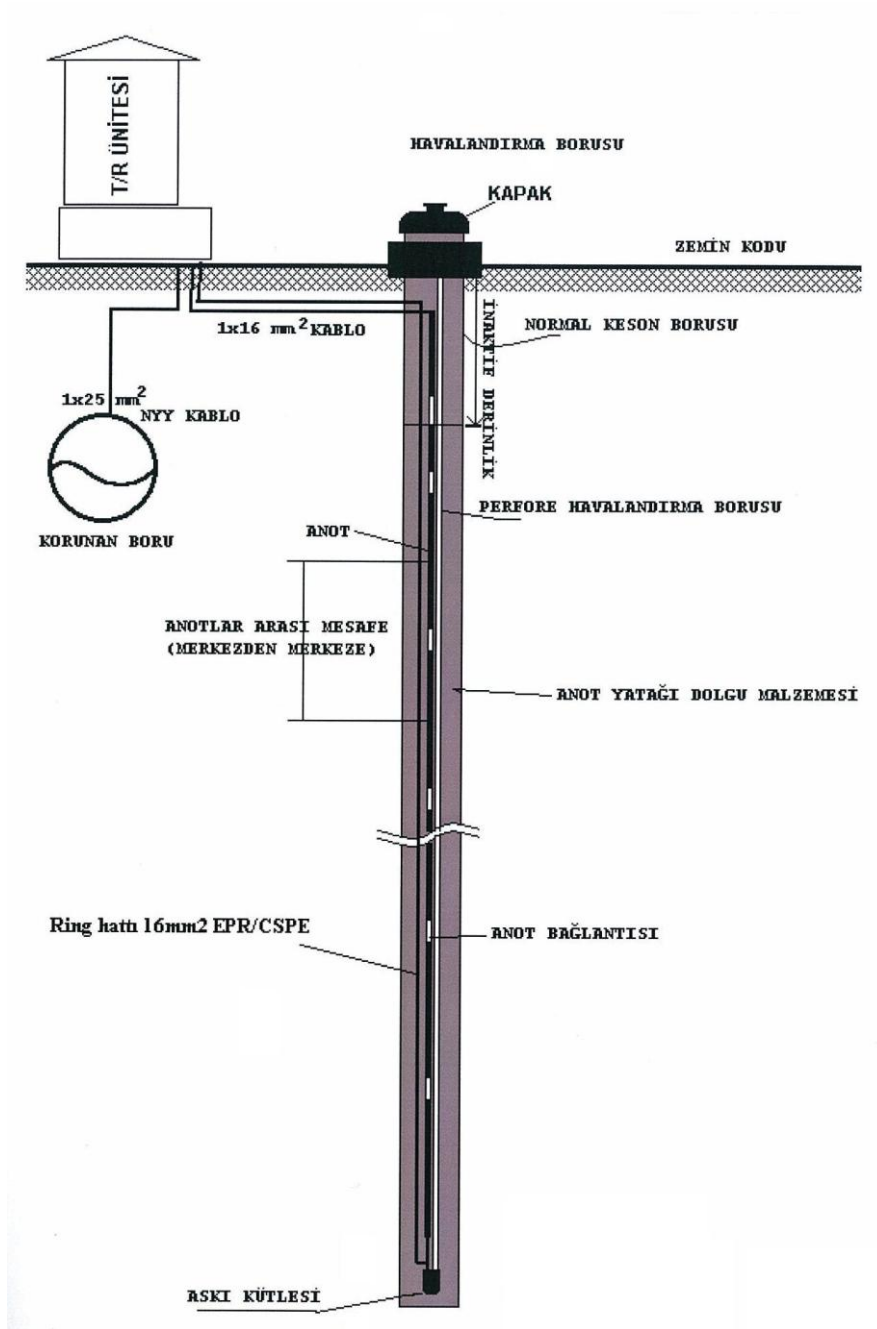
Şekil 2.5 Saf demirin potansiyel-pH diyagramı

Elektroliz prensibi uygulanarak generatörün negatif kutbu hatta (katoda), pozitif kutbu da anoda bağlanır (Şekil 2.6). Akım geçtiğinde metal iyonları anottan ayrılırlar, boru etrafında ise hidrojen kabarcıkları oluşur.



Şekil 2.6 Dış akım kaynaklı katodik koruma sisteminin teşkili

Maksimum verim için koruma istasyonunun yerleştirileceği en iyi yer korunacak kısmın tam ortasıdır. Anot korunacak hatta dik olarak ve 50-100 m bazen de daha fazla uzaklığa yerleştirilir. Ayrıca, toprak bağlantısının da iyi olabilmesi için düşük dirençli toprak zemine yerleştirilmesi gerekir. Koruma akımının trafo/redresör ayarı, boru üzerindeki her noktada katodik koruma eşiğinden düşük bir elektrot potansiyeli elde edecek şekilde yapılmalıdır. Bu koruma tipi büyük şebekelerde kullanılır. Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemi, galvanik anotlu katodik koruma sisteminden daha güçlüdür ve potansiyel ayarlaması yapmak mümkündür. Şekil 2.7’de dış akım kaynaklı katodik koruma sistemi görülmektedir.



Şekil 2.7 Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemi

Dış akım kaynaklı katodik koruma sisteminin özellikleri şöyle sıralanabilir :

1. Bu sistem elektrik akımı bulunmayan bölgelerde uygulanmaz.
2. Elektrik akımı şebekeden alındığı için ucuzdur. Bu nedenle akım ihtiyacı için sınır yoktur. Bu sistem, trafo/redresör ünitesi sayısı artırılarak çok uzun boru hatlarında ekonomik olarak uygulanabilir.

3. Zemin elektriksel özgül direnci için sınır yoktur. Anot yatağı direnci düşürülerek ve trafo/redresör sayısı arttırılarak istenilen miktarda akım uygulanabilir. Ayrıca, trafo/redresör üniteleri kolayca erişilecek yerlere konulduğundan, işletme sırasında sistemin kontrolü kolay olur.
4. Proje sırasında göz önüne alınmayan faktörler nedeniyle beklenmeyen değişmeler meydana gelirse, bunlar işletme sırasında ayar yapılarak düzeltilebilir. Yani, boru akım ihtiyacı değiştikçe sisteme uygulanan akım miktarı istenilen seviyeye ayarlanabilir.
5. Anot yatağı civarında olan yabancı metalik yapılar üzerinde enterferans etkisi yapabilir. Bu da çevre metalik yapılar üzerinde kaçak akım korozyonuna neden olur.
6. Dış akım kaynağından sağlanan yüksek gerilimli doğru akımın katot yüzeyine uniform olarak dağıtılması güçlük teşkil eder. Anot yatağına yakın olan bölgelerde aşırı gerilim meydana gelir. Bu da boru kaplamasında soyulmalara neden olabilir.

#### **2.1.4 Deniz İçi Metalik Yapıların Katodik Koruması**

Deniz içi çelik yapıları uygun bir boya ile kaplayarak korozyondan korumak mümkün olmakla beraber, endüstriyel koşullarda yapılabilen en mükemmel kaplamalarla bile korozyon kesin olarak önlenemez. Diğer taraftan yapılmış olan boyanın da belli bir ömrü vardır. Boya tabakası zamanla yıprandığından yer yer anodik bölgeler oluşur. Deniz içi sabit yapılarda boyanın tamiri veya yenilenmesi mümkün olmamaktadır.

Deniz suyu ile temas eden sabit veya hareketli bütün çelik yapıları korozyondan korumak için en etkili yöntem, katodik korumadır. Yüzeyler uygun bir boya ile kaplanarak katodik koruma akım ihtiyacı dolayısıyla da maliyet düşürülebilir. Deniz suyu, iletkenliği yüksek bir elektrolitik olduğu için katodik koruma uygulanması oldukça kolaydır. Hareketli veya sabit bütün deniz içi yapılara hem galvanik anotlu, hem de dış akım kaynaklı koruma sistemlerinin uygulanması mümkündür. Bu iki sistemden daha ekonomik olanı tercih edilir. Ancak projelendirme safhasında her iki koruma sisteminin de sakıncalarının göz önüne alınması gerekir.

Durgun deniz içine daldırılmış, kaplamasız bir çelik yüzeyin katodik koruma akım ihtiyacı başlangıçta  $150 \text{ mA/m}^2$  civarındadır. Bu değer bir kaç ay içinde gittikçe azalarak  $30\text{-}40 \text{ mA/m}^2$ 'ye kadar düşer. Boyanmış yüzeylerde akım ihtiyacı, boya kalitesi ve kalınlığına bağlıdır.  $200\text{-}300 \text{ mm}$  kalınlığında vinil veya epoksi tipi boyalarla kaplanmış bir çelik yüzeyin akım ihtiyacı başlangıçta  $1\text{-}2 \text{ mA/m}^2$  civarındadır. Boya eskidikçe bu değer artarak on katına

kadar çıkabilir. Sürekli deniz suyu içinde kalan bölgelerde alkaliye dayanıklı boyalar tercih edilir. Zaman zaman ıslanan ve kuruyan yüzeyler ise korozyon açısından en tehlikeli olan bölgeler olduğu için buralarda kaplama kalınlığı artırılır. Bu bölgeler plastik, beton veya özel bir metal ile kaplanır. (Koç, Yalçın ve Türkmen, 1990)

Çelik yapının potansiyelinin doygun bakır/bakırsülfat referans elektroduna göre -850 mV'dan daha negatif olması halinde katodik olarak korunduğu anlaşılır. Ancak deniz suyu içinde bakır/bakırsülfat referans elektrotun kullanılması uygun değildir. Bunun yerine genellikle doygun gümüş/gümüşklorür referans elektrotu kullanılır. Bu elektroda göre çelik yapının koruma kriteri -760 mV'dur. Bazı halde deniz suyu içine sarkıtılan saf çinko metali de referans elektrot olarak kullanılabilir. Çinko referans elektroda göre çeliğin koruma potansiyeli +0,20 V'dur. Koruma yapılmış olan metal ile aynı cinsten olan bir çelik parçası da referans elektrot olarak kullanılabilir. Korunmuş metal yapı ile bu çelik parçası arasında 100 mV'luk bir potansiyel farkının oluşması yeterlidir. Bu tip referans elektrot ile yapılan ölçümde sıcaklık, hız, çözünmüş oksijen gibi çevresel faktörler de göz önüne alındığından sonuç daha sağlıklıdır.

## **2.2 Katodik Koruma Sisteminin Projelendirilme Esasları**

Katodik koruma sisteminin projelendirilmesinde ve sistemin dış akım kaynaklı veya galvanik anotlu olup olmayacağına karar verilebilmesi için proje yapılmadan önce bazı ön etütlerin yapılması gereklidir. Doğru olmayan bir tasarım ekonomik olmayacağı gibi verimsiz ve bazı özel durumlarda korozyonu kontrol etmek yerine daha büyük hızlarda korozyona sebep olabilmektedir.

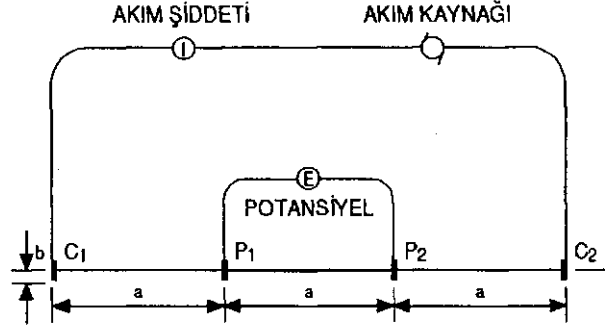
### **2.2.1 Katodik Koruma Projesi Ön Etütleri**

Katodik koruma projesi yapılmadan önce, boru hattı yeraltına konulmuş durumda olsun veya olmasın, zemin, boru ve çevre koşulları ile ilgili bazı bilgilerin toplanması ve bazı deneylerin yapılması gerekir.

#### **2.2.1.1 Zeminin Elektrik Özgül Direncinin Tespiti**

Boru hattının içinden geçmekte olduğu zeminin cinsi ve özellikleri korozyon açısından çok önemlidir. Özellikle zeminin özgül elektrik direnci, zeminin korozif özelliğini belirlemekte ölçü olarak kullanılmaktadır. Türk Standardı TS 5141'de verilmiş olan sınıflandırma Çizelge

1.3’de verilmiştir. Zemin elektrik özgül direnci ölçümünde en çok kullanılan metot Wenner dört elektrot metodudur. Bu metotla elektriksel özgül direnci ölçümü Şekil 2.8’de görülmektedir.



Şekil 2.8 Wenner metodu ile elektriksel özgül direnç ölçümü

Aletten okunan ( $R=V/I$ ) direnci, (2.2)’de yerine konularak zemin elektrik özgül direnci ( $\rho$ ) bulunur.

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R \cdot \Omega \cdot \text{cm} \quad (2.2)$$

Burada,  $\rho$  zemin elektrik özgül direnci ( $\Omega \cdot \text{cm}$ ),  $a$  elektrot açıklığı (cm),  $R$  ise ölçü aletinden okunan dirençtir ( $\Omega$ )

Bu şartlarda ölçülen elektriksel özgül direnci değeri,  $a$  cm derinliğinde zemini karakterize eder. Boru hatları genellikle 2 m derinlikte yeraltına konulduğu için, elektrik özgül direnci ölçümlerinde  $a=200$  cm seçilmesi uygundur. Ancak  $a=160$  cm seçilmesi halinde  $2\pi a$  değeri 1000 olacağından, okunan direncin 1000 katı elektriksel özgül direnci verecektir. Zemin elektriksel özgül direnci değerleri meteorolojik koşullara bağlıdır. Bu sebeple ölçümler biri kuru, diğeri ıslak mevsimde olmak üzere en az iki kez yapılmalıdır. Tipik toprak özgül dirençleri, ıslak toprak için  $300 \Omega \cdot \text{cm}$ , kuru toprak için  $1000 \Omega \cdot \text{cm}$ , çakıllı toprak için  $3000 \Omega \cdot \text{cm}$  ve kayalık zemin için ise  $10000 \Omega \cdot \text{cm}$  civarındadır.

### 2.2.1.2 Zeminin Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi

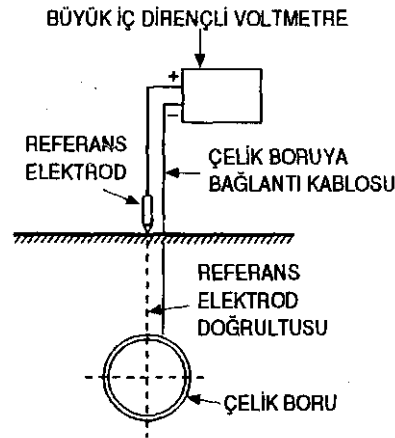
Aynı jeolojik yapıda olsa bile, zemin rutubeti, hava alabilme durumu, sıkışma derecesi gibi fiziksel özellikleri zeminin korozif özelliğine büyük ölçüde etki yapar. Zeminlerin korozif

özelliğini, zemin içinde bulunan çözünmüş tuzların cinsi ve miktarı ile pH değeri de belirler. Doğal zeminlerin pH'ı genellikle  $4 < \text{pH} < 8$  arasındadır. Bu aralıkta yeraltı korozyonu, katotta hidrojen çıkışı ile değil, su içinde çözünmüş olan oksijenin katodik depolarizasyonu ile yürür. Ancak pH değerinin düşük oluşu korozyona uğrayan demir yüzey üzerinde oluşan pasifliği azaltıcı olarak rol oynar.

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

### 2.2.1.3 Boru/Zemin Potansiyelinin Ölçülmesi

Boru/zemin potansiyeli doygun bakır/bakırsülfat referans elektrotuna göre ölçülür. Bu elektrotun hidrojen elektrotu göre potansiyeli  $+0,316 \text{ V}$ 'tur. Boru/zemin potansiyelini ölçmek için referans elektrot, boruya mümkün olduğu kadar yakın olacak şekilde zemin içine daldırılır. Elektrotun değdiği yerde zemin ıslatılarak direnç düşürülür. Ölçüm için direnci yüksek olan bir voltmetre kullanılır. Böylece devreden geçen akım minimuma indirilmiş olur. Pratikte, referans elektrotu borunun yanına kadar yaklaştırmak çoğu zaman mümkün olmaz. Bu durumda referans elektrot, borunun tam üzerine gelecek şekilde iken boru/zemin potansiyeli ölçülür. Ölçüm, Şekil 2.9'da görülmektedir.

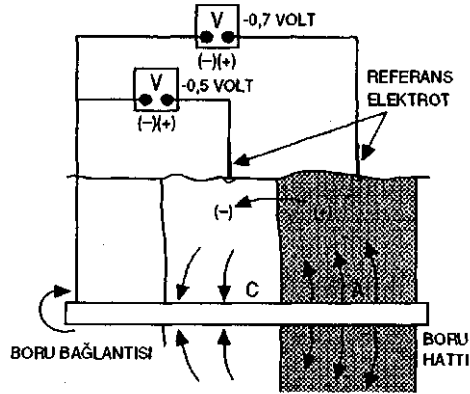


Şekil 2.9 Boru/zemin potansiyelinin ölçülmesi

Katodik koruma yapılmadan önce borunun yeraltındaki denge potansiyelinin belirlenmesi çok önemlidir. Bu potansiyel, boru hattı boyunca zemin cinsi ve kaplama kalitesi değiştiğinde değişebilir. Şekil 2.10'da bir borunun A ve C zeminleri içinde kalan bölgelerinin potansiyel



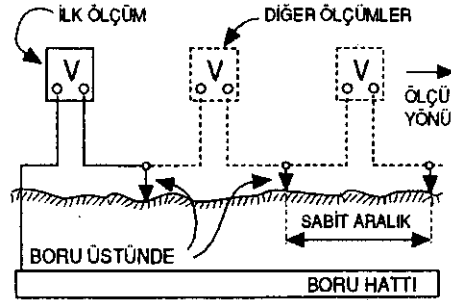
değerleri görülmektedir.



Şekil 2.10 Boru/zemin potansiyelinin zemin cinsi ve kaplama kalitesine göre değişimi

Her noktada boruya bağlantı yapmak mümkün olmadığından, boru hattı boyunca boru/zemin potansiyelini ölçebilmek için iki yöntem geliştirilmiştir.

**1. Uzun kablo yöntemi.** Eğer, boru hattı üzerinde kısa mesafeler ile boru bağlantı uçları mevcut değilse, uzun bir kablo oluşturularak boru hattı boyunca belirli aralıklarla boru/zemin potansiyelleri ölçülebilir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 Uzun kablo yöntemi ile boru/zemin potansiyelinin ölçülmesi

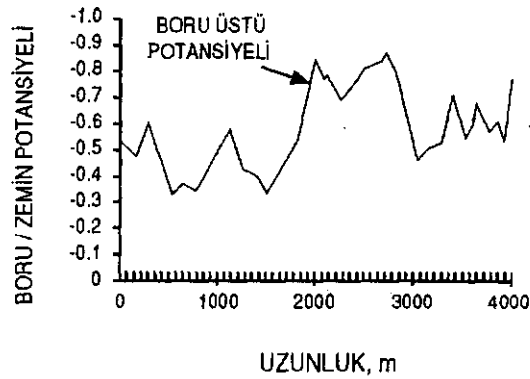
**2. Çift elektrot yöntemi.** Bir çok halde boru hattı boyunca kablo çekebilmek mümkün olmaz. Bu durumda iki doygun bakır/bakırsülfat referans elektrotu kullanarak boru hattı boyunca zemin/zemin potansiyel farkının ölçülmesi yoluna gidilir. Bu amaçla boru hattının herhangi bir uç noktasında boru/zemin potansiyeli ölçüldükten sonra aralarında belli bir uzaklık bulunan iki referans elektrot, boru hattı boyunca diziliş sıraları değiştirilmeden sıçramalar şeklinde hareket ettirilerek zemin/zemin potansiyel farkları ölçülür (Şekil 2.12). Voltmetreden okunan potansiyel değerleri (+) ve (-) işaretleri belirtilerek kaydedilir. Daha sonra bu değerler,

başlangıçta okunan boru/zemin potansiyeline eklenerek veya çıkarılarak, boru hattı boyunca potansiyel değişimi hesaplanır. Çizelge (2.1)'de örnek bir ölçümden elde edilen sonuçların değerlendirilmesi görülmektedir.

Çizelge 2.1 Çift elektrot yöntemi ile boru/zemin potansiyelinin hesaplanması

Ölçüm İstasyonu	Ölçülen Zemin/Zemin Potansiyel Farkı	Doygun Cu/CuSO <sub>4</sub> Referans Elektroda Göre Boru/Zemin Potansiyeli
1	-	-0.625 V
2	80 mV	-0.705 V
3	40 mV	-0.745 V
4	-75 mV	-0.670 V
5	-100 mV	-0.570 V

Borunun tam üst kısmına konulmuş olan referans elektrotlar ile elde edilen bu değerler boru hattı boyunca mesafeye göre grafiğe geçirilirse Şekil 2.12'de görülen grafik elde edilir. Grafikteki pik noktalar o bölgelerde korozyon ihtimalinin mevcut olduğunu ifade eder.



Şekil 2.12 Boru üzerinden ölçülen boru/zemin potansiyeli değerleri

#### 2.2.1.4 Redoks Potansiyelinin Tespiti

Redoks, İngilizce reduction (indirgenme - elektron alma) ve oxidation (yükseltgenme-elektron

verme) kelimelerinin kısaltılmasından elde edilmiş bir kelime olup elektron alışverişinin olduğu kimyasal tepkimeleri belirtmek için kullanılır. Bir elektrot yüzeyinde yürüyen oksidasyon-redüksiyon reaksiyonunun potansiyeline de redoks potansiyeli adı verilir.

Zeminin korozyon özelliğini tam olarak belirleyebilmek için, boru hattı boyunca gerekli görülen yerlerde redoks potansiyeli değerleri de ölçülür. Balçık, bataklık gibi bazı zeminlerde anaerobik ortamlarda yaşayan bazı bakteri türleri korozyon hızını artırıcı olarak rol oynarlar. Bunlardan en önemlisi sülfid redükleyici 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 olaylar korozyonun ve katodik koruma yapılmış borularda akım ihtiyacının artmasına neden olur.

Bir zeminde anaerobik korozyonun mevcut olup olmadığı, zeminin redoks potansiyeli ölçülerek anlaşılabilir. Redoks potansiyelini ölçmek için platin elektrot kullanılır. Platin elektrot zemin içine daldırıldıktan sonra herhangi bir referans elektrot ile arasındaki potansiyel farkı ölçülür. Ayrıca bir pH metre yardımı ile söz konusu zeminin pH değeri de tayin edilir. Zemin redoks potansiyeli (2.3) eşitliği ile hesaplanır.

$$E_{red} = E_p + E_{ref} + 60.(pH-7) \quad (2.3)$$

Burada,  $E_{red}$  zemin redoks potansiyeli (mV),  $E_p$  zemin içine daldırılan platin elektrotun potansiyeli (mV),  $E_{ref}$  kullanılmış olan referans elektrotun hidrojen elektroda göre potansiyel farkı (Doymuş bakır/bakırsülfat elektrotu kullanılması halinde  $E_{ref} = +316$  mV'tur), pH ise zeminin pH değeridir. Redoks potansiyeli değerleri göz önüne alınarak zeminler Çizelge 2.2'deki gibi sınıflandırılabilir.

Çizelge 2.2 Zeminlerin redoks potansiyeli değerlerine göre sınıflandırılması

Redoks Potansiyeli (mV)	Zeminin Koroziyon Özelliği
< 100	Çok Koroziyon
100 – 200	Koroziyon
200 – 400	Orta Koroziyon
400 <	Az Koroziyon

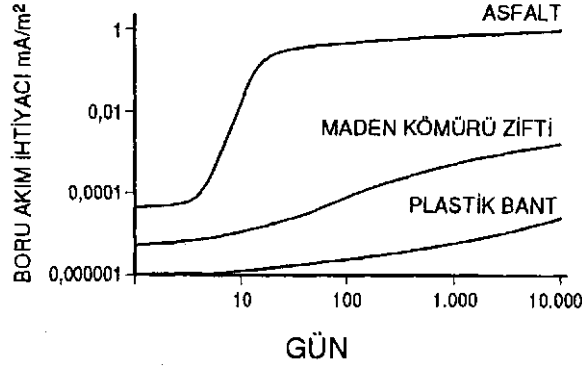
### 2.2.1.5 Akım İhtiyacının Belirlenmesi

Yeraltına konulan borular, zeminin koroziyon etkilerini azaltmak amacıyla kaplanmaktadır. Son zamanlarda borular epoksi tipi çift bileşenli boyalarla veya polietilen bantlarla kaplanmaktadır. Bu kaplamalar borunun akım ihtiyacını çok küçük değerlere düşürdüğü gibi, yeraltında uzun süre yıpranmadan kalmaktadır. Literatürde çeşitli kaplama cinslerine göre katodik koruma akım ihtiyacı değerleri alt ve üst sınırlar halinde verilmektedir (Çizelge 2.3). Çok geniş aralıklarla verilmiş olan bu değerlerin projelendirme sırasında kullanılmasında daima en kötü hallerin göz önüne alınması gerekir.

Çizelge 2.3 Kaplamalı boruların akım ihtiyacı

Kaplama Cinsi	Akım İhtiyacı (mA/m <sup>2</sup> )
Sıcak bitüm kaplama	0.5 – 2
Bitüm emdirilmiş tek katlı sargılı kaplama	0.2 – 0.5
Bitüm emdirilmiş tek kat cam elyaf sargılı kaplama	0.05 – 0.2
Bitüm emdirilmiş çift kat cam elyaf sargılı kaplama	0.005 – 0.5
Polietilen veya plastik kaplama	< 0.005

Çeşitli kaplama cinslerinin yeraltında kalmış oldukları süreye bağlı olarak, akım ihtiyacında meydana gelen değişme Şekil 2.13’de görülmektedir. Boru kaplama direnci, ortalama olarak 10 yıl sonunda onda bir değerine kadar düşer.



Şekil 2.13 Akım ihtiyacının zamanla değişimi

Yeraltına konulmuş olan boruların kaplama direncini deneysel olarak belirlemek mümkündür. Boruların kaplama direnci, 1 m<sup>2</sup> yüzey alanındaki bir boru parçasının  $\Omega$  cinsinden direnci olarak ifade edilir. Eğer bir boru parçasına dış akım uygulandığında, boru/zemin potansiyeli 1 V artarken borudan zemine 1 A akım geçerse, bu borunun kaplama direnci 1  $\Omega$ 'dur.

Katodik koruma akım ihtiyacı, zemin cinsine de bağlıdır. Çıplak çelik boruların değişik zemin cinsleri içindeki akım ihtiyacı değerleri de Çizelge 2.4’de görülmektedir.

Çizelge 2.4 Çıplak çelik boruların değişik zeminler içindeki akım ihtiyaçları (TS 5141)

Zemin Cinsi	Elektriksel Özgül Direnci ( $\Omega.cm$ )	Akım İhtiyacı ( $A/m^2$ )
Çok korozif	$\rho < 1000$	$20 < i$
Korozif	1000 - 3000	$5 < i < 20$
Orta korozif	3000 - 10000	$0.1 < i < 5$
Az korozif	$10000 < \rho$	$0.1 > i$

### 2.2.1.6 Sönümlenme Sabitinin Belirlenmesi

Bir boru hattına bir noktadan akım uygulayarak hangi uzunluktaki boru parçasının katodik olarak korunabileceğini belirlemek için borunun sönümlenme (attenuation) sabitinin belirlenmesi gerekir. Sönümlenme sabiti, borunun uzunluğuna direnci ile boru kaplamasının direncine bağlı bir sabittir. 1 m uzunluğundaki boru parçası için (2.4)'deki gibi tanımlanır.

$$a = \sqrt{\frac{r}{R}} \quad (2.4)$$

Burada, a sönümlenme sabiti ( $m^{-1}$ ), r 1 m uzunluğundaki borunun elektriksel direnci ( $\Omega/m$ ), R 1 m uzunluğundaki boru parçasının kaplamasının elektriksel direnci ( $\Omega.m$ )'dir.

Sönümlenme sabiti yardımıyla akım ihtiyacı (2.5) bağıntısı ile hesaplanabilir.

$$I_o = \frac{a}{r} \cdot \Delta E_x \cdot \text{Sinh}(ax) \quad (2.5)$$

Burada,  $\Delta E_x$  katodik koruma yapılmış boru parçasının öteki ucundaki potansiyel sapması (pratikte 0,4 V alınır), x bir uçtan katodik koruma uygulanan boru parçasının uzunluğu (m), a borunun sönümlenme sabiti ( $m^{-1}$ ), r boru metalinin uzunluğuna direnci ( $\Omega/m$ ),  $I_o(x)$  m uzunluğundaki boru parçasını katodik olarak koruyabilmek için uygulanması gereken akım şiddeti (A)'dir.

### 2.2.1.7 Çevre ile İlgili Etütler

Çevre ile ilgili yapılan etütler başlıca şu bilgileri kapsar.

Boru hattı boyunca bataklık, tuzlu su veya dere geçişlerinin tespiti; boru hattını kesen veya boru hattı yakınında bulunan bütün yabancı metalik yapıların durumu ve özellikleri; boru hattı yakınında yabancı bir anot yatağının bulunup bulunmadığı; boru hattı boyunca elektrik enerjisinin mevcut olduğu bölgelerin tespiti; boru hattı çevresinde zemin içine kaçak akım yayabilen doğru akım kaynaklarının bulunup bulunmadığı ve çevrede meskun mahal veya sulanan tarım arazisinin bulunup bulunmadığı.

## 2.2.2 Katodik Koruma Sisteminin Projelendirilmesi

Katodik korumanın amacı, korozyonu en ekonomik şekilde önlemektir. Projelendirme bu

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

Galvanik anotlu veya dış akım kaynaklı sistemden hangisi uygulanırsa uygulansın, katodik korumanın boru hattını korozyondan tam olarak koruyabilmesi için aşağıdaki kriterlerden en az birinin gerçekleşmesi zorunludur.

1. Boru hattının her noktasında, doygun bakır/bakırsülfat referans elektrotuna göre boru akım altında iken ölçülen boru/zemin potansiyeli (sistem potansiyeli)  $-850$  mV veya bundan daha negatif bir değere erişmiş olmalıdır.
2. Boru hattının her noktasında, boru/zemin potansiyelinde en az  $300$  mV'luk bir kayma meydana gelmiş olmalıdır. Herhangi bir noktadaki potansiyel kayması, o noktada akım altında ölçülen boru/zemin potansiyelinden, boruya hiç akım uygulanmadan önce ölçülmüş olan denge halindeki boru/zemin potansiyeli çıkarılarak bulunur.
3. Borunun her noktasında, polarizasyon potansiyelinde en az  $100$  mV'luk bir kayma meydana gelmiş olmalıdır. Polarizasyon kayması, akım uygulanmakta olan borunun potansiyeli ile, akım kesildikten hemen sonra okunan potansiyel arasındaki farktır.

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

### **2.2.2.1 Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma Sisteminin Projelendirilmesi**

Boru hattı ve çevresi üzerinde yapılan ön etütler tamamlandıktan sonra ekonomik ve teknik kriterler göz önüne alınarak aşağıdaki hususlar belirlenir.

1. Önce toplam akım ihtiyacı ve katodik koruma ömrü göz önüne alınarak galvanik anotlu veya dış akım kaynaklı katodik koruma sisteminden hangisinin ekonomik olacağı belirlenir. Akım ihtiyacı 0,5 A'den küçük olduğu zaman genellikle galvanik anotlu katodik koruma tesisleri daha ekonomiktir. Elektrik akımının mevcut olmadığı yerlerde de zorunlu olarak galvanik anotlu katodik koruma sistemi kullanılır. Ayrıca, katodik koruma ömrü çok kısa ise (2-3 yıl) galvanik anotlu katodik koruma daha ekonomiktir. Zemin elektrik özgül direncinin yüksek olduğu bölgelerde ise zorunlu olarak dış akım kaynaklı katodik koruma sistemi uygulanır.
2. Dış akım kaynaklı katodik koruma sisteminin uygulanması halinde, boru hattında bir noktadan korunabilecek maksimum mesafe belirlenir. Buna göre katodik koruma için gerekli olan minimum trafo/redresör ünitesi sayısı bulunur.
3. Tesis için gerekli toplam akım miktarı göz önüne alınarak her bir anot yatağından çekilecek akım şiddeti hesaplanır. Ekonomik açıdan trafo/redresör ünitesi çıkış voltajının 0-28 V arasında bulunması uygundur. Bu durumda, DC çıkış gerilimi maksimum 25 V alınabilir. Bu değerler yardımı ile katodik koruma sistemi için müsaade edilebilecek maksimum direnç belirlenmiş olur. Katodik koruma sisteminin toplam direnci (2.6) bağıntısı ile bulunabilir. Borunun ve kabloların dirençleri bilindiğine göre anot yatağı direnci bulunabilir.

$$R_t = R_{\text{anot}} + R_{\text{boru}} + R_{\text{kablo}} \quad (2.6)$$

4. Amaç, kullanılan anot sayısını mümkün olduğu kadar azaltarak maliyeti düşürmektir. Ancak en ekonomik çözüm daima en az anot ile elde edilemez. Bazen, anot sayısı gereğinden fazla arttırılıp, anot yatağı direnci azaltılarak sisteme uygulanacak doğru akım geriliminin düşürülmesi yoluna gidilir. Böylece, ilk tesis maliyetinde biraz artış olmakla beraber, sistemin işletme sırasında harcadığı akım maliyetinde azalma meydana gelir. Diğer taraftan anot yatağına uygulanan doğru akım geriliminin düşük oluşu, çevre yapılar üzerine enterferans etkisinin de azalmasına neden olur.

Anot yatağı, çevre metalik yapılardan uzak olmalıdır. Anot yatağı için boru hattından yaklaşık 100 m uzaklıkta boş bir arazi bulunmalıdır. Ancak burası da, dış elektrik akım kaynağına yakın bir yer olmalıdır. Anot yatağı, mümkün olduğunca düşük elektriksel özgül dirençli bir zemin içinde olmalı ve meteorolojik şartlardan fazla etkilenmemelidir. Anot yatağı için bu şartlara uygun yer bulunamaz ise, en az 15 m derinlikte derin kuyu anot yatağının



kullanılması gerekir. Derin kuyu anot yatağı, belli bir elektrolit ile temas halinde bulunan metal yapının dış yüzeyine katodik koruma uygulamak için, bir veya daha fazla anodun düşey olarak yer yüzeyinden 15 m veya daha derine yerleştirildiği alan olarak tanımlanabilir. Sığ anot yatağı ise yatay veya dikey olarak, anodun 15 m'den daha az derinliğe tatbik edildiği alandır. Anot yatağı tesisatı, birkaç amperden 100 ampere kadar geniş bir akım değerini sağlayabilmektedir. Bir anot yatağının ömrü sadece anodun harcanmasına ve dolgu malzemesine bağlı olmayıp, özellikle kabloların ve kablo-anot bağlantılarının ve aynı zamanda anot sisteminin güvenilirliğine de bağlıdır. Toprak elektrik özgül direnci verileri, anot yatağı direncinin değerlendirilmesi için anahtar parametrelerdir. Toprağın yüzey elektrik özgül direnci kolayca ölçülebilir ve buna bağlı olarak anot yatakları dizayn edilir. Derindeki toprak elektrik özgül direncinin kesin ölçüm değerini elde etmek çok zordur ve toprak elektrik özgül direncinin ölçümü kadar doğru ölçüm göstermez. Genel olarak anot yatağı derinliği, 15 m'den 200 m'ye kadar değişim gösterir. Yatay anot yatakları ise 1,5 - 2 m'lik sığ derinlikte tesis edilir.

İletken dolgular, akım yayılmasını kolaylaştırmak, anot ömrünü uzatmak, anot yatağının toplam direncini azaltmak için kullanılabilir. Metalurjik kok, iletken dolgu malzemesi olarak tavsiye edilir. Kokun, akım yoğunluğunun dolgunun toprağa gömülü yüzey alanına oranıyla bağıntılı tüketim oranı vardır.  $1 \text{ A/m}^2$ 'lik akım yoğunluğu için tüketim oranı yaklaşık  $1 \text{ kg/A.yıl}$ 'dir.

### **2.2.2.2 Galvanik Anotlu Katodik Koruma Sisteminin Projelendirilmesi**

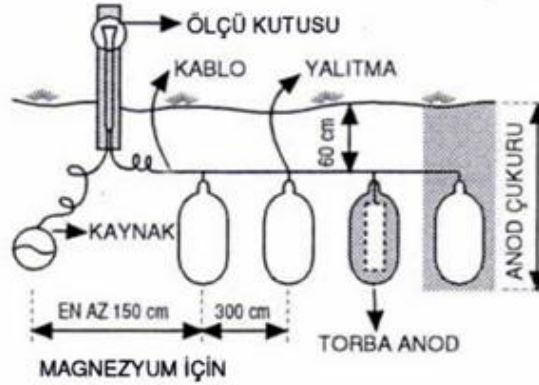
Akım ihtiyacı bilinen bir boru hattının galvanik anotla katodik olarak korunması oldukça basittir. Boruyu korumak için gerekli olan akım miktarı yeterli sayıda galvanik anot kullanılarak sağlanabilir. Projede önemli olan hangi cins anottan, hangi boyutta ve kaç adet kullanılacağı belirlenmesidir. Galvanik anotlar, akım üreterek iyon haline gelirler. Bu sebeple bu anotlara kurbanlık anot da denilebilir. Ancak, anot metalinin bir kısmı çevrenin etkisi ile doğrudan korozyona uğrayarak akım üretmeden iyon haline dönüşebilir. Anodun akım üreterek harcanan kütlelerinin, iyon haline geçen toplam anot kütlelerine oranı *verim* olarak tanımlanır.

Galvanik anotlar, direnci azaltmak ve polarizasyonu önlemek üzere özel olarak hazırlanmış bir anot yatağı dolgu maddesi içine konur. Böylece anottan çekilebilen akım şiddeti artar. Anot yatağı malzemesi kullanılmasının sağladığı diğer avantajlar ise, anot yatağı içinde

anodun daha üniform şekilde harcanması ve bunun sonucu olarak da anot kütlelerinin kullanılabilir yüzdesinin artması ile anot yatağının anot çevresini sürekli rutubetli ve düşük dirençli tutması sayılabilir. Galvanik anotlu katodik koruma sistemlerinin ömrü, galvanik anot ömrüne bağlıdır. Belli kütlede bir anodun ömrü (2.7) formülü ile hesaplanır.

$$\text{Anot ömrü (yıl)} = \frac{\text{Anot kütlesi(kg)} \times \text{Anot verimi} \times \text{Kullanma faktörü}}{\text{Akım şiddeti(A)} \times \text{Teorik akım kapasitesi(kg/A.yıl)}} \quad (2.7)$$

Galvanik anot verimi, 1 kg anot metalinden çekilen akım miktarının, teorik olarak verebileceği akım miktarına oranıdır. Bu değer projelendirme sırasında magnezyum anotlar için % 50, çinko ve alüminyum anotlar için % 90 olarak alınabilir. Anot ömrünün hesaplanmasında söz konusu olan kullanma faktörü, anot kütlelerinin kullanılabilen yüzdesini ifade eder. Bu değer genellikle % 85 alınır. Bunun anlamı, anot kütlelerinin % 15'i kalıncaya kadar anottan akım çekilebileceğidir. Galvanik anotlar boru hattı boyunca uygun aralıklarla dağıtılır. Anotların zemin elektriksel özgül direncin en düşük olduğu bölgelere konulması uygundur. Birden fazla anodun boruya bir noktadan bağlanması halinde anotlar önce paralel olarak bağlanır, daha sonra bir grup halinde boruya kaynak edilir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14 Grup anotların bağlantısı

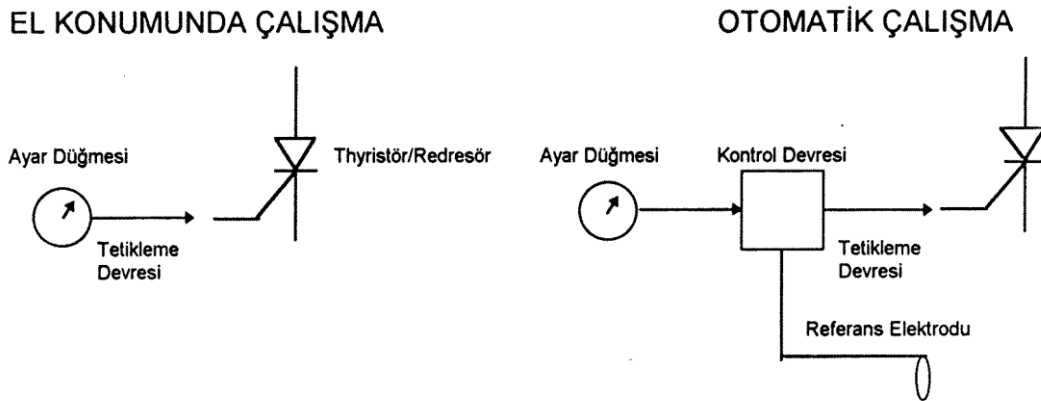
Anotların boruya bağlantısı termit kaynağı ile yapılır. Termit kaynak, katodik koruma sistemlerinin tesis edilmesi, bakımı ve onarımında sıkça kullanılan birleştirme metodudur. Termit kaynak metodu ile katot kablosu bağlantıları, ölçülü miktarda metal kaynak tozu ve özel tasarlanmış pota vasıtasıyla korunacak olan yapıya kaynaklanır. Uygulama öncesinde korunacak yapı üzerinde lokal olarak izolasyon kaldırılır, termit kaynak sonrasında borunun

izolasyonu açılmış olan bölgesi tekrar izole edilir. Anotları boruya bağlamak için en az 6 mm<sup>2</sup> kesitinde NYY tipi yeraltında dayanıklı olan kablolar kullanılır.

## 2.3 Katodik Koruma Sisteminin Elemanları

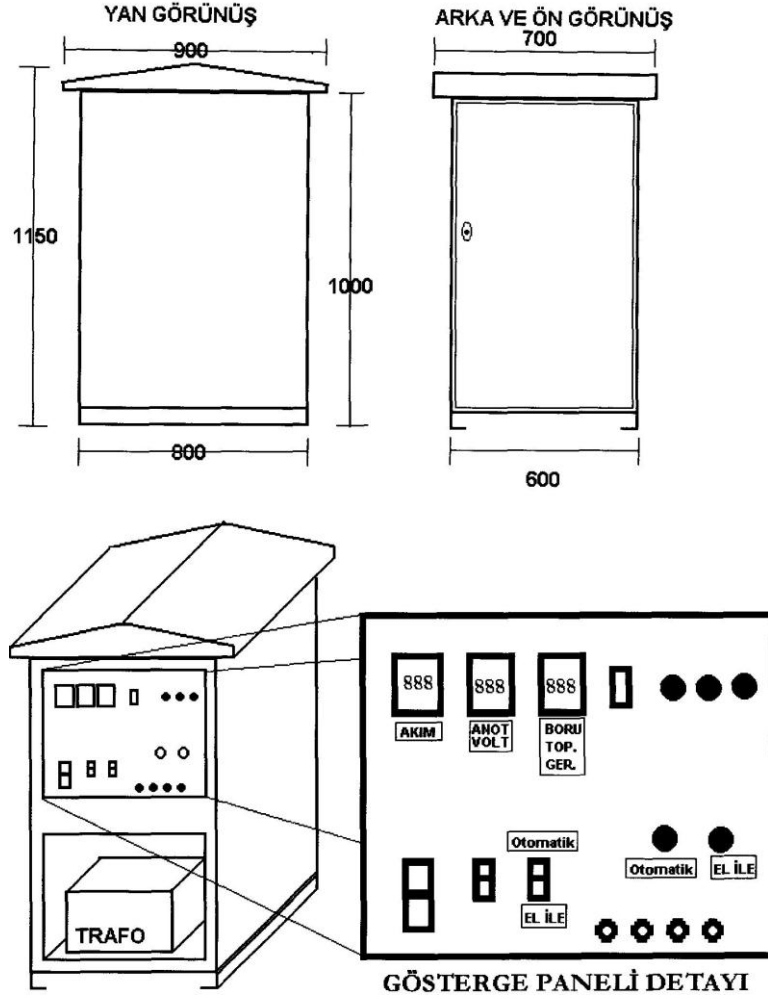
### 2.3.1 Trafo/Redresör Ünitesi

Dış akım kaynaklı katodik koruma sisteminde gerekli olan doğru akım, bir trafo/redresör ünitesinden elde edilir. Şebekeden alınan alternatif akım önce bir transformatörden geçirilerek potansiyeli istenilen seviyeye düşürülür. İstenilen seviyeye düşürülen bu akım, bir redresörden (doğrultucu) geçirilerek doğru akım haline dönüştürülür. Doğru akımın pozitif ucu anot yatağına, negatif ucu da korunacak olan boruya bağlanır. Katodik koruma redresörü, sürekli çalışabilir tipteki referans elektrotu ile birlikte katodik koruma uygulanan yapıda, referans elektrotu ile ölçülebilen referans gerilimini ayarlanan değerde sabit kalacak şekilde kontrol edebilen yağlı tip redresördür ve temel olarak doğal komütasyonlu tristörlüdür. Tristör tetikleme açısı değiştirilerek DC gerilim değeri değiştirilebilmektedir. EL ve OTOMATİK olmak üzere iki ayrı çalışma grubu seçilebilmektedir. EL konumunda çalışmada tristör tetikleme açısı, istenilen değere sabitlenir. Bu çalışma şeklinde DC gerilim değeri, tetikleme açısı ile birlikte AC gerilimindeki değişim ve DC akımındaki değişimden de etkilenmektedir ve DC gerilim değeri bu üç faktörün belirlediği değerdedir. OTOMATİK çalışmada ise tristör tetikleme açısı, kontrol devresi tarafından referans elektrotunda ölçülen referans gerilimini ayarlayan değerde sabit kalacak şekilde tespit edilir. Bu çalışmalar Şekil 2.15’de şematik olarak verilmiştir.



Şekil 2.15 Trafo/Redresör ünitesinde manuel ve otomatik çalışma

Trafo/Redresör ünitesi, harici ortamlarda kullanılabilir şekilde imal edilir. Ölçü aletleri, sigortalar, kontrol devresi, bağlantı terminalleri ile kazan termometresi ve silikajel (nem emici) kabinini ihtiva eden panel bölümü; güneş ve yağmur için siper; trafo, redresör ve filtre grubunu izolasyon yağı içinde muhafaza eden kazan bölümü olmak üzere üç parçadan meydana gelir. Şekil 2.16'da T/R ünitesi detay resmi görülmektedir.



Şekil 2.16 Trafo/Redresör ünitesi

### 2.3.2 Yardımcı Anotlar ve Galvanik Anotlar

Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinde yardımcı anot olarak çeşitli metaller kullanılabilir. Hatta eski borular, raylar, travers gibi hurda demir ve çelik malzemeler de yardımcı anot olarak kullanılabilir. Yardımcı anotta aranan başlıca özellikler, yüksek bir potansiyele gerek duyulmadan istenilen akımı verebilmesi ve yeterli süre parçalanmadan dayanabilmesidir. Yani, 1 A.yıl akım başına ağırlık kaybı mümkün olduğunca az olmalıdır.

Ayrıca, 1 cm<sup>2</sup> anot yüzeyinden çekilebilen akım miktarı da mümkün olduğunca yüksek olmalıdır. Zemin içinde kullanılan başlıca anot cinsleri ve özellikleri Çizelge 2.5’de verilmiştir.

Çizelge 2.5 Yardımcı anotların akım özellikleri (TS 5141)

Yardımcı anot cinsi	Zemin içinde çekilebilen max. akım yoğunluğu (mA/cm <sup>2</sup> )	1 A.yıl akım başına ağırlık kaybı (kg)
Demir-Silikon Anot	4	1
Grafit Anot	2	1
Alüminyum Anot	2	4
Gümüş-Kurşun Anot	2	Çok az
Hurda Çelik	0,5	9
Platinize Titanyum Anot	30	5.10 <sup>-6</sup>

Demir-silikon anotların bileşiminde % 14-15 oranında silisyum ve % 1-2 oranında karbon gibi elementler bulunur. Anot bileşiminde bulunan silisyum, oksitlenerek anot yüzeyinde sağlam bir silisyum oksit (SiO<sub>2</sub>) filmi meydana getirir. Anot yüzeyinin bu şekilde pasifleşmesi anodun daha uzun ömürlü olmasını sağlar. Demir silikon anotlarda kayıp A.yıl başına 1 kg civarındadır.

Platinize titanyum anotlar, titanyum metali üzerine 5-10 µm kalınlığında platin kaplanarak elde edilen ve 150-300 A/m<sup>2</sup> akım üretebilen yardımcı anotlardır. Bu anotların deniz suyu içerisinde bile kütle kayıpları çok azdır (5x10<sup>-6</sup> kg/A.yıl). Bu anotlar genellikle deniz suyu içerisinde daha verimlidir.

Karma metal oksit kaplı titanyum anotlar, titanyum üzerine iletkenliği çok yüksek metal oksitler kaplanarak elde edilen ve kütle kaybı yok denecek kadar az olan anotlardır. Anot yüzeyi polarize olmadığı için sürekli aktif halde kalır. Bu anotlar hem zemin içerisinde hem de deniz suyunda kullanılabilir. Asitlere karşı dayanıklıdır. Deniz suyu içerisinde 600

$A/m^2$  akım çekilebilmektedir. Anot yatağında karbon esaslı dolgu malzemesi ile çevrili anotlar için, tavsiye edilen maksimum akım yoğunluğu ise  $100 A/m^2$ 'dir. Tüp şeklinde olan karma metal oksit kaplı titanyum anotların et kalınlığı aralığı 0,9-1,1 mm ve tüp çapı da 16 mm veya 25,4 mm'dir. Çizelge 2.6'da toprakta kullanılan KMO kaplı titanyum anot çeşitleri verilmiştir.

Çizelge 2.6 Toprakta kullanılan KMO kaplı titanyum anot çeşitleri

Gösterim	Titanyum anot tüp boyutları çap(mm) x uzunluk(mm)	Maksimum akım çıkışı (A)
ST 2,5/50	25,4 x 500	4,00
ST 2,5/100	25,4 x 1000	8,00
ST 1,6/50	16 x 500	2,50
ST 1,6/100	16 x 1000	5,00

KMO kaplı titanyum anot bağlantıları için, 16 mm çaplı anotlarda maksimum DC akım taşıma kapasitesi 50A olan  $16mm^2$ 'lik EPR/CSPE16 kablosu; 25,4 mm çaplı anotlarda ise maksimum DC akım taşıma kapasitesi 150A olan  $50mm^2$ 'lik EPR/CSPE50 kablosu kullanılır (Şekil 2.17).



Şekil 2.17 EPR/CSPE kablo

Yeraltı yapılarında galvanik anot olarak genellikle magnezyum ve çinko anotlar, deniz içi yapılarda ise daha çok alüminyum anotlar kullanılmaktadır. Magnezyum, çinko ve alüminyum anotların elektrokimyasal özellikleri Çizelge 2.7'de görülmektedir.

Çizelge 2.7 Galvanik anotların elektrokimyasal özellikleri

<b>Anot Özelliği</b>	<b>Magnezyum(AZ63)</b>	<b>Çinko</b>	<b>Alüminyum</b>
Teorik Akım Kapasitesi	2200 A.h/kg	820 A.h/kg	2965 A.h/kg
Kütle Kaybı	3,94 kg/A.yıl	10,66 kg/A.yıl	3,15 kg/A.yıl
Anot Verimi, Max.%	50	90	90
Gerçek Akım Kapasitesi	1100 A.h/kg	738 A.h/kg	2670 A.h/kg
Kütle Kaybı	7,88 kg/A.yıl	11,84 kg/A.yıl	3,5 kg/A.yıl
Elektrot Potansiyeli, V (Cu/CuSO <sub>4</sub> 'e göre)	1,5	1,1	1,1
Çeliğe Karşı Devre Potansiyeli	700 mV	250 mV	250 mV
Yoğunluk, gr/cm <sup>3</sup>	1,74	1,74	2,7

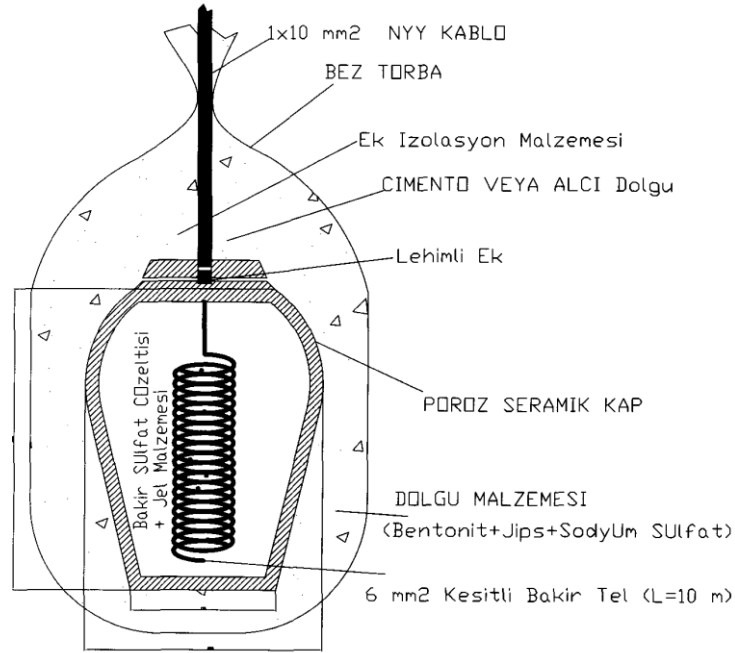
Zemin içindeki elektrot potansiyeli yüksek olduğu için, yeraltı yapılarının katodik korumasında genellikle magnezyum anot kullanılır. Pratikte, AZ63 standardındaki magnezyum ve yüksek potansiyelli magnezyum olmak üzere iki tip magnezyum anot kullanılmaktadır. Kütle verimleri diğer anotlara oranla oldukça düşüktür.

Alüminyum anotlar esas itibarıyla galvanik anot olarak kullanılırlar. Ancak ucuz, hafif oluşu ve korozyon ürünlerinin (alüminyum tuzları) içmesuyunu kirletmemesi nedeniyle su tanklarının dış akım kaynaklı katodik korumasında da yardımcı anot olarak tercih edilirler. Çinko anotlardan 3,3 kat daha fazla akım üretirler. Yüksek dirençli elektrolitlerde kullanılmazlar.

Yeraltı ve sualtı yapılarında galvanik anot olarak saf çinko kullanılabilir. Özellikle gemi balast tanklarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Deniz suyu gibi elektrik özgül direnci düşük olan elektrolit ortamlarda % 90 verimle akım üretebilirler.

### 2.3.3 Referans Elektrotu

Korunan metalin (katot) iyonik ortam içerisindeki potansiyel yüklemesini tespit etmek için göreceli olarak referans elektrot kullanılır. Çinko/çinkosülfat ( $Zn/ZnSO_4$ ), bakır/bakırsülfat ( $Cu/CuSO_4$ ) ve gümüş/gümüşklorür ( $Ag/AgCl$ ) tipli olmak üzere en çok kullanılan 3 tip referans elektrot vardır. Referans elektrotları ile ilgili tarifler ve özellikler TS 4363 standardı ile belirlenmiştir. Çinko tipli referans elektrot, çeliğin korozyonuna sebep olması ve boya filminde fazla potansiyel gerilmesi oluşturması sebebiyle kullanılması mahsurludur.  $Ag/AgCl$  tipli elektrot, daha çok deniz suyunun kirlilik faktörlerinden etkilenmemesi ve  $AgCl$ 'nin çözünmemesi sebebiyle deniz suyundaki ölçümler için kullanılır.  $Cu/CuSO_4$  referans elektrotu ise toprak altı yapıların ölçülmesinde sık kullanılan, doymuş bakır sülfat çözeltisi içine saf bakır metal daldırarak yapılan elektrottur. Doymuş  $Cu/CuSO_4$  referans elektrotunun standart hidrojen elektrotuna karşı potansiyeli  $-316$  mV'dur. Şekil 2.18'de  $Cu/CuSO_4$  referans elektrotu görülmektedir.



Şekil 2.18  $Cu/CuSO_4$  referans elektrotu

Boru hatlarında, boru zemin potansiyelini ölçmek amacıyla iki tip  $Cu/CuSO_4$  referans elektrot kullanılmaktadır. Birincisi trafo/redresör ünitesine bağlı sabit tip referans elektrot, ikincisi ise ölçü kutularından okuma yapmak için kullanılan seyyar tip referans elektrottur. Arazinin



toprak olduğu yerlerde sabit tip referans elektrot yerine seyyar tip referans elektrotun kullanımını daha ekonomik ve pratiktir.

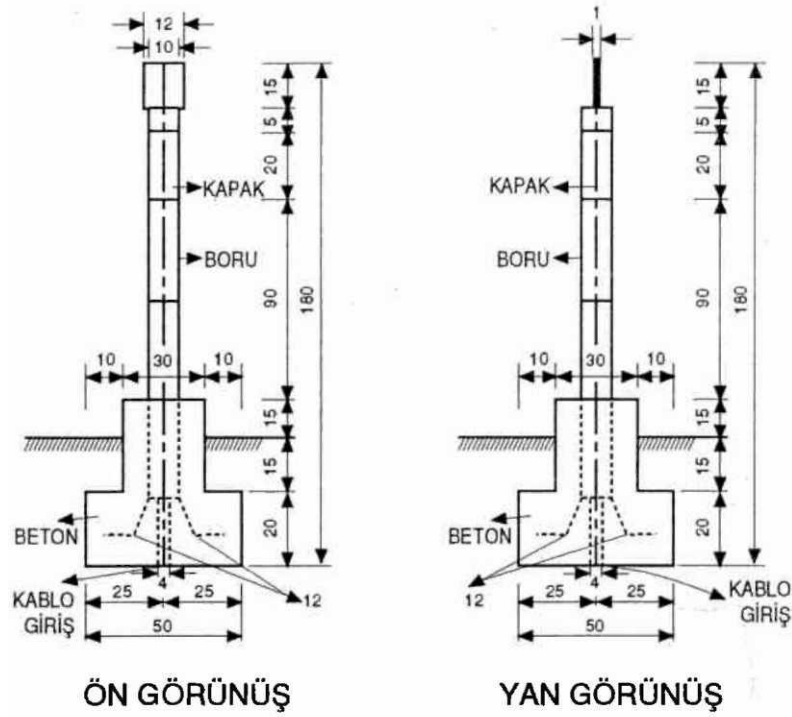
Kullanılacak referans elektrotundan beklenen özellikler şöyle sıralanabilir. Referans elektrot, devreden akım geçtiği zaman elektrottaki omik gerilim azalmasından dolayı ortaya çıkan hataları düzeltmek için en az iç dirence sahip olmalıdır. Ayrıca, ortam şartlarında kararlı olmalı ve bilinen referans potansiyeline hızlı ve tersinir olarak ulaşmalıdır. Referans elektrotlar, anotlara 15-20 m uzaklığa monte edilirler.

### **2.3.4 Ölçü Kutuları**

Katodik koruma sisteminin etkili şekilde çalışıp çalışmadığının kontrol edilebilmesi için, boru hattı boyunca uygun aralıklarla ve bazı kritik bölgelere ölçü kutuları konur. Ölçü kutusu konulmasının gerekli olduğu noktalar şunlardır:

1. Galvanik anotların bağlantı noktalarına
2. Kaçak akım için önlem alınan noktalara
3. Akarsu ve dere geçitlerine
4. Boru hattının muhafaza borusu içine alındığı bölgenin her iki yanına
5. Borunun izole flanş ile yalıtılmış olduğu noktalara
6. Yardımcı anotların bulunduğu anot yatağı üzerine

Borulu tip ölçü istasyonu Şekil 2.19'da görülmektedir.



Şekil 2.19 Borulu tip ölçü istasyonu (TS 5141)

#### 2.4 Katodik Koruma Sisteminin İşletme ve Bakım Esasları

Katodik koruma devresine, trafo/redresör ünitesinin en küçük potansiyel kademesinden akım uygulanır. Yapı, bu akım altında iken kapalı devre boru zemin potansiyeli ölçülür. Boru hattı boyunca bütün ölçü istasyonlarındaki boru/zemin potansiyel değerleri  $-850$  mV'dan daha negatif değere ulaşmaya kadar boruya uygulanan akım artırılır. Kaplamalı boruya akımın uygulanmış olduğu noktada boru/zemin potansiyeli  $-1,5$  V değerini aşmamalıdır. Katodik koruma sistemlerine gereğinden az akım ve potansiyel uygulanması halinde yapı tam olarak korunamaz. Akım ve potansiyelin gereğinden fazla uygulanması halinde ise hem gereksiz enerji kaybı, hem de kaplamada soyulma gibi sakıncalar ortaya çıkar.

Katodik koruma sistemleri işletmeye alındıktan sonra periyodik olarak kontrol edilmeli ve yapılan ölçümler değerlendirilerek gerekli görülen ayarlamalar yapılmalıdır. Ölçüm ve kontroller, dış akım kaynaklı katodik koruma sistemleri işletmeye alındıkları ilk ay içinde haftada bir, ilk üç ay içinde onbeş günde bir, daha sonraki günlerde ayda bir kontrol edilmelidir. Başlangıç evresindeki bu kontroller, sistemin akım ve potansiyel ayarı için gereklidir. Sistem en çok ilk üç ay içinde kararlı hale getirilir. Bir yıldan sonra periyodik

kontroller üç ayda bir yapılabilir. Ancak kontrollerin daha sık aralıklarla yapılması sistemin uzun süre devre dışı kalmasını önlemek ve arızanın sebebini daha kolay belirlemek bakımından yararlıdır. Periyodik kontrollerde, boru hattı boyunca boru/zemin potansiyeli ölçümleri yapılır. İzole flanş dirençleri ölçülür. Redresör ünitesinden sisteme uygulanan doğru akım şiddeti ve çıkış potansiyeli kaydedilir. Mevsim nedeniyle akım ihtiyacında azalma veya artma varsa, redresör ünitesinde gerekli ayarlamalar yapılır. Wattmetreden sisteme giren enerji miktarı kWh olarak okunur. Ayrıca yılda bir kere redresör ünitesinin bakımı yapılarak verimi (2.8) bağıntısına göre kontrol edilir.

$$\% \text{ Verim} = \frac{\text{DC Güç (çıkış)}}{\text{AC Güç (giriş)}} \cdot 100 \quad (2.8)$$

Redresörden çekilen DC güç, paneldeki voltmetre ile ampermetreden okunan değerlerin çarpımı ile bulunur. Redresör sistemine giren AC güç ise wattmetre yardımıyla (2.9) bağıntısı ile hesaplanır.

$$\text{Güç (W)} = \frac{3600 \cdot N \cdot k}{t} \quad (2.9)$$

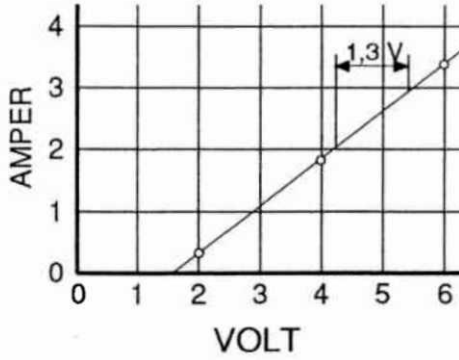
Burada, N aletin diskinin dönme sayısı, k aletin kapağında yazılı olan katsayı, t saniye olarak dönme sayısının ölçüldüğü süredir. Redresör ünitesinin verimi %50-60 arasındadır. Bu değer zamanla azalır. %25'in altına düşmesi halinde redresör ünitesinin değiştirilmesi gerekir.

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

1. Redresör ünitesinden normal potansiyel düzeyinde yeterli akım çekiliyorsa bu durumda arıza boru hattı ile ilgilidir ve şu sebeplerden ileri gelebilir.
  - i. İzole flanşlardan herhangi biri görevini yapmamaktadır. (İzole flanş, boru hatlarında istenmeyen elektrik akışını durduran, katodik koruma akımının boru hattının istenen bölümünde kalmasını sağlayan elemandır.)
  - ii. Boru hattına bir ilâve yapılarak akım ihtiyacı artırılmıştır.
  - iii. Çevre metalik yapılara kaçak akımlar söz konusudur.
  - iv. Bu hususlardan hiçbiri mevcut değilse, boru kaplamasının eskime ve bozulması nedeniyle akım ihtiyacının artmış olduğuna karar verilir.

2. Redresör ünitesinden fazla akım çekilmesine rağmen potansiyel normal kalmış ise, bu durumda da arıza büyük bir ihtimalle boru hattındadır. Başlıca sebep, çevre yapılarından boruya giren kaçak akımlar olabilir.

3. Redresör ünitesinden çekilen DC gerilim normal veya yüksek olduğu halde akım şiddeti düşük ise, bu durumda arıza anot yatağında olabilir. Anot yatağında bazı anotların kablo kopukluğu nedeniyle devre dışı kalması veya anot yatağının kuruması sonucu direncinin artması düşünülebilir. Anot yatağı direnci şöyle ölçülür. Anot yatağına redresör ünitesinden belli potansiyelerde akım uygulanır. Her bir potansiyele karşı gelen akım şiddeti ölçülür. Amper-Volt değerleri grafiğe geçirilir (Şekil 2.20). Elde edilen doğrunun eğimi  $\Omega$  cinsinden anot yatağı direncini verir. Grafikte akımın sıfır olduğu noktadaki 1,7 V'luk potansiyel değeri, boru ile anot yatağı arasındaki galvanik potansiyel farkıdır.



Şekil 2.20 Anot yatağı direncinin ölçülmesi

Galvanik anotlu katodik koruma sisteminin işletmeye alınması sırasında, kapalı devre boru/zemin potansiyeli ölçümü yapılır. Bu değer -850 mV değerinden daha negatif olmalıdır. Boru, sülfat indirgeyen redükleyici bakterilerin bulunduğu bölgelerden geçiyor ise kapalı devre boru/zemin potansiyeli -950 mV değerinden daha negatif olmalıdır. Ayrıca, sistemin işletmeye alınması sırasında anottan çekilen akım şiddeti de ölçülür. Sistemin kontrolü ile ilgili olan bu ölçüm, sistemin koruyucu gerilim seviyesinde yeterli akım ihtiyacını, anot ömrünü ve polarizasyon durumlarını tespit eder. Galvanik anotlu katodik koruma sistemlerinin kontrol ve bakımı, dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerine göre daha kolaydır. Bu sistemde, kazı veya inşaat nedeniyle anot bağlantıları kopmamış ise, başka yollarla arızanın meydana gelme olasılığı çok azdır. Buna rağmen yine de üç ayda bir periyodik kontrollerinin yapılması gerekir. Bu kontrollerde anot, boruya bağlı iken boru/zemin potansiyeli, açık devre boru/zemin potansiyeli, açık devre anot/zemin potansiyeli,

anottan çekilen akım şiddeti ve anodun bulunmadığı noktalardaki ölçü kutularından boru/zemin potansiyelleri ölçülür.

Galvanik anotlu katodik koruma sisteminde boru/zemin potansiyelleri yeterli düzeyde ise, anotlarda herhangi bir arıza söz konusu değildir. Belli bir noktada boru/zemin potansiyeli koruma seviyesinden daha düşük bulunmuşsa, o bölgedeki anottan çekilen akım miktarına bakılır. Eğer anot hiç akım vermiyorsa, kablonun kopmuş olduğu anlaşılır. Bu durumda boru/zemin ve anot/zemin potansiyellerine bakılarak kablonun hangi yönde kopmuş olduğu belirlenir.

Eğer anottan çekilen akım beklenenden daha az ise bu durumda şu ihtimaller söz konusudur:

- i. Anot yatağı kuruyarak direnci artırmıştır.
  - ii. Anotlardan biri veya birkaçı devre dışı kalmıştır.
  - iii. Anottan öngörülenden fazla akım çekilmesi sonucu anot ömrü vaktinden önce dolmuştur.
- Galvanik anotlar akım verdikçe kütlelerinden kaybederler ve anot kütlesi tamamen bitinceye kadar kullanılamazlar. Anot kütlesi % 15'inin altına düşünce artık gerekli akımı sağlayamaz. Bir galvanik anodun ömrü, anodun kütlesine ve anottan çekilen akım şiddetine bağlıdır ve (2.7) ifadesi ile hesaplanır.

## **2.5 Kaçak Akımlara ve Enterferans Etkisine Karşı Alınan Önlemler**

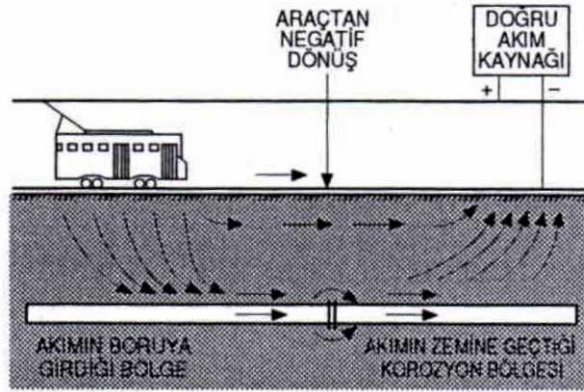
### **2.5.1 Kaçak Akımlara Karşı Alınan Önlemler**

Korozyona karşı elektroliz ile koruma, çıkış akımının drenaj denilen bir geçirgenden gönderilmesi ile yapılır. Yani akım drenajı, boru hattı ile kaçak akımların kaynağı arasındaki elektriksel bağlantıdır. Bu bağlantı, akımın her zaman borudan kaçak akım kaynağına doğru geçeceği şekilde polarize edilmelidir. Tersinin olması durumunda diğer noktalara akım gider ve borularda korozyon başlar.

Şekil 2.21'de görüldüğü üzere raylı sisteme havai hat vasıtasıyla tatbik edilen doğru akım enerjisinin pozitif kutbu besleme noktasından itibaren tramvay tahrik motorları bünyesinden geçerek ray üzerinden tekrar besleme başlangıç noktasına dönmektedir. Raylar üzerinden besleme noktasına geri dönen doğru akımın bir kısmı ise toprak içine geçerek ray yakınında bulunan boru hattı bünyesine girer ve iletken olan boru üzerinden iletilerek, ray sistemi besleme noktasına yakın noktalarda boruyu terk eder. Bu kaçak akımların boru bünyesine

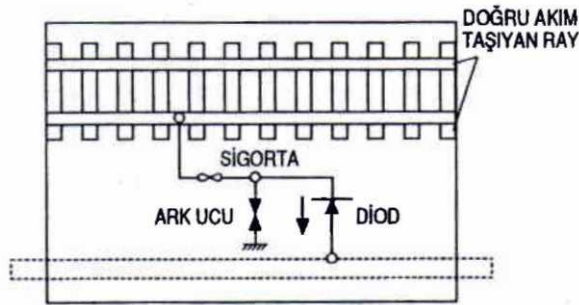
giriş ve çıkış durumlarında boru hattı güzergahı boyunca 3 ayrı bölge oluşur.

- i. Anodik Bölge : Raylı sisteme ait doğru akım besleme istasyonu yakınında boruya giren kaçak akımın boruyu terk ettiği ve borunun korozyona uğradığı bölgedir.
- ii. Anodik veya Katodik Bölge : Anodik bölgenin hemen arkasında bir bölgedir. Burada, kaçak akımlar tramvayın bulunduğu noktaya göre ya boruyu terk etmekte ya da boru hattı bünyesine girmektedir.
- iii. Katodik Bölge : Raylı sistemin sonuna doğru olan bölgedir. Burada, kaçak akımlar tamamen boru bünyesine gireceğinden bu noktadaki kaçak akımlar boru hattını katodik olarak korurlar.



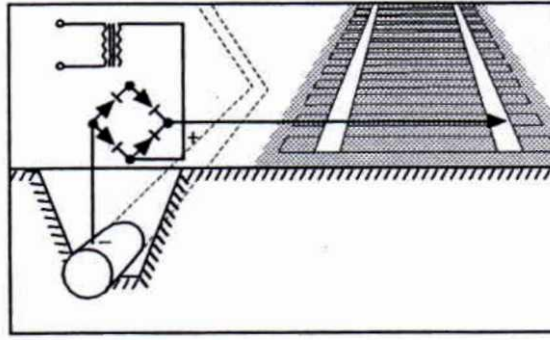
Şekil 2.21 Doğru akımla çalışan raylı taşıma sistemlerinin boru hattına etkisi

Kaçak akımların neden olduğu enterferansı önlemek için raylı sistem ile boru hattı arasında Şekil 2.22'deki gibi bir diyotlu polarize drenaj sistemi monte edilir. Böylece, boru bünyesindeki kaçak akımlar boru üzerinden toprak bünyesine geçemez ve dolayısıyla da boru hattında herhangi bir korozyon oluşmaz.



Şekil 2.22 Boru hattı ile ray arasında diyot yerleştirilmesi

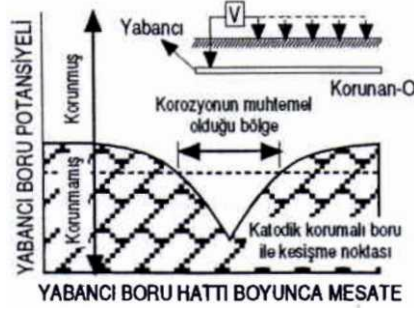
Ancak, boru hattındaki bütün kaçak akım diyot üzerinden döndürülemez. Böyle durumlarda yabancı akım kaynağının meydana getirdiği kaçak akım dönüş devreleri için, tesis edilen dış akım kaynaklı drenaj sistemleri katodik koruma sistemiyle boru hattının korunmasının devamlılığını sağlamak yönünden en etkili çözümdür. Bu amaçla dış akım kaynaklı drenaj sistemleri Şekil 2.23'deki gibi negatif ucu kaçak akım dönüş hattına yani boruya, pozitif ucu ise kaçak akıma neden olan raylı sistemin geri dönüş hattına yani raya irtibatlanır. Böylece boru hattı, kaçak akım alanında dış akım kaynaklı drenaj sistemleri ile her an katodik olarak korunur.



Şekil 2.23 Boru hattı ile ray arasında doğruyu ünite yerleştirilmesi

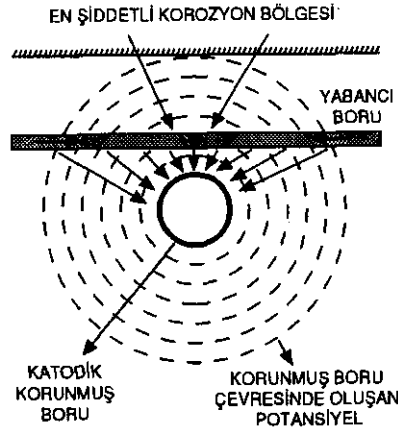
### 2.5.2 Kesişen Yeraltı Çelik Borularda Alınan Önlemler

Katodik koruma yapılmış bir boru hattı, kesiştiği yabancı bir boru hattı üzerinde katodik etki yapar. Bu durumda, boru hattının kesiştiği bölgede yabancı borudan katodik koruma yapılmış olan boruya akım geçer ve yabancı boru bu bölgede korozyona uğrar. Bu akımlar, özellikle zayıf kaplamalı borulara girerek boru hattı üzerinde anodik bölgelere doğru akarlar ve çevre/zemin potansiyelinin en düşük olduğu bölgelerden boruyu terk ederler. Akımın boruyu terk ettiği bölgeler anot olarak korozyona uğrar. Şekil 2.24'den görüldüğü üzere iki hattın kesiştiği noktada anodik bir bölge oluşmaktadır.



Şekil 2.24 Enterferansa maruz kalan boru hattının potansiyel değişimi

Katodik koruma yapılmış boru hattının, katodik koruma yapılmış yabancı bir boru hattı ile paralel gitmesi veya kesişmesi durumundaki enterferans etkisi Şekil 2.25’de görülmektedir.



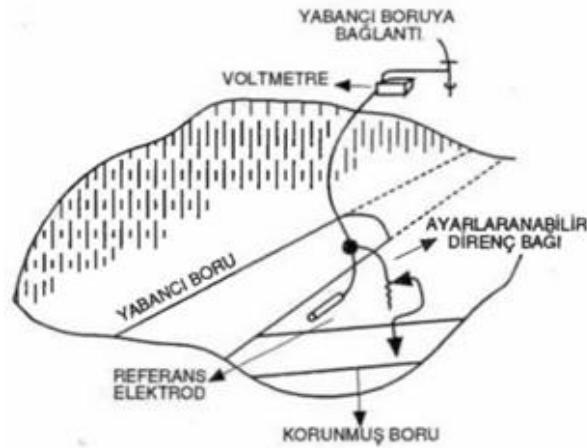
Şekil 2.25 Paralel veya kesişen iki borunun enterferans etkisi

Boru hattının, katodik koruma yapılmış yabancı bir boru hattı ile kesişmesi sonucu oluşan kaçak akımların etkisi, aşağıdaki önlemlerden biri ile giderilebilir :

- i. Boru hatlarının kesiştiği noktada iki boru arasına metalik bir bağ konur. Böylece zeminden geçerek korozyona neden olan akım, metalik bağ ile taşınmak suretiyle korozyon oluşturmadan devresini tamamlamış olur. Ancak, bu bağdan fazla miktarda akım çekilmesi halinde katodik koruma sisteminin akım ihtiyacı artar ve koruma yapılmış olan boru hattında potansiyel düşmesi görülür. Bunu önlemek üzere iki boru arasına konulmuş olan metalik bağa yeterli büyüklükte bir direnç takılır. Bu işlem sonunda enterferans etkisinin gerçekten giderilmiş olduğunun belirlenmesi için şu deney yapılır. Kesişme noktası kazılarak iki boru arasına bir referans elektrot yerleştirilir. Başlangıçta direnç en yüksek halde tutulur. Katodik

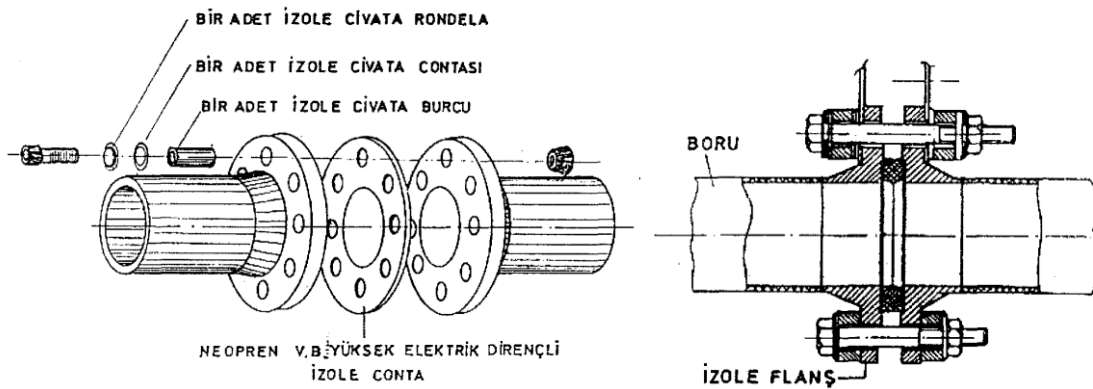


korumalı boru hattı, akım altında iken yabancı borunun potansiyeli ölçülür. Katodik koruma devresinden akım kesilerek ölçüm yeniden yapılır. Bağ direnci yüksek ise, katodik koruma sistemi on ve off halinde iken ölçülen potansiyel değerleri arasında büyük fark görülür. Bağ direnci azaltılarak bu işleme devam edilir. Katodik koruma devresine akım verildiği zaman yabancı boru potansiyelinde hiçbir değişme olmayıncaya kadar direncin azaltılmasına devam edilir. Bu direnç, her iki boru arasında enterferans etkisini önleyen minimum miktarda akım geçmesini sağlar (Şekil 2.26).

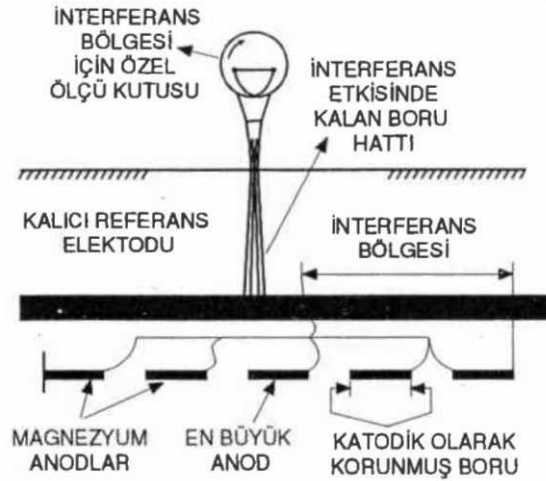


Şekil 2.26 Metalik bağ direncinin belirlenmesi

ii. Kaçak akım etkisinde kalan borunun bu bölgesi, her iki uçtan yapılan izole flanşlar ile diğer bölgelerden ayrılır (Şekil 2.27). Bu bölgeye galvanik anotlarla ayrıca katodik koruma uygulanır (Şekil 2.28).



Şekil 2.27 İzole flanş detayı



Şekil 2.28 Galvanik anot kullanılarak enterferans etkisinin giderilmesi

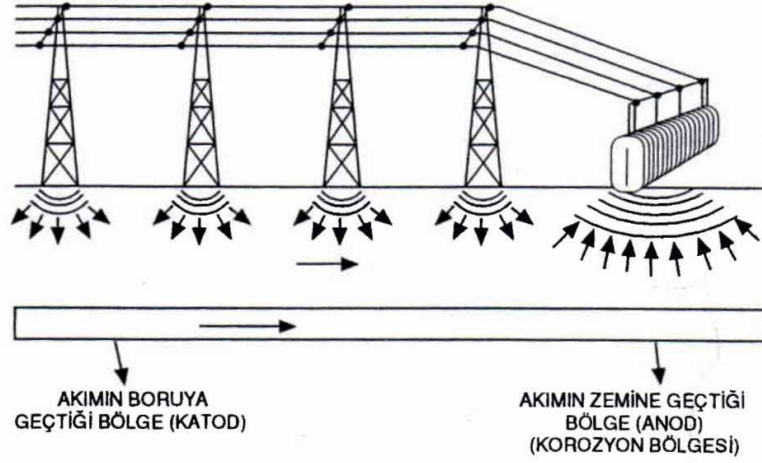
iii. Enterferans etkisi sonucu yabancı borudan zemine geçen akım miktarını azaltmak üzere, kesişme bölgesinde yabancı boru kaliteli bir şekilde kaplanır. Yapılmış olan kaplamanın ne derece etkili olduğunu belirlemek üzere, boru hattı üzerinde potansiyel ölçümleri yapılarak kesişme noktasındaki potansiyel düşüşü kontrol edilir (Şekil 2.29).



Şekil 2.29 Enterferans etkisinin kaplama yapılarak önlenmesi

### 2.5.3 E.N.H.'larının Enterferans Etkisine Karşı Alınan Önlemler

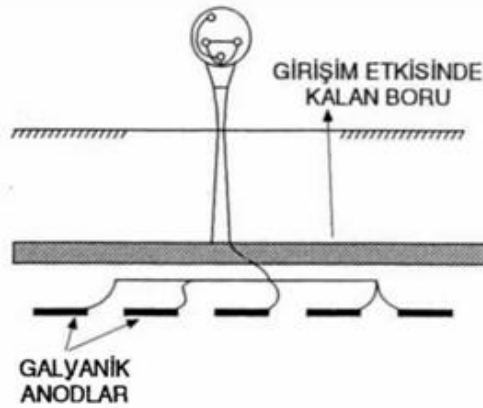
Şekil 2.30'da yüksek gerilimli enerji nakil hatlarının boru hattı üzerindeki enterferans etkisi görülmektedir.



Şekil 2.30 Enerji nakil hattının enterferans etkisi

Bu etkiye karşı alınabilecek önlemler şöyledir :

- i. Yüksek gerilimli enerji nakil hattı ile boru arasında galvanik anotlar konularak, bu bölgede yapılacak ilave katodik koruma ile enterferans etkisi giderilebilir (Şekil 2.31).



Şekil 2.31 Galvanik anotlarla yapılan ilave koruma

- ii. Yüksek gerilimli enerji nakil hattı ile boru arasında koruyucu metalik kalkan konularak enterferans etkisi giderilebilir (Şekil 2.32). (Çizmecioğlu, 1998)



Şekil 2.32 Metalik kalkan ile koruma

## **2.6 İSKİ Katodik Koruma Uygulamaları**

06.02.2003 tarih ve 2003/072 sayılı İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) Genel Müdürlüğü Yönetim Kurulu Kararı ile kurulan Baraj İşletmeleri ve Katodik Koruma Şube Müdürlüğü tarafından İstanbul, Adapazarı ve Kırklareli il sınırları dahilinde bulunan temiz su çelik boru isale hatları ile atıksu arıtma tesisleri dahili sistemleri ve deniz deşarj hatlarının katodik koruma sistemlerinin projelendirilmesi, işletilmesi ve bakımları yapılmaktadır.

İSKİ bünyesinde ilk katodik koruma uygulaması 1978 yılında Salacak-Sarayburnu boğaz geçişinde 2x1000m uzunluğunda 1000mm çapındaki Sarayburnu-Bahçelievler isale hattında yapılmıştır. Daha sonra kademeli olarak bütün çelik boru isale hatlarında, atıksu arıtma tesisleri ve deniz deşarjlarının katodik korumaları yapılmaya başlanmıştır. 2009 yılı Kasım ayı itibariyle işletmede olan katodik koruma T/R ünitesi toplam 350 adettir. Katodik koruma sistemleri, 60V 50A T/R ünitesi ve anot yataklarından oluşmaktadır. Ortalama 2.9 km'de bir katodik koruma ünitesi ve birer km aralıktaki ölçü kutuları ile Asya ve Avrupa bölgelerinde iki teknik ekip tarafından periyodik olarak kontroller yapılmakta, gerekli ölçümler alınmakta ve arızalar anında giderilmektedir. Katodik koruma uygulanan hatların tamamında katodik koruma kriteri sağlanmaktadır.

### **2.6.1 Temiz Su Çelik Boru İsale Hatlarında Katodik Koruma**

2000-2007 yılları arasında İSKİ tarafından katodik koruması yapılmış 200-3000 mm arası çaplardaki çelik boru isale hatlarının uzunluk ve alanları Çizelge 2.8'de verilmiştir.

Çizelge 2.8 Katodik koruma yapılmış boru hattı uzunluğu ve alanları

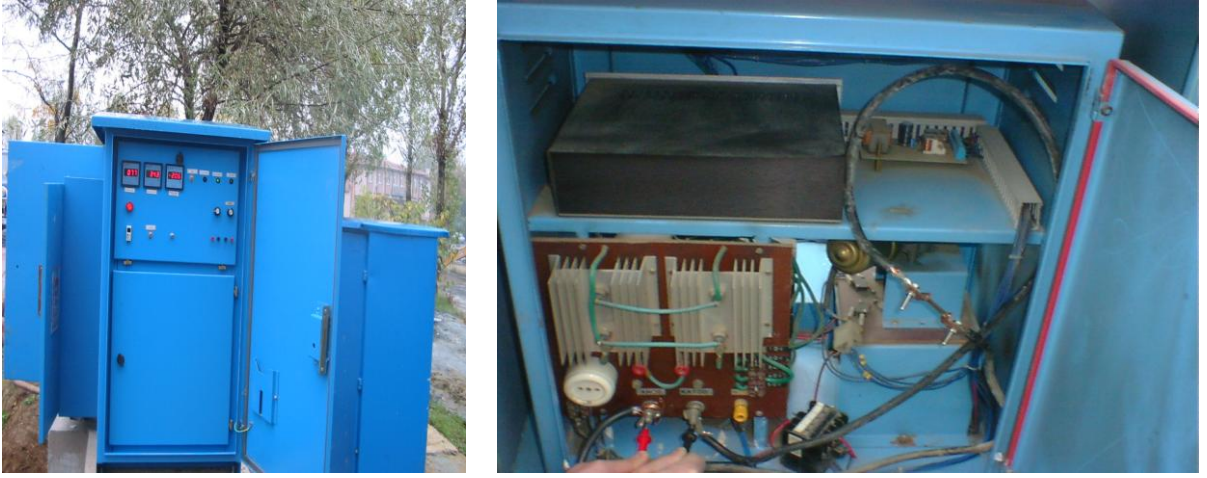
		ASYA YAKASI	AVRUPA YAKASI	TOPLAM
2000	UZUNLUK	250.121	432.984	683.105
	ALAN	945.479	1.799.722	2.745.201
2001	UZUNLUK	252.123	447.791	699.914
	ALAN	945.479	1.883.503	2.828.982
2002	UZUNLUK	284.254	473.325	757.579
	ALAN	1.077.252	1.971.651	3.048.904
2003	UZUNLUK	315.904	484.364	800.268
	ALAN	1.234.315	1.999.798	3.234.113
2004	UZUNLUK	311.804	513.936	825.740
	ALAN	1.226.515	2.086.170	3.312.685
2005	UZUNLUK	375.291	617.856	993.147
	ALAN	1.753.203	2.396.045	4.149.245
2006	UZUNLUK	376.151	626.158	1.002.309
	ALAN	1.758.063	2.403.698	4.178.870
2007	UZUNLUK	376.151	632.834	1.008.985
	ALAN	1.758.073	2.432.620	4.190.693

2009 yılı Ağustos ayı itibariyle katodik koruması yapılan çelik isale hatlarının toplam uzunluk ve alanları Çizelge 2.9'da verilmiştir.

Çizelge 2.9 Katodik koruma yapılmış boru hattı uzunluğu ve alanları

	İSALE HATTININ			
	UZUNLUĞU (m)	GENEL TOPLAM (m)	ALAN TOPLAMI (m <sup>2</sup> )	GENEL TOPLAM (m <sup>2</sup> )
<b>AVRUPA YAKASI</b>	724.067	1.245.602	2.694.742	5.433.764
<b>ASYA YAKASI</b>	521.535		2.739.022	

Dış akım kaynaklı usulle katodik koruması yapılan çelik boru hattı uzunluğu 1.178.355 m ve toplam alanı 4.907.413 m<sup>2</sup>'dir. Bu sistemde karma metal oksit kaplı titanyum anotlar kullanılmaktadır. Galvanik anotlu (magnezyum) usulle katodik koruması yapılan çelik boru hattı uzunluğu ise 67.247 m ve toplam alanı 526.351 m<sup>2</sup>'dir. İSKİ tesisleri dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinde kullanılan T/R ünitesi dış ve iç görüntüsü ve kullanılan karma metal oksit kaplı titanyum anotların derin kuyu anot yatağına indirilmesi Şekil 2.33 ve Şekil 2.34'de verilmiştir.



Şekil 2.33 T/R ünitesi dış ve iç görünüm



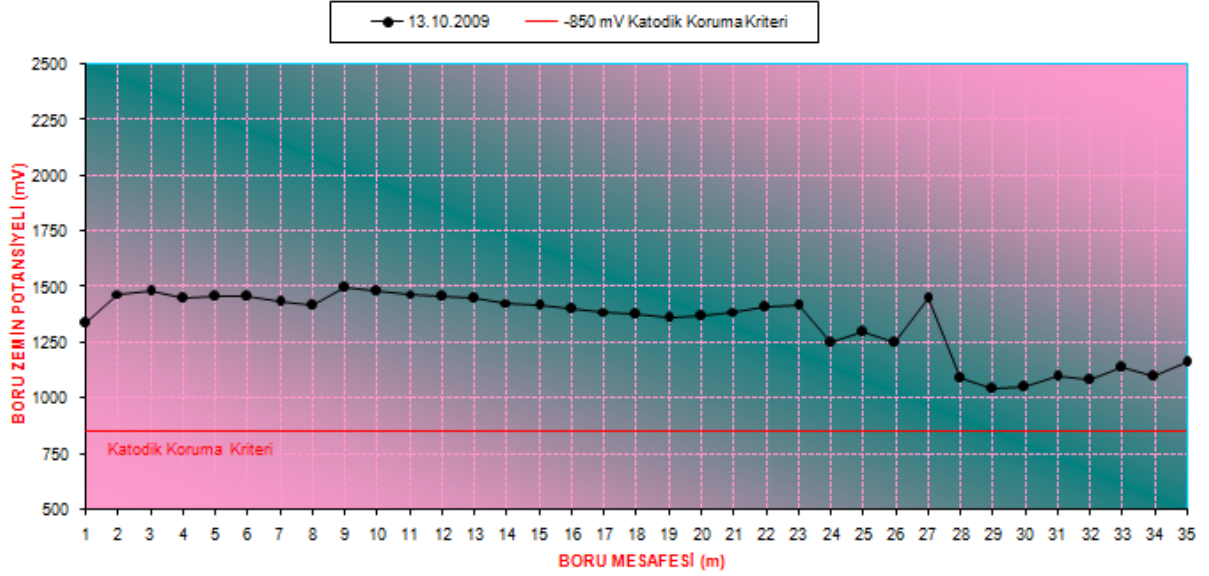
Şekil 2.34 KMO kaplı Ti anotların yerleştirilmesi

Avrupa ve Asya yakalarındaki bazı büyük çelik isale hatlarının özellikleri Çizelge 2.10 ve Çizelge 2.11'de verilmiştir.

Çizelge 2.10 Bazı Avrupa yakası isale hatlarının özellikleri

	ÇAP (mm)	UZUNLUK (m)	ALAN (m <sup>2</sup> )	KAPLAMA CİNSİ	ZEMİN REZ. (Ω.cm)	ARALIK 2009 AKIM YOĞ. (mA/m <sup>2</sup> )
B.Çekmece-Mimarsinan-Silivri	Muhtelif	160932	351529	Bitüm, PE	2200	0,28
Terkos-FSM	Muhtelif	38225	252296	Bitüm	2120	0,39
Terkos-Kağıthane-Açıkkanal	2200	47318	309666	Bitüm	1230	0,21
Pabuçdere-Panayırdere	2200	6900	47665	Bitüm	3650	0,03

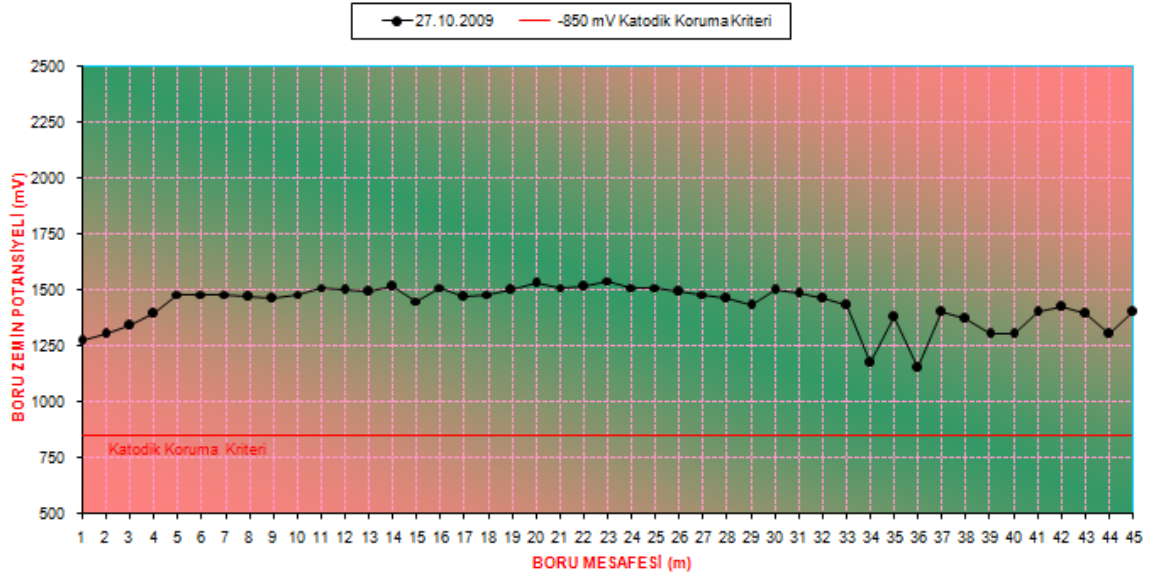
## TERKOS KAĞITHANE ÇELİK BORU İSALE HATTI BORU/ZEMİN POTANSİYELİ GRAFİĞİ



BORU HATTININ BOYU : 41.418 m  
 KATODİK KORUMA TİPİ : DIŞ AKIM KORUMA  
 BORU ÇAPİ : 2200 mm  
 TOPLAM AKIM : 84 A  
 AKIM YOĞUNLUĞU : 0,25 mA/m<sup>2</sup>

TR ÜNİTE SAYISI : 8  
 ÖLÇÜ KUTUSU SAYISI : 27  
 ANÖD CİNSLERİ : T1  
 ÖLÇÜM NOKTALARI : 35  
 ALANI : 309.666 m<sup>2</sup>

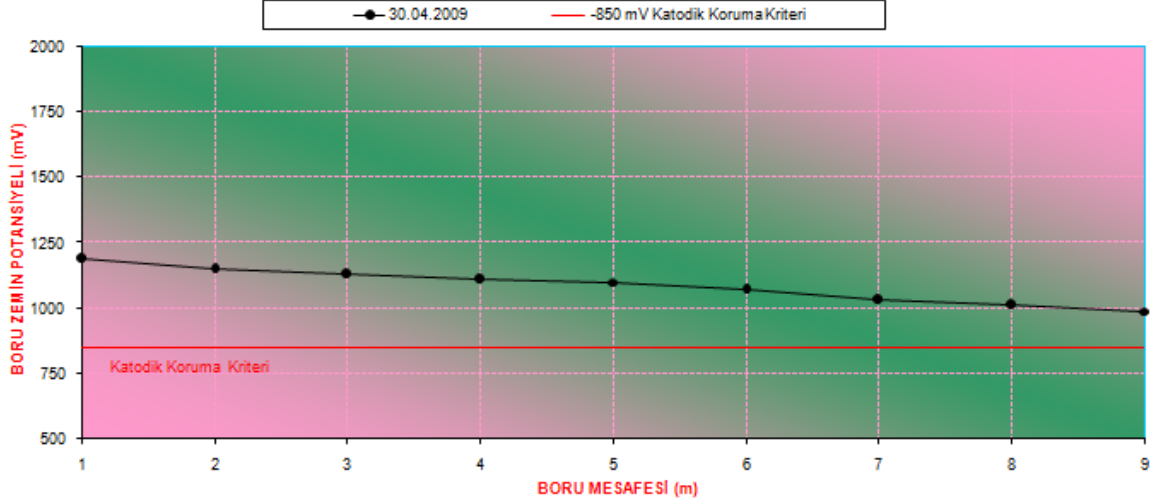
**TERKOS-FATİH SULTAN MEHMET HAN ÇELİK BORU İSALE HATTI BORU/ZEMİN POTANSİYELİ GRAFİĞİ**



BORU HATTININ BOYU : 38.225 m  
KATODİK KORUMA TİPİ : DIŞ AKIM KORUMA  
BORU ÇAPİ : 1400-1600-2200 mm  
AKIM YOĞUNLUĞU : 0.42 mA/m<sup>2</sup>

TR ÜNİTE SAYISI : 27  
ÖLÇÜ KUTUSU SAYISI : 23  
ANOD CİNSLERİ : T1  
ÖLÇÜM NOKTALARI : 45

**PABUÇDERE-PANAYIRDERE ÇELİK BORU İSALE HATTI BORU/ZEMİN POTANSİYELİ GRAFİĞİ**



BORU HATTININ BOYU : 6900 m  
KATODİK KORUMA TİPİ : DIŞ AKIM KORUMA  
BORU ÇAPİ : 2200 mm  
AKIM YOĞUNLUĞU : 0.024 mA/m<sup>2</sup>

TR ÜNİTE SAYISI : 1  
ÖLÇÜ KUTUSU SAYISI : 8  
ANOD CİNSLERİ : T1  
ÖLÇÜM NOKTALARI : 9

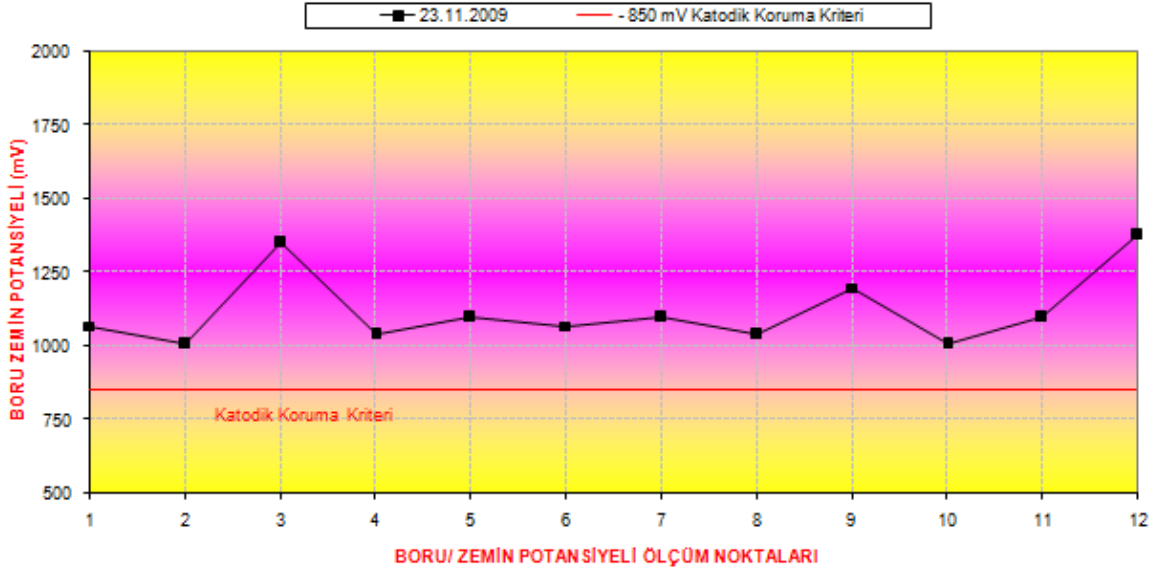
Şekil 2.35 Avrupa yakası çelik isale hatları boru/zemin potansiyel grafiği



Çizelge 2.11 Bazı Asya yakası isale hatlarının özellikleri

	ÇAP (mm)	UZUNLUK (m)	ALAN (m <sup>2</sup> )	KAPLAMA CİNSİ	ZEMİN REZ. (Ω.cm)	ZEMİN pH'ı	REDOKS POT. (mV)	ARALIK 2009 AKIM YOĞ. (mA/m <sup>2</sup> )
Ömerli-Dudullu-Çamlıca	2200 1800	38487 1000	265867	Bitüm, PE	6413	5,1	554	0,35
Dudullu-Kozyatağı	700 800 900 1000 1600	505 4255 9180 14540 7100	119064	Bitüm	10445	5,7	578	0,21
Ömerli- Sultanbeyli	1200	22000	82896	Bitüm	10288	5,6	583	0,54
Ömerli-Şeyhli	2200	14000	96712	Bitüm	4710	7,9	-	0,45

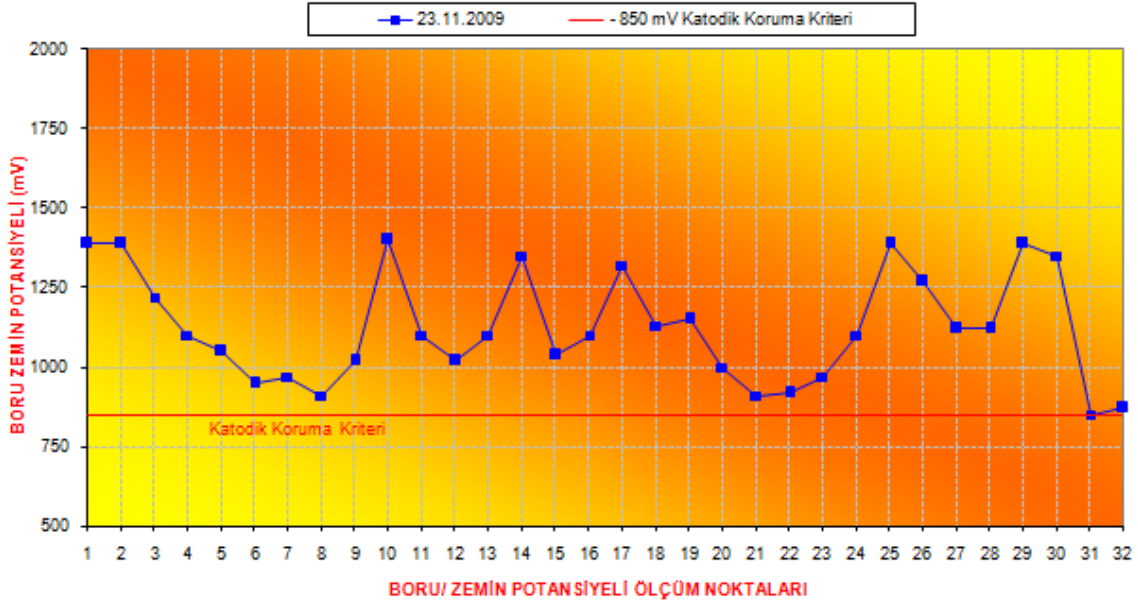
### DUDULLU-KOZYATAĞI ÇELİK BORU İSALE HATTI BORU/ ZEMİN POTANSİYELİ GRAFİĞİ



BORU HATTININ BOYU : 17.723 m.  
 KATODİK KORUMA TİPİ : DIŞ AKIM KORUMA  
 BORU ÇAPİ : 800 -900 mm  
 AKIM YOĞUNLUĞU : 0,25 mA/m<sup>2</sup>

TR ÜNİTE SAYISI : 3  
 ÖLÇÜ KUTUSU SAYISI : 9  
 ANOD CİNSLERİ : T1  
 ÖLÇÜM NOKTALARI : 12

### ÖMERLİ- DUDULLU-ÇAMLICA ÇELİK BORU İŞALE HATTI BORU/ ZEMİN POTANSİYELİ GRAFİĞİ

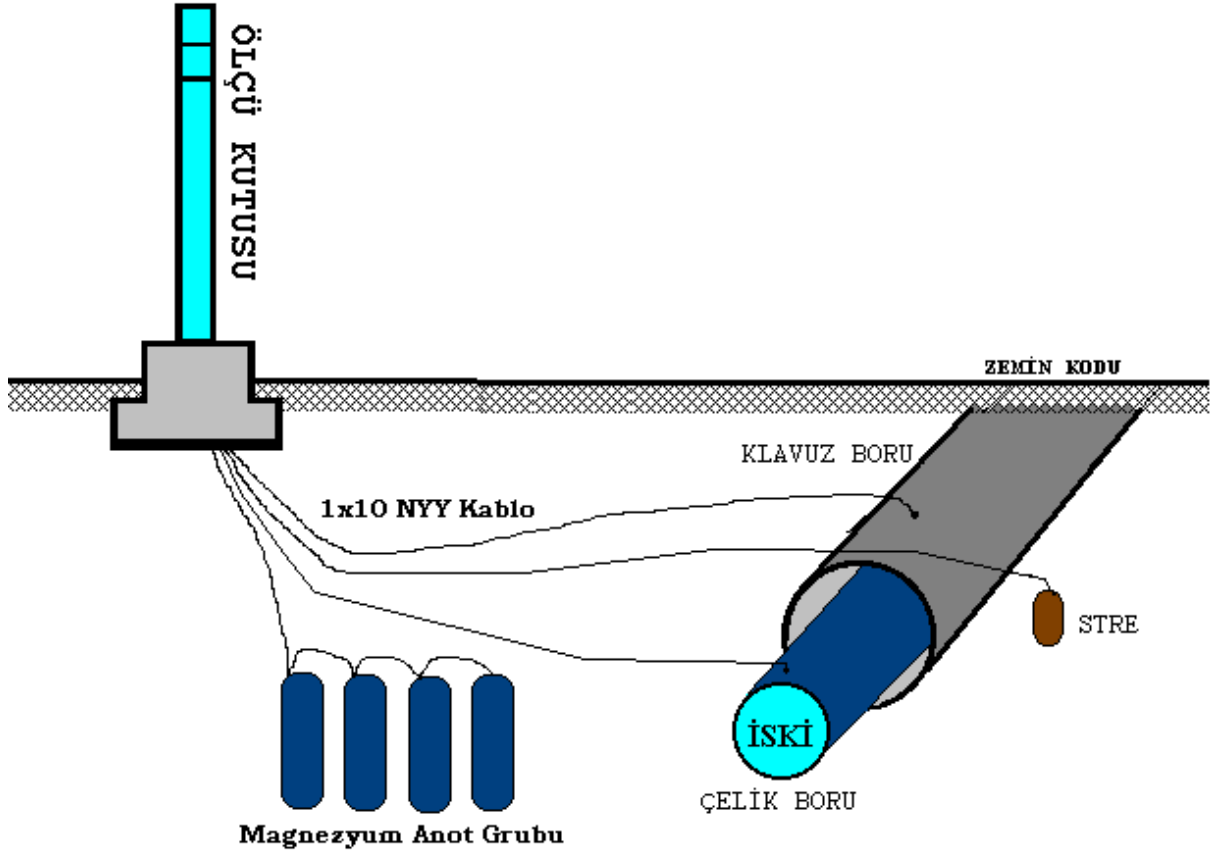


BORU HATTININ BOYU : 23.600 m.  
 KATODİK KORUMA TİPİ : DIŞ AKIM KORUMA  
 BORU ÇAPİ : 2200 mm  
 AKIM YÖĞUNLÜĞÜ : 0,39 mA/m<sup>2</sup>

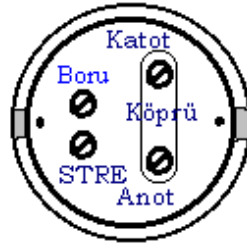
TR ÜNİTE SAYISI : 8  
 ÖLÇÜ KUTUSU SAYISI : 24  
 ANOD CİNSLERİ : T1  
 ÖLÇÜM NOKTALARI : 32

Şekil 2.36 Asya yakası çelik isale hatları boru/zemin potansiyel grafiği

Özellikle karayolu ve demiryolu geçişlerinde taşıyıcı boru hattı, keson borular içinden geçirilir. Genelde keson borular korozyon kontrolü açısından boru hattının en problemsiz elemanı 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 çalarlar. 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 izolasyon sağlanmalıdır. İSKİ'deki keson boru katodik koruma uygulaması şekil 2.37'de verilmiştir.



Ölçü kutusunun iç görünüşü



Şekil 2.37 Kılavuz (Keson) geçişi Mg anot bağlantısı

İSKİ tarafından galvanik usulle korunan en uzun hat, Yeşilçay sistemidir (İsaköy-Darlık-Ömerli isale hattı tünel ve akedükleri).  $\varnothing 3000\text{mm}$  çaplı beton silindir ve bunlar arasında parça parça 8020m'si çelik olmak üzere toplam 47km uzunluğunda ve 2585m uzunluğunda  $\varnothing 2600\text{mm}$  çaplı çelik borulu terfi hatları katodik koruma sistemiyle birlikte DSİ Genel Müdürlüğü'nden devir alınmış olup periyodik ölçümleri yapılmaktadır. Yeşilçay sistemi, galvanik usulle 6833 adet Mg anot ile korunmaktadır (Şekil 2.38). Sistemde, Yeşilçay-Darlık

tüneli arasında 60 adet, Darlık tüneli-Emirli arasında 44 adet olmak üzere toplam 104 adet ölçü kutusu bulunmaktadır. Yeşilçay sistemi Darlık ve Ömerli Akedüğü (su köprüsü) ayakları tatlı su ortamında korunmakta olup, toplam çelik kazık boyu 974 metredir ve galvanik usulle 129 adet Mg anot kullanılarak katodik koruması yapılmaktadır.



Şekil 2.38 Galvanik usulde Mg Anotların dōşenmesi

## 2.6.2 Atıksu Arıtma Tesisleri Kara ve Deniz Deşarjlarında Katodik Koruma

Atıksu arıtma tesisleri kara ve deniz deşarjlarında uygulanan katodik koruma sistemleri Çizelge 2.12’de verilmiştir.

Çizelge 2.12 Atıksu arıtma tesisleri katodik koruma uygulamaları

HATTIN ADI	ÇAPI (mm)	UZUNLUĞU (m)	ALANI (m <sup>2</sup> )
Küçüksu kara ve deniz deşarjı	2200	1872	12931
Kadıköy deniz deşarjı	2200	2336	16137
Tuzla kara deşarjı	2200	3100	21414
Paşaköy arıtma	1200	2246	8463
Çatalca terfi	600	2250	4239
Çatalca terfi	400	2250	2826
Paşabahçe deniz deşarjı	2200	1014	7004
	2600	52	424
<b>TOPLAM</b>		<b>15120</b>	<b>73438</b>

Küçüksu Atıksu Ön Arıtma Tesisi atıksu deşarj borusu 690.97m (4766m<sup>2</sup>) kara tarafı, 669.90m (4628m<sup>2</sup>) deniz tarafı olmak üzere toplam 1360,87m uzunluğunda 2200mm çapında bitüm kaplı olup tesisten itibaren İstanbul Boğazı istikametine doğru Küçüksu Caddesi ortasından devam etmektedir. Kara borusunun katodik koruması dış akım kaynaklı usulle yapılmıştır ve karma metal oksit kaplı titanyum anotlar (FW/ST 1,6/50) kullanılmıştır. Deniz deşarj hattı ise 432m (dış yüzey 3033m<sup>2</sup>, iç yüzey 2946m<sup>2</sup>) uzunluğunda 2200mm çapında olup kara borusundan Küçüksu Kasrı yanındaki denge bacasından izole edilmiş olarak başlayarak İstanbul Boğazına girmekte ve dip akıntılara ulaşarak deşarj imkanı sağlamaktadır. Boru dış yüzeyi için her bir boy boru yüzeyine 20.45kg'lık 6 adet Al anotlar kullanılmıştır. Dolayısıyla bir boy boru için 122,7kg Al anot kullanılmıştır. Tesis edilen 36 boy boru için kullanılan 216 adet Al anodun toplam ağırlığı 4418kg'dır. Boru iç yüzeyleri için her bir boy boru yüzeyine 7.66kg'lık 3 adet Mg anot kullanılmıştır. Dolayısıyla bir boy boru için 23kg Mg anot kullanılmıştır. 36 boy boru için kullanılan 108 adet Mg anodun toplam ağırlığı 828kg'dır. Kara ve deniz deşarjlarının dış ve iç yüzeylerine uygulanan katodik koruma sistemleri Şekil 2.39 ve Şekil 2.40'da verilmiştir.



Şekil 2.39 Boru dış yüzeyine Al anotla uygulanan katodik koruma



Şekil 2.40 Boru iç yüzeyine Mg anotla uygulanan katodik koruma

Kadıköy Atıksu Ön Arıtma Tesisinin deniz deşarj borusu, tesisten 150m sonra deniz kıyısına ulaşmakta olup buradan itibaren deniz tabanına 2354 m<sup>2</sup>'de uç difüzyona gitmektedir. Boru dış yüzeyi (28015m<sup>2</sup>) için 110cm uzunluğunda, 11.5cm çapında her biri 25kg ağırlığında 2448 adet Al-İn anot kullanılmıştır. Boru iç yüzeyi (16026m<sup>2</sup>) için ise her biri 7.7kg ağırlığında 1563 adet AZ-63 Mg anot kullanılmıştır. Mg anotlar boru iç yüzeyine, homojen akım sağlayacak şekilde monte edilmektedir.

Tuzla Atıksu İleri Biyolojik Arıtma Tesisinde, 4 adet primer, 2 adet sekonder ve 1 adet gaz toplama tankı katodik korumaya alınmıştır. Primer tanklarda, anaerobik (oksijensiz) ortam içeren katı atık ve atıksu bir arada bulunmaktadır. Ortam ısı 32–35°C'de sabit tutularak anaerobik ortam, aerobik (oksijenli) ortama dönüştürülür. Ana gaz hidrokarbür (metan-karbonmonoksit-kükürtlü hidrojen) toplanarak gaz depolama tankına sevk edilmektedir. Primer tank içindeki kararlı hale dönüşen atıklar da sekonder tanka alınmaktadır. Primer tanklar 20.16m çapında, 23.5m yüksekliğindedir ve toplam yüzey alanı 1804m<sup>2</sup>'dir. Primer tankların korunması galvanik usulle yapılmakta olup, her biri 7.7kg ağırlığında 440 adet (4 tank için toplam 1760 adet, 13.5ton) çinko (Zn) anot kullanılmıştır (Şekil 2.41).



Şekil 2.41 Primer tank iç yüzeyinin Zn anotla korunması

Sekonder tanklar 20.6m çapında, 27.5m yüksekliğindedir ve toplam yüzey alanı 1744m<sup>2</sup>'dir. Sekonder tankların iç yüzeyi, dış akım kaynaklı usulle  $\Phi$ 2,5-100cm ölçülerindeki çamur tipi titanyum anotlar ile korunmaktadır. Primer ve sekonder tankların dış taban ve beton donatıları ise dış akım kaynaklı usulle  $\Phi$ 1,6-50cm ölçülerindeki karma metal oksit kaplı titanyum tüp anotlar ile korunmaktadır (Şekil 2.42).



Şekil 2.42 Primer ve sekonder tankların dış taban ve beton donatılarının korunması

Primer ve sekonder tankların uzağında bağımsız olan gaz toplama tankının dış taban sacının tank çapı 15m olup korunması galvanik usulde yapılmıştır. Bu uygulamada 10kg'lık yüksek potansiyelli magnezyum anotlar kullanılmıştır. 40 adet Mg anodun tank çevresine 2m aralıklarla montajı, 1x16mm<sup>2</sup> NYY ring kablosuna bağlanarak yapılmıştır. Tank ölçümlerinin alınabilmesi için ise 120° açı ile 3 adet ölçü kutusu ve sabit tip referans elektrot (Cu/CuSO<sub>4</sub>) her ölçü kutusunda tesis edilmiştir.

Tuzla Atıksu İleri Biyolojik Arıtma Tesisinde arıtılmış pis su, tesisten itibaren 1000m uzunluğunda çapı 2200mm'lik çelik boru ile deniz kıyısına kadar gelmektedir. Boru iç yüzeyi galvanik usulle korunmakta olup her biri 7.7kg ağırlığında 90 adet AZ-63 Mg anot kullanılmıştır. Boru dış yüzeyi ise boru çapının büyük ve akım ihtiyacının yüksek olması nedeniyle dış akım kaynaklı sistemle korunmuştur ve sistemde 10 Adet karma metal oksit kaplı titanyum anot (FW/ST 1,6/50) kullanılmıştır. Çizelge 2.13'den Çizelge 2.17'e kadar Tuzla Atıksu İleri Biyolojik Arıtma Tesisinin ölçüm değerlendirme raporları verilmiştir.

ÖLÇÜM YAPILAN YER : Tuzla Atıksu İleri Biyolojik Arıtma Tesisinin primer (A) çelik çamur çürütme tankı, TARİH : 26.12.2009

ORTAM : Anaerobik, KORUMA TÜRÜ : Galvanik, PROSES SICAKLIĞI : 35 °C

4 nolu örnek anot, Yanal yüzey : 458 m<sup>2</sup> Anot miktarı : 114 adet

3 nolu örnek anot, Yanal yüzey : 400 m<sup>2</sup> Anot miktarı : 100 adet

2 nolu örnek anot, Yanal yüzey : 627 m<sup>2</sup> Anot miktarı : 156 adet

1 nolu örnek anot, Taban yüzeyi : 319 m<sup>2</sup> Anot miktarı : 70 adet

Çizelge 2.13 Primer (A) tankı ölçüm değerlendirme raporu

NO		Çamur tank mV	Cu/CuSO <sub>4</sub> mV	Çekilen Akım
Zn Ref	1	-140	960	0,2
Zn Ref	2	-039	1061	0,4
Zn Ref	3	-046	1054	0,1
Zn Ref	4	-055	1045	0,2
Zn Ref	5	-057	1043	0,2
Zn Ref	6	-146	954	1,7
Zn Ref	7	-037	1063	0,8
Zn Ref	8	-119	981	0,6
ÖRNEK ANOTLAR	1	-085	1015	21
	2	-010	1090	0,8
	3	-105	995	24
	4	-053	1047	5,3

Toplam anot sayısı : 440 adet , Toplam akım : 5621 mA

Toplam yüzey : 1804 m<sup>2</sup> , Akım yoğunluğu : 3,12 mA/m<sup>2</sup>



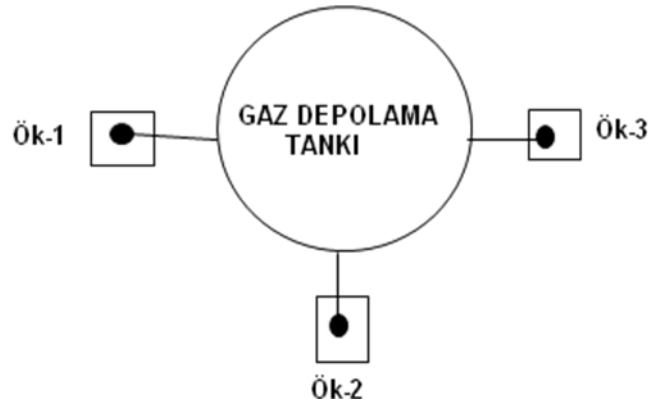
ÖLÇÜM YAPILAN YER : Tuzla Atıksu İleri Biyolojik Arıtma Tesisi sekonder (A) çelik çamur çürütme tankı, TARİH : 26.12.2009  
ORTAM : Aerobik, KORUMA TÜRÜ : Dış akım kaynaklı

Çizelge 2.14 Sekonder (A) tankı ölçüm değerlendirme raporu

T/R	V	A	Ref. No	Ref1(mV) Zn	Ref1(mV) Cu/CuSo <sub>4</sub>
S/A	1,7	8	1	-110	990
			2	-001	1099
			3	-057	1043
			4	-033	1067
			5	-004	1096
			6	-101	999
			7	-106	994
			8	-090	1010

Toplam anot sayısı : 6 adet , Toplam yüzey : 2473 m<sup>2</sup>

ÖLÇÜM YAPILAN YER : Tuzla Atıksu İleri Biyolojik Arıtma Tesisi gaz toplama tankı, TARİH : 26.12.2009  
KORUMA TÜRÜ : Galvanik



Toplam anot sayısı : 40 adet , Toplam akım : 640 mA  
Toplam yüzey : 1201 m<sup>2</sup> , Akım yoğunluğu : 0,53 mA/m<sup>2</sup>

Çizelge 2.15 Normal bağlantıda yapılan ölçümler

Ök	Kapalı Devrede (mV)	Açık Devrede		
		M	Anot/Toprak (mV)	Anot/Akım (mA)
1	740	720	890	11
2	710	790	800	16
3	690	700	810	21

Çizelge 2.16 Bütün ölçü kutuları şöntleri açılarak yapılan ölçümler

Ök	Kapalı Devrede (mV)	Açık Devrede		
		Tank/Toprak (mV)	Anot/Toprak (mV)	Anot/Akım (mA)
1				
2				
3	<b>710</b>	<b>610</b>	<b>1270</b>	<b>110</b>

ÖLÇÜM YAPILAN YER : Tuzla Atıksu İleri Biyolojik Arıtma Tesisi primer ve sekonder tankların taban ve donatıları, TARİH : 26.12.2009  
KORUMA TÜRÜ : Dış akım kaynaklı

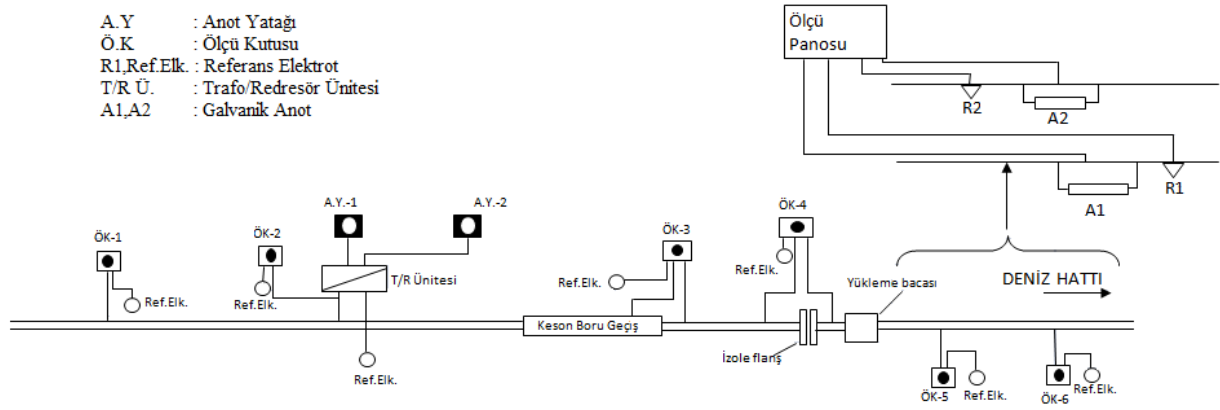
Çizelge 2.17 Tank taban ve donatıları ölçüm değerlendirme raporu

T/R	T/R DEĞERLERİ			ÖLÇÜ KUTULARI			
	V	A	Ref1(mV) Cu/CuSo <sub>4</sub>	TANK	Ök1 mV	Ök2 mV	Ök3 mV
P/A-B	<b>41</b>	<b>10</b>	<b>1430</b>	P/A	<b>860</b>	<b>900</b>	<b>920</b>
			<b>1400</b>	P/B	<b>850</b>	<b>910</b>	<b>960</b>
P/C-D	<b>41</b>	<b>11</b>	<b>1300</b>	P/C	<b>880</b>	<b>920</b>	<b>910</b>
			<b>1290</b>	P/D	<b>870</b>	<b>970</b>	<b>880</b>
S/A-B	<b>31</b>	<b>10</b>	<b>1260</b>	S/A	<b>860</b>	<b>1060</b>	<b>850</b>
			<b>1250</b>	S/B	<b>870</b>	<b>900</b>	<b>855</b>

Paşaköy Atıksu İleri Biyolojik Arıtma Tesisinde 1200mm çaplı 1123m'lik yan yana döşenmiş 2 kat (6,5mm) bitüm kaplamalı paralel çelik boru hattı, giriş pompa istasyonu ile arıtma tesisi arasında tesis edilmiştir. Toplam alanı 8462 m<sup>2</sup>'dir. Galvanik usulde 76 adet Mg anot, dış akım kaynaklı usulde 7 adet titanyum anot kullanılmıştır.

Paşabahçe Atıksu Ön Arıtma Tesisi ve deniz deşarjı çelik boru hatlarının kara ve deniz hattı katodik korumaları yapılmaktadır. Kara boru hattı kısmında kara içerisindeki çelik deşarj boruları bulunmaktadır. Çelik boru deniz deşarj hattı ve difüzör borularının da hem iç hem dış yüzey korumaları yapılmaktadır. Kara boru hattı 564m (3961m<sup>2</sup>) uzunluğunda 2200mm çapında koltar epoksi kaplı, deniz içerisindeki ana çelik boru hattı 450m (3160m<sup>2</sup>) uzunluğunda 2200mm çapında koltar epoksi kaplı ve difüzör boruları 36m (57.6m<sup>2</sup>)

uzunluğunda 500mm çapında 500 mikron epoksi kaplıdır. Kara boru hattının katodik koruması dış akım kaynaklı usulle yapılmıştır ve 18 adet karma metal oksit kaplı titanyum tüp anotlar (FW/ST 1,6/50) kullanılmıştır. Kara hattında 4 adet ölçü kutusu ve 5 adet sabit tip referans elektrot (Cu/CuSO<sub>4</sub>) tesis edilmiştir. Deniz boru hattının dış yüzey koruması galvanik usulle yapılmakta olup her biri 26kg ağırlığında 527 adet Al-İn anot kullanılmıştır. Deniz boru hattının iç yüzey (1014m,7120m<sup>2</sup>) koruması da galvanik usulle yapılmakta olup her biri 7.7kg ağırlığında 368 adet AZ-63 Mg anot kullanılmıştır. Deniz hattında, biri iç diğeri dış yüzey için olmak üzere 2 adet ölçü kutusu ve her bir ölçü kutusuna ikişer adet olmak üzere toplam 4 adet sabit tip referans elektrot (Ag/AgCl ve Zn) tesis edilmiştir. Paşabahçe Atıksu Ön Arıtma Tesisi, boru hattı tek hat şeması Şekil 2.43’de verilmiştir.



Şekil 2.43 Paşabahçe AAT boru hattı tek hat şeması

Çizelge 2.18’de Paşabahçe Atıksu Ön Arıtma Tesisi ve deniz deşarjı çelik boru hatlarının ölçüm değerlendirme raporu verilmiştir.

ÖLÇÜM YAPILAN YER : Paşabahçe Atıksu Ön Arıtma Tesisi ve deniz deşarjı çelik boru hatları, TARİH : 31.12.2009

Çizelge 2.18 Paşabahçe AAT ölçüm değerlendirme raporu

GRUP NO VE HAT NO		PAŞABAHÇE		KARA TARAFI		PAŞABAHÇE DENİZ TARAFI					
HATTIN UZUNLUĞU		564 m				450 m				1014 m 2235mm	
HATTIN ÇAPI VE ALANI		2235mm		3961 m <sup>2</sup>		2235mm		3217 m <sup>2</sup> dış yüzey		7120 m <sup>2</sup> iç yüzey	
ÇEKİLEN AKIM											
ANOT SAYISI		18 Ad. Titanyum anot				İç yüzey : 168 Ad. M		Dış yüzey : 527 Ad. Al Anot			
AKIM YOĞUNLUĞU											
T/R NO YERİ	A.A	D.A.	D.C.V	Ök	BORU ZEMİN POT.	TES. NO VE BÖLGESİ	SAYAÇ İlk okuma	ŞARETİ Son okuma	ENERJİ TÜKETİMİ KWh	TOPRAKLAMA DİRENCİ	BORU A.C.
PAŞABAHÇE KARA HATTI											
Hat başı-bina yanı				1	1036						
T/R ünitesinin yanı				2	1200						
T/R 1											
Keson başı		6	14	23.7	1450	tesis					
Denge bacası-kara hattı				4	958						
PAŞABAHÇE DENİZ HATTI ( İÇ YÜZEY )		Denge bacası yanı		Ök-5	SİSTEM GERİLİMİ (mV)		1099				
					KATOT GERİLİMİ (mV)		1098				
					ANOT GERİLİMİ (mV)		1440				
					ÇEKİLEN AKIM (mA)		68				
PAŞABAHÇE DENİZ HATTI ( DIŞ YÜZEY )		Denge bacası yanı		Ök-6	SİSTEM GERİLİMİ (mV)		1112				
					KATOT GERİLİMİ (mV)		1110				
					ANOT GERİLİMİ (mV)		1100				
					ÇEKİLEN AKIM (mA)		22.5				

İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi tarafından 2009 yılı itibariyle yaklaşık 20 milyar TL değerinde boru hattına katodik koruma yapılmaktadır. İki ekiple her bir T/R ünitesi için 15-20 günlük periyotla bakım yapılmakta olup oluşan arızalar giderilmektedir. İleride kullanılacak olan GPRS ve GSM gibi haberleşme sistemleri ile arızalar, anlık tespit edilebilecek ve çok daha hızlı bir şekilde müdahale söz konusu olacaktır. Haberleşme sisteminin kullanılması ile birlikte 2011 yılında hedeflenen T/R ünitesi sayısı 310'dur. Bu da mevcut duruma göre %10'luk bir azalma anlamına gelmektedir. Hedeflenen ise 2012 yılı sonuna kadar katodik koruma sistemlerinin uzaktan izlenilebilir duruma getirilmesidir. Ayrıca, enerji kesintisi dışındaki yıllık arıza oranı 2009 yılında ortalama %6 iken, 2010 yılı hedefi ise bu oranı %5'in altına çekmektir.

### 3. EKONOMİK ANALİZ VE ENDEKS SAYILARI

Ekonomi, bir ülkede toplumu oluşturan tüm birimlerin gelir ve olanaklarının nasıl iyileştirilebileceğini, nasıl en etkili biçimde kullanılabileceğini inceleyen, yönlendiren ve uygulama için kararlar üreten temel bir bilimdir. Bir başka ifadeyle ekonominin inceleme konusu, ihtiyaçların karşılanması için gerekli plan çeşitli mal ve hizmetlerin parasal yönüyle ilgilidir.

Mühendislik, matematik ve temel mühendislik bilgi ve becerisinin ekonomi ilkeleriyle bütünleştirilmesidir. Mühendislik uygulamalarının ekonomik yanının da gözden uzak tutulmaması gerekmektedir. Bir işletmede görev alan mühendisin, ürün geliştirme, proje, üretim vb. faaliyetlerinde teknik koşullara uygunluk, uygulanabilir olma ve ekonomiklik kriterlerini göz önünde bulundurması gerekir.

Ekonomik karar verme veya ekonomik analiz, çeşitli bilim dallarını ilgilendirmektedir. Bir ekonomik analiz kapsamında, nereden ne ölçüde bilgi yardımı alınabileceği, ortak çalışma olanaklarının ne olabileceği ve etkin bir çalışmanın koşullarının belirlenmesi için minimum düzeyde ekonomi kavram ve ilkelerinin bilinmesi gerekir.

#### 3.1 Ekonomik Analizde Kullanılacak Olan Kavramlar

##### 3.1.1 Değerleme Oranı

Yeni bir yatırıma yönlendirilen paranın ekonomik bakımdan karşılaştırılması aşamasında bir değerlendirme oranı öngörülür. Değerleme oranı, her yıl Maliye Bakanlığı tarafından ilan edilen ve ülkedeki enflasyonun göstergesi olan yeniden değerlendirme oranı ile karşılaştırılmamalıdır.

Değerleme oranı için aşağıdaki tanımlardan biri kullanılabilir:

- Değerlendirme oranı
- Karlılık oranı
- İskonto oranı (Tenzilat anlamında değildir)
- Verim oranı (K. Boulding'e göre)
- Çekici oran
- Güncelleme oranı
- Bugüne indirgeme oranı
- Sermaye maliyeti
- Sermayenin marjinal etkinliği (J. M. Keynes'e göre)
- Minimum getiri oranı (İng. MARR= Minimum Acceptable Rate of Return)

- Getiri oranı (I. Fisher'e göre)
- Kapitalizasyon oranı

Bütün bu deyimlerde kullanılacak sembol  $i$  (veya  $k$ )'dir ve % cinsinden (yıllık) ifade edilir.

Borç faizi ile değerlendirme oranı arasında şu farklılıklar bulunmaktadır:

- Borç faizinin % değeri önceden kesin olarak bellidir. Değerleme oranı ise, geleceğe dönük bir projeksiyonu yansıttığı için, kesin değil tahmini bir değerdir. Bir başka deyişle öngörüdür, durum kestirimidir.
- Her iki büyüklük de genellikle yıl bazında tanımlanmakla birlikte, borç faizi aylık olarak da ifade edilebilir.
- Borç faizi -seyrek de olsa- basit formda hesaplanabilmektedir. Değerleme oranı ise daima bileşik formda hesaplanır.
- Borç faizi işletmelerin yıllık gelir-gider tablolarında gider, mevduat faizi kazanımı ise gelir olarak yer alır. Sonuç olarak faiz, işletmelerin gelir vergisi ödemeleri için vergi matrahını belirleyen bir büyüklüktür. Değerleme oranı ise, gelir-gider tablolarında yer almaz.
- Borç faizi kredi alındığında gündeme gelir; değerlendirme oranı ise bir yatırıma karar verirken ( $t = 0$  anında) gündeme gelir.
- Borç faizi gelir vergisini düşürücü rol oynar; Faiz Vergi Öncesi Kar (FVÖK)'dan faiz düşüldükten sonra gelir vergisi hesap edilir. Halbuki değerlendirme oranının böyle bir fonksiyonu yoktur.
- Faiz, bir işletme borç (kredi) aldığı sürece her zaman gündemdedir; halbuki değerlendirme oranı  $t = 0$  anında, yatırım kararı verirken bir kez gündeme gelir.
- Kredi faizleri koşullara göre yıllar içinde değişiklikler gösterebilir; buna karşılık  $t = 0$  anında öngörülen değerlendirme oranı üzerinde herhangi bir revizyon (değişiklik) pek yapılmaz.
- Kredinin değişik kaynaklardan karşılanması halinde, faiz oranları da farklı para birimlerine ilişkin olabilir. Değerleme oranı ise, yalnızca bir para birimi (yerli para veya bir yabancı para) cinsinden tanımlıdır.
- Faiz oranı ile paranın şimdiki değeri gelecek bir tarihe (vade sonuna) indirgenir. Değerleme oranı ise gelecekteki para değerini bugüne indirmekte kullanılır.
- Borç faizinin öğeleri anapara (borç tutarı), vade ve ödeme şeklidir. Değerleme oranı ise, kurulması düşünülen tesisin yatırım tutarının ve ekonomik ömrünün bir fonksiyonudur.
- Enflasyon, gerek faiz gerekse değerlendirme oranı içinde örtülü olarak yer alır.

- Bir işletme (firma) için borç faizi ödemesi olduğu gibi, karın bir bölümünün işletilmesi sonucu faiz geliri de söz konusu olabilir. Değerleme oran için bu tür iki yönlülük bulunmamaktadır.
- İşletmeler faaliyetleri süresince gerek duydukları finansman ihtiyacı için borç (kredi) alırlar, bazı dönemlerde ise kredi ihtiyacı olmayabilir ve faiz ödemesi de gerçekleşmez. Halbuki bir yatırıma başlanırken veya ek yatırım yaparken, her zaman için bir değerlendirme oranı öngörülür.
- Kredi alınarak yapılacak yatırımlarda, borç faizi dikkate alınarak, değerlendirme oranı biraz daha yüksek öngörülür.
- Hem faiz oranı hem de değerlendirme oranı, gerek her türden işletme ve gerekse her ülke koşulunda, daima sıfırdan büyüktür.
- Bir projeye ilişkin olarak hem kredi faiz oranı hem de değerlendirme oranı (MARR) verilmiş ise, ekonomik projeksiyon (yatırıma karar vermek veya vermemek) sırasında MARR kullanılacaktır. Yatırıma karar verilip proje faaliyete geçtiğinde ise, gelir ve maliyet hesaplarında (bilanço, gelir tablosu vb.) artık MARR geçerli olmayıp faiz dikkate alınacaktır.
- Bir projenin finansmanında hem öz sermaye hem de kredi kullanılmış olsun. Projenin tamamındaki (%100) öz sermayenin payı  $\alpha_o$  (%), kredinin payı  $\alpha_k$  (%), öz sermaye maliyeti  $k$  (%/yıl), kredi faizi  $i$  (%/yıl) ve vergi oranı  $v$  (%/yıl) biliniyorsa, yıllık değerlendirme oranı (MARR), (3.2) ifadesi ile hesap edilmelidir.

$$\text{MARR} = (k \times \alpha_o) + [(1 - v) \times i \times \alpha_k] \quad (3.2)$$

Bu şekilde hesaplanan MARR literatürde, ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti (Weighted Average Cost of Capital = WACC) adını alır. Borç faizinin vergiden düşülebildiğini belirtmek üzere,  $(1 - v)$  çarpanı kullanılmıştır. (Ay, 2008)

### 3.1.2 Enflasyon ve Endeks Sayıları

Enflasyon, bir ülkedeki ulusal para biriminin belirli zaman aralığında satın alma gücünü yitirmesi şeklinde tanımlanabilir. Enflasyon, mal ve hizmetlerin fiyatlarının zaman içinde sürekli artması demektir. Sadece bazı malların fiyatlarının sürekli artması ya da bazı malların fiyatlarının tek başına artması enflasyon değildir, fiyatların genel düzeyinin sürekli artış göstermesi gerekir. Enflasyonu belirleyen temel faktörler şunlardır: kurlar, üretim açığı, beklentiler, uluslararası piyasalardaki petrol ve diğer mineral fiyatları, kamu fiyatları. Mal ve

hizmetlere olan talebin üretilenden fazla olması, girdi maliyetlerinin artması ve enflasyonun artacağı beklentisi enflasyona yol açar. Enflasyon, bir yandan yüksek faizler nedeniyle borçlanma maliyetini artırarak, diğer yandan birikimlerin verimsiz alanlara yönelmesine yol açarak yatırımları olumsuz etkiler. Enflasyon, kredi ve işgücü piyasasının verimliliğini düşürür ve ülkenin rekabet gücünü zayıflatır. Enflasyonun tersi, yani belirli bir dönemde fiyatların gerilemesi deflasyon olarak adlandırılır. Mevsimsel etkilere bağlı olarak seyrek gözlenebilen deflasyon, eksi enflasyon demektir.

Piyasadaki çeşitli malların ve hizmetlerin fiyatları bir dönem (ay veya yıl) içinde farklı oranlarda değişebilir. Tüm malların fiyat artışlarının aritmetik ortalamasını alarak ortalama fiyat artışını hesaplamak doğru olmaz. Çünkü her malın kullanım miktarı farklıdır. Bir başka deyişle malların önem dereceleri farklıdır. Bu nedenle enflasyon oranlarının ölçülmesinde fiyat endeksleri kullanılır. Bunlar, ağırlıklı fiyat ortalamalarıdır. Öncelikle bir baz (temel) yıl seçilir. Baz yılın fiyat endeksi 100 kabul edilir, diğer yılların fiyat endeksleri bu baz yıl cinsinden ifade edilir. Dünyada kullanılan fiyat endekslerinin bazıları şunlardır:

- General Price Index (GPI) (Genel Fiyat Endeksi)
- Wholesale Price Index (WPI) (Toptan Satış Fiyatları Endeksi)
- Raw Material Price Index (RMPI) (Ham Madde Fiyatları Endeksi)
- Consumer Price Index (CPI) (Tüketici Fiyatları Endeksi)

Emlak vergisi, motorlu taşıtlar vergisi ve diğer harçlar işletmelerin vergi giderleri arasındadır. Bu tür vergiler her yıl “yeniden değerlendirme oranı” kadar artırılmaktadır. Yeniden değerlendirme oranı, bir önceki yılın Ekim ayının TEFE (ÜFE) endeksi esas alınarak Kasım ayında açıklanır. Çizelge 3.1’deki yeniden değerlendirme oranları bir yıl sonra uygulanacak olan oranları göstermektedir. Örneğin 2008 yılında uygulanacak olan oran %7.2’dir. Fakat, yeniden değerlendirme oranı ile, paranın zaman değeri ve değerlendirme oranı gibi kavramlar birbirleriyle karıştırılmamalıdır.



Çizelge 3.1 Yeniden değerlendirme oranının yıllara göre değişimi

Yıl	Yeniden Değerleme Oranı (%)
1993	58.4
1994	107.6
1995	99.5
1996	72.8
1997	80.4
1998	77.8
1999	52.1
2000	56.0
2001	53.2
2002	59.0
2003	28.5
2004	11.2
2005	9.8
2006	7.8
2007	7.2
2008	12.0
2009	2.2

Bir tesisin yapım ve işletme aşamasında, mal ve hizmetlere gelen fiyat artışları için özel bir tanımlama yapılmıştır: eskalasyon (esk: %/yıl). Eskalasyonun nedeni doğal olarak, enflasyondur. Bununla birlikte, enflasyon (e) ve eskalasyon (esk) arasındaki temel farklılıkları şöyle özetleyebiliriz:

- Enflasyon (e), ülke geneli için geçerlidir; seçilmiş mal sepetindeki fiyat değişimlerini göstermektedir. Eskalasyon (esk) ise, yapılmakta olan işe (örneğin hidroelektrik santral inşaatına) ait fiyat artışlarını gösterir. Birincisinin kapsamı ekmek, peynir, süt, vb. iken, ikincisinin kapsamı demir, çimento, generatör, vb. olacaktır.
- Enflasyon ve eskalasyon %/ay veya %/yıl cinsinden tanımlanır. Büyük ölçekli, döviz üzerinden yapılan işlerde eskalasyon tanımı daha çok kullanılır. (TL cinsinden yapılan işlerde ise fiyat farkları tanımı kullanılır.

- Bir tesisin yapımı sırasında mal ve hizmetlere gelen fiyat artışlarının eskalasyon; tesis hizmete girdikten sonraki dönemde girdi fiyatlarındaki artışların ise enflasyon olarak tanımlanması daha uygun olabilir. Örneğin, bir termik santralde 3 yıllık yapım süresinde ilk (keşif) maliyetine göre fiyatların artması sonucu mal oluş fiyatının yükselmesi eskalasyon göstergesidir. Santral devreye girdikten itibaren personel ücretlerindeki olası yıllık artışlar ise enflasyonun göstergesi olacaktır. Bununla birlikte, işletme süresince o santrale özgü personel ve işletme maliyetlerindeki artışları yıllık ücret eskalasyonu olarak da tanımlayabiliriz.
- Ülkedeki genel enflasyon, hem tesisin yapım (kuruluş) maliyetini hem de tesisin işletme (üretim) maliyetini artırıcı rol oynayacaktır.
- Enflasyon geniş bir mal ve hizmet sepetine yönelik olduğu halde, eskalasyon o işe ait fiili mal ve hizmetlere ilişkindir.
- Kur (parite) farkları hem enflasyonu hem de eskalasyonu artırıcı rol oynar.
- Enflasyon rakamları konusunda kamuoyu her ay bilgilendirilir; buna karşılık eskalasyon oranlarının topluma açıklanması -örneğin termik santralin yapımı sırasındaki fiyat değişikliklerinin duyurulması- gerekli değildir.
- Enflasyon ulusal ölçekte ülkedeki fiyat artışlarının bir tür ortalamasını yansıtmaktadır; gerçekte A ilindeki fiyat değişimi ile B ilindeki fiyat değişimi birbirinden farklıdır. Halbuki eskalasyon, o işe ait gerçek (ortalama olmayan) fiyat artışlarını ifade etmektedir.
- Enflasyon rakamları ulusal para birimi cinsinden açıklandığı halde, eskalasyon için türüne göre, yerli ve yabancı para birimleri cinsinden ifade edilebilir.
- Yapım (montaj) süresi çok kısa -ay mertebesinde- olan tesislerde  $esk \approx 0$  alınabilir.

Bir tesisin yapımında yerli ve yabancı maliyet bileşenleri bulunuyorsa ve her bileşene ait eskalasyonlar da biliniyorsa ve ayrıca tesisin proje maliyeti yabancı para (döviz) cinsinden tanımlanmış ise, yerli maliyet işlerindeki artış yabancı maliyet işlerindeki artış cinsinden ifade edilebilir. Böylece yerli eskalasyonun yabancı eskalasyon eşdeğeri (3.1) ile hesaplanabilir:

$$esk_{TL}^* = \frac{esk_{TL} - \text{Döviz kurundaki değişim}}{1 + \text{Döviz kurundaki değişim}} \quad (3.1)$$

Baz yıl ve cari yıldaki fiyat değişimlerinin ölçülmesinde kullanılan TEFİ (ÜFE) ve TÜFE, DİE (TÜİK) tarafından önceden belirlenmiş mal ve hizmetler sepetine dayanmaktadır. Söz konusu sepetlerde yer alan mal ve hizmetlerin gerek miktar gerekse kalite ve nitelik yönünden

değişmediği kabul edilmektedir. Bu varsayım altında tanımlanan fiyat endeksine Laspeyres Fiyat Endeksi (3.1) adı verilir.

$$\text{Laspeyres Fiyat Endeksi} = \frac{\sum p_1 q_0}{\sum p_0 q_0} \times 100 \quad (3.1)$$

$$\text{Laspeyres Miktar Endeksi} = \frac{\sum p_0 q_1}{\sum p_0 q_0} \times 100 \quad (3.2)$$

(3.1) denklemini, TEFE (ÜFE) ve TÜFE endekslerinin genel formatıdır. 1 indisi cari yılı, 0 indisi baz yılı, p fiyatları ve q miktarları göstermektedir. Bir işletmenin üretimi, satışları, mamul stokları gibi fiziksel büyüklüklerinin cari yıl ve baz yıl arasındaki değişimleri, miktar endeksi yardımıyla ortaya konulabilir. Bu amaçla Laspeyres Miktar Endeksi (3.2) kullanılabilir. Örneğin, bir kablo fabrikasının 2006 Aralık ve 2007 Aralık tarihlerindeki gerek mamul stok, gerekse satılan mamul miktarlarındaki değişimler incelenecekse, miktar endeksi kullanılmalıdır. Bu amaçla geçmiş yıllardan birisinin baz yıl seçilmesi gerekir.

Laspeyres Endeksi dışında, Paasche Endeksi, Fisher Endeksi, Marshall-Edgeworth Endeksi, Walsh Endeksi, Değer Endeksi gibi endeksler de kullanılabilir.

$$\text{Paasche Fiyat Endeksi} = \frac{\sum p_1 q_1}{\sum p_0 q_1} \times 100 \quad (3.3)$$

$$\text{Paasche Miktar Endeksi} = \frac{\sum p_1 q_1}{\sum p_1 q_0} \times 100 \quad (3.4)$$

$$\text{Fisher Endeksi} = (\text{Laspeyres Endeksi} \times \text{Paasche Endeksi})^{1/2} \quad (3.5)$$

$$\text{Marshall-Edgeworth Fiyat Endeksi} = \frac{\sum p_1 q_0 + \sum p_1 q_1}{\sum p_0 q_0 + \sum p_0 q_1} \times 100 \quad (3.6)$$

$$\text{Marshall-Edgeworth Miktar Endeksi} = \frac{\sum p_0 q_1 + \sum p_1 q_1}{\sum p_0 q_0 + \sum p_1 q_0} \times 100 \quad (3.7)$$

$$\text{Walsh Fiyat Endeksi} = \frac{\sum p_1 \sqrt{q_0 q_1}}{\sum p_0 \sqrt{q_0 q_1}} \times 100 \quad (3.8)$$

$$\text{Walsh Miktar Endeksi} = \frac{\sum q_1 \sqrt{p_0 p_1}}{\sum q_0 \sqrt{p_0 p_1}} \times 100 \quad (3.9)$$

$$\text{Değer Endeksi} = \frac{\sum p_1 q_1}{\sum p_0 q_0} \times 100 \quad (3.10)$$

Bu endekslerin birbirleri cinsinden ifade edilmesi de mümkündür:

$$\frac{\text{Laspeyres Fiyat Endeksi}}{\text{Laspeyres Miktar Endeksi}} = \frac{\text{Paasche Fiyat Endeksi}}{\text{Paasche Miktar Endeksi}} \quad (3.11)$$

$$\begin{aligned} \text{Değer Endeksi} &= \text{Laspeyres Fiyat Endeksi} \times \text{Paasche Miktar Endeksi} / 100 \\ &= \text{Paasche Fiyat Endeksi} \times \text{Laspeyres Miktar Endeksi} / 100 \end{aligned} \quad (3.12)$$

$$\text{Değer Endeksi} = \text{Fisher Fiyat Endeksi} \times \text{Fisher Miktar Endeksi} / 100 \quad (3.13)$$

Ekonomide fiyat artışlarının Laspeyres Endeksi ile değerlendirilmesinin nedenleri şöyle sıralanabilir:

- Laspeyres endeksi dışındaki endekslerde, tüketim eğilimleri yıldan yıla değişmektedir. Daha gerçeğe yakın gözükmeyle birlikte, yıllar arasındaki gerçek fiyat artışlarını değerlendirmek çok zorlaşır. Çünkü fiyat ve miktar gibi iki bileşenin değişimi söz konusudur. Laspeyres Endeksi ise, tek bileşenin (fiyatların) değişimini ölçü almaktadır.
- İşletmelerin maliyetlerini artıracak bazı harç ve vergiler yeniden değerlendirilmesine (dolayısıyla TEFE'ye) ve personel maaş artışları TÜFE'ye bağlıdır. Her iki endeks de Laspeyres yöntemiyle hesaplanmaktadır.
- Birim Fiyat Kitapları kullanılarak yapılan tesis işlerinde (iletim hattı, trafo merkezi, baraj, santral vb.), malzeme, montaj ve nakliye fiyatlarının yıllara göre artışı TEFE'ye oldukça paralel gerçekleşir. Bir başka ifadeyle, Birim Fiyat Kitaplarındaki fiyat değişimleri Laspeyres endeksine göre belirlenmiştir.
- Firmaların ürettiği ürünlerde (kablo, trafo, izolatör, motor vb.) kullanılan ham maddelerin (bakır, PVC, seramik, sac vb.) miktarları ve kaliteleri üretim standart olduğundan değişmez. Örneğin, 1250 kVA'lık bir trafonun üretiminde kullanılan sacın ağırlığı (kg) ve

kalitesi, bakır sargının ağırlığı (kg) yıldan yıla değişiklik göstermez. Ama bu girdilerin fiyatları değişebilir. Bu durum, Laspeyres endeksinin mantığına uygundur.

- Bir firma ürün girdilerinin miktar ve kalitesini çok seyrek değiştirir. Örneğin, bir trafoda daha yüksek sıcaklığa dayanabilen, daha uzun ömürlü ve hafif izolasyon maddesi kullanıldığında, girdi kalitesi ve miktarı değişmiş olur; Değer endeksi kullanılabilir. Değer endeksi ile yapılan ekonomik analiz, yukarıda ifade edildiği gibi, özel duruma aittir. Kaldı ki, teknolojinin gelişimine bağlı olarak daha üstün nitelikli ham maddeler ortaya çıksa bile, mevcut ham madde stokları, alışkanlıklar ve fiyat düzeyleri yeni ham maddelerin seri kullanımını engelleyebilecektir. (Ay, 2008)

### 3.1.3 Birim Fiyat Analizi

Özellikle kamu ihalelerinde ilgili işin keşif tutarı, birim fiyatlar ile yapılacak hesabın sonunda belirlenir ve bu tutar üzerinden ihaleye çıkılır. Özel sektörde ise, götürü fiyatlar ve birim fiyatlar kullanılmaktadır. İnşaat işlerinde Bayındırlık Birim Fiyat Kitabı, elektrik işlerinde TEDAŞ Birim Fiyat Kitabı, vb. kullanılmaktadır. Birim fiyat analizi kullanışlı bir yaklaşımdır. Şöyle ki;

- Her türlü malzeme, malzemenin montajı ve taşınması (yükleme+taşıma+boşaltma) işlemlerinin birim fiyatları tanımlanmıştır.
- Birim fiyatın hangi fonksiyonları içerdiği de ayrıntılı olarak belirtilmiştir.
- Birim fiyat kitabındaki her iş, bir poz no.su ile tanımlıdır; bu olası karışıklıkları önlemektedir.
- Birim fiyat kitabına ihtiyaca göre her yıl yeni iş tanımları -dolayısıyla poz no.ları- eklemek, yeni birim fiyatlar tanımlamak mümkündür.
- Ülkenin coğrafi zorlukları ve işgücü maliyetleri farklılık gösteren bölgeleri için, farklı taşıma ve montaj bedelleri tanımlanabilir.
- Yapılacak işin olağandan kolay ve zor olması gibi karşılaşılabilecek olasılıklar, birim fiyatlara objektif biçimde yansıtılmaktadır. (Bir kablo kanalı derinliğinin 80 cm derinlik yerine, 60 cm veya 100 cm olması gibi.)
- Birim fiyatlar ülke genelinde yapılan ayrıntılı bir araştırmanın sonucu, her yıl güncellenmektedir. Güncelleme oranı, TEFE, yeniden değerlendirme oranı gibi standart oranlarla aynı olmayıp her işe (kazı, taşımacılık, elektrik, beton, vb.) ait fiili yıllık fiyat artışlarını

içermektedir. Yıllık birim fiyatlar, Ticaret Odaları ve Bayındırlık Bakanlığı'nın araştırma ve analizleri sonucu belirginleşir.

- Birim fiyat kitaplarında her iş birimleri (m, kg, m<sup>2</sup>, vb.) ile tanımlıdır.

Yapılmasına karar verilen (ihaleye çıkılacak olan) bir işin başlangıç (keşif) maliyeti; yapılacak işler (miktarlar) A, B, C, D, E, ... ile ve bunların birim fiyatları da a, b, c, d, e, ... ile gösterilerek (3.14)'deki gibi hesap edilebilir.

$$\text{Yapım Maliyeti} = A \times a + B \times b + C \times c + D \times d + E \times e + \dots \quad (3.14)$$

Malzeme, işçilik ve taşıma giderlerinin dışında o birim fiyata yansıtılacak olan son bileşen genel giderler ve kardır. Kanunlar gereği ödenen vergi giderleri, amortismanlar, SSK primleri, büro ve personel giderleri genel gider olarak birim fiyata etki eder. Bayındırlık işlerinde uygulanan birim fiyat analizlerinde malzeme, işçilik ve taşıma giderlerine genel gider ve kar karşılığı olarak %25 oranında bir ödeme öngörülmektedir (Çarpan, 1.25'dir).

4734 sayılı Kamu İhale Kanunu'na göre (RG: 22.1.2002/24648); Mal, Hizmet, Yapım, Tedarikçi ve Hizmet Sunucusu ile ilgili tanımlar aşağıdaki gibidir:

**Mal:** Satın alınan her türlü ihtiyaç maddeleri ile taşınır ve taşınmaz mal ve hakları,

**Hizmet:** Bakım ve onarım, taşıma, haberleşme, sigorta, araştırma ve geliştirme, muhasebe, piyasa araştırması ve anket, danışmanlık, mimarlık ve mühendislik, tanıtım, basım ve yayım, temizlik, yemek hazırlama ve dağıtım, toplantı, organizasyon, sergileme, koruma ve güvenlik, mesleki eğitim, fotoğraf, film, fikri ve güzel sanat, bilgisayar sistemlerine yönelik hizmetler ile yazılım hizmetlerini, taşınır ve taşınmaz mal ve hakların kiralanmasını ve benzeri diğer hizmetleri,

**Yapım:** Bina, karayolu, demiryolu, otoyol, havalimanı, rıhtım, liman, tersane, köprü, tünel, metro, viyadük, spor tesisi, alt yapı, boru iletim hattı, haberleşme ve enerji nakil hattı, baraj, enerji santrali, rafineri tesisi, sulama tesisi, toprak ıslahı, taşkın koruma ve dekapaj gibi her türlü inşaat işleri ve bu işlerle ilgili tesisat, imalat, ihrazat, nakliye, tamamlama, büyük onarım, restorasyon, çevre düzenlemesi, sondaj, yıkma, güçlendirme ve montaj işleri ile benzeri yapım işlerini,

**Tedarikçi:** Mal alımı ihalesine teklif veren gerçek veya tüzel kişileri veya bunların

oluşturdukları ortak girişimleri,

**Hizmet sunucusu:** Hizmet alımı ihalesine teklif veren gerçek veya tüzel kişileri veya bunların oluşturdukları ortak girişimleri ifade etmektedir (madde 4).

Aynı Kanun'un 18. maddesine göre şu ihale usulleri tanımlanmıştır:

- Açık ihale usulü
- Belli istekliler arasında ihale usulü
- Pazarlık usulü
- Doğrudan temin

İhaleye katılanlar teklif mektubuna ekli olarak belirledikleri birim fiyatlar üzerinden tekliflerini verirler. Bu kapsamda, mevcut veya eski Birim Fiyat Kitaplarından yararlanabilirler.

Önceleri ihaleyi veren kamu kuruluşu o yıla ait birim fiyat kitapları yardımıyla ihaleye konu işin keşif tutarını belirler ve ilan ederdi. İhaleye katılacaklar bu bedel üzerinden fiyat kırarlar ve sonuçta iş, en düşük fiyatı veren yüklenicide kalırdı. Günümüzde ise ihale açan kuruluşlar gene bir tutar hesabı yaparlar, ancak bu tutarı ihale öncesinde açıklamazlar. Bu tutarın hesaplanmasından amaç, ihaleye katılanların tekliflerinin incelenmesi sırasında aşırı düşük tekliflerin ayıklanması içindir.

### 3.1.4 Amortisman

Amortisman, Fransızca amortissement (aşınma payı) kelimesinden gelmektedir. Eskiyen ekipmanın kaybolan değerinin bir fonda para biriktirmek suretiyle bu olumsuz etkinin söndürülmesi anlamına gelmektedir. Eskiyen ekipmanın (varlığın) yenisiyle değiştirilmesi gerekecektir. İşletmeler her yıl kullandıkları araç ve gereçler için belirli paylar ayırır; bu paylar bir fonda toplanır, zamanı geldiğinde yeni araç ve gereç alımında kullanılır. Ekonomi yönetimleri, ekonomiyi canlandırmak, üretimi artırmak, işletmeleri teşvik etmek amacıyla yukarıda ifade edilen payları yasal zemine oturtmuştur. İşletmelerin arsa ve araziler dışında kullandıkları araç ve gereçler için her yıl ayırdıkları paya amortisman adı verilir ve mali kayıtlarda yer alır. Bir varlığın amortismanına tabi olabilmesinin koşulları Vergi Usul Kanunu'nda (VUK/madde 313-330) belirtilmiştir. Buna göre varlığın;

- Envantere kayıtlı olması,

- İşletmede bir yıldan daha uzun sürelerde kullanılması,
- Kullanılma sonucu yıpranma, aşınma, kıymetten düşme veya demode olması,
- Tutar olarak her yıl belirlenen minimum değer üzerinde olması,

gerekir.

Amortisman hesabının temel parametreleri şunlardır:

- Amortisman payı ayrılacak olan varlığın (örneğin, 500 kW'lık asenkron motor vb.) satın alma fiyatı ya da varlık değeri (Fatura bedeli)
- Bu varlığın ekonomik ömrü (hizmet süresi), N
- Varlığın öngörülen hurda değeri, HD
- Seçilecek amortisman hesap yöntemi
- Amortisman paylarına enflasyon etkisini yansıtmak üzere kullanılacak olan düzeltme katsayısı

#### 3.1.4.1 Amortisman Yöntemleri

Her ülkenin koşullarına göre farklı amortisman yöntemleri tanımlanmıştır. Doğrusal amortisman, azalan bakiyelerle amortisman, yıllar toplamına ayrıştırılan amortisman, üretim birimlerinin amortismanı, sermayeyi yıllara yayarak amortisman vb. yöntemler sayılabilir.

Ülkemizdeki vergi mevzuatına (Vergi Usul Kanunu'na) göre ise, aşağıdaki iki amortisman yöntemi tanımlanmıştır:

- Normal (sabit, doğrusal) amortisman yöntemi
- Azalan bakiyeler üzerinden amortisman yöntemi

İşletmeler üretimde kullandıkları arsa ve araziler dışındaki tüm varlıklar, özetle iktisadi kıymetler (alet, edevat, mefruşat, demirbaş, vb.) için amortisman hesabı yapmak durumundadır ve bu yukarıdaki amortisman yöntemlerinden birisi kullanılacaktır. İşletmeler (veya mükellefler), yalnızca birini olmak üzere, istedikleri amortisman yöntemini seçmekte serbesttirler. Değeri belirli miktarın altında olan varlıklar için amortisman hesabı yapılmaz. Bu miktar, örneğin 2003 yılı için 350 milyon TL, 2004 yılı için 440 milyon TL, 2005 yılı için 480 YTL, 2006 yılı için 520 YTL, 2007 yılı için 560 YTL ve 2008 yılı için de 600 YTL olarak belirlenmiştir (www.maliye.gov.tr).

Amortisman yöntemlerini ayrıntılı olarak incelemeden önce, amortisman hesabı ile ilgili bazı



temel kavramları açıklayalım:

- Yıllık amortisman payı: Varlık için her yıl ayrılan paydır (TL/yıl); 0...N yılları arasında ayrılır. Bu yıllar içinde -kullanılan amortisman yöntemine bağlı olarak- sabit veya değişken amortisman payları ayrılabilir.
- Toplam amortisman bedeli: Bir varlığın toplam amortisman bedeli, varlık değerinden hurda değerinin çıkarılmasıyla hesaplanır.
- Amortisman oranı: Yıllık amortisman paylarının hesabında kullanılan (%)'dir.
- Devir amortismanı: Bir varlığın j. yıl sonu itibariyle, (  $j < N$  ), ayrılmış tüm amortisman paylarının toplamıdır.
- Defter değeri (Net değer): Bir varlığın (j. yıl sonu itibariyle) defter değeri, varlık değerinden j. yıl sonu itibariyle ayrılmış tüm amortisman paylarının çıkarılmasıyla hesaplanır. Defter değeri hurda değerinin altına düşemez. Defter değeri hurda değerine eşit olduğunda, amortisman işlemi sona ermiş demektir.

İşletmeler tarafından en yaygın kullanılan yöntem normal amortisman yöntemidir. Bu yöntemde bir varlık için her yıl eşit miktarda amortisman payı ayrılır. İşletme normal amortisman yöntemini seçmiş ve Maliye'ye bildirmiş ise, artık 0...N yılları arasındaki amortisman paylarını bu yönteme göre hesaplayacak demektir; diğer deyişle aradaki yıllarda bir başka amortisman yöntemini (azalan bakiyeler yöntemini) kullanamaz.

Vergi mevzuatında 01.01.2004 tarihinden önceki uygulamaya göre, normal amortisman yönteminde amortisman oranı (yıllık) %20'yi geçmezdi. Bunun anlamı ekonomik ömrün  $1/0.20 = 5$  yıldan az olamayacağı şeklindeydi. 01.01.2004 tarihinden itibaren, Maliye Bakanlığı her ekipman için ekonomik ömrü belirlemiş ve Resmi Gazete'de yayımlamıştır (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2 Faydalı ömürler ve amortisman oranları (333 ve 339 sayılı VUK tebliği)

	<b>Eleman</b>	<b>Faydalı Ömür (yıl)</b>	<b>Oran</b>
3.11.1	Generatör	10	% 10
3.11.2	UPS (statik)	10	% 10
3.11.3	UPS (dinamik)	10	% 10
3.11.4	Paratoner	10	% 10
3.14.4	Elektrojen grupları	10	% 10
3.14.5	Trafo lar	10	% 10
3.14.6	Redresör	10	% 10
3.14.7	Akümülatör	5	% 20
3.14.9	Şalt cihazları, kontaktör	3	% 33.33
3.14.10	Elektrik panoları, benzeri anahtarlama ve kontrol üniteleri	10	% 10
3.14.11	Elektrik motorları, elektrik trafoları	10	% 10

Sonuç olarak, normal amortisman yöntemine göre (sabit) yıllık amortisman payı (3.15) bağıntısı ile hesaplanır.

$$\text{Yıllık amortisman payı} = \frac{\text{Varlık değeri} - \text{Hurda değeri}}{\text{Ekonomik ömür}} \quad (3.15)$$

### 3.1.5 İstatistiksel Verilerin İşlenmesiyle Durum Kestirimi

Mühendislik projelerindeki hesaplarda aşağıdaki formül tiplerinden yararlanılabilir:

- Analitik formül (doğruluğu matematiksel olarak kanıtlanmıştır.)

- Ampirik formül (matematiksel olarak tanımlanmamakla birlikte, o alanda yapılmış ölçüm veya gözlem sonuçlarına göre elde edilmiştir.)
- Yarı-Ampirik formül (ilk ikisinin birleşimidir.)

Analitik olarak ifade edilemeyen ve/veya fiziksel ölçü aletleriyle ölçülemeyen veya gözlenemeyen parametreler ve büyüklükler olabilir. Jeoloji, jeofizik, meteoroloji vb. mühendislik alanlarında çoğu kez bu durumla karşılaşılır. Bir büyüklüğün ne zaman ve hangi değerde ortaya çıkacağı formüle edilememektedir.

Ekonomi için de aynı durum geçerlidir. Örneğin;

- Firmanın maliyetleri hangi oranda değişecektir?
- Firmanın stokları ne düzeyde olacaktır?
- Firma finansman ihtiyacını hangi koşullarda (hangi faiz ve hangi vade ile) karşılayacaktır?
- Firmanın karı hangi aralıkta gerçekleşecektir?

gibi bir dizi sorunun cevabını bulabilmek için analitik türden formüller mevcut değildir.

Geçmiş yılların istatistiksel verilerinin sağlanması, bunların bir araya getirilmesi ve uygun bir model ile durum kestirimi (tahmini) yapılması en uygun yol olarak görülmektedir. Durum kestirimi sonuçları hiçbir zaman kesin bulguları yansıtmaz, ancak karar vericiye yaklaşık da olsa bir ipucu verir. Zaten bu yönde yapılmış projeksiyonlarda daima bir yanılma payının olduğu bilinmektedir. Durum kestiriminin en az hata ile yapılabilmesi şu koşullara bağlıdır:

- Geçmiş verilerin olabildiğince sağlıklı (doğru) değerlerde, eşit aralıklarda ve çok sayıda veri toplanabilmiş olması,
- Birden çok sayıda parametre söz konusu ise, bunların aralarındaki ilişkiyi de yansıtan uygun bir çözümleme modelinin seçilmesi,
- Durum kestirimi sonucunun test edilmesi, bulunan sonuçtaki hata payı yüzdesinin veya hata aralığının ortaya konulması,
- Verilere uygun bir kestirim (tahmin) yönteminin kullanılması,
- Bir kestirim yöntemi yerine birkaç kestirim yöntemi kullanılarak karşılaştırılabilir sonuçlara ulaşılması.

Durum kestirimi, tek parametrelili ( $x$  ve  $y$  arasında) olabileceği gibi çok parametrelili ( $x_1, x_2, \dots, x_n$  ve  $y$  arasında) olabilir. Kestirim modelinde lineer bir fonksiyon öngörüleceği gibi nonlineer

fonksiyon tipleri de kullanılabilir. Durum kestiriminin bir diğer adı da tahmindir. Veriler arasındaki ilişkiye karşılık olarak herhangi bir fonksiyon (eğri) uydurulmaktadır. Doğal olarak parametrelerin verileri belirli bir kurala göre dağılmadığı için, uydurulacak eğrinin (fonksiyonun) bir hata payını içermesi kaçınılmazdır.

İstatistik biliminin en önemli konularından birisi de regresyon analizidir. Eldeki bulguların (gözlem veya ölçüm sonuçlarının) hangi olaylar (veya parametreler) tarafından etkilendiği regresyon analiziyle bulunabilir. Bu analizin sonunda, gözlem değerlerinin ve etkilenen olayların matematiksel modeli (regresyon modeli) elde edilir. Regresyon modeli (denklemleri) değişkenleri içermektedir; değişkenler sayılabilir veya ölçülebilir niteliktedir. Örneğin ham madde fiyatları göz önüne alınacak olursa;

- Ham madde fiyatlarını etkileyecek olan piyasa faiz oranları, genel enflasyon oranı, döviz kuru, çeşitli politik ve finansal olaylar vb. bağımsız değişkenlerdir ve ham madde fiyatlarının değişmesine neden olurlar.
- Ham madde fiyatlarındaki değişim bir sonuçtur ve bağımsız değişkenlerden etkilendiği için bağımlı değişken sınıfına girer.

Regresyon analizi yapılırken kurulan matematiksel modelde;

- Bir bağımlı değişken ( $y$ )
- Bir veya birden çok bağımsız değişken ( $x_1, x_2, \dots$ ) yer alır. Bağımsız değişkenlerin sayısı, analizin türüne ve bulguların sağlanabilir olmasına göre değişebilir. Örneğin ham madde fiyatları üzerinde yalnızca enflasyonun etkisi incelenecekse tek değişkenli (basit) regresyon; hem enflasyon hem de faiz, döviz kuru vb. parametrelerin etkisi incelenecekse çoklu regresyon modeli oluşturulur. Regresyon için en sık kullanılan model lineer (doğrusal) modeldir. Lineer model kolay anlaşılabilir oluşunun dışında, sınırlı da olsa ekstrapolasyon (bilinen veri noktalarının ayrık kümesi dışında yeni veri noktaları oluşturma işlemi) olanağı sağlar.

### 3.1.5.1 Lineer Regresyon

Matematiksel olarak en küçük kareler yöntemine göre çizilecek doğrudaki sapma minimumdur (hata payı en düşüktür.).  $x$  ve  $y$  parametrelerine ilişkin olarak  $n$  tane veri toplanmış olsun. ( $x_i, y_i ; i = 1, 2, \dots, n$ ). Bu veriler, dolayısıyla  $x$  ve  $y$  arasındaki ilişkinin lineer bir fonksiyonla (doğru denklemiyle) ifade edilmesi sıkça kullanılan bir yaklaşımdır. Lineer regresyon denklemi (3.16) ifadesi olup  $a$  ve  $b$  reel katsayılarıdır.

$$y = a + bx \quad (3.16)$$

a ve b'nin adım adım hesabı (ispatı verilmeden) aşağıda özetlenmiştir:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (3.17)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n} \quad (3.18)$$

$\bar{x}$  ve  $\bar{y}$ , aritmetik ortalama değerleri göstermektedir. Böylece (3.19) ve (3.20) bağıntıları yazılabilir.

$$b = \frac{\sum x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sum x_i^2 - n \bar{x}^2} \quad (3.19)$$

$$a = \bar{y} - b \bar{x} \quad (3.20)$$

(3.16) denkleminle elde edilen x-y ilişkisi ne oranda doğrudur; Bu ilişkinin ortaya konması ne ölçüde anlamlıdır? Bu sorunun cevabı, yapılan durum kestiriminin test edilmesiyle anlaşılabilir. Bu amaçla korelasyon katsayısı (r) hesaplanır (3.21).

$$r = \frac{\sum_1^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sqrt{\left( \sum_1^n x_i^2 - n \bar{x}^2 \right) \left( \sum_1^n y_i^2 - n \bar{y}^2 \right)}} \quad (3.21)$$

r, 0 ile  $\pm 1.0$  arasında bir değer alır; r'nin büyük çıkması, bulunan ilişkinin güçlü (hata payının düşük) olduğu anlamına gelir. x ve y'nin verileri artan özellikte ise r (+)'dır, biri artarken diğeri azalıyorsa r (-)'dir.

Öte yandan daha yaygın kullanılan belirleme katsayısı ( $R^2$ ) yardımıyla da test işlemi gerçekleştirilebilir;  $0 \leq R^2 \leq 1$ 'dir (3.22).

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} = \frac{SSR}{SST} \quad (3.22)$$

Burada SST: Total Sum of Squares, SSR: Regression Sum of Squares ve SSE: Error Sum of Squares olup  $SST = SSR + SSE$  eşitliği her zaman gerçekleşir.

$$SSE = \sum_{i=1}^n e_i^2 = (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (3.23)$$

$$SSR = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \quad (3.24)$$

$\hat{y}_i$  değeri,  $x_i$  değerinin bulunan regresyon denkleminde yerine konulmasıyla hesaplanmaktadır.

$$SST = \sum_{i=1}^n y_i - \bar{y}^2 \quad (3.25)$$

Son olarak düzeltilmiş belirleme katsayısı  $\bar{R}^2$  tanımlanacaktır (3.26).

$$\bar{R}^2 = 1 - \frac{SSE / n - K - 1}{SST / n - 1} \quad (3.26)$$

$K$ ,  $x$  parametrelerinin sayısını göstermektedir. Yalnızca  $y$  ve  $x$ 'den oluşan durum kestirim modeli incelendiğine göre  $K \rightarrow 1$ 'dir.  $\bar{R}^2$ , özellikle çoklu regresyonda,  $K > 1$  olduğu durumlarda ( $y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_Kx_K$ ) kullanılır.

### 3.2 Mühendislikte Ekonomik Karar Verme Yöntemleri

Yeni bir yatırıma veya projeye başlarken ekonomik değerlendirme yapılmaması düşünülemez. Bu konuda çeşitli ekonomik karar verme yöntemleri mevcuttur. Tüm bu yöntemler gerçekte, paranın zaman değerinin uygulamaya geçirilmesinden farklı bir anlam taşımamaktadır. İşletme (firma) karar verme sürecinde şu hazırlıkları yapar:

- Hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın, ilgili zaman aralığı için (ekseri ekonomik ömür için) paranın zaman değerini yansıtan bir değerlendirme oranı (= iskonto oranı, minimum getiri oranı, MARR) öngörülür. İşletmenin (firmanın) sermaye maliyeti, benzer yatırımların olağan karlılık oranları, finans piyasasının alternatif getiri oranları, söz konusu yatırımın risk ve belirsizlikleri, yatırımdaki TL ve döviz payları, işletmenin yapısal ve finansal özellikleri,

vb. faktörler değerlendirme oranının belirlenmesinde rol oynar. Çoğu kez, analiz süresince değerlendirme oranı sabit alınır.

- Analizin süresi öngörülür. Analiz, bir donanım (ekipman) için yapılabileceği gibi karmaşık bir yatırım projesine yönelik de olabilir. N (yıl) süresinin tayini gerekir.
- İşletmelerin temel hedefi maliyetleri minimum, getirileri (karları) ise maksimum yapmaktır. İşletmelerin temel hedefi maliyetleri minimum, getirileri (karları) ise maksimum yapmaktır. Öngörülen analiz süresince enflasyon da dikkate alınıyorsa, değerlendirme oranına enflasyon etkisi de yansıtılacaktır.  $i$  yerine  $i_g = i + e + i * e$  esas alınacaktır. 0...N aralığı için ortalama bir enflasyon oranı (e) öngörülebilir.
- Ekonomik analizlerde kullanılması gereken çeşitli bilgiler ve veriler (olası yıllık para akışları, hurda değeri, yıllık işletme maliyeti, yıllık bakım maliyeti, vb.) olabildiğince doğru ve sık olarak toplanır. Geçmiş yılların deneyimleri ve sektörden alınacak diğer bilgiler yardımıyla yukarıdaki bilgi ve veriler ortaya konulabilir.
- Ekonomik karar vermek için uygun karar verme yöntem(ler)i seçilir.

Ekonomik karar verme yöntemleri, en ekonomik olandan başlayarak seçenekleri ekonomiklik sırasına göre ortaya koymak veya bir yatırıma başlamanın ekonomik olup olmadığını belirlemek için kullanılmaktadır. Bu yöntemler genellikle aynı sonuçta birleşir.

Ekonomik karar vermeyi etkileyen dış (bozucu) faktörler dikkate alınmalıdır. Söz konusu olumsuzluk teşkil eden faktörler risk ve belirsizliktir. O halde ekonomik analizi şu üç senaryoya göre sınıflandırmak mümkündür:

- Belirlilik varsayımıyla analiz (Eldeki tüm bilgi ve verilerin kesin olduğu kabul edilir.)
- Risk varsayımıyla analiz
- Belirsizlik varsayımıyla analiz

### 3.2.1 Belirlilik Varsayımıyla Analize İlişkin Karar Verme Yöntemleri

Burada ekonomik analizin başlangıcında toplanan tüm bilgi ve verilerin kesin ve güvenilir olduğu kabul edilmektedir. Örneğin bir yatırım projesinin 10 yıllık para akışlarının kesin ve doğru olduğu, aradaki yıllarda ekonomik daralma veya maliyetlerin yükselmesi gibi nedenlerle para akışlarında herhangi bir azalma olmayacağı kabul edilmiş ise bu belirlilik varsayımına karşılık düşer. İç ve dış faktörler (ekonomik, sosyal, politik vb.) belirlilik varsayımının kullanımını olanaksız hale sokabilir. Yine de işletmeler projeksiyonlarını belirlilik varsayımı altında gerçekleştirebilir.

### 3.2.1.1 Şimdiki Değer Yöntemi

Mühendislikte en sık kullanılan karar verme (ekonomik analiz) yöntemidir. İşletmeler karar verme noktasına geldiklerinde, maliyetlerin veya karların bugün itibariyle hangi değerde olacaklarını bilmek isterler. Bu bilgi doğrultusunda finansman ihtiyacı belirlenecektir. Bir başka ifadeyle şimdiki değer, ekonomik projeksiyonun yapıldığı anı ( $t = 0$ ) simgelemektedir. Şimdiki değer yöntemi, öngörülen analiz süresi (ekseri  $N$ ) içindeki tüm para akışlarını (para girişlerini yani gelirleri, para çıkışlarını yani maliyetleri ve diğer ödemeleri, özetle hem para girişlerini hem de para çıkışlarını birlikte) şimdiki değere indirger. Yöntem, eldeki mevcut tüm seçeneklere -yerine göre yatırım projelerine ya da farklı ekipmanlara- ayrı ayrı uygulanır. Yöntem, maliyetlere uygulanmış ise, şimdiki değeri minimum olan seçenek veya ekipman tercih edilir. Yöntem, gelirlere (karlara) uygulanmış ise, şimdiki değeri maksimum olan seçenek veya proje tercih edilir.

$T$  periyodu boyunca para akışları  $A_1, A_2, \dots, A_N$  ise, tüm para akışlarının  $t = 0$ 'a indirgenmiş değeri (şimdiki değeri) hesaplanacaktır. Şimdiki değer yöntemi  $j$ . seçeneğe uygulandığında (3.27) bağıntısı yazılabilir.

$$\text{ŞD}^j = \sum_{t=0}^N A_t (1+i)^{-t} \quad (3.27)$$

Hurda değerinin ( $HD > 0$ ) olması halinde,  $\pm HD(1+i)^{-N}$  terimi şimdiki değer hesabına yansıtılır. Bilindiği gibi  $HD$ , işletmeye  $N$ . yılda gelir sağlıyordu. O halde, maliyetlerin şimdiki değeri hesaplanıyorsa  $HD$ ,  $- HD(1+i)^{-N}$  ile, karların şimdiki değeri hesaplanıyorsa  $HD$ ,  $+ HD(1+i)^{-N}$  ile yansıtılır. Çünkü  $HD$ , maliyetleri azaltıcı karları arttırıcı etki yapmaktadır.

### 3.2.1.2 Yıllık Değer Yöntemi

İşletmeler faaliyetlerini değerlendirirken yıllık verilerini (yıllık maliyetlerini ve/veya karlarını) esas alırlar. O halde, yeni bir yatırım projesine başlanırken veya yeni bir ekipman (donanım) alırken, bunların yıllık değerleri karşılaştırılarak bir değerlendirme yapmak yerinde olabilir. Yıllık değer yöntemi, seçeneklerin tüm para akışlarının ( $0 \dots N$ ) aralığında üniform biçimde gösterilmesine dayanır. ( $0 \dots N$ ) aralığındaki para akışları (para girişleri veya para çıkışları) üniform olmayabilir. Bu nedenle öncelikle tüm para akışlarının şimdiki değeri hesaplanır. Ardından yıllık eşdeğer gelir (YEG), (3.28) bağıntısı ile bulunur.



$$YEG = \left[ \sum_{t=0}^N (\text{Para girişleri}_t - \text{Para çıkışları}_t) 1+i^{-t} \right] \left[ \frac{i 1+i^N}{1+i^N-1} \right] \quad (3.28)$$

Para akışları üniform olduğunda ise, yıllık değer şöyle bulunacaktır. Örneğin, bir ekipmanın başlangıç maliyeti P, yıllık (üniform) harcamaları YH ve hurda değeri HD ise yıllık eşdeğer maliyet (YEM), (3.29) bağıntısı ile bulunur. (3.30) bağıntısı yardımıyla (3.31) ve (3.32) ifadeleri yazılabilir.

$$YEM = P \left[ \frac{i 1+i^N}{1+i^N-1} \right] + YH - HD \left[ \frac{i}{1+i^N-1} \right] \quad (3.29)$$

$$\frac{i 1+i^N}{1+i^N-1} = \frac{i}{1+i^N-1} + i \quad (3.30)$$

$$YEM = P - HD \left[ \frac{i 1+i^N}{1+i^N-1} \right] + YH + HD \times i \quad (3.31)$$

$$YEM = P - HD \left[ \frac{i}{1+i^N-1} \right] + YH + P \times i \quad (3.32)$$

Ekipmanın yıllık amortisman payı  $\left( \frac{P-HD}{N} \right)$ , başlangıç maliyeti (P) ve hurda değeri (HD) üzerinden yıllık faiz kaybı (fırsat maliyeti) oluşacaktır. Ayrıca ekipmanın eskimesine karşılık olarak da yıllık amortisman payı bir maliyet gibi değerlendirilebilecektir. Böylece (3.33) bağıntısı yazılabilir.

$$YEM = \frac{P + \text{Yıllık amortisman payı} + HD}{2} i + \text{Yıllık amortisman payı} + YH \quad (3.33)$$

(3.22) bağıntısının yeniden düzenlenmesiyle (3.34) bağıntısına ulaşılabilir.

$$YEM = \frac{P-HD}{N} + P - HD \frac{i}{2} \frac{N+1}{N} + HD \times i + YH \quad (3.34)$$

Dikkat edilirse, (3.29) ve (3.31) denklemlerindeki  $(1+i)^N$ 'li terimler (3.33) ve (3.34) denklemlerinde yer almamaktadır. O halde bu denklemler yaklaşık sonuç vermektedir.  $i$  ve  $N$  değerleri büyüdükçe, (3.33) ve (3.34) denklemleri kullanılarak bulunan sonuçların hata payları da artar. (3.29) ve (3.31) denklemleri her zaman doğru sonuç vermeleri bakımından tercih edilmelidir.

Yıllık değer yöntemi göz önüne alınan seçenekleri, yıllık para akışları bakımından (yıllık maliyetleri veya yıllık karları yönünden) inceler. Bu nedenle, seçenekler arasından yıllık eşdeğer maliyeti minimum olan veya yıllık eşdeğer geliri maksimum olan tercih edilecektir. (3.28) denkleminde yıllık eşdeğer gelir ifade edilmişti. (Ay, 2008)

#### 4. İSKİ KATODİK KORUMA SİSTEMLERİNİN EKONOMİK ANALİZİ VE İŞLETME PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Çizelge 4.1 2008 ve 2009 yılları sarf malzemeleri fiyatları

	2008 Fiyatı (YTL)	2009 Fiyatı (TL)
4x16 mm <sup>2</sup> NYFGbY Kablo	11,81	9,59
1x25 mm <sup>2</sup> NY Y Kablo	4,24	4,03
EPR/CSPE 16mm <sup>2</sup> Kablo	6,25	7,22
U Klemens 25mm	1,93	2,07
U Klemens 35mm	2,19	2,34
Sıra Klemens	1,27	1,30
4/16mm Vida Pul	0,04	0,12
Kablo Pabucu 6mm Sarı	0,06	0,21
Ek Mufu 4x25 Protolin	18,50	21,6
Şönt Direnci 60mV 50A	12,00	16,66
Sigorta 25A	6,32	7,66
Potansiyometre 5kΩ	7,50	13,83
Kilit (T/R Kabinleri için)	20,00	24,08
25mm Matkap Ucu	9,60	11,00
25mm Matkap Ucu (Kırıcı)	67,85	33,80
180mm Yan Keski	25,08	31,00
180mm Pense	22,77	25,00
Direnç (Muhtelif)	0,0090	0,0095
Entegre Devre (L7812)	0,2265	0,4133
Entegre Soketi (2x8)	0,0755	0,1877
Diyot (1N4148)	0,0151	0,0203
Zener Diyet (BZX7V5)	0,0288	0,031
Transistör (BC177)	0,54	0,5767
Elektrolit Kond.(470µf)	0,39	0,3933
Mercimek Kond.(68nf 63V)	0,09	0,0917
LED (Küçük)	0,09	0,0967
LED (Büyük)	0,18	0,25

Çizelge 4.2 2008 ve 2009 yılları arıza sayıları

	BAKIM İÇİN KATEDİLEN YOL (km)	NYFGBY ENERJİ KABLOSU METRAJ(m)	EPR/CSPE ANOT KABLOSU METRAJ(m)	NYKATOT KABLOSU METRAJ(m)	ENERJİ KABLOSU	ANOT KABLOSU	KATOT KABLOSU	ÖLÇÜ KUTUSU	KAKIM SİGORTAS I	EK MUFU	SİSTEM KARTI	GERİLİM TRAFOSU	ŞONT DİRENCİ	BESLEME TRAFU	DİYOT	TRİSTÖR	SİGORTA	KABLO PABUÇ	KLEMENS	PMETRE	KİLİT	KONDENSATÖR	CADWELD (Termit Kaynak)	DİSPLAY	
Ocak 08	5843	25	35	40	1	2	1	1	0	2	2	0	0	0	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	
Şubat 08	5717	10	70	0	1	8	0	1	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Mart 08	5991	15	210	5	1	4	1	0	0	1	2	0	0	4	4	4	0	43	4	4	0	0	0	0	
Nisan 08	6758	0	470	45	0	8	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Temmuz 08	7629	50	28	75	1	2	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ağustos 08	5783	35	234	5	1	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Eylül 08	6755	0	60	10	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Kasım 08	7025	0	30	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Aralık 08	5747	0	10	15	0	1	2	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	6	6	0	4	0	0	0	
<b>TOPLAM</b>	57248	135	1147	195	5	34	13	2	0	19	6	0	0	4	7	6	2	49	10	4	4	0	0	0	
<b>ORTALAMA</b>	6361	15	127	22	0,56	3,78	1,44	0,22	0	2,11	0,67	0	0	0,44	0,78	0,67	0,22	5,44	1,11	0,44	0,44	0	0	0	
																									<b>2008 Ort.</b> 8,25
	BAKIM İÇİN KATEDİLEN YOL (km)	NYFGBY ENERJİ KABLOSU METRAJ(m)	EPR/CSPE ANOT KABLOSU METRAJ(m)	NYKATOT KABLOSU METRAJ(m)	ENERJİ KABLOSU	ANOT KABLOSU	KATOT KABLOSU	ÖLÇÜ KUTUSU	KAKIM SİGORTAS I	EK MUFU	SİSTEM KARTI	GERİLİM TRAFOSU	ŞONT DİRENCİ	BESLEME TRAFU	DİYOT	TRİSTÖR	SİGORTA	KABLO PABUÇ	KLEMENS	PMETRE	KİLİT	KONDENSATÖR	CADWELD (Termit Kaynak)	DİSPLAY	
Şubat 09	6762	50	75	65	1	1	2	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2	0	1	1	0	
Mart 09	8137	45	55	90	2	3	4	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	3	0	
Nisan 09	7353	0	20	20	0	1	1	0	0	2	7	2	0	0	2	0	1	0	0	10	0	1	0	0	
Mayıs 09	6129	25	110	90	2	2	3	0	0	4	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	
Haziran 09	8345	5	0	120	1	0	2	0	0	4	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
Temmuz 09	7645	15	0	42	1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	
Ağustos 09	6268	15	0	0	1	0	0	0	0	1	3	0	2	1	0	0	1	4	0	6	0	0	0	2	
Eylül 09	6243	15	15	50	1	1	2	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	3	0	
Ekim 09	5243	25	155	15	2	4	1	0	0	10	1	0	0	1	3	4	0	2	2	0	0	0	0	0	
Kasım 09	6449	5	0	0	1	0	0	0	0	2	4	1	0	0	9	8	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>TOPLAM</b>	68574	200	430	492	12	12	16	0	1	38	18	4	4	5	14	12	3	8	4	18	0	5	9	2	
<b>ORTALAMA</b>	6857	20	43	49	1,20	1,20	1,60	0	0,10	3,80	1,80	0,40	0,40	0,50	1,40	1	0,30	0,80	0,40	1,80	0	0,50	0,90	0,20	
																									<b>2009 Ort.</b> 9,25

Çizelge 4.3 1998-2009 yılları birim fiyatları

	BİRİMİ	1998 BF (TL)	1999 BF (TL)	2000 BF (TL)	2001 BF (TL)	2002 BF (TL)	2003 BF (TL)	2004 BF (TL)	2005 BF (YTL)	2006 BF (YTL)	2007 BF (YTL)	2008 BF (YTL)	2009 BF (YTL)
ETÜT PROJE İŞLERİ	TAKIM	227.712.500	393.875.000	543.547.500	733.750.000	1.218.005.000	1.863.546.250	3.290.569.100	3.367,00	3.427,00	3.937,97	4.608,29	4.482,52
TRAFO/REDRESÖR ÜNİTESİ (Hava Soğutmalı Man-Oto)	ADET	904.562.500	1.481.167.514	2.611.023.448	2.922.242.247	4.821.699.708	6.268.209.620	7.930.369.261	8.114,57	8.601,44	9.883,91	11.566,36	11.250,68
FW/ST 1.6/50 TİPİ TİTANYUM TÜP ANOT	ADET	121.100.000	187.705.000	340.376.411	380.947.298	628.563.042	817.131.955	1.033.817.259	1.057,83	1.121,30	1.288,49	1.507,81	1.466,66
EPR/CSPE 16mm <sup>2</sup> FLEKSİBLE KABLO	METRE	3.243.750	5.027.813	9.117.225	10.203.945	16.836.509	21.887.462	27.686.909	28,33	30,03	34,51	40,38	39,28
MAGNEZYUM ANOT (M-YP) 10KG	ADET	80.718.750	135.536.085	241.225.741	269.978.445	445.464.434	579.103.764	732.662.264	749,68	794,66	913,14	1.068,58	1.039,42
ÖLÇÜ KUTUSU (Galvaniz Kaplı Borulu Tip)	ADET	33.334.030	52.962.488	91.030.313	101.880.597	168.102.985	218.533.881	276.487.943	282,91	299,89	344,60	403,26	392,26
DERİN KUYU ANOT YATAĞI	METRE	29.383.144	46.113.230	77.400.699	86.626.412	142.933.580	185.813.654	235.089.515	240,55	254,98	293,00	342,87	333,51
SABİT TİP REFERANS ELEKTROT	ADET	53.369.062	76.981.688	133.664.300	149.596.307	246.833.907	320.884.079	404.993.120	414,40	440,32	505,97	592,10	575,94
ANOT YATAĞI DOLGU MALZEMESİ (Metahırjik Kok)	TON	87.135.000	141.545.000	234.570.000	323.850.000	528.350.000	665.550.000	713.429.000	730,00	772,00	887,11	1.038,11	1.009,78
HAVALANDIRMA BORUSU ve MONTAJ BEDELİ	METRE	95.000	137.500					2.775.532	2,84	0,73	0,84	0,98	0,95
1x10mm <sup>2</sup> NYK KABLO ve DÖŞEMESİ	METRE	1.408.300	1.421.600				10.510.000	12.400.000	14,17	16,03	18,42	21,56	20,97
1x25mm <sup>2</sup> NYK KABLO ve DÖŞEMESİ	METRE						11.390.000	13.400.000	15,33	17,42	20,02	23,42	22,79
4x16mm <sup>2</sup> NYFGbY KABLO ve DÖŞEMESİ	METRE	1.150.000	1.670.000				14.810.000	17.260.000	19,82	22,83	26,23	30,70	29,86
TOPRAKLAMA LEVHASI ve GÖMÜLMESİ	ADET	10.542.000	17.158.000				79.180.000	94.870.000	112,36	121,23	139,31	163,02	158,57

Çizelge 4.4 2009 yılı personel durumu

<b>KATODİK KORUMA TESİS, BAKIM VE KONTROL ŞEFLİĞİ</b>	<b>Personel Sayısı</b>	<b>2009 Yılı Aylık Ort. Maaş (TL)</b>	<b>2009 Yılı Aylık Toplam Maaş (TL)</b>	<b>2009 Yılı Yıllık Toplam Maaş (TL)</b>
Mühendis	1	1.700	1.700	20.400
Tekniker	1	1.350	1.350	16.200
Teknisyen	2	1.200	2.400	28.800
Sözleşmeli Teknisyen	1	1.600	1.600	19.200
Usta	5	1.500	7.500	90.000
İşçi	7	1.200	8.400	100.800
Şoför	3	1.200	3.600	43.200
<b>İdari İşler Şefliği (İşçi)</b>	3	1.150	3.450	41.400
<b>TOPLAM</b>	<b>23</b>		<b>30.000</b>	<b>360.000</b>

Çizelge 4.5 Paşabahçe AAT teçhizat listesi

<b>PAŞABAHÇE AAT Kara ve Deniz Boru Hatları Malz.</b>	<b>BİRİMİ</b>	<b>MİKTAR</b>	<b>2008 BF (YTL)</b>
ETÜT PROJE İŞLERİ	TAKIM	1,46	4.608,29
TRAFO/REDRESÖR ÜNİTESİ (Hava Soğutmalı Man-Oto)	ADET	1	11.566,36
FW/ST 1.6/50 TİPİ TİTANYUM TÜP ANOT	ADET	18	1.507,81
EPR/CSPE 16mm <sup>2</sup> FLEKSİBLE KABLO	METRE	402,7	40,38
MAGNEZYUM ANOT (AZ63) 17 lb.	ADET	368	1.068,58
ÖLÇÜ KUTUSU (Galvaniz Kaplı Borulu Tip)	ADET	6	403,26
DERİN KUYU ANOT YATAĞI	METRE	113,6	342,87
SABİT TİP REFERANS ELEKTROT	ADET	9	592,10
ANOT YATAĞI DOLGU MALZEMESİ (Metallurjik Kok)	TON	1,83	1.038,11
1x25mm <sup>2</sup> NYK KABLO ve DÖŞEMESİ	METRE	289,2	23,42
4x16mm <sup>2</sup> NYFGbY KABLO ve DÖŞEMESİ	METRE	12	30,70







Çizelge 4.8 Bazı isale hatlarının özellikleri ve maliyeti

	Proje Onay Tarihi	Yapım Süresi (Takvim günü)	Çap (mm)	Uzunluk (m)	Dış Yüzey Alanı (m <sup>2</sup> )	Boru Kaplaması	Ort. Zemin Rezistivitesi (Ω.cm)	pH Değeri	Redoks Pot. (mV)	Akım Yoğ. (mA/m <sup>2</sup> )	T/R Ünitesi (Ad.)	Ti Anot (Ad.)	Mg Anot (Ad.)	Yapım Maliyeti (İnşaat+Boru)TL	Katodik Koruma Maliyeti (TL)	TOPLAM	%
<b>Kağıthane - Küçükköy İsale Hattı</b>	Mart 2007	900	2200	8615	59512,42	Polietilen	5610	5,2	556	0,65	3	70	134	19.596.216	181.812	19.778.028	0,92
<b>Altınşehir - Esenyurt İsale Hattı</b>	Kasım 2005		1600	7165	35996,96	Bitüm	9780	6,1	609	0,82	2	48	-	3.033.915	63.558	3.097.473	2,05
<b>G.O.P - Eyüp İsale Hattı</b>	Ocak 2008	120	1000 700 900	2800	7504,6	Polietilen	5835	5,5	576	0,55	4	102	-	2.890.400	121.504	3.011.904	4,03
<b>Esenyurt - Kırac İsale Hattı</b>	Ocak 2008	600	1600	4300	21603,2	Polietilen	5285	4,8	534	0,45	1	24	-	6.791.756	118.450	6.910.206	1,71
<b>Ömerli - Dudullu İsale Hattı</b>	Ağustos 2007	730	2200 2200	10909 3978	102839,4	Polietilen Bitüm	6413	5,1	554	0,35 0,72	5	113	-	27.902.518	253.105	28.155.623	0,90

Çizelge 4.9 2006-2010 yılları performans değerleri

	2006	2007	2008	2009	2010 (Hedef)
<b>Mevcut T/R ünitesi sayısı (ad./yıl)</b>	340	354	369	350	306
<b>Bitüm kaplı çelik boruların KK enerji maliyeti ((kWh/m<sup>2</sup>)/yıl)</b>	0,019	0,018	0,016	0,014	0,010
<b>Ölçüm yapılan isale hattı uzunluğu (km/yıl)</b>	1.009	1.045	1.085	1.105	1.125
<b>Ölçüm yapılan T/R ünitesi sayısı (ad./yıl)</b>	340	354	369	350	306
<b>Ölçüm yapılan ölçü kutusu sayısı (ad./yıl)</b>	880	1.000	1.065	1.090	1.110
<b>Ölçüm amaçlı katedilen yol (km/yıl)</b>	66.000	68.000	72.000	74.000	30.000
<b>Malzeme alımı ve acil yapım işleri gideri (TL/yıl)</b>	80.000	80.000	288.000	296.000	306.000

Çizelge 4.10 2004-2009 yılları tüketilen enerji ve maliyet

YILLAR	ALAN (m <sup>2</sup> )	HARCANAN ENERJİ (kWh/yıl)	BİRİM FİYAT (TL/kWh) V. Dahil	MALİYET (TL/m <sup>2</sup> )/YIL
2004	3.312.685	476.196	0,15	0,0216
2005	3.641.894	342.196	0,15	0,0141
2006	3.666.609	476.146	0,15	0,0195
2007	3.799.898	412.392	0,15	0,0163
2008	4.100.000	394.000	0,22	0,0211
2009 (Aralık hariç)	5.433.764	370.788	0,285	0,0194

**NOT:** Polietilen (PE) kaplı çelik boru isale hattı oranı arttıkça katodik koruma enerji maliyeti düşmektedir.

- Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2 kullanılarak endeks hesabı yapılmış olup tablo halinde Çizelge 4.11’de verilmiştir.

2008 ve 2009 yılları için bakım-onarım işleri; 2008 yılı miktarları  $q_0$ , 2009 yılı miktarları  $q_1$ , 2008 yılı fiyatları  $p_0$ , 2009 yılı fiyatları  $p_1$  ise örneğin NYFGbY kablo için endeks sayılarını bulalım.

Bu bilgiler ışığında NYFGbY kablo için  $q_0 = 135m$ ,  $q_1 = 200m$ ,  $p_0 = 11,81 TL/m$ ,  $p_1 = 9,59 TL/m$  değerleri tespit edilir. Değerler, değer endeksi bağıntısında (3.10) yerine konularak işlem yapılır.

$$\text{Değer Endeksi} = \frac{\sum p_1 q_1}{\sum p_0 q_0} \times 100 \Rightarrow \frac{9,59 \times 200}{11,81 \times 135} \times 100 = 120,3$$

Benzer şekilde diğer endeks sayıları için de işlemler yapılarak Çizelge 4.11 hazırlanmıştır.

Çizelge 4.11 Bakım onarım işleri endeks sayıları

	<b>DEĞER ENDEKSİ</b>	<b>LASPEYRES FİYAT END.</b>	<b>LASPEYRES MİKTAR END.</b>
<b>4x16 mm<sup>2</sup> NYFGbY Kablo</b>	120,3	81,2	148,2
<b>1x25 mm<sup>2</sup> NYY Kablo</b>	239,8	95,1	252,3
<b>EPR/CSPE 16mm<sup>2</sup> Kablo</b>	43,3	115,5	37,5
<b>Kablo Pabucu 6mm Sarı</b>	57,1	350	16,3
<b>Ek Mufu 4x25 Protolin</b>	233,5	116,7	200
<b>Sigorta 25A</b>	181,8	121,2	150
<b>Potansiyometre 5kΩ</b>	829,8	184,4	450
<b>Diyot (1N4148)</b>	268,9	134,4	200

- Çizelge 4.3 kullanılarak reel eskalasyonlar (4.1) yardımı ile bulunmuştur ve tablo halinde Çizelge 4.12’de verilmiştir.

$$\text{Reel eskalasyon} = \frac{1+\text{esk}}{1+e} - 1 \quad (4.1)$$

Örneğin etüt proje işleri için  $\text{esk} = \frac{3427}{3367} - 1 = 0,0178$ 'dir. 2006 yılı yeniden değerlendirme oranı

Çizelge 3.1'den görüleceği üzere % 9,8 olduğundan, reel esk =  $\frac{1+0,0178}{1+0,098} - 1 = -0,073$ 'tür.

Benzer şekilde diğer elemanlar için de yapılan işlemler sonucu Çizelge 4.12 oluşturulmuştur.

Çizelge 4.12 Eskalasyon ve reel eskalasyon

	esk	reel esk
ETÜT PROJE İŞLERİ	0,0178	-0,0730
TRAFO/REDRESÖR ÜNİTESİ (Hava Soğutmalı Man-Oto)	0,0600	-0,0346
FW/ST 1.6/50 TİPİ TİTANYUM TÜP ANOT	0,0600	-0,0346
EPR/CSPE 16mm <sup>2</sup> FLEKSİBLE KABLO	0,0600	-0,0346
MAGNEZYUM ANOT (M-YP) 10KG	0,0600	-0,0346
ÖLÇÜ KUTUSU (Galvaniz Kaplı Borulu Tip)	0,0600	-0,0346
DERİN KUYU ANOT YATAĞI	0,0600	-0,0346
SABİT TİP REFERANS ELEKTROT	0,0625	-0,0323
ANOT YATAĞI DOLGU MALZEMESİ (Metalurjik Kok)	0,0575	-0,0369
HAVALANDIRMA BORUSU ve MONTAJ BEDELİ	-0,7430	-0,7659
1x10mm <sup>2</sup> NYY KABLO ve DÖŞEMESİ	0,1313	0,0303
1x25mm <sup>2</sup> NYY KABLO ve DÖŞEMESİ	0,1363	0,0349
4x16mm <sup>2</sup> NYFGbY KABLO ve DÖŞEMESİ	0,1519	0,0491
TOPRAKLAMA LEVHASI ve GÖMÜLMESİ	0,0789	-0,0174

- Çizelge 4.4 kullanılarak birim alan başına düşen personel maliyeti şöyledir:

2009 yılı toplam maaş 361.200 TL/yıl 'dır. 2009 yılı Ağustos ayı itibariyle katodik koruması yapılan çelik isale hatlarının toplam alanları Çizelge 2.9'da görüleceği üzere 5.433.764m<sup>2</sup> olduğundan, birim alan başına personel maliyeti,

$$\frac{361200}{5433764} = 0,066 \text{ TL/m}^2 \cdot \text{yıl 'dır.}$$

Ortalama personel maliyeti ise (personel sayısı:23),

$$\frac{0,066}{23} = 0,0029 \text{ TL/personel.m}^2 \cdot \text{yıl 'dır.}$$

- Çizelge 4.8 kullanılarak yıllık amortisman değerleri şöyle hesaplanabilir:

$$\text{Kağıthane-Küçükköy İsale Hattı} \Rightarrow \frac{181812}{20} = 9090,6 \text{ TL/yıl}$$

$$\text{Altınşehir-Esenyurt İsale Hattı} \Rightarrow \frac{63558}{20} = 3177,9 \text{ TL/yıl}$$

$$\text{G.O.P-Eyüp İsale Hattı} \Rightarrow \frac{121504}{20} = 6075,2 \text{ TL/yıl}$$

$$\text{Esenyurt-Kıraç İsale Hattı} \Rightarrow \frac{118450}{20} = 5922,5 \text{ TL/yıl}$$

$$\text{Ömerli-Dudullu İsale Hattı} \Rightarrow \frac{253105}{20} = 12655,3 \text{ TL/yıl}$$

Bu 5 hattın Yapım yılı/Katodik koruma maliyetlerinin toplamı grafiği Şekil 4.1'de verilmiştir.

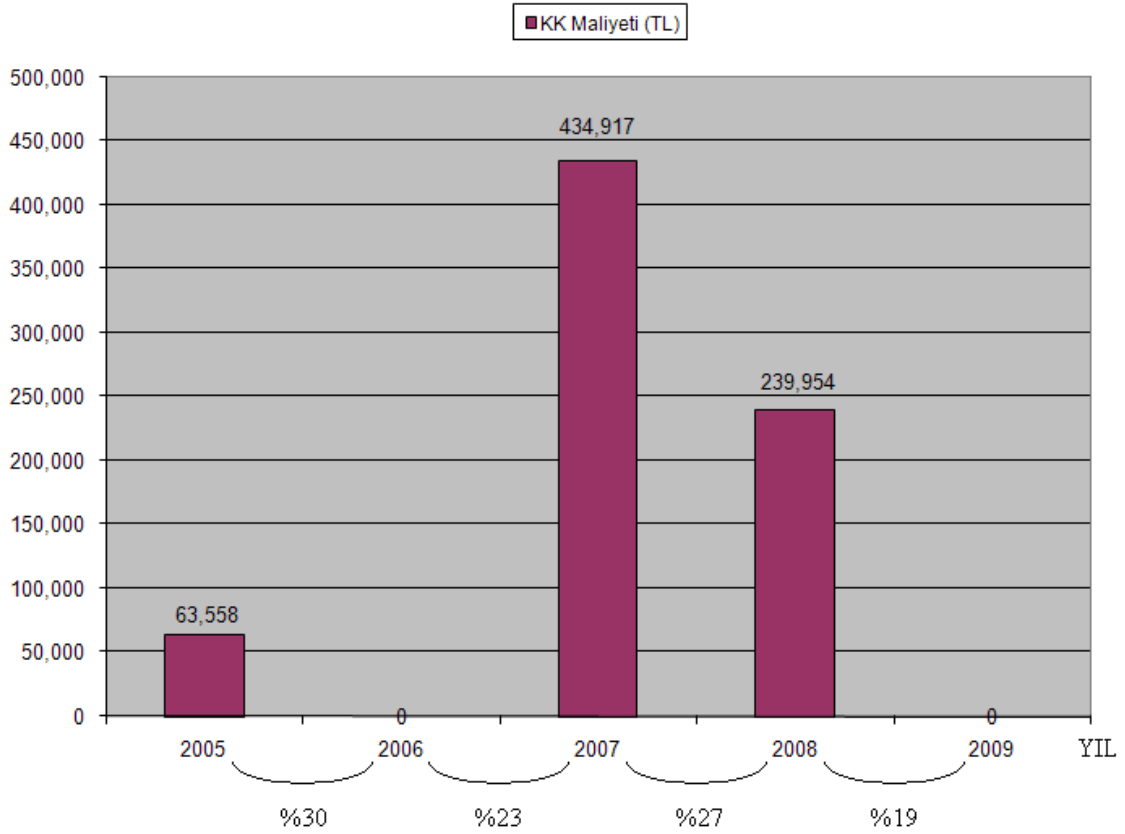
Şimdiki değeri bulmak için, önce 2005 yılına indirgeyelim:

$$P = 63558 + 434917 \times (1+0,30)^{-1} \times (1+0,23)^{-1} + 239954 \times (1+0,30)^{-1} \times (1+0,23)^{-1} + (1+0,27)^{-1}$$

$$P = 453.692,83 \text{ TL}$$

Sonra yıllık değeri bulalım:

$$A = P \times \left[ \frac{i \cdot (1+i)^3}{(1+i)^3 - 1} \right] = 453692,83 \times \left[ \frac{0,25 \cdot (1+0,25)^3}{(1+0,25)^3 - 1} \right] = 232.392,03 \text{ TL/yıl}$$



Şekil 4.1 Beş hattın katodik koruma maliyeti

- Esenyurt-Kıraç İsale Hattının yapım yılı 2005 yılı idi. Hatta 2 adet T/R ünitesi, 70 adet Ti anot mevcuttur. Buradan,

$$2 \times 8114,57 + 70 \times 1057,83 = 90277 \text{ TL bulunur.}$$

2006 yılında olsaydı,

$$2 \times 8601,44 + 70 \times 1121,3 = 95693,9 \text{ TL olurdu. 2006 yılı yeniden değerlendirme oranı } \% 9,8' \text{ dir.}$$

$$\text{esk} = \frac{95693,9}{90277} - 1 = 0,06$$

$$\text{Reel esk} = \frac{1+0,06}{1+0,098} - 1 = -0,0346 \text{ bulunur.}$$

- Çizelge 4.9 kullanılarak aşağıdaki değerler hesaplanmıştır.

2006-2009 yılları arasında,

Mevcut T/R ünitesi sayısındaki artış hızı:

$$\frac{350-340}{4} = 2,5 \text{ adet/yıl'dır.}$$

Bitüm kaplı boruların katodik koruma enerji maliyetindeki artış hızı:

$$\frac{0,014-0,019}{4} = -0,00125 \text{ kWh/m}^2/\text{yıl'dır.}$$

Ölçüm yapılan isale hattı uzunluğundaki artış hızı:

$$\frac{1105-1009}{4} = 24 \text{ km/yıl'dır.}$$

Ölçüm yapılan T/R ünitesi sayısındaki artış hızı:

$$\frac{350-340}{4} = 2,5 \text{ adet/yıl'dır.}$$

Ölçüm yapılan ölçü kutusu sayısındaki artış hızı:

$$\frac{1090-880}{4} = 52,5 \text{ adet/yıl'dır.}$$

Ölçüm amaçlı katedilen yol miktarındaki artış hızı:

$$\frac{74000-66000}{4} = 2000 \text{ km/yıl'dır.}$$

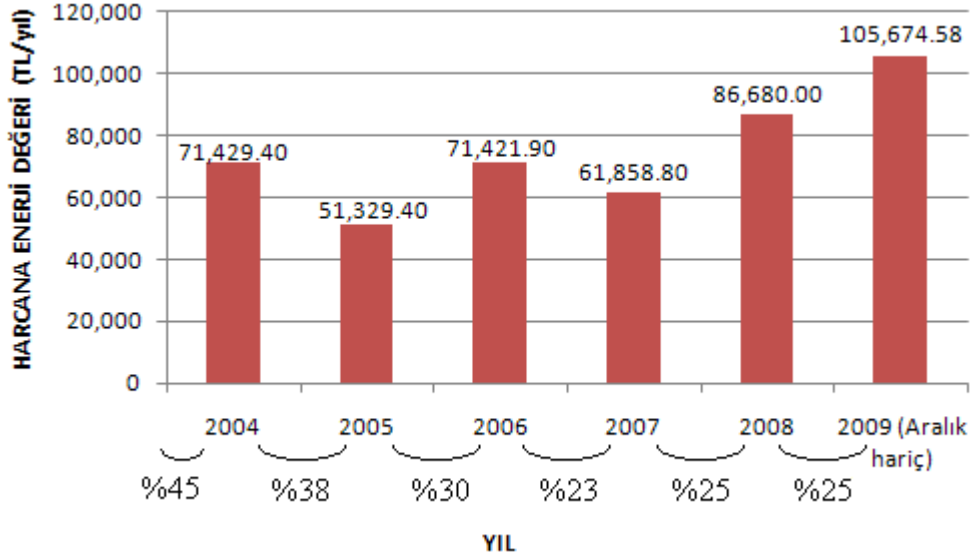
Malzeme alım giderindeki artış hızı:

$$\frac{296000-80000}{4} = 54000 \text{ TL/yıl'dır.}$$

- Yıl/Harcanan enerji maliyet grafiği Şekil 4.2'de verilmiş olup Çizelge 4.10 kullanılarak şimdiki değer hesaplanabilir. Şimdiki değeri bulmak için,  $P = f(1+i)^{-t}$  formülü ile bütün değerleri  $t=0$ 'a (2003 yılına) indirgeyelim:

$$P = 71429,4.(1+0,45)^{-1} + 51329,4.(1+0,45)^{-1}.(1+0,38)^{-1} + 71421,9.(1+0,45)^{-1}.(1+0,38)^{-1} \\ (1+0,30)^{-1} + 61858,8.(1+0,45)^{-1}.(1+0,38)^{-1}.(1+0,30)^{-1}.(1+0,23)^{-1} + 86680 (1+0,45)^{-1}.(1+0,38)^{-1} \\ (1+0,30)^{-1}.(1+0,23)^{-1}.(1+0,25)^{-1} + 105674,58.(1+0,45)^{-1}.(1+0,38)^{-1}.(1+0,30)^{-1}.(1+0,23)^{-1} \\ (1+0,25)^{-1}.(1+0,25)^{-1}$$

P = 164.513,34 TL bulunur.



Şekil 4.2 2004-2009 yılları arası harcanan enerji değerleri

- Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.5 kullanılarak endeks hesabı yapılmıştır. Referans yıl 2008 olup hattın 2005 veya 2009 yıllarında yapılması halinde maliyetteki değişim ne olurdu; endeks sayıları tablo halinde Çizelge 4.13’de verilmiştir.

2005 yılı değerlerini bulalım. (ref. yıl 2008)

$$\text{Değer Endeksi} = \frac{\sum p_1 q_1}{\sum p_0 q_0} \times 100 \Rightarrow$$

$$\frac{3367,00 \times 1,46 + 8114,57 \times 1 + 1057,83 \times 18 + 28,33 \times 402,7 + \dots + 19,82 \times 12}{4608,29 \times 1,46 + 11566,36 \times 1 + 1507,81 \times 18 + 40,38 \times 402,7 + \dots + 30,70 \times 12} \times 100 = 70,12$$

$$\text{Laspeyres Fiyat Endeksi} = \frac{\sum p_1 q_0}{\sum p_0 q_0} \times 100 \Rightarrow$$

$$\frac{3367,00 \times 1,46 + 8114,57 \times 1 + 1057,83 \times 18 + 28,33 \times 402,7 + \dots + 19,82 \times 12}{4608,29 \times 1,46 + 11566,36 \times 1 + 1507,81 \times 18 + 40,38 \times 402,7 + \dots + 30,70 \times 12} \times 100 = 70,12$$

2009 yılı değerlerini bulalım. (ref. yıl 2008)

$$\text{Değer Endeksi} = \frac{\sum p_1 q_1}{\sum p_0 q_0} \times 100 \Rightarrow$$

$$\frac{4482,52 \times 1,46 + 11250,68 \times 1 + 1466,66 \times 18 + 39,28 \times 402,7 + \dots + 29,86 \times 12}{4608,29 \times 1,46 + 11566,36 \times 1 + 1507,81 \times 18 + 40,38 \times 402,7 + \dots + 30,70 \times 12} \times 100 = 97,3$$

$$\text{Laspeyres Fiyat Endeksi} = \frac{\sum p_1 q_0}{\sum p_0 q_0} \times 100 \Rightarrow$$

$$\frac{4482,52 \times 1,46 + 11250,68 \times 1 + 1466,66 \times 18 + 39,28 \times 402,7 + \dots + 29,86 \times 12}{4608,29 \times 1,46 + 11566,36 \times 1 + 1507,81 \times 18 + 40,38 \times 402,7 + \dots + 30,70 \times 12} \times 100 = 97,3$$

Çizelge 4.13 Paşabahçe AAT endeks sayıları

	<b>DEĞER ENDEKSİ</b>	<b>LASPEYRES FİYAT END.</b>
<b>2005 yılı için</b>	70,12	70,12
<b>2009 yılı için</b>	97,3	97,3

Tesis, 2008 yılı yerine 2005 yılında yapılırsa idi %29,88 daha ucuza, 2009 yılında yapılırsa idi 2008'e göre %2,7 daha ucuza mal olacaktı.

- Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.9 kullanılarak endeks hesabı yapılmış olup tablo halinde Çizelge 4.14'de verilmiştir.

T/R ünitesi için değer endeksi (baz yıl 2006 olmak üzere):

$$2007 \text{ yılı için Değer Endeksi} = \frac{\sum p_1 q_1}{\sum p_0 q_0} \times 100 \Rightarrow \frac{354 \times 9883,91}{340 \times 8601,44} \times 100 = 119,64$$

$$2008 \text{ yılı için Değer Endeksi} = \frac{\sum p_1 q_1}{\sum p_0 q_0} \times 100 \Rightarrow \frac{369 \times 11566,36}{340 \times 8601,44} \times 100 = 145,94$$



$$2009 \text{ yılı için Değer Endeksi} = \frac{\sum p_1 q_1}{\sum p_0 q_0} \times 100 \Rightarrow \frac{350 \times 11250,68}{340 \times 8601,44} \times 100 = 134,65$$

Aynı şekilde diğer elemanlar için 2006-2009 yılları arası performans değerleri Laspeyres fiyat, Laspeyres miktar ve değer endeksleri de bulunmuş ve tablo halinde Çizelge 4.14'de verilmiştir.

Çizelge 4.14 Performans değerleri endeks sayıları

	2007 Değer Endeksi	2008 Değer Endeksi	2009 Değer Endeksi	2007 Laspeyres F. Endeksi	2008 Laspeyres F. Endeksi	2009 Laspeyres F. Endeksi	2007 Laspeyres M. Endeksi	2008 Laspeyres M. Endeksi	2009 Laspeyres M. Endeksi
Mevcut T/R ünitesi sayısı (ad./yıl)	119,64	145,94	134,65	114,91	134,47	130,80	104,12	108,53	102,94
Ölçüm yapılan T/R ünitesi sayısı (ad./yıl)	119,64	145,94	134,65	114,91	134,47	130,80	104,12	108,53	102,94
Ölçüm yapılan ölçü kutusu sayısı (ad./yıl)	130,58	162,74	162,01	114,91	134,47	130,80	113,64	121,02	123,86

Yapım süresi (yıl) ile uzunluk (m), katodik koruma maliyeti (TL/m) ile özgül direnç (ohm.cm), yapım maliyeti/katodik koruma maliyeti oranı (%) ile özgül direnç (ohm.cm), yıllara bağlı titanyum anot fiyatı (TL), yıllara bağlı T/R ünitesi fiyatları (TL), İstanbul geneli yıllara bağlı katodik koruma uzunluğu (km), İstanbul geneli yıllara bağlı katodik koruma alanı (m<sup>2</sup>) değerlerine ilişkin regresyon analizi MATLAB programı ile yapılmış olup Ek2'de sonuçları ile beraber verilmiştir.

## SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Tezde İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi temiz su çelik boru isale hatları ile atıksu arıtma tesisleri dahili sistemleri ve deniz deşarj hatlarının korozyonunun önlenmesi için tesis edilen katodik koruma sistemleri ele alınmış, bu sistemlerin ekonomik yönden analizi ve işletme performansları değerlendirilmiştir. Arıza sayıları, birim fiyatlar, akım yoğunlukları, enerji tüketimleri ve maliyeti ile ilgili endeks hesapları yapılmış; eskalasyon ve reel eskalasyon değerleri bulunmuştur. Ayrıca, regresyon analizi yapılarak sonuçları ekler bölümünde verilmiştir.

İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi'nin katodik koruma uygulamalarına ilişkin ekonomik analizin sonucunda elde edilen bulgular şöyle özetlenebilir:

- Katodik koruma için yapılan harcamalar yıllar içinde yıllık enflasyonun üzerinde veya altında gerçekleşebilmektedir.
- Gerek Asya Yakasında gerekse Avrupa Yakasında katodik koruma yapılan boru hattı uzunlukları ve alanları yıllar içinde artış göstermekle birlikte, katodik korumaya ayrılan yatırım tutarları aynı ölçüde değişkenlik göstermemektedir.
- 2007, 2008 ve 2009 yıllarında örneğin T/R ünitelerine uyarlanan Laspeyres miktar endeksi katodik korumaya ilişkin yatırım hacmi ile, Laspeyres fiyat endeksi ise yıllık enflasyon oranları ile yakın ilişki içindedir.
- İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi'nin katodik koruma verilerine uygulanan regresyon analizi sonucu nonlinear denklemlere ulaşılmıştır.

Dünyada çeliğin korozyonundan dolayı meydana gelen yıllık kayıplar, milyar dolarlara kadar çıkabilmektedir. Bu nedenle demir ve çeliğin korozyona karşı korunması bakım mühendislerinin vazgeçilmez bir alanı olmaktadır. Bütün kayıpların toplam değerinin hesaplanması güç olmakla beraber, ülkemizde bir yılda meydana gelen korozyon kayıplarının yıllık çelik üretimimizin yaklaşık üçte biri kadar olduğu tahmin edilmektedir. Yani faaliyette olan her üç demir-çelik fabrikasından bir tanesinin tüm üretimi doğrudan korozyon kayıplarını karşılamakta kullanılmaktadır. Korozyon sonucu ortaya çıkan fakat metal kaybı gibi açıkça görülmeyen çeşitli kayıplar da (çevre kirliliği, yangın tehlikesi, salgın hastalık riski vb.) söz konusudur. Kurulmaları için büyük yatırımlar yapılan metalik yapıların korozyona uğrayarak tahrip olmalarını önlemek, yatırımın verimliliği açısından son derece önemlidir. Yeterince korunmayan bir metalik yapının tahrip olması ekonomik kayıplara yol açtığı gibi bazen de

felaket riski taşımaktadır. Korozyon, bir ülkenin sanayideki gelişimine göre gayri safi milli hasılanın %1 ile %3,5'u kadar ekonomik kayba neden olur. Üretilen metal malzemelerin yaklaşık %1,5-2 maliyetle katodik koruması yapıldığında ekonomiye kazanımları büyük olacaktır.

**KAYNAKLAR**

- Ay, S., (2008), Elektrik Enerjisi Ekonomisi, Birsen Yayınları, İstanbul
- Aytekin, V., (1966), Metalurji Termodinamiği, İTÜ Yayınları No.676, İstanbul
- Çizmecioğlu, Z., (1998), İsale Hatlarının Katodik Koruması, İSKİ Yayınları, İstanbul
- Çizmecioğlu, Z., (2000), İSKİ Çelik Yapılarının Korozyona Karşı Katodik Koruması Notları, İSKİ Yayınları, İstanbul
- İSKİ (M.08.1372.3) Katodik Koruma Şartnamesi, İstanbul
- İSKİ 2006-2007-2008 Yılları Faaliyet Raporları, İstanbul
- İSKİ ve İLLER BANKASI 1998-2006 Yılları Arası Birim Fiyat Kitapçıkları,
- Koç, T., Yalçın, H. ve Türkmen, M., (1990), “Sabit ve Hareketli Deniz İçi Metalik Yapıların Korozyonu ve Katodik Koruması”, 2.Korozyon Sempozyumu, 5-8 Kasım 1990, Ankara
- Koç, T., Yalçın, H., (1995), Korozyon ve Katodik Koruma, Form Ofset, Ankara
- Odabaşı, T., (2004), Katodik Koruma Sisteminin Tanıtımı, Botaş Yayınları, Ankara
- Odabaşı, T., (2005), Boru Hatlarında Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma Sisteminin Hesabı, Botaş Yayınları, Ankara
- TS5141 EN12954 “Yer altı Çelik Boru Hatlarının Katodik Korunması Kuralları” Standardı
- Yılmaz, F., (2003), İçmesuyu ve Atıksu Şebekelerinde Dökme ve Düktil Demir Uygulamaları, İSKİ Yayınları, İstanbul

**İnternet Kaynakları**

1. [www.iski.gov.tr](http://www.iski.gov.tr)
2. [www.e-kik.com](http://www.e-kik.com)

**EKLER**

- Ek 1 İSKİ Birim Fiyat Tarifleri  
Ek 2 Regresyon Analizi ve Sonuçları

### Ek 1 İSKİ Birim Fiyat Tarifleri

NO	İŞİN TANIMI	ÖLÇÜ BİRİMİ
1	<p><b>PROJE İŞLERİ</b></p> <p>Katodik koruma şartnamesinde belirtilen şartlara uygun olarak, toprak dirençlerinin tespiti, boru akım ihtiyacının belirlenmesi, sistem seçiminin yapılması (dış akım kaynaklı veya galvanik anot sistemi)</p> <p>Not : Sistem seçiminde İdarenin görüşü dikkate alınacaktır.</p> <p>Katodik koruma projesi  <math>P=1,25(A+K.l)</math> formülünden hesaplanacaktır.  A: Sabit masraflar  K: Beher km projelendirme bedeli. 1,25 yüklenici karı ve genel masraflar dahil.</p> <p>Katodik koruma projesi hazırlanırken mevcut yeraltı sistemleri dikkate alınmalıdır. Ölçü kutuları sabit tip referanslı olarak tesis edilmeli, TR ünitesi ile katot arasında <math>2(1 \times 25 \text{mm}^2)</math> NYY kablo çekilmeli, trafo koruma topraklanması <math>5\Omega</math>'un altında olacak şekilde elektrotlarla veya bakır galvaniz levhalarla takviye edilmelidir.</p>	Takım

NO	İŞİN TANIMI	ÖLÇÜ BİRİMİ
2	<p><b>HAVA SOĞUTMALI MANUEL-OTOMATİK TRAFÖ/REDRESÖR ÜNİTESİ</b></p> <p>T/R ünitesi, teknik şartnamede belirtilen şartlara uygun olarak imal edilecektir. Hava soğutmalı, tristörlü T/R besleme ünitesi, hem manuel ve hem de tam otomatik konumda çalışabilecektir. <math>-30\text{ }^\circ\text{C}</math> ile <math>-70\text{ }^\circ\text{C}</math> çevre sıcaklığında azami çıkış gücü ile sürekli çalışabilir şekilde imal edilecektir. 40A DC 50V DC kapasitesindeki T/R ünitesi biri iç ve diğeri dış olmak üzere iki panodan ibaret olacak, ayrıca dış panoya monteli 350x850x200mm ebadında sayaç panosu imal edilecektir. Her üç pano da 2mm kalınlıkta galvaniz kaplı DKP sacdan imal edilecek ve imalat sonrası her üç pano 60-80 mikron kalınlığında mavi renkli elektrostatik fırın boya ile boyanacaktır. T/R ünitesinin tüm devre elemanları iç panodaki devre üzerine monte edilecek ve trafo redresör ölçü cihazları, dijital voltmetre ampermetre, sigorta ayar düzeni, şalter ve terminaller bulunacaktır. Sayaç panosunda ise elektrik sayacı trifaze kofra, NH bıçaklı sigortalar ile gecikmeli W otomat bulunacaktır. Dış pano ön ve arka panosu ile sayaç panosu kapısı FİAM tipi kilit ve emniyete alınacaktır. Dış pano en az 800x600x1000mm ebadında olacaktır. 20 metreye kadar <math>4 \times 10 \text{mm}^2</math> NYFGBY çelik zırlı besleme kablusunun dışarıda kalan kısmı <math>1/4</math> galvanizli boru içerisinde muhafazaya alınacak dış panonun tabanında beton zemine montajı için U profilden ayaklar olacak bu ayaklar 50 cm yükseklikte, en az 800x600 ebadında 300 dozlu kaide betonu üzerinde M-10 galvanizli cıvata ve somunlarla tespit edilecektir.</p>	Adet

NO	İŞİN TANIMI	ÖLÇÜ BİRİMİ
3	<p><b>FW/ST 1.6/50 TİPİ TİTANYUM TÜP ANOT</b></p> <p>FW/ST tipi karma metal oksit kaplı titanyum anotlar, şartnamede belirtilen şartlara uygun olarak imal edilecektir. Dış akım kaynaklı olarak korunacak boru hattı için yardımcı anot olarak karma metal oksit kaplı titanyum anotlar kullanılacaktır. Proje kriterlerine göre imalatçının fabrikasında zincir şeklinde gruplandırılmış ve testleri yapılmış anotların imalinde dikişsiz titanyum tüp anot kullanılacaktır. Anotlar 1x16mm<sup>2</sup> neopren izoleli fleksible kablo ile kuyu dışına 5 metre mesafeye kadar çıkarılacak ve trafo/redresör ünitesinin (+) kutbuna monte edilecektir. Lineer dağılımlı FW/ST tip ve 1.6/50 boyutundaki karma metal oksit kaplı tüp şeklindeki titanyum anodun tatlı su ve topraktaki akım yoğunluğu 100A/m<sup>2</sup> ve anot ömrü en az 20 yıldır. İdare müteahhit tarafından test masrafları karşılanmak üzere sondaj usulü ile tespit edilen bir adet titanyum anodun, herhangi bir üniversitenin Kimya-Metalürji laboratuvarında kimyasal ve elektrokimyasal performans testlerini yaptırarak İdareye teslim edecektir. Test sonuçlarına göre anotların kullanılıp kullanılmayacağına İdare karar verecektir. Gerektiğinde İdare anotların imalini ve yapılacak testleri imalatçının fabrikasında da izleyebilecektir. Her türlü sigorta, gümrük, fon ve diğer vergiler ile müteahhit karı dahil FW/ST tip ve 1.6/50 boyutundaki karma metal oksit kaplı titanyum anodun noksansız işler halde temini, imali, nakli, montajı, montaj malzemesi, montaj işçiliği ve kuyu başında 5m. uzunluğunda 1x16mm<sup>2</sup> EPR/CSPE kablo ile birlikte bir adedinin fiyatıdır.</p>	Adet

NO	İŞİN TANIMI	ÖLÇÜ BİRİMİ
4	<p><b>EPR/CSPE 1x16mm<sup>2</sup> FLEXIBLE KABLO</b></p> <p>EPR/CSPE 1x16mm<sup>2</sup> flexible kablolar, teknik şartnamede belirtilen şartlara uygun olarak imal edilecektir. Dış akım kaynaklı olarak korunacak boru hattı için yardımcı anot olarak kullanılacak karma metal oksit kaplı titanyum tüp anotların üzerine zincir şeklinde monte edildiği ve anot ile iletken bakır kablonun yüksük tabir edilen bağlantı kısımlarına helyum gazı testi uygulanan EPR/CSPE 1x16mm<sup>2</sup> kesitinde çok telli, dışı izoleli fleksible bakır iletken kablonun her türlü sigorta, gümrük, fon ve diğer vergiler ile müteahhit karı dahil temini, imali, nakli, montajı, montaj malzemesi ile derin kuyu anot yatağı içersine indirilmesindeki montaj işçiliği ile birlikte bir metresinin fiyatıdır.</p>	Metre

NO	İŞİN TANIMI	ÖLÇÜ BİRİMİ
5	<p><b>DERİN KUYU ANOT YATAĞI</b></p> <p>Derin kuyu anot yatağı, teknik şartnamede belirtilen şartlara uygun olarak açılacaktır. Katodik koruma projesine göre derin kuyu anot yatağını tesis etmek amacıyla yumuşak, orta sert, çok sert ve aşındırıcı formasyona haiz zeminlerde rotatif sondaj makinesi kullanarak 220mm çapında derinkuyu açılması, en az 5mm kalınlığında derin kuyu içersine projesinde belirtilen derinliğe kadar keson ve perfore boruların kaynakla eklerinin yapılarak monte edilmesi ve derin kuyunun keson boru ağzına gaz çıkış boruları kapak takılması ve kapak açılır kapanır kilitlenebilir özelliğe sahip olmalıdır. Yüzeyle kalan keson boru ve kapağın bir kat antipas ve iki kat mavi, atmosfere dayanıklı boya ile boyanması isale hattı üzerinde 2 m<sup>2</sup> 'ye kadar tahrip edilen boru tecritlerinin onarılması ve keson borunun 10 metrelik kısmının temiz çakıl ile doldurulması, katot bağlantı için borudan gelecek (-) ucun 1x10mm<sup>2</sup> NYY kablo ile catweld kaynak yapılarak T/R ünitesine irtibatlandırılması, kuyu içindeki suyun tahliyesi ve testleri yapılmış metalurjik kok tozunun kuyu içersine basılması dahil derin kuyu anot yatağı tesisinin noksansız işler hale gelebilmesi için lüzumlu ekipmanların malzeme ve montaj bedelleri dahil bir metre teçhizatlı derin kuyunun beher metre başına fiyatıdır.</p>	Metre

NO	İŞİN TANIMI	ÖLÇÜ BİRİMİ
6	<p><b>HAVALANDIRMA BORUSU VE % 10 MONTAJ BEDELİ</b></p> <p>Anot yatağı kuyusunun orta kısmında ¾ lik PVC havalandırma ve gaz tahliye borusu kullanılacaktır. Zincir halindeki anotlar bu boruya plastik bir kelepçe ile bağlanacaktır. Havalandırma borusu delikler arası mesafe 15cm ve delik çapı 5mm olacaktır. Havalandırma borusu TS418/1 standardında dış çapı Q = 20mm, et kalınlığı 2mm, basıncı 10 atmosfer olacaktır.</p>	Metre



NO	İŞİN TANIMI	ÖLÇÜ BİRİMİ
7	<p><b>DOLGU MALZEMESİ (METALURJİK KOK)</b></p> <p>Karma metal oksit kaplı titanyum anotlar, elektriksel dirençlerini azaltmak ve polarizasyonlarını önlemek gayesiyle bir anot yatağı malzemesi içine yerleştirilerek kullanılacaktır.</p> <p>Anot yatağı malzemesi olarak metalurjik kok tozu kullanılacaktır. Kok tozu max. dane çapı 10mm olacak ve 100 nolu elekten geçen kısım (kok) %5'den az olacaktır. Bu şartlarda anot yatağı elektrik özgül direnci (rezistivitesi) 50 <math>\Omega</math>.cm'den büyük olmayacaktır.</p>	Ton

NO	İŞİN TANIMI	ÖLÇÜ BİRİMİ
8	<p><b>GALVANİZ KAPLI BORULU TİP ÖLÇÜ KUTUSU</b></p> <p>Galvaniz kaplı borulu tip ölçü kutusu, teknik şartnamede belirtilen şartlara uygun olarak imal edilecektir. Dış akım kaynaklı veya galvanik korumalı sistemlerde, doygun bakır/bakırsülfat (Cu/CuSO<sub>4</sub>) elektroda göre borudaki potansiyeli ölçmeye yarayan borulu tip ölçü kutusu TS 5141'deki imalat ölçülerine uygun olacaktır. İki parçadan oluşan ölçü kutusunun altında 300 dozlu kaide betonu bulunan 120 cm'lik birinci kısım ile boru üst yüzeyinden catwelt kaynak ve 1x10mm<sup>2</sup> NYY bakır iletken kablo ile katot bağlantısının yapıldığı ve yalıtkan bakalit plakaya boru potansiyelinin okunması için şöntlenen kısmın üzerine monte edilen, 25cm uzunluğundaki silindirik muhafaza başlık ikinci kısmı teşkil etmektedir. Bu başlığın üzerine kaynakla monteli 5mm kalınlığında tanıtıcı işaret yazılması için dikdörtgen plaka bulunacak ve silindirik kısım gövdeye 8mm allen cıvata ile tespit edilecektir. Ölçü kutusunun metal kısımları galvaniz kaplanacak ve bunun üzeri 60-80 mikron kalınlığındaki mavi renkli elektrostatik boya ile boyanacaktır. Borulu tip ölçü kutusunun noksansız işler hale gelebilmesi için gerekli malzemenin temini, imali, nakli, montajı ve montaj malzemesi, 1x10mm<sup>2</sup> NYY 5m kablosu, montaj işçiliği ile müteahhit karı dahil bir adedinin fiyatıdır.</p>	Adet

NO	İŞİN TANIMI	ÖLÇÜ BİRİMİ
9	<p><b>SABİT TİP REFERANS ELEKTRODU</b></p> <p>Sabit tip referans elektrot, teknik şartnamede belirtilen şartlara uygun olarak imal edilecektir. Katodik koruma proje ve tesisinde kullanılan T/R üniteleri ile enterferans ölçüm istasyonlarının otomatik çalışmasını sağlamak için toprak altına en az 1,5 metre derinliğe gömülecek sabit tip referans elektrot şartnamede verilen şekildeki imalat ölçülerine uygun (180x230)mm poroz seramik malzemeden kap içerisinde monteli 6mm spiral bakır tel 2 lt su içinde 1 kg bakır sülfat eriyiği, 100 gr kuru jel ve alçı dolgulu kapak spiral tele lehim ile irtibatlı 1x10mm<sup>2</sup> NYEY iletken 3m uzunluğunda bakır kablodan ibarettir. Sabit tip referans elektrot, kullanılacak ortama göre (toprak veya deniz suyu) TS 5141'e uygun B tipi 10 kg'lık torbalı anot dolgu malzemesi içerisinde, imalat için kalıp malzemesi ve işçiliği dahil, noksansız işler hale gelebilmesi için gerekli malzemenin temini, imali, montaj ve montaj işçiliği ve müteahhit karı ile birlikte bir adedinin fiyatıdır.</p>	Adet

NO	İŞİN TANIMI	ÖLÇÜ BİRİMİ
10	<p><b>1x10 mm<sup>2</sup> NYEY KABLO</b></p> <p>1 kV TS 212 standardına uygun yer altı kablosunun temin edilmesi, tranşenin yapılması, kabloya kum gömlekleme yapılması, (40x60x80)cm üzerine beton tuğlanın konulması, tranşenin kapatılması fiyata dahildir. Ölçü olarak kablo boyu alınacaktır.</p>	Metre

NO	İŞİN TANIMI	ÖLÇÜ BİRİMİ
11	<p><b>4x16 mm<sup>2</sup> NYFGbY KABLO VE DÖŞENMESİ</b></p> <p>1 kV TS 212 standardına uygun yer altı kablosunun temin edilmesi (çelik zırlı), tranşenin yapılması, kabloya kum gömlekleme yapılması, (40x60x80)cm üzerine beton tuğlanın konulması, tranşenin kapatılması fiyata dahildir. Ölçü olarak kablo boyu alınacaktır.</p>	Metre

NO	İŞİN TANIMI	ÖLÇÜ BİRİMİ
12	<p><b>1x25 mm<sup>2</sup> NYY KABLO VE DÖŞENMESİ</b></p> <p>1 kV TS 212 standardına uygun yer altı kablosunun temin edilmesi, tranşenin yapılması, kabloya kum gömlekleme yapılması, kablo üzerine boşluk bırakılmaksızın tuğla konulması, tranşenin kapatılması fiyata dahildir. Ölçü olarak kablo boyu alınacaktır.</p>	Metre

NO	İŞİN TANIMI	ÖLÇÜ BİRİMİ
13	<p><b>TOPRAKLAMA LEVHASI VE GÖMÜLMESİ</b></p> <p>50x100 cm veya 70x70 cm ebatlarında, en az 3mm kalınlığında bakır levha kullanılacaktır. Bakır levhalar kok tozu ve toprak direnci düşürücü malzeme ile takviye edilmelidir. Topraklama direnci, 5Ω'dan küçük olacak şekilde yeterli sayıda topraklama levhası bedeli ayrıca ödenmek üzere ilave edilecektir. Topraklama levhası minimum 1x25mm<sup>2</sup> NYY kablo ile T/R ünitesine tespit edilecektir.</p>	Adet

NO	İŞİN TANIMI	ÖLÇÜ BİRİMİ
14	<p><b>YÜKSEK POTANSİYELLİ MAGNEZYUM ANOT</b></p> <p>Yüksek potansiyelli magnezyum anot, teknik şartnamede belirtilen galvanik koruma istenen isale hatları ile enterferans belirlenen noktalarda akım takviyesi gerekli görülen yerlerde kullanılması istenen yüksek potansiyelli (M-YP) 10kg'lık magnezyum anodun kimyasal terkibi aşağıdaki gibi olacaktır.</p> <p>%Al 0.05(max), %Zn 0.03(max), %Mn 0.5-1.5, %Si 0.5(max), %Cu 0.02(max), %Ni 0.002(max), %Fe 0.03(max) ve %Mg geri kalan</p> <p>Teorik akım kapasitesi 2200 A.h/kg ve anot verimi %45'den az olmayacaktır. Magnezyum anotların imalinde kullanılacak kütle magnezyum en az %98.4 magnezyum içerecek saflıkta olacaktır. Dökümde kesinlikle daha önce kullanılmış anot veya başka bir magnezyum alaşımli hurda malzeme kullanılmayacaktır. Firma ürettiği her parti malı silinmez boya ile işaretleyecektir. Kontrollüğün gözetiminde yapılan imalatlardan sondaj olarak tespit edilen numuneler, masrafları müteahhit tarafından karşılanmak üzere herhangi bir üniversitenin Kimya-Metalürji laboratuvarında teorik akım kapasitesi, % verimi ve % katkı maddelerinin terkibi gibi kimyasal ve elektrokimyasal performans testlerini yaptıracaktır. Test sonuçlarına göre anodun kullanılıp kullanılmayacağına İdare karar verecektir. TS 5141'e göre imal edilen yatak dolgu malzemesi ile birlikte torbalı 20kg'lık (M-YP) magnezyum anodun noksansız işler hale gelebilmesi için gerekli malzemenin temini, imali, nakli, montajı, montaj malzemesi ve montaj işçiliği ile müteahhit karı ve genel giderler dahil bir adedinin fiyatıdır.</p>	Adet

## Ek 2 Regresyon Analizi ve Sonuçları

```
clear all,clc
```

```
Yapim_suresi_yil=[0.33,1.64,2.46,2.0];
```

```
uzunluk=[2800,4300,8615,14887];
```

```
a=polyfit(uzunluk,Yapim_suresi_yil,2)
```

```
for x=1:4
```

```
f1(x)=a(1)*uzunluk(x).^2+a(2).*uzunluk(x)+a(3);
```

```
end
```

```
f1
```

```
kor1=corrcoef(f1, Yapim_suresi_yil)
```

```
hold on
```

```
Katodik_koruma_maliyeti=[27.5,21.1,43.4,17.0];
```

```
ozguldirenc=[5285,5610,5835,6413];
```

```
b=polyfit( ozguldirenc,Katodik_koruma_maliyeti,2)
```

```
for x=1:4
```

```
f2(x)=b(1)*ozguldirenc(x)^2+b(2)*ozguldirenc(x)+b(3);
```

```
end
```

```
f2
```

```
kor2=corrcoef(f2, Katodik_koruma_maliyeti)
```

```
yapim_mal_katodik_koruma_mal=[0.92,2.05,4.03,1.71,0.9];
```

```
ozguldirenc=[5610,9780,5835,5285,6413];
```

```
c=polyfit( ozguldirenc,yapim_mal_katodik_koruma_mal,4)
```

```
for x=1:5
```

```
f3(x)=c(1)*ozguldirenc(x)^4+c(2)*ozguldirenc(x)^3+c(3)*ozguldirenc(x)^2+c(4)*ozguldirenc(x)+c(5);
```

```
end
```

```
f3
```

```
kor3=corrcoef(f3, yapim_mal_katodik_koruma_mal)
```

*Titanyum ANOT*

```

t_yil=[1:12];
fiyat=[121.1,187.7,340.4,381,628.5,817.1,1034,1058,1121,1288,1508,1467];
d=polyfit(t_yil,fiyat,2)
for x=1:12
f4(x)=d(1)* t_yil(x)^2+d(2)* t_yil(x)+d(3);
end
f4
kor4=corrcoef(f4, fiyat)

```

*T/R ÜNİTESİ*

```

t_yil=[1:12];
fiyat=[904.5,1481,2611,2922,4822,6268,7930,8115,8601,9884,11566,11251];
e=polyfit( t_yil,fiyat,2)
for x=1:12
f5(x)=e(1)* t_yil(x)^2+e(2)* t_yil(x)+e(3);
end
f5
kor5=corrcoef(f5, fiyat)

```

*istanbul geneli\_km*

```

t_yil=[1:8];
KK_UZUNLUGU=[683.1,699.9,757.6,800.3,825.7,993.1,1002.3,1009];
f=polyfit( t_yil,KK_UZUNLUGU,2)
for x=1:8
f6(x)=f(1)* t_yil(x)^2+f(2)* t_yil(x)+f(3);
end
f6
kor6=corrcoef(f6, KK_UZUNLUGU)

```

*istanbul geneli\_alan*

**t\_yil=[1:8];**

**KK\_UZUNLUGU=[2.745,2.829,3.049,3.234,3.313,4.149,4.179,4.191];**

g=polyfit( t\_yil,KK\_UZUNLUGU,2)

for x=1:8

f7(x)=g(1)\* t\_yil(x)^2+g(2)\* t\_yil(x)+g(3);

end

f7

kor7=corrcoef(f7, KK\_UZUNLUGU)

subplot(7,1,7)

## **CEVAPLAR**

a =

-0.0000 0.0008 -1.3586

f1 =

0.5408 1.3157 2.6012 1.9723

kor1 =

1.0000 0.9655

0.9655 1.0000

b =

1.0e+003 \*

-0.0000 0.0005 -1.2877

f2 =

24.1081 32.7469 33.8386 18.3063

kor2 =

1.0000 0.6363

0.6363 1.0000

c =

1.0e+004 \*

0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0014 2.2310

f3 =

0.9200 2.0500 4.0300 1.7100 0.9000

kor3 =

1 1

1 1

d =

-1.9642 160.2414 -105.8591

f4 =

1.0e+003 \*

Columns 1 through 7

0.0524 0.2068 0.3572 0.5037 0.6462 0.7849 0.9196

Columns 8 through 12

1.0504 1.1772 1.3001 1.4191 1.5342

kor4 =

1.0000 0.9904

0.9904 1.0000

e =

1.0e+003 \*

-0.0152 1.2303 -0.8116

f5 =

1.0e+004 \*

Columns 1 through 7

0.0403 0.1588 0.2743 0.3867 0.4960 0.6024 0.7057

Columns 8 through 12

0.8059 0.9031 0.9973 1.0885 1.1766

kor5 =

1.0000 0.9905

0.9905 1.0000

f =

0.9810 45.0429 618.6679



f6 =

1.0e+003 \*

Columns 1 through 7

0.6647 0.7127 0.7626 0.8145 0.8684 0.9242 0.9820

Column 8

1.0418

kor6 =

1.0000 0.9659

0.9659 1.0000

g =

0.0073 0.1751 2.4862

f7 =

Columns 1 through 7

2.6686 2.8657 3.0775 3.3039 3.5450 3.8008 4.0712

Column 8

4.3562

kor7 =

1.0000 0.9567

0.9567 1.0000

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi	12.02.1980	
Doğum yeri	Bad-Sackingen - (D)	
Lise	1994-1998	Pertevniyal Lisesi
Lisans	1998-2002	Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fak. Elektrik Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2002-2010	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Müh. A.B.D, Elektrik Tesisleri Programı

**Çalıştığı kurum(lar)**

2004-2005	TEDAŞ Ordu Müessesesi
2005-Devam ediyor	İSKİ Genel Müdürlüğü Üstyapı Plan Şefliği