



**T.C.  
BATMAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BATMAN ŞARTLARINDA GÜNEŞ ENERJİLİ  
KATODİK KORUMA SİSTEMİNİN  
TASARIMI**

**Mehmet Selim REŞİTOĞLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ocak-2015  
BATMAN  
Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Mehmet Selim REŞİTOĞLU tarafından hazırlanan “Batman Şartlarında Güneş Enerjili Katodik Koruma Sisteminin Tasarımı” adlı tez çalışması .../.../... Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Doç. Dr. Eşref BAYSAL

.....

#### Danışman

Doç. Dr. Zeki ARGUNHAN

.....

#### Üye

Doç. Dr. Hüseyin AYDIN

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Doç. Dr. Mahmut Tahir NALBANTÇILAR  
FBE Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

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

## **DECLARATION PAGE**

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

M. Selim REŞİTOĞLU

08.01.2015

**ÖZET****YÜKSEK LİSANS TEZİ****BATMAN ŞARTLARINDA GÜNEŞ ENERJİLİ KATODİK KORUMA SİSTEMİNİN TASARIMI****Mehmet Selim REŞİTOĞLU****Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı****Danışman: Doç. Dr. Zeki ARGUNHAN****2015, 61 Sayfa****Jüri****Doç. Dr. Eşref BAYSAL****Doç. Dr. Zeki ARGUNHAN****Doç. Dr. Hüseyin AYDIN**

Katodik koruma yeraltına veya sualtına yerleştirilmiş boru ve diğer metal malzemelerde korozyonu önlemek için kullanılan ve bilinen yöntemlerin en etkili olanıdır. Dış akım kaynaklı katodik koruma metale dıştan bir doğru akım uygulanarak yapılır. Trafo / Redresör (T/R) ünitesinin gerilimi ayarlanarak ve metalin potansiyel gerilimi metal korozyona uğramayacak değerlere getirilerek korozyon tamamen önenebilir. Elektronik ve bilgisayar teknolojisinin hızla gelişmesi ile beraber T/R ünitelerinin dizayn ve kontrol şekli de değişmiştir. Elektrik enerjisinin ulaşmadığı açık arazilerde veya deniz içerisinde güneş pilleri vasıtasıyla katodik koruma uygulamasına imkân sağlanabilir. Bolca güneş alan şehirlerden birisi olan Batmanda, Güneş enerjisi ile petrol, doğalgaz boru hatlarının veya metal malzemedan imal edilmiş herhangi bir boru hattının katodik korumasını sağlayacak sistemin Batman şartlarında uygulanabilirliği araştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Batman, Boru hattı, Güneş Enerjisi, Katodik Koruma

**ABSTRACT****MS THESIS****DESIGN OF SOLAR CATHODIC PROTECTION SYSTEM IN BATMAN****Mehmet Selim REŞİTOĞLU****THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
BATMAN UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
IN MECHANICAL ENGINEERING****Advisor: Assoc. Prof. Dr. Zeki ARGUNHAN****2015, 61 Pages****Jury****Assoc.Prof. Dr. Eşref BAYSAL****Assoc.Prof. Dr. Zeki ARGUNHAN****Assoc.Prof. Dr. Hüseyin AYDIN**

Cathodic protection is the most effective protection method as knowing today that is used for protecting underground or underwater metals from corrosion. Impressed current cathodic protection of a metal is done by applying a direct current. Transformer / Rectifier (T/R) unit voltage and metal by setting the voltage potential of metal corrosion values will be brought completely corrosion can be prevented. The rapid development of electronics and computer technology together with the T/R unit the design and shape control has changed. Of the electrical energy does not reach the open sea or in solar cells through the opportunity for the application of cathodic protection can be provided. Plenty of sun city area, one of the Batman, Solar energy, oil, natural gas pipe lines, metal or any material of the pipeline cathodic protection system to provide the Batman in terms of applicability was investigated.

**Keywords:**Batman, Cathodic Protection ,Pipeline,Solar Energy,

## ÖNSÖZ

Bu Tez Batman ili şartlarında Güneş enerjisi ile petrol, doğalgaz boru hatlarının veya metal malzemedен imal edilmiş herhangi bir boru hattının katodik korumasını sağlayacak sistemin uygulanabilirliği ile kurulacak katodik koruma sisteminin teknik açıdan analizinin yapılması amacıyla hazırlanmıştır.

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

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

Bu tezin hazırlanması aşamasında beni destekleyen hocam Doç. Dr. Zeki ARGUNHAN'a teşekkür ederim.

Mehmet Selim REŞİTOĞLU  
BATMAN-2015

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	1
ABSTRACT.....	2
ÖNSÖZ.....	3
İÇİNDEKİLER.....	4
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	6
1. GİRİŞ.....	8
2. KOROZYON.....	9
2.1. Korozyonun Elektrokimyasal Teorisi.....	9
2.2. Endüstride Korozyon.....	11
2.3. Korozyon Ortamları.....	12
2.4. Korozyonu Önlemenin Teorisi.....	13
2.4.1. Korozyon Bölgeleri.....	13
2.4.2. Bağışıklık Bölgesi.....	13
2.4.3. Pasiflik Bölgesi.....	14
2.4.4. Nerst Skalası.....	14
2.5. Korozyona Etki Eden Parametreler.....	15
2.5.1. Ortamın Etkisi.....	15
2.5.2. Sıcaklığın Etkisi;.....	16
2.5.3. Malzeme Seçiminin Etkisi;.....	16
2.5.4. Taneler Arası Özellik Farkları;.....	16
2.5.5. Sistem Dizaynı;.....	16
2.5.6. Sistemin Bulunduğu Ortamın Oksijen Konsantrasyonu;.....	16
2.5.7. Zemin Elektriksel Özgül Direncinin Etkisi;.....	17
2.6. Korozyondan Korunma Yöntemleri.....	17
3. KATODİK KORUMA.....	18
3.1. Katodik Korumanın Tarihçesi.....	18
3.2. Katodik Korumanın Temel İlkeleri.....	18
3.3. Galvanik Anotlu Katodik Koruma.....	19
3.4. Dış akım kaynaklı katodik koruma.....	20
3.5. Katodik Koruma Sistem Seçimi.....	20
3.6. Katodik Koruma Sistemi Elemanları.....	21
3.6.1. Yatay Anot Yatakları.....	21
3.6.2. Derin Kuyu Anot Yatakları.....	22
3.6.3. Yardımcı Anotlar.....	23
3.6.4. Anot Yatağı Dolgu Malzemesi (Metalürjik Kok Tozu).....	24

3.6.5. Katot Kablosu Bağlantı Metodu.....	24
3.6.6. Ölçü Kutuları .....	24
3.6.7. Sabit Tip Referans Elektrot .....	25
3.6.8. Magnezyum Anotlar .....	27
3.6.9. Katodik Koruma Trafo Redresör Ünitesi .....	27
4. T/R ÜNİTELERİ.....	28
4.1. T/R Ünitelerinin Çalışma Prensibi.....	28
4.2. T/R Ünitelerinin Gelişimi.....	28
5. BORU HATLARINDA DIŞ AKIM KAYNAKLI KATODİK KORUMA.....	30
SİSTEMİNİN HESABI .....	30
5.1. Boru Hattı Karakteristikleri.....	30
5.1.1. Boru Hattı Uzunluğu .....	30
5.1.2. Boru Çapı ve Boru Et Kalınlığı .....	30
5.1.3. Kaplama Tipi, Kaplama Kalınlığı, Koruma Akım İhtiyacı.....	31
5.2. Katodik Koruma Potansiyelinin Pratik Ölçümleri.....	36
5.2.1. Test kriterlerinin seçimi .....	36
5.2.2. Galvanik katodik koruma sistemi .....	37
5.2.3. Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemi .....	37
6. FOTOVOLTAİK ENERJİ İLE KATODİK KORUMA .....	39
6.1. Fotovoltaik güneş pilleri .....	40
6.2. Güneş Pillerinin Yapımında Kullanılan Malzemeler .....	40
6.3. Fotovoltaik Enerjili Katodik Koruma Sisteminin Elemanları.....	41
6.3.1. Fotovoltaik modüller .....	42
6.3.2. Fotovoltaik Şarj Kontrolörü .....	43
6.3.3. Akü.....	44
6.3.4. Katodik Koruma Kontrol Ünitesi .....	45
6.3.5. Anotlar.....	45
6.3.6. Referans Elektrotları .....	45
6.4. Güneş Enerjili Katodik Koruma Sisteminin Tasarımı.....	47
7. BATMAN ŞARTLARINDA GÜNEŞ ENERJİLİ KATODİK KORUMA SİSTEMİNİN ÖRNEK UYGULAMASI.....	50
7.1. Örnek Uygulama Hesabı.....	51
8. SONUÇ.....	58
KAYNAKLAR .....	59
ÖZGEÇMİŞ .....	611



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$S$	: Toplam korunacak alan	$m^2$
$I_S$	: Akım yoğunluğu	$mA/m^2$
$C_E$	: Kaplama verimliliği	
$N$	: Anot Sayısı	
$I$	: Toplam koruma akım ihtiyacı	Amper
$I_1$	: Anottan çekilebilecek akım değeri	Amper/ $m^2$
$A_n$	: Anot Dış Yüzey Alanı	$m^2$
$R_a$	: Anot Zemin Direnci	ohm
$\rho$	: Toprak Özgül Direnci	ohm.cm
$K$	: Anot Biçim Katsayısı	
$N$	: Anot Sayısı	
$L_N$	: Anot Uzunluğu	cm
$P$	: Anot Paralellik Faktörü	
$d_N$	: Anot çapı	m
$x$	: Paralel iki Anot arasındaki mesafe	m
$R_w$	: Kablo Direnci	ohm
$\rho_w$	: Kablo Özgül Direnci	ohm. $mm^2 / m$
$L_w$	: Kablo Uzunluğu	metre
$S_w$	: Kablo Kesit alanı	$mm^2$
$R_C$	: Kaplama Direnci	ohm
$R_{KC}$	: Kaplama Direnç yoğunluğu	ohm. $m^2$
$S_c$	: Kaplama yüzey alanı	$m^2$
$\rho_K$	: Spesifik kaplama direnci	ohm.cm
$s$	: Kaplama kalınlığı	mm
$R_p$	: Boru Direnci	ohm
$\rho_p$	: Boru Özgül Direnci	ohm.m
$L_p$	: Boru Uzunluğu	m
$S_p$	: Boru Kesit alanı	$m^2$

$V_{\min}$	: Minimum koruma potansiyeli	volt
$P_p$	: Paneller tarafından üretilmesi gereken güç	Watt
$h_{pr}$	: Günlük Güneşlenme süresi	saat
$P_s$	: Katodik koruma sisteminin ihtiyaç duyduğu güç	Watt

### **Kısaltmalar**

NACE	= Korozyon Mühendisleri Ulusal Derneği ( National Association of Corrosion Engineers )
V	= Volt
mV	= Milivolt
T/R ünitesi	= Trafo Redresör Ünitesi
KMO	= Karma Metal Oksit
AC	= Alternatif Akım
DC	= Doğru Akım
IR	= Kıızıl Ötesi (İnfrared)
PV	= Fotovoltaik
Cu /CuSO <sub>4</sub>	= Bakır / Bakır Sülfat
Ag /AgCl	= Gümüş / Gümüş Klorür

## 1. GİRİŞ

Korozyondan korunma konusu yıllardan beri dile getirilen ancak bir türlü gereken önemin verilmediği, son yıllarda Avrupa Birliği sürecine girilmesiyle ve birlikte yabancı standartların ve yabancı yatırımcıların dayatması ve ülkemizdeki bilinçli yetişmiş eleman sayısının artması neticesinde yavaş yavaş hak ettiği konuma ulaşmaktadır. Korozyondan dolayı uğranan ekonomik kayıp gelişmiş ülkelerde GSMH'nin %1'i iken az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde bu oran %5'lere ulaşmaktadır. Bu oran ülkemizin kaybetmeye tahammül edemeyeceği kadar yüksek rakamlarda kaynak kaybı anlamına gelmektedir[5].

Toprak ve su içerisinde bulunan boru hatları, depolama tankları, köprülerin taşıyıcı kazıkları gibi çelik malzemeler elektrolit olarak tanımlanan toprak ve suyun korozif etkisi sebebiyle sürekli korozyona uğrayabilmektedir. Önlem alınmadığı takdirde paslanma olayının etkisiyle çelik malzemeler delinerek veya üzerinde çatlaklar oluşarak hatta parçalanarak kullanılamaz hale gelmektedir. Toprak ve su içerisine yerleştirilen çelik malzemenin korozyona karşı korunmasının en etkin yöntemi katodik koruma sistemi uygulamasıdır [2]. Katodik koruma yöntemlerinden biri olan dış akım kaynaklı katodik koruma sisteminde doğru akım kaynağının (+) ucu anoda (-) ucu da korunacak olan metal yapıya bağlanır. Böylece bir elektroliz hücresi elde edilmiş olur. Korunmakta olan katot yüzeyi tam bir katot olur ve korozyon önlenir.

Bu çalışmada Batman ilinde kullanılan bir petrol boru hattının güneş enerjisi ile katodik korumasının sağlanabilmesi için gerekli fotovoltaik sistemin kurulu gücü hesaplanmış ve aylara göre analiz edilmiştir. Güneş enerjili katodik koruma sistemi, konvansiyonel dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerine nazaran aşağıdaki avantajları sağlamaktadır.

- Elektrik enerjisinin ulaşmadığı açık arazilerde güneş pilleri vasıtasıyla katodik koruma uygulamasına imkân sağlanabilir.
- Deniz içerisinde katodik koruma yapılması gereken ve elektrik enerjisinin ulaşmadığı yapılarda kullanılabilir.
- Şebeke enerjisinden tasarruf yapılabilir.

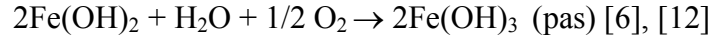
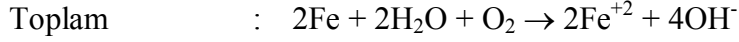
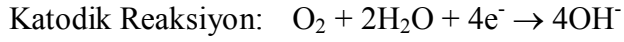
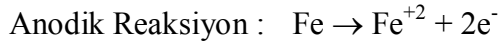
## 2. KOROZYON

### 2.1. Korozyonun Elektrokimyasal Teorisi

Korozyon, içinde buldukları ortam ile elektrokimyasal reaksiyonlara girerek metallerin metalik özelliklerini kaybetmeleri olayıdır. Doğada bulunan mineraller, metalin en düşük enerji taşıyan bileşiği, yani metalin en stabil halidir. Stabil halde bulunan bu mineraller özel metalürjik yöntemlerle ve enerji harcanarak metal haline dönüştürülür. Metallerin çoğu element halinde termodinamik olarak stabil değildir. Örneğin demir tabiatta genellikle oksit mineralleri halinde bulunur. Bu mineraller yüksek fırınlarda enerji harcanarak demir metali haline dönüştürülür. Bütün metaller uygun bir ortamın bulunması halinde üretilirken almış oldukları enerjiyi geri vererek yeniden doğada minimum enerji taşıyan mineral olarak buldukları hale dönüşmek isterler. Çünkü metal bu bileşik halinde iken serbest enerjisi en düşük durumdadır. Enerjinin geri verilmesi, zamanla metalin korozyona uğrayarak tabiatta bulunan demir oksit mineraline benzeyen pası oluşturmaya sebep olur. Bazı soy metaller hariç metallerin büyük bir kısmı su ve atmosfer etkisine dayanıklı olmayıp normal koşullar altında bile korozyona uğrayabilir. Korozyon, içinde buldukları ortam ile elektrokimyasal reaksiyonlara girerek metallerin metalik özelliklerini kaybetmeleri olayıdır. Doğada bulunan mineraller, metalin en düşük enerji taşıyan bileşiği, yani metalin en stabil halidir. Stabil halde bulunan bu mineraller özel metalürjik yöntemlerle ve enerji harcanarak metal haline dönüştürülür. Metallerin çoğu element halinde termodinamik olarak stabil değildir. Örneğin demir tabiatta genellikle oksit mineralleri halinde bulunur. Bu mineraller yüksek fırınlarda enerji harcanarak demir metali haline dönüştürülür. Bütün metaller uygun bir ortamın bulunması halinde üretilirken almış oldukları enerjiyi geri vererek yeniden doğada minimum enerji taşıyan mineral olarak buldukları hale dönüşmek isterler. Çünkü metal bu bileşik halinde iken serbest enerjisi en düşük durumdadır. Enerjinin geri verilmesi, zamanla metalin korozyona uğrayarak tabiatta bulunan demir oksit mineraline benzeyen pası oluşturmaya sebep olur. Bazı soy metaller hariç metallerin büyük bir kısmı su ve atmosfer etkisine dayanıklı olmayıp normal koşullar altında bile korozyona uğrayabilir. Hemen hemen bütün korozyon olayları elektrokimyasal reaksiyonlar ile gerçekleşir. Bu reaksiyonlar metal elektrolit ara yüzeyinde meydana gelir ve elektron alış verişini ile yürürler. Elektronlar metal atomları üzerinden hareket ederek elektrik akımını taşır. Elektronlar metal üzerindeki yüksek negatif yüklü bölgelerden düşük negatif yüklü bölgelere doğru

tek yönlü hareket ederler. Bu iletme biçimine Elektronik İletkenlik denir [2]. İyon içeren çözeltiler de elektrik akımını iletir. Elektrolitler içinde iyonlar serbest halde hareket halindedir ve elektrik akımı iyonlar tarafından taşınır. İyonik iletken olan bütün çözeltiler, doğal sular, zeminler ve beton bir elektrolit olarak korozyona neden olabilir. Çeşitli metallerin aynı ortam içindeki korozyon hızları birbirinden farklıdır. Bir metal ne derece aktif ise, yani iyon haline geçme isteği ne derece yüksek ise o metalin korozyona uğraması da o derece kolay olur. Korozyon olayı, biri Anotta oksidasyon, diğeri katotta redüksiyon şeklinde aynı anda yürüyen iki elektrokimyasal reaksiyondan oluşur. Bu açıdan bakıldığında korozyon olayı kendiliğinden akım üreten bir galvanik pil olarak kabul edilebilir. Korozyonun yürümesi için mutlaka iki ayrı metalin bulunması şart değildir. Korozyon, bir metal yalnız başına elektrolit içinde bulunurken de meydana gelebilir. Metal yapısında veya elektrolitte bulunan bazı farklılıklar nedeniyle bir potansiyel farkı oluşur ve bunun sonucu olarak, metal yüzeyinin bazı bölgeleri katot, bazı bölgeleri de Anot olur. Böylece mikro veya makro ölçüde bir korozyon hücresi oluşur. Bir metal ve çözeltilerinden oluşan sisteme yarı hücre, çözeltiye ikinci bir elektrot daldırılarak bunlar birbirine bağlanırsa buna da bir elektrokimyasal hücre denir. Yukarıda açıklanmış olduğu üzere, bir korozyon hücresi, aynı elektrolit içine daldırılmış biri Anot diğeri katot iki elektrottan oluşan bir pil gibi düşünülebilir [2]. Bir metal çubuk kendi iyonlarını içeren bir çözelti içine daldırılırsa, metal iyonları çözeltiye geçer. Çözelti (+), metal (-) yükle yüklenir. Ara yerde bir potansiyel farkı doğar. Bu koşullar altında her metal kendine özgü bir potansiyel gösterir. Denge halinde metal ile çözelti arasında oluşan potansiyel farkına elektrot potansiyeli, her metalin kendi iyonlarının çözeltisi içine daldırıldığında 20°C sıcaklıkta ölçülen potansiyele de o metalin standart elektrot potansiyeli denir [2]. Denge halinde bulunan bir elektrotun potansiyeli sabit kalır. Ancak metal üzerinde toplanan elektronlar herhangi bir şekilde uzaklaştırılacak olursa denge bozulur. Metal çözünmeye devam eder. Bunun aksine olarak metale dışardan elektron akımı söz konusu olursa, bu defa çözeltide bulunan metal iyonları metal haline indirgenerek bu elektronlar kullanılır. Elektrot yüzeyinde biri anodik diğeri katodik iki farklı reaksiyonun dengesi ile oluşan bir karma potansiyel, yani korozyon potansiyeli oluşur [2].

Havalandırılmış nötr ve bazik ortamlardaki korozyon için deniz suyu içerisindeki çelik bir parça verilebilecek en iyi örnektir:



Şekil 2.1 Korozyona Uğramış Bir Boru Parçası

## 2.2. Endüstride Korozyon

Endüstrinin temel yapı malzemesi olan demir ve çelik sulu ortamlarda ve atmosferde korozyona dayanıksız bir metaldir. Korozyon olayı endüstrinin her bölümünde kendini gösterir. Açık atmosferde bulunan tanklar, depolar, direkler, korkuluklar, taşıt araçları, yeraltı boru hatları, betonarme demirleri, fabrikalarda kimyasal madde doldurulan kaplar, borular, depolar ve birçok makine parçası korozyon olayı ile karşı karşıyadır. Bütün bu yapılar korozyon nedeniyle beklenenden daha kısa sürede işletme dışı kalmakta ve büyük ekonomik kayıplar meydana gelmektedir. Korozyon kayıpları ülkelerin gayri safi milli hasılasının yaklaşık % 3,5-4,5'u kadardır. 1976 yılında Amerika Birleşik Devletindeki korozyon kaybı 70 milyar Dolar/yıl, 1982 yılında 126 milyar Dolar/yıl olarak hesaplanmıştır. Korozyonun neden olduğu dolaylı kayıpları beş maddede toplayabiliriz [2].

- Tesisin servis dışı kalması: Korozyon sonucu meydana gelen arızanın tamiri için geçen süre içinde tesis devre dışı kalarak üretim duracaktır.
- Ürün kaybı: Bir deponun, tankın veya boru hattının korozyon sonucu delinmesi halinde, olayın farkına varılıncaya kadar geçen süre içinde ürün kaybı söz konusu olur. Bu kayıplara korozyon kaybı olarak bakmak gerekir.
- Ürün kirlenmesi: Çözünen korozyon ürünleri, elde edilen kimyasal madde içine karışarak onun kirlenmesine neden olur.
- Antikorozif boyalar: Metalleri korozyondan korumak üzere kullanılan boyalara yapılan harcamalar da korozyon kaybı olarak kabul edilmelidir.
- Korozyon için alınan aşırı önlemler: Çoğu zaman korozyon hızının ne büyüklükte olacağı başlangıçta tam olarak bilinemediği için, tasarım sırasında gereğinden kalın malzemeler veya çok pahalı malzemelerin kullanılması yoluna gidilmektedir. Bu harcamalar görünmez korozyon kaybı olarak kabul edilir [2].

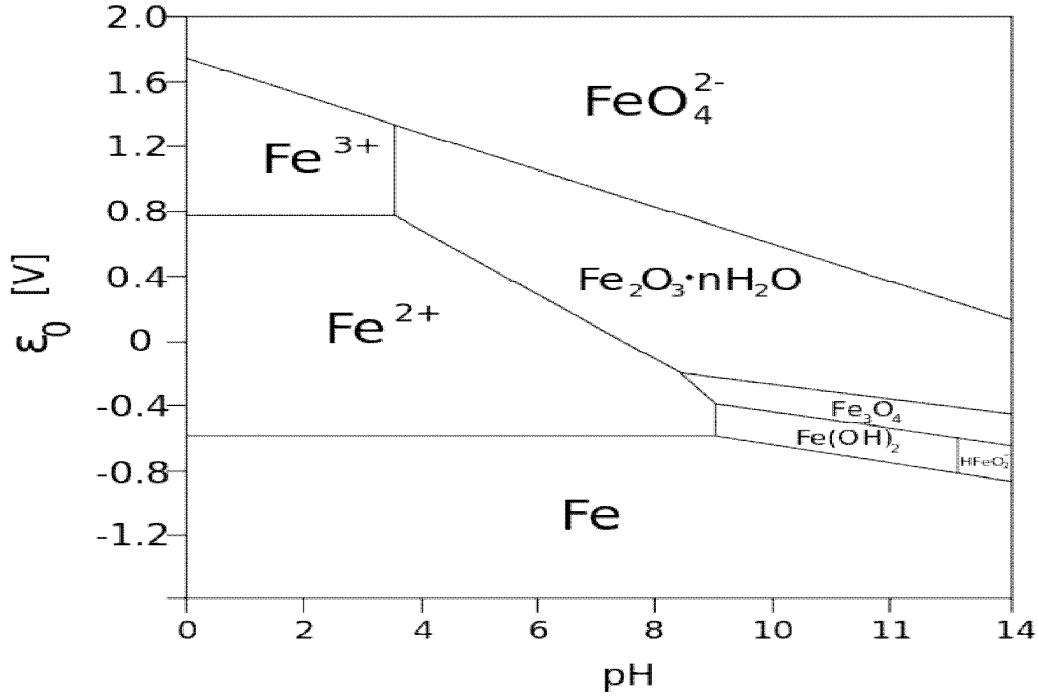
### **2.3. Korozif Ortamlar**

Korozyon olayı çeşitli ortamlar içinde değişik şekilde ortaya çıkar. Esas olan çözünmüş halde iyon içeren bir çözeltinin yani elektrolitin bulunmasıdır. Bu açıdan bakıldığında yalnız sulu çözeltiler değil, hava, zemin, beton gibi rutubet içeren ortamlar da korozyona neden olabilirler. Atmosferde bulunan tanklar, depolar, direkler, korkuluklar, zemin içinde bulunan boru hatları, beton içinde bulunan betonarme demirleri ve deniz içindeki gemiler, iskeleler, çelik kazıklar korozyon olayı ile karşı karşıyadır. Bütün bu ortamlarda meydana gelen korozyon olayı aynı karakterde olmakla beraber korozyon hızları ve etkisi birbirinden farklıdır. Zemin cinsine göre korozyon dolayısıyla korozif ortam 6 gruba ayrılır.

- Atmosferik korozyon
- Tatlı su içinde korozyon
- Kazan besleme suları korozyonu
- Deniz suyu içinde korozyon
- Zemin içinde korozyon
- Beton içinde çeliğin korozyonu

## 2.4. Korozyonu Önlemenin Teorisi

İlk olarak Marcel Pourbaix tarafından ortaya konulan bu potansiyel-pH diyagramları Pourbaix Diyagramları olarak bilinir. Diyagramda demirin korozyon açısından durumunu belirten üç bölge vardır [2].



Şekil 2.2 Demirin Pourbaix Diyagramı [6].

### 2.4.1. Korozyon Bölgeleri

Potansiyelin -0,65 Volt'dan daha pozitif ve pH'ın 9 dan küçük olduğu bölgede demir  $Fe^{+2}$  ve  $Fe^{+3}$  iyonları oluşturarak korozyona uğrar. Alt kısımlarda demir-2, üst bölgelerde demir-3 iyonları stabildir. Diğer korozyon bölgesi, potansiyelin -0,80 Volt ile -1,2 Volt arasında ve pH'ın 13 den büyük olduğu dar bir aralıktır [2].

### 2.4.2. Bağışıklık Bölgesi

Demir -0,62 Volt'tan daha negatif potansiyelde iken termodinamik olarak stabil haldedir. Bu bölgede demir korozyona uğramaz. Potansiyel bu bölgede tutulabilirse demir katodik olarak korunur. Hidrojen Elektrota göre -0,62 olan bu potansiyel değeri doygun bakır/bakır sülfat referans elektrotu ile -0,850 Volt'a karşı gelir. Bu değer, demir ve çeliğin katodik korumasında kriter olarak kullanılır [2],[16].



### 2.4.3. Pasiflik Bölgesi

Bu bölgede demir yüzeyinde  $Fe_3O_4$  veya  $Fe_2O_3$  oksitleri oluşur. Bunlar metalin pasif halde kalmasına neden olur [2].

### 2.4.4. Nerst Skalası

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

NERST Skalasında verilen elektrot potansiyelleri, standart potansiyellerdir. Pratikte su ve zemin içerisindeki elektrot potansiyeli için kalomel veya doygun  $Cu / CuSO_4$  (Bakır / Bakır sülfat) referans elektrotu kullanılır. Bu elektrotların standart hidrojen elektrotuna göre ölçülen elektrot potansiyelleri [5],[8];

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

$Cu / CuSO_4$  =  $+0,316\text{ V}$

**Çizelge 2.1.**Nerst Skalası [5],[8].

Metal	Reaksiyon		Potansiyeli (V)
Lityum	$Li^+$	$+ e^- \rightleftharpoons Li$	-3,03
Potasyum	$K^+$	$+ e^- \rightleftharpoons K$	-2,925
Sodyum	$Na^+$	$+ e^- \rightleftharpoons Na$	-2,713
Magnezyum	$Mg^{++}$	$+ 2e^- \rightleftharpoons Mg$	-2,371
Alüminyum	$Al^{+++}$	$+ 3e^- \rightleftharpoons Al$	-1,66
Çinko	$Zn^{++}$	$+ 2e^- \rightleftharpoons Zn$	-0,763
Krom	$Cr^{++}$	$+ 2e^- \rightleftharpoons Cr$	-0,74
Demir	$Fe^{++}$	$+ 2e^- \rightleftharpoons Fe$	-0,44
Kadmiyum	$Cd^{++}$	$+ 2e^- \rightleftharpoons Cd$	-0,402
Nikel	$Ni^{++}$	$+ 2e^- \rightleftharpoons Ni$	-0,23
Kalay	$Sn^{++}$	$+ 2e^- \rightleftharpoons Sn$	-0,14
Kurşun	$Pb^{++}$	$+ 2e^- \rightleftharpoons Pb$	-0,126
Hidrojen	$2H^+$	$+ 2e^- \rightleftharpoons H_2$	0
Bakır	$Cu^{++}$	$+ 2e^- \rightleftharpoons Cu$	+0,337
Civa	$Hg^{++}$	$+ 2e^- \rightleftharpoons Hg$	+0,792
Gümüş	$Ag^+$	$+ e^- \rightleftharpoons Ag$	+0,799
Platin	$Pt^{++}$	$+ 3e^- \rightleftharpoons Pt$	+1,2
Altın	$Au^{+++}$	$+ 3e^- \rightleftharpoons Au$	+1,45

## 2.5. Korozyona Etki Eden Parametreler

### 2.5.1. Ortamın Etkisi

Metallerin korozyona uğrama hızı büyük ölçüde bulunduğu ortamla alakalıdır. Ortamdaki nem miktarı, asitlik – baziklik durumu, havanın oksijenin veya suyun ortam tarafından geçirilebilme yeteneği, kaçak akımlar ve çeşitli bakteriler korozyonu başlatıcı ve hızlandırıcı etken olarak karşımıza çıkar [8].

### **2.5.2. Sıcaklığın Etkisi;**

Ortam sıcaklığının artması iyon hareketini arttırarak korozyon hızını arttırır. Ortam sıcaklığı  $-50$  ila  $+50$  °C derece arasında değişen toprak 0 derecede donar ve iyon hareket hızı minimuma düşer. Sıcaklığın artmasının oksijen yoğunluğunu düşürücü ve dolayısıyla korozyon hızını düşürücü etkisi de vardır. Ancak bu etki iyon hareketinin artmasından dolayı olan reaksiyonların yanında oldukça zayıf kalmaktadır [8].

### **2.5.3. Malzeme Seçiminin Etkisi;**

Korozyona sebep olan etkenlerden biri de birbiriyle potansiyel farkı bulunan metallerin bir arada kullanılmasıdır. Bu durum korozyonu başlatıcı ve hızlandırıcı bir etkindir. Mesela çok düşülen bir hata olarak çelik saçtan yapılan panoların üzerine konulan paslanmaz çelik cıvata ve contalar buldukları bölgede galvanik korozyona sebep olmaktadır. Bu tip durumlarda ana yüzeydeki cıvatalar ya da contalar plastik cıvatalar ile izole edilmelidir [8].

### **2.5.4. Taneler Arası Özellik Farkları;**

Metallerin tane boyutları arasındaki farklar ve iki tanedeki farklı yoğunluklar neticesinde iki tanenin sınırı korozyon başlangıcı için uygun bir ortam oluşturur. Çok düşülen bir hata olarak paslanmaz çelik malzemeden imal edilen tanklar ve benzeri yapılardaki kaynak bölgeleri üretici tarafından hiç beklemediği halde korozyona uğramaktadır. Bu korozyonun önüne geçmenin yolu ya elektrotlu kaynak kullanmamak ya da önleyici olarak galvanik Anotlu katodik koruma sistemi uygulamaktır [8].

### **2.5.5. Sistem Dizayını;**

Korozif malzemelerin depolandığı sistemlerde korozif ortamın (su vb.) birikmesini engellemeye yönelik tasarımlar uygulanmalıdır. Ayrıca arasında sıvı birikintisine sebep olabilecek çok ince aralıklardan kaçınılmalıdır [8].

### **2.5.6. Sistemin Bulunduğu Ortamın Oksijen Konsantrasyonu;**

Aynı tip toprak içerisinde çözülmüş hava konsantrasyonu her yerde aynı olmayabilir. Farklı havalandırma koşullarındaki sistemlerde yan yana duran sistem bir bölgede Anot iken hemen yanındaki bölgede katot görevi görerek elektrokimyasal korozyona sebep olabilir [8].

### 2.5.7. Zemin Elektriksel Özgöl Direncinin Etkisi;

Düşük elektriksel özgöl dirençli bölgelerde iletkenliğin yüksek olması iyonik ortamın daha aktif olmasına sebep olmaktadır. Bundan dolayı korozyon mekanizması daha hızlı gelişir [8].

**Çizelge 2.2.** Anodik ve Katodik reaksiyonlar

Zemin Elektrik Özgöl Direnci ( $\Omega$ .cm)	Zemin Koroziyon Özelliği
$\Omega < 1.000$	Çok Koroziyon
$1.000 < \Omega < 3.000$	Koroziyon
$3.000 < \Omega < 10.000$	Orta Koroziyon
$10.000 < \Omega$	Az Koroziyon

### 2.6. Korozyondan Korunma Yöntemleri

Korozyon kayıplarını mümkün olduğunca azaltmak amacıyla teknolojik olarak uygulanabilen çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunların en önemli olanları şöyle sıralanabilir.

- Boya ve kaplama yapılması
- Paslanmaz çelik kullanılması
- İnhibitör kullanılması
- Anodik koruma yapılması
- Katodik koruma yapılması

### **3. KATODİK KORUMA**

#### **3.1. Katodik Korumanın Tarihçesi**

Katodik koruma ilk olarak 1824 yılında Sir Humphry Davy tarafından Samarang isimli bir harp gemisi üzerinde denenmiştir. Geminin bakır kaplı gövdesi çinko Anotlarla korunmuş, ne yazık ki bu ilk uygulama başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Başarısızlığın katodik koruma uygulamasının yanlışlığından ileri gelmediği sonradan anlaşılmıştır. Davy tarafından bilimsel yöntemlerle yapılmış olan bu uygulamada katodik koruma ile bakırın korozyonu tam olarak önlenmiştir. Fakat koruma sonucu bakır iyonlarının toksik etkisi de kalmadığından gemi gövdesi deniz canlıları ve yosundan oluşan bir kabuk ile kaplanmıştır. Bu görüntü katodik korumanın etkisiz kaldığı şeklinde yorumlanmış ve katodik koruma uygulamasından vazgeçilmiştir. Bu başarısız uygulamadan yaklaşık yüz yıl sonra, bu asrın başlarında uzak mesafelere boru hatları ile petrol taşınması zorunlu hale gelince, yeraltı boru hatlarındaki korozyonu önlemek amacıyla katodik koruma uygulamalarına yeniden başlanmıştır. Önceleri boru hatları üzerinde başlayan katodik koruma uygulamaları 1950'li yıllardan sonra, tanklar, gemiler, su depoları, baraj kapakları, iskele ayakları, betonarme demirleri ve daha birçok metalik yapıya yaygın biçimde uygulanmaya başlanmıştır. Günümüzde teknolojik gelişmelere paralel olarak, özellikle yüksek performanslı yeni Anotların bulunması ile, katodik koruma korozyonla mücadelede en güvenilir ve de en ekonomik bir yöntem haline gelmiştir [2],[15]

#### **3.2. Katodik Korumanın Temel İlkeleri**

Katodik korumanın temel ilkeleri elektrokimyasal korozyon teorisine dayanır. Bu teoriye dayanarak bir metalin yüzeyindeki anodik bölgeler katot haline dönüştürülerek korozyon olayı kesin şekilde önlenir. Katodik koruma, korunacak metali oluşturulacak bir elektrokimyasal hücrenin katodu haline getirerek metal yüzeyindeki anodik akımların giderilmesi işlemidir. Böyle bir sistem içinde katot bölgesinde hiç bir şekilde korozyon olayı meydana gelmez. Katodik koruma metalleri korozyondan korumak üzere kullanılan en etkili yöntemdir ve iki ayrı tipi vardır. Birinci tip katodik koruma sisteminde ayrı bir metal anot görevi yapmak üzere aynı elektrolit içine daldırılır. Bu iki metalin bağlantısından galvanik bir pil oluşur ve devreden kendiliğinden bir akım geçer. Korunması istenen metal bu pilin katodu olacağından korozyona uğramaz. Buna karşılık devreden geçen akım miktarı ile eşdeğer olarak Anot metali çözünerek iyon haline geçer. Böylece yürüyen galvanik Anotlu katodik koruma

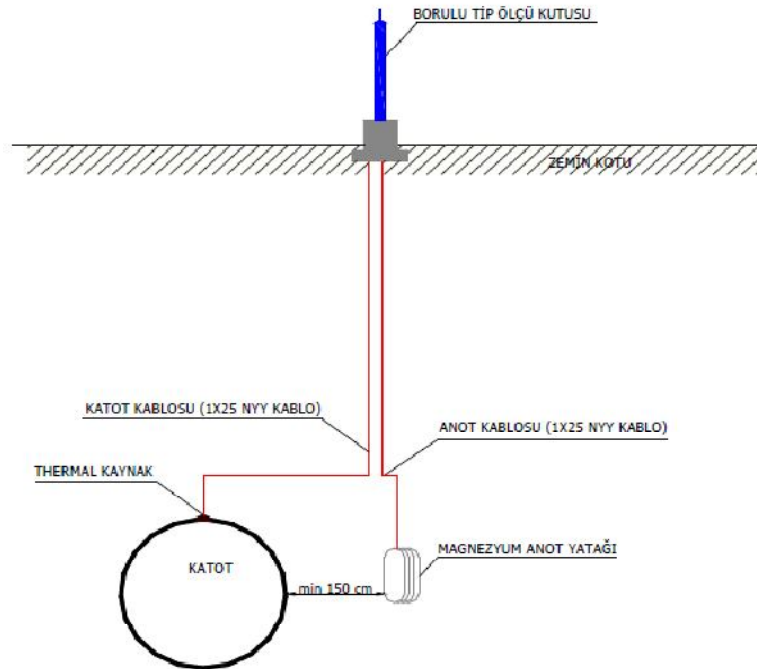
sistemleri büyük ölçekli bir galvanik pil gibi çalışır. İkinci tip katodik koruma sisteminde sisteme dışarıdan bir doğru akımın uygulanması gerekir. Doğru akım kaynağının (+) ucu anoda (-) ucu da korunacak olan metal yapıya bağlanır. Böylece bir elektroliz hücresi elde edilmiş olur. Korunmakta olan katot yüzeyi tam bir katot olur ve korozyon önlenir [2],[7],[15].

### 3.3. Galvanik Anotlu Katodik Koruma

Şekil 3.1’de gösterildiği üzere boru hattına, Elektrot potansiyeli çelikten daha elektro negatif olan magnezyum Anot bağlanarak oluşturulan elektrokimyasal devrede boru Hattı katot durumuna getirilerek korozyonun önlenmesi sağlanır [7].

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

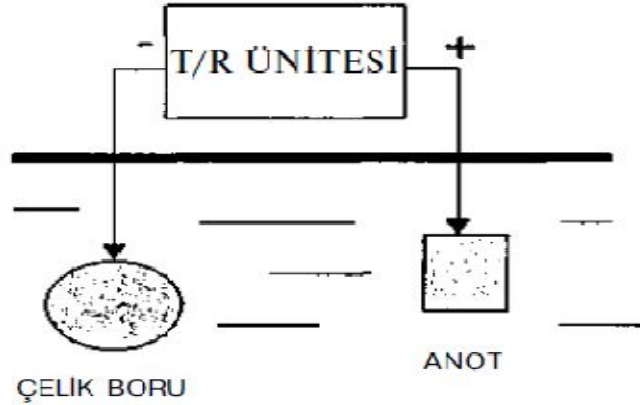
Teorik olarak, elektrot potansiyeli demirden daha elektronegatif olan her metal galvanik Anot olarak kullanılabilir. Ancak katodik koruma için gerekli akım ve potansiyeli zamanla değişmeyecek bir şekilde sağlayan ve ekonomik ölçüler içinde kullanılması uygun olan metaller magnezyum, çinko ve bunların alaşımlarıdır. Elektriksel özgül direnci 4000 ohm.cm den yüksek olan yerlerde ve akım ihtiyacı yüksek çok uzun boru hatlarında kullanılması uygun değildir [8].



Şekil 3.1 Kara Yapıları İçin Magnezyum Anotlu Galvanik Katodik Koruma Şeması [8].

### 3.4. Dış akım kaynaklı katodik koruma

Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinde metale bir dış akım uygulanarak katot haline gelmesi sağlanır. Dış akımın uygulanmasından sonra Anot reaksiyonları korunmakta olan metal yüzeyinde değil, katodik koruma devresinde bulunan yardımcı Anotta yürür. Korunmakta olan metal yüzeyi ise artık tam olarak katot olur. Bu amaçla bir transformatör redresör sisteminden elde edilen doğru akımın (-) ucu korunacak olan metal yapıya, (+) ucu da bir yardımcı anoda bağlanır. (Şekil 3.2’de dış akım kaynaklı katodik koruma sisteminin şematik gösterimi verilmiştir.) T/R ünitesinin gerilimi ayarlanarak ve metalin potansiyel gerilimi metal korozyona uğramayacak değerlere getirilerek korozyon tamamen önlenir.



Şekil 3.2: Bir boru hattının dış akım kaynağı ile katodik olarak korunması [2].

Bir çelik yapının katodik olarak korunması için, metal potansiyelinin katodik yönde belli bir değere kadar polarize edilmesi gerekir. Bunu belirlemek amacıyla pratikte farklı kriterler kullanılır. Bunlardan en önemlisi NACE RP0169 Katodik koruma standardında belirtilen -850mV kriteridir [11],[16]. Bu standarda göre korozyonun olmaması için çelik yapının doygun bakır/bakır sülfat referans elektrotuna göre ölçülen potansiyeli T/R ünitesi tarafından -850mV veya daha negatif bir değere düşürülmüş olmalıdır.

### 3.5. Katodik Koruma Sistem Seçimi

Katodik koruma sistemi Galvanik Anotlu katodik koruma ve Dış akım kaynaklı katodik koruma olmak üzere iki alternatif yöntem kullanılmaktadır [7].

Sistem seçimi yapılırken dikkat edilmesi gereken konu en önce sistemin işletme kolaylığı ve ekonomikliğidir. Galvanik Anotlu sistem daha düşük akım ihtiyacı olan yapılarda ekonomik çözümler sunabilirken dış akım kaynaklı sistem büyük sistemlerde

gerek ekonomik açıdan gerekse sistemin sağlığı açısından galvanik Anotlu sistemden çok daha iyi netice vermektedir.

Galvanik Anotlu sistemin tercih edileceği durumlar;

1. Elektrik temininin mümkün olmadığı ya da pahalıya mal olduğu durumlar
2. Akım ihtiyacı oldukça düşük sistemler
3. Trafo işletme ve bakımının yapılamadığı durumlar

Dış akım kaynaklı sistemin tercih edileceği durumlar;

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

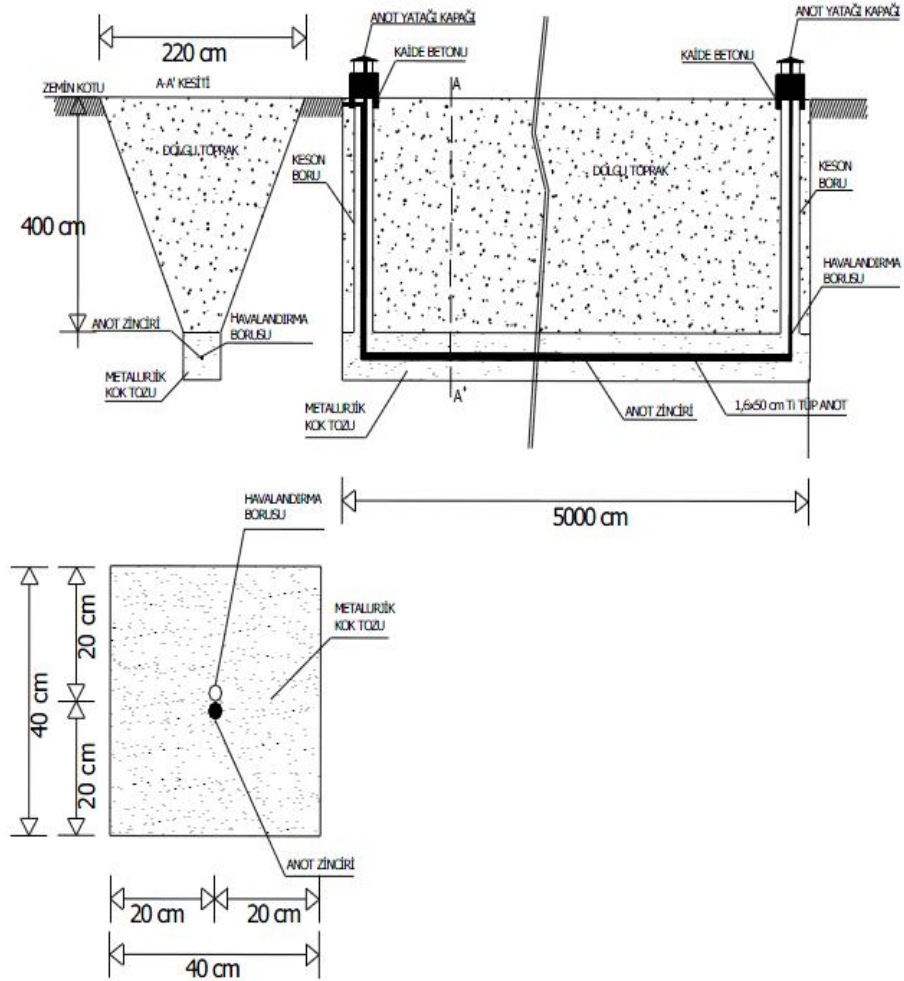
Ayrıca her ne koşul olursa olsun çok yüksek akım ihtiyacına sahip sistemlerde dış akım kaynaklı katodik koruma sisteminin kullanımı bir zorunluluktur. Tüm bunların yanı sıra yüksek elektriksel dirence sahip zeminlerde galvanik Anotlu sistem kullanımı sağlıklı değildir. 4000 ohm.cm'den daha yüksek elektriksel özgül dirence sahip sistemlerde Mg Anotlu sistemin kullanılmaması TSE 5141 tarafından önerilmektedir [8].

### **3.6. Katodik Koruma Sistemi Elemanları**

#### **3.6.1. Yatay Anot Yatakları**

Sistem projesinde belirtilmiş olan derinlikte ve genişlikte korunacak olan boruya paralel olarak ve minimum 30 metre, maksimum 100 metre olacak şekilde kurulmalıdır. Anot yatağı derinliği borunun derinliğine göre belirlenir. Anot yatağı uzunluğu ise sistemin ihtiyaç duyduğu akıma göre belirlenmiş miktarda yardımcı anodu içeren Anot zinciri boyunda olmalıdır. Şekil 3.3'te de gösterildiği üzere Anot zincirinin Anot yatağına indirilmesinden önce yatak tabanına 20 cm yüksekliğinde kok tozu serilecektir. Anot zinciri yatağın tam ortasına kok tozunun üzerine serilecek ve üzeri 20 cm kok tozu ile kapatılacaktır. Anot zincirine paralel olarak ve kelepçelerle bağlı havalandırma borusu kullanılacaktır. Yatay Anot yatağının başladığı ve bittiği yerlerde havalandırma borusu yüzeye çıkacak ve Anot yatağı başlangıç ve bitiş noktalarında kurulacak olan kaide betonu içerisinden perforesiz keson boru içerisinden yüzeye çıkan havalandırma borularının gaz tahliyesi sağlanacaktır.

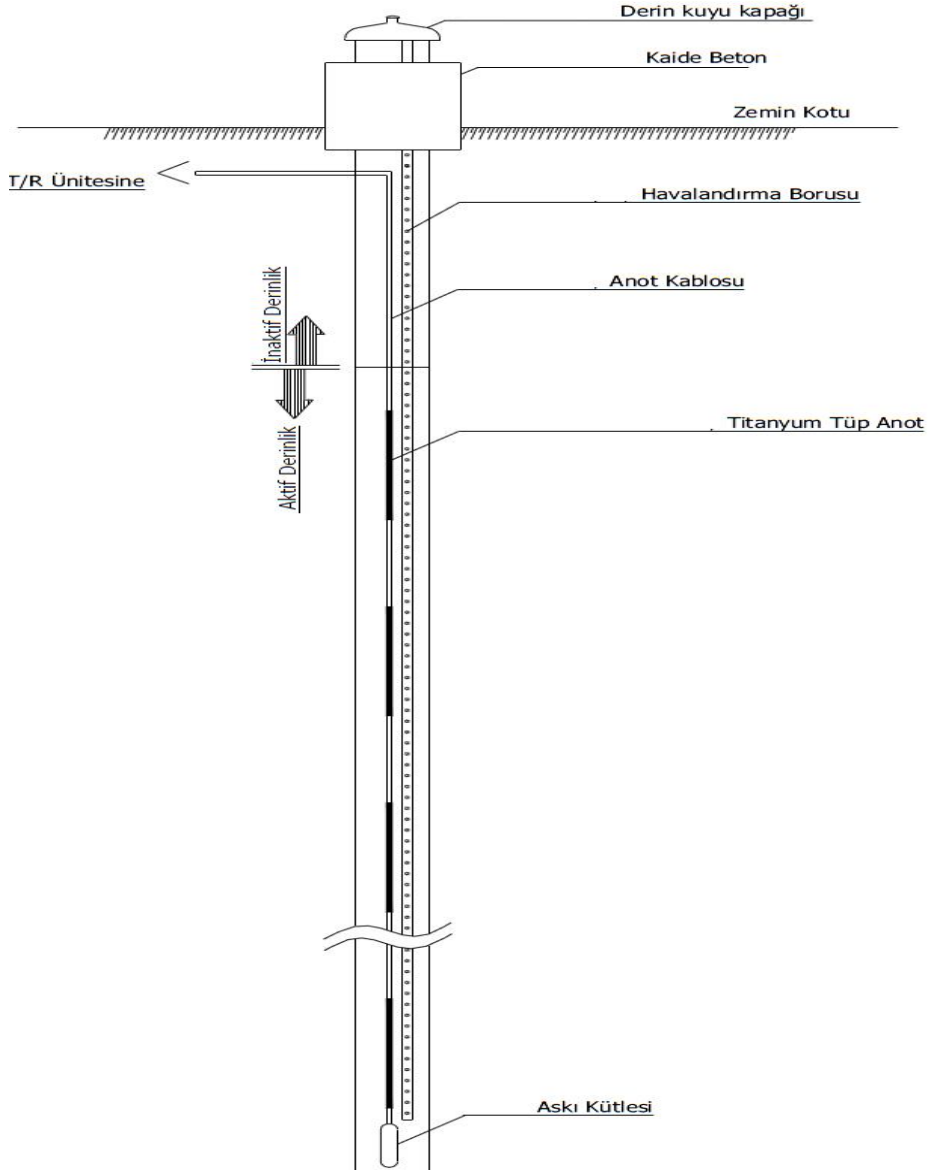




Şekil 3.3 Anod Kuyusu- Yatay detay çizimi [8].

### 3.6.2. Derin Kuyu Anot Yatakları

Sistem projesinde belirtilmiş olan derinlikte ve genişlikte ve korunacak olan boruya dik olarak minimum 30 maksimum 100 metre uzaklıkta olacak şekilde kurulmalıdır [8]. Anot yatağı derinliği sistemin ihtiyaç duyduğu akıma göre belirlenmiş miktarda yardımcı anodu içeren Anot zincirini boyunda olmalıdır. Anot yatağı çapı istenen resistivite değerini sağlayacak genişlikte sistem projesinde belirtilen çapta olmalıdır. Anot zinciri bir askı kütleye bağlanarak Anot zincirine kelepçelerle bağlı havalandırma borusu ile birlikte Anot yatağına sarkıtılmalıdır. Havalandırma borusu yüzeye çıkacak ve Anot yatağının yüzey seviyesine monte edilecek olan kaide betonun içerisindeki perfore edilmemiş keson boru içerisinden Anot yatağı kapağına bağlanacaktır. Şekil 3.4'te derin kuyu Anot yatağının örnek çizimi verilmiştir.



Şekil 3.4 Derin kuyu anot yatağı detay çizimi [8].

### 3.6.3. Yardımcı Anotlar

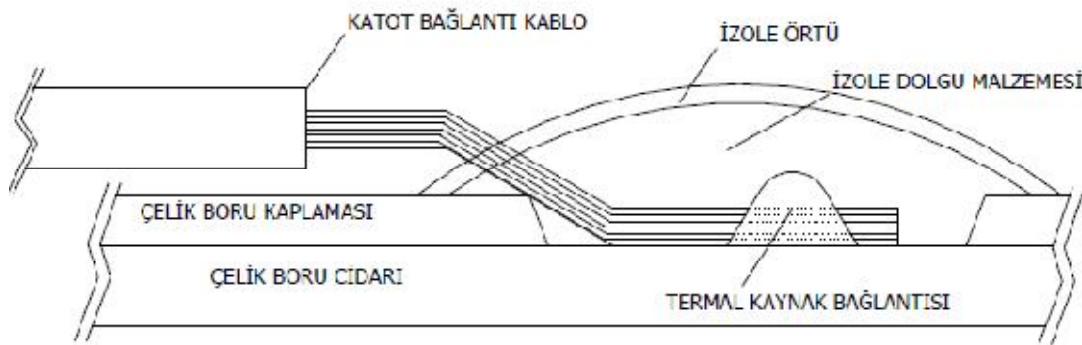
Katodik koruma sistemlerinde çağdaş yardımcı Anotlar olarak Karma Metal Oksit Kaplı Titanyum Tüp Anotlar kullanılmaktadır. KMO Ti Tüp Anotlar elektro katalitik kaplama yöntemiyle bir soy metal olan Grade – 1 Titanyum tüplerin karma metal oksit kaplanmasıyla elde edilir. Elde edilen kaplamalı Titanyum tüpler sürekli ve kesintisiz elektriksel iletkenliği sağlamanın yanı sıra, 20 yıl boyunca kütle kaybetmeme özelliğine haizdir [8]. Kara tipi KMO kaplı titanyum Anotların maksimum akım kapasiteleri  $100 \text{ A/m}^2$ , deniz tipi Anotların ise  $600 \text{ A/m}^2$ 'dir.

### 3.6.4. Anot Yatağı Dolgu Malzemesi (Metalürjik Kok Tozu)

Karma metal oksit kaplı Titanyum Anotlar, elektriksel dirençlerini azaltmak ve polarizasyonlarını önlemek amacıyla bir Anot yatağı malzemesi içine yerleştirilerek kullanılacaktır. Anot yatağı malzemesi olarak metalürjik kok tozu kullanılacaktır. Kok tozu maksimum tane çapı 10 mm olacak ve 100 no'lu elekten geçen kısım (toz) % 5'den az olacaktır [8]. Bu koşullarda Anot yatağı elektrik özgül direnci (rezistivitesi) 50 ohm.cm'den büyük olmayacaktır.

### 3.6.5. Katot Kablosu Bağlantı Metodu

Katodik koruma sistemlerinde kablo bağlantıları yapılırken termal kaynak metodu uygulamak en doğru yöntemdir. Termal kaynak şematik çizimi Şekil 3.5'te verilmiştir.



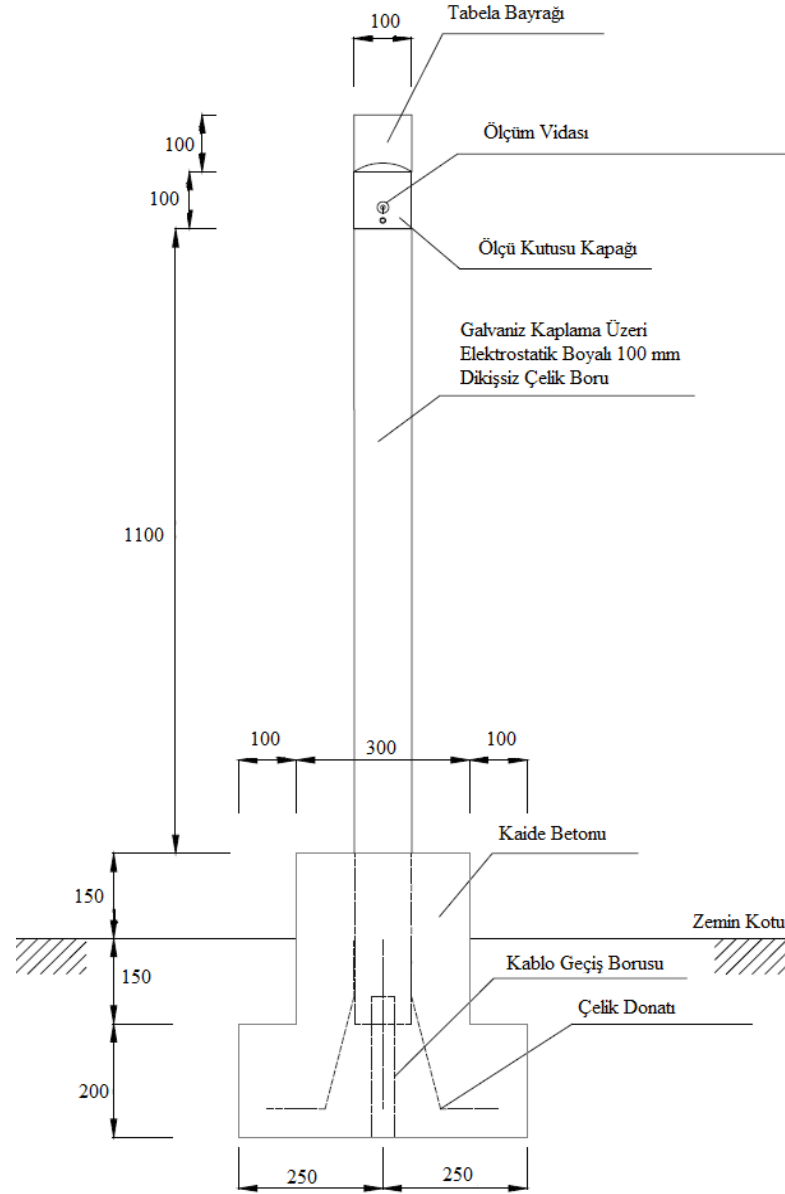
Şekil 3.5 Termal kaynak detayı [8].

### 3.6.6. Ölçü Kutuları

Ölçü kutuları, 2 mm et kalınlığında çelik borudan imal edilecek ve üzeri sıcak daldırma galvaniz kaplanacaktır. İmalat TSE 5141'de verilen verilere uygun olarak ve Şekil 3.6'daki detay çizimlerde de belirtildiği şekilde yapılmalıdır [24]. TSE 5141 standardı gömülü veya suya daldırılmış metal yapılar üzerinde dışarıda elektrik enerjisi katkısı ile ve olmaksızın korozif reaksiyonlara karşı bir katodik koruma sisteminin tesisi için genel prensipleri kapsar. Boru Hattına uygulanan koruma akımlarının etkili olup olmadığının işletme süresince kontrol edilebilmesi için, boru hattı boyunca yeteri sayıda ölçü istasyonu konulmalıdır. Ölçü istasyonları en çok 1 km'yi geçmeyecek aralıklarla ve özellikle zemin elektrik direncinin düşük olduğu bölgelere gelecek şekilde boru hattı boyunca dağıtılmalıdır [8]. Ayrıca normal ölçü istasyonlarına ek olarak aşağıda belirtilen noktalara da özel olarak ölçü istasyonu konulmalıdır.

- Boru Hattının muhafaza borusu içine alındığı bölgelerin her iki ucuna,
- Akarsu ve dere geçitlerine,

- Komşu boru hatları ile kesim noktalarına,
- Elektrik yalıtım noktalarına,
- Galvanik Anotların bağlantı noktalarına,
- Kaçak akımlar için önlem alınan noktalarına,
- Yardımcı Anotların bulunduğu Anot yatağı üzerine



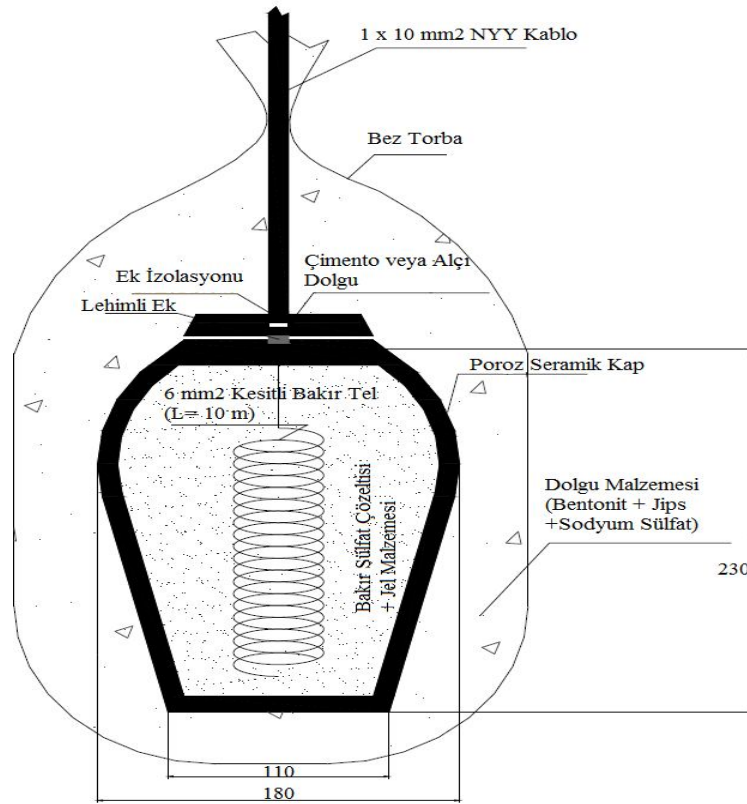
Şekil 3.6. Ölçü Kutusu Detay çizimleri [8].

### 3.6.7. Sabit Tip Referans Elektrot

Çinko tipli, Cu/CuSO<sub>4</sub> ve Ag/AgCl tipli olmak üzere en çok kullanılan 3 tip referans elektrot vardır. Referans elektrot, tanımı TS-4363'de verilmiştir. Bu Standart aynı zamanda zeminlerin özgül elektrik dirençlerinin dört elektrot metodu ile tespitini detaylı olarak tarif etmektedir. Çinko tipli referans elektrotun çeliğin korozyonuna sebep

olması ve boya filminde fazla potansiyel gerilimi oluşturması sebebiyle kullanılması mahsurludur. Ag/AgCl tipli elektrot ise daha çok deniz suyunun kirlilik faktörlerinden etkilenmemesi ve AgCl' nin çözünmemesi sebebiyle deniz suyundaki ölçümler için kullanılır. Bakır/Bakır sülfat Referans Elektrotta toprak altı yapıların ölçülmesinde sık kullanılan, doymun bakır sülfat çözeltisi içine elektrolitik bakır metal daldırarak yapılan elektrottur. Hazırlanışı TS 4363'de açıklanmıştır. Şekil 3.7'de Bakır/Bakır sülfat Referans Elektrotunun standart biçimi verilmiştir. Doymun Bakır/Bakır sülfat Referans Elektrotunun standart hidrojen elektrotuna karşı potansiyeli  $-316$  mV'dur. Kullanılacak referans elektrotundan beklenen özellikler aşağıdaki gibi olmalıdır;

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



Şekil 3.7 Sabit Tip Referans Elektrot [8].

### 3.6.8. Magnezyum Anotlar

Katodik koruma sistemlerinde galvanik Anot olarak en çok magnezyum Anotlar kullanılmaktadır. Magnezyum Anotlar kullanılacak yere ve istenen akım ihtiyacına göre AZ 63 ve yüksek potansiyelli olarak iki tipte imal edilmektedir. AZ 63 ibaresi Magnezyum anodunu oluşturan bileşimde ortalama %6 Alüminyum ve %3 çinko (Zn) olmasından gelmektedir (%6Al - %3Zn ).Çizelge 3.1’de magnezyum anotlarının kimyasal bileşimleri verilmiştir.

**Çizelge 3.1** Magnezyum Anotların Kimyasal Bileşimleri

ELEMENT	KÜTLE OLARAK %	
	Yüksek Potansiyelli Mg Anod	AZ - 63 Mg Anod
Alüminyum	En Çok 0,05	5,3 – 6,7
Çinko	En Çok 0,03	2,5 – 3,5
Manganez	0,5 - 1,5	0,25 – 0,40
Silisyum	En Çok 0,05	En Çok 0,3
Bakır	En Çok 0,02	En Çok 0,08
Demir	En Çok 0,03	En Çok 0,3
Nikel	En Çok 0,002	En Çok 0,003

### 3.6.9. Katodik Koruma Trafo Redresör Ünitesi

Dış akım kaynaklı Katodik Koruma sisteminde gerekli olan doğru akım için trafo redresör ünitesi kullanılır. Trafo redresör ünitesi şebekeden aldığı alternatif akımı trafo ünitesi ile doğru akıma çevirip istenilen gerilime düşürür.

## 4. T/R ÜNİTELERİ

### 4.1. T/R Ünitelerinin Çalışma Prensibi

Bilindiği üzere galvanik Anotlu katodik koruma sistemlerinde korozyonu önlemek için gerekli olan kapalı devre akım ihtiyacı galvanik Anottan sağlanmakta ve bunun sonucunda galvanik Anot bir süre sonra tükendiği için değiştirilmesi gerekmektedir. Dış akım kaynaklı katodik koruma sisteminde ise dış devre akım ihtiyacı enerjisi T/R ünitelerinden dolayısıyla elektrik şebekesinden sağlanmaktadır. Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinde Anot, katot ve elektrolit ortama ilave olarak korozyonu önlemek için en önemli ve vazgeçilmez eleman trafo/redresör (T/R) ünitesidir. Şebekeden alınan alternatif akımın potansiyeli katodik koruma sistemlerinde kullanılan transformatör-redresör üniteleri ile istenilen seviyelere düşürülür. Daha sonra bu düşük potansiyelli alternatif akım bir redresörden geçirilerek doğru akım haline dönüştürülür.

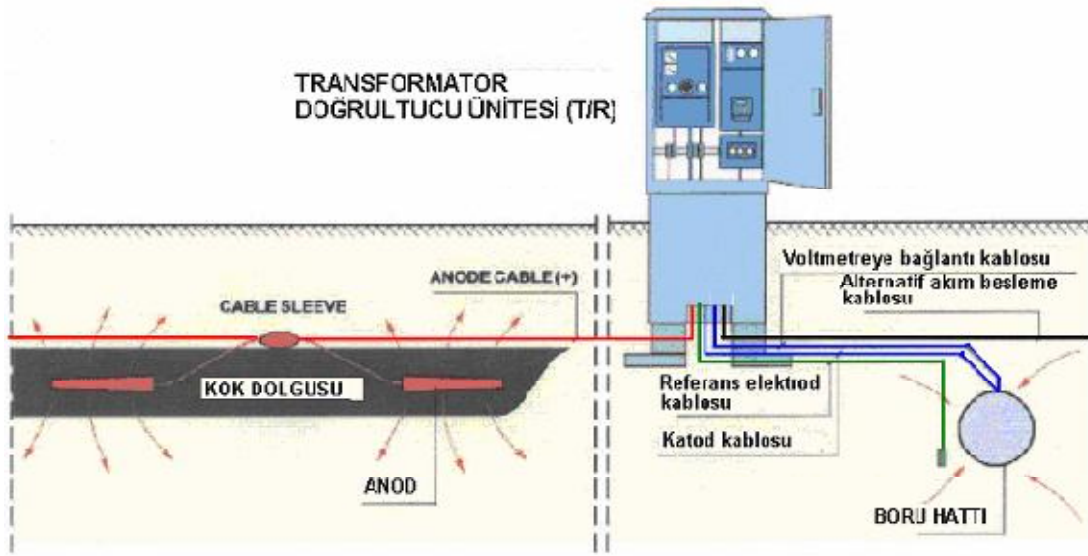
### 4.2. T/R Ünitelerinin Gelişimi

T/R ünitesinin temel görevi metalin potansiyelini korozyona uğramayacak değerlere getirmektir. Bunu sağlamak için genellikle korunmakta olan yapının yakınına bir sabit referans elektrot konur. Referans elektrottan alınan potansiyel değer, bir manyetik yükseltici tarafından akımın kontrolünde kullanılır. Eğer potansiyel istenen değerden fazla ise, potansiyelin düşmesi sağlanır. Eğer potansiyel düşük ise, transformatör redresör ünitesinden otomatik olarak daha fazla akım çekilir. Böylece önceden ayarlanmış olan boru/zemin potansiyeli sürekli olarak sabit tutulmuş olur. Son yıllarda katodik koruma sistemlerinde kullanılan T/R ünitelerinin dizaynı elektronik ve bilgisayar teknolojisinin hızla gelişmesi ile beraber ilerlemeler göstermiş daha önce T/R ünitelerinden elde edilemeyen birçok özellik elde edilebilir hale gelmiştir. T/R ünitelerinden günümüzde beklenen en önemli özellikler otomatik olarak çalışması, bilgisayara bağlanacak şekilde uyumlu olması ve hareketli parçasının bulunmamasıdır. Elektronik ve bilgisayar teknolojisinin hızla gelişmesi ile beraber T/R ünitelerinin kontrol şekli değişmiş, manuel kontrol edilen T/R'lerden otomatik T/R'lere tek diyotla yapılan doğrultuculardan ve entegrelerle yapılan doğrultuculara, yağlı tip büyük ebatlı trafolardan kuru tip ufak trafolara ulaşılmış, bilgisayarla kontrolün sağlanabilmesi için T/R' lere scada (Uzaktan Kontrol ve Gözleme Sistemi) uyumlu sistemler ilave edilmiştir. İlk kuşak T/R ünitelerinin çıkış gerilimi kademe anahtarı kullanılarak manuel olarak değiştirilmekte, koruma potansiyeli de seyyar referans elektrotlar ile manuel

olarak ölçülmekte idi. İkinci kuşak T/R ünitelerinde ise yarı iletken teknolojinin gelişimi ile beraber transistörler kullanılmış olup, koruma potansiyeli sabit referans Elektrot yardımıyla ölçülmeğe T/R ünitesinin çıkış gerilimi ise otomatik olarak değiştirilmeye başlanmıştır. Bu tip T/R üniteleri bulunan katodik koruma sistemlerinde artık manuel ölçme ve ayar yapmaya gerek kalmamıştır. Günümüzde ise T/R ünitesinin scada sistemlerine bağlanarak uzaktan bilgisayarla izleme ve kumandanın sağlanması mümkün olabilmektedir. T/R ünitesindeki doğrultucunun (redresörün) dizaynında ilk zamanlar diyotlar kullanılıyor iken tristörlerin ( yarı iletken anahtar) gelişimi ile diyot yerine tristör kullanılmaya başlanmış, tristör tetikleme açılarının kontrolü ile T/R ünitesinin çıkış gerilimi kolaylıkla değiştirilebilir hale gelmiştir. Bu andan itibaren özellikle mikroişlemciler T/R dizaynına dahil olmuştur. Günümüzde ise artık kazancın artırılması, çıkış geriliminin daha kolay ve basit olarak kontrolü ve bilgisayar uyumunun daha seri olabilmesi için T/R ünitesinin doğrultucu kısmında dizayn değişiklikleri yapılmaktadır. İlave olarak elektrik enerjisinin temin edilemediği yerlerde güneş pillerinden faydalanılmaktadır.



## 5. BORU HATLARINDA DIŞ AKIM KAYNAKLI KATODİK KORUMA SİSTEMİNİNİN HESABI



Şekil 5.1 Dış akım kaynaklı katodik koruma istasyonunun genel görünüşü [8].

Çelik borunun katodik olarak korunması için

- Bakır/Bakır sülfat referans Elektrotuna göre boru-toprak veya boru-su potansiyeli - 850mV veya daha negatif olacaktır.
- Toprağa gömülü veya suya daldırılmış boru yüzeyi ile Bakır/Bakır Sülfat referans Elektrotu arasındaki polarizasyon kayması 100 mV veya daha fazla olmalıdır [8].

### 5.1. Boru Hattı Karakteristikleri

#### 5.1.1. Boru Hattı Uzunluğu

Boru hattı uzunluğu Kilometre cinsinden verilir. Katodik koruma hesaplarında metre cinsine çevrilip uygulama yapılır.

#### 5.1.2. Boru Çapı ve Boru Et Kalınlığı

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

### 5.1.3. Kaplama Tipi, Kaplama Kalınlığı, Koruma Akım İhtiyacı

$R_K$  Kaplama direncinin yoğunluğu,  $\rho_K$  kaplamanın spesifik direnci ve  $s$  kaplama kalınlığı olmak üzere aşağıda verilen ifade ile belirlenir [8].

$$R_K (\text{ohm.m}^2) = 10^{-5} \cdot \rho_K (\text{ohm.cm}) \cdot s (\text{mm}) \quad (5.1)$$

Polietilen Kaplamanın spesifik direncinin DIN IEC 60093 test metoduna göre ölçüm değeri  $10^6$  ohm.cm dir [8].

$$R_C = R_K / S_c \quad (5.2)$$

$R_C$  : Kaplama Direnci ohm

$R_{KC}$  : Kaplama Direnç yoğunluğu ohm. m<sup>2</sup>

$S_c$  : Kaplama yüzey alanı m<sup>2</sup>

$\rho_K$  : Spesifik kaplama direnci ohm.cm

$s$  : kaplama kalınlığı mm

$$I = S \cdot I_s \cdot (1 - C_E) \quad (5.3)$$

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

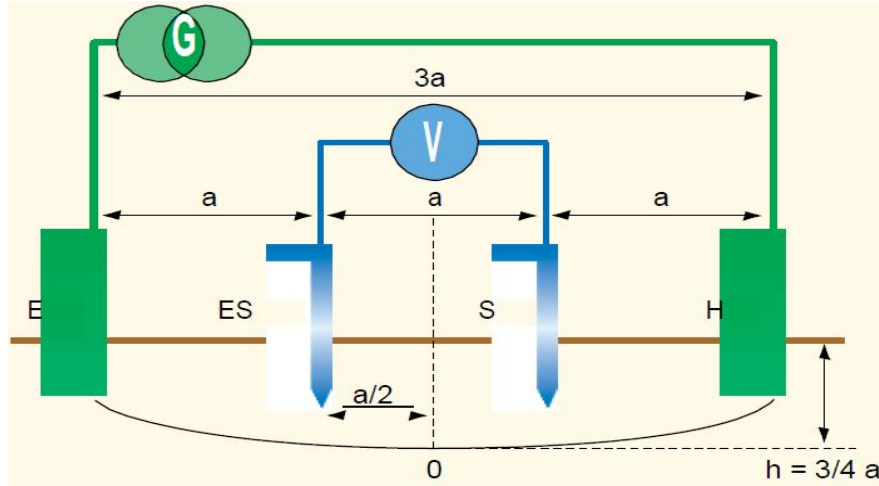
$I_s$  : Akım yoğunluğu Tablo 5,2'den alınacak mA/m<sup>2</sup>

$I$  : Toplam koruma akım ihtiyacı

$C_E$  : Kaplama verimliliği

### 5.1.4. Toprak spesifik direncinin ölçülmesi

Toprak spesifik direncinin ölçülmesi Wenner'in 4 Elektrot metoduna göre yapılır. Şekil 5.2'de gösterildiği üzere Wenner'in 4 Elektrot metodundaki ölçüm prensibi "a" eşit mesafesi ile 4 adet kazık Toprak üzerinde bir çizgi halinde yerleştirilerek ölçüm gerçekleştirilir. Test cihazı "I" akımı iki elektrot arasına enjekte edilir. (E ve H). ES ve S elektrotları arasındaki  $\Delta V$  gerilim potansiyeli ölçülür [23].



Şekil 5.2 Wenner in 4-Elektrot metoduna göre toprak spesifik direncinin ölçümü [23].

Eski tip cihazlarda hem gerilim ve hem de akım değeri okunur. Bu gibi cihazlarda ifade (5.4) a göre direnç değeri bulunur ve ifade (5.5) e göre toprak spesifik direnci hesaplanır. Yeni cihazlarda ise doğrudan direnç değeri okunur ve (5.5) ifadesine göre toprak spesifik direnci hesaplanır.

Cihazdan okunan direnç değeri

$$R = \frac{V}{I} \text{ ohm} \quad (5.4)$$

Elde edilen bu değerden aşağıda verilen (5.5) ifadesine göre  $\rho_s$  toprak spesifik direnci bulunur.

$$\rho_s = 2\pi \cdot a \cdot R \text{ ohm.cm} \quad (5.5)$$

a: Elektrot açıklığı

R: cihazdan okunan direnç

Olup, Şekil 5.3'te Toprak spesifik direncinin ölçümünde kullanılan ekipmanlar, Şekil 5.4'te ise Toprak spesifik direncinin ölçüm biçimi gösterilmektedir.



Şekil 5.3: Toprak spesifik direncinin ölçümünde kullanılan ekipmanlar



Şekil 5.4 : Toprak spesifik direncinin ölçüm şekli

### 5.1.4.2. Kaplamasız boru hatlarında Koruma akım yoğunluğu

Boru hattı güzergahı boyunca ölçülen toprak spesifik dirençlerinin aritmetik ortalaması aşağıda verilen ifadeye göre alınır [8].

$$\rho_{ort} = \frac{\sum \rho_n [(\rho_{max} + \rho_{min}) / 2]}{n - 1} \quad (5.6)$$

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

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

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

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

Boru hattı ortalama spesifik direnci belirlendikten sonra bu değer esas alınarak tablo 5.1'ye göre kaplamasız hatlar için koruma akım yoğunluğu belirlenir.

Tablo 5.1'ye göre akım yoğunlukları belirlenirken ortalama boru hattı spesifik direnci değerleri esas alınarak Çizelge 5.1'deki koroziflik değerleri göz önüne alınır. Koroziflik derecesine göre akım yoğunluğu belirlenir. Eğer düşük ortalama dirençli yani korozifliği yüksek olan toprak yapılarında buna göre yüksek akım yoğunluğu seçilir.

**Çizelge 5.1:** Toprak spesifik direnç sınıflandırılması [8].

Zemin Elektrik Özgül Direnci ( $\Omega$ .cm)	Zemin Korozif Özelliği
$\Omega < 1.000$	Çok Korozif
$1.000 < \Omega < 3.000$	Korozif
$3.000 < \Omega < 10.000$	Orta Korozif
$10.000 < \Omega$	Az Korozif

**Tablo 5.1:** Kaplamasız hatlarda  $I_S$  boru koruma akım yoğunluğu [10].

Ortam	Koruma Akım Yoğunluğu (mA / m <sup>2</sup> )
Toprak rezistivitesi < 1000 ohm.cm	60-250
Toprak rezistivitesi 1000 - 10000 ohm.cm	30-60
Toprak rezistivitesi 10000 - 30000 ohm.cm	20-30
Toprak rezistivitesi > 30000 ohm.cm	10-20
Anerobik bakteri ihtiva eden yüksek etkili toprak	150-400
Durgun Taze su	20-40
Akar su	40-60
Hareketli Taze su	50-150
Sıcak Taze su	50-150
Durgun Deniz suyu	10-30
Hareketli Deniz suyu	30-250
Beton	5-15

Koruma akım yoğunluğunun belirlenmesiyle (5.3) ifadesi

$$I = I_S \cdot S \quad (5.7)$$

Şekline getirilerek koruma akım ihtiyacı belirlenir.

#### 5.1.4.3. Kaplamalı boru hatlarında Koruma akım yoğunluğu

Kaplamalı hatlarda akım ihtiyacını belirlemek için çeşitli metotlar vardır

a.) Boru hattı ortalama toprak spesifik rezistivitesine göre Tablo 5.2 'ten koruma akım yoğunluğu ihtiyacı belirlenir. Aşağıda verilen (5.3) ifadesi kullanılarak koruma akım ihtiyacı bulunur[8].

$$I = S \cdot I_S \cdot (1 - C_E)$$

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

$I_S$  : Akım yoğunluğu Tablo 5.2'den alınacak mA/m<sup>2</sup>

$I$  : Toplam koruma akım ihtiyacı

$C_E$  : Kaplama verimliliği

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

b.) Boru hattı spesifik toprak direncine göre Çizelge 5.1 deki değerler kullanılır. Tablodaki üst değerler ortalama toprak spesifik direnci düşük olan toprak veya su içindeki boru hattı ve yapılar için kullanılır. Tablo 5.2 deki değerler seçilirken Tablo 5.1 deki uygulamada olduğu gibi Çizelge 5.1 deki sınıflandırma esas alınarak boru hattı için akım yoğunluğu belirlenir.

**Tablo 5.2:** Kaplamalı çelik yapılarda katodik koruma akım yoğunluğu ihtiyacı [10].

Ortam	Koruma Akım Yoğunluğu (mA / m <sup>2</sup> )
Boru Hattı epoksi veya diğer yüksek performanslı kaplama	0,01-0,05
Boru Hattı kuvvetlendirilmiş kömür katranı	0,05-0,25
Boru Hattı sarmalı gres kaplama	0,5-1,5
Boru Hattı asfalt reçinesi 1/2" kalınlık	0,01-0,05
Boru Hattı eski asfalt veya diğer bozulmuş kaplamalar	0,5-3,5
Boru Hattı eski boya kaplama	1-3
Tankların tabanları	0,5-20
Tanklar soğuk içme suları için	0,5-20
Tanklar soğuk deniz suları için	0,5-40
Hareketli soğuk su veya kullanım su tankları	3-30
Temiz su tarafındaki çelik kazıklar	1-15
Deniz suyu tarafındaki çelik kazıklar	1-20
Toprak tarafındaki çelik kazıklar	0,5-10

Seçilen akım yoğunluğu esas alınarak aşağıda verilen (5.7) ifadesi yardımıyla akım yoğunluğu belirlenir.

$$I = S \cdot I_s$$

## 5.2. Katodik Koruma Potansiyelinin Pratik Ölçümleri

### 5.2.1. Test kriterlerinin seçimi

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

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

### 5.2.2. Galvanik katodik koruma sistemi

Galvanik katodik koruma sisteminde test kriteri korunan yapının herhangi bir yerinde yapı elektrolit potansiyelinin -0,85 Volt tan daha az olmamasıdır. IR veya gerilim düşümü hatası; ölçü sırasında referans Elektrotu mümkün olduğu kadar çok yakınına boru hattı ölçmelerinde tam boru üzerine yerleştirmek ve referans Elektrotunu ölçü sırasında mümkün olduğu kadar uzak tutarak giderilir. Bundan sonra yapının kaplama şekli, anotlar arası açıklık ve anot boyutları, anot akım bilgileri, birlikte göz önüne alınarak galvanik katodik koruma sisteminin yeterliliği değerlendirilir.

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

Boyutları çok küçük ve izolasyon seviyesi yüksek vanalar, dirsekler gibi yapılarda 100 mV polarizasyon kayma kriteri kullanılır. Galvanik anotlu sistemin tamamı için tüm anotlardan akımın kesilmesini sağlayabilecek şekilde tasarım yapılmışsa 100 mV polarizasyon kayması kriterine göre test yapılabilir. - 0,85 Volt-OFF kriterine göre test çok nadir durumlar haricinde galvanik katodik koruma sisteminde gerçekleştirilemez. Bu nedenle 100 mV polarizasyon kayması kriteri ve -0,85 Volt-ON kriterine göre test yapılmalıdır.

### 5.2.3. Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemi

Dış akım kaynaklı katodik koruma sisteminde kullanılacak test kriterlerinin belirlenmesi için öncelikle anot yatağının tipidir. Pompa istasyonlarında uygulanan dağıtılmış anot yataklı dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinde -0,85 Volt-OFF ve 100 mV polarizasyon kayma kriteri kullanılmalıdır. -0,85 Volt-ON kriteri kullanılmamalıdır.

Kaplamasız veya zayıf ve bozuk kaplamaya haiz yapıları korumak için tesis edilen katodik koruma sistemlerinde -100 mV kriteri kullanılmalıdır.

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



Yapı kaplamasına ait dielektrik dayanımları, yapının boyutu, elektrolit özgül direnci ve katodik koruma dış akım kaynağından çıkan akım miktarı göz önüne alınarak katodik koruma sisteminin yeterliliği belirlenir. Eğer bir şüphe varsa veya potansiyel okuma değerleri sorunlu ise başka kriterler uygulanır veya muhtemel IR-hatalarını azaltmak için geçici veya kalıcı referans Elektrotunu kazı yapılarak yapının mümkün olan yakınına kadar yerleştirilir ve ölçüler tekrarlanır. Kaplamasının dielektrik dayanımı yüksek olan yapılarda; elektrolit özgül direncine anotla olan uzaklığa veya katodik koruma sistemi devre direncine bakılmaksızın -0,85 Volt-OFF kriteri rahatlıkla uygulanır.

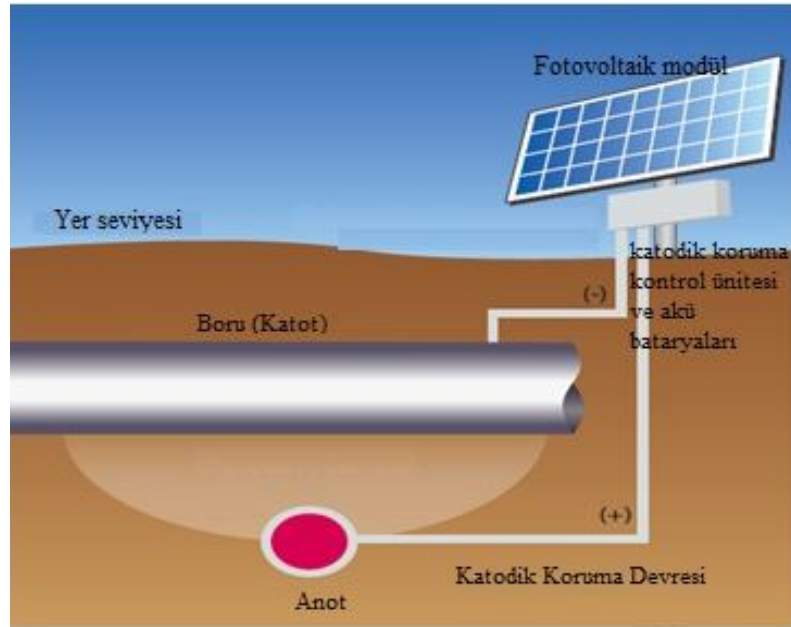
## 6. FOTOVOLTAİK ENERJİ İLE KATODİK KORUMA

Boru hatlarının Dış akım kaynaklı olarak katodik koruma sistemlerinin sağlanması için gereken doğru akımı fotovoltaik panel sistemi ile de sağlamak mümkündür. Bu sistem için gereken ekipmanlar şu şekildedir [2], [7];

- Fotovoltaik güneş modülleri
- Fotovoltaik şarj kontrolörü
- Akü bataryaları
- Katodik koruma kontrol ünitesi
- PV paneller için çelik konstrüksiyon

Güneş pilleri ile dizayn edilen katodik koruma sisteminin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

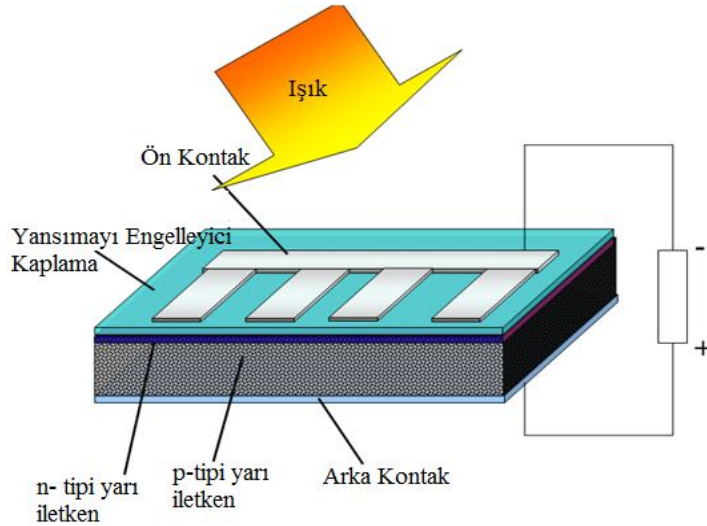
- Elektrik enerjisinin ulaşmadığı açık arazilerde güneş pilleri vasıtasıyla katodik koruma uygulamasına imkân sağlanabilir.
- Deniz içerisinde katodik koruma yapılması gereken ve elektrik enerjisinin ulaşmadığı yapılarda kullanılabilir.
- Şebeke enerjisinden tasarruf yapılabilir.



Şekil 6.1 Güneş Enerjili Katodik Koruma Sistemi [21].

### 6.1. Fotovoltaik güneş pilleri

Fotovoltaik, görünür veya diğer ışık ısınlarına maruz kaldığında, elektriksel gerilim farkı (voltaj) üretimi yapabilme özelliğidir. “Fotovoltaik” sözcüğü, ışık anlamına gelen “foto” ve elektrik anlamına gelen “voltaik” sözcüklerinin birleşmesi ile oluşturulmuştur. Fotovoltaik teknolojisi, yani güneş enerjisini kullanılabilir güce çeviren donanımları açıklamak için kullanılan terim, ışıktan elektrik üretir. “Fotovoltaik pil” ise fotovoltaik özellik sonucu elektrik enerjisi üreten yapılardır. Yaygın olarak “Fotovoltaik pil” tanımlaması kullanılmasına rağmen, “bariyer tabakalı fotopil”, “kendi kendine üreten pil”, “güneş pili”, “fototronikfotopil” gibi isimlerle de adlandırılmaktadır. Dolayısıyla güneş pilleri Şekil 6.2’de gösterildiği üzere, yüzeylerine gelen güneş ışığını kullanarak doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletkenleri içeren ve mevcut yenilenebilir enerji kaynakları arasında en temizlerden birisi olan yapılardır.



Şekil 6.2. Güneş pilinin genel bir gösterimi [3].

### 6.2. Güneş Pillerinin Yapımında Kullanılan Malzemeler

Güneş pilleri pek çok farklı maddeden yararlanarak üretilebilir. Günümüzde en çok kullanılan maddeler şunlardır:

Kristal Silisyum: Önce büyütülüp daha sonra 200 mikron kalınlıkta ince tabakalar halinde dilimlenen Tek kristal Silisyum bloklardan üretilen güneş pillerinde laboratuvar şartlarında %24, ticari modüllerde ise %15’in üzerinde verim elde edilmektedir [18].

Galyum Arsenit (GaAs): Bu malzemeyle laboratuvar şartlarında %25 ve üzeri verim elde edilmektedir. Diğer yarıiletkenlerle birlikte oluşturulan çok eklemli GaAs pillerde %30 mertebesinde verim elde edilmiştir. GaAs güneş pilleri uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcı sistemlerde kullanılmaktadır[18].

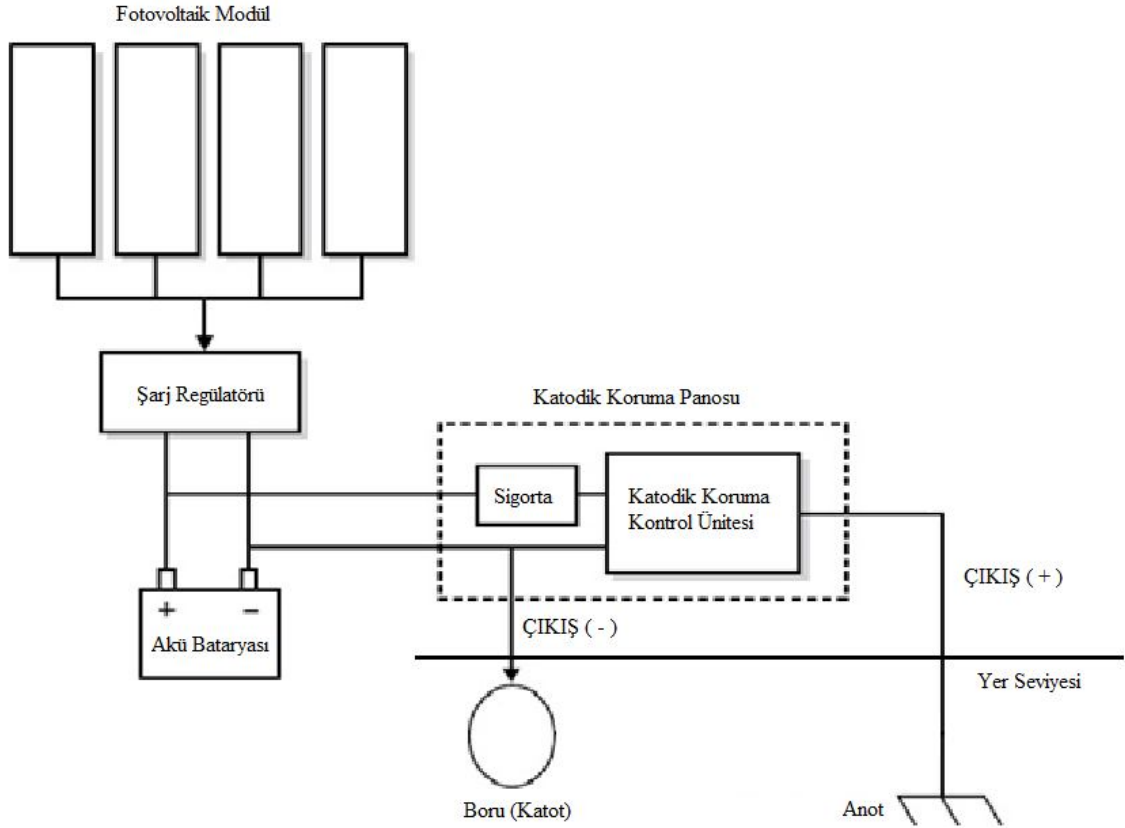
Amorf Silisyum: Kristal yapı özelliği göstermeyen bu Si pillerden elde edilen verim %10 dolayında, ticari modüllerde ise %5-7 mertebesinde. Günümüzde daha çok küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılan amorf silisyum güneş pilinin bir başka önemli uygulama sahasının, binalara entegre yarısaydam cam yüzeyler olarak, bina dış koruyucusu ve enerji üretici olarak kullanılabileceği tahmin edilmektedir [18].

Kadmiyum Tellürid (CdTe): Çokkristal yapıda bir malzeme olan CdTe ile güneş pili maliyetinin çok aşağılara çekileceği tahmin edilmektedir. Laboratuvar tipi küçük hücrelerde %16, ticari tip modüllerde ise %7 civarında verim elde edilmektedir[18].

Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe<sub>2</sub>): Bu çok kristal pilde laboratuvar şartlarında %17,7 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde ise %10,2 verim elde edilmiştir[18].

### **6.3. Fotovoltaik Enerjili Katodik Koruma Sisteminin Elemanları**

Güneş pilleri, elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilir. Güneş pili modülleri uygulamaya bağlı olarak, akümülatörler, invertörler, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir güneş pili sistemi (fotovoltaik sistem) oluştururlar. Bu sistemler, özellikle yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yörelerde, jeneratöre yakıt taşımının zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanılırlar. Bunun dışında dizel jeneratörler ya da başka güç sistemleri ile birlikte karma olarak kullanılmaları da mümkündür. Bu sistemlerde yeterli sayıda güneş pili modülü, enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere genellikle sistemde akümülatör bulundurulur. Güneş pili modülleri gün boyunca elektrik enerjisi üreterek bunu akümülatörde depolar, yüke gerekli olan enerji akümülatörden alınır. Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan denetim birimi ise akünün durumuna göre, ya güneş pillerinden gelen akımı ya da yükün çektiği akımı keser.



Şekil 6.3 Fotovoltaik Enerji ile Katodik Koruma Sistemi [22].

### 6.3.1. Fotovoltaik modüller

Güneş pillerinin paralel veya seri olarak bağlanması ile elde edilirler. İki güneş pili paralel bağlandığında, voltaj sabit kalırken akım iki katına çıkar, seri bağlandığında ise, akım sabit kalırken, voltaj iki katına çıkar. Bu şekilde, gerilimi 14-16 volta çıkarmak mümkündür. Fotovoltaik modüller, sert dış ortam şartları için tasarlanmaktadır. Güneş pillerinin ve elektriksel bağlantıların dış ortamdan korunması için modüller kapsüllenirler. Fotovoltaik modüllerin, paralel veya seri olarak bağlanması ile fotovoltaik Paneller elde edilirler. Bu şekilde 12-600 V arasında gerilim elde etmek mümkün olabilmektedir. Şekil 6.4'te Fotovoltaik modül ve panel uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 6.4 Fotovoltaik modül ve panel uygulamaları [17].

### 6.3.2. Fotovoltaik Şarj Kontrolörü

Solar Modüllerden elde edilen enerjinin bataryalara depolanması için şarj regülâtörleri kullanılmaktadır. Güneş panellerinde oluşan voltaj güneşin gün içindeki durumuna göre değiştiği için Şarj regülâtörleri olmadan, batarya şarjları yapılamaz, şarj regülâtörleri, enerjinin regüle edilmesi ve batarya şarj durumunun kontrolü için kullanılmaktadır. Üzerlerindeki mikro kontrolör ve yazılım sayesinde güneşe, bataryalara ve yük durumuna bakarak sistem için en ideal çalışma modunu otomatik olarak seçerler. Bu yazılımlar çok karmaşık Algoritmalar içerirler. Dijital veya led göstergeli olarak üretilen şarj regülâtörleri, güneş panelleri ve bataryalardaki voltaj-akım kontrolünü yapar. Bataryaların o anki durumuna göre 3 şarj modundan uygun olanı seçip bataryaların şarj olmasını sağlayarak bataryaların uzun ömürlü olmasına yardımcı olur.

Sistemin her türlü hava koşulunda güvenilir ve problemsiz çalışması gerekmektedir. Bu nedenle sistemde kullanılacak enerji akışının denetlenmesi ve sistemde kullanılan cihazların zarar görmesini ya da hatalı ölçüm yapılmasının engellemesi gerekmektedir. Sistem çıkış gerilimlerinin, kısa devre, yanlış bağlama, aşırı yük akımı düşük akü gerilimi ya da panel arızları gibi durumlarda sistemi denetleyecek, olası problemlere karşı sistemi koruyacak ve bu problemleri kullanıcıya iletebilecek bir sistem kullanılmalıdır. Tüm bunları yerine getiren sistem şarj regülâtörüdür. Şarj regülâtörleri DC olarak özellikle solar modüllerden gelen enerjinin bataryalara depolanmasında kullanılacağı için 12Volt /24Volt /48 Volt ve 6A den 150A olarak üretilmektedir. Şarj regülâtörleri standart güçlerde olduğu gibi ayrıca gerektiğinde özel güçlerde de üretilmektedir. Şarj regülâtörleri kullanılırken solar modül bağlantısına dayalı olarak

modül DC voltajı ile aynı olacak şekilde ve modül Amper gücüne göre kullanılmalıdır.



Şekil 6.5 Fotovoltaik Şarj Kontrolörü. [17]

### 6.3.3. Akü

Elektrik enerjisini kimyasal enerji olarak depo eden, istenildiğinde bunu elektrik enerjisi olarak veren cihazlardır. Güneş Enerjisi ile üretilen enerjinin depolanmasında kullanılan akü çeşitleri;

**OPzSAkü:** Az bakımlı, Tüplü Sabit Tesis (OPzS) Akümülatörleri sistemlere kesintisiz enerji kaynağı olarak bağlanmak üzere üretilmiş sabit tesis (standby) akülerdir. Kullanıcı için yüzdürme gerilimiyle çalışma sistemiyle minimum bakım gerektirir ve düşük enerji maliyetlidir. Temel özelliği olan düşük antimonu kurşun alaşımı, kendi kendine deşarjını azaltarak su kaybı oranını büyük ölçüde düşürür.

**Jel Akü:** Jel Akü modelleri; soğuk ortam sıcaklıklarında daha uzun kullanım ömrü ve daha iyi performans sağlayan silikon jel teknolojisi ile üretilmektedir. Jel Akü modelleri Özel seperatör ile donatılmış olup, tam kapalı, bakım gerektirmeyen akülerdir. Jel Akülerin derin deşarj döngüsü AGM aküler ile kıyaslandığında %50 daha fazladır. Yüksek güvenilirlik ve kaliteye sahiptir.

**Kuru Akü:** Kuru aküler, TP ve TPD (yüksek akım kapasiteli) modelleriyle, performansı ve uygun fiyatlarıyla yaygın bir kullanıma sahiptir. Tamamıyla kapalı, bakımsız kuru tip akülerdir. Çok geniş bir ısı yelpazesinde çalışabilir. Emniyet valfleriyle teçhiz edilmiştir. Uzun ömürlü, sağlam ve uygun tasarım yapısına sahiptir. Çok döngülü çalışma imkânı. Yatay, dikey herhangi bir pozisyonda çalıştırılabilir. Ters çevrilse bile asit sızdırmaz.

### 6.3.4. Katodik Koruma Kontrol Ünitesi

Katodik koruma kontrol ünitesi üretilen enerjinin Voltaj ve akım değerlerini korunacak yapının ihtiyaç duyduğu voltaj ve akım değerlerine göre ayarlama imkânı sağlayan sistemlerdir.

### 6.3.5. Anotlar

Dış akım kaynaklı katodik koruma metale dıştan bir doğru akım uygulanarak yapılır. Katodik koruma kontrol ünitesinden elde edilen doğru akım (-) ucu korunacak olan metale (+) ucu da bir yardımcı anoda bağlanır. Dış akım kaynaklı sistemde yardımcı Anot olarak; toprak altı yapılarında en yaygın olarak kullanılan Anot tipi silis katkılı demir Anotlardır. Bu Anotların dışında karma metal oksit kaplı titanyum Anotlarda kullanılmaktadır. Titanyum üzerine iletkenliği çok yüksek metal oksitler kaplanarak elde edilen Anotlarda kütle kaybı yok denecek kadar azdır. Anot yüzeyi polarize olmadığı için sürekli aktif halde kalır. Bu Anotlar hem zemin içerisinde hem de deniz suyunda kullanılabilirlerdir.

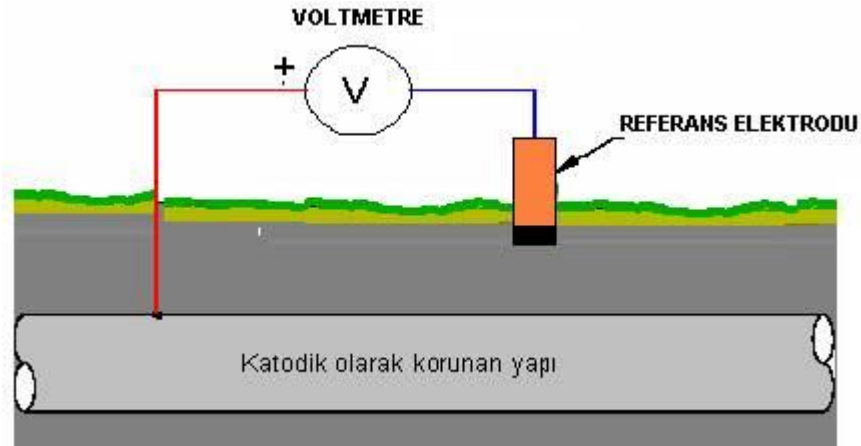


Karma metal oksit kaplı titanyum Anotlar

Silis katkılı demir Anotlar

Şekil 6.6 Katodik Koruma Anotları [17].

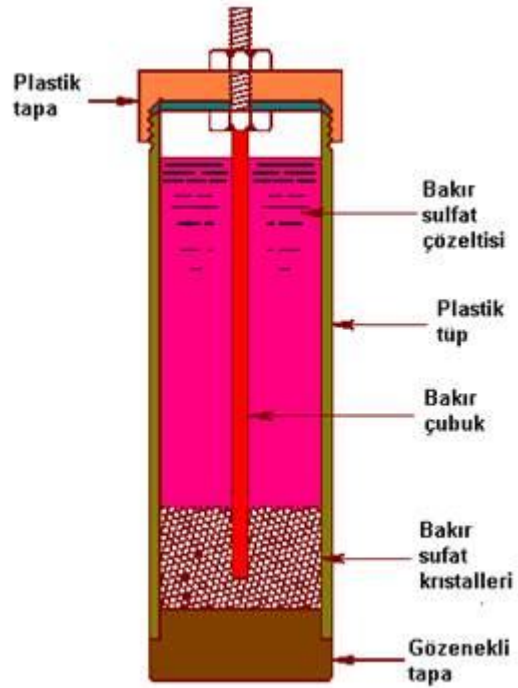
### 6.3.6. Referans Elektrotları



Şekil 6.7 Referans Elektrotundan ölçüm alma şekli [17].



Referans elektrotları korunacak olan çelik yapı - toprak potansiyelini ölçmek için kullanılır. Ölçülen potansiyele göre çelik yapının katodik korumasının ideal olup olmadığı yargısına varılabilir. Referans Elektrotları kullanma yeri ve amacına göre sabit tip ve seyyar tip olarak imal edilirler. Sabit tip referans elektrotlar ölçüm zorluğu bulunan veya korunan yapının üzeri asfalt, beton vs. kapatılacak olan yapılarda kullanılır. En çok kullanılan referans elektrot tipi ise Bakır/Bakır sülfat referans elektrotudur. Bakır sülfat referans elektrotu esas olarak içi boş silindirin içine doldurulmuş bakır sülfat çözeltisi ve bunun içine daldırılmış elektrolitik bakır çubuktan meydana gelir. Gözenekli tapa toprakla temas ettirilir ve referans elektrotuna bağlı kablo temas kutusundaki yapı ile bağlantılı klemensle bağlanarak toprak potansiyeli ölçülür. Eğer bir yapı katodik olarak korunuyorsa korunan yapı ile toprak arasında bakır sülfat referans elektrotu ile ölçülen yapı-toprak potansiyelinin değeri en az  $-0,85V$  olmalıdır, yani başka bir Toprağa gömülü çelik yapının katodik olarak korunması için gerekli potansiyel bakır sülfat referans elektrotuna göre  $-0,85$  Volt veya daha negatif, olması gerekir.



Şekil 6.8 Bakır/Bakır sülfat elektrotu. [19]

#### 6.4. Güneş Enerjili Katodik Koruma Sisteminin Tasarımı

Katodik koruma sistemi tasarlanmadan önce aşağıda belirlenen bazı ön bilgilerin tespit edilmesi gerekmektedir. Bunlar;

- Toplam koruma akım ihtiyacı; Korunacak yapının potansiyelini maksimum -0,85 volt değerine ayarlamak için ihtiyaç duyulan metrekare alan başına gerekli akım miktarıdır. İyi kaplanmış bir yapı, çok düşük akım yoğunluğu (metrekare başına yaklaşık 0.05 miliamper) gerektirir; kaplanmamış bir yapısı yüksek akım yoğunluğu (metrekare başına yaklaşık 10 miliamper) gerektirir. Toplam koruma akım ihtiyacını veren denklem[7];

$$I = S \cdot I_s \cdot (1 - C_E) \quad (6.1)$$

$S$  : Toplam korunacak alan  $m^2$

$I_s$  : Akım yoğunluğu  $mA/m^2$  Tablo 5.2 ten alınır.

$I$  : Toplam koruma akım ihtiyacı

$C_E$  : Kaplama verimliliği

-Anot Sayısı ; Katodik koruma sisteminde kullanılacak olan Anotların sayısı Anot üreticisinin Anot çıkış akım değeri ile katodik koruma akım yoğunluğuna bağlıdır. Kullanılacak olan denklem ise [4];

$$N = \frac{I}{A_n \cdot I_1} \quad (6.2)$$

$N$  : Anot Sayısı

$I$  : Toplam koruma akım ihtiyacı Amper

$I_1$  : Anottan çekilebilecek akım değeri Amper/ $m^2$

$A_n$  : Anot Dış Yüzey Alanı  $m^2$

-Anot Zemin Direnci ( $R_a$ ); Katodik koruma sisteminin dizaynında kullanılan Anot Zemin Direncinin hesaplanmasında kullanılan denklem ise [4];

$$R_a = \frac{\rho \cdot K}{N \cdot L} + \frac{\rho \cdot P}{S} \quad (6.3)$$

$R_a$	: Anot Zemin Direnci	ohm
$\rho$	: Toprak Özgül Direnci	ohm.cm
$K$	: Anot Biçim Katsayısı	Tablo 6.1'den alınır
$N$	: Anot Sayısı	
$L_N$	: Anot Uzunluğu	cm
$P$	: Anot Paralellik Faktörü	0,00135 [4]
$d_N$	: Anot çapı	metre
$x$	: Paralel iki Anot arasındaki mesafe	metre

**Tablo 6.1** Anot Biçim Katsayısı [10].

<b>L/d</b>	<b>K</b>	<b>L/d</b>	<b>K</b>
1	0,008	16	0,0201
2	0,010	18	0,0207
3	0,012	20	0,0213
4	0,013	25	0,0224
5	0,0140	30	0,0234
6	0,0150	35	0,0242
7	0,0158	40	0,0249
8	0,0165	45	0,0255
9	0,0171	50	0,0261
10	0,0177	55	0,0266
12	0,0186	60	0,0270
14	0,0194		

-Kablo Direnci ( $R_w$ ); Katodik koruma sisteminde kullanılan kabloların oluşturduğu direncin hesaplanmasında kullanılan denklem ise [13];

$$R_w = \rho_w \cdot L_w / S_w \quad (6.4)$$

$R_w$	: Kablo Direnci	ohm
$\rho_w$	: Kablo Özgül Direnci	ohm. mm <sup>2</sup> / m
$L_w$	: Kablo Uzunluğu	m
$S_w$	: Kablo Kesit alanı	mm <sup>2</sup>

-Kaplama Direnci ( $R_C$ ); Katodik koruması yapılması düşünülen boruya ait kaplamanın oluşturduğu direncin hesaplanmasında kullanılan denklem ise [8],[13];

$$R_C = R_K / S_c \quad (6.5)$$

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

$R_C$  : Kaplama Direnci ohm

$R_{KC}$  :Kaplama Direnç yoğunluğu ohm. m<sup>2</sup>

$S_c$  :Kaplama yüzey alanı m<sup>2</sup>

$\rho_K$  : Spesifik kaplama direnci ohm.cm

$s$  : kaplama kalınlığı mm

-Boru elektriksel Direnci ( $R_p$ ); Katodik koruması yapılması düşünülen borunun oluşturduğu direncin hesaplanmasında kullanılan denklem ise [1];

$$R_p = \rho_p \cdot L_p / S_p \quad (6.6)$$

$R_p$  : Boru Direnci ohm

$\rho_p$  :Boru Özgül Direnci ohm.m

$L_p$  : Boru Uzunluğu m

$S_p$  : Boru Kesit alanı m<sup>2</sup>

-Katodik Koruma Potansiyeli ( $V_{\min}$ ); Tasarlanacak olan katodik koruma sisteminin gereksinim duyduğu minimum potansiyel değerinin hesaplanmasında kullanılan denklem ise [4],[13];

$$V_{\min} = I ( R_a + R_w + R_c + R_p ). 150\% \quad (6.7)$$

- Güneş Panelleri ile İlgili Hesaplamalar

Güneş panelleri sadece güneş ışınımının olduğu zamanlarda elektrik üretir. Güneş ışınımının olmadan sistemin ihtiyaç duyduğu enerjiyi sağlamak için,bir yılın farklı aylarında güneşlenme süresinin tespit edilmesi gerekir. Hem katodik korumanın sağlanması hem de akü bataryalarının şarj edilebilmesi için gerekli olan minimum panel gücünün hesaplanmasında kullanılan denklem ise

$$P_p = \left( \frac{24}{h_{pr}} \right) \cdot P_s \cdot 1,6 \quad [13] \quad (6.8)$$

$P_p$  : Paneller tarafından üretilmesi gereken güç watt

$h_{pr}$  : Günlük Güneşlenme süresi saat

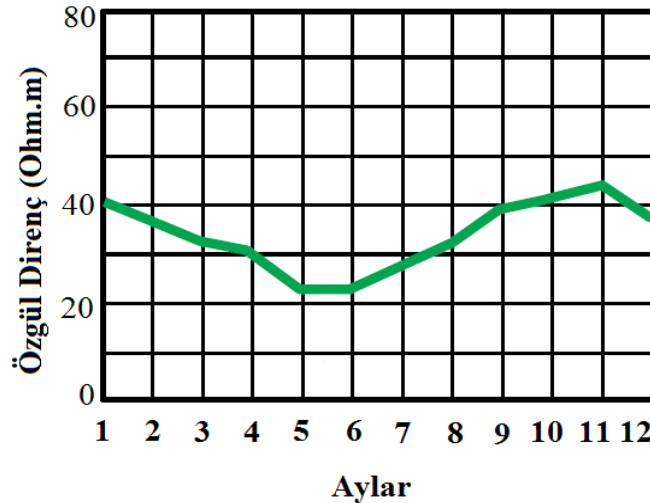
$P_s$  : Katodik koruma sisteminin ihtiyaç duyduğu güç watt

## 7. BATMAN ŞARTLARINDA GÜNEŞ ENERJİLİ KATODİK KORUMA SİSTEMİNİN ÖRNEK UYGULAMASI

Tablo 7.1’de de gösterildiği üzere Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) verilerine göre yıllık bazda günde ortalama 7.44 saat güneşlenme süresi olan ve Enlem 37°53' K, Boylam 41°7' D, koordinatlarında bulunan Batman ili ülkemizin en bol güneş ışınımını alan illerimizdendir. İl genelinde düz ve düze yakın arazilerde, killi bünyede topraklar çoğunluktadır. Bu gibi yerlerde toprak derinliği 90 cm. ve 90’den daha derin yapıdadır. İl topraklarının daha engebeli kısımlarında ise toprak bünyesi, kumlu-killi olup orta derinlikte (30-90 cm.) , organik maddece fakir yapıda ve bazik (alkali) reaksiyon göstermektedir.[14] Bu arazilerde organik maddeler orta düzeyde bulunmaktadır. Bu çalışmamızda Batman ilimizde faaliyet gösteren Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, TÜPRAŞ ve BOTAŞ gibi kurumlar tarafından petrol, doğal gaz gibi akışkanların transferinde kullanılan yer altı boru hatlarını işletme süresi boyunca korozyondan koruyabilecek güneş enerjili katodik koruma sistemi için örnek bir uygulama hesabı yapılacaktır.

**Tablo 7.1** Batman İline ait 1954-2013Yılları arasındaki Ortalama Günlük Güneşlenme süreleri [20]

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Süre (saat/gün)	3,1	4,2	5,4	7,2	9,3	11,5	12,1	11,3	10	7,1	5,1	3



**Şekil 7.1** Killi Toprağın Özgül Direncinin Aylara Göre Değişimi [23]

### 7.1. Örnek Uygulama Hesabı

TPAO Batman Bölge Müdürlüğüne bağlı Batı Raman sahasında bulunan 3 km uzunluğunda ve 4 inç çapındaki kaplamasız boru hattı için Güneş enerjili katodik koruma sisteminin tasarımı için sahip olunan bilgiler ;

Boru çapı	$d_s = 10,16$ cm
Boru uzunluğu	$L_s = 3000$ m
Boru Et kalınlığı	$t = 5,7$ mm
Borunun özgül elektrik direnci	$1,8 \cdot 10^{-7}$ ohm.m (Boru malzemesi: Karbon Çeliği API -5L)
Kullanılan Anodun çapı	$d_N = 12$ cm
Kullanılan Anodun uzunluğu	$L_N = 48$ cm
Kullanılan Anottan çekilebilecek Akım	$100$ A / m <sup>2</sup> (Kullanılan Anot: Metal Oksit Kaplı Titanyum Anot)
Bağlantılarda Kullanılan Kablo uzunluğu	30 m
Bağlantılarda Kullanılan Kablo kesit alanı	25 mm <sup>2</sup>
Kullanılan Kablonun Özgül Direnci	$0,0172$ ohm.mm <sup>2</sup> / m (Kullanılan Kablo malzemesi : Bakır)

Olup, Ocak Ayında Söz konusu boru için katodik koruma akımı, potansiyeli, gerekli sistem gücü ve sistem için gerekli malzeme miktarlarını tespit edelim.

Toplam koruma akım ihtiyacı;

$$I = S \cdot I_s \quad (6.1)$$

formülünden bulunur.

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

$I_s$  : Akım yoğunluğu Tablo 5.1 den alınacak mA/m<sup>2</sup>

$I$  : Toplam koruma akım ihtiyacı

$$S = \pi \cdot d_s \cdot L_s = \pi \cdot 0,101 \cdot 3000 \approx 952 \text{ m}^2$$

$$I_s = 30 \text{ mA} / \text{m}^2 \text{ (Kaplamasız Boru İçin Tablo 5.1 den alınan değer)}$$

$$I = 952 \cdot 30$$

$$\mathbf{I = 28560 \text{ mA} = 28,56 \text{ A}}$$

Anot Sayısı;

$$N = \frac{I}{A_n \cdot I_1} \quad (6.2)$$

N : Anot Sayısı

I : Toplam koruma akım ihtiyacı Amper

$I_1$  : Anottan çekilebilecek akım değeri Amper/m<sup>2</sup>

$A_n$  : Anot Dış Yüzey Alanı m<sup>2</sup>

$$I = 28,56 \text{ A}$$

$$I_1 = 100 \text{ A/ m}^2$$

$$A_n = \pi \cdot d_N \cdot L_N = \pi \cdot 0,12 \cdot 0,48 = 0,18 \text{ m}^2$$

$$N = 28,56 / (0,18 \cdot 100) = 1,58 \sim \underline{\underline{2 \text{ Adet}}}$$

Anot Zemin Direnci ( $R_a$ );

$$R_a = \frac{\rho \cdot K}{N \cdot L} \quad (6.3)$$

$R_a$  : Anot Zemin Direnci ohm

$\rho$  : Toprak Özgül Direnci ohm.cm

K : Anot Biçim Katsayısı Tablo 6.1

N : Anot Sayısı

$L_N$  : Anot Uzunluğu cm

$\rho$  : Ocak Ayında killi toprağın Özgül Direnci 4000 ohm.cm [23]

K : Anot uzunluğu/Anot Çapı = 48/12 = 4 ise tablodan K = 0,013

N : 2

$L_N$  : 48 cm

$$R_a = 4000 \cdot 0,013 / 2 \cdot 48 = \underline{\underline{0,54 \text{ ohm}}}$$

Kablo Direnci ( $R_w$ );

$$R_w = \rho_w \cdot L_w / S_w \quad (6.4)$$

$R_w$  : Kablo Direnci ohm

$\rho_w$  : Kablo Özgül Direnci ohm. mm<sup>2</sup> / m  
 $L_w$  : Kablo Uzunluğu m  
 $S_w$  : Kablo Kesit alanı mm<sup>2</sup>  
 $\rho_w$  : Bakırın özgül direnci 0,0172 ohm. mm<sup>2</sup> / m dir.  
 $L_w$  : 30 metre  
 $S_w$  : 25 mm<sup>2</sup>  
 $R_w = 0,0172.30 / 25 = \underline{\underline{0,02 \text{ ohm}}}$

Boru elektriksel Direnci ( $R_p$ );

$$R_p = \rho_p \cdot L_p / S_p \quad (6.6)$$

$R_p$  : Boru Direnci ohm  
 $\rho_p$  : Çeliğin Özgül Direnci 1,8. 10<sup>-7</sup>ohm.m [1].  
 $L_p$  : Boru Uzunluğu 1000 m  
 $S_p$  : Boru Kesit alanı m<sup>2</sup>  
 $S_p = \pi \cdot ((0,101)^2 - (0,0114)^2) / 4 = 0,008 \text{ m}^2$   
 $R_p = \rho_p \cdot L_p / S_p = (1,8 \cdot 10^{-7} \cdot 3000) / 0,008 = \underline{\underline{0,068 \text{ ohm}}}$

Katodik Koruma Potansiyeli ( $V_{\min}$ );

$$V_{\min} = I ( R_a + R_w + R_p ). 150\% \quad (6.7)$$

$$V_{\min} = 28,56 \cdot (0,54 + 0,02 + 0,068) \cdot 1,5$$

$$\underline{\underline{V_{\min} = 26,9 \text{ V}}}$$

Minimum panel gücü;

$$P_p = \left( \frac{24}{h_{pr}} \right) \cdot P_s \cdot 1,6 \quad (6.8)$$

$P_p$  : Paneller tarafından üretilmesi gereken güç watt  
 $h_{pr}$  : Günlük Güneşlenme süresi saat (Batman için: 3,1 saat)  
 $P_s$  : Katodik koruma sisteminin ihtiyaç duyduğu güç watt



$$P_S = I \cdot V_{\min} = 28,56 \cdot 26,9 = 770,4 \text{ Watt}$$

$$P_P = (24/3,1) \cdot 768,3 \cdot 1,6 = \underline{\underline{9543 \text{ Watt/gün}}}$$

9543 watt / gün için sistem dizaynı yaparsak;

Sistemimizde kullanılacak Güneş Modülünün Çıkış Potansiyeli 17,5 Volt, Nominal Gücü 50 Watt olursa;

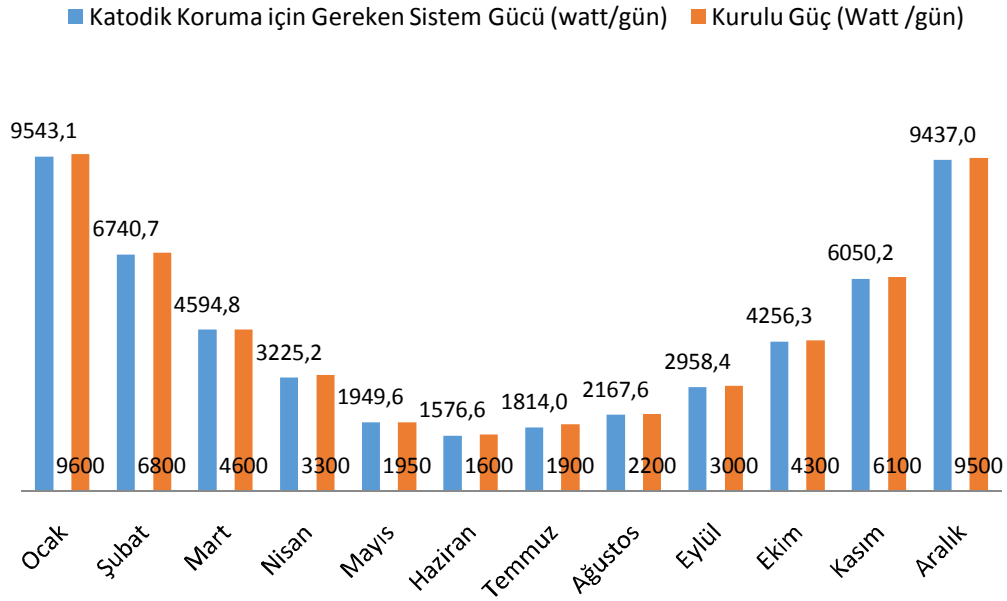
- Bir dizideki Seri Bağlı Modül sayısı =  $26,9 / 17,5 = 1,54 = 2$  adet seri
- Toplam Dizi Sayısı =  $9543 / 2 \cdot 50 = 95,43 = 96$  adet dizi
- Toplam Modül Sayısı =  $2 \cdot 96 = 192$  adet güneş modülü kullanılacaktır.
- Bu Durumdaki toplam Kurulu Güç =  $192 \cdot 50 = 9600$  watt = 9,6 kw olacaktır.

Sistemimizde kullanılacak Akü Bataryasının çıkış potansiyeli 12 volt, Kapasitesi 250 Ah olursa ;

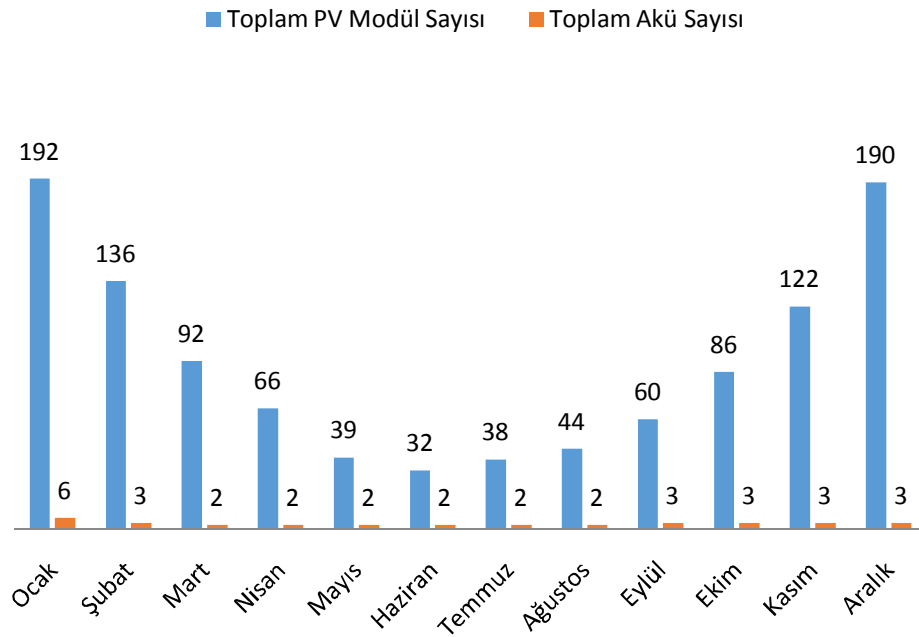
- Bir dizideki Seri bağlı Akü Sayısı =  $26,9 \text{ volt} / 12 \text{ volt} = 2,24 = 3$  adet seri
- Toplam Dizi Sayısı =  $9543 \text{ W} / 12 \text{ V} \cdot 250 \text{ Ah} \cdot 3 = 1,1 = 2$  adet dizi
- Toplam Akü Sayısı =  $3 \cdot 2 = 6$  adet olacaktır.

Şekil 7.2 de Batman ilinde bulunan TPAO (Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı)'ya bağlı Batı Raman sahasında bulunan Petrol üretim kuyusuna ait 4 inç çapında 3000 metre uzunluğunda API 5L Standardına göre üretilmiş boru hattının Güneş Enerjili katodik korumasının sağlanabilmesi için gereken sistem ve kurulu güçlerin mevsimlere göre değişimini göstermektedir.

Şekil 7.3 te ise Söz konusu boru hattının PV ile katodik korumasını sağlayan sistemde kullanılacak olan 17,5 V / 50 Watt Kapasiteli güneş modülü ile 12 V / 250 Ah kapasiteli akülerin sayılarının mevsimlere göre değişimini göstermektedir.



Şekil 7.2 Güneş Enerjili katodik korumanın sağlanabilmesi için gereken sistem ve kurulu gücün mevsimlere göre değişimi



Şekil 7.3 Güneş Enerjili katodik korumanın sağlanabilmesi için gereken PV modül ve Akü sayılarının mevsimlere göre değişimi

Yukarıdaki örnek uygulamadaki niteliklere sahip boru, 3 mm kalınlığında ve %85 kaplama verimliliğine sahip bir Polietilen kaplama ile kaplanması durumunda ocak ayı için PV ile katodik koruma sağlanabilmesi için gerekli sistem gücü ise;

Toplam katodik koruma akım ihtiyacı

$$I = S \cdot I_s \cdot (1 - C_E) \quad (6.1)$$

olup,

$$S = 952 \text{ m}^2$$

$$I_s = 0,05 \text{ mA / m}^2 \text{ (Polietilen kaplama için Tablo 5.2 den alınan değer)}$$

$$C_E = 0,85$$

$$I = 952 \cdot 0,05 \cdot (1 - 0,85)$$

$$I = 7,14 \text{ Ma}$$

Anot Sayısı;

$$N = \frac{I}{A_n \cdot I_1} \quad (6.2)$$

N : Anot Sayısı

I : Toplam koruma akım ihtiyacı 0,007 Amper

I<sub>1</sub> : Anottan çekilebilecek akım değeri 100 Amper/m<sup>2</sup>

A<sub>n</sub> : Anot Dış Yüzey Alanı 0,18 m<sup>2</sup>

$$N = 0,007 / (0,18 \cdot 100) = \underline{\underline{0,0004}} = \underline{\underline{1 ADET}}$$

Anot Direnci;

$$R_a = \frac{\rho \cdot K}{N \cdot L} \quad (6.3)$$

$$R_a = 4000 \cdot 0,013 / 1.48 = \underline{\underline{1,08 \text{ ohm}}}$$

Kablo Direnci;

$$R_w = \rho_w \cdot L_w / S_w \quad (6.4)$$

$$R_w = 0,0172 \cdot 30 / 25 = \underline{\underline{0,02 \text{ ohm}}}$$

Kaplama Direnci ( $R_C$ );

$$R_C = R_K / S_c \quad (6.5)$$

$$R_K(\text{ohm.m}^2) = 10^{-5} \cdot \rho_K \cdot s \text{ (mm)} \quad (5.1)$$

$R_C$  :Kaplama Direnci ohm

$R_K$  :Kaplama Direnç birimi ohm. m<sup>2</sup>

$S_c$  :Boru dış yüzey alanı 952 m<sup>2</sup>

$\rho_K$  :Kaplama Özgül Direnci 10<sup>6</sup> ohm.cm (Polietilen Kaplamanın Özgül direnci)

$s$  :Kaplama Kalınlığı 3 mm

$$R_K = 10^{-5} \cdot 10^6 \cdot 3 = 30 \text{ ohm.m}^2$$

$$R_C = R_K / S_c = 30/952 = \underline{\underline{0,031 \text{ ohm}}}$$

Boru elektriksel Direnci ( $R_p$ );

$$R_p = \rho_p \cdot L_p / S_p \quad (6.6)$$

$$= (1,8 \cdot 10^{-7} \cdot 3000) / 0,008 = \underline{\underline{0,068 \text{ ohm}}}$$

$$\text{Toplam Direnç} = (R_a + R_w + R_C + R_p) = (1,08 + 0,02 + 0,031 + 0,068) = \underline{\underline{1,2 \text{ ohm}}}$$

Katodik Koruma Potansiyeli ( $V_{\min}$ )

$$V_{\min} = I (R_a + R_w + R_p) \cdot 150\% \quad (6.7)$$

$$= 0,007 \cdot 1,2 \cdot 1,5 = \underline{\underline{0,013 \text{ V}}}$$

Minimum panel gücü;

$$P_p = \left( \frac{24}{h_{pr}} \right) \cdot P_s \cdot 1,6 \quad (6.8)$$

$$P_s = I \cdot V_{\min} = 0,007 \cdot 0,013 = 0,00009 \text{ Watt}$$

$$P_p = (24/3,1) \cdot 0,00009 \cdot 1,6 = \underline{\underline{0,001 \text{ watt}}}$$
 olur.

## 8. SONUÇ

Toprak ve su içerisine yerleştirilen çelik malzemenin korozyona karşı korunmasının en etkin yöntemi katodik koruma sistemi uygulamasında vazgeçilmez eleman olarak kullanılan T/R ünitesinin kontrol şeklinde elektronik ve bilgisayar teknolojisinin hızla gelişmesi ile beraber değişiklikler kaydedilmiştir. Standart üretim olan DC/DC dönüştürücüler kullanılarak katodik koruma sistemi için gerekli tüm istekler güneş pilleri ile dizayn edilen T/R ünitelerinden elde edilebilir. Güneş pilli T/R ünitesi şebeke elektriğinin temininde zorluk çekilen bölgelerde verimli olarak rahatlıkla kullanılabilir. Ayrıca elektriğe ödenen sarfiyat bedelinden tasarruf yapmak için şebekenin olduğu yerlerde de kullanılabilir. Dezavantajları güneş pillerinin fazla yer kaplaması ve ilk maliyetinin biraz fazla olmasıdır. Ülkemizde halen seri olarak üretilmemekte ve katodik koruma sistemlerinde kullanılmamaktadır.

Batman ilinin killi toprak yapısı ve mevsimsel bazda güneşlenme süresine göre yapılan analizde kaplaması yapılmayan bir boru hattının PV ile katodik korumasının yapılabilmesi için gerek duyulan sistem gücü mevsimlere göre irdelendiğinde en fazla kış aylarında, ardında ise yağmurlu havaların fazla olduğu ayların geldiği, yaz aylarında gereksinim duyulan sistem gücünün minimum düzeyde olduğu görülmüştür.

Elektrik şebekesinin bulunduğu yerde veya polietilen kaplama gibi kaliteli kaplama ile kaplanmış borulara katodik korumanın PV ile yapılmasının maliyet olarak bir avantajı bulunmamaktadır. Ancak Elektrik şebekesi bulunmayan yerlerde veya kaplamasız veya kaplama kalitesi düşük olan kaplamalı borunun PV ile Katodik koruma yapılması boru hattının kullanım ömrünü arttırdığı için en az boru hattının maliyeti kadar kazanç elde edilebilecektir.

## KAYNAKLAR

1. Agla S., Ekim 1991, Boru hatlarında katodik koruma akım ihtiyacının ölçülmesi, Yüksek lisans tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 11, 22-25,77
2. Anonim, Ekim 2001, MMO Yayın No: E / 2001 / 275 Kayseri 67-75
3. Bedelolu A., Demir B., Bozkurt Y. “Fotovoltaik Teknolojisi: Türkiye ve Dünyadaki Durumu, Genel Uygulama Alanları ve Fotovoltaik Tekstiller ” Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi 2010, 4(2) 43-58
4. Dheya N. Abdulamer , GlobalResearch Analysis, Volume : 2 | Issue : 11 | Nov 2013,222-224
5. Erden S., Değertekin M.C., Ekim 2004, “Korozyon ve Katodik Koruma”, Kocaeli Elektrik Mühendisleri Odası Şubesi
6. Gerengi H.,2013, Korozyonun kimyasal ve elektrokimyasal oluşum mekanizması, Düzce Üniversitesi.7-20
7. L. Serir, B. Laoun, K. Niboucha, 2009, “Cathodic protection of a buried pipeline by solar energy”, *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 12 No :1 (2008), 99 - 104
8. Metin E., 2007, Katodik Koruma Sistemleri, Yeni Uygulamalar ve Ekonomik Analiz, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. 15-19, 35-55,63-64,71-76,99-101
9. 2006 Electrically Conductive Plastics SIMONA, [www.simona.de](http://www.simona.de)
10. Military Handbook Electrical Engineering Cathodic Protection MIL-HDBK-1004/10, 20-21,55
11. 2010, Nace International Standard Practice Sp0169  
“Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems”
12. P.R. Mishra, J.C. Joshi, B. Roy, 2000 Elsevier Science B.V. , “Design of a photovoltaic-powered mini cathodic protection system”, *Solar Energy Materials and Solar Cells* 61 (2000) 383 - 391
13. Talebzadegan Mohsen, Abodi Ali, Riazi Iman / *International Journal of Engineering and Advanced Technology* / ISSN: 2249 – 8958, Volume-3, Issue-2, December 2013, 36-38

14. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, 15. Bölge Müdürlüğü, Batman Şube Müdürlüğü, 2012, “Batman İli Doğa Turizmi Master Planı (2013-2023)”, 28
15. Von Beackman W.,Schwenk W., Prinz W., (1997) Handbook of Cathodic Corrosion Protection, 153-206,265-289,309-322
16. Wagdy R. Anis, 1995 Elsevier Science , “Design Of Control Circuit Of Solar Photovoltaic Powered Regulated Cathodic Protection System”, Solar Energy Vol. 55, No: 5, 363-366
17. [http:// www.elektrik.gen.tr](http://www.elektrik.gen.tr)
18. [http:// www.gensed.org](http://www.gensed.org)
19. <http://www.koronaenerji.com.tr>
20. [http:// www.mgm.gov.tr/](http://www.mgm.gov.tr/)
21. <http://www.spfsa.net>
22. <http://www.solar2renewableenergy.com/lang/en/cathodic%20protection.php>
23. <http://www.sgemuhendislik.com/uploads/TopraklamaOlcumTR.pdf>
24. <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?>

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Mehmet Selim REŞİTOĞLU  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Hazro / DİYARBAKIR / 09.02.1978  
**Telefon** : 0 531 793 44 47  
**Faks** :  
**e-mail** : mresitoglu@tpao.gov.tr

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Ahmet Vefik Paşa Lisesi , Yıldırım, Bursa	1995
Üniversite	: Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği	2002
Yüksek Lisans	:	
Doktora	:	

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2005 ...	Türkiye Petrolleri A.O	Saha Şefi

**YABANCI DİLLER : İngilizce**