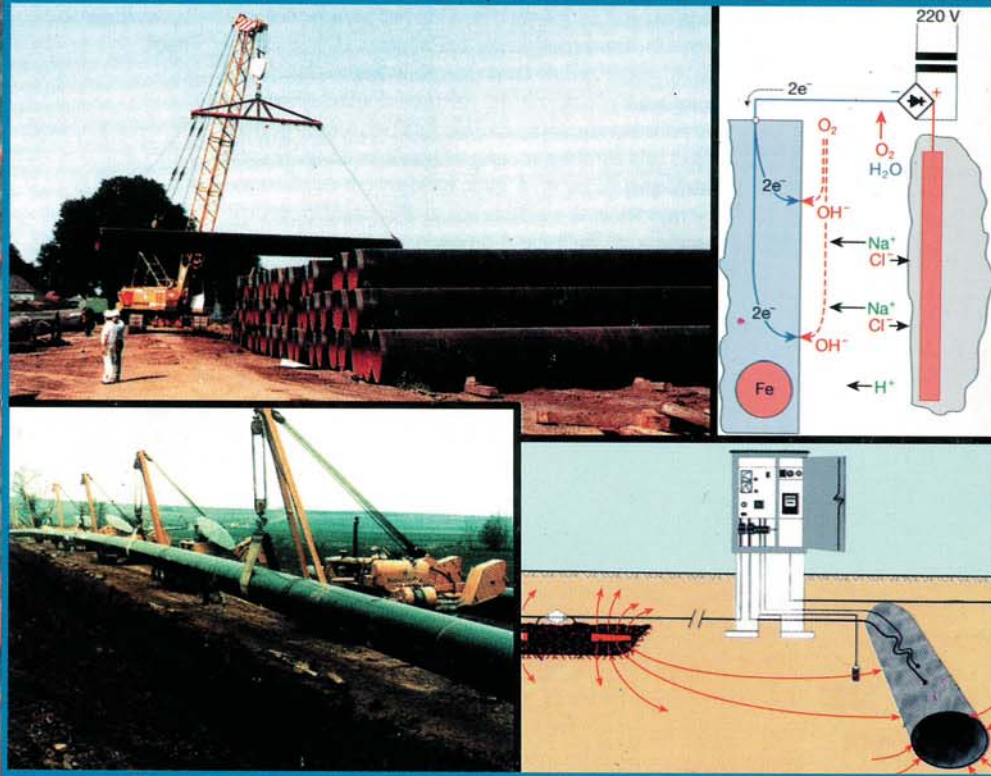


MÜHENDİSLER için KORROZYON

ISBN 975-395-269-4



Prof. Dr. Hayri YALÇIN
Doç. Dr. Timur KOÇ



TÜRK MÜHENDİS VE MİMAR ODALARI BİRLİĞİ
KİMYA MÜHENDİSLERİ ODASI

MÜHENDİSLER **için** **KOROZYON**

Yazarlar

Prof. Dr. Hayri YALÇIN

Doç. Dr. Timur KOÇ



TÜRK MÜHENDİS VE MİMAR ODALARI BİRLİĞİ
KİMYA MÜHENDİSLERİ ODASI

ÖNSÖZ

Korozyon endüstride kullanılan bütün cihaz ve malzemelerin işletme ömürlerinin azalmasına ve üretim veriminin düşmesine neden olan endüstrinin temel ve hayati bir sorunudur. Bütün ülkelerde olduğu gibi, ülkemizde de ulusal gelirden büyük kayıplara neden olmaktadır. Korozyonla mücadele edilerek bu kayıpların önlenmesi; öncelikle mühendislerimizin korozyon konusunda eğitilerek yeterli teknik bilgi kazanmaları ile mümkün olacaktır. Ne var ki, ulus olarak bu konuda yeterli çabayı gösterdiğimiz söylenemez. Mühendislerimiz, üniversitelerimizde korozyon konusunda bilinçli olarak hazırlanmadan hatta bir çoğu korozyon dersi bile almadan mezun olmaktadır. Bu mühendisler endüstride karşılaştıkları korozyon olaylarını bırakınız önlemeyi, olayın nedenlerini belirlemekte bile güçlük çekmektedirler.

Endüstriyel işletmelerde çalışan bir çok mühendis bu eksikliği duyarak korozyon konusunda kendini yetiştirmek üzere büyük çaba harcamakta ve korozyonla mücadeleyi kendi başına yürütmeye çalışmaktadır. Burada da, korozyon konusunda Türkçe yazılmış kitap eksikliği ortaya çıkmaktadır. Kuşkusuz Türkçe kitap eksikliği yalnız korozyon konusunda değil, diğer teknik dallarda da görülmekle beraber korozyon konusunda kitapçılarda satılan türkçe hiç bir kitabın bulunmayışı son derece üzücü bir durumdur.

Bu kitap, korozyon konusundaki bu eksikliğin giderilmesinde bir başlangıç olacaktır. Kitabın hazırlanmasında korozyonun teorik ilkelerinden çok, endüstrinin sorunlarına çözüm getirecek konulara yer verilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla kitapta temel elektrokimyasal bilgiler yanında, tasarımcı mühendislere yardımcı olmak üzere malzeme bilgisi ve kontrol mühendislerine ışık tutacak ölçüde korozyondan korunma bilgileri verilmesine özen gösterilmiştir. Ayrıca, korozyon konusuna yeni başlayan mühendislere yardımcı olmak üzere, korozyon çeşitleri ve bunların karakteristik özellikleri ayrı bir bölüm halinde ele alınmıştır. Yine bu amaçla kitabın sonuna malzeme ve korozyon konusunda 265 adet terimin tanımı eklenmiştir.

Korozyon, endüstrinin temel sorunu olarak gün geçtikçe önem kazanmakta ve korozyonla savaş bütün mühendisler için kaçınılmaz bir zorunluluk haline gelmektedir. Ancak korozyonun, metallerin doğada bulunan stabil hallerine dönme isteğinin sonucu oluşan doğal bir olay olduğu gözden uzak tutulmamalıdır. Korozyonu tam olarak yok etmek mümkün değildir. Korozyonla mücadelenin amacı, bilim ve tekniğe dayanan koruyucu önlemler olarak metalik yapıların işletme ömrünü belli sürelerde artırmak olabilir. Bu kitabın korozyonla mücadele edecek bütün mühendislerin en büyük yardımcısı olacağını ümit ve temenni etmekteyiz.

1997 - Ankara

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM -1 KOROZYONUN ELEKTROKİMYASAL TEMELLERİ

1.1	Konsantrasyon Pilleri	1-4
1.2	Elektrod Reaksiyonları	1-5
1.3	Ara Yüzey Reaksiyonlarının Kinetiği	1-12
1.4	Pasiflik	1-14
1.5	Korozyon Olaylarının Termodinamiği	1-17
1.6	Korozyon Hücreleri	1-20

BÖLÜM -2 KOROZYON ÇEŞİTLERİ

2.1	Üniform Korozyon	2-1
2.2	Galvanik Korozyon	2-2
2.3	Çatlak Korozyonu	2-4
2.4	Filiform Korozyonu	2-6
2.5	Çukur Korozyonu	2-7
2.6	Taneler Arası Korozyon	2-9
2.7	Seçimli Korozyon	2-12
2.8	Erozyonlu Korozyon	2-13
2.9	Aşınmalı Korozyon	2-17
2.10	Stres Korozyonu	2-18
2.11	Yorulmalı Korozyon	2-23
2.12	Hidrojen Kırılabilirliği	2-24
2.13	Mikrobiyolojik Korozyon	2-26
2.14	Yüksek Sıcaklık Korozyonu	2-27
2.15	Metallerin Oksitlenme Mekanizması	2-28
2.16	Alaşımın Oksidasyonu	2-29
2.17	Sıvı Oksitler	2-30
2.18	Metal olmayan Malzemelerde Korozyon	2-31

BÖLÜM -3 KOROZİF ORTAMLAR VE KORUNMA YÖNTEMLERİ

3.1	Atmosferik Korozyon	3-1
3.2	Su Altı Korozyonu	3-9
3.3	Deniz Suyu İçinde Korozyon	3-15
3.4	Zemin İçinde Korozyon	3-21
3.5	Beton İçinde Çeliğin Korozyonu	3-29
3.6	Korozyondan Korunma Yöntemleri	3-36
3.7	İnhibitörler	3-37
3.8	Anodik Koruma	3-43

BÖLÜM -4 TASARIM SIRASINDA ALINACAK ÖNLEMLER

4.1	Tasarımda Yapılan Hatalar	4-1
4.2	Tasarımda Uyulması Gereken Genel Kurallar	4-5
4.3	Kimya Endüstrisinde Tasarım	4-22

BÖLÜM -5 MÜHENDİSLİKTE KULLANILAN MALZEMELER

5.1	Demir ve Çelik	5-1
5.2	Demir Dışı Metal ve Alaşımlar	5-3
5.3	Metal Olmayan Malzemeler	5-6
5.4	Ekipman Üretimi	5-10
5.5	Ekipman Üretiminde Malzeme Seçimi	5-15
5.6	Malzeme Seçimine Etki Yapan Faktörler	5-19
5.7	Korozyon Ekonomisi	5-22

BÖLÜM -6 PASLANMAZ ÇELİKLER

6.1	Paslanmaz Çeliklerin Metalurjisi	6-1
6.2	Paslanmaz Çeliklerin Kimyasal Bileşimleri	6-7
6.3	Ostenitik Paslanmaz Çelikler ve Duyarlaşma	6-9
6.4	Paslanmaz Çeliğin Paslanması	6-13
6.5	Ostenitik Paslanmaz Çelik Kabul Deneyleri	6-15
6.6	Paslanmaz Çelik Tipleri	6-18

BÖLÜM -7 KOROZYON MÜHENDİSLİĞİ

7.1	Korozyon Deneyleri	7-1
7.2	Deney Metodları	7-3
7.3	Endüstride Korozyonun İzlenmesi	7-9
7.4	Nondestruktif Deneyler	7-10
7.5	Yıpranma Analizleri.....	7-15
7.6	Muayene Yöntemleri	7-17
7.7	Standart ve Şartnameler	7-20
7.8	Korozyon Mühendisliği ve Emniyet	7-24

BÖLÜM -8 BOYALAR VE UYGULAMALARI

8.1	Boyaların Görevi	8-1
8.2	Boyaların Kabuk Oluşturma Mekanizması	8-3
8.3	Boyaların Temel Bileşenleri	8-4
8.4	Boya Cinsleri	8-6
8.5	Yüzey Temizliği	8-10
8.6	Boyaların Uygulanması	8-14
8.7	Çevre Koşullarının Kontrolü	8-16
8.8	Uygulamada Yapılan Hatalar	8-21

8.9	Sonradan Ortaya Çıkan Hata ve Kusurlar	8-24
8.10	Boya Seçimi ve Maliyet	8-26
8.11	Boyaların Kullanma Alanları	8-31
8.12	Boya Bakım ve Onarımı	8-32
8.13	Boya Ömrü	8-35

BÖLÜM -9 KATODİK KORUMA VE UYGULAMALARI

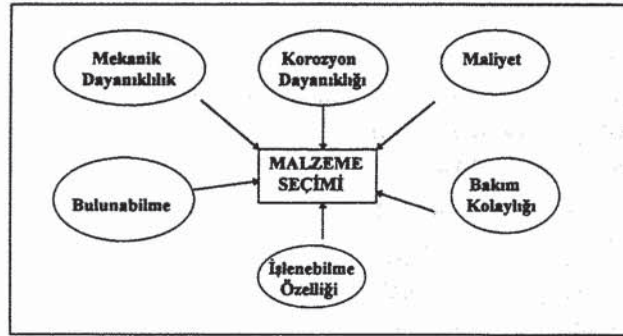
9.1	Galvanik Anotlu Katodik Koruma	9-2
9.2	Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma	9-9
9.3	Katodik Koruma Sistemlerinin Karşılaştırılması	9-10
9.4	Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma Sistemlerinde Kullanılan Anotlar	9-11
9.5	Derin Kuyu Anot Yatakları	9-16
9.6	Katodik Koruma Akım İhtiyacı	9-23
9.7	Katodik Koruma Kriterleri	9-24
9.8	Katodik Koruma Sistemlerinde İnterferans	9-25
9.9	Katodik Koruma Projelendirme Kuralları	9-34
9.10	Katodik Koruma Proje Hesapları	9-35
9.11	Katodik Koruma Proje Örnekleri	9-41
EK- I	Korozyon İle İlgili Dönüşüm Tabloları	E-1
EK- II	Korozyon ve Boya ile İlgili Türk Standartları	E-4
EK -III	Korozyon ve Malzeme İle İlgili Terimler Sözlüğü.....	E-6

GİRİŞ

Korozyon ve korozyon kontrolü çok önemli bir konu olduğu halde ne yazık ki pratikte yeteri kadar üzerinde durulmamaktadır. Korozyon, endüstriyel yatırımların ve üretimin maliyetini etkileyen en önemli faktördür. Bunun dışında, emniyet, sağlıklı işletme ve verimlilik de ancak korozyona karşı önlem alınarak sağlanabilir.

Korozyonu tam olarak yok etmek çoğu zaman mümkün olmaz. Alınan çeşitli önlemler ile korozyon hızı önemsiz sayılan derecelere indirilebilir. Korozyonla mücadelenin temeli ekonomidir. Pratikte problemlerin en ekonomik olarak ve yeterli emniyeti sağlayacak şekilde çözülmesi istenir. Bu çözüm her zaman en iyisi olmayabilir. Bazı halde biraz paslanmaya göz yumularak daha ucuz olan çözüm seçilebilir. Örneğin, yumuşak çelik gibi düşük maliyetli ve düşük performanslı malzemeleri kullanmak ve bunları paslandıkcı, sık sık değiştirmek de bir çözüm yolu olabilir.

Korozyonun söz konusu olduğu bir ortamda malzeme seçimi tamamen ekonomik temele dayandırılır. Malzeme maliyetine korozyonu önlemek üzere yapılan bütün harcamalar da dahildir. Malzemeler üzerinde relatif korozyon dayanıklılıkları göz önüne alınarak seçim yapılır. Ancak korozi ortamların birinden diğerine önemli farklar vardır. Malzeme seçimine etki yapan faktörler Şekil - 1'de görülmektedir.



Şekil -1 Malzeme seçimine etki yapan faktörler

Malzeme seçimine etki yapan gerçek faktörler bu basit şematik gösterimden daha karışıktır. Örneğin, işleme kolaylığı ile ifade edilen kaynak edilebilirlik, işlenebilirlik v.b. özellikler ancak malzeme kullanıldığı sırada anlaşılabilir. Diğer taraftan, her ortam için malzemenin bir başka özelliği önem kazanır. Eğer söz konusu malzeme düşük sıcaklık

II

ortamında kullanılacak ise, bu ortamda kırılmalık ciddi sorunlar yaratır. Buna karşılık deniz dibinde yüksek basınç altında kullanılacak ise bu durumda çekme gerilmesi kırılmalık özelliğinden daha önemlidir.

Bütün önlemler alınmış olsa bile, korozyon kayıpları tam olarak yok edilemez. Ancak bilinçli bir mücadele ile korozyon kayıpları minimuma indirilebilir. Bu mücadelede mühendislerin performans düzeylerinin yetersiz oluşu da çok önemlidir. Bu gün gelişmiş ülkelerde gayri safi milli hasılanın yaklaşık %4'ü metalik korozyon kayıpları için harcanmaktadır. Bu değerin teknolojik olarak az gelişmiş olan ülkelerde daha da fazla olması doğaldır.

Korozyon kayıplarının maliyetinin hesabı çok zordur. Bu zorluk, doğrudan korozyon kayıplarının ötesinde dolaylı olarak ortaya çıkan çeşitli yan kayıpların belirlenmesinden kaynaklanır. Dolayısıyla elde edilen değerler yanıltıcı olabilir. Yan kayıplar çoğu zaman görünen korozyon kaybından daha fazla olabilir. Korozyon nedeniyle dolaylı olarak ortaya çıkan kayıplar dört grup altında toplanabilir.

1- Tesisin servis dışı kalması:

Korozyon sonucu meydana gelen arızanın tamiri için geçen süre içinde tesis stop ederek üretim duracaktır. Örneğin bir termik santralin bir gün devre dışı kalmasında hesapsız kayıplar ortaya çıkar.

2- Ürün kaybı:

Bir deponun, tankın veya boru hattının korozyon sonucu delinmesi halinde, olayın farkına varılıncaya kadar ürün kaybı söz konusu olur. Bu kayıplara korozyon kaybı olarak bakmak gerekir. Ürün kaybının yanında çevre kirlenmesi ve eğer ürün yanıcı bir madde ise yangın tehlikesi de söz konusudur. Örneğin benzin istasyonlarındaki yeraltı yakıt tanklarının delinmesi sonucu büyük tehlikeler doğmaktadır.

3- Ürün kirlenmesi:

Çözünen korozyon ürünleri, elde edilen kimyasal madde içine karışarak onun kirlenmesine neden olur. Özellikle gıda maddeleri, ilaçlar ve kozmetik ürünleri içine pas karışarak kaliteyi bozabilir. Kurşun borular içme suyu içine zehirli kurşun bileşiklerinin karışmasına neden olur.

4 - Korozyon için alınan aşırı önlemler:

Çoğu zaman korozyon hızının başlangıçta tam olarak bilinmesi mümkün olmaz. Bu nedenle tasarım sırasında gereğinden kalın malzemeler veya emniyetli olması için çok pahalı malzemelerin kullanılması yoluna gidilir. Korozyon olayı meydana gelmediği halde yapılan bu masrafların da korozyon kaybı olarak kabul edilmesi gerekir.

Bir çok gelişmiş ülkede korozyon kayıpları üzerinde ciddi araştırmalar yapılmaktadır. Genellikle elde edilen sonuçlar yapılan tahminlerden daha büyük çıkmaktadır. Bu konuda en kapsamlı rapor İngiltere'de HOAR komisyonu tarafından hazırlanmıştır. En üstün teknik kullanılarak hazırlanmış olan bu raporda İngiltere'de korozyon kayıplarının gayri safi milli

III

hasılanın % 3'ü olduğu ve bunun % 23'ünün önlenebilir nitelikte bulunduğu ortaya konulmuştur.

Amerika Birleşik Devletlerinde ekonomist ve korozyon uzmanlarından oluşan birbirinden bağımsız iki ayrı grup ile (Batelle Columbus Laboratories ve NBS) çalışmalar yapılmıştır. Girdi-çıkıı yöntemi ile ve 1975 yılı fiatları temel alınarak yapılan bu çalışmada konu üç ayrı cepheden ele alınmıştır. Birincisi mevcut olan korozyon gerçek koşullar içinde ne derece azaltılabilir? İkincisi, eğer korozyon meydana gelmeseydi ve biz en ucuz malzemeyi kullansaydık maliyet ne olurdu? Üçüncüsü, herkes korozyon uzmanı olsaydı korozyon kayıpları ne kadar azaltılabilirdi? Elbette ne ikinci ne de üçüncü varsayımların gerçekleşmesi söz konusu değildir.

Batelle Columbus Laboratories tarafından yapılan araştırmada toplam korozyon kayıpları 82 milyar dolar (gayri safi milli hasılanın % 4.9'u) bulunmuştur. Aynı sonuç NBS tarafından 70 milyar dolar (gayri safi milli hasılanın % 4.2'si) olarak bulunmuştur. Her iki çalışmada hata payı $\pm$ % 30 olarak verilmiştir. Bu korozyonun yaklaşık % 15'ı (% 10'dan % 45'e varan bir kısmı) önlenebilir niteliktedir. Önlenebilir korozyon kayıpları üzerinde yapılan hatalar, toplam korozyon kayıpları üzerinde yapılan hatalardan daha büyüktür. Bunun başlıca nedeni otomobillerde korozyonun ne derece önlenebileceğinin net olarak belirlenememesinden kaynaklanmaktadır. Önlenebilen nitelikteki korozyon kaybı konusunda yukarıdaki iki araştırma kuruluşunun tahmini arasında 10 milyar dolar bir fark ortaya çıkmıştır. Bu değer gayri safi milli hasılanın % 0.6'sı kadardır.

Korozyon ile yapılacak olan mücadelenin korozyon maliyetini azaltmasının yanında, ulusal ekonomi üzerinde de etkisi vardır. Böylece gayri safi milli hasılanın % 0.5-1.0'ı kadar bir ekonomik kazanç sağlanabilir. Bu ise ancak mühendislerin korozyon konusunda eğitilmesi ve çok sayıda korozyon uzmanı yetiştirilmesi ile mümkün olabilir.

BÖLÜM - 1

KOROZYONUN ELEKTROKİMYASAL TEMELLERİ

Yüksek sıcaklıkta oluşan oksidasyon olayları da dahil, bütün metalik korozyon olaylarının gerçekte elektrokimyasal temellere dayandığı kesin olarak bilinmektedir. Elektrokimyasal olaylar akım ve potansiyel bağlantıları incelenerek açıklığa kavuşturulabilir. Bu nedenle, ilk olarak denge halinde olan bir elektrodun potansiyel değerinin ele alınması uygun olacaktır.

Saf bir metal elektrodun, kendi tuzlarından oluşan 1 N çözeltisi içine daldırılmış olduğunu düşünelim. Bu koşullar altında her metal kendine özgü bir potansiyel gösterir. Bu potansiyeli doğrudan ölçebilmek mümkün olmaz. Potansiyel ancak bir fark olarak ölçülebilir. Elektrod potansiyelini ölçebilmek için, sisteme uygun bir tuz köprüsü ile Standard Hidrojen Elektrodun (SHE) eklenmesi gerekir. Metal elektrod ile standart hidrojen elektrod arasındaki potansiyel farkı kolaylıkla ölçülebilir. Referans elektrod olarak seçilmiş olan standart hidrojen elektrodun potansiyeli sıfır kabul edilir. Bu durumda her iki elektrod arasında ölçülmüş olan potansiyel farkı hidrojen skalasına göre metal elektrodun potansiyelini verir. Potansiyel farkının pozitif veya negatif olduğu keyfi olarak seçilebilir. Bununla beraber bakır veya altın gibi hidrojene göre daha katodik olan metallerin potansiyelini pozitif işaretli, demir ve çinko gibi hidrojene göre daha anodik olan metallerin potansiyelini de negatif işaretli almak uygundur. Bu potansiyel değerleri liste halinde yazılarak **Standart Elektromotor Kuvveti** serisi (EMK) elde edilir. (Tablo -1.1) Pratikte metallerin deniz suyu içinde ölçülen potansiyel değerleri de önemli bir gösterge olarak kullanılır. Tablo -1.2 'de çeşitli metal ve alaşımların deniz suyu içinde ölçülen potansiyel değerleri verilmektedir. Bu liste **Galvanik Seri** olarak bilinir.

Çizelge -1.1' de bulunan herhangi iki metalin standart elektrod potansiyelleri arasındaki fark, metallerin kendi tuzlarının 1 N lik çözeltisi içine daldırılmış ve ara yere bir tuz köprüsü konularak ölçülmüş potansiyel farkını ifade eder. Örneğin, Daniell Pilinin potansiyeli, bakırın potansiyelinden çinkonun potansiyeli çıkartılarak ($E^{\circ}_{Cu} = 0,337 \text{ V}$, $E^{\circ}_{Zn} = -0,763 \text{ V}$) 1,1 Volt olarak bulunur. Klasik bir pil olan Daniell pili, bakır sülfat çözeltisine daldırılmış bir bakır elektrod ile, çinko sülfat çözeltisi içine daldırılmış çinko elektrodun poröz yapıda bir ortama konulması ile elde edilir.

Yukarda standard hidrojen elektrodun referans elektrot olarak seçildiğinden sözedilmişti. Pratikte korozyonla ilgili potansiyel ölçülerinde hidrojen elektrot yerine diğer referans elektrotların kullanılması daha uygundur. Tablo -1.3 de pratikte çok kullanılan bazı referans elektrotların özellikleri verilmektedir.

TABLO - 1.1 STANDARD ELEKTROMOTOR KUVVETİ SERİSİ

Elektrot Reaksiyonu	Standard elektrot potansiyeli 25 C°, Volt (Oksidasyon)
$K = K^+ + e^-$	+ 2,92
$Ca = Ca^{2+} + 2 e^-$	+ 2,87
$Na = Na^+ + e^-$	+ 2,71
$Mg = Mg^{2+} + 2 e^-$	+ 2,34
$Al = Al^{3+} + 3 e^-$	+ 1,67
$Mn = Mn^{2+} + 2 e^-$	+ 1,05
$Zn = Zn^{2+} + 2 e^-$	+ 0,76
$Cr = Cr^{3+} + 3 e^-$	+ 0,71
$Fe = Fe^{2+} + 2 e^-$	+ 0,44
$Cd = Cd^{2+} + 2 e^-$	+ 0,40
$In = In^{3+} + 3 e^-$	+ 0,34
$Co = Co^{2+} + 2e^-$	+ 0,28
$Ni = Ni^{2+} + 2e^-$	+ 0,25
$Sn = Sn^{2+} + 2e^-$	+ 0,14
$Pb = Pb^{2+} + 2e^-$	+ 0,13
$H_2 = 2 H^+ + 2 e^-$	0,00
$Cu = Cu^{2+} + 2e^-$	- 0,345
$Hg = Hg^{2+} + 2 e^-$	- 0,799
$Ag = Ag^+ + e^-$	- 0,800
$Au = Au^+ + e^-$	- 1,680

(*) Hücre reaksiyonları, oksidasyon reaksiyonlarına göre düzenlenmiştir.

TABLO -1.2 GALVANİK SERİ

Metal veya Alaşım	Elektrod potansiyeli (mV) ^(*)
Mağnezyum (HP)	- 1750
Mağnezyum (AZ63)	- 1550
Çinko	- 1100
Aliminyum (AL Clad)	- 1010
Dökme demir	- 680
Yumuşak çelik	- 680
Kurşun	- 640
Paslanmaz çelik (430, aktif)	- 640
Paslanmaz çelik (304, aktif)	- 600
Paslanmaz çelik (410, aktif)	- 590
Kalay	-580
Pirinç	- 430
Bakır	- 430
Bronz	- 380
Paslanmaz çelik (430, pasif)	- 290
Nikel	- 270
Paslanmaz çelik (410, pasif)	- 220
Titanyum	- 220
Gümüş	- 200
Paslanmaz çelik (304, pasif)	- 150
Hastelloy	- 150
Monel	- 150
Paslanmaz çelik (316, pasif)	- 120
Altın	+ 100

(*) 25 C⁰ sıcaklık ve 4 m/sn akış hızında deniz suyu içinde doygun Cu/CuSO₄ referans elektroduna göre ölçülen elektrod potansiyeli değerleri

TABLO -1.3 BAZI REFERANS ELEKTRODLAR

Referans Elektrod	Şematik Gösterilişi	Elektrod Reaksiyonu	SHE 'ye Göre Potansiyeli (Volt)	Sıcaklık Katsayısı mV / °C
Doygun Kalomel Elektrod (SCE)	Hg; Hg ₂ Cl ₂ (K) /KCl Doymun	Hg ₂ Cl ₂ +2e ⁻ = 2Hg+2Cl ⁻	+ 0,2446	- 0,76
0,1N Kalomel Elektrod	Hg; Hg ₂ Cl ₂ (k) /KCl(0,1) m	Hg ₂ Cl ₂ +2e ⁻ = 2Hg+2Cl ⁻	+ 0,3338	- 0,07
0,1 M Gümüş Klorür Elektrod	Ag; Ag Cl(k) /KCl (0,1m)	AgCl +e ⁻ =Ag+Cl ⁻	+ 0,2881	- 0,65
1 M Civa Sülfat Elektrod	Hg; Hg ₂ SO ₄ (k) /K ₂ SO ₄ (1m)	Hg ₂ SO ₄ +2e ⁻ =2Hg+SO ₄ ²⁻	+ 0,6600	- 0,80
Doygun Bakır Bakır Sülfat Elektrod	Cu/CuSO ₄ (doygun)	Cu ⁺² +2e ⁻ = Cu	+ 0,3200	----

1.1 KONSANTRASYON PİLLERİ

Eğer bir metal parçası aynı bir tuzun farklı iki konsantrasyondaki çözeltisi ile temas edecek olursa, metal içinden bu çözeltilerin konsantrasyon farkını azaltacak yönde bir akım geçişi olur. Metalin düşük konsantrasyonlu çözelti ile temas eden bölgesi anot olarak korozyona uğrar. Yüksek konsantrasyonlu çözelti ile temas eden bölgede ise, metal iyonları redüklenerek metal üzerinde toplanır. Sonuçta meydana gelen toplam reaksiyonun serbest enerji değişimi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$- \Delta G = nFE = RT \ln c_1/c_2 \quad (1.1)$$

Burada ΔG , aşağıda verilen reaksiyonun serbest enerji değişimini gösterir.



Burada :

N : Çözelti içinde bulunan metal iyonlarının değeri

F : Faraday sabiti. (96500 kulon)

E : Metalin her iki bölgesi arasındaki potansiyel farkı

R : Gaz sabiti (8,314 Joule/ K. mol)

T : Mutlak sıcaklıktır. (K)

c_1 , Daha derişik olan çözeltinin metalik iyon konsantrasyonu (veya aktivitesi), c_2 , daha düşük konsantrasyonda olan çözeltinin metalik iyon konsantrasyonu (veya aktivitesi) dir.

Pratikte farklı iki metalin bağlantısından oluşan korozyon hücrelerine sıkça rastlanır. Bu hücreler, konsantrasyon pillerinin değişik bir çeşidi sayılabilir. Konsantrasyon pilinin bir değişik şekli de, oksijen konsantrasyonu farkından ileri gelen oksijen pilidir.

Oksijen konsantrasyonunun düşük olduğu bölgelerde metal çözünür.



Katod reaksiyonu, oksijen redüksiyonu şeklindedir.



Veya nötr ortamda oksijen harcayarak hidroksit oluşur.



Bu pilde oksijen konsantrasyonunun daha yüksek olduğu bölgeler katot, oksijenin daha düşük konsantrasyonda olduğu bölgeler de anot olacaktır. Oksijen konsantrasyon pilinin potansiyeli (1.1) denklemine benzer şekilde (1.4) denklemi ile hesap edilebilir.

$$n FE = RT \ln P_{O_2}/P^*_{O_2} \quad (1.4)$$

Burada P_{O_2} katotdaki oksijen gazı basıncı $P^*_{O_2}$ de anottaki oksijen gazı basıncıdır.

Bu tip korozyon hücreleri, yeraltı boru hatlarının iyi havalanabilen ve havalanamayan zeminler içinden geçmesi halinde, karakteristik çukur korozyonu veya çatlak korozyonu oluşmasına neden olur. Bu durumda katotta oksijen harcanırken, oksijeni yetersiz olan bölgelerde metal korozyona uğrar .

1.2 ELEKTROT REAKSİYONLARI

Saf bir metal yalnız kendi iyonlarının bulunduğu bir çözeltiye daldırıldığı zaman, metal ile çözelti arasındaki reaksiyonlar bir dinamik denge haline ulaşır. Denge halinde, metalin çözünmesine karşı gelen anodik reaksiyon (1.5) ile metal iyonlarının redüklenmesine karşı gelen katodik reaksiyonların (1.6) hızları birbirine eşit olur.



Bu reaksiyonlardan oluşan elektrik akını çözelti içinde iyonlarla ve metal içinden de elektronlarla taşınır. Bu reaksiyon hızlarının birbirine eşit olduğu anda, her iki yönde akan akım birbirine eşit olup denge akımı (**exchange current**) olarak adlandırılır. Bu andaki potansiyel de denge potansiyelidir. Denge halinde (1.5) ve (1.6) denklemlerine göre yürüyen reaksiyonlar karşılıklı olarak anot ve katot bölgelerini oluşturur. Bu iki bölge arasında son derece küçük bir potansiyel farkı etkisi ile denge akımı bir bölgeden diğerine akar. Oksidasyon yani korozyon reaksiyonu hızı, redüksiyon (bu durumda metal iyonlarının metal haline dönüşmesi) reaksiyon hızları birbirine tam olarak eşit olacaktır. Eğer denge potansiyelinden anodik veya katodik yönde az bir sapma meydana gelirse, (1.5) ve (1.6) denklemlerine karşı gelen reaksiyonlardan birinin hızı artacak ve net bir akım geçişi olacaktır.

Denge halindeki akım, i_0

$$i_0 = i_a = i_c \quad (1.7)$$

anodik (i_a) ve katodik (i_c) akımlarının birbirine eşit olduğu andır. Eğer denge potansiyelinde katot yönünde bir sapma meydana gelirse devreden geçen net akım,

$$I = i_c - i_a \quad (1.8)$$

olarak ifade edilir. Bunun aksine olarak denge potansiyeli anot yönünde kayacak olursa,

$$I = i_a - i_c \quad (1.9)$$

(i) net akımı geçer. Bu akımı doğrudan ölçebilmek mümkündür.

Eğer denge akımı değeri (i_0) çok büyük ise, belli bir potansiyel değişiminde geçen (i) akımı da çok büyük olacaktır. Pratik olarak bunun anlamı denge akımı büyük olan elektrotlarda, potansiyelin oldukça kararlı halde olduğu ve değiştirilmesinin güç olacağıdır. Sulu çözelti içinde denge akımının çok yüksek olduğu bilinen platin elektrot yüzeyinde, platin yerine hidrojenin reaksiyona girdiği görülür. Böyle bir platin elektrot üzerinde hidrojen gazı basıncı 1 atm (daha doğrusu fugasite) ve çözelti içindeki hidrojen iyonu konsantrasyonu da 1 N (daha doğrusu aktivite) ise, bu elektrot standard hidrojen elektrot olarak bilinir. Bu elektrodun 298 K deki potansiyeli sıfır olarak kabul edilmiştir.

Buna karşılık, eğer bir elektrodun denge akımı çok küçük ise, çok az bir dış akım uygulanması ile denge potansiyelinden büyük bir sapma gözlenebilir. Yani bu elektrotlar kolayca polarize edilebilir. Akım uygulandığında potansiyelin denge halinden sapması aşırı gerilim olarak adlandırılır. Korozyon çalışmalarında uygulanan akım ile aşırı gerilim arasındaki bağıntılar büyük önem taşır. Uygulanan dış akım ile aşırı gerilim arasındaki matematiksel bağıntı **Butler-Volmer** tarafından şu şekilde verilmiştir.

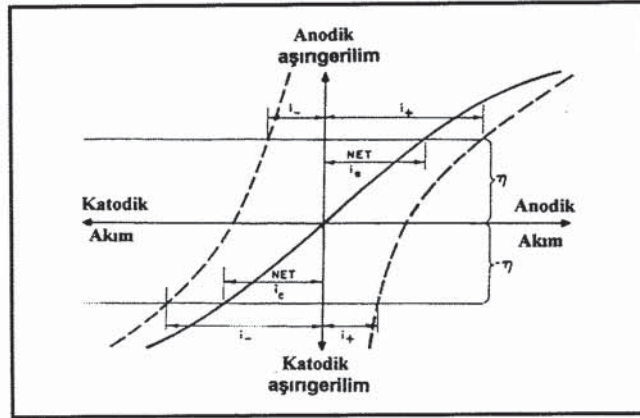
$$I = i_0 \left\{ \exp \left(\frac{(1-\beta) F \eta}{RT} \right) - \exp \left(\frac{-\beta F \eta}{RT} \right) \right\} \quad (1.10)$$

Bu bağıntılar denge hali için geçerlidir. Ancak korozyon dahil bütün elektrokimyasal reaksiyonlar denge halinde olmayıp belli bir hızla yürümektedir. Elde edilen değerlere bu açıdan bakılması gerekir.

1.2.1. Polarizasyon

Denge potansiyeli bir reaksiyonun nereye doğru gittiğini belirten iyi bir gösterge olmasına rağmen, reaksiyonun ne derece hızlı yürüyebileceği ve oluşan korozyon hızı konusunda bir fikir vermez. Korozyon hızını ölçmek için elektroda mutlaka bir dış akım uygulanması ve bu akım ile birlikte elektrot potansiyelindeki değişimin ölçülmesi gerekir. Akım geçerken elektrot potansiyelinde meydana gelen değişime **polarizasyon** denir. Polarizasyon değeri, akım altında ölçülen potansiyel ile denge potansiyeli farkı alınarak bulunur. Polarizasyonun çeşitli şekilleri vardır. Akım devresinde daima bir R direnci bulunduğu için (IR) omik düşüşünden kaçınılamaz. Ayrıca anot ve katot reaksiyonlarına bağlı olarak da potansiyel düşüşü olur. Anot ve katotta meydana gelen polarizasyon, “**aşırı gerilim**” olarak adlandırılır.

Polarizasyonlar içinde en anlamlısı **aktivasyon polarizasyonu** 'dur. Bir elektrokimyasal reaksiyon yalnızca aktivasyon polarizasyonu kontrolü altında ise, bu reaksiyonun hızı (1.10)'de verilen Butler-Volmer denklemi ile ifade edilebilir. Aşırı gerilim ve akım arasındaki bu bağıntının diyagramı Şekil -1.1' de görülmektedir.



Şekil -1.1 Bir elektrot reaksiyonunda akım-potansiyel diyagramı.

Butler-Volmer denklemi aşırı gerilimin çok küçük ve çok büyük değerleri için basitleştirilebilir.

Birinci Hal :

Eğer elektrotlardaki aşırı gerilim $\eta > 50 \text{ mV}$ ise, bu durumda (1.10) denklemindeki ikinci terim birincinin yanında çok küçük kalacağından ihmal edilebilir.

$\eta > +50 \text{ mV}$ ise,

$$i = i_0 \exp \left((1-\beta) \frac{F\eta}{RT} \right) \quad (1.11)$$

veya $\eta > -50 \text{ mV}$ ise,

$$i = i_0 \exp \left(-\frac{\beta F\eta}{RT} \right) \quad (1.12)$$

elde edilir. (1.11) denkleminin her iki yanının logaritması alınarak,

$$\ln i = \ln i_0 + \frac{(1-\beta) F\eta}{RT} \quad (1.13)$$

ve (η) aşırı gerilim değeri,

$$\eta = \frac{-RT \ln i_0}{(1-\beta)F} + \frac{RT}{(1-\beta)F} \ln i \quad (1.14)$$

elde edilir. Bu denkleminde yalnız (η) ve (i) değişkendir. Sabit değerler (a) ve (b) ile gösterilirse denklem aşağıdaki şekli alır.

$$\eta = a + b \ln i \quad (1.15)$$

Bu denklem **Tafel Denklemi** olarak bilinir. Buna göre, yüksek aşırı gerilim değerlerinde, uygulanan dış akımın logaritması ile aşırı gerilim arasında lineer bir bağıntı vardır.

İkinci Hal :

Aşırı gerilimin $|\eta| < 5 \text{ mV}$ olması halinde, Butler- Volmer denklemindeki üstel terimler Mc Laurin serisine göre açılıp yalnız ilk iki terimi alınabilir.

$$I = i_0 \left\{ 1 + \frac{(1-\beta) F \eta}{RT} - 1 + \frac{\beta F \eta}{RT} \right\} \quad (1.16)$$

Burada kısaltmalar yapılarak,

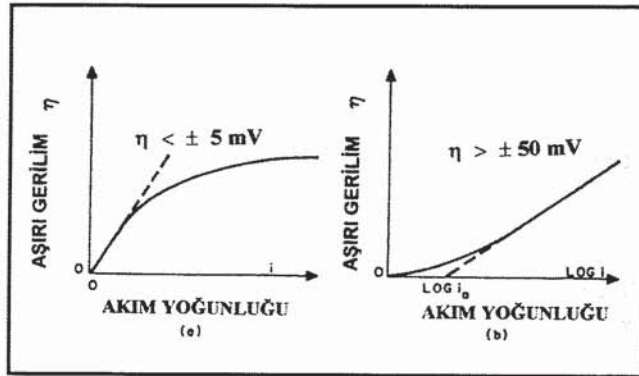
$$I = i_0 \frac{F \eta}{RT} \quad (1.17)$$

ve (η) aşırı gerilimi,

$$\eta = \frac{RT}{i_0 F} i \quad (1.18)$$

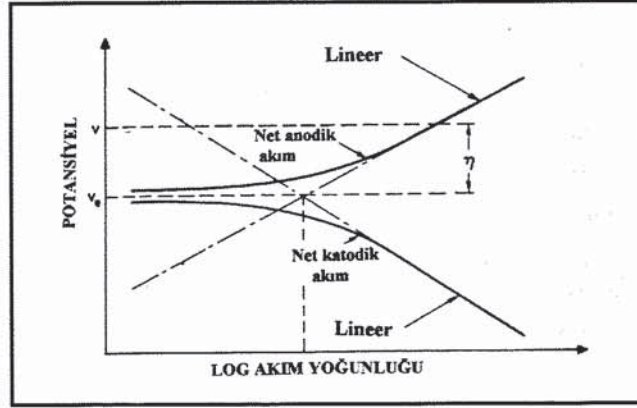
olarak elde edilir. Bu durumda da aşırı gerilimin akım yoğunluğuna göre lineer olarak değiştiği görülür

Aşırı gerilimin çok yüksek veya çok küçük olduğu hallere ait (1.15) ve (1.18) denklemlerinin diyagramları Şekil -1.2 ve Şekil -1.3'de görülmektedir.



Şekil - 1.2 Akım yoğunluğu ile aşırı gerilim arasındaki bağıntılar. a) Küçük aşırı gerilimler b) Büyük aşırı gerilimler

Aktivasyon kontrolü altında olan elektrot reaksiyonlarında, küçük aşırı gerilim değerleri deneysel olarak belirlenerek (i_0) değerinin hesaplanması mümkün olabilir. Yüksek aşırı gerilimlerde yapılan deneyler ile de Tafel sabitlerinin belirlenmesi mümkündür. Bu yolla yapılan korozyon çalışmaları **Lineer Polarizasyon** metodu olarak bilinir.



Şekil -1.3 Polarizasyon ile akım yoğunluğunun logaritması arasındaki bağıntı

Polarizasyon Çeşitleri

Polarizasyon aktivasyon ve konsantrasyon polarizasyonu olmak üzere iki çeşittir. **Aktivasyon polarizasyonu**, elektrotlarda yürüyen kimyasal reaksiyonların metal-elektrolit ara yüzeyinde engellenmesinden ileri gelen polarizasyondur. Korozyon hızının belirlenmesinde yalnızca aktivasyon polarizasyonu kullanılabilir.

Konsantrasyon polarizasyonu, elektrot çevresinde zamanla meydana gelen konsantrasyon değişimi sonucu ortaya çıkar. Hücreden belli miktarda bir akım geçtiğinde, elektrotlarda meydana gelen kimyasal reaksiyonlar sonucu bazı iyonlar harcanır ve elektrot çevresinde bu iyonların konsantrasyonu azalır. Bu durum elektrot potansiyelinin gittikçe artmasına neden olur. Harcanan iyonlar yerine elektrolit içinden yeni iyonların taşınması gerekir. İyon taşınması olayı ise, difüzyon hızı ile sınırlıdır. Örneğin, doğal sular ve deniz suyu içinde katot reaksiyonu oksijen redüksiyonu şeklinde yürür. Oksijen su içinde çok az çözünür. Hareketsiz bir su içinde, katot çevresindeki oksijen konsantrasyonu kısa sürede azalır. Katot bölgesine su içinde oksijen difüzyonu hızı ise çok küçüktür. Bu durum hareketsiz sular içinde katodun kısa sürede polarize olmasına neden olur.

Bu iki polarizasyon çeşidinden başka, bir de **omik polarizasyon** vardır. Bu polarizasyon elektrik devresindeki dirençten kaynaklanır. Buna RI voltaj düşüşü de denir. Omik polarizasyon devreden geçen akım şiddeti ile doğru orantılıdır.

Bir elektrokimyasal hücrede akım aniden kesilecek olursa, IR düşüşü derhal kaybolur. Bunun hemen arkasından diğer polarizasyon etkileri de üstel bir fonksiyonla yavaş yavaş azalır. Böylece polarizasyon özellikleri yardımı ile elektrotlarda hangi reaksiyonların meydana geldiği hakkında fikir edinilebilir.

1.2.2. Limit Akım Yoğunluğu

Birçok halde, oksijen gibi sınırlı miktarda çözünebilir gazların neden olduğu korozyon hızı bir üst limite kadar artış gösterir. Böyle bir ortamda korozyonun yürümesi için, oksijenin

katot yüzeyine difüzlmesi ve anotta oluşan korozyon ürünlerinin de difüzlenererek anottan uzaklaşması gerekir. Bu durumda korozyon hızı, oksijen difüzyon hızına bağlı olarak ancak belli bir limit akıma kadar artırılabilir. Başlangıçta difüzyon hızları elektrot reaksiyonları için yeterli olur. Akım geçtikçe katot yüzeyine oksijen difüzyonu gittikçe güçleşir, aynı reaksiyon hızını sağlamak için potansiyeli artırmak gerekir. Potansiyelin artırılması elektrotlarda başka reaksiyonların da meydana gelmesine neden olur.

1.2.3. Hidrojen Aşırı Gerilimi

Korozyon reaksiyonlarının bir çoğunda katotda hidrojen çıkışı meydana gelir. Elektrolitik kaplama olaylarında da katotta ayrılan metal ile birlikte hidrojen çıkışı da olabilir. Bu olaylarda hidrojen çıkışı elektrot yüzeyinde birbirini izleyen şu basamaklarda gerçekleşir.



Metallerin bir çoğunda, bu reaksiyonlardan birincisi (1.19 reaksiyonu) hızı tayin eden basamaktır. Platin ve palladyum metal yüzeylerinde üçüncü basamak (1.21 reaksiyonu) hızı kontrol eder. (1.20) reaksiyonu da çok önemlidir. Bu reaksiyon ile oluşan atom halindeki metal bünyesine girerek orada toplanır. Bu durum söz konusu metal için çeşitli zararlı sonuçlar doğurur. Bu konu ilerde yeniden ele alınacaktır.

Hidrojen çıkış reaksiyonu denge akım yoğunluğu değerleri değişik metaller için Tablo - 1.4'de verilmektedir.

TABLO -1.4 DEĞİŞİK METALLER ÜZERİNDE HİDROJEN ÇIKIŞ REAKSİYONU DENGİ AKIM YOĞUNLUĞU

Metal	Denge Akım Yoğunluğu (A/cm ²)	Metal	Denge Akım Yoğunluğu (A/cm ²)
Pb, Hg	10 ⁻¹³	Fe, Au,	10 ⁻⁶
Zn Sn, Al,	10 ⁻¹¹	Mo	10 ⁻⁵
Be	10 ⁻¹⁰	W, Co, Ta	10 ⁻⁴
Ni,	10 ⁻⁷	Pd,Rh	10 ⁻²
Ag, Cu, Cd,		Pt	

Tablo -1.4'de görüldüğü üzere, kurşun, civa ve çinko gibi metaller üzerinde hidrojen çıkışı denge akım yoğunluğu çok küçüktür. Bu durumda, akımdaki çok küçük bir değişme elektrot potansiyelinde büyük değişmelere neden olur. Buna karşılık platin elektrotta akım yoğunluğu aynı derecede değiştirilse potansiyeldeki değişme önemsizdir.

Bir başka deyişle, civa kurşun, çinko metalleri üzerinde hidrojen çıkışını sağlayabilmek için çok yüksek bir aşırı gerilime ulaşmak gerekir. Oysa platin grubu metaller üzerinde

hidrojen aşırı gerilimi çok düşüktür. Değişik metaller üzerinde hidrojen aşırı gerilimi sayısal değerleri Tablo -1.5'de verilmektedir.

Eğer bir metal oksitleyici özelliği olmayan ve içinde çözünmüş oksijen de bulunmayan bir asit çözeltisinin etkisinde kalırsa, metalin korozyon hızını şu iki faktör belirler. Birincisi, Tablo -1.1'de verilen standard elektrot potansiyelinin hidrojen elektroda göre farkıdır. Korozyon olayı başladığında metal yüzeyinde hidrojen aşırı gerilimi oluşur. Bu aşırı gerilime karşı gelen akım yoğunlukları Tablo -1.5'de görülmektedir. Korozyon akımı en çok bu değerlere erişebilir. İkincisi, gerçek korozyon hızını hidrojen aşırı gerilimi ile oluşan potansiyel farkı belirler. Örneğin çinkonun asitler içindeki korozyon hızı, denge potansiyelinin hidrojene göre büyüklüğü göz önüne alındığında beklenenden daha yavaştır. Bunun nedeni çinko üzerinde hidrojen aşırı geriliminin yüksek oluşudur. Korozyon hızı, metal yüzeyinde bulunan ve çinkodan daha fazla potansiyel farkı olan safsızlıklar nedeniyle de artış gösterebilir.

TABLO -1.5 DEĞİŞİK METALLER ÜZERİNDE HİDROJEN AŞIRI GERİLİMLERİ

Hidrojen Aşırı Gerilimleri, Volt			
Metal	Akım yoğunluğu 10^{-3} A/cm ²	Akım yoğunluğu 10^{-2} A /cm ²	Akım yoğunluğu 10^{-1} A/cm ²
Platinlenmiş Pt	0.015	0.030	0.04
Parlak Pt	0.025	0.070	0.29
Fe ₃ C	0.150	0.800	----
Au	0.240	0.390	0.59
Kok	0.270	0.340	0.41
Mo	0.300	0.440	0.57
Ni	0.330	0.420	0.51
Fe	0.400	0.530	0.64
Ag	0.440	0.660	0.76
Grafit	0.470	0.760	0.99
Cu	0.600	0.750	0.82
Zn	0.720	0.750	1.06
Sn	0.850	0.980	0.99
Cd	0.910	1.200	1.25
Pb	0.910	1.240	1.26
Hg	1.040	1.150	1.21

Sonuç olarak, korozyon hızı pratikte anot ve katot arasındaki potansiyel farkına ve elektrot reaksiyonlarının polarizasyonuna bağlıdır. Denge akım yoğunluğu düşük olan ve küçük bir aşırı gerilim ile kolayca polarize edilebilen elektrotlarda korozyon olayı etkili şekilde kontrol edilebilir.

1.3 ARA YÜZEY REAKSİYONLARININ KİNETİĞİ

Bir metal, bir elektrolit içine daldırıldığında, bu elektrodun potansiyeli herhangi bir referans elektroda göre ölçülebilir. Bu potansiyel metalin çözelti içindeki kendi iyonlarına göre potansiyelidir. Ölçülen potansiyel farkı, elektrodun elektrokimyasal davranışlarının değerlendirilmesinde yardımcı olur. Özellikle metalin korozyonu hakkında fikir verebilir. Korozyon halinde metal-metal bağı kopar ve metal ile metal yüzeyindeki oksit filmi arasında bağ oluşur. Bunun sonucu olarak çözelti ile metal arasındaki potansiyel farkında değişme meydana gelir.

Ne yazık ki, ara yüzeyde oluşan potansiyel farkları ayrı ayrı ölçülemez. Fakat bu konuda bazı ipuçları elde edilebilir. Akım geçtiğinde metal-çözelti ara yüzey bölgesinde yüklü taneciklerin adsorbe edilmesi aşırı gerilimin nedeni olarak gösterilebilir. Negatif iyonların, özellikle klorür iyonunun metal yüzeyinde adsorbsiyonu önemli bir olaydır. Az miktarda klorür iyonu, metal-çözelti arayüzeyinde iç Hemholtz bölgesinde tutulabilir. Bunun sonucu, dipol özellikte olan su molekülleri veya başka iyonlar da bu bölgeye toplanarak metal yüzeyindeki yük yoğunluğunda değişim meydana getirir.

Çözeltide klorür iyonu bulunduğu zaman metal yüzeyinde sağlam bir korozyon filminin oluşması oldukça zordur. Metal yüzeyinde adsorbe olan çeşitli anyonların elektrot özelliğine etkisi Tablo -1.6'da verilmektedir.

TABLO -1.6 ADSORBE OLAN ANYONLARIN ETKİLERİ

ClO_4^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , PO_4^{3-} , CrO_4^{2-} , OH^-	Cl^- , NO_3^- , Br^- , HS^- , I^- , S^{2-}
Düşük molar polarizasyon	Yüksek molar polarizasyon
Düşük adsorblanabilme	Yüksek adsorblanabilme
Yüksek aşırı gerilim	Düşük aşırı gerilim
Düzgün, ince taneli birikim	Pürüzlü, kaba kristalli birikim
Düşük korozyon etkisi	Yüksek korozyon etkisi
Pasifleşme	Aktifleşme
Zayıf elektrokapiler etki	Kuvvetli elektrokapiler etki
Zayıf hidrojen kırılabilirliği	Kuvvetli hidrojen kırılabilirliği

Metal yüzeyinde kabuk oluşturan anyonlar, örneğin kalsiyum karbonat, pratikte çok önemlidir. Çözeltilerin durgun bölgelerinde kabuklaşma olurken, hızlı akış bölgelerinde çökelti toplanamaz. Genel olarak homojen bir çekirdekleşme olayında çökelti çamur gibi gevşek olduğu halde, heterojen bir çekirdekleşmenin söz konusu olması halinde yüzeyde sağlam bir kabuk oluşur.

Oksit Filmlerin Oluşması

Korozyon sonucu oluşan ürünler metal yüzeyinde birikerek koruyucu bir film oluşturursa korozyon hızında azalma olur. Bu koruyucu filmin etkili olması şu faktörlere bağlıdır: Korozyon ürünlerinin çözünürlüğü, ürünlerin metal yüzeyine yapışabilme yeteneği, oluşan filmin geçirgenliği, elektriksel direnci ve mekanik sağlamlığı. Çözünebilen korozyon ürünleri metal yüzeyinden uzaklaşır. Bu nedenle koruyucu özellikleri yoktur.

Oksit filmi ile metal arasında en sağlam bağ, ikisinin de birbiriyle uyuşabilen kristal yapıda olması ile mümkün olmaktadır. Metaller genellikle kübik sistemde kristalleştiği için, kübik sistemde kristal veren oksit filmleri metal yüzeyine daha iyi yapışabilmektedir. Oksit kristal kafesi parametreleri, metalinkinden daha küçük olduğu zaman, oluşan filmde boşluklar görülür ve koruyucu özelliği azalır. Eğer oksit kafesi parametreleri daha büyük ise, bu oksit kristalleri çatlar ve kırılır. Oksit filmleri, oksit iyonunun metale doğru difüzyonu sonucu büyür. Fakat burada bir özel durum vardır. Eğer metal yeteri kadar ince ise yüksek sıcaklıkta metal genişlerken gerilir. Bu durumda oksit iyonları içeri girerek değil, metal iyonları dışarı doğru difüze olarak oksit tabakası oluşur. Böylece oksit tabakası oluşurken hacim genişlemesi sorunu da olmaz.

Hangi oksit filminin koruyucu özellik gösterdiği ancak deneysel olarak belirlenebilir. Bu özelliklere ayrıca erozyona karşı dayanıklılığın da eklenmesi gerekir. En önemli koruyucu oksit filmleri olarak Al_2O_3 ve Fe_3O_4 gösterilebilir.

Bazı filmler içinde dayanıklı bir iskelet oluşarak filmin erozyon dayanıklılığını artırır. Örneğin bakır- nikel ve alüminyum bronzu üzerinde oluşan filmler böyledir. Bu filmler içinde biraz demir bulunması erozyon dayanıklılığının artmasına neden olur. Orijinal bakır-nikel alaşımı içinde az miktarda demir bulunması bu görevi yapmaya yeterlidir.

Kazanlarda manyetit filminin oluşması korozyon açısından faydalı bir olaydır. Bu film kübik kristal yapısında olup metal yüzeyine iyi yapışır. Hem çözünürlüğü, hem de elektriksel direnci azdır. Manyetit ($RO.R'_2O_3$) genel formülü ile ifade edilen **spinel oksit** 'lerin en basitidir. Burada R ve R' demirdir. Buna benzer olarak bazı oksitlerde R, nikel veya kobalt olabilir. Üç değerli R' alüminyum, krom veya demir-3 olabilir.

Kromlu paslanmaz çeliklerde R, Fe^{++} ve R', Cr^{+++} şeklindedir. 300 serisi krom-nikel paslanmaz çeliklerinde, oluşan oksit filmi içinde RO, FeO + Ni O'den, R' ise Cr^{+++} , den meydana gelir. Birçok süper çelik alaşımlarında R' ise daima Cr^{+++} şeklindedir. Bileşiminde yaklaşık olarak % 18 alüminyum bulunan Fe-Al alaşımında yüksek düzeyde koruyucu özelliği olan bir oksit filmi oluşur. Bu film içinde R, Fe^{++} , R' ise Al^{+++} dır. Ne yazık ki bu alaşımın işlenmesi zor ve yüksek sıcaklıkta dayanımı oldukça düşüktür.

Tek oksitler de iyi koruyucu özellik gösterebilir. Bunlardan Al_2O_3 ve BeO mükemmel özellikte koruyucu filmler oluşturur. Eğer sulu çözelti içinde inhibitör kullanılmış ise, demir yüzeyinde Fe_3O_4 yerine Fe_2O_3 oluşur. Bakır gümüş gibi metallere az miktarda alüminyum katılması ile korozyon dayanıklılığı artırılabilir. Örneğin gümüş halinde metal önceden otoklav içinde buhar ile muamele edilerek yüzeyde sağlam bir koruyucu film oluşması sağlanır. Böylece paslanmaz gümüş elde edilerek sonradan parlatılmasına gerek kalmaz.

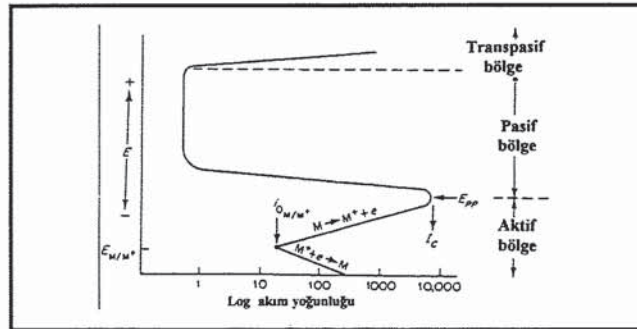
Koruyucu korozyon ürünlerinin başka bir uygulama şekli de, düşük alaşımlı çeliklerin yüzeyinde koruyucu oksit filmi oluşması için atmosferde bir süre bekletmektir. Bir yıl atmosferde bekletilmiş çelik yüzeyinde dayanıklı ve hoş renkli bir film oluşur.

1.4 PASİFLİK

Demirin nitrik asit içindeki reaksiyonunda tipik bir pasifleşme olayı gözlenir. Eğer bir çelik parçası önce nitrik asit içine, daha sonra da bakır sülfat çözeltisi içine daldırılırsa, bakırın pasifleşmiş olan çelik üzerinde toplanmadığı görülür. Çelik parçası bir cam çubuk ile çizilecek olursa, pasiflik bozulur ve bakır, çelik üzerinde toplanmağa başlar. Buna benzer dayanıksız pasiflik filmleri teknikte koruyucu olarak kullanılamaz.

Daha önce açıklanmış olduğu üzere, çelik içinde yeteri miktarda krom veya nikelin bulunması halinde pasiflik filmi oldukça kuvvetlidir. Bu durumda $RO.R'_2O_3$ tipi bir oksit filmi oluşur. Burada R' kromdur. R ise demir veya nikelin demir içindeki çözeltisidir. Bu oksit filmi metalin oksidan bir madde ile teması veya uygun bir anodik akım ile kolayca oluşabilir. Böyle çeliklere paslanmaz çelik adı verilir. Bu çelikler oksitleyici ortamlara karşı çok dayanıklıdır. Buna rağmen az miktarda klorür iyonu taşıyan elektrolitler içinde bile bu film bozulabilir ve kendi kendine yeniden film oluşması da mümkün değildir. Oksijenin bulunmadığı ortamlarda, örneğin bazı kazanlar ve reaktörler de paslanmaz çelik kullanılması tehlikeli olabilir. Bu gibi ortamlarda pahalı paslanmaz çelikler yerine daha ucuz olan normal çeliklerin kullanılması uygun olur.

Pasif bir metalin anodik polarizasyon eğrisi Şekil -1.4 de görülmektedir.



Şekil -1.4 Pasifleşme özelliği olan bir metalin anodik polarizasyon eğrisi

Şematik olarak çizilmiş olan bu diyagramda üç potansiyel bölgesi mevcuttur.

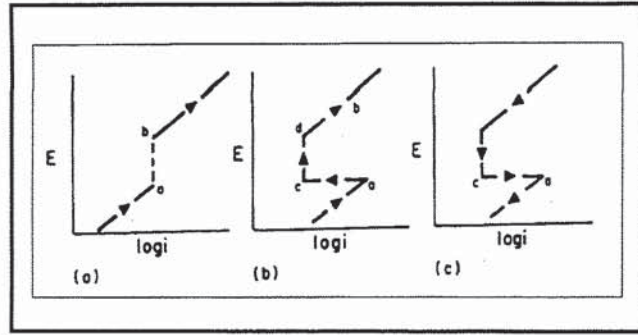
Birinci Bölge: Potansiyelin E_{pp} değerinden daha negatif olduğu bu bölgede metal şiddetle korozyona uğrar.

İkinci Bölge : Bu bölgede metal pasif haldedir. Metal potansiyeli bu aralıkta tutulabildiği süre, korozyon hızı minimum bir değerde kalır.

Üçüncü Bölge : Pasif filmin bozulduğu bu bölgede korozyon hızının yeniden arttığı görülür. Korozyon, pasifleştirici filmin bozulmuş olduğu noktalarda çukur oluşumu şeklinde yürür.

Akımın logaritması ile anodik potansiyel değerleri grafiğe geçirilerek pasifliğin oluşumu ayrıntılı şekilde izlenebilir. Akım veya potansiyel kontrol edilerek E-logi grafiği çizilecek olursa, Şekil -1.5'deki gibi grafikler elde edilir.

Şekil -1.5(a)'da uygulanan dış akımın kademeli olarak artırılması ile elde edilen potansiyel değerlerinin E-logi olarak grafiği görülmektedir. Şekilde (a) noktasına erişilinceye kadar normal bir korozyon olayının yürüdüğü görülmektedir.



Şekil -1.5 Pasif bir metalin E- logi grafikleri

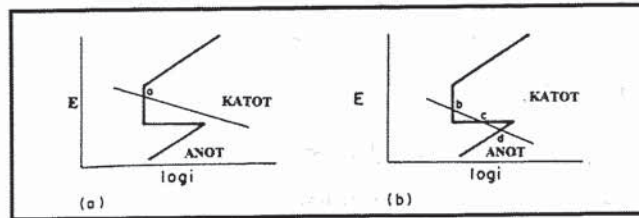
Şekilde (a) noktasında pasif filmin koruyucu etkisi kendini görterir. Bunun sonucu olarak potansiyel kesikli olarak (a) noktasından (b)'ye sıçrar. Şekil -1.5(b)'de, potansiyel kontrol edilerek buna karşı gelen akımın ölçülmesi ile elde edilen E- logi eğrisi görülmektedir. Burada potansiyel (a) noktasına eriştiğinde ölçülen akım ani olarak (c) noktasına kadar düşer. Daha sonra potansiyel arttığı halde akımın (d) noktasına kadar sabit kaldığı gözlenir. Bu noktadan sonra potansiyelin artışı ile akım şiddeti de artmaya devam eder. (c)'den (d)'ye kadar olan bölgede 50-100 Å kalınlığında koruyucu bir film oluşur. Bu filmin elektriksel iletkenliği çok azdır. Şekil -1.5(c) bu işlemin ters yönde yapılması ile elde edilen polarizasyon eğrisini göstermektedir. Bununla beraber ters yönde gelinirken (c-a) arasındaki bölgede önemli değişiklikler görülebilir.

Bu eğriler şöyle açıklanabilir: Potansiyel anodik yönde artırıldığında başlangıçta korozyon akımında da bir artış görülür. Potansiyel (a) noktasına eriştiğinde anot yüzeyinde yeterli kalınlıkta bir oksit filmi oluşmuştur. Bunun sonucu olarak korozyon hızı büyük ölçüde azalır

ve bu potansiyelde ani bir akım düşüşü görülür. Bu potansiyele **Flade Potansiyeli** denir. Veya akım artırılacak olursa potansiyelde ani bir yükselme görülür. Flade potansiyelinin biraz üzerindeki bir potansiyelde metal yüzeyinde sürekli bir oksit filmi bulunduğundan bu bölgede metal pasif olarak kalır.

Pasiflik olayı ile katot arasındaki bağıntı Şekil -1.6'da görülmektedir. Şekil -1.6(a)'da pasif bir anot ile onu pasif bölgede kesen bir katot görülmektedir. Bu durumda korozyon akımı çok küçüktür. Daha etkili bir katot eğrisi Şekil -1.6(b)'de görülmektedir. Bu grafikte anot ve katot eğrileri birbirlerini üç noktada kesmektedir. Bunlardan (c) noktasının pratikte hiç bir anlamı yoktur. Çünkü kararsız halde olup ya (b) ya da (d) noktasına atlama olur. (b) noktası pasif potansiyel bölgesinde olup korozyon hızı çok düşüktür. (d) noktasında ise korozyon hızı oldukça yüksektir.

Şekil -1.6(b)'de görülen durum pratikte büyük önem taşır. Anot, katot ve çevre belli olduğu zaman böyle bir durumla karşılaşılırsa, korozyon açısından belirsiz bir durum ortaya çıkar. Korozyon hızını pasif olan (b) noktasında tutabilmek için potansiyelin sürekli olarak Flade potansiyelinin üzerinde tutulması gerekir. Bunun için ya oksidan bir madde ile anodun Flade potansiyeline polarize edilmesi, veya paslanmaz çelik gibi pasifleşme özelliği daha yüksek olan bir metal seçilmesi gerekir. Şekil -1.6(b)'de verilen durumda bir metalin sürekli (b) noktasında garantili olarak tutulması mümkün olmayabilir. Arıza bir durumda (b)'den (d)'ye atlaması söz konusu olabilir. Örneğin ortamda yeniden pasifleşmeyi sağlayacak madde yoksa, veya aktif bir madde ile elektriksel olarak temas ediyorsa, veyahutta pasif film mekanik olarak parçalanmış ise korozyon olayı başlayabilir.



Şekil -1.6 Pasifleşmede katodun rolü a) Pasif bir anot ile Flade potansiyelinin üstünde kesişen bir katodun grafiği. b) Korozyon açısından daha etkili olan bir katot. Bu durumda anot ve katodun üç kesim noktası vardır

Pasifleşme özelliği olan metallerde çukur korozyonuna daha sık raslanır. Örneğin, paslanmaz çelikler her ortam için kesin dayanıklı değildir. Ortamdaki klorür konsantrasyonu belli bir değeri aşınca korozyon başlayabilir. Korozyon genellikle çukurlaşma veya çatlak tipinde görülür. Klorürlü ortamlarda çukur oluşma hızı yılda 5mm'ye ulaşabilir.

Çukur korozyonu esas olarak metal elektrolit ara yüzeyinde başlar. Cl^- iyonu gibi negatif iyonlar, korozyonun başlangıç aşamasında ara yüzeyin iç Helmholtz tabakasında adsorblanır. Az miktarda klorür iyonu adsorbsiyonu bile çevresinde bir potansiyel gradienti oluşturabilir. Bu ise elektrokimyasal bir hücre için yeterli olabilir.

1.5 KOROZYON OLAYLARININ TERMODİNAMİĞİ

Sudan oksijen çıkış reaksiyonunu göz önüne alalım.



Bu reaksiyonun serbest entalpi değişimi,

$$\Delta G = \Delta G^0 - RT \ln [(\text{Po}_2) \times (\text{H}^+)^4] \quad (1.24)$$

şeklinde yazılabilir. Buradan elektrot potansiyeline geçilirse,

$$E = E^0 + 0,059 \log [(\text{Po}_2) \times (\text{H}^+)^4] \quad (1.25)$$

elde edilir. Burada, $E^0 = 1.228$ ve $\text{Po}_2 = 1$ atm. olduğundan

$$E = 1.228 - 0.059 \text{ pH} \quad (1.26)$$

bağıntısı elde edilir. (pH = 7 için $E = 0,814$ Volt)

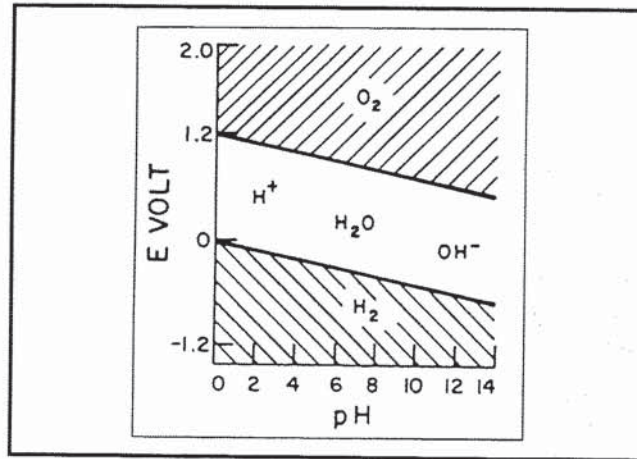
Buna benzer şekilde hidrojenin yükseltgenme reaksiyonu için de aşağıdaki bağıntılar elde edilebilir.



$$E = 0.00 - 0.059 \text{ pH} \quad (1.28)$$

(pH = 7 için $E = -0,413$ Volt)

Elde edilen bu potansiyel bağıntıları, absiste pH ve ordinatta E olacak şekilde grafik halinde gösterilecek olursa Şekil -1.7'de görülen doğrular elde edilir. Bu doğrular yukarıda verilen (1.26) ve (1.28) denklemlerinin denge diyagramlarıdır. Taranmış olan üst bölgede oksijen çıkışı, alt bölgede ise hidrojen çıkışı görülür. Her iki doğrunun arasında kalan bölgede su stabil haldedir.

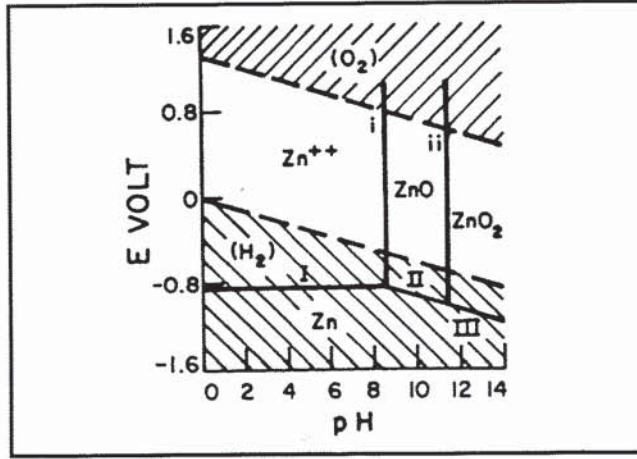


Şekil -1.7 Su için E-pH diyagramı

1.5.1 Pourbaix Diyagramları

İlk olarak **Marcel Pourbaix** tarafından ortaya konulan E-pH diyagramları **Pourbaix diyagramı** olarak bilinir. Bütün metaller için özel Pourbaix diyagramları hazırlanmıştır.

Bu diyagramlarda su için çizilmiş olan doğrulara ek olarak, söz konusu metal ve onun korozyon sonucu oluşan bileşikler için de denge diyagramları çizilebilir. Bu grafiklerin hazırlanmasında korozyon bölgelerini belirlemek için, çözeltide 10^{-6} mol/l metal iyonu bulunması halinde korozyonun başlamış olduğu kabul edilir. Örnek olarak basit kimyasal reaksiyonların söz konusu olduğu çinko metalini seçelim. Çinko için E-pH diyagramı da Şekil -1.8'de verilmektedir.



Şekil -1.8 Çinko + su sistemi için Pourbaix diyagramı

Şekilde görüldüğü üzere çinko metalini iki bölgede korozyona uğrar. Korozyon ürünleri Zn^{2+} ve ZnO^{2-} iyonları halindedir. Pasifleşme bölgesi oldukça dardır. Böylece hazırlanmış olan diyagramlar metallerin korozyon davranışları hakkında fikir edinmek için kullanılabilir. Burada önemle belirtelim ki, Pourbaix diyagramları da aynen faz diyagramlarında olduğu gibi yalnızca denge hallerini gösterir. Bu diyagramlarda hangi reaksiyonların hangi bölgede gerçekleşeceği önceden belirlenebilir. Ancak korozyon hızının belirlenmesi için termodinamik dışında reaksiyon kinetiği ile ilgili ek bilgilere de ihtiyaç vardır.

Pourbaix diyagramlarından, belli bir pH ve potansiyel değerinde metal ile ilgili hangi kimyasal bileşiklerin stabil halde olacağı da anlaşılabilir. Eğer korozyon sonucu oluşan ürünler biliniyorsa, metalin hangi bölgede stabil, hangi bölgede korozyona uğrayacağı kesin olarak belirlenebilir. Ancak yine de korozyon hızı hakkında bir fikir edinilemez.

Çözünmeyen korozyon ürünlerinin stabil olduğu bölge pasiflik bölgesi olarak tanımlanır. Bu bölgede, pratik olarak korozyonun etkili olarak yürüyüp yürüyeceği hakkında kesin bir karar verilemez. Bu durum ancak deneysel olarak ortaya konulabilir. Korozyon ürünlerinin yüzeye yapışması ve sağlamlığı pasifliğin oluşmasında rol oynar. Metalin stabil olduğu

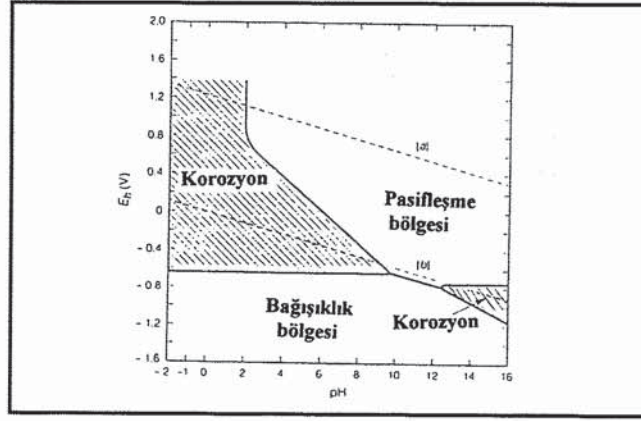
“immunity” bölgesinde korozyonun olmayacağı kesin olarak söylenebilir. Fakat korozyonun aktif olarak yürüdüğü bölgelerde korozyonun hangi boyutlarda oluşacağı Pourbaix diyagramlarından anlaşılamaz.

Demir + su sistemi için hazırlanmış olan Pourbaix diyagramı Şekil -1.9’da verilmektedir. Demirin su içinde çözünen iyonları ve katı haldeki korozyon ürünleri şunlardır:

İyonlar : Fe^{2+} , Fe^{3+} , HFeO_2^-

Katı ürünler : FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$

Diyagramda demirin korozyon açısından durumunu belirten üç bölge vardır.



Şekil -1.9 Demir + su sistemi için Pourbaix diyagramı

Korozyon Bölgeleri :

Potansiyelin -0,65 Volt'dan (SHE) 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. Bu bölgede demir,



reaksiyonu ile korozyona uğrar.

Bağırsıklık Bölgesi :

Demir -0,65 Volt'dan daha negatif potansiyelde iken termodinamik olarak stabil haldedir. Bu bölgede demir korozyona uğramaz. Potansiyel bu bölgede tutulabilirse demir katodik olarak korunur. Hidrojen elektroda göre -0,65 olan bu potansiyel değeri doygun bakır / bakır sülfat referans elektrodu ile -0,850 Volt'a karşı gelir. Bu değer demir ve çeliğin katodik korumasında kriter olarak kullanılır.

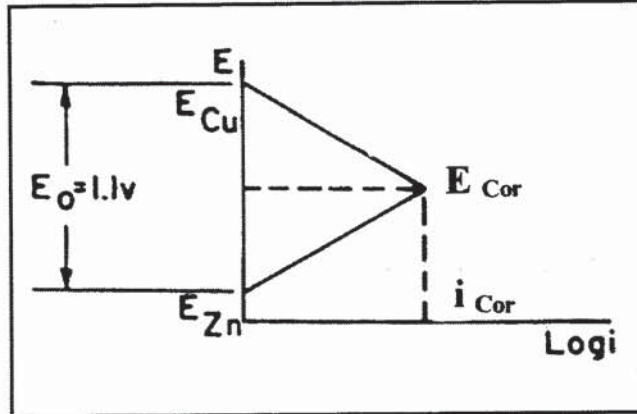
Pasiflik Bölgesi :

Bu bölgede demir yüzeyinde Fe_3O_4 veya Fe_2O_3 oksitleri oluşur. Bunlar metalin pasif halde kalmasına neden olur. Oluşan oksit tabakasının bileşimi ve yapısı ortam koşullarına bağlıdır.

Pourbaix diyagramları 25°C için hazırlanmış olmasına rağmen daha yüksek sıcaklıklarda da örneğin 150°C için de fazla bir fark olmaksızın kullanılabilir. Yüksek sıcaklıklarda kullanılması halinde deneysel olarak desteklenmelidir.

1.6 KOROZYON HÜCRELERİ

Bu konudaki tartışmalar Daniell pili ile başlamıştır. Daniell pilinde bir çinko elektrot çinko sülfat çözeltisine, bir bakır elektrot da bakır sülfat çözeltisine daldırılmış ve iki çözelti arasında geçirimsiz bir seramik plaka konulmuştur. Dış devreden bu iki elektrot birbirine bağlandığı zaman, çinko anot olarak çözünür. Bakır elektrotta ise bakır iyonları metal halinde toplanır. Dış devrenin direnci azaltılırsa, bu pilden çekilen akım artar. Eğer dış devre kısa devre olarak bağlanırsa, bu durumda her iki elektrodun potansiyeli birbirine eşit olur ve devreden limit korozyon akımı geçer. Bu durum şematik olarak Şekil -1.10'da görülmektedir.



Şekil -1.10 Daniell Pili'nin polarizasyon diyagramı

Bu pilin açık devre potansiyeli $E_{\text{Cu}} - E_{\text{Zn}} = 1.1$ Volt'dur. Şekilde sıfır akıma karşı gelen potansiyel değerleri arasındaki fark **açık devre potansiyeli** olarak görülmektedir. Elektrotlar kısa devre yapıldığı zaman, her iki elektrot polarize olarak kararlı halde bir karma potansiyel değerine erişir. Bu karma potansiyelde devreden geçen akıma **korozyon akımı**, (i_{cor}) denir. Elektrotlar düşük polarizasyonlu olduğu için korozyon akımı oldukça büyük bir akımdır. Gerçek korozyon hücreleri de, yukarıda anlatıldığı şekilde bir elektrolit içine daldırılmış olan çinko ve bakır elektrotların birbirine elektriksel olarak bağlanmasına benzer şekilde çalışır. Bu durumda açık devre potansiyeli, Cu^{+2} ve Zn^{+2} iyonlarının konsantrasyonu çok düşük olduğundan birbirinden çok az farklı olacaktır. Elektrotların çözelti ile temas eden yüzey alanlarına bağlı olarak, E- I polarizasyon eğrilerinin eğimi farklı olur. Bunun sonucu olarak

E_{cor} ve I_{cor} değerleri de değişir. Gerçek korozyon hücrelerinde I_{cor} değeri, elektrik üretmek amacıyla hazırlanmış olan pillerden çok düşüktür. Polarizasyon eğrilerinin biçimi, grafiğin akım yoğunluğuna veya logaritma akım yoğunluğuna göre çizilmesi halinde farklıdır.

Pratikte çinko-bakır çiftine nadir olarak, fakat demir veya çeliğin, bakır veya pirinç ile oluşturduğu çifte sık rastlanır. Bu çiftin polarizasyon eğrisi de Şekil -1.9'dakine benzer. Bakır-çelik çiftinin neden olduğu galvanik korozyon olayı, çelik plakalarda bakır perçin veya bakır plakalarda çelik perçin kullanılmasında farklı şekilde kendini gösterir. Deniz suyu içinde bir kaç ay bekletilen bu perçinlerden çelik olanların kısa sürede korozyona uğradığı, bakır perçinlerin ise sağlam olarak kaldığı fakat çevresindeki çeliğin korozyonunu artırdığı görülür. Buradan şu sonuç çıkarılabilir. Katot/anot yüzey alanı oranı büyüdükçe korozyon tehlikesi artmakta, bu oran küçüldükçe oluşan korozyon geniş bir alana dağıldığından zararı daha hafif olmaktadır.

Bakır-çelik çiftinin oluşturduğu korozyonu önlemek için çelik yüzeyler daha kolay polarize olan bir metal ile kaplanabilir. Örneğin deniz suyunu pompalamak için kullanılan çelikten yapılmış pompalar, bronz pervanelerin katodik etkisi ile kısa sürede korozyona uğrar. Eğer pervaneler kalay ile kaplanacak olursa çelik gövdede meydana gelen korozyon hızı azaltılabilir. Kalay, bronz göre daha kolay polarize olduğundan, korozyon potansiyeli ve buna bağlı olarak korozyon akımı azaltılmış olur

Bir galvanik korozyon olayında anot ve katot bölgelerinin oluşumu deneysel olarak gösterilebilir. Bu amaçla galvanik çift bir sodyum klorür çözeltisi içine daldırılır. İndikatör olarak ağar içinde jel haline getirilmiş potasyum ferrosiyanür ve fenolftalein çözeltileri kullanılır. Anot bölgesinde demir-2 iyonları oluşur. Bu iyonlar potasyum ferrosiyanür ile tipik Turnbull mavisini verir. Katot bölgesinde ise açığa çıkan hidroksil iyonları fenolftalein ile pembe bir renk oluşturur. Bu korozyon olayının anot ve katot reaksiyonları şöyledir.



Demir-bakır galvanik çiftinin oluşturduğu galvanik korozyon olaylarına sıcak su sistemlerinde sıkça raslanır. Sıcak su sistemlerinde genellikle 50 mm çaptan daha büyük borular çelik, daha küçükleri ise bakırdır. Kullanılan sıcak suyun sertliği nedeniyle çelik borunun iç yüzeyleri bir kalsiyum karbonat tabakası ile kaplanır. Sürekli olarak devir eden soğutma suyu sistemlerinde taşlaşmayı önlemek için sertliği giderilmiş su kullanılır. Bu durumda suyun renginin pas nedeniyle gittikçe kırmızılaştığı görülür. Kullanılmış olan farklı metaller birbirinden izole edilerek bağlantıları koparılsa, korozyon hızı önemli ölçüde azalır. İki metal birbirinden izole edilmiş olmasına rağmen eğer çözünmüş bakır iyonları çelik üzerine doğru akarsa, bakır iyonları demir ile reaksiyona girerek korozyona neden olabilir. Kaçak akımların neden olduğu korozyon da galvanik korozyona çok benzer. Elektrikli demir yolları, yüksek voltajlı doğru akım taşıyan elektrik hatları veya kaynak makinalarından zemine yayılan kaçak akımlar korozyona neden olabilir.

BÖLÜM -2

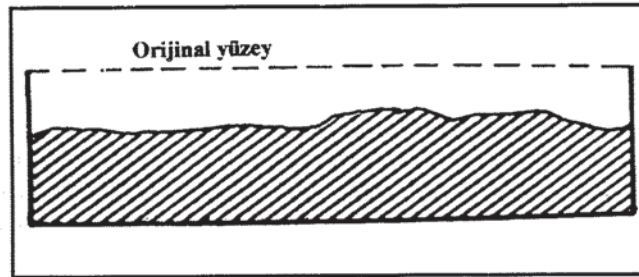
KOROZYON ÇEŞİTLERİ

Değişik metaller, içinde bulundukları ortamın özelliklerine göre çeşitli şekillerde korozyona uğrarlar. Başlıca korozyon tipleri pratik olarak on dört grup altında toplanabilir.

- 1 - Üniform korozyon
- 2 - Galvanik korozyon
- 3 - Çatlak korozyonu
- 4 - Filiform korozyon
- 5 - Çukur korozyonu
- 6 - Taneler arası korozyon
- 7 - Seçimli korozyon
- 8 - Erozyonlu korozyon
- 9 - Aşınmalı korozyon
- 10 - Stres korozyonu
- 11 - Yorulmalı korozyon
- 12 - Hidrojen kırılabilirliği
- 13 - Mikrobiyolojik korozyon
- 14--Yüksek sıcaklık korozyonu

2.1 ÜNİFORM KOROZYON

Metal yüzeyinin her noktasında aynı hızla yürüyen korozyon çeşididir. Normal olarak korozyon olayının bu şekilde yürümesi beklenir. Metal kalınlığı her noktada aynı derecede incelir (Şekil -2.1).



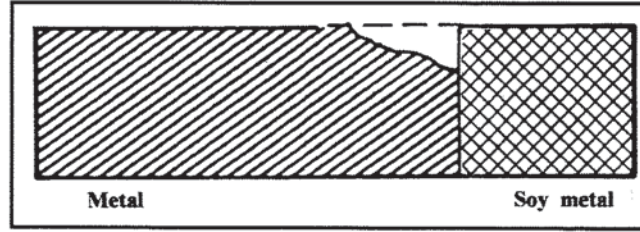
Şekil -2.1 Üniform korozyon

Pratikte üniform korozyon olayı fazla tehlike oluşturmaz. Atmosferik korozyonda olduğu gibi, metal kalınlığı her noktada aynı kalır ve malzeme hesaplanan ömrüne kadar dayanıklılığını korur.

Korozyon hızının hesaplanmasında kullanılan bağıntılar, korozyonun üniform şekilde yürüdüğü kabulüne dayandırılır. Diğer korozyon şekillerinde yüzeyin bazı bölgelerinde korozyon hızı çok yüksek değerlere ulaşır. Bunun sonucunda o bölgeler beklenenden çok önce korozyon nedeniyle delinir veya kırılır.

2.2 GALVANİK KOROZYON

İki farklı metal bir koroziv ortama daldırılır ve elektriksel bir bağ ile birbirine bağlanırsa, bir pil oluşur. Bu metallerden elektrod potansiyeli daha elektronegatif olan metal anot olarak korozyona uğrar. Korozyon hızı iki metal arasında oluşan potansiyel farkına bağlıdır (Şekil -2.2).

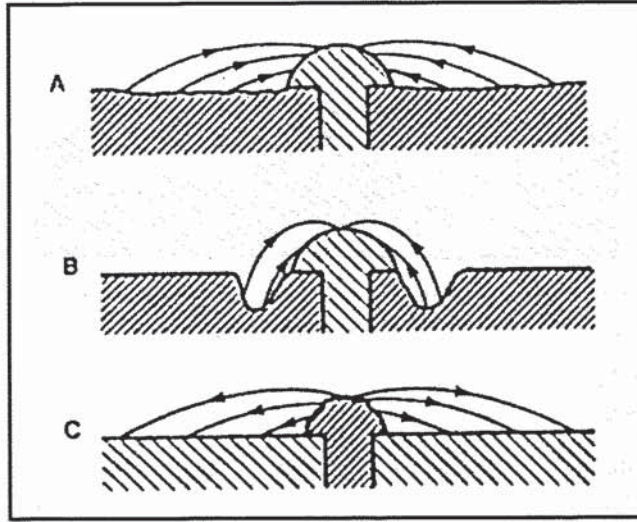


Şekil -2.2 Galvanik korozyon

Metallerden hangisinin anot olacağı elektrod potansiyeli göz önüne alınarak anlaşılabilir. Bu konuda Standard **Elektromotor Kuvveti Serisi** iyi bir fikir verir. Daha önce açıklanmış olduğu üzere, bir metalin kendi iyonlarının 1 molar konsantrasyonundaki çözeltisi içinde 25 C de gösterdiği potansiyele standard elektrod potansiyeli denir. Metallerin standard elektrod potansiyellerine göre sıralanarak elde edilmiş olan standard EMF serisi Tablo -1.1 de verilmişti. Bu listede üst sırada bulunan bir metal, kendinden daha aşağıda olan metallere göre anot olur. Ne var ki, korozyon olaylarında metaller hiç bir zaman kendi iyonları ile denge halinde bulunmaz. Bu nedenle galvanik korozyon olaylarında standard elektrod potansiyelleri yerine, galvanik seride yer alan deniz suyu içindeki potansiyellerinin alınması daha uygundur.

Galvanik bir hücrede korozyon hızı, yürütücü kuvvet olan anot ve katot arasındaki potansiyel farkına bağlıdır. Ancak bu fark, polarizasyon nedeniyle zamanla azalır. Polarizasyon genellikle katot bölgesinde görülür. Galvanik korozyon hızına aynı zamanda, çevre elektrolitin iletkenliği ve katot/anot yüzey alanı oranı da etki yapar. Eğer elektrolitin iletkenliği yüksek ise korozyon geniş bir alanda kendini gösterir. İletkenliğin düşük olması halinde iki metalin temas ettiği bölgede dar bir alanda şiddetli olarak ortaya çıkar. Katot/anot yüzey alanı oranı da pratikte büyük önem taşır. Bu oranın büyük olması yani büyük bir katot yüzeyine karşı anot yüzey alanının küçük olması, anot akım yoğunluğunun artmasına ve dar bir bölgede şiddetli korozyon

oluşmasına neden olur. Bunun tipik örneği, çelik plakaya yapılmış bakır perçin ile, bakır plaka üzerine yapılmış çelik perçinde görülür. Şekil -2.3. Her ikisi de deniz suyu içine daldırıldığında, çelik perçinler çok kısa sürede tam olarak korozyona uğradığı halde, bakır perçinlerin katodik etkinliğinin, geniş bir çelik yüzey üzerindeki korozyon etkisinin önemsiz olduğu görülür. Bu durum farklı iki metalin temas-etmesi halinde anot bölgesinin değil katot bölgesinin boyanarak kaplanmasının daha etkili olacağını ortaya koyar.



Şekil -2.3 Galvanik korozyon hızının katot/anot oranına göre değişimi

a) Küçük katot-büyük anot ve elektrolit iletkenliği yüksek b) Küçük katot-büyük anot ve fakat elektrolit iletkenliği düşük c) Büyük katot-küçük anot

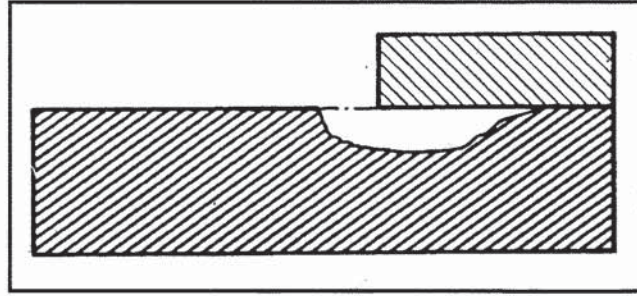
Galvanik korozyona bir başka tipik örnek de, daha soy olan metal iyonlarını taşıyan suların aktif bir metal üzerine doğru akmasıdır. Örneğin çıplak bakır metali ile temas eden sular çelik üzerine doğru akarsa, suda az miktarda çözünen bakır iyonları çeliğin korozyona uğramasına neden olur.

Galvanik korozyona karşı şu önlemler alınabilir:

- * Galvanik seride birbirinden uzak konumda olan metallerin teması önlenmelidir.
- * Eğer bu iki metalin bir arada kullanılması zorunlu ise, büyük katot-küçük anot yüzeyinden kaçınılmalıdır.
- * İki metal arasındaki bağlantılar izole flanşlarla elektriksel olarak yalıtılmalıdır.
- * Metal yüzeyleri boya veya kaplama yapılarak izole edilmelidir.
- * Eğer kapalı bir sistem söz konusu ise inhibitör kullanılmalıdır.
- * Tasarım sırasında anot olan parçanın daha kolayca yenisi ile değiştirilebilmesi için önlem alınmalıdır. Veya bu parça daha kalın olarak imal edilmelidir. Veya sisteme her iki metalden de daha anodik karakterde olan üçüncü bir metal bağlanmalıdır.

2.3. ÇATLAK KOROZYONU

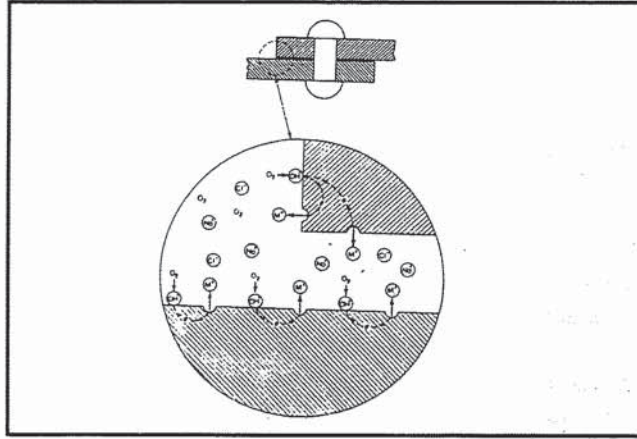
Metal yüzeyinde bulunan ince bir çatlak, dar bir aralık, cep, veya iki levha arasında kalan boşluk içine çevrede bulunan elektrolitin girmesi zordur. Bu dar alanlar durgun bir bölge oluşturur. Bu bölgelerde korozyon hızı normal yüzeylere göre daha fazladır. Bu tip korozyon olayı çatlak korozyonu olarak tanımlanır (Şekil -2.4).



Şekil -2.4 Çatlak korozyonu

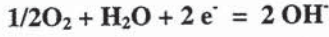
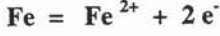
Buna benzer şekilde aynı mekanizma ile yürüyen kabuk altı korozyonu, filiform korozyon ve rüsubat korozyonu da bu grup içinde ele alınabilir.

Çatlak korozyonunun temel mekanizması şöyledir: Çatlak içinde elektrolit akışı çok yavaş olduğundan bu bölgede oksijen konsantrasyonu çevredeki oksijen konsantrasyonuna göre daha azdır. Bu farklılık çatlak içi ile çevre arasında bir konsantrasyon hücrelerinin oluşmasına neden olur. Çatlak içi anot, çevre katot olur. Şekil -2.5'de her ikisi de çelik olan bir perçin ile levha arasında deniz suyu içindeki çatlak korozyonu olayı görülmektedir.

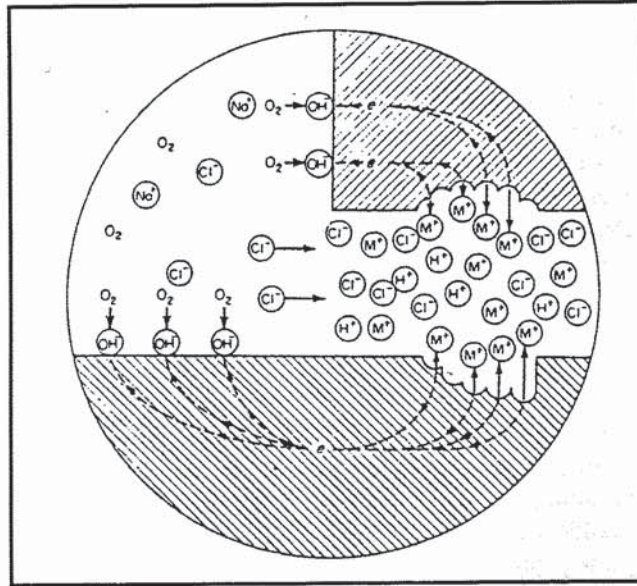


Şekil -2.5 Çatlak korozyonu oluşumu

Burada anot ve katot reaksiyonları şöyledir:



Başlangıçta bu reaksiyonlar hem çatlak içinde hem de dışında aynı hızla meydana gelir. Demir iyon haline gelirken elektronlarını oksijene verir ve OH^- iyonu oluşturur. Böylece çözeltiye geçen her metal iyonuna karşılık iki hidroksit iyonu oluşur. Bu reaksiyonlar bir süre yürüdükten sonra çatlak içinde bulunan oksijen tükenmeye başlar. Çatlak içi durgun bir ortam olduğundan harcanan oksijen yerine yenilerinin gelmesi mümkün olmaz. Oysa çatlak dışındaki yüzeylerde harcanan oksijen yerine yenileri geleceğinden bu bölgelerde korozyon hızında değişme olmaz. Başlangıçta hem çatlak içinde hem de çatlak yüzeyinde anot ve katot bölgeleri oluştuğu halde, çatlak içinde oksijen bitmesinden sonra, dış yüzeylerde oksijen reaksiyonunun, çatlak içinde ise metal çözünme olayının yürüdüğü görülür. Çatlak korozyon olayının belli bir süre sonraki görünüşü Şekil -2.6 da görülmektedir.



Şekil -2.6 Çatlak korozyonunun belli bir süre sonraki durumu

Bunun sonucu olarak çatlak içinde Fe^{++} iyonları konsantrasyonu artar. Bu durum, polar etkiler nedeniyle çatlak içine Cl^- iyonlarının göç etmesine neden olur. Çatlak içinde FeCl_2 oluşur. Bu bileşik su içinde kolayca hidroliz olarak aşağıdaki reaksiyonla demir hidroksit halinde çöker.



Bu hidroliz reaksiyonu sonucu çatlak içinde demir hidroksit çökelirken HCl konsantrasyonu da gittikçe artar. Bundan sonra asidin etkisi ile çatlak içinde metal çözünmesi daha da hızlanır. Yani korozyon olayı birbirini izleyen reaksiyonların yardımı ile **otokatalitik** olarak artarak devam eder. Çatlak içinde kısa bir süre sonra klorür konsantrasyonu 3-10 kat artar. pH değeri de 2-3'e kadar düşebilir. Çatlak içinde metalin çözünmesi, çatlağın dışında bulunan yüzeylerin katodik olarak korunmasını sağlar. Bu nedenle çatlak kenarlarında hiç paslanma görülmez.

Çatlak korozyonu yalnız yukardaki örnekte olduğu gibi klorürlü ortamlarda değil, daha az şiddetli olarak bütün sulu çözeltiler içinde meydana gelebilir. Ancak klorür bulunmayan ortamlarda korozyonun etkisi çok uzun süre sonra, yaklaşık bir yıl içinde ortaya çıkabilir.

Pasifleşme özelliği olan veya hidroksit halinde çökelebilen metal ve alaşımlar çatlak korozyonuna daha duyarlıdır. Örneğin 18-8 paslanmaz çeliklerde çatlak korozyonu olayına sıkça raslanır. Paslanmaz çelik civatalar çatlak korozyonu sonucu kısa sürede paslanır.

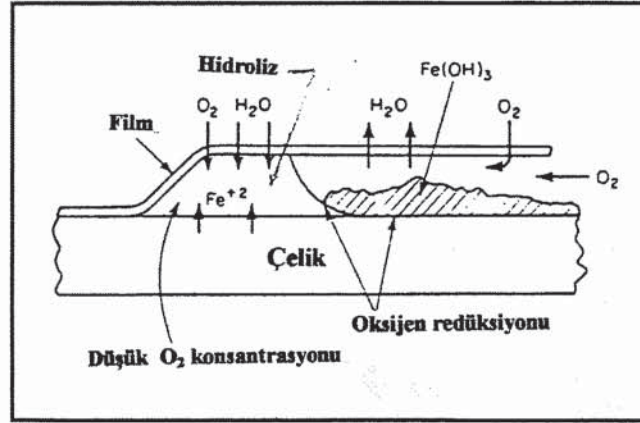
Çatlak korozyonuna karşı aşağıdaki önlemler alınabilir:

1. Civata ve perçin yerine kaynak tercih edilmelidir.
2. İki levhanın üst üste birleştiği yerler kaynak veya lehim yapılarak kapatılmalıdır.
3. Sıvı taşıyan kaplar projelendirilirken, kabın tam olarak boşaltılabilmesine özen gösterilmelidir. Kap içinde temizlenemeyen veya yıkanamayan köşe kalmamalıdır.
4. Kap içinde çökelti veya birikinti kalıp kalmadığı zaman zaman kontrol edilmelidir.
5. Tahta, plastik gibi ıslak kalabilen maddelerin metal ile temas etmesi önlenmelidir.

2.4. FİLİFORM KOROZYONU

Metal yüzeyinde bulunan boya veya kaplama tabakası altında yürüyen bir korozyon olayıdır. Filiform korozyon, çatlak korozyonunun bir türü olarak kabul edilebilir. Bu korozyona kabuk altı korozyonu da denilmektedir. Korozyon olayı kabuk altında bir solucan hareketine benzer şekilde hareket eder. Bir filiform diğer bir filiformu kesmez. Kesişme halinde yansıma yaparak yoluna devam eder.

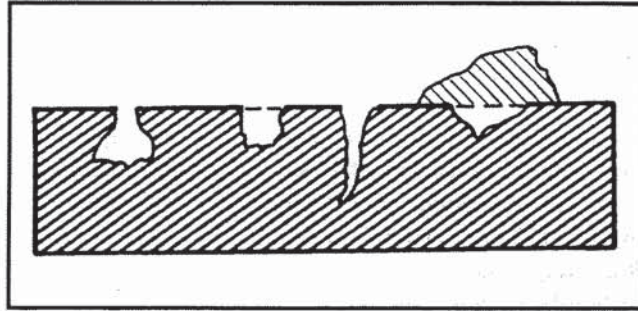
Filiform korozyonunun oluşma mekanizması aynen çatlak korozyonunda olduğu gibidir. Şekil -2.7. Filiform korozyonu kaplamanın zayıf bir noktasında başlar. Bu noktada kabuk altına atmosferden oksijen ve su girişi olur. Eğer boya tabakası su geçirmez ise, korozyon olayı da başlamaz. Korozyonun başladığı noktada oksijen konsantrasyonu maksimumdur ve korozyonun yürüdüğü yönde gittikçe azalır. Korozyon sonucu metal hidroksiti ve hidrojen iyonları oluşur. Böylece uç kısımda korozyonun devamı için uygun bir ortam (düşük oksijen konsantrasyonu ve düşük pH) sağlanmış olur. Bu nedenle korozyon olayı daima uç noktadan ileriye doğru hareket eder.



Şekil -2.7 Filiform veya kabuk altı korozyonu

2.5. ÇUKUR KOROZYONU (PITTING)

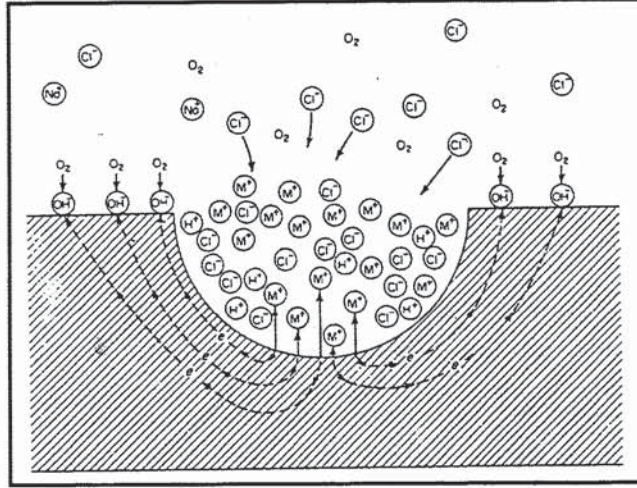
Metal yüzeyinde çok küçük bir bölgede çukur oluşturarak meydana gelen korozyon olayıdır. Çoğu zaman oluşan çukurlar gözle görülemeyecek kadar küçüktür. Çukurların derinliği genellikle çapları kadardır. Şekil -2.8 a



Şekil -2.8 a Çukur korozyonu

Çukur korozyonu en tehlikeli korozyon türüdür. Çok az malzeme kaybı olmasına rağmen, ekipman kısa sürede devre dışı kalabilir. Oluşan çukurların içi genellikle korozyon ürünleri ile doludur. Bu nedenle çukur sayısını ve derinliğini belirlemek son derece güçtür.

Çukur korozyonu, metal yüzeyinin herhangi bir noktasında oluşan bir anodik reaksiyon ile başlar. Eğer metal ve çevre koşulları uygun ise, bu anodik reaksiyon birbirini doğuran bir seri otokatalitik reaksiyonlarla hızla devam ederek o noktada bir çukur oluşmasına neden olur. Şekil -2.8.b de çukur korozyonu oluşumu mekanizması görülmektedir.



Şekil -2.8 b Çukur korozyonunun oluşma mekanizması

Şekilde bir metalin havalandırılmış bir sodyum klorür çözeltisi içindeki korozyonu görülmektedir. Anodik bir bölgede metal çözünmeye başladığında, çevre yüzeylerde oksijen redüksiyonu meydana gelir. Anodik reaksiyon sonucu ortaya çıkan metal iyonları o bölgede pozitif yüklerin artmasına neden olur. Bunun sonucu olarak çözelti içindeki klorür iyonları o bölgeye doğru hareket eder. Böylece çukur içinde metal klorür ve hidrojen iyonu konsantrasyonunda artış meydana gelir. Bu durum çukur içinde korozyon hızının daha da artmasına neden olur. Çukur içinde anodik reaksiyonlar yürürken, çevre yüzeylerde de oksijen redüksiyonu ile katodik reaksiyon gerçekleşir.

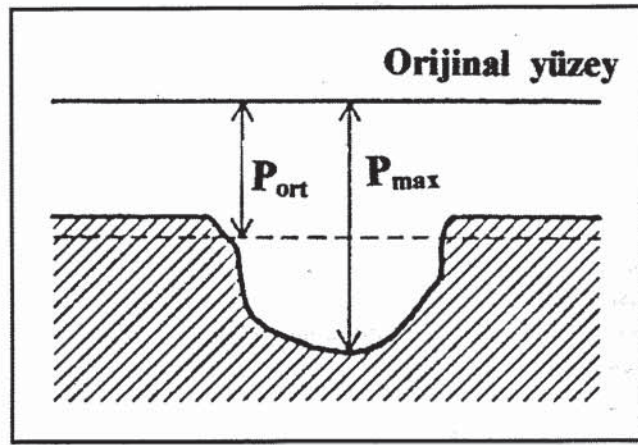
Çukur korozyonunun belli bir derinlikten sonra yavaşlaması şöyle açıklanmaktadır: Korozyon sonucu oluşan metal hidroksitleri zamanla çukurun ağzını kapatmaktadır. Bu durumda klorür iyonlarının çukur içinde metale kadar ulaşması güçleşmektedir. Bu nedenle çukur belli bir derinliğe eriştikten sonra korozyon hızı artık yavaşlamaktadır. Bu açıklamalardan anlaşılacağı üzere, elektrolitin hızla aktığı ortamlarda çukur korozyonu oluşamaz. Çukur korozyonu ancak durgun çözeltiler içinde meydana gelebilir. Çukur korozyonu genellikle, borularda, tanklarda akış hızının azaldığı bölgelerde kendini gösterir.

Çukur korozyonu oluşumunda metal cinsi de önemli rol oynar. Pasifleşme özelliği olan metal ve alaşımlar çukur korozyonuna daha duyarlıdır. Özellikle paslanmaz çeliklerde çukur korozyonuna sık raslanır. Hatta yumuşak çelik bile çukur korozyonuna paslanmaz çeliklerden daha dayanıklıdır.

Çukur korozyonunun ağırlık kaybı yoluyla değerlendirilmesi doğru olmaz. Çukur korozyonu, istatistik yöntemlerle, çukur sayısı ve derinliği ölçülerek birlikte değerlendirilir. Ortalama çukur derinliği korozyon zararı konusunda tek başına bir fikir vermez. Önemli olan maksimum çukur derinliğidir. Bu ise ancak istatistik yöntemler ile belirlenebilir. Belli bir

yüzeyde bulunan çukurların sayısı, derinliklerine göre düzgün bir dağılım gösterir. Olasılık yöntemleri ile maksimum çukur derinliği veya belli bir derinlikteki çukur sayısı hesaplanabilir.

Çukur korozyonunun değerlendirilmesinde “**çukurlaşma faktörü**” nün belirlenmesi çok önemlidir. Bu faktör $F_c = P_{\max} / P_{\text{ort}}$ olarak tanımlanır. Şekil -2.9 $P_{\max}$, beş en büyük çukurun derinliğinin ortalaması olarak bulunur. P_{ort} ise, kütle kaybından hesaplanan üniform korozyon derinliğidir.



Şekil -2.9 Çukurlaşma faktörünün belirlenmesi

Çukur korozyonuna karşı alınacak önlemler, çatlak korozyonunda olduğu gibidir. Ancak başlangıçta çukur korozyonuna karşı duyarlı olan metallerin kullanılmasından kaçınılması büyük önem taşır. İnhibitör kullanılması da çukur korozyonu için faydalıdır. Fakat eğer inhibitör kullanarak korozyon tam olarak önlenemez ise, bu defa daha tehlikeli sonuçlar doğabilir.

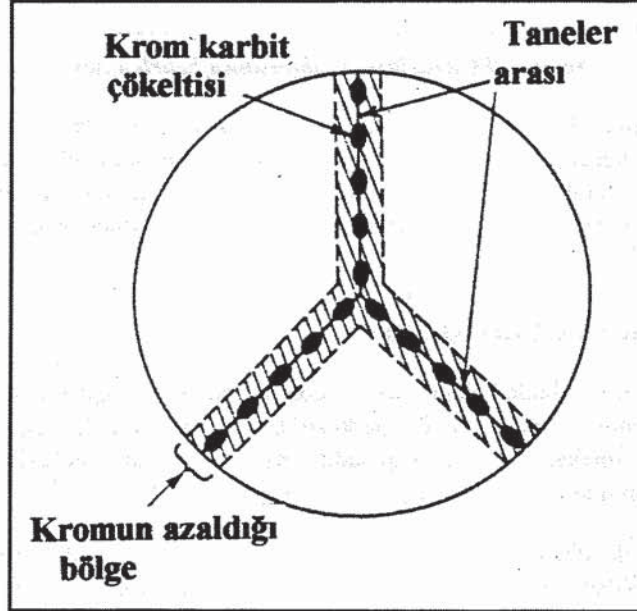
2.6. TANELER ARASI KOROZYON

Metaller katı kristal halinde bulunur. Metal atomları bu kristal yapısı içinde düzgün olarak dağılmışlardır. Demir ve çelik kübik merkezli kristal yapısındadır. Ostenitik paslanmaz çelikler yüzeysel merkezli kristal yapısındadır. Kristal yapıları metallerin taneler arası korozyonunda etkili olur.

Metaller eritilerek soğumağa terkedildiğinde birbirine bitişik kristaller halinde katılırlar. Çok sayıda kristalden oluşan taneler, sınır çizgileri ile birbirinden ayrılırlar. Taneler arasındaki dar bölgelerde kristal yapısı düzensiz durumdadır. Bu bölgeler metalin korozyona en dayanıksız olduğu yerlerdir.

Taneler arası korozyon, taneler arasında bulunan herhangi bir safsızlıktan, örneğin bir alaşım elementinin daha fazla bulunması veya bulunmaması nedeniyle oluşur. Örneğin alüminyum içinde bulunan az miktarda demir taneler arası korozyona neden olabilir. Çünkü alüminyum içinde demir çok az çözünür, bu nedenle taneler arasında toplanır. Yine bunun gibi paslanmaz çeliklerde de, taneler arası sınır bölgelerinde krom miktarı çok azdır. Bu bölgeler krom azlığından taneler arası korozyona dayanıksızdır.

Taneler arası korozyon bakımından 18-8 paslanmaz çelik çok özel bir durum gösterir. Bu çelik normal hallerde korozyona çok dayanıklı olduğu halde, 500-800 C'e ısıtıldığında korozyona duyarlı hale gelir. En şiddetli sıcaklık etkisi 650 C'de bir saat bekletildiğinde kendini gösterir. Bunun nedeni, bu sıcaklıkta taneler arası bölgede kromun son derece azalmasıdır. Paslanmaz çelik içinde en az % 12 oranında krom bulunması gerekir. Eğer paslanmaz çelik yukarıda belirtilmiş olan sıcaklıklar arasında ısıtılırsa, bileşiminde bulunan krom, karbonla reaksiyona girerek krom karbür (Cr_{23}C_6) bileşiği oluşturmaktadır. Krom karbür çelik içinde çözünmeyen bir bileşiktir. Taneler arasında sınır çizgisi boyunca toplanır. Eğer çelik içinde % 0,02'den fazla karbon varsa, bu olay etkili olur. Krom karbürün kendisi korozyona uğramaz. Ancak, taneler arasındaki bölgede krom azlığı nedeniyle bu bölge korozyona dayanıksız hale gelir. 304 paslanmaz çelik içinde % 0,06 - 0,08 arasında karbon bulunur. Bu nedenle taneler arasında önemli miktarda krom karbür çökeltisi birikir. Taneler arasında biriken krom karbür çökeltisi Şekil -2.10 de görülmektedir.

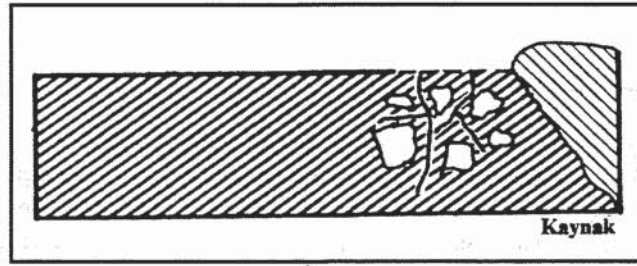


Şekil -2.10 304 paslanmaz çelikte taneler arasında krom karbür çökeltisi

Isıtılma işlemi sırasında alaşım içinde bulunan krom da taneler arasına doğru hareket eder. Fakat kromun hareket hızı çok azdır, bu nedenle taneler arası bölgeye ulaşarak oradaki krom eksikliğini gideremez.

2.6.1. Kaynak Çürümesi

Paslanmaz çeliklere kaynak yapılamamasının nedeni, taneler arası korozyon olayıdır. Bu olay kaynak çürümesi olarak bilinir (Şekil -2.11).



Şekil -2.11 Kaynak yapılan bölgede taneler arası korozyon

Kaynak yapılan bölgede sıcaklık yükselir ve taneler arasında krom karbür çökeltisi oluşur. Sıcaklığın etkili olduğu bölgeler korozyon bakımından duyarlı hale gelir. Kaynak sırasında yalnız sıcaklığın yüksekliği değil, sıcaklığın etkime süresi de önemlidir. Bu süre kaynak yapılan malzemenin kalınlığına da bağlıdır. Örneğin ince levhalar kısa sürede kaynak edilip, kısa sürede sıcaklığını kaybeder. Bu süre, krom karbür bileşiğinin oluşması ve taneler arasında birikmesi için yeterli olmaz. Dolayısı ile bu durumda kaynak çürümesi olayı da meydana gelmez. Aynı nedenle paslanmaz çeliklerin elektrikle kaynak edilmeleri daha uygun olur.

Ostenitik paslanmaz çeliklerde taneler arası korozyon olayını en aza indirmek için aşağıdaki üç yöntem kullanılmaktadır:

1. Isıl işlem yapılması,
2. Alaşım içine, stabilizör denilen ve dayanıklı karbür bileşiği oluşturan elementler katılması,
3. Paslanmaz çelik içinde bulunan karbon yüzdesinin % 0,03 değerinin altına indirilmesi.

Pratikte en çok birinci yöntem uygulanmaktadır. Isıl işlem için çelik yaklaşık 1100 °C'ye kadar ısıtıldıktan sonra, suya (veya uygun bir yağ içine) daldırılarak aniden soğutulur. Bu yüksek sıcaklıkta krom karbür bileşiği çelik içinde henüz çözelti halindedir. Ani olarak soğutulmakla alaşım içinde homojen bir dağılım sağlanmış olur.

İkinci yöntemde, paslanmaz çelik içine az miktarda titanyum veya kolombiyum gibi metaller katılarak, karbonun karbür bileşiği halinde stabilize edilmesi sağlanmış olur. 321 ve

347 paslanmaz çelikler böyledir. Bu stabilizör elementler çelik içinde bulunan bütün karbonu kromdan daha sağlam olarak bağlayarak krom karbür oluşmasına engel olurlar.

Üçüncü yöntemde, paslanmaz çelik içinde bulunan karbonun % 0,03 değerinin altına düşürülmesi yoluna gidilir. 304L tipi paslanmaz çelik böyle üretilmiştir. Bu tip paslanmaz çeliklere **ELC (Extra - Low - Carbon)** çeliği denir.

Normal 18-8 paslanmaz çeliklerde karbon yüzdesi % 0,20 civarındadır. Bu değeri herhangi bir yöntem ile % 0,08'e kadar indirmek kolaydır. Ancak karbon yüzdesinin daha düşük değerlere indirilmesi için özel yöntemlerin uygulanması gerekir.

2.6.2. Bıçak Hattı Etkisi

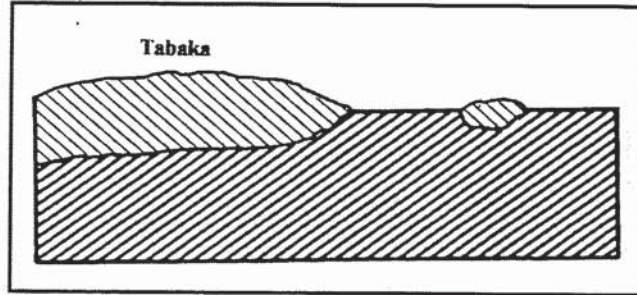
Kaynak yapılan bölgenin her iki yanında dar bir bölgede, uzun bir hat boyunca taneler arası korozyon etkisine benzer bir korozyon olayı meydana gelir. Buna bıçak hattı etkisi denir. Bu etki kaynak yapılan yerde değil, onun hemen yakınında bir hat boyunca ortaya çıkar. Bu etki kaynak çürümesine karşı stabilize edilmiş olan paslanmaz çeliklerde meydana gelir. Bunun başlıca nedeni, stabilizatör olarak çelik içine katılmış olan metalin oluşturduğu karbürün, sıcaklığın düşük olduğu bölgelerde taneler arasında çökmesidir. Kaynak yapıldığı sırada erimiş ve erimemiş bölgelerin birleştiği hat boyunca bıçak hattı etkisi ortaya çıkar. Metal karbürlerin çelik içinde çözünme sıcaklıkları aşağıda liste halinde verilmektedir.

SICAKLIKLAR, C	CÖZÜNME VEYA ÇÖKELME
1250	Krom karbür ve kolombiyum karbür çözünmüş haldedir.
800	Kolombiyum karbür çökeler, krom karbür çözünür.
500	Krom karbür çökeler.
25	Hiç bir olay olmaz.

Bu değerlerden, ostenitik paslanmaz çeliğin 500-800 °C'ler arasında ısıtılması halinde duyarlı hale geleceği anlaşılmaktadır. Eğer çelik içinde kolombiyum varsa bu durumda duyarlılık söz konusu olmaz. Fakat bıçak hattı etkisi kendini gösterir.

2.7. SEÇİMLİ KOROZYON

Bir alaşım içinde bulunan elementlerden birinin korozyona uğrayarak uzaklaşması sonucu oluşan korozyon olayıdır. Bu tip korozyona en iyi örnek, pirinç alaşımı içinde bulunan çinkonun bakırdan önce korozyona uğramasıdır. Bu seçimli korozyona özel olarak **dezinsifikasyon** adı verilir (Şekil -2.12).



Şekil -2.12 Dezinsifikasyon korozyonu

Pirinç, yaklaşık %70 bakır + % 30 çinkodan oluşan bir alaşımdır. Başlangıçta sarı renkli olan bu alaşım, çinkonun korozyonundan sonra gittikçe bakır kırmızısı rengine dönüşür. Alaşım poröz bir yapı kazanarak mukavemetini kaybeder. Alaşım içinde çinko yüzdesi ne kadar fazla ise, seçimli korozyona dayanıklılığı o kadar azalır. Çözeltinin durgun olduğu bölgeler dezinsifikasyon korozyonu için daha elverişlidir.

Dezinsifikasyon korozyonu eskiden yalnızca, çinkonun çözünerek uzaklaşması ve alaşım içinde bulunan bakırın iskelet halinde kalması şeklinde açıklanmaktaydı. Bu kabul, korozyona uğrayan alaşımın poröz bir yapı kazanmasına tam olarak açıklık getirememektedir. Son zamanlarda dezinsifikasyon korozyonunun mekanizması şu şekilde açıklanmaktadır. Alaşım yüzeyinde çinko ve bakırın her ikisi de normal olarak korozyona uğrayarak çözünür. Çinko çözeltide kalırken bakır iyonları katodik bir redüksiyon ile yeniden metal haline döner. Bu olay çözelti içinde oksijen olmadan da yürüyebilir. Bakır iyonları çinkonun korozyonunu hızlandırır. Böylece korozyon olayı yüzeyde kalmaz, poröz bir yapı oluşturacak şekilde derinlere doğru ilerler.

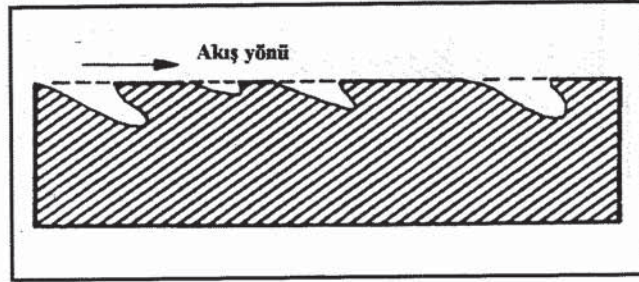
Dezinsifikasyon korozyonunu önlemek için en uygun yol, alaşım içindeki çinko yüzdesini % 15'in altına düşürmektir. Eğer pirinç içine % 1 oranında kalay katılacak olursa korozyon dayanıklılığında artış olur. Az miktarlarda arsenik, antimon veya fosfor katkısı da inhibitör olarak etki yapar.

Sık raslanan diğer bir seçimli korozyon olayı da, **grafitizasyon** denilen gri dökme demirde oluşan korozyondur. Gri dökme demir içinde % 2-4 oranında karbon bulunur. Dökme demir içinde grafit katot ve demir anot olur. Böylece bir galvanik korozyon olayı gerçekleşir. Demir çözünür ve grafit iskelet halinde kalır. Beyaz dökme demir içinde karbon serbest halde bulunmaz. Bu nedenle beyaz dökme demirde grafitizasyon olayı meydana gelmez.

2.8. EROZYONLU KOROZYON

Korozif çözeltinin metal yüzeyinden hızla akması halinde, korozyon olayı yanında erozyon da meydana gelir. Bu durum korozyon hızının da artmasına neden olur. Bunun nedeni, oluşan korozyon ürünlerinin akışkan tarafından sürüklenerek götürülmesidir. Erozyonlu korozyonun

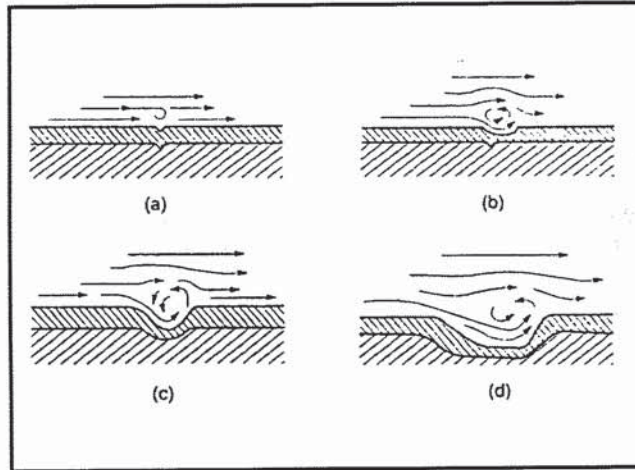
tipik bir görünüşü vardır. Akış yönünde göz ile görünen oyuklar ve dalga biçiminde yuvarlak oluklar oluşur (Şekil -2.13).



Şekil -2.13 Erozyonlu korozyon

Pasifleşme özelliği olan metaller erozyonlu korozyon olayına çok duyarlıdır. Örneğin alüminyum, kurşun ve paslanmaz çelik böyledir. Bu metallerin yüzeyinde erozyon etkisinde kalan bölgelerde pasifleşme tabakası oluşamaz ve metal korumasız kalan bu bölgelerde şiddetle korozyona uğrar.

Hareketli akışkanların bulunduğu ekipmanlarda, örneğin borular, dirsekler, valfler, pompalar, santrifüjler, pervaneler, karıştırıcılar, ısıdeğiştiriciler, kondenserler, orifisler, türbin paletleri gibi cihazlarda erozyonlu korozyon söz konusu olabilir. Erozyonlu korozyon olayına etkiyen en önemli faktör, akışkanın akış hızıdır. Akış hızı arttıkça erozyon etkisi de artar. Akışkan içinde katı partikül bulunması, olayın şiddetini artırır. Korozyon sonucu oluşan küçük bir oyuk türbülans etkisiyle erozyonlu korozyon olayını başlatıcı etken olur (Şekil -2.14).



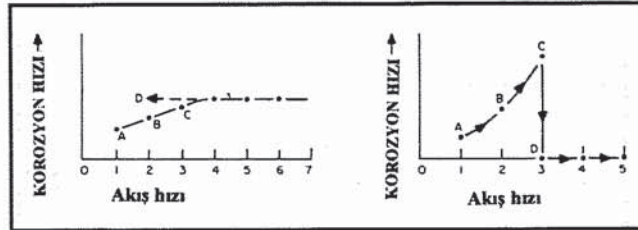
Şekil -2.14 Erozyonlu korozyon olayının başlama mekanizması

Bir çok işlemde prosesle ilgili sıvılar veya soğutma suyu bir boru içinden akar. Ekonomik olması için akış hızının maksimum olması tercih edilir. Ancak bir çok halde akışın laminar rejimde kalması zorunludur. Akış hızının çelik boru içinde en çok 1.2 m/s, bakır boru içinde 1.5 m/s ve paslanmaz çelik içinde de 7.5 - 9.0 m/s olması uygundur. Daha hızlı akışlarda valflerde ve diğer bağlantı parçalarında erozyon meydana gelebilir. Bu tip bir erozyon olayı ancak akış hızı uygun seviyeye indirilerek önlenir. Akış hızının çok yüksek olması halinde anaför etkisi ile delinme meydana gelebilir. Örneğin karbon çeliğinden yapılmış bir boru içinden 2.5-3.0 m/s hız ile bir sulu çözelti akıyorsa, boru hızlı bir şekilde erozyona uğrayabilir. Bunun çaresi akış hızını 1.2 m/s'nin altına indirmek veya boru çapını büyütmektir. Bir başka çözüm yolu da, paslanmaz çelik boru kullanmaktır. Böylece erozyona neden olmadan daha hızlı bir akış imkanı doğar.

Akış hızı etkisi ile oluşan bir diğer erozyonlu korozyon örneği de, ısı değiştiricilerinde kullanılan karbon çeliği borularda görülür. Bu borular korozif olmayan ortamlarda erozyonlu korozyon etkisinde kalır. Isı değiştiricilerinde kullanılan boruların uzun ömürlü olması için et kalınlıkları mümkün olduğunca kalın yapılır. Buna rağmen eğer erozyon olayı söz konusu olursa, boru vaktinden önce delinir. Bunun nedeni akış hızının 1.2 m/s'den yüksek olmasıdır. Dış çap aynı kalmak suretiyle boru et kalınlığının artırılması halinde boru kesit alanı azalır ve hızın artırılması gerekir. Örneğin 1 inç 18 BWG borunun et kalınlığı 1,6 mm, buna karşılık 1 inç 12 BWG borunun et kalınlığı 2,56 mm'dir. Bu durumda borunun kesit alanında % 25 oranında daralma söz konusu olmaktadır. Kesit daraldıkça akış hızı artacak ve erken erozyon olayı ortaya çıkacaktır.

Isı değiştiricilerinde, ısı iletkenliğinin yüksek oluşu nedeniyle bakır tercih edilir. Bakır içine nikel, alüminyum gibi elementler katılarak erozyona dayanıklılığı artırılır. Örneğin (90-10) bakır nikel alaşımı kullanılarak deniz suyu akış hızını 3 m/s değerine kadar artırabilmek mümkün olur. Alaşım içine az miktarda demir katılması da yararlıdır. Bunun nedeni demirin deniz suyuna dayanıklı bir oksit filminin oluşmasına yardımcı olmasıdır. Bu konuda çok ilgi çekici bir uygulama yapılmaktadır. Alaşıma demir ilave etmek yerine, akış çözültisi içine zaman zaman FeSO_4 katılması ile de aynı sonuç elde edilebilmektedir. Ancak bu yöntem güvenilir olmaktan uzaktır.

Pasifleşme özelliği gösteren ve göstermeyen metallerin akış etkisi ile korozyon hızında gözlenen değişim Şekil -2.15(a) ve (b) de görülmektedir.



Şekil -2.15 Pasifleşme özelliğinin korozyon hızı üzerine etkisi. (a) Pasifleşme özelliği olmayan bir metal, (b) pasifleşme özelliği olan bir metal

Metalin pasifleşmesi soğutma suyu içinde bulunan çözünmüş oksijen etkisi ile oluşur. Durgun hallerde, özellikle klorür iyonu bulunması halinde paslanmaz çelik için tehlikeli sonuçlar söz konusu olabilir.

Şekil -2.15'de oksijenin katot bölgesine difüzyon yoluyla ulaştığı kabul edilmiştir. Pratikte akış işlemlerinde türbülans yoluyla da oksijen katot yüzeyine taşınır. Türbülans olayından en çok etkilenen kısımlar, valfler, bağlantı elemanları ve vanalar gibi parçalardır. Türbülans etkisi ile metal yüzeyinde biriken korozyon ürünleri yüzeyde film oluşturma imkanı bulamaz. Bunun sonucu olarak, yüzeyde hiç koruyucu film bulunmadığı için metalin korozyonu maksimum hız ile devam eder. Eğer akış hızı korozyon filmi uzaklaştıramıyacak kadar yavaş ise, pasifleşme meydana gelir.

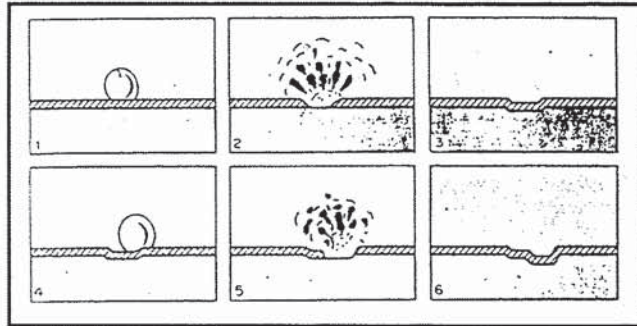
Erozyonlu korozyon olaylarını azaltmak için aşağıdaki önlemler alınabilir:

1. İlk alınacak önlem, erozyonlu korozyon dayanıklılığı yüksek bir malzemenin seçilmesidir.
2. Tasarım sırasında erozyon etkisini azaltacak önlemler alınır. Örneğin, boru çapı artırılır veya akış hızı düşürülür. Erozyonlu korozyon olayına duyarlı olan bölgelerde metal kalınlığı artırılır.
3. Akışkan katı partikül taşıyorsa, bunlar önceden çöktürülür. Sıcaklığın azaltılması da erozyonlu korozyon olaylarının şiddetini azaltır.
4. Katodik koruma yapılarak da erozyonlu korozyon önlenir.

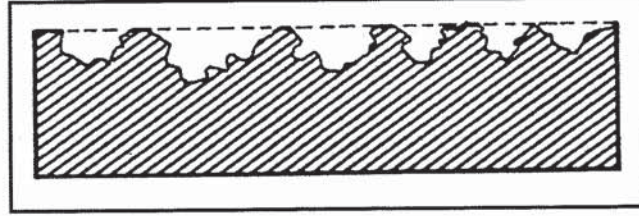
2.8.1. Kavitasyon

Kavitasyon, erozyonlu korozyon olayının özel bir şeklidir. Akışkan içinde bir gaz veya buhar kabarcığının bulunması halinde, bu basınçlı gaz metal yüzeyi üzerinde bulunan herhangi bir engel nedeniyle patlıyarak o bölgede yıpranmaya neden olabilir. Bu olay genellikle hidrolik türbinlerde, gemi pervanelerinde ve pompa paletlerinde ortaya çıkar.

Kavitasyon olayının mekanizması şöyledir: Hızlı akış sırasında bazı noktalarda basınç düşüşü meydana gelir. Bu bölgelerde düşük basınç nedeniyle su buharlaşarak buhar kabarcıkları oluşturur. Buhar kabarcıkları yüzeyin pürüzlü bir noktasında patlayarak parçalanır ve metal yüzeyinde oyuk oluşturur. Kavitasyon olayının meydana gelişi Şekil -2.16 'da ve kavitasyon nedeniyle metal yüzeyinde meydana gelen oyuklar da Şekil -2.17'de görülmektedir.



Şekil -2.16 Kavitasyon olayının meydana gelişi



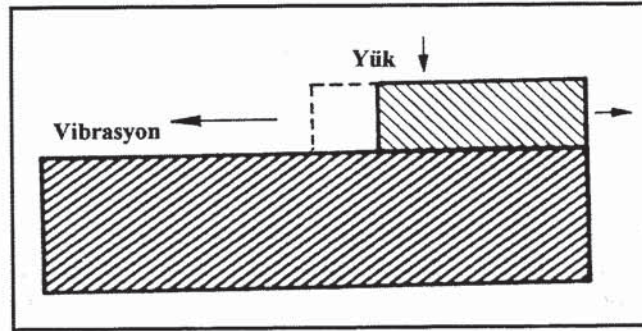
Şekil -2.17 Kavitasyon sonucu oluşan oyuklar

Normal akışlardan çok yüksek olan hızlarda bazı bölgelerde vakum oluşabilir. Bunun sonucu olarak sıvı buharlaşabilir, veya sıvı içinde bulunan çözünmüş gazlar ayrışır. Böylece sıvı içinde düşük basınçlı gaz kabarcıkları meydana gelir. Bu kabarcıklar (habbecikler) akış hızının azaldığı bölgelerde, genellikle metal yüzeyinin yakınında sönerler. Bu olay metal yüzeyi üzerinde kuvvetli bir emiş (vakum) etkisi yaparak metalin oyulmasına neden olur. Ancak bu durum projelendirme aşamasında alınacak önlemler ile giderilebilir ve işletmede böyle bir kavitasyon tipinde erozyon ile karşılaşılması önlenir.

Kavitasyon tipinde erozyon olaylarına çok az raslanmasına rağmen, ince korozyon filmlerini sökerek uzaklaştıran erozyon olayına sıkça rastlanır. Böylece kavitasyona benzer bir korozyon olayı kendini gösterir. Kavitasyonlu erozyon ile kavitasyonlu korozyon olayları benzer sonuç vermesine rağmen birbirinden oldukça farklıdır. Kavitasyonlu korozyon olayı katodik koruma veya inhibitör gibi yöntemlerle önlenemediği halde, kavitasyonlu erozyon bu yöntemler ile önlenemez. Kavitasyon erozyonu olayı yalnız tasarım aşamasında alınacak önlemler ile kontrol edilebilir. Kavitasyon erozyonu ile kavitasyon korozyonu olayları çoğu zaman birbirine karıştırılmaktadır.

2.9. AŞINMALI KOROZYON

Birbiri ile sürtünen veya yük altında vibrasyon yapan metallerde aşınma görülür. Bu olay söz konusu bölgede yürüyen korozyon hızını artırır (Şekil -2.18).



Şekil-2.18 Vibrasyon nedeni ile aşınma

Bu olay, söz konusu ortamda oluşan korozyon hızını artırıcı rol oynar. Sürtünme hareketinin veya vibrasyonun çok küçük boyutlarda, örneğin 10^{-10} cm olması halinde bile aşınmalı korozyon söz konusu olabilir.

Aşınma, üzerinde çok çalışma yapılmamış bir konudur. Aşınma ayrı olarak veya yorulma ile birlikte gözlenebilir. Korozyon ürünlerinin aşınarak uzaklaşması olayına da sıkça rastlanır. Yağlanmamış yüzeylerin vibrasyonu veya sürtünmesi işlemlerinde aşınma meydana gelir. Birbirine değen iki yüzeyin sürtünmesi sonucu yüzeyde oyulmalar hatta kırılmalar olabilir. Bu yüzeylerde oksitlenme hızı artar. Ara yüzeyde normalden farklı korozyon ürünleri birikir. Bunu önlemek için, ya yüzeyler yağlanır, ya da iyice birbirine tutturularak sürtünme hareketi önlenir.

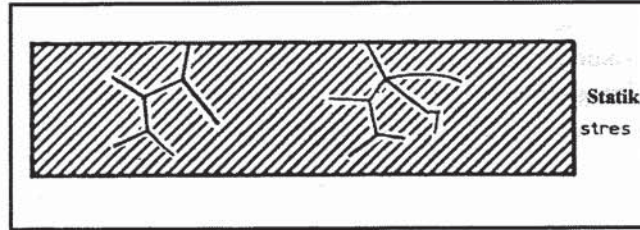
Genellikle alüminyum alaşımlar aşınmaya çok yatkındır. Bu nedenle alüminyum levhalar yağlanarak paketlenir ve gemilere böyle yüklenir. Alüminyumdan yapılmış malzemelerin depolanması sırasında da bu sorun ile karşılaşılır. Gemilerde taşınan birçok yükte sarsıntılar sonucu hasar oluşabilir. Kompresörlerde, otomobillerde, demiryolu taşımacılığında sürtünme sonucu birçok problem ortaya çıkar. Bunlar ancak yağlama yapılarak önenebilir.

Galvaniz malzemenin taşınması sırasında da aşınma önemli sorun yaratır. Bu durumda yüzeyde oluşan oksit tabakası beyaz bir toz şeklinde görülür. Önce sürtünme ile aşınmış olan galvaniz malzeme, depoda beklediği süre içinde daha hızlı korozyona uğrar. Bu gibi malzemeler depolanırken plakalar ayrı ayrı hava alacak şekilde depolanmalıdır. Galvaniz plakaların taşınması sırasında yağlanması ve hareket etmeyecek şekilde sıkıca tutturulması gerekir. Aşınma ve yorulmalı aşınma olayı tıbbi olarak canlı vücutuna konulan metal parçalar için de söz konusu olur. Bu metaller aşınma ile birlikte korozyona da uğrayabilir.

Yorulmalı aşınma kolayca gözlenemiyen karışık bir olaydır. Aşınma ve yorulma etkileri birbirine yardımcı olarak malzemenin dayanma limitini aşabilirler. Bu konuda lokomotif tekerlerinin aksları tipik bir örnek oluşturur. İşletme sırasında şaftta meydana gelen hafif bir eğilme tekerlek göbeğinde şiddetli aşınma olayına neden olur. Bu gibi durumlarda malzemenin yorulma dayanımı on kat azalabilir. Buhar türbinleri paletlerinde böyle bir olayla karşılaşılabilir. Parçanın kendi ağırlığı ile meydana gelen eğilme gerilimi yorulmalı aşınmayı başlatmak için yeterli olabilir.

2.10 STRES KOROZYONU

Korozif ortamda bulunan bir metal aynı zamanda statik bir gerilme altında ise, metalin çatlayarak kırılması çabuklaşır. Metal yüzeyinde bulunan herhangi bir çukur veya hendek gerilim altında duyarlı hale gelerek korozyonun başlaması için uygun bir ortam yaratır. Normal halde korozyon ürünleri metal yüzeyinde koruyucu bir kabuk oluşturduğu halde, stres altında iken kabuk oluşturamaz. Bunun sonucu olarak korozyon hızla devam ederek metalin o bölgede çatlamasına neden olur (Şekil -2.19).



Şekil -2.19 Stres korozyon çatlama

Stres korozyonu tehlikeli bir korozyon türüdür. Başlangıçta önemsiz derecede olan bir yerel korozyon, çekme gerilimi etkisi ile ani olarak tehlikeli bir kırılma meydana getirebilir.

Gerek çukur tipi korozyon, gerekse taneler arası korozyon gerilmenin etkisini artırıcı bir rol oynar. Çekme gerilmesi sonucu bu bölgeler çatlar. Çatlamanın sonuçları doğrudan kırılma mekanizması ilkeleri doğrultusunda değerlendirilir. Genellikle kritik gelişim periyodu altında bulunan çatlaklar zararsızdır. Çatlak gelişme hızı ve kırılmaya neden olan kritik çatlak uzunluğu hesapla bulunabilir. İşletme sırasında çatlakların bulunup bulunmadığı kırılmasız (**non destructive**) deneyler yardımı ile belirlenebilir. Aynen yorulmalı korozyonda olduğu gibi çatlakların önceden belirlenmesi hem ekonomik kayıpları, hem de muhtemel personel yaralanmalarını önler. Burada da sistemli bir şekilde kayıt yapılması ve bunların ilerde kullanılmak üzere saklanması çok önemlidir.

Stres korozyonu bir seri olay sonucu ortaya çıkar. Burada ana etken stresdir. Çatlaklar kopmaya yardımcı olur. Tipik olaylarda korozyon da etkin rol oynayabilir. Stresin kaynağı her zaman basit şekilde belirlenemez. Stres korozyonu her ortam ve her metal için özel bir durum gösterir. Belli bir metal için çatlama yapan ortam diğer bir metal için etkili olmayabilir. Değişik alaşımların stres korozyonuna etkili olduğu ortamlar toplanarak liste halinde verilmiştir. Tablo -2.1. Ne yazık ki bu ortamların etkisine mantıklı bir açıklama yapılamamaktadır. DeneySEL olarak elde edilen sonuçlara güvenmekle yetinilmektedir.

Stres korozyonu, ya taneler arası veya taneler üstü yapıda olabilir. Bu korozyonu önlemek üzere, ya stres korozyonuna duyarlı bir malzeme kullanılmalı veya çevre zararsız hale getirilmelidir. Bu yolla stres korozyonu etkilerini tamamen yoketmek mümkün olmaz. Çünkü malzemenin gerçek gerilim değerini tayin etmek güçtür. Özellikle üç eksenli gerilmenin analizini yapmak ve malzeme üzerine etkisini belirlemek güçlük yaratır.

Stres korozyonunun en çok bilinen şekli, kazanlarda rastlanan kostik kırılabilirliktir. Buhar kazanlarında kazan besleme sularının korozif etkisini azaltmak amacıyla suların alkali karakterde olması istenir. Bazı perçin boşluklarında kostiğin buharlaşması sonucu konsantrasyon artışı meydana gelir, bu bölgelerde çatlak oluşabilir. Bu problemin çözümü, kazan içindeki suyun alkalinitesinin fosfat ile tamponlanması veya uçucu amin bileşikleri ile

ayarlanmasıdır. Her iki halde de pH'ın çatlaklar içinde anormal şekilde yükselmesi önlenmiş olur. Bu açıdan bakıldığında halen uygulanmakta olan kazan besleme sularının arıtma yöntemlerinin gözden geçirilmesi gerekir. Kazanlar ve basınçlı kaplarla ilgili kurallar ilerde ayrı olarak incelenecektir. Tehlikesi çok büyük olduğundan bu konu büyük önem taşır.

Stres korozyonu konusunda sık rastlanan bir örnek de, pirincin çatlayarak korozyona uğramasıdır. Pirinçten yapılmış arabalar ve bazı ziraat aletleri genellikle ahırların yanında depolanır. Buralarda bulunan amonyak etkisi pirincin korozyonu için uygun bir ortam oluşturur.

Yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarının deniz suyu ile temas eden ortamlarda bulunması halinde de stres çatlak korozyonu olayına rastlanır. Gemi inşasında geminin mümkün olduğunca hafif olması istenir. Bu nedenle yüksek mukavemetli alüminyum-silisyum alaşımları bot ve yat yapımında tercih edilir. Bunun için yüksek dayanımlı alaşımlar kullanılır. Oysa bu alaşımlar stres korozyonu açısından uygun değildir. Özellikle buzlu ve soğuk sularda korozyona karşı dayanıksızdır. Gemi ve bot yapımı için orta derecede dayanıma sahip alaşımlar korozyon açısından daha uygundur. Buna benzer bir uygulama da endüstride çeşitli yapıların iskeletlerinde ve bağlantılarda yüksek dayanımlı döküm alaşımların kullanılmasıdır. Bunlar deniz atmosferinden uzak olduğu zaman herhangi bir sorun yaratmaz.

Stres korozyonu konusunda, tecrübeli ve korozyon konusunda bilgili tasarım ekipleri ile mücadele etmek mümkündür. Genellikle malzeme seçiminde mekanik dayanım açısından en uygun malzemenin seçimi yoluna gidilmelidir. Eğer stres korozyonu söz konusu olursa, malzeme beklenen dayanımı gösteremez. Çoğu kez ortamın ne derece koroziv etki yapacağı başlangıçtan tahmin edilemez.

Stres korozyonu etkisini azaltmak üzere pratik olarak birçok önlem alınabilir. Bu önlemler şöyle özetlenebilir :

- * Metal üzerindeki gerilme etkisi ısı işlemleri yapılarak belli bir değerin altına düşürülür.
- * Metalin içinde bulunduğu ortamdaki koroziv etkenler giderilir veya azaltılır.
- * Eğer yukarıda sözü edilen önlemler alınamıyorsa, stres korozyonuna daha az duyarlı bir metal kullanılması yoluna gidilir. Örneğin 304 paslanmaz çelik stres korozyonuna çok duyarlıdır. Bunun yerine inconel alaşımı kullanılabilir. Çok daha ucuz olan karbon çeliği, stres korozyonuna paslanmaz çeliklerden daha dayanıklıdır. Örneğin deniz suyu kullanılan ısı değiştiricilerinde paslanmaz çelik yerine adi çelik tercih edilmelidir.
- * Katodik koruma uygulanarak stres korozyonu hızı azaltılabilir.
- * İnhibitör kullanılarak da stres korozyon hızı yavaşlatılabilir.

TABLO -2.1 STRES KOROZYON OLAYI GÖZLENMİŞ OLAN ALAŞIMLAR VE İÇİNDE BULUNDUĞU ORTAMLAR

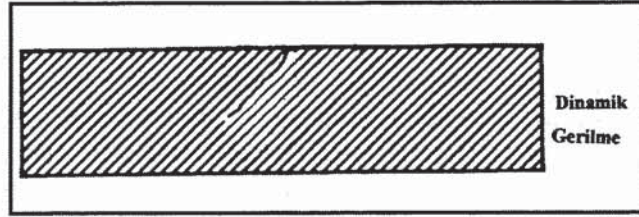
ALAŞIMLAR	İÇİNDE BULUNDUĞU ORTAM
Alüminyum Alaşımları	Hava
Al - Zn	
Al - Mg	NaCl + H ₂ O ₂ , NaCl Çözeltileri, Hava
Al - Mg	
Al - Cu - Mg	Deniz Suyu
Al - Mg - Zn	
Al - Zn - Cu	NaCl, NaCl + H ₂ O ₂ Çözeltileri
Al - Zn - Mg - Mn	
Al - Zn - Ng - Cu - Mn	Deniz Suyu
Al - Cu - Mg - Mn	NaCl - H ₂ O ₂ çözeltisi
Al - Cu	NaCl + H ₂ O ₂ çözeltisi NaCl + NaHCO ₃ , KCl, MgCl ₂
Al - Mg	CaCl ₂ , NH ₄ Cl, CoCl ₂ çözeltileri
Mağnezyum Alaşımları	(a) HNO ₃ , NaOH, HF çözeltileri
Mg - Al	(b) Damıtık Su
Mg - Al - Zn - Mn	(a) NaCl + K ₂ Cr ₂ O ₄ çözeltisi (c) Rutubetli Hava + SO ₂ + CO ₂
Mg	KHF ₂ çözeltisi
Bakır Alaşımları	
Cu - Zn	NH ₃ buharı ve çözeltileri
Cu - Zn - Sn	
Cu - Zn - Pb	
Cu - Sn - P	Derişik NH ₄ OH
Cu - Zn	Aminler
Cu - Zn - Ni	NH ₃ buharı ve çözeltileri
Cu - Sn	
Cu - Sn - P	Hava
Cu - As	
Cu - P, Sb, Ni, Al	Amonyak buharlı atmosfer
Cu - Si - Mn	
Cu - Zn - Si	Su Buharı
Cu - Zn - Sn - Mn	Su
Cu - Au	NH ₄ OH, FeCl ₃ , HNO ₃ çözeltileri
Cu - Zn	SO ₂ dumanı
Cu - Zn - Mn	Cu (NO ₃) ₂ çözeltisi
Cu - Mn	SO ₂ dumanı, Cu (NO ₃) ₂ , H ₂ SO ₄ , HCl HNO ₃ çözeltileri
Cu - Zn - ve az miktarda yabancı madde	Amonyak buharı taşıyan atmosfer

Cu - Ni - Si	Amonyak buharı taşıyan atmosfer
Cu - Al - Fe	Buhar
Cu - Be	Amonyak buharı taşıyan atmosfer
Demir Alaşımları Yumuşak Çelik	(a) NaOH + Na ₂ SiO ₃ (b) Ca(NO ₃) ₂ , NH ₄ NO ₃ ve NaNO ₃ çözeltileri (c) HCN + SnCl ₂ + AsCl ₂ + CHCl ₃ (d) Na ₃ PO ₄ çözeltisi (e) Saf NaOH çözeltisi (f) NH ₃ + CO ₂ + H ₂ S + HCN (g) NaOH, KOH çözeltileri (h) HNO ₃ + H ₂ SO ₄ (i) MgCl ₂ + NaF çözeltisi (j) Anidrid sıvı NH ₃ (k) H ₂ S 'li ortamlar (e) FeCl ₃
Fe - Cr - C	(a) NH ₄ Cl, MgCl ₂ , Na ₂ HPO ₄ çözeltileri (b) H ₂ SO ₄ + NaCl çözeltisi (c) NaCl + H ₂ O ₂ çözeltisi, deniz suyu (d) H ₂ S çözeltileri
Fe - Ni - C	(a) HCl + H ₂ SO ₄ , buhar (b) H ₂ S çözeltisi
Fe - Cr - Ni - C	(a) NaCl + H ₂ O ₂ çözeltisi, deniz suyu (b) H ₂ SO ₄ + Cu SO ₄ çözeltisi (c) MgCl ₂ , CoCl ₂ , NaCl, BaCl ₂ , çözeltileri (d) CH ₃ CH ₂ Cl + Su (e) ZnCl ₂ , CaCl ₂ , NH ₄ Cl çözeltileri (f) (NH ₄) ₂ CO ₃ çözeltisi (g) NaCl, NaF, NaBr, NaI, NaH ₂ PO ₄ , Na ₃ PO ₄ , Na ₂ SO ₄ , NaNO ₃ çözeltileri (h) Buhar + Klorürler (i) H ₂ S çözeltileri (j) NaCl + NaNO ₂ çözeltisi (k) Politionik asit
Nikel Alaşımları Ni	NaOH, KOH çözeltileri, erimiş NaOH
Ni - Cr - Fe	NaOH + Sülfür çözeltisi, buhar
Ni - Cu	Erimiş Sodyum Hidroksit H ₂ SiF ₆ çözeltisi, Kromik asit, buhar

Ni - Cu - Al Ni - Cu Ni - Al Ni - Cr - Fe Ni - Cr - Fe - Ti	Hidroflorik asit buharı
Diğer Alaşımlar Au - Cu - Ag	Fe Cl ₂ çözeltisi

2.11. YORULMALI KOROZYON

Periyodik olarak yükleme- boşaltma şeklinde etkiyen dinamik bir stres altında bulunan bir metal zamanla yorulur. Yorulmuş halde bulunan metal, normalden daha küçük gerilmelerin etkisi ile çatlıyabilir. Yorulma ve korozyonun birlikte etkisi metalin kısa sürede çatlamasına neden olur (Şekil -2.20).



Şekil -2.20 Yorulmalı korozyon ile oluşan çatlama

Korozyon olayı yorulma etkisi ile birlikte yürürse, parçalanma olayı yalnız başına yorulma, veya yalnız başına korozyon nedeniyle meydana gelen parçalanmadan daha kısa sürede gerçekleşir. Bu olay korozyonu destekleyen etkenlere iyi bir örnek oluşturur. Yorulmalı korozyon, bir korozi ortamda çekme veya basınç gerilmelerinin periyodik olarak değişmesi sonucu ortaya çıkar. Bunun sonucu olarak malzemenin çekme gerilmesi özelliğinde zayıflama olur.

Korozyon söz konusu olmadan, yalnızca yorulma etkisi ile bir çok çeliğin çekme dayanımı normal dayanım değerinin yarısına kadar düşebilir. En büyük düşüş, tatlı su, tuzlu su hatta rutubetli hava etkilerinin birlikte olması halinde görülür. Tuzlu su içinde çekme dayanımı limiti, normal haldeki çekme dayanımından % 6-7 daha düşüktür. Düşük alaşımlı birçok süper kalite çelikler yorulmalı korozyona adi karbon çeliğinden daha dayanıksız olabilir.

Yorulmalı korozyon için belli bir dayanma limit değeri olmadığı kesin olarak söylenebilir. Buna rağmen bir gerilme değerinde meydana gelecek arıza ihtimali önceden tahmin edilebilir. Yorulmalı korozyonun muhtemel olması halinde, ya ortam koşulları düzeltilmeli, ya da korozyona daha dayanıklı bir malzeme kullanılmalıdır. Bu amaçla inhibitörler ve katodik

koruma düşünülebilir. Yorulmalı korozyon etkisinin azaltılmasında tasarım sırasında da önlem alınması gerekir.

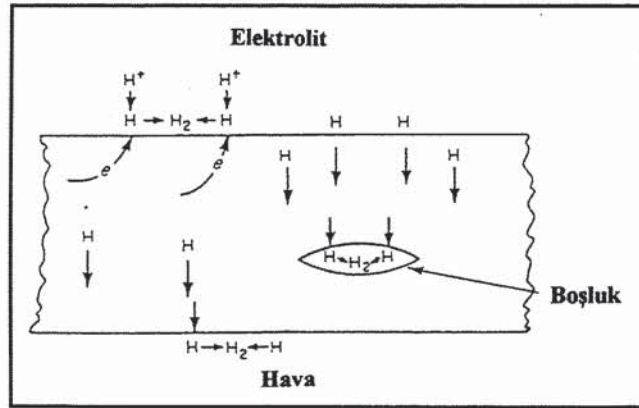
İşletme sırasında ortaya çıkan yorulma arızaları çoğu zaman yalnız yorulma, veya korozyonlu yorulma etkileri arasında yer alır. Eğer arızaya çatlama neden olmuş ise, bunun korozyondan ileri gelmediği açıktır. Çatlak oluşması korozyon sonucu değil genellikle yorulmanın neden olduğu bir arıza çeşitidir.

Yorulmalı korozyonu önlemek için yapılacak ilk iş malzeme üzerindeki gerilmeyi uygun bir düzeye düşürmektir. Bazı halde basınç gerilmesinin de azaltılması gerekebilir. Katodik koruma veya uygun bir inhibitör yorulmalı korozyonu önleyebilir. Bu yöntemler yorulmalı korozyonda, korozyon olayını tamamen durdurabilir.

Yorulmalı korozyon stres korozyonunun özel bir hali sayılabilir. Ancak alınacak önlemler biraz farklıdır. Yorulmalı korozyonu önlemenin en kolay yolu, malzeme üzerindeki stresin azaltılmasıdır. Metal yüzeyi çinko, krom, nikel veya bakır gibi metaller ile kaplanarak da yorulmalı korozyonun etkisi azaltılabilir.

2.12. HİDROJEN KIRILGANLIĞI

Bir korozyon reaksiyonu sonucu veya katodik koruma uygulamasında metal yüzeyinde hidrojen atomları oluşur. Bunlar metal yüzeyinde adsorbe edilir. Bu atomlardan bir kısmı $H + H = H_2$ şeklinde birleşerek hidrojen molekülü halinde atmosfere karışır. Hidrojen atomlarının bir kısmı da, metal bünyesine girerek orada bulunan boşluklara yerleşir. Daha sonra bu hidrojen atomları da molekül haline dönüşerek büyük bir hacim artışına neden olur. Molekül halindeki hidrojenin artık difüzyon özelliği yoktur. Metal içinde bulunan hidrojen molekülleri metal boşluklarında büyük bir basınç oluşturarak metalin çatlamasına neden olur (Şekil -2.21).



Şekil -2.21 Metal içine hidrojen penetrasyonu

Hidrojen atomu birçok şekilde çatlama ve kırılmaya neden olabilir. Korozyon sonucu ortaya çıkan hidrojen, katodik koruma sonucu oluşan hidrojen, pikling işleminde meydana gelen hidrojen veya ıslak elektrod ile yapılan kaynak işleminde oluşan hidrojen metal için sorun yaratır.

Bilindiği gibi demir (ferrit) kübik merkezli **intersititial kristal** yapısında olan bir metaldir. Hidrojen bu kristal yapıda çeşitli sorunlar yaratabilir. İntersititial kristal yapıda olan metaller kristal ağı içinde yabancı bir atom veya iyonu kabul edebilirler. Böyle bir yapı kırılabilirliği artırıcı rol oynar. Çelik içine hidrojen atomlarının girmesi çeliğin kırılabilirlik özelliğini artırır.

Demir içine girmiş alan hidrojen atomları biraz gecikmeli olarak kırılmaya neden olur. Bu durum çekme dayanımı deneyinde açıkça görülür. Eğer hidrojen hasarı söz konusu olan numune çekme dayanımı deneyine tabi tutulursa, normal çekme dayanımı bir miktar aşıldığı halde kırılma olmaz. Ancak bir kaç saat gecikme ile aniden kırılma meydana gelir. Hidrojen atomunun metal içine difüzyonu için belli bir süre geçmesi gerekir.

Islak bir elektrot ile kaynak yapılması halinde, atom halinde hidrojen ortaya çıkar. Bu reaksiyon şöyledir :



Bu reaksiyondan ortaya çıkan atomik hidrojen birçok metal bünyesine, özellikle α demir içine difüze olur.

Eğer söz konusu olan metal yük altında değil ise, metal bünyesine girmiş olan hidrojenin bir kısmı metale hiç bir zarar vermeden dışarıya çıkar. Normal sıcaklıklarda 48 saat sonra hidrojen etkisiz hale gelir. Hidrojenin bir kısmı ise, hiç bir zaman metali terketmez. Ancak metal kısa süreli yüksek sıcaklığa ısıtılırsa bu hidrojen giderilebilir.

Hidrojen nedeniyle hasar, çeliğin normal çekme gerilimi yaklaşık 700 MPa geçildikten sonra kendini gösterir. Düşük dayanımlı malzemelerde bu olaya az rastlanır. Galvanize edilmiş ağaç vidalarda özellikle kuvvetle sıkıştırılmalar halinde hidrojen kırılabilirliği etkisi görülebilir. Uygun yapılmayan pikling ve metal kaplama işlemlerinde de hidrojen hasarı görülebilir. Bunun gibi metal yüzeyinde hidrojen aşırı geriliminin yüksek olduğu bütün olaylarda hidrojen kırılabilirliği için uygun bir ortam oluşabilir. Vidaların anormal sıkıştırılması da hidrojen kırılabilirliğini artırıcı rol oynar.

Hidrojenin neden olduğu hasarı belirlemek çok güçtür. Çatlamanın gecikmesi nedeniyle uzun zaman harcanması gerekir. Uçak sanayiinde kullanılan malzemelerde kaplama işlemlerinde teknik şartnamelerin bütün detaylarına tam olarak uyulması ile zararlı sonuçların doğması önlenir. Haddehanelerde rutubetli ortamlarda çelik haddelenirken açığa çıkan hidrojen de sorun yaratabilir. Ancak bu hidrojen bir süre sonra gazlaşarak metali terkeder.

Hidrojen penetrasyonunun zararlı etkilerini gidermek veya azaltmak için şu önlemler alınabilir:

* Metal içine girmiş olan hidrojen atomları, metal 100-150 °C sıcaklığa ısıtılarak çıkarılabilir.

* Hidrojen kırılabilirliği daha çok yüksek mukavemetli çeliklerde ortaya çıkar. Çelik içine nikel veya molibden katılarak hidrojen kırılabilirliğine dayanıklılığı artırılabilir.

* Genel kural olarak, metal yüzeyinde hidrojen çıkışına meydan verilmemelidir. Örneğin ıslak halde kaynak yapılmamalıdır. Katodik korumada aşırı voltajdan kaçınılmalıdır.

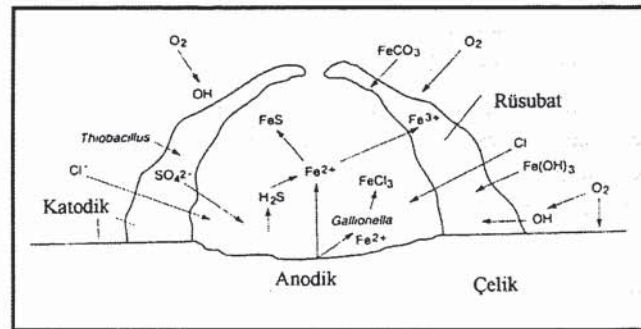
2.13. MİKROBİYOLOJİK KOROZYON

Mikrobiyolojik korozyon normal korozyon olaylarından farklı yapıda olmayıp, mikrobiyolojik olarak bazı agresif iyonların korozyon reaksiyon hızını artırması şeklinde kendini gösterir. Mikrobiyolojik korozyon büyük oyuklar meydana getirir ve genellikle tabanda oluşur. Yakından incelenirse daha çok bir organizmanın büyümesine benzer şekilde olduğu görülür.

Mikrobiyolojik korozyon olayına soğutma suyu sistemlerinde özellikle durgun bölgelerde çok sık rastlanır. Bu tip korozyonu önlemek için, pH derecesinin değiştirilmesi, aralıklı olarak klorlama yapılması veya organometalik kalay bileşiklerini kullanarak mikro canlıların öldürülmesi yoluna gidilir. Ne yazık ki bir çok mikro organizma kendisini öldürmek için kullanılan bileşiklere kısa zamanda adapte olmaktadır. Bu konuda ümit verici bir mücadele şekli de mikro organizmalar için gerekli olan bazı eser elementlerin belirlenerek bunların ortamdan yok edilmesidir. Bu elementlerden en çok bilinenler çinko ve vanadium metalleridir.

Mikro canlıların gelişmesi sonucu asitler ve sülfürler gibi bazı bileşenler ortaya çıkar. Mikroplar doğrudan elektrokimyasal reaksiyonlara da katılırlar. Bir çok mikrobu faaliyet sonucu kükürt oluşur. Hidrojen sülfür bakteriler tarafından elementel kükürt veya sülfata kadar oksitlenebilir. Bazıları da bunun tersi reaksiyonu gerçekleştirir.

Thiobacillus thio oxidans bakterileri her çeşit sülfür bileşimini sülfata oksitliyebilir. Bakterinin faaliyeti için ortamda oksijen bulunması zorunludur. **Desulfovibrio** cinsi sülfat redükleyici bakteriler ise yalnızca anaerobik ortamlarda yaşar. Bu bakterinin bulunduğu ortamda redoks potansiyeli -100mV civarındadır. Bunlar doğrudan H_2S üretirler. Mikrobiyolojik bir korozyon olayı Şekil -2.22'de şematik olarak görülmektedir. Bakteriler farklı havalanmadan ileri gelen korozyon hücrelerinin etkisini de artırıcı rol oynarlar.

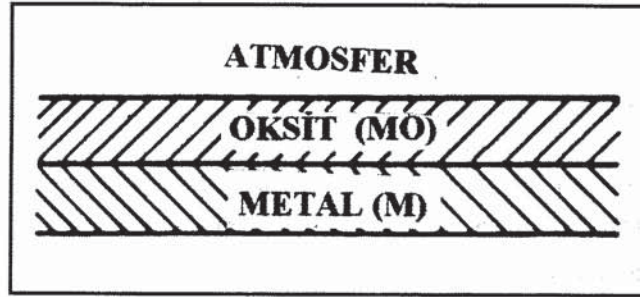


Şekil -2.22 Mikrobiyolojik korozyon olayının oluşum mekanizması

Normal korozyon olayının mevcut olmadığı ortamlarda mikrobiyolojik korozyon olayına nadir olarak rastlanır. Başka nedenlerle meydana gelen korozyon olayında mikrobiyolojik korozyon nedeniyle olayın şiddeti artar.

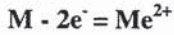
2.14. YÜKSEK SICAKLIK KOROZYONU

Havadaki oksijen veya diğer agresif gazlar ile yüksek sıcaklıkta meydana gelen korozyon olayı da, doğrudan olmasa bile yine de elektrokimyasal temele dayanır. Bir metalin yüksek sıcaklıktaki oksidasyonu Şekil -2.23'de görülmektedir.

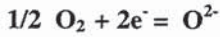


Şekil -2.23 Yüksek sıcaklıkta oksitlenme

Metal oksit bir metal iyonu M^{2+} ile O^{2-} iyonlarından oluşur. Bunun için önce bir anodik reaksiyon ile metalin yükseltgenmesi gerekir.



Daha sonra katodik bir reaksiyon olan oksijenin indirgenme reaksiyonu gerçekleşir.



Bu iki iyondan birinin oksit tabakasını geçerek birleşmesi ile metal oksit meydana gelir. Böylece katot ve anot arasında elektron akımı gerçekleşmiş olur. Katot ve anot arasında bir elektron alış veriş olduğu göre olay elektrokimyasal nitelikte sayılabilir. Normal olarak, anodik reaksiyon metal ile metal oksit tabakalarının ara yüzeyinde meydana gelir. Oluşan oksit filmi dış kısma doğru gelişir. Bu durumda metal iyonlarının oksit filminden geçerek dışa doğru difüzlmesi gerekir. Katodik reaksiyon genellikle oksit tabakası ile atmosfer temas yüzeyinde gerçekleşir. Oksit tabakasının çatlak veya poröz yapıda olan kısımları bu iş için uygundur. Bazı halde oksit iyonu, oksit tabakasını geçerek iç kısma difüzlenebilir. Bu durumda oksit tabakası metal yüzeyinde gelişir.

Her iki halde de anot ve katot ayrı yerlerde bulunur ve bu ikisi arasında bir iyon göçü ve elektron alış veriş söz konusu olur. Bu durumda oksit filmi tabakasına iyon göçüne imkan veren bir elektrolitik iletken gözüyle bakılabilir.

2.14.1.Yüksek Sıcaklıkta Enerji Dönüşümü

Yüksek sıcaklıkta metal ve alaşımların oksitlenmesi enerji üretim teknolojisinin temel problemlerinden birini oluşturur. Yanma sonucu elde edilen ısı enerjisinin mekanik enerjiye maksimum dönüşme verimi, Carnot bağıntısı ile,

$$\eta = \frac{T_H - T_C}{T_H} \times 100$$

verilir. Burada η , ısı'nın işe dönüşme verimidir. T_H , yüksek sıcaklıktaki ortamın mutlak sıcaklığı, T_C ise çevre sıcaklığıdır. T_C sıcaklığı soğutma suyu sıcaklığı olup aşağı yukarı sabittir. Verimin artırılması ancak T_H sıcaklığının artırılması ile mümkün olabilir. Bu sıcaklığın artması ile birlikte korozyon problemleri de artış gösterir. Pratikte ısıyı işe çeviren en önemli ısı makinası buhar türbinleridir. Fosil yakıtlar yakılarak üretilen ısı enerjisi bir kazanda buhar üretiminde kullanılır. Verimi artırmak için buhar sıcaklığını artırmak gerekir. Yüksek sıcaklıkta ise malzemede korozyon sorunları ortaya çıkar.

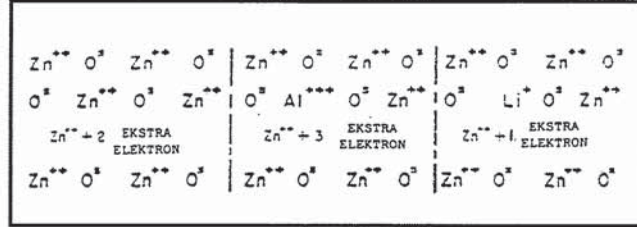
2.14.2. Yüksek Sıcaklıkta Kullanılan Malzemeler

Gaz türbinlerinde kızgın buhar ünitesi borularında korozyona dayanıklı bir alaşım bulmak üzere son yıllarda yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bunun için önce yüksek sıcaklıklarda meydana gelen oksidasyon olayı gözden geçirilmelidir. Amaç, normal sıcaklıklarda alüminyum metalinin yüzeyinde oluşan etkili şekilde koruyucu özelliği olan bir oksit tabakasına benzer bir oksidin oluşmasını sağlamaktır. Metal yüzeyinde oluşan oksit filmi, metali çevreden hem elektrik akımına karşı hemde kimyasal maddelerin diffüzyonuna karşı etkili şekilde koruyabilirlerse korozyon önlenir. Ne yazık ki, yüksek sıcaklıkta oluşan oksit filmi bu özellikte değildir. Yakıt cinsine bağlı olarak, kazanın kızgın buhar ünitesinde boru yüzeyinde oluşan korozyon ürünleri kül ile karışarak erimiş bir kabuk meydana getirir.

Bu konuda ilk yapılacak çalışma, metal iyonlarının içten dışa doğru difüze olarak mı, yoksa oksijen iyonunun dıştan içe doğru girmesi ile mi, oksit tabakasının geliştiğinin belirlenmesidir. Bunun için en kolay yöntem metal yüzeyine ince bir platin tel sarmak ve bu telin oksit tabakası dışında mı kaldığı yoksa içine mi gömüldüğünü kontrol etmektir.

2.15. METALLERİN OKSİTLENMESİ

Oksitler genellikle yarı iletken özelliktedir. Bu durum, oksit filmi içinden elektrik yükü altında, ya pozitif ya da negatif yüklü taneciklerin bir taraftan öteki tarafa göç edebileceği anlamına gelir. Fakat ikisi birden göç edemez. Bunu açıklamak için oksit tabakasının yapısını inceleyelim. (Şekil -2.24).



Şekil -2.23 Çinko oksit tabakası içinde iyonların dağılımı

Oksit tabakası içinde bazı metal iyonları ekstra elektron taşır. Bu elektronlar, çevresinde bulunan atomlardan daha yüksek enerji seviyesinde olup iletim işlemi için uygun ortam oluştururlar. Eğer bazı çinko iyonları kendisinden daha yüksek veya daha düşük değerlikte olan başka bir iyon ile yer değiştirmiş ise, buna eşdeğer sayıda ekstra elektron bulunacaktır. Zn^{++} iyonu yerini alan her Al^{+++} iyonunun, iletim için verebileceği bir ekstra elektronu bulunacaktır. Bu durumda çinko oksit tabakası daha az koruyucu özellik gösterecektir. Eğer çinko içinde Li^+ gibi tek değerli bir yabancı iyon bulunursa, bu da çinko oksit tabakasının daha koruyucu olmasını sağlayacaktır. Elektronlar ile iletimin söz konusu olduğu ZnO tabakası (n) tip bir yarı iletken olarak tanımlanır.

Değişik tip ve karakteristik yapıda olan oksitler Tablo -2.2'de verilmektedir. (p) tip yarı geçirimsizliğin fiziksel anlamı şöyle açıklanabilir. Oksit içinde düşük enerji düzeyinde bir kaç elektron çukuru bulunur. Çevrede bulunan elektronlar bu çukura doğru hareket ederler. Elektron çukurunda negatif kütle veya pozitif yükler bulunabilir. (p) tipi yarı iletkenlerde pozitif yük oksitler üzerinden taşınır. Metal yüzeyinde meydana gelen oksitlerin gelişmeleri sırasındaki gerilmeler de önemlidir. Bu gerilmeler oksit tabakasının metal yüzeyine yapışma derecesini belirler.

ÇİZELGE -2.2 ÇEŞİTLİ OKSİT SINIFLARININ KARAKTERİSTİKLERİ

Yarı İletken	Po ₂ 'nin artışı	Yüksek değerlikli katyon bulunması	Düşük değerlikli katyon bulunması	Örnek
(p) Tip Metal Azlığı, Katyon Boşluğu + Elektron Eksikliği	Kc artar	Kc Azalır	Kc artar	Cu ₂ O
(n) Tip Metal Fazlalığı Ara Katyonlar + Elektronlar.	Kc azalır	Kc artar	Kc azalır	Zn O
(n) Tip Oksijen Azlığı Anyon Boşluğu+Elektronlar	Kc azalır	Kc artar	Kc azalır	Al ₂ O ₃

2.16. ALAŞIMLARIN OKSİDASYONU

En basit hal olarak alaşım içinde bulunan her metalin yaklaşık olarak eşit oksitlenme karakterinde olduğunu düşünelim. Bu durumda oksit yapısı saf metalde olduğu gibi gelişecektir. **Spinel tipi oksitler (R₂O₃)** kübik bir yapı gösterir ve metal yüzeyine yayılarak

iyi bir koruma sağlar. Paslanmaz çelikler buna bir örnektir. Bu durumda R' metali krom, R metali de nikel veya demirdir.

Bu oksitlerin iletkenliği düşüktür. Bileşiminde % 18 Al ve kalanı demirden oluşan alaşım ise, koyu kırmızı $FeO \cdot Al_2O_3$ oksidini oluşturur. Bu oksit tabakasının korozyon direnci son derece yüksektir. Bu alaşım düşük sıcaklıklarda kromlu çelikler yerine kullanılabilir. Ancak yüksek sıcaklıklarda dayanıklı değildir. Demir-alüminyum alaşımları safsızlıklara karşı çok duyarlı olduğu için bunların üretilmesi oldukça zordur. 1200 °C'in üzerinde işlenmesi gerekir. Yüksek oranlarda nikel ve kobalt katılarak kaliteli alaşımlar elde edilebilir. Bunlar spinel tipte oksit oluştururlar. Normal sıcaklıklarda koruyucu olan bu oksit tabakaları yüksek sıcaklıklarda koruyucu değildir.

Alaşım içinde bulunan daha az soy element yüzeyde yanarak oksitlenirken soy elementin yüzdesi artar. Böylece yüzey soy element bakımından zenginleşmiş olur. Örneğin, eğer altın ile bir alaşım yapılmış ise, yüzeyde altın korozyona dayanıklı bir tabaka oluşturur. Bu yöntemle soy bir metal ile nikel alaşımı yapılarak korozyona dayanıklı alaşımlar elde edilebilir.

2.17. SIVI OKSİTLER

Bir çok halde yüksek sıcaklıklarda oluşan oksitler sinterleşme eğilimi gösterir. Yüksek sıcaklık uygulamalarında sıvılaşmaya başlayan oksitler yanma sonucu oluşan kül ve diğer katı maddelerle karışarak oksit cürufu haline dönüşürler.

Bazı halde yüksek sıcaklıkta oluşan oksitler ile diğer bileşenler daha düşük erime noktası olan bir **öyteklik karışım** oluşturabilir. Eğer metalin değişik değerlikli oksitleri meydana geliyorsa, öyteklik karışımın oluşması kolaylaşır.

Birçok alaşım içinde bulunan demirin üç farklı oksidi vardır. FeO , Fe_3O_4 ve Fe_2O_3 . Bunların üçü bir arada bulunamaz. Vanadyum elementinin de çok sayıda oksidi vardır. V_2O , VO , V_2O_3 , V_2O_4 , V_2O_5 . Bunlar bir arada olabilir. Birçok yerde demir, vanadyum ve sodyum birlikte düşük erime noktalı karışımlar oluşturabilir. Bu konu kazanlarda kızgın buhar ünitelerinin temel sorunudur.

Petrol rafineri işlemlerinde, damıtma devam ettikçe hafif ürünler ayrılır. Bunun sonucu olarak kalan kısmın içinde kükürt ve vanadyum yüzdesi gittikçe artar. Böylece yakıt olarak kullanılan fuel-oil içinde vanadyum yüzdesinde artış olur. Bu durum enerji üretiminde sorun yaratır.

Gerçekte malzemelerin çoğu cüruf içinde yüksek bir korozyon hızı gösterir. Bu bakımdan en iyisi Co-Cr alaşımlarıdır. Bir çok alaşım en çok birkaç ay dayanabilir. Bu problem düşük erime noktalı vanadyum cüruflarından kaynaklanmaktadır. Problemi çözmek için ya vanadyum kullanmamak veya yüksek erime noktalı vanadyum bileşiklerinin oluşmasını sağlamaktır. Bu sonuncu yöntem, Ca veya Mg bileşikleri katılarak uygulanabilir. Ancak bu bileşikleri kızgın buhar borularının çevresinde yeterli miktarda bulundurmamak son derece güçtür. Yakıt içinden vanadyumun uzaklaştırılması da pahalı bir çözümdür.

Yakıt içinde bulunan kükürt de vanadyum kadar sorun yaratır. Sülfatlar veya piro sülfatlar cürufun erimesini kolaylaştırır. Kalsiyum veya magnezyum bileşiklerinin ilavesi ile kükürdün % 90 'ını bağlamak mümkün olur.

Erimiş tuzlar, özellikle yüksek sıcaklıklarda iyonik iletkenlik gösterir. Yalnız fosfat veya silikat tuzları eridiklerinde kompleks iyon oluşturdıklarından iletkenlikleri çok düşük, buna karşılık viskoziteleri yüksek olur. Bu nedenle, bu tuzların varlığı korozyon hızını artırır. Ortamda oksitleyici veya redükleyici iyonların bulunması da polarizasyonu önleyeceği için korozyon hızını artırıcı olarak rol oynar. Düşük sıcaklıkta sulu çözeltiler içinde meydana gelen her korozyon olayı yüksek sıcaklıklarda da aynen gerçekleşebilir.

Metalin sıvı olması halinde, çözeltiler içindeki korozyona göre, etki biçimi çok değişik bir şekil gösterir. Çözeltiler içindeki korozyon olayı, tane yüzeylerindeki çeşitli hatalardan kaynaklanır. Erimiş kütle ile metal tanelerinin ara yüzeyinde oluşan yüzey gerilimi korozyon açısından önemlidir. Erimiş tuzlar içindeki korozyon olayları da buna benzer şekildedir. Metal kaybı kabul edilebilir seviyede olsa bile, sistemin soğuk olan bölgelerinde dış biçiminde donması sonucu toplam ısı transferinde sorun yaratır.

Erime noktasını düşürmek amacıyla katılan tuzlardan başka, bazı halde sistem içine istenilmeden de tuz karışabilir. Bu tip olaylara metallerin eritilerek saflaştırılması sırasında raslanır. Cüruf oluşturan bu erimiş tuzlar genellikle yüksek molekül ağırlıklı ve viskoziteli olup korozyon bakımından çok etkili değildir.

Erimiş tuzların elektrolizi ile reaktif metal üretiminde, açığa çıkan saf metalin korozyondan korunması genellikle kolay olur. Çünkü bu metaller katotda açığa çıktıklarından katodik olarak korunmuş haldedirler.

2.18. METAL OLMAYAN MALZEMELERDE KOROZYON

Metallerin dışındaki diğer malzemeler de korozyon veya başka nedenlerle bozulabilir. Bu bozulma da metallerde olduğu gibi ekonomik zarar doğurur. Burada mekanik eskime olayı dışında diğer nedenlerle meydana gelen bozulmalardan bahsedilecektir.

Betonlar donma ve çözünme olayı ile kolayca parçalanır. Bu olay tuz bulunması halinde şiddetlenir. Beton içine tuzlu suların girmesi nedeniyle meydana gelen betonarme demirlerinin korozyonu ilerde ayrıca ele alınacaktır. Betonlar asit etkisi ile de parçalanabilir. Yağmur suları kabondiyoksit ve kükürt dioksit gibi asit karakterli gazları çözer. Böylece yağmur suları asitli bir karakter gösterir. Bakteriyel çürümeler daha derişik asit çözeltileri oluşmasına neden olur. Örneğin betondan yapılmış borular atık suların etkisi ile önemli şekilde korozyona uğrar. Doğal kalker taşları ve mermer de buna benzer şekilde asitli sulardan etkilenirler.

Polimerleşme yoluyla elde edilen plastik maddeler de ultraviyole ışınlarından ve ozondan etkilenerek parçalanabilir. Bunu önlemek için karbon siyahı pigment ile radyasyon etkisi giderilebilir. Otomobil lastiklerinde bu şekilde önlem alınmıştır.

Plastik maddelerin mekanik dayanıklılığı konusunda da bazı sorunlar vardır. Özellikle büyük çaplı plastik borularda enine olarak gerilme ve sıcaklık dağılımı konusuna çok dikkat edilmelidir. Bir başka problem de, plastik lif ile takviye edilmiş basınçlı kaplarda meydana gelen arızalardır. Bu kaplarda görülen kırılma olayının sebebi tam olarak bilinmemektedir.

Ahşap malzeme de çeşitli şekillerde bozulur. Ahşabı korumak için biyolojik etkilere karşı önlem alınması gerekir. Ahşabın düşmanı mikroorganizmalar ve çeşitli böceklerdir.

Polimer plastikler, solvent ve buharlarının etkisi ile de bozulabilirler. Bunun için plastiğin uzun süre solvent etkisinde kalması gerekir. Bazı boya solventleri veya tinerleri plastikler üzerinde stres çatlamasına neden olabilir.

Metallerin korozyon olmayan nedenlerle bozulması da söz konusudur. Örneğin düşük sıcaklıkta bazı çelik cinsleri kolayca kırılır. Bu nedenle kış aylarında dış ortamda kullanılacak çelik cinsleri iyi seçilmelidir. Çekme halatı gibi kışın kullanılacak çeliklerin -45°C 'den daha düşük sıcaklıklarda düktilitesinin minimum değere düşeceği göz önüne alınmalıdır.

BÖLÜM -3

KOROZİF ORTAMLAR VE KORUNMA YÖNTEMLERİ

Korozyon olayı çeşitli ortamlar içinde değişik şekilde ortaya çıkar. Esas olan çözünmüş halde iyon içeren bir çözeltinin (elektrolitin) bulunmasıdır. Bu açıdan bakıldığında yalnız sulu çözeltiler değil, hava, zemin, beton gibi rutubet içeren ortamlar da korozyona neden olabilirler. Bütün bu ortamlar içinde elektrolitik tipte korozyon olayı gerçekleşir. Atmosferde bulunan tanklar, depolar, direkler, korkuluklar, zemin içinde bulunan boru hatları, beton içinde bulunan betonarme demirleri ve deniz içindeki gemiler, iskeleler korozyon olayı ile karşı karşıyadır. Bütün bu ortamlarda meydana gelen korozyon olayı aynı karakterde olmakla beraber, değişik ortamlarda metal yüzeyine oksijen difüzyon hızı bir birinden farklı olduğundan korozyon hızları ve etkisi de birbirinden farklıdır. Bu ortamlarda yürüyen korozyon olaylarının ayrı ayrı ele alınarak incelenmesi uygun olur.

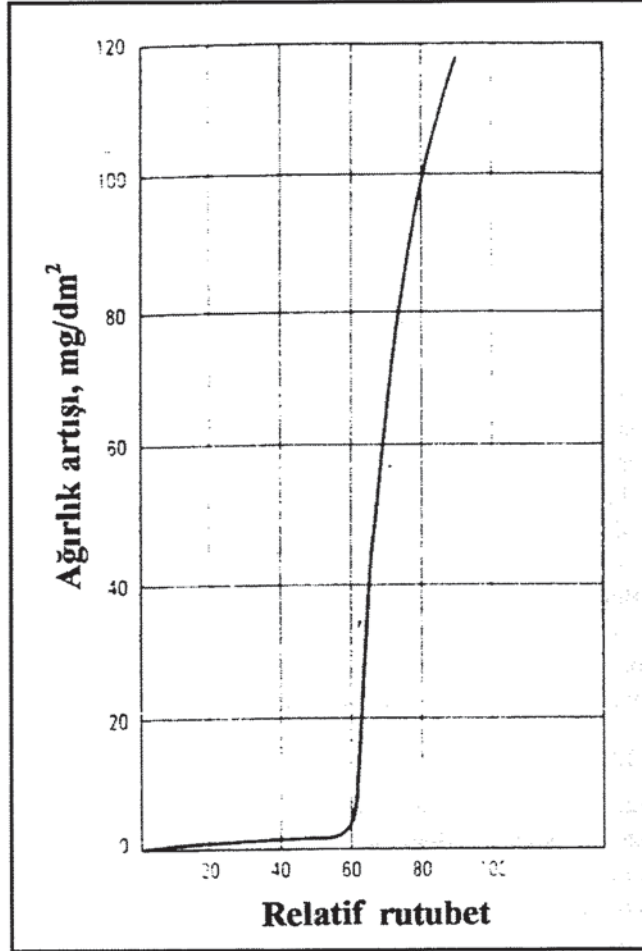
3.1 ATMOSFERİK KOROZYON

Atmosfer içinde bırakılan metaller zamanla korozyona uğrar. Endüstride birçok metalik yapı açık atmosferde bulunur. Bunların başlıcası, köprüler, direkler, çatılar, balkonlar, korkuluklar, depolar, taşıt araçları v.b. sayılabilir. Doğrudan açık atmosferde kalmayan kapalı bölgelerde bulunan metal yapılarda da daha az olarak korozyon meydana gelir.

3.1.1 Atmosferik korozyona etki yapan faktörler

Rutubetin Etkisi

Kuru bir atmosfer içinde normal sıcaklıkta korozyon söz konusu olmaz. Belli bir relatif rutubet altında da atmosferik korozyon hızı çok azdır. Düşük relatif rutubet değerlerinde metal yüzeyinde sıvı filmi oluşmaz Korozyonun oluşması için metal yüzeyinde belli kalınlıkta bir sıvı filminin bulunması gerekir. Eğer sıvı filmi yeterli kalınlıkta değil ise, atmosferik korozyon söz konusu olmaz. Sıvı filmin etkili bir kalınlığa ulaşması, atmosferin relatif rutubetinin belli bir değere "**kritik rutubet**"e ulaşması ile mümkün olabilir. Bu nedenle atmosferik korozyon hızı doğrudan havanın relatif rutubetine bağlıdır. Ancak metal yüzeyinde toz, kir, kurum v.b. katı tanecikler varsa, daha düşük relatif rutubetlerde de metal yüzeyinde sıvı yoğunlaşması görülebilir. Katı tanecikler genellikle higroskopik özelliktedir. Katı tanecikler üzerinde daha düşük buhar basıncında bile yoğunlaşma gerçekleşebilir. Demirin atmosferik korozyon hızının relatif rutubete göre değişimi Şekil -3.1'de görülmektedir.



Şekil -3.1 Demirin atmosferik korozyon hızının relatif rutubete göre değişimi

Kapalı alanlarda bulunan çelik yüzeyler için kritik relatif rutubet % 60, açık atmosferler için % 80'dir. Bu limit değerler, sıcaklığın 0 °C'nin üzerinde olması halinde geçerlidir. Relatif rutubetin ve sıcaklığın uygun olduğu durumda çelik yüzeyinde ince bir sıvı filmi oluşur. Filmin kalınlığı ve yüzeyin ıslak kaldığı süre çok önemlidir. Sıvı filminin çok kalın olması halinde de, oksijen difüzyonunun güçleşmesi nedeniyle korozyon hızında azalma görülür. Sıvı filmi 150 µm değerinde iken korozyon hızı maksimum değere ulaşır.

Dış ortamda bulunan metaller yağış etkisi ile ıslanır. Yağış ile ıslanan metal yüzeyinin kuruma süresi yağış cinsine ve meteorolojik koşullara bağlıdır. Metal yüzeyinde birim yüzey alanında bulunan su miktarı korozyon açısından önemlidir. Bu miktar değişik meteorolojik koşullarda farklıdır. Çeşitli meteorolojik ortamlarda yaklaşık değerler şöyledir:

TABLO -3.1 METAL YÜZEYİNDE BULUNAN SU MİKTARLARI

Meteorolojik ortam	Yüzeyde bulunan su
Kritik relatif rutubette	0.01 g/m ²
% 100 relatif rutubette	1 g/m ²
Yüzey çiğ ile kaplı halde	10 g/m ²
Yüzey yağmur ile ıslanmış halde	100 g/m ²

Yağışın yalnız miktarı değil, sıklığı ve yağıştan sonra metal yüzeyinin ıslak kalma süresi de büyük önem taşır. Metal yüzeyinin kuruma süresi, havanın rüzgarlı veya güneşli olmasına göre değişir.

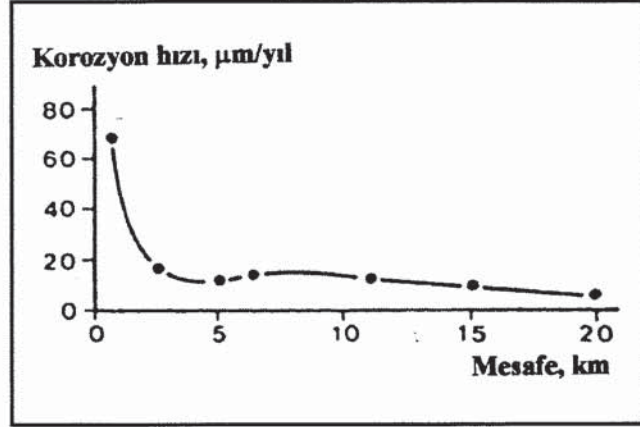
Rutubet Filminin Elektrolitik Özellikleri

Rutubet filmi içinde korozyon yapıcı yabancı bileşenler bulunabilir. Bunlar kükürt oksitler, azot oksitler, karbon dioksit ve klorür iyonlarıdır. Bunlar korozyon hızını artırıcı olarak rol oynar. Atmosferik korozyonun gerçekleşmesi için metal yüzeyindeki sıvı filmi içinde çözünmüş halde oksijenin bulunması gerekir. Atmosferden alınan oksijen, rutubet filmi içinde çözünerek metal yüzeyine kadar difüze olur. Bu nedenle rutubet filminin kalınlığı oksijen transfer hızı yönünden büyük önem taşır. Kalın bir rutubet filmi içinden metal yüzeyine kadar oksijen taşınması son derece güçtür. Bu nedenle zaman zaman ıslanan ve kuruyan yüzeylerdeki korozyon hızı, sürekli ıslak kalan yüzeylere göre daha yüksektir.

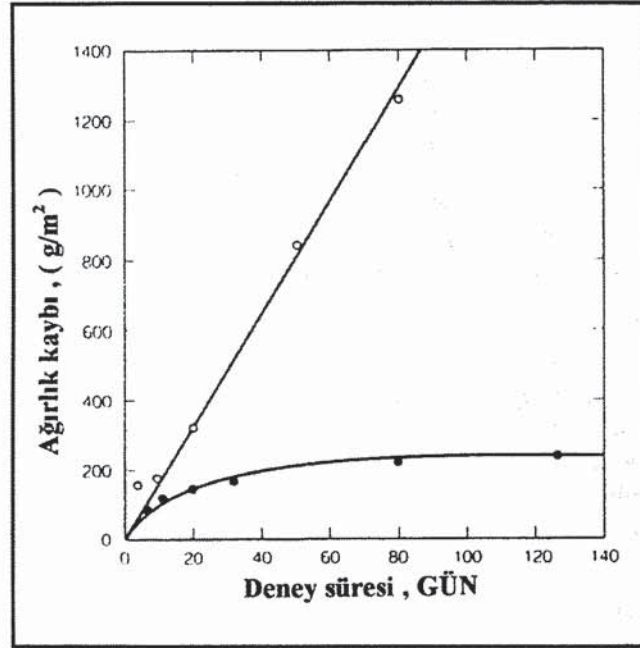
Kükürt oksitler

Atmosferik korozyon açısından havada bulunan kükürt dioksit konsantrasyonu büyük önem taşır. Eğer metal yüzeyinde korozyon ürünleri varsa ve havanın relatif rutubeti de yüksek ise, havadaki SO₂'nin yüzeyde adsorbsiyonu daha kolay olur. Havanın relatif rutubetinin % 80'den yüksek olması halinde pratik olarak bütün SO₂ molekülleri metal yüzeyinde bağlanabilir. Kükürt dioksit önce oksijen ile birleşerek kükürt trioksit, daha sonra da su ile birleşerek sülfürik asit haline dönüşür. Böylece yüzeydeki rutubet filminin pH derecesi 4'ün altına düşer.

Hava içindeki kükürt dioksitin başlıca kaynağı yanma olayları sonucu atmosfere atılan baca gazlarıdır. Kömür ve petrol içinde bir miktar kükürt bulunur. Bu kükürdün büyük bir kısmı yanma sonucu kükürt oksitleri halinde atmosfere karışır. Bacadan çıkan bu gazlar yakın çevrede etkili olur. Fakat birkaç kilometre uzaklıkta etki oldukça azalır. Kükürt dioksitin atmosferik korozyon üzerine etkisi Şekil - 3.2 (a) ve (b)'de görülmektedir.



Şekil -3.2 (a) Baca gazı içindeki kükürt oksitlerinin korozif etkisinin mesafeye göre değişimi



Şekil -3.2 (b) Kükürt dioksit bulunan ve bulunmayan atmosferlerde korozyon hızının zamanla değişimi. (I) Kükürt dioksit bulunmayan atmosfer, (o) Kükürt dioksit içeren atmosfer

Şekil -3.1(a)'da görüldüğü gibi, baca yakınında $70 \mu\text{m}/\text{yıl}$ olan korozyon hızı 3 km'den sonra $20 \mu\text{m}/\text{yıl}$ değerinin altına düşmektedir. Yüksek bacalarda bu etki daha azdır. Bacanın yüksek oluşu baca gazlarının daha geniş bir alana dağılmasına neden olur. Bu durumda da, kükürt oksit gazları çevrede geniş bir alanda zamanla asit yağmuru etkisi gösterir. Böylece çok geniş bir alanda bulunan bütün metaller uzun süreli korozyon etkisinde kalmış olur.

Klorür

Denizden gelen rüzgarlar, sis halinde klorür iyonları taşır. Deniz atmosferi etkisinde kalan metal yapılar üzerinde toplanan bu klorür tuzları korozif etki yapar. Klorür etkisi denize açık olan ilk birkaç km içinde kendini gösterir.

Katı partiküller

Metal yüzeyinde biriken inert katı partiküller,örneğin toz ve is de korozyon açısından önemlidir. Bunlar metale doğrudan hiçbir etki göstermedikleri halde rutubet tutmaları ve asidik bir ortam oluşturmaları nedeniyle zararlı olur.

Sıcaklık

Sıcaklık arttıkça korozyon hızında artış meydana gelir. Ancak sıcaklığın artışının atmosferik korozyon üzerine bir de aksi yönde etkisi vardır. Yüksek sıcaklıkta metal yüzeyinde bulunan rutubet filmi kısa sürede kurur. Böylece korozyon olayı artık devam edemez. Bu iki karşı etki nedeniyle korozyon hızı belli bir sıcaklıkta maksimum değere ulaşır. Bu sıcaklık aşıldıkça korozyon hızında yeniden azalma gözlenir.

Suyun donma noktası olan 0°C 'nin altında korozyon hızı genellikle ihmal edilecek kadar azdır.

3.1.2 Çeşitli atmosferlerin koroziflik derecesi

Kırsal atmosfer

Kentlerden ve endüstriyel tesislerden uzak olan bölgelerde atmosferin kirlilik derecesi çok azdır. Bu nedenle kırsal atmosferler içinde korozyon hızı çok düşüktür. Kırsal atmosfer içinde bulunan bir metal yüzeyine atmosferden taşınan SO_2 değeri $10 \text{ mg}/\text{m}^2/\text{gün}$ 'den, klorür değeri de $5 \text{ mg NaCl}/\text{m}^2/\text{gün}$ 'den azdır.

Kentsel atmosferler

Kent atmosferinde, konut ısıtılması ve trafikten kaynaklanan kükürt dioksit konsantrasyonu oldukça yüksektir. Kent atmosferindeki metal yüzeyine taşınan SO_2 değeri $10\text{-}80 \text{ mg}/\text{m}^2/\text{gün}$ arasında değişir.

Endüstriyel atmosfer

Endüstrinin cinsine ve bacaya olan mesafeye göre kükürt dioksit konsantrasyonu değişir. Bazı halde $200 \text{ mg/m}^2/\text{gün}$ değerini aşabilir. Kaynağa yakın olan bölgelerde korozyon hızı çok yüksektir.

Deniz atmosferi

Denizden gelen rüzgarlar sis halinde tuz taşırlar. Bunlar denizden olan uzaklığa ve topoğrafik koşullara bağlı olarak çevrede bulunan yapılar üzerinde birikir. Yıllık klorür değeri $5\text{-}500 \text{ mg NaCl/m}^2/\text{gün}$ değeri arasında değişir. Deniz kıyısında olan metallerde bu değer $1500 \text{ mg/m}^2/\text{gün}$ değerini bile aşabilir. Bu tuzluluk metal üzerinde deniz suyu ile ıslanmaktan daha fazla etkili olur.

3.1.2 Atmosferik korozyon hızı

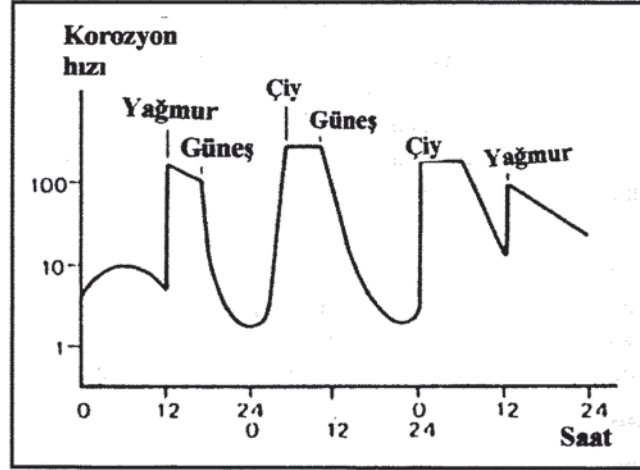
Atmosferik korozyon hızı metalin atmosfere konulduğu anda en yüksektir. Zamanla azalır. Metal yüzeyinde bulunan rutubet filminin kalınlığına göre de değişim gösterir. Bu nedenle metalin atmosfere ilk bırakıldığı andaki koşullar büyük önem taşır. Eğer metal başlangıçta az korozif bir ortamda bekletilirse, yüzeyde koruyucu bir oksit filmi oluşturarak korozyona dayanıklı hale gelir.

Endüstriyel atmosferde 16 yıl bırakılan bir çeliğin korozyon hızının zamanla değişimi Tablo -3.2 de görülmektedir.

TABLO -3.2 ENDÜSTRİYEL ATMOSFERDE 16 YIL BIRAKILAN YUMUŞAK ÇELİĞİN KOROZYON HIZININ ZAMANLA DEĞİŞİMİ

Yıllar	Korozyon hızı $\mu\text{m/yıl}$	Toplam korozyonun bir yıla düşen payı, %
1. yıl	12,50	60
2. yıl	1,50	8
3 - 4 yıllar	1,25	6
5 - 6 yıllar	0,625	3
9 - 16 yıllar	0,200	1
Toplam 16 yıl	20,6	100

Yağış, çiğlenme ve güneşli havalarda atmosferik korozyon hızının günün saatlerine göre değişiminin relatif değerleri de Şekil -3.3'de görülmektedir.



Şekil -3.3 Günün saatlerine göre atmosferik korozyon hızının değişimi.

Metal yüzeyi ıslak olduğu zaman korozyon hızı çok yüksektir. Yüzey kuruyunca korozyon hızında ani düşme görülür. Bu nedenle herhangi bir andaki korozyon hızından çok yıllık korozyon hızı önemlidir. Bir metal bir kaç yıl aynı koşullarda atmosfer içinde bekletilerek buradan yıllık korozyon hızı elde edilebilir. Tablo -3.3 de bazı metallerin çeşitli atmosferler içinde yıllık korozyon hızı değerleri görülmektedir.

TABLO -3.3 BAZI METALLERİN ÇEŞİTLİ ATMOSFERLER İÇİNDE KOROZYON HIZLARI

Atmosfer cinsi	Korozyon hızı, $\mu\text{m} / \text{yıl}$			
	Çelik	Çinko	Alüminyum	Bakır
Kırsal atmosfer	5-10	0.5-1	<0.1	<1
Deniz atmosferi	10-30	0.5-2	0.4-0.6	1-2
Endüstriyel atmosfer	10-60	1-10	1	1-3

Metal Cinsinin Etkisi

Çeşitli metallerin atmosferik korozyona dayanıklılıkları farklıdır. Atmosferik korozyona dayanıklılık, metalin standard elektrot potansiyelleri sıralamasındaki soyluk derecesi yanında,

atmosfer içinde pasifleşebilme özelliğine de bağlıdır. Bazı metallerin yüzeyinde koruyucu bir oksit tabakası oluşarak atmosferik korozyona karşı son derece dayanıklı bir kabuk meydana gelir. Bu cins metaller soy olmadıkları halde, atmosferde uzun süre dayanabilirler. Örneğin alüminyum ve çinko demirden daha elektronegatif potansiyele sahip olmasına rağmen, atmosferik korozyona demirden daha dayanıklıdır. Bu metallerin yüzeyinde oluşan oksit filmi yüzeye sağlamca yapışarak metali korozyondan korur. Demir yüzeyinde oluşan oksit filmi de bazı halde koruyucu özellik gösterebilir. Bu durum atmosferik koşullara ve özellikle metallerin atmosfere ilk konduğu andaki koşullara bağlıdır. Eğer metal, başlangıçta iyi koşullarda bir atmosfere konulmuş ve uzun süre bu koşullarda bekletilmiş ise, (örneğin düşük rutubetli bir ortamda) metal yüzeyinde koruyucu özelliği daha iyi olan bir oksit filmi oluşacaktır.

Metallerin estetik olarak , ya parlak metalik halde bulunması, ya da düzgün görünüşlü bir oksit filmi ile kaplanmış olması istenir. Parlak görünüş kromlu paslanmaz çeliklerde olduğu gibidir. İyi koşullarda atmosferde bekletilmiş bakır veya çelik yüzeyleri ise, iyi görünüşlü bir oksit filmi ile kaplanmış haldedir. Bu durumdaki metalleri ayrıca korumağa gerek yoktur.

Atmosfere Dayanıklı Çelikler

Uygun bir boyama yapılmadan atmosfere bırakılan yumuşak çeliğin korozyon hızı genellikle çok yüksektir. Bununla beraber, çelik içine bakır ve nikel gibi bazı elementlerden az miktarda katılması ile elde edilen düşük alaşımlı çelikler yüzeylerinde oluşan koruyucu oksit filmi nedeniyle korozyona karşı dayanıklı hale gelirler. Bu yöntemlerle, atmosferde hiç boya ihtiyacı olmadan kullanılabilen çok sayıda çelik alaşımı yapılabilmektedir. Bu çelikler üzerinde oluşan oksit filmi koyu kahverengi ile açık mavi arasında bir renk olur.

Bu tip çelikler atmosferde uzun yıllar oksit filmi bozulmadan kullanılabilir. Bu süre içinde bazı bölgelerde oksit tabakasının delinmesi ile hafif pas lekeleri oluşabilir. Özellikle çevreden klorür bulaşması halinde koruyucu filmin bozulması kolaylaşır. Atmosfer için hazırlanmış olan bu tip düşük alaşımlı çelikler kuru atmosfer içinde dayanıklıdır. Eğer çelik ıslanır veya ıslak bir beton ile temas ederse, bu durumda bu çelikler de normal çelikler gibi korozyona uğrar.

Düşük bakır ve nikelli çelik alaşımlarının diğer bir avantajı da, uzak bölgelere açıkta taşınabilmesidir. Bu taşıma maliyetini azaltır. Elektrik direkleri buna bir örnektir. Bu çeliklerin normal karbon çeliklerinden daha az kırılma eğilimi de diğer bir avantajını oluşturur. Eğer klorür kirlenmesi yoksa, atmosferde hiç bir bakım gerektirmeden uzun süre kullanılabilir.

Atmosferde bırakılan bir çeliğin burada ne kadar kullanılabileceğinin bilinmesi çok önemli bir konudur. Bu amaçla literatürde aşağıdaki bağıntı verilmiştir.

$$\Delta w = K t^N$$

Burada,

Δw : Korozyon hızı, (μm olarak kalınlık)

t : Bekleme süresi, (yıl olarak)

K, N : Sabit

K ve N sabitleri belli bir malzeme ve ortam için kısa süreli bir deneyle tayin edilebilir. Örneğin iki yıl süreli bir deney ile elde edilen sabitler, on yıldan fazla bir süre içinde meydana gelecek korozyon hızını belirlemek için kullanılabilir. Daha kısa süreli deneylerden elde edilen sabitler ile hesaplanan sonuçlar tam güvenli değildir.

Atmosferin Kontrolü

Atmosferik korozyonun kontrolünde akla gelen ilk husus rutubetin giderilmesidir. Relatif rutubetin % 40'ın altına düşmesi halinde atmosferik korozyon hızı ihmal edilecek kadar azdır. Fakat atmosferin rutubetinin kontrol altına alınması çok özen isteyen bir uğraş gerektirir. Rutubet, su buharını tutucu bir engel konularak kontrol edilebilir. Ne var ki, birçok plastik malzeme su buharını ve oksijeni geçirebilir. Ancak metalik kaplamaların su buharı permeabilitesi sıfırdır.

Deniz nakliyatında rutubeti önlemek için, metalden yapılmış ambalaj kağıtlarına sarıp iç kısma da rutubet çekici maddeler konulur. Daha ileri düzeyde bir atmosferik kontrol ise, malzemeyi metalik kaplanmış ambalajlar içine koyduktan sonra, ambalaj içinin inert bir gaz ile doldurulmasıdır.

Deniz nakliyatında daha az uygulanan bir diğer atmosferik kontrol yöntemi de, gemi depolarının tamamen izole edilerek inaktif hale getirilmesidir. Havalandırma, rutubeti giderilmiş atmosfer ile yapılır ve ortamın relatif rutubeti sürekli kontrol edilir. Uzun denemeler, rutubetin düşük düzeyde tutulması ile korozyonun tam olarak önlenemediğini göstermiştir.

Bazı hassas cihazların bulunduğu odaların da yukardaki uygulamaya benzer şekilde rutubet kontrolü altında tutulması uygun olur. Bu amaçla yapılacak masraflar çok fazla değildir ve korozyonun ekonomik olarak önlenmesini sağlayabilecek düzeydedir.

3.2 SU ALTI KOROZYONU

Endüstride kullanılan birçok ekipman ve malzeme su ile temas eder veya su etkisinde kalır. Özellikle inşaat sektöründe ve fabrikalarda kullanılan bu ekipmanlar şunlardır:

- * Su iletim tesisleri, borular, valfler ve pompalar
- * Soğutma suyu sistemleri, borular, ısı değiştiriciler
- * Merkezi ısıtma sistemleri, radyatörler, valfler
- * Kazanlar, jeneratörler, kızgın buhar üniteleri, buhar türbinleri, kondenserler
- * Gemi gövdeleri, pervaneler, dubalar, deniz içi kazıkları, baraj kapakları ızgaralar

Su altı korozyonu genel olarak iki grup altında toplanabilir. 1) Tatlı sular içinde korozyon, 2) Deniz suyu içinde korozyon. Bunlardan başka kondens suları (saf sular) içindeki korozyon da bazı farklılıklar gösterir.

3.2.1 Tatlı Su İçinde Korozyon

Bir tatlı suyun korozif özelliği, başta çözünmüş oksijen konsantrasyonu olmak üzere, elektiriksel iletkenlik, pH, sertlik, bikarbonat ve klorür iyonları konsantrasyonuna bağlıdır.

Oksijen Konsantrasyonu

İçinde çözünmüş halde oksijen bulunmayan nötral sular içinde korozyon olayı gerçekleşmez. Oksijen olmayınca katot reaksiyonu yürümez, sonuç olarak bütün korozyon olayı da gerçekleşmemiş olur. Saf su içindeki çözünmüş oksijen konsantrasyonu sıcaklığa bağlıdır. Tablo -3-4

TABLO -3.4 SAF SU İÇİNDE OKSİJEN ÇÖZÜNÜRLÜĞÜ

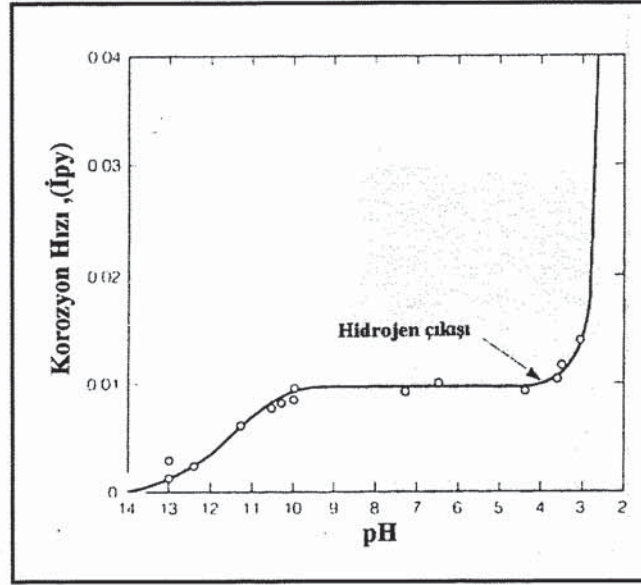
Sıcaklık. °C	Çözünmüş oksijen mg/litre
0	14.6
20	9.1
40	6.4
60	4.7
80	2.8
100	0.0

Kapalı sıcak su sistemlerinde oksijen konsantrasyonu çok düşüktür. Bu nedenle radyatörlerin suyunun taze su ile değiştirilmesi uygun değildir. Su içinde kalan çözünmüş oksijeni tam olarak gidermek üzere suya sülfite veya hidrazin gibi oksijen bağlayıcılar katılır.

Merkezi ısıtma sistemlerinde radyatörler ve borular çeliktir. Ancak su içinde yeterli miktarda çözünmüş oksijen bulunmadığı için etkili bir korozyon gözlenmez. Fakat oksijen bakımından zengin olan soğuk su sistemlerinde çelik borularda önemli korozyon olayı görülür. Bu gibi sistemlerde çelik ve bakır borunun birlikte kullanılması çok tehlikelidir. Oksijenin etkisi su içine daldırılmış olan bütün metal yapılarda korozyon açısından en önemli faktörü oluşturur. Korozyon etkisi genellikle hemen su seviyesinin altında görülür.

pH ' ın Etkisi

Eğer suyun pH derecesi, pH <4 ise, böyle asidik karakterli sular içinde hiç oksijen olmasa bile önemli ölçüde korozyon görülür. Bu durumda katodik redüksiyon olayı hidrojen çıkışı ile gerçekleşir. Sulu çözeltiler içinde demirin korozyonu üzerine pH'ın etkisi Şekil -3.4'de görülmektedir.



Şekil -3.4 Demirin korozyonu üzerine pH'ın etkisi

Doğal sularda pH değeri genellikle 8 civarındadır. Bu pH derecesinde korozyon ürünleri hidroksit veya oksit halinde bulunur. Böylece metal yüzeyinde koruyucu bir kabuk oluşturur.

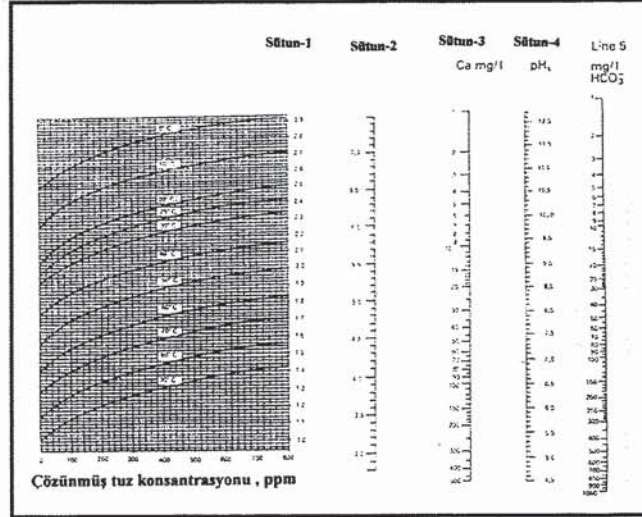
Kalsiyum Karbonat Çökmesi

Tatlı sular içindeki korozyon olayı su içinde bulunan geçici sertliğin metal yüzeyinde kalsiyum karbonat halinde çökmesi ile de yavaşlar.



Oluşan kalsiyum karbonat çökeltisi, korozyon ürünleri ile birlikte metal yüzeyinde sert bir kabuk oluşturur. Kalsiyum karbonatın yukarıdaki denkleme göre çökebilmesi için suyun pH değeri, **saturasyon pH'sı** denilen (pH_s) den büyük olması gerekir. Eğer suyun pH değeri saturasyon (pH_s)'den daha küçük ise, bu durumda çökelti olmadığı gibi, mevcut kalsiyum karbonat çökeltisi de bikarbonat halinde çözünebilir. Herhangi bir sıcaklıktaki saturasyon indeksi, suyun Ca^{2+} ve HCO_3^- konsantrasyonları ve toplam çözünmüş tuz miktarı bilinirse hesap ile bulunabilir. Saturasyon pH_s değeri Şekil -3.5'de verilen grafik yardımı ile de bulunabilir.

Bu grafik yardımı ile suyun saturasyon pH değerini bulabilmek için suyun sıcaklığının, toplam çözünmüş tuz konsantrasyonunun, kalsiyum iyonu ve bikarbonat iyonu konsantrasyonlarının (mg/l) olarak bilinmesi gerekir. Bu değerler kullanılarak saturasyon pH değeri Şekil -3.5'de verilen nomogram yardımı ile şöyle belirlenir:



Şekil -3.5 Saturasyon pH_s değerinin grafik ile bulunması

1. Önce Su içindeki çözünmüş tuz konsantrasyonu ve sıcaklık değerleri kullanılarak, yatay bir doğru ile birinci sütuna erişilir.

2. Su içindeki kalsiyum iyonu konsantrasyonunun bulunduğu üçüncü sütun ile birinci sütunda elde edilen nokta bir doğruyla birleştirilir. Bu doğrunun ikinci sütunu kestiği nokta bulunur.

3. Su içindeki bikarbonat iyonu konsantrasyonunun bulunduğu beşinci sütun ile ikinci sütunda elde edilen nokta bir doğruyla birleştirilerek dördüncü sütunu kestiği noktadan pH_s değeri okunur.

Örneğin bir suda ,

Sıcaklık : 25°C
 Toplam çözünmüş tuz : 600 mg/l
 Kalsiyum iyonu : 40 mg/l.
 Bikarbonat iyonu : 160 mg

ise, birinci sütun değeri = 2.38 , ikinci sütun değeri = 5.5 ve dördüncü sütundaki saturasyon pH değeri pH_s = 7.3 bulunur.

Suyun pH değeri ve saturasyon pH_s değerleri kullanılarak su için **Langelier İndeksi** hesaplanabilir.

$$L = \text{pH} - \text{pH}_s$$

Eğer $L > 0$ ise, söz konusu suda CaCO₃ çöktürmesi olacağı anlaşılır. Eğer $L < 0$ ise, suda CaCO₃ çöktürmesi meydana gelmez. Bu tip suların korozyon etkisi yapıldığı söylenebilir.

Sıcaklığın Etkisi

Su sıcaklığının artışı korozyon hızını artırıcı rol oynar. Sıcaklığın 10 °C artışı korozyon hızının yaklaşık iki kat artmasına neden olur. Özellikle çözelti içinde difüzyon olayı sıcaklıkla artış gösterir. Fakat bu artış 80 °C e kadar etkisini gösterdiği halde bu sıcaklıktan sonra oksijen çözünürlüğünün azalması korozyon hızının azalmasına neden olur.

3.2.2 Kazan Besleme Suları

Buhar kazanlarında besleme suyunun özellikleri kontrol edilmelidir. Buhar kazanlarından elde edilen buhar daha sonra kızgın buhar ünitesine gönderilir. Türbinden çıkan çürük buharda, bir kondensere (ısı değiştiricisi) girer. Burada soğutma suyu ile yoğunlaştırılır.

Buhar kazanına giren kazan besleme suyu Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , silikat iyonu ve özellikle oksijen bulunmamalıdır. Kazan besleme suyunun pH derecesi de 9'dan büyük olmalıdır. Bu amaçla kazan besleme sularında, sertlik giderme, oksijen giderme, pH kontrolü gerekir. Ayrıca inhibitör katılması da gerekir.

Kazan Besleme Sularının Sertliğinin Giderilmesi:

Sertliği gidermek için su içinde bulunan Ca^{2+} , Mg^{2+} iyonlarının çöktürülmesi gerekir. Bu amaçla genellikle kireç-soda kullanılır. Veya kation tutucu reçineler ile kalsiyum ve magnezyum iyonları Na^+ iyonu ile değiştirilir. Hem anyon hem de kationu tutabilen reçineler vardır. Böylece kazan besleme suyu tam olarak demineralize edilebilir.

Kazan Beslem Sularında Gaz Giderme

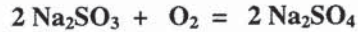
Kazan besleme sularında gaz giderme işlemi özellikle su içinde bulunan çözünmüş oksijeni gidermek amacıyla yapılır. Bu işlem yalnız kazana verilen yeni sulara değil, kondens suyu da yapılmalıdır. Gaz giderme işlemi iki şekilde yapılabilir.

- Termal yöntemle gaz giderme:

Buhar kazanının özel bir bölümünde su yüksek sıcaklığa ısıtılarak içinde bulunan gazlar uzaklaştırılır.

- Kimyasal yöntemle gaz giderme:

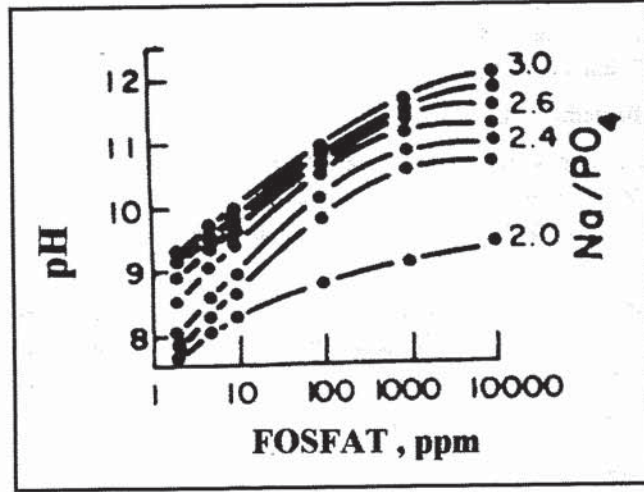
Su içinde çözünmüş olarak bulunan oksijen sodyum sülfid (Na_2SO_3) veya hidrazin (N_2H_4) katılarak aşağıdaki reaksiyonlar ile giderilir.



Kazan besleme sularında pH ayarı:

pH ayarı su içinde çözünmüş halde bulunan karbondioksitin nötralize edilmesi amacını taşır. Bu amaçla su içine amonyak, morfolin ve sikloheksilamin gibi zayıf bazlar veya sodyum trifosfat katılır. Sodyum trifosfat tampon etkisi ile pH derecesinin 9 ile 10 arasında kalmasını sağlar. Şekil -3.6'de fosfat konsantrasyonu ile çeşitli Na/PO_4 oranlarında pH

değerinin değişimi görülmektedir. Pratikte pH değerini kolayca tutturabilmek için Na/PO₄ oranının 2,6 civarında alınması uygundur.



Şekil -3.6 Değişik Na/PO₄ molar oranlarında ortofosfat çözeltisinin pH değişimi.

Kazan taşının fiziksel yapısı da çok önemlidir. Kazan iç yüzeylerinde oluşan kabuğun yüzeye sağlamca yapışmış halde olması korozyon açısından daha yararlıdır. Yüzeye hiç yapışmayan rüsubat ise yıkanarak dışarı atılabilir. Kazan içinde çökelmenin çamur halinde veya yüzeyde kabuklaşma halinde gerçekleşmesi kazan besleme suyuna katılacak bazı katkı maddeleri ile sağlanabilir. En iyisi kazan besleme suyunun iyice arıtılması ve ayrıca katkıya gerek kalmamasıdır. Pratikte kazan besleme suları içinde bulunan çözünmüş tuz konsantrasyonunu 50 ppm'in altına düşürülmesi ile istenilen sonuç elde edilebilir.

Son zamanlarda "sıfır katı" denilen aminler kullanılarak yapılan arıtma yöntemi tercih edilmektedir. Bu yöntemde kazan besleme suyu iyon değiştiricilerinden geçirilerek önce alkali hale getirilir, daha sonra da bütün katyonlar amonyak veya amin iyonu ile değiştirilir. Bu iyonlar ise, tam olarak uçucudur. Ancak bu yöntemin uygulanması halinde buhar ve yoğunlaştırıcılarda bulunan bütün bronzlu bakırlı alaşımların çelik ile değiştirilmesi gerekir.

Bütün bu önlemler alınsa bile, kazanlarda korozyon olayı tam olarak önlenemez. Buhar türbinlerinde ve kondenserde de aynı durum söz konusudur. Fosfat ile arıtılmış kazan besleme sularından buhar içine az da olsa tuz kaçıışı olur. Bu tuz, türbin cidarları üzerindeki rutubet filminde adsorbe edilir. Amin ile arıtma yapılmış sulardan ise, uçucu amin bileşikleri buhara karışır. Kazan çıkışında adsorbe edilen bu amin bileşikleri pH değerinin değişmesine neden olur.

Kazan besleme sularına inhibitör katılması:

Inhibitör katılarak korozyon hızı azaltılır. Kazan besleme sularında bu amaçla daha çok aminler tercih edilir. Örneğin oktadesilamin. Aminler metal yüzeyinde koruyucu bir film

oluşturur. Pratikte inhibitör olarak kazan besleme suyu içine az miktarda Na_3PO_4 katılır. Böylece pH derecesi de ayarlanmış olur.

3.3 DENİZ SUYU İÇİNDE KOROZYON

Deniz suyunun bileşimi ve korozif etkisi çeşitli denizlerde birbirinden biraz farklıdır. Deniz suyu içinde çözülmüş tuz konsantrasyonu 32-36 g/l arasında değişir. Tropikal bölgelerde ve kıyılardan uzaklarda tuzluluk artar. Deniz suyu içinde bulunan çözülmüş tuzun büyük bir kısmı da NaCl halindedir. 1 kg deniz suyu içinde bulunan başlıca elementlerin gram olarak miktarları aşağıda liste halinde verilmektedir.

<u>Elementler</u>	<u>Konsantrasyon g/kg</u>
Klorür	19,354
Sodyum	10,770
Mağnezyum	1,290
Kalsiyum	0,412
Potasyum	0,400
Sülfat	2,712
Bikarbonat	0,140
Bromür	0,067
Stronsiyum	0,013
<u>TOPLAM</u>	<u>35,158</u>

Deniz suyunun tuzluluk derecesi ile klorür konsantrasyonu arasında ampirik bir bağıntı vardır. Deniz suyunda klorür konsantrasyonu deneysel olarak tayin edilerek bu bağıntı yardımı ile tuzluluk derecesi hesaplanabilir.

$$S = 1,80655 \times (\text{Cl}^-)$$

Burada,

S : Deniz suyu içinde çözülmüş tuz konsantrasyonu, %

Cl^- : Klorür konsantrasyonu, %

Örneğin, bileşimi yukarda verilmiş olan deniz suyunun tuzluluk derecesi bu bağıntı kullanılarak, $S = 1,80655 \times 1,9354 = \% 3,5$ bulunur.

Çeliğin deniz suyu içindeki korozyonu su altı korozyonuna benzer şekilde yürür. Anodik reaksiyon sonucu metal iyonları çözeltiye 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 olaylarının esas itibarıyla metal yüzeylerine oksijen difüzyonuna bağlı kalmaya neden olur. Deniz içi çelik yapıların korozyon hızı ortalama olarak 0,10-0,125 mm/yıl verilmekle beraber, bu değer başta metal yapının karakteristikleri olmak üzere bir çok çevresel faktöre bağlı kalır. Bu faktörler, yapının sabit oluşu (çelik kazıklar), yüzmesi (dubalar), hareketli oluşu (gemiler) veya taşıyıcı olması (tanklar) halinde değişik şekilde etkiler. Diğer taraftan deniz suyunun pH derecesi, tuzluluğu, çözünmüş oksijen konsantrasyonu da coğrafi bölgelere ve derinliğe bağlı olarak farklılık gösterir.

3.3.1 Deniz içi Korozyonuna Etki Yapan Faktörler:

pH 'ın Etkisi:

Deniz suyunun pH derecesi yaklaşık olarak 8 civarındadır. Bu değer yüzeye yakın olan bölgelerde daha yüksektir. Bunun nedeni, güneş ışınlarının etkili olduğu bu bölgede yetişen bitkilerin su içinde çözünmüş olan karbon dioksidi fotosentez olayları ile harcamalarıdır. Derine doğru inildikçe pH'ın düştüğü görülür. Bu durum, ölen canlıların çürüyerek karbondioksit ve hidrojen sülfür oluşturmalarından ileri gelir. Yüzeyde 8 civarında olan pH, bu bölgede 7,5 değerine kadar düşer (Şekil -3.7).

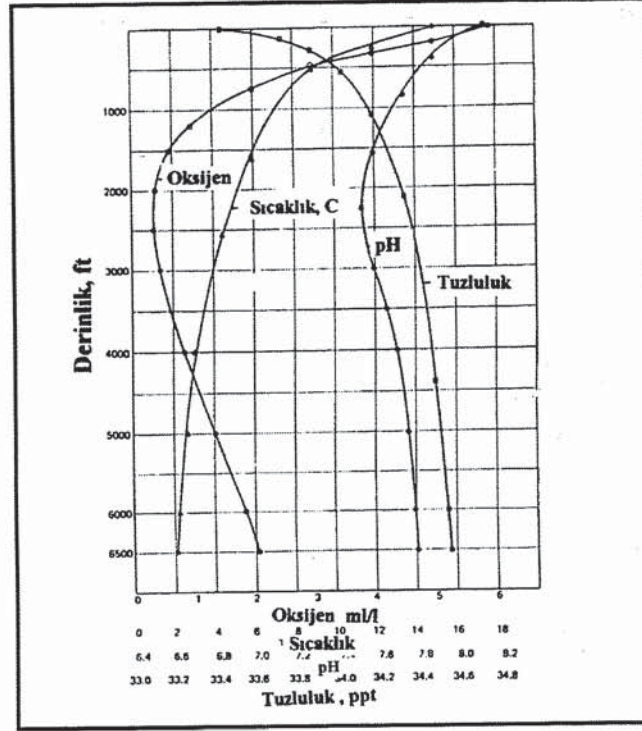
Çözünmüş Tuzların Etkisi :

Çözünmüş tuzlar korozyon üzerine iki şekilde etki yapar. Birincisi, çözünmüş tuz konsantrasyonu arttıkça elektriksel iletkenlikte de artış olur. İletkenliğin konsantrasyon ve sıcaklığa bağlılığı Tablo-3.5'de ve Şekil -3.8'de görülmektedir.

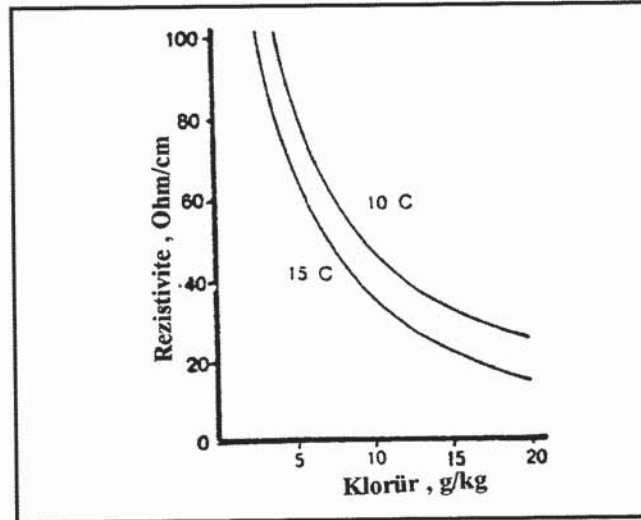
Deniz suyunun iletkenliğinin çok yüksek oluşu yalnız mikro korozyon hücrelerinin değil, makro düzeyde galvanik hücrelerin de etkili olmasını sağlar. Bu durum özellikle deniz suyu içindeki paslanmaz çeliklerde kendini gösterir. Elektrolit içinde omik direncin azalması ,çok geniş bir katot bölgesinin çok dar bir anodik bölge üzerine etkisi ile çukur tipi korozyon olaylarının yürütmesine neden olur.

İkinci olarak, deniz suyu içinde klorür konsantrasyonunun yüksek oluşu, bu iyonun metal yüzeyinde oluşan pasif tabakayı kolayca bozmasına neden olur. Bu etki nedeniyle alüminyum ve paslanmaz çelik gibi pasifleşme özelliği olan metaller deniz suyu içinde korozyona dayanıksızdır.

Deniz suyu içinde çözünmüş olarak bulunan kalsiyum ve magnezyum tuzları metal yüzeyi üzerinde zamanla çökebilir. Çökelme katodik reaksiyon sonucu oluşan hidroksil iyonlarının etkisiyle çabuklaşır. Özellikle katodik koruma uygulanması halinde kabuklaşma hızında büyük ölçüde artış görülür.



Şekil -3.7 Deniz suyu pH, çözünmüş oksijen, sıcaklık ve tuzluluğun değişimi



Şekil -3.8 Deniz suyu rezistivitesinin içerdiği klorür iyonu konsantrasyonuna göre değişimi

TABLO -3.5 DENİZ SUYUNUN İLETKENLİĞİNİN TUZLULUK VE SICAKLIĞA GÖRE DEĞİŞİMİ

Deniz suyunun iletkenliği, $\text{Ohm}^{-1}.\text{cm}^{-1}$						
% Cl ⁻	0 °C	5 °C	10°C	15°C	20° C	25° C
0,1	0,001839	0,002134	0,002439	0,002763	0,003091	0,003431
0,5	0,008327	0,009653	0,011019	0,012459	0,013939	0,015471
1,0	0,015852	0,018329	0,020906	0,023584	0,026367	0,029242
1,1	0,017304	0,020000	0,022804	0,025722	0,028749	0,031879
1,2	0,018741	0,021655	0,024684	0,027841	0,031109	0,034489
1,3	0,020167	0,023297	0,026548	0,029940	0,033447	0,037055
1,4	0,021585	0,024929	0,028397	0,032024	0,035765	0,039638
1,5	0,022993	0,026548	0,030231	0,034090	0,038065	0,042180
1,6	0,024393	0,028156	0,032050	0,036138	0,040345	0,044701
1,7	0,025783	0,029753	0,033855	0,038168	0,042606	0,047201
1,8	0,027162	0,031336	0,035644	0,040176	0,044844	0,049677
1,9	0,028530	0,032903	0,037415	0,042158	0,047058	0,052127
2,0	0,029885	0,034454	0,039167	0,044144	0,049248	0,054551

Metal yüzeylerinde oluşan kabuğun kimyasal bileşimi çevresel faktörlere bağlı olmakla beraber, yaklaşık olarak aşağıda görüldüğü gibidir.

METAL YÜZEYİNDE OLUŞAN KABUĞUN KİMYASAL BİLEŞİMİ

Bileşenler	Kütlesel %
Kalsiyum karbonat	57
Demir oksit ve hidroksitleri	19
Silikatlar	8
Diğerleri ($\text{Mg}(\text{OH})_2$, CaSO_4 , vb.)	16

Metal yüzeyi üzerinde oluşan bu kabuğun, korozyona karşı metali koruyucu etkisi vardır. Bu etki metal yüzeylerine olan oksijen difüzyonunun kabuk nedeniyle engellenmiş olmasından ileri gelir. Diğer taraftan kabuğun elektiriksel direnci de çok yüksektir. Bu direnç, yüzeydeki galvanik korozyon hücrelerinden geçen akımın azalmasına neden olur.

Katodik koruma uygulanmış çelik yüzeylerde kabuklaşma olayları daha hızlıdır. Bu nedenle ilk günlerde yüksek olan katodik koruma akım ihtiyacı zamanla azalır. Eğer sabit bir

akım uygulanacak olursa, çeliğin potansiyelinde zamanla artış görülür. Kabuklaşma süresi uygulanan dış akım yoğunluğuna bağlıdır.

Çözünmüş Oksijenin Etkisi:

Deniz suyu içinde çeliğin korozyon hızı, katot bölgesine olan oksijen difüzyonunun kontrolü altındadır. Bu nedenle deniz suyu içindeki çözünmüş oksijen konsantrasyonu, korozyon açısından büyük önem taşır.

Deniz suyu içindeki oksijen konsantrasyonu sıcaklığa ve tuzluluğa ve su yüzeyinden itibaren derinliğe bağlıdır. Değişik sıcaklıklardaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu Tablo - 3.6'da verilmektedir. 25°C'de ve normal tuzluluktaki bir deniz suyunun oksijen konsantrasyonu 6,5 ppm'dir. Bu değer tatlı sularda 8 ppm civarındadır. Oksijen konsantrasyonu deniz yüzeyinden tabana doğru gidildikçe azalarak 1 ppm in altına düşer (Şekil -3.7).

TABLO -3.6 DENİZ SUYU İÇİNDE ÇÖZÜNMÜŞ OKSİJEN KONSANTRASYONU

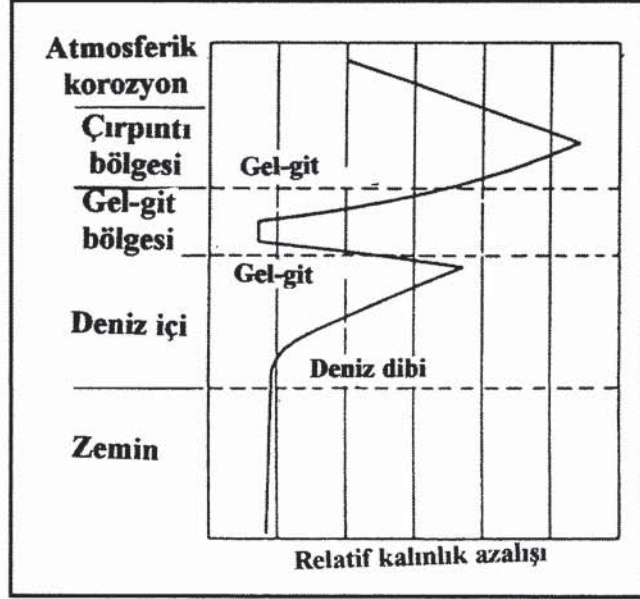
Sıcaklık, C°	Deniz suyunun tuzluluğu, g/l				
	0	9	18	27	36
0	14,6	13,7	12,8	11,9	11,0
5	12,8	12,0	11,2	10,5	9,7
10	11,3	10,7	10,0	9,4	8,7
15	10,2	9,7	9,0	8,5	7,9
20	9,2	8,7	8,2	7,8	7,2
25	8,4	7,9	7,5	7,0	6,6
30	7,7	7,3	6,8	6,4	5,4

Su yüzeyine yakın bölgede oksijen konsantrasyonu ve buna paralel olarak korozyon hızı maksimum değerdedir. Derine doğru inildikçe çözünmüş oksijen konsantrasyonunda azalma görülür. Bu durum havadaki oksijenin deniz suyu içine difüzyonunun güçlüğünden ileri gelir. Korozyon açısından en tehlikeli bölge yapının atmosferik oksijenle doğrudan temas ettiği ve deniz suyu ile de ıslandığı üst bölgedir. Deniz içine çakılmış olan bir çelik kazığın derinliğe göre korozyon hızındaki değişim Şekil -3.9'de görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere, kazık üzerinde korozyon açısından farklılık gösteren beş ayrı bölge mevcuttur.

Birinci Bölge: Deniz suyu ile ıslanmayan ve fakat denizin çok yakınında bulunan atmosfer içinde kalan bölge. Bu bölgede atmosferik korozyon söz konusu olur.

İkinci Bölge: Deniz yüzeyinin hemen üzerinde kalan ve dalga etkisi ile zaman zaman ıslanan bu bölgede korozyon ürünleri metal yüzeyine yapışarak kabuk oluşturmaz. Bu bölgede korozyon hızı maksimumdur.

Üçüncü Bölge: Gel-git etkisi ile periyodik olarak su altında ve atmosferde kalan bu bölgede ıslanma ve kuruma sonucu kısa sürede etkili bir kabuk oluşur. Bu nedenle bu bölgede korozyon hızı düşüktür.



Şekil -3.9 Deniz içine çakılmış olan bir çelik kazıkta korozyon hızının derinliğe göre değişimi

Dördüncü Bölge: Sürekli su altında kalan bu bölgede, atmosfere yakın olan üst kısımlarda çözünmüş oksijen konsantrasyonunun yüksek olması nedeniyle korozyon hızı da yüksektir. Yüzeyden itibaren bir kaç metre derinlikte korozyon hızında düşme görülür.

Beşinci Bölge: Deniz dibindeki zemin içine oksijen difüzyonu çok azdır. Bu bölgede korozyon hızı oldukça düşüktür ve yaklaşık olarak sabittir.

Sıcaklığın Etkisi:

Genel ilke olarak sıcaklık arttıkça deniz suyu içindeki korozyon hızında da artış görülür. Fakat sıcak deniz suyu içinde metal yüzeyinde kabuk oluşması daha kolaydır. Bu durum metal yüzeyine oksijen difüzyonunu güçleştirir. Diğer taraftan sıcak denizlerde çözünmüş oksijen konsantrasyonu da düşüktür. Bu da korozyon hızını azaltıcı yönde etki yapar. Sıcaklığın neden olduğu bu çelişkili etkiler ve deniz suyu içinde sıcaklığa bağlı olarak gelişen biyolojik olaylar sıcaklığın korozyon hızı üzerine etkisi konusunda kesin bir karar verilmesini güçleştirir.

Fouling Etkisi:

Deniz suyu içinde çok sayıda bitki ve hayvan yaşar. Bu canlılardan bazıları metal yüzeyinde oluşan kabuğa yapışır. Bu olay korozyon açısından iki farklı etki yaratır. Metal

yüzeyini kaplayan organizmalar yüzeye oksijen difüzyonunun azalmasına neden olurlar. Böylece korozyon hızında azalma görülür. Fakat zamanla ölen canlılar çürüyerek yüzeyde asidik bir ortam oluşmasına ve korozyonun artmasına neden olurlar. Deniz içi canlıların diğer bir zararlı etkisi de metal yüzeyi üzerine yapışmış olan boyalarda görülür. Deniz canlıları boya tabakasına yapışarak boyanın kısa sürede delinmesine ve parçalanmasına neden olurlar. Bu durum zehirli boya kullanılarak önlenabilir.

Hızın Etkisi:

Suyun veya yapının hareketli olması korozyon hızının artmasına neden olur. Hareket halinde metal yüzeyine oksijen difüzyonu arttığı gibi, yüzey üzerinde kabuklaşma olayı da güçleşir.

3.4 ZEMİN İÇİNDE KOROZYON

Birçok metal yapı zemin içinde bulunur. Bunlar zeminin korozif etkisi altında kalır. Zeminin içinde bulunan başlıca yapılar şunlardır:

- Su isale hatları

Temiz su veya kanalizasyon suyu taşımak amacıyla çelik veya dökme demir borular kullanılır. Korozyon sonucu delinen borulardan büyük ölçüde su kaybı olur. Birçok kentin uzun yıllar yeraltında kalmış içme suyu boru hatlarındaki kaçakların % 50'ye kadar çıktığı bilinmektedir.

- Doğal gaz boru hatları:

Yüksek basınçlı doğal gaz taşıyan boru hatlarında korozyon sonucu delinmeye engel olmak için çok ileri düzeyde önlem alınması gerekir. Aksi halde patlama ve yangın tehlikesi vardır.

Yeraltı akaryakıt tankları:

Bu tanklarda korozyon sonucu delinme meydana gelmesi, yalnız yakıt kaybına değil çevrenin kirlenmesine de neden olur.

- Telefon kabloları:

Bu kablolar kurşun kaplıdır. Ancak korozyon sonucu kısa devre yapabilir.

-Yüksek gerilim hatları direklerinin ayakları:

Bu direkler zemin içine gömülür. Ayaklarda meydana gelen korozyon direklerin zamanla yıkılmasına neden olabilir.

-Çelik kazıklar:

Köprü veya bazı yapıların temelinde zemin içine çakılmış çelik kazıkların korozyonu büyük tehlike yaratır.

3.4.1 Toprağın Yapısı:

Toprak, kayaların parçalanması ile oluşan yumuşak yapılı bir birikintidir. İçinde hayvan ve bitkilerin çürüyerek bozulmasından ileri gelen çeşitli organik bileşikler de bulunur.

Toprak içinde katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç faz bulunur.

Katı tanecikler: Kil, kum, çakıl gibi inorganik maddeler veya organik bitkisel artıklardan oluşur. İnorganik tanecikler çaplarına göre aşağıdaki şekilde isimlendirilir.

Killer: Çapları 0.002 mm den küçük olan taneciklerden oluşur.

Siltler: Tanecik çapı 0.002 - 0.06 mm arasındadır.

Kumlar: Çapı 0.06 mm - 2.00 mm arasında olan taneciklere kum denir.

Toprak Rutubeti:

Toprak içinde tanecikler arasında ve boşluklarda su bulunur. Bu su çözülmüş halde çeşitli tuzları ve oksijeni içerir.

Gaz Fazı:

Toprak içinde bulunan gözenekler ve çatlaklar hava ile dolu haldedir. Organik bileşiklerin çözünmesi sonucu oluşan karbondioksit te boşluklar içinde kalır. Toprak heterojen bir yapı gösterir. Özellikle derine doğru değişimi daha fazladır. Mevsimlere bağlı olarak fiziksel ve kimyasal yapısı değişir. Bütün bu değişim yeraltına konulan metal yapı üzerinde etki yapar.

3.4.2 Yeraltı Korozyonuna Etkiyen Faktörler

Yeraltı korozyon elektrokimyasal hücreler yoluyla yürür. Toprak rutubeti elektrolit rolü oynar. Elektrot reaksiyonları şöyledir:

Anot reaksiyonu: $Me = Me^{n+} + ne^-$

Katot reaksiyonu : $1/2 O_2 + H_2O + 2e^- = 2OH^-$

Oluşan korozyon ürünleri metal yüzeyi yakınında yeniden kimyasal reaksiyona girerek metal hidroksitleri oluştururlar. Eğer anot ve katot bölgeleri birbirine çok yakın ise (mikro hücreler) ve toprak pH derecesi 5 den büyük ise, korozyon ürünleri çelik yüzey üzerinde pas şeklinde toplanır. Bu durumda korozyon hızı zamanla gittikçe azalır. Bazı halde özellikle boru hatlarında anot ve katot bölgeleri birbirinden çok uzakta bulunur. Bu durumda anotta oluşan Me^{n+} iyonları katoda doğru, katotta oluşan OH^- iyonları da anoda doğru göç eder. Pas oluşumu anot ve katot arasında bir yerde toplanır. Yani oluşan çökelti metal yüzeyini kapatarak metali koruyucu özellik gösteremez. Böyle durumlarda anot bölgesi kısa sürede delinir. Katot bölgesinde ise metal yüzeyi temiz ve parlak halde kalır. Eğer katot bölgesi yüzey alanı anoda göre daha büyük ise, anodik akım yoğunluğu çok yükselir ve şiddetli bir çukur tipi korozyon olayı gözlenir.

Yeraltı korozyonuna etki yapan en önemli faktörler şunlardır:

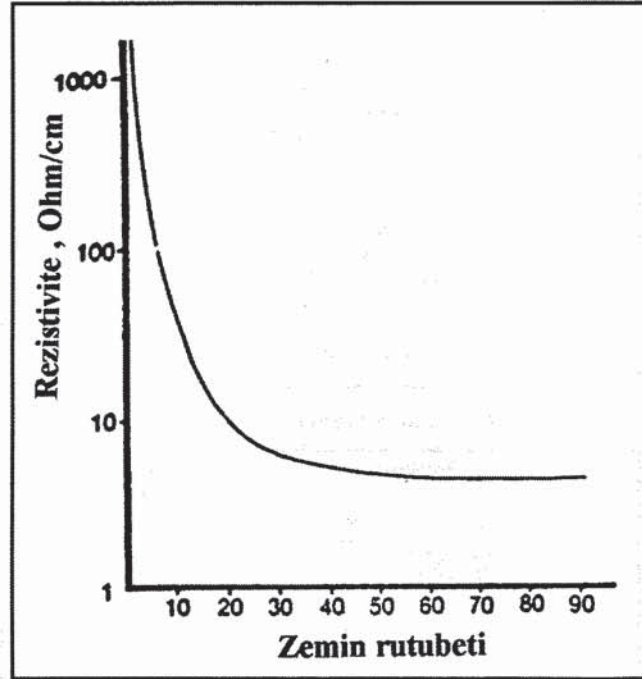
- Toprak yapısı ve rutubeti
- Oksijen konsantrasyonu
- Redoks potansiyeli
- pH değeri

- Zemin rezistivitesi
- Mikro organizmalar

Toprak Rutubetinin Etkisi:

Elektroliti oluşturması nedeni ile yeraltı korozyonunun yürümesi için suyun mutlaka bulunması gerekir. Zemin içinde belli bir derinlikte yeraltı suyu tablası bulunur. Bu suyun derinliği mevsimlere göre değişir. Bazı halde toprak, yeryüzüne kadar su ile doymuş hale gelebilir. Yeraltı suyunun düzeyi korozyon açısından büyük önem taşır. Kum ve çakıllı zeminlerde suyun direne olması çok kolaydır. Killi zeminlerde boşluklara dolan su uzun süre toprağın rutubetli kalmasına neden olur.

Zemin rutubeti arttıkça zeminin rezistivitesi azalır. Bu azalış yaklaşık olarak % 20-30 rutubete kadar devam eder. Daha sonra zemin rezistivitesi artık değişmez. Zemin rezistivitesinin rutubete göre değişimi şekil -3.10'da görölmektedir.



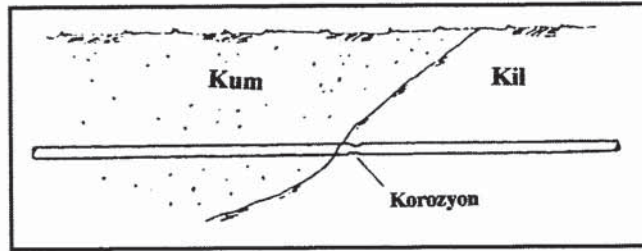
şekil -3.10 Zemin rezistivitesinin rutubet yüzdesine göre değişimi

- Oksijen:

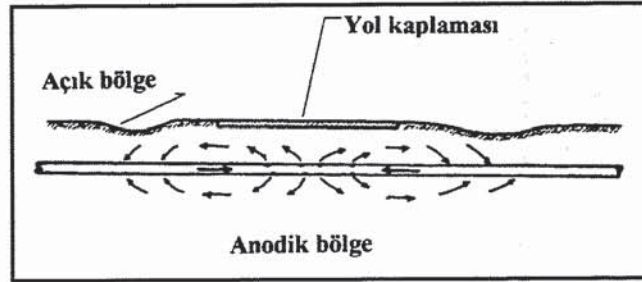
Oksijen zemin içinde yürüyen katodik reaksiyon için gereklidir. Bu nedenle su içinde çözünmüş oksijenin bulunması da korozyon için mutlaka gerekli olan bir koşuldur. Zemin içine oksijen havadan gelir. Yeraltı suyu da çözünmüş halde oksijeni taşır. Zemin içinde oksijen taşınması hızı ve zeminin hava alabilme derecesi zemin cinsi ve yapısına bağlıdır.

Kumlu topraklar içine killi topraklara göre oksijen taşınması daha kolay olur. Buna benzer olarak dolgu topraklarda oksijen difüzyonu hızı doğal yapıda olanlara göre daha fazladır.

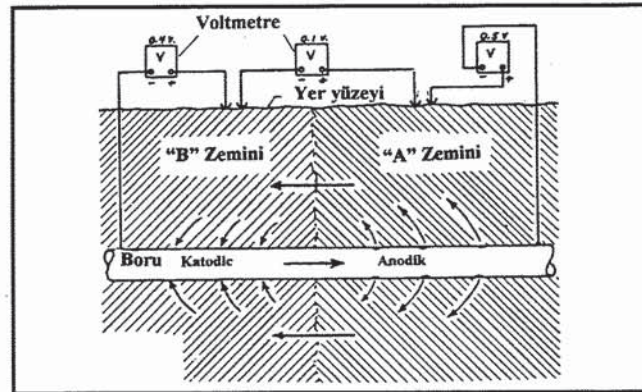
Boru hatları değişik cins ve yapıda zemin içinden geçerler. Bu zeminler içinde oksijen difüzyon hızı birbirinden farklıdır. Bu farklı havalanma durumu boru hattında oksijen konsantrasyon hücresi oluşmasına neden olur. Oksijeni az alabilen bölgeler anot olur. Bu nedenle, kumlu bölgeden killi bölgeye geçişin hemen yakınında killi bölge içinde şiddetli korozyon olayı meydana gelir. Zemin yapısı ve farklı havalanmadan kaynaklanan korozyon olaylarına ait tipik örnekler Şekil -3.11 (a), (b) ve (c)'de görülmektedir.



Şekil -3.11 (a) Kumlu bölgeden killi bölgeye geçen bir boru hattında oluşan korozyon

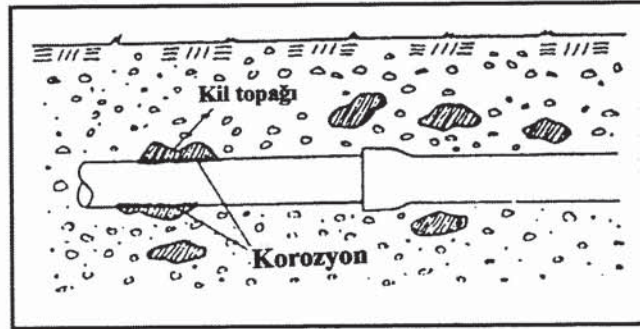


Şekil -3.11 (b) Farklı havalanma nedeniyle oluşan korozyon

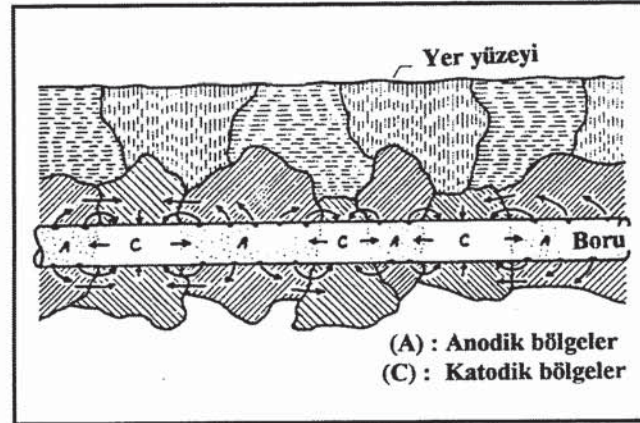


Şekil -3.11 (c) Bir boru hattında farklı toprak yapısının neden olduğu korozyon.
(A) zemini (B) zemininden daha korozif özelliktedir

Zeminin bazı bölgelerinin farklı havalanması yerel korozyon olaylarına da neden olabilir. Örneğin bir boru hattı üzerinde bir kil parçası boru yüzeyine yapıştırsa, bu toprak altında kalan metal yüzeyi çevresine göre daha az oksijen alabilir. Bunun sonucu olarak kil topağı altında korozyon olayı başlar. Eğer boru hattı çevresi değişik yapıda topraklar ile doldurulmuş ise, boru hattı üzerinde yer yer anodik ve katodik bölgeler oluşabilir. Şekil -3.12 (a) ve (b)

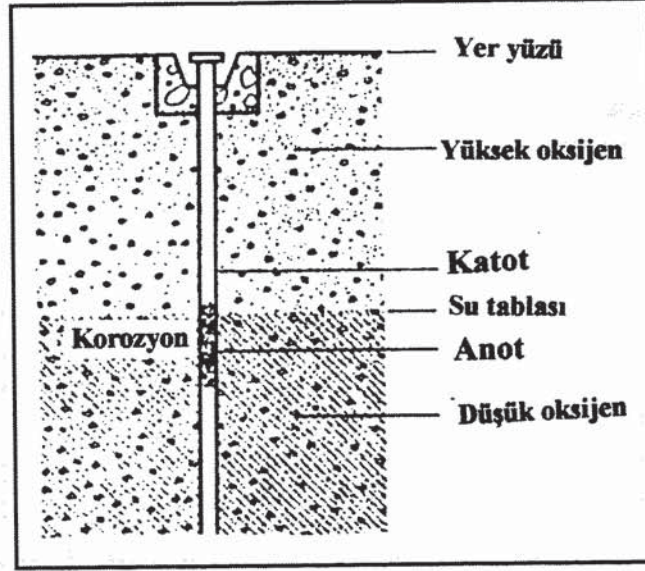


Şekil -3.12 (a) Bir yeraltı boru hattında kil topakları nedeniyle oluşan yerel korozyon



Şekil -3.12 (b) Bir yeraltı boru hattında karışık yapıda dolgu toprağın neden olduğu korozyon

Oksijen konsantrasyon hücrelerine tipik bir başka örnek de, yeraltı suyu tablasının başladığı bölgede görülür. Su tablasının üst bölgeleri atmosferden bol oksijen alabilir. Alt kısımlarda ise daha az oksijen bulunur. Daha az oksijen alabilen bölgeler anot olur. Bu nedenle su tablası seviyesinin hemen altında anodik bölge oluşur. En şiddetli korozyon olayı bu bölgede görülür. Su tablası mevsimlere göre değiştiğinden korozyon olayı geniş bir bölgede etkili olur (Şekil-3.13).



Şekil -3.13 Derin kuyu borusunda su tablası seviyesi civarında korozyon oluşumu.

-Redoks Potansiyeli:

Rutubetli zemin içinde bulunan oksijen konsantrasyonu hakkında redoks potansiyeli değeri ile fikir edinilebilir. Oksijen konsantrasyonu ne kadar yüksek ise redoks potansiyeli de o kadar yüksektir. Aksine olarak düşük oksijen içeren bölgelerde redoks potansiyeli de çok düşüktür. Bu nedenle redoks potansiyeli değerleri zeminlerin koroziflik derecesi hakkında iyi bir fikir verir. Bu konuda pratikte Tablo -3.6'da verilen sınıflandırma kullanılmaktadır.

TABLO -3.6 REDOKS POTANSİYELİ DEĞERLERİNE GÖRE ZEMİNLERİN SINIFLANDIRILMASI

Redoks potansiyeli, mV	Zeminin korozif özelliği
< 100	Şiddetli korozif
100 - 200	Korozif
200 - 400	Orta korozif
400<	Az korozif

Zeminlerin redoks potansiyeli platin elektrot ile ölçülür. Platin elektrot söz konusu doğal zemin içine daldırıldıktan sonra, bir başka referans elektrot ile aradaki potansiyel farkı ölçülür

(E_p). Ayrıca bir pH metre ile aynı noktada zeminin pH derecesi de ölçülür. Bu iki değer kullanılarak redoks potansiyeli aşağıdaki bağıntı ile hesap edilir.

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

Burada, E_{redoks} : Zemin redoks potansiyeli, mV

E_p : Platin elektrodun ölçülen potansiyeli, mV

E_{ref} : Kullanılan referans elektrodun Hidrojen elektroduna göre potansiyeli, mV (Doymuş Cu/CuSO₄ için 316 mV) dir.

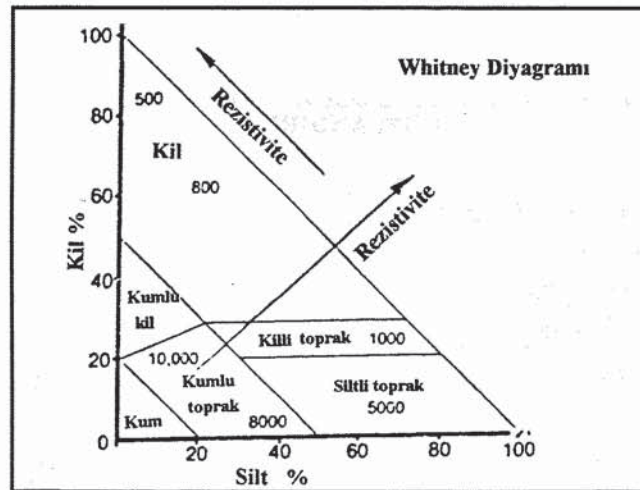
-pH:

Toprağın pH değeri oluşan korozyon ürünlerinin çözünürlüğü üzerine etki yapar. Eğer pH değeri 5'in altında ise (Organik çürümelerin olduğu topraklarda pH düşüktür) korozyon ürünleri çelik yüzeyinde çökerek koruyucu özellik görevini yerine getiremez. Böyle topraklar da korozyon hızı çok yüksektir.

Toprağın normal pH değeri 5-8 arasındadır. Bu pH aralığında korozyon hızı üzerinde pH 'ın etkisi hemen hemen yoktur. Korozyon hızı genellikle oksijen difüzyon hızının kontrolü altındadır. Toprağın pH değeri üzerine asit yağmurları da etki yapar ve pH'ın düşmesine neden olur. Böyle topraklarda çelik yüzeyinde CaCO₃ çökeleği oluşması güçleşir.

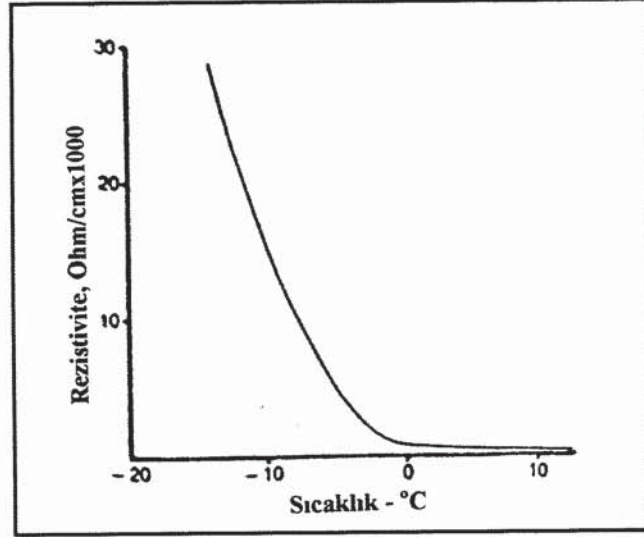
-Rezistivite:

Zemin rezistivitesi doğrudan toprağın yapısı ve toprak içinde çözünmüş halde bulunan iyonların konsantrasyonuna bağlıdır. Toprak esas olarak kil ve silt karışımından oluşur. Rezistivite de toprak içinde bulunan kil ve silt yüzdelere göre değişir. Şekil -3.14'de zemin rezistivitesinin kil ve silt yüzdelere bağlı olarak değişimi görülmektedir.



Şekil -3.14 Zemin rezistivitesinin kil,silt ve kum yüzdelere göre değişimi

Ayrıca zemin rutubeti arttıkça rezistivitenin azaldığı görülür. Rezistivite sıcaklığa da bağlıdır. 0 °C 'in altında rezistivitede büyük artış olur. Zemin rezistivitesinin sıcaklığa göre değişimi Şekil -3.15'de görülmektedir.



Şekil -3.15 Zemin rezistivitesinin sıcaklığa göre değişimi

Toprağın iletkenliğinin yüksek oluşu, korozyon hücreleri arasından geçen akımın şiddetini artırır. Rezistivite değeri zeminlerin koroziflik derecesi hakkında iyi bir fikir verir. Zeminlerin ne derece korozif olduğu rezistivite değerleri göz önüne alınarak sınıflandırılmaktadır. TS-5141'de yapılmış olan sınıflandırma Tablo -3.7'de verilmektedir.

TABLO -3.7 REZİSTİVİTE DEĞERLERİNE GÖRE ZEMİNLERİN SINIFLANDIRILMASI

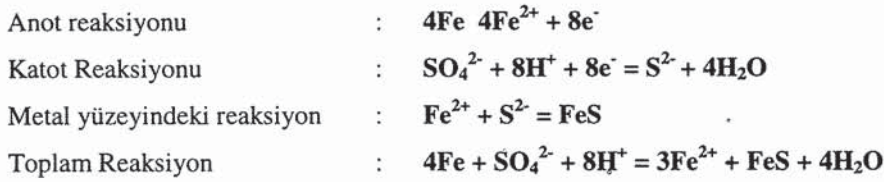
Zemin Rezistivitesi , Ohm.cm	Zeminin Korozif Özelliği
< 1000	Çok korozif
1000 - 3000	Korozif
3000 - 10000	Orta korozif
10000 <	Az korozif

Bu sınıflandırma ancak yaklaşık bir fikir verebilir. Çünkü zeminin rezistivite dışında kalan diğer özellikleri de korozyon hızına etki yapar. Örneğin farklı havalanma nedeniyle korozyon hızında büyük farklılıklar olabilir.

- Biyolojik korozyon:

Anaerobik zeminler içinde bulunan bazı bakteriler korozyona neden olurlar. Desülfovibrio desülfürikan bakterisi sülfat iyonunu sülfür haline redükler. Bu sırada demirin oksitlenmesine neden olur.

Bu bakterinin neden olduğu korozyon reaksiyonu şöyledir:



Görüldüğü üzere korozyon ürünleri içinde pas yanında FeS de bulunur. Korozyon ürünleri içinde FeS bulunması biyolojik korozyon oluştuğunu gösterir. Pas içinde FeS bulunduğu, seyreltik HCl damlatılarak meydana gelen H₂S kokusundan kolayca anlaşılır.

Biyolojik korozyonun oluşması için aşağıdaki koşulların bir arada bulunması gerekir.

- pH değerinin 5-9 arasında olması
- Zemin içinde organik bileşiklerin bulunması
- Sıcaklığın 40 °C'nin altında olması
- Redoks potansiyelin düşük olması (anaerobik ortamlar)

3.4.3 Zemin Koroziflik Derecesi

Yeraltına konulan çelik yapıların genellikle 50-100 yıl korozyona dayanması beklenir. Eğer yapının çevresinin etkisi ile kısa sürede korozyona uğraması ihtimali varsa, bu durumda korozyon hızını azaltıcı önlemlerin alınması gerekir. Bir zeminin ne derece korozif olduğuna, başta zemin rezistivitesi olmak üzere, zeminin daha önce açıklanan özellikleri incelenerek karar verilebilir. Ancak bu değerlerle yaklaşık bir sonuç elde edilir.

Zemin rezistivitesi Wenner dört elektrod yöntemi ile kolayca ölçülebilir. Yapının zemin içindeki elektrot potansiyeli de korozyon hızı hakkında fikir verebilir. Elektrot potansiyeli, kaçak akımların, konsantrasyon hücrelerinin ve galvanik etkilerin var olup olmadığı hakkında fikir verir. Zemin içindeki yapıların elektrot potansiyeli genellikle doymuş bakır/bakır sülfat referans elektroduna göre yapılır. Elde edilen potansiyel değerinin yorumlanmasını ancak tecrübeli uzmanlar yapabilir.

3.5 BETON İÇİNDE ÇELİĞİN KOROZYONU

Sulu çözeltiler içinde korozyona dayanıksız olan çelik, beton içinde beklenenden daha az korozyona uğrar. Bunun başlıca nedeni betonun yüksek alkali özelliğidir. Normal betonlarda pH derecesi 12-13 arasındadır. Bu durum çimento klinker bileşiklerinin su ile reaksiyonu sonucu oluşan kalsiyum hidroksitten ileri gelir. Ayrıca klinker bileşiminde bulunan alkali

metal oksitleri ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) de su içinde çözünerek betonun pH derecesini yükseltir. Beton içindeki çelik bu yüksek alkali ortamda süratle pasifleşir. Demir yüzeyinde oluşan bu pasif tabaka esas olarak $\gamma \text{Fe}_2\text{O}_3$ bileşimindedir. Metal yüzeyine sağlamca yapışan bu oksit tabakası metali korozyondan korur.

Beton yalnız pasifleştirici etkisi ile değil, fiziksel bir kaplama yaparak ta demiri çevre etkilerden korur. Ancak, beton içine difüze olan bazı bileşenlerin etkisi ile demir yüzeyinde bulunan pasif tabaka bozulabilir. Pasifliğin bozulmasına neden olan en önemli bileşen klorür iyonudur. Klorür iyonu beton bünyesine başlıca iki yolla girebilir.

- Beton pirizini çabuklaştırmak veya beton karışım suyunu azaltmak amacıyla beton içine katılan katkı maddeleri içinde klorür bulunabilir. Veya beton karışımında kullanılan agrega ve su ile birlikte istenilmeden beton içine klorür girebilir.

- Beton içine sonradan difüzyon yoluyla giren klorür korozyon açısından daha tehlikelidir. Bu yolla giren klorürün en büyük kaynağını, yollara buzları eritmek amacıyla atılan tuz oluşturur. Ayrıca deniz atmosferinde bulunan betonlarda, rüzgarların taşıdığı klorür iyonları da beton içine girerek orada birikebilir.

Betonun permeabilitesi ve porozitesi ne derece yüksek ise, çevreden beton içine klorür iyonları difüzyonu da o derece kolay olur. Zaman zaman ıslanan ve kuruyan betonlarda bu olay daha şiddetli olarak kendini gösterir. Suda çözülmüş olarak beton bünyesine giren klorür, daha sonra suyun buharlaşması sonucu beton boşluklarında birikir. Beton içinde hangi oranda klorür bulunması halinde, pasif tabakanın bozulabileceği tartışılmakta olan bir konudur. Zararlı olan minimum klorür konsantrasyonu konusunda literatürde çeşitli değerler verilmektedir. Bazı kaynaklar betonarme demirlerinin korozyonu için yalnızca klorür konsantrasyonu eşik değerinin verilmesinin yeterli olmayacağını ve korozyonun, betonun $[\text{OH}] / [\text{Cl}]$ molar oranına göre değerlendirilmesinin doğru olacağını ileri sürmektedirler.

Beton içine başlangıçta döküm sırasında girmiş olan klorür ile, sonradan sertleşmiş beton bünyesine çevreden difüze olarak giren klorür iyonlarının etkisi farklıdır. Başlangıçta beton henüz pirizini almadan karışım içinde bulunan klorür iyonlarının bir kısmı, çimento klinker bileşiklerinden tri kalsiyum alüminat ile reaksiyona girerek çözünmeyen bir bileşik (Friedel Tuzunu) oluşturur. Bu şekilde kimyasal olarak bağlanmış olan klorür artık korozyon açısından etkili olamaz. Bu nedenle beton içinde bulunan klorür konsantrasyonunun biri suda çözünen, diğeri asitte çözünen (toplam) klorür konsantrasyonu olmak üzere farklı olarak değerlendirilmesi gerekir. Beton içinde suda çözünebilir klorür için % 0,15 (3,5 kg klorür / 1 m^3 beton) ve toplam klorür konsantrasyonu için de % 0,20 (4,5 kg klorür/ 1 m^3 beton) değerleri limit olarak verilmektedir.

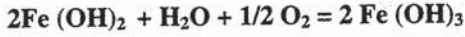
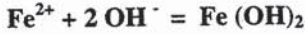
3.5.1 Beton İçindeki Korozyonun Elektrokimyasal Mekanizması

Portland çimentosu ile yapılmış normal bir betonun pH derecesi genellikle 12-13 arasındadır. Demir - su sistemi için hazırlanmış olan Pourbaix Diyagramları incelendiğinde bu pH derecesinde çeliğin pasif bölgede bulunduğu gözlenir. Diğer taraftan bu yüksek pH derecesinde katot reaksiyonu yalnızca oksijen redüksiyonu şeklinde gerçekleşebilir. Bu durum

betonarme demirlerinin korozyonu için büyük önem taşır. Çünkü korozyon için gerekli olan oksijen beton içine atmosferden taşınır. Yani havadaki oksijenin beton boşluklarına girerek orada bulunan boşluk suyunda çözünmesi ve katot yüzeyine kadar difüzenmesi gerekir. Oksijenin sudaki çözünürlüğü çok azdır. Ayrıca çözünmüş oksijenin beton içinde difüzenme hızı da son derece küçüktür. Bu durumda betonarme demirlerinin korozyon hızı doğrudan beton içine oksijen difüzenme hızının kontrolü altındadır.

Korozyon olayı için yalnız oksijene değil suya da ihtiyaç vardır. Suyun bulunması hem elektrokimyasal hücrelerin çalışabilmesi, hem de oluşan korozyon ürünlerinin uzaklaştırılması için gereklidir. Ancak burada çelişkili bir durum ortaya çıkar. Beton boşlukları su ile dolu olduğu zaman, oksijenin atmosferden katot bölgesine kadar taşınması güçleşir. Eğer beton boşluklarında su yoksa bu durumda oksijen taşınması kolaylaşır ancak korozyon için yeterli su bulunmadığından korozyon hızı azalır. Zaman zaman ıslanan ve kuruyan betonlarda korozyon hızı maksimumdur.

Korozyon sonucu oluşan demir -2 iyonları, yükek alkali ortamda önce demir -2 hidroksit haline, daha sonra da oksitlenerek demir -3 hidroksit haline dönüşür.



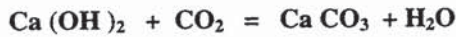
Bu reaksiyonlar sonucu oluşan demir -3 hidroksit, uygun koşulların bulunması halinde metal yüzeyinde $\gamma \text{Fe}_2\text{O}_3$ halinde sağlam bir kabuk oluşturur. Bu kabuk demirin pasifleşmesini sağlar. Pasifleşen demir yüzeyinin çevre ile teması kesilir ve korozyon olayı da durur. Beton içinde demir yüzeyinde oluşan bu pasif tabaka ancak bir dış etki ile bozulabilir. Beton içinde belli bir konsantrasyonda klorür iyonları bulunması pasifliğin bozulmasına neden olur. Ayrıca beton pH derecesinin düşmesi de pasif halin bozulmasına neden olabilir. Bu sonuncu olay karbonasyon etkisi ile ortaya çıkar.

Pasifliğin Bozulması

Yukarda açıklanmış olduğu gibi, pasifliğin bozulması için ya beton pH derecesinin düşmesi, ya da beton içine klorür gibi aktif bir iyonun girmesi gerekir.

Karbonasyon

Betonun sertleşmesi sırasında, klinker bileşiklerinin hidratasyonu sonucu kalsiyum hidroksit oluşur. Bu bileşik doygun halde beton boşluklarını doldurur. Beton boşluk suyunun yüksek pH derecesi bu doygun kireç çözeltiden ileri gelir. Ancak zamanla atmosferde bulunan karbon dioksit beton içine girerek burada bulunan kalsiyum hidroksit ile birleşir ve kalsiyum karbonat oluşturur.



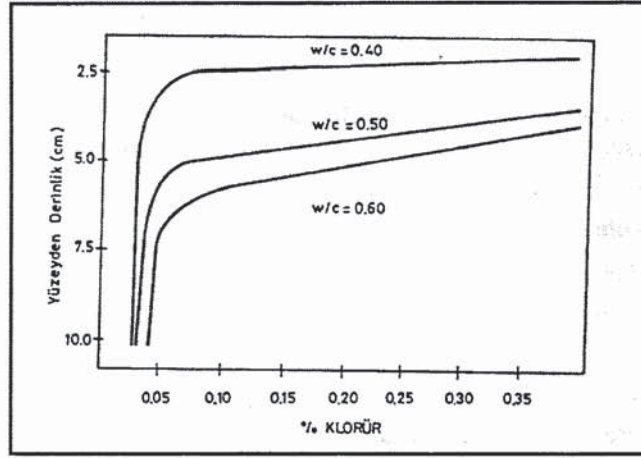
Böylece hidroksil iyonları nötrüleşerek, beton pH derecesini düşmesine neden olur. Bu olaya karbonasyon denir. Buna benzer olarak kirli atmosferlerde bulunan SO_x ve NO_x gibi asit anidriti olan gazlar da kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girerek beton pH derecesini düşürebilir. Gazların beton içine difüzyonu daha kolay olduğu için bu olaylar kuru halde

bulunan betonlarda daha etkilidir. Karbonasyon sonucu beton pH derecesi 9'a kadar düşebilir. Bu pH derecesindeki beton artık pasifleşme özelliği gösteremez.

Klorür İyonu Etkisi

Klorür iyonu demirin pasif hale gelmesini önlediği gibi, önceden oluşmuş bir pasif tabaka üzerine de bozucu etki yapar. Klorür kuvvetli elektronegatif yük taşıyan bir iyondur. Pasif tabakanın çatlakları arasından girerek metal yüzeyine ulaşır ve orada mikro korozyon hücrelerinin oluşmasına neden olur.

Sertleşmiş bir beton bünyesine çevreden klorür penetrasyonu hızı, betonun fiziksel yapısı ile doğrudan ilgilidir. Betonun porozitesi ve permeabilitesi ne derece az ise, beton içine penetre olabilen klorür miktarı da o derece az olur. Beton permeabilitesi başta su/çimento oranı olmak üzere, beton yapımında kullanılan agrega granülometrisine, çimento dozajına, betonun kalıp içinde sıkıştırılmasına ve dökümden sonraki ilk günlerde uygulanan kür koşullarına bağlıdır. Şekil -3.16'da su/çimento oranının (w/c), beton içine klorür penetrasyonu üzerine etkisi görülmektedir. Su/çimento oranı 0,40'dan 0,60'a kadar arttığında beton içindeki klorür konsantrasyonunun aynı derinlikte bir kaç kat artmış olduğu görülmektedir. Bu durum, su/çimento oranı yüksek olan betonlarda geçirgenliğin daha fazla olduğunu ve klorür iyonlarının dış ortamdan beton içindeki demirlerin yüzeyine kadar daha kolay erişebildiğini göstermektedir.

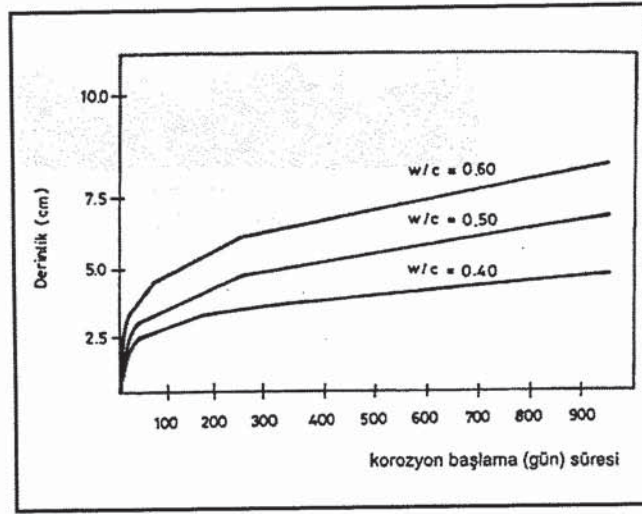


Şekil -3.16 Su/çimento oranının beton içine klorür penetrasyonu üzerine etkisi

Pratikte betonarme demirlerinin korozyonunun başlaması için geçen süre de büyük önem taşır. Demirler mümkün olduğunca beton içinde derine konularak korozyonun etkisi azaltılmaya çalışılır. Ancak betonarme demirleri üzerinde bulunan beton tabakası kalınlığını (pas payı) çok fazla artırabilmek mümkün olmaz. Betonun su/çimento oranı azaltılarak betonarme demirlerinde korozyon olayının başlama süresi geciktirilebilir. Şekil -3.17'de tuzlu

su içinde bekletilen değişik su/çimento oranındaki betonlarda korozyon olayının başlaması için geçen süre görülmektedir.

Grafikten görüldüğü üzere, su/çimento oranı arttıkça betonarme demirlerinde korozyon daha kısa zamanda başlamaktadır. Örneğin 5 cm derinlikte bulunan betonarme demirlerinde, su/çimento oranı 0,60 olduğunda korozyon olayı yaklaşık olarak 50 gün sonra başladığı halde, su/çimento oranının 0,40 olması halinde 800 gün sonra başlamaktadır.



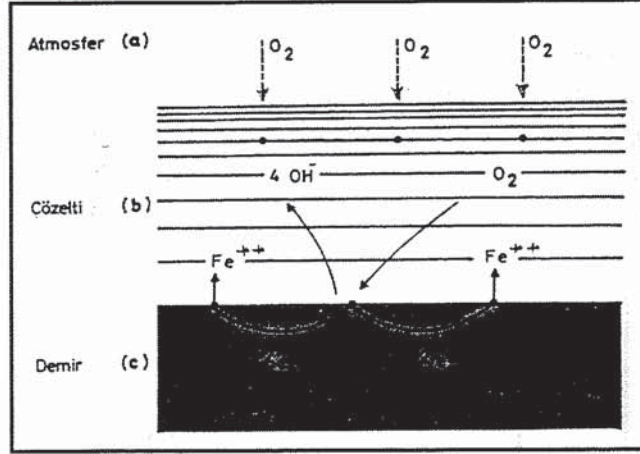
Şekil -3.17 Su/çimento oranının korozyonun başlama süresi üzerine etkisi

3.5.2 Korozyon Hızına Etki Yapan Faktörler

Yukarda açıklanmış olduğu üzere, betonarme demirlerinin korozyon hızı, atmosferden demir yüzeyine olan oksijen difüzyon hızının kontrolü altındadır. Burada en büyük etken betonun permeabilitesi ve demirler üzerinde bulunan beton tabakasının (pas payı) kalınlığıdır. Bunların dışında beton rutubeti (beton boşluklarının su ile doluluk yüzdesi) de oksijen difüzyon hızını etkiler.

Oksijen Difüzyonu

Atmosferdeki oksijenin beton içinde bulunan demir yüzeyine kadar ulaşması iki basamakta gerçekleşir. Önce oksijen beton boşluklarına girerek orada bulunan beton boşluk suyu içinde çözünür. Daha sonra difüzyon yoluyla çözelti içinde hareket ederek metal yüzeyine ulaşır. Bu ikinci basamak çok yavaş yürür (Şekil -3.18).



Şekil -3.18 Betonarme demirlerine atmosferden oksijen difüzyon hızı

Oksijenin su içindeki difüzyon hızı çok küçük olduğundan, (yaklaşık olarak 10^{-13} mg/cm².s) beton içine oksijen difüzyon hızı, beton boşluklarının su ile dolu veya boş oluşuna göre çok farklıdır.

Beton Kalitesi

Beton kalitesi artırılarak, betonarme demirlerinin korozyon hızı azaltılabilir. Betonun permeabilitesi ve porozitesini azaltmak üzere her şeyden önce iyi bir agrega ve uygun bir granülometri seçilmelidir. Bunun dışında aşağıdaki önlemlerin de alınması gerekir.

Çimento cinsi ve dozajı: Çimento dozajı artırıldığında beton yoğunluğu artar ve porozitesi azalır. Kullanılan çimento cinsi de önemlidir. Puzolanlı çimentolar, beton boşluklarında bulunan serbest kireci silikat bileşikler halinde bağlayarak beton boşluklarını doldurur. Böylece beton permeabilitesinde azalma meydana gelir. Ancak puzolanların bu etkisi uzun süre içinde ortaya çıkar.

Su/çimento oranı: Beton karışımı içine bazı özel katkı maddeleri katılarak su/çimento oranı düşürülebilir. Böylece beton içindeki boşluklar minimuma indirilmiş olur. Çimentonun hidratasyonu için kimyasal olarak gerekli su miktarı % 30'dan daha azdır. Pratikte bu oran genellikle % 40-50 arasında alınır. Fazla su betonun boşluklu olmasına neden olur.

Beton dökümü: Beton kalıplara yerleştirilirken, vibrasyon yapılarak tam olarak kalıp içine yerleşmesi sağlanmalıdır. Beton içindeki boşluğun yüzdesi kadar, bu boşlukların bir biri ile bağlantılı olmaları da beton permeabilitesi açısından çok önemlidir. Beton içindeki boşlukların kapalı hücreler halinde kalmasını sağlayabilmek ve beton permeabilitesini azaltmak için özel hava katkı maddeleri katılabilir.

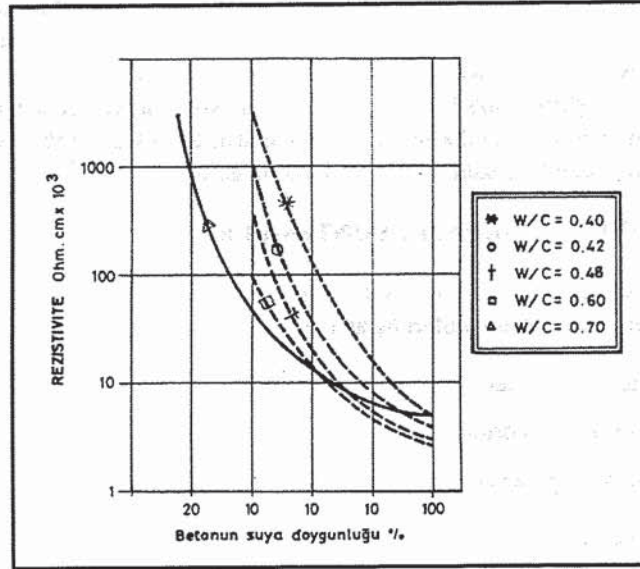
Beton kuru: Dökümden sonraki ilk günlerde, betonun içinde bulunduğu ortamın sıcaklığı ve relatif rutubeti beton kalitesi açısından büyük önem taşır. Dökümden sonra sıcak ve kuru

ortamlarda bekletilen betonlar uygun şekilde kristalleşemediklerinden boşluk yüzdeleri fazladır.

Beton Rutubeti

Yukarda açıklandığı üzere, betonarme demirlerinin korozyonu için hem oksijene, hem de suya ihtiyaç vardır. Sürekli kuru halde bulunan betonlar içinde korozyon hızı son derece azdır. Beton rutubeti arttıkça korozyon hızında da artış olur. Ancak %100 doymuş rutubetli betonlarda, beton boşlukları tamamen su ile dolu olduğundan atmosferden oksijen difüzyonu güçleşir ve bunun sonucu olarak korozyon hızında önemli ölçüde azalma olur. Betonarme demirlerinin korozyonu için en uygun ortam betonun kısmen rutubetli olması, veya zaman zaman ıslanıp kurumasıdır. Beton yapının bir bölgesinin rutubetli diğer bölgelerinin kuru oluşu da, farklı havalanma nedeniyle tehlikeli korozyon hücrelerinin oluşmasına ve rutubetli olan bölgenin anot olarak korozyona uğramasına neden olur.

Elektrokimyasal olarak bakıldığında, beton rutubetinin korozyon üzerine iki şekilde etki yaptığı görülür. Her şeyden önce su korozyon hücrelerinin elektroliti olarak gereklidir. Rutubetin ikinci etkisi, betonun iletkenliğini artırıcı olarak rol oynamasıdır. Beton rutubeti (doymuşluk yüzdesi) ile betonun özgül elektriksel direnci arasındaki bağıntı Şekil -3.19'da görülmektedir.



Şekil -3.19. Beton özgül elektrik direncinin rutubet derecesine göre değişimi

3.5.3 Betonarme Demirlerinin Korozyonuna Karşı Alınacak Önlemler

Pratikte betonarme demirlerinin korozyonunu önlemek için başlıca aşağıdaki önlemler alınmaktadır.

- * Beton yapımı sırasında permeabiliteyi azaltıcı önlemler alınması
- * Betonarme demirlerinin galvanize edilmesi veya epoksi boya ile boyanması
- * Beton yüzeylerinin geçirimsiz bir malzeme ile kaplanması
- * Beton içine inhibitör katılması
- * Katodik koruma uygulanması

Bunların içinde basitliği ve ekonomik oluşu nedeniyle inhibitör kullanımı geniş bir uygulama alanı bulmuştur. İnhibitör olarak genellikle kalsiyum veya sodyum nitrit, potasyum kromat ve sodyum benzoat kullanılmaktadır. İnhibitör cinsinden çok dozajı önemlidir. Gereğinden daha az inhibitör kullanılması, büyük bir katoda karşı küçük bir anot bölgesinin oluşmasına ve şiddetli korozyon olayının başlamasına neden olabilir. Diğer taraftan, bazı inhibitörlerin betonun piriz süresi ve mukavemeti gibi fiziksel özellikleri üzerine olumsuz etki yapması da söz konusudur.

Betonarme demirlerinin korozyonunun önlenmesi için en etkili yöntem katodik korumadır. Katodik koruma ile korozyona uğramış olan eski betonarme demirlerinin korozyonunu da kesin olarak durdurmak mümkündür. Ancak betonarme demirlerine katodik koruma uygulamanın da bazı sorunları vardır. Bunlardan en önemlisi anotların beton içine yerleştirilmesinde karşılaşılan zorluklardır. Beton, özellikle kuru halde iken elektriksel iletkenliği düşük olan bir elektrolittir. Böyle bir elektrolit içinde katodik koruma için üniform bir akım dağılımını sağlamak oldukça güçtür. Diğer taraftan betonarme demirleri birbirine kaynak edilmeyip telle tutturulmaktadır. Bu zayıf bağlantılar düşük voltajlı katodik koruma akımının geçişini zorlaştırır. Bazı bölgeler aşırı olarak korunurken, bazı bölgelere de akım ulaşamıyabilir. Buna rağmen katodik koruma uygulaması, özellikle köprü, viyadük, iskele vb. önemli yapılarda en güvenilir çözüm yolu olarak tercih edilmektedir.

3.6 KOROZYONDAN KORUNMA YÖNTEMLERİ

Belli bir ortam içinde bulunan bir metalik yapının korozyonunu önlemek veya korozyon hızını azaltmak üzere alınacak önlemleri üç ana grup altında toplayabiliriz.

1. Elektrokimyasal yöntemler :
 - a) Katodik koruma
 - b) Anodik koruma
2. Kimyasal yöntemler :
 - a) İnhibitör kullanımı
 - b) Çevrenin kimyasal bileşiminin değiştirilmesi
(Örneğin, su arıtılması, hava rutubetinin giderilmesi)
3. Koruyucu kaplama (boya) yapılarak metalin çevresinden izole edilmesi.

En çok uygulanan elektrokimyasal yöntem katodik korumadır. Bu yöntemde korozyona uğrayan yapının potansiyeli kontrol edilerek metal termodinamik olarak stabil hale getirilir. Bunun için metale katodik yönde bir dış akım uygulanır. Katodik koruma ve uygulamaları 9. Bölüm’de ayrı olarak ele alınacaktır.

Koruyucu kaplamalar özellikle organik boyalar korozyonu önlemek amacıyla kullanılan en basit ve en ucuz yöntemdir. Endüstride en çok bu yöntem kullanılmaktadır. Boya ve uygulamaları 8. Bölüm’de ele alınacaktır.

Çevrenin değiştirilmesi veya korozif etkilerinin azaltılmasına en iyi örnek inhibitör kullanılmasıdır. İnhibitör kullanarak korozyon hızını çok düşük seviyelere indirmek mümkündür.

3.7 İNHİBİTÖRLER

Ortama az miktarda katıldığında korozyon hızını azaltan maddelere korozyon inhibitörü denir. Korozyona karşı dayanıklı fakat pahalı olan bir malzeme kullanmak yerine bazı halde ortama inhibitör katılarak daha ucuz malzemelerin kullanılması yoluna gidilir. İnhibitör kullanımı çukur tipi korozyona karşı en ekonomik çözüm yoludur.

İnhibitörlerin korozyon hızını azaltıcı etkileri çeşitli şekillerde gerçekleşir. Bazı inhibitörler metal yüzeyinde ince bir film oluşturarak, metal ile çevresi arasındaki reaksiyon hızını yavaşlatırlar. Bazı halde ortamda bulunan korozyon yapıcı bileşenin, örneğin oksijenin inhibitör tarafından kimyasal olarak bağlanması ile korozyon önenebilir. Etkime şekline göre inhibitörler, anodik inhibitör veya katodik inhibitör olarak ikiye ayrılır. Ancak korozyonu önleme mekanizmalarını göz önüne alarak inhibitörleri beş ayrı grup altında toplamak mümkündür. Tablo -3.8’de inhibitör tipleri ve bunların etkiye mekanizmaları verilmektedir.

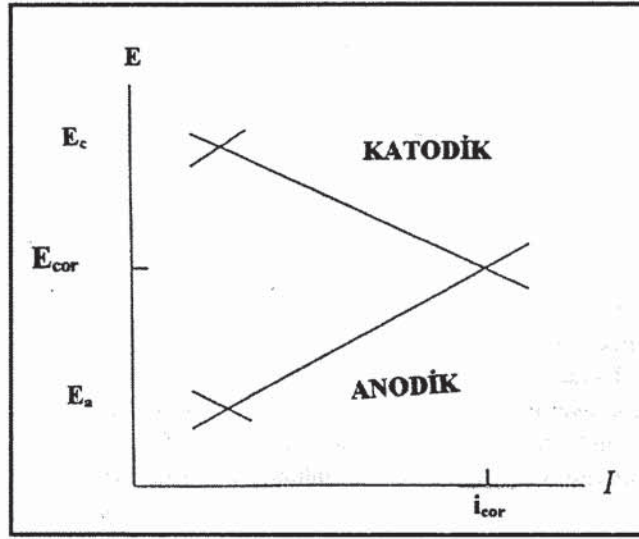
TABLO -3.8 KOROZYON İNHİBİTÖRLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

İnhibitör tipi	Örnekler	Etkime mekanizması
Anodik İnhibitörler	Kromat, Nitrit	Oksitleme yoluyla pasifleştirir. Eğer gerekli olandan daha az inhibitör kullanılırsa, çukur tipi korozyona neden olabilir.
Anodik İnhibitörler	Fosfat Molibdat	Metal ile birleşerek yüzeyde pasif bir film oluşturur. Eğer gereğinden daha az inhibitör kullanılırsa, çukur tipi korozyon oluşur.
Katodik İnhibitörler	Karbonatlar Çinko sülfat	Karbonatlar kalsiyum ile CaCO_3 , çinko sülfat ise, Zn(OH)_2 çökeleği oluşturur. Bu inhibitörler ile yalnız katodik reaksiyonlar yavaşlatılabilir.
Oksijen bağlayıcılar	Sülfid	Elektrolit içinde bulunan çözünmüş oksijeni bağlayarak katodik reaksiyonu yavaşlatırlar.
Film oluşturanlar	Aminler Hidrazin İmidazolinler Asetil alkoller	Bu organik bileşikler metal yüzeyinde adsorbe edilerek hem anodik hem de katodik reaksiyonu yavaşlatırlar.
Gaz inhibitörler	Sikloheksilamin Morfolin	Nitrit iyonuna benzer şekilde pasifleşmeye neden olurlar. Morfolin ise nötralize etmek amacıyla kullanılır.

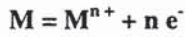
İnhibitör Etkisinin Elektrokimyasal Mekanizması

Sulu çözeltiler içinde yürüyen korozyon olaylarını elektrokimyasal olarak incelemek üzere anodik ve katodik polarizasyon eğrileri çizilerek Evans Diyagramı elde edilir. Bu diyagramda anodik ve katodik polarizasyon eğrilerinin kesim noktası korozyon akımını verir. Dolayısı ile anodik ve katodik polarizasyon eğrilerinin eğimi korozyon hızı üzerine büyük etki yapar. Şekil -3.20'de tipik bir Evans Diyagramı görülmektedir.

Şekil -3.20 Bir korozyon hücresinde polarizasyon eğrileri



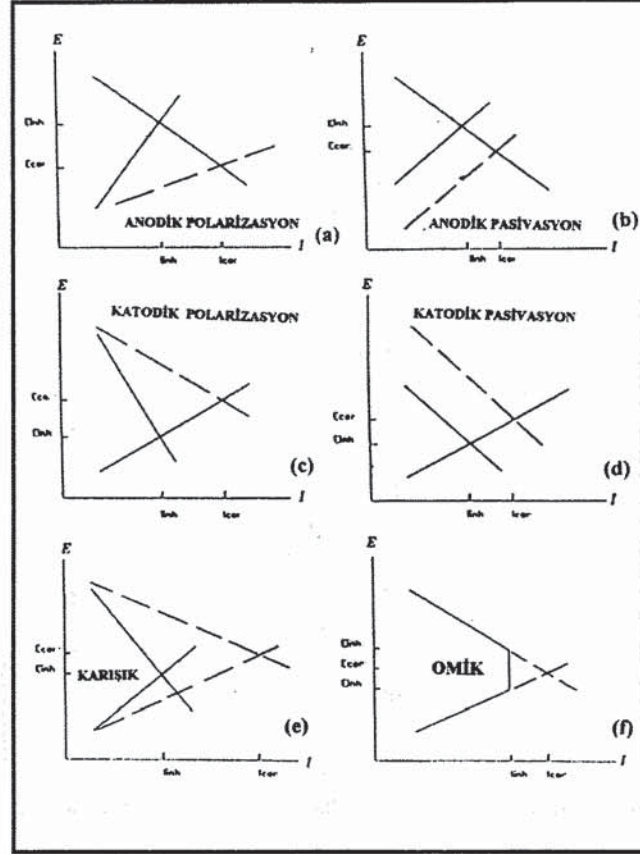
Korozyon hücresinde anodik reaksiyon metalin çözünme reaksiyonudur.



Katot reaksiyonu çözünmüş oksijen içeren nötral çözeltilerde oksijen redüklenmesi şeklindedir.



Bu reaksiyonların polarizasyon biçimine göre korozyon hızı (i_{cor}) artar veya azalır. O halde anodik ve/veya katodik polarizasyon eğrilerinin eğimi değiştirilmek suretiyle korozyon hızı azaltılabilir. Eğer elektrolit içine uygun bir inhibitör katılarak polarizasyon eğrilerinden birinin veya ikisinin eğimleri daha dik hale getirilirse, korozyon hızında azalma olacaktır. İnhibitörün polarizasyon eğrileri üzerindeki etkileri Şekil -3.21'de görülmektedir. Şekil -3.21 (a)'da, anodik polarizasyon eğrisi eğimi artırılarak korozyon hızı azaltılmaktadır. Normal haldeki anodik polarizasyon eğrisi kesikli çizgiler ile gösterilmiştir ve korozyon hızı i_{cor} 'dur. İnhibitör katılması halinde anodik polarizasyon eğrisinin eğimi daha dik hale gelmekte ve korozyon hızı i_{inh} değerine düşmektedir.



Şekil -3.21 Çeşitli inhibitörlerin korozyon hızı üzerine etkisi

(b)'de inhibitör katılması ile anodik polarizasyon eğrisinin eğiminde bir değişme olmamakta, fakat inhibitör anot yüzeyini pasifleştirmiş olduğu için, anot potansiyeli daha soy bölgeye doğru kaymaktadır. Bu durumda da korozyon hızında azalma meydana gelmektedir. Anodik inhibitör etkisi ile oluşan bu olayların her ikisinde de korozyon potansiyeli pozitif yöne doğru kaymaktadır.

Şekil -3.21(c) ve (d)'de katodik inhibitörlerin polarizasyon eğrileri üzerindeki etkisi görülmektedir. Her iki halde de korozyon hızı azalmakta ve korozyon potansiyeli negatif yöne doğru kaymaktadır.

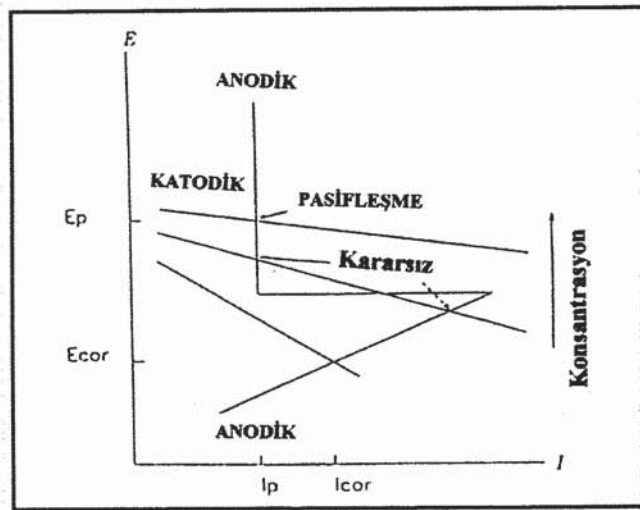
Şekil -3.21(e)'de hem anodik, hem de katodik polarizasyon eğrilerinin eğiminin artırılması ile oluşan karma inhibitör etkisi görülmektedir. Bazı inhibitörler metal yüzeyinde elektriksel direnci yüksek bir film oluşturarak hem anot hem de katot direncini artırır. Bu durumda korozyon hücresinde omik direnç artışı nedeniyle korozyon hızı azalır. Şekil -3.21(f)'de omik direnç artışının polarizasyon eğrileri üzerindeki etkisi görülmektedir.

3.7.2 İnhibitörlerin Sınıflandırılması

İnhibitörler etki biçimlerine göre dört gruba ayrılırlar.

Pasifleştirme Yoluyla İnhibisyon

Bazı inhibitörler metali pasifleştirerek korozyon hızının düşmesine neden olurlar. Daha önce belirtildiği gibi pasifleşme özelliği gösteren bir metalde katodik polarizasyon eğrisinin durumuna göre korozyon açısından üç hal söz konusu olabilir (Şekil -3.22).



Şekil -3.22 Pasifleşme özelliği olan bir metalde katodik inhibitörün korozyon hızına etkisi

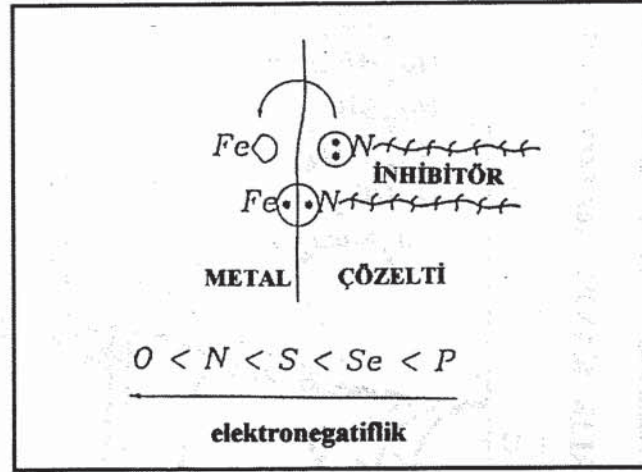
Katodik eğri Şekil -1.6(a)'da olduğu gibi anodik eğriyi pasif bölgede keserse, korozyon hızı düşüktür. Ortama yeterli miktarda inhibitör katılarak korozyon hızı (a)'da olduğu gibi azaltılabilir. Eğer inhibitör konsantrasyonu yeterli değil ise bu durumda (b)'de olduğu gibi kararsız hal ortaya çıkabilir. Yani katodik eğri, anodik eğriyi hem pasif hem de aktif bölgede keser. Bu durumda korozyon hızı, hiç inhibitör katılmamış halden daha yüksek değere ulaşabilir.

Kromat ve nitrit gibi inhibitörler metali oksitleyerek pasif hale getirirler. Fosfat, molibdat ve silikat anyonlarının oksitleme özelliği yoktur. Bu anyonların metali pasifleştirmesi için çözelti içinde mutlaka oksijenin bulunması gerekir. Eğer çözelti içinde yeterli miktarda oksijen yoksa, pasifleşme potansiyeline erişilemez. Bu durumda şiddetli korozyon olayı meydana gelir.

Adsorbsiyon Yoluyla İnhibisyon

Organik inhibitörler metal yüzeyinde adsorbe olarak inhibisyon etkisi gösterirler. Adsorbsiyon olayı, organik bileşiklerde bulunan ve elektronegatif özellikte olan bazı

atomların metal tarafından elektron ortaklığı yapılarak yüzeyde tutulması ile meydana gelir. Böylece metal yüzeyi organik bir film ile kaplanmış olur (Şekil -3.23).



Şekil -3.23 Bir organik inhibitörün metal yüzeyinde adsorbsiyonu

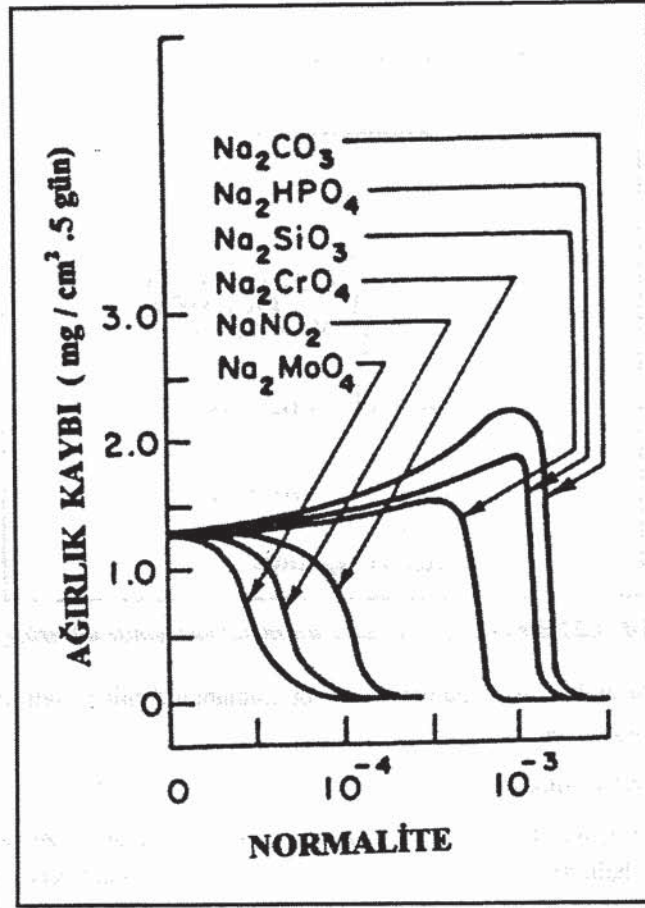
Şekilde inhibitör molekülünde bulunan bir azot atomunun demir metali ile yapmış olduğu elektron ortaklığı görülmektedir.

Çökeltme Yoluyla İnhibisyon

Nötral çözeltiler içinde korozyon sonucu oluşan metal iyonları yüzeyde bir oksit veya hidroksit bileşiği halinde çökebilir. Bazı inhibitörler bu çökeltilerin metal yüzeyine sağlamca yapışmasına yardımcı olurlar. Böylece oluşan film çevreden metal yüzeyine olan oksijen difüzyonunu önler. Bu tip inhibitörler katodik inhibitör olarak kabul edilir. Katodik reaksiyonlar sonucu genellikle hidroksil iyonları olduğundan katot bölgesi alkali özelliktedir. Alkali ortamda çökelek oluşturan bir çok inhibitör vardır. Örneğin çinko, magnezyum ve kalsiyum iyonları yüksek pH ortamında kolayca çökelti oluşturabilir.

İnhibitör Kullanımı

İnhibitörler ancak kapalı sistemlerde kullanılabilir. Çözelti içine ne miktar inhibitör katılacağı bir çok faktöre bağlıdır. İnhibitör kullanırken aynen ilaç kullanır gibi bilinçli olmak gerekir. Yalnız fazla miktarda inhibitör kullanımı değil yetersiz miktarda inhibitör kullanımı da tehlikelidir. Bu nedenle inhibitör cinsi ve konsantrasyonu seçimi pratikte büyük önem taşır. Genel olarak kromat, nitrit gibi oksitleyici özelliği olan inhibitörler diğerlerine göre daha küçük dozlarda etkili olur (Şekil -3.24).



Şekil -3.24 Çeşitli inhibitörlerin konsantrasyonlarının korozyon hızına etkisi

Oksitleyici özelliği olan bir inhibitör çelik yüzeyinde oluşan demir oksit filminin γ Fe₂O₃ haline dönüşmesini sağlar. Şekil -3.24’de görüldüğü üzere yetersiz dozlarda inhibitör kullanmak korozyon hızını azaltmak yerine artırıcı olarak rol oynamaktadır. Ayrıca inhibitör dozunun yetersiz olması halinde, metal yüzeyinin bazı bölgeleri aktif halde kalacağından, küçük bir anot yüzeyine karşı çok büyük bir katot yüzeyinin oluşmasına ve bunun sonucu olarak son derece tehlikeli çukur tipi korozyon olayının meydana gelmesine neden olacaktır.

Inhibitör cinsi belirlenirken yalnız elektrolit cinsi değil metal cinsi de göz önüne alınmalıdır. Endüstride çok kullanılan metallerin inhibisyonu için uygun olan bazı inhibitör cinsleri Tablo -3.9’da, çeşitli elektrolitler içinde kullanılan inhibitör dozları da Tablo -3.10’da verilmektedir.

TABLO -3.9 ÇEŞİTLİ İNHİBİTÖRLERİN BAZI METALLER ÜZERİNE ETKİNLİĞİ

Metal cinsi	Kromat	Nitrit	Benzoat	Borat	Fosfat	Silikat	Tanin
Yumuşak çelik	E	E	E	E	E	AE	AE
Dökme demir	E	E	N	B	E	AE	AE
Çinko	E	N	N	E	E	AE	AE
Bakır	E	AE	AE	E	E	AE	AE
Alüminyum	E	AE	AE	B	B	AE	AE

E: Etkili , AE: Az Etkili, B : Belirsiz, N : Etkisiz

TABLO -3.10 BAZI ORTAMLARDA KULLANILAN İNHİBİTÖR CİNS VE DOZAJLARI

ORTAM	KULLANILAN İNHİBİTÖRLER
İçme Suları	Kalsiyum karbonat, silikatlar, fosfatlar ve çinko tuzları
Soğutma suları	Kromat, nitrat (300-500 ppm), kalsiyum polifosfat (15-37 ppm), silikatlar (20-40 ppm)
Otomobil radyatörleri	Nitrit, benzoat, boraks , fosfat, benzotriazol
Buhar kondenserleri	Amonyak, morfolin, benzilamin, siklohegzamin, okdesilamin (1-3 ppm)
Deniz suyu	Kromatlar (2000-3300 ppm), Sodyum nitrit (%3-10)
Sülfürik asit pikling çözeltisi	Feniltiöüre, merkaptanlar (% 0,003-0,01)
Hidroklorik asit pikling çözeltisi	Piridin, kinolin, aminler, feniltiöüre, dibenzil sülf oksit
Ham petrol	Aminler, amido aminler, alkil piridinler yağ imidazolinleri
Petrol ürünleri	İmidazolin ve türevleri

3.8 ANODİK KORUMA

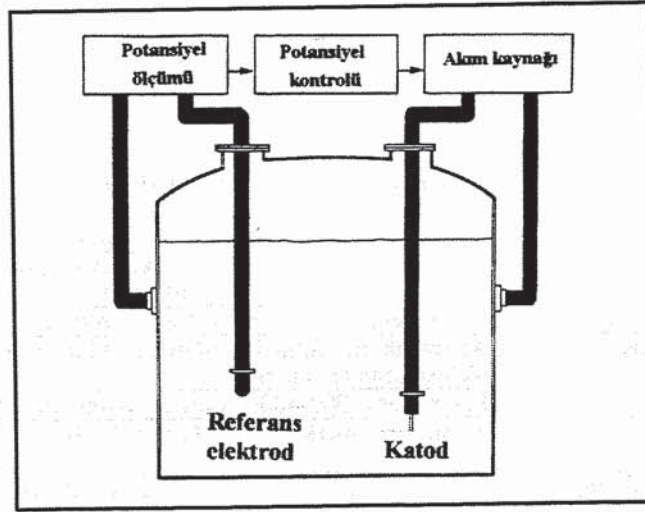
Anodik koruma metalleri korozyondan korumak için uygulanan ilginç bir elektrokimyasal yöntemdir. Aynen katodik korumada olduğu gibi metale dıştan bir akım uygulanarak koruma sağlanır. Ancak anodik korumanın elektrokimyasal ilkeleri katodik korumadan oldukça farklıdır. Anodik koruma esas olarak bir pasifleştirme işlemi olarak kabul edilebilir. Bu nedenle bu yöntem ancak pasifleşme özelliği olan metallere uygulanabilir. Ne var ki, çok az sayıda metal o da ancak bazı çözeltiler içinde pasifleşme özelliği gösterebilir.

Anodik koruma yapılarak metal sürekli olarak pasif halde tutulabilir. Yukarıda açıklandığı gibi pasif hal, korozyon akımının en küçük olduğu haldir. Ancak en küçük korozyon akımı her zaman yeterli derecede küçük olmayabilir ve bu nedenle bazı çözeltiler için bu yöntem uygun çözüm getirmez. Ayrıca anodik korumada potansiyel ve akım kontrolünün çok iyi yapılması gerekir. Eğer sistemde bir arıza meydana gelirse, korunan metal kısa sürede

korozyona uğrayabilir. Bu nedenle anodik koruma genellikle çok şiddetli korozyon olayının söz konusu olduğu ortamlarda korozyon hızını azaltmak amacıyla kullanılabilir.

Aktif pasif geçişli bir metalin Şekil -1.5'de verilen E-log i grafiği incelenecek olursa, anodik koruma yapılarak korozyon akımının (d) noktasından (b) noktasına çekilebileceği anlaşılır. Böylece metalin korozyon hızı, aktif haldeki hızının yaklaşık olarak yüzde birine kadar azaltılabilir.

Bir çelik sülfürik asit tankına anodik koruma uygulanması şematik olarak Şekil -3.25'de görülmektedir.



Şekil -3.25 Bir sülfürik asit tankının anodik olarak korunması

Bir doğru akım kaynağının pozitif ucu tanka, negatif ucu da, tank içinde çözeltiye sarkıtılmış olan katoda bağlanır. Dıştan akım uygulanarak tank metalinin potansiyeli anodik olarak artırılır ve pasiflik bölgesine taşınır. Bir referans elektrod yardımı ile tank potansiyeli sürekli olarak kontrol edilir. Anodik korumanın aktif bölgeye kayma tehlikesini önlemek için, uygulanan aşırı gerilim değeri, E_{pp} pasifleşme potansiyeli değerinin (**Flade potansiyel**) bir kaç yüz milivolt üzerinde tutulmağa çalışılır. Potansiyeli pasif bölgede sabit tutabilmek için doğru akım devresine bir amplifiyer ünitesi ilave edilir. Böylece sistem için gerekli olan akım otomatik olarak ayarlanmış olur. Metali pasif bölgede tutabilmek için çok küçük bir akım yoğunluğu yeterli olur. Bu nedenle anodik korumada akım giderleri çok azdır.

Eğer anodik koruma yapılabilirse, sülfürik asit tankları paslanmaz çelik yerine adi yumuşak çelikten yapılabilir. Daha ekonomik olduğu için, son yıllarda sülfürik asit fabrikalarındaki asit tankları ve ısı değiştiricileri artık anodik olarak korunmaktadır. Hatta ısı değiştiricileri anodik koruma teçhizatı ile birlikte satılmaktadır.

Hangi metalin hangi çözeltiler içinde anodik olarak korunabileceği aşağıda Tablo-3.11' de verilmektedir.

TABLO -3.11 ANODİK KORUMA İÇİN METAL VE ÇÖZELTİLER

Metaller	Çözeltiler
Yumuşak çelik	Sülfürik asit
Paslanmaz çelik	Fosforik asit
Nikel	Nitrik asit
Titanyum	Amonyak Organik asitler Kostik çözeltileri

Klorür çözeltileri ve hidroklorik asit çözeltileri içinde, klorür iyonu pasifleşmeyi engellediği için anodik koruma uygulanamaz.

3.8.1 Anodik korumada kullanılan katotlar

Anodik korumada önemli olan diğer bir husus da, yardımcı elektrod olarak uygun bir katodun seçilmesidir. Katodun her şeyden önce düşük hidrojen aşırı gerilimli olması gerekir. Başlangıçta katot olarak platin kullanılmıştır. Son yıllarda daha ucuz metallerin de kullanılmasına başlanmıştır. Tablo -3.12'de pratikte anodik koruma sistemlerinde kullanılmakta olan katot metalleri ve ortamlar verilmektedir

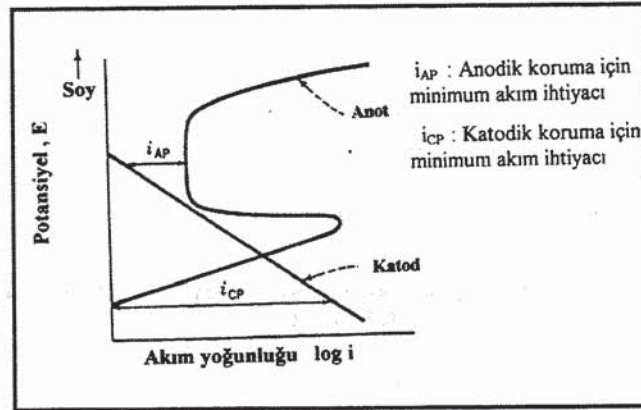
TABLO -3.12 ANODİK KORUMA SİSTEMLERİNDE KULLANILAN KATODLAR

Katot metali	Ortam
Platin kaplanmış pirinç	Her ortamda
Çelik	Sellüloz hamurunda
Demir - silikon	Sülfürik asit (%90)
Bakır	Hidroksilamin sülfat
Paslanmaz çelik	Gübre çözeltileri
Nikel kaplı çelik	Gübre çözeltileri
Hastelloy-C	Sülfürik asit

Eğer hiç bir koruma yapılmaz ise, yumuşak çelikten yapılmış olan bir sülfürik asit tankında çözünen demir konsantrasyonu her gün 5-20 ppm kadar artar. Korozyon hızı asidin sıcaklığına ve kabın büyüklüğüne de bağlıdır. Eğer bu kaba anodik koruma uygulanabilirse, demir konsantrasyonunun günlük artışı 1 ppm değerine düşürülebilir. Böylece hem kabın ömrü artırılmış, hem de kap içinde bulunan sülfürik asidin kirlenmesi önlenmiş olur.

3.8.2 Anodik Koruma ve Katodik Koruma Sistemlerinin Karşılaştırılması

Anodik ve katodik koruma sistemlerinin her ikisi de korozyonu önlemek üzere kullanılan elektrokimyasal yöntemlerdir. Ancak uygulamada bazı farklılıklar vardır. Katodik korumada metal katodik yönde polarize edilerek termodinamik olarak stabil olduğu bölgeye taşınır. Teorik olarak bu bölgede metalin korozyona uğraması söz konusu değildir. Anodik korumada ise, metal anodik yönde polarize edilerek pasiflik potansiyelinden daha pozitif bir potansiyele taşınır. Bu bölgede de metal korozyona uğrar, ancak korozyon hızı korumasız hale göre çok düşüktür. Her iki koruma sistemi arasındaki fark burada kendini gösterir. Anodik koruma için uygulanan dış akım, pasif bölge içinde kalınmış olduğundan katodik koruma yöntemine göre çok düşüktür. Korozyona uğrayan bir metalin anodik ve katodik koruma akım ihtiyaçları, Şekil -3.26'de görülmektedir.



Şekil -3.26 Anodik ve katodik koruma akım ihtiyacı değerleri

İki koruma sistemi arasında bulunan diğer önemli bir fark da, katodik koruma bütün metallere uygulanabildiği halde, anodik koruma ancak pasifleşme özelliği olan metal veya alaşımlara uygulanabilir. Bu iki koruma yönteminin bir biri ile karşılaştırılması Tablo - 3.13'de verilmektedir.

Anodik koruma yalnız akım uygulanarak değil, bir kimyasal teknik ile metal pasif hale getirilerek de uygulanabilir. Bu konuda en basit yöntem, söz konusu metali yüksek katodik potansiyeli olan soy bir metal ile elektriksel olarak temas ettirmektir. Platin ve palladyum bu teknik için çok uygun olan metallerdir Paslanmaz çelik veya titanyum içinde çok az oranda Pd veya Pt bulunursa, katot potansiyeli yukarı çekileceğinden metallerin pasif halde kalmaları sağlanmış olur. Daha pahalı fakat etkili bir koruma da metalin bu soy metallerle elektrolizle veya vakum buharlatıcısında kaplanmasıdır. Bu kaplamanın bütün yüzeyi tam olarak örtmesi gerekmez.

**TABLO -3 .13 ANODİK VE KATODİK KORUMA YÖNTEMLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI**

KRİTERLER	ANODİK KORUMA	KATODİK KORUMA
Uygulama alanı	Yalnız pasifleşme özelliği olan metal ve alaşımlara uygulanabilir.	Bütün metal ve alaşımlarına uygulanabilir.
Elektrolit cinsi	Şiddetli korozif özellikte olan çözeltiler içinde uygulanabilir	Zayıf ve orta derecede korozif çözeltiler içinde uygulanabilir
Maliyet	Yapım ve bakım maliyeti yüksek,buna karşılık işletme maliyeti düşük	Yapım ve bakım maliyeti düşük,buna karşılık işletme maliyeti yüksek
Trafo Ünitesi	Potansiyel kontrollü	Akım veya potansiyel kontrollü
Akım ihtiyacı	Çok az (Pasiflik akımı kadar)	Yüksek (Elektrolitin cinsine ve kaplama cinsine bağlı)
İşletme koşulları	Pasifleşme potansiyeli tam olarak belirlenmelidir.	Katodik koruma potansiyel kriterleri bellidir.

3.8.3 Uygulamada Karşılaşılan Sorunlar

Pratikte karşılaşılan en büyük sorun, anodik koruma uygulanırken başlangıçta aktif halde olan metal yüzeylerini pasifleştirmek için çok fazla akıma ihtiyaç duyulmasıdır. Bu akım yüzeyler pasif hale geldikten sonra gerekli olan akım yoğunluğunun 100 katından fazladır. Bu durum sistem içinde çok büyük kapasiteli bir trafo-redresör ünitesini gerekli kılmaktadır. Normal işletme sırasında akım ihtiyacı çok azaldığından, bu kadar büyük kapasiteli bir akım kaynağına ihtiyaç kalmamaktadır. Pratikte bu sakınca aşağıdaki iki yöntemle giderilmeye çalışılmaktadır.

Birincisi, başlangıçta E_{cor} potansiyelinde olan metale anodik dış akım uygulandığında potansiyel pasif bölgedeki E_p potansiyeline çok yavaş olarak taşınmakta ve böylece metalin düşük korozyon hızında pasifleşmesi sağlanmaktadır.

İkinci yöntemde pasifleştirme işlemi çözelti sıcaklığı düşürülerek daha soğuk bir ortamda gerçekleştirilmektedir. Veya çözelti içine pasifleştirmeyi çabuklaştıracı bir inhibitör katılmaktadır. Örneğin paslanmaz çelik kaplara anodik koruma uygulamadan önce, kap nitrik asit ile dolduruluruk pasifleşme kimyasal yolla sağlanmaktadır. Pratikte izlenen diğer bir yol da, anodik akım uygulanarak pasifleştirilen kabın başlangıçta az bir kısmının çözelti ile doldurulması ve böylece ıslak yüzey alanını küçülterek, başlangıçta gerekli olan akım ihtiyacının azaltılmasıdır.

BÖLÜM –4

TASARIM AŞAMASINDA ALINACAK ÖNLEMLER

Bir yapının projesinin hazırlanmasından önce, henüz planlama aşamasında iken korozyon kontrolü göz önünde tutulmalıdır. Ancak böylece konu korozyon açısından ele alınarak tasarım için çeşitli seçenekler incelenebilir. Eğer bilinen eski bir teknoloji uygulanacaksa, ayrıntılar titizlikle incelenmelidir. Eğer yeni bir teknoloji geliştiriliyorsa, uygun malzeme için bazı ön deneylerin de yapılması gerekir.

4.1 TASARIMDA YAPILAN HATALAR

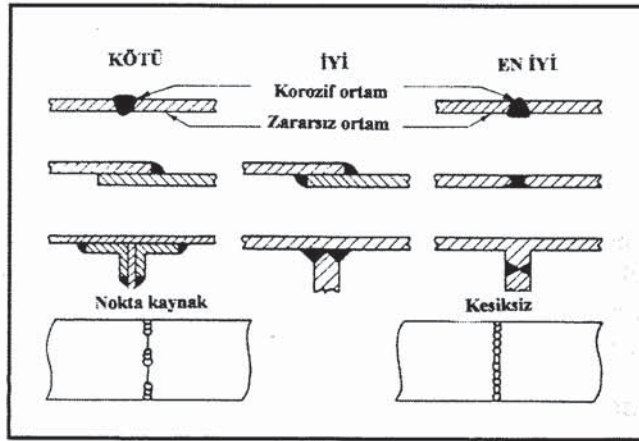
Tasarım sırasında daima en ekonomik malzemenin araştırılması gerekir. Böyle olunca genellikle en ucuz malzemelerin kullanılması gündeme gelir. En ucuz ve en çok kullanılan malzeme de çeliktir. Hangi malzemenin söz konusu ortamda ne kadar dayanabileceği önceden yaklaşık olarak bellidir. Katodik koruma yapılarak veya boya uygulayarak dayanma ömrünün ne kadar artırılacağı de göz önünde bulundurulur. Böylece sonradan bir sürprizle karşılaşma ihtimali kalmaz.

En ucuz metal kullanılacaksa, özellikle söz konusu ortamda ilk defa kullanılması halinde, bu malzemenin nasıl davranacağı önceden araştırılmalıdır. Gerçek koşullarda gerilme ve yorulma etkisi de söz konusu olacağından, malzeme beklenenden daha az bir performans gösterebilir. Bu nedenle denemeler şiddetli koşullar altında yapılmalıdır.

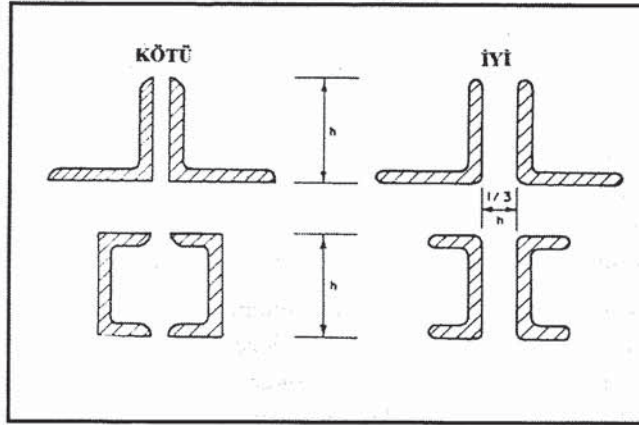
Tasarım sırasında bütün korozyon ilkelerine, kurallara ve teknik şartnamelere tam olarak uyulmalıdır. Bütün işlemler korozyon açısından incelenmelidir. Örneğin kaynak yapılması halinde, kaynak malzemesi ana yapıya göre biraz daha katodik etki gösterecek şekilde seçilmelidir. Kaynak bölgesi gerilme etkisinin az olduğu ve bakımın kolay yapılabildiği bir noktada yapılmalıdır. Ek yerinde çatlama oluşmamalıdır. Pratik olarak iyi ve kötü yapılmış kaynak uygulamaları Şekil -4.1’de görülmektedir.

Eğer kaynak yapılan malzeme paslı halde ise, korozyon kaçınılmaz hale gelir. Kaynak civarındaki pas tabakası kalker ve büyük bir katoda karşı küçük bir anot olarak şiddetli korozyon olayı görülür.

Boyanabilme durumu da korozyon açısından önemli bir konudur. Keskin uçlar ve dar bölgelerin etkili bir şekilde boyanması mümkün olmaz. Keskin köşe ve kenarlar yuvarlatılmalıdır. Malzemenin her noktasına fırça ile veya tabanca ile boya uygulanabilmelidir. Şekil -4.2’de boyanabilme açısından iyi ve kötü yapılmış örnekler görülmektedir.

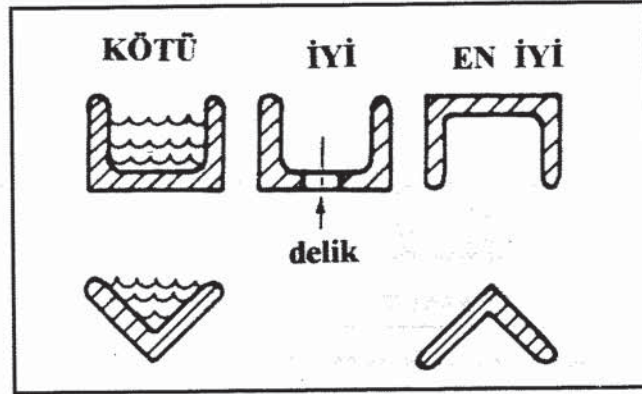


Şekil -4.1 Korozyon açısından kötü ve iyi yapılmış kaynaklar.

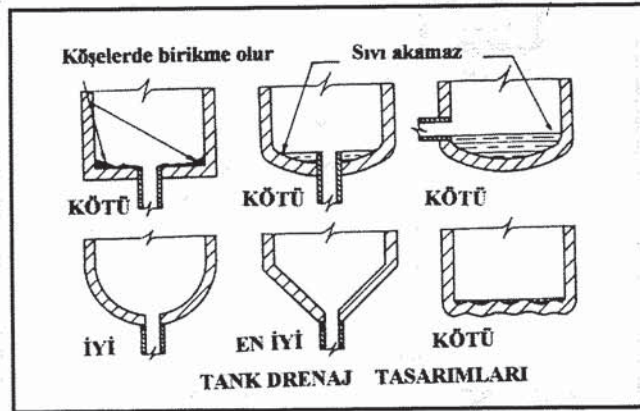


Şekil -4.2 Boyanabilme açısından kötü ve iyi yapılmış tasarım.

Tasarım sırasında göz önüne alınacak diğer önemli bir husus da, iyi bir direnajın sağlanmasıdır. Herhangi bir yerde su birikintisine izin verilmemelidir. Şekil -4.3’de iyi ve kötü direne olan profil tasarım biçimleri görülmektedir. Şekil -4.4 ve Şekil -4.6 da tankların boşaltılması ve direnaji ile ilgili iyi ve kötü örnekler verilmektedir.

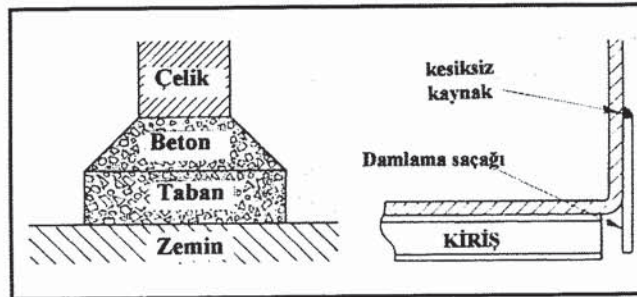


Şekil -4.3 Direnajaş tasarımı ile ilgili kötü ve iyi örnekler

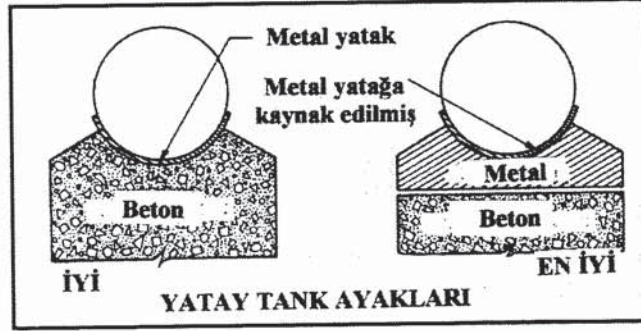


Şekil -4.4 Tank direnajaş tasarımları

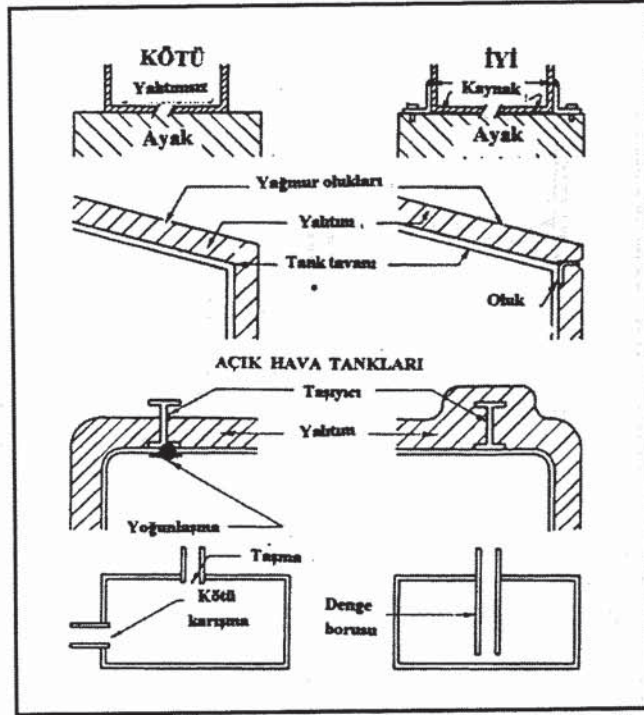
Tankların zemine nasıl oturtulacağı da önemli bir konudur. Tank tabanında korozyona meydan vermemek için tasarım sırasında gerekli önlemler alınmalıdır. Tankın oturmuş olduğu ayaklarda hiç bir zaman su birikmemelidir. İyi ve kötü tank tasarımları Şekil -4.5 (a) ve (b)'de görülmektedir.



Şekil -4.5 (a) Direnajaş bakımından uygun tank taşıyıcı eleman tasarımları



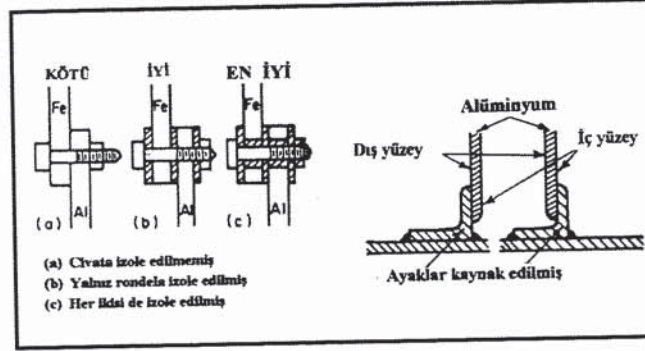
Şekil -4.5 (b) Yatay olarak bir beton üzerine oturtulan tanklar



Şekil -4.6 Tank tasarımı ile ilgili ayrıntılar.

Eğer korozyonlu bir ortamda farklı iki metal kullanılacaksa, bunlar birbirinden izole edilmelidir. Bağlantı noktasında izole edilmiş flanş veya rondelalarla elektriksel iletkenlik tam olarak önlenmelidir. İyi yapılmamış izolasyon, hiç yapılmamış olandan daha kötü sonuç verir.

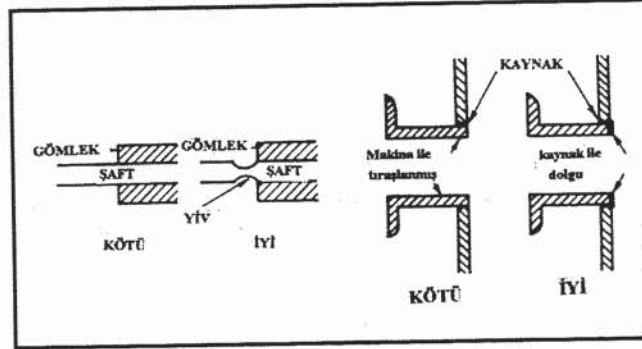
İki farklı metalin birleştiği bölgede korozyonlu karakterde elektrolit toplanmayacak şekilde tasarım yapılmalıdır. Elektrolit akıntısı katodik metalden anot metaline doğru olmamalıdır. Farklı iki metalin bağlantısına ait iki örnek Şekil -4.7'de görülmektedir.



Şekil -4.7 Farklı iki metalin bağlantısı

Çatlak korozyonuna karşı duyarlı olan metallerde bağlantı bölgelerinde özel önlemler alınması gerekir. Çatlaklar inhibitörlü izolasyon maddeleri doldurularak giderilebilir. Ancak oluşan çatlakları doldurmak yerine çatlağın oluşmamasına özen göstermelidir.

Daha önce açıklandığı üzere basınç altındaki şaftlarda aşındırıcı korozyon sorun yaratmaktadır. Şekil -4.8'de bir dingilde bu sorunun nasıl çözülebileceği görülmektedir.



Şekil -4.8 Aşındırıcı korozyonun önlenmesi

Şekilde görüldüğü üzere milin yatağa girdiği noktada önceden yumuşak bir yiv açılır. Böylece sürtünmeden ileri gelecek maksimum etki giderilerek aşınma önlenmiş olur.

4.2 TASARIMDA UYULMASI GEREKEN GENEL KURALLAR

İyi bir tasarım elde mevcut malzemenin amaca en uygun şekilde kullanılması ile sağlanır. Malzemenin kullanım amacından sapılmadan bazı değişiklikler yaparak korozyon hızını önemli ölçülerde azaltmak mümkündür. Amaç ekonomik bir çözümün bulunmasıdır. Bazı halde korozyon olayı göze alınarak malzemenin sık sık yenilenmesi de ekonomik açıdan uygun bir çözüm olabilir.

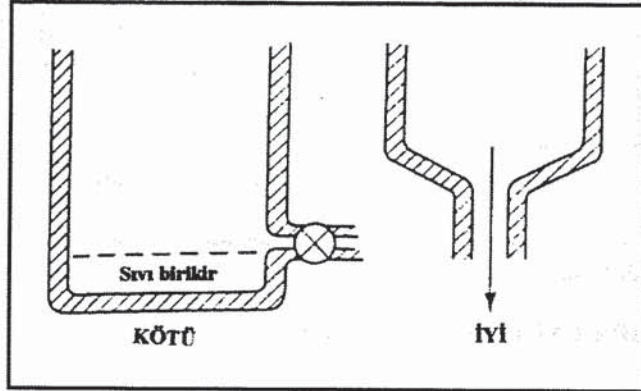
Tasarımcının mutlaka bir korozyon mühendisi olması beklenemez. Ancak her tasarımcının korozyon konusunda yeterli bilgisinin olması gerekir. Bir çok halde ortamın korozyon yapıcı özellikleri konusunda kesin bilgiler bulunmayabilir. Bu durumlarda, korozyonu önlemek açısından aşağıdaki genel kurallara uymak suretiyle korozyon hızı etkin şekilde azaltılabilir.

1. Durgun haldeki sulardan ve göllenmelerden kaçınılmalıdır.
2. Akış yüzeylerinde girinti, çıkıntı, oyuk v.b. pürüzler bulunmamalıdır.
3. Yüzeylerin temizlenmesi ve boyanmasını zorlaştıracak tasarım biçimlerinden kaçınılmalıdır.
4. Kirli atmosferin yaratacağı zararlı etkiler göz önüne alınarak projelendirme yapılmalıdır.
5. Yalıtım amacıyla kullanılan malzemelerin su absorbe ederek korozyona neden olması önlenmelidir.
6. Tasarım sırasında galvanik korozyona neden olacak iki farklı metalin teması önlenmelidir.
7. Tasarım sırasında malzemenin stresini azaltıcı önlemler alınmalıdır.

Bu konularda iyi ve kötü tasarım ile ilgili tipik örnekler aşağıda verilmektedir.

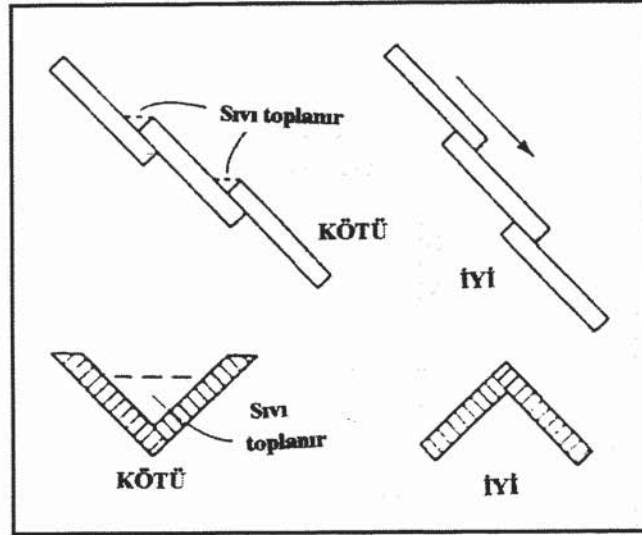
4.2.1 Göllenme ve birikme nedeniyle oluşan korozyon

- 1.a) Sıvı depolama kapları ve tanklar tam olarak boşaltılabilmelidir. Aksi halde dipte kalan sıvı korozif bir ortam oluşturabilir (Şekil -4.9).



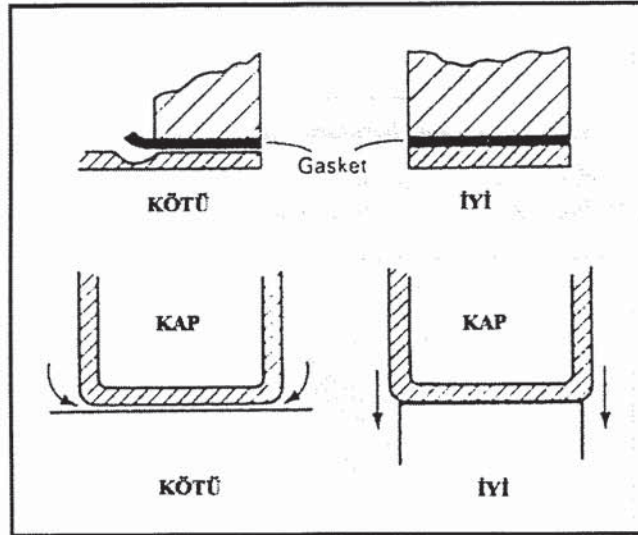
Şekil -4.9 Sıvı kapları tam olarak boşaltılabilmelidir

- 1.b) Yapı elemanları, hiç bir bölgesinde su birikintisi kalmayacak şekilde biçimlendirilmelidir. (V) biçimli kesitler varsa, bunların açık ağızları aşağı gelecek şekilde düzenlenmelidir (Şekil -4.10).



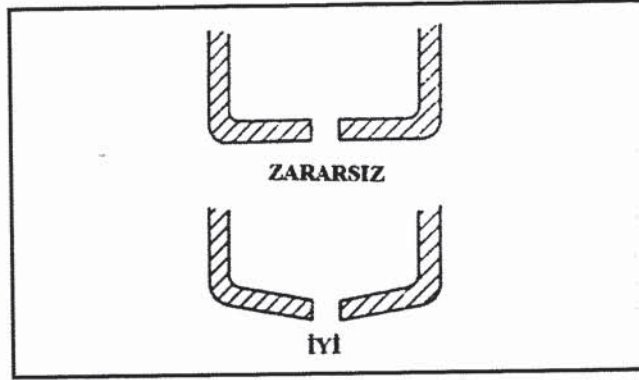
Şekil -4.10 Su birikintileri önlenmelidir

1.c) Kapların oturmuş olduğu taban yüzeylerinin sürekli ıslak halde kalması önlenmelidir. Suyun kolayca akarak uzaklaşması sağlanmalıdır (Şekil -4.11).



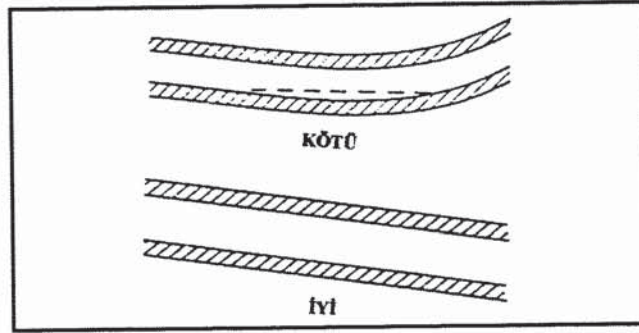
Şekil -4.11 Suyun kolayca akarak uzaklaşması sağlanmalıdır

1.d) Sıvı taşıyan kapların taban vanaları açıldığında, sıvının tam olarak boşalabilmesi için kabın tabanı eğimli olarak şekillendirilmelidir (Şekil -4.12).



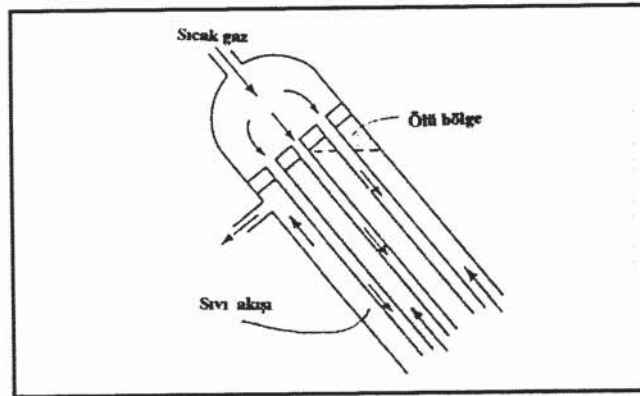
Şekil -4.12 Sıvı taşıyan kapların tabanı eğimli yapılmalıdır

1.e) Yatay borular içinde sıvıların göllenmesi önlenmelidir (Şekil -4.13).



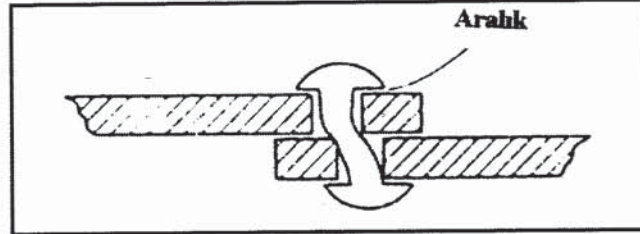
Şekil -4.13 Yatay borularda birikme önlenmelidir

1.f) Isı değişticiler eğik konumda çalıştırılmamalıdır. Bu durumda ısı değişticisinin üst kısmında ölü bir bölge oluşur. Bu bölgede aşırı ısınma sonucu şiddetli korozyon görülür (Şekil -4.14).



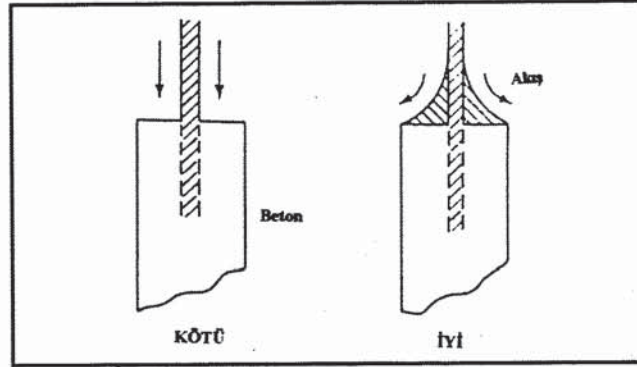
Şekil -4.14 Isı değişticiler eğik konumda çalıştırılmamalıdır

1.g) Yuvasına tam oturmamış bir perçin, çatlak korozyonu için uygun bir ortam oluşturur (Şekil -4.15).



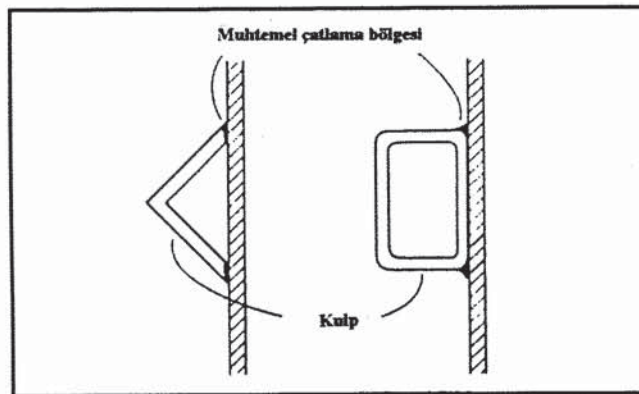
Şekil -4.15 Perçinler yuvasına tam olarak oturmalıdır

1.h) Beton içine gömülmüş olan ayakların birleşim noktalarında suların direne olması için önlem alınmalıdır (Şekil -4.16).



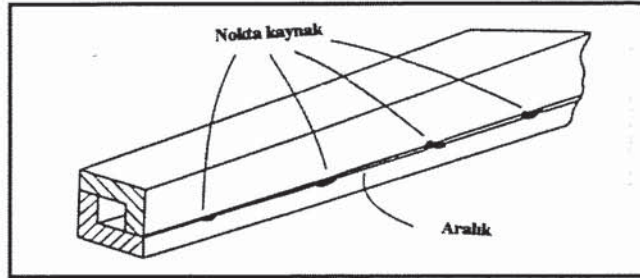
Şekil -4.16 Ayakların beton içine girdiği noktalarda su toplanmamalıdır

1.i) Bir metal gövdeye kulp kaynaklanırken, bağlantı yerleri kaynak ile tam olarak doldurulmalı ve hiç bir aralık bırakılmamalıdır (Şekil -4.17).



Şekil -4.17 Kulp bağlantıları kaynak ile doldurulmalıdır

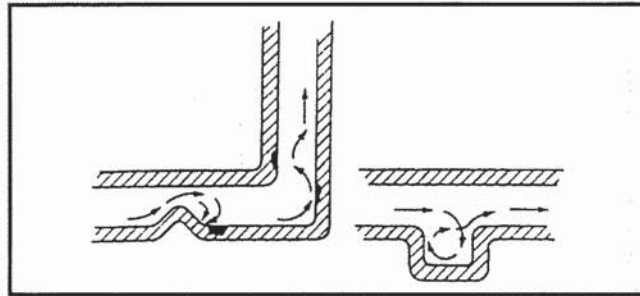
1.j) İki (L) profilin kaynaklanması ile kare kesitli bir çelik boru elde edilmesi halinde, nokta kaynak değil sürekli kaynak yapılarak boru içine su sızması önlenmelidir (Şekil -4.18).



Şekil -4.18 Ek yerleri sürekli kaynak yapılarak kapatılmalıdır.

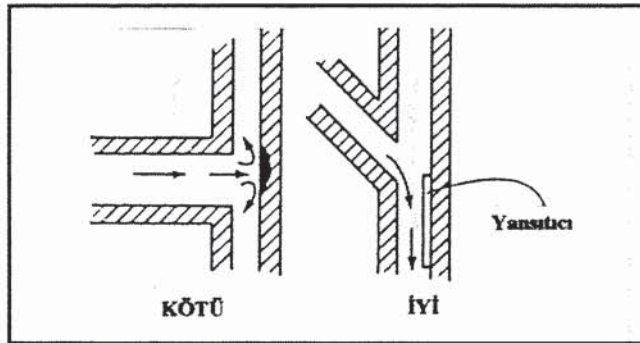
4.2.2 Akış nedeniyle oluşan korozyon

2.a) Akış yüzeyinde girinti, çıkıntı oyuk, tepecik v.b. pürüzlülük olmamalıdır. Bu pürüzler türbülans yaratarak aşınmalı korozyon olayına neden olur. Şekil -4.19



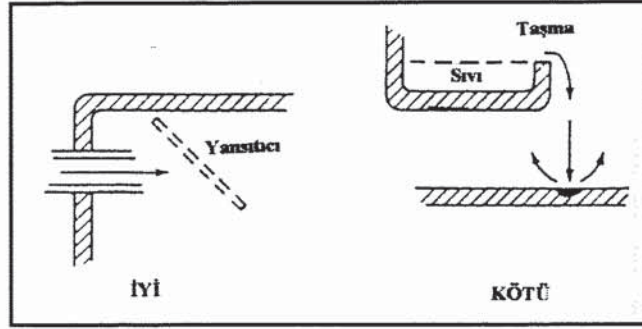
Şekil -4.19 Akış yüzeyinde pürüzlülük bulunmamalıdır

2.b) Akıntının bir yüzeye doğrudan çarpması önlenmelidir. Eğer zorunlu ise, bu bölgelere yansıtıcı veya engelleyici levha konulmalıdır. Şekil -4.20



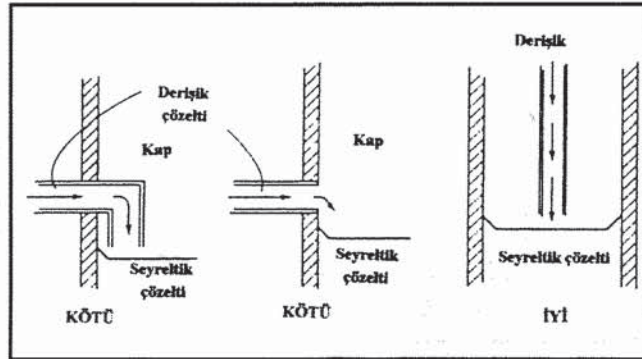
Şekil -4.20 Akıntının bir yüzeye doğrudan çarpması önlenmelidir

2.c) Bir tavadan taşarak akan veya bir borudan boşalan sıvının belli bir noktaya düşerek orada aşınmaya neden olması önlenmelidir (Şekil -4.21).



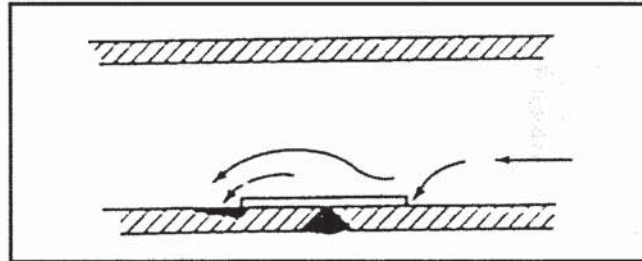
Şekil -4.21 Sıvının bir noktaya düşerek aşınma yapması önlenmelidir

2.d) Derişik bir çözeltinin bir kaba boşalması sırasında, sıçrama yaparak kabın duvarlarına çarpması önlenmelidir (Şekil -4.22).



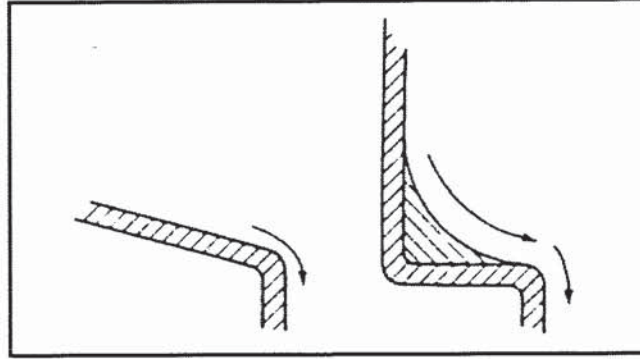
Şekil -4.22 Çözeltilerin sıçrayarak kabın duvarlarına çarpması önlenmelidir

2.e) Akış yüzeyinde bulunan kaynak edilmiş bir levha veya eşik o bölgede türbülansa ve oyulmaya neden olur (Şekil -4.23).



Şekil -4.23 Akış yüzeyinde kaynak çapağı bırakılmamalıdır

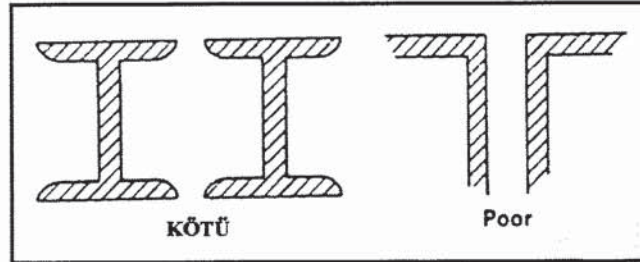
2.f) Sıvı akışı sırasında, sıvının hızının azalacağı veya duraklayacağı engeller bulunmamalıdır (Şekil -4.24).



Şekil -4.24 Sıvı hızının azalacağı engeller bulunmamalıdır

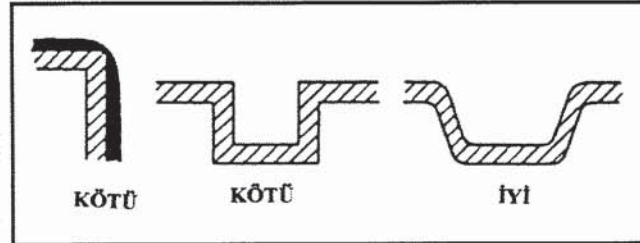
4.2.3 Boyanma ve temizleme güçlüğü

3.a) Yüzeylerin temizlenmesi veya boyanabilmesi için iki eleman arasında en az 5 cm boşluk bırakılmalıdır (Şekil -4.25).



Şekil -4.25 Boya uygulayabilmek için yeterli boşluk bırakılmalıdır

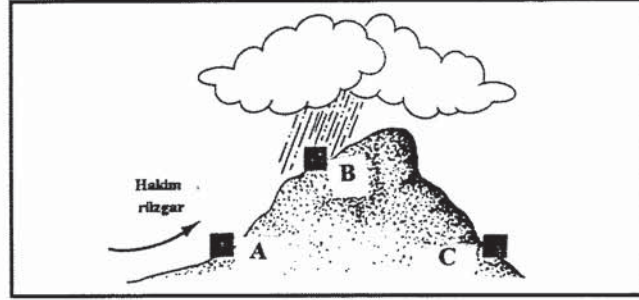
3.b) Eğer malzeme boyanacak ise, tasarımda keskin köşe ve kıyılarından kaçınılmalıdır (Şekil -4.26).



Şekil -4.26 Boyanacak malzemelerde keskin köşe bulunmamalıdır

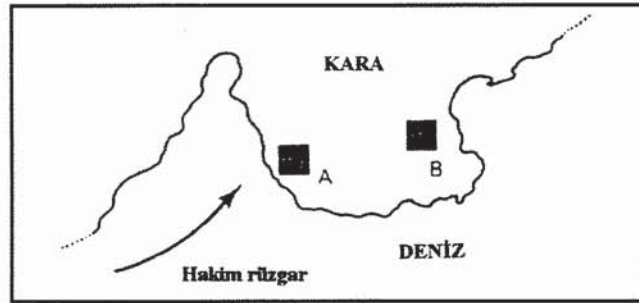
4.2.4 Kirli atmosferin neden olduğu korozyon

4.a) Yerleşim sırasında topoğrafik durum ve hakim rüzgar yönü incelenerek tesisler için en uygun yer seçilmelidir. Şekil -4.27 Şekilde en uygun yerleşim noktası (C) dir.



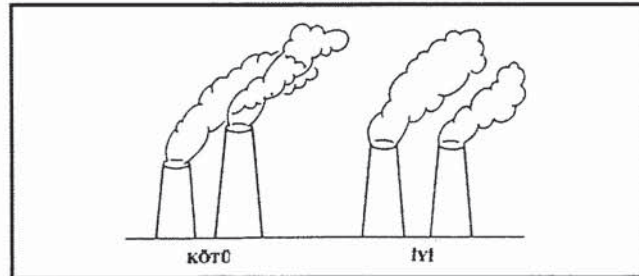
Şekil -4.27 Yerleşim sırasında topoğrafik durum göz önüne alınmalıdır

4.b) Deniz atmosferi söz konusu ise, denizden gelen rüzgarın koroziif etkisinden mümkün olduğunca kaçınılmalıdır. Şekil -4.28 Şekilde en uygun yer (B) dir.



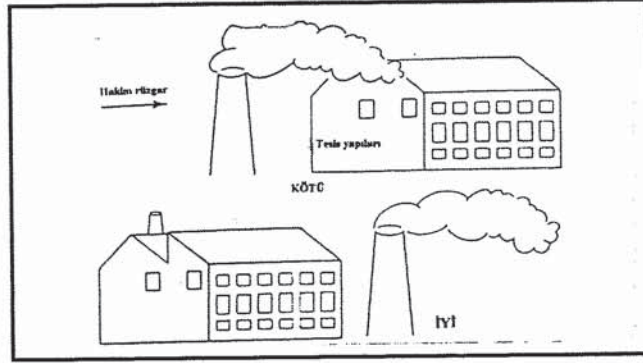
Şekil -4.28 Denizden gelen rüzgarın koroziif etkisinden kaçınılmalıdır

4.c) Baca gazları sıcak halde temas ettiğı yapılarda şiddetli koroziif etki yapar. Rüzgar yönü göz önüne alınarak bir bacadan çıkan sıcak gazların öteki bacayı etkilemesi önlenmelidir (Şekil -4.29).



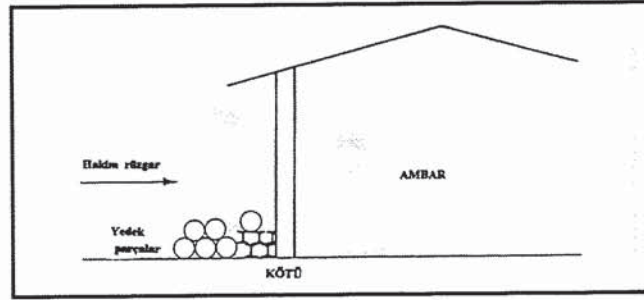
Şekil -4.29 Sıcak baca gazlarının zararlı etkisinden kaçınılmalıdır

4.d) Hakim rüzgar yönü göz önüne alınarak baca gazlarının binalara temas etmeden uzaklaşmasını sağlayacak bir yerleşim planı yapılmalıdır (Şekil -4.30).



Şekil -4.30 Baca gazlarının binalara temas etmesi önlenmelidir

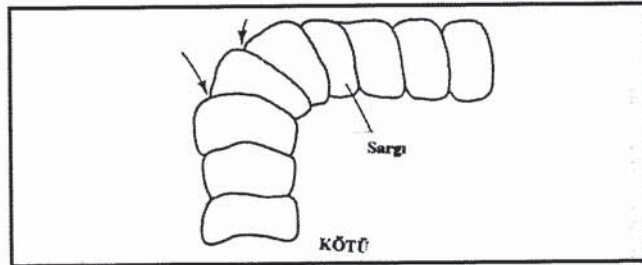
4.e) Yedek parçalar veya makinalar, rüzgar yönüne açık olan sundurmaya açıkta depo edilmemelidir (Şekil -4.31).



Şekil -4.31 Yedek parçalar açıkta rüzgar etkisinde bırakılmamalıdır

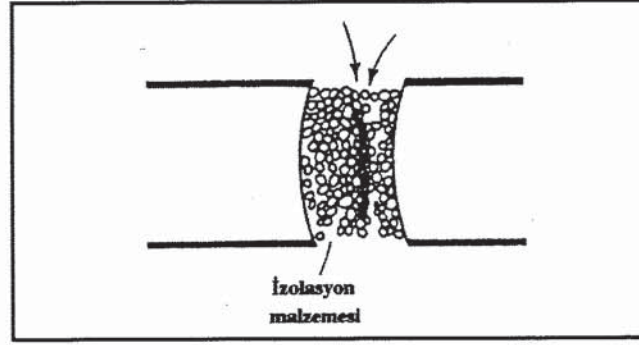
4.2.5 Yanlış yalıtımın neden olduğu korozyon

5.a) Boruların dış yüzeylerine yapılan sargılı kaplamalar, birleşim bölgelerinde sıvı toplanmasına neden olur (Şekil -4.32).



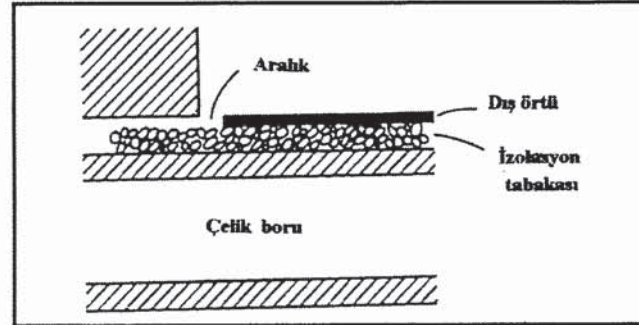
Şekil -4.32 Sargılı izolasyonların su toplaması önlenmelidir.

5.b) İzolasyonun dış kaplamasında bulunan küçük bir boşluktan giren yağış suları izolasyon maddesi tarafından absorbe edilerek uzun süre kalabilir (Şekil -4.33).



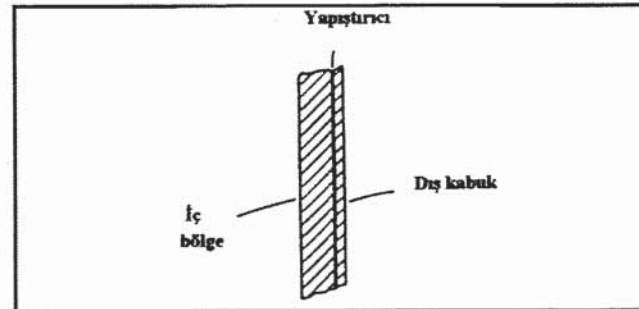
Şekil -4.33 İzolasyon malzemesinin su emmesi önlenmelidir

5.c) Borulara yapılan izolasyonun dış örtüsünün kıyılarda veya uç kısımlarda eksik bırakılması, borunun korozyonu için uygun bir ortam oluşturur (Şekil -4.34).



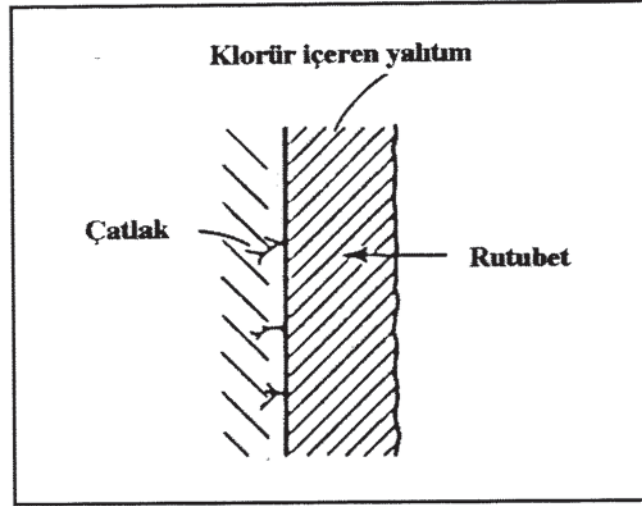
Şekil -4.34 İzolasyon tabakası altına su girmesi önlenmelidir

5.d) Metal dış yüzeylerine yapılan kaplamalar yüzeye çok iyi yapışmalıdır. Boşluk kalması halinde burada su yoğunlaşarak korozyona neden olur (Şekil -4.35).



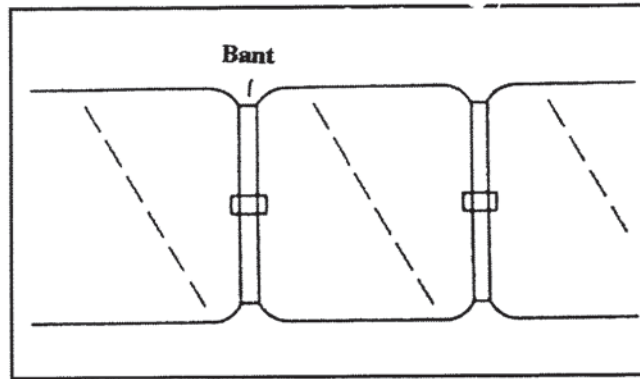
Şekil -4.35 Kaplama ara yüzlerinde boşluk kalmamalıdır

5.e) İzolasyon malzemesi klorür içermemelidir. Bu klorür rutubet etkisi ile zamanla metal yüzeyine taşınarak orada çukur tipi korozyona neden olur (Şekil -4.36).



Şekil -4.36 Klorür içeren izolasyon malzemeleri kullanılmamalıdır

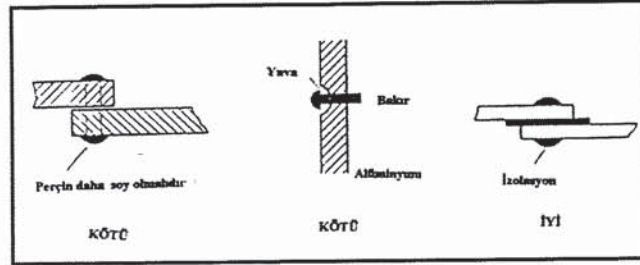
5.f) İzolasyonun bağlama bantları aşırı olarak sıkılırsa yumuşak izolasyon tabakasının ezilerek açılmasına neden olabilir (Şekil -4.37).



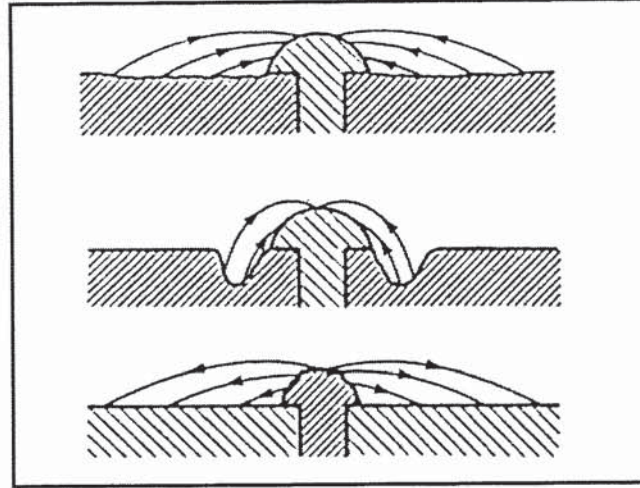
Şekil -4.37 İzolasyon bağlama bantları aşırı sıkılmamalıdır

4.2.6 Galvanik etkinin neden olduğu korozyon

6.a) Perçin ve vidalar daha soy metalden yapılmış olmalıdır. Perçin veya vida bir yuvaya doğrudan oturtulmamalıdır. İzole edilerek perçin ile vida arasındaki galvanik korozyon önlenmelidir. Şekil -4.38 Eğer bu zorunlu ise küçük yüzey alanlı olan perçinin biraz daha soy bir metalden olması tercih edilmelidir (Şekil -4.39).

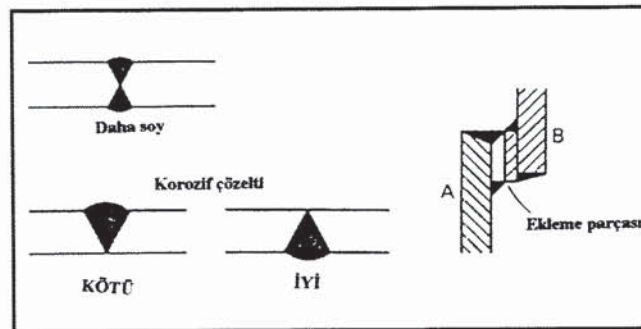


Şekil -4.38 Perçin ve vidaların galvanik etkisi önlenmelidir.



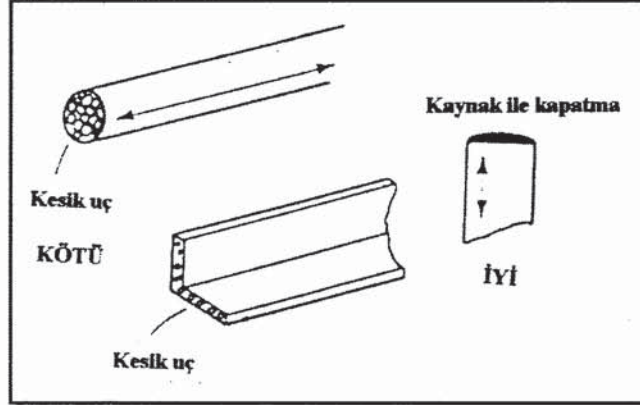
Şekil -4.39 Perçin ve vidalar ana metale göre daha soy metalden yapılmış olmalıdır

6.b) Kaynak yerlerinin doldurulmasında kullanılan metal, ana metalden daha soy olmalıdır. Kaynak bölgesinde ek bağlantı amacıyla kullanılan metal, kaynak yapılan metal ile aynı cinsten olmalıdır (Şekil -4.40).



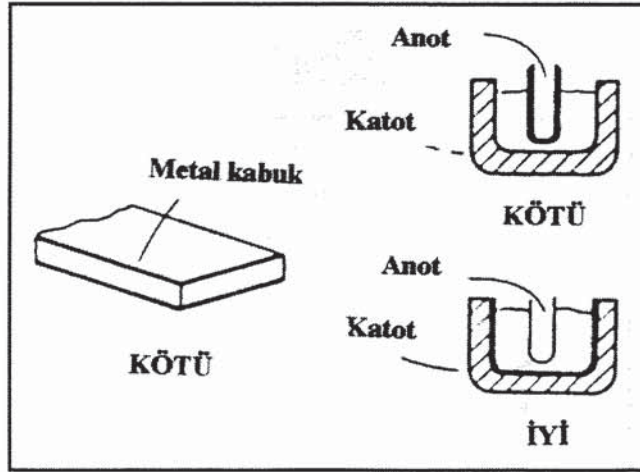
Şekil -4.40 Kaynak dolgusu ana metalden daha soy olmalıdır

6.c) Kesilmiş yüzeylerde metalin kristal taneleri açık haldedir. Bu yüzeylerde korozyon hızı diğer bölgelere göre daha yüksektir. Bu nedenle kesik yüzeylerin kaynaklanarak kapatılması uygundur (Şekil -4.41).



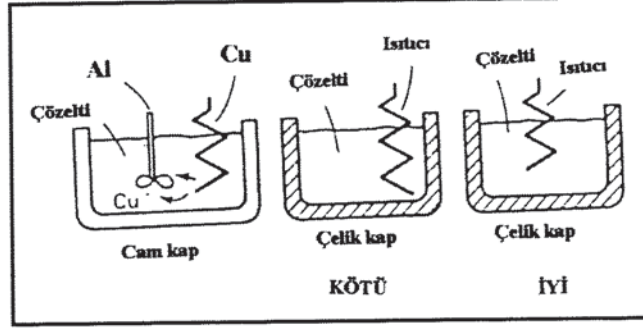
Şekil -4.41 Kesik kenarlar kaynaklanarak kapatılmalıdır

6.d) Kaplama yapılmış yüzeyler ile kaplamasız bölgeler arasında galvanik etki oluşabilir. Bu nedenle kaplama katodik malzeme üzerine yapılmış olmalıdır (Şekil -4.42)



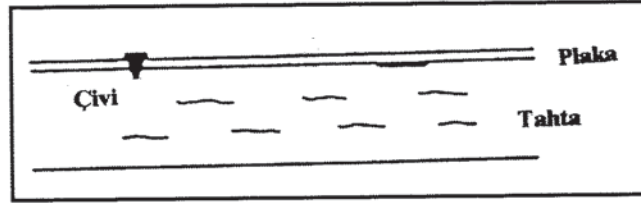
Şekil -4.42 Katot bölgesi kaplanmalıdır

6.e) Bir çözelti içinde soy metal iyonlarının bulunması galvanik korozyona neden olabilir. Örneğin bir bakır ısıtıcıdan çözeltiye Cu^{2+} iyonları geçebilir. Bu durumda çözelti içinde kullanılmakta olan alüminyum karıştırıcı korozyona uğrar. Isıtıcı daha uzağa konularak galvanik etki azaltılabilir (Şekil -4.43).



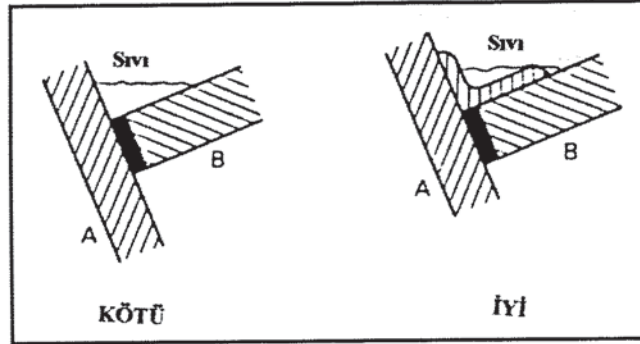
Şekil -4.43 Soy metal iyonlarının temasından kaçınılmalıdır

6.f) Bakır ile kaplanmış bir ahşap malzeme üzerine bir başka metalden çivi çakılırsa, bu çivi korozyona uğrar. Kaplama alüminyum olduğu zaman da korozyon söz konusu olabilir (Şekil -4.44).



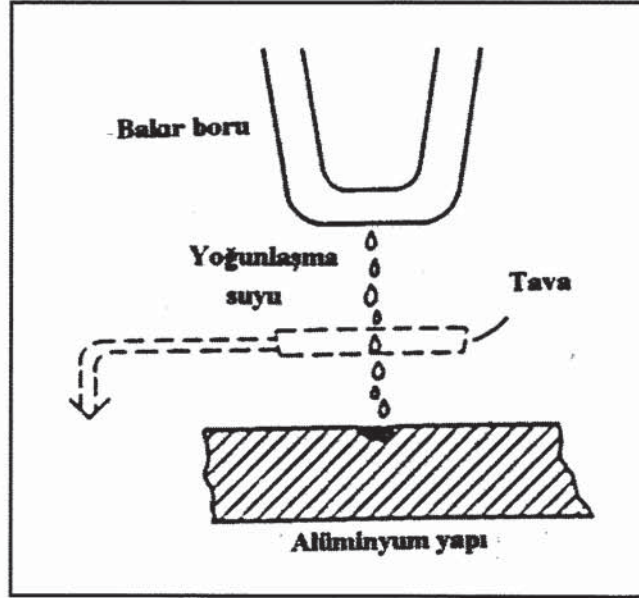
Şekil -4.44 Çivi ile metal arasındaki galvanik korozyondan kaçınılmalıdır

6.g) İki farklı metalin izolasyon yapılarak ayrılmış olduğu bölgede, her iki metale temas eden bir sıvı toplanıyorsa, galvanik korozyon meydana gelebilir. Korozyonu önlemek için toplanan sıvının her iki metale değmesi önlenmelidir (Şekil -4.45).



Şekil -4.45 Farklı metallerin aynı sıvıya temas etmesi önlenmelidir

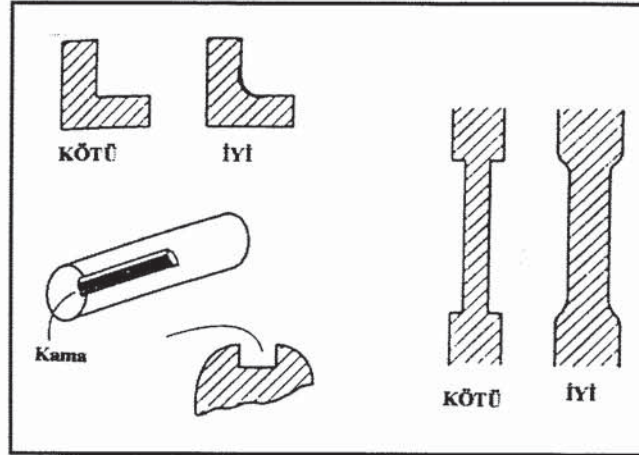
6.f) Bir bakır borunun dış yüzeyinde yoğunlaşan su bir alüminyum veya çelik levha üzerine damlıyorsa, bakır iyonu taşıyan çözelti bu levhada korozyona neden olur. Damlayan sıvıyı toplayan bir tava konularak korozyon önlenmelidir (Şekil -4.46).



Şekil -4.46 Soy iyonların soy olmayan metal ile teması önlenmelidir

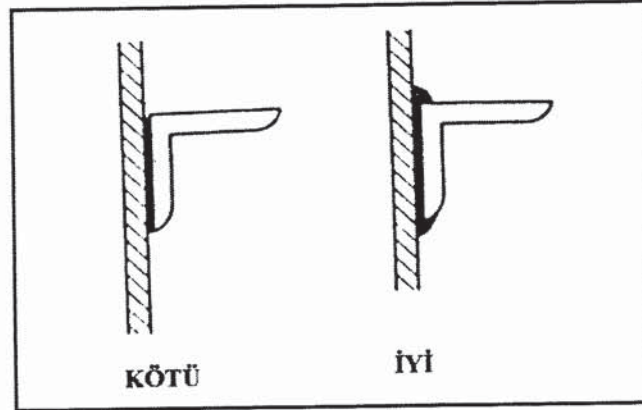
4.2.7 Stres Nedeniyle Oluşan Korozyon

7.a) Yük altında olan malzemelerde keskin köşeler yuvarlanmalıdır (Şekil -4.47).



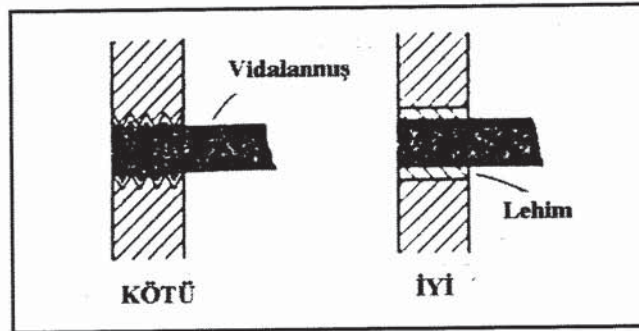
Şekil -4.47 Keskin köşeler yuvarlatılmalıdır

7.b) Kaynak ile yapılan bağlantılarda yükün en çok etkili olduğu uç noktalar kaynakla doldurulmalıdır (Şekil -4.48).



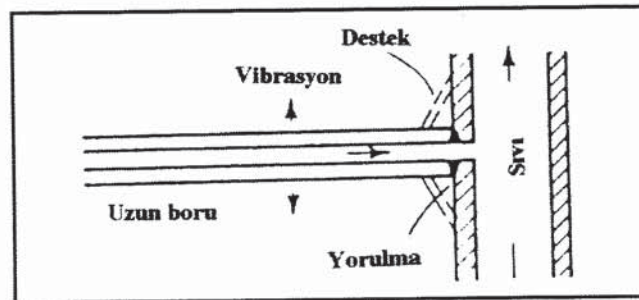
Şekil -4.48 Yükün en etkili olduğu noktalar kaynakla doldurulmalıdır

7.c) Dik açılı bağlantılarda malzeme üzerindeki stresi azaltmak için vida yerine lehim kullanılmalıdır (Şekil -4.49).



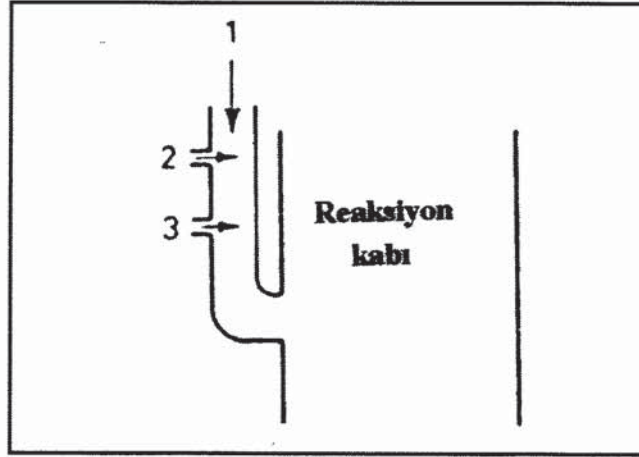
Şekil -4.49 Dik açılı bağlantılarda vida kullanmaktan kaçınılmalıdır

7.d) Uzun bir boru desteksiz olarak bağlanırsa yorulma meydana gelir. Bu durumda metal yerine fleksibil malzemeler kullanılmalıdır (Şekil -4.50).



Şekil -4.50 Uzun borular desteksiz şekilde dik olarak bağlanmamalıdır

7.e) Bir reaksiyon kabına bir yan boru ile besleme yapılırken, eğer (1) hava akımı, (2) buhar ve (3) soğuk su akımı ise termal şok nedeniyle malzemede stres oluşabilir (Şekil -4.51).



Şekil -4.51 Sıcak-soğuk akımların karıştırılmasında termal şoktan kaçınılmalıdır

4.3 KİMYA ENDÜSTRİSİNDE TASARIM

Kimya endüstrisinde çok değişik cins ve özellikte kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Başta asitler olmak üzere hammadde olarak kullanılan veya ürün olarak elde edilen bu maddelerin büyük bir kısmı korozyon açısından son derece aktif bileşiklerdir. Bu maddelerle doğrudan temas eden borular, reaktörler, ısı değiştiriciler, depolar şiddetli derecede korozyon etkisinde kalırlar. Bunun dışında doğrudan bu maddelerle temas etmeyen ancak çevrede bulunan diğer bütün yapılar, buhar ve sıvı kaçakları yoluyla kısmen korozyon etkisinde kalırlar. Merdivenler, raflar, kirişler, sütunlar, korkuluklar, tanklar, borular, döşeme ve duvarlar da çeşitli derecelerde korozyon etkisinde kalabilirler. Kuşkusuz her kimya endüstrisinde korozyonun zararlı etkisi aynı boyutlarda değildir. Başta asit fabrikaları olmak üzere, gübre, petrokimya, soda ve klor-alkali gibi gaz ve sıvı agresif maddelerin üretildiği fabrikalarda korozyonun neden olduğu kayıplar, yalnız üretim maliyetini değil bütün tesisin ömrünü ilgilendiren ciddi sorunlar yaratabilecek boyuttadır.

Korozyon sonucu söz konusu yapı elemanı beklenen süreden önce devre dışı kalır. Böylece hem yapı elemanı kaybedilmiş olur, hem de daha önemlisi işçilik ve üretim kaybı meydana gelir. Korozyonun sebep olduğu kayıplar her zaman net olarak belirlenemez. Fabrikalarda korozyon kaybı hiçbir zaman yalnızca korozyona uğramış olan elemanın maliyeti olarak düşünülmemelidir. En önemlisi işletme kesikliği olmak üzere, ürün kaybı, çevre kirlenmesi ve işçilik gibi, malzeme maliyetini çok aşan birçok gizli kayıplar da göz önünde tutulmalıdır. Bütün bunların dışında maddi değeri ölçülemeyen zararlar da söz konusu olabilir. Örneğin

korozyon sonucu delinmiş olan bir basınçlı kaptan çevreye bir anda yayılan kimyasal maddeler, yangın veya patlamaya sebep olarak maddi karşılığı ölçülemiyen hayati tehlikeler doğurabilir.

Endüstride korozyonla mücadele tasarım aşamasında başlayıp bütün işletme süresince her kademede devam eden sürekli uğraşı gerektirir. Ancak mücadele etkinlik açısından aşağıdaki beş noktada toplanabilir.

- 1- Tasarım aşamasında, tesisin her bölümünde kullanılacak cihaz ve ekipmanlar için en uygun malzemenin seçimi,
- 2- Ekipman imali ve projelendirilmesi sırasında korozyonu önleyici kurallara titizlikle uyulması,
- 3- Cihaz ve ekipmanları korozif etkilere koruyabilen en uygun boya veya kaplamanın uygulanması ve bunların işletme süresince bakım ve onarımının yapılması,
- 4- Kapalı sistemlerde inhibitör kullanılması,
- 5- Katodik koruma uygulanması.

Ortam koşullarına dayanıklı malzemenin seçilmesi korozyonla mücadelede başta gelen önlemdir. Burada amaç, henüz tasarım aşamasında, kullanılacak cihaz ve ekipmanların imalinde söz konusu koşullara yeteri süre dayanabilen en ekonomik malzemenin belirlenmesidir. Eğer bu seçim uygun yapılamamışsa diğer önlemlerle yapılacak mücadelenin başarı şansı büyük ölçülerde azalır.

Son yıllarda malzemelerin değişik ortamlardaki korozyon davranışları konusunda çok geniş araştırmalar yapılmaktadır. Endüstride kullanılmakta olan metal ve alaşımların değişik ortamlardaki korozyon hızları listeler halinde el kitaplarına geçmiş bulunmaktadır. Örneğin "National Association of Corrosion Engineers" tarafından hazırlanmış olan "**Corrosion Data Survey**" kitaplarında 25 cins metal ve alaşımının 850 tipte kimyasal ortam içindeki korozyon özellikleri verilmektedir. Bu bilgiler tasarımcı için büyük kolaylık sağlar. Tasarımcı bu değerler yardımı ile korozyon kaybını belirleyerek, ekipmanın işletme ömrüne yetecek kalınlıkları hesap edebilir. Şekil -4.52'de bu amaçla kullanılan grafik görülmektedir.

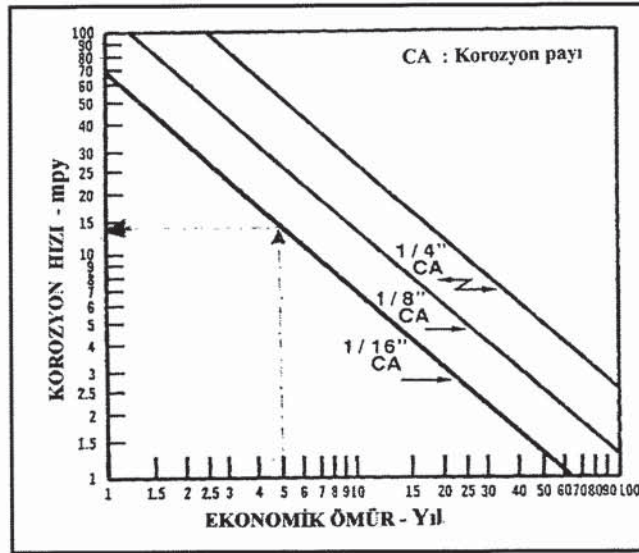
Korozyon payı

İmalat sırasında korozyon kayıpları göz önüne alınarak belli bir pay bırakılması gerekir. Böylece ekipmanın ekonomik ömrünü sağlayabilen maksimum korozyon hızı Şekil - 4.52 de verilen grafik yardımıyla bulunabilir. Örneğin ekipmanın işletme ömrü 5 yıl ise ve bu süre içinde müsaade edilen maksimum korozyon kaybı da 1.5 mm (1/16 inç) olarak kabul edilmiş ise, bu ekipman için söz konusu ortamda korozyon hızı en çok 14 mpy (0.36 mm/yıl) olan bir malzemenin seçilmesi zorunludur.

Bu grafiklerin kullanılmasında aşağıdaki iki husus göz önünde tutulmalıdır.

- Korozyon hızı olarak listelerde verilmiş olan değerler, korozyonun bütün yüzey üzerinde üniform yapıda olduğu kabulüne dayanır. Gerçekte ise, kimyasal etkilere oluşan korozyon

daha çok çukur (pitting) tipindedir. Bu sakınca, listelerden alınan korozyon hızı değerlerinin belli bir emniyet katsayısı ile çarpılması suretiyle giderilmeye çalışılır.



Şekil -4.52 Ekipman işletme ömrü ve müsadde edilen maksimum korozyon payı göz önüne alınarak kullanılacak malzemenin maksimum korozyon hızının belirlenmesi

- Belli bir korozif ortam için listelerde verilmiş olan korozyon hızı değerleri tam olarak belirlenmiş olsa bile, bazı özel durumlarda ortam özelliklerinde (sıcaklık, basınç, rutubet, % bileşim v.b.) meydana gelen çok küçük değişimler korozyon hızını büyük ölçülerde etkileyebilir. Aynı üretim yapılsa bile her tesiste ortam koşulları birbirinden farklı olabilir. Bu nedenle listelerden belli ortamlar için alınan korozyon hızı değerleri kullanılırken daima kuşku duyulması gerekir. Bu husus gerçek ölçeklerde yapılan deneylerle kontrol edilmelidir.

Bütün kabullerin uygun yapılmış olması halinde bile işletme koşullarının zamanla değişmesi sonucu ekipmanın kendinden beklenen süreden önce devre dışı kalması da muhtemeldir. Başlangıçta bilinmeyen veya bilindiği halde önemsenmeyen etkiler sonucu, bir ekipmanın vaktinden önce devre dışı kalmasını önlemek için, işletme sırasında sürekli kontrol yapılması gerekir. İşletmenin kritik bölgelerinde "non destructive" olarak korozyon kaybı ölçümleri yapılmalı ve gerekli görülmesi halinde, henüz delinme gerçekleşmeden onarılmalı veya değiştirilmesi yoluna gidilmelidir. Son zamanlarda "non destructive" bir çok yöntem geliştirilmiştir. Özellikle ultrasonik olarak kalınlık ölçülmesi ve akustik emisyon yöntemi ile çatlakların kontrol edilmesi korozyonun önlenmesinde büyük yararlar sağlamaktadır. Bu konu ileriki bölümlerde geniş olarak ele alınacaktır.

BÖLÜM-5

MÜHENDİSLİKTE KULLANILAN MALZEMELER

Endüstride başta metal ve alaşımları olmak üzere, beton, seramik, lastik, plastik, vb. birçok malzeme kullanılmaktadır. Bunların içinde korozyon sorunu olmayan plastikler son yıllarda büyük gelişme göstermiştir. Teknik özellikleri üstün birçok yeni plastik madde bulunmuştur. Plastikten borular, çözelti kapları, hatta makina parçaları üretilmektedir.

Malzeme seçimi ve kullanımı tam olarak ekonomik bir konudur. Ancak malzemenin teknik özelliklerinin de seçimde göz önüne alınması gerekir. Bu bölümde mühendislikte kullanılan çeşitli malzemeler ele alınarak teknik ve ekonomik yönden incelenecektir.

5.1 DEMİR VE ÇELİK

Dünyada üretilen metallerin % 90'ını demir ve çelik oluşturmaktadır. Bunun büyük bir bölümü düşük alaşımlı karbon çeliği halindedir. Karbon çeliği gerek mukavemeti, gerekse işlenebilme özellikleri bakımından makina ve ekipman imalatı için en elverişli metaldir. Üstelik fiyatı da en ucuzdur. Karbon çeliği, kurşun ve çinkonun üçte biri, alüminyum ve bakırın altıda biri ve nikel alaşımlarının da yaklaşık olarak yirmide bir fiyatındadır.

Karbon çeliğinin en büyük dezavantajı, korozyona dayanıksız oluşudur. Ancak, korozyona karşı alınan önlemler ile korozyon hızı azaltılmakta ve böylece endüstride rakipsiz olarak en ekonomik malzeme haline gelmektedir.

Endüstride saf haldeki demir ne üretilmekte ve ne de kullanılmaktadır. Yüksek fırınlardan elde edilen ham demir içinde bir çok safsızlıklar bulunmaktadır. Bu demir ya dökme demir olarak kullanılmakta, ya da içinde bulunan karbon oranı düşürülerek karbon çeliği haline getirilmektedir.

Dökme Demir

Dökme demirler (%3 C ve %1,5 Si), mukavemetleri ve sertliklerine göre sınıflandırılmıştır. Bunların mukavemeti 100 MPa ile 400 MPa arasında değişmektedir. Dökme demirler üç grup altında toplanabilir. Beyaz dökme demir, gri dökme demir ve dövme demir.

Beyaz Dökme Demir :

Bu demir içinde bulunan bütün karbon, sementit halindedir (Fe_3C). Bu nedenle sert yapıdadır ve düktilite özelliği yoktur. Erimiş haldeki demirin çabuk soğuması ile oluşur.

Gri Dökme Demir:

Eritilmiş demirin daha yavaş soğutulması ile elde edilir. Bunun sonucu olarak demir içinde bulunan karbon ince grafit levhaları halinde ferit veya pearlit yapısında katılır. Demir içinde bulunan silisyum nedeniyle sıvı haldeki metalin akıcılığı çok iyidir. Bu nedenle makinaların gövdelerinin dökümünde kullanılır. Gri dökme demir çok kırılmandır. Buna karşılık diğer fiziksel özellikleri son derece mükemmeldir.

Nodüler ve Dövme Demirler:

Yüksek karbonludur ve çok iyi düktilite özelliği gösterir. Nodüler demir içinde az miktarda nikel bulunur. Bu nikel çekirdek oluşturarak grafitin plaka biçiminde çökmesini önler ve birbirinden ayrı topraklar halinde dağılmasını sağlar. Dövme demirde de ısı etkisi ile grafit plaklar bir araya gelerek yumrular oluşturur. Bu tip dövme demirler içinde bulunan grafitin birbirinden ayrı zararsız topraklar halinde dağılması sonucu sanki çelik gibi özellik gösterirler.

Yüksek Silisyumlu Dökme Demirler :

Demir içine % 14'e varan oranlarda silisyum katılarak korozyon dayanıklılığı çok yüksek dökme demir elde edilebilir. Ne var ki bu silisli demir çok sert ve kırılmandır. Torna ile işlemek mümkün değildir. Termal şok etkisi ile de parçalanır. Paslanmaz çeliklerin henüz gelişmemiş olduğu devirlerde bu silisli demir **Duriron** adı ile geniş şekilde kullanılmıştır. Fakat bu alaşım ancak döküm yapılarak kullanılabilir.

Nikelli Dökme Demirler :

Demir içine % 30'a varan oranlarda nikel katılarak korozyon ve erozyon dayanıklılığı çok yüksek alaşım elde edilebilir. Buna benzer olarak molibden, bakır ve krom katılarak da özel alaşımlar elde edilebilir.

Demir Ve Çelik Alaşımları

Bu alaşımlar en çok kullanılan metal grubunu oluştururlar; hem fiatları ucuzdur hem de birçok üstün özellik taşırlar. Saf demir, çok yumuşak olduğu için ancak özel amaçlarla kullanılır. Demir içine katılan çok az miktardaki karbon demire sertlik ve mukavemet kazandırırken, düktilite özelliğini de korur. Bunlar çok kolay üretilen alaşımlardır. Kaynak yapılabilir, tornada işlenebilir ve korozyona karşı dayanıklılığı da oldukça iyidir. Basınçlı kap üretiminde % 0,1 ile % 0,35 karbon içeren çelik malzeme kullanılır. Karbonun daha yüksek olması kaynak yapmayı güçleştirdiği gibi metale kırılğan bir özellik kazandırır.

Çelikler iki ana grup altında toplanabilir. Birinci grupta kimyasal bileşimi göz önüne alınmaksızın yalnızca mukavemet özellikleri yeterlidir. Bu tip çeliklerin çekme, eğilme ve kopma gerilimi değerleri esas alınır. İkinci grupta ise kazan ve ocaklarda ateşe dayanıklı tipte çelikler bulunur. Bunların kimyasal bileşimi de önem taşır. Basınçlı kaplarda kullanılacak

Çeliklerin hem mekanik, hem de kimyasal özellikleri standardize edilmiştir. Düşük alaşımlı çeliklerin başlıca özellikleri şöyle sıranabilir.

1. Yabancı safsızlıklar içermeyen çeliklerde düktilite özelliği genellikle iyidir. Özellikle ince kesitli olan elik malzemelerde bu özellik büyük önem taşır. Düşük sıcaklıktaki ortamlarda, özellikle soğuk bölgelerdeki boru hatlarında kullanılan çeliğin düktilitesi yüksek ve kırılganlık özelliği az olmalıdır. Mukavemet değeri 500 MPa olan bir elik boru için, karbon yüzdesi % 0,03'den düşük ve % 1 civarında mangan içeren bir elik kullanılabilir. Daha düşük sıcaklıklar için ostenitik paslanmaz elik kullanılması gerekir. Bu elik çok düşük sıcaklıklarda çatlama ve kırılma göstermez.

2. Boruların kaynaklı veya dikişsiz oluşları da önem taşır. Çok geniş çaplı borular, yalnızca dikişli olarak imal edilir. Eğer kaynak yerleri modern usuller ile kontrol edilmiş ise, hiç bir sorun yoktur. Küçük çaplı borular hem dikişli hem de dikişsiz üretilebilir. Bunlardan dikişsiz olanlar tercih edilir.

3. 5 cm'den daha kalın levhalarda üç doğrultudaki kırılma dayanımı göz önüne alınmalıdır.

4. Çok yüksek mukavemetli çeliklerin kullanılması halinde, ince bir kesit yeterli olabilir. Bu durumda yapının mekanik stabilitesinin de göz önüne alınması gerekir.

5. Bütün eliklerin kalitesi özel olarak kontrol edilmelidir. Bu kontrolde çatlak ve tabakalaşma olup olmadığı araştırılır. Bu amaçla ultrasonik veya radyografik muayene yöntemleri uygulanır. Demirin haddelenmesi sırasında tabakalaşma olabilir. Ferrit ve Pearlit tabakaları oluşabilir. Bu durum enine mukavemetin düşmesine neden olur. Ayrıca ferrit tabakası içinde MnS toplanabilir. Bu olay nikel kaplanmış çeliklerde de kendini gösterir.

6. Çeliklerin kimyasal bileşimi, özellikle karbon yüzdeleri kesin olarak bilinmelidir. Karbon yüzdesi yüksek ise, kaynak yapılmadan önce ve sonra mutlaka ısıtılma işlemi yapılması gerekir. Bu pahalı olmasına rağmen en iyi yöntemdir. elik içinde bulunan Cr, V, Ni, Cu ve P gibi metaller çeliğin mukavemetini ve sertliğini artırıcı rol oynarlar. Bu tip alaşımların kaynağı sırasında da özel ısıtılma işlemleri yapılması gerekir.

5.2 DEMİR DIşI METAL VE ALAşIMLAR

Nikel ve Nikel Alaşımları

Nikel alkali ortamlar için en uygun metaldir. Yüksek sıcaklık uygulamalarında da paslanmaz elik veya diğer alaşımlar halinde kullanılır. Nikel kimyasal etkilere karşı da dayanıklıdır. Hidrojen florür söz konusu olduğunda **monel** alaşımı ve diğer uygulamalarda **hasteloy**, **klorimet** ve **inconel** alaşımları kullanılabilir. Nikel alaşımlarına genellikle iyi kaynak yapılabilir. Ancak bazıları için özel önlemler alınması gerekebilir. Kaynak yapılan nikel alaşımı içinde kurşun ve kükürt bulunmaması gerekir. Aksi halde çatlama meydana gelir. elik üzerine elektroliz yolu ile nikel kaplanarak korozyona dayanıklı bir malzeme elde edilebilir.

Bakır ve Bakır Alaşımları

Bakır, ısı ve elektriksel iletkenliği çok yüksek olduğu için ideal bir ısı transfer metalidir. Su ısıtma sistemlerinde saf bakır veya çinko, kalay ve nikel alaşımları halinde kullanılır. Bakır çinko alaşımı **pirinç**, bakır-kalay alaşımına **bronz** denir. Bu alaşımlar içine az miktarlar da silisyum veya berilyum katılarak mekanik özellikleri geliştirilebilir. Berilyum-bakır alaşımı 1300 MPa çekme mukavemeti sağlayabilir. Bu alaşım kıvılcım çıkarmama özelliği nedeniyle patlayıcı maddelerin bulunduğu bölgelerde kullanılır. Silisyum katılmış bronzun mukavemeti oldukça yüksek olup, kolaylıkla kaynak edilebilen iyi bir mühendislik malzemesidir.

Bakır alaşımları amin ve amonyak bulunan ortamlarda stres korozyonuna karşı dayanıksızdır. Pirinç alaşımı eğer V. grup metaller ile inhibe edilmemiş ise dezinsifikasyon olayı meydana gelir.

Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları

Alüminyum en önemli yapı malzemelerinden biridir. Alüminyumun korozyon dayanıklılığı, yüzeyinde daima mevcut olan oksit filminin yapısına bağlıdır. Geçirimsiz ve çok iyi bir yalıtıcı olan bu oksit filmi anodik oksitleme yapılarak daha kalın hale getirilebilir. Bu film alüminyumun çevresi ile reaksiyona girmesini önleyerek pasif halde kalmasını sağlar.

Alüminyum, elektriksel iletkenliği ve ısı iletkenliği yüksek olan bir metaldir. Alaşımlarda kullanılması halinde dayanım/kütle oranını artırıcı rol oynar. Saf alüminyum oldukça zayıftır, yüksek alaşımlarında ise, stres korozyonuna dayanıksızlık ve pul pul dökülme özelliği gösterir. Bu alaşımların dış yüzeyleri saf alüminyum ile ince bir tabaka halinde kaplanarak korunabilir (**Alclad**). Böylece yüksek dayanım gösteren alaşımları kullanabilmek mümkün olur. Alüminyumun Mg ve Si ile yapılmış korozyona dayanıklı çok sayıda alaşımı vardır.

Alüminyum suya, organik asitlere ve bazı oksitleyici asitlere karşı mükemmel bir dayanım gösterir. Alüminyum tanklar asetik asit taşımak için kullanılabilir. Holojenli organik bileşikler başlangıçta etkisiz olduğu halde, bazı durumlarda alüminyum ile reaksiyona girerek zarar verebilir. Alüminyum ve alaşımları alkali ortamlarda kolayca korozyona uğrar. pH'ın 10 değerini aşması halinde şiddetli korozyon görülür. Bu nedenle alüminyumun katodik koruma yapılması halinde aşırı koruma sonucu pH'ın artması çok tehlikeli bir durum ortaya çıkarır.

Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çelikler 6.Bölüm'de ayrı olarak ele alınacaktır. Paslanmaz çeliklerin en büyük kullanma alanı kimya endüstrisidir. Çok kullanılmasının nedeni ucuz bir malzeme oluşudur. Adı paslanmaz olmasına rağmen paslanmaz çelikler bazı ortamlarda paslanabilir. Özellikle çukur korozyonu ve stres korozyonuna son derece duyarlıdır. Yanlış kullanılması halinde tehlikeli durumlar doğurabilir.

Titanyum ve Titanyum Alaşımları

Titanyum uçak ve kimya endüstrisi için en uygun metaldir. Ayrıca alüminyum gibi, titanyum da aktif bir metal olduğu halde, yüzeyinde oluşan çok sağlam (TiO_2) koruyucu oksit tabakası nedeniyle korozyona karşı son derece dayanıklıdır. Titanyum hafif bir metaldir,

özgül ağırlığı 4,5'dur. Bu açıdan bakıldığında birim ağırlıktaki titanyum, paslanmaz çeliğe göre % 80 daha fazla hacim kaplar. Titanyumun mekanik dayanım özellikleri de mükemmeldir. Böylece çok ince et kalınlığında titanyum borular yapılarak diğer malzemeler kadar dayanıklı boru elde edilebilir. Fakat titanyumun elastik modülü nisbeten düşük olduğundan ($1,12 \times 10^5$ MPa) ince et kalınlıktaki titanyum borular bazı problemler yaratabilir. Özellikle vibrasyonun söz konusu olduğu durumlarda kısa sürede mekanik yıpranma gözlenir. Tasarımda bu konunun üzerinde titizlikle durulması gerekir. Titanyum pahalı bir metal olduğu için ancak uzun ömür istenen malzemelerde kullanılması halinde ekonomik olabilir.

Titanyum saflık derecesine göre dört ayrı kalitede sınıflandırılmıştır. (ASTM- B-265-72). Safsızlık arttıkça mukavemet açısından avantaj sağlanırken korozyon dayanımının azaldığı görülür. Titanyum için en önemli sorun bünyesine azot ve oksijen girmesine karşı duyarlı oluşudur. Bu durum yüksek sıcaklıklarda tehlikeli kırılmalık olaylarına neden olabilir. Bütün ısıtım işlemlerde, kaynak yapma dahil, işlemler inert gaz atmosferinde yapılmalıdır. Özellikle kaynak işlemlerinde özel teknik uygulanması zorunludur.

Mağnezyum ve Mağnezyum Alaşımları

Mağnezyum yüzeylerinde de koruyucu bir oksit filmi oluşur, ancak bu film klorürler ve asitlerden çok kolay etkilendir. Bu nedenle mağnezyum yüzeylerin florür, fosfat ve kromat gibi pasifleştirici iyonlarla muamele edilerek sağlam bir kabuk oluşturulması gerekir. Bu şekilde kaplama yapılmış mağnezyum alaşımları uçak sanayiinde ve otomobillerde kullanılmaktadır. Ancak bunlar klorür iyonu bulunması halinde stres korozyon çatlamasına karşı son derece duyarlı malzemelerdir. Li-Mg alaşımı diğer alaşımlara göre daha kolay işlenebilen ve korozyon özellikleri daha iyi olan bir alaşımdır. Mağnezyum ve alaşımları katodik koruma sistemlerinde galvanik anot olarak çok kullanılan bir malzemedir.

Kurşun ve Kurşun Alaşımları

Kurşun kimyasal maddelere dayanıklı oluşu nedeniyle uzun zamandan beri özellikle sülfürik asit endüstrisinde çok kullanılan bir metaldir. Fakat, kurşunun özgül ağırlığı çok yüksektir, $d=11,3$. Diğer taraftan yumuşak bir madde olduğundan taşıyıcı olarak kullanılması halinde dikkatli olmak gerekir. Antimon alaşımı yapılarak mekanik dayanımı artırabilir. Kalay, tellur ve kalsiyum ile yapılan kurşun alaşımlarının korozyon dayanıklılığı oldukça iyidir.

Kurşun ile çalışılırken, özellikle kaynak yapılırken oluşan kurşun buharları sağlık için zararlıdır. Mutlaka uygun şekilde havalandırma yapılmalıdır. Kurşunun korozyonu sonucu oluşan ürünler de toksik özelliktedir. Kurşun bakıra göre anodik özellikte olduğundan, bakır su kaplarının, kurşun esaslı lehimler ile lehimlenmesi doğru olmaz. Yine bunun gibi çeşitli amaçlar ile kullanılan bakır boruların da kurşun esaslı lehim ile lehimlenmesi uygun değildir. Bu amaçla en iyisi gümüş kaynak kullanılmasıdır.

Kıymetli Metaller

Gümüş, altın, platin, palladyum ve rodyum kıymetli metaller grubunu oluşturur. Tantal, zirkonyum, kolumbiyum ve molibden gibi metaller de oldukça pahalı metallerdir. Bu metaller yatırım aracı olarak borsada işlem görmektedir.

5.3 METAL OLMAYAN MALZEMELER

Doğal ve Sentetik Kauçuk

Kauçuk, biri doğal diğeri sentetik olmak üzere iki sınıftır. Doğal kauçuk kükürt ile reaksiyona sokularak sertleştirilir. Bu olaya **vulkanize** etmek denir. Kauçuğun elastisitesi çok yüksektir. 5 ile 3.000 MPa arasında değişir. Kimyasal maddelere karşı dayanıklıdır. Fakat petrol ve türevlerine dayanıksızdır.

Sentetik kauçuk neopren polimeri olup organik maddelere karşı doğal kauçuktan daha dayanıklıdır. **Silastik** adı ile anılan silikon kauçuklar, yüksek sıcaklığa dayanıklı malzemelerdir, 260 °C sıcaklığa kadar kullanılabilir. Bu özelliği nedeniyle lastik conta ve tıpa yapımında silikon kauçuk malzeme tercih edilir. Bükülebilir hortumlar ve lastik borular sentetik kauçukların diğeri bir uygulama alanıdır.

Lastik kaplama yapılmış ekipmanlar endüstrinin bir çok dalında geniş şekilde kullanılmaktadır. Su kapları, elektroliz tankları v.b. bir çok alanda lastik kaplama yapılmaktadır.

Plastikler

Plastikler polimer malzemelerdir. **Termoplastik** ve **termosetting** olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Termoplastikler, ısıtmak suretiyle yumuşatılır ve yeniden kullanılabilir. Termosetting plastikler ise sertleştikten sonra ısıtılarak yeniden yumuşatılamaz. Her iki plastik grubu da kimyasal yapıları göz önüne alınarak alt gruplara ayrılabilir. Bu gruplar içinde de kimyasal bazı değişiklikler yapılarak çok geniş bir plastik madde cinsi üretilmekte ve değişik amaçlarla kullanılmaktadır. Bir plastik malzemenin önemli olan yapısal özellikleri şunlardır: Molekül ağırlığı, kristallenme derecesi, yanbağları, hidrojen bağları ve ana yapıyı oluşturan organik bileşiğin cinsi.

Tipik termoplastik maddeler şunlardır. Poliviniller, poliolefinler, poliamidler (nylon), poliflorokarbonlar, polikarbamatlar, poliasetaller, poliakrilatlar (akrilik grubu) ve poliasetaller, polisiloksanlar (silikonlar). Bu plastik madde gruplarından herbirinde birçok plastik madde bulunur. Örneğin, polivinil grubu içinde, polivinil klorürler (PVC), poliviniliden klorürler, polivinil asetatlar ve polivinil bütiller alt grup olarak bulunur. Bu alt gruplar içinde de özellikleri farklı birçok plastik madde vardır. Buna benzer şekilde termosetting plastikler sınıfı içinde de alt gruplar vardır. Tipik termosetting alt grupları şunlardır: Fenol-üre, melamin-formaldehit, poliesterler ve epoksiler.

Plastikler, malzeme seçiminde büyük rahatlık sağlamıştır. Her biri faydalı birçok fiziksel özellik taşır. Ne var ki, bir çoğu yüksek sıcaklığa dayanıklı değildir. Yalnızca az bir kısmı sürekli olarak 100 °C'nin üzerinde kullanılabilir. Örneğin poliflorokarbon plastikleri yüksek sıcaklığa oldukça dayanıklıdır. Plastikleri kimya endüstrisinde kullanabilmek için mekanik özelliklerinin de bilinmesi gerekir. Plastikler normal sıcaklıklarda metallerden çok farklı özellik gösterirler. Plastik özellikler, metallerin yüksek sıcaklıkta yumuşamış oldukları bölgedeki özelliklerine benzetilebilir.

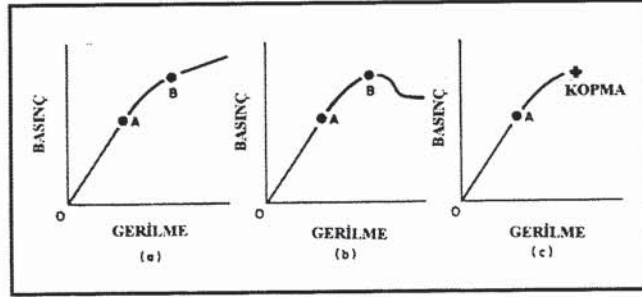
Bir metal malzemenin kullanılmasında yapılan tasarım hesaplarında elastisite modülü, çekme gerilimi, kopma gerilimi ve sertliği gibi temel özellikler göz önüne alınır. Metallerin oda sıcaklığındaki bütün bu özellikleri belli ve sabittir. Fakat plastikler için aynı şey söylenemez. Plastik maddelerin bu özellikleri yüke ve zamana bağlı olarak değişir. Bu durum plastik maddelerin kullanılmasında çok dikkatli olmayı gerektirir. Fazla detaya girmeden metaller ve plastik maddeler arasındaki temel farklılıklar aşağıda incelenecektir.

Plastiklerin mekanik özelliklerine etki yapan en önemli karakteristikleri şunlardır. Plastiklerin molekül ağırlığı çok yüksektir. Bu değer 1000 ile 1.000.000 arasında değişir. Bu molekülleri birbirine bağlayan bağın zincir şeklinde mi, yoksa yan bağ olarak mı bulunuşu çok önemlidir. Plastiğin tanecik yapısının amorf veya kısmen kristal oluşu da mekanik özelliğine etki yapar. Bu durum plastiği oluşturan moleküllerin serbest olarak yer değiştirebilmesinin mümkün olup olmayacağını gösterir. Plastiğin bütün fiziksel özellikleri bu yapısal duruma bağlıdır.

Örnek olarak sertlik deneyi ASTM'e göre 5 mm çapında bilye kullanılarak yapılır. Metallerin sertliği bilye yüklenerek doğrudan okunabilir. Plastiklerin sertliği ölçülürken 15 saniye süreyle göstergede okunan bütün sertlik değerleri kaydedilir. Zamanla sertlik okumalarında fark oluştuğu görülür. Plastik sertlik deneyinde gözlenen bu zamana bağlılık, plastik moleküllerin basınç karşısında hareketi ve bunlara karşı doğrultudaki moleküller arası sürtünme kuvvetinden ileri gelir. Molekül toplulukları termal enerji sonucu, sürekli olarak titreşim halindedir. Ancak dış bir kuvvet uygulandığı zaman bu hareketler belli bir yöne doğrultulmuş olur. Uzun molekül zincirleri kuvvetin uygulandığı yönde sıralanır. Eğer molekülde yan hidrojen bağları varsa, bunlar arasındaki Van der Waals kuvvetleri ters bir etki yaratır. Kuvvet kaldırıldığı zaman moleküller eski haline dönmeye çalışır. Bu nedenle zaman içinde değişim gözlenir. Hatta moleküllerin bazılarının zincirden kopması sonucu polimer molekül ağırlığı da zamanla değişebilir. Ultraviyole ışık etkisiyle kondensasyon reaksiyonları aktiveleşebilir. Bunun sonucu olarak polimer zincirleri bölünebilir. Bu olay da plastiklerde zamanla görülen bir diğer değişme nedenidir.

Plastiklerin yapısından kaynaklanan bu özellikleri bilindiğine göre zamanla ortaya çıkan bu değişimlerin tasarım aşamasında nasıl göz önüne alınabileceği sorusu ortaya çıkar. Bu soruya belli bir yanıt bulunması güçtür. Her olayda plastik maddenin göstereceği mekanik davranışın

ayrı olarak hesaba katılması gerekir. Plastik maddelerin çekme gerilmesi deneyinde üç farklı davranış ile karşılaşılır. Bunlara ait basınç-gerilme eğrileri Şekil -5.1'de görülmektedir.



Şekil -5.1 Plastik maddeler için basınç-gerilme eğrileri : (a) Basınç altında dereceli bir uzama(polietilen ve asetil); (b) Belli bir noktada ani bir düşüş(nylon) ve (c) Belli bir noktada birdenbire kopma (fenol plastikler, akrilik).

Bu basınç-gerilme eğrilerinde tasarımcının göz önüne alacağı iki farklı bölge bulunmaktadır: (1) Grafiklerde (OA) ile gösterilmiş olan elastik bölge, (2) Grafiklerde (AB) ile gösterilen ve elastik bölge ile kopma veya kırılma noktası arasında kalan ve basınca karşı çok fazla deformasyon görülen bölge. Basınç-gerilme eğrilerinde lineer bölgede iki limit değer çok anlamlıdır. (A) noktasına kadar basınç ile gerilme doğru orantılıdır. (B) noktası ise elastik bölgenin bitiş noktası, yani elastik limitdir. Termoplastiklerde ise, bu değişim yaklaşık düz bir doğru halindedir. **Elastik modül**, gerilmenin % 0,5 kadar daha küçük olduğu nokta olarak alınabilir.

Yield Noktası

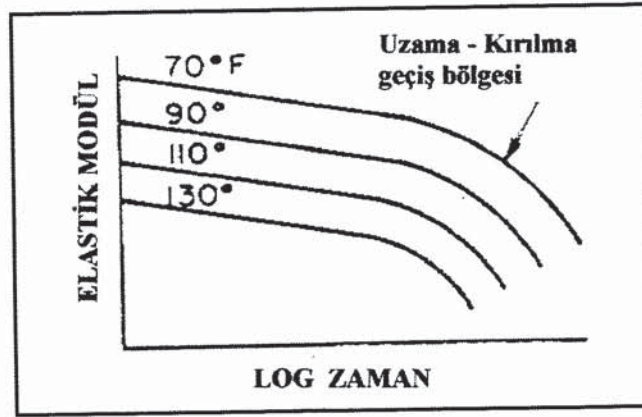
Logaritmik skalada basınç-gerilme eğrisi çizilerek yield noktası kolayca bulunabilir. Bu grafikte basıncın çok az artırılmasına karşı, büyük bir uzama gözlendiği nokta yield noktası olarak tanımlanır. Bu noktayı duyarlı şekilde yakalayabilmek için basıncın logaritmik skalada gösterilmesi uygun olur.

Kayma ve Gevşeme

Kayma ve gevşeme olayları tasarımcı açısından büyük önem taşır. Bu kavramlar metaller için ancak yüksek sıcaklıklarda söz konusu olabilir. Fakat plastik maddelerde düşük sıcaklık ortamlarında da kayma görülebilir. Kayma yük altında malzemenin boyutlarında kalıcı bir değişimin meydana gelmesidir.

Termoplastik maddelerde kayma ve gevşeme için bir limit değer yoktur. Yük arttıkça kayma derecesi de gittikçe artar. Keyfi olarak, elastik modülden % 15 sapma limit değeri olarak kabul edilir. Orijinal modülün % 85'i **sekant modülü** olarak adlandırılır ve bu tasarım hesaplarında kullanılabilir. Emniyetli bir tasarım için hesaplamalarda duyarlı modül limitinin kullanılması gerekir. Böylece malzemedeki boyut değişimi kabul edilebilir sınırlar içinde tutulabilir.

Plastiklerin normal sıcaklıkta göstermiş olduğu özellikler ile metallerin yüksek sıcaklıkta göstermiş olduğu özellikler paralellik gösterir. Bu nedenle plastik maddelerde pahalı ve zor olan kopma gerilmesi tayini deneyi yerine çok kolayca tayin edilebilen **Larson-Miller parametresi** kullanılabilir. Bu yöntemle göre plastik maddenin elastik modülü zamanın logaritmasına göre grafiğe alınır. Uzama-kırılma geçiş bölgesi belirlenir (Şekil -5.2).



Şekil -5.2 Polietilen için tipik Larson-Miller eğrileri

Grafikten görüldüğü üzere, geçiş bölgesinde yük etkisi ile bir eğilme gözlenmektedir. Sıcaklık da önemli bir etken olarak ortaya çıkmaktadır. Plastik malzemeler ile tasarım yapılırken bu uzama-kırılma bölgesi mutlaka göz önüne alınmalı ve plastiğin söz konusu yük altında ne kadar uzun süre dayanabileceği belirlenmelidir. Tasarım sırasında başka özelliklerin de göz önüne alınması gerekir. Plastiklerin darbeye dayanıklılığı genellikle zayıftır. Sıcaklık yükselişi ile çok çabuk dayanım kaybederler. Aynı şekilde su absorpsiyonu da mukavemet kaybına neden olur. Özellikle donma noktasının altındaki sıcaklıklarda darbe dayanımları çok azdır.

Cam Lifi İle Takviye Edilmiş Plastikler

Son yıllarda cam lifi ile veya başka liflerle takviye edilmiş plastikler (FRP) evlerde, araba kaportasında, depolama tanklarında ve boru yapımında geniş uygulama alanı bulmuştur. Bu tip malzemelerde başlıca şu üç tip plastik reçinesi kullanılmaktadır. Epoksi, poliestere, vinilester. Bu reçineler optimum kimyasal direnç sağlayacak şekilde uygun sertleştirici maddeler kullanılmak suretiyle kür edilmektedir. Donatı lifi örgülü veya örgüsüz, iplik veya bükülmemiş lifler halinde kullanılabilir. Bu lifler plastik levhanın arasında kalacak şekilde yerleştirilerek kür edilir. Cam lifi takviyeli bir çok ekipman, ya yumak halinde lif ile, ya da kumaş haline getirilmiş cam lifi kullanılarak yapılmaktadır. Kumaş takviyeli olarak yapılmış FRP levhalar ile maksimum dayanım elde edilebilmektedir. İplik şeklinde takviye yapılması halinde ters yöndeki dayanım zayıf olmaktadır.

FRP boru, valf ve fitting parçalarda imal edilmektedir. Bu malzemeler çelikten yapılmış olanlarla rekabet etmekte hatta birçok bakımdan çelik malzemelere tercih edilmektedir. FRP

malzemenin başlıca avantajları, hafif oluşları kolay üretilmeleri ve dış yüzeylerinin boyanmasına gerek olmayışıdır. Ancak yangına dayanıksız oluşları dezavantaj olarak sayılabilir. Son yıllarda FRP malzemelerde bazı ciddi sorunlar ortaya çıkmıştır. Endüstride kullanılan bazı FRP tankları tehlikeli şekilde delinmiştir. Arıza FRP içinde bulunan cam lifi takviye tabakası ile üst tarafta bulunan plastik tabakanın ayrılması sonucu ortaya çıkmaktadır

5.4 EKİPMAN ÜRETİMİ

Belli bir ortamda kullanılacak olan bir ekipmanın üretimi için uygun malzemeleri seçmek yeterli değildir. Malzeme seçimi doğru yapılmış olsa bile, üretim sırasında bazı temel kuralların göz önüne alınması gerekir. Herşeyden önce seçilmiş olan malzemenin şerit halinde, plaka halinde veya dökme olarak kullanılmasına karar verilmelidir. Aynı malzemenin bu değişik şekilleri korozyon davranışına değişik şekilde etki yapar. Belli bir malzemenin korozyona en dayanıklı hali levha halidir. Örneğin, 304 L paslanmaz çeliğin içinde en çok % 0,03 C'na müsaade edilir. Fakat ince plaka formunda olması halinde karbon değeri % 0,035'e kadar artırılabilir.

Ekipmanın yapımı için seçilmiş olan malzemelerden seri halinde parçalar üretilip bunlar sonradan birleştirilir. Bu işlemler sırasında şu hususlar göz önüne alınmalıdır.

1- Korozyona Dayanıklılık

İlk olarak çalışma ortamında nasıl bir korozyon etkisinin söz konusu olduğu belirlenmelidir. Örneğin, ostenitik paslanmaz çelik kullanılması halinde % 30'luk nitrik asit 80 °C'de bu çeliğe zararlı olmayabilir. Fakat malzeme stres altında ise, bu durumda stres korozyon çatlaması söz konusu olacaktır. Diğer taraftan ekipman endüstriyel bir ortamda bulunması nedeniyle, endüstriyel atmosferde bulunan klorürün de etkisinde kalacaktır.

Bir başka örnek olarak kimya endüstrisinde kullanılan civatalar verilebilir. Hafif yük altında kullanılan çelik civatalarda hiç bir sorun görülmez. Fakat ısı etkisinde veya yük altında bulunan civataların çok düşük klorür ve nitrat konsantrasyonunda bile, kısa sürede korozyona uğradığı görülür. Kaynak yapılmış karbon çeliği, susuz amonyak, hidrojen florür veya kostik etkisinde kalması halinde, eğer yük altında bulunuyorsa, kaynak bölgelerinde çatlak korozyonu görülebilir.

2- Şantiyede Üretim

Depolama tankları hariç, birçok ekipman fabrikada üretilir. Fabrikada üretim bir çok bakımdan avantaj sağlar. Ancak, bazı ekipmanların fabrikada parçalar halinde yapılarak arazide monte edilmesi gerekir. Bu durum bazı sorunlar yaratır. Örneğin, titanyumdan yapılmış boru veya ekipmanların arazide montajı sırasında kaynak işlemleri sorun yaratır. Titanyum bazı önlemler alınarak inert gaz ortamında kaynak edilebilir. Arazide titanyum için kaynak koşullarının hazırlanması oldukça zordur. Bu nedenle, titanyum ekipmanlarda kaynakla bağlantı yerine flanj kullanılması tercih edilir.

3- Kaynak

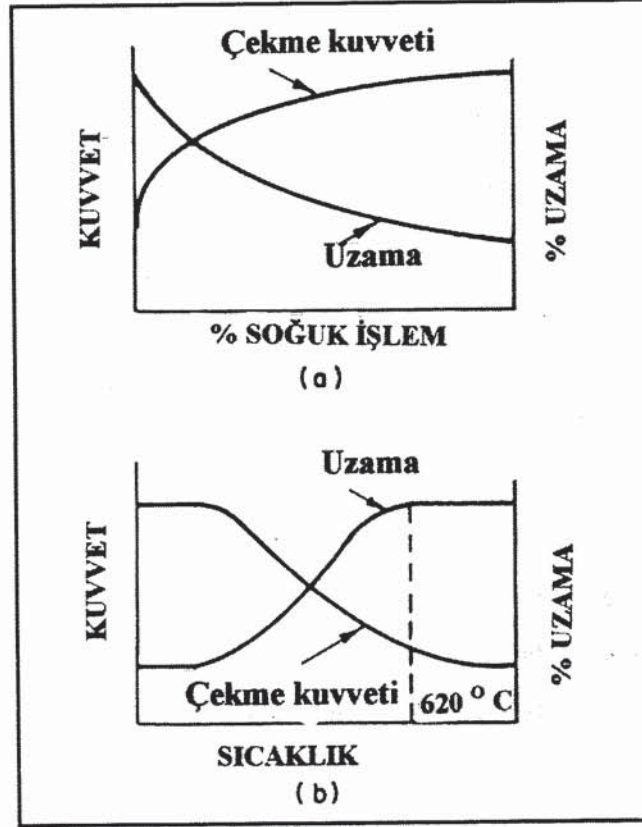
Kaynak bütün fabrika ekipmanlarında zorunlu olarak kullanılan bir işlemdir. Bu kaynaklarda hiç hata bulunmaması gerekir. Kaynağın usulüne uygun olarak yapıldığından tam olarak emin olunmalıdır. Kaynak işlemi bütün kurallarına uyularak yapılmalıdır. Parçalar usulüne uygun şekilde hazırlanmalı, kalifiye bir kaynakçı kullanılmalı, uygun elektrot ve kaynak tekniği uygulanmalı, malzemenin ön ve art ısıtmaları usulüne göre yapılmalıdır. Arazide kaynak yapmak oldukça zordur. Tam ve mükemmel bir kaynak yapımını sağlamak için aşağıda verilen listedeki hususlar gözden geçirilmelidir.

- Basit bir kaynak tasarımı yapılmalıdır
- Atölyede yapılan işlemler arazide de uyulmaya çalışılmalıdır.
- Bütün standart ve kurallara tam olarak uyulmalıdır.
- Röntgen veya ultrasonik muayene gerekiyorsa bunlar sağlanmalıdır.
- Kaynak işleminde bütün ayrıntılar gözden geçirilmelidir.
- Şartnameye uygun özel elektrot ve kaynak dolgu metali kullanılmalıdır.
- Yapımcı ve kontrolör fikir birliğine varmalıdır.
- Kaynakçının yeterli düzeyde alet ve ekipmanı olduğu kontrol edilmelidir.
- Kaynakçının yeterli sayıda kalifiye elemanı bulunup bulunmadığı kontrol edilmelidir.
- Kaynak işleminden sonra yapılması gereken ısıt işlemlerde sıcaklık kontrolü tam olarak yerine getirilmelidir.
- Kaynak edilmiş ekipmanların taşıma ve depolama işlemlerine gereken dikkat gösterilmelidir.

4- Isıl İşlemler ve Stresin Giderilmesi

Isıl işlemler malzeme kalitesini artırmak amacı ile yapılır. Bu işlemler tavlama ve sertleştirme şeklinde yapılır. Tavlama, dökme metalin yapısını homojen hale getirmeyi amaçlar. Tavlama olayı üç kademede gerçekleşir. Bu kademelerin sıcaklık ve süreleri bellidir. Birinci kademede, malzeme yumuşatılarak mevcut gerilme giderilir, ikinci kademede malzemede yeni taneler oluşarak yeniden kristallenme gerçekleşir ve üçüncü kademede oluşan tanecikler büyüyerek malzeme dayanım kazanır.

Birçok ekipman ısıt işleme tabi tutularak korozyona dayanma özelliği artırılabilir. Paslanmaz çeliklerde bu yöntemle stres giderilebilir. Çeliğin stresini gidermek üzere 620 °C'de 1 saat/inç kalınlık olacak şekilde tavlama halinde fiziksel özelliklerindeki değişim Şekil -5.3'de görülmektedir.



Şekil -5.3. Çeliğin mekanik özelliklerinin (a) soğuk işlemlerde (b) tavlama sıcaklığına bağlı olarak değişimi.

Çeliğin cinsine göre tavlama sıcaklığı biraz azaltılıp süre artırılabilir. Sertleşme işlemleri genellikle metalin sertliğinin artırılması amacıyla yapılır. Çelik gama bölgesine kadar ısıtılıp su, yağ, veya hava içinde ani olarak soğutulursa sertleşme meydana gelir. Martensitik dönüşüm oluşması ile çeliğin sertliği maksimum değere erişir. Bu işlem sonunda kırılabilirliği azaltmak amacıyla çeliğin hafif şekilde tavlama yapılması gerekir. Diğer bir ısıtım işlemi de, yaşlandırmak veya çöktürme yoluyla sertleştirmektir. Bu işlem iki kademede yapılır. Metal yüksek sıcaklıktaki bir çözelti içine konur. Bundan sonra daha düşük sıcaklıkta bir çözelti içinde bekletilir.

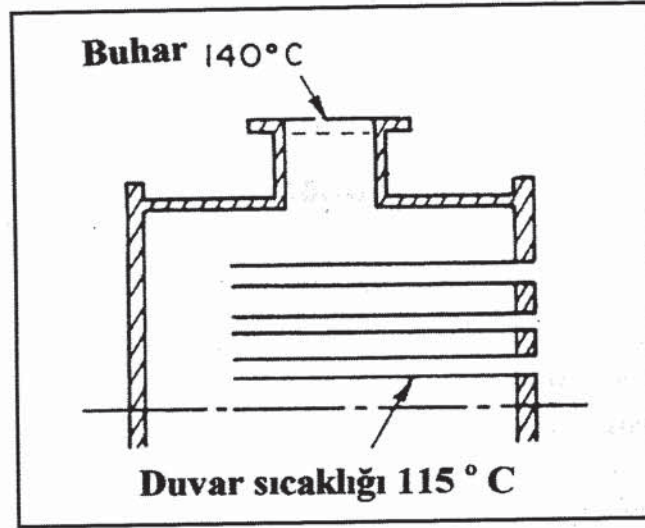
Özet olarak, önemli ekipmanların son bir ısıtım işlemine tabi tutulması çok faydalıdır. Bu işlem hiç bir zaman bir garanti oluşturmaz. Ancak malzemenin ömrünü artırıcı olarak rol oynar.

Sıcaklığın Metalurjik Yapıya Etkisi

Ortam sıcaklığı metal üzerinde etkili olur. Örneğin, Kuzey Amerika'da damıtma kolonları, soğuk kış geceleri öncesinde ani olarak sıcaklık düşüşlerine karşı geçici olarak

durdurulmaktadır. Eğer bu kolonlarda karbon çeliği kullanılmış ise, düşük sıcaklıkta ve yük altında geçiş bölgesine (**transition point**) ulaşılabilir ve tehlikeli sonuçlar ortaya çıkabilir. İri taneli karbon çeliği, nisbeten düşük sıcaklıklarda bile zarar görebilir.

Yalnız düşük sıcaklık değil ekipmanların maksimum çalışma sıcaklığı da sınırlıdır. Yüksek sıcaklık limiti olarak genellikle ekipmanın işlevini yürütemediği sıcaklık kontrol edilmektedir. Ancak bu değerın gerçek koşullara uyması gerekir. Örneğin, buhar ile çalışan bir ısı değiştiricisinde boruların dış yüzey sıcaklığı boru içindeki akışkanın sıcaklığından daha yüksektir (Şekil -5.4). Burada ekipmanın maksimum çalışma sıcaklığı olarak boruların sıcak yüzlerinin sıcaklığı olan 115 °C alınması gerekir.



Şekil -5.4 Borulu ısı değiştiricisinde sıcak duvar etkisi

Sıcaklık ile ilgili diğer bir sorun da malzemenin genleşme katsayısıdır. Eğer metal ısıtılacak olursa, boyunda uzama olacak ve hacminde artış görülecektir. Bu genleşme veya büzülme eğer metal boyu yeteri kadar uzun ise, bir sorun yaratmaz. Fakat bir çok halde sıcaklık değişimi sonucu metalde istenilmeyen gerilmeler doğabilir. Örneğin uzun bir boru hattında sıcak bir akışkan taşınıyorsa, önemli boy uzamaları ortaya çıkabilir. 1000 feet (315 m) uzunluğunda çelik, paslanmaz çelik ve folyolefin (plastik) boru hatlarında 200 F (111 °C) bir sıcaklık farkında meydana gelen boy uzaması şöyledir:

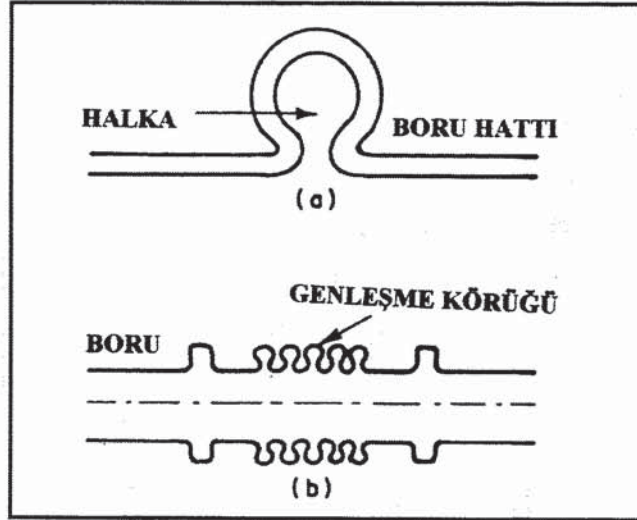
Çelik Boru : $\Delta l = 200 \times 0,0000064 \times 12000 \cong 15 \text{ inç (37,5 cm)}$

Paslanmaz Çelik Boru : $\Delta l = 200 \times 0,0000090 \times 12000 \cong 22 \text{ inç (55 cm)}$

Polyolefin Boru : $\Delta l = 200 \times 0,000090 \times 12000 \cong 220 \text{ inç (550 cm)}$

Bu hesap sonuçlarından görüldüğü üzere değişik malzemelerden yapılmış borulardaki uzama birbirinden çok farklıdır. Bu genleşmenin meydana getireceği gerilmeleri önlemek için pratikte boru hatlarına Şekil -5.5'de görülen halka veya körük biçimli parçalar konulmaktadır.

Dış kabuğu karbon çeliği, boruları ise paslanmaz çelikten yapılmış olan bir ısı değıştiricisi düşünelim. İşletme sırasında sistem sıcaklığı yükseldiği zaman borular kabuktan daha fazla genişleyecektir. Bunun sonucu olarak borular bükülecektir. Bunu önlemek için boru bağlantıları fleksibil yapılabilir.



Şekil -5.5 Genleşmeyi önleyici parçalar, (a) Genleşme halkası, (b) Genleşme körüğü

Basıncın Metalurjik Yapıya Etkisi

İşletme basıncı yaklaşık 2 atmosferden daha yüksek olan kaplar basınçlı kap kabul edilir. Bu kapların standard kurallara uygun olarak imal edilmesi gerekir. Basınçlı kaplarda büyük hacimde ve potansiyel enerjisi yüksek gaz bulunur. Kap herhangi şekilde delinirse büyük tehlike oluşabilir. Basınç, mühendisler ve bilim adamları tarafından çok fazla önemsenmeyen ve iyi anlaşılmayan bir kavramdır. Bir otomobil lastiğinin basıncı 3-4 atmosfer civarındadır. Bu lastiğin patlaması bile yakınında bulunan kişilere önemli zarar verebilir. Endüstride binlerce metre küp hacminde ve çok büyük basınçlarda gaz depolanmaktadır. Bu basınçlı kapların herhangi bir şekilde birdenbire boşalması çok ciddi sorun yaratır.

Modern endüstride genellikle ince duvarlı (6 mm -18 mm) basınçlı kaplar kullanılmaktadır. Ancak duvar kalınlığı arttıkça kırılma ve çatlama duyarlılığı da arttığı için, malzeme mühendisleri basınçlı kapların duvar kalınlığını artırmayı doğru bulmamaktadır.

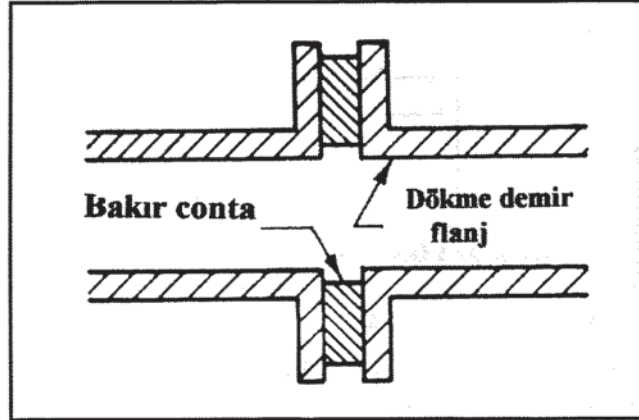
Sıvının Etrafa Saçılması

Basınçlı kapların patlaması sonucu genellikle korozif özellikteki sıvılar çevreye yayılır. Bu durum çevrede bulunan personel için tehlike yarattığı gibi, beton ve çelik yapılar ve ekipmanlar için de zararlıdır. Özellikle görülmeyen kaçaklar daha tehlikelidir. Çevrede birikerek zamanla tehlikeli yıpranmalara neden olabilir. En tehlikeli olanı, öldürücü sıvı ve gaz tankerlerinin taşıma sırasında delinmesidir. Bu konuda çok sıkı yasa ve kurallar

bulunmaktadır. Fakat ne yazık ki, yine de yeterli önlemler alınmamakta ve bu tip kazaların meydana gelmesi önlenememektedir.

5.5 EKİPMAN ÜRETİMİNDE MALZEME SEÇİMİ

Ekipman üretiminde bir çok metalik malzemenin kullanılması gerekebilir. Bir sistem içinde farklı metaller bir arada kullanıldığı zaman galvanik etki meydana gelir. Örnek olarak bakır veya pirinç alaşımı karbon çeliği ile birlikte kullanılırsa, bakır çeliğe göre daha soy metal olduğundan, çeliğin bakıra en yakın olan bölgelerinde şiddetli korozyon olayı gözlenir. Bu duruma evlerdeki su tesisatlarında sık sık rastlanır. Bunu önlemek için ya malzeme seçiminde dikkatli davranılmalı veya bu iki metal elektriksel olarak birbirinden izole edilmelidir. Galvanik korozyon söz konusu olduğunda yüzey alanı etkisi de önem kazanır. Böyle bir korozyon olayında eğer katodik alan/anodik alan oranı çok küçük ise korozyon olayı önemsizdir. Ancak bunun tersi halinde küçük anot bölgesinde büyük hasar meydana gelir. Çoğu zaman karışık bir sistem içinde galvanik etki oluşup oluşmadığını belirlemek güçlük yaratır. Bu durumda mutlaka bir uzmanın sistemi dikkatle incelemesi gerekir. Örneğin iki dökme demir flanş bir bakır conta ile Şekil -5.6'da görüldüğü şekilde birleştirildiğinde, bağlantı yerinin kısa sürede yıprandığı görülür. Bakır etkisi ile demir korozyona uğrar ve ek yerinden kaçak meydana gelir. İlk bakışta galvanik korozyon sonucu normal olarak demir flanşın çürüyeceği ve bakır contanın sağlam kalacağı düşünülebilir. Başlangıçta olay bu şekilde gelişir. Grafitizasyon korozyonu sonucu demir çözünür. Böylece dökme demir içinde bulunan grafit yüzeye çıkar ve demirin potansiyeli gittikçe artar. Sonuçta bakırdan daha soy olan grafitin katodik etkisi ile bakır conta da korozyona uğrar.



Şekil -5.6 Bir flanşın conta ile bağlantısında meydana gelen korozyon

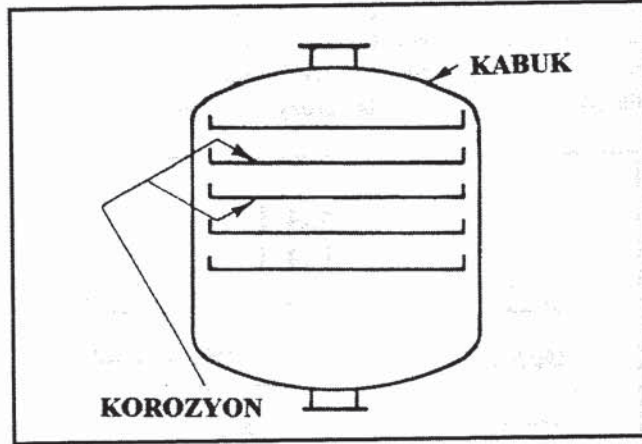
Bir ekipmanın en uygun çalışma koşullarını belirlemek için tam ve doğru bir analizin yapılması gerekir. Burada sorun, çalışma sırasında hangi ve nasıl bir arızanın ortaya çıkmasının mümkün olduğunu belirlemektir. Bazı ekipmanlar arızalanmasına rağmen çalışmaya devam edebilirler. Fakat arızalı parça, işlem sürekli olarak devam ederken başka

arızaların ortaya çıkmasına neden olabilir. Tasarım sırasında zincirin en zayıf halkası için önlem alınmalıdır.

Korozyon Payı

Bütün basınçlı kaplar ve bunun parçalarının tasarımında standartlara uymak zorunludur. Bu standartlar çerçevesinde en verimli ve en ekonomik tasarımın yapılmasına çalışılır. Bunu sağlamak için yüksek mukavemetli bir malzeme kullanılabilir. Böylece daha ince duvar kalınlığı sağlanarak yapımı kolay ve daha hafif bir ekipman elde edilir.

Eğer söz konusu ekipman korozif bir ortamda çalışacaksa, hatta korozyon fazla olmasa bile duvar kalınlığı korozyon nedeniyle bir süre sonra azalacaktır. Eğer bu azalma payı tasarım sırasında göz önüne alınmaz ise, duvar kalınlığının işletme sırasındaki basınca dayanması mümkün olmaz. Bu durumda işletme basıncının düşürülmesi gerekebilir. İşte bu problem, tasarım sırasında muhtemel korozyon kayıpları göz önüne alınarak, yeterli duvar kalınlığı belirlenerek çözümlenebilir. Korozyon için fazladan ilave edilecek kalınlık 3 mm ile 6 mm arasında olabilir. Ancak bu, ortamın koroziflik durumu göz önüne alınarak dikkatle belirlenmelidir. Örneğin bir damıtma kolonundaki korozyon hızını belirlerken damıtma kolonu raflarında iki yüzün birden korozyona uğrayacağı göz önüne alınarak raflardaki korozyon kaybının kabuktakinin iki katı olacağı göz önünde bulundurulmalıdır (Şekil -5.7).



Şekil -5.7 Damıtma kolonu raflarındaki korozyon

Bütün ekipmanlar için belli bir duvar kalınlığının alınması şartnamelere göre zorunludur. Örneğin bir kabın duvar kalınlığı 1,25 cm olarak belirlenmiş ise, korozyon payı konularak bu değer 1,30 cm değerine yükseltilir. Eğer üç ay sonra yapılan ultrasonik ölçümde duvar kalınlığı 1,24 cm olarak ölçülmüş ise, korozyon payının doğru seçilmemiş olduğu anlaşılır.

Bakım

Bir ekipmanın bakım ve tamirinin nasıl yapılacağı yönetmelikler ile belirlenmelidir. Hangi parçaların tamir edileceği veya değiştirileceği ve tamir işleminin cihazı en az sökerek nasıl

yapılacağı önceden belirlenmeli, hatta değiştirilmesi zorunlu olan bazı hayati parçalar yedek olarak bulundurulmalıdır. Herhangi bir parçanın tamirinin veya değiştirilmesinin ne kadar zaman alacağı bilinmelidir. Bazı parçaların sökülüp şantiyede tamir edilmesi gerekebilir. Zamanın uzaması maliyeti artırır. Örneğin titanyum veya tantal metalinden yapılmış bir ekipmanın tamiri oldukça güçtür. Bu metallerin özel ortamlarda kaynak edilmesi gerekir. Üstelik bu metallerin bulundukları yerde kaynak yapılması hemen hemen mümkün değildir. Eğer ekipmanda metal olmayan parçalar da bulunuyorsa, örneğin polietilen veya cam lifi takviyeli plastikler, bu malzemelerin tamiri için uzman personel gerekir.

Yüzeyi kirlenmiş ve kabuk bağlamış bir parçanın tamiri oldukça güçtür. Bu gibi parçaların kaynak edilmesi mümkün olmaz. Tamir edilecek parçanın yerinden sökülüp çıkarılması işletmenin durmasına veya tehlikeli sonuçlara neden olur. Özellikle hidrokarbon tesislerinde patlama riski doğar. Bu gibi tesislerde kaynak yapılmasında çok dikkatli olunması gerekir. Korozyon sonucu ortaya çıkan hidrojen kapalı ortamlarda birikmiş olabilir. Bu hidrojen tamirat için yapılan kaynak sırasında patlamaya sebep olur.

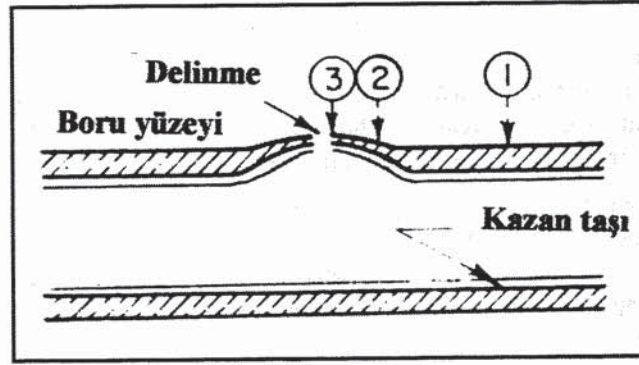
Kazan Taşının Etkisi

Hemen hemen bütün kimyasal proseslerde ısı transferinin önemli rolü vardır. Isı transfer hesaplarında, bir ortamdan diğerine transfer edilen ısı miktarı sıcaklık farkına ve duvar kalınlığına bağlı olarak artar. Bu faktörler göz önüne alınarak kullanılacak ekipmanın büyüklüğü (yüzey alanı) kolayca belirlenir. Ancak ekipman bir süre çalıştıktan sonra yüzeylerde biriken kir ve tortular ısı transferini güçleştirir. Borulu ısı değiştiricilerde yüzeyde biriken kalsiyum karbonat kabuğu (kazan taşı) ısı değiştiricisinin kapasitesini büyük ölçüde azaltır.

Yüzeyde toplanan birikintinin şekli ve cinsi büyük önem taşır. Yüzeye sınıksız yapışan demir oksit kabuklarının ısı transfer hızına etkisi çok azdır. Fakat silikat tipi kabuklaşmalar, çok yalıtkan özellikte olduğu için ısı transfer hızını büyük ölçüde azaltır. Bu durum, yüzeyde oluşan kabuğun kalınlığı kadar yapısının da ısı transferi açısından büyük önem taşıdığını gösterir. Yüzeylerde toplanan bu kabuğun (kazan taşının) temizlenmesi gerekir. Temizlemek için tel fırça kullanılabilir. Fakat genellikle kimyasal temizleme tercih edilir. Bu amaçla içine inhibitör katılmış hidroklorik asit, sülfürik asit veya sülfamik asit kullanılabilir. Bu işlemde asit içine katılacak inhibitör miktarının çok iyi belirlenmesi gerekir. En iyisi temizleme asidi içine katılacak inhibitör konsantrasyonunun deneysel olarak belirlenmesidir.

Kazan taşının ortaya çıkardığı en önemli problem buhar kazanlarında görülür. Bu kazanlarda boru içinden su geçerken alev dışardan ısıtır. Kazanda alev sıcaklığı 1100 °C'a kadar yükselir. Bu sıcaklıkta çelik borunun dış yüzeyleri kolayca oksitlenir. Fakat borunun içinden geçen suyun veya buharın aldığı ısı nedeniyle sıcaklık düşer. Bunun sonucu olarak çelik boru oksitlenmeye karşı dayanır. Boruların iç yüzeylerinde zamanla kireç taşından meydana gelen kabuk oluşur. Kabuk oluşması ısı transferini düşürür. Bunun sonucu olarak boruların dış yüzeylerindeki sıcaklık artar. Temiz bir boruda iç ve dış yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı yaklaşık 400 °C civarındadır. Boru iç yüzeyinde kabuk oluşması sonucu bu sıcaklık farkı gittikçe artar ve sonunda boru aşırı ısınma sonucu delinir.

Şekil -5.8'de bir buhar kazanı borusunun aşırı ısınma sonucu dışı doğru meme yaparak delinmesi görülmektedir.



Şekil -5.8 Bir buhar kazanında taşlaşmanın neden olduğu delinme

Kesitler mikroskopik olarak incelendiğinde, (1) kesitinde normal ferritik pearlitik bir yapı görülmektedir. (2) Kesitinde pearlit ayrışmış ve küreselleşmiş durumdadır. (3) kesitinde ise yeniden kristallenmiş bir yapı mevcuttur. Karbon çeliğinin küreselleşmesinin yaklaşık 670 °C'de ve yeniden kristallenmesinin de yaklaşık 850 °C'de meydana geldiği göz önüne alınırsa, borunun delinme sıcaklığı anlaşılabılır. Önce küreselleşme olayı meydana gelir. Bunun sonucu çeliğin dayanımı azalır. En sonunda en zayıf olan bölgede delinme gerçekleşir.

Akışkan Hızının Kontrolü

Boruların imal edilmiş olduğu bütün malzemelerin borudan hızla akan akışkanın sürtünmesine karşı belli bir dayanımı vardır. Bu sürtünme kuvveti doğrudan akışkanın Reynold sayısına bağlıdır. Pratikte bir boru içinden akan akışkanın Reynold sayısı yerine, hızı için limit verilmesi tercih edilir. Türbilent akım, laminar akımdan daha fazla erozyona neden olur.

Bir boru hattında, dirseklerde hız farkı meydana gelir. Dirseğin dış bölgesindeki akış hızı iç kısmın hızından daha fazladır. Bu etki, katı tanecik içeren akışkanlar ile, derişik sülfürik asit gibi yüksek özgül ağırlıklı çözeltilerde daha şiddetli olarak kendini gösterir. Bu nedenle erozyon sonucu metal kaybı ve incelme yalnızca dirseğin dış dönüş bölgesinde gözlenir. Yüksek akışkan hızı sonucu oluşan erozyon olayı ile kavitasyon olayını birbiri ile karıştırmamak gerekir. Kavitasyon olayı türbulans akışta hava boşluğu sonucu ortaya çıkar. Sıvı içinde oluşan hava habbecikleri, basınç farkı yaratarak metalin belli bir bölgesinin yıpranmasına neden olur.

Pratikte sıvı akış hızının çok yavaş oluşu da sorun yaratabilir. Akış hızının düşük olduğu bölgelerde rüsubat birikmesi görülür. Bu bölgeler yerel çukur korozyonu olayının başlaması için son derece uygun bir ortamdır.

5.6 MALZEME SEÇİMİNE ETKİ YAPAN FAKTÖRLER

Endüstride halen kullanılmakta olan beton ve çelik malzemelerin yerine yeni malzemeler devreye girmektedir. Günümüzde metalik malzemelerin yerini metal olmayan malzemeler almak üzeredir. Bu gelişme çeşitli nedenlere dayanmaktadır. Bu faktörler başlıca üç grupta toplanabilir:

- (1) Yapı malzemelerinin özellikleri,
- (2) Çevre faktörleri ,
- (3) Ekonomik faktörler.

1) Malzeme Özellikleri

Kimya endüstrisinde bir tesis projelendirilirken teknik bakımdan en uygun ve ekonomik bakımdan en ucuz olan malzemelerin seçilmesi büyük önem taşır. Malzeme seçiminde aşağıdaki kriterler göz önünde bulundurulur.

a-Görünüş

Yapıların dış görünüşlerinin iyi ve bakımlı olması istenir. Bu amaçla dış yüzeyler boyanır. Amaç yüzeyde pas ve solma gibi olaylara engel olmaktır. Çelik ve bakırda durum biraz farklıdır. Bu metaller eskidikçe güzel bir görünüm kazanır. Köprü korkulukları, su kuleleri, gibi yapılarda yüzeyler sık sık boyanır.

b- Absorbsiyon :

Çevrede bulunan korozyon etkenlerinin malzemenin içine girebilme özelliği çok önemlidir. Korozyon olayı büyük ölçüde absorbsiyon özelliğine bağlıdır.

c - Servis Ömrü

Bir ısı değiştiricisinde kullanılan boruların yüzeyleri, kalsiyum karbonattan oluşan bir kabuk ile kaplanarak zamanla ısıyı iletmez hale gelir. Karbon çeliğinden yapılmış ve katran ısıtmak üzere kullanılan normal bir ısı değiştiricisinin servis ömrü yaklaşık üç yıldır. Servis ömrünü artırmak amacıyla karbon çeliği yerine paslanmaz çelik borular kullanılırsa bir kaç gün sonra ısı transferinin tamamen durduğu gözlenir. Bunun nedeni korozyon değildir. Olay paslanmaz çelik boru yüzeyinde katranın koklaşarak kısa sürede izole bir kabuk oluşturmasından kaynaklanır. Isı değiştiricisinde karbon çeliği kullanılması halinde yüzeyde oluşan pas tabakası katranın yapışarak koklaşmasını önler.

d - Kirlenme

Korozyon sonucu oluşan ürünler çevreyi kirletir. Kirlenme zamanla artarak çevre için zararlı olur. Bu konu ile ilgili tarihi bir olay anlatılır. Bazı korozyon mühendisleri Roma İmparatorluğu'nun çöküşünde kurşun zehirlenmesinin etkili olduğunu ileri sürmüşlerdir. Romalılar su borularında, yemek kapları ve içki bardaklarında kurşun kullanmışlardır. Böylece yediklerine ve içtiklerine kurşun iyonları karışmış ve vücutlarında biriken kurşun Romalıları zehirlemiştir. Buna benzer olarak 1946 yılında Avrupa'daki bazı hastanelerde

hastalarda kurşun zehirlenmesi gözlenmiştir. Bu durumun, hastanede korozyon sonucu delinen karbon çeliğinden yapılmış su borularının kurşun boru kullanılarak tamir edilmiş olmasından kaynaklandığı anlaşılmıştır. Korozyon sonucu çözeltiye geçen korozyon ürünleri, eğer kapalı bir sistem söz konusu ise, gittikçe artarak büyük bir sorun yaratır.

2) Koroziif Ortam ile İlgili Faktörler

Malzeme seçiminden önce ilk olarak metalin içinde bulunduğu ortamın özellikleri tam olarak belirlenmelidir. Bu konuda göz önüne alınacak on faktör aşağıda tanımlanmıştır.

a. Sıfllık

Proseslerde kullanılan kimyasal maddeler çoğu zaman saf halde değildir. Kimyasal maddeler içinde bulunan safsızlıklar inhibitif veya koroziif özellikte olabilir. Örneğin nitrik asit içinde bulunan çok az miktardaki vanadium veya krom korozyon olayını büyük ölçüde hızlandırıcı rol oynar.

b. Çözelti Konsantrasyonları

Daha düşük konsantrasyon her zaman korozyon hızının daha düşük olmasını gerektirmez. Örneğin % 10 H_2SO_4 çözeltisi, % 93' lük H_2SO_4 'den daha koroziiftir.

c. Sıcaklık

Genel kural olarak sıcaklık arttıkça korozyon hızında da artış görülür. Ancak bunun bazı istisnaları vardır.

d. Havalanma

Bir çözeltide oksijenin varlığı veya yokluğu korozyon olayı açısından büyük önem taşır. Oksijen bir çok ortamda korozyonu artırıcı olarak rol oynar. Bazı durumlarda bunun tersi gözlenir. Örneğin havasız % 2'lik H_2SO_4 çözeltisi ostenitik paslanmaz çeliği kolayca korozyona uğratar. Oysa ortamda bol miktarda hava bulunması halinde çelik pasifleşeceği için korozyon hızı düşer. Bakır / nikel alaşımları söz konusu olduğunda bunun tersi gerçekleşir.

e. Karıştırma

Tasarımda ölü noktalardan kaçınılmalıdır. Karıştırma yapılarak oksijen konsantrasyonu farkı nedeniyle ortaya çıkan korozyon hücrelerinin oluşması önlenabilir. Ayrıca bazı bölgelerde rüsubat birikmesi de giderilmiş olur.

f. Hız

Malzeme seçiminde, türbülent akış, katı patiküller ve durgun akış bölgelerinin göz önüne alınması gerekir.

g. Kirletici Bileşenler

Bazı metaller korozyona uğradığında korozyon ürünleri suda çözünerek ortama yayılır. Bu iyonlar çözelti halinde dağılarak çevrede zararlı etki yapar. Örneğin bakır kaplardan yiyeceklere bakır iyonu karışabilir. Kurşunlu borulardan suya kurşun iyonu geçer. Bu iyonlar toksik etki yapar.

h. Kaçak Akımlar

Zemin içine çeşitli kaynaklardan kaçan elektrik akımı metal yapılar üzerinde korozyona neden olur. Böyle bir durumla karşılaşıldığında kaçak akımların kaynağı araştırılmalı ve kaçak akım etkisini giderici önlemler alınmalıdır. Kaçak akımlar ve interferans korozyonu konusu Bölüm -9'da geniş olarak incelenmektedir.

Ekonomik Faktörler

Ekonomik kurallar gerçekte çok basittir. Bir problemin çözümünde en ucuz malzeme seçilmeli ve kullanılmalıdır. Bu ifade ancak standartlara uyan malzeme kullanılması halinde doğru olabilir. Diğer taraftan herhangi bir endüstri için ekonomik olan bir malzeme bir başka endüstri için ekonomik olmayabilir. Kullanışlı ve emniyetli olmak yanında diğer bazı koşulların da ekonomik analizlerde göz önüne alınması gerekir. Günümüz kimya ve petrokimya endüstrisi son derece uyumlu cihazlar ile teçhiz edilmiş olup sürekli yöntem ile çalışmaktadır. Eskiden uygulanmakta olan kesikli yöntem halen bazı özel proseslerde günümüzde de kullanılmaktadır. Fakat endüstride gün geçtikçe sürekli işlemler önem kazanmaktadır. Bu yöntem verimlilik açısından tercih edilmektedir. Sürekli çalışan bir tesiste bütün makineler her zaman çalışabilir halde bulunmalıdır. Ünitelerden biri arızalı ise veya çalışamaz durumda ise, üretim tamamen durabilir. Böyle bir tesiste bütün ekipman aynı düzeyde güvenilir ve eşdeğer performansta olmalıdır. İşte burada zincirin en zayıf halkası kendini gösterir. Sürekli çalışma için bütün malzemelerin korozyon dayanıklılığı, bakımı ve işletme ömrü malzeme seçimi sırasında göz önünde bulundurulmalıdır. Bütün ekipmanların kalitesi ve dayanım gücü eşdeğer düzeyde olmalıdır. Ancak proses sırasında bazı ekipmanlar diğerine göre daha şiddetli korozyon şartları altında bulunabilir. Bu durum göz önüne alınarak tasarım sırasında karbon çeliğinden pahalı özel çeliklere kadar, o ekipman için en uygun malzemenin seçilmesi gerekir. Kuşkusuz yalnız malzemenin iyi seçilmesi yeterli olmaz. İyi bakım ve kullanma işletmenin sürekli çalışabilmesinde önemli rol oynar.

Yapımda kullanılan malzemeler ne kadar kalın olursa ekipmanların daha uzun süre çalışacağı şeklinde bir yanlış fikir vardır. Bazı hallerde bu gerekli olabilir. Ancak her zaman doğru değildir. Eğer aşırı bir korozyon kaybı söz konusu ise, bunun için fazladan bir kalınlık gereklidir. Bu kuralın, korozyonun söz konusu olmadığı ortamlarda kullanılması yanlıştır. Bazı halde bir malzemenin daha ucuzunu kullanarak daha iyi sonuç almak mümkün olabilir. Gereğinden fazla kalın malzeme kullanılması halinde önemli başka sakıncalar ortaya çıkabilir. Borularda ve kazanlarda duvar kalınlığının artması kırılabilirliği artırıcı olarak rol oynar. Kuşkusuz kalınlığın artışı fiyatı da artırır. Bu fiyat artışı daima ön planda tutulur. Mühendis emniyetten ödün vermeksizin en ekonomik ekipmanı yapmaya çalışmalıdır.

Bir çok kuruluşta işletme ve bakım için ayrı bölümler bulunur. Bu bölümün başlıca görevi arızalanan bir ekipmanı en kısa zamanda ve en ucuz şekilde, korozyon durumunu da göz önüne alarak yenisi ile değiştirmektir. Eğer bir parça yenisi ile değiştirilmeyip büyük gayretler safederek ve sık sık bakım yapılarak işletmede tutulursa, bakım masrafları gittikçe artar. Bu durumda yıllık bakım masraflarının maliyete eklenmesi gerekir. Projeciler iyi bakım yapılarak ekipmanın kullanılmasını, bakım ekibi de genellikle parçanın yenilenmesini tercih eder.

5.7 KOROZYON EKONOMİSİ

Korozyon mühendisliğinin temeli ekonomiye dayanır. İyi bir karar verebilmek için konunun derinliğine incelenmesi gerekir. Ekonominin farklı sektörlerinde ve farklı zamanlarda kurallar farklıdır. Ancak korozyondan korunmanın temel amacı daima ulusal kaynakların hor kullanılmasını önlemek olmalıdır. O hade birinci amaç çevrenin korunması, madde ve enerji tasarrufu yapılarak doğal kaynakların kaybının önlenmesidir. Belki de emniyeti sağlamak ilk amaç olarak kabul edilebilir. Bütün bu seçenekler mutlaka ekonomik bir temele oturtulmalıdır.

Endüstride vergilendirme usulünün korozyonla mücadele üzerine büyük etkisi olmaktadır. Kısa sürede vergiden düşmek amacıyla endüstriyel kuruluşlar uzun ömürlü malzeme yerine kısa ömürlü ucuz malzemeleri tercih etmektedir. Özellikle Ülkemizde olduğu gibi, enflasyonun ve faiz oranlarının yüksek olduğu zamanlarda, sermaye kendini korumak için bu yolu seçmektedir. Malzemeyi işletmede tutmak için uzun yıllar harcanması gereken bakım ve onarım masrafları, maliyeti artırmakta, buna karşılık vergide bir azalma sağlamamaktadır.

Özellikle kamu kuruluşları bu konuda daha güç durumdadır. Bu kuruluşlar verimliliği artırıcı önlemlerden çok, kendi görev süreleri içinde o mali yılın gelirini artırmayı düşünmektedirler. O yıl içinde sağlayacağı gelir artışını, ileriki yılların daha yüksek gelirin tercih etmektedirler. Örneğin bir katodik koruma sisteminde yapılan harcamanın karşılığı ancak yıllar sonra kazanç olarak geri dönecektir. Maliye için önemli olan gelecek yıllarda sağlanacak maliyet azalması değil, o yılın bütçesini denkleştirmektir. Katodik koruma uzun yıllar sonra gelir sağlar, ancak vergisi peşin olarak verilir.

Enflasyon endüstride etkili bir maliyet tayinini güçleştirir. Enflasyon hızının maliyetler üzerine olan etkisinin hesaplara doğru olarak katılması gerekir. Bunu basit bir örnek ile açıklayalım. Örneğin, yıllık enflasyon hızı % 100 ve enflasyon dışında reel faiz de % 10 olsun. Bu koşullarda 100 lira borç alınması halinde bir yıl sonra bu 200 lira olarak ödenecektir. O halde bu paranın faizi 10 değil 20 lira olmalıdır. Çünkü % 10 faiz paranın başlangıçtaki değeri üzerinden hesaplanmıştır. Başlangıçtaki 10 lira da artık 20 liraya eşdeğerdir. Proje hesapları yapılırken bu nominal faiz ile gerçek faiz arasındaki fark gözden kaçırılmamalıdır. Çünkü hesapların yapıldığı gün ile, daha sonraki yıllarda paranın değeri enflasyon nedeniyle birbirinden farklıdır.

Bunun dışında göz önüne alınması gereken bir faktör daha mevcuttur. Diyelim ki bankaların faiz oranı % 15 ve yıllık enflasyon oranı da % 10'dur. Bu durumda gerçek faiz oranı % 5'dir. Ancak olay bu kadar basit değildir. Eğer bu para bir yatırım amacıyla kullanılmış ise, faiz dışında bir mali risk de söz konusu olacaktır. Rekabet nedeniyle yatırım halinde faizin normal banka faizlerinden en az % 10 kadar fazla olması gerekir.

Faiz oranlarının enflasyon etkisi ile değişimini incelemek üzere bir kuruluşun (r) (nominal) faiz oranı ile borç para aldığını düşünelim. Bu para yıl sonunda $(1+r)$ olacaktır. Enflasyon oranı da (I) ise para yıl sonunda $(1+I)$ değerini alacaktır. Yıl sonundaki gerçek faiz (R) ise, bu faiz oranı ile yıl sonunda paranın toplam karşılığı,

$$1 + r = (1 + R)(1 + I)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Bu bağıntıdan nominal faiz oranı,

$$r = R + I + RI$$

olarak bulunur. Ne var ki bir çok hesaplamalarda sondaki (RI) terimi ihmal edilmektedir. Enflasyonun çok düşük olması halinde bu çarpım çok küçük olacağından ihmal edilebilir. Ancak enflasyonun yüksek olması halinde bu terimin de göz önüne alınması gerekir.

Bütün finans hesaplarında daima paranın gerçek değeri ve gerçek faiz oranı kullanılmalıdır. Bu faiz, bankaların nominal faiz oranından daha büyük olmalıdır. Ancak bu yolla gelir artış oranının maliyet artışından daha küçük kalması önlenmiş olur.

Ekonomik Hesaplamalar

Hesaplama tekniğini bir örnek ile açıklayalım. Gerçek faiz oranının % 12 olması halinde başlangıçtaki değeri 1 olan sermayenin yıllara göre azalışı Tablo -5.1'de verilmektedir.

Bu tablodaki değerlerin elde edilmesinde şu bağıntılar kullanılmıştır.

$$PV = F \frac{1}{(1+i)^n}$$

$$AC = F \frac{i}{(1+i)^n - 1}$$

Veya

$$AC = PV \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Burada,

PV	:	(n) inci yılda mevcut değer
AC	:	(n) inci yılda amortisman kaybı
n	:	yıl
i	:	Gerçek yıllık faiz oranı
F	:	Yatırılan sermayedir.

**TABLO -5.1 % 12 GERÇEK FAİZ ORANINA GÖRE HESAPLANMIŞ
EKONOMİK FAKTÖRLER**

YILLAR	BUGÜNKÜ DEĞER FAKTÖRÜ (PV)	YILLIK MALİYET FAKTÖRÜ (AC)	AMORTİSMAN FAKTÖRÜ
1.	0.8929	1.1200	1.0000
2.	0.7972	0.5917	0.4717
3.	0.7118	0.4164	0.2963
4.	0.6355	0.3292	0.2092
5.	0.5674	0.2774	0.1574
6.	0.5066	0.2432	0.1232
7.	0.4523	0.2191	0.0991
8.	0.4039	0.2013	0.0813
9.	0.3606	0.1877	0.0677
10.	0.3220	0.1770	0.0570
15	0.1827	0.1467	0.0268
20	0.1037	0.1339	0.0139
25	0.0588	0.1275	0.0075
26	0.0525	-	-
27	0.0469	-	-
28	0.0419	-	-
29	0.0374	-	-
30	0.0334	0.1241	0.0041

Örneğin 100 liralık bir yatırımın 10 yıl sonraki değeri 32.2 lira ve yıllık amortisman kaybı da % 5.7'dir.

Eğer tesisin belli bir ekonomik ömrü olduğu kabul edilirse, sabit bir yıllık amortisman kaybı alınarak hesaplar basitleştirilebilir. Bu durumda amortisman kaybı oranları ekipman cinsine bağlı olacaktır. Tablo -5.2'de sabit amortisman kaybı esas alınarak hesaplanan sermaye maliyet faktörleri verilmektedir. Bu amaçla aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$C.C.F = 1 - \frac{td}{i+d}$$

Burada, C.C.F = Sermaye Maliyet Faktörü

i = Gerçek yıllık faiz oranı,

t = Vergi oranı,

d = Yıllık sabit amortisman kaybıdır.

TABLO -5.2 SABİT AMORTİSMAN KAYBI ESAS ALINARAK HESAPLANAN SERMAYE MALİYET FAKTÖRLERİ

$i = \% 12$

$t = \% 50$

$d = \text{yıllık amortisman kaybı}$

Ekipman Sınıfı	Ekipman Cinsi	Yıllık Sabit Amortisman Kaybı	Sermaye Maliyet Faktörü
2	Binalar, tesisler	% 5	0.853
3	Genel ekipmanlar Boru Hatları	% 6	0.833
8	Makinalar, mobilyalar	% 20	0.688
10	Taşıt araçları ile ilgili yedek parçalar	% 30	0.643

Tesisin ekonomik ömrünü artırmak üzere, korozyonu önlemek üzere alınan önlemler ile bakım ve onarım masrafları da maliyet hesaplarına dahil edilmeli ve tesisin yıllık eşdeğer maliyeti bulunarak karşılaştırmalar bu maliyet üzerinden yapılmalıdır. Bunu bir örnekle açıklayalım.

ÖRNEK: Bir nükleer santralda ağırsuyu soğutmak amacıyla, karbon çeliği, 317L paslanmaz çelik veya incoloy alaşımından yapılmış üç ayrı ısı değiştiricisi 30 yıl süre ile kullanılmıştır. Karbon çeliğinden yapılmış olan ısı değiştiricisinin her beş yılda bir, paslanmaz çelikten yapılmış olanın her 10 yılda bir boruları değiştirilmek zorunda kalmıştır. Incoloy alaşımından yapılmış olan ısı değiştiricisi ise hiç boru değişikliği yapılmadan 30 yıl kullanılmıştır. Karbon çeliğinden yapılmış olan ısı değiştiricisinde, boru değişikliği yapılmayan dört yıl içinde boruların bakımı için 400 \$ ikinci yıl 500 \$, üçüncü yıl 650 \$ ve dördüncü yıl 900 \$ harcama yapılmıştır. Paslanmaz çelikte ise bakım masrafı ilk yıl 100 \$, bunu izleyen ve boruların yenilenmesine kadar geçen süre içinde her yıl 50 \$ artacak şekilde masraf yapılmıştır. Incoloy alaşımından yapılmış olan ısı değiştiricisinde ise, 30 yılı boyunca yılda 100 \$'lık masraf yeterli olmuştur.

Isı değiştiricisi olarak kullanılmış olan bu üç seçeneğin hangisinin daha ekonomik olduğunu inceleyelim.

Birinci seçenek : Karbon Çeliği

Karbon Çeliği kullanılması halinde yapılan harcamaların tümü ve hurda halinde sökülen malzemelerden elde edilen gelirler bugünkü fiyata çevrildikten sonra vergi indirimi yapılarak maliyet hesabına katılmıştır. Tablo -5.3. İlk beş yıl için her yılki bakım masrafları o yıla ait faktör ile çarpılarak bugünkü değerleri hesaplanmıştır. Daha sonraki beş yıllar için tabloda bu değerler toplu halde gösterilmiştir. İlk beş yıla ait bakım ve boru değiştirme masrafları beş yıl için Tablo 5.1'de verilen bugünkü değere çevirme faktörü ile çarpılmıştır. Bundan sonraki beş yıllar için de, birinci beş yılda elde edilen bakım ve boru değiştirme masrafları toplamının bugünkü değeri olan 8703 \$ aynen kullanılmıştır. Ancak bu değer söz konusu beş yıllara ait

PV faktörleri ile çarpılarak bugünkü değerler elde edilmiştir. Sonuncu beş yılda artık boru değiştirme masrafı yoktur. Bu beş yıl içinde yalnız bakım masrafları bulunur. Bir de tesisin 30. yılda hurdaya çıkarılmasından elde edilen gelir vardır. Gelirler tabloda parantez içinde gösterilmiştir.

İkinci Seçenek : Paslanmaz Çelik

Paslanmaz çelik kullanılması halinde de benzer şekilde maliyet analizi yapılmıştır. Tablo -5.4. Ancak bu durumda 10 yılda bir yapılan boru değiştirme masrafları bakım masraflarından ayrı olarak listeye dahil edilmiştir.

Üçüncü Seçenek : İncoloy Alaşımı

Bu alaşımın kullanılması halinde boru değiştirilmesi söz konusu değildir. Yalnız sabit bir yıllık bakım masrafı listeye dahil edilecektir. Tablo -5.5

Bu karşılaştırmaya göre, sık sık onarımı ve yenileme gerekmesine rağmen karbon çeliği ile yapılmış ısı değiştiricisi en ekonomik olmaktadır. İncoloy alaşımı problem yaratmaması bakımından, pahalı olmasına rağmen uygulamada geniş şekilde kullanılmaktadır.

Bu üç seçenek için hazırlanmış olan tablolar birlikte incelenirse, toplam bu günkü maliyetler ve eşdeğer yıllık maliyetlerin birbirine oldukça yakın olduğu görülür.

<u>Seçenekler</u>	<u>Toplam bugünkü değer,\$</u>	<u>Yıllık eşdeğer maliyet, \$</u>
Karbon Çeliği	197809	6594
317 L Paslanmaz çelik	221719	7391
İncoloy	274970	9166

Bu sonuçlar sık sık boru değiştirilmesine rağmen karbon çeliğinin en ekonomik seçenek olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak her üç seçenek arasındaki fark çok fazla değildir. Bu nedenle işletme kesikliği ve bakım güçlüğü göz önüne alınarak pratikte çoğu kez daha pahalı seçenek olan 317 L paslanmaz çelik veya inconel alaşımının da tercih edilmesine neden olmaktadır.

TABLO- 5.3 KARBON ÇELİĞİ ISI DEĞİŞTİRİCİSİNE AİT MALİYET ANALİZİ

YAPILAN HARCAMALAR	YILLAR	SERMAYE	MASRAFLAR	SERMAYE MALİYET FAKTÖRÜ ^(*)	VERGİ	BUGÜNKÜ DEĞER FAKTÖRÜ (PV) ^(**)	HESAPLAMA	BUGÜN. DEĞER	TOPLAM BUGÜN. DEĞER
SERMAYE	0	260.000		0.688		$pV_0 = 1.000$	260.000×0.688		178.880
Bakım	1		400		0.5	$pV_1 = 0.8929$	$400 \times 0.8929 \times 0.5$	178	
Bakım	2		500		0.5	$pV_2 = 0.7927$	$500 \times 0.7927 \times 0.5$	198	
Bakım	3		650		0.5	$pV_3 = 0.7118$	$650 \times 0.7118 \times 0.5$	231	
Bakım	4		900		0.5	$pV_4 = 0.6355$	$900 \times 0.6355 \times 0.5$	286	
Boru Değiştirme	5	20150		0.688		$pV_5 = 0.5674$	$20150 \times 0.5674 \times 0.688$	7866	
Hurda Malzeme	5	(143)		0.688		$pV_5 = 0.5674$	$(143) \times 0.5674 \times 0.688$	(56)	
							Toplam	8703	8703
	6-10					$pV_5 = 0.5674$	8703×0.5674		4939
Bakımve Boru Değiştirme	11-15					$pV_{10} = 0.3220$	8703×0.3220		2802
Bakımve Boru Değiştirme	16-20					$pV_{15} = 0.1828$	8703×0.1828		1590
Bakımve Boru Değiştirme	21-25					$pV_{20} = 0.1037$	8703×0.1037		902
Bakım	26		400		0.5	$pV_{26} = 0.0525$	$400 \times 0.0525 \times 0.5$		10
Bakım	27		500		0.5	$pV_{27} = 0.0469$	$500 \times 0.0469 \times 0.5$		11
Bakım	28		650		0.5	$pV_{28} = 0.0419$	$650 \times 0.0419 \times 0.5$		13
Bakım	29		900		0.5	$pV_{29} = 0.0374$	$900 \times 0.0374 \times 0.5$		17
Hurda Malzeme	30	(2520)		0.688		$pV_{30} = 0.0334$	$(2520) \times 0.0334 \times 0.688$		(58)

Toplam= 197809
Eşdeğer yıllık maliyet = 6594

(*) Tablo-5.2 (**) Tablo 5.1

TABLO -5.4 317-L PASLANMAZ ÇELİK ISI DEĞİŞTİRİCİSİNE AİT MALİYET HESAPLARI

YAPILAN HARCAMALAR	YILLAR	SERMAYE	MASRAFLAR	SERMAYE MALİYET FAKTÖRÜ (C.C.F.) (*)	VERGİ	BUGÜNKÜ DEĞER FAKTÖRÜ (PV) (**)	HESAPLAMA	BÜGÜN. DEĞER	TOPLAM BUGÜN. DEĞER
SERMAYE	0	300.00		0,688		PV0=1,000	300000x0,688		206400
Bakım	1		100		0,5	PV1=0,8929	100x0,8929x0,5	44	
Bakım	2		150		0,5	PV2=0,7972	150x0,7972x0,5	60	
Bakım	3		200		0,5	PV3=0,7118	200x0,7118x0,5	71	
Bakım	4		250		0,5	PV4=0,6355	250x0,6355x0,5	79	
Bakım	5		300		0,5	PV5=0,5679	300x0,5679x0,5	85	
Bakım	6		350		0,5	PV6=0,5066	350x0,5066x0,5	89	
Bakım	7		400		0,5	PV7=0,4523	400x0,4523x0,5	90	
Bakım	8		450		0,5	PV8=0,4039	450x0,4039x0,5	91	
Bakım	9		500		0,5	PV9=0,3606	500x0,3606x0,5	90	
							Toplam	699	699
Boru değiştirme	10	50100		0,688		PV10=0,3220	50100x0,322x0,688		11099
Hurda malzeme	10	(682)		0,688		PV10=0,3220	(682)x0,322x0,688		(151)
Bakım	11-19					PV10=0,3220	699x0,3220		225
Boru değiştirme	20	50100		0,688		PV20=0,1037	50100x0,1037x0,688		3574
Hurda malzeme	20	(682)		0,688		PV20=0,1037	(682)x0,1037x0,688		(49)
Bakım	21-29					PV20=0,1037	699x0,1037		72
Hurda malzeme	30	(4500)	0,688			PV30=0,0334	(4500)x0,0334x0,688		(150)

(*) Tablo-5.2 (**) Tablo-5.1

Toplam = 221719
Eşdeğer yıllık maliyet = 7391

TABLO-5.5 INCOLOY ISI DEĞİŞTİRİCİSİNE AİT MALİYET HESAPLARI

YAPILAN HARCAMALAR	YILLAR	SERMAYE	MASRAFLAR	SERMAYE MALİYET FAKTÖRÜ (C.C.F) ^(*)	VERGİ	BUGÜNKÜ DEĞER FAKTÖRÜ (PV) ^(**)	HESAPLAMALAR	TOPLAM BUGÜNKÜ DEĞER
Sermaye	0	400000		0,688			400000x0,688	275200
Bakım	1-30		100		0,50	PV ₃₀ =0,334	100x30x0,5x0,0334	
Hurda malzeme	30	(10,000)		0,688		PV ₃₀ =0,0334	10000x0,334x0,688	(230)

(*) Tablo- 10.02 (**) Tablo-10.01

Toplam : 274970
Eşdeğer yıllık maliyet = 6594

BÖLÜM-6

PASLANMAZ ÇELİKLER

Paslanmaz çelikler son yılların keşfi değildir. Faraday 1822 yılında, demir içine krom katıldığında atmosferik oksidasyona karşı oldukça dayanıklı bir alaşım oluştuğunu göstermiştir. 1838 yılında Mallet kromlu çeliklerin bazı ortamlarda korozyona dayanıklı özellik gösterdiğini keşfetmiştir. 19'ncü asrın sonuna kadar kromlu çelikler yalnızca sıcak sülfürik asit kapları için kullanılmıştır. 1904 yılında Monnartz krom ilave edilmiş çeliklerin oksitleyici ortamlarda pasifleşme özelliklerinin daha belirgin hale geldiğini ortaya koymuştur. Bu çeliklerin korozyon dayanıklılığının metal yüzeyinde oluşan pasif tabakadan ileri geldiğini ispatlamıştır. Değişik miktarlarda krom katılmış çeliklerin elektrot potansiyellerini deneysel olarak ölçmüştür. Günümüzde farklı amaçlarla kullanılmak üzere geliştirilmiş çok sayıda paslanmaz çelik bulunmaktadır.

6.1 PASLANMAZ ÇELİKLERİN METALURJİSİ

Paslanmaz çelikler pasifleşebilen alaşımlardır. Bunu ifade etmek üzere İngilizce'de "stainless" kelimesi kullanılmaktadır. Bu çeliklerde pasifleşmeyi sağlayan asıl metal kromdur. Diğer katkılar paslanmaz çeliğin diğer yapısal özelliklerini geliştirmek içindir. Bilindiği gibi bütün paslanmaz çelikler esas olarak demir alaşımıdır. Eğer yüzeyde pasif film oluşmaz ise, paslanmaz çelikler de aynen diğer demir alaşımları gibi korozyona uğrayabilir.

İlk paslanmaz çelikler demir içine % 10 ila % 18 krom katılarak elde edilmiştir. Başlangıçta demir içinde bulunan karbon yüzdesinin % 0,2'nin altına düşürülmesi tekniği bilinmiyordu. O zamanlar çelik oluşumunda ostenit-martensit dönüşümlerinin kinetiği henüz açıklığa kavuşmamıştı. Günümüzde paslanmaz çelik teknolojisinde büyük gelişmeler olmuş ve üstün mekanik özelliklerde çelikler elde edilmiştir. Paslanmaz çelikler metalurjik yapıları göz önüne alınarak beş grup altında toplanabilir.

- Martensitik paslanmaz çelikler,
- Ferritik paslanmaz çelikler,
- Ostenitik paslanmaz çelikler,
- Çift fazlı (dupleks) paslanmaz çelikler,
- Çökelme ile sertleşen paslanmaz çelikler.

Martensitik Paslanmaz Çelikler

% 12-20 oranında krom ve az miktarda karbon içeren demir karbon alaşımlarıdır. Martensitik paslanmaz çelikleri, diğer paslanmaz çelik türlerinden ayıran en önemli özellikleri ısıtılma işlemi yapılarak sertleştirilebilmeleridir. Bu çelikler aynen karbon çelikleri gibi, su verme ısıtılma işlemi sonucu faz dönüşümü yaparak, çok sert bir yapı oluştururlar. Martensitik paslanmaz çeliklerin korozyon dirençleri, yumuşak çeliklere oranla çok yüksek olmasına rağmen, ostenitik paslanmaz çeliklere göre daha azdır. Şiddetli korozif olmayan ortamlarda, örneğin tatlı su ve atmosfer içinde korozyona karşı oldukça dayanıklıdır. Martensitik paslanmaz çelikler 650 °C 'ye kadar sıcak ortamlara da dayanıklı bir alaşımdır.

Çok kullanılan bazı martensitik paslanmaz çeliklerin karakteristik özellikleri ve tipik kullanım yerleri Tablo -6.1'de verilmektedir.

TABLO-6.1 MARTENSİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER

TİP (AISI)	ÖZELLİKLERİ	TİPİK KULLANIM YERLERİ
403 ve 410	Mekanik mukavemeti yüksek, korozyona dayanıklı	Türbinler, subap kol ve yuvaları, mutfak eşyaları, yaylar, somun ve perçinler
414	Çok iyi tokluk	Ütü tabanı, 750 °C'de çalışan malzeme ve ekipmanlarda
416	Kolay işlenebilir	Perçinler, vidalar somunlar, vb.
420	Havada sertleşebilme, aşınma direnci yüksek ve tokluk	Kesici aletler, dişcilik ve ameliyat aletleri, subap yatakları ve yaylar
431	Korozyon direnci yüksek	Pompa parçaları, pervane şaftları
440	Çok yüksek sertlik	Kesici aletler

Ferritik Paslanmaz Çelikler :

Ferritik paslanmaz çeliklerin bileşiminde martensitik paslanmaz çeliklerden daha fazla krom bulunur. Krom yüzdesi % 15-30 arasında değişir. Krom içeriklerinin yüksek oluşu korozyona karşı daha dayanıklı olmalarını sağlar. Bu tip çelikler normal atmosferik koşullardan ve oksitleyici kimyasal bileşiklerden etkilenmez. Bu nedenle kimyasal ekipmanlar, depolama tankları ve özellikle mutfak eşyaları yapımında kullanılırlar.

Ferritik paslanmaz çeliklerin karbon içeriğinin belli bir limit değerinin altına düşürülmesi gerekir. Aksi halde kaynak yapabilme ve soğuk şekillendirme gibi bazı fiziksel özellikleri olumsuz yönde etkilenir. Günümüzde paslanmaz çelik üretim teknolojisinde büyük gelişmeler olmuştur. Artık, **Argon Oksijen Dekarbürizasyon (AOD)** yöntemi ile yüksek kromlu ve çok düşük karbonlu paslanmaz çelikleri üretmek mümkün olmaktadır.

Çok kullanılan bazı ferritik paslanmaz çeliklerin karakteristik özellikleri ve tipik kullanım yerleri Tablo -6.2'de verilmektedir.

TABLO -6.2 FERRİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER

TİP (AISI)	KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ	TİPİK KULLANIM YERLERİ
405	Kaynak yapılabilir, korozyona dayanıklı	Türbin kanatları, ısı değiştirici ve kazan boruları, petrol tankları
430	Korozyona dayanıklı ve ucuz	Kuleler, destilasyon rafları, ısı değiştiricileri depolama tankları, elektrikli ev aletleri
446	Çok iyi oksidasyon direnci	Özellikle sıcaklığa dayanıklı cihazlarda, fırın parçaları, ısı değiştiricileri

Ostenitik Paslanmaz Çelikler

Bunlar esas itibariyle demir-krom-nikel alaşımlarıdır. 300 serisi ostenitik paslanmaz çeliklerin bileşimlerinde % 16-26 krom ve % 7-22 oranında nikel bulunur. Bu tip çelikler kolay şekillendirilebilir ve kaynak yapılabilir. Bunun yanında korozyona dayanıklılıkları da çok yüksektir. Çok kullanılan AISI 304 18-8 paslanmaz çeliği bu grupta bulunur. Bu çelikler başlıca kimyasal ekipmanların imalinde kullanılır.

200 serisi ostenitik paslanmaz çeliklerde ostenitleştirici olarak nikelin yanında mangan ve azot bulunur. Bu alaşımların genel olarak 300 serisi alaşımlara göre mekanik dayanımları daha üstün, buna karşılık korozyona dayanım özellikleri daha zayıftır.

Çok kullanılan bazı ostenitik paslanmaz çeliklerin karakteristik özellikleri ve tipik kullanım yerleri Tablo -6.3'de verilmektedir.

TABLO -6.3 OSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER

TİP (AISI)	KARAKTERİSTİK ÖZELLİĞİ	TİPİK KULLANIM YERLERİ
301	Çok yüksek mukavemet	Uçak endüstrisi, motor parçaları
302	İşlenebilme özelliği yüksek	Paneller, raylar, kimya endüstrisi
304	Çok iyi korozyon direnci	Süt endüstrisi, gıda endüstrisi, mutfak eşyaları, ilaç, tekstil ekipmanları ve otomotiv endüstrisi.
305	Maksimum şekillenebilirlik	Tel çekme ve soğuk işlemeye uygun yerler
309	1100 °C'ye kadar dayanıklı	Fırın parçaları, retortlar, kimyasal proses ekipmanları
316	Çukur korozyonuna dayanıklı	Kuleler, borular ve depolama tankları, kimyasal prosesler, asitlere karşı dirençli
321	Kaynaklanma özelliği yüksek	304 ile aynı ancak kaynak özelliğinin iyi oluşu nedeniyle kalın parçalarda kullanılır.

Dupleks (Çift Fazlı) Paslanmaz Çelikler

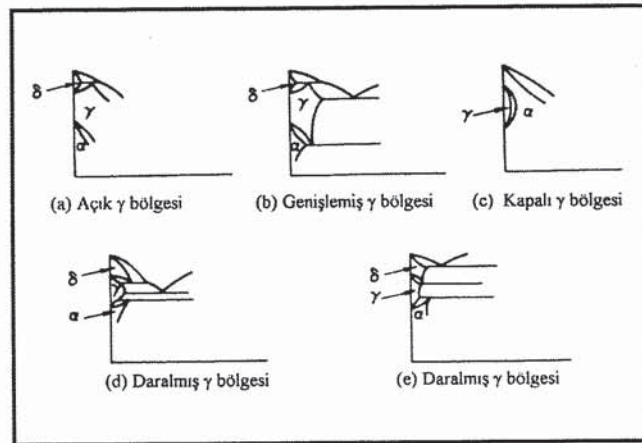
Bunlar da demir-krom-nikel alaşıımıdır, ancak çift faz içerirler. Bu çeliklerin bileşiminde % 28 civarında krom ve % 6 civarında nikel bulunur. Fazlardan biri ostenit, diğeri ferrit yapıdadır. Bu paslanmaz çelikler korozyon ve mekanik özellikler açısından, faz yapıları gereği ferritik ve ostenitik paslanmaz çelikler arasında yer alırlar. Gerilmeli ve taneler arası korozyona karşı dirençleri çok iyidir.

Çökelmeyle Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler

Bu tip paslanmaz çeliklerin hem korozyona karşı dayanıklılıkları iyi hem de mukavemet /ağırlık oranı yüksektir. Bu özellikleri nedeniyle uçak ve uzay endüstrisinde tercih edilirler. Çökelmeyle sertleşebilen paslanmaz çelikler, martensitik, yarı ostenitik ve ostenitik olmak üzere üç ayrı tipte üretilmektedir.

Son zamanlarda üretilen paslanmaz çelikler aynı krom yüzdelerinde olmalarına rağmen içindeki karbon miktarı % 0,1'den azdır. Böylece ferritik paslanmaz çelik oluşumu sağlanabilmektedir. Ferritik ve martensitik paslanmaz çeliklerin her ikisi de manyetik özelliktedir ve 400 serisi içindedir. Ferritik çelikler, kübik merkezli kristal yapısındadır. Martensitik çelikler ise ısıt işlemler sonucu bozularak tetragonal kristal yapısına dönüşürler. Bu iki çelik yapısı arasındaki en önemli fark karbon yüzdesidir. Son zamanlarda daha düşük yüzdede karbon içeren çelik üretim tekniği geliştirilmiştir. Argon-oksijen karbon giderme yöntemi ve vakum oksijen karbon giderme yöntemi artık rutin hale gelmiştir. Bu yöntemlerle karbon miktarı veya karbon ile azot toplamı 150 ppm değerinin altına düşürülebilmektedir. Böylece elde edilen ferritik paslanmaz çelik için **süperferrit** terimi de kullanılmaktadır. Üretim teknolojisi sürekli değişmektedir.

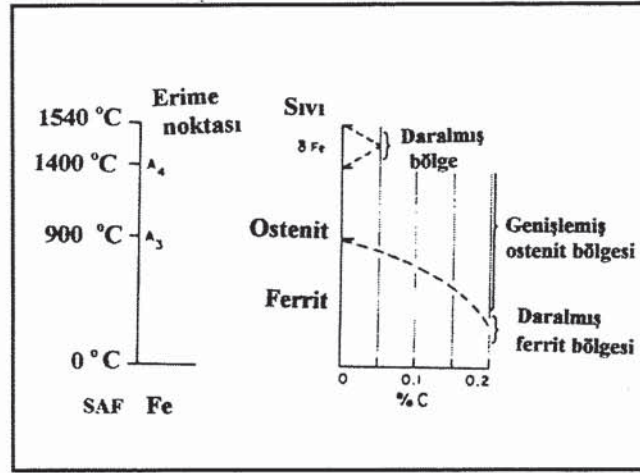
Paslanmaz çeliklerin metalurjisi en iyi şekilde faz diyagramları ile açıklanabilir. Değişik alaşım elementlerinin katkısı Şekil -6.1'de görülmektedir.



Şekil -6.1 Çeşitli tip demir alaşımları faz diyagramları

Karbonun Yapısal Etkisi

Şekil -6.1'de Fe-C faz diyagramında δ ferrit fazının stabil olduğu bölgeler görülmektedir. Bu diyagramlar, demirin C ve N ile yapmış olduğu γ alaşım bölgesini göstermektedir. Şekil -6.2'de görüldüğü üzere yüksek karbon yüzdelinde A_3 dönüşüm sıcaklığı A_4 dönüşüm sıcaklığından daha düşüktür.



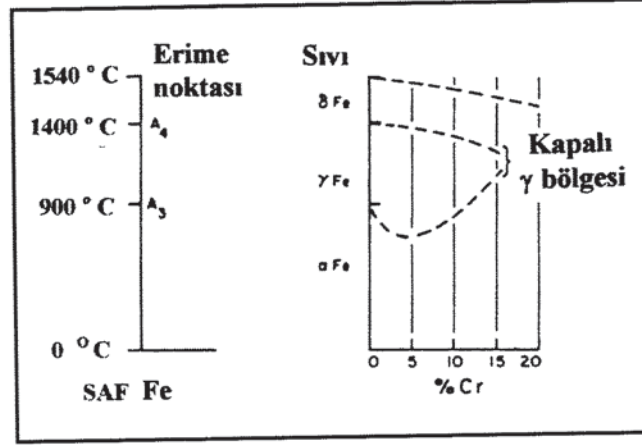
Şekil -6.2 Farklı karbon yüzdelinde çelik içinde A_3 ve A_4 dönüşümleri

Bu durum, karbonun bir ostenit stabilizeri olduğunu gösterir. Karbon erime noktasını da düşürür ve δ ferrit bölgesinin azalmasına neden olur. Karbonun martensit oluşumunda da önemli rolü vardır. Eğer karbon yüzdesi % 0.1'in altında ise, martensit oluşmaz ve çelik ferritik halde kalır. Karbonun daha yüksek olması halinde, soğutma sırasında martensit oluşumu gerçekleşebilir.

Çelik içinde bulunan karbonun etkisini azaltmak için uygulanan bir başka teknik, alaşım içine karbon ile alaşım yapıcı elementlerin ilave edilmesidir. Böyle bir elementin ilavesi karbonun demir ile birleşmesini önleyici rol oynar.

Kromun Yapısal Etkisi

Çelik içine krom ilavesi ile karbon, $Cr_{23}C_6$ bileşiminde krom karbür halinde bağlanır. Bunun sonucu olarak krom ostenit fazının stabilitesini azaltır. Şekil -6.1(c)'de ve Şekil -6.3'de görüldüğü üzere γ bölgesi kapalı bir cep haline gelir.

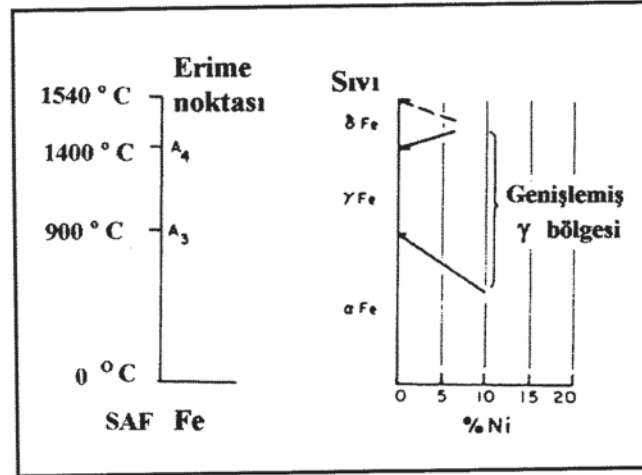


Şekil -6.3 Çeşitli krom konsantrasyonunda çeliğin A_3 ve A_4 adönüşümleri

Bu nedenle krom γ ferrit bölgesinin gelişmesine ve δ ferrit oluşmasına yardımcı olur. Krom gibi, Mo, W, V, Cb ve Si de az çok benzer şekilde ferrit yapıcı özellik gösterir.

Nikelin Yapısal Etkisi

Çelik içine nikel katılması γ Fe'nin stabilitesinin belirgin şekilde artmasına neden olur. Şekil -6.1(a)'da görüldüğü üzere γ bölgesi oldukça geniştir. Mn, Cu ve diğer grup VIII elementleri de benzer etki gösterir. Nikel katkısının artırılması ile çeliğin özelliklerinde büyük değişiklikler görülür. Nikelin γ bölgesini genişletici etkisi çok kuvvetlidir. Eğer yeterli miktarda nikel katılır ve hızlı soğutma yapılacak olursa, metal ostenitik olarak kalır ve manyetik özelliğini kaybeder. Bu tip paslanmaz çelikler 300 serisi olarak bilinir. A_3 ve A_4 dönüşümleri Şekil -6.4'de görülmektedir.



Şekil -6.4 Çeşitli nikel yüzdelerinde çeliğin A_3 - A_4 dönüştümü

Bor ve Diğer Bazı Bileşenlerin Yapısal Etkisi

Bor ve Nb, Ta, Re gibi elementler γ -Fe stabil olduğu bölgeyi daraltıcı etki yapar. γ bölgelerinin ne derece sınırlı kaldığı şekil -6.1(d) ve (e)'de net olarak görülmektedir.

6.2 PASLANMAZ ÇELİKLERİN KİMYASAL BİLEŞİMLERİ

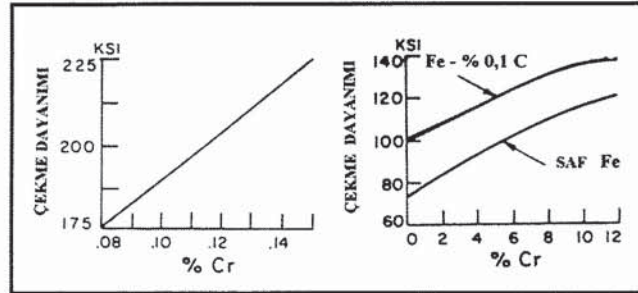
Çeşitli alaşımlar pratik olarak denenmek suretiyle metal özelliklerinin nasıl değiştiği gözlenmiştir. Alaşım yapılarak metalin özelliğini her zaman iyi yönde artırmak mümkün olmaz. Bazan kalite bozulur ve alaşım kullanılamıyacak hale gelir.

Karbonun Etkisi

Normal karbon çeliklerinde, çelik içindeki karbon yüzdesi çeliğin mekanik özelliklerinde büyük değişiklik yapar. Paslanmaz çeliklerde karbon miktarının çok az değişimi bile çeliğin yumuşak ferritik halden sert martensitik çelik haline dönüşmesine neden olur. Karbon, çeliğin mukavemetini de artırıcı olarak rol oynar. Ferritik paslanmaz çeliğin çekme mukavemeti karbon ilavesi ile artar Şekil -6.6. Fakat karbon, çeliğin düktilitesini azaltıcı etki yapar. Çoğu kez korozyon dayanıklılığını da azaltır. Ostenitik paslanmaz çelik içinde bulunan karbonun, korozyon dayanımı üzerine etkisi daha önce açıklanmıştı.

Kromun Etkisi

Paslanmaz çeliğin en önemli katkı elementi kromdur. Hatta % 0.5-1.0 oranında katılmış olması halinde bile, çeliğin mekanik özelliklerinde etkisi görülür. Şekil -6.5. Krom aynı zamanda alaşımın yüksek sıcaklıktaki oksidasyona karşı dayanıklılığını da artırıcı rol oynar Şekil -6.8. Bütün bunların ötesinde korozif ortamlara karşı dayanımı sağlar.

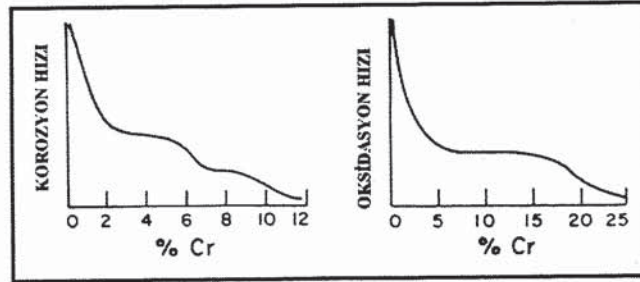


Şekil -6.5 Krom yüzdesine bağlı olarak çeliğin çekme mukavemeti

Şekil -6.6 Ferritik paslanmaz çeliğin çekme mukavemeti üzerine karbonun etkisi

Kromlu çeliklerin korozyon dayanımları konusunda pek çok çalışma yapılmıştır. Çok az miktarda krom katılması halinde bile, endüstriyel atmosferde bırakılan çeliğin korozyon hızı önemli ölçüde azalır. Yeteri miktarda krom katılmak suretiyle en şiddetli korozif ortamlarda bile korozyonu tam olarak önleyebilmek mümkün olur. Yani çeliği paslanmaz hale getiren kromdur.

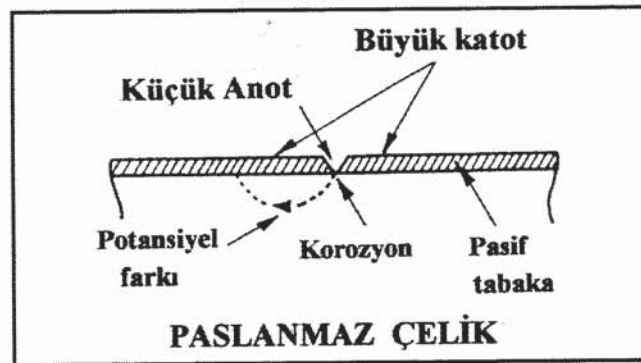
Normal bir çelik endüstriyel olarak kirlenmiş bir atmosfer içinde bırakılırsa kısa sürede paslanır. Eğer içine % 12 oranında krom katılacak olursa, hiç bir şekilde paslanma meydana gelmez. Krom yüzdesi ile korozyon hızı arasındaki bağıntı Şekil -6.7'de görülmektedir. Krom yüzdesi % 12'ye eriştiğinde korozyon hızı hemen hemen sıfıra inmektedir. Bunun nedeni metal yüzeyinde üç değerli oksidi kromun oluşturduğu bir **spinel oksit** $RO.R'_2O_3$ tabakalarının oluşmasıdır. Bu geçirimsiz oksit tabakası alaşım yüzeyinde kendiliğinden oluşur.



Şekil -6.7 Krom katkısının endüstriyel atmosferde bırakılan çeliğin korozyonu üzerine etkisi. **Şekil -6.8 Krom katkısının yüksek sıcaklıktaki oksidasyona etkisi.**

Pasifleşmenin tam olarak gerçekleşmesi için katı çözelti içindeki krom yüzdesinin mutlaka % 12'den büyük olması gerekir. Ne yazık ki, çelik içinde bulunan karbonla kromun $Cr_{23}C_6$ halinde krom karbür oluşturması nedeniyle krom yüzdesinde azalma meydana gelir. Çelik yüzeyinde oluşan demir-krom oksit filmi çok ince bir tabaka oluşturur. Bu tabaka oksitleyici ortamlar içinde stabil olduğu halde indirgeyici ortamlarda dayanıklı değildir. Hidroklorik asit gibi indirgeyici özelliği olan bileşikler bu oksit tabakasının parçalanmasına neden olur. İndirgeyici ortamlarda bu oksit tabakası yeniden oluşamaz. Bunun sonucu olarak korozyon başlar.

Bilindiği gibi paslanmaz çelikler galvanik seride iki ayrı yerde bulunur. Bunlardan biri pasif haldir ve oldukça soy bölgede yer alır. Aktif hal ise, normal çeliğin potansiyeline yakındır. Buradan kolayca anlaşılacağı üzere, paslanmaz çelik yüzeyinde herhangi bir noktada pasiflik bozulacak olursa, o bölge anot olacak ve çok geniş bir katot bölgesinin etkisiyle şiddetli korozyon olayı meydana gelecektir (Şekil -6.9).



Şekil -6.9 Pasifleşmiş bir yüzeyde küçük bir bölgenin bozulması sonucu korozyon olayının oluşumu

Nikelin Etkisi

Demir içine nikel katılınca karbonun oluşturduğu kompleks bileşikler oluşmaz. Karbon hem ferrit, hem de ostenit içinde kolayca çözünür. Nikel ve karbon yüzdeleri düşük ise, düşük sıcaklıklarda A_3 dönüşümü gerçekleşir ve ostenit oluşur. Eğer % 8'den daha fazla nikel katılırsa, demir-krom alaşımının γ - α dönüşümü meydana gelir. Eğer çabuk soğutma sağlanırsa, çelik ostenitik olarak kalır. % 8 oranında nikel katılması halinde ostenit tam stabil halde değildir. % 25'e kadar nikel katılarak tam dayanıklı alaşım elde edilebilir. Bu alaşım ostenit formundadır, hem korozyona dayanıklı, hemde mukavemet özelliği oldukça iyidir.

Minor Elementler

Molibden ferrit yapıcı olarak bilinir. Ostenitik paslanmaz çelik içine % 2-3 oranında katılır. Molibden, klorürlü ortamlarda alaşımın çukur korozyonuna karşı dayanıklılığını artırır. Buna karşılık 18 Cr-10 Ni paslanmaz çeliğin sıcak nitrik asit içinde korozyon dayanıklılığını azaltır. Titanyum -321 ve niobyum -347 ostenitik paslanmaz çeliklerine ilave edilerek bu alaşımların duyarlılığı azaltılabilir. Paslanmaz çelikler içine bakır katılarak asit ortamlara ve klorür etkisine karşı dayanıklılıkları artırılabilir. Bakır katılması ile oksitleyici asitlere karşı korozyon direnci de artar. Selenyum ve kükürt paslanmaz çelik alaşımlarının işlenebilme özelliklerini artırıcı rol oynarlar. Silis katılması ile alaşımın yüksek sıcaklık oksidasyonu azaltılabilir.

6.3 OSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER VE DUYARLAŞMA

Eğer bir paslanmaz çelik yüksek sıcaklığa ısıtıldıktan sonra 500 ile 800 °C düzeyine kadar yavaş olarak soğutulacak olursa, veya bu sıcaklık aralığında bir süre tutulacak olursa, taneler arası sınır çizgisinde bazı düzensizlikler meydana gelir. Duyarlı hale gelmiş bu kristaller korozyona dayanıksız bir yapı gösterir. Bu olay "**kaynak çürümesi**" olarak bilinir. Kaynak yerinden itibaren yaklaşık 6 mm'lik bölgede kendini gösterir. Bu bölge korozyon için çok uygundur. Özellikle kimya endüstrisinde bu tip olaylardan kaçınmak gerekir.

Taneler Arası Korozyonun Sebepleri

Paslanmaz çelikte taneler arası korozyonun nedeni krom karbür ($Cr_{23}C_6$) çökeltisinin taneler arasında oluşmasıdır. Bu bileşiğin oluşması sonucu söz konusu bölgede hem krom, hem de karbon yüzdesi azalır. Krom yüzdesinin azalması o bölgenin anodik bir karakter kazanmasına neden olur. Böylece büyük bir katot bölgesi ve küçük bir anottan oluşan korozyon hücresi meydana gelir. Koroziif ortamlarda taneler arası korozyon olayı daha etkili hale gelir. Bu durumdaki paslanmaz çeliğe "**duyarlaşmış**" (sensitized) denir.

Duyarlaşma Olayı

Paslanmaz çeliğin duyarlaşması olayında karakteristik hususlar şunlardır:

1. Duyarlaşma olayı, paslanmaz çelik, yaklaşık 500-800 °C'ler arasında yavaş olarak ısıtılırsa veya soğutulursa meydana gelir.
2. Bu sıcaklıklar arasında hızlı ısıtma veya soğutma yapılması halinde duyarlaşma söz konusu olmaz.

3. Yüksek sıcaklıktaki çelik su içinde söndürüldükten sonra, yeniden 500-800 °C'ler arasına ısıtılırsa, yine duyarlaşma olayı gerçekleşebilir.

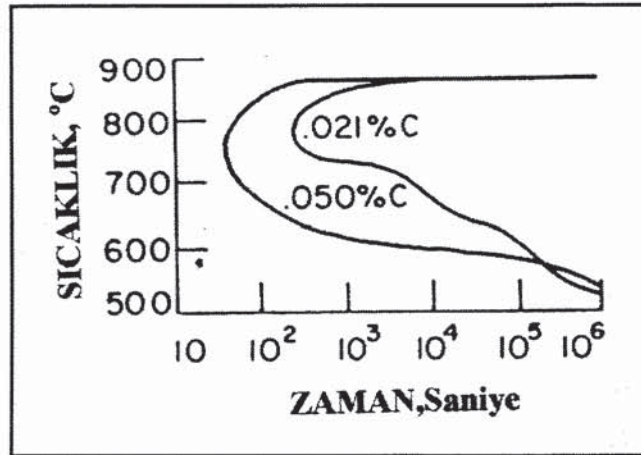
4. Çelik içinde karbon yüzdesi ne kadar fazla ise, duyarlaşmanın etkisi o kadar fazla olur.

5. Duyarlaşmanın derecesi sıcaklığa bağlıdır.

6. Etkili olan sıcaklık aralığında, ne kadar uzun süre tutulursa, duyarlığın etkinliği o kadar artar.

7. Ostenitik paslanmaz çeliğin duyarlı hale gelmesinin baş sorumlusu, taneler arasında krom karbür bileşiğinin çökmesidir.

Taneler arası korozyonun açıklaması yukarda verilen bu yedi husus ile kolayca yapılabilir. Bunlardan en önemlisi dördüncü maddede belirtilen karbonun rolüdür. Şekil -6.10'da % 18,5 Cr + % 11 Ni + % 0,05 N ve % 0,021 ile % 0,050 oranında karbon içeren 304 tipi paslanmaz çeliğin zaman-sıcaklık eğrileri görülmektedir.



Şekil -6.10 304 tipi paslanmaz çeliğin duyarlaşması üzerine karbon yüzdesinin etkisi

Paslanmaz çeliğin duyarlaşmaya karşı dayanımını artırmak için genellikle krom yüzdesinin artırılması yoluna gidilmektedir. Böylece, karbonu bağlamak için gerekli olan krom alaşım içinde hazır bulunmaktadır Krom karbür çökeltisi meydana geldikten sonra da, alaşım içinde krom yüzdesi oldukça yüksek düzeyde kalmaktadır. Fakat krom yüzdesinin artırılması ile alaşım içinde arzu edilmeyen δ ferrit formasyonunda artış olmaktadır.

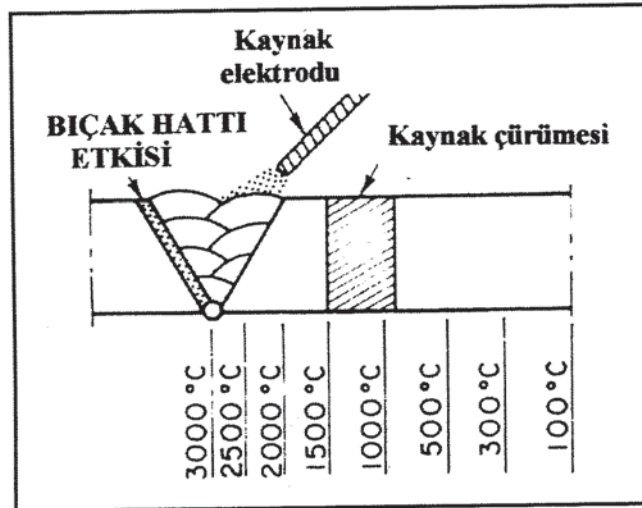
Son zamanlarda duyarlaşma olayının meydana gelişinin kompleks yapısı konusunda bazı bilgiler elde edilmiştir. Duyarlaşma, önce krom karbür ($Cr_{23}C_6$) çekirdeği oluşması, sonra bu çekirdek etrafında büyüme şeklinde oluşmaktadır. İlk çalışmalar, her iki basamakta geçen dönüşümlerin izotermal olduğunu göstermiştir. 500 °C sıcaklıkta duyarlaşma başlamaktadır. Ancak bu sıcaklıkta hız çok yavaştır. Duyarlaşma hızı sıcaklığa bağlıdır. Duyarlaşmanın gerçekleşmesinin 400 °C'de 10 günde, 300 °C'de ise 10 yılda tamamlanacağı tahmin

edilmiştir. Bu durum ostenitik paslanmaz çeliklerde 300 °C geçilmediği takdirde taneler arasında krom karbür çekirdeklenmesinin olmayacağını göstermektedir.

Bıçak Hattı Korozyonu

Yukarda açıklandığı üzere paslanmaz çeliğin duyarlaşması, alaşım içinde bulunan kromun karbonla bağlanarak azalması sonucu oluşmaktadır. O halde problemin çözümü için, çelik içine çözünebilir karbür bileşiği oluşturabilen ve serbest enerjisi krom karbürden daha negatif olan bir elementin katılması düşünülebilir. Günümüzde bu yöntem uygulanarak stabilitesi yüksek paslanmaz çelikler üretilmektedir. Böylece paslanmaz çelikte kaynak yapımı sırasında görülen “bıçak hattı” (knifeline) oluşumu da pratik olarak önlenmektedir.

Bıçak hattı oluşumu kaynak yapılan bölgede ana metal ile yapılan kaynağın ara yüzeyinde meydana gelir. Bunun nedeni çabuk soğumadır. Bu nedenle bu bölgede niobyum karbür oluşması mümkün olmaz krom karbür ise, normal duyarlaşma sıcaklık bölgesinde oluşabilir. Bunun sonucu olarak Şekil -6.11’de görüldüğü gibi, bu bölgede paslanmaz çelikte taneler arası korozyon için uygun bir yapı ortaya çıkar.



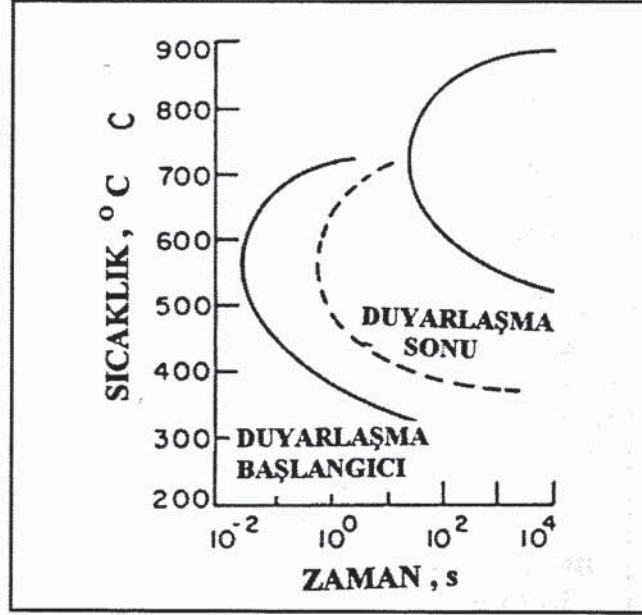
Şekil -6.11 Kaynak çürümesi olayı

Paslanmaz çeliklerde kaynak sırasında oluşan bıçak hattı duyarlığı, kaynaktan sonra alaşım 1065 °C sıcaklığa kadar ısıtılıp 900 °C’de bir buçuk saat bekletilmek suretiyle tam olarak giderilebilir.

Kaynak Yapma Sırasında Meydana Gelen Duyarlaşma

Ostenitik paslanmaz çelik kaynak yapılırken açığa çıkan ısı, kaynak yapılan yerden itibaren metal üzerinden akarak belli bir bölgeyi ısıtır. Bu işlem sırasında kaynak bölgesinden belli uzaklıktaki kısımlar çeliğin duyarlaşma sıcaklığı olan 500-800 °C aralığında ısınmış olurlar. Duyarlaşmanın gerçekleşmesi için çeliğin belli bir süre bu sıcaklıkta kalması gerekir. Şekil

-6.12'de duyarlaşma için gerekli bekleme süresi, sıcaklığa bağlı olarak grafik halinde görülmektedir.



Şekil -6.12 Eşdeğer miktarda krom içeren ostenitik ve ferritik paslanmaz çeliklerde değişik sıcaklıklarda duyarlaşma süreleri

Bir ostenitik paslanmaz çelikte kaynak sırasında meydana gelen duyarlaşmanın derecesi, uygulanan kaynak tekniğine, sıcak olarak bekleme süresine ve kaynak yapılan malzemenin kalınlığına bağlıdır. Kalın malzemeler kritik duyarlaşma sıcaklığında ince malzemelere göre daha uzun süre kalırlar. Kaynağa yakın olan bölgeler etkili şekilde soğutulur veya bakır gibi ısı iletkenliği çok yüksek olan metaller ile doğrudan temas ettirilerek kaynak yapılan çeliğin yüksek sıcaklıkta kalma süresi azaltılabilir.

Eğer çelik içinde % 0,03'den fazla karbon bulunuyorsa, kaynak sırasında meydana gelen bozunmayı gidermek için, çelik 980-1150 °C arasında ısıtılarak sonra su içine daldırılıp aniden soğutulur. Eğer bu pratik olarak mümkün olamıyorsa, ya çelik içindeki karbon yüzdesi düşürülmeli veya çeliğe karbonu bağlayıcı bir katkı katılmalıdır. Katkı katılarak stabilize edilmiş paslanmaz çelik, yukarıda açıklanmış olduğu üzere bıçak hattı oluşumuna duyarlıdır. Bu nedenle düşük karbonlu paslanmaz çelik kullanmak daha avantajlıdır.

Hem duyarlaşma, hem de bıçak hattı olayının çözümü, paslanmaz çelik içindeki karbon oranının çok düşük seviyelere indirilmesidir. 304L ve 316L paslanmaz çeliklerinde karbon yüzdesi % 0,03'ün altındadır. Bu alaşımlar kaynak yapabilmek için özel olarak hazırlanmaktadır. Hatta karbon yüzdesi, % 0,02'nin altına düşürülmüş özel çelikler hazırlanmaktadır. Bu amaçla argon oksijen veya vakum oksijen karbon giderici teknikler kullanılmaktadır. Ancak bu çeliklerin mukavemetleri standart kaliteden daha düşüktür.

Burada, 304 kalitesindeki paslanmaz çeliklerin kolayca kaynak edilerek, mekanik olarak sağlam bir kaynak oluşturabileceğini hatırlatalım. Eğer 304 paslanmaz çeliği özel önlemler alınarak, kaynak çürümesine meydan verilmeden kaynak edilebilirse, bu yöntem, karbon seviyesi düşürülmüş çeliklerden daha ekonomik olur.

6.4 PASLANMAZ ÇELİĞİN PASLANMASI

Paslanmaz çelikler paslanır mı? Eğer paslanırsa hangi koşullar altında paslanmazlık özelliğini kaybedebilir? Bu koşulların bazılarında daha önce söz edilmişti. Şimdi bunları toplu halde yeniden özetliyeim.

1. Duyarlaşma

Eğer paslanmaz çelik içinde karbon yüzdesi çok yüksek ise, bu çelik belli sıcaklık aralığında duyarlı hale gelebilir. Duyarlı hale gelmiş çelik, çeşitli ortamlarda taneler arası korozyona uğrayabilir.

2. Karbürleşme

Karbürleşme olayı, et kalınlığı ince olan boruların iç yüzeylerinde sıkca görülür. Çelik içine karbon tutabilen maddeler katılarak tavlama suretiyle karbürleşme olayı önlenir.

3. Kaynak Çürümesi

Kaynak yapılan bölgenin yaklaşık 6 mm'lik çevresinde görülür. Kaynak sırasında bu bölge 500-800 °C sıcaklıkta yeterli süre sıcak halde kalarak duyarlı hale gelebilir. Bu bölgede hızlı bir taneler arası korozyon gözlemlenebilir.

4. Yanlış Tavlama

Eğer paslanmaz çelik tavlarken, duyarlaşma sıcaklığında fazla olarak bekletilir ve/veya uygun olmayan şekilde soğutma yapılırsa, çelik kısmen veya bütün olarak duyarlaşabilir.

5. δ Ferrit

δ ferrit içeren paslanmaz çelikler oksitleyici özellik gösteren kimyasal maddelere karşı dayanıksızdır. Molibdenin ferritleştirme etkisi fazladır. Örneğin 316 paslanmaz çelik, içinde bulunan molibden nedeniyle fazla miktarda δ ferrit içerir. Bu nedenle 316 paslanmaz çelik sıcak nitrik asit içinde dayanıksızdır.

6. Farklı Stresli Bölgeler

Çelik yüzeyinde stres etkisinde kalan küçük bir bölge, örneğin bir çekiç darbesi, stres farkı nedeniyle korozyon hücresi oluşmasına neden olabilir.

7. Yorulma

Büyük bir çelik yapının zorlanan küçük bir bölümü, örneğin destilasyon kolonlarında tavaları taşıyan payandalar, yorulma nedeniyle sorun yaratabilir. Tavaların vibrasyonu bazı bölgelerde zorlama veya stres sonucu kısa sürede yorulmaya neden olur.

8. Çatlak Korozyonu

Ostenitik paslanmaz çelik, çatlak korozyonuna karşı çok duyarlıdır. Pasifliğin bozulduğu herhangi bir noktada meydana gelen çatlak çevresinde aktif-pasif yüzeyler arasında pil oluşarak şiddetli bir korozyon olayı başlar. Bu olaya ek olarak ortamda klorür iyonu veya çok değerlikli metal iyonları bulunması halinde korozyon hızı daha da artar.

9. Pitting

Paslanmaz çeliklerde korozyon dayanıklılığı, yüzeyde oluşan ince bir pasif film tarafından sağlanır. Bu nedenle paslanmaz çelikler pitting korozyonuna son derece duyarlıdır. Pasif filmin bozulduğu noktalar büyük bir katoda karşı küçük bir anot bölgesi oluşturdukları için bu bölgelerde pitting korozyonu kendini gösterir. Laboratuvar çalışmalarında pitting korozyonu ölçümü büyük bir dikkat gerektirir. Çünkü bu tip korozyonda, korozyon hızını ağırlık kaybına dayandırarak hesaplamak mümkün değildir.

10. Yüzey Sonu Etkisi

Çelik plakalarda merdaneleme yönünde yüzeyde enlemesine iğne biçimli kırışmalar meydana gelir. Bu bölgeler pitting veya çatlak tipi korozyon için uygun bir ortam oluşturur. Korozyon bu bölgelerden başlar. Bileşiminde selenyum ve/veya kükürt bulunan paslanmaz çeliklerde bu olay daha şiddetle kendini gösterir.

11. Sigma Fazı

Sigma fazı tetragonal FeCr'dan oluşur. Paslanmaz çelik içinde bazan görülür. Özellikle yüksek oranda molibden bulunduğu zaman meydana gelir. Bu bileşik çeliğin korozyona dayanıklılığını azaltıcı olarak rol oynar.

12. Sıvı Metal Etkisi

Paslanmaz çelik kaynak edilirken, ortamda bir miktar çinko, kurşun, kadmiyum, alüminyum veya bakır gibi sıvı halde olan ve taneler arasına girebilen bir yabancı metal bulunması halinde bu metal çatlamaya neden olur.

13. Paslanmaz Çeliğe Karbonun Etkisi

Eğer karbon çeliği ince bir paslanmaz çeliğe kaynak edilirse, karbon çeliği içinde çözünmüş olan karbon, paslanmaz çelik içine penetre olur. Bu nedenle karbon çeliği, 6 mm' den daha ince paslanmaz çelik yapılara doğrudan kaynak edilmemelidir.

14. Klorür Etkisiyle Stres Çatlaması

Bu çatlama olayı, klorür iyonunun etkisi ile meydana gelen stres korozyonunun bir özel halidir. Eğer ortamda az miktarda klorür varsa, 70 °C civarında paslanmaz çelik kendiliğinden çatlar. Bu konuda pek çok araştırma yapılmaktadır. Paslanmaz çelik kullanılırken bu olay göz önünde tutulmalıdır.

6.5 OSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİK KABUL DENEYLERİ

Daha önce belirtilmiş olduğu üzere, ostenitik paslanmaz çelik taneler arası korozyona karşı çok duyarlıdır. Bu özelliği endüstride büyük sorunlar yaratır. Tehlikeli ve personele zarar verici patlamalar meydana gelebilir. Bu nedenle birçok kimya endüstrisinde ostenitik paslanmaz çelikler kullanılmadan önce, taneler arası korozyon dayanıklılığı yönünden deneye tabi tutulur. Bu deneyler ile yalnızca taneler arası korozyon bakımından fikir edinilebilir. Çelik, özel çözelti içinde denenerek taneler arası korozyon açısından duyarlı veya duyarsız olduğu anlaşılabılır. Genel korozyon, pitting tipi korozyon veya stres korozyon konusunda herhangi bir fikir edinilemez.

Ostenitik paslanmaz çeliklerin kabul deneylerinde başlıca aşağıdaki iki deney metodu uygulanmaktadır.

Oksalik Asit Deneyi (ASTM A-262 A metodu)

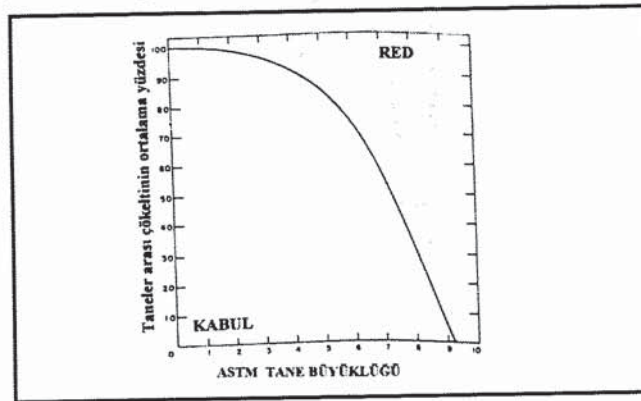
Bu deneyin pozitif sonuç vermesi halinde söz konusu paslanmaz çeliğin duyarlı olmadığı anlaşılır. Numune deneyden pozitif olarak geçerse kabul edilir, aksi halde red edilir.

Oksalik asit deneyinde kullanılacak olan elektrolit 100 gram oksalik asit ($H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$) 900 ml su içinde çözülerek hazırlanır. Bu çözeltiye daldırılan paslanmaz çelik numunesinden 1,5 dakika süre ile 1 A/cm² akım geçirilir. Daha sonra numune çıkarılarak 250 veya 500 defa büyütme yapılarak yüzeyler incelenir. Sonuç ya "iz oluşmuş" veya "hendek oluşmuş" şeklinde rapor edilir. Hendek oluşması, paslanmaz çelik içinde bulunan krom karbürün çözünmüş olduğunu gösterir. Yani bu numune duyarlı haldedir. İz oluşması ise, farklı kristaller arasındaki normal yerleşme düzeninin mevcut olduğunu ifade eder.

Bu deney, çabuk yapılabilen ve iyi sonuç veren bir kabul deneyidir. Ancak, çelik içinde sigma fazı bulunması halinde, bu deney ile taneler arası etkilere duyarlılık belirlenemez.

Nitrik Asit Deneyi (ASTM-A.262 C metodu)

Bu deney 1930 yılında W. R. Huey tarafından geliştirilmiştir. Deney, ağırlığı belli bir numune parçasının, kaynar haldeki % 65'lik nitrik asit çözeltisi içinde, 48 saatlik periyotlar halinde tutulması ile yapılır. Deney sonunda, numune yine tartılarak ağırlık kaybı belirlenir. Deney sonuçları Şekil -6.13'e göre 'Kabul' veya 'Red' olarak belirlenir.



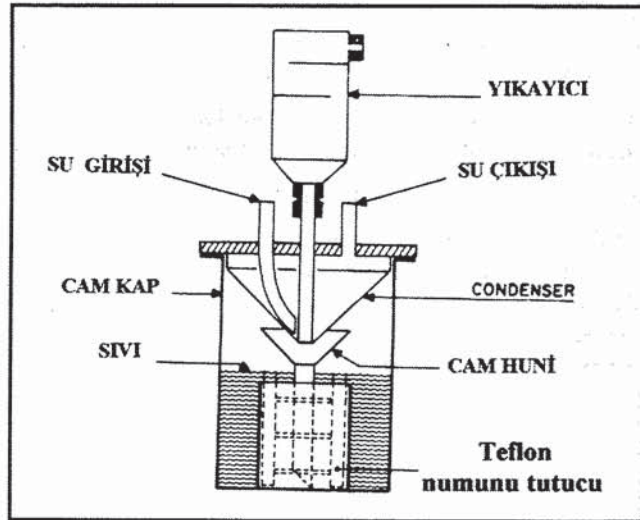
Şekil -6.13 Ostenitik paslanmaz çeliğin Huey deneyine göre değerlendirilmesi

Huey deneyinin süresi 240 saattir. Numunenin kaynayan nitrik asit içinde bu kadar uzun süre bekletilmesi güçlük yaratır. Deneyin bundan başka şu üç sakıncası daha vardır.

- 1- Çözeltide Cr^{+3} 'ün yükseltgenmesi sonucu fazla miktarda Cr^{+6} oluşur.
- 2- Bu deney, yüzey sonu etkisini de kapsadığından, korozyon hızı gerçek değerden daha büyük olarak bulunur.
- 3- Bu deney metodu, molibdenli çelikler için uygun değildir. Molibden bulunması halinde sigma kristalleri nitrik asit içinde çözünür.

Çok Numuneli Huey Deneyi

Huey deneyi, birden çok numuneyi birlikte deneye tabi tutacak şekilde geliştirilmiştir. Çok numuneli deney cihazı (**Multisample Testing Apparatus MSTA**) esas olarak 2 litre hacminde cam bir kaptan oluşur. Bu kabın içinde tabana yapıştırılmış bir cam kompartman bulunur. Kapakta koni biçimli paslanmaz çelikten yapılmış bir kondenser vardır. Bu koni içinde yoğunlaşan sıvı, cam huni vasıtasıyla kompartmana döner. Kompartman içinde delikli politetrafloro etilenden (teflon) yapılmış numune tavaları bulunur. Numuneler bu teflon içine gömülerek tutturulmuştur. Cihaz şematik olarak Şekil -6.14'de görülmektedir.



Şekil -6.14 Çok numuneli Huey deney cihazı (M.S.T.A)

Bu cihazda bütün numuneler kesintisiz olarak 240 saat deneye tabi tutulur. Deney sonunda kaptan çıkarılan numuneler musluk altında yıkanır, aseton içine daldırılır, daha sonra kurutulur ve tartılır. Korozyon hızı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\text{Korozyon Hız (IPY)} = \frac{535 \cdot w}{a.d.t.}$$

IPY : İnç/yıl

t : Deney süresi, saat

a : Numunenin toplam yüzey alanı, İnç²

w : Ağırlık kaybı, g

d : Numunenin özgül ağırlığı (boyutsuz)

535 : Dönüştürme faktörü

Huey Deneyi Sonuçları

Huey deneyi sonucu elde edilen korozyon hızları aşağıdaki değerlerden daha küçük bulunursa, o çelik taneler arası korozyon hızı açısından kabul edilebilir.

304	(ısıtılmış)	0,020	IPY
304 L	(ısıtılmış)	0.018	IPY
304 L	(duyarlanmış)	0.024	IPY
310	(ısıtılmış)	0.010	IPY
347	(duyarlanmış)	0.024	IPY
321	(duyarlanmış)	0.024	IPY

(Standarta uyması için korozyon hızı değerleri IPY cinsinden verilmiştir.)

Deney Metodlarının Değerlendirilmesi

Oksalik asit deneyi, esas olarak metal yüzeyinde oluşan mikro bozuklukların incelenmesi temeline dayanır. Bu deney sonuçlarının değerlendirilmesi özel bir tekniği gerektirir. Huey deneyinin bazı sakıncalı yönleri yukarıda açıklanmıştır. Bu deneyin en büyük sakıncası, uzun süreli oluşudur. Ancak genel ilkelere bağlı kalınarak ve meydana gelecek hataları giderici özel önlemler alınarak, deney süresi kısaltılabilir. Bu amaçla aşağıdaki hususların göz önüne alınması uygun olur

1- Deneye tabi tutulacak olan metal numunesinin yüzey alanı artırılır. Bu artış 5 kata kadar çıkarılabilir. Böylece korozyon hızı hesaplamasında yapılacak hata azaltılmış olur.

2- Deney sırasında çözelti içinde gittikçe artan krom konsantrasyonu taneler arası korozyonu hızlandırıcı olarak rol oynar. Ancak bu artış iyi kalite çeliklerde çok etkili olmaz.

3- Numune yüzeyi artırılmak suretiyle, çözelti içindeki kromun korozyon hızı üzerine etkisi azaltılmış olur.

4- Korozyon hızı üzerine numune boyu ve yoğunluğu önemli ölçülerde etki yapmaktadır.

5- Huey deneyinde 4 numune deneye tabi tutularak bunlar, 5 defa 48 saat asit etkisinde bekletilir. Daha sonra, bu dördünün korozyon hızlarının ortalaması alınır. Bu ortalama değerinin 0.024 IPY'den büyük olmaması istenir. Bazı deneylerde bu dört numune sonuçlarının birbirinin üç katı kadar farklı olduğu görülmüştür. Bu kadar farklı sonuçların

ortalamasının alınması bu deneyin en zayıf noktasıdır. Deney süresinin kısaltılmasında ortaya çıkan bu büyük karışıklık başlangıç peryodunda korozyon hızının genellikle daha küçük olduğundan kaynaklanır.

6- Yüzey sonu etkisinin korozyon hızının fonksiyonu olarak hesaplara katılması doğru değildir. Birçok paslanmaz çeliğin kesilmiş olan yüzeylerinin çözelti içinde çok şiddetli korozyona uğradığı görülür. Bu nedenle birçok paslanmaz çelik çok düşük taneler arası korozyon hızına sahip olduğu halde, yüzey sonu etkisinin büyüklüğü nedeniyle Huey deneyinde başarısız sonuç verir. Pratikte kullanılan bütün ekipmanlarda kesilmiş olan yüzeyler tam olarak izole edilmekte ve korozif ortam ile teması önlenmektedir. Veya bu kesik kenarlar inert gaz ortamında kaynakla eritilerek kapatılmaktadır. Eğer bu önlemler alınmaz ise, söz konusu cihaz bu kesik bölgeden şiddetli korozyona uğrayacaktır. Çeliğin şekillendirilmesi sırasında sıkıştırılarak bir hizaya sokulmuş olan yabancı partiküller bu kesik bölgede açıkta bulunur. Bunlar çözelti içinde kolayca çözünerek büyük oyuklar meydana gelmesine neden olur. Bunun sonucu olarak çözeltinin krom konsantrasyonu kısa zamanda artar. Kesik bölgedeki korozyon hızı malzemenin yoğunluğuna ve içinde bulunan yabancı maddelere bağlıdır.

Kesik yüzey korozyonu burada yalnız Huey deneyine etkisi açısından ele alınmıştır. Eğer bir paslanmaz çelik, kesik yüzey korozyonu nedeniyle Huey deneyinde başarısız bulunarak reddedilmiş ise, bu malzemenin korozif çözeltileri taşıyan kaplarda kullanılması sakıncalı değildir. Çünkü bu kaplar, kesik yüzeyler çözelti ile temas etmeyecek şekilde imal edilmektedir.

7- Çok numuneli deney cihazı (M.S.T.A) ile yapılan nitrik asitli deneylerde, çözelti içinde oluşan krom iyonları konsantrasyonu çok fazla artmaz. Bunun başlıca nedeni, kırık yüzeylerden çözünme etkisi bu deneyde Huey deneyine göre daha azdır. Fakat bu yöntemin de önemli bir sakıncası vardır. Bu yöntem ile yalnız 240 saatlik deney sonucu elde edilebilir. Her 48 saat sonundaki korozyon hızı bilinemediğinden, korozyon hızının artış eğimi hakkında fikir edinilemez.

6.6 PASLANMAZ ÇELİK TİPLERİ

Son kırk yıl içinde bir çok yeni tip paslanmaz çelik geliştirilmiştir. Bu konuda çalışmalar halen devam etmektedir. Amaç, özel ortamlarda kullanılmaya uygun paslanmaz çeliklerin bulunmasıdır. Paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri Tablo -6.2, Tablo -6.3 , Tablo -6.4 ve Tablo -6.5'de verilmektedir.

Yeni paslanmaz çeliklerden en önemlisi süperferritlerdir. Bunlar argon oksijen dekarbürizasyon (AOD) ve vakum oksijen dekarbürizasyon (VOD) yöntemleri ile üretilmektedir. Bu tip paslanmaz çelikler klorürle birlikte yürüyen stres korozyon olayına dayanıklıdır. Bunlar yeni yeni sahneye çıkmaktadır. Son zamanlarda bulunmuş olan paslanmaz çelik ve korozyona dayanıklı bazı alaşımların kimyasal bileşimleri ve karakteristik özellikleri Tablo -6.1'de verilmektedir.

TABLO -6.1 SON ZAMANLARDA BULUNMUŞ OLAN PASLANMAZ ÇELİKLER VE KOROZYONA DAYANIKLI BAZI ALAŞIMLAR

TİPİ	YAKLAŞIK BİLEŞİMİ	NOT
17 -7 pH	Cr = 18 Ni=7 Al=1.5	Klorür korozyonuna dayanıklı sertliği ve mukavemeti yüksek. Kaynak yapılması güç. Nitrik aside dayanıksız.
17-4 pH	Cr=17 Ni=4 Cu=4	
202	Cr =18 Ni=5 Mn=10	304 tipi paslanmaz çelik yerine kullanılabilir. Daha ekonomiktir. Ancak korozyon dayanıklılığı daha fazla değildir.
329	Cr =25 Ni=5 Mo=1.5 Cr=18	Stres korozyonuna dayanıklı bir alaşım. Nitrik asite karşı dayanıklı değil.
3 RE 60	Ni=5 Mo=27	
JS -777	Cr=20 Ni=25 Mo=5 Cu=3	Pitting tipi korozyona dayanıklı bir alaşım
Alloy 600	Cr =15 F=8 Ni=Kalanı	Yüksek sıcaklık ve klorür etkisinde stres korozyonuna dayanıklı alaşımlar
Alloy 800	Cr =21 Ni=32 Fe=Kalanı	
Alloy C 276	Cr=16 Mo=16	

	Fe=5 W=4 Ni=Kalanı	
Alloy B (Cabot)	Mo= 28 Fe=5 Ni=kalanı	Sıcak fosforik asit ve hidroklorik asitlere dayanıklı bir alaşım
Alloy 18-18-2	Cr =18 Ni=18 Si=2	Klorür etkisinde stres korozyonuna dayanıklı bir alaşım
E.Brite	Cr =26 Mo=1 Cr=29 Mo=4 Cr=29 Mo=4 Ni=2	316 paslanmaz çeliğe benzer olarak korozyona dayanıklı bir alaşım Klorürlü stres korozyona dayanıklı bir alaşım Klorürlü stres korozyona dayanıklı bir alaşım
Fecralloy	C=0.001 Cr=16 Al=5 Y=0.5 C=0.001 Cr=18 Al=5 Hf=1 Mo=1	Yüksek sıcaklık oksidasyonuna dayanıklı bir alaşım. Kömür gazlaştırma tesisleri için uygun bir alaşım.
444	Cr =18 Mo=2	Stres korozyona dayanıklı bir alaşım.
904 L	Cr=20 Cu=1.5 Mo=4.5	Pitting ve çatlak tipi korozyonlara dayanıklı bir alaşım. Sülfürik ve fosforik asitlere dayanıklı.

PASLANMAZ ÇELİKLERİN KİMYASAL BİLEŞİMLERİ
TABLO -2 OSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER

AISI No	BİLEŞİM , %								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Diğerleri
201	0.15	1.00	5.50-7.50	0.060	0.030	16.00-18.00	-	3.50-5.50	N 0.25
202	0.15	1.00	7.50-10.00	0.060	0.030	17.00-19.00	-	4.00-6.00	N 0.25
203 EZ	0.08	1.00	5.00-6.50	0.04	0.18-0.35	16.00-18.00	0.50	5.00-6.50	Cu 1.75-2.25
205	0.12-0.25	1.00	14.00-15.00	0.060	0.030	16.50-18.00	-	1.00-1.75	N 0.32-0.40
216 (XM-17)	0.08	1.00	7.50-9.00	0.045	0.030	17.50-22.00	2.0-3.0	5.00-7.00	N 0.25-0.50
301	0.15	1.00	2.00	0.045	0.030	16.00-18.00	-	6.00-8.00	-
302	0.15	1.00	2.00	0.045	0.030	17.00-19.00	-	8.00-10.00	-
302 B	0.15	2.00-3.00	2.00	0.045	0.030	17.00-19.00	-	8.00-10.00	-
302 B MOD	0.08	2.00-3.00	2.00	0.030	0.030	17.00-19.00	-	11.00-14.00	-
302 HQ	0.08	1.00	2.00	0.030	0.030	17.00-19.00	-	9.00-10.50	Cu 3.0-4.0
303	0.15	1.00	2.00	0.20	0.15 min.	17.00-19.00	(0.60)	8.00-10.00	Mo or Zr 0.60
303 L,™	0.013	0.83	0.18	0.04	0.21	17.8	0.04	12.0	-
303 PLUS X	0.15	1.00	2.50-4.50	0.20	0.25 min.	17.00-19.00	0.60	7.00-10.00	-
303 Se	0.15	1.00	2.00	0.20	0.006	17.00-19.00	-	8.00-10.00	Se 0.15 min.
303 Cu	0.15	1.00	2.00	0.15	0.10 min.	17.00-19.00	-	6.00-10.00	Cu 2.50-4.00; Se 0.10
303 S	0.15	1.00	2.00	0.02	0.15	17.00-19.00	-	8.00-11.00	-
303 Ma	0.15	1.00	2.00	0.05	0.11-0.16	17.00-19.00	0.40-0.60	8.00-10.00	Al 0.60-1.00
303 Pb	0.15	1.00	2.00	0.04	0.12-0.25	17.00-19.00	0.60	8.00-10.00	Pb 0.12-0.30
304	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	18.00-20.00	-	8.00-10.50	-
304 H	0.04-0.10	1.00	2.00	0.040	0.030	18.00-20.00	-	8.00-11.00	-
304 HN	0.04-0.10	1.00	2.00	0.045	0.030	18.00-20.00	-	8.00-10.50	N 0.10-0.16
304 L	0.03	1.00	2.00	0.045	0.030	18.00-20.00	-	8.00-12.00	-
304 N	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	18.00-20.00	-	8.00-10.50	N 0.10-0.16
304 LN	0.03	1.00	2.00	0.045	0.030	18.00-20.00	-	8.00-12.00	N 0.10-0.15
S30430	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	17.00-19.00	-	8.00-10.00	Cu 3.0-4.0
305	0.12	1.00	2.00	0.045	0.030	17.00-19.00	-	10.50-13.00	-

1) Tek olarak verilen değerler maksimum değerlerdir.
() Parantez içinde verilen değerler isteğe bağlıdır.

OSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER

AISI No	BİLEŞİM, %								Diğerleri
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	
307	0.15	1.00	3.75-4.75	0.045	0.030	19.00-22.00	-	9.00-10.50	-
308	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	19.00-21.00	-	10.00-12.00	-
308 L	0.03	1.00	2.00	0.045	0.030	19.00-21.00	-	10.00-12.00	-
309	0.20	1.00	2.00	0.045	0.030	22.00-24.00	-	12.00-15.00	-
309 S	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	22.00-24.00	-	12.00-15.00	-
309 S Cb	0.08	1.00	2.00	0.040	0.030	22.00-24.00	-	12.00-15.00	Cb 8 x C min. - 1.0
309 Cb	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	22.00-24.00	-	12.00-15.00	Cb 8 x C min.
309 Cb + Ta	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	22.00-24.00	-	12.00-15.00	Cb + Ta 8 x C min. - 1.0
310	0.25	1.50	2.00	0.045	0.030	22.00-26.00	-	19.00-22.00	-
310 CB	0.08	1.50	2.00	0.045	0.030	24.00-26.00	-	19.00-22.00	Cb + Ta 10 x C min. - 1.10
310 S	0.08	1.50	2.00	0.045	0.030	24.00-26.00	-	19.00-22.00	-
311	0.15	2.50	2.00	0.040	0.030	20 ^a	-	25 ^a	-
312	0.15	1.00	2.00	0.045	0.030	30 ^a	-	9.00 ^a	-
314	0.25	1.50-3.00	2.00	0.045	0.030	23.00-26.00	-	19.00-22.00	-
316	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	16.00-18.00	2.00-3.00	10.00-14.00	-
316 Cb	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	16.00-18.00	2.00-3.00	10.00-14.00	Cb + Ta 10 x C min. - 1.10; N 0.10
316 F	0.08	1.00	2.00	0.200	0.100 min.	17.00-19.00	1.75-2.50	12.00-14.00	-
316 H	0.04-0.10	1.00	2.00	0.040	0.030	16.00-18.00	2.00-3.00	10.00-14.00	-
316 L	0.03	1.00	2.00	0.045	0.030	16.00-18.00	2.00-3.00	10.00-14.00	-
316 LN	0.03	1.00	2.00	0.045	0.030	16.00-18.00	2.00-3.00	10.00-14.00	N 0.10-0.16
316 N	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	16.00-18.00	2.00-3.00	10.00-14.00	N 0.10-0.16
316 Ti	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	16.00-18.00	2.00-3.00	10.00-14.00	Ti 5 x C min.; N 0.10
316 LSi ^a	0.018	2.33	0.20	0.01	0.018	17.4	2.18	12.3	-
317	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	18.00-20.00	3.00-4.00	11.00-15.00	-
317 L	0.03	1.00	2.00	0.045	0.030	18.00-20.00	3.00-4.00	11.00-15.00	-
317 LM/LX/L PLUS	0.03	1.00	2.00	0.045	0.030	18.00-20.00	4.00-5.00	12.00-16.00	-
318	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	17.00-19.00	1.75-2.75	13.00-15.00	Cb + Ta 10 x C min.
D 319	0.07	1.00	2.00	0.045	0.030	17.50-19.50	2.25-3.00	11.00-15.00	-

AISI No	BİLEŞİM, %								Diğerleri
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	
D 319 L	0.03	1.00	2.00	0.045	0.030	17.50-19.50	2.25-3.00	11.00-15.00	-
321	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	17.00-19.00	-	9.00-12.00	Ti 5 x C min.
321 H	0.04-0.10	1.00	2.00	0.040	0.030	17.00-20.00	-	9.00-12.00	Ti 4 x C min. - 0.60
322	0.08	1.00	1.00	0.040	0.030	17 ⁿ	0.70	7 ⁿ	-
326	0.05	0.6	1.00	-	-	25.00-27.00	-	6.00-7.00	Ti 0.25
329	0.20	0.75	1.00	0.040	0.030	23.00-28.00	1.00-2.00	2.50-5.00	-
330	0.15	1.50	2.00	0.045	0.040	14.00-17.00	-	33.00-37.00	-
330 HC ⁿ	0.40	1.25	1.50	-	-	19.0	-	35.0	-
332 ⁿ	0.04	0.50	1.00	0.045	0.030	21.5	-	32.0	-
347	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	17.00-19.00	-	9.00-13.00	Cb + Ta 10 x C min.; Co 0.20
347 H	0.04-0.10	1.00	2.00	0.040	0.030	17.00-20.00	-	9.00-13.00	Cb + Ta 8 x C min. - 1.00
347 F Se	0.08	1.00	2.00	0.045	0.15-0.30	17.00-19.00	-	9.00-13.00	Cb + Ta 10 x C min. - 1.00 + Se
347 Se ⁿ	0.04	0.5	1.00	0.14	-	18.00	-	11.00	Se 0.15 min.; Cb + Ta 10 x C min.
348	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	17.00-19.00	-	9.00-13.00	Cb + Ta 10 x C min.; Ta 0.10; Co 0.20
348 H	0.04-0.10	1.00	2.00	0.045	0.030	17.00-20.00	-	9.00-13.00	Cb or Ta 10 x C min.; Cu 0.2; Ta 0.10
384	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	15.00-17.00	-	17.00-19.00	-
385	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	11.50-13.50	-	14.00-16.00	-
386	0.03	1.00	1.00	-	-	17.5 ⁿ	-	15.5 ⁿ	-
387	0.02	0.5	0.5	-	-	17.7 ⁿ	-	9.5 ⁿ	Cu 3.5 ⁿ
18-18-2 (XM-15)	0.08	1.5-2.5	2.00	0.03	0.03	17.0-19.0	-	17.5-18.5	N 0.08-0.18
18-18 PLUS	0.15	1.00	17.0-19.0	0.045	0.03	17.5-19.5	0.5-1.5	-	Cu 0.5-1.5; N 0.4-0.6
20 Cb-3	0.07	1.00	2.00	0.045	0.035	19.0-21.0	2.0-3.0	32.0-38.0	Cu 3.0-4.0; (Cb 8 x C min.)
20 Mo-6	0.03	0.50	1.00	0.03	0.03	22.0-26.0	5.0-6.7	33.0-37.0	Cu 2.00-4.00
254 SMO	0.02	0.80	1.00	0.030	0.010	19.5-20.5	6.0-6.50	17.5-18.5	Cu 0.50-1.00; N 0.18-0.22
904 L; 2 RK 65	0.02	1.00	2.00	0.045	0.035	19.0-23.0	4.0-5.0	23.0-28.0	Cu 1.0-2.0
AL-6x	0.03	0.75	2.00	0.030	0.003	20.0-22.0	6.0-7.0	23.5-26.5	-
CRONIFER 2328	0.04	0.75	0.75	0.030	0.015	22.0-24.0	2.5-3.0	26.0-28.0	Cu 2.5-3.5; Ti 0.40-0.70
CRYOGENIC TENELON (XM-14)	0.12	1.00	14.0-16.0	0.06	0.03	17.0-19.0	-	5.0-6.0	N 0.35-0.50

AISI No	BİLEŞİM, %								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Diğerleri
405	0.08	1.00	1.00	0.040	0.030	11.50-14.50	-	-	Al 0.10-0.30
409	0.08	1.00	1.00	0.045	0.045	10.50-11.75	-	0.50	Ti 6 x C min. - 0.75
429	0.12	1.00	1.00	0.040	0.030	14.00-16.00	-	-	-
430	0.12	1.00	1.00	0.040	0.030	16.00-18.00	-	-	-
430 F	0.12	1.00	1.25	0.060	0.150 min.	16.00-18.00	(0.60)	-	-
430 FSe	0.12	1.00	1.25	0.060	0.060	16.00-18.00	-	-	Se 0.15 min.
430 M ^h	0.06	0.5	0.5	-	-	16	1.8	-	-
430 Ti	0.10	1.00	1.00	0.040	0.030	16.00-19.50	-	0.75	Ti 5 x C min. - 0.75
434	0.12	1.00	1.00	0.040	0.030	16.00-18.00	0.75-1.25	-	-
434 F ^h	0.03	0.45	0.45	-	0.3	17.5	1.0	-	-
436	0.12	1.00	1.00	0.040	0.030	16.00-18.00	0.75-1.25	-	Cb or Ta 5x C min. - 0.70
442	0.20	1.00	1.00	0.040	0.035	18.00-23.00	-	-	-
443	0.20	1.00	1.00	0.040	0.030	18.00-23.00	-	0.50	Cu 0.90 - 1.25
444 (18-2)	0.025	1.00	1.00	0.040	0.030	17.50-19.50	1.75-2.5	1.00	N 0.035; (Ti + Cb) min. 0.2 + 4 (C + N)
446	0.20	1.00	1.50	0.040	0.030	23.00-27.00	-	-	N 0.25
18 SR ^h	0.04	1.00	0.030	-	-	18.0	-	-	Al 2.0; Ti 0.4
182 FM	0.08	1.00	2.50	0.040	0.15 min.	17.50-19.50	-	-	-
439 (XM-8)	0.07	1.00	1.00	0.040	0.030	17.00-19.00	-	0.50	Ti 0.20 + 4 (C + N) min. - 1.10 max.; Al 0.15; N 0.04
E-Brite 26-1	0.010	0.40	0.40	0.020	0.020	25.00-27.50	0.75-1.50	0.50	N 0.015; Cu 0.2; Ni + Cu 0.5; Cb 0.05-0.20
Monk	0.025	0.75	1.00	0.040	0.030	24.50-26.00	3.50-4.50	3.5-4.5	Ti + Cb 0.03-0.06
Sea-Cure/SC-1	0.025	0.75	1.00	0.040	0.030	25.00-27.00	2.50-3.50	1.5-3.5	(Ti + Cb) 0.2 + 4 (C + N) min.
Al 29-4 C	0.025	0.75	1.00	0.040	0.030	28.00-30.00	3.50-4.50	0.50	Ti 0.2 + 4 (C + N) min.
Al 29-4-2	0.010	0.20	0.30	0.025	0.020	28.00-30.00	3.50-4.20	2.0-2.5	-

TABLO-3 FERRİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER

AISI No	BİLEŞİM, %								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Diğerleri
403	0.15	0.50	1.00	0.040	0.030	11.50-13.00	-	-	-
410	0.15	1.00	1.00	0.040	0.030	11.50-13.50	-	-	-
410 L ¹⁾	0.017	0.88	0.42	0.006	0.018	12.4	-	-	-
410 S	0.08	1.00	1.00	0.040	0.030	11.50-13.50	-	0.60	-
410 Cb	0.15	1.00	1.00	0.040	0.030	11.50-13.50	-	-	Cb 10 x C min.
414	0.15	1.00	1.00	0.040	0.030	11.50-13.50	-	1.25-2.50	-
414 L ¹⁾	0.06	0.15	0.5	-	-	12.50-13.00	0.50	2.50-3.00	Al 0.03
416	0.15	1.00	1.25	0.060	0.150	12.00-14.00	(0.60)	-	Zr or Mo 0.60
416 PLUS X (XM-6)	0.15	1.00	1.50-2.50	0.060	0.150	12.00-14.00	0.60	-	-
416 Se	0.15	1.00	1.25	0.060	0.060	12.00-14.00	-	-	Se 0.15 min.
420	0.15 min.	1.00	1.00	0.040	0.030	12.00-14.00	-	-	-
420 F	0.15 min.	1.00	1.25	0.060	0.150	12.00-14.00	0.60	-	-
420 FSe	0.30-0.40	1.00	1.25	0.060	0.060	12.00-14.00	-	-	Se 0.15 min.
422	0.20-0.45	0.75	1.00	0.040	0.030	11.50-13.50	0.75-1.25	0.50-1.00	V 0.15-0.30; W 0.75-1.25
431	0.20	1.00	1.00	0.040	0.030	15.00-17.00	-	1.25-2.50	-
431 MOD	0.15-0.25	1.00	1.00	-	-	10.00-13.00	0.5	1.00-2.00	-
431 MOD	0.08-0.15	1.00	1.00	-	-	15.00-17.00	-	1.50-2.50	N 0.03-0.13; C + N 0.22
440 A	0.60-0.75	1.00	1.00	0.040	0.030	16.00-18.00	0.75	-	-
440 B	0.75-0.95	1.00	1.00	0.040	0.030	16.00-18.00	0.75	-	-
440 C	0.95-1.20	1.00	1.00	0.040	0.030	16.00-18.00	0.75	-	-
440 F	0.95-1.20	1.00	1.25	0.060	0.15 min.	16.00-18.00	(0.75)	-	Mo or Zr 0.75
440 FSe	0.95-1.20	1.00	2.25	0.060	0.060	16.00-18.00	-	-	Se 0.15 min.
501	0.10 min.	-	-	-	-	4.0-6.0	0.40-0.65	-	-
502	0.10	-	-	-	-	4.0-6.0	0.40-0.65	-	-

TABLO -4 MARTENSİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER

TABLO -5 ÇÖKELME İLE SERTLEŞEN PASLANMAZ ÇELİKLER

AISI-CLASSIFICATION OF TRADE NAME	BİLEŞİM, %								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Diğerleri
PH 13-8 Mo	0.05	0.10	0.10	0.01	0.008	12.25-13.25	2.0-2.5	7.5-8.5	Al 0.90-1.35; N 0.01
15-5 PH	0.07	1.00	1.00	0.04	0.03	14.0-15.5	-	3.5-5.5	Cu 2.4-4.5; Cb + Ta 0.15-0.45
17-4 PH	0.07	1.00	1.00	0.04	0.03	15.5-17.5	-	3.0-5.0	Cu 3.0-5.0; Cb + Ta 0.15-0.45
17-7 PH	0.09	1.00	1.00	0.04	0.03	16.0-18.0	-	6.5-7.75	Al 0.75-1.5
AM 350 (TYPE 633)	0.07-0.11	0.50	0.5-1.25	0.04	0.03	16.0-17.0	2.5-3.25	4.0-5.0	N 0.07-0.13
AM 355 (TYPE 634)	0.10-0.15	0.50	0.5-1.25	0.04	0.03	15.0-16.0	2.5-3.25	4.0-5.0	-
AM 363 ²⁾	0.04	0.05	0.15	-	-	11.0	-	4.0	Ti 0.25
CUSTOM 450 (XM-25)	0.05	1.00	1.00	0.03	0.03	14.0-16.0	0.5-1.0	5.0-7.0	Cu 1.25-1.75; Cb 8 x C min.
CUSTOM 455 (XM-16)	0.05	0.50	0.50	0.04	0.03	11.0-12.5	0.5	7.9-9.5	Cu 1.5-2.5; Ti 0.8-1.4; Cb 0.1-0.5
PH 15-7 Mo (TYPE 632)	0.09	1.00	1.00	0.04	0.03	14.0-16.0	2.0-3.0	6.5-7.75	Al 0.75-1.5
STAINLESS W (TYPE 63)	0.08	1.00	1.00	0.04	0.03	16.0-17.5	-	6.0-7.5	Al 0.4; Ti 0.4-1.2
17-10 P ²⁾	0.07	0.5	0.75	0.28	-	17.0	-	10.5	-
630 ²⁾	0.04	0.6	0.28	-	-	16.00	-	4.25	Cu 3.30; Cb or Ta 0.27
631 ²⁾	0.07	0.30	0.50	-	-	17.00	-	7.10	Al 1.17
632 ²⁾	0.07	0.30	0.50	-	-	15.10	2.25	7.10	Al 1.17
633 ²⁾	0.10	0.30	0.75	-	-	16.50	2.75	4.25	N 0.09
634 ²⁾	0.13	0.30	0.75	-	-	15.50	2.75	4.25	N 0.10
660 ²⁾	0.05	0.60	1.45	-	-	14.75	1.30	25.20	Ti 2.15; Al 0.22; V 0.28; B 0.004

BÖLÜM -7

KOROZYON MÜHENDİSLİĞİ

Kimyasal üretim yapılan tesislerde yalnız kimya mühendisleri değil makina ve metalurji mühendisleri de görev alır. Günümüzde endüstriyel üretim bir ekip çalışmasını gerektirir. Kimyasal proseslerin geliştirilmesinde kimya mühendisi, ekipmanların tasarımında makina ve /veya kimya mühendisi ve malzeme kontrolü için de metalurji mühendislerine ihtiyaç vardır. Fabrikaların işletme ve bakımında görev alan bütün mühendislerin, fabrikada kullanılan bütün malzeme ve ekipmanların proses akışı içinde davranışlarını kontrol etmesi, korozyon olaylarını izlemesi ve meydana gelen arızaların sebeplerini belirlemesi gerekir.

Tasarım sırasında muhtemel korozyon kayıpları için önlemler alınmıştır. İşletme sırasında tasarımda öngörülen sınır değerlerinin aşıp aşılmadığı sürekli kontrol edilerek korozyon nedeniyle tehlikeli bir olayın meydana gelmesi önlenmeye çalışılır. Fabrikalarda çalışmakta olan kontrol mühendislerinin korozyon mühendisi olması gerekmez. Ancak bu görevde çalışan her mühendisin yeteri kadar korozyon bilgisine sahip olması gerekir. Bu mühendisler her şeyden önce korozyon deney ve kontrollerinin nasıl yapıldığını ve bunların nasıl değerlendirildiğini bilmelidir.

7.1 KOROZYON DENEYLERİ

Korozyon kayıplarının miktarının belirlenmesi konusunda pek çok araştırma yapılmıştır. Korozyonun kendisi kadar çeşitli korozyon deneyi de vardır. Korozyon hızını ölçmek üzere hazırlanmış olan deney numunelerini, atmosfere bırakmak, yere gömmek, çözelti içine daldırmak veya koşulları bilinen bir endüstriyel ortamda bekletmek suretiyle pratik olarak korozyon hızı ölçülebilir. Eğer mekanik etkiler de söz konusu ise, onlar da deney koşullarında yerine getirilir.

En çok bilinen korozyon hızı tayin yöntemi, belli bir ortam içinde bekletilen deney numunelerinin, belli bir yüzey alanında meydana gelen ağırlık kaybının (veya artışının) ölçülmesidir. Bu amaçla hazırlanmış numune, deneyden önce iyice temizlenir. Yüzeylerde hiç yağ ve benzeri kirlilikler ve oksit tabakası kalmayacak şekilde hazırlanır. Bu deney numunesi deneyden önce ve sonra tartılır. Deney sonunda metal yüzeyinde oluşan korozyon ürünleri uygun bir çözelti içine daldırılarak temizlenir. Bu amaçla metali çözmeyen, yalnız korozyon ürünlerini çözen özel karışımlar kullanılır. Korozyon ürünlerini temizlemek için en basit yol

sabunlu su ile ve fırça ile dikkatle fırçalamaktır. Her metal için özel kimyasal çözeltiler kullanılır. Asit kullanılması halinde inhibitör katılması gerekir.

Son yıllarda deney sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılan kriterler de geliştirilmiştir. Pas lekeleri, çukur oluşma, renk kaybı, kireçlenme ve parlaklık gibi özelliklerin belirlenmesinde yeni yöntemler geliştirilmiştir. En önemlisi, deneylerin standardize edilmiş olmasıdır. Çukur tipi korozyon söz konusu olduğunda, sonuçların istatistiksel olarak değerlendirilmesine imkan verecek büyüklükte bir numune üzerinde çalışılması gerekir.

Korozyon deneylerinin amacı, çoğu kez malzemenin kullanılacağı ortamda korozyona dayanma direncinin veya işletme ömrünün belirlenmesidir. Korozyon deneylerinin diğer bir uygulama alanı da, ekipmanları daha dayanıklı hale getirmek amacıyla yapılan geliştirme araştırmalarıdır. Böylece zaman kaybı ve para kaybı önlenmiş olur. Belli bir malzemeyi hedef almayan ve fakat, çeşitli ortamların korozyonu hakkında bilgi toplamak üzere yapılan korozyon deneyleri de vardır.

Atmosferik Korozyon Deneyleri

Atmosferik korozyon deneyleri çok sayıda numune ile yapılır. Bu numunelerin uygun yerlere konulması ve orada yeterli süre bekletilmesi gerekir. Uzak bölgelere konulmuş olan çok sayıda numunenin izlenmesi ve korunması güçlük yaratır. Numunelerin hazırlanması da güçtür. Deney sonuçlarının kötü etkilenmesini önlemek için numunelerin çok titiz hazırlanması gerekir.

Uzun süreli deneyler yerine daha düşük maliyetli kısa süreli deneyler tercih edilir. **Alcan Makara Deneyi** bunlardan biridir. Bu deney ince bir metal telin deneye tabi tutulacak olan metalden yapılmış bir makara üzerine sarılması ile yapılır. Bu makara bir askıya asılarak bekletilir. Böylece hem telin hem de makaranın korozyonu belirlenebilir. Bu deneyin maliyeti düşüktür ve deney süresi istenildiği kadar uzatılabilir.

Malzeme Seçimiyle ilgili Deneyler

Normal atmosferden, çeşitli kimyasal maddeleri içeren korozif atmosferlere kadar çok çeşitli ortamlarda kullanılacak malzemeler bu ortamlarda deney yapılarak seçilebilir. Burada önemli olan ortam koşullarının önceden titizlikle belirlenmesidir. Aksi halde deneyden başarı ile geçmiş malzeme gerçek uygulamada, ya kısa sürede korozyona uğrar, ya da hiç korozyona uğramıyarak hayal kırıklığı yaratabilir. Korozyona hiç uğramaması durumu da tartışılmalıdır. Böyle bir durumda daha ucuz bir malzeme yerine pahalı bir malzemenin kullanılmış olduğu ortaya çıkar. Bu da uygun bir seçim yapılamamış olduğunu gösterir.

İdeal bir korozyon deneyi, basit, çabuk, düşük maliyetli olmalı ve malzemenin gerçek ortamdaki korozyonu hakkında doğru fikir vermelidir. Deneylerde bütün bu koşulların gerçekleşmesi mümkün değildir. Bazı hususlara göz yummak gerekir. Örneğin seri üretim halinde deney süresinin çok kısa olması istenir. Sonuçların doğru olması deney ortamının gerçek koşullara ne derece benzer olduğuna bağlıdır. Ama ne yazık ki deney ortamını sürekli olarak istenilen koşullarda tutabilmek her zaman mümkün olmaz. Numunelerin, malzemelerin bulunduğu gerçek ortama konulması halinde de sonuçları çok geç alınır.

Yalnızca en ucuz malzemenin seçimi söz konusu olduğunda işler kolaylaşır. Önce kısa süreli basit bir deney yapılarak, uygun olmayan seçenekler elimine edilir. Bu deney sonunda başarılı olan malzemeler bir pilot tesisde daha ileri düzeyde korozyon deneylerine tabi tutulur. Son olarak seçilen malzemeler ayrıca emniyetli olması için işletme koşullarında yeniden denenir.

Temel İlkeler

Korozyon deneylerinin temel amaçlarını iki grup içinde toplayabiliriz. (1) En uygun malzemenin seçimi, veya (2) malzemenin işletme ömrünün belirlenmesi. En uygun malzemenin seçiminde korozyon dayanıklılığı dışında seçime etki yapan başka faktörler de söz konusudur. Malzemenin maliyeti diğer malzemeler ve kullanılacağı prosese uyumu gibi faktörler de önemlidir. Malzemenin işletme ömrü, gerçek işletme koşullarındaki korozyon hızına bağlıdır. Bunun için korozyon numuneleri doğrudan gerçek ortam içine daldırılır ve zaman zaman korozyon durumu kontrol edilir. Buradan elde edilen sonuçlar ile işletme altında olan ekipmanın korozyonu hakkında relatif bir fikir edinilir. Malzemenin metalürjik durumu ve kalitesini belirlemek amacıyla mutlak ölçüde sonuç veren deneyler de mevcuttur. Örneğin tuz püskürtme deneyi alimünyum veya paslanmaz çeliğin çukur tipi korozyon hızını ölçmek için kullanılabilir.

Yeni geliştirilen korozyona dayanıklı alaşımların korozif ortamlarda denemesi gerekir. Gerçek ortamlarda eser miktarda bulunan bazı zehirleyici bileşiklerin ne gibi etkilerinin olacağı kontrol edilmelidir. Yalnız zararlı bileşen konsantrasyonunu belirlemek için değil, sıcaklığın, akış hızının ve havalanmanın etkilerini belirlemek amacıyla da deneyler yapılır. İnhibitör tipi ve miktarının belirlenmesi amacıyla korozyon deneyleri yapılması gerekir. Bütün bu çalışmaların amacı emniyetli ve en ucuz malzemenin belirlenmesidir.

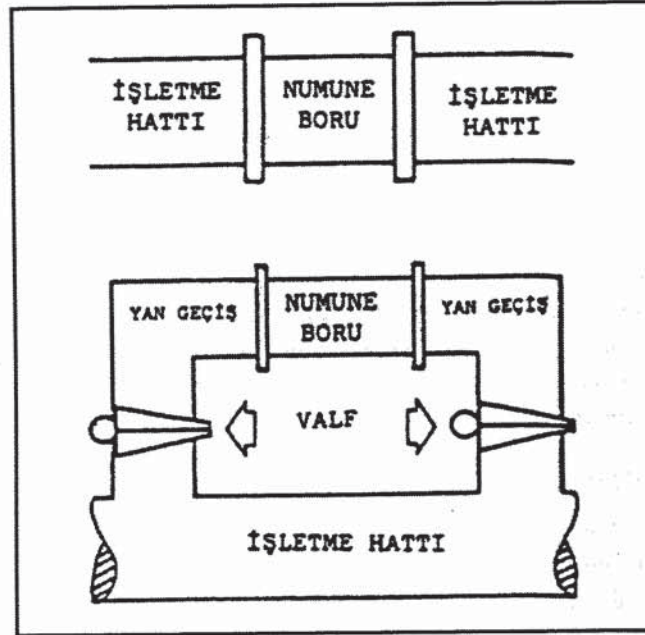
7.2 DENEY METODLARI

Uygun deney metodunun seçiminde en önemli iki faktör, güvenlik ve maliyettir. Buna ilave olarak yeterli zaman ve gerekli cihazların bulunup bulunmadığıdır. Korozyon deneyine başlamadan önce, deney sonunda hangi özelliğin belirleneceği ve hangi bilginin elde edileceğine karar verilmelidir. Malzemenin görünüşünde veya fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişiklik mi belirlenecek, yoksa penetrasyon değeri mi ölçülecektir. Deney yöntemi elde edilecek sonucun değerlendirilmesine uygun olarak seçilmelidir. Endüstride uygulanan korozyon deneyleri dört ana grupta toplanabilir. Bunlar şöyledir:

- 1) İşletme koşullarında yapılan deneyler,
- 2) Arazide yapılan deneyler,
- 3) Laboratuar deneyleri,
- 4) Elektrokimyasal deneyler.

İşletme Koşullarında Yapılan Deneyler

İşletmede proses akışı üzerine, gerçek malzeme yerine denenecek malzemeden yapılmış olan boru monte edilir. Veya bu boru bir yan geçiş akımı üzerine yerleştirilir. Belli bir süre sonunda oradan alınarak muayene edilir. Bu deney oldukça pahalıya mal olur. Buna karşılık bu tip deneylerde, sıcaklık, hız ve konsantrasyon gibi bütün deney koşulları gerçek olduğu için elde edilen sonucun değerlendirilmesi kolaydır. Ancak deney süresi çok uzundur. Bazı halde numunenin korozyonu sonucu oluşan ürünler, fabrikada üretilmekte olan ürünü kirlitebilir. Ayrıca konulan numunenin, sıcaklık, basınç ve çeşitli etkiler sonucu çevresine zararlı bir etki yapıp yapmayacağı da başlangıçta özenle gözden geçirilmelidir. Bütün bunları önlemek için deney numunesinin işletme hattı üzerine değil, bir yan geçiş hattı üzerine konulması uygun olur (Şekil -7.1).



Şekil -7.1 İşletme hattı ve yan geçiş hattı üzerine konulan boru numunesi

Şekilde görüldüğü gibi yan geçiş hattı üzerine konulan boru parçası, deney amacıyla monte edilirken ve deney sonunda kontrol için çıkarılırken işletme kesikliği meydana gelmez.

Arazide Yapılan Deneyler

Korozyona uğrayan metalin bulunduğu gerçek ortamda bırakılan numuneler üzerinde yapılan deneylere arazi deneyi denir. Deney sonunda numunenin ağırlık kaybı veya elektriksel direncinin artışı ölçülür. Bu deney yönteminin başlıca avantajı işletmede yapılan deneyler kadar güvenilir olması yanında aynı anda çok sayıda numunenin deneye tabi tutulabilmesidir.

Elektriksel Direnç Yöntemi

Korozyona tabi tutulacak malzeme ince bir tel veya şerit halinde korozyon ortamına konulur ve elektriksel direnci ölçülür. Korozyona uğrayan malzemenin kesit alanı gittikçe azalır. Bunun sonucu olarak elektriksel direncinde artış görülür. Böylece malzemenin belli bir süre içinde kesitinin ne oranda azaldığı belirlenebilir.

Elektriksel direnç yöntemi ile korozyon hızı tayininin şu avantajları vardır:

* Deney numunesi çıkarılıp muayene edilmesine gerek kalmadan korozyon hızı sürekli olarak ölçülebilir.

* Korozyon hızı çok kısa süre içinde tayin edilebilir.

* Korozi ortamın bir elektrolit olması gerekmez. Bu yöntemle, örneğin baca gazı içinde de korozyon hızı ölçülebilir.

* Deney son derece duyarlıdır. Çok küçük korozyon hızları bile ölçülebilir. Bu amaçla hazırlanmış özel cihazlar vardır.

Bu yöntemin dezavantajları da şöyle sıralanabilir :

* Bu yöntemle yalnızca üniform korozyon ölçülebilir.

* Deney numunesinin mutlaka tel veya geometrik biçimli bir şerit olması gerekir.

* Numune üzerinde oluşan korozyon ürünleri veya çökeltiler eğer iletken yapıda ise deney yanıltıcı sonuçlar verir.

Arazi deneylerinde numuneler, ya proses akımı içinde veya yan geçiş akımı içinde belli süre bırakılır. Bu süre sonunda alınan numuneler temizlenir ve herhangi bir yöntem ile korozyon hızları belirlenir. Bu deneylerle bir çok malzemeyi söz konusu olan gerçek korozyon ortamında denemek ve bunların içinden uygun olanlarını seçmek mümkün olur. Korozyon deneyi için hazırlanan numuneler oldukça küçüktür. Bunlar metalografik veya stereoskopik yöntemlerle muayene edilerek korozyon çeşidi belirlenebilir. Ancak bu küçük yüzeyli numunelerde çukur tipi korozyon hızı konusunda tam bir sonuç elde edilemez.

Arazide yapılan deneylerde stres korozyonunu ölçmek üzere (U) biçiminde gerdirilmiş numuneler kullanılabilir. Bu tip stres korozyonu deneylerinde, numunenin yanlış şekilde konulması halinde yanlış sonuç elde edilebilir. Doğru bir sonuç elde edebilmek için numunenin buhar fazına mı, yoksa sıvı içine mi konulacağı kesinlikle belirlenmelidir. Eğer numunenin konulacağı yer hakkında kesin bir karara varılamaz ise, bir kaç yere numune konulması uygun olur. Örneğin büyük bir damıtma kolonu içine 4 ila 10 farklı yere numune konulması gerekir.

Bu deneylerde önemli bir problem de korozyon deneyi için hazırlanmış numunelerin, numune tutucusu üzerine nasıl bağlanacağıdır. Eğer numune küçük bir vida ile bağlanacak olursa, vida somunu gevşeyerek düşebilir ve bu akıntı içine karışarak pompalara veya dışlılere zarar verir. Numune numarası veya işareti için bağlanan plakaların korozyona dayanıklı bir

malzemeden yapılması ve numune tutucusuna sıkıca bağlanması gerekir. Küçük çaplı akım hatlarında numunelerin bu akım içine yerleştirilmesi tıkanma yapacağından sakıncalıdır.

Çok defa aynı bir numune tutucusu üzerine çeşitli malzemeden yapılmış numuneler bağlanabilir. Bu durumda galvanik korozyon olayı önlenmelidir. Bu da ancak numune bağlantılarının kesin olarak yalıtılması ile mümkün olabilir. Eğer elektriksel yalıtım tam olarak sağlanmazsa, süpriz sonuçlar çıkabilir.

Laboratuvar Deneyleri

Laboratuvarlarda yapılan korozyon deneyleri, kullanılması düşünülen malzemeler içinden en uygun olanını belirlemek amacıyla yapılır. Bu deneylerden en çok uygulananları, **Huey Deneyi** ve **Tuz Püskürtme Deneyi**'dir. Bunlardan Huey deneyi, çözelti konsantrasyonu, sıcaklık ve deney süresi özel şartlara uydurulabilen standart bir deneydir. Diğer deneyler standart koşullarda yapılmamaktadır. Huey deneyinde çözeltinin buharlaşarak uzaklaşması önlenmektedir. İyi tasarlanmış bir kondenser sistemi bulunmaktadır. Numune büyüklüğü ile çözelti hacminin oranı standartlaştırılmıştır. Laboratuvar deneylerinde karşılaşılan önemli bir sorun, büyük boyutlu numunelerin denenmesi sırasında kullanılan çözeltilerin, korozyon ürünleri ile gittikçe kirlenerek standart özelliğinden sapmasıdır.

Laboratuvar deneyleri basit bir erlenmayer içinde basınç ve sıcaklık özenle kontrol edilerek de yapılabilir. Laboratuvar deneylerinin en büyük avantajı, malzemenin içinde bulunacağı ortama uygun olarak deney koşullarının istenilen şekilde ayarlanabilmesi ve düşük maliyette olmasıdır. Kısa süreli olan laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlar bazen gerçek hali tam yansıtmayabilir. Ancak bu deneylerin, daha kapsamlı deneylerden önce malzemeler arasında önseçim yapmak amacıyla kullanılması faydalı olur.

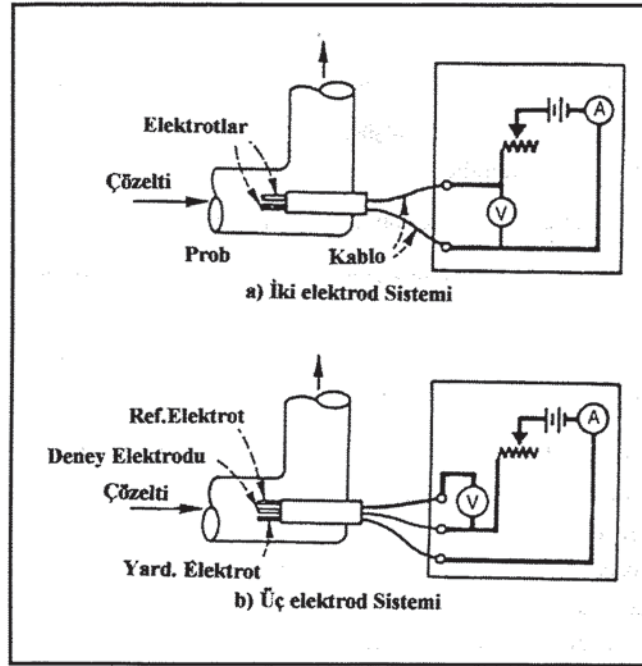
Laboratuvar deneylerinde deney koşullarını istenildiği şekilde değiştirmek, gözlemek ve kayıt etmek mümkün olabilir. Laboratuvar, sıcaklık, hız, çözeltinin ve inhibitörün konsantrasyonu gibi bütün ana parametreler tam olarak kontrol altında tutulabilir. Hatta çözeltiler saf maddeler kullanılarak hazırlanır. Havalandırma ve inert gaz kontrolleri tam olarak gerçekleştirilebilir. Deney sonunda çözelti analiz edilerek konsantrasyonu tayin edilir.

Laboratuvar deneylerinden iyi sonuç almak için iki veya üç deney aynı anda paralel olarak yapılır. Böylece deney sonucunun ne derece duyarlı olduğu anlaşılabilir. Laboratuvar korozyon deneyleri metal olmayan malzemelere de uygulanabilir. Deney yöntemleri hemen hemen aynıdır. Ancak deney sonuçlarının değerlendirilmesi farklıdır. Bu malzemelerin şişme, büyüme ve renk solması gibi özelliklerinin değişimi incelenir.

Laboratuvar deneylerinde bazı özelliklerin daha derin olarak incelenmesi de mümkündür. Diyelim ki, malzemenin gerilmeli korozyona karşı duyarlı olduğundan kuşku duyulmaktadır. Bu durumda numune özel olarak hazırlanmış gerilmeli ortamda ve istenilen sıcaklıkta denenebilir. Proses koşullarında bu değişiklikleri yapmak mümkün değildir. Ancak bu deneyler için daha fazla vakit ve para harcanması gerekir.

Elektrokimyasal Deneyler

Potansiyostat cihazının gelişmesi ile birlikte elektrokimyasal korozyon deneyleri önem kazanmıştır. Bu cihazla polarizasyon eğrileri daha duyarlı olarak çizilebilmiştir. En önemli elektrokimyasal deney metodu **lineer polarizasyon (polarizasyon direnci)** metodudur. Bu metodun teorik ilkeleri 1950'li yıllarda Stern ve Geary tarafından ortaya konulmuştur. Son yıllarda bu yöntem geniş bir uygulama alanı bulmuş ve korozyon hızını otomatik olarak mpy cinsinden ölçebilen yeni cihazlar geliştirilmiştir. Bu metodun genel ilkesi şöyle özetlenebilir. Korozyona uğrayan bir metalin düşük aşırı gerilimlerde potansiyeli ile uygulanan dış akım arasında lineer bir bağıntı vardır. (E-i) doğrusunun korozyon potansiyeline yakın olan bölgedeki eğimi polarizasyon direnci ($R_p = \Delta E / \Delta I$) olarak tanımlanır. Polarizasyon direnci deneysel olarak iki elektrot veya üç elektrot sistemi ile tayin edildikten sonra **Stern-Geary Denklemi** yardımı ile korozyon hızı hesaplanabilir. Veya korozyon hızı kalibre edilmiş cihazlardan doğrudan okunabilir. Bu amaçla kullanılan ölçüm sistemleri Şekil -7.2'de görülmektedir.



Şekil -7.2 Lineer polarizasyon yöntemi ile korozyon hızının ölçülmesi

Bu yöntem en çok soğutma suları, pikling çözeltileri, kimyasal olarak temizlemede kullanılan asit çözeltileri ve özellikle inhibitör uygulamalarında minimum inhibitör dozunun tayininde kullanılır. Bu yöntemin başlıca avantajları şunlardır:

- * Korozyon hızı anında ölçülebilir.
- * Prosesin her noktası dışardan kontrol edilebilir.
- * Çok küçük korozyon hızları (1 mpy'ye kadar) ve çok büyük korozyon hızları (1000 mpy'ye kadar) bu yöntemle tayin edilebilir.

Buna karşılık bu yöntemin bazı sakıncaları da vardır.

* Bu yöntem ancak iletkenliği yüksek elektrolitler içinde uygulanabilir. Üç elektrot yöntemi ile yapılan ölçümlerde elektrolit rezistivitesinin en çok 10^6 Ohm.cm ve iki elektrot yönteminde en çok 10^5 Ohm.cm olması gerekir.

* Deney ile elde edilen polarizasyon direncinden korozyon hızına geçebilmek için ayrıca Tafel sabitlerinin de bilinmesi gerekir. Bu sabitler her elektrolit için farklıdır. Bu nedenle otomatik ölçüm yapan cihazların elektrolit cinsi değiştikçe yeniden kalibre edilmesi gerekir.

Elektrokimyasal olarak korozyon hızının tayininde kullanılmakta olan yöntemlerin aşağıdaki koşulların sağlanması halinde doğru sonuç verebileceği göz önünde tutulmalıdır.

- * Elektrot yüzeyinde meydana gelen reaksiyon aktivasyon kontrolünde olmalıdır.
- * Elektrolit içinde omik direnç düşüşü olmamalı ve elektrot yüzeylerinde hiç bir kabuklaşma meydana gelmemelidir.
- * Konsantrasyon polarizasyonu söz konusu olmamalıdır.
- * Korozyon potansiyeli her iki reaksiyonun tersinir potansiyellerinden yeteri kadar uzak olmalıdır.
- * Metal yüzeyinde katodik ve anodik bölgeler birbirinden ayrı olmayıp, bütün metal aynı anda hem anot, hem de katot olmalıdır.
- * Elektrot yüzeyinde bir başka kimyasal reaksiyon meydana gelmemelidir.

Gerçekte çukur tipi korozyon olayında anot ve katot ayrı bölgelerde bulunur. Buna rağmen mikro ölçekte korozyon hücrelerinin meydana geldiği bu durumda da lineer polarizasyon söz konusu olabilir. Korozyon çalışmalarında elektroda potansiyostatik veya galvanostatik olarak bir dış akım uygulanarak lineer polarizasyon etkili bir şekilde ölçülebilir. Potansiyostat yardımı ile korozyon sisteminin diğer bazı özellikleri de kolaylıkla belirlenebilir. Örneğin çukur oluşma potansiyeli basitçe ölçülebilir. Bu değerleri ölçmek kolay, ancak yorumlamak oldukça zordur. Deney sonuçları yapılmış olan kabuller göz önüne alınarak değerlendirilmelidir.

Elektrokimyasal deneylerde küçük bir numune parçası kullanılarak, korozyon konusunda pek çok bilgi edinilebilir. Ancak çizilen eğrilerin yorumlanması çok dikkatle yapılmalıdır. TABLO -7.1'de korozyon deney metodları çeşitli açılardan birbiri ile karşılaştırılmaktadır.

**TABLO -7.1 KOROZYON DENEY METODLARININ BİRBİRİ İLE
KARŞILAŞTIRILMASI**

Deney Tipi	Güvenirlik Derecesi	Maliyet	Dikkat Edilecek Hususlar
İşletme Deneyleri	Yüksek	Yüksek	Maliyetinin yüksekliği işletme kesikliğinden kaynaklanır. Yan geçiş halinde maliyet daha düşüktür. Takılan parçanın sistemle uyum sağlaması gerekir.
Arazi Deneyleri	Oldukça Yüksek	Düşük	Bir çok numune bir anda deneye alınabilir. Numuneler birbirinden izole edilmelidir. Numuneler sağlam bağlanmalıdır. Numuneleri alırken işletmenin durması gerekebilir.
Laboratuvar Deneyleri	Genellikle Düşük (Karşılaştırma amacıyla kullanılabilir)	Düşük	Ön deney olarak çok elverişlidir. Sistem ile aynı koşulların sağlanması güçtür. Kısa süreli korozyon hızı ölçülerek bu değer ekstrapole edilir. Sistem ile aynı koşu ekstrapole edilir.
Elektrokimyasal Deneyler	Değişken	Düşük cihazlar pahalı	Eğer gerekli önlemler alınabilirse yüksek güvenilirlik sağlanabilir.

Bu tablodaki bilgiler fikir edinmek üzere verilmiş olup, bütün deneyler için geçerli olmayabilir. Çoğu zaman bu deneylerin bir kaç bir arada yapılarak deneylerin birbirini tamamlaması sağlanabilir. Böylece daha güvenli sonuçlara varılabilir.

7.3 ENDÜSTRİDE KOROZYONUN İZLENMESİ

Kimya veya petrokimya fabrikalarında bir korozyon kontrol bölümü bulunmalıdır. Bu bölüm fabrikadaki bütün ekipmanların sağlam şekilde işlemlerinden ve emniyetinden sorumlu tutulmalıdır. Yapılan kontrollerin temel amacı, ekipmanların tasarım sırasında öngörülen ortamlarda bulunup bulunmadığı ve orijinal tasarım parametrelerinin değişip değişmediğini belirlemektir. Ekipmanlarda korozyon sonucu meydana gelen kayıpların, korozyon için mücadele edilen değere ulaşip ulaşmadığı, sıvı taşıyan kapların duvar kalınlıklarının, kabul edilebilir seviyeye erişip erişmediği, çatlama ve aşınma gibi mekanik arızaların ortaya çıkıp çıkmadığı sürekli kontrol altında tutulmalıdır. Böylece tehlikeli bir olaya meydan verilmeden önlem alınmış olur.

Kimyasal üretim yapan tesislerde özellikle kontinü çalışan işletmelerde yapılacak korozyon kontrolleri bir plan dahilinde ve sistematik şekilde yürütülmelidir. Son zamanlarda bir çok kimyasal endüstri bilgisayarlı işletmeye geçmiştir. Bu fabrikalarda her ünitenin durumu belli zaman aralıkları ile ölçülerek otomatik olarak kayıt edilmektedir. Böyle bir işletmede kontrol programı yapılması kolay değildir. Her ünitenin çalışma mekanizması göz önüne alınarak kontrol edilmesi için gerekli ekipmanlar önceden belirlenmeli ve kontrol

programı ünitenin çalışma sistemine uygun olmalıdır. Bunun için uygun bir bilgisayar programı yapılması gerekir. Örneğin bütün ekipmanların en az beş yılda bir kontrol edilmesi kuralı temel alınmalıdır. Yüksek basınç altında çalışan veya şiddetli korozyon ortamında kalan ekipmanların en az yılda bir kontrol edilmesi uygun olur. İlk arızalar büyük bir olasılıkla sıvı akışı ile ilgili ekipmanlarda gözlenir. Kontrol mühendisi bütün ekipmanların geçmişteki durumlarını inceliyerek arızanın başlangıcını yakalayabilir.

Günümüz endüstrisinde kontrol mühendislerinin önemi artmıştır. Bu mühendisler, ekipmanların servise girmesinden, hatta daha öncesinden başlayarak performansını sürekli izler. Kontrol mühendisliği grubunda genellikle çeşitli kollardan teknisyenler bulunur. Bunlar korozyon uzmanı, kimya, makina ve metalurji mühendisleri olabilir. İşletmenin emniyetle ve başarıyla yürütülebilmesi bu grubun vereceği kararlara bağlıdır. Fabrikalardaki kontrol ünitelerinin önemi son yıllarda daha da artmıştır. Kalite kontrolü ve emniyet ile ilgili konularda uzman personel yetiştirilmektedir. Kontrol ve bakım programları bütün kuruluşlar için son derece önemli bir konu haline gelmiştir.

Fabrikada bulunan tüm ekipmanların kontrolleri programlanmış ve programlanmamış olmak üzere iki şekilde yapılabilir.

Programlanmış ve Programlanmamış Kontroller

Programlanmış kontroller önceden belli bir kurala göre periyodik olarak planlanmış, kontrol ve bakım işleridir. Bu plan fabrikanın özel durumu göz önüne alınarak belli bir öncelik sırasına göre, örneğin ünitelerin işletme dışı kaldığı zamanlara ayarlanarak yapılmalıdır. İşletmeyi durdurmadan önce ultrasonik ve radiografik yöntemlerle cihazların durumu önceden belirlenir. Gerekli görülenler işletme durduğu anda değiştirilir.

Her hangi bir ekipmanda arıza belirdiğinde, zaman geçirilmeden gerekli kontroller yapılır. Özellikle yüksek basınçla kontinü olarak çalışan ünitelerde bütün sistemin zarar görmemesi için derhal bakıma alınması gerekir. Burada bakımla ilgili mühendisin tecrübesi ve bütün sistemin çalışma mekanizması hakkındaki bilgisi önem taşır.

7.4 NONDESTRÜKTİF DENEYLER

Korozyonu belirlemek amacıyla kullanılmakta olan nondestrüktif deneyler yedi grup altında toplanabilir.

- (1) Gözle yapılan muayeneler
- (2) Radiografi
- (3) Ultrasonik deneyler
- (4) Eddy Akımı deneyi
- (5) Manyetik partiküllerin izlenmesi
- (6) Termal yöntemler
- (7) Akustik emisyon.

1. Gözle Yapılan Muayeneler

Gözle yapılan muayeneler en eski, en basit ve en ucuz metodlardır. Bu tip muayenelerde söz konusu malzeme çıplak gözle veya bir optik cihaz ile incelenir. Tecrübeli bir teknisyen yüzeyin görünüşünden bir çok önemli sonuç çıkarabilir. Ancak gözle yapılan muayene ile korozyonun penetrasyonu hakkında (yani mm/yıl olarak korozyonun hızı) fikir edinilemez. Fakat oluşan çukurların maksimum derinliği veya yumruların yüksekliği ölçülebilir. Tecrübeli bir göz korozyonun hangi nedenle başlamış olduğunu ve korozyonun cinsini doğru olarak belirleyebilir. Malzeme gözle muayene edilerek, üniform korozyon, çukur korozyonu, stres korozyonu, kaynak metalinin etkisi veya kaynak bölgesinde ısı etkisi ile oluşan korozyon, sıvı-buhar fazı korozyonu, erozyon korozyonu ve kimyasal etkilerle oluşan korozyonları gözle birbirinden ayrılabilir. Eğer malzeme erişilmesi mümkün olmayan bir yerde ise, veya çok küçük olduğundan ayrıntıları çıplak gözle görmek mümkün olmuyorsa, bir optik cihaz yardımı ile muayene yapılabilir. Örneğin boru içi yüzeyleri bükülebilen **fiber optik cihazlar** ile ve **boroskop** yardımıyla incelenebilir.

2. Radyografi (Röntgen Çekimi)

Bu yöntemin korozyon problemlerinin belirlenmesinde beş farklı avantajı vardır :

- * Vana veya boru iç yüzeyleri gibi erişilmesi mümkün olmayan parçaların incelenmesi yapılabilir.
- * Kaplama yapılmış yüzeylerde kaplamayı kaldırmadan alt kısmı incelenebilir.
- * Radyografi ile kalıcı kayıt yapılabilir.
- * Korozyona uğramış bölgelerde nasıl bir etkinin söz konusu olduğu belirlenebilir.
- * Radyografi ölçümlerinin yoğunluk farkından yararlanarak oluşan çukur derinlikleri bulunabilir.

Radyografinin en büyük zorluğu, kontrol edilecek malzemenin her iki yanına da ulaşabilmenin her zaman mümkün olmamasıdır. Radyografi kaynak kalitesini incelemek için en uygun tekniktir. Kaynakta boşluk kalması, veya çatlak bulunması radyografi ile kesin şekilde belirlenebilir. Radyografinin kullanıldığı başlıca yerler şunlardır: Valflerin kontrolü, tıkaçların kontrolü, kolonlar içindeki sıvı yüksekliğinin tayini, dıştan boru içinin kontrolü v.b. Radyografi ile korozyonun ne derece ilerlemiş olduğunu da belirlemek mümkün olabilir. Özellikle çukur tipi ve üniform tipteki korozyonun metal kalınlığını ne derece azalttığı radyografi ile dıştan belirlenebilir. Geometrik faktörler göz önüne alınarak metal kalınlığı ölçülebilir. Metalin orijinal haldeki kalınlığı da biliniyorsa, korozyon sonucu azalan metal kalınlığı bulunabilir.

Alüminyum ve plastikler gibi düşük yoğunlukta olan veya ince kesitli olan malzemeler düşük voltajlı x ışınları ve Yb 169 gibi düşük şiddetli izotoplar ile muayene edilebilir. Yüksek voltajlı x ışınları ve yüksek enerjili izotoplar kalın kesitli ve yüksek yoğunluktaki malzemeler için daha uygun olur.

3. Ultrasonik Deneyler

Günümüzde yalnız korozyon kontrolü amacıyla değil, kalınlık ölçmek, yüzey düzgünlüğünü kontrol etmek veya çatlak kontrolü yapmak amacıyla da ultrasonik ölçüm yöntemi pek çok kullanılmaktadır. Ultrasonik ölçüm cihazları küçük boyutlu olması ve duyarlı sonuçlar elde edilebilmesi nedeniyle arazide çok faydalı şekilde kullanılmaktadır.

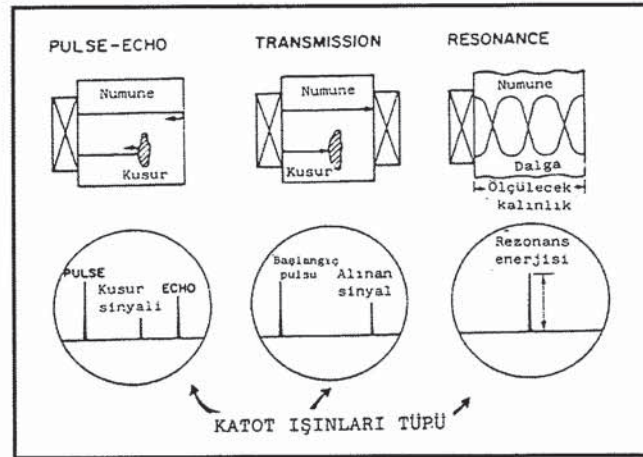
Ultrasonik yöntemle yapılan deneylerin başlıca avantajları şunlardır: Yüksek düzeyde duyarlık, büyük penetrasyon gücü, çok kalın malzemeleri bile muayene edebilme, metal içindeki boşlukları duyarlı olarak belirleme. Modern ultrasonik cihazlarla kalınlık ölçümünde yapılan hata en çok $\pm 0,005$ inç kadardır. Sonuç çok kısa zamanda alınabilmektedir. Yanına erişilebilen bütün yüzeylerde ölçüm yapılabilir. Son zamanlarda $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'e kadar varan yüksek sıcaklıklarda ölçüm yapabilen özel sondalar da geliştirilmiştir. Böylece sıcak ortamda çalışan ekipmanların da kontrolü mümkün olabilmektedir.

Üç çeşit ultrasonik teknik uygulanmaktadır.

- * Pulse-echo tekniği
- * Transmission tekniği
- * Rezonans yöntemi.

Başlangıçta daha çok rezonans yöntemi kullanılıyordu. Son zamanlarda pulse-echo tekniğine dayanan cihazlar daha çok kullanılmaya başlamıştır. Şekil -7. 3

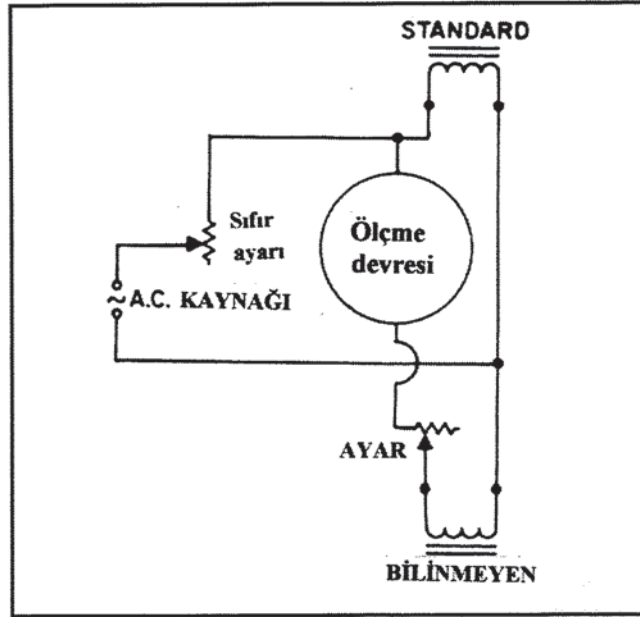
Ultrasonik yöntemin uygulanmayacağı durumlar ise şunlardır: Uygun olmayan geometrik biçim ve boyut, erişilemeyen bölgelerde bulunan cihazlar, üniform olmayan yapı ve boşlukların bulunması, vibrasyon, kaçak akımlar. Ultrasonik tekniğin bir başka kullanma alanı da gaz ve hava kaçaklarının belirlenmesidir. Bu durumda ultrasonik enerji bir dedektör ile izlenir.



Şekil -7.3 Ultrasonik tekniklerin biribiri ile karşılaştırılması

4. Eddy- Akımı Deneyi

Eddy-akımı deneyi, elektromanyetik indüksiyon akımına dayanan oldukça yeni bir deney metodudur. Teorik temelleri basittir. Deneye tabi tutulan parçanın yakınında bir bobinden alternatif akım geçirilir. Böylece deney parçasığı üzerinde bir eddy veya **indüksiyon akımı** oluşturulur. Bu manyetik alan içinde oluşan ikinci akım devresindeki değişimler ölçülür (Şekil -7.4).



Şekil -7.4 Eddy akımı devre şeması

Bu ilkeye dayandırılarak borularda oluşan korozyonu ölçmek için “**probolog**” adı ile bir cihaz geliştirilmiştir. Bu cihaz ile manyetik olmayan metalik borularda meydana gelen çukur, stres ve çatlak tipi korozyonları belirlemek mümkün olabilmektedir.

Eddy akımı yöntemi ile, plastik, boya tabakası veya korozyon ürünlerinin yapmış olduğu kabuk gibi iletken olmayan maddelerin kalınlığı da kolayca ölçülebilmektedir. Örneğin **Turner-Gage** denilen böyle bir cihaz ile kazan borularındaki taşlaşmanın kalınlığı ölçülmektedir. Bu cihaz manyetik malzemelerde kullanılabilmektedir.

5. Sıvı Emdirme ve Manyetik Partiküllerin İzlenmesi

Bir çok halde, metal içinde bulunan çatlakların bir ucu yüzeye açık olduğu halde, bunlar gözle görülemez. Bu çatlaklar, stres korozyonu, yorulma, ezilme, sürtünme v.b. nedenlerle meydana gelebilir. Ferromanyetik özellik gösteren malzemelerde oluşan bu tip çatlakların içine sıvı emdirilerek bu çatlakların yerini ve büyüklüğünü belirlemek mümkündür. Bu sıvı floresan özellikte bir boya olabilir. Çatlaklar içine akarak dolar. Aynı amaçla manyetik özellikte partiküller de kullanılabilir.

6. Termal Yöntemler

Farklı malzemelerden yapılmış karışık yapılı bir ekipmanda bu malzemeler arasındaki bağlantının sağlamlığı büyük önem taşır. Malzemeyi ısıtmak suretiyle bu bağlar etkili şekilde kontrol edilebilir. Malzeme yapısı değişik olması halinde ısı enerjisinin akışında bir kesiklik olacaktır. Sıcaklık değişimi yüzeyden kontrol edilerek ısı akışının kesintili olduğu bölgeler belirlenebilir. Yine ısı etkisi ile çalışan bir kontrol yöntemi de, malzeme yüzeyine ısıya duyarlı bir kaplama yapılarak, bu kaplamanın sıcaklık etkisi ile erimesi veya renk değiştirmesi ilkesine dayanır. Sıcaklığın düşük kaldığı bölgeler, o bölgede çatlak veya bağlantı kopukluğu olduğunu gösterir.

7. Ses Dalgaları ile muayene (Acoustic Emission)

Ahşap malzeme yük altında işitilebilir ses dalgaları (gıcırta) yayar. Buna benzer olarak bir çok yapının yük altında çıkarmış olduğu ses dalgalarını duyarlı bir pikap ile kaydetmek mümkün olabilir. Örneğin depolama taklarının basınç altında nasıl bir tepki göstereceği bu yöntemle incelenebilir.

Genel Amaçlı Deneyler

Tam anlamıyla nondestrüktif olmayan genel amaçlı bir çok deney metodu vardır. Özellikle kaçak kontrolü amacıyla ultrasonik yöntemle çalışan bir çok metod kullanılmaktadır. Bu metodlar helyum kütle spektrometresi, halojenlere duyarlı elektronik detektör, renk indikatörü deneyleri, boya deneyleri, sabun çözeltisi deneyi ve hidrostatik deneylerdir.

Korozyonu belirlemek amacıyla yapılan hidrostatik deneyler, gözle görülecek kesinlikte sonuç verdiği için diğer deney metodlarından daha elverişlidir. Ancak şiddetli korozif ortamda bulunan kaplar veya borular korozyon nedeniyle bir hayli incelmış durumda bulunur. Bunlar hidrostatik deneyde başarılı sonuç vermesine rağmen, işletmeye girdikten kısa bir süre sonra delinir. Diğer taraftan hidrostatik bir deney ile sağlam bir boruyu da tamir olmayacak bir şekilde patlatmak söz konusu olabilir.

Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Kontrol teknisyenlerine bu konuda yapılan kurslarda, çeşitli cihaz ve ekipmanların arızaları hakkında değişik örnekler gösterilmelidir. Bu arızaların hangi boyutlara erişmesi halinde ekipmanın yenisi ile değiştirilmesi gerektiği anlatılmalıdır. Bir çok modern tesiste bu tip kayıt ve işlemler bilgisayar yardımı ile yürütülmektedir. Böyle değilse, teknisyen her parçanın kontrol ve kaydını sistemli olarak rapor etmelidir. Böyle bir raporda şu hususlar bulunmalıdır:

- 1 - Rapor cinsi, tarihi ve numarası
- 2 - Ekipmanın sicil numarası ve bulunduğu yer
- 3 - Ortam koşulları ve basıncı
- 4 - Yapıldığı malzeme cinsi
- 5 - Kontrol edildiği tarih

- 6 - Kontrolü yapan teknisyen
- 7 - Gözlemler
- 8 - Arızanın ne sebeple çıktığı ve ne gibi sonuçlar doğurduğu
- 9 - Alınması gerekli önlemlerle ilgili öneriler
- 10 - Böyle bir olay olması halinde dikkat edilmesi gereken hususlar.

Bu raporlar belli bir listeye uygun olarak bütün ilgili birim ve kişilere dağıtılmalıdır. Ayrıca gerektiğinde yeniden incelenebilecek şekilde dosyalanmalıdır. Arızanın çözümü konusunda yapılmış olan çalışmalar ayrı bir rapor halinde hazırlanabilir. Bu raporda arızanın nasıl ve niçin meydana geldiği, korozyonun hangi nedenlerle oluştuğu, yapılan kontrol deneylerinden elde edilen sonuçlar yazılı hale getirilerek dosyasına konulmalıdır. Bu raporlar, aynı olayın tekrarı sırasında gözden geçirilerek yapılan hataların bir daha yapılması önlenabilir.

7.5 YIPRANMA ANALİZLERİ

Bir malzemenin zamanla eskimek suretiyle veya korozyon sonucu yetersiz hale geldiğinin belirlenmesi büyük önem taşır. Yıpranma analizleri yalnız korozyon olayı söz konusu olduğu zaman değil, bütün normal kontrol aşamalarında yapılmalıdır. Ancak üretimi aksatmamak için bu iş genellikle ihmal edilmektedir. Doğrusu, her ekipmanın ve makina parçasının bir program içinde periyodik olarak yıpranma analizine tabi tutulmasıdır.

Yıpranma analizinde ilk olarak yetersizliğin veya zayıflamanın niçin meydana geldiğinin belirlenmesi gerekir. Bu nedenlerin birikmesi endüstride malzeme seçimi ve ilerde alınacak önlemler için büyük yarar sağlar. Bu nedenle bu kontroller, bilgili ve tecrübeli teknisyenler tarafından yapılarak elde edilen sonuçlar ilerisi için düzgün şekilde dosyalanmalıdır. Bu konuda literatürde de birçok bilgi verilmektedir, ancak arazi uygulamalarında tecrübe çok önemlidir. Yıpranma analizleri yalnız metaller için değil, metal olmayan diğer malzemeler için de yapılmalıdır.

Bir malzeme veya ekipmanın yetersizliğini belirleyebilmek için her şeyden önce, o malzemenin gerçek ve sağlam durumda olanının özelliklerinin iyi bilinmesi gerekir. Kusurlu olan bir malzemenin kullanılması halinde bunun ne gibi sonuç doğuracağı çok iyi tahmin edilmelidir. Her zaman en mükemmel malzemenin kullanılması mümkün olmaz. Ancak kullanılan bütün malzemelerin emniyet bakımından yeterli olması zorunludur.

Orijinal malzemenin ilk arızası genellikle yanlış tasarım sonucu ortaya çıkar. Tasarımı yapanın bir malzemenin söz konusu ortam için uygun olup olmadığı konusunda yeterli bilgisi yoksa, o malzeme vaktinden önce yetersiz hale gelebilir. Metalürjik ve mekanik kusurları tam olarak bilinmeyen malzemeler de vaktinden önce yetersiz kalabilir. Bunların dışında bir malzemenin vaktinden önce yetersiz kalmasının başlıca nedenleri şunlardır: Fabrikada imalat hatası, işletme sırasında korozyona uğrama veya malzemenin kötü kullanılması, uygun olmayan veya yanlış bakım yapılması, işçilik hataları ve en sonunda da Allah'ın takdiri

sonucu malzeme arıza yaparak devre dışı kalabilir. Çoğu zaman bu nedenlerin birkaçı bir arada ortaya çıkabilir.

Bir malzeme, ya aşırı yüklemekten veya korozyon nedeniyle, bazan da bu iki nedenin bir arada etkisi ile yıpranır. Eğer yıpranma korozyon nedeniyle ortaya çıkmış ise, bunu önlemenin şu üç yolu vardır: (1) Malzeme korozyona dayanıklı bir başka malzeme ile değiştirilir, (2) Ortamın korozif özellikleri azaltılmaya çalışılır, (3) Veya söz konusu malzeme boya veya kaplama yapılarak çevresinden izole edilir.

Peryodik olarak yapılan yıpranma analizlerinin amacı, önce olayın nedeninin belirlenmesi, daha sonra da muhtemel arızaları önlemek için önlemlerin alınmasıdır. Çoğu zaman ekipman, çok küçük bir arızadan dolayı devre dışı kalabilir. Arızaların çok büyük bir kısmında sebep, malzeme bozukluğundan çok, yanlış uygulama veya tasarımdan kaynaklanır. Kontrol sırasında küçük bir ipucu yakalanarak muhtemel büyük bir kaza önenebilir. Peryodik olarak yapılan kontrollarda, bir malzemenin kalınlığının azalması veya herhangi bir çatlağın gözlenmesi gibi potansiyel tehlikeler de belirlenerek, bunlar için de önceden tedbir alınabilir.

Bir malzemenin korozyon sonucu eskimesinin değerlendirilmesi oldukça güçtür. Bu konuda tecrübe çok önemlidir. Malzeme ve ekipmanların incelenmesinde yeterli seviyede malzeme ve korozyon bilgisine ihtiyaç vardır. Bir malzemenin ne kadar sürede normal olarak eskiyeceği önceki tecrübelerle bilinmelidir. Bu bilinince, malzeme rutin olarak belli süreler içinde değiştirilir. Bu sürenin belirlenmesinde ekonomik faktörler yanında emniyet faktörü de göz önünde bulundurulur.

Arıza analizlerinin bir ileri aşaması, meydana gelen olayların sebep ve neticelerinin toplanarak biriktirilmesidir. O güne kadar karşılaşılmış olan tipik arızalar örnek olarak saklanmalıdır. Ancak bunların yandı, kırıldı, delindi şeklinde belirtilerek saklanması hiçbir önemi yoktur. Çoğu kez bir makina veya cihazın çok küçük bir parçası arızalandığı için makina stop eder. Bu küçük parça değiştirilir ve makina yeniden çalıştırılır. Bu gibi durumlarda arızalanan parça laboratuvara gönderilerek tam bir incelemeden geçirilmeli ve sonuçlar kayıt edilmelidir.

Büyük arızalarda veya büyük bir parçanın küçük bir kısmının korozyonu halinde, bu parçanın laboratuvara yollanması mümkün olmaz. Örneğin 20 m³ hacminde bir reaktörün kaynak çatlaklarının analizi için laboratuvara gönderilmesi düşünülemez. Bu durumda laboratuvar çalışmaları için küçük bir parça kesilerek çıkartılabilir. Herhangi bir durumda laboratuvar için numune gerekip gerekmediği sorularak, eğer gerekli görülüyorsa, o durumda numune alınmalıdır. Çünkü bir çok modern aletler ile, numune almaya gerek kalmadan arızalanan cihazı yerinde kontrol ederek problemi çözmek mümkün olabilir. Buna rağmen, gelecek için örnek olarak saklamak, yazılacak raporlara belge olarak koymak, mahkemeler için delil olarak vermek, teknik ve ekonomik amaçlarla araştırma yapmak gibi nedenlerle de numune alınması gerekebilir.

Bir çok halde mühendisin arazide acele olarak yaptığı inceleme ile yanlış sonuçlar ortaya çıkabilir. Bu durum tehlikeli sonuçlar doğurabilir. Örneğin, bir ostenitik paslanmaz çelik malzemenin çatlama nedeni ilk bakışta çatlakların su tarafında olması esas alınarak, klorürlü stres korozyonundan ileri geldiği sanılabilir. Ancak çatlaklar mikroskop altında incelendiğinde su tarafında değil, öteki taraftan başladığı ve olayın taneler arası korozyondan ileri gelmiş olduğu anlaşılabılır. Bu olay basit bir problemin bile ne derece karışık olabileceğini gösterir.

7.6 MUAYENE YÖNTEMLERİ

Arızalı bir malzemenin muayenesi için uygulanan bazı teknik yöntemler aşağıda verilmektedir.

Gözle Muayene:

Deneyimli bir teknisyen, arızalı parçayı gözle muayene ederek pek çok faydalı bilgi elde edebilir. Boyutlarda kabarma, şişme veya incelmeye olup olmadığına bakılır. Çürümenin şekli, büyüklüğü ve yapısı bir çok ipucu verebilir. Renk solması veya pas lekeleri korozyonun hangi çeşit olduğu hakkında fikir verebilir.

Gözle muayene, yapılacak olan araştırmanın hangi yönde yapılması gerektiğini de belirler. Araştırma planı bu aşamada yapılmalıdır. Ancak gözle muayene yapılırken yanlışlıkla delil sayılacak bazı belirtileri bozmamaya ve değiştirmemeye özen göstermelidir. Numuneler orijinal durumu ile saklanmalıdır. Daha sonraki araştırmalar için fotoğraf çekilmeli ve bölgenin planı çizilerek saklanmalıdır.

Mikroskopik Muayene :

Korozyona uğrayan malzemelerin metalurjik olarak muayenesinde mikroskop geniş şekilde kullanılır. İlk amaç söz konusu bölgenin büyütülerek ölçekli bir şekilde fotoğrafını almaktır. Stereofotografik teknik ile çok detaylı fotoğraf çekmek mümkündür. **Optik mikroskop (LOM)** kullanılarak inceleme yapılabilir. Ancak bunun için çok özel numuneler hazırlanması gerekir. **Scanning Elektron Mikroskobu (SEM)** arazi çalışmalarında çok kullanılan bir mikroskoptur. Bu mikroskop için numunenin önceden hazırlanması gerekir. **Transmission Elektron Mikroskop (TEM)**, daha fazla büyütme gücü olan bir mikroskoptur. Korozyonla ilgili araştırmalarda bu üç mikroskoptan en yararlı olan SEM tipi mikroskoplardır.

Kimyasal Analizler :

Metal yüzeyinde ve çatlaklar içinde biriken korozyon ürünleri, kimyasal olarak analiz edilerek korozyon sebebi hakkında fikir edinilebilir. Örneğin paslanmaz çelik üzerindeki rüsubat, gümüş nitrat çözeltisi ile titre edilerek korozyonun klorür etkisinden ileri gelip gelmediği ortaya konulabilir. Kimyasal analizler x- ışınları tekniği ile birlikte yürütülerek teşhis kolaylaştırılır.

Arızaların Belirlenmesi İçin Kullanılan Mekanik Deneyler

Malzemenin servis koşullarında çekme, kopma ve yorulma dayanımı deneyleri yapılarak mekanik özellikleri hakkında fikir edinilebilir. Ayrıca sertlik deneyleri ile malzemenin istenilen ısı işlemlere tabi tutulmuş olup olmadığı veya işletme sırasında ısı etkileri bozunup bozunmadığı belirlenebilir. Darbe deneyi malzemenin kırılabilirliği hakkında fikir verir. Bütün bu deneyler için hazırlanan numuneler çoğu kez standard metodlarda verilen normal boyutlarından daha küçük olur. Bu nedenle elde edilen deney sonuçları ancak fikir edinmek amacıyla kullanılabilir.

Kırma Deneyleri :

Kırma deneyleri ile de bir malzemede meydana gelen arızanın nedeni belirlenebilir. Kırılan yüzeyin biçimi, arıza hakkında önemli ipuçları verir. Eğer çatlakların orijini yerel bir durum gösteriyorsa, bu durumda arızayı belirlemek kolaydır. Çatlakların birbiri ile birleşik veya ayrı olarak meydana gelmiş olmaları hali de, malzemenin işletme koşullarındaki davranışı hakkında fikir verebilir.

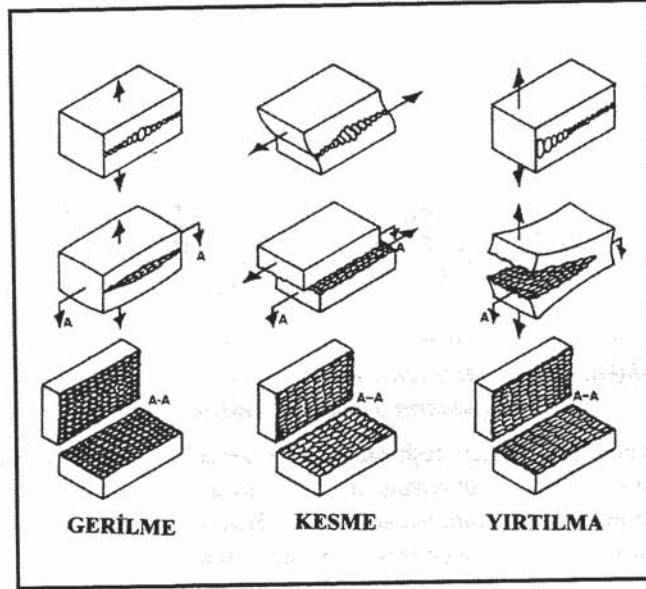
Korozyona uğramış bir makina parçası incelendiğinde bunun ne kadar sürede oluştuğunu belirlemek kolay değildir. Kırılmış yüzeyin yapısı bazı ip uçları verebilir. Yüzeyde lif gibi uzunlamasına bir yapışma meydana gelmiş ise, bu durum arızanın çekme gerilmesi sonucu oluştuğunu gösterir. Eğer yüzeyde parlak kristaller görülüyorsa, bu kırılabilirlik etkisi ile oluşan arızayı ifade eder. Bir çok kırık yüzeyde heterojen bir yapı gözlenir. Bu ise, çekme ve kırılma etkileri arasında bir arızanın sonucudur. Bu durumda ayrıntılı bir sonuca varmak oldukça zordur. Kırık yüzeyleri incelemek üzere standard optik mikroskoplar kullanılır. Ancak yüzey çok engebeli ve mikroskobun ayarı sınırlı olduğundan elde edilen sonuç cesaret kırıcı olabilir. Güvenilir sonuçlar ancak SEM tipi mikroskop kullanılarak elde edilebilir.

Bir kırık yüzeyin biçimi ve yapısı çoğu zaman kırma şekline bağlıdır. Malzeme değişik kuvvetlerin etkisi ile değişik biçimlerde kırılabilir. Şekil -7.5'de çok raslanan üç ayrı tipte gerilme, kesme ve yırtılma etkisi ile meydana gelen kırılmalar şematik olarak görülmektedir.

Bütün hallerde kırılma yüzeyinde mikro boşluklar bulunur. Bunlar eksenel doğrultuda çukurcuklar halindedir. Kesme ve yırtılma halinde bu çukurcuklar çekme kuvvetleri doğrultusunda uzamış haldedir. Kesme halinde, her iki yüzeyde oluşan bu çukurcuklar birbirine ters yönde uzamış durumda bulunur. Buna karşılık, yırtılma etkisi ile ayrılan yüzeylerde aynı yönde uzama olduğu görülür.

Yorulma etkisi ile çizgi şeklinde çıkıntılar oluşmuş, ancak kopma, gerilme sonucu meydana gelmiş bulunmaktadır. Çekme kuvveti etkisi ile kırılma sonucu, çekme yönüne dik bir yüzey oluşur. Yarıma, uzama ile kopma veya kırılarak kopma durumunda da buna benzer bir yüzey elde edilir.

Kesme etkisi ile kırılma halinde, kopma yüzeyi plan doğrultusundadır. Burulma şeklindeki yorulma sonucu kopmalarda da, plan doğrultusunda bir kırılma yüzeyi oluşur.

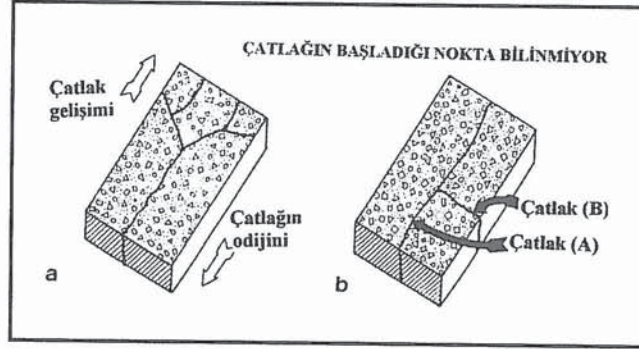


Şekil -7.5 Tipik kırılma kesitleri

Kopma ve kırılmalardan başka, çatlakların incelenmesi ile de, bazı bilgiler elde edilebilir. Bir plaka veya levhada meydana gelen bir çatlak, kısa zamanda kollara ayrılarak dağılır. Fakat hiç bir zaman diğer bir çatlak ile birleşmez. Yalnız başına devam eder. Eğer bir çatlağın yolu üzerinde daha önce oluşmuş başka bir çatlak varsa, bu çatlakla 90° açı ile dik olarak kesişir. Çatlak bu kesişme noktasından sonra daha öteye doğru yürümez. Bu görüşler çatlakların değerlendirilmesi açısından çok önemlidir. Şekil -7.6'da tipik çatlaklar görülmektedir. (a)'da çatlağın oluşum sırasındaki yönü ile dallara ayrılarak ilerleme yönünün birbirine ters yönde oldukları görülmektedir. (b)'de ise (B) çatlağı, daha önce mevcut olan (A) çatlağı ile 90° 'lik dik bir açıyla kesişmektedir. Burada ilk oluşan çatlağın (A) olduğu birleşme noktasından sonra da devam etmesinden anlaşılmaktadır. Böyle (T) biçimli kesişme çatlakların orijinin araştırılmasında ipucu verir.

Kırılma kesiti genellikle aşırı yüklemenin olduğu yerde, veya ona yakın bir kesitte görülür. Düktil malzemelerde aşırı yüklemenin olduğu bölge deformasyona uğrar. Diğer bölgelerde hiç bir bozulma gözlenmez.

Kırılma yüzeylerinin yapı biçimleri ve bunların yorumlanması burada basitleştirilerek ele alınmıştır. Bunların gerçekte daha karışık şekilde kendini gösterdiği gözden uzak tutulmamalıdır. Bu nedenle yüzey yapısının istatistiksel bir yöntemle değerlendirilmesi gerekebilir. Örneğin, çekme dayanımı deneyine tabi tutulmuş bir numune çok yüzeyli olarak kırılabilir. Kırılma yüzeyinde hem çukurlar, hem de koni biçimli oyuklar yanyana bulunabilir genellikle 45° açı ile oluşan konik oyuklar kesme gerilmesi sonucu meydana gelir.



Şekil -7.6 Çatlakların yapısını incelenmesi, a) Çatlağın kollara ayrılarak uzaması b) Çatlakların T şeklinde kesişmesi

Arıza kontrollerinin asıl amacı, teşhisden sonra gerekli tedaviyi önermektir. Bir çok arızanın giderilmesi için kolay ve uygulanabilir bir öneri getirmek mümkün olmaz. Araştırmacı elde bulunan bilgilerle tam bir yorum yapamayabilir. Bunun için bütün olayı ve eski arızaları bir arada inceliyerek geniş şekilde araştırma yapılması gerekir.

Alınacak Önlemler

Malzemenin arızalanmasına, eğer insan hataları veya korozyon olayı neden olmuş ise yapılacak ilk iş bu olayın yeniden tekrar etmesini önleyecek tedbirlerin alınmasıdır. Bu önlemler ancak eğitilmiş personel ile alınabilir. Her şeyden önce olaya doğru teşhis konulması ve gerekli malzemelerin yetkili personel tarafından değiştirilmesi gerekir. Bu da ancak o konuda tecrübesi olan personel tarafından yapılabilir.

Çoğu kez etkili bir çözüm için gerekli malzeme elde mevcut olmayabilir. Örneğin bir kimya fabrikasında mutlaka 304 L paslanmaz çelik kullanılması gerektiği halde bu çelik depoda mevcut değilse, cihazı stop ettirmemek için bir başka malzemenin kullanılması zorunlu olabilir. Diğer bir örnek, deniz suyu içinde kullanılacak olan arsenik ile inhibe edilmiş bronz yerine eğer o mevcut değilse, adi sarı metal kullanılabilir. Bu durumda istenilen sonuç elde edilemez. Böyle uygun olmayan bir önlem alınması halinde, ilave olarak şu önlemlerin de alınması gerekir: Bu geçici tedbirin ortaya çıkardığı sorunlar giderilmelidir. Projede gerekli değişiklikler yapılmalıdır. Yeni ve başka bir arızanın çıkıp çıkmadığı araştırılmalıdır.

Bu konuda çalışan mühendisler önemli bir noktayı hatırlatmak isteriz. Kaza ve arızalar sonunda elde edilen fiziksel deliller derhal ilgili makamlara bildirilmelidir. Başlangıçta elde edilen olayla ilgili ipuçları kısa sürede kaybolur. Kırılan parçalar adliye binalarının rutubetli depolarında birkaç ay veya yıl beklemesi halinde artık hiçbir sonuca ulaşmak mümkün olmaz.

7.7 STANDART VE ŞARTNAMELER

Standart ve şartnameler tüketiciyi korumak amacı ile hazırlanır. Bunlar endüstrinin her kesimindeki günlük kontrolleri kapsar. Malzeme özellikleri ile ilgili standartlar, kullanılacak en uygun malzemenin seçimini sağlar. Projelendirme için hazırlanmış şartnameler fabrikaların

emniyetle çalışmasını sağlayacak kuralları kapsar. Daha fabrika kurulurken, işletme, bakım, kontrol, sigorta ve emniyetle ilgili bütün teknik şartnameler önceden hazırlanır. Bu şartnameler emniyetli ve kullanışlı olma genel ilkelerine dayanır. Bunların dışında tesiste yapılacak bütün işlerin yürütülmesi ile ilgili özel teknik şartnameler hazırlanır. Örneğin, taşıt araçları, sıcak su kazanları, boru kaplamaları, elektrik kabloları ve boya işlerine ait özel teknik şartnamelerin hazırlanması gerekir.

Teknik Kurallar

ASME tarafından hazırlanmış olan “**Kazanlar ve Basınçlı Kaplara Ait Kurallar**” teknik şartnamesinde aşağıdaki konular yer almıştır.

- 1- Termik santral kazanları
- 2- Malzeme şartnameleri
- 3- Nükleer madde taşıyan kaplar
- 4- Düşük basınçlı sıcak su kazanları
- 5- Non destrüktif muayeneler
- 6- Sıcak su kazanlarının işletme kuralları
- 7- Buhar kazanlarının işletme kuralları
- 8- Basınçlı kaplar
- 9- Kaynak ve lehim standartları
- 10- Fiberglastan yapılmış basınçlı kaplar

1905 yılında Massachusetts’de bir lastik fabrikasının buhar kazanında meydana gelen patlamada 58 kişi ölmüştür. Bu korkunç kazadan sonra A.B.D’de basınçlı kapların yapım ve işletmesi ile ilgili kurallar yasallaştırılmıştır. Daha önce açıklandığı üzere kazan besleme suları kimyasal olarak önceden arıtılmaktadır. Basınçlı kaplar için su arıtılması ile ilgili limit değerler daha da sınırlıdır. Buna benzer olarak, daha bir çok konuya standart ve kural konulmuştur. Ne yazık ki, her enstitü veya kuruluş aynı konuda farklı bir standart hazırlamıştır. Böyle olunca basınçlı kapların üretimi güçleşmiştir. ASME bu karışıklığı önlemek üzere bir komite taplayarak, buhar kazanları ve diğer basınçlı kaplar için A.B.D’de bütün imalatçı ve kullanıcıların uyması gereken bir standart hazırlatmıştır.

Bu standart başlıca şu dört hususta bağlayıcı hüküm getirmiştir :

Basınçlı kapların tasarımı ve üretimi için onay zorunluğu vardır.

Bütün basınçlı kap üreticileri emniyet standartlarına mutlaka uymak zorundadır.

Her üretim tesisinde mutlaka bir kalite kontrol servisi kurulacaktır.

Bütün üreticiler ulusal kazan ve basınçlı kaplar üretim birliğine kayıt olarak sicil almak zorundadır. Bir üretici imal etmiş olduğu cihazın bütün bu kurallara uygun olarak yapılmış olduğunu belgelemek üzere bu kuruluşlardan uygunluk belgesi almak zorundadır.

Emniyet İle İlgili Standartlar

Emniyet ile ilgili standartlarda aşağıdaki hükümler bulunur.

Organizasyon :

Organizasyon, kalite kontrol müdürü başkanlığında, yetki ve sorumlulukları belirlenmiş bir heyet tarafından gerçekleştirilir.

Tasarım Şartnamesi :

Tasarım hesapları ilgili bakanlık teknisyenleri tarafından incelenmiş ve kabul edilmiş olmalıdır.

Malzemelerin Kontrolü ve Temini :

Basınçlı kapların yapımında kullanılmış olan bütün malzemeler ilgili standartlara uygun olmalıdır. Malzeme özellikleri deneysel olarak kontrol edilmeli ve standartlara uygunluğu doğrulanmalıdır. Standartlara uymayan malzemeler kullanılmamalıdır.

Proses Kontrol :

Tesisin akış şeması hazırlanarak, herbir işlemin doğruluğu belirlenmeli ve bunlar ilgili kuruluşlara tasdik ettirilmelidir.

Düzeltilmeler :

Standartlara uygun olmayan malzemeler ya düzeltilmeli ya da standarda uygun malzeme ile değiştirilmelidir. Bunun için önceden ilgili kuruluşların görüşü alınmalıdır.

Kaynak Kalitesi:

Basınçlı kaplarda kaynak kalitesi en önemli konuyu oluşturur. Burada üç parametrenin tam olarak kontrolü gerekir: (1) Kaynakçının yeteneği, (2) Kaynak tasarımının uygunluğu, (3) Kaynak yerlerinin ultrasonik veya radyografik yöntemlerle kontrol edilerek standartlara uygunluğunun sağlanması.

Isıl İşlemler :

Basınçlı kapların ısıl işlemlerinde sıcaklık, fırın tipi, ısıtma ve soğutma süreleri ve işlemlerin yürütme şekli şartnamelere uymalıdır.

Deney Cihazları :

Deney cihazlarının özellikleri ve fabrikasyonu standartlara uygun olmalıdır.

Dökümantasyon :

Bütün belgeler özenle dosyalanmalıdır. Bu belgelerde kaynak işlemleri, tasarım hesapları, kaynakçının eğitim durumu ve sertifikası, malzeme özellikleri, deney yöntem ve sonuçları kaydedilmiş olmalıdır.

Kayıtların Denetimi ve Saklanması :

Üreticiler bütün kayıtları ve proje bilgilerini makul bir süre saklamak zorundadır. Bunlar zaman zaman denetime açık tutulmalıdır. Eğer bir revizyon gerekiyorsa, bu kayıtlar gözden geçirilmelidir.

Teknik Şartname ve Standartlar

Bir basınçlı kabın montajı sırasında imalatçısına haber verilerek ondan gerekli bilgiler alınmalıdır. Bu bilgiler esas olarak söz konusu kuruluşun uygulayacağı prosese uygun olarak, kabul edilebilir korozyon hızının tayininde kullanılır. Kullanıcı prosesi ile ilgili bütün ayrıntılarını açıklamak zorunda değildir. Ancak ekipmanın zarar görmeyeceği bir kimyasal ortamda kullanılması gerekir. Eğer böyle olması gerekiyorsa, daha kapsamlı korozyon deneyleri de yapılmalıdır. Bu aşamadaki işler kullanıcısının sorumluluğu altındadır. İmalatçı, tasarımın ve kullandığı malzemenin sorumluluğunu taşır. Bunların ilgili kuruluşlarca onaylanması imalatçıya aittir.

Bir çok büyük kuruluşun geliştirme ve bakım işleri içinde belli bir teknik standardı vardır. Bu standartlarda sık sık değiştirilmesi gereken parçaların tasarımı, emniyet amacıyla alınan önlemler ve fabrikanın özel organizasyonu ile ilgili konular bulunur. Teknik şartnameler, ilgili mühendislik grupları tarafından sürekli olarak gözden geçirilmeli ve geliştirilmelidir.

Şartnamelerin Uygulanması

Kurallar, şartnameler ve standartlar işletmenin verimini artırıcı rol oynar, ancak en önemli etkisi emniyet konusunda görülür. Bunlar zorunlu olarak uyulması gereken kurallardır. Endüstrinin sağlıklı şekilde gelişmesini sağlamak için bu resmi zorlama şart olmaktadır. Bunların dışında bazı büyük kuruluşların içinde de kendi kontrol daireleri bulunmaktadır. Bunlar şirket tarafından görevlendirilmiş teknisyenlerdir. Her konuda karar verme yetki ve sorumluluğunu taşırlar. Basınçlı kapların kritik durumlarda taşıdığı tehlike konusunda bilgi ve broşürler hazırlayıp işçilerini eğitirler.

Kullanıcının Rolü

Bütün büyük kimya fabrikalarında, standartların o fabrikaya nasıl uygulanacağı ayrıntılı olarak düzenlenmelidir. Korozyon konusunda bilinçli olan işverenler bu konuda alınacak önlemleri ayrıntıları ile belirler. Bir çok kaza, unutulmuş ufak bir noktadan veya ihmalden çoğu kez bilgisizlikten kaynaklanmaktadır. Bu işler kesinlikle yasak savmak kabilinden yapılmamalıdır.

Malzeme Teknik Şartnameleri

Bir çok büyük endüstriyel kuruluş hazırlamış oldukları teknik şartnameler ile paslanmaz çelik gibi korozyona dayanıklı bir çok malzemeyi satın alır. Böylece satın alınmış olan malzemelerin belli bir kaliteyi sağlaması amaçlanır. Bu siparişlere teklif veren üretici de, söz konusu malzemeyi temin edip edemeyeceğini açık şekilde anlayabilir.

Satın alınacak malzemelerin istenilen özelliklere tam uyup uymadığı dikkatle incelenmelidir. Kimyasal bileşimi ve mekanik özelliklerinin teknik şartnameye tam olarak

uyduğu kontrol edilmelidir. Korozyon dayanıklılığı bazı halde malzemenin imalatı sırasında izlenen yola da bağlı olabilir. Veya imalat sırasında özel bir malzemenin kullanılması gerekebilir. Malzeme seçiminde fiyat en önemli faktördür, ancak istenen bütün şartlara uygunluk sağlanmış ise bu geçerli olabilir.

7.8 KOROZYON MÜHENDİSLİĞİ VE EMNİYET

Korozyon mühendisliğinin temel görevlerinin başında emniyeti sağlamak gelir. Ancak emniyetin yalnızca korozyon mühendislerinin sorumluluğuna bırakılması doğru değildir. Bütün diğer mühendisler kendi konularında emniyet standartlarına tam olarak uymalıdır. Arazide olsun, laboratuvarında olsun her konuda çalışan mühendis emniyet ile ilgili standartlara aynı yaklaşım içinde olmalıdır. Ancak korozyon mühendisleri, diğer mühendislerden farklı olarak konuyu rutin görev olarak üstlenir.

Bu bölümde korozyon mühendisinin emniyet ile ilgili işleri üç ana grupta incelenecektir:

- (1) Korozyon laboratuvarlarında emniyet
- (2) Tasarım ile ilgili emniyet işleri
- (3) Tesisin kontrolü sırasındaki emniyet.

Laboratuvarında Emniyet Önlemleri

Korozyon laboratuvarlarında emniyet önlemleri genellikle hafife alınmaktadır. En azından tehlikeli bir kaza oluncaya kadar ciddi bir önlem alınmamaktadır. Laboratuvarında meydana gelen kazalar binayı yıkacak düzeyde değildir. Çalışan kişi veya kişileri yaralar veya öldürebilir. Laboratuvardaki emniyet kuralları teknisyenlere okullarda öğretilmemektedir. Özellikle tecrübesiz laborant ve teknisyenler tehlikeden habersiz görünmektedirler. Bu personele öğüt vererek değil göstererek anlatmak gerekmektedir.

Korozyon laboratuvarlarında emniyet amacıyla alınacak bütün önlem ve hazırlıklar önceden belirlenmelidir. Korozyon konusunda değişik disiplinde mühendisler çalışır. Bunların çoğu kimyasal maddelerle daha önce hiç uğraşmamıştır. Bu mühendisler için kimyasal maddelerin kullanılması ile ilgili ayrıntılı bilgiler veren el kitapları hazırlanmalıdır. Bu el kitaplarında bütün laboratuvar işlemlerinde asitler, hidrokarbonlar, koroziv ve zehirli gazlar ve elektrik kaçakları ile ilgili kazalara karşı nasıl önlem alınacağı bulunmalıdır. Koroziv ve tehlikeli ortamlarda tecrübesiz kişiler çalıştırılmamalıdır.

Tasarımda Emniyet Önlemleri

Tesisin emniyetle çalışmasına, tasarımcının büyük katkısı olur. Korozyon mühendisinin temel amacı bütün sistemin çevresi ile uyum içinde çalışmasını sağlamaktır. Bunun için yapılacak ilk iş, tasarım sırasında en uygun malzemeyi, en iyi biçimde kullanarak emniyeti maksimum düzeye çıkarmaktır. En iyisi, projenin bütün aşamalarında bir korozyon uzmanının kontrol ve onayının alınmasıdır. Bu korozyon uzmanının, korozyonla ilgili bütün standard ve kuralları, çeşitli ortamlarda müsaade edilebilecek minimum korozyon paylarını bilmesi

gerekir. Böylece bütün malzemelerin, muhtemel tehlikeli durumlara karşı dayanıklı olması garanti altına alınmış olur.

İşletmede Emniyet Önlemleri

İşletmede korozyon kontrolü yapan işçi veya teknisyen her an bir tehlike altında bulunur. Kimya endüstrisinde depoların içinin kontrolü amacıyla içine girilmesi, damıtma kulelerinin tepesine tırmanılması veya boruların üzerinden yürünmesi gibi zorunlu olarak yapılması gereken kontroller vardır. Bunun için yalnız iyi bir uzman olmak yeterli olmayıp, aynı zamanda fiziksel olarak böyle bir görevi yapabilecek güçte teknisyenler gerekir. Kazanın içine veya ocağın altına girmek veya merdivenle 40-50 m tırmanmak bazen zorunlu hale gelebilir. Bu amaçlar için uygun bir teknisyenin yetiştirilmesi emniyet açısından yararlıdır.

Korozyon kontrolü işi ile uğraşanlar sürekli olarak bir kaza ihtimaline karşı hazırlıklı olmalıdırlar. Bu personel işletmenin her ünitesini normal teknik personel kadar yakından tanımalıdır. Bir çok endüstride bu gibi işlerin nasıl yapılacağı tecrübelerle dayanılarak yazılı belgeler haline getirilmiştir. Örneğin bir tankın içine nasıl girileceği kurallara bağlanmıştır. Bu konuda meydana gelen kaza veya kontrol raporları ve alınmış olan yeni önlemler her yıl bu belgelere ilave edilebilir. Bu belgede başlıca aşağıdaki bilgiler bulunmalıdır.

1-Tanımlar: Mevcut bütün tankların, depoların giriş ve çıkış ağzları, açıp-kapama usulleri tanımlanmalıdır. Bu işlemlerde sorumluluğun kime ait olduğu belirlenmelidir.

2-Sorumluluk: Sorumluluk öncelikle işletme müdürünün üzerindedir. Ancak kontrol işlerini yürüten ünitenin amiri emniyetten sorumludur.

3-Girme izni ve giriş hazırlığı: İşe başlamadan önce çalışacak olan personel için tehlikeli hususlar belirlenmeli ve herhangi bir kaza anında onun nasıl kurtarılacağı planlanmış olmalıdır. Bundan sonra tankın veya kazanın içine giriş için yetkili kişiden yazılı ve imzalı bir giriş izin belgesi alınmalıdır. Tankın veya kazanın içine girmeden önce aşağıdaki şartların mutlaka yerine getirilmiş olması gerekir. Ventilasyon, elektriklerin kapatılması, kapakların kilitlenmemesi için önlem v.b. Aynı anda kaç kişinin içeri girebileceği ve ne kadar süre içerde kalacakları açıkça bilinmelidir. Kurtarma gerekirse bunu kimlerin ve nasıl yapacağı daha önce belirlenmelidir. Yapılan organizasyonda bütün ayrıntılar bulunmalıdır. Örneğin 60 kg'lık bir kişiyi kurtarmak kolaydır, ancak 110 kg'lık bir kişi için özel önlem alınmalıdır. Bütün personelin giyimleri ve kurtarmada kullanılacak ekipmanlar önceden hazırlanmalıdır.

4-Genel Kurallar: Kontrol ekibi tam bir işbirliği içinde çalışmalıdır. Havalandırma için önlem alınmalı ve aydınlanma oksijen harcıyacağı için lamba ile değil, cep feneri kullanılarak yapılmalıdır. Dar bölgelerde patlayıcı veya ısı yayıcı maddeler çıkıyorsa bunlar için korunma önlemleri alınmalıdır. Deney ortamı sürekli olarak havalandırılmalı ve oksijen düzeyi kontrol edilmelidir. Çeşitli kurtarma ekipmanları hazır bulundurulmalıdır. Elektrikli aydınlatma ekipmanları düşük voltajlı veya expurif olmalıdır. Deneyde kullanılacak aletler daha önce denenmiş ve ayarlanmış olmalıdır.

Radyoizotop ve x ışınları ile yapılan deneylerde deneyi yapan kişinin bunlardan zarar görmemesi için özel önlemler alınmalıdır. Bu işte çalışan bütün personel mutlaka dozimetre

taşınmalıdır. Deney sırasında radyasyonun etkili olduğu bölge işaretlenmeli ve bu bölgeye girilmesi yasaklanmalıdır. Radyasyonun duvarların ötesine de geçeceği gözden uzak tutulmamalıdır. Laboratuvarlarda kullanılan radyoizotoplar genellikle düşük dozlu ve etki alanları çok azdır. Bunlar ancak nefes yoluyla vücuda girerse zararlı olabilir. Böyle de olsa yine de bütün önlemlerin alınması gerekir.

Kontrol sırasında gerekli bütün önlemler alınmış olduğu halde yine de kaza olabilir. Böyle bir durum meydana geldiğinde olayı küçümsemekten ve yanlış anlama ihtimaline meydan vermeden, o kişi hemen işi bırakarak tedavi edilmelidir. Tedavi için deneylerin tamamlanması beklenmemelidir.

Kaza geliyorum demez, önceden kazayı görebilmek hemen hemen imkansızdır. Ancak kaza olduktan sonra buna mantıklı bir açıklama daima bulunabilir. O halde daha önceki kazalardan ders alınarak kaza ihtimali minimuma indirilebilir. Emniyet konusu bir çoğumuz için tatsız ve sıkıntı verici bir konudur. Tekrar tekrar hatırlatılarak şuurla altına yerleşmesi sağlanabilir. Askeri disipline benzer yöntemler uygulanarak zorunlu uygulanan kurallar halinde bütün çalışanlara kabul ettirilebilir.

Tehlikeli Maddelerin Taşınması ve Depolanması

Bir çok kimyasal maddenin uzak yerlere taşınması ve depolanması gerekir. Yanıcı, yakıcı ve patlayıcı özelliği olan bu maddeler taşıma sırasında uygun kaplara konulmalı, sıcaklık ve benzeri çevre koşullarından zarar görmeyecek şekilde önlem alınmalıdır. Kimya endüstrisinde asit taşıyan tankerlerden herhangi bir kaza anında etrafa saçılan asitlerin nasıl nötralize edileceği önceden planlanmalıdır. Örneğin sıvı haldeki klorun zararlı etkisine karşı derişik sodyum hidroksit çözeltisi hazır halde bekletilmelidir.

Kazalarda çıkacak yangına karşı da hazırlıklı olmak gerekir. Yangına en iyi müdahale köpük sıkılarak yapılabilir. Çeşitli zehirli maddelerin etrafa yayılması için de emici maddeler hazır bulundurulur.

BÖLÜM - 8

BOYALAR VE UYGULAMALARI

Korozyonu önlemek için kullanılan en basit yöntem, geçirimsiz bir kaplama yapılarak metal yüzeyi ile çevrenin temasını kesmektir. Ekonomik olması nedeniyle bu koruma yöntemi pratikte geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Bu amaçla çok sayıda boya cinsleri geliştirilmiştir. Bunların kimyasal bileşimleri ve fiziksel özellikleri birbirinden farklı olmakla beraber, hepsinde ortak olan husus, sağlam bir kabuk oluşturarak metali koroziif etkilerden korumaktır.

8.1. BOYALARIN GÖREVİ

Boyalar korozyonu önleme görevini üç şekilde yerine getirir.

Bütün boyalar, metal yüzeyi ile çevre arasında geçirimsiz bir tabaka oluşturarak metalin çevre ile temasını önler. Böylece metalin çevresi ile reaksiyona girmesi önlenmiş olur.

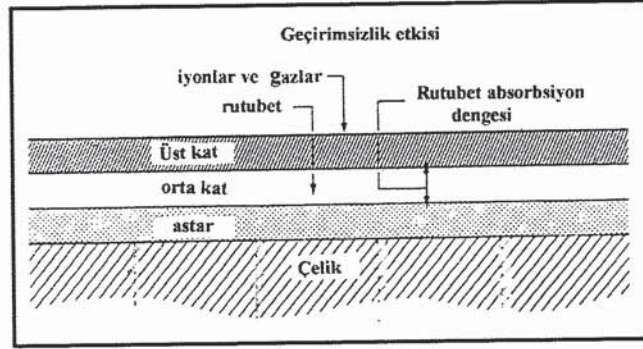
Bazı boyalar içinde inhibitör etkisi yapan pigmentler bulunur. Bunlar metal yüzeyinin pasifleşmesine ve korozyon hızının azalmasına neden olurlar.

Bazı boyalar içinde dolgu maddesi olarak çinko tozu bulunur. Çinko galvanik etki yaparak metali katodik olarak korur.

Geçirimsizlik :

Boyalar metal yüzeyinde geçirimsiz bir tabaka oluşturarak ,metalın çevresi ile temasını önler.Boyaların koruma görevlerinin temeli geçirimsizlik ilkesine dayanır.Boya tabakasının, oksijen,su buharı, karbon dioksit ve korozyona neden olan diğer bileşenleri geçirmemesi gerekir. Korozyon açısından bunlardan en önemlisi sudur. Su molekülleri dipol özellikleri nedeniyle boya kabuğunu oluşturan organik bileşiklerin molekülleri arasından geçerek metal yüzeyine ulaşabilir veya boya tabakası tarafından absorbe edilir. Kuruma halinde bu su molekülleri buharlaşarak tekrar dışarı atılır. Peryodik olarak ıslanma ve kuruma söz konusu olduğunda, boya tabakasında gevşeme, yumuşama ve kabarma meydana gelebilir. Bu nedenle boya tabakasının su absorpsiyon kapasitesinin mümkün olduğunca düşük olması istenir.

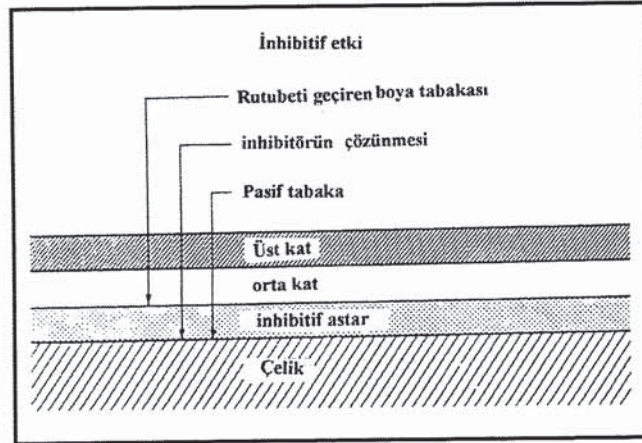
Boyalar genellikle üç tabaka halinde uygulanır. Metal yüzeyine uygulanan astar tabakasının görevi yapışmayı sağlamaktır. Orta tabaka boyanın dayanım gücünü artırır ve su geçirimsizliğinde önemli rol oynar. Üst kat ise, gaz ve su buharı geçirimsizliğini sağlar ayrıca, dış etkilere karşı boya tabakasını korur (Şekil -8.1).



Şekil -8.1 Boya tabakasının geçirimsizlik etkisi

İnhibitif Etki :

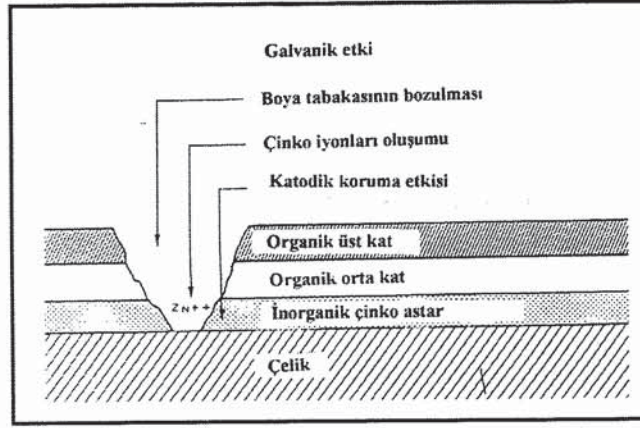
Astar tabakası bileşiminde inhibitör etkisi yapabilen pigmentlerin bulunması halinde metal yüzeyi zamanla pasifleşir. Üst kat ve orta kat boya tabakalarını geçerek metal yüzeyine doğru giden su, astar tabakası içinde bulunan inhibitörü çözerek metal yüzeyinin pasifleşmesini sağlar (Şekil -8.2).



Şekil -8.2 Boya tabakasının inhibitif etkisi

Galvanik Etki :

Çinko tozu içeren boyalar, galvanik etki ile metali katodik olarak da korurlar. Çinko, demire göre daha aktif bir metal olup, anot olarak rol oynar. Boya tabakası herhangi bir nedenle çatlayacak veya delinecek olursa, o noktada bir çinko-demir pili oluşur. Demir katot olacağından korozyona uğramaz. Çinko metali ise iyon haline geçer. Şekil -8.3 Boya tabakasının galvanik etki gösterebilmesi için, boya bileşiminde yüksek oranda çinko tozu bulunması ve iletken özellik göstermesi gerekir. Bu özellikleri nedeniyle çinko tozlu boyalar daha çok astar tabakası olarak kullanılır.



Şekil -8.3 Boya tabakasının galvanik koruma etkisi

8.2. BOYALARIN KABUK OLUŞTURMA MEKANİZMASI

Boyalar bileşimlerinde bulunan bağlayıcı reçinenin cinsine göre isim alırlar. Bu reçineler, boya uygulandıktan kısa bir süre sonra sertleşek kabuk oluştururlar. Kabuk oluşturma mekanizmasına göre boyalar üç ana grupta toplanabilir.

Solvent buharlaşması yoluyla kabuk oluşturan boyalar

Hava oksijeni ile birleşerek kabuk oluşturan boyalar

Polimerizasyon veya kondensasyon reaksiyonları ile kabuk oluşturan boyalar

Bu gruplara ait boya cinsleri Tablo -8.1'de verilmektedir.

TABLO -8. 1 KABUK OLUŞTURMA MEKANİZMASINA GÖRE BOYALARIN SINIFLANDIRILMASI

KABUK OLUŞTURMA MEKANİZMASI	BOYA CİNSİ
Hava oksijeni ile reaksiyona girerek kabuk oluşturan boyalar	1- Yağlı boya 2- Alkit boya 3- Vinil alkit 4- Epoksi ester 5- Silikon alkit
Solvent buharlaşması yoluyla kabuk oluşturan boyalar	1- Nitro sellüloz 2-Akrilik polimerler 3- PVC + PVA 4- Klor kauçuk 5- Asfalt ve zift
Bir kimyasal reaksiyon ile kabuk oluşturan boyalar	1- Epoksi 2- Coal tar epoksi 3- Poliüretan 4- Poliester 5- Silikon

Hava Oksijeni ile Reaksiyona Girerek Kabuk Oluşturan Boyalar :

Bu tip boyalara en iyi örnek bezir yağı ile üretilen adi yağlı boyalardır. Bezir yağı içinde doymamış yağ asitleri ile gliserinin oluşturduğu esterler yani trigliseritler bulunur. Bu esterler normal sıcaklıklarda hava oksijeni ile birleşerek sertleşirler. Reaksiyon hızları oldukça yavaştır. Bu nedenle katalitik etki yapan bazı bileşenlerin de katılması gerekir.

Solvent Buharlaşması Yoluyla Kabuk Oluşturan Boyalar

Bazı reçineler uygun bir solvent içinde çözülerek doğrudan boya olarak kullanılabilir. Boya tabakası yüzeye uygulandıktan sonra yağ boya içindeki solvent buharlaşır, reçine katı bir kabuk halinde kalır. Nitro sellüloz, vinil asetat, sellüloz asetat gibi termoplastik özellik gösteren bir çok reçine bu yolla boya olarak kullanılmaktadır. Bu tip boyalar çabuk kuruyan boyalardır. Bu nedenle bunlara **lake**'de denir.

Bir Kimyasal Reaksiyon Yoluyla Kabuk Oluşturan Boyalar :

Bazı organik bileşikler polimerizasyon veya kondensasyon reaksiyonları ile normal sıcaklıklarda birleşerek büyük moleküller oluştururlar. Örneğin epoksi ve poliüretan gibi boyalar iki bileşen halinde karıştırılıp yüzeye uygulandıktan sonra orada kimyasal reaksiyona girerler. Katılma hızı kimyasal reaksiyonun hızına bağlıdır. Bu nedenle bu tip boyalarda sıcaklığın belli değerlerin altına düşmesi büyük sakıncalar yaratır.

8.3. BOYALARIN TEMEL BİLEŞENLERİ

Boylar genellikle bir bağlayıcı reçine ile pigment denilen mineral maddelerin bir solvent içinde çözülmesi ile elde edilir. Bazı halde boya içine inert dolgu maddeleri ve bazı plastikleştirici maddeler de katılabilir. Örneğin bir vinil boyanın tipik bileşimi şöyledir:

<u>Bileşenler</u>	<u>Ağırlıkça %</u>
Vinil Reçinesi (% 86 PVC + % 14 PVA)	17,2
Titanyum Dioksit Pigmenti	13,0
Diizodesil Ftalat	2,9
Toluen (solvent)	34,7
Metil izobütil keton (solvent)	32,0
Fosforik asit (inhibitör)	0,2

Pigmentler

Boya içine katılan pigmentlerin başlıca görevleri şunlardır:

İstenilen renkte pigment kullanılarak boyaya estetik bir görünüm kazandırılabilir.

Pigmentler güneş radyasyonunu absorbe ederek veya kısmen yansıtarak, boya tabakasının kısa sürede çürümelerini önler.

Inhibitör özellik gösteren pigmentler metal yüzeyini pasifleştirir. Galvanik etki gösterenler de metali katodik olarak korurlar.

Bazı pigmentler lif şeklinde veya yaprak biçiminde tanecikler içerir. Bu tip pigmentler boya tabakasının kırılma ve çatlama dayanıklılığını artırıcı rol oynarlar.

Bazı pigmentler tiksotropik özellik göstererek boyanın depolanma sırasında çökmesini, yaş boya filminin sarkmasını ve torbalanmasını önlerler.

Dolgu maddesi olarak kullanılan inert pigmentler, boya hacmini artırır, boyaya kaplama ve örtme gücü kazandırır.

Boya içine katılan başlıca pigmentler Tablo -8.2'de verilmektedir.

Solventler

Solventlerin asıl görevi boya içinde bulunan reçineyi akıcı hale getirmektir. Ancak solvent cinsinin boya tabakasının yapısı üzerinde büyük etkisi vardır. Boyanın yüzeye sağlamca yapışması, kuruduktan sonra düzgün ve parlak bir yüzey oluşması, boya tabakasında porozite ve kabarcık gibi kusurların bulunmaması da solvent cinsine bağlıdır. Ayrıca solventler boyanın akıcılığı (viskozitesi), kuruma süresi, fırça veya tabanca ile uygulanabilme özelliği üzerine de etki yaparlar.

TABLO -8. 2 PİGMENTLER VE KİMYASAL BİLEŞİMLERİ

Pigment	Rengi	Kimyasal Bileşimi
İnert Pigmentler		
Bazık kurşun karbonat	Beyaz	% 65 PbCO ₃ + % 35 Pb (OH) ₂
Bazık kurşun sülfat	Beyaz	% 15 - 28 PbO
Çinko oksit	Beyaz	% 99,5 ZnO
Titanyum dioksit (Rutil)	Beyaz	% 98 TiO ₂
Litopon	Beyaz	% 30 ZnS + % 70 BaSO ₄
Çinko sülfür	Beyaz	% 98 ZnS
Baryum sülfat (Barit)	Beyaz	% 99 BaSO ₄
Kalsiyum karbonat	Beyaz	% 98 CaCO ₃
Mağnezyum silikat (Talk)	-	-
Mika	-	-
Renk Verici Pigmentler		
Demir oksit (Sentetik)	Kırmızı	% 98 Fe ₂ O ₃
Demir oksit	Sarı	% 99 Fe ₂ O ₂ · H ₂ O
Krom oksit	Yeşil	% 98,5 Cr ₂ O ₃
Karbon siyahı	Siyah	% 92 karbon
Siyah demir oksit	Siyah	% 97,5 Fe ₂ O ₃
İnhibitör Etkisi Yapan Pigmentler		
Kurşun kromat	Portakal	% 65 PbCrO ₄ + % 35 PbO
Krom sarısı	Sarı	% PbCrO ₄ + % 30 PbSO ₄
Çinko sarısı	Sarı	% 38 ZnO + % 62 CrO ₄ · H ₂ O
Litarj	Beyaz	% 99 PbO
Kurşun kırmızısı	Portakal	% 96 Pb ₂ O ₄ + % 4 PbO
Çinko tozu	Gri	% 96 Zn

Her boya cinsinin solventi farklıdır. Kural olarak reçine ve solventte benzer yapıda kimyasal grupların bulunması gerekir. Boyayı inceltmek amacıyla kullanılan tinerlerin görevi solventlerden farklıdır. Bunlar yalnızca boya viskozitesini azaltmak amacıyla kullanılırlar.

Boya endüstrisinde çok kullanılan bazı solventler ve bunların fiziksel özellikleri Tablo - 8.3'de verilmektedir.

8.4. BOYA CİNSLERİ

Endüstride çok sayıda reçine boya olarak kullanılmaktadır. Reçinenin kimyasal yapısına bazı yeni gruplar katılarak boyaların fiziksel özelliklerinde iyileştirmeler sağlanmaktadır. Bu yolla aynı isim altında çok sayıda boya tipleri elde edilmiştir. Biz burada endüstride çok kullanılan yedi boya grubunun temel özelliklerini kısaca özetlemeye çalışacağız.

TABLO -8.3 SOLVENTLER VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Solvent	Uçuculuk derecesi *	Kaynama Sıcaklığı °C	Alevlenme Sıcaklığı °C	Yoğunluk g/l
Alifatik Hidrokarbonlar				
Nafta	4,1	96-105	6	745-770
Petrol eteri	1,5	114-126	13	750-780
Aromatik Hidrokarbonlar				
Benzen	5,0	79-80	-12	885
Toluen	2,0	110-111	5	870
Ksilen	0,6	139-141	28	869
Ketonlar				
Aseton	9,0	57-58	10	792
Metil etil keton	4,0	79-81	-4	806
Metil izo butil keton	1,6	114-117	22	802
Metil izo amil keton	0,5	140-148	40	814
Siklo hekzan	0,2	154-161	54	945
Diaseton	0,2	160-170	49	929
Diizobutil keton	0,2	163-173	96	808
Esterler				
Etil asetat (% 95)	4,1	75-80	13	897
N. Profil asetat	2,3	88-103	18	885
N. Butil asetat	1,0	118-128	38	883
Amil asetat (% 95)	0,4	135-150	41	876
Alkoller				
Metil alkol	6,0	65	16	793
Etil alkol	2,3	75-80	24	812
Propil alkol	1,0	96-99	31	806
Butil alkol	0,5	116-119	46	811
Siklo hekzanol	0,1	160-162	68	948

(*) Uçuculuk derecesi, normal butil alkolün buharlaşma hızı 1 kabul edilerek verilmiştir.

Alkit Boyalar

Endüstride genel amaçlar için en çok kullanılan boya tipidir. Alkit boyalar adi yağlı boyanın modifiye edilmiş şeklidir. Alkit reçinesi bir polibazik asit ile bir polihidrik alkolün birleşmesinden oluşur. Değişik bileşenlerden çıkılarak aynı temel reaksiyon ile çok sayıda modifiye alkit reçinesi elde edilmiştir. Bunlardan endüstride en çok kullanılanları, vinil alkit, silikon alkit, ürethan alkit (uralkit) ve epoksi esterlerdir. Bu boyaların hepsi de alkit grubunun temel özelliklerini taşımakla beraber, çevre koşullarına karşı farklı dayanma güçleri vardır.

Genel olarak alkit boyalar atmosferde ve şiddetli olmayan korozif ortamlarda kullanılır. Bu boyalar, kimyasal etkilere özellikle alkali etkisine dayanıksızdır.

Vinil Boyalar

Vinil reçineler, vinil grubunun ($-\text{CH}=\text{CH}-$) çift bağının açılması sonucu meydana gelen polimerleşme ile elde edilen termoplastik reçinelerdir. En çok kullanılan vinil reçineler, polivinil asetat (PVA), polivinil klorür (PVC) ve vinil siyanür (akrilonitril) dir.

Vinil boyalar asitlere, alkalilere ve kimyasal etkilere son derece dayanıklıdır. Su absorpsiyonu ve geçirimsizliği az olduğundan deniz atmosferinde ve su altı yapılarda tercih edilir. Bu tip boyaların en büyük dezavantajı, hidrokarbon tipi solventlere karşı dayanıksız oluşudur.

Epoksi Boyalar :

Epoksi reçineler esas itibarıyla **bisfenol-A** ile **epikloridrin** bileşiklerinin kondensasyon reaksiyonu ile oluşan polimerlerdir. Bu genel yapıya uygun olarak, çok çeşitli organik grupların katılması ile değişik özelliklerde epoksi tipi boyalar üretilmektedir. En çok kullanılan epoksi boyalar, epoksi poliamin, epoksi poliamit, coal tar epoksi ve epoksi ester tipinde olanlardır. Bütün bu boyaların ortak özelliği yüzeye çok iyi yapışmaları ve her çeşit kimyasal etkiye dayanıklı oluşlarıdır. Bunların içinde coal tar epoksi suya karşı en dayanıklı olanıdır. Bu nedenle su altı ve yeraltı yapılarında tercih edilir.

Epoksi boyalar bir kimyasal reaksiyon sonucu sertleşir. Bu reaksiyon $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den daha düşük sıcaklıklarda son derece yavaş yürür. Bu durumda boya tabakasının yapışma gücünde azalma olur.

Klor Kauçuk Boyalar

Doğal kauçuk klorlanarak sert bir reçine elde edilebilir. Ancak bu reçine ile üretilen boyalar kullanışlı değildir. Endüstride sentetik klor kauçuk boyalar tercih edilir. Doğal kauçuğun temel bileşeni olan izopren, alkit ile modifiye edilerek buhara ve güneş ışınlarına dayanıklı bir boya elde edilir. Bu boyanın diğer bir üstün özelliği de eskiyen boya tabakasının, aynı boya kullanılarak kolayca tamir edilebilmesidir.

Poliüretan Boyalar

Bir izosiyanat ile bir alkolün polimerleşmesi sonucu poliüretan reçinesi elde edilir. Bu reçine solvent içinde çözülerek doğrudan kullanılabilirdiği gibi, izosiyanat ve alkol bileşenleri

uygulama sırasında karıştırılarak iki bileşenli boya olarak da kullanılabilir. İzosiyanat grubu aktif bir gruptur. Bu nedenle poliüretan polimerleşme reaksiyonları çok düşük sıcaklıklarda bile gerçekleşebilir. İçerdikleri alkil grubu cinsine bağlı olarak çok çeşitli tipte poliüretan boya üretilmektedir. En çok kullanılanlar, alkit poliüretan, akrilik poliüretan, epoksi poliüretan ve vinil poliüretan tipleridir. Ayrıca su ile kür edilen propolimer poli üretanlar da mevcuttur.

Organik Çinko Tozlu Boyalar

Çinko tozlu boyalar galvanik etkileri nedeniyle genellikle astar boya olarak kullanılırlar. Astar doğrudan çelik ile temas ettiğinden boyanın galvanik etkisi daha yararlı olur. Galvanik etkinin gerçekleşmesi için boya içinde çok yüksek oranlarda (yaklaşık % 90) çinko tozu bulunması gerekir. Yüksek yoğunluktaki çinko tozları kap içinde dibe çöker. Tabanca ile uygulamada da zorluk çıkar.

Çinko tozlu boyaların en büyük dezavantajı, bu boyaların kuvvetli asit ve alkalilere dayanıksız olmasıdır. Ayrıca bu tip boyalar yüzey temizliğine son derece duyarlıdır. Yüzeylerin ileri derecede temiz olması gerekir.

g) İnorganik Çinko Boyalar

Esas bağlayıcı maddesi inorganik silikatlardan oluşan bu tip boyalar kür şekline göre üç grup altında toplanabilir.

1-Sonradan kür olan su bazlı alkali silikat boyalar

2-Kendi kendine kür olan su bazlı alkali silikat boyalar

3-Kendi kendine kür olan solvent bazlı alkali silikat boyalar

1 -Bu boya, çinko tozu + silikat bağlayıcı + kür çözültisi olmak üzere üç bileşenli bir boyadır. Kür sonucu çok sert bir silikat kabuğu oluşur.

2- Bu boyada bağlayıcı olarak potasyum veya lityum silikat kullanılır. Bu silikatlar atmosferde bulunan su buharı ile hidroliz olarak kendiliğinden 30 dakika içinde kürü gerçekleştirir.

3- Bu boyada bağlayıcı olarak alkil silikatlar kullanılır. Alkil silikat hava rutubeti ile hidroliz olarak alkol ve silikat jeli oluşturur. Alkol uçar, silikat çinko tozu ile birleşerek sert bir kabuk oluşturur. Bu boya, çinko tozu + alkil silikat bileşenleri ayrı ayrı ambalajlanarak iki bileşenli olarak kullanılır.

İnorganik çinko boyalar yüksek sıcaklıklara dayanabilir (400 °C). Bu nedenle fırınlarda ve bacalarda tercih edilir.

Kimyasal bileşimleri ve fiziksel özellikleri birbirinden farklı olan bu boya gruplarının herbirinin çeşitli ortamlara dayanıklılıkları da farklıdır. Boya seçimi yapılırken boyaların bu özellikleri göz önünde bulundurulur. Tablo -8.4'de boyaların çeşitli korozyon ortamlara dayanıklılıkları topluca verilmektedir.

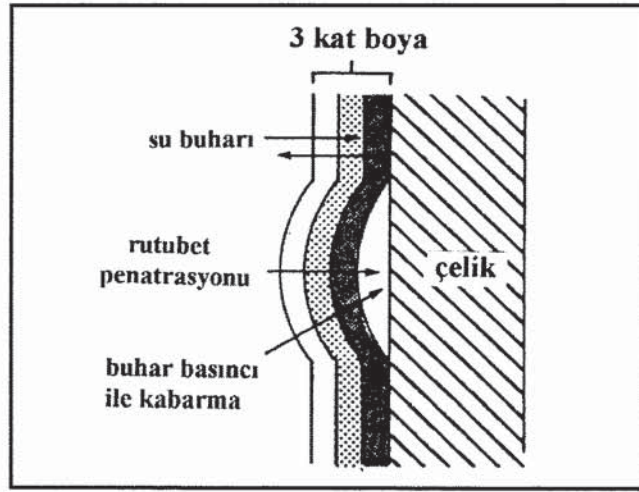
ÇİZELGE -8.4 ORGANİK BOYALAR VE KOROZİF ORTAMLARA DAYANIKLIK DERECELERİ

BOYA CİNSİ	Aşınmaya Dayanıklılık	Atmosfer	Su	Alkali	Asit	Solvent	Sıcaklık, °C	Üstün Özelliği
ALKİT	İyi	Çok İyi	Orta	Zayıf	Orta	Zayıf	70	Ahşap yüzeye çok iyi penetre olur.
VİNİL	İyi	İyi	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi	Zayıf	Yaş 50 kuru 65	Kimya sanayi için uygun bir boyadır.
EPOKSİ ESTER	İyi	Orta	Orta	Orta	Orta	Zayıf	95	Ahşap yüzeyler için kullanılır.
AKRİLİK	İyi	Çok İyi	İyi	İyi	Orta	İyi	80	Renk solması yapmaz. Oto boyasıdır.
KLOR KAUÇUK	İyi	Çok İyi	İyi	İyi	İyi	Zayıf	yaş 40 kuru 60	Buhara ve güneş ışınlarına dayanıklıdır.
EPOKSİ POLİAMİT	Çok İyi	İyi	Zayıf	İyi	Orta	İyi	yaş 50 kuru 95	Aşınmaya dayanıklı sağlam kabuk oluşturur.
COAL TAR EPOKSİ	İyi	İyi	Çok İyi	Çok İyi	İyi	İyi	yaş 50	Çok iyi yapıştır, astarsız uygulanabilir.
POLİÜRETAN	Çok İyi	Çok İyi	İyi	İyi	İyi	Çok İyi	yaş 40 kuru 120	Güneş ışınlarına ve düşük sıcaklığa dayanıklı.
ORGANİK ÇİNKO	Çok İyi	Çok İyi	Orta	Zayıf	Zayıf	Orta	120	Galvanik olarak koruma etkisi vardır.
İNORGANİK ÇİNKO	Çok İyi	Çok İyi	İyi	Zayıf	Zayıf	Çok İyi	400	Yüksek sıcaklığa dayanıklıdır.

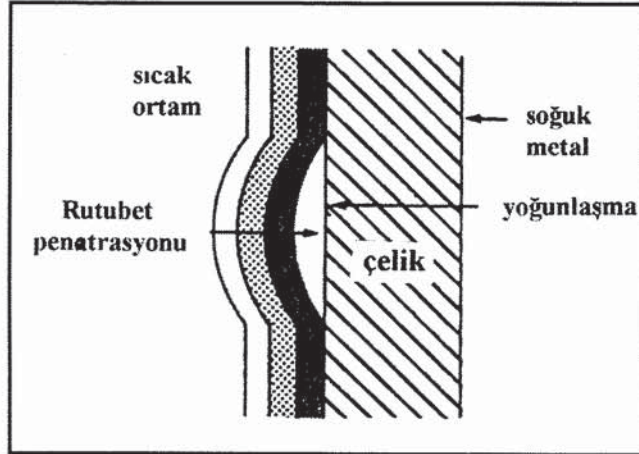
8.5 YÜZEY TEMİZLİĞİ

Bir boya tabakasının dayanıklı olması için her şeyden önce boyanın metal yüzeyine sağlamca yapışması gerekir. Bu ise yüzey temizliğine bağlıdır. Eğer yüzeyde pas, toz, kir, çeşitli yabancı maddeler ve özellikle yağ varsa boya metal yüzeyine yapışamaz.

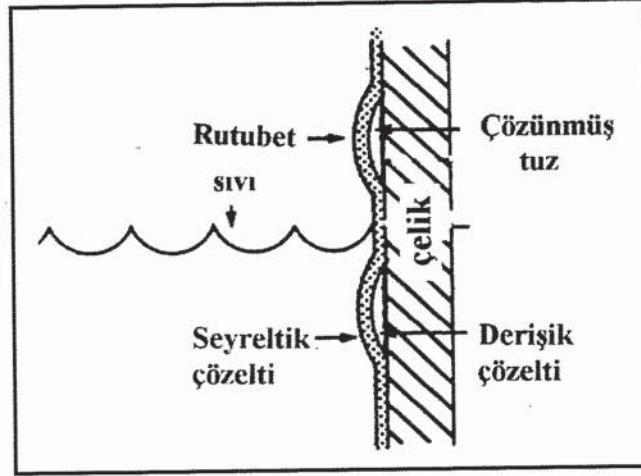
Yüzey temizliği kaplama kalitesinin temelini oluşturur. Boya tabakasının metal yüzeyine tam olarak yapışmaması halinde yüzeyden penetre olan su buharı burada toplanabilir. Ayrıca termal etkiler ve osmoz olayları da boyanın o bölgede kısa sürede kabarmasına neden olur (Şekil -8.4, Şekil -8.5 ve Şekil -8.6).



Şekil -8.4 Boya tabakası altına su buharı penetrasyonu



Şekil -8.5 Termal etkiler ile boya tabakasının kabarması



Şekil -8.6 Osmoz etkisi ile su penetrasyonu

Metal yüzeyinin boyadan önce hangi yöntemlerle temizleneceği ve yüzeylerin temizlik dereceleri **Steel Structures Painting Council (SSPC)** ve **Standard Institution of Swedish (SIS)** tarafından detaylı olarak standardize edilmiştir. Temizlik dereceleri numaralanmış ve her biri fotoğraflarla da belgelenmiştir. Türk standartlarında da SIS standartları kabul edilmiştir. Tablo -8.5'de yüzey temizlik derecelerinin tanımları topluca verilmektedir.

8.5.1.Yüzey Temizleme Yöntemleri

Yüzey temizliği aşağıdaki yöntemlerle yapılmaktadır.

- Solvent ile temizleme
- Buhar ile temizleme
- El aletleri ile temizleme
- Makinalı aletler ile temizleme
- Kum püskürtme ile temizleme
- Pikling

a) Solvent ile Yüzey Temizleme :

Metal yüzeyinde bulunan yağ, gres vb. solvent içinde çözünebilen yabancı maddeler herhangi bir solvent ile yıkanarak veya solvent içine daldırılarak temizlenir. Ancak temizlik için kullanılan solvent kısa sürede kirlenir. Bu nedenle metal yüzeylerinin solvent ile ıslatılmış bir üstüğü veya bezle silinmesi daha uygundur. Bu durumda bile solvent buharlaşması sonucu metal yüzeyinde ince bir yağ filmi kalabilir. Son olarak metal yüzeyinin solvent ile yıkanması gerekebilir. Bu yöntemle yağlar ve kirler temizlenmekle beraber pasların ve yüzeye sağlamca yapışmış inorganik maddelerin giderilmesi mümkün olmaz.

b) Buhar ile Temizleme :

Metal yüzeyine yüksek sıcaklıkta ve basınçta buhar püskürtülerek yüzeyde bulunan toprak, toz yağ ve gres sökölerek uzaklaştırılabilir. Bu yöntem solvent ile temizlemeye göre daha basit ve çevre temizliği açısından daha uygundur. Ancak bu yöntem ile de yüzeyde bulunan pasların giderilmesi mümkün olmaz.

c) El Aletleri ile Temizleme :

Metal yüzeyinde bulunan eski boya kalıntıları, yumuşak yabancı maddeler ve kaba pas tabakası tel fırça, sistire, raspa, keski ve çekiç gibi el aletleri kullanılarak temizlenebilir. Bu yöntemle çatlaklar içinde bulunan yabancı maddeler ve yüzeyde çukurcuklar içinde bulunan ince pas tabakası temizlenemez. Ayrıca el aletleri metal yüzeyinin düzgünlüğünü bozabilir, yer yer engebeler ve çukurcuklar oluşur.

TABLO -8. 5 ÇELİK YÜZEYLERİN TEMİZLİK DERECELERİ

STANDARDLAR	YÜZEY TEMİZLİK DERECELERİNİN TANIMI
SSPC (*) SIS (**)	
Solvent ile temizleme : SP -1 -	Solvent veya alkali çözeltisi kullanarak yüzeyde bulunan yağ, gres ve kirler giderilir. Bu yöntem ile pas giderilemez.
El aletleriyle temizleme : SP -2 St -2	Yüzeyde bulunan eski boya, pas ve yüzeye yapışmış yabancı maddeler, tel fırça, zımpara gibi el aletleri ile temizlenir.
Makina ile temizleme : SP -3 St -3	Yüzeyde bulunan eski boyalar ve paslar, makina ile çalışan disk, zımpara gibi çeşitli aşındırıcılar kullanılarak temizlenir.
Kum püskürtme ile beyaz metale kadar temizleme : SP -5 Sa -3	Metal yüzeyinde bulunan paslar ve diğer bütün yabancı maddeler tam olarak giderilir. Bu temizlik derecesi beyaz metal yüzeyinin elde edildiği en üstün temizlik derecesidir.
Kum püskürtme ile ticari temizleme SP -6 Sa -2	Metal yüzeyinde bulunan pasların giderildiği fakat bazı oyuk ve çatlaklar içinde pasların görüldüğü temizlik derecesidir.
Kum püskürtme ile hafif temizleme : SP -7 Sa -1	Metal yüzeyinde bulunan yumuşak maddelerin ve kaba pasın giderildiği, fakat yüzeyde henüz gözle görünecek derecede pas rengi bulunan temizlik derecesidir.
Pikling : SP -8 -	Uygun konsantrasyonlarda asit çözeltileri içine daldırılarak, metal yüzeyindeki pas ve yabancı maddelerin kimyasal olarak temizlenmesidir.
Kum püskürtme ile beyaza yakın temizleme : SP -10 Sa -2 1/2	Metal yüzeyinde bulunan pasların yaklaşık olarak % 95 inin giderilmiş olduğu ve metal yüzeyinin parlak bir renk kazandığı temizlik derecesidir.

(*) SSPC : Steel Structures Painting Council

(**) SIS : Standard Institution of Swedish

SP : Surface Preparation

St : Surface tool

Sa : Surface abrasion

d) Makinalı Aletler ile Temizleme :

Elektirikle veya pnömatik olarak çalışan tel fırça, taş (disk), zımpara vb. aletler kullanılarak metal yüzeyinde bulunan eski boya kalıntıları, kaynak çapakları ve pas tabakası kazınarak giderilir. Makina ile çalışılmış olmasına rağmen bu yöntemle yüzey temizliği oldukça güçtür. Ancak küçük yüzeyler ve tamirat için bu yöntem kullanılır. Hızlı yüzey temizliği için en iyisi kum püskürtme yöntemidir. Kum püskürtme yönteminin uygulanmasının mümkün olmadığı koşullarda veya kum püskürtmenin çevre için zararlı etkilerinden kurtulmak için makinalı el aletleri kullanılması yoluna gidilir.

e) Kum Püskürtme Yöntemi ile Yüzey Temizleme

En iyi yüzey temizliği kum püskürtme yöntemi ile yapılabilir. Adı kum püskürtme olmasına rağmen son zamanlarda kum yerine bir çok sert ve aşındırıcı katı partiküller de kullanılmaktadır. Bu yöntemde belli granülometride silis kumu (veya başka sert tanecikler) yüksek hızla (300-600 km/h) metal yüzeyi üzerine bir tabanca ile püskürtülür. Böylece yüzeyde bulunan pas ve bütün yabancı maddeler tam olarak giderilebilir. Bu yöntemle dört ayrı derecede Sa -1, Sa -2, Sa -2 ½, Sa -3 yüzey temizliği yapılabilir.

Aşındırıcı madde olarak ucuzluğu nedeniyle doğal silis kumu tercih edilir. Ancak kum ile yüzey temizlemede hem çalışan işçi, hem de çevreyi rahatsız edecek derecede toz oluşur. Bu nedenle son yıllarda kum yerine çeşitli sentetik maddeler (alüminyum oksit, silikon karpit vb.) kapalı devre olarak kullanılmaktadır.

Kum püskürtme yöntemi ile elde edilen yüzey temizlik dereceleri aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır :

Sa -1 : Çelik yüzeyinde bulunan bütün yabancı yumuşak maddeler ve pasın giderilmiş olduğu hafif kum püskürtme.

Sa -2 : Çelik yüzeyinde bulunan pas tabakasının yaklaşık olarak % 80'inin giderilmiş olduğu orta derecede kum püskürtme.

Sa -2 ½ : Çelik yüzeyinde bulunan pas tabakasının yaklaşık olarak % 95'inin giderilmiş olduğu kum püskürtme.

Sa -3 : Çelik yüzeyinde bulunan bütün pas ve yabancı maddelerin tamamının giderilmiş olduğu ve beyaz metalin elde edildiği kum püskürtme.

f) Pikling :

Metal yüzeyinde bulunan yabancı maddeler kimyasal olarak pikling işlemi ile de temizlenebilir. Pikling, metal yüzeyinin çeşitli asit çözeltileri ile temizleme yöntemidir. Pikling ile temizleme yönteminde şu sıra izlenir.

* Metal ilk olarak sıcak kostik çözeltisi içine daldırılarak yüzeyde bulunan yağ ve gresler giderilir.

* Kostik kalıntıları sıcak su ile yıkanarak uzaklaştırılır.

- * 80 °C'de ve % 10'luk sülfürik asit çözeltisi içinde bekletilerek asit etkisi ile paslar sökülür.
- * Asit kalıntıları sıcak su ile yıkanarak temizlenir. Bir çok halde pikling işlemine burada son verilir.
- * Metal yüzeyinin fosfat ile pasifleştirilmesi amacıyla, metal 80 °C'de % 5'lik fosforik asit içine daldırılır.
- * Sıcak su ile yıkanır ve kurutulur.

Pikling işleminden hemen sonra astar tabakası uygulanmalıdır. Astarlama işlemi metal yüzeyi tam olarak soğumadan yapılmalıdır. Aksi halde çiylenme nedeniyle yüzeydeki kapiler boşluklarında su yoğunlaşabilir.

Pikling işlemi sırasında asit etkisi ile metalde çözünme olayı da meydana gelebilir. Metal kaybını minimuma indirmek ve asit sarfiyatını azaltmak için pikling çözeltileri içine uygun bir inhibitör katılması faydalı olur.

8.6 BOYALARIN UYGULANMASI

Boya çeşitli yöntemler ile uygulanabilir. Hangi yöntemin seçileceği başta boya cinsi olmak üzere ortam koşullarına bağlıdır. Her yöntemin avantaj ve dezavantajları vardır. Bunlar özetle aşağıda verilmektedir.

Fırça ile Boya Uygulanması

En basit boya uygulama yöntemidir. Özellikle astar boyanın uygulanmasında bu yöntem tercih edilir. Çünkü boyayı yüzeyde bulunan poröz, delik ve çatlakların içine doldurabilmek en iyi fırça ile mümkün olabilir. Ayrıca kıyı ve köşe gibi kritik bölgeler fırça ile daha sağlıklı boyanabilir. Fırçanın en büyük dezavantajı, üniform bir film kalınlığını sağlayamayışı ve çok düzgün bir yüzey elde edilemeyeşidir.

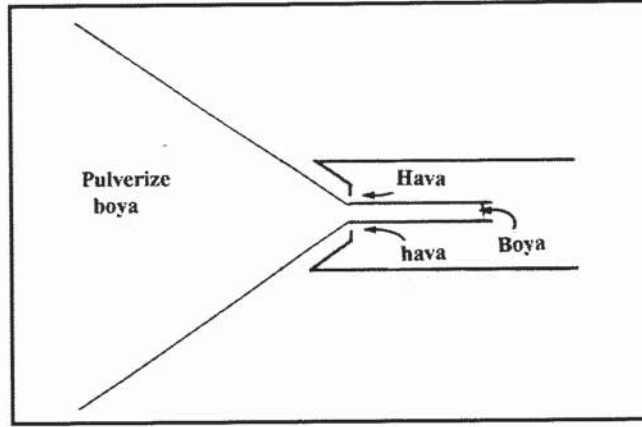
Rulo ile Boya Uygulanması

Geniş yüzeylere boya uygulamak için en uygun yöntem rulodur. Rulo daha çok üst kat boya tabakasının uygulanmasında tercih edilir. Böylece hem boya uygulama hızı artırılmış, hem de düzgün bir üst yüzey elde edilmiş olur.

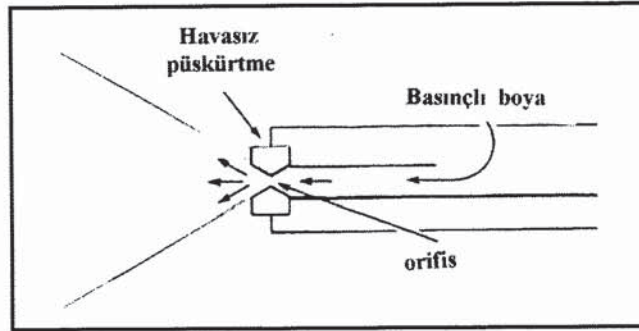
Rulo esas olarak üzeri keçe ile kaplanmış, eksen etrafında dönebilen bir silindirden oluşur. Boya kaybı diğer yöntemlere göre daha azdır. Maske kullanmaya gerek kalmadan kapalı yerlerde boya uygulamasına imkan verir.

Püskürtme (tabanca) ile Boya Uygulanması

Püskürtme yöntemi ile hem fırçadan, hem de rulodan daha düzgün bir boya filmi elde edilebilir. Biri havalı, diğeri havasız olmak üzere iki çeşit püskürtme yöntemi vardır (Şekil - 8.7 ve Şekil -8.8).



Şekil -8.7 Havalı püskürtme tabancası



Şekil -8.8 Havasız püskürtme tabancası

Havalı püskürtme ile boya uygulanması

Basınçlı hava kullanılarak boya bir tabanca ile metal yüzeyine toz halinde püskürtülür. Böylece istenilen kalınlıkta çok düzgün bir film tabakası elde edilir. Ancak bu işlem sırasında % 30-40'a varan oranlarda boya kaybı meydana gelir. Bu kayıp rüzgara ve boyanmakta olan metalin şekline ve biçimine göre değişir.

Havasız püskürtme ile boya uygulanması

Çok yüksek bir basınç ile yalnız boya malzemesi ince bir delikten püskürtülür. Böylece boya tanecikleri çok küçük parçacıklar halinde metal yüzeyine yapışır. Bu yöntemle kısa sürede kalın bir film tabakası elde edilebilir. Ancak uygulama yetenekli bir işçi tarafından yapılmalıdır. Aksi halde boya tabakası kalınlığı yer yer değişebilir. Buna karşılık havasız tabanca ile boya uygulanmasının şu avantajları vardır.

Boya yüzeye basınçla püskürtülmüş olduğundan daha iyi yapışır.

Daha kalın bir boya tabakası bir kat halinde uygulanabilir.

İnceltmeye gerek duyulmadan daha koyu kıvamlı boyalar bu yöntem ile kolaylıkla uygulanabilir.

Boya Uygulanmasında Emniyet Önlemleri

Boya kullanımı her geçen gün artış göstermektedir. Boya içinde kullanılan bütün solventler insan sağlığı ve çevre için çeşitli sorunlar yaratmaktadır. Son yıllarda boya içinde kullanılmata olan solvent oranlarına çeşitli ülkelerde sınırlamalar getirilmiştir. Örneğin Amerika Birleşik Devletlerinde boya içinde 420 g/l'den fazla solvent kullanımı yasaklanmış bulunmaktadır. Solvent yerine su kullanılarak üretilen su bazlı boyalar gittikçe önem kazanmaktadır.

Başta insan sağlığı olmak üzere boya uygulamasında yangın ve çevre kirliliğini önleme açısından aşağıdaki önlemlerin alınması gerekir.

1. Kapalı yerlerde boya uygulanırken mutlaka havalandırma yapılmalıdır.
2. Solvent buharları genellikle havadan ağırdır. Bu nedenle ancak aspiratör ile emilerek uzaklaştırılabilir.
3. Boya uygulandıktan sonra kuruma işlemi tamamlanıncaya kadar havalandırmaya devam edilmelidir. Solvent buharları konsantrasyonu patlama yüzdesinin altında tutulmalıdır. Çeşitli solventler için insan sağlığına zarar veren ve patlama limit değerleri Tablo -8.6'da verilmektedir.
4. Boya uygulanan bölgede sigara içilmemelidir. Boya uygulanan bölgeye 15 m uzaklığa kadar alevle yaklaşılmamalıdır.
5. İşçiler mutlaka hava maskesi kullanmalıdır. Sürekli boya yapan işçiler, içinde basınçlı temiz hava bulunan maskeler kullanmalıdır.
6. Boya işçileri özel bir elbise ve ayakkabı giymelidir.

8.7 ÇEVRE KOŞULLARININ KONTROLÜ

Boya uygulanması sırasında başta sıcaklık ve rutubet olmak üzere boyanın kurumasına etki yapan çevre koşulları kontrol edilmelidir. Boya uygulaması, yüzey temizliğinden boyanın kurumasına kadar uzun bir süre içinde gerçekleşir. Zaman isteyen bu işlemler baştan planlanmalı ve atmosferik koşulların değişimi göz önüne alınmalıdır. İki bileşenli boyaların pota ömrü sınırlıdır. Bunun için boyanacak yüzeye yetecek miktarda boya hazırlanmalıdır. Güneş, rüzgar ve yağış etkileri sürekli kontrol edilmelidir.

a) Sıcaklığın Etkisi

Boya uygulamak için en uygun sıcaklık 15-30 °C arasındır. Sıcaklığın 5 °C'nin altında olduğu ortamlarda (kuruma süresi de dahil) biç bir boya uygulaması yapılmamalıdır. Bu sıcaklıkta boya tabakasının metal yüzeyine sağlam bir şekilde yapışması mümkün olmaz. İki bileşenli boyalar sıcaklık karşısında daha duyarlıdır. Bu boyalar bir kimyasal reaksiyon sonucu katılaşırlar. Düşük sıcaklıklarda reaksiyon hızı son derece yavaştır. Bu tip boyalarda en az 24 saat ortam sıcaklığının 15 °C'nin altına düşmemesi gerekir.

TABLO -8.6 ÇEŞİTLİ SOLVENTLERİN İNSAN SAĞLIĞI İÇİN ZARARLI OLAN VE PATLAMAYA NEDEN OLAN LİMİT KONSANTRASYONLARI

Solvent Adı	İnsan Sağlığı İçin Limit Değerler		Patlama İçin Limit Değer
	ppm	mg/m ³	Hacimsel % = Solvent / Hava
Aseton	1000	2400	2,15
Benzen	25	80	2,77
Bütil Alkol	100	-	2,55
Butil Asetat	150	72	1,50
Etil Asetat	400	1400	2,18
Etil Alkol	1000	1900	3,23
İzopropil Alkol	400	980	2,59
Metil Etil Keton	200	590	1,81
M. İzobutil Keton	100	410	1,34
Petrol Eteri	200	-	1,10
Nafta	100	400	1,19
Terebentin	100	560	0,80
Toluen	100	375	1,27
Ksilen	100	435	1,00

1- İnsan sağlığı için zararlı olan limit, günde 8 saat veya haftada 40 saat çalışan bir işçinin sağlığına zarar verecek olan minimum solvent konsantrasyonu olarak verilmiştir.

2- Solvent/hava hacimsel oranı tabloda verilen değerlerden as olduğu zaman patlama söz konusu olmaz.

b) Hava Rutubetinin Etkisi

Yağışlı, sisli veya çiylenme olayının söz konusu olduğu hallerde boya uygulaması yapılmamalıdır. Kapalı ortamlarda bile, eğer relatif rutubet belli bir değerden daha yüksek ise boya uygulanması sakıncalıdır.

Havanın relatif rutubeti metal yüzeyindeki kapiler boşlukları içinde çiylenmeye neden olacağı için boya uygulamasında büyük önem taşır. Metal yüzey sıcaklığı ortam sıcaklığından düşük olmasa bile, eğer havanın relatif rutubeti % 85'den daha yüksek ise, gözle görülmeyen bir çiy tabakası söz konusu olabilir.

Çiylenme noktası havada bulunan su buharının doymuş hale geldiği sıcaklıktır. Relatif rutubet ne derece yüksek ise, çiylenme noktası da o derece yüksek olacaktır. Hava sıcaklığı ve relatif rutubeti biliniyor ise, o havada sıcaklık kaç dereceye düşünce çiylenme olayının başlayacağı bulunabilir. Tablo -8.7'de çeşitli sıcaklık ve relatif rutubetlerde olan hava için çiylenme noktası değerleri verilmektedir.

TABLO -8.7 ÇEŞİTLİ SICAKLIK VE RELATİF RUTUBETLERDE ÇİYLENME NOKTASI

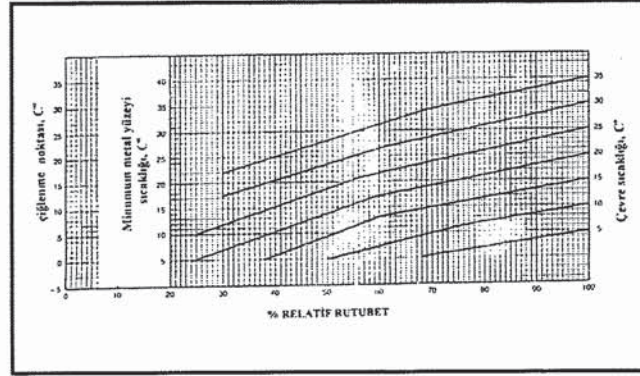
Çevre Sıcaklıkları, °C	Relatif Rutubetler							
	%30	%40	%50	%60	%70	%80	%90	%100
- 1	-	-	-	-	-6,5	-4	-2	-1
4	-	-6,5	-4	-2	0,5	1,5	3,5	4,5
10	-6,5	-3,5	-0,5	2	3,5	5,5	8,5	10
15,5	0	2	4	8	10	11,5	14	15,5
21	3	6,5	10	13	15	18	19,5	21
26,5	7	12	15,5	19	21	23,5	25	26,5
32	13	16,5	20,5	24	25,5	28,5	30,5	32
38	18	22	25,5	29	31	33,5	36	38

Örneğin , hava sıcaklığı 10 °C ve relatif rutubet % 60 ise, bu havanın çiylenme noktası 2 °C'dir. Yani hava sıcaklığı 2 °C'ye düşerse su buharı yoğunlaşmaya başlayacaktır. Pratikte tam bir emniyeti sağlayabilmek için metal yüzeyi sıcaklığının çiylenme noktasından en az 5 °C daha yüksek olması istenir. Yani, yukarıdaki örnekte verilen hava koşullarında boya uygulamak için metal yüzeyi sıcaklığının 7 °C'den yüksek olması gerekir.

Boya için gerekli olan minimum metal yüzeyi sıcaklığının kaç olması gerektiğini doğrudan veren tablo ve grafikler hazırlanmıştır. Şekil -8.8'de havanın relatif rutubeti ve sıcaklığına bağlı olarak çiylenme noktasını ve bu koşullarda boya uygulamak için minimum metal yüzeyi sıcaklığını veren grafik görülmektedir.

Örneğin, hava sıcaklığı yukardaki örnekte olduğu gibi 10 °C ve relatif rutubet % 60 olsun. Bu durumda grafikten çiylenme noktası 3 °C ve boya için gerekli minimum metal yüzeyi sıcaklığı da 7 °C olarak okunmaktadır.

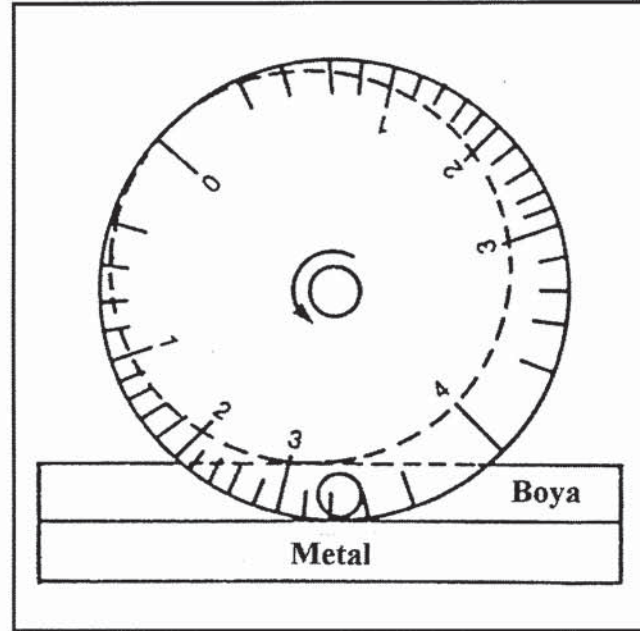
Bu grafiğe benzer olarak, 4 °C ve 40 °C sıcaklık aralığında metal yüzeyi sıcaklığı ölçülerek bu koşullarda boya uygulamak için gerekli olan maksimum relatif rutubet değerini veren tablolar da hazırlanmıştır. Tablo -8.8. Örneğin, hava sıcaklığı 10 °C ve metal yüzeyi sıcaklığı 7 °C olarak ölçülmüştür. Bu koşullarda boya uygulamak için havanın relatif rutubetinin en çok kaç olabileceği tablodan doğrudan okunabilir. Bu değer % 69 dur.



Şekil -8.9 Boya için gerekli olan minimum metal yüzeyi sıcaklığı

Kuru Film Kalınlığı

Tek kat boya tabakasının kuru haldeki kalınlığının belli bir değerde tutulabilmesi, boya uygulaması sırasında kontrol edilmesi gereken önemli bir özelliktir. Bu kontrol genellikle yaş boya tabakası kalınlığı ölçülerek yapılır. Yaş boya film kalınlığını ölçmek üzere bir çok cihaz geliştirilmiştir. En pratik olanı Şekil -8.10'da görülen ve eksantrik iki diskten oluşan ölçü aletidir.



Şekil -8.10 Yaş boya film kalınlığını ölçen cihaz

ÇİZELGE -8.8 BOYA ORTAMININ MAKSİMUM RELATİF RUTUBET DEĞERLERİ

Yüzey Sıcaklıkları, C°	Hava Sıcaklıkları, C°													
	4	7	10	13	15	18	21	24	27	30	32	35	38	40
1	60	33	11											
4		69	39	20	8									
7			69	45	27	14								
10				71	49	32	20	11						
13					73	53	38	26						
15						75	56	41	17	9				
18							78	59	30	21	14	9		
21								79	45	34	25	18	13	
24									61	48	37	29	22	16
27									80	64	50	40	32	25
30										81	66	53	43	35
32											81	68	55	46
35												82	69	58
38													83	70
40														84

Yaş film kalınlığı, belli bir yüzey alanı için kullanılan boya hacmi ölçülerek hesapla da bulunabilir. Bu amaçla aşağıdaki formül kullanılır.

$$t_y = \frac{1000 \times B}{A}$$

Burada, t_y : Yaş boya film kalınlığı, μm
 B : Kullanılan boya hacmi, litre
 A : Boyanan yüzey alanı, m^2

Örneğin, 1 litre boya ile $12,5 m^2$ yüzey boyanmış ise, yaş boya film kalınlığı :

$$t_y = \frac{1000 \times 1}{12,5} = 80 \mu m$$

Kuru film kalınlığının (DFT) hesaplanması için, boya içinde bulunan katı maddelerin hacimsel yüzdesinin de bilinmesi gerekir. Boya bileşimlerinde genellikle uçucu organik bileşiklerin (VOC) yüzdesi verilir. Bu değer yüzden çıkarılarak uçucu olmayan ve kuru film içinde kalan katı maddeler yüzdesi bulunur. Kuru film kalınlığı aşağıdaki bağıntı yardımı ile hesaplanır.

$$t_k = \frac{1000 \times B \times C}{A}$$

Burada, t_k : Kuru film kalınlığı, μm
 B : Kullanılan boyanın hacmi, litre
 C : Boya içindeki uçucu olmayan maddelerin hacimsel yüzdesi,
 A : Boyanan yüzey alanı, m^2 'dir.

Yukarıdaki örnekte kullanılmış boyanın, uçucu olmayan yüzdesi % 55 ise, bu durumda kuru film kalınlığı,

$$t_y = \frac{1000 \times 1 \times 55}{12,5} = 44 \mu m$$

olacaktır.

Bu hesaplar boya uygulaması sırasında hiç kayıp olmadığı kabulüne dayandırılmıştır. Gerçek hesaplamalarda, uygulama sırasındaki boya kayıpları göz önüne alınarak kullanılmış olan gerçek boya hacmi ile hesap yapılmalıdır.

8.8 UYGULAMADA YAPILAN HATALAR

Boya uygulaması herhangi bir işçinin yapabileceği basit bir iş değildir. Yanlış uygulamalar ve yetersiz bir işçinin yapacağı hatalar boya ömrünün azalmasına neden olur. Pratikte raslanan en önemli hatalar ve bunların önlenmesi için alınacak tedbirler aşağıda özetlenmiştir.

a) Düzensiz Film Kalınlığı

Yüzeyin her noktasında boya filminin kalınlığı aynı olmalıdır. Farklı kalınlık atmosferden yüzeye olan oksijen difüzyonu ve su absorpsiyonunda da farklılık yaratır. Dolayısı ile çok kısa mesafelerde anot-katot bölgelerinin oluşmasına neden olur.

Boya filmi kalınlığındaki farklılık doğrudan işçilik hatasından kaynaklanır. Bunu önlemek için tabanca ile uygulamada, boyanan yüzey ile tabanca arasındaki mesafenin daima aynı olmasına özen gösterilmelidir. Bu mesafenin gereğinden fazla olması halinde, pülverize haldeki boya tanecikleri yüzeye ulaşmadan solventin bir kısmı havada buharlaşacağından boyanın yüzeye yapışma gücü azalır. Tabancanın boyanan yüzeye çok yakın olması halinde de, yüzeyde akma meydana gelebilir. Her iki halde de boya film kalınlığı birbirinden farklı olur. Diğer taraftan tabancanın hareket hızı da boya işlemi boyunca sabit kalmalıdır. Fırça ile uygulamada işçilik hataları yanında, boyanın kıvamı ve kullanılan tinerin uçuculuğu film kalınlığına etki yapar. Bütün boya uygulaması boyunca bunların sabit tutulması gerekir.

Genel kural olarak, boyayı tek tabaka yerine iki ince tabaka halinde uygulamak film kalınlığı üniformluğu açısından daha yararlıdır.

b) Kusma

Bir boya tabakası üzerine başka renkte bir boya tabakası uygulandığında, alt katta bulunan boya renginin üst kat boya tabakasına çıkması olayına kusma denir. Bu durum üst kat boyanın solventinin, alt kat boya tabakası pigmentini çözmesinden ileri gelir. Kusma olayı çoğu kez, astar tabakası tam olarak kurumadan üst kat boyanın uygulaması sonucu ortaya çıkar.

c) Geç Kuruma

Boyanın beklenen süreden daha geç kurumasının çeşitli nedenleri vardır. Yaş boya tabakasının kuruma süresi sıcaklığa, rüzgara, güneş ışınları şiddetine, boya tabakasının kalınlığına ve boyada kullanılmış olan tinerin uçuculuğuna bağlıdır. Ancak pratikte geç kuruma olayı genellikle yaş boya film kalınlığının gereğinden fazla oluşu nedeni ile ortaya çıkar.

Boyanın kuruması için her şeyden önce boya içinde bulunan uçucu bileşenlerin buharlaşması gerekir. Diğer taraftan düşük sıcaklıklarda boyanın sertleşmesini sağlayan kimyasal reaksiyonların hızında da azalma olur. Bu durumda yüzeydeki buharlaşma sonucu ince bir film oluşur, alt kısımlarda boya yaş olarak kalır. Hava oksijeni ile kuruyan boya tiplerinde, oksijenin kurumuş olan üst tabakadan geçerek alt kısımlara difüzyonu güçleşir. Bunun sonucu olarak boya tabakasının metale yakın olan bölgesi uzun süre yaş olarak kalır.

Genel kural olarak, boyanın geç kurumasına meydan vermemek için yaş film boya kalınlığının belli bir değerden daha fazla olmamasına özen gösterilmelidir. Ayrıca boyanın uygulanmış olduğu ortamın sıcaklığı ve havalandırma koşulları da iyileştirilmelidir.

d) Akma ve Torbalama

Düşey yüzeylere boya uygulanırken, boyanın yer yer aşağı doğru akarak torbalar halinde birikmesi olayına pratikte sıkça raslanır. Bunun başlıca nedeni boyanın gerektiği kadar

inceltilmeden uygulanmasıdır. Ayrıca boyanan yüzeyin ortam sıcaklığından daha soğuk olması ve iyi havalandırma yapılmaması hallerinde de akma ve torbalanma olayı meydana gelebilir. Tabanca ile uygulamada tabancanın tutuş açısının doğru olmayışı veya hava basıncının yeterli olmayışı, uçuculuğu az olan bir solvent ile inceltme yapılmış olması hallerinde de akma görülebilir.

e) Matlaşma

Matlaşma olayı, boyanın kuruması sırasında havada bulunan rutubetin yoğunlaşarak boya filmi üzerine yapışmasından ileri gelir. Havanın relatif rutubetinin çok yüksek olduğu anlarda, özellikle akşama doğru hava sıcaklığının düşmesi ile birlikte oluşan çiylenme olayı boyanın matlaşmasına neden olur. Bunun dışında, tam olarak kurumamış bir astar tabakası üzerine üst kat boya sürülmesi halinde de matlaşma görülebilir.

Genel kural olarak, boyanın kuruması sırasında çok iyi havalandırma yapılması gerekir. Aksi halde solvent buharlaşması güçleşir ve yüzeyde mat bir görünüm ortaya çıkar.

f) Buruşma

Buruşma olayı daha çok hava oksijeni ile kuruyan yağ esaslı boya tiplerinde görülür. Bu tip boyalar gereğinden daha kalın bir tabaka halinde uygulanacak olursa, boya tabakasının üst kısımları normal olarak kuruduğu halde alt kısımlar yeterli miktarda oksijen alamamış olduğundan yağ olarak kalır. Yüzey katılaşarak hacmini küçültür. Bu durum boya tabakasının buruşuk bir hal almasına neden olur. Ayrıca, boya uygulandıktan sonra şiddetli güneş ışınları altında kalırsa, yüzeyde ani kuruma meydana geleceğinden boya tabakası buruşabilir.

g) İğne Delikleri (Pinhol) Oluşması

Yağ boya tabakasında hava kabarcıklarının bulunması iğne deliklerinin oluşmasına neden olur. Sıkça raslanan bu olayın başlıca nedenleri şunlardır.

Boya üretimi sırasında, reçine + solvent + pigment birlikte iyice öğütülerek pigment partiküllerinin tam olarak ıslanması sağlanır. Eğer pigment partikülleri tam olarak ıslatılmaz ise, pigment tanecikleri arasında hava boşlukları kalır. Bu hava sonradan kabarcık oluşmasına neden olur.

Boyanın gereğinden fazla inceltilmesi halinde, boya tabakasının alt kısmında bulunan tinerin buharlaşarak yüzeye çıkması olayı da iğne deliklerinin oluşmasına neden olur.

Boyanan yüzeyde toz veya kir gibi katı taneciklerin bulunması halinde, bu tanecikler üzerinde adsorbe edilen hava boya filmi terkederken iğne delikleri oluşmasına neden olur.

Tabanca ile uygulamada basıncın çok yüksek oluşu da boya tabakasında iğne delikleri meydana getirebilir.

h) Pütürleşme

Tabanca ile uygulamalarda sık raslanan bir olaydır. Pütürleşme sonucu boya yüzeyi düzgünlüğünü kaybeder. Pütürleşmenin başlıca nedeni çabuk uçan bir solvent kullanılmasıdır.

i) Yüzey Kirlenmesi

Gerek boyanın uygulanması sırasında, gerekse boya filmi kururken yüzeye yapışan tozlar ve yabancı katı tanecikler yüzeyin kirlenmesine neden olurlar. Boya kabı açıkta bırakıldığında veya fırçada boya kurduğunda, kuruyarak kabuk bağlayan boya parçacıkları yüzeyin kirliliğini artırarak görünüm kazanmasına neden olurlar. Boya uygulamasında yapılan hatalar ve bunların nedenleri Tablo-8.8'de liste halinde verilmektedir.

TABLO- 8.8 BOYA UYGULAMASINDA YAPILAN HATALAR

HATA	NEDENLERİ
Düzensiz film kalınlığı	Doğrudan işçilik hatasıdır. Özellikle tabanca ile boyamada görülür. Boyanan yüzey ile tabanca arasındaki uzaklık daima aynı kalmalıdır.
Akma ve torbalanma	Boyanın gerektiği kadar inceltilmeden uygulanmasından ileri gelir. Ortam sıcaklığının düşük olması veya iyi havalandırma yapılmaması halinde de akma ve torbalanma görülür.
Buruşma	Hava oksijeni ile kuruyan boyalarda görülür. Gereğinden kalın tabaka uygulanırsa alt kısımlar kuruyamaz, yüzey buruşur.
Pütürleşme	Tabanca ile boyamada sıkca raslanır. Çabuk uçan bir solvent kullanılması halinde boya yüzeyi düzgünlüğünü kaybeder.
Kusma	Alt katta bulunan boya renginin üst kata çıkması olayıdır. Boya tabakası tam olarak kurumadan üst tabakanın uygulanmasından ileri gelir.
İğne delikleri (pinhol)	Hava kabarcıkları iğne delikleri oluşturur. Boyanın fazla inceltilmiş olması, yüzeyde toz ve kir bulunması gibi nedenler ile oluşur. Tabancada çok yüksek basınç olması halinde de iğne delikleri oluşabilir.

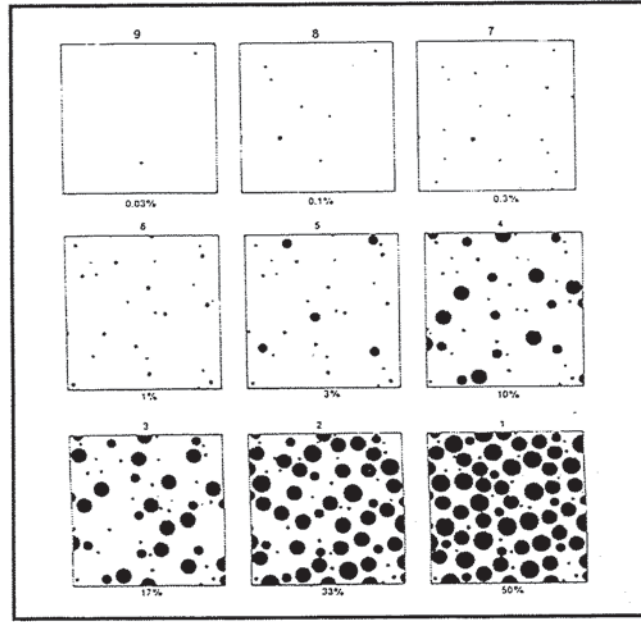
8.9 SONRADAN ORTAYA ÇIKAN HASAR VE KUSURLAR

Metal yüzeyine uygulanmış olan boya tabakasının çevre koşullarına göre belli bir ömrü vardır. Boya ömrü, uygulandıktan sonra boya tabakasının tamir yapılmasının gerekli olduğu güne kadar geçen süre olarak tanımlanır. Bu nedenle pratikte boyanın tamir edilmesinin gereğinin nasıl belirleneceği büyük önem taşır. Bu durum boya tabakası üzerinde periyodik olarak yapılacak kontroller ile, boya tabakasında gözlenen hasar ve kusurların değerlendirilmesi yardımıyla anlaşılabilir. Boya tabakasında zamanla meydana gelen hasar ve kusurlar şunlardır.

a) Pas Oluşumu

Rutubetli atmosferde bulunan boya tabakasında zamanla yüzeye çıkan pas lekeleri görülür. Bu lekeler boya filminin en zayıf olduğu noktalarda ortaya çıkar. Pas lekelerinin sıklık derecesine göre, boya tabakasının tamir edilmesine veya sökülerek yeniden boyanmasına karar verilir. Pas derecesinin belirlenmesi uzmanlık isteyen bir konudur. ASTM D-610

Standardında paslanma dereceleri 10 grup halinde tanımlanmıştır. Şekil -8.11 Bu standarda göre 10. paslanma derecesi paslanmanın henüz başlamamış olduğunu ifade eder. 9. derece 1 ft² (9,29 dm²) yüzey alanında en çok iki adet pas lekesi bulunması halidir. En şiddetli paslanma derecesi olan 1. derece yüzeyin % 50'den fazlasının pas ile kaplanmış halde olduğunu ifade eder. Boyalı yüzeylerin paslanma dereceleri ve onarım şekli Tablo -8.9'da verilmektedir.



Şekil -8.11 Boyalı yüzeylerin paslanma dereceleri (ASTM-D 610)

TABLO -8.9 BOYALI YÜZEYLERİN PASLANMA DERECELERİ VE ONARIMLARI

Paslanma Derecesi	Boya Tabakasının Durumu	Önerilen Onarım Şekli
8 - 9	Boya yüzeyinde en çok % 0,1 oranında pas bulunur.	Paslı bölgeler solvent ile temizlenir. Zımparalanır ve aynı boya ile boyanır.
6 - 7	Yüzeyin en çok % 1'i paslıdır. Yer yer astar boya görülür.	Paslı bölgeler tel fırça ile temizlenerek aynı boya ile boyanır.
4 - 5	Yüzeyin % 10'u paslı haldedir. Karıncalanma ve kabarcıklar oluşmuştur.	Paslı bölgeler tel fırça ile temizlenip aynı boya ile boyanır.
1 - 3	Yüzeyin % 50'ye varan bölümü paslı durumdadır. Boya tabakası yer yer gevşemiş ve kalkmıştır.	Kum püskürtme yapılarak eski boya tabakası tam olarak kaldırılır. Yeni bir boya uygulanır.

b) Yapışma Kaybı

Boya yaş halde iken metal yüzeyine iyice yapışmış olsa bile, zamanla bu özelliğini kaybedebilir. Bunun başlıca nedeni kabuk altında korozyonun başlamış olmasıdır. Çeşitli nedenlerle metal yüzeyinde mikro korozyon hücreleri oluşabilir. Korozyon sonucu oluşan ürünler hacim genişlemesi yaparak boya tabakasının o bölgede kabarmasına neden olur.

Yapışma kaybı, korozyon olayının söz konusu olmadığı katodik bölgelerde de görülebilir. Bunun nedeni de katot bölgesinde hidrojen çıkışının meydana gelmesidir. Katot bölgesinde hiç bir pas lekesi görülmemesine rağmen boya tabakası levha halinde kalkabilir.

Boya uygulaması sırasında yapılmış olan bazı hatalar da sonradan yapışma kaybına yol açabilir. Uygulama sırasında relatif rutubetin yüksek oluşu veya metal yüzeyinde gözle görülmeyen su veya buhar filmi bulunması kabuğun sonradan kalkmasına neden olur.

c) Çatlama :

Boya tabakası mekanik gerilmeler nedeniyle çatlayabilir. Çatlamanın derecesi kuru boya filminin fileksibilite özelliğine bağlıdır. Metal ile üzerinde bulunan boya kabuğunun sıcaklık değişimleri karşısında genişleme katsayıları birbirinden farklıdır. Eğer boya kabuğu yeteri kadar fileksibil değilse çatlama olayı meydana gelir. Atmosferik etkiler ve güneş ışınları boya filminin fileksibilite özelliğinin zamanla azalmasına neden olur. Böylece boya tabakası gittikçe daha kırılgan hale gelir.

Boya filminin çatlamasına neden olan etkenler şunlardır :

Çabuk kuruyan özellikte olan boyaların kalın bir tabaka halinde tek kat olarak uygulanması

Astar tabakası tam olarak kurumadan üst kat boyanın uygulanması

Birbiri ile uyummayan astar ve üst kat boya cinslerinin birlikte kullanılması

Termal genişleme etkisinin söz konusu olduğu bir yapıda, fileksibil özelliği zayıf olan bir boyanın kullanılmış olması .

d) Tebeşirleşme (Kireçlenme)

Boya tabakası atmosferik etkiler ile bozularak, kolayca ufalanabilen gevşek bir toz haline dönüşebilir. Bazı boya tipleri sıcaklık, oksijen ve ultraviyole ışınların etkisinde tebeşirleşmeye yatkındır. Hafif bir tebeşirleşme olayında, boya filmi üzerine yeni bir boya uygulanması yeterlidir. Ancak aşırı derecede tebeşirleşme halinde boya tabakası tamamen sökülerek yenilenmesi gerekir.

8.10 BOYA SEÇİMİ VE MALİYET

Belli bir ortamda bulunan bir metal malzemeyi boyamak için hangi boyanın kullanılmasının uygun olacağının belirlenmesi hem teknik hem de ekonomik yönden çok önemli bir konudur. Bu seçimin bilinçli şekilde yapılması suretiyle yapı en ekonomik şekilde korozyondan korunmuş olacaktır. Burada önemle belirtelim ki, pahalı malzemeler kullanılarak her zaman daha yüksek performanslı koruma elde edilemez. Çoğu zaman hem ucuz hem de yeteri kadar emniyetli çözümler bulunabilir.

Boya seçilirken, yalnız boyaların teknik özellikleri değil, yapı + çevre + boya sistemi toplam olarak ele alınmalıdır. Diğer taraftan boya seçiminde de yalnız boya malzemesinin maliyeti değil, başta yüzey temizliği olmak üzere, boya uygulaması işçiliği ve boya ömrü boyunca gerekli bakım onarım masrafları da göz önüne alınmalıdır.

Her boyanın, değişik korozif ortamlarda ömrü farklıdır. Bu durum ekonomik analizlerde göz önüne alınarak, boyalar (**maliyet/m² yıl**) olarak değerlendirilmelidir.

Boya seçimi komplike bir konu olup tam bir uzmanlık gerektirir. Bu seçimde teknik bir yenilgiye düşmemek için boya teknik özelliklerinin; çevrenin korozif etkilerinin ve boyanacak malzemenin korozyon reaksiyonlarının çok iyi bilinmesi gerekir. Boya seçiminde aşağıda liste halinde verilen 6 kriter bir arada incelenmelidir. Tablo -8.10

TABLO-8.10 BOYA SEÇİMİNDE GÖZ ÖNÜNE ALINACAK KRİTERLER

1. Boyanın teknik özellikleri - Aşınma direnci - Pleksibilite - Suya, yağa, asit ve bazlara dayanıklılığı - Sıcaklığa dayanıklılığı - Renk ve parlaklık kalıcılığı
2. Boya uygulanacak malzeme cinsi - Tahta - Beton - Çelik - Eski boyalı yüzeyler
3. Boyadan beklenen fonksiyon - Korozyonu önleme - Su geçirimsizliği sağlama - Sıcaklık kontrolü - Dekoratif olarak
4. Boyanacak malzemenin durumu - Yüzey temizleme yapılıp yapılamayacağı - Boya uygulaması için elverişliliği
5. Çevresel faktörler - Sıcaklık - Rutubet - Kimyasal maddeler ile temas - Güneş radyasyonu etkisi - Biyolojik etkiler (yosun, küf v.b)
6. Boya temini - Boyanın piyasada yeterli miktarda bulunabilirliği - Boyanın fiyatı

Boya seçiminde teknik özelliklerle birlikte maliyet de önemli bir yer tutar. Boyanın toplam maliyeti (yüzey temizleme + malzeme maliyeti + işçilik) toplamından oluşur. Bunların içinde en büyük pay yüzey temizleme masraflarına aittir. Yüzey temizleme değişik yöntemlerle ve değişik kalitede yapılabilir. Bunların maliyetleri de farklıdır. Aşağıda en çok uygulanan yüzey temizleme derecelerinin 1 m² yüzey alanı için yaklaşık maliyetleri verilmektedir.

TABLO-8.11 YÜZEY TEMİZLEME MALİYETLERİ

No	Yüzey Temizleme Cinsi	ISO Standardı Temizlik D.	Maliyet \$/m ²
1	Basit el aletleri ile temizleme	St - 2	4.09
2	Elektrikli el aletleri ile temizleme	St - 3	5.49
3	Kum püskürtme ile hafif temizleme	Sa - 1	5.38
4	Kum püskürtme ile temizleme	Sa - 2	9.23
5	Kum püskürtme ile beyaza yakın temizleme	Sa - 2 ½	11.62
6	Kum püskürtme ile beyaz metale kadar temizleme	Sa - 3	16.25

Diğer taraftan 1 m² yüzeyi boyamak için gerekli malzeme maliyeti ve işçilik, kullanılan boya cinsine ve kuru film kalınlığına göre değişir.

TABLO -8.12 BOYA MALZEME VE İŞÇİLİK MALİYETLERİ

No	Boya Cinsi	Kuru Film Kalınlığı, µm	Malzeme Maliyeti \$/m ²	İşçilik \$/m ²
1.	Alkit astar	50	0.57	1.50
2.	Alkit üst kat	40	0.43	1.50
3.	İnorganik çinko	75	1.38	2.69
4.	Epoksi (H - B)	100	1.13	2.15
5.	Poliüretana	40	0.85	2.15
6.	Vinil akrilik	40	0.78	1.50

Boya sistemlerini birbiri ile karşılaştırmak için yalnız boya maliyetleri değil yüzey temizliğinin de göz önüne alınması ve birim yüzeye düşen toplam maliyetin hesaplanması gerekir. Ancak çeşitli boyaların servis ömürleri birbirinden farklı olduğundan ekonomik analizler bir metre kare yüzeyin bir yıllık koruma maliyetleri temeline dayandırılır.

1 m² yüzeyi boyamak için gerekli olan boya miktarı teorik olarak hesaplanan miktardan biraz farklıdır. Bu miktar yüzeyin pürüzlülüğüne de bağlıdır. Bir litre boya ile boyanabilen yüzey alanı teorik olarak hesaplanandan daha azdır. Aşağıda değişik yüzey temizleme yöntemleri ile temizlenmiş olan yüzeyler için boya harcamasına esas teşkil eden pürüzlülük faktörü verilmektedir

Yüzey temizleme yöntemi

Yeni çelik (Pikling ile temizlenmiş)
 Kum püskürtme ile temizlenmiş
 El aletleri ile temizlenmiş

Pürüzlülük faktörü

0,98
 0,95
 0,90

TABLO -8.13 ÇEŞİTLİ BOYA SİSTEMLERİ İLE 1 m² YÜZEYİN 1 YIL KORUNMASI MALİYETİ

No	Boya Sistemi	Toplam Maliyet \$/m ²	Servis Ömrü Yıl	Yıllık Maliyet \$/m ² .Yıl
1	İnorganik çinko astar + Epoksi poliüretan Yüzey : Sa -2	19.58	10	1.96
			15	1.31
			20	0.98
			25	0.78
2	Alkit Astar + İki kat alkit boya Yüzey : Sa -2	15.17	4	3.79
			6	2.53
			8	1.90
			10	1.52
3	Alkit astar + İki kat alkit boya Yüzey : St -2 + Sa -1	11.40	4	2.85
			6	1.90
			8	1.43
			10	1.14
4	Alkit astar + bir kat alkit boya Yüzey : St -2 + Sa -1	9.46	2	4.73
			4	2.37
			6	1.58
			8	1.18
5	Epoksi mastik tek kat Yüzey : St -2 + Sa -1	9.57	5	1.91
			8	1.20
			10	0.96
			15	0.64

Boya maliyetine uygulama yöntemi de etki yapar. Boya başlıca fırça, rulo veya tabanca ile uygulanır. Bu yöntemlerin her birinde uygulama sırasında bir miktar boya kaybı söz konusu olur. Pratik olarak boya kayıplarını hesaplamak için aşağıda verilen Tablo kullanılabilir.

Boya uygulama yöntemi

Fırça veya rulo ile boyama
 Tabanca ile kapalı alanda boyama
 Tabanca ile açık havada boyama (*)

Boya kaybı

%10
 %20
 %30

(*) Şiddetli rüzgarlı havada boya kaybı %40'a çıkabilir.

TABLO -8.14 1 m² YÜZEYİ BOYAMAK İÇİN GEREKLİ OLAN BOYA MALZEME MALİYETLERİ , \$ OLARAK (*)

Boya Cinsi	Kuru film kalınlığı, μ m	Teorik miktar	Püskürtme ile boyama	Fırça veya rulo ile boyama
Akrilik astar,su bazlı	75	1,18	1,69	1,31
Akrilik üst kat,su bazlı	75	1,29	1,84	1,43
Alkit astar	50	0,45	0,64	0,51
Alkit üst kat	50	0,58	0,83	0,65
Alkit silikon	50	0,97	1,39	1,08
Coal Tar Epoksi	200	1,18	1,69	1,31
Epoksi,solventsiz	125	1,00	1,17	N
Epoksi astar	50	0,54	0,76	0,60
Epoksi üst kat	50	0,65	0,93	0,72
Epoksi HB astar	100	1,08	1,54	1,19
Epoksi HB üst kat	100	1,18	1,69	1,31
Epoksi,su bazlı	75	1,45	2,08	1,61
Epoksi Fenolik astar	125	1,86	2,66	N
Epoksi Fenolik üst kat	125	1,93	2,75	N
Epoksi Ester astar	40	0,38	0,54	0,42
Epoksi Ester üst kat	50	0,78	1,11	0,86
Lateks astar	50	0,59	0,85	0,66
Lateks üst kat	50	0,58	0,83	0,65
Üretan Alifatik Akrilik	50	0,90	1,29	1,00
Üretan Alifatik Poliester	50	1,61	2,30	1,80
Üretan,su ile kür	60	0,89	1,29	1,00
Vinil Ester	500	7,96	11,4	N
İnorganik Çinko	75	1,40	2,00	N
Organik Çinko	75	1,56	2,23	N
Çinko Tozlu Üretan	75	1,38	1,97	N

(*) Amerika Birleşik Devletleri 1996 yılı piyasa fiyatları.

(**) Püskürtme ile boyamada % 30, fırça ve rulo ile boyamada % 10 oranında boya malzemesi kaybı olduğu kabul edilmiştir.

(N) Fırça ve rulo ile uygulanamaz.

TABLO -8.15 ARAZİDE ÇEŞİTLİ BOYALARLA BOYANAN 1 m² YÜZEYİN TOPLAM MALİYETİ

No	Boya Sistemi	Yüzey Temizlik Derecesi	1 m ² Yüzeyin Maliyeti			
			Yüzey Temizleme	Malzeme	İşçilik	Toplam \$/m ²
1.	İnorganik Çinko astar + epoksi + poliüretan	Sa -2	9.25	3.33	7.00	19.58
2.	Alkit astar + 2 kat alkit	Sa -2	9.25	1.40	4.52	15.17
3.	Alkit astar + 2 kat alkit	St -2+Sa-1	5.48	1.40	4.52	11.40
4.	Alkit astar + 1 kat alkit	St-2+Sa-1	5.48	0.97	3.01	9.46
5.	Epoksi mastik tek kat	St-2+Sa-1	5.48	1.40	2.69	9.57

İşçilik maliyeti de uygulama şekline büyük ölçüde bağlıdır. Çeşitli uygulama yöntemlerinde 1 m² için işçilik maliyetleri aşağıda verilmektedir.

TABLO –8.16 BOYA UYGULAMA YÖNTEMİNE GÖRE İŞÇİLİK MALİYETLERİ

No	Boya Uygulama Yöntemi	İşçilik \$ / m ²
1.	Fırça veya rulo ile tek kat boya	2.37
2.	Tabanca ile tek kat boya	1.94
3.	Tabanca ile iki kat epoksi boya	2.90
4.	Tabanca ile iki kat poliüretan boya	3.55
5.	Tabanca ile çinko tozlu astar boya	3.55
6.	Fırça ile astar	1.94

8.11 BOYALARIN KULLANIM ALANLARI

Korozyonu önlemek üzere kullanılan bir boyada esas olarak şu üç özellik aranır.

Boya uygulandığı yüzeye çok iyi yapışmalıdır.

Boya kuruduktan sonra oluşan tabaka metali çevresinden tam olarak yalıtmalıdır.

Boya tabakası, içinde bulunduğu çevreden gelen fiziksel ve kimyasal etkilere dayanıklı olmalıdır.

Her boya, bağlayıcı ve pigmentinin cins ve miktarına bağlı olarak bu özelliklere kısmen uyar. Bu nedenle boyaların çeşitli koroziyon ortamlardaki servis ömürleri birbirinden farklı olur.

Bazı boyalar örneğin asitlere daha dayanıklı olduğu halde, bazıları da solvent etkisine karşı daha dayanıklıdır. Bu nedenle boya seçiminde öncelikle çevresel etkiler göz önünde bulundurulmalıdır. Her çeşit ortama dayanıklı ve bütün özellikleri mükemmel olan bir boya mevcut değildir. Her boyanın avantajları yanında bazı sakıncaları da mevcuttur. Bütün bu faktörler en iyi şekilde dengelenerek ekonomik ölçüler içinde optimum seçimin yapılması gerekir.

Boya seçimini kolaylaştırmak üzere çeşitli korozif ortamlarda kullanılması uygun olan bazı boya cinslerinin, kullanım alanları, avantaj ve sakıncaları aşağıda verilmektedir.

TABLO -8.17 ÇEŞİTLİ TESİS VE EKİPMANLARI BOYAMAK İÇİN UYGUN BOYA TİPLERİ

No	Tesis ve Ekipman	Boya Tipleri	Çevre Koşulları
1	Atmosfere bulunan demir ve çelik	Alkit, poliüretan İnorganik çinko, Vinil, epoksi	Endüstriyel atmosfer Korozif deniz atmosferi
2	Kapalı ortamda bulunan demir ve çelik	Alkit, poliüretan Vinil, epoksi, Klor kauçuk	Hafif endüstriyel atmosfer Asit ve korozif gazlar
3	Kimyasal çözelti taşıyan tankların iç yüzeyleri	Vinil Epoksi	Tuz çözeltileri Asit ve alkali çözeltiler
4	Su tanklarının iç yüzeyleri	Vinil, epoksi, Klor kauçuk, Coal tar epoksi	Su altı veya yüksek rutubetli ortamlar
5	Beton tanklarının iç yüzeyleri	Vinil, Epoksi, Klor kauçuk	Su altı
6	Solvent taşıyan depolama tankları	İnorganik çinko, Epoksi	Solvent ile temas
7	Dış ortamlarda beton harç veya alçı	Çimento, Akrilik, Vinil asetat, klor kauçuk	Korozif ve rutubetli ortam
8	Dış ortamda ahşap	Yağlı boya Alkit	Kırsal bölge Hafif endüstriyel bölge
9	Kapalı ortamlarda beton duvar ve alçı	Akrilik, Alkit, Klor kauçuk	Hafif endüstriyel ortam
10	Beton döşeme	Epoksi, Poliüretan Klor kauçuk, Vinil	Hafif endüstriyel ortam Seyreltik kimyasal maddeler

8.12. BOYA BAKIM VE ONARIMI

Aynen boya seçimi gibi boya bakım ve onarımı işleri de uzman kişilerce yapılmalıdır. Bu işleri yapmak üzere özel bir teknik eleman veya bir boya servis ünitesi görevlendirilmelidir. Bu servis bütün tesisin boya ile ilgili işlerinin tasarlanması, teknik şartnamelerinin hazırlanması, malzeme ve ekipman satın alınması, boya uygulanması, kayıtlarının tutulması,

periyodik kontrol, bakım ve onarım işlerinin yapılması ile uğraşmalı ve korozyon ile mücadelede yardımcı olmalıdır. Boya servis ünitesinin görevleri şöyle sıralanabilir.

- * Boya şartnamelerinin hazırlanması,
- * Yüzey temizliği işlemlerinin kontrolü,
- * Boya uygulama yöntemlerinin belirlenmesi,
- * Boya seçiminin yapılması,
- * Boya malzemelerinin satın alınması ve depolanması,
- * Minimum ve maksimum kaplama kalınlığı ve kat sayılarının belirlenmesi,
- * Uygulama sırasında çevre sıcaklığı, relatif rutubeti ve çiğlenme noktası gibi özelliklerin kontrolü ve gerekli önlemlerin alınması,
- * Tamir ve onarım sürelerinin belirlenmesi,
- * Tahrip olan, yıpranan yerlerin belirlenerek buralarda yapılacak onarım şeklinin ve tamirde kullanılacak boya cinsinin belirlenmesi,
- * Kontrol rapor ve kayıtlarının tutulması,
- * Boya konusunda kaliteli eleman yetiştirilmesi.

TABLO -8.18 ŞİDDETLİ KOROZİF ORTAMLAR İÇİN ÖNERİLEN BOYA CİNSLERİ

Boya Cinsi	Kullanıldığı Yerler	Avantajları	Sakıncaları
Epoksi (Converted epoxy)	Kimyasal tesisler Petrol rafinerileri	Alkaliye dayanıklı Aşınmaya dayanıklı	İki bileşimli boya Karıştırıldıktan sonra fazla beklemez 10 °C'nin altında uygulanmaz
	Tank dış yüzeyleri Deniz suyu içinde Su arıtma tesislerinde	Solventlere dayanıklı Suya dayanıklı Yapışma özelliği iyi	
Poliüretan (Moisture - cured)	Tank dış yüzeyleri Taban döşemeleri	Aside dayanıklı Aşınmaya dayanıklı	Boya kapağı açılınca kısa sürede kurur sararma yapar Tozlaşma meydana gelir
	Makina parçaları Tekstil fabrikaları	Suya dayanıklı	
Vinil	Tank dış yüzeyleri	Aside dayanıklı	Metale yapışması iyi değildir. Yalnızca tabanca ile uygulanabilir. Çok iyi yüzey temizliği gerektirir Isıya dayanıklı Alevlenme noktası düşüktür
	Petrol rafinerileri	Suya dayanıklı	
	Kimya fabrikaları Deniz suyu içinde İçme suyu tankları	Kolay tamir edilebilir Renk solması olmaz	

TABLO -8.19 ORTA DERECEDE KOROZİF ORTAMLAR İÇİN ÖNERİLEN BOYALAR

Boya Cinsi	Kullanıldığı Yerler	Avantajları	Sakıncaları
Klor kauçuk boya	Kimyasal tesisler Su altı yapıları makinaları Taban döşemeleri	Kimyasal etkilere dayanıklı Aşınmaya dayanıklı	Solventlere dayanıksız
Epoksi Ester	Astar boya olarak Taban döşemeleri Genel amaçlar için	Kimyasal etkilere dayanıklı Aşınmaya dayanıklı Kolay uygulanabilir Suya dayanıklı	Renk solması görülür Parlaklığı kısa zamanda kaybolur
Coal Tar Epoksi	Ham petrol tankları Boruların iç ve dış yüzeyleri Atık su tesisleri	Suya dayanıklı Kimyasal etkilere dayanıklı Kalın film oluşturur	Akma yapar. İki bileşenlidir. Karıştırıldıktan sonra hemen kullanılması gerekir. Yalnız koyu renkleri bulunur.

TABLO -8.20 KOROZİF OLMAYAN ORTAMLARDA GENEL AMAÇLAR İÇİN ÖNERİLEN BOYALAR

Boya Cinsi	Kullanıldığı Yerler	Avantajları	Sakıncaları
Yağlı Boya	Kapalı yerlerde ahşap ve metal yüzeyler	Kolay uygulanır çok ileri yüzey temizliği gerekmez. Çok iyi yapışır. Fleksibildir.	Yavaş kurur, kimyasal etkilere dayanıksızdır. Solventlere dayanıksızdır. Suya dayanıksızdır.
Alkit	Tank dış yüzeyleri Kapalı ve açık yerlerde ahşap yüzeyler Makina parçaları	Kolay uygulanır. Çok ileri yüzey temizliği gerekmez. Fiatı ucuzdur. Parlaklığı kaybolmaz.	Kimyasal etkilere dayanıksız Suya dayanıksızdır.
Lateks	Dış beton ve harç üzerine Dış metal yüzeyler	Su ile inceltilir. Alev almaz Kolay uygulanır.	Isıya dayanıksız Donma-çözünme olayına dayanıksız.

TABLO-8.21 YÜKSEK SICAKLIK ORTAMLAR İÇİN ÖNERİLEN BOYALAR

Boya Cinsi	Kullanıldığı Yerler	Avantajları	Sakıncaları
Organik Çinko Boya	Astar olarak petrol ve kimya tesisleri Bacalar	Sıcaklığa dayanıklı Aşınmaya dayanıklı Çok ileri yüzey temizliği gerekmez.	Solventlere dayanıksız. Maliyeti yüksek Asitlere ve alkalilere dayanıksız
İnorganik Çinko Boya	Solvent tankları Petrol ve kimya tesisleri Yüksek sıcaklıktaki bacalar	Solventlere dayanıklı Yüksek sıcaklığa dayanıklı Aşınmaya dayanıklı	Çok ileri yüzey temizliği ister. Asit ve alkalilere dayanıksız Maliyeti yüksek
Silikon Boya	Yüksek sıcaklıktaki bacalar Kazan dış yüzeyleri Egzos boruları	500 °C'ye kadar sıcaklığa dayanıklı	Maliyeti yüksek solventlere ve kimyasal etkilere dayanıksız

8.13 BOYA ÖMRÜ

Boyanın ideal servis ömrü, boyanın uygulanmasından itibaren ilk tamir yapıldığı güne kadar yıl olarak geçen süredir. İlk tamir, boya yüzeyinde % 3-5 oranında pas lekeleri olduğu anda yapılır. Pratikte ideal boya ömründen çok gerçek boya ömrüne göre karar verilir. **Gerçek boya ömrü**, boyanın uygulanmasından itibaren, boya tabakasının % 30 oranında yıpranmış olduğu ana kadar geçen süredir. Gerçek boya ömrü, ideal boya ömründen yaklaşık olarak % 50 kadar daha uzundur. Tablo-8.22'de verilmiş olan boya ömürleri 'Gerçek Boya Ömrü'dür. Bu ömür yalnızca korozyondan korunma amacıyla değerlendirilmelidir. Boya tabakasının estetik görünüşü için sayısal bir ömür belirlemek söz konusu değildir.

TABLO -8.22 DEĞİŞİK ORTAMLAR İÇİNDE BOYALARIN SERVİS ÖMÜRLERİ, Yıl (*)

				Malzemenin içinde bulunduğu korozif ortamlar											
Boya sistemi	SSPC	Kat sayısı	D.F.T μm	Kuru atm	Şehir atm	Deniz atm	Endüst. atm	Endüst. deniz atm	İçme suyu	Tatlı su	Deniz suyu	Kostik	Asit	Solvent	Sic. °C
Akrilik su bazlı,astar Akrilik su bazlı,orta kat Akrilik su bazlı,üst kat	2/3	3	150	12	7,5	6	4,5	4,5	N	N	N	4,5	4	N	110
Akrilik su bazlı,astar Akrilik su bazlı,orta kat Akrilik su bazlı,üst kat	6	3	150	15	10	9	7,5	7,5	N	N	N	7,5	7	N	110
Akrilik su bazlı,astar Akrilik su bazlı,orta kat Akrilik su bazlı,üst kat	10	3	150	16,5	12	10,5	9	9	N	N	N	9	8	N	110
Alkit ,astar Alkit,üst kat	2/3	2	100	6	3	3	1,5	1,5	N	N	N	0,75	0,75	0,75	110
Alkit ,astar Alkit ,üst kat	6	2	100	10,5	6	4,5	3	3	N	N	N	1,5	1,5	1,5	80
Alkit ,astar Alkit,orta kat Alkit,üst kat	2/3	3	150	10,5	6	4,5	3	3	N	N	N	1,5	1,5	1,5	80
Alkit,astar Alkit,orta kat Alkit ,üst kat	6	3	150	13,5	9	7	4,5	5	N	N	N	2	2	2	80
Lateks,astar Lateks,üst kat	2/3	2	100	6	3	3	1,5	1,5	N	N	N	0,75	0,75	0,75	90
Lateks ,astar Lateks ,üst kat	6	2	100	10,5	6	4,5	3	3	N	N	N	1,5	1,5	1,5	90
Lateks ,astar Lateks,orta kat Lateks ,üst kat	2/3	3	150	10,5	6	4,5	3	3	N	N	N	1,5	1,5	1,5	90

				Malzemenin içinde bulunduğu korozif ortamlar											
Boya sistemi	SSPC	Kat sayısı	D.F.T µm	Kuru atm	Şehir atm	Deniz atm	Endüst. atm	Endüst. deniz atm	İçme suyu	Tatlı su	Deniz suyu	Kostik	Asit	Solvent	Sic. °C
Lateks ,astar Lateks ,orta kat Lateks ,üst kat	6	3	150	13,5	9	6	4,5	4,5	N	N	N	2	2	2	90
Üniversal astar HB Epoksi,üst kat	2/3	2	150	12	7,5	6	4,5	4,5	N	N	N	4,5	3	4,5	90
Üniversal astar HB Epoksi,üst kat	6	2	150	13,5	9	7,5	6	6	N	N	N	6	4,5	6	90
Epoksi astar HB Epoksi,üst kat	2/3	2	150	13,5	7,5	6	4,5	4,5	N	N	N	4,5	3	4,5	90
Epoksi astar HB Epoksi,üst kat	6	2	150	16,5	10,5	9	7,5	6	N	N	N	7,5	6	9	90
Epoksi astar HB Epoksi,üst kat	10	2	150	18	12	10,5	9	9	10	7,5	6		7,5	10	90
Epoksi, su bazlı	6	2	150	16,5	10,5	9	7,5	7,5	N	N	N	7,5	6	7,5	90
Epoksi ,su bazlı	10	2	150	18	12	10,5	9	9	N	N	N	9	7,5	9	90
HB Epoksi,astar HB Epoksi,üst kat	6	2	200	18	12	10,5	8	9	N	N	N	9	7,5	12	120
HB Epoksi astar HB Epoksi,üst kat	10	2	200	19,5	13,5	12	10,5	10,5	12	9	7,5	10,5	9	13,5	90
HB Epoksi astar HB Epoksi,orta kat HB Epoksi,üst kat	6	3	250	21	15	13,5	12,5	12	N	N	N	12	10,5	15	90
HB Epoksi astar HB Epoksi,orta kat HB Epoksi,üst kat	10	3	250	22,5	16,5	15	13,5	13,5	15	12	10,5	13,5	12	16,5	90
HB Epoksi astar Poliester üre,üstkat	6	2	150	16,5	10,5	9	7,5	7,5	N	N	N	7,5	7,5	9	90

				Malzemenin içinde bulunduğu korozif ortamlar											
Boya sistemi	SSPC	Kat sayısı	D.F.T μm	Kuru atm	Şehir atm	Deniz atm	Endüst. atm	Endüst. deniz atm	İçme suyu	Tatlı su	Deniz suyu	Kostik	Asit	Solvent	Sıc. °C
HB Epoksi astar Poliester Üre,üstkat	10	2	150	18	12	10,5	9	9	N	N	N	9	9	10,5	90
Inorganik Çinko,astar HB Epoksi ,üst kat	6	2	175	24	16,5	15	12	12	N	N	N	6	4,5	15	90
Inorganik çinko,astar HB Epoksi ,üst kat	10	2	175	25,5	18	16,5	13,5	13,5	N	N	N	6	4,5	16,5	90
Inorganik çinko,astar HB Epoksi,orta kat HB Epoksi,üst kat	6	3	275	30	21	18	15	15	N	N	N	10,5	9	18	90
Inorganik çinko astar HB Epoksi,orta kat HB Epoksi,üst kat	10	3	275	31,5	22,5	19,5	16,5	16,5	N	N	N	10,5	9	19,5	90
Çinko galvaniz HB Epoksi	10	2	225	34	24	20,5	18	17	20	16,5	14,5	7	5	21,5	120
Çinko galvaniz HB Epoksi,orta kat HB Epoksi,üst kat	10	3	325	39	27	25	22	21,5	24	19,5	18	10,5	9	25	120
Inorganik çinko astar Akrilik,su bazlı	6	2	150	22,5	15	13,5	10,5	10,5	N	N	N	4,5	4,5	N	120
Inorganik çinko astar Akrilik , su bazlı	10	2	150	24	16,5	15	12	12	N	N	N	4,5	4,5	N	120
Epoksi çinko astar HB Epoksi,üst kat	6	2	175	22,5	15	13,5	10,5	10,5	N	N	N	7,5	6	13,5	120
Epoksi çinko astar HB Epoksi,üst kat	10	2	75	25,5	18	15	12	12	N	N	N	7,5	6	15	120

Malzemenin içinde bulunduğu korozif ortamlar															
Boya sistemi	SSPC	Kat sayısı	D.F.T μ m	Kuru atm	Şehir atm	Deniz atm	Endüst. atm	Endüst. deniz atm	İçme suyu	Tatlı su	Deniz suyu	Kostik	Asit	Solvent	Sıc. °C
Epoksi çinko astar HB Epoksi,orta kat HB Epoksi,üst kat	6	3	275	28,5	19,5	16,5	13,5	13,5	N	N	N	12	10,5	16,5	120
Epoksi çinko astar HB Epoksi,orta kat HB Epoksi,üst kat	10	3	275	30	21	18	15	15	N	N	N	12	10,5	18120	
Epoksi çinko astar HB Akrilik üre,üst kat	6	2	175	22,5	15	13,5	10,5	10,5	N	N	N	4,5	6	12	120
Epoksi çinko astar HB Akrilik üre,üst kat	10	2	175	24	16,5	15	12	12	N	N	N	4,5	6	13,5	120
Epoksi çinko astar HB Akrilik üre,ortakat HB Akrilik üre,üst kat	6	3	275	28,5	19,5	16,5	13,5	13,5	N	N	N	9	10,5	15	120
Epoksi çinko astar HB Akrilik üre,orta kat HB Akrilik üre,üst kat	10	3	275	31,5	22,5	18	15	15	N	N	N	9	10,5	16,5	120
Coal Tar Epoksi	6	2	400	19,5	15	15	12	12	N	N	N	12	10,5	12	-
Coal Tar Epoksi	10	2	400	21	16,5	16,5	13,5	13,5	16,5	16,5	13,5	3,5	12	13,5	-
Inorganik Çinko	6	1	75	26	16	13	11	11	N	N	N	N	N	19	400
Inorganik çinko	10	1	75	27	17	15	13	12	N	N	N	N	N	20	400
Organik çinko	6	1	75	8	4	5	4	4	N	N	N	N	N	16	120
Organik çinko	10	1	75	9	5	6	5	4	N	N	N	N	N	17	120
Sıcak galvaniz Pikling	1	85	27	17	13	11	12	6	6	5	N	N	20	400	-

NOT:

Çizelgede kullanılmış olan (N) sembolü, o boya cinsinin söz konusu ortamda kullanılmasının uygun olmadığını ifade eder.

Sıcaklık sütununda verilen değerler, boya tabakasının renginin sarardığı ve parlaklığını kaybettiği minimum sıcaklıktır.

Tabloda söz konusu olan korozif ortamların tanımları şöyledir :

Kırsal Kuru Atmosfer : Endüstriyel kirlenmenin olmadığı denizden uzak bölgeler.

Şehir Atmosferi : Kentsel bölgelerde konut ısıtılması ve trafik nedeniyle kirlenmiş olan atmosfer.

Deniz atmosferi : Denizden en çok 7,5 km uzaklığa kadar olan sahil bölgeleri.

Endüstriyel Atmosfer : Çeşitli kimyasal bileşenlerin atmosfere atıldığı endüstriyel bölgeler.

Endüstriyel Deniz Atmosferi : Denizden en çok 7,5 km uzaklığa kadar olan ve ayrıca endüstriyel kirlenmenin de söz konusu olduğu atmosfer.

Kostik : % 50 konsantrasyona kadar soda ve diğer alkali çözeltiler.

Asit : % 10 konsantrasyona kadar mineral asitler.

Solvent : Aromatik hidrokarbonlar, petrol ürünleri, alkoller ve esterler.

Yüzey Temizlik Dereceleri : Yüzey temizlik dereceleri ' Steel Structures Painting Council' SSPC dereceleri cinsinden verilmiştir. Buna göre ;

(2/3) olarak verilmiş olan temizlik derecesi : El veya makinalı aletler ile yapılmış olan yüzey temizliğini,

(SP 6) olarak verilmiş olan temizlik derecesi : Kum püskürtme ile yapılan Sa-2 temizlik derecesini

(SP 10) olarak verilmiş olan temizlik derecesi :Kum püskürtme ile yapılan Sa-2 ½ temizlik derecesini ifade eder.

BÖLÜM -9

KATODİK KORUMA VE UYGULAMALARI

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

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

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

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

Katot reaksiyonları :

Hidrojen iyonu redüksiyonu, $2 H^+ + 2e^- = H_2$

Oksijen molekülü redüksiyonu, $1/2 O_2 + H_2O + 2e^- = 2 OH^-$

Anot reaksiyonları :

Galvanik anodun çözünmesi, $Me = Me^{2+} + 2e^-$ (a)

Oksijen gazı çıkışı, $H_2O = 1/2 O_2 + 2H^+ + 2e^-$ (b)

Klor gazı çıkışı, $2Cl^- = Cl_2 + 2e^-$ (c)

Karbondioksit çıkışı, $C + 2H_2O = CO_2 + 4H^+ + 4e^-$ (d)

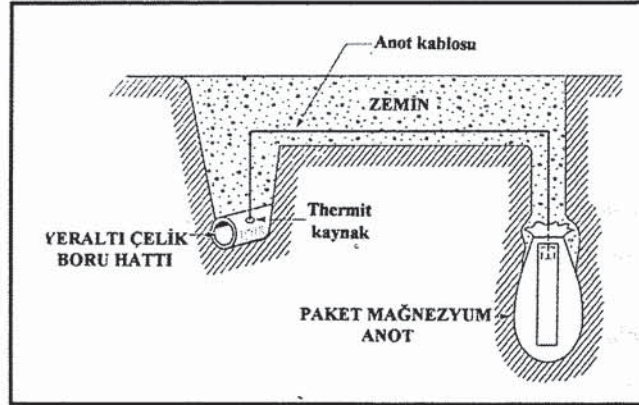
Galvanik anotlu katodik koruma sistemlerinin anotlarında (a) reaksiyonu gerçekleşir. Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinin anot yataklarında ise, ortam koşullarına göre diğer üç reaksiyondan biri meydana gelir. Zemin ve tatlı sular içinde (b) reaksiyonu, deniz suyu içinde (c) reaksiyonu ve grafit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

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

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

9.1 GALVANİK ANOTLU KATODİK KORUMA

Bu sistemin uygulanması çok basittir. Söz konusu yapıyı belli bir süre korumaya yetecek büyüklükte ve miktarda galvanik anotlar uygun noktalardan yapıya bağlanır (Şekil -9.1).



Şekil -9.1 Bir yeraltı boru hattının magnezyum anot ile katodik olarak korunması

Şekilde bir yeraltı çelik boru hattının magnezyum anot ile katodik korunması görülmektedir. Magnezyum anot bir torba içinde anot çukuruna yerleştirilmiştir. Torbanın içinde anot çevresine özel dolgu malzemesi doldurulmuştur. Bunun amacı anot elektriksel

direncini azaltmak ve anodun üniform olarak akım üretebilmesini sağlamaktır. Galvanik anot yataklarında kullanılan anot yatağı dolgu malzemelerinin bileşimi Tablo -9.1'de verilmektedir.

TABLO -9.1 GALVANİK ANOTLAR İÇİN ANOT YATAĞI DOLGU MALZEMESİ

Bileşenler	Tip-A(*)	Tip-B
Jibs ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	% 70 -75	% 25 -30
Bentonit	% 20 -25	% 40 -50
Sodyum sülfat	% 5 - 6	% 25 - 30
Özgül elektrik direnci, Ohm.cm	50-100	25 -50

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

Rezistivitesi 500 Ohm.cm'den daha düşük olan zeminler içinde anotlar doğrudan zemin içine konulabilir. Anot yatağı malzemesi kullanılmakla aşağıdaki avantajlar sağlanmış olur:

* Anot yatağı içinde anot daha üniform olarak harcanır. Bunun sonucu olarak anot kütlelerinin kullanılabilme yüzdesi artar.

* Anot yatağı malzemesi, anot çevresinin sürekli olarak rutubetli ve düşük dirençli kalmasını sağlar. Böylece anot polarizasyonu önlenmiş ve anot akım çıkışı artırılmış olur.

* Dolgu malzemesi kullanmak suretiyle, galvanik anotları yüksek rezistiviteli zeminler içinde de kullanmak mümkün olabilir.

Galvanik Anotlar:

Demir ve çelik yapıların katodik korunmasında galvanik anot olarak magnezyum, çinko ve alüminyum metal ve alaşımları kullanılır. Bu anotların elektrokimyasal özellikleri Tablo -9.2 'de verilmektedir.

TABLO -9.2 GALVANİK ANOTLARIN ELEKTROKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Özellikler	Magnezyum	Çinko	Alüminyum
Teorik akım kapasitesi, A.saat/kg olarak	2200	820	2965
kg/A.yıl olarak	3,94	10,66	3,15
Gerçek akım kapasitesi, A.saat/kg olarak	1100	738	2670
kg/A.yıl olarak	7,88	11,84	3,50
Anot akım verimi, (*)	% 50	% 90	% 90
Elektrot potansiyeli, Volt (**) (Doygun Cu/CuSO ₄ referans elektroduna göre, deniz suyu içinde)	-1,55	-1,10	-1,10
Çeliğe karşı devre potansiyeli, mV	650	250	250

(*) Anot verimi anottan çekilen akım şiddetine de bağlıdır. Tabloda verilen değerler 0,03 mA/cm² akım yoğunluğu içindir.

(**) Alaşım halinde anot potansiyelinde değişme olur.

Galvanik anot olarak genellikle saf metal yerine düşük yüzdeli alaşımlar tercih edilmektedir. Anot bileşiminde bulunan soy metaller anodu pasifleştirici etki yaptıkları için bunların belli bir değerden daha yüksek olması istenilmemektedir. Diğer taraftan metal içine bazı elementler katılarak anodun elektrokimyasal özellikleri iyileştirilmektedir. Pratikte kullanılmakta olan magnezyum, çinko ve alüminyum anotlar için standart bileşimler Tablo-9.3, Tablo -9.4 ve Tablo -9.5’de verilmektedir.

TABLO -9.3 MAĞNEZYUM ANOTLARIN KİMYASAL BİLEŞİMİ

Element	HP Magnezyum anot kütle %	AZ-63 Magnezyum anot kütle %
Alüminyum	En çok 0,05	5,3 - 6,7
Çinko	En çok 0,03	2,5 - 3,5
Mangan(*)	0,5 - 1,5	0,25 -0,40
Silisyum	En çok 0,05	En çok 0,3
Bakır	En çok 0,02	En çok 0,08
Demir	En çok 0,03	En çok 0,03
Nikel	En çok 0,002	En çok 0,003
Magnezyum	Kalan	Kalan

(*) HP magnezyum anot bileşiminde bulunan mangan yüzdesi en az 0,5+0,6 (% Al) kadar olmalıdır.

Magnezyum içine yaklaşık % 6 oranında alüminyum ve % 3 oranında çinko katılarak AZ-63 denilen ve akım verimi saf magnezyumdan daha yüksek olan bir anot elde edilmektedir. Ayrıca magnezyum içine yeteri oranda mangan katılarak yüksek potansiyelli magnezyum anotlar üretilmektedir. Bu anotlar özellikle yüksek rezistiviteli zeminlerde tercih edilmektedir.

TABLO -9.4 ÇİNKO ANOTLARIN KİMYASAL BİLEŞİMİ

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

Çinko anot içinde özellikle demirin % 0,005'in altına düşürülmesi büyük önem taşımaktadır. Aksi halde anot bir süre çalıştıktan sonra oluşan demir oksit anot yüzeyinde sağlam bir kabuk oluşturarak anodun kısa sürede pasifleşmesine neden olmaktadır.

TABLO -9.5 ALÜMİNYUM ANOTLARIN KİMYASAL BİLEŞİMİ

Element	İndium alaşımlı alüminyum anot, %	Civa alaşımlı alüminyum anot, %
Çinko	2,1 - 2,7	0,35 - 0,50
Kadmiyum	0,003-0,032	-
Silisyum	0,01- 0,15	0,11 - 0,21
Demir	En çok 0,25	En çok 0,25
İndium	0,017 -0,024	-
Civa	-	0,035 - 0,45
Alüminyum	Kalan	Kalan

Alüminyum pasifleşme özelliği nedeniyle saf halde anot olarak kullanılamamaktadır. Pasifleşmeyi önlemek üzere anot bileşimine az miktarda civa veya indium katılmaktadır. Civa çevre kirlenmesi açısından zararlı olduğundan son yıllarda daha çok indium alaşımlı alüminyum anotlar tercih edilmektedir.

Anot Direnci

Anot yatağı direncini belirlemek için her şeyden önce zemin içinde bulunan tek anot direncinin hesaplanması gerekir. Anot direnci, anodun dikey veya yatay konumda bulunmasına göre birbirinden farklıdır. Yeraltına dik olarak konulan anotların direnci yatay olarak konulan anotlara göre daha büyüktür. Tek anot direnci H.B.Dwight formülleri ile hesaplanır. Dik ve yatay olarak yerleştirilmiş olan anotların direncinin hesaplanmasında aşağıdaki bağıntılar kullanılır.

Burada,

$$R_d = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{8L}{d} - 1 \right)$$

$$R_y = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{d} - 1 \right)$$

R_d : Dik olarak yerleştirilen tek anot direnci, Ohm

R_y : Yatay olarak yerleştirilen tek anot direnci, Ohm

ρ : Anot yatağı rezistivitesi, Ohm.cm

L : Anot boyu, cm (Anot yatağı dahil)

d : Anot çapı, cm (Anot yatağı dahil)

Galvanik Anot Ömrü

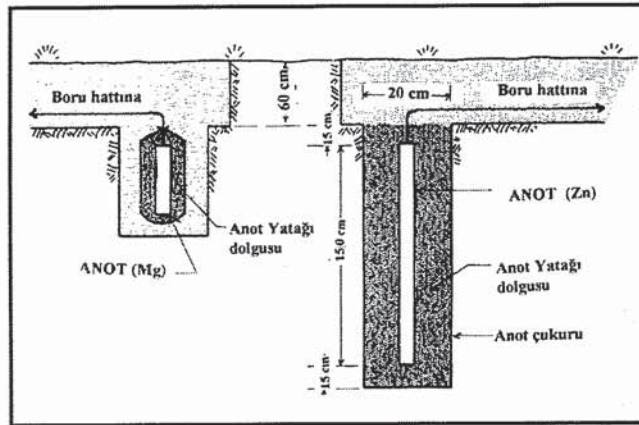
Birim kütledeki bir anottan çekilebilecek maksimum akım miktarına **teorik akım kapasitesi** denir. Bu miktar A.saat/kg veya kg/A.yıl olarak ifade edilir. Bu değer kullanılarak belli miktarda bir akım ihtiyacı için kaç kg anot kütlesinin gerekli olduğu veya belli kütledeki bir anodun kaç yıl dayanacağı (ömrü) hesaplanabilir. Ancak pratikte anot ömrüne etki yapan iki önemli faktörün de göz önünde bulundurulması gerekir. Bunlardan biri **anot akım verimi**'dir. Anot akım verimi,anottan çekilen akım miktarının Faraday Yasası ile hesaplanan akım miktarına oranı olarak tanımlanır. Bir de **anot kullanma faktörü** vardır. Anotlar kullanıldıkça kütle kaybı ile birlikte yüzey alanları da küçülür. Bunun sonucu olarak anot direnci gittikçe artar. Diğer taraftan anodun harcanması hiç bir zaman üniform olarak yürümez ve anot kütlesi tam olarak bitinceye kadar kullanılamaz .Pratikte galvanik anot kütlesinin en çok %85'inin kullanılabileceği kabul edilir. Bu durumda anot ömrünün hesabında aşağıdaki formül kullanılabilir

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

Bu bağıntı ile, belli kütledeki bir anodun kaç yıl kullanılabileceğini veya belli bir katodik koruma ömrüne yetecek anot kütlesini hesap etmek mümkün olur.

Galvanik Anotların Montajı

Yeraltında kullanılmak üzere torbalanmış hazır galvanik anotlar vardır. Bu anotlar doğrudan çukurlar içine yerleştirilebilir. Çıplak haldeki galvanik anotları yeraltına yerleştirebilmek için, önce açılan çukur içine anot yatağı malzemesinin üçte biri konur, daha sonra anot ortalı olarak çevresi anot yatağı dolgu maddesi ile doldurulur.Paket halinde veya çıplak halde galvanik anot montajı Şekil -9.2'de görülmektedir.



Şekil -9.2 Galvanik anotların yeraltına konulması

Boru hatlarına bağlanan galvanik anotlar boru hattı boyunca uygun aralıklarla dağıtılır. Anotların zemin rezistivitesinin en düşük olduğu bölgelere konulması uygundur. Birden fazla anodun boruya bir noktadan bağlanması halinde, anotlar önce paralel olarak bağlanır, daha sonra bir grup halinde boruya kaynak edilir. Anot bağlantısı **termit kaynağı** ile yapılmalıdır. Kaynak yeri ve diğer bağlantılar sağlam bir şekilde izole edilmelidir. Potansiyel düşüşüne meydan vermemek için kablo kesit alanları en az 6 mm² olmalıdır.

Anot Cinsi ve Boyutu

Bir katodik koruma sisteminde kullanılacak galvanik anodun cinsinin belirlenmesinde aşağıdaki kriterler göz önünde bulundurulur.

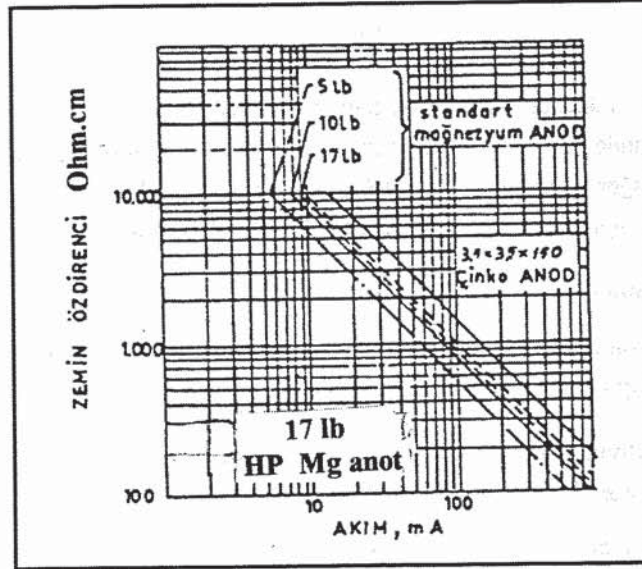
* Yüksek rezistiviteli zeminler ve tatlı sular içinde magnezyum anotlar, özellikle HP magnezyum anotlar tercih edilmelidir.

* Çinko anotların akım verimleri yüksek ve fiyatları da daha ucuzdur. Ancak bu anotların potansiyeli düşük olduğundan yalnız düşük rezistiviteli zeminler ve tuzlu sular içinde kullanılabilirler.

* Alüminyum anotların akım kapasitesi diğer anotlara göre çok yüksektir. 1 A.yıl akım üretebilmek için 3,5 kg alüminyum yeterli olduğu halde, 7,88 kg magnezyum veya 11,84 kg çinko gereklidir. Bu avantajına rağmen alüminyum anotlar kolayca pasifleştikleri için saf halde kullanılamazlar. Alüminyum içine az miktarda civa veya indium katılarak pasifleşmesi önenebilir. Bu durumda bile alüminyum anotlar ancak deniz suyu içinde pasifleşmeden kullanılabilir.

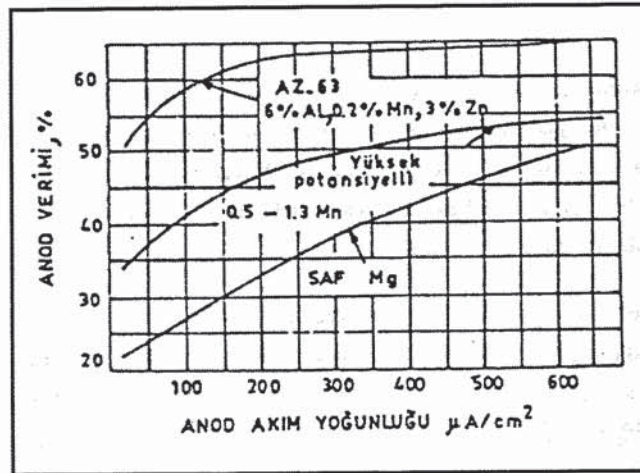
Galvanik anotlardan çekilen akım şiddeti, anot katot arasındaki potansiyel farkı ile anot direncine bağlıdır. Dolayısıyla anot direnci ne kadar azaltılabilirse, anottan çekilen akım şiddeti de o oranda artar. Böyle olunca bir anot yerine eşit kütlede iki küçük anot kullanılarak anot akım çıkışı artırılabilir. Özellikle yüksek rezistiviteli zeminler içinde küçük boyutlu çok sayıda anot kullanılması daha uygundur.

Boyutları belli olan bir galvanik anodun, rezistivitesi bilinen bir zemin içindeki direncini hesaplayarak, buradan anottan çekilebilecek maksimum akım şiddetini bulmak mümkündür. Bazı standart tip anotların değişik rezistiviteli zeminler içinde verebileceği akım şiddeti hesaplanarak grafikler halinde verilmiştir. Şekil - 9.3'de çok kullanılan standart tipte çinko ve magnezyum anotlardan çekilebilen maksimum akım şiddeti değerlerini veren grafikler görülmektedir.



Şekil -9.3 Standart anotlardan zemin içinde çekilebilen maksimum akım

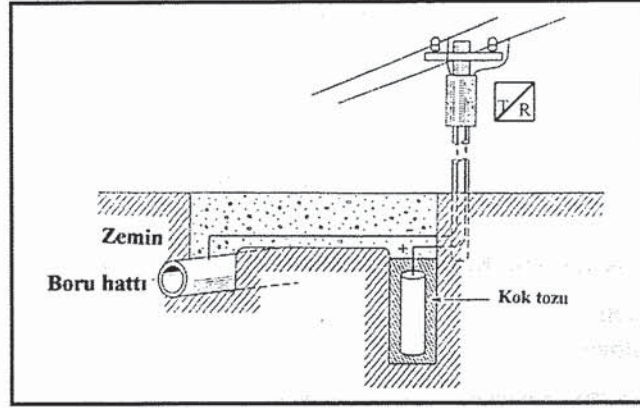
Bu grafiklerin anot akım verimi ile birlikte kullanılması gerekir. Anot akım verimi doğrudan anot cinsine bağlıdır. Magnezyum anotların akım verimi % 50-60, çinko ve alüminyum anotların ise, % 90 civarındadır. Ancak akım verimi yalnız anot cinsine bağlı olmayıp, anottan çekilen akım yoğunluğuna da bağlıdır. Düşük akım yoğunluklarında anot verimi azalır. Şekil -9.4'de değişik akım yoğunluklarında magnezyum anotların akım verimleri görülmektedir.



Şekil -9.4 Magnezyum anotların akım verimleri

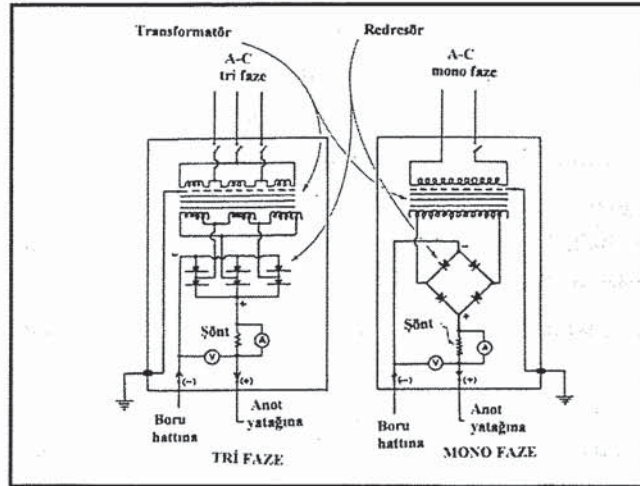
9.2 DIŞ AKIM KAYNAKLI KATODİK KORUMA SİSTEMLERİ

Bu sistemde katodik koruma için gerekli akım genellikle bir alternatif akım kaynağından çekilerek doğru akıma dönüştürülür. Bu amaçla bir **Transformatör-Redresör (T/R)** sistemi kullanılır. Şekil -9.5'de bir boru hattının, dış akım kaynaklı katodik koruma sistemi ile katodik olarak korunması görülmektedir.



Şekil -9.5 Bir boru hattının dış akım kaynaklı katodik koruma sistemi ile korunması

Trafo-redresör ünitesinden, potansiyel ayarlanmak suretiyle istenilen miktarda doğru akım çekilebilir. Şekil -9.6'da biri monofaze diğeri de trifaze olan iki trafo-redresör ünitesinin şeması görülmektedir. Katodik koruma devresine bir sabit referans elektrot konularak, trafo-redresör ünitesinden çekilen akımı otomatik olarak ayarlamak da mümkündür.



Şekil -9.6 Transformatör-Redresör ünitesi

9.3 KATODİK KORUMA SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Teorik ilkeleri aynı olan katodik koruma sistemleri uygulamada birbirinden oldukça farklıdır. Bu iki sistemin hem teknik hem de ekonomik açıdan bazı avantaj ve dezavantajları vardır.

Galvanik Anotlu Katodik Koruma Sisteminin Avantajları :

1. Dış akım kaynağına gerek yoktur. Bu sistem elektrik enerjisinin bulunmadığı yerlerde tek seçenektir.
2. Yapımı basit ve kolaydır. İşletme sırasında hiç bir ayarı gerektirmez. Çevre yapılar üzerinde interferans etkisi yapmaz.
3. Anot-katot arasındaki potansiyel farkı akım ihtiyacını karşılayacak ölçüde otomatik olarak ayarlanır.

Galvanik Anotlu Katodik Koruma Sistemlerinin Dezavantajları :

1. Akım maliyeti yüksektir. Bu nedenle yüksek akım ihtiyacının söz konusu olduğu hallerde tercih edilmez.
2. Galvanik anotların potansiyeli düşük olduğundan, yüksek rezistiviteli elektrolitler içinde etkili olamazlar.
3. İşletme sırasında herhangi bir nedenle katodik koruma akım ihtiyacında artış olursa, mevcut anotlar ile bunu karşılayabilmek mümkün olmaz. Yeni anotlar ilave edilmesi gerekir.

Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma Sistemlerinin Avantajları :

1. Elektrik akımının maliyeti galvanik anotlara göre daha ucuzdur.
2. Elektrolit direncinin yüksek olması halinde de rahatlıkla katodik koruma uygulanabilir.
3. Proje sırasında göz önüne alınmayan etkenler nedeniyle akım ihtiyacı beklenmedik şekilde değişirse, trafo ünitesinden kolaylıkla ayar yapılabilir.

Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma Sistemlerinin Dezavantajları:

1. Bu sistem elektrik akımı bulunmayan yerlerde uygulanamaz. Ancak son yıllarda, güneş enerjisinden fotovoltaik pillerle elde edilen elektrik akımının katodik koruma sistemlerinde kullanılmasına başlanmıştır.
2. Anot yatağı yakınında bulunan yabancı metalik yapılar üzerinde interferans etkisi yaratmaktadır.
3. Yapıya akımın uygulandığı noktada aşırı potansiyel yükselmeleri görülebilir. Bu bölgede hidrojen çıkışı nedeniyle kabuk soyulması ve hidrojen kırılgenliği olayları meydana gelebilir.

9.4 DIŞ AKIM KAYNAKLI KATODİK KORUMA SİSTEMLERİNDE KULLANILAN ANOTLAR

Bir katodik koruma devresinden akım geçebilmesi için anot ve katot yüzeylerinde aynı anda ve eşdeğer miktarda bir kimyasal reaksiyonun yürümesi gerekir. Aksi halde elektronik devrede anottan katoda doğru akan elektronların burada harcanması ve anotta yeniden elektron birikimi mümkün olmaz. Anot ve katot yüzeylerinde yürüyen kimyasal reaksiyonlar katodik koruma sistemlerinin performansını belirleyen en önemli kriterlerdir.

Katodik koruma sistemlerinin temel amacı korunması istenilen metal yapıyı katot haline getirmek olduğuna göre, devreden katodik polarizasyona yetecek şiddette bir akımın geçirilmesi gerekecektir. Doğal olarak anot akım şiddeti de buna eşdeğer olmak zorundadır. Pratikte katodun mümkün olduğunca çabuk polarize olması, buna karşılık anodun polarize olmadan sürekli aktif kalması istenir. Galvanik anotlu katodik koruma sistemlerinde, gerekli akım yalnız anot metalinin çözünmesi ile sağlanır. Galvanik anotların akım kapasiteleri ve akım verimleri bellidir. Devreye belli süreye yetecek miktarda ve sayıda galvanik anot bağlanarak korunacak katot yüzey alanı için gerekli akım sağlanmış olur.

Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinde anot metali ve elektrolit cinsine bağlı olarak anot yüzeyinde çeşitli reaksiyonlar meydana gelir. Anot reaksiyonu anodun verimine ve ömrüne doğrudan etki yapar. Metal cinsi ne olursa olsun, anotta daima bir oksidasyon reaksiyonu meydana gelir. Anot yüzeyinde hangi oksidasyon reaksiyonunun yürüyebileceğini ortam koşullarına bağlı olarak muhtemel reaksiyonların serbest entalpi değişimleri belirler. Ancak gaz çıkışları reaksiyonlarında metal yüzeylerinde aşırı gerilim oluşabilir. Yine bunun gibi anotta meydana gelen bazı kimyasal bileşiklerin anot yüzeyinde çökmesi ile metal-elektrolit ara yüzeyinde yürümesi beklenen reaksiyonun hızı yavaşlayabilir. Bütün bunlar anot reaksiyonlarını oldukça karışık bir hale dönüştürür.

Anot Reaksiyonları :

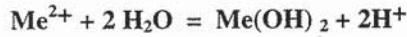
Su veya zemin içinde bulunan bir anodun yüzeyinde yürüyen başlıca anot reaksiyonları şunlardır.

1- Metalin oksitlenme reaksiyonu

Özellikle soy olmayan anot metalleri oksitlenerek metal iyonu haline dönüşürler.



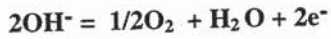
Oluşan metal iyonları nötral ortamlarda su ile reaksiyona girerek hidroksit haline dönüşebilir.



Metal hidroksitlerin çözünürlüğü genellikle azdır. Bu nedenle anot yüzeyinde kabuk oluştururlar. Bu reaksiyonlar sonucu anot bölgesi asidik bir karakter kazanır. Dış kaynaklı katodik koruma sistemlerinde demir ve alüminyum gibi soy olmayan metal alaşımları kullanılması halinde anotlar bu reaksiyona göre aynen galvanik anotlar gibi çözünerek kısa sürede harcanırlar.

2- Anotta oksijen çıkışı :

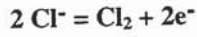
Anot soy bir metal ise (veya pasifleşmiş ise) anotta suyun ayrışması sonucu oksijen çıkışı meydana gelebilir.



Bu reaksiyon sonucunda da anot civarında asidik bir ortam oluşur. Tatlı sularda ve zemin içinde hakim anot reaksiyonu oksijen çıkışı şeklindedir.

3- Anottan klor çıkışı :

Deniz suyu içinde ve klorür konsantrasyonu yüksek diğer tuzlu sular içinde anotta oksijen yerine (veya onunla birlikte) klor gazı çıkabilir.



Açığa çıkan klor gazı su ile reaksiyona girerek,



hipokloröz asidi oluşturur. Bu asit zayıf bir asit olduğundan klor çıkışı halinde anot bölgesinde pH düşüşü çok fazla olmaz.

Anotta oksijen veya klor gazlarından hangisinin çıkacağı elektrolit içinde bulunan klorür konsantrasyonuna ve anot metali üzerinde söz konusu gazların aşırı gerilim değerlerine bağlıdır. Standart elektrot potansiyelleri klor için -1.36 Volt, oksijen için -0.40 Volt'dur. Deniz suyu içinde klorun ayrışma gerilimi -1.39 Volt, oksijen ayrışma gerilimi -0.81 Volt olmasına rağmen oksijen aşırı geriliminin yüksek oluşu nedeniyle (demir yüzeyinde 1 mA/cm² akım yoğunluğunda oksijen aşırı gerilimi 0.70 Volt) deniz suyu içinde anotta klor çıkışı olur.

4- Karbondioksit çıkışı :

Zemin içinde kullanılan anotlar genellikle kok tozundan oluşan bir anot yatağı içine konulur. Bu tip anot yataklarında anot reaksiyonu karbonun oksitlenmesi şeklindedir.



Bu reaksiyonlar için kok tozunun ıslak halde olması gerekir. Reaksiyon sonunda anot bölgesi diğer anot reaksiyonlarında olduğu gibi asidik bir karakter kazanır.

Anotlardan Beklenen Özellikler:

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

1- Katodik koruma sistemlerinde ilk tesis maliyetinin yaklaşık yarısı anotlara harcanır. Bu nedenle anot metalinin ucuz olması ekonomik açıdan önem taşır.

2- Anot birim yüzeyinden çekilebilen akım mümkün olduğunca yüksek olmalı ve anot direnci zamanla fazla artış göstermemelidir.

3- Anottan çekilen (A.yıl) başına anot kütle kaybı mümkün olduğunca küçük olmalıdır. Anotlar kendilerinden beklenen süre akım üretebilmelidir.

Bunun dışında anotlar sağlam, hafif ve çevre kimyasal etkilerine karşı dayanıklı olmalıdır. Ticari anotlar değerlendirilirken fiyatı dışında bütün teknik özelliklerinin de göz önüne alınması gerekir.

Anot Cinsleri

Endüstride su altında, zemin içinde, deniz suyunda ve değişik kimyasal elektrolitler içinde kullanılmak üzere çeşitli anot tipleri geliştirilmiştir. Projelendirmede uygun bir seçim yapabilmek için başlıca ticari anotların teknik özelliklerinin tam olarak bilinmesi gerekir.

Grafit Anotlar :

Grafit anotlar, ekonomik oluşları nedeniyle deniz suyu, tatlı su ve zemin içinde yardımcı anot olarak kullanılmaktadır. Anot reaksiyonu sonucu daima gaz çıkışı meydana geldiğinden, grafit anotların yüzeyinde bir pasif tabaka oluşmaz. Zemin ve tatlı sular içinde karbon dioksit ve oksijen çıkışı meydana gelir. Deniz suyu içinde ise esas olarak klor gazı oluşur. Yüksek akım yoğunluklarında klor yanında az miktarda oksijen ve karbondioksit gazları da çıkabilir.

Grafit anotlardan tatlı sular içinde $4A/m^2$, zemin içinde $10 A/m^2$, deniz suyu içinde $30 A/m^2$ 'den fazla akım çekilmesi sakıncalıdır. Normal halde grafit anotlardan $2.5-3.0 A/m^2$ akım çekilmesi uygundur. Bu durumda anot kütle kaybı $0.5 kg/A.yıl$ değerinin altında kalır. Yüksek akım yoğunluklarında grafit anot kısa süre içinde parçalanır.

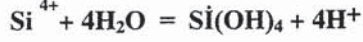
Zemin içinde grafit anotların kok tozu anot yatağı içine konulması uygundur. Böylece anodun üniform olarak harcanması sağlanabilir. Ancak anot reaksiyonu sonucu oluşan gazların anot bölgelerinden uzaklaştırılması için özel önlemler alınması gerekir. Çok ince kok tozu veya içine kireç katılmış olan anot yataklarında gaz birikimi olabilir. Bunu önlemek üzere elenmiş kok tozu kullanılması gerekir. Eğer anot yatağı ıslak ise, veya yeraltı su tablası altında kalıyor ise, kok tozu içine bir miktar söndürülmüş kireç katılması, anot reaksiyonu sonucu açığa çıkan asitleri nötrülemek bakımından faydalıdır.

Grafitin elektrot potansiyeli çeliğe göre yaklaşık 1.7 Volt daha pozitifdir. Bu durumda akımsız halde grafit katot, çelik anot olacaktır. Grafitin anot haline gelmesi için katodik koruma devresine 1.7 Volt ilave bir potansiyel uygulanması gerekir.

Demir-Silikon Anotlar :

Bileşiminde yaklaşık % 14.4 oranında silisyum içeren dökme demir anotlar inert anot olarak pratikte çokca kullanılmaktadır. Bu anotların yüzeyinde kısa sürede sağlam bir

silisyum dioksit tabakası oluşur. Bu filim anodun parçalanmasını önler, fakat anot direncinin artmasına neden olmaz. Saf silisyum dioksitin rezistivitesi çok yüksektir. Anot yüzeyinde,



reaksiyonu meydana gelir. Burada iletkenliği H^+ iyonları sağlar. Bu nedenle anot yüzeyinin tam olarak silisyum dioksit ile kaplanması istenmez. En uygun silisyum yüzdesi %14.35'dir.

Demir silikon anotlar zemin ve tatlı sular içinde oldukça dayanıklıdır. Anot kaybı 20 A/m^2 akım yoğunluğunda 0.5 kg/A.yıl civarındadır. Deniz suyu içinde klor gazı çıkışı nedeniyle, demir silikon anotların yüzeyindeki pasiflik bozulur. Bu durumda anot yüzeylerinde oyulma tipi korozyon görülür. Bunu önlemek üzere anot bileşimine az miktarda krom (yaklaşık % 4.5) katılır. Krom yerine molibden katılması halinde anotlar 100°C sıcaklıklarda da rahatlıkla kullanılabilir.

Demir-silikon anotların en büyük dezavantajı anodun ağır ve kırılğan oluşudur. Diğer taraftan anot yatağının kuruması halinde akım çıkışında büyük ölçüde azalma meydana gelir

Gümüş - Kurşun Anotlar :

Bileşiminde %1-2 oranında gümüş içeren kurşun anotlardan deniz suyu içinde ortalama $50-200 \text{ A/m}^2$ akım çekilebilir. Bu anotların kütle kaybı başlangıçta 1 kg/A.yıl olmasına rağmen, yaklaşık 1 ay sonra $30-50 \text{ g/A.yıl}$ değerine kadar azalır. Bunun nedeni anot yüzeyinde oluşan **kurşun peroksit** filmidir. Bu bileşik anodun çözünerek harcanmasını önler. Buna karşılık iyi iletken özellikte oluşu nedeniyle anot direncinde zamanla artış görülmez. Fakat anottan 400 A/m^2 'den fazla akım çekilecek olursa, peroksit tabakası altında kurşun klorür veya kurşun oksiklorür bileşikleri oluşabilir. Anot yüzeyinde kabarcıklar veya yumrular halinde görülen bu bileşikler iletken olmadıkları için anot akım çıkışının azalmasına neden olurlar.

Zemin ve tatlı sular içinde anot yüzeyinde peroksit tabakası oluşmaz. Ayrıca anot çok düşük akım yoğunluğunda çalıştırılırsa etkili bir peroksit tabakasının oluşması gerçekleşmez. Bu durumlarda anotta kurşun çözünerek iyon halinde çözeltiye geçer. Bu nedenle gümüş kurşun anotlar ancak deniz suyu içinde kullanılabilir. Saf kurşun deniz suyu içinde yüzeyde kurşun klörür oluşması nedeniyle kısa sürede pasifleşir. Bunu önlemek üzere düşük yüzdeli gümüş-kurşun alaşımı kullanılır. Bu alaşım elektrolit içinde klörür yanında sülfat bulunması halinde bile pasifleşmez.

Gümüş-kurşun anotlarda gümüşün rolü, anot yüzeyinde peroksit tabakası oluşumunu kolaylaştırmak içindir. Bu tabaka oluşumu, gümüş oranı % 2'ye çıkarılarak veya anot yüzeylerinin grafit tozu ile kaplanması ile çabuklaştırılabilir.

Kurşun hem ucuz, hemde işlenmesi kolay bir metaldir. Son zamanlarda % 1 gümüş + % 6 Antimon + % 93 Pb kurşun bileşiminde olan anotlar ülkemizde üretilerek çokca kullanılmaya başlanmıştır. Kurşun anotlar silindirik biçimli olduğu kadar plastik yataklara tutturulan 1.5-2.0 cm kalınlıkta plakalar halinde de kullanılmaktadır. 1.5 cm kalınlıktaki bir anot normal işletme koşullarında 20 yıldan fazla rahatlıkla kullanılabilir.

Platin Kaplanmış Titanyum Anotlar :

Titanyum metali üzerine 5-10 mikrometre kalınlığında platin kaplanarak yüksek performanslı anotlar elde edilebilir. Bu anotlardan deniz suyu içinde çok yüksek yoğunluklarda akım çekilebilir. Deniz suyu içinde 1000 A/m^2 olan akım çıkışı, zeminde kok tozu anot yatağı içinde $100-300 \text{ A/m}^2$ civarındadır. Platin kaplanmış titanyum (veya niobyum) anotların kütle kaybı çok azdır. Deniz suyu içinde kütle kaybı 5-10 mg/A. yıl civarındadır.

Platin kaplı anotlar klor çıkışına karşı dayanıklı oluşları ve yüksek akım yoğunluğu nedeniyle ideal bir anottur. Ancak bu anotların pahalı oluşları yanında önemli bir dezavantajı daha vardır. Bu anotlar 8 Volt'dan daha yüksek potansiyelde çalıştırılacak olursa platin kaplama bozulabilir. Diğer taraftan alternatif akım girişinde frekans oynaması (ripple) halinde de anot kaplamasında yine bozulma meydana gelebilir. Bu durumda anot pasifleşerek kullanılmaz hale gelir.

Metal Oksit Kaplı Titanyum Anotlar :

Titanyum üzerine iletken özellikte metal oksitler kaplanarak hiç pasifleşme göstermeyen anotlar elde edilmiştir. Bu anotlardan en önemlisi **Nikel-Ferrit** anotlardır. Bu anotlar $\text{NiO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ oksitlerinin uygun bir karışımının, titanyum metali üzerine sinterleşme suretiyle kaplanması yoluyla elde edilmektedir.

Bu tip anotlar, anot reaksiyonu sonucu klor veya oksijen çıkışından hiç etkilenmemekte ve $\text{pH}=1$ değerine kadar asitlere dayanmaktadır. Bu inert özelliği nedeniyle oksit kaplı titanyum anotların kütle kaybı çok azdır. Deniz suyu içinde 600 A/m^2 , zemin içinde kok tozu anot yatağı kullanılarak 100 A/m^2 çekilebilir. Bu anotların platin kaplı anotlara göre en büyük avantajı yüksek akım yoğunluklarında oksijen ve klor gazları çıkış reaksiyonlarında anot aşırı geriliminin fazla yükselmemesidir.

Hem klor hem de oksijen ayrışma gerilimi oksit kaplı titanyum anotlarda daha düşüktür. Her iki anotta da önce klor gazı çıkışı meydana gelir. Ancak yüksek akım yoğunluğunda (yaklaşık 500 A/m^2) platin kaplı titanyum anotlar üzerinde oksijen çıkışı da başlar.

Oksit kaplı titanyum anotlarda ayrışma gerilimi akım yoğunluğuna göre çok az artış gösterir. Bu durum uygulanan dış akım potansiyelini fazla artırmadan, anotlardan yüksek akım çekebilme imkanı vermesi bakımından pratikte büyük önem taşır. Böylece daha küçük boyutlu anotlar kullanarak anot yatağını küçültmek mümkün olmaktadır.

Bu anotlar hiç polarize olmadan çok yüksek akım yoğunluklarında kullanılabilir. Özellikle asitler ve çeşitli aktif kimyasal bileşiklerin bulunduğu elektrolitler içinde küçük boyutlardaki anotlar ile yeteri miktarlarda akım çekilebilmektedir. Deniz suyu içinde kütle kaybı 1.7 g/A.yıl'dır . Çeşitli anot tiplerinin kütle kaybı konusunda bir fikir vermek üzere, deniz suyu içinde 500 A/m^2 akım yoğunluğundaki kütle kayıpları Tablo -9.6'da verilmektedir.

TABLO -9.6 ÇEŞİTLİ ANOTLARIN KÜTLE KAYIPLARI

Sıra No:	Anot Cinsi	Kütle kaybı, (g/A.yıl)(*)
1	Platin Kaplı Titanyum Anot	0.01
2	Oksit kaplı titanyum anotlar	
	% 40 NiO + % 60 Fe ₂ O ₃	0.40
	% 10 NiO + % 90 Fe ₂ O ₃	1.56
3	Gümüş kurşun anot	30
4	Grafit Anot	200
5	Kromlu Demir-Silikon Anot	450

(*) Deniz suyu içinde 500 A/m² akım yoğunluğunda

Katodik koruma sistemlerinde kullanılan anotlar hem maliyet açısından hem de sistemin performansına etki yapan bir faktör olarak büyük önem taşır. Dış akım kaynaklı bir katodik koruma sisteminde kullanılacak anotlar herşeyden önce söz konusu ortam içinde uzun süre dayanmalı ve pasifleşmeden üniform bir akım çıkışı sağlamalı ve ucuz olmalıdır.

9.5 DERİN KUYU ANOT YATAKLARI

Anot yatakları katodik koruma sistemlerinin en önemli ünitesini oluşturur. Proje maliyetinin büyük bir kısmı anot yatağının malzeme ve montajına aittir. Sistemin performansı ve ömrü doğrudan anot yatağına göre belirlenir. Bu nedenle katodik koruma projelerinde anot yatağı yerinin belirlenmesi, kullanılacak anot cinsi ve sayısının tayini ve anot yatağı direncinin hesaplanması büyük önem taşır.

Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinde biri sığ, diğeri derin kuyu olmak üzere iki tip anot yatağı kullanılmaktadır. Sığ anot yataklarında anotlar yaklaşık 2 m derinlikte kok tozu yatağı içine yatay veya dikey konumda yerleştirilmektedir. Derin kuyu anot yataklarında ise, anotlar yeterli derinlikte bir kuyu içine dikey olarak sallandırılıp, gerekirse kuyu içine kok tozu doldurulmaktadır. Sığ anot yataklarının hem maliyetleri düşük, hem de montajı basit ve kolaydır. Buna rağmen birçok yerde aşağıda belirtilen avantajlarından dolayı derin kuyu anot yatağı tercih edilmektedir.

1- Sığ anot yatağı için geniş bir alana ihtiyaç vardır. Anot yatağı yapılmış bir arazinin başka amaçlarla kullanılması da mümkün değildir. Bu nedenle bir çok yerde anot yatağı yapımı için uygun bir arazinin bulunması mümkün olmamaktadır. Özellikle kent içlerinde boş arazi bulunamadığı için, dere ve kayalık bölgelerde de topoğrafik zorluklar nedeniyle sığ anot yatağı yerine derin kuyu anot yatağı tercih edilmektedir.

2- Zemin rezistivitesinin çok yüksek olması halinde anot yatağı direncini istenilen düzeye düşürebilmek güçleşmektedir. Bu sorun derin kuyu anot yatakları ile daha kolay

çözölmektedir. Bu anotlar mevsimsel meteorolojik olaylardan da etkilenmemektedir. Diğer taraftan bu anotlar yüzeye yakın bölgede yapılması muhtemel inşaat ve tarımsal etkinliklerden sığ anotlar gibi zarar görmemektedir.

3- Derin kuyu anotlardan daha uniform bir akım dağılımı sağlanabilmekte ve zemin yüzeyinde daha düşük bir potansiyel farkı oluşmaktadır. Bu nedenle derin kuyu anotların çevre metalik yapılar üzerine anodik interferans etkisi daha az olmaktadır.

Bu avantajlar yanında derin kuyu anot yataklarının başlıca dezavantajları da şöyle sıralanabilir.

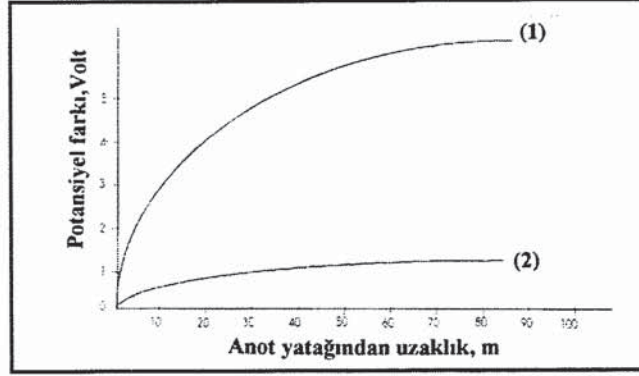
1- Derin kuyu anot yataklarının yapım ve montaj maliyeti, eşdeğer akım üreten sığ anot yataklarına göre daha yüksektir.

2- Anot yatağı dolgu malzemesi olarak kullanılan kok tozunun kuyu içine, boşluksuz olarak doldurulması oldukça güçtür. Boşluk kalması halinde anot direnci artmaktadır. Diğer taraftan anot reaksiyonları sonucu oluşan gazların dışarı atılması da sorun yaratmaktadır. Kuyu içine ayrı bir havalandırma borusu konularak oluşan gazların uzaklaştırılması yoluna gidilmektedir. Bu önleme rağmen pratikte, anot yatağı içinde gaz birikmesi sonucu direnç artışı ve anot akım çıkışının azalışı olayı ile sık sık karşılaşmaktadır.

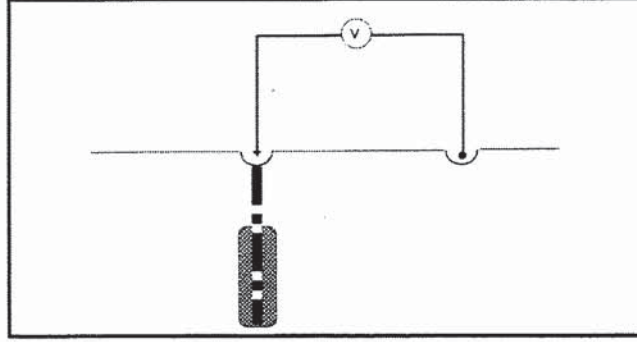
Derin Kuyu ve Sığ Anot Yataklarının Karşılaştırılması

Anot yatağının temel görevi, istenilen şiddette doğru akımı belli bir potansiyel düzeyinde zemin içine yaymaktır. Bunu sağlayabilmek için anot yatağı direncinin mümkün olduğunca düşük olması ve bunun zamanla artmaması gerekir. Anot yatağı direnci, kuyunun boyuna, çapına, dolgu maddesinin rezistivitesine, anot cinsi ve sayısına ve özellikle çevre zeminin özgül elektrik direncine bağlıdır. Bu sonuncu özellik anot yatağı yeri seçilirken mutlaka göz önüne alınmalıdır. Kuyu açılmadan önce söz konusu bölgenin hidrolojisi, litolojisi ve zeminin jeolojik yapısı incelenmelidir. Wenner dört elektrot yöntemi ile ancak belli bir derinliğe kadar (genellikle yüzeydeki toprak tabakasının) anlamlı rezistivite ölçümleri yapılabilir. Derin kuyu çok sayıda jeolojik tabakadan geçebilir. Bu nedenle kuyuyu karakterize eden gerçek rezistivite değeri ancak kuyu açıldıktan sonra elde edilebilir.

Anot yatağı için açılacak olan kuyunun derinliği, çekilecek akım şiddetine yani kuyu içine yerleştirilecek anot sayısı ve büyüklüğüne bağlıdır. Kuyunun yüzeyden itibaren belli bir derinliğe kadar olan bölgesine anot konulması uygun değildir. Anotların yüzeye yakın olarak konulması halinde anot çevresinde aşırı bir potansiyel artışı görülür. Yüzeyde potansiyel artışının +200 mV'dan fazla olmaması için, anotların kuyu içine yüzeyden itibaren en az 15 m derinliğe konulması gerekir. Kuyu içinde hiç inaktif bölge bırakmadan yüzeyden itibaren anot konulması halinde, anot yatağı civarında yüzeyde (+) yönde aşırı potansiyel artışları gözlenir. Şekil -9.7. Zemindeki potansiyel değişimi, iki Cu/CuSO₄ referans elektrot yardımı ile yüzeyde ölçülebilir (Şekil -9.8).

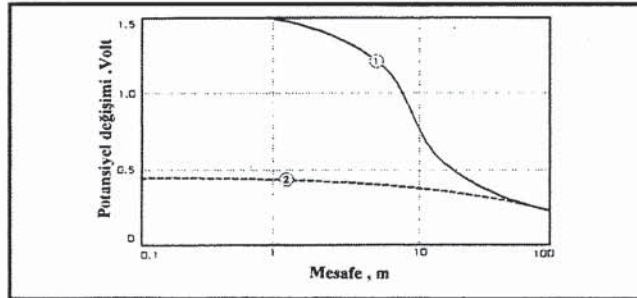


Şekil -9.7 Anot yatağı çevresinde zeminde meydana gelen potansiyel farkı,



Şekil -9.8 İki referans elektrot yardımıyla anot yatağı üzerinde oluşan potansiyel farkının ölçülmesi

Yüzeyde oluşan potansiyel değişimi sığ anot yataklarında 5 Volt'a kadar yükselebilir. Derin kuyu anot yataklarında kuyunun inaktif bölgesi artırılarak yüzeyde oluşan potansiyel artışları azaltılabilir. İnaktif bölge uzunluğuna göre kuyu çevresinde oluşan potansiyel değişimi Şekil -9.9'da görülmektedir.



Şekil -9.9 İnaktif bölge derinliğinin yüzeydeki potansiyel farkına etkisi İnaktif bölge derinliği : (1) $t=10$ m, (2) $t=50$ m

Zemin yüzeyindeki potansiyel değişimini interferans yönünden etkisiz hale getirebilmek için inaktif bölgenin en az 15 m olması gerekir. Anot yatağı çevresinde oluşan potansiyel farkı değeri, anottan çekilen akım şiddeti ve özellikle zemin rezistivitesine bağlıdır.

Zemin yüzeyinde oluşacak potansiyel farkı, $\Delta E = ip/2\pi r$ bağıntısı ile hesaplanabilir. Burada,

i : Anottan çekilen akım, Amper

ρ : Zemin rezistivitesi, Ohm.cm

r : Anot yatağı eksenine olan uzaklık, cm

ΔE : (r)cm uzaklıktaki potansiyel farkı, Volt'dur.

Anot yatağı çevresinde küre biçiminde potansiyel gradienti oluşur. Bu nedenle anotlar ne kadar derine konulursa yüzeyde oluşacak potansiyel değişimi o derece azaltılmış olur.

Derin Kuyu Ve Sığ Anot Yataklarının Ekonomik Olarak Karşılaştırılması

Eşdeğer akım çıkışı sağlayan derin kuyu anot yatakları, sığ (yatay) anot yataklarına göre yaklaşık % 20-25 oranında daha pahalıdır. Anot yatağından çekilecek akım şiddeti ve söz konusu olan zeminin rezistivitesi arttıkça her iki tip anot yatağı arasındaki maliyet farkında azalma olur.

Derin kuyu anot yatakları ile sığ anot yataklarını maliyet açısından karşılaştırmak üzere, bütün parametreleri aynı olan 15 Amper ve 50 Amper akım çıkışlı derin kuyu ve sığ anot yataklarını ekonomik açıdan inceliyelim. Her iki hale ait teknik ve ekonomik özellikler Tablo -9.7 ve Tablo -9.8'de verilmektedir.

TABLO -9.7 15 AMPER AKIM ÇIKIŞLI ANOT YATAKLARI

ANOT YATAKLARININ ÖZELLİKLERİ			
1- Anot yatağı ömrü		20 yıl	
2- Zemin rezistivitesi		2000 Ohm.cm	
3- Doğru akım çıkış voltajı		15 Volt (maks.)	
4- Anot yatağı direnci		0.85 Ohm	
5- Kullanılan anot cinsi		Fe-Si-Cr	
A) Derin kuyu anot yatağı		B) Sığ anot yatağı	
6- Derin kuyu çapı	20cm	6- Yatak boyutları	30x 30 cm
7- İnaktif derinlik	15m	7- Anotlar arası mesafe	6 m
8- Anot bağlantı kablosu	7.5 m	8- Anot bağlantı kablosu	40m
9- Anot boyutları	65 x 210 cm	9- Anot boyutları	75x210 cm
10- Anot adedi	4	10- Anot adedi	4
11- Aktif kuyu derinliği	24 m	11- Anot yatağı boyu	26 m
12- Kok tozu dolgu kütlesi	900 kg	12- Kok tozu dolgu kütlesi	2670 kg
Maliyet (US\$ olarak)			
A) Derin kuyu anot yatağı		B) Sığ anot yatağı	
13- Malzeme	1567	13- Malzeme	1467
14- Montaj ve İşçilik	2663	14- Montaj ve İşçilik	1920
15- Toplam maliyet	4230	15- Toplam maliyet	3387
16- 1 A.yıl akım maliyeti	14,10	16- 1 A.yıl akım maliyeti	11,29
SONUÇ = 1.A. yıl akım üreten derin kuyu anot yatağı %25 oranında daha pahalıdır.			

TABLO -9.8 50 AMPER AKIM ÇIKIŞLI ANOT YATAKLARI

ANOT YATAKLARININ ÖZELLİKLERİ			
1- Anot yatağı ömrü		20 yıl	
2- Zemin rezistivitesi		2000 Ohm.cm	
3- Doğru akım çıkış voltajı		50 Volt (maks.)	
4- Anot yatağı direnci		0.85 Ohm	
5- Kullanılan anot cinsi		Fe-Si-Cr	
A) Derin kuyu anot yatağı		B) Sığ anot yatağı	
6- Derin kuyu çapı	20cm	6- Yatak boyutları	30x 30 cm
7- İnaktif derinlik	15m	7- Anotlar arası mesafe	2,1 m
8- Anot bağlantı kablosu	7.5 m	8- Anot bağlantı kablosu	55m
9- Anot boyutları	95x210 cm	9- Anot boyutları	75x150 cm
10- Anot adedi	10	10- Anot adedi	13
11- Aktif kuyu derinliği	25 m	11- Anot yatağı boyu	28 m
12- Kok tozu dolgu kütlesi	940 kg	12- Kok tozu dolgu kütlesi	2930 kg
Maliyet (US\$ olarak)			
A) Derin kuyu anot yatağı		B) Sığ anot yatağı	
13- Malzeme	3395	13- Malzeme	3212
14- Montaj ve İşçilik	2687	14- Montaj ve İşçilik	1920
15- Toplam maliyet	6082	15- Toplam maliyet	5132
16- 1 A.yıl akım maliyeti	6,08	16- 1 A.yıl akım maliyeti	5,13
SONUÇ = 1.A. yıl akım üreten derin kuyu anot yatağı %18 oranında daha pahalıdır			

Derin Kuyu Tipleri Ve Anotların Montajı

Derin kuyu anot yatakları en az 20 cm çapında açılır. Daha küçük çaplı kuyular içine anotların yerleştirilmesi güçlük yaratır. Kuyu zemini kendini tutabilecek sertlikte ise ayrıca muhafaza borusu kullanılmasına gerek yoktur. Aksi halde aktif bölgede delikli filtre borusu olmak üzere kuyu içine muhafaza borusu yerleştirilmesi gerekir. Her iki halde, derin kuyunun inaktif bölgesine çelik muhafaza borusu konulması faydalıdır. Anot yerleştirme bölgesinde filtre borusu bulunması halinde anot direncinde artış meydana gelir. Bu bölgedeki muhafaza borusunun delik açıklığı % 30'dan az olmamalıdır. Bu durumda bile anot direncinde yaklaşık % 25 oranında artış görülür.

Derin kuyunun inaktif bölgesinin uzunluğu anot yatağı direncine etki yapmaz. Anot yatağı direnci kuyu aktif bölgesinin boyuna, çapına, dolgu maddesinin ve çevre zeminin rezistivitesine bağlıdır. Kuyu içine konulan anot cinsi ve sayısı da anot direncine ve polarizasyonuna etki yapar. Özellikle anot reaksiyonu sonucu oluşan gazların dışarı atılamaması halinde anot direncinde büyük artışlar meydana gelir.

Bir derin kuyu anot yatağının performansı, derin kuyu içine anotların ve dolgu maddelerinin doldurulması işleminden büyük ölçüde etkilenir. Amaç, anotları kuyu içine sağlam şekilde yerleştirmek ve dolgu malzemesinin boşluksuz olmasını sağlamaktır. Anotlar kuyu içine yerleştirilirken aşağıdaki genel kurallara uyulması gerekir.

1- Anotlar kuyu içine, kuyu eksenini merkezlenecek şekilde özel önlemler alınarak yerleştirilmelidir. Bunu sağlamak için en iyisi anotlar önceden bir anot taşıyıcı borusuna bağlanarak bölüm bölüm kuyu içine konulabilir. Her anot kablosu ayrı olarak kuyu dışına çıkarılmalı ve bir dağıtım kutusu yoluyla trafo-redresör ünitesine bağlanmalıdır.

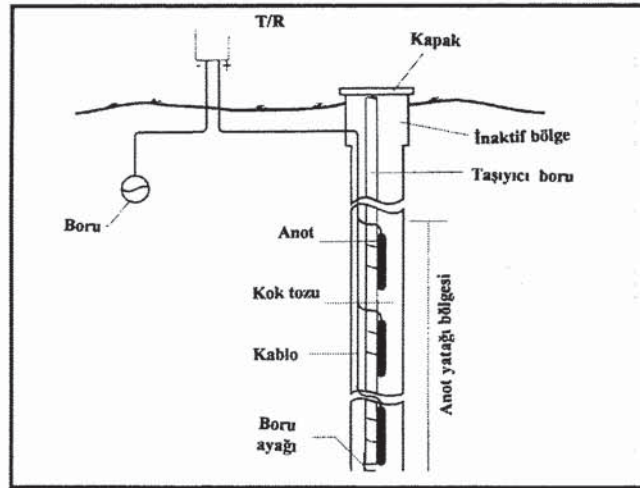
2- Anot dolgu malzemesi (kok tozu) kuyu içine yerleştirilirken kemerlenme nedeniyle boşluk kalmamasına özen gösterilmelidir. Bunu sağlamak üzere kuyu içinde bulunan su tam olarak boşaltılmalıdır. Daha sonra kok tozu, deterjan gibi maddeler katılarak akışkan hale getirilip pompa ile kuyu dibinden itibaren doldurulmalıdır. (90 kg kok tozu içine 0,5 kg deterjan ve yeteri miktarda su katılarak toplam 100 litre hacminde, akışkan kıvamlı bir kok tozu çamuru elde edilebilir.)

3- Derin kuyu anot yatakları içine, gaz çıkışını sağlamak üzere 2-3 cm çapında bir havalandırma borusu konulmalıdır. Bu boru, gazları dışarı atacak kadar büyük, fakat dolgu malzemesinin boru içine dolmasına engel olacak kadar küçük çaplı delikler ile delinmiş olmalıdır. Havalandırma borusu aynı zamanda anot taşıyıcı borusu olarak kullanılabilir.

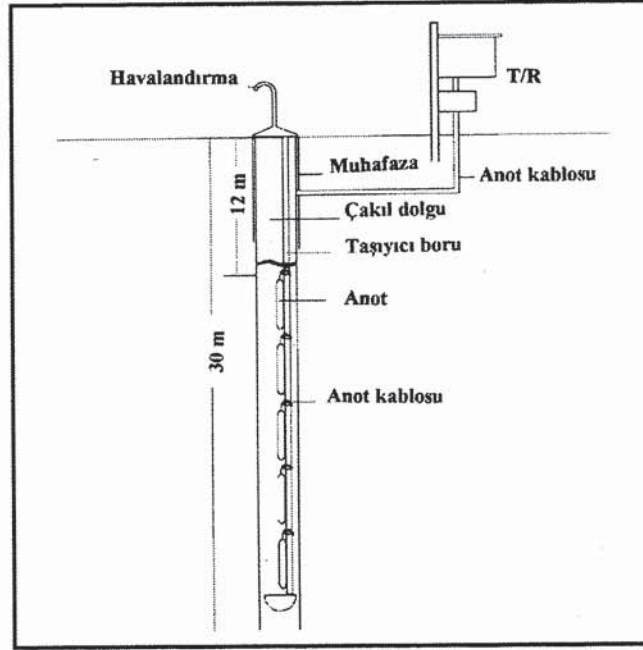
4- Anot yatağı içinde klor gazı çıkışı söz konusu ise, anot bağlantı kabloları yüksek molekül ağırlıklı polietilen (**HMWPE**) veya etilen kloro-trifloro etilen (**ECTFE**) plastikleri ile kaplanmış olmalıdır.

5- Derin kuyu içinde yalnız anot yerleştirilen bölge kok tozu dolgu malzemesi ile doldurulmalıdır. Kuyu içinde anot konulmamış olan üst bölge gaz çıkışını kolaylaştıran temiz çakıl ile doldurulmalıdır.

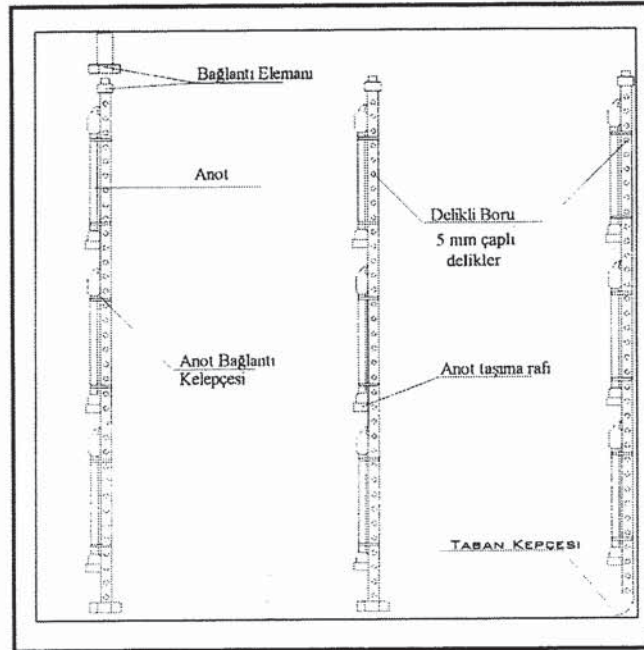
Şekil -9.10'da muhafaza borulu derin kuyu anot yatağı, Şekil -9.11'de ise yalnızca inert bölgesinde muhafaza borusu olan derin kuyu anot yatağı şematik olarak görülmektedir. Anot yataklarının içine anotların bağlantı detayları da Şekil 9.12'de görülmektedir. Delikli gaz çıkışı borusu aynı zamanda taşıyıcı olarak kullanılmıştır. Anotlar üçerli gruplar halinde borulara monte edilmiş ve kuyu içine yerleştirilirken kuyu başında birbirine bağlanmıştır.



Şekil -9.10 Muhafaza borulu bir derin kuyu anot yatağı



Şekil -9.11 Muhafaza borusu olmayan bir derin kuyu anot yatağı



Şekil -9.12 Derin kuyu anot yataklarına anotların montajı

İşletme ve Bakım

Kok tozu ile doldurulmuş olan derin kuyu anot yataklarında eskiyen anotların yenileri ile değiştirilmesi mümkün değildir. Kuyu ve anotlar ancak başlangıçta belirlenen süre boyunca akım üretebilir.

Derin kuyu anot yataklarında işletme sırasında aşağıdaki arızalar ortaya çıkabilir.

1- Havalandırma borusu delikleri yabancı maddeler ile dolduğu için anot yatağı içinde gaz birikmesi meydana gelir. Bu durumda kuyu dibinden başlamak üzere anotlar yavaş yavaş devre dışı kalır ve anot yatağı akım çıkışı gittikçe azalır.

2- Gaz birikmesine benzer şekilde, anot yatağı dolgu malzemesinin kuruması nedeniyle anot yatağının geçirgenliği azalır ve kuyu üst bölgelerinden başlamak üzere anot direncinde artış görülür. Bu da anot yatağı akım çıkışının azalmasına neden olur.

3- Anot bağlantı kabloları veya ana kablonun bağlantı noktalarında çeşitli nedenlerle kopma olabilir. Bu durumda anot akımında aniden düşme görülür.

Anot yatağında işletme sırasında ortaya çıkan bu arızalar, periyodik kontroller sonucu net olarak belirlenebilir. Arızanın cinsine göre aşağıdaki önlemler alınarak anot yatağı yeniden devreye sokulabilir.

1- Anot yatağı akım çıkışındaki azalma eğer gaz birikmesi sonucu meydana gelmiş ise, havalandırma borusundan veya bu boru içine daldırılan bir hortum yardımı ile kuyu içine basınçlı hava verilerek gaz birikmesine neden olan tıkanmalar giderilebilir.

2- Anot yatağı akım çıkışındaki azalma anot dolgu maddesinin kurumasından ileri gelmiş ise, yine havalandırma borusu içine hortum sokularak ve anot yatağı içine su enjekte edilerek yatağın rutubetlenmesi ve anodun normal olarak çalışması sağlanır.

3- Yukarıdaki önlemler ile sonuç alınamıyor ise, anot yatağına verilen akım kesilerek anot reaksiyonları durdurulur. Böylece aşırı gaz çıkışı sonucu oluşan basıncın bir kaç gün içinde düşmesi sağlanır. Daha sonra bu anot yatağı daha düşük bir potansiyel ile yeniden devreye sokulur.

9.6 KATODİK KORUMA AKIM İHTİYACI

Bir metal yapıyı katodik olarak koruyabilmek için gerekli olan akım şiddeti, yapının içinde bulunduğu ortamın korozif özelliklerine ve yapı üzerindeki kaplamanın cinsine bağlıdır. Zeminlerin koroziflik özelliği, pH derecesine ve çözünmüş tuz konsantrasyonuna göre değişir. Elektriksel iletkenlik (pratikte bunun tersi olan özgül direnç) elektrolitin koroziflik derecesi hakkında iyi bir fikir verir. Zeminler resistivite değerlerine göre dört koroziflik derecesi altında toplanmaktadır. Tablo -9.9.

TABLO -9.9 ZEMİNLERİN ELEKTRİK ÖZGÜL DİRENÇLERİNE GÖRE SINIFLANDIRILMASI

Zemin elektrik özgül direnci (Ohm. cm)	Zeminin korozif özelliği
$\rho < 1000$	Çok korozif
1000 - 3000	Korozif
3000 - 10000	Orta korozif
$10000 < \rho$	Az korozif

Bu sınıflandırma zeminlerin korozyon derecesi hakkında bir fikir vermekle beraber, kesin bir değerlendirme için yeterli olmaz. Zeminlerin fiziksel yapısı, pH derecesi ve farklı havalanabilme durumları da korozyon derecesine etki yapar.

Akım İhtiyacının Belirlenmesi

Katodik koruma akım ihtiyacı, elektrolit cinsi kadar yapının kaplama cinsi ve kalitesine de bağlıdır. Endüstriyel koşullarda yapılmış olan en mükemmel kaplamalarda bile, taşıma, depolama ve montaj sırasında hasar meydana gelebilir. Bu bozuklukların derecesi ancak proje mühendisinin belirleyeceği bir husustur. Literatürde çeşitli ortamlar için yaklaşık akım ihtiyacı değerleri verilmektedir. Bir fikir vermek üzere, Tablo -9.10'da bazı ortamlar için yaklaşık akım ihtiyacı değerleri verilmektedir.

TABLO -9.10 KATODİK KORUMA İÇİN YAKLAŞIK AKIM İHTİYACI DEĞERLERİ

Ortam Koşulları	Yaklaşık akım ihtiyacı, mA / m ²
Hareketli deniz suyu içinde çıplak çelik	100 - 160
Durgun deniz suyu içinde çıplak çelik	55 - 85
Deniz dibi çamuru içinde çıplak çelik	20 - 30
Rutubetli zemin içinde çıplak çelik	10 - 20
Zemin veya su içinde zayıf kaplamalı çelik	1 - 2
Zemin veya su içinde iyi kaplanmış çelik	0.05
Zemin veya su içinde polietilen kaplanmış çelik	0.005

Bu değerler, katodik koruma ilk uygulandığında ve metal yüzeyi polarize olmadan önce gerekli olan akım ihtiyaçlarıdır. Polarizasyon gerçekleştikten sonra akım ihtiyacında önemli ölçülerde düşüş görülür. Buna karşılık kaplama direnci de zamanla azalacağından akım ihtiyacında artış meydana gelir. Proje mühendisi bu çelişik durumu değerlendirerek, katodik koruma süresi içinde geçerli olan ortalama bir akım ihtiyacı değerini belirlemek durumundadır.

9.7 KATODİK KORUMA KRİTERLERİ

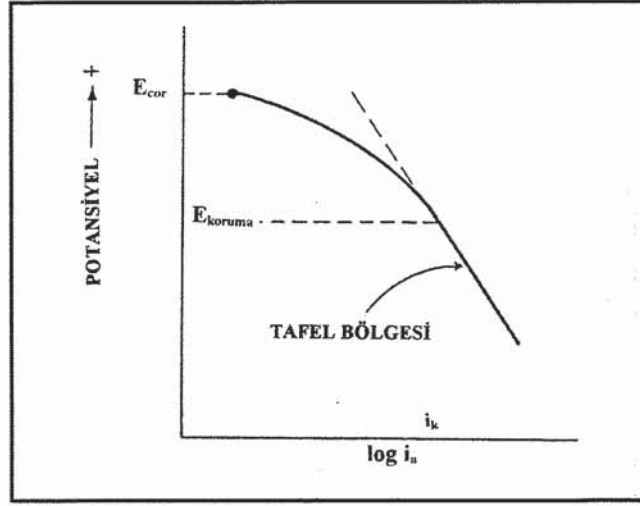
Bir çelik yapının katodik olarak korunması için, metal potansiyelinin katodik yönde belli bir değere kadar polarize edilmesi gerekir. Bunu belirlemek amacıyla aşağıdaki kriterler kullanılır.

- Çelik yapının doymuş bakır / bakır sülfat referans elektroduna göre ölçülen potansiyeli - 850 mV veya daha negatif bir değere düşürülmüş olmalıdır.
- Çelik yapının statik potansiyelinden (akım uygulamadan önce ölçülen denge potansiyeli) negatif yönde 300 mV bir kayma sağlanmalıdır.

- Çelik yapıda en az 100 mV değerinde bir polarizasyon sapması sağlanmalıdır. Bu değer yapıya en az dört saat katodik yönde bir akım uygulandıktan sonra ölçülen (on) ve (off) potansiyel değerleri arasındaki fark alınarak bulunur.

Pratikte kolaylığı bakımından birinci kriter, omik düşüş etkisi bulunmayışı nedeniyle de üçüncü kriter tercih edilmektedir.

Katodik korumanın gerçekleşmiş olduğunu belirleyen kriter olarak, polarizasyon eğrisinde Tafel lineer bölgesinin başlamış olduğu nokta da alınabilir. Şekil -9.13. Bu potansiyel değerinde metal yüzeyindeki korozif akımlar tam olarak yok olur.

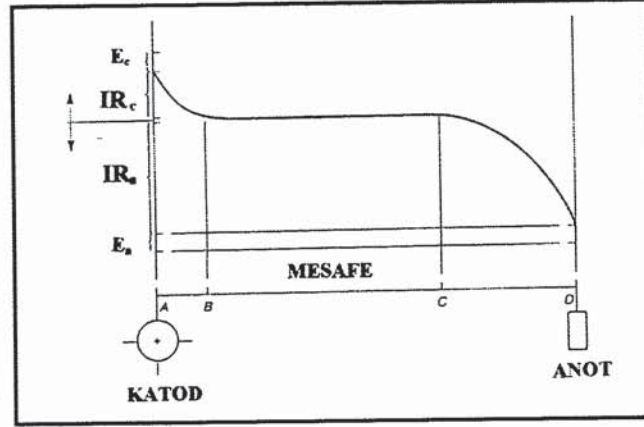


Şekil -9.13 Katodik koruma limit potansiyelinin E -log i grafiği ile belirlenmesi

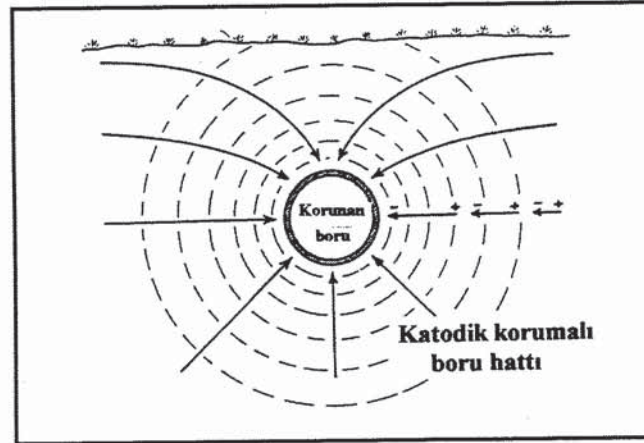
9.8 KATODİK KORUMA SİSTEMLERİNDE İNTERFERANS

Yeraltında bulunan bir boru hattına, borudan yeterli uzaklıkta olan bir anot yatağından bir dış akım uygulandığında anot yatağı çevresinde pozitif yönde bir potansiyel gradienti oluşur. Buna benzer olarak boru yakınında da negatif yönde bir potansiyel düşüşü görülür. Şekil - 9.14

Anot ile katot arasında zemin içinde oluşan potansiyel değişimi şekilde görüldüğü gibi üç bölgeye ayrılabilir. Anot yatağının yakın bölgesini gösteren AB mesafesinde potansiyel düşüşü çok fazladır. Bu düşüş anot yatağı akım çıkış kapasitesine bağlı olarak 10-50 V arasında değişebilir. Eğrinin eğimi zemin rezistivitesine bağlıdır. Anot ile katot arasındaki zemin içinde potansiyel düşüşü önemsiz derecede azdır. Katoda yaklaşıldığında dar bir bölgede ani bir potansiyel düşüşü gözlenir. Bu düşüş boru kaplama kalitesine bağlı olarak 1-2 Volt arasında kalır. Katot çevresinde oluşan potansiyel gradienti de Şekil -9.15'de görülmektedir.



Şekil -9.14 Anot yatağı ile korunan boru arasında zemin içinde oluşan potansiyel gradienti



Şekil -9.15 Katodik olarak korunmuş bir boru çevresinde zemin içinde oluşan potansiyel gradienti

Katodik koruma sistemlerinde anot ve katot çevresinde oluşan bu potansiyel alanları, bu bölgeler içinde bulunan yabancı yapılar üzerinde interferans etkisi yapabilir. Bu etkinin şekli ve şiddeti anodik ve katodik bölgelerde birbirinden farklıdır. Ancak pratikte her iki durumda da interferans korozyonu meydana gelmektedir.

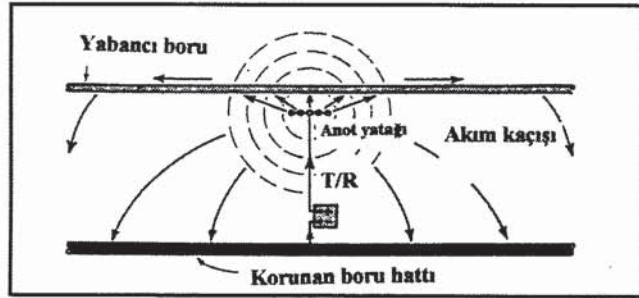
Anodik interferans

Anot yatağına T/R ünitesinden yüksek potansiyelli bir doğru akım uygulanır. Böylece anot bölgesindeki zemin potansiyeli pozitif yönde artırılmış olur. Anottan zemin içine yayılan akımın şiddeti ve zeminin rezistivitesi ne kadar fazla ise, zeminin potansiyelinde de o derece yüksek bir artış meydana gelir. Anot yatağında (r) mesafesinde bir yarım küre kabuğu yüzeyi

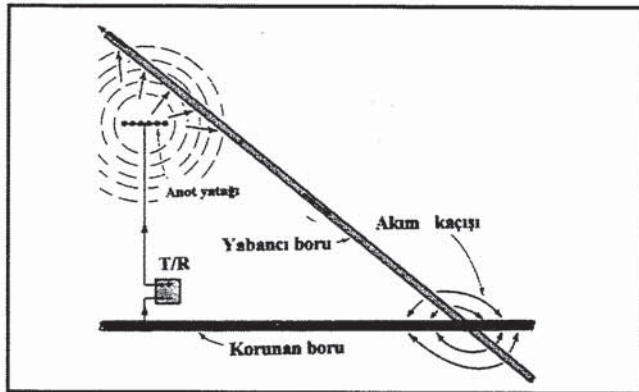
boyunca oluşan potansiyel değişimi bağıntısı ile hesap edilebilir. Burada, I (A.), ρ (Ohm.m) ve r (m) olarak konulursa ,potansiyel değişimi ΔE (Volt) olarak bulunur.

Örneğin, $\rho=3000$ Ohm.cm, $I=10$ Amper olan bir anot yatağından 100 m uzaklıkta zemindeki potansiyel değişimi $\Delta E = 477$ mV olacaktır. Anot yatağına yaklaşıldıkça bu değer gittikçe artar.

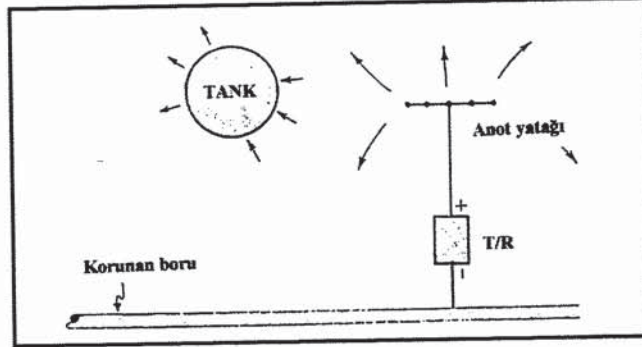
Anot yatağına yakınında bulunan veya geçen yabancı yapılar, bu pozitif potansiyel farkından etkilenir. Eğer yabancı yapı kaplamasız veya zayıf kaplamalı ise bu bölgede akım yabancı yapıya girer. Akımın metal yapıya girmiş olduğu bu bölgeler katot olacağından, bu bölgede korozyon olayı görülmez. Ancak yabancı yapıya girmiş olan akım, bu yapı üzerinde her iki yöne doğru hareket ederek, zemin rezistivitesinin veya kaplamanın en zayıf dirençte olduğu bir noktada yapıyı terkeder. İşte akımın yapıyı terketmiş olduğu bu bölgeler anot olur ve korozyon olayı da bu bölgelerde görülür. Akım çıkışının dar bölgede meydana gelmesi halinde örneğin kesişme noktalarında korozyon daha şiddetlidir. Anodik interferans nedeniyle meydana gelen korozyon olayının şiddeti anot yatağına konumu ve yapının geometrik biçimine de bağlıdır. Şekil -9.16, Şekil -9.17, Şekil -9.18'de anodik interferans etkisi sonucu oluşan korozyon olayları görülmektedir.



Şekil -9.16 Anot yatağına yakınında geçen bir yabancı boru üzerine interferans etkisi



Şekil -9.17 Anot yatağına yakınında geçen ve korumalı boru hattı ile kesişen yabancı boru üzerinde interferans etkisi



Şekil -9.18 Anot yatağının yakınında bulunan bir tank üzerinde interferans etkisi

Anodik İnterferans için alınacak önlemler:

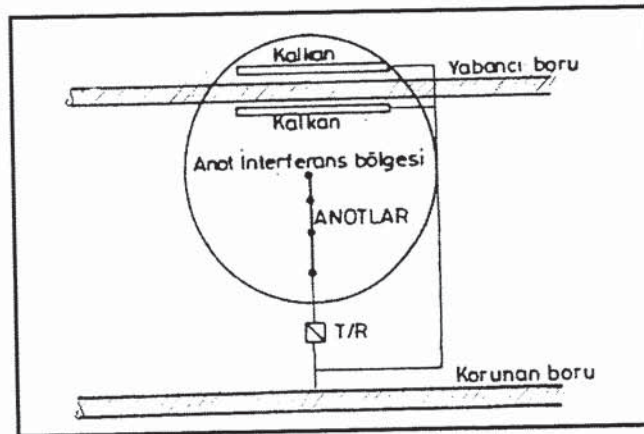
Anodik interferans nedeniyle oluşan korozyonu önlemek üzere pratikte başlıca aşağıdaki önlemler alınmaktadır.

1- Henüz tasarım aşamasında, anot yatağının metalik yapılardan uzak tutulmasına çalışılır. Bu uzaklık 70 m'den az olmamalıdır.

2- Yabancı yapının anot bölgesi içinde kalan kısmına çok iyi kalitede kaplama yapılır. Böylece yapı içine bu bölgeden akım girişi önlenir veya azaltılır.

3- Bu iki önlem ancak yapım sırasında alınabilir. Halen işletmede bulunan tesislerde, anodik interferans etkisi sonucu oluşan korozyonu önlemek üzere, yabancı boru üzerindeki kritik noktalara galvanik anot bağlanır. Böylece yabancı boruya girmiş olan akımın bu anot üzerinden zemin içine boşalması sağlanarak bu bölgelerdeki korozyon önlenmiş olur.

4- Anot bölgesi içinde kalan yabancı borunun her iki yanına çıplak metal borular yerleştirilir. Kalkan görevi yapan bu borular anot yatağının negatif ucuna bağlanır (Şekil -9.19.)

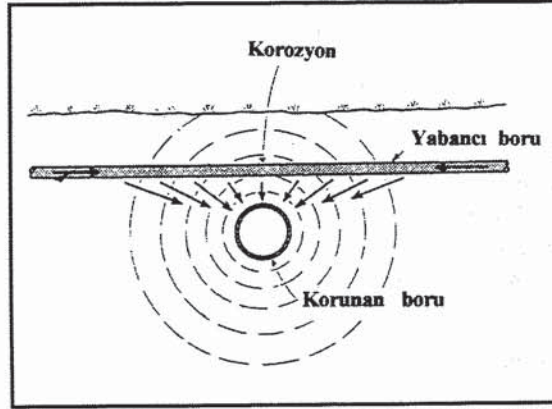


Şekil -9.19 Anodik interferansı önlemek üzere metal kalkan kullanılması

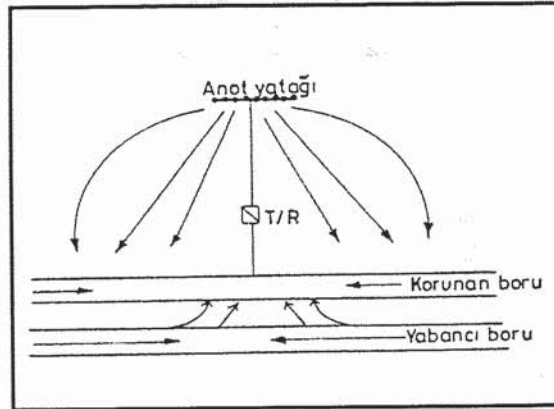
5- Sığ anot yatağı yerine derin kuyu anot yatağı yapılabilir. Böylece anot potansiyel alanı, merkezi yaklaşık 20-30 m derinde olan bir küre biçiminde oluşur. Bu durumda yüzeye yakın olan yapılar üzerine anot interferans etkisi önemli ölçülerde azaltılmış olur.

Katodik interferans

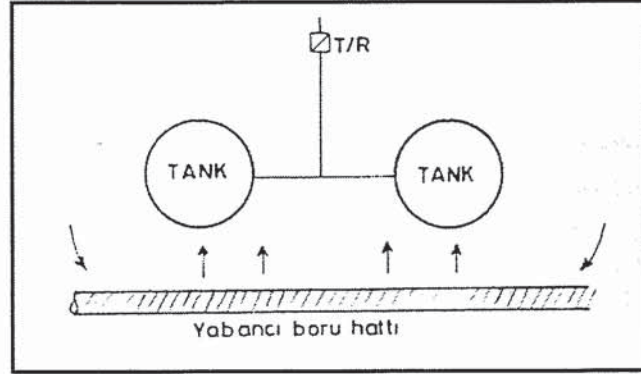
Katodik koruma yapılmış bir boru hattı, çevresinde bulunan yabancı yapılar üzerinde interferans etkisi yapabilir. Katodik interferans, boru çevresinde silindirik biçimli bir negatif potansiyel düşüşü nedeniyle ortaya çıkar. Bu alan içinde bulunan yabancı yapılardan katodik korumalı boruya akım kaçağı olur ve yabancı boru bu bölgede şiddetli korozyona uğrar. Şekil -9.20, Şekil -9.21, Şekil -9.22 de katodik interferans sonucu oluşan korozyon olayları görülmektedir.



Şekil -9.20 Katodik olarak korunmuş olan bir boru hattını dik olarak kesen bir yabancı boru hattı üzerinde interferans etkisi



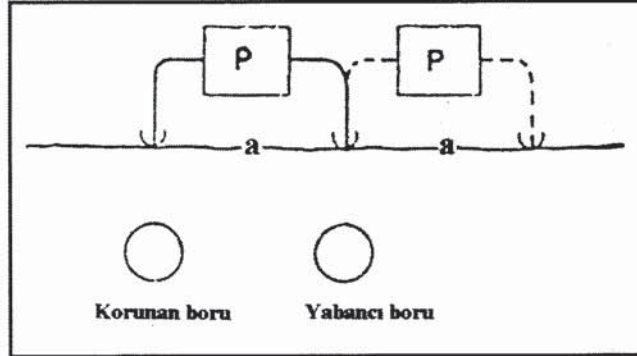
Şekil -9.21 Paralel giden boru hatlarında katodik olarak korunmuş olan borunun yabancı boru üzerinde interferans etkisi



Şekil -9.22 Katodik olarak korunmuş tankların yakınından geçen yabancı boru hattı üzerinde interferans etkisi

Katodik interferans, katodik koruma yapılmış boru hattı çevresinde oluşan negatif potansiyel alanı nedeniyle oluşur. Yabancı boru daha pozitif potansiyelli bir zemin içinden, katot çevresindeki daha negatif potansiyelli bir alana girer. Bu bölge anot olarak korozyona uğrar. Korozyon dar bir bölgede etkili olacağından, yabancı borular bu bölgelerde şiddetli korozyon etkisinde kalır. Katodik olarak korunan boruya uygulanmış olan akım yoğunluğu arttıkça borunun çevre yapılar üzerine katodik interferans etkisi de artar. Boru kaplamasını iyileştirilmek suretiyle bu etki azaltılabilir.

Katodik interferans korozyonunun hangi bölgede ne derece etkili olacağı ancak deneysel olarak belirlenebilir. Bu amaçla Şekil -9.23'de görülen deney yapılır.



Şekil -9.23 Katodik interferans etkisinin deneysel olarak belirlenmesi

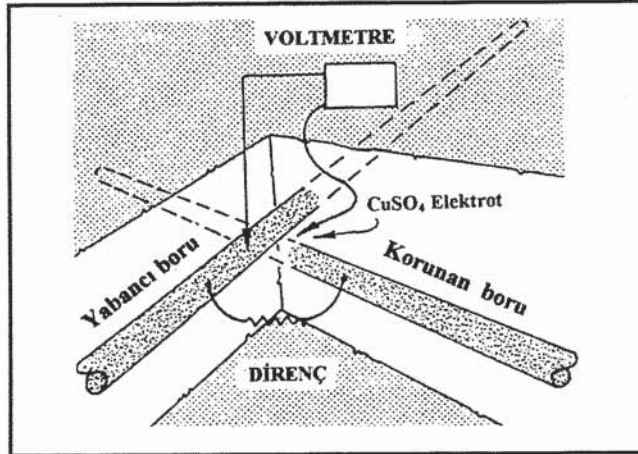
Biri katodik korumalı diğeri korumasız paralel iki boru hattında interferans etkisini belirlemek üzere iki referans elektrot kullanılmak suretiyle Şekil -9.23'de görülen zemin/zemin potansiyel farkı ölçülür. Şekilde koyu çizgilerle gösterilen birinci ölçümde referans elektrotlar boruların tam üzerine gelecek şekilde konur. Bu durumda katodik koruma devresi (on)-(off) yapılarak $\Delta V_{(on)}$ ve $\Delta V_{(off)}$ ölçümleri yapılır. Buna benzer ölçümler,

referans elektrotlar şekilde kesikli çizgilerle görüldüğü gibi korumasız boru yönünde eşit uzaklığa (a) taşınarak yeniden yapılır. Bu iki ölçümde $\Delta V_{(off)}$ değerleri arasında bir fark gözlenmez. $\Delta V_{(on)}$ değerleri arasındaki fark ne kadar büyük ise katodik interferans etkisi de o derece fazladır. Diğer taraftan yabancı borunun kaplama kalitesi ve etki alanı içinde kalan yüzey alanının büyüklüğü de interferans akımlarının şiddetine etki yapar.

Katodik interferans için alınacak önlemler :

Katodik interferans, katot bölgesinde meydana gelen negatif potansiyel alanı nedeniyle oluştuğundan, alınacak önlemler bu potansiyel farkını azaltmaya yöneliktir. Bu amaçla pratikte üç yöntem uygulanır.

1- Yabancı boru ile interferansa neden olan katodik korumalı boru, birbirine en yakın olduğu noktada **elektronik bir bağ** ile bağlanır. Böylece zemin yoluyla kaçan akım metalik iletken yoluyla taşınmış olur. Akım kaçığının potansiyel farkını gidermeye yetecek miktarda olmasına özen gösterilmelidir. Bunu sağlamak için iki yapı arasındaki metalik bağa uygun büyüklükte bir direnç konur. Metalik bağ direnci deneysel olarak Şekil -9.24'de görüldüğü gibi ölçülebilir.

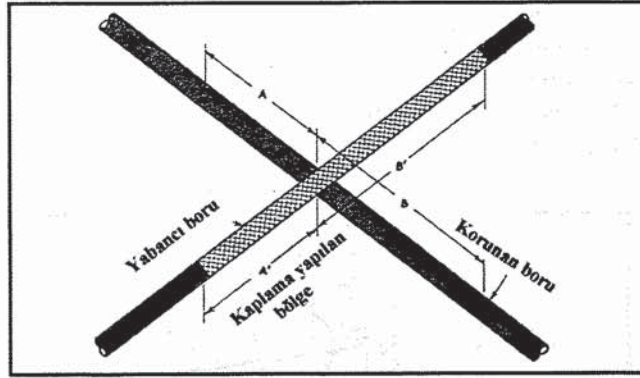


Şekil -9.24 Metalik bağ direncinin deneysel olarak belirlenmesi

Bu amaçla, iki borunun en yakın olduğu bölge açılarak her iki boruya birer bağlantı yapılır ve ara yere bir değişken reosta konur. Başlangıçta katodik koruma devresi (off) konumuna getirilir ve her iki boruda boru/zemin potansiyelleri ölçülür. Ara yerdeki bağlantı direnci en yüksek düzeye getirilerek katodik koruma devresi (on) konumuna getirilir. Bu anda katodik korumalı boru hattının boru/zemin potansiyeli Cu/CuSO₄ referans elektroduna göre -850 mV'dan daha negatif bir değere çıkarılır. Yabancı borunun interferans etkisinde kalıp kalmadığı bu borunun potansiyeli ölçülerek anlaşılabılır. Bu borunun boru/zemin potansiyeli (off) haline göre daha pozitif bir değer alır. İnterferans bağ direnci azaltılarak, yabancı boruda (on)-(off) halinde ölçülen potansiyel farkının 20 mV'un altına düşmesi sağlanır.

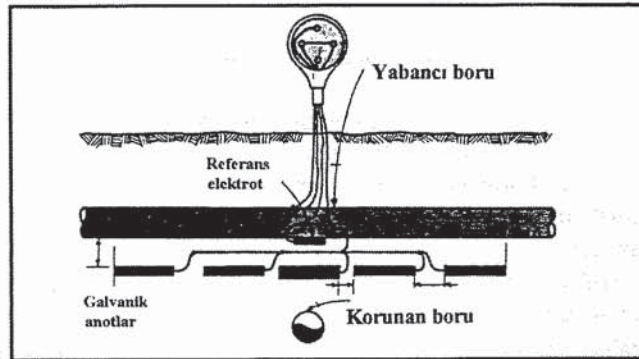
2- Katodik korumalı boru hattı ile yabancı boru hattının birbirine yakın olduğu bölgede ara yere bir metal plaka (veya bir hurda boru) konulur ve bu metal yabancı boruya bağlanır. Bu durumda interferans akımlarının neden olduğu korozyon olayı ara yere konulmuş olan metal plaka üzerinde meydana gelir. Teorik olarak ara yere konulan plaka yabancı boruya ne derece uzak olursa koruma etkisi o derece fazla olur. Ancak bu durum katodik koruma akım çıkışını artırır. Pratikte genellikle her iki borunun ortasına ve yabancı boru boyunca plaka yerleştirilir.

3-Katodik korumalı boru ile kesişen yabancı borunun dış yüzeyleri kesim noktası bölgesinde sağlam bir şekilde kaplanır. Böylece katodik interferans etkisi büyük ölçüde azaltılmış olur (Şekil -9.25).



Şekil -9.25 Yabancı boru üzerinde katodik interferansı önlemek üzere kaplama yapılması

4- Yabancı borunun interferans etkisinde kalan bölgesine yeterli sayıda galvanik anot bağlanır. Galvanik anodun yüksek potansiyelli olması gerekmez. Genellikle çinko anot yeterli olur. Galvanik anodun her iki yapının tam ortasına konulmasına da gerek yoktur. Katoda mümkün olduğunca yakın olmak üzere uygun bir bölgeye konulması yeterli olur (Şekil -9.26).



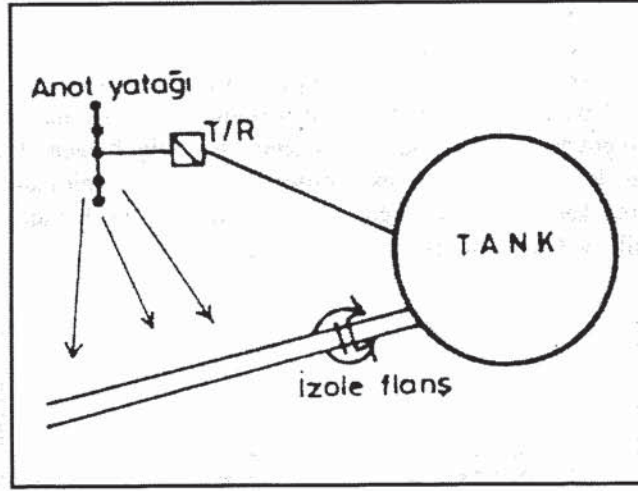
Şekil -9.26 Yabancı boruya galvanik anot bağlanarak interferans etkisinin giderilmesi

9.8.3 Özel interferans Olayları

Yukarıda başlıca tipleri açıklanmış olan anodik ve katodik interferans olaylarından başka katodik koruma sistemlerinde karışık şekilde oluşan bazı tipik interferans olaylarına da rastlanabilir.

İzole Flanş İnterferansı :

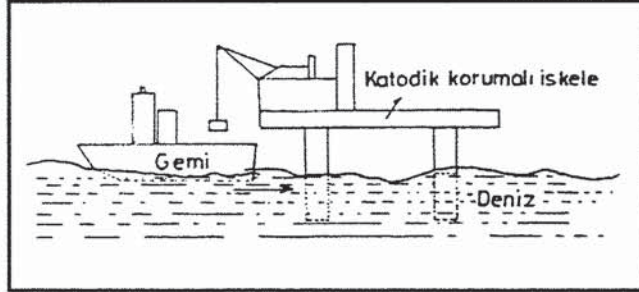
Katodik koruma yapılmış bir boru hattının uç noktasında izoleflanş ile ayrılmış olan noktada, borunun korunan kısmı ile korunmayan kısmı arasında bir potansiyel farkı oluşur. Bu durumda koruma yapılmış boru hattının izole flanşın hemen yakınında olan bölge korozyona uğrar (Şekil -9.27).



Şekil -9.27 İzole flanşın neden olduğu interferans etkisi

Gemi-İskele İnterferansı :

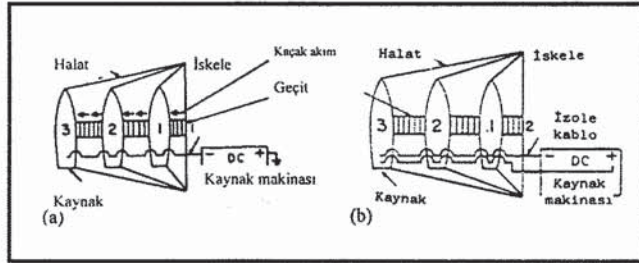
Deniz suyu iletkenliği yüksek olduğundan genel olarak deniz suyu içinde interferans etkisi oldukça azdır. Ancak katodik koruma yapılmış iskele ayaklarına yüzlerce amper dış akım uygulanmakta olduğundan bu akımın çevre üzerinde önemli interferans etkileri görülebilir. Örneğin, deniz içine çakılmış 100 m derinliğinde bir çelik kazık için yaklaşık 20 A akım uygulanmaktadır. Bu akım 100mV/1m akım gradienti oluşturur. Böyle bir iskeleye bir gemi yaklaşması halinde gemi ile iskele arasında 2-3 Volt'luk bir potansiyel farkı oluşabilir. Gemi iskelede bulunduğu süre iskele ayaklarının interferans etkisi ile korozyona uğrar. Bu süre içinde katodik koruma akım ihtiyacında büyük artış gözlenir (Şekil -9.28).



Şekil -9.28 Gemi ile katodik koruma yapılmış iskele ayakları arasında interferans etkisi

Gemilerde Kaynak Sırasında Oluşan Kaçak Akım

Kaçak akımların neden olduğu korozyona çarpıcı bir örnek gemilere kaynak yapılması sırasında görülür. Kıyıda bulunan bir kaynak makinasından iskelede bulunan gemilere kaynak yapılması halinde, deniz içine kaçan akımlar bu gemilerde korozyona neden olur. Şekil -9.29 'da görüldüğü gibi, kaynak jeneratörünün (+) ucu rıhtıma topraklandığı zaman, deniz içine kaçan akımlar gemi gövdelerine girerek, akımın gemiyi terkettiği bölgelerde korozyona neden olurlar. Eğer (b)'de olduğu gibi kaynak makinasının (+) ucu da ayrı bir izole edilmiş kablo ile gemiye topraklanırsa, kaçak akım bu bağlantı kablosu ile geri dönüş yapacağından iskelede bulunan diğer gemilerde korozyon olayı söz konusu olmaz.



Şekil -9.29 Gemilerde kaynak yapılması a) Kaçak akım korozyonuna neden olan yanlış topraklama b) Korozyonu önlemek üzere yapılmış topraklama

9.9 KATODİK KORUMA PROJELENDİRME KURALLARI

Bir katodik koruma projesi yapılırken aşağıdaki yol izlenir.

1. Ön etüd yapılarak korunması istenilen yapının boyutları ve çevrenin elektrokimyasal özellikleri belirlenir.
2. Galvanik anotlu veya dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinden hangisinin uygun olacağına karar verilir.
3. Çevrede bulunan metalik yapılar belirlenir.

4. Boru hattı boyunca anaerobik ortamların bulunup bulunmadığı araştırılır.
5. Katodik koruma ömrü belirlenir.
6. Kaplama direnci veya katodik koruma akım ihtiyacı deneysel olarak belirlenir veya tahmin edilir.
7. Katodik koruma için gerekli olan toplam akım şiddeti hesaplanır.
8. Galvanik anotlu sistemlerde anot sayıları ve yerleri belirlenir.
9. Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinde anot yatağı cinsi (sığ veya derin kuyu) olacağı belirlenir. Eğer derin kuyu anot yatağına karar verilmiş ise, kuyu derinliği ve kuyu içine yerleştirilecek anot sayısı ve cinsi belirlenir.
10. Anot yatağı direnci hesaplanır. Anot ömrü belirlenir.
11. Bağlantı kabloları cinsleri ve kesitleri belirlenir.
12. Trafo-redresör ünitesinin doğru akım çıkış potansiyeli hesaplanır.
13. Trafo-redresör ünitesinin kapasitesi ve yeri belirlenir.
14. Trafo-redresör ünitesinin manuel veya otomatik olacağına karar verilir.

9.10 KATODİK KORUMA PROJE HESAPLARI

İskele Ayaklarının Galvanik Anotlarla Katodik Korunması

Deniz içine çakılmış olan kazıkların korozyonunu önlemek için en uygun yöntem katodik koruma uygulanmasıdır. Ancak katodik koruma yapılarak atmosferde kalan çirpinti bölgesinin korunması mümkün olmaz. Bu bölge için özel önlemler alınması gerekir. Genellikle beton ile veya uygun bir malzeme ile kaplanması yoluna gidilmektedir.

Deniz içine çakılmış olan çelik kazıkların katodik koruma projelendirilmesinde göz önüne alınacak en önemli husus katodik koruma akım ihtiyacının belirlenmesidir. Kazığın değişik bölgelerinde korozyon hızı, buna bağlı olarak katodik koruma akım ihtiyacı da farklıdır. Bu konuda en iyisi deneysel değerlerin kullanılmasıdır. Bu amaçla literatürde verilen aşağıdaki değerler de kullanılabilir.

Deniz suyu içinde bulunan çelik yapıların katodik koruma akım ihtiyacı

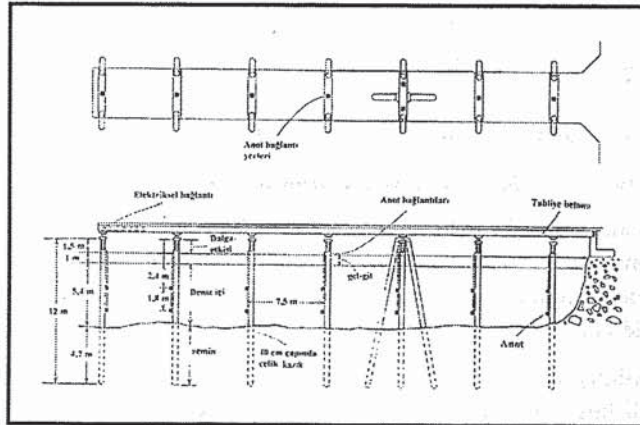
Deniz Suyu	Çıplak çelik yüzeyler, mA / m ²		Kaplama çelik yüzeyler, mA / m ²	
	Başlangıçta	Polarize olduktan sonra	Başlangıçta	Polarize olduktan sonra
Hareketli	350	100	50	15
Durgun	250	70	30	10
Deniz dibi zemini	50	15	10	5

NOT: Kazıkların deniz dibi zemini içine çakılması sırasında yapılmış olan kaplamanın büyük ölçüde zarar görmesi söz konusudur. Kaplama bozukluğu, işçilik hatalarına ve kaplama cinsine bağlı olarak değişir. Ancak deniz suyu içinde % 5-10, deniz dibi zemini içinde % 40-50 oranında soyulma olması beklenebilir.

Korunacak Olan İskelenin Karakteristikleri :

6 m eninde, 45 m boyunda bir iskele, 40 cm. çapında ve 12 m uzunluğunda on altı adet çelik kazık üzerinde bulunmaktadır. Kazıkların 4,2 m'lik kısmı deniz dibinde zemin içine çakılmış durumdadır. 5,4 m'lik bölüm deniz suyu içinde ve 1,0 m de gel-git bölgesindedir. Kazıkların 1,5 m 'lik bölümü de su seviyesi üzerinde atmosferdedir. Ancak bu bölge de dalga etkisi ile deniz suyu ile temas etmektedir.

Deniz suyu kirli değildir. Ortalama rezistivite 25 Ohm. cm' dir. Kazıklar çakılmadan önce 400 µm kalınlıkta coal tar epoksi boya ile boyanmıştır. Bu kazıkların galvanik anotlarla 20 yıl süreli olarak korunması istenilmektedir.



Katodik olarak korunacak yüzey alanı :

Deniz dibinde zemin içinde kalan yüzey alanı ,

$$A_1 = \pi D L n$$

$$A_1 = (3,14) \times (0,40) \times (4,2) \times (16) = 84,4 \text{ m}^2$$

Deniz suyu içinde kalan bölgenin yüzey alanı ,

$$A_2 = \pi D L n$$

$$A_2 = (3,14) \times (0,40) \times (5,4) \times (16) = 108,5 \text{ m}^2$$

Gel-git bölgesinin yüzey alanı ,

$$A_1 = \pi D L n$$

$$A_1 = (3,14) \times (0,40) \times (1) \times (16) = 20 \text{ m}^2$$

Katodik Koruma Akım İhtiyacı :

Deniz suyu içinde akım ihtiyacı, deniz suyunun hareketli veya durgun oluşuna göre değişir. Diğer taraftan yapılmış olan kaplamanın bozulma derecesi de akım ihtiyacına etki yapar. Bu nedenle her bölge için ayrı akım ihtiyacı değeri seçilmesi gerekir.

Deniz dibi zemini içinde kalan bölgeler için akım ihtiyacı :

Kazıklar zemin içine çakılırken kaplama büyük ölçüde zarar görür. Kaplamanın % 50 oranında zarar görmüş olduğu kabul edilerek akım ihtiyacı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\text{Çıplak yüzeyler için , } i = 84,4 \times 0,50 \times 50 = 2,11 \text{ A}$$

$$\text{Kaplama yüzeyler için } i = 84,4 \times 0,50 \times 10 = 0,42 \text{ A}$$

Başlangıçtaki toplam akım ihtiyacı ,

$$i_b = 2,11 + 0,42 = 2,53 \text{ A}$$

Polarize olduktan sonraki akım ihtiyacı ,

$$\text{Çıplak yüzeyler için , } i = 84,4 \times 0,50 \times 15 = 0,63 \text{ A}$$

$$\text{Kaplama yüzeyler için, } i = 84,4 \times 0,50 \times 5 = 0,21 \text{ A}$$

Polarizasyondan sonra toplam akım ihtiyacı,

$$i_p = 0,63 + 0,21 = 0,84 \text{ A.}$$

– Deniz suyu içinde kalan bölgelerin akım ihtiyacı :

Kazıklara yapılmış olan kaplamanın inşaat sırasında % 10 oranında bozulmuş olduğu kabul edilebilir. Yüzeyden itibaren 1 m aşağıda deniz suyu durgun haldedir. Buna göre kazıkların deniz suyu içinde kalan bölgelerinin başlangıçtaki akım ihtiyacı,

$$\text{Çıplak yüzeyler için, } i = (108,5) \times (0,10) \times (250) = 2,71 \text{ A.}$$

$$\text{Kaplama yüzeyler için, } i = (108,5) \times (0,90) \times (30) = 2,93 \text{ A.}$$

Başlangıç için toplam akım ihtiyacı,

$$i_b = 2,71 + 2,93 = 5,64 \text{ A.}$$

Kazık yüzeyi polarize olduktan sonra akım ihtiyacı,

Çıplak yüzeyler için, $i = (108,5) \times (0,10) \times (70) = 0,76 \text{ A.}$

Kaplamalı yüzeyler için, $i = (108,5) \times (0,90) \times (10) = 0,98 \text{ A.}$

Polarizasyondan sonra toplam akım ihtiyacı,

$$i_p = 0,76 + 0,98 = 1,74 \text{ A.}$$

Gel - git bölgesi için akım ihtiyacı :

Gel git bölgesinde deniz suyu hareketlidir. Akım ihtiyacı hesabında bu durum göz önüne alınmalıdır.

Çıplak bölgeler için, $i = (20,0) \times (0,10) \times (350) = 0,70 \text{ A.}$

Kaplamalı bölgeler için, $i = (20,0) \times (0,90) \times (50) = 0,90 \text{ A.}$

Başlangıçtaki toplam akım ihtiyacı,

$$i_b = 0,70 + 0,90 = 1,60 \text{ A.}$$

Gel-git bölgesinde deniz suyu hareketlidir. Bu bölgede korozyon ürünleri kazık yüzeyinde toplanarak polarizasyona neden olmaz. Bu nedenle akım ihtiyacının zamanla değişmesi söz konusu değildir.

Kazıkların deniz seviyesi üzerinde atmosferde kalan ve zaman zaman ıslanan bölgesi katodik koruma ile korunamaz

Kazıkların başlangıçtaki ve polarize olduktan sonraki toplam akım ihtiyacı şöyledir:

$$i_b = 2,53 + 5,64 + 1,60 = 9,77 \text{ A.}$$

$$i_p = 0,84 + 1,74 + 1,60 = 4,18 \text{ A.}$$

Katodik koruma uygulandıktan sonra zaman geçtikçe kazıklar üzerindeki kaplama direnci gittikçe azalır. Kaplama direncinin bir yılda yaklaşık olarak % 2 oranında azalacağı kabul edilebilir. Bu durumda başlangıçta % 10 olan kaplama bozukluğunun 20 yıl sonunda $0,02 \times 20 = 0,40$ artacağı ve kaplamasız yüzey alanının $0,90 - 0,40 = 0,50$ olacağı bulunur. Bu sonuç kazıkların akım ihtiyacının yıldan yıla artacağını gösterir.

20 yıl sonunda kazıkların akım ihtiyacının yeniden hesaplanması ve katodik koruma uygulama süresi içinde geçerli olacak bir ortalama akım ihtiyacının belirlenmesi gerekir.

Deniz dibi zemini içinde kalan bölgede kazıkların kaplamasında herhangi bir bozulma söz konusu olmaz. Deniz suyu içinde kalan bölgede 20 yıl sonunda kaplama bozukluğu % 50 olacaktır buna göre akım ihtiyacı,

Çıplak yüzeyler için, $i = (108,5) \times (0,50) \times (70) = 3,80 \text{ A}$

Kaplamalı yüzeyler için, $i = (108,5) \times (0,50) \times (10) = 0,54 \text{ A}$.

Toplam akım ihtiyacı, $i = 3,80 + 0,54 = 4,34 \text{ A}$.

Gel - git bölgesinin 20 yıl sonundaki akım ihtiyacı,

Çıplak yüzeyler için, $i = (20) \times (0,50) \times (350) = 3,50 \text{ A}$

Kaplamalı yüzeyler için, $i = (20) \times (0,50) \times (50) = 0,50 \text{ A}$.

Toplam akım ihtiyacı, $i = 3,50 + 0,50 = 4,0 \text{ A}$.

Yirmi yıl sonunda kazıkların toplam akım ihtiyacı,

$i_t = 4,34 + 4,0 + 0,84 = 9,18 \text{ A}$ bulunur.

Katodik koruma uygulamasının başlangıcında 16 çelik kazık için 9,77 Amper akım uygulanması gerekirken, polarizasyon sonunda akım ihtiyacı 4,18 Amper'e düşmüştür. Ancak kazık yüzeylerinde bulunan kaplamanın zamanla bozulması nedeniyle akım ihtiyacı yıldan yıla artmakta ve 20 yıl sonra 9,18 Amper'e ulaşmaktadır. Bu durumda kazıkların 20 yıl boyunca katodik olarak korunması için uygulanacak ortalama akım şiddeti,

$$i_{\text{ort}} = \frac{4,18 + 9,18}{2} = 6,68 \text{ A}$$

dir.

Anot Kütlesi ve Sayısı:

Galvanik anot olarak indium alaşımlı alüminyum anot kullanmış olduğumuzu düşünürsek 16 çelik kazığı 20 yıl koruyabilmek için gerekli anot kütlesini hesap edilebiliriz.

$$\text{Anot kütlesi} = \frac{\text{Anot ömrü} \times i_{\text{ort}} \times \text{Anot akım kapasitesi}}{\text{Anot verimi} \times \text{Kullanma faktörü}}$$

$$\text{Anot kütlesi} = \frac{20 \times 6,68 \times 3,15}{0,90 \times 0,85} = 550 \text{ Kg.}$$

Bir kazık için gerekli anot kütlesi,

$$m = 550 / 16 = 34,4 \text{ kg}$$

Anot Cinsi ve Akım Çıkışı

Bu sonuca göre, 20 yıl korumayı sağlamak üzere, her kazık için 17 kg'lık standard Al-13 (38 cm x 11 7 cm x 13,9 cm) anottan iki adet kullanılması gerekir. Bu anotlar kazıklar üzerine kaynak edilir. (Bir başka çözüm şekli de 34 kg'lık büyük bir anot iki kazık arasına sallandırılabilir.) Bu anotların dik olarak deniz suyu içindeki direnci,

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

Anot eşdeğer çapı,

$$R = \frac{(23,4 + 27,8)}{\pi} = 16,3 \text{ cm}$$

$$R = \frac{25}{2 \times 3,14 \times 38} \left[\ln \frac{8 \times 38}{16,3} - 1 \right] = 0,20 \text{ Ohm}$$

Anot taban yüzeyi boyanarak etkisiz hale getirilir. Bu durumda anot direnci,

$$R = \frac{0,20}{0,75} = 0,27 \text{ Ohm.}$$

olur. Tek anottan çekilecek akım,

$$i = \frac{\Delta E}{R} = \frac{1,10 - 1,0}{0,26} = 0,38 \text{ A}$$

32 adet anottan çekilebilecek maksimum akım şiddeti $0,38 \times 32 = 12,3$ Amper olacaktır. Anotlar harcandıkça yüzeyleri küçülecek ve dirençlerinde artma olacaktır. Son halde anot yüzeyinin % 65 oranında azaldığı kabul edilirse tek anot direnci,

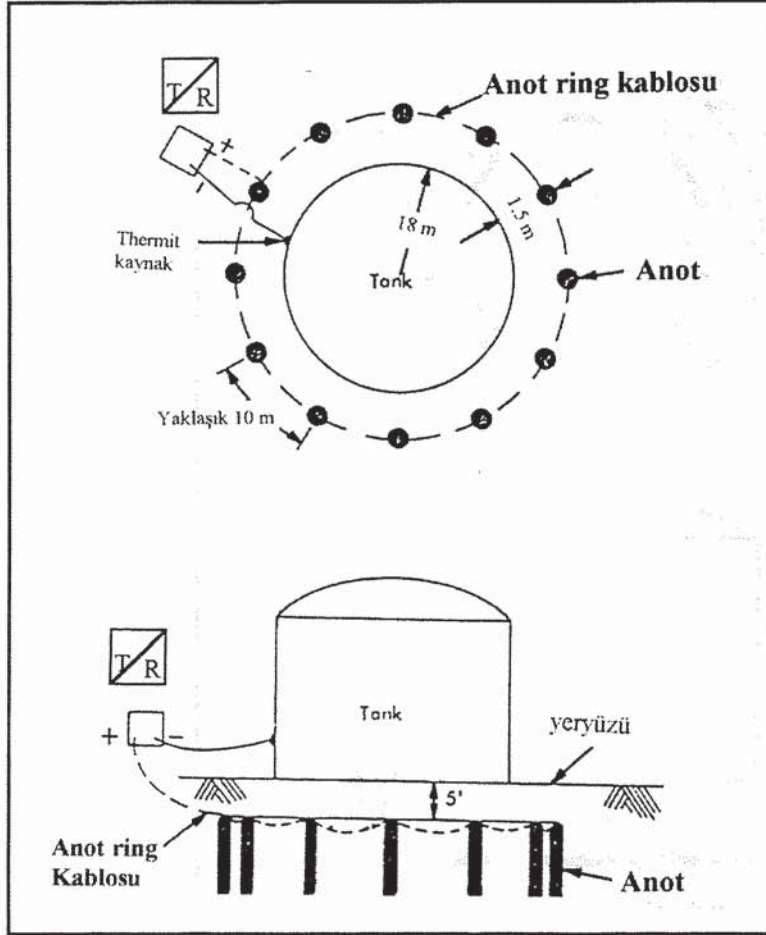
$$R = \frac{0,27}{\sqrt{0,65}} = 0,335 \text{ Ohm}$$

olacak ve bir anottan yaklaşık olarak,

$$i = \frac{0,10}{0,335} = 0,335 \text{ A}$$

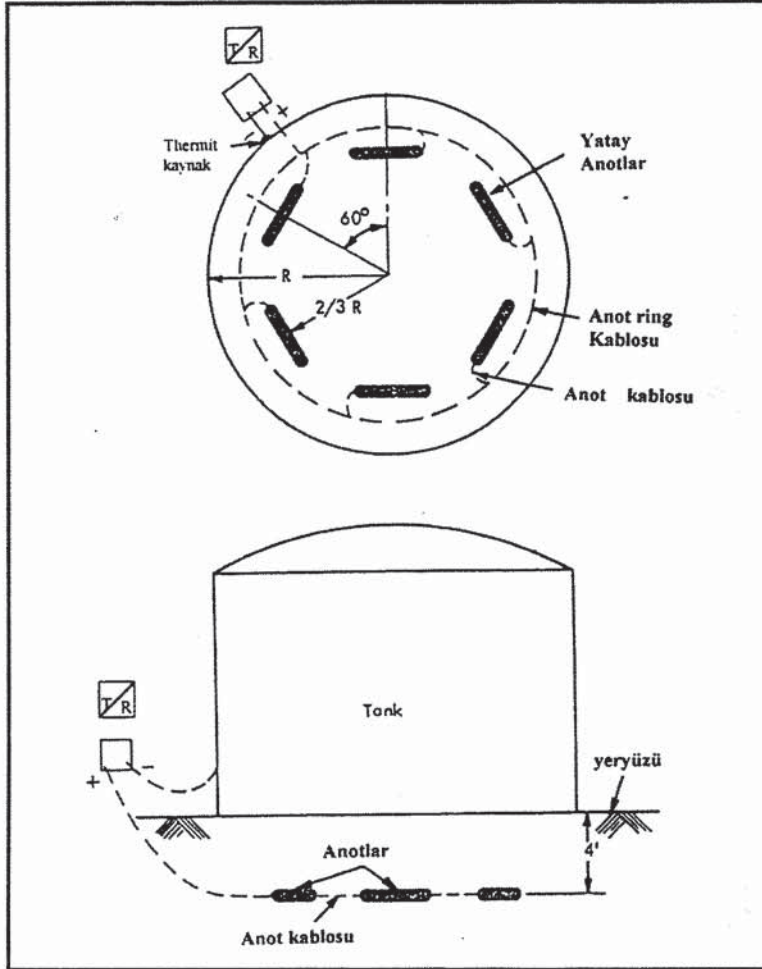
akım çekilebilecektir. Bu durumda 32 anot toplam olarak $i_t = 0,30 \times 32 = 9,6$ A. akım üreteceğinden kazıklar için son halde gerekli akım karşılanmış olacaktır.

9.11 KATODİK KORUMA PROJE ÖRNEKLERİ



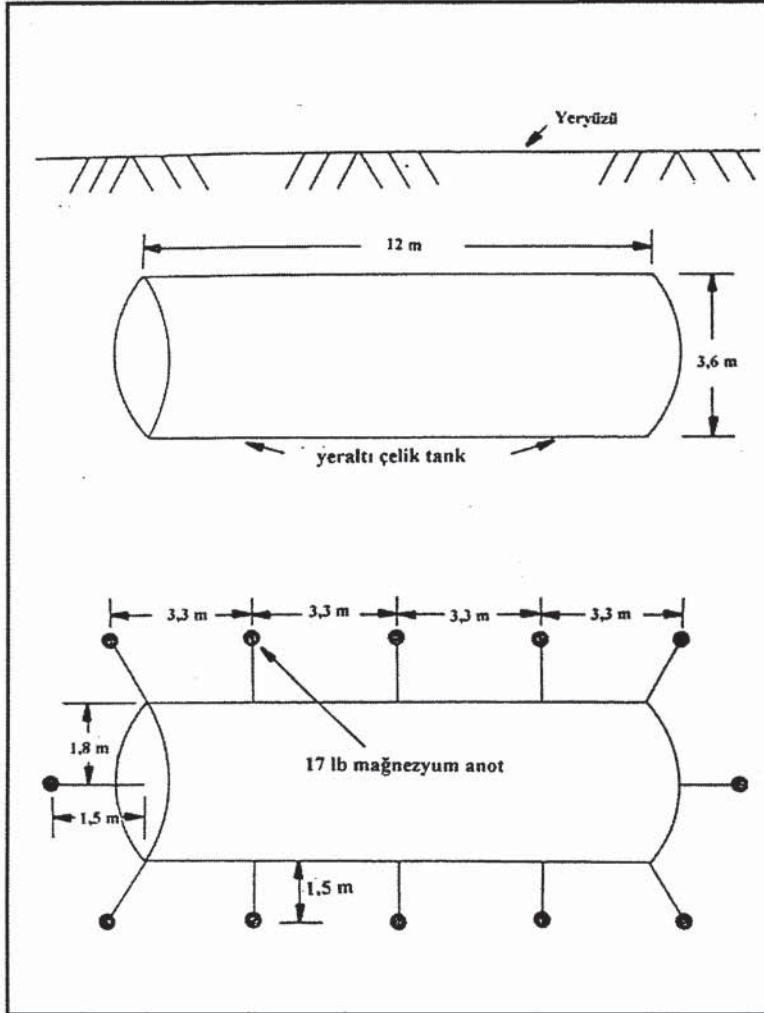
ÖRNEK : 1 YERÜSTÜ TANK TABANLARININ DIŞ YÜZEYLERİNİN KORUNMASI

Tank çapı	: 36 m
Taban yüzey alanı	: 1000 m ²
Katodik koruma sistemi	: Dış akım kaynaklı
Akım	: 2,0 Amper
Koruma ömrü	: 15 yıl
Anot cinsi ve sayısı	: 12 adet demir-silikon
Anot yatağı	: Tank çevresinden 1,5 m uzaklıkta ve 1,5 m derinlikte düşey konumda



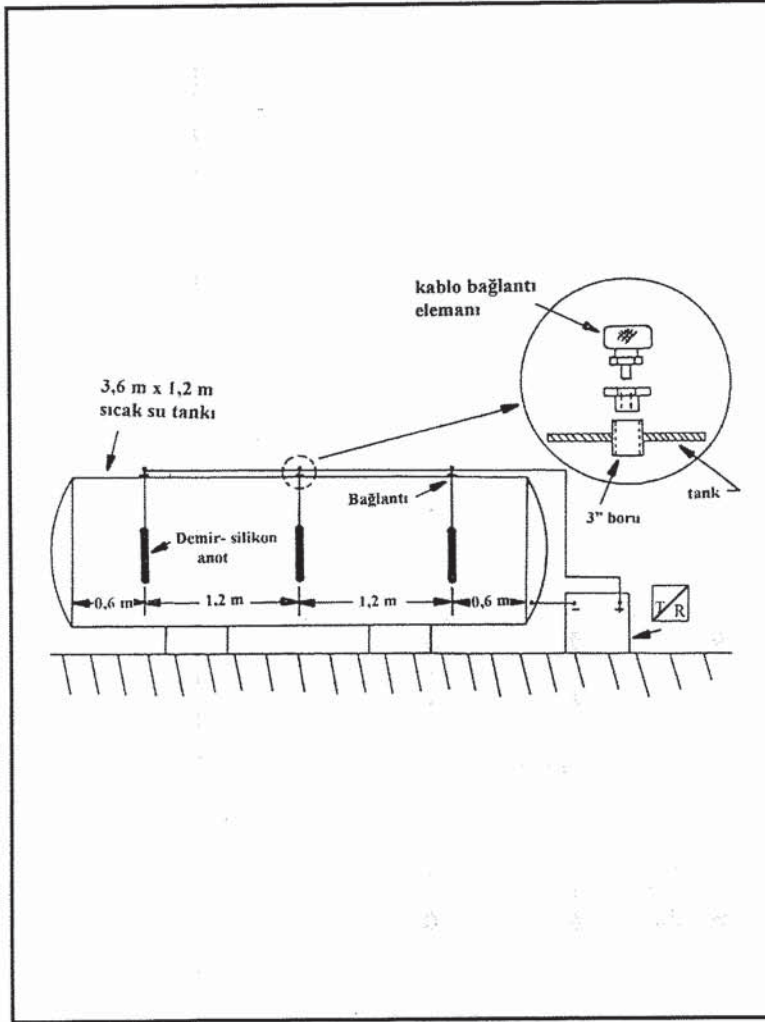
ÖRNEK : 2 YENİ YAPILMAKTA OLAN BİR TANKIN DIŞ TABAN YÜZEYLERİNİN KATODİK OLARAK KORUNMASI

Tank çapı	: 20 m
Taban yüzey alanı	: 314 m ²
Katodik koruma sistemi	: Dış akım kaynaklı
Akım ihtiyacı	: 1,0 Amper
Koruma ömrü	: 15 yıl
Anot cinsi ve sayısı	: 6 adet demir-silikon
Anot yatağı	: Tank tabanı altında, 2/3 R çapında daire üzerinde, 120 cm derinlikte, yatay konumda



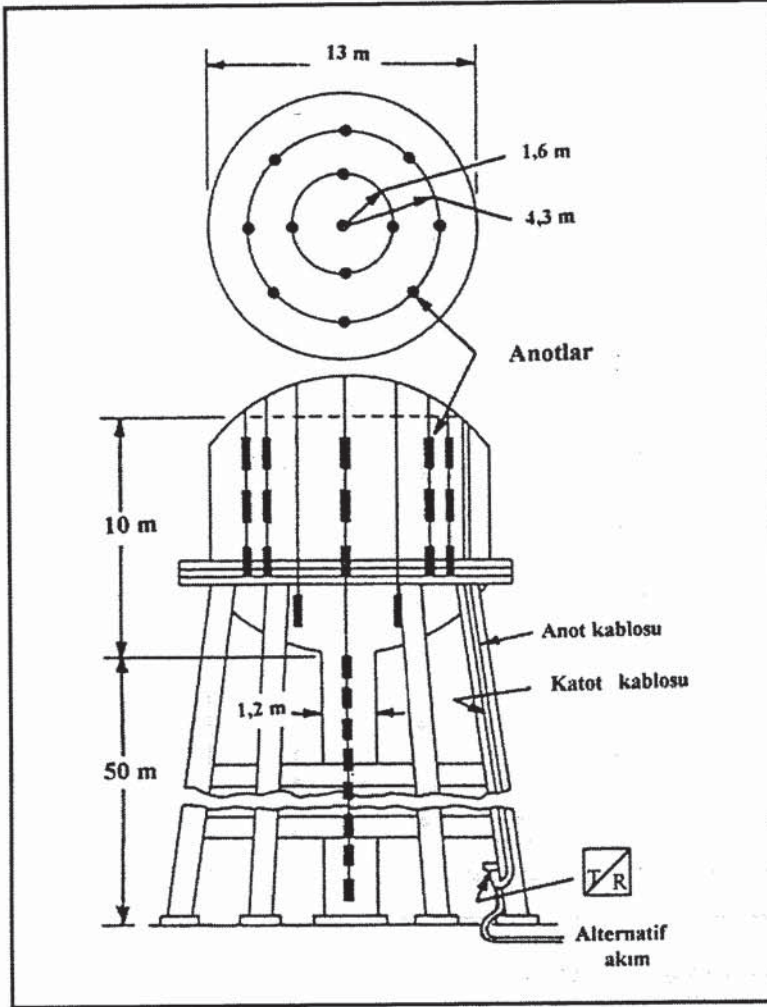
ÖRNEK : 3 BİR YERALTI ÇELİK TANKININ DIŞ YÜZEYLERİNİN KORUNMASI

Tank boyutları	: 3,6 m çap ve 12 m boy
Dış yüzey alanı	: 145 m ²
Katodik koruma sistemi	: Galvanik anotlu
Katodik koruma ömrü	: 15 yıl
Anot cinsi ve sayısı	: 12 adet, 17 lb magnezyum anot
Anot yatağı	: Tankdan 1,5 m uzaklıkta, dikey konumda



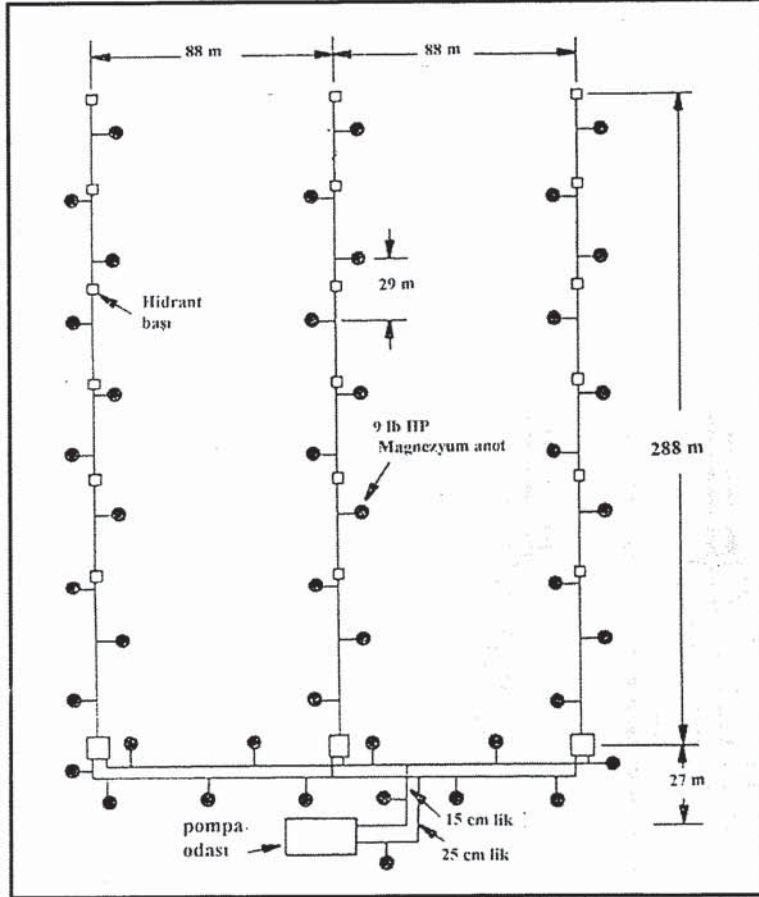
ÖRNEK : 4 BİR SICAK SU TANKININ İÇ YÜZEYLERİNİN KORUNMASI

Tank boyutları	: 15 m ³ kapasiteli, 120 cm çap ve 360 cm boy
Suyun özellikleri	: 80 °C, pH = 8,7, $\rho = 8600 \text{ Ohm.cm}$
Katodik koruma sistemi	: Dış akım kaynaklı
Akım ihtiyacı	: 0,84 Amper
Koruma ömrü	: 15 yıl
Anot cinsi ve sayısı	: 3 adet demir-silikon (38 mm çap ve 225mm boy)
Anot yatağı	: 1,2 m aralıklarla su içine sallandırılır.



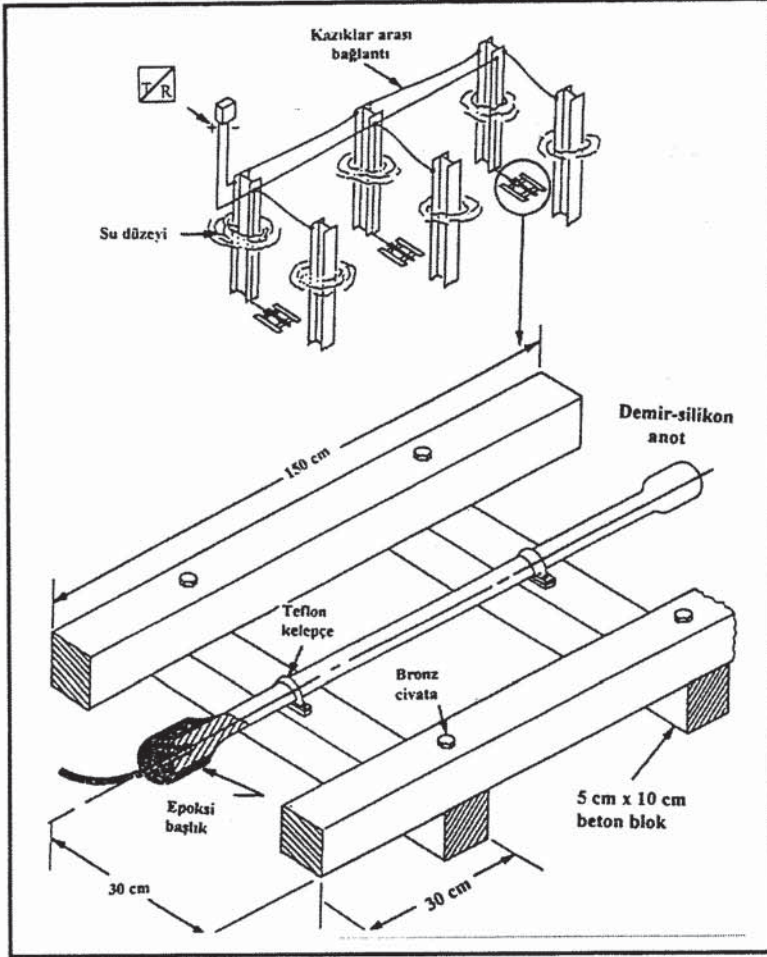
ÖRNEK : 5 BİR SU KULESİNİN KATODİK KORUMASI

Çelik su kulesi	: 1875 m ³ kapasiteli
Boyutları	: 16,8 m çap, 10,5m su yüksekliği
Islak yüzey alanı	: 705 m ²
Katodik koruma sistemi	: Dış akım kaynaklı
Koruma ömrü	: 10 yıl
Akım ihtiyacı	: 15 Amper
Anot cinsi ve sayısı	: 60 adet demir-silikon anot, (3 kg, 11 kg ve 27 kg olmak üzere üç ayrı boyutta)



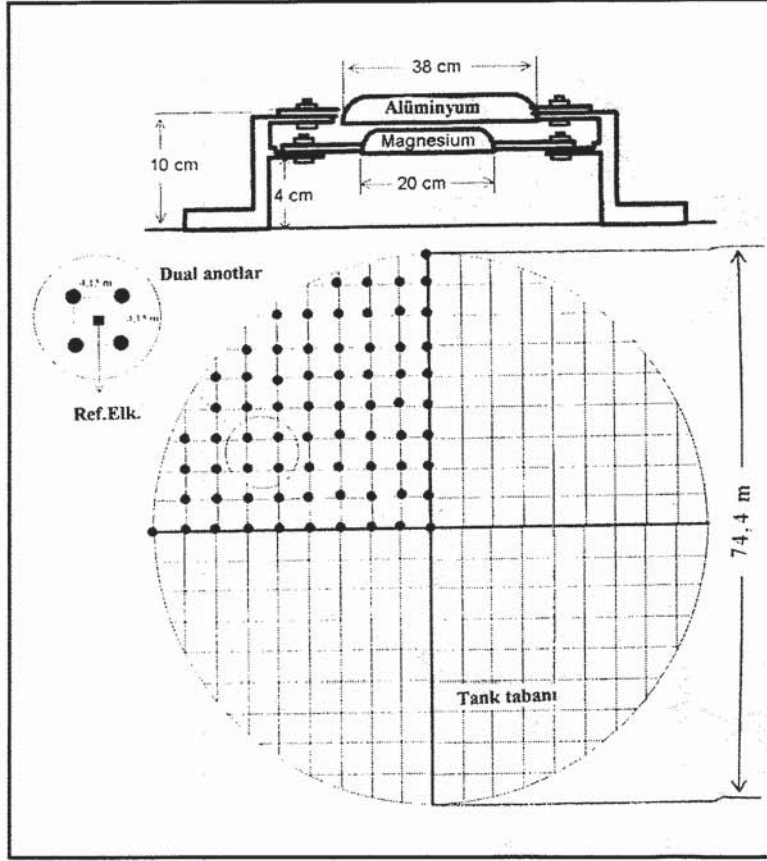
ÖRNEK : 6 HAVA LİMANI YAKIT DAĞITIM BORULARININ GALVANİK ANOTLARLA KORUNMASI

Dağıtım boruları	: 15cm - 25 cm lik asfalt kaplı çelik borular
Korunacak yüzey alanı	: 675 m ²
Katodik koruma sistemi	: Galvanik anotlu
Zemin rezistivitesi	: 5000 Ohm. cm
Akım ihtiyacı	: 813 mA
Koruma ömrü	: 15 yıl
Anot cinsi ve sayısı	: 43 adet HP 9 lb'lik magnezyum anot
Anot yatağı	: 15 m ² yüzey alanı / 1 anot olacak şekilde boru hatları boyunca üniform olarak dağıtılır.



ÖRNEK : 7 DENİZ İÇİ H-PROFİL KAZIKLARIN KORUNMASI

Kazık cinsi	: H-profil,çelik
Yüzey	: 2,5 m ² / 1 m kazık
Katodik koruma sistemi	: Dış akım kaynaklı
Akım ihtiyacı	: 2,5 Amper /kazık
Anot cinsi	: Kromlu demir-silikon
Anot sayısı	: 2 kazık için bir adet anot
Anot boyutları	: 5 cm çap ve 150 cm boy , 28 kg
Anot yatağı	: Deniz dibinde iki kazık arasına beton bloklar üzerine monte edilir.



ÖRNEK - 8 HAM PETROL DEPOLAMA TANKI İÇ TABAN YÜZEYLERİNİN KATODİK KORUNMASI

Tank kapasitesi	: 50000 m ³
Tank çapı	: 74,4 m
Korunacak yüzey alanı	: 4485 m ²
Toplam akım ihtiyacı	: 90 Amper
Koruma ömrü	: 10 yıl
Katodik koruma sistemi	: Galvanik anotlu
Anot cinsi	: Alüminyum + magnezyum (Dual anot)
Alüminyum anot boyutları	: 38 cm x 11,7 cm x 11,3 cm
Anot kütlesi	: 14,3 kg Al + 0,75 kg Mg
Anot sayısı	: 260 adet dual anot

EKLER**EK-1 KOROZYON İLE İLGİLİ DÖNÜŞÜM TABLOLARI****TABLO-1 ÇEŞİTLİ KOROZYON HIZLARINI BİRBİRİNE DÖNÜŞTÜRME FAKTÖRÜ**

Birim	Çevirme Faktörü				
	mdd	$\mu\text{m}/\text{yıl}$	mm/yıl	mpy	ipy
mdd $\text{mg}/\text{dm}^2/\text{gün}$	1	36,5/d	0,0365/d	1,44/d	0,00144/d
$\mu\text{m}/\text{yıl}$	0,0274/d	1	0,001	0,0394	0,0000394
mm/yıl	27,4 x d	1000	1	39,4	0,00394
mpy	0,696 x d	25,4	0,0254	1	0,001
ipy	696 x d	25400	25,4	1000	1

NOT : (d) söz konusu metalin g/cm^3 olarak yoğunluğudur.

TABLO-2 KOROZYON HIZINI (MPY) BİRİMİNE ÇEVİRME FAKTÖRLERİ

Korozyon hızı	Boyutu	(mpy) olarak değeri
1 ipy	inç/ yıl	1000
1 ipm	inç/ ay	12000
1 mm / yıl	mm/ yıl	39,4
1 μm / yıl	$\mu\text{m}/\text{yıl}$	0,039
1 g /md.saatt	$\text{g}/\text{m}^2\text{saat}$ (demir için)	345/d (44,2)
1 mdd	$\text{mg}/\text{dm}^2\text{gün}$ (demir için)	1,44/d (0,185)

KOROZYON HIZININ HESAPLANMASI

1. Belli bir yüzey alanında ,belli bir süre içinde meydana gelen ağırlık kaybı deneysel olarak tayin edilebilir. Bu değer yardımı ile 1 dm^2 yüzey alanında,bir gün içindeki mg cinsinden ağırlık kaybı (mdd) hesaplanır.

2. Deneysel olarak (mdd) değeri tayin edildikten sonra bu değerden (mpy) değerine aşağıdaki şekilde geçilir. Örneğin demir için 1 mdd korozyon hızının mpy cinsinden eşdeğeri şöyle hesaplanır :

$$1 \text{ mdd} = 1 \text{ mg} / \text{dm}^2 \cdot \text{gün}$$

$$1 \text{ mdd} = 365 \text{ mg} / \text{dm}^2 \cdot \text{yıl}$$

$$1 \text{ mdd} = (365 \cdot 10^{-3} / 7.8) \text{ mm}^3 / \text{mm}^2 \cdot \text{yıl}$$

$$1 \text{ mdd} = 0,00468 \text{ mm} / \text{yıl}$$

$$1 \text{ mdd} = 0,00468 / 25.4 = 0,185 \cdot 10^{-3} \cdot \text{inç} / \text{yıl} (\text{ipy})$$

$$1 \text{ mdd} = 0,185 \text{ mil} / \text{yıl} (\text{mpy})$$

$$1 \text{ mpy} = 5,4 \text{ mdd}$$

3. Deneysel olarak bulunan (mdd) değeri yardımı ile korozyon akım yoğunluğu da aşağıdaki şekilde hesaplanır. Örneğin demir için 1 mdd korozyon hızının $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ cinsinden değeri şöyle hesaplanır:

Faraday Yasasına göre kütle kaybı ile akım şiddeti arasında aşağıdaki bağıntı vardır.

$$m = A i t / F$$

Burada, A : Metalin ekivalent ağırlığı, g

i : Akım şiddeti , A

t : Zaman, s

F : Faraday sabiti (96500 kulon)

Bu formülde 1 mdd ($1 \text{ mg} / \text{dm}^2 \cdot \text{gün}$) değrleri yerine konularak,

$$0,001 = (28 \times i \times 86400) / 96500$$

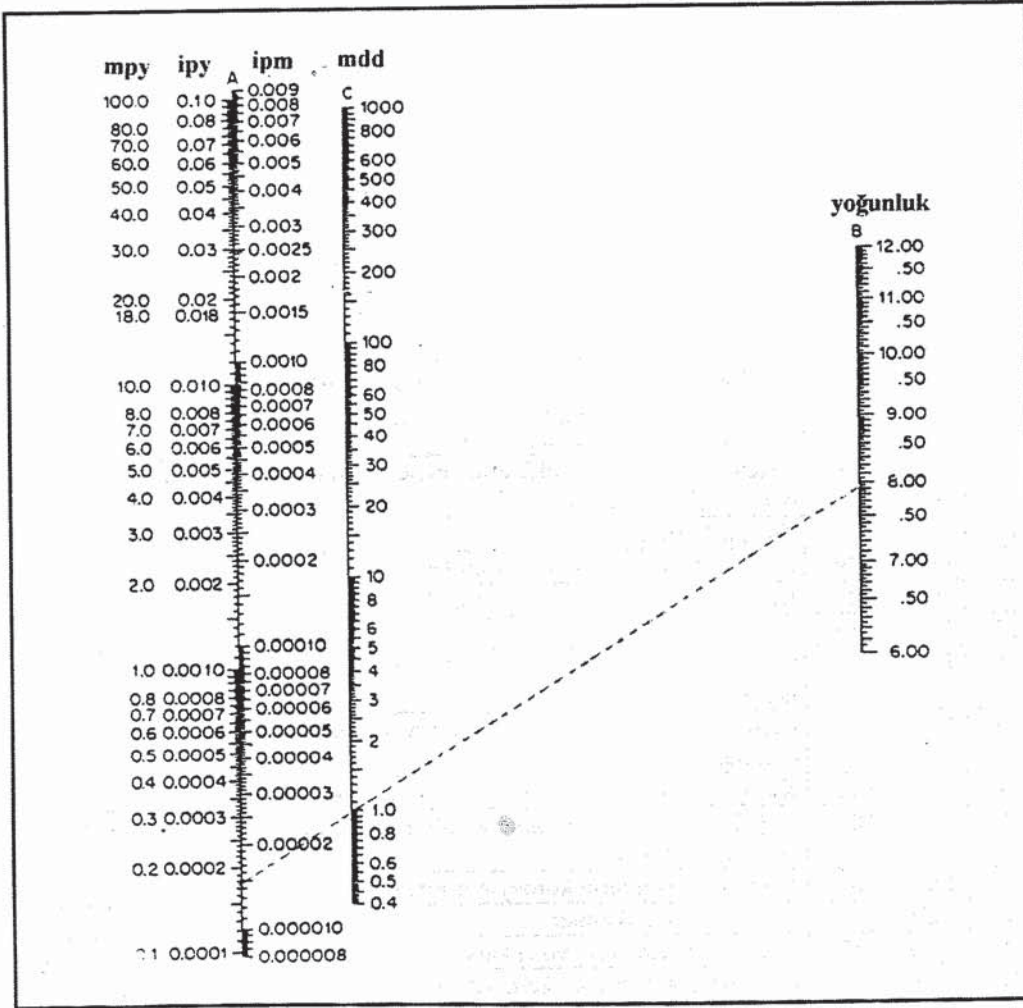
$$i = 39,9 \cdot 10^{-6} \text{ A}/\text{dm}^2 = 39,9 \mu\text{A}/\text{dm}^2$$

$$i = 0,40 \mu\text{A}/\text{cm}^2 = 1 \text{ mdd} \text{ bulunur.}$$

Demir için korozyon hızı değerleri şöyledir :

$$1 \text{ mdd} = 0,40 \mu\text{A}/\text{cm}^2 = 0,185 \text{ mpy}$$

KOROZYON HIZLARI DÖNÜŞÜM NOMOGRAFİ



Korozyon hız birimleri :

mpy = mil / yıl
 ipy = inç / yıl
 ipm = inç / ay
 mdd = mg / dm².gün (yoğunluk = g / cm³)

ÖRNEK : Demir için 1 mdd korozyon hızının (mpy) cinsinden değerini bulmak için (B) skalasından $d = 7,8 \text{ g/cm}^3$ seçilerek (C) skalasındaki 1,0 mdd ile birleştirilir. Bu doğrunun (A) skalasını kesmiş olduğu noktadan 1 mdd = 0,185 mpy olarak okunur.

EK -2 KOROZYON VE BOYA İLE İLGİLİ TÜRK STANDARTLARI

TABLO -1 ÇELİK VE KOROZYON İLE İLGİLİ TÜRK STANDARTLARI

Sıra	TS-No	Yılı	Standard Adı
1	204	65	Pik demirleri
2	551	83	Ostenitik dökme demir için genel esaslar
3	914	87	Galvanizleme (Sıcak daldırma)
4	2162	86	Genel yapı çelikleri
5	2169	76	Yeraltında kullanılan çelik boruların korozyondan korunma kuralları
6	2535	77	Biçimlenebilen paslanmaz çelikler
7	2850	77	Sementasyon çelikleri
8	2967	78	Metalik kaplamalar-çinko ve alüminyum püskürtülerek demir ve çeliğin korozyondan korunması
9	3024	78	Çelik lamalar (Sıcak haddelenmiş)
10	3156	78	Ostenitik paslanmaz çeliklerin taneler arası korozyonuna dayanma deneyi(HUEY Deneyi)
11	3317	79	Tuz püskürtme deneyi
12	3362	79	Basıncılı kaplar hesaplama kuralları
13	3650	81	Kazanlar için çelik sac ve levhalar
14	4034	83	Çelik dökümler
15	4356	85	Çelik boruların bitüm esaslı maddelerle sıcak olarak kaplanması kuralları
16	4357	85	Çelik boruların maden kömürü katranı ile sıcak olarak kaplanması kuralları
17	4359	86	Koruyucu kaplamalar-Atmosfer etkisinde kalan çelik yapılar için
18	4363	84	Doğal zeminlerin elektriksel özgül dirençlerinin Wenner dört elektrot yöntemi ile tayini
19	4487	85	Metal ve alaşımların korozyonu-Pirinçte çinkosuzlaşma direnci tayini
20	5026	87	Ferritik çelik dökümler
21	5139	87	Çelik boruların korozyona karşı polietilen ile kaplama kuralları
22	5140	87	Çelik boruların maden kömürü katranı epoksi boya ile kaplama kuralları
23	5141	87	Yeraltı çelik boru hatlarının katodik koruma kuralları
24	5457	88	Manyetik çelik sac ve bantlar
25	8589	90	Suni atmosfer içinde yapılan korozyon deneyleri için genel kurallar
26	8590	90	Çelik su borularının beton ile kaplanması kuralları
27	8591	90	Katodik koruma-deniz içi çelik ve diğer metalik yapılar için
28	8887	91	Paslanmaz çelik şerit ve lamalar
29	8888	91	Paslanmaz çelik dökümler
30	9234	91	Katodik koruma - galvanik anotlar

TABLO-2 TÜRK BOYA STANDARDLARI

Sıra No	TS-No	Standard Adı
1	TS-39	Solvent bazlı yapı son kat boyaları
2	TS-447	Gomalak (Şellak)
3	TS-604	Trafik yol boyaları
4	TS-655	Trafik işaretleri boyası
5	TS-789	Boyalar-sellülozik-parlak
6	TS-1752	Boyalar ve vernikler-Uçucu ve uçucu olmayan maddelerin tayini
7	TS-1754	Boyalar ve Vernikler-Parlama noktası tayini
8	TS-4772	Boyalar ve vernikler-Film kalınlığının tayini
9	TS-4856	Kamuflej boyaları-Alkit emaye esaslı
10	TS-4969	Viskozite Tayini -Brook field viskozimetresiyle
11	TS-5807	Viskozite Tayini-Stormer viskozimetresiyle
12	TS-5808	Su bazlı (Emülsiyon) yapı son kat boyaları
13	TS-6035	Uçucu ve Uçucu Olmayan Maddeler Tayini
14	TS-6613	Ambalaj İçindeki Madde Miktarının Tayini
15	TS-8656	Vernikler-Vinil klorür reçine esaslı
16	TS-8657	Vernikler-Ftalik reçine esaslı
17	TS-8693	Vernikler-Yağ esaslı
18	TS-8694	Vernikler-Akrilik reçine esaslı
19	TS-8751	Vernikler-Amino alkit reçine esaslı
20	TS-9720	Tiner-Sellülozik
21	TS-10096	Kaplama filmi kalınlığının ölçülmesi
22	TS-10284	Boyalar-Astar-Anakardiyum reçine esaslı
23	TS-10556	Boyalar-Amino alkit reçine esaslı-Parlak
24	TS-10865	Vernikler-Ağartılmış gomalak
25	TS-11159	Cıllar-Otomobillerde kullanılan
26	TS-11180	Boyalar-Trafik yol çizgileri için-Sıcak tatbikli
27	TS-11338	Boya ve vernikler için alkit reçineleri
28	TS-11376	Boyalar-Astar-Vinil klorür reçineli
29	TS-11377	Boyalar-Vinil klorür reçine esaslı
30	TS-11412	Çözücüler-Petrol esaslı
31	TS-1589	Boyalar-Epoksi reçine esaslı-Katranlı
32	TS-11590	Boyalar-Epoksi reçine esaslı
33	TS-11604	Vernikler-Sellülozik esaslı
34	TS-11650	Boyalar-Ftalik reçine esaslı
35	TS-11651	Astar boya ve macun-Yağ reçinesi esaslı

EK-3

KOROZYON VE MALZEME İLE İLGİLİ TERİMLER SÖZLÜĞÜ

1	Absorbsiyon	Bir akışkan molekülünün bir sıvı veya katı madde içinde tutulması olayı
2	Açık Devre Potansiyeli	Devreden hiç akım geçmezken ölçülen potansiyel değeri.
3	Adsorbsiyon	Atom, iyon veya moleküllerin, bir katının veya sıvının yüzeyinde tutulması.
4	Aerobik	İçinde serbest oksijen bulunan ortam.
5	Aerosol	Katı veya sıvı partiküllerinin bir gaz içinde toz halinde dağılması.
6	Akım Değişim Yoğunluğu	Bir elektrotta anodik ve katodik akım yoğunluklarının birbirine eşit olduğu denge halindeki akım yoğunluğu.
7	Akım Süreklilik Bağı	Elektrik akımının bir yapının bir ucundan öteki ucuna kadar akmasını sağlamak amacıyla yapılan metalik iletken bağlar.
8	Akım Şiddeti	Birim zamanda transfer olan net elektrik yükü. Akım şiddeti birimi Amperdir.
9	Akım Yoğunluğu	Birim elektrot yüzeyinden geçen akım şiddeti. Birimi A/m^2 dir.
10	Akrilik Reçinesi	Akrilik asit, metakrilik asit veya akrilonitril bileşiklerinin polimerleşmesi sonucu elde edilen reçine.
11	Aktif Metal	Korozyona uğramaya yatkın veya korozyona uğramakta olan metal.
12	Aktif Potansiyel	Elektrot potansiyelinin negatif yöne doğru kayması.
13	Aktiflik Katsayısı	Bir çözelti içinde bulunan iyonların termodinamik davranışlarını ifade eden konsantrasyonu ile, gerçek konsantrasyonunun birbirine oranıdır.
14	Aktivite	İdeal hale karşı gelen konsantrasyon. Maddelerin kimyasal potansiyelleri ve diğer termodinamik özellikleri aktivitelere bağlı olarak değişir. Gerçek konsantrasyon ile aktivite arasında konsantrasyona bağlı olarak değişen bir aktiflik katsayısı vardır.
15	Alaşım Kaplama	İki veya daha fazla metalin aynı anda ayrışması ile elde edilen kaplama.
16	Alaşım Korozyonu	Bir alaşım içindeki metallere birinin seçimli olarak korozyonu. Örneğin bronz içinde bulunan çinkonun korozyona uğraması tipik bir alaşım korozyonudur. Bu olay dezinsifikasyon olarak ta bilinir.
17	Alfa Demir	Demirin kübik merkezli allotropik hali. Bu kristal yapısı 900 °C nin altında stabildir.
18	Alfa Ferrit	Bak ferrit.
19	Alkali Çözeltiler ile Temizleme	Alkali hidroksitler, karbonat, borat, silikat ve fosfat gibi alkali tuzlarını içeren çözeltiler ile metal yüzeylerinin yağ ve kirden temizlenmesi işlemi. Çözelti içine deterjan gibi yüzey aktif maddeler katılarak temizleme işlemi kolaylaştırılabilir.
20	Alkid	Bir polihidrik alkol ile bir polibazik asidin birleşmesinden oluşan reçine. Bu reçine alkid tipi boyaların üretiminde temel bağlayıcı olarak kullanılır.
21	Alkilleme	Bir organik bileşik içine alkil grubunun girmesini sağlayan kimyasal işlem.
22	Allotropi	Bir elementin iki veya daha fazla farklı fiziksel özellik gösteren yapıda bulunması hali. Allotropik yapıda olan elementlerin kimyasal özellikleri değişmez.
23	Amalgam	Cıvanın bir başka metal ile yapmış olduğu alaşım.
24	Amfoter	Kuvvetli asitlere karşı baz etkisi, kuvvetli bazlara karşı da asit etkisi gösteren hidroksit veya oksitlere verilen isim. Amfoter özellik gösteren maddeler ortam koşullarına göre hidrojen iyonu veya hidroksil iyonu oluşturarak çözünürler.
25	Amper	Elektrik akım miktarı birimi. 1 international Amper, bir gümüş nitrat çözeltisinin elektrolizinde saniyede 0,00111800 g gümüş toplayan elektrik miktarıdır. 1 mutlak Amper = 1,000165 International Amper.
26	Amper Saat	Elektrik yükü birimi. 1 Amper saat = 3600 kulon
27	Ampermetre	Elektrik akım şiddetini ölçen alet.
28	Anaerobik	Hava veya serbest oksijenin bulunmadığı ortamlar.
29	Anodik inhibitör	Anodik reaksiyon hızını azaltan veya tamamen durduran inhibitör.
30	Anodik Koruma	Bir metali anodik yönde polarize ederek onun potansiyelini pasif bölgeye taşımak suretiyle korozyon hızının azaltılması tekniği. Bu işlem ancak pasifleşme özelliği olan metallere uygulanabilir.
31	Anodik Polarizasyon	Elektrotdan akım geçişi nedeni ile elektrot potansiyelinin pozitif yöne doğru (daha soy) değişimi.
32	Anodik Reaksiyon	Metalden-çözeltiye pozitif yük transferini sağlayan elektrot reaksiyonu. Anodik reaksiyon sonucu metal iyon halinde çözeltiye geçer.
33	Anodik Temizleme	Yüzeyi temizlenecek metal anot olarak bağlanarak yapılan elektrolitik temizleme işlemi. Bu işleme ters akım ile temizleme de denir.

34	Anodising	Metali anodik olarak oksitleyerek, metal yüzeyinde bir oksit filmi oluşturmak. Bu işlem daha çok alüminyum metalinde eloksal adı ile uygulanır.
35	Anolit	Elektrolit çözeltisi içinde anoda yakın bölge.
36	Anot	Oksidasyon reaksiyonunun meydana geldiği elektrot. Dış devreden elektron akışı anottan katoda doğru olur.
37	Anot Akım Verimi	Bir anottan çekilen akım miktarının, Faraday Yasası esas alınarak hesap edilen akım miktarına oranı.
38	Anot Yatağı Dolgusu	Katodik koruma sistemlerinde yeraltı anot yatağı içine doldurulan malzeme. Böylece anodun üniform bir akım üretmesi ve daha uzun ömürlü olması sağlanır.
39	Anti Fouling	Su içinde bulunan metal yapıların yüzeyinde yosunlaşmayı önlemek amacıyla yapılan işlemler.
40	Anyon	Negatif yüklü iyon. Elektrolite bir potansiyel farkı uygulandığında anyonlar anoda doğru hareket eder.
41	Ardışık Daldırma Deneyi	Bir numuneyi belli zaman aralıkları ile bir çözelti içine daldırarak yapılan korozyon deneyi.
42	Asit	Su içinde çözündüğünde (H ⁺) iyonu veren kimyasal madde
43	Asit Yağmuru	pH < 5,6 olacak şekilde meydana gelen atmosferik yağışlar. Başlıca fosil yakıtların yanması sonucu oluşan kükürt oksitler ve azot oksitlerin atmosferde bulunan su ile birleşerek yer yüzüne yağış halinde dönmesi.
44	Astar	Metal yüzeyine uygulanan ilk boya tabakası. Astar boyanın metal yüzeyine iyi yapışması ve yüzeyi ıslatıcı özellik göstermesi gerekir. Bazı astar boyalar inhibitif özellikte pigment içerir.
45	Aşınmalı Korozyon	Birbirine mekanik olarak bağlantılı olan iki malzemenin çok küçük salınımlarla hareket etmesi sonucu meydana gelen aşınma ile birlikte yürüten korozyon.
46	Aşırı Gerilim	Bir elektrodun denge halinde iken ölçülen potansiyeli ile akım geçerken ölçülen potansiyeli arasındaki fark.
47	Aşırı Isıtma	Bir metal veya alaşımın özelliklerinin bozulacağı kadar bir yüksek sıcaklığa ısıtılması.
48	Atmosfer	Yer küre üzerinde bulunan ve hava adı verilen gaz tabakası. Kuru havanın deniz seviyesindeki hacimsel bileşimi şöyledir: Azot = %78,08, oksijen = %20,95 argon = % 0,93, karbon dioksit = %0,03
49	Atmosferik Korozyon	Atmosfer etkisinde kalan metallerde, atmosferde bulunan oksijen, su buharı ve diğer kirlenici bileşenlerin etkisi ile oluşan korozyon.
50	Austenite (Ostenit)	Gama kristal yapısında olan demir metali içinde karbon veya demir karbürün çözünmesi ile oluşan katı çözelti Bu çözelti yüksek sıcaklıkta stabil haldedir. Ani soğutulurken normal sıcaklıklara taşınabilir.
51	Ayrışma Potansiyeli	Bir metalin iyon halinde çözeltiye geçmesi için gerekli minimum potansiyel.
52	Bağlı Karbon	Demir ve çelik içinde bulunan toplam karbonun serbest karbon dışında kalan kısmı.
53	Bakelit	Fenol-formaldehit reçineleri ile elde edilen plastik maddelere verilen ticari isim.
54	Bakır/Bakır Sülfat Referans Elektrodu	Doygun bakır sülfat çözeltisi içine saf bakır elektrodun daldırılması ile elde edilen yarı hücre. Bu elektrodun standart hidrojen elektroduna göre 25 °C'deki potansiyeli 0,316 Volt'dur.
55	Balık Gözü	Bir çeliğin kırılan yüzeyi üzerinde, balık gözüne benzeyen karakteristik beyaz kristaller.
56	Basınç Dayanımı	Bir malzemenin değişime uğramadan dayanabildiği maksimum basınç gerilimidir. Kırılgan yapıda olan malzemelerin basınç dayanımı net bir değer olarak ölçülebilir. Yumuşak yapıda olan plastik maddelerde basınç altında kırılma meydana gelmez. Bu maddelerde deformasyon olayının başladığı ve plastik sınırın bittiği noktalar belirlenebilir.
57	Baz	Su içinde çözündüğü zaman hidroksil iyonu oluşturan kimyasal bileşikler.
58	Beta Demir	Demirin allotropik hali. 768 °C ile 910 °C sıcaklık aralığında stabildir. Alfa demir manyetik özellik gösterdiği halde beta demir manyetik değildir.
59	Beyaz Pas	Çinko veya çinko kaplanmış metallerin yüzeyinde oluşan ve çinko oksitlerinden ileri gelen toz halindeki korozyon ürünleri.
60	Bıçak Hattı Etkisi	Bir paslanmaz çeliğin, kaynak işlemi sırasında sıcaklıkla duyarlı hale gelen bölgesi ile stabil kalan bölgesi arasında bir hat boyunca uzanan taneler arası korozyon olayı.
61	Bitümlü Kaplamalar	Kömür katranı veya asfalt içeren kaplamalar.
62	Biyolojik Korozyon	Mikroorganizmalar yardımı ile oluşan korozyon.

63	Cam Elektrot	pH veya hidrojen iyonu aktivitesini ölçmek için kullanılan ve camdan yapılmış membrandan oluşan elektrot.
64	Cebri Akım Yöntemi	(Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma Yöntemi): Bir dış akım kaynağından uygulanan doğru akım ile gerçekleşen katodik koruma yöntemi.
65	Çalışma Elektrodu	Elektrokimyasal hücrelerde deneye tabi tutulan elektrot.
66	Çatlak Korozyonu	Metal yüzeyinde bulunan bir çatlak, aralık veya elektrolitin hareketsiz kaldığı dar bir bölgede oluşan korozyon olayı. Çatlak korozyonu oto katalitik bir reaksiyon şeklinde yürüdüğünden korozyon hızı çok yüksektir.
67	Çekme Dayanımı	Çekme dayanımı deneyinde uygulanan maksimum yükün kesit alanına oranıdır.
68	Çelik	Bileşiminde % 0,1 ile % 1,5 oranında karbon bulunan demir alaşımı. Çeliğin özelliği karbon yüzdesine ve diğer minör elementlerin miktarına bağlıdır.
69	Çiilenme Noktası	Hava içinde bulunan su buharının yoğunlaşmaya başladığı sıcaklıktır. Çiilenme noktasında havanın relatif rutubeti % 100'e erişir.
70	Çözelti	Bir katının bir sıvı içinde çözünerek homojen bir sıvı faz oluşturmaması.
71	Denge Potansiyeli	Bir elektrot yüzeyinde meydana gelen kimyasal reaksiyonun hızı, ters yönde yürüten reaksiyon hızına eşit olduğu anda ölçülen elektrot potansiyeli. Denge potansiyeli ancak elektrotlarda bir denge reaksiyonu söz konusu ise ölçülebilir.
72	Deniz Suyu	Litresinde 36 gram tuz bulunur. Bu tuzun yaklaşık bileşimi şöyledir: NaCl = 28 g, MgCl ₂ = 4 g, MgSO ₄ = 2 g CaSO ₄ = 1 g ve KCl = 1 g dir.
73	Depolarizasyon	Elektrot yüzeyinde meydana gelmiş olan polarizasyon etkisinin giderilmesi.
74	Derin Kuyu Anot Yatağı	Katodik koruma sistemlerinde anotları yeraltına yerleştirmek amacıyla açılmış en az 15 m derinliğinde kuyu. Bu kuyu içine yeteri kadar anot yerleştirilir ve çevresi iletken bir anot yatağı dolgu malzemesi ile doldurulur.
75	Dezinsifikasyon	Çinko içeren alaşımlarda çinkonun seçimli olarak korozyonu. Dezinsifikasyon olayı genellikle bakır-çinko alaşımlarında görülür.
76	Difüzyon	Bir bileşenin bir gaz veya sıvı ortam içinde yayılması. Difüzyon olayı konsantrasyon eşit hale gelinceye kadar devam eder.
77	Difüzyon Katsayısı	Birim alandan, birim zamanda ve birim konsantrasyon gradienti altında difüze olan madde miktarı.
78	Difüzyon Limit Akım Yoğunluğu	Bir elektrot yüzeyindeki limit akım yoğunluğu, çözelti içinden elektrot yüzeylerine difüze olabilen maksimum madde miktarına karşı gelen akım yoğunluğudur.
79	Direnç (Elektriksel)	Akım geçen bir iletken, iki nokta arasında ölçülen voltaj düşüşünün, geçen akım şiddetine oranı.
80	Dökme Demir	Yüksek fırından elde edilen ve içinde safsızlıklar bulunan ham demir. Bileşiminde %2 - %4,5 karbon ve az miktarda mangan, fosfor ve kükürt bulunur.
81	Duyarlaşma	Ostenitik paslanmaz çeliklerin 550-850 °C sıcaklıklara kadar ısıtılması halinde, taneler arası sınır çizgileri boyunca krom karbür çökeltisi meydana gelmesi nedeniyle, alaşım içinde kromun azalması ve korozyona duyarlı hale gelmesi.
82	Düktilite	Bir malzemenin kırılmadan plastik olarak deforme olabilme özelliği. Bu özellik çekme deneyinde boy uzaması ölçülerek belirlenir.
83	Elastik Limit	Bir malzemede yük etkisi ile meydana gelen deformasyonların, yük kaldırıldıktan sonra eski haline dönmediği ve değişimin kalıcı olduğu minimum yük veya gerilme.
84	Elastisite	Bir malzemede yük etkisi ile meydana gelen deformasyon. Bu deformasyon yük kaldırıldıktan sonra tekrar eski haline döner.
85	Elastomer	Normal sıcaklıkta, boyunun iki katı kadar gerilerek serbest bırakıldığında tekrar eski haline dönebilen doğal ve sentetik kauçuktan oluşan bir plastik madde.
86	Elektriksel Özgül Direnç	Birim kesitte ve birim uzunluktaki iletkenin elektrik akımını iletmeye karşı göstermiş olduğu direnç. Ohm.m olarak ifade edilir.
87	Elektriksel Yalıtım	Bir metalik yapının, diğer bir metalik yapıdan elektrik akımı geçirmeyecek şekilde ayrılması.
88	Elektro Galvaniz	Demir ve çelik yüzeyine elektroliz ile çinko kaplanması.
89	Elektro Kinetik Potansiyel (Zeta Potansiyel)	Metal yüzeyine yapışmış bir sıvı tabakası ile ona değerek hareket eden sıvı tabakası arasında ölçülen potansiyel farkı.
90	Elektrokimyasal Ekvivalent	Elektrotlardan 1 kulon akım geçmesi halinde açığa çıkan veya iyon haline gelen madde miktarı. 1 elektrokimyasal ekvivalent = 1/96500 kimyasal ekvivalent.
91	Elektrokimyasal Hücre	Bir elektrolit içine daldırılmış ve birbiri ile bağlantılı iki farklı metalden oluşan sistem.
92	Elektrolit	İyon içeren bir çözelti veya karışım.
93	Elektrolitik Temizleme	Bir metal yüzeyinde bulunan pas, kabuk vb yabancı maddelerin elektrik akımı uygulanarak temizlenmesi.

94	Elektroliz	Bir elektrolit içinden dıştan uygulanan bir doğru akım geçmesi halinde, elektrotlarda meydana gelen kimyasal değişimler. Elektroliz işlemi sırasında bazı iyonlar yükünü kaybederek elektrotlarda açığa çıkarken, bazı elementler de iyon haline geçerek çözeltiye karışabilir.
95	Elektromotor Kuvveti Serisi (EMK)	Elementlerin standart elektrot potansiyellerine göre sıralanması ile elde edilen liste. Bu listede en negatif potansiyelli olan elementler yukarıda bulunur. Listedeki yukarıdan aşağı doğru gidildikçe soyluk derecesinde artış olur. En soy metaller en alta bulunur.
96	Elektrot	Elektrolit içine daldırılmış olan bir elektronik iletken. Elektrot ve içinde bulunduğu elektrolite toplam olarak yarı hücre denir.
97	Elektrot Potansiyeli	Elektrodun bir referans elektroda karşı ölçülen potansiyeli. Bu ölçüm sırasında elektrodun hiç akım geçmemesi ve omik direnç nedeniyle potansiyel kaybı olmaması gerekir.
98	Elektrot Reaksiyonu	Elektrot ve elektrolit ara yüzeyinde eşdeğer bir yük değişimi ile oluşan kimyasal reaksiyon
99	Eloksal	Bak Anodising
100	Endüstriyel Atmosfer	Endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan ve içinde is, duman, katı partikül, kükürt gazları, azot gazları vb. kirlenici bileşenler bulunan kirli atmosfer.
101	Epoksi Reçine	Epiklorohidrin ile herhangi bir poli hidrik bileşiğin (örneğin bisfenol A) reaksiyonundan oluşan termosetting özellikte bir reçine.
102	Erozyon	İçerisinde katı partikül taşıyan bir akışkanın aşındırıcı etkisi ile meydana gelen yıpranma. Aynı anda korozyon olayı da meydana geliyor ise buna erozyonlu korozyon denir.
103	Esas Metal	Bir alaşımda en büyük yüzdede olan metal.
104	Eutektik (öyektik) Karışım	İki veya daha fazla maddeden oluşan en küçük donma noktasına sahip katı çözelti. Eutektik bileşimli alaşımlar hazırlanarak erime noktası düşürülebilir.
105	Eutektik Nokta	İki veya daha fazla maddeden oluşan katı çözeltilerde, her bir madde diğerinin erime noktasını düşürücü yönde etki yapar. Minimum erime noktalı karışıma eutektik karışım ve bu karışımın erime sıcaklığına da eutektik nokta denir.
106	Faraday Yasası I	Elektrotlarda meydana gelen kimyasal değişimler, elektroliz hücresinden geçen akım miktarı ile doğru orantılıdır.
107	Faraday Yasası II	Bir elektroliz hücresinden 1 Faraday (96500 Kulon) akım geçtiği zaman, elektrotlarda 1 ekvivalent gram madde değişime uğrar.
108	Farklı Havalanma Hücresi	Aynı elektrodun farklı iki bölgesinde değişik oksijen konsantrasyonu oluşması halinde meydana gelen konsantrasyon pili.
109	Ferit	Saf alfa demir veya alfa demirin çözücü olduğu katı çözeltiler. Çözünen madde genellikle karbondur.
110	Filiform Korozyon	Bir boya filmi veya kapak altında ip gibi kıvrıntılı olarak yürüyen korozyon olayı.
111	Film	Bir malzeme yüzeyinde, gözle görülen veya görülemiyen incelikte bir tabaka.
112	Film Altı Korozyonu	Bak Filiform korozyon.
113	Fosfatlama	Bir metalin sulu fosfat çözeltileri veya seyreltik fosforik asit içinde reaksiyona sokularak yüzeyinin sağlam bir metal fosfat filmi ile kaplanması.
114	Fouling	Deniz içinde bulunan bir metal yüzeyinde meydana gelen ve başlıca canlı organizmaların oluşturduğu çökelti.
115	Galvanik Akım	Bir galvanik hücreden geçen akım.
116	Galvanik Alaşım	Demir veya çeliğin erimiş çinko içine daldırılması ile yapılan sıcak galvaniz kaplama. Bu yöntemle yapılan kaplamada demir yüzeyinde belli kalınlıkta çinko-demir alaşımı oluşur.
117	Galvanik Anot	Galvanik seride kendisinden daha soy bir metale bağlanmış olan metal anot olarak rol oynar. Böylece oluşan galvanik pilin anoduna galvanik anot veya kurbanlık anot denir.
118	Galvanik Anotlu Katodik Koruma	Korunacak metale daha aktif bir metal (kurbanlık anot) bağlanarak yapılan katodik koruma.
119	Galvanik Hücre	İki farklı metalin bir elektrolit içine daldırılması veya aynı cinsten iki metalin farklı iki elektrolit içine daldırılması ve bu elektrotların birbirine bağlanması ile oluşan elektrokimyasal hücreler.
120	Galvanik Korozyon	Kendisinden daha soy bir metal ile temas eden bir metalde meydana gelen korozyon.
121	Galvanik Seri	Metal ve alaşımların deniz suyu içinde ölçülen potansiyel değerlerine göre hazırlanmış olan liste. Bu potansiyeller söz konusu metalin deniz suyu içindeki korozyon potansiyelidir.
122	Galvaniz	Bak Elektro Galvaniz.

123	Galvanometre	Küçük elektrik akımlarını ölçmek için kullanılan cihaz. Galvanometre, elektrik akımının oluşturduğu manyetik alan içinde oluşan mekanik bir hareketin gözlenmesi ilkesine dayanır.
124	Gama Demir	Yüzeyel kübik merkezli kristal yapısındaki saf demir. Bu demir 900-1400 °C de stabil haldedir.
125	Gavanostatik Yöntem	Akımı sabit tutarak elektrot potansiyelini ölçmeyi amaçlayan bir deneysel yöntem.
126	Gaz Korozyonu	Hiç sıvı fazı bulunmayan ve yalnız gaz bileşenlerin etkisi ile oluşan korozyon.
127	Genel Korozyon	Bak Üniform korozyon.
128	Gerilme	Bir kuvvet etkisinde kalan cismin boyutlarında veya biçiminde meydana gelen değişme.
129	Gibbs Serbest Enerjisi	Entalpi ve entropi fonksiyonlarına bağlı bir termodinamik hal fonksiyonu. Bu fonksiyon serbest enerji veya serbest entalpi olarak da bilinir. Bir olayın kendiliğinden gerçekleşmesi için reaksiyon serbet entalpisinin negatif olması gerekir.
130	Giydirmе	Bir metalin fiziksel ve mekanik işlemler ile bir başka metal plakayla kaplanmasıdır
131	Grafitik Korozyon	Gri dökme demirin seçimli korozyonu. Bu olay sonunda demir korozyona uğrarken, daha soy olan grafit iskelet olarak kalır ve metal poröz bir görünüm kazanır.
132	Havalandırma	Bir çözeltinin veya zeminin içinden hava geçirerek onun oksijen absorbe etmesini sağlamak.
133	Hematit	Demir 3 oksit minerali Fe ₂ O ₃
134	Hidrofilik	Suya yakın ilgi duyan madde.
135	Hidrofobik	Suyu sevmiyen, su içinde çözünmeyen ve suyu absorbe etmeyen madde.
136	Hidrojen Aşırı Gerilimi	Elektrotda hidrojen gazı oluşumu nedeniyle ortaya çıkan aşırı gerilim.
137	Hidrojen Kırılmalığı	Hidrojen atomlarının metalin içindeki kristal yapıya girerek orada boşluklara yerleşmesi sonucu metali kırılmalı hale getirmesidir.
138	Hidroliz	Korozyon sonucu oluşan metal iyonlarının su ile reaksiyona girerek metal hidroksit ve hidrojen iyonuna dönüşmesi.
139	Higrometre	Havanın relatif rutubetini ölçmek amacıyla kullanılan cihaz.
140	Higroskopik	Su buharı veya rutubet tutabilme eğilimi olan madde.
141	Hızlandırılmış Korozyon Deneyi	Normal koşullar altında uzun süre içinde etkisini gösteren bir korozif olayın, kısa süre içinde gerçekleşecek şekilde düzenlenerek yapılması.
142	Holiday	Bir kaplama tabakasında bulunan delik, boşluk, çatlak vb. Bozukluklar. Korozyon olayı ilk olarak bu bölgelerden başlar.
143	Hücre	Bir elektrolit içine daldırılmış olan bir anot ve bir katotdan oluşan elektrokimyasal sisteme topluca hücre adı verilir. Anot ve katot farklı metallerden olabilir veya aynı metalin farklı bölgeleri anot ve katot gibi davranabilir.
144	İletkenlik (Elektriksel)	Elektriksel direncin tersidir Birimi Mho = Siemens = Ohm ⁻¹
145	İmmunite	Bir metalin anodik olarak çözünmesinin mümkün olmadığı ve termodinamik olarak stabil olduğu hal.
146	İnert Elektrot	Bulunduğu ortam içinde çözünmeyen ve hiç bir kimyasal reaksiyona katılmayan elektrot.
147	İnhibitör	Elektrolit içine az miktarda katıldığında, korozyonu önleyen veya korozyon hızını azaltan kimyasal madde. İnhibitörlere negatif katalizör de denilebilir.
148	İnorganik Çinko Boya	Çinko tozu pigment içeren ve inorganik bağlayıcılar ile kabuk oluşturan bir boya.
149	Isı Etkime Bölgesi	Bir metali kaynak yaparken, keserken veya delerken ısı etkisi ile metalin fiziksel özelliklerinin değişikliğe uğradığı bölge.
150	Isı Etkisi ile Duyarlaşma	Kaynak yapımı gibi metalin belli bir bölgesinin yüksek sıcaklıklara ısıtılması halinde, tane sınırları boyunca meydana gelen çökelmelerin, metali taneler arası korozyona karşı duyarlı hale getirmesi.
151	İyon	Pozitif veya negatif yük taşıyan atom veya atom grupları.
152	İyon Değiştirici	Temel yapısını koruyarak, bir çözelti içinden tersinir olarak iyon alan ve yerine başka bir iyonu verebilen maddeler.
153	Kabuk Altı Korozyonu	Metal yüzeyinde bulunan bir çökelti veya kabuğun altında meydana gelen korozyon. Bu korozyon çatlak korozyonuna benzer şekilde yürür.
154	Kaçak Akım	Amacı dışında yönlere doğru akan elektrik akımı
155	Kaçak Akım Korozyonu	Yeraltında bulunan bir metal yapıya giren kaçak akımlar nedeniyle oluşan korozyon. Korozyon olayı akımın metali terkettiği bölgede meydana gelir.
156	Kalıcı Stres	Plastik deformasyona uğrayan bir metal bünyesinde oluşan stres.

157	Kalker Rüşubati	Katodik koruma uygulanmış olan metallerin yüzeyinde pH artışı sonucu kalsiyum ve magnezyum tuzlarının oluşturduğu çökelti.
158	Kalomel Elektrot	Potansiyeli sabit kalan ve referans elektrot olarak kullanılan bir yarı hücre. Esas olarak civa, civa klorür ve doymuş potasyum klorür çözeltisinden oluşur. Potansiyeli hidrojen elektroda göre 0,2415 Volt'dur.
159	Kaplama Gücü	Belli kalınlıkta bir film tabakası oluşturmak koşulu ile, 1 kg boya malzemesiyle kaplanabilen maksimum yüzey alanıdır.
160	Karma Potansiyel	Bir elektrodun yüzeyinde aynı anda iki veya daha fazla reaksiyonun bir arada yürütmesi halinde elektrot potansiyeli bir karma potansiyel değerini alır. Bir galvanik hücrenin potansiyeli de karma potansiyel sayılır. Buna sistem potansiyeli denir.
161	Katı Çözelti	İki veya daha fazla bileşenin katı fazda homojen kristaller halinde bulunması.
162	Katodik İnhibitör	Katodik reaksiyon hızını azaltan veya durduran kimyasal maddeler.
163	Katodik Korozyon	Amfoter özellik gösteren bir metalin, katotda oluşan alkali hidroksitler ile reaksiyona girerek çözünmesi.
164	Katodik Koruma	Bir dış akım uygulanarak veya galvanik anot bağlanarak bir elektrolit içinde bulunan bir metalin katot haline getirilmesi.
165	Katodik Polarizasyon	Akım geçişi nedeniyle elektrot potansiyelinin negatif yöne doğru değişimi.
166	Katodik Reaksiyon	Metalden elektrolite negatif yük transferini sağlayan kimyasal reaksiyon. Tipik katodik reaksiyonlar; asidik ortamlarda hidrojen çıkışı ve nötr ortamlarda çözünmüş oksijenin hidroksil haline dönüşme reaksiyonlarıdır.
167	Katodik Soyulma	Katodik koruma uygulanmış olan bir yapıda katot reaksiyonu sonucu ortaya çıkan ürünler nedeniyle katot bölgesindeki kaplamanın yapışma özelliğini kaybederek metal yüzeyinden ayrılması.
168	Katodik Temizleme	Yüzeyi temizlenecek olan metalin katot olarak bağlanması ile yapılan elektrolitik temizleme işlemi.
169	Katolit	Elektrolit içinde katoda yakın olan bölge.
170	Katot	Redüksiyon reaksiyonunun meydana geldiği elektrot. Tipik katot reaksiyonları, kationların elektron alarak metal haline dönüşmesi, hidrojen çıkışı veya oksijenin indirgenerek hidroksil iyonu haline dönüşmesidir.
171	Kasyon	Pozitif yüklü iyon. Elektrolite bir potansiyel farkı uygulandığında kasyonlar katoda doğru hareket eder.
172	Kavitasyon	Yüksek hızla akan bir akışkanda basınç düşmesi sonucu, gaz kabarcıklarının parçalanması ile oluşan oyulma.
173	Kaynak Çürütmesi	Paslanmaz çeliklerde veya bazı nikel alaşımlarında, kaynak yapılan bölge çevresinde oluşan duvarlaşma nedeniyle oluşan taneler arası korozyon.
174	Kesme Gerilimi	Birbirine paralel ve ters yönde iki kuvvetin etkisi sonucu meydana gelen kırılma.
175	Kimyasal Dönüşüm Kaplaması	Metal yüzeyinde meydana gelen bir kimyasal reaksiyon ile koruyucu bir kabuk oluşturulması. Bu işlem genellikle metal yüzeyine organik kaplama yapılmadan önce sağlam bir temel oluşturmak amacıyla uygulanır. Örneğin çinko yüzeyi çinko kromat ile, demir yüzeyi demir fosfat ile kaplanabilir.
176	Kırılmalık	Bir metal veya alaşımın çeşitli nedenler ile düktil özelliğini veya sertliğini veya her ikisini birden kaybetmesi olayı.
177	Konsantrasyon Hücresi	Aynı bir çözeltide anot ve katot bölgelerindeki konsantrasyon farkı sonucu bir potansiyel farkının oluştuğu hücreler. Akım geçtikten sonra anot ve katot bölgeleri arasındaki konsantrasyon farkı azalır.
178	Konsantrasyon Polarizasyonu	Bir elektrokimyasal hücreden bir süre akım geçtikten sonra anot ve katot bölgelerinde meydana gelen konsantrasyon değişimi nedeniyle oluşan aşırı gerilim.
179	Korozyon	Metallerin çevresinde bulunan bileşenlerle kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyona girerek metalik özelliğini kaybetmesi olayı.
180	Korozyon Hızı	Birim zamanda korozyona uğrayan madde miktarı. Korozyon hızı değişik şekillerde ifade edilebilir. Birim yüzeyden kütle kaybı olarak g/(m ² .yıl) Penetrasyon (korozyon derinliği): mm/yıl (veya mpy). Anodik akım yoğunluğu olarak: A/cm ² .
181	Korozyon Potansiyeli	Korozyona uğramakta olan bir metalin potansiyeli. Buna açık devre potansiyeli veya denge potansiyeli de denir.
182	Korozyon Ürünleri	Korozyon reaksiyonu sonucu oluşan kimyasal bileşikler.
183	Koruma Potansiyeli	Katodik koruma sistemlerinde korunan metalin katot olmasını sağlayan minimum potansiyel değeri.
184	Kostik	Sodyum ve potasyum gibi alkali metallerin hidroksitleri.
185	Kostik Kırılmalığı	Derişik hidroksit çözeltisi içinde 200-250 °C sıcaklıklarda stres korozyonu sonucu meydana gelen kırılma. Bu olay genellikle karbon çeliği ve krom nikel çeliklerinde ortaya çıkar.

186	Kritik Akım	Aktif-pasif davranış gösteren bir metalin aktif bölgesinde gözlenen maksimum korozyon hızıdır. Bu akıma karşı gelen potansiyele kritik potansiyel denir.
187	Kritik Potansiyel	Aktif-pasif davranış gösteren bir metalde çukurlaşma korozyonunun başlamış olduğu minimum potansiyel.
188	Kritik Rutubet	Atmosferik korozyon hızının birden bire artış göstermiş olduğu relatif rutubet. Çelik için kritik rutubet % 70 civarındadır.
189	Kromatlama	Bir metalin kromat çözeltisi içinde kimyasal reaksiyona sokularak, metal yüzeyinin krom-3 ve krom-6 bileşiklerinden oluşan sağlam bir tabaka ile kaplanması.
190	Kulon	SI birim sisteminin elektrik yük birimi. 3.10^9 elektrostatik birim.
191	Kulonmetre (Voltametre)	Bir elektroliz hücresinden geçen akım miktarını katotda ayrılan madde miktarını ölçerek belirleyen cihaz.
192	Kuru Korozyon	Bak Gaz Korozyonu.
193	Kuruyan Yağlar	Havadaki oksijen ile reaksiyona girerek katılaşan sıvı yağlar.
194	Langelier İndeksi	Bir su içinde kalsiyum karbonat çökeltisinin oluşup oluşmayacağını belirleyen bir indeks. Suyun normal halde ve doymun haldeki pH dereceleri ölçülerek Langelier İndeksi, $I = pH - pH_s$ bağıntısı ile hesaplanır. Bu indeks aşağıdaki şekilde değerlendirilir: $I_s > +2,0$ ise şiddetli kabuk oluşur. $I_s > +0,5$ ise kabuk oluşur. $I_s = 0$ ise su denge halindedir. $I_s < -0,5$ ise su hafif korozif özelliktedir. $I_s < -2,0$ ise su şiddetli koroziftir.
195	Luggin Kapileri	Elektrot potansiyelleri ölçümlerinde, omik direnci önlemek amacıyla kullanılan metal yüzeyine yaklaştırılan kapiler.
196	Maden Kömürü Katranı (Coal Tar)	Maden kömürünün kuru damıtılması ile gazlaştırılması sırasında sıvı faz olarak ele geçen ve içinde çeşitli organik bileşiklerin bulunduğu siyah renkli ürün.
197	Manyetit	Manyetik özellikte doğal demir oksit minerali Fe_3O_4
198	Martensit	Sert ve kırılğan yapılı çelik. Erimiş halde bulunan çelik ani olarak soğutulursa, faz içindeki karbon atomları difüzyon için yeterli zaman bulmadığından kristal yapısı içindeki normal yerlerine ulaşamaz. Bu durumda interstitial bir kristal yapı oluşur.
199	Monomer	Birbiri ile birleşerek çok büyük bir molekül (polimer) oluşturabilen organik moleküller.
200	Mutlak Rutubet	Bir kg kuru hava içinde bulunan kilogram olarak su buharı kütlesi. $\omega = \text{kg su buharı} / \text{kg kuru hava}$
201	Nernst Denklemleri	Bir yarı hücre potansiyelini hesaplamak için kullanılan ve termodinamik olarak elde edilen denklem. $E = E_o - \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_1}{a_2}$ Burada, E : Elektrot potansiyeli R : Gaz sabiti n : Yük transfer sayısı Eo : Standard elektrot potansiyeli T : Mutlak sıcaklık a : İyonik aktivite
202	Oksidasyon	Elektron kaybı ile değerlik artışının meydana geldiği kimyasal reaksiyonlar.
203	Organik Çinko Boya	Pigment olarak çinko tozu ve bağlayıcı olarak organik bir reçine kullanılarak elde edilen boyalar.
204	Osmos	Yarı geçirici bir membrandan suyun veya bir başka solventin, derişik çözeltiden seyreltik çözeltiye doğru kendiliğinden geçişi. Bu olay, membranın her iki yanındaki çözeltilerin konsantrasyonları birbirine eşit hale gelinceye kadar devam eder.
205	Ozon	Üç oksijen atomundan oluşan O_3 molekülü. Ozon şiddetli oksidasyon gücü olan bir kimyasal bileşiktir.
206	Pas	Demir ve demir alaşımlarının korozyon ürünlerine verilen özel isim. Esas olarak demir oksit ve hidroksit karışımlarından oluşur.
207	Pas Filmi	Metallerin yüksek sıcaklıklarda oksitlenmesi ile oluşan ince oksit filmi.
208	Pasifleşme	Korozyona uğrayan bir elektrodun korozyon hızının azalması olayı.
209	Pasifleşme Potansiyeli	Aktif pasif geçişli bir metalin maksimum akım yoğunluğuna karşı gelen potansiyel. Bu potansiyelin pozitif yönde artırılması halinde metal hızla pasifleşir.
210	Pasiflik	Bir metalin yüzeyinin bir oksit tabakası ile kaplanması sonucu, metalin daha pozitif bir potansiyel kazanması.
211	Paslanmaz Çelik	Bileşiminde % 12-% 20 oranında krom ve % 0,1 ile % 0,02 oranında karbon içeren demir alaşımı. Endüstride daha çok 18-8 krom nikelten oluşan paslanmaz çelik kullanılmaktadır.
212	Pearlit	Ferit ve sementit tabakaları halinde kristal yapısı gösteren demir veya çelik.
213	Pigment	Boya içine renk verici olarak toz halinde katılan dolgu maddeleri.

214	Pikling	Metal yüzeyinde bulunan oksit filminin asit çözeltileri ile kimyasal olarak temizlenmesi.
215	Pitting	Metal yüzeyinde çukur şeklinde oluşan korozyon.
216	Pitting Faktörü	Korozyon sonucu oluşan en derin çukurun derinliğinin, ağırlık kaybından gidilerek bulunan ortalama derinliğe oranına pitting faktörü denir.
217	Plastik Deformasyon	Bir metale elastik limit değerinin üzerinde bir gerilme uygulanması halinde meydana gelen kalıcı uzama.
218	Plastisite	Bir malzemenin kopmadan kalıcı deformasyon gösterme özelliği.
219	Polarizasyon	(1) Bir elektrodun açık devre potansiyelinin akım geçerken değişime uğraması. (2) Bir elektroliz hücresinde, elektrolizin devamı süresince elektrot potansiyellerinde görülen değişim. Anodun potansiyeli pozitif yöne doğru, katodun potansiyeli de negatif yöne doğru kayar.
220	Polarizasyon Direnci	Bir elektrodun korozyon potansiyeli yakınında potansiyel değişiminin, uygulanan dış akım yoğunluğuna oranı. $R_p = dE/di$. Lineer bölgeden elde edilen bu eğim korozyon hızının hesaplanmasında kullanılır.
221	Polarizasyon Eğrileri	Bir elektroda uygulanan dış akım yoğunluğu ile elektrodun potansiyeli arasında (E-i) veya (E-log i) olarak çizilen eğriler.
222	Poliester	Bir organik asit ile bir polihidrik alkolün kondensasyon reaksiyonu ile oluşan reçine.
223	Polimer	Bir monomerin çok sayıda molekülünün zincir şeklinde birleşerek oluşturduğu makro organik bileşik.
224	Poliüretan	Bir izosiyanat ile bir polihidrik alkolün kondensasyonu sonucu oluşan bir polimer
225	Potansiyel-pH Diyagramları	Bak Pourbaix Diyagramları.
226	Potansiyel	Elektrik akımının ve elektrokimyasal reaksiyonların yürütücü kuvveti.
227	Potansiyodinamik Yöntem	Bir elektrodun potansiyelini düzgün aralıklarla değiştirerek buna karşı gelen akım yoğunluğunun belirlenmesi.
228	Potansiyostat	Potansiyeli otomatik olarak sabit tutabilen veya değişim hızını kontrol edebilen cihaz.
229	Potansiyostatik Yöntem	Bir elektrodun potansiyeli sabit tutularak buna karşı gelen akımın ölçülmesi yöntemi.
230	Pourbaix Diyagramları	Bir metalin elektrot potansiyeli ile içine daldırılmış olduğu elektrolitin pH derecesine göre termodinamik bilgilerden yararlanarak çizilen diyagramlar. Bu diyagramlarda metalin ve korozyon sonucu oluşan bileşiklerin stabil olduğu alanlar belirlenir.
231	Redoks Potansiyeli	Bir elektrot yüzeyinde yürüten oksidasyon-redüksiyon reaksiyonunun potansiyeli.
232	Redüksiyon	Elektron alınarak değerliğin kaybedilmesi ile sonuçlanan reaksiyon. Katotta daima redüksiyon reaksiyonu meydana gelir.
233	Referans Elektrot	Polarize olmayan ve potansiyeli sürekli olarak aynı kalan elektrot.
234	Refrakter Metaller	Erim noktası çok yüksek olan krom, vanadyum ve titanyum gibi metaller.
235	Rektifiye	Alternatif akımı doğru akıma çeviren transformatör-redresör sistemi.
236	Relatif Rutubet	Birim hacimdeki hava içinde bulunan su buharı kütlesinin, aynı sıcaklıkta ve aynı hacimde doymuş hava içinde bulunan su buharı kütlesine oranı. Sıcaklık arttıkça relatif rutubet azalır, buna karşılık sıcaklık azaldıkça relatif rutubet yükselir. Relatif rutubetin % 100 olduğu sıcaklık söz konusu havanın çiylenme noktasıdır.
237	Rezistivite	Özgül direnç. $\rho = rA/L$. Burada, r: Ohm olarak direnç, p: Ohm.m olarak özgül dirençtir.
238	Rutubet Deneyi	Relatif rutubeti ve sıcaklığı kontrol edilen bir ortam içinde bekletilerek yapılan korozyon deneyi.
239	Sementit	Demir ile karbonun birleşmesinden oluşan demir karbür bileşimine sementit denir. Bu bileşik karakteristik ortorombik kristal yapısındadır. Dökme demir içinde bulunur ve onu sert ve kırılğan yapar.
240	Sıcak Daldırma ile Kaplama	Erimiş bir metal içine daldırılarak yapılan metal kaplamalar.
241	Sıcak Püskürtme Yöntemi	Bir kaplama malzemesinin erimiş halde sıcak olarak metal yüzeyine püskürtülmesi.
242	Soy Metal	Elektrot potansiyeli hidrojenden daha büyük olan metal. Bu metallerin standart elektrot potansiyelleri pozitifdir.
243	Soyulma	Kaplama ile metal arasındaki yapışmanın ortadan kalkması.
244	Standart Elektrot Potansiyeli	Bir elektrodun aktivitesi bir olan kendi iyonlarını taşıyan bir çözelti içine daldırılması halinde ölçülen potansiyel. Standart hidrojen elektrodun potansiyeli referans olarak sıfır kabul edilir.

245	Stres	Bir malzemeye etki yapan kuvvetlerin meydana getirdiği içsel gerilme.
246	Stres Korozyon Çatlaması	Bir metalin aynı anda hem korozyon hem de stres etkisinde kalması sonucu oluşan çatlama. Korozyon sonucu kesit küçüleceğinden kopma daha çabuk meydana gelir.
247	Tafel Doğrusu	Dış akım uygulanan bir elektrotta, korozyon potansiyelinden yeteri kadar uzak bir bölgede uygulanan dış akımın logaritması ile aşırı gerilim arasında $\eta = b \log i/i_0$ bağıntısı vardır. Bu ifade Tafel Denklemi, polarizasyon eğrisindeki bu bölge de Tafel Bölgesi olarak bilinir.
248	Taneler Arası Korozyon	Metalin kristalleri arasındaki sınır çizgileri boyunca meydana gelen korozyon olayı. Bu aralıkta bazı safsızlıkların çökmesi nedeniyle normal kristal düzeninden farklı bir yapı vardır.
249	Tavlama	Bir metalin mikro yapısını değiştirmek üzere yapılan ısıtıl işlem. Metal önce belli bir sıcaklığa kadar ısıtılır, sonra yavaş bir hızla soğutulur. Tavlama sonunda metalin bir çok özelliği değişir. Tavllanmış metal ile soğuk işlemler kolaylaşır. Dökme demir ve çeliğin sertliğini azaltmak buna karşılık sağlamlığını artırmak amacıyla tavlama yapılır.
250	Tavlama Kırılmalığı	Tavlama yapıldıktan sonra ani soğutma yapılmaz ise, tane sınırları boyunca arsenik, antimon ve fosfor gibi bazı yabancı kristaller toplanabilir. Bu olay metalin kırılmalığını artırır.
251	Tebeşirleşme	Bir organik boya filminin hava koşullarının etkisi ile bozunarak tozlu bir yüzey oluşturması olayıdır. Boya içinde bulunan pigment cinsi ve yüzdesi tebeşirleşme olayına neden olabilir.
252	Teflon	Tetra flor etenin polimerleşmesi ile elde edilen termo setting özellikte bir plastik (PTFE). Bu plastik 400 °C e kadar sıcaklığa dayanıklıdır.
253	Thermit	Alüminyum tozu ve demir 3 oksitten oluşan karışım. Bu karışım magnezyum şerit ile yakılırsa, meydana gelen kimyasal reaksiyon büyük bir ısı çıkarır ve reaksiyon ürünü olarak oluşan demiri eritir. Bu olay demir ve çelik üzerine kaynak yapmak için kullanılır.
254	Tiksotropi	Bir sıvının viskozitesinin zamanla değişmesi. Bazı boyaların bekletilmeleri halinde viskozitelerinde zamanla artış olur. Bu özellik boyaların akmasını önler. Boya kullanılırken fırçaya kolayca alındığı halde yüzeyde akış göstermez.
255	Transpasif Bölge	Anodik polarizasyon eğrilerinde, pasif potansiyel bölgesinden daha pozitif potansiyelde korozyon hızının yeniden artış gösterdiği bölge.
256	Tuz Püskürtme Deneyi	Tuzlu su püskürtülerek yapılan hızlandırılmış korozyon deneyi.
257	Uzun Boruhattı Akımı	Kaliteli şekilde kaplanmış uzun boru hatlarında, farklı zemin yapısından ileri gelen makro konsantrasyon hücresi nedeniyle oluşan akım. Bu akım anodik bölgelerden katodik bölgelere doğru akar.
258	Üniform Korozyon	Metal yüzeyinde üniform olarak dağılan korozyon. Korozyon hızının her noktada aynı olduğu bu korozyona genel korozyon da denir.
259	Yanma	Bir metal veya alaşımın yüksek sıcaklığa ısıtılması halinde meydana gelen kalıcı bozukluklar veya metal yüzeyinde oluşan renk değişimi.
260	Yardımcı Elektrot	Polarizasyon ölçümlerinde üzerinde çalışma yapılan elektrodta dıştan bir akım uygulayabilmek için kullanılan elektrot. Bu elektrot genellikle korozyona uğramayan bir metalden seçilir.
261	Yarı Hücre	Bir elektrot ve çözeltiden oluşan sistem.
262	Yaşlandırma	ile faz yapısının ve fiziksel özelliklerinin değiştirilmesi
263	Yerel Hücre	Bir metal yüzeyinde bulunan fiziksel veya kimyasal herhangi bir farklılık nedeniyle oluşan mikro galvanik hücre.
264	Yorulma	Bir malzemenin, çekme dayanımından daha küçük bir yükün dalgalı şekilde tekrarlanarak etkimesi sonucu kırılması.
265	Yorulma Limiti	Belli sayıda yükleme-boşaltma sonucu malzemenin kırılmasına neden olan maksimum gerilme.
266	Yorulmalı Korozyon	Korozif bir ortamda bulunan bir metalin periyodik olarak yükleme-boşaltma etkisinde kalması halinde beklenenden daha az bir yük altında ve beklenenden daha kısa bir sürede kırılması olayı.
267	Yumuşak Demir	İçinde hemen hemen hiç karbon bulunmayan demir.

KAYNAKLAR

1. ATKINSON, J.T.N. ve VAN DROFFELAAR, H, Corrosion and Its Control, NACE, Houston, 1983
2. JONES, D.A., Principles and Prevention of Corrosion, Mac Millan Pub. Co. Newyork, 1992
3. PEABODY, A.W., Control of Pipeline Corrosion, NACE, Houston, 1967
4. PARKER, M.E., Pipeline Corrosion and Cathodic Protection, NACE, Houston 1967
5. SHREIR, L.L., Corrosion Vol.-1 ve Vol.-2, Newnes Butterwords, 1977
6. APPELEGATE, L.M., Cathodic Protection, Mc Graw Hill Book Co., 1960
7. UHLIG, H.H., Corrosion and Corrosion Control, John Wiley and Sons, Newyork, 1971
8. LA QUE, F.L., Marine Corrosion Causes and Prevention, John Wiley and Sons, Newyork, 1975
9. MATTSSON, E., Basic Corrosion Technology For Scientists and Engineers, John Wiley and Sons, 1989
10. CLUBLEY, B.G., Chemical Inhibitors For Corrosion Control, The Royal Society of Chemistry, Newcastle, 1990
11. LOCKE, C.E. VE RIGGS, O.L., Anodic Protection, Theory and Practice in Prevention of Corrosion, Plenium Press, London, 1970
12. FONTANA, M.G. ve GREENE, N.D., Corrosion Engineering, Mc Graw Hill Book Co., Newyork, 1967
13. MORGAN, J.H., Cathodic Protection, NACE, Houston, 1985
14. MUNGER, C.G., Corrosion Prevention by Protective Coating, NACE Houston, 1984
15. McNAUGHTON, K.J., Materials Engineering, Vol-I Selecting Materials For Process Equipment, Vol-II Controlling Corrosion in Process Equipment, McGaw Hill Pub. Co. Newyork, 1980
16. METALS HANDBOOK, Corrosion Vol-13, ASME, Metals Park, Ohio, 1961
17. ACI COMMITTEE REPORT, Corrosion of Metals in Concrete, ACI Journal, January-February, 1985
18. BRITISH STANDARD, Cathodic Protection, BS 7361, Part-I, 1991
19. GREEN, M.M., Cathodic Protection Design, A.F.Manual 88-45 Washington, 1983
20. SPELLER, F.N., Corrosion Causes and Prevention, Mc Garw Hill Book Co. Newyork, 1951
21. UHLIG, H.H., The Corrosion Handbook, John Wiley and Sons, Newyork, 1971
22. ASHWORTH, V., GOOGAN, C., Cathodic Protection, Theory and Practice, Ellis Horwood Pub. 1993

İNDEKS

A

- Ağırlık kaybı yöntemi 7.1
- Akış hızı 2.14
- Akış ile ilgili tasarımlar 4.10
- Akma ve torbalanma 8.22
- Aktif bölge 1.14
- Aktivasyon polarizasyonu 1.7
- Akustik emisyon deneyleri 7.14
- Alaşımın oksidasyonu 2.29
- Alcan makara deneyi 7.2
- Alclad 5.4
- Alkit boyalar 8.7
- Alüminyum anotlar 9.5
- Alüminyum ve alüminyum alaşımları 5.4
- Anodik interferans 9.26
- Anodik koruma 3.43
- Anodik koruma akım ihtiyacı 3.46
- Anodik koruma uygulamaları 3.47
- Anodik ve katodik korumanın karşılaştırılması 3.47
- Anot reaksiyonları 9.1 , 9.11
- Anot akım çıkışı 9.8
- Anot akım verimi 9.3
- Anot boyutları 9.7
- Anot direnci 9.5
- Anot kullanma faktörü 9.6
- Anot kütle kayıpları 9.16
- Anot yatağı dolgu malzemesi 9.3
- Ara yüzey reaksiyonları 1.12
- Arazide yapılan deneyler 7.4
- Argon oksijen dekarbürasyonu 6.2
- Astar tabakası 8.1
- Aşınmalı korozyon 2.17
- Aşınmalı korozyonun önlenmesi 4.5
- Aşırı gerilim 1.6
- Atmosferik korozyon 3.1
- Atmosferik korozyon deneyleri 7.2
- Atmosferik korozyon hızı 3.5 , 3.6
- Atmosferik korozyona katı partikül etkisi 3.5
- Atmosferik korozyona klorürün etkisi 3.5
- Atmosferik korozyona SO_x etkisi 3.3
- Atmosferin kontrolü 3.9
- AZ -63 magnezyum anot 9.4

B

- Bakır ve bakır alaşımları 5.4
- Beton içinde korozyon 3.29
- Beton kalitesinin etkisi 3.34
- Beyaz dökme demir 5.2
- Bıçak hattı etkisi 2.12
- Bıçak hattı korozyonu 6.11

- Biyolojik korozyon 3.29
- Boya bakım ve onarımı 8.32
- Boya cinsleri 8.6
- Boya kullanım alanları 8.32
- Boya maliyeti 8.26
- Boya malzeme ve işçilik maliyetleri 8.30 , 8.26 , 8.31
- Boya ömrü 8.35
- Boya seçimi 8.26
- Boya servis ömrü 8.35
- Boya uygulanmasında yapılan hatalar 8.21 , 8.24
- Boyalar 8.1
- Boyaların galvanik etkisi 8.2
- Boyaların geçirimsizlik etkisi 8.1 , 8.2
- Boyaların görevi 8.1
- Boyaların inhibitif etkisi 8.2
- Boyaların kabuk oluşturma mekanizması 8.3
- Boyaların temel bileşenleri 8.4
- Boyaların uygulanması 8.14
- Boyalı yüzeylerin onarımı 8.25
- Bronz 5.4
- Buhar ile yüzey temizleme 8.12
- Buruşma 8.23
- Butler-Volmer denklemi 1.6

C

- Cam lifli plastikler (FRP) 5.9
- Civa sülfat elektrot 1.4

Ç

- Çatlak korozyonu 6.14
- Çatlak korozyonu 2.4
- Çatlakların incelenmesi 7.20
- Çatlama 8.26
- Çift fazlı paslanmaz çelikler 6.1 , 6.4
- Çinko anotlar 9.4
- Çinko için Pourbaix diyagramı 1.18
- Çökelme ile sertleşen paslanmaz çelikler 6.1 , 6.4 , 6.26
- Çözünmüş oksijenin etkisi 3.19
- Çözünmüş tuzların etkisi 3.16
- Çukur korozyonu 2.7
- Çukur oluşma faktörü 2.9

D

- Daniell pili 1.1 , 1.20
- Delta ferrit 6.13
- Demir için pourbaix diyagramı 1.19
- Demir ve çelik 5.1
- Demir ve çelik alaşımları 5.2

Demir-silikon anotlar 9.14
 Denge akımı 1.6
 Deniz atmosferi 3.6 , 8.40
 Deniz içi H profil kazıkların katodik koruması 9.47
 Deniz suyu içinde korozyon 3.15
 Deniz suyu klorür konsantrasyonu 3.17
 Deniz suyunun iletkenliği 3.18
 Derin kuyu anot yatakları 9.16
 Dezinsifikasyon 2.12
 Direnç ile ilgili tasarımlar 4.3
 Dış akım kaynaklı katodik koruma 9.9
 Doygun bakır-bakır sülfat elektrot 1.4
 Doygun gümüş elektrot 1.4
 Doygun kalomel elektrot 1.4
 Dökme demir 5.1
 Dövme demir 5.2
 Duriron 5.2
 Duyarlaşma 6.9, 6.10, 6.13
 Düzensiz film kalınlığı 8.22
 Dwight formülleri 9.5

E

Eddy akımı deneyi 7.13
 Ekonomik faktörler 5.24
 El aletleri ile yüzey temizleme 8.2
 Elastik modül 5.8
 Elektriksel direnç yöntemi 7.5
 Elektrokimyasal deneyler 7.7
 Elektrot reaksiyonları 1.5
 Emniyet 7.24
 Endüstride korozyonun izlenmesi 7.9
 Endüstriyel atmosfer 3.6 , 8.40
 Endüstriyel deniz atmosferi 8.40
 Epoksi boyalar 8.7
 Erozyonlu korozyon 2.13

F

Farklı havalanma 3.24
 Farklı iki metalin bağlantısı 4.5
 Ferrit 5.2
 Ferritik paslanmaz çelikler 6.1 , 6.2 , 6.25
 Filiform korozyonu 2.4 , 2.6
 Fırça ile boya uygulanması 8.14
 Flade potansiyel 1.16
 Fouling etkisi 3.20

G

Galvanik anot ömrü 9.6
 Galvanik anotlar 9.3
 Galvanik anotların elektrokimyasal özellikleri 9.4
 Galvanik anotların montajı 9.6
 Galvanik anotlu katodik koruma 9.2

Galvanik etki ile ilgili tasarımlar 4.16
 Galvanik korozyon 2.2
 Galvanik seri 1.1 , 1.3 , 2.2
 Geç kuruma 8.22
 Geçiş bölgesi 5.13
 Gemi-iskele interferansı 9.33
 Gemilerde kaynak iterferansı 9.34
 Genleşme - büzülme 5.14
 Genleşme halkası 5.14
 Genleşme körüğü 5.14
 Grafit anotlar 9.13
 Grafitizasyon 2.13
 Gri dökme demir 5.2
 Gümüş kurşun anotlar 9.14

H

Hasteloy 5.3
 Hava oksijeni ile kabuk oluşturma 8.4
 Hava rutubetinin etkisi 8.17
 Hidrojen aşırı gerilimi 1.10 , 1.11
 Hidrojen kırılabilirliği 2.24
 HP magnezyum anot 9.4
 Huey deneyi 6.16, 7.6

İ

İğne delikleri 8.23
 İki elektrot yöntemi 7.7
 İnconel 5.3
 İnhibitör etkisinin mekanizması 3.38
 İnhibitör kullanımı 3.41
 İnhibitörler 3.37
 İnhibitörlerin sınıflandırılması 3.37 , 3.40
 İnorganik çinko tozlu boyalar 8.8
 İntersitit kristal 2.24
 İskele ayakları katodik koruması 9.35
 İşletme koşullarında yapılan deneyler 7.4
 İşletmede emniyet 7.25
 İzole flanş interferansı 9.33

I

Isıl işlem 2.11
 Isıl işlemler 5.11

K

Kabuk oluşumu 3.18
 Kalsiyum karbonat çökeltisi 3.11
 Karbonasyon 3.31
 Karbürleşme 6.13
 Katodik interferans 9.29
 Katodik koruma 9.1
 Katodik koruma akım ihtiyacı 9.23
 Katodik koruma kriterleri 9.24
 Katodik koruma proje hesapları 9.35
 Katodik koruma projelendirme

- kuralları 9.35
 Katodik koruma sistemlerinde interferans 9.25
 Katodik koruma sistemlerinin karşılaştırılması 9.10
 Katot reaksiyonları 9.1
 Kauçuk 5.6
 Kaviteasyon 2.16
 Kaviteasyonlu erozyon 2.17
 Kaviteasyonlu korozyon 2.17
 Kayma ve gevşeme 5.8
 Kaynak 5.11
 Kaynak çürümesi 2.11 , 6.9 , 6.13
 Kaynak tasarımları 4.2
 Kazan besleme suyu 3.13
 Kazan taşı 5.17
 Kimya endüstrisinde tasarım 4.22
 Kimyasal reaksiyon ile kabuk oluşturma 8.4
 Kirli atmosfer ile ilgili tasarımlar 4.13
 Kırma deneyleri 7.18
 Klor kauçuk boyalar 8.7
 Klorimet 5.3
 Klorür iyonu etkisi 3.32
 Konsantrasyon pilleri 1.4
 Konsantrasyon polarizasyonu 1.9
 Koroziif ortamlar 3.1
 Koroziif ortamlarda kullanılan Boyalar 8.33 , 8.34
 Korozyon akımı 1.20
 Korozyon çeşitleri 2.1
 Korozyon deney metodları 7.9
 Korozyon deneyleri 7.1
 Korozyon ekonomisi 5.20
 Korozyon hızına pH ' ın etkisi 3.10
 Korozyon hücreleri 1.20
 Korozyon payı 4.23 , 5.16
 Korozyondan korunma yöntemleri 3.36
 Kostik kırılganlığı 2.19
 Kritik relatif rutubet 3.1
 Krom karbür 6.5
 Krom karbür çökeltisi 2.10
 Kum püskürtme ile yüzey temizleme 8.13
 Kurşun ve kurşun alaşımları 5.5
 Kuru film kalınlığı 8.19
 Kuru kırsal atmosfer 3.5 , 8.40
 Kusma 8.22
- L**
- Laboratuvar deneyleri 7.6
 Laboratuvar emniyet 7.24
 Langelier İndeksi 3.12
 Larson-Miller parametresi 5.9
- Limit akım yoğunluğu 1.9
 Lineer polarizasyon 1.8
- M**
- Mağnezyum anotlar 9.4
 Mağnezyum ve mağnezyum alaşımları 5.5
 Makinalı aletler ile yüzey temizleme 8.13
 Malzeme seçimi 5.15
 Manyetik partiküllerin izlenmesi 7.13
 Martensitik paslanmaz çelikler 6.1 , 6.25
 Matlaşma 8.23
 Metalik interferans bağı 9.31
 Mikro biyolojik korozyon 2.26
 Monel 5.3
- N**
- Nikel ve nikel alaşımları 5.3
 Nitrik asit deneyi 6.15
 Non destrüktif deneyler 2.19 , 7.10
- O**
- Oksalik asit deneyi 6.15
 Oksijen difüzyonu 3.33
 Oksit filmi 1.13
 Oksit kaplı titanyum anotlar 9.15
 Omik polarizasyon 1.9
 Optik mikroskop (LOM) 7.17
 Organik çinko tozlu boyalar 8.8
 Orta tabaka 8.1
 Osmoz etkisi 8.11
 Ostenitik paslanmaz çelik kabul deneyleri 6.15
 Ostenitik paslanmaz çelikler 6.1 , 6.3 , 6.22
 Otokatalitik reaksiyon 2.6 , 2.8
 Öyteklik karışım 2.30
- P**
- Pas oluşumu 8.24
 Pasif bölge 1.15
 Pasifleşme potansiyeli 1.15
 Pasiflik 1.14
 Paslanmaz çelik tipleri 6.18
 Paslanmaz çelikler 5.4 , 6.1
 Pearlit 5.2
 Pigmentler 8.4 , 8.5
 Pikling 8.13
 Pilatin kaplı titanyum anotlar 9.15
 Pirinç 5.4
 Pitting 6.14
 Plastikler 5.6
 Polarizasyon 1.6 , 1.9
 Polarizasyon direnç yöntemi 7.7
 Poliflorokarbon plastikleri 5.6

Poliüretan boyalar 8.7
 Pourbaix diyagramları 1.18
 Programlanmış deneyler 7.10
 Pulse- Echo tekniği 7.12
 Pütürleşme 8.23

R

Radyografi 7.11
 Redoks potansiyeli 3.26
 Referans elektrotlar 1.4
 Relatif rutubet 3.2
 Rezonans tekniği 7.12
 Rulo ile boya uygulanması 8.14

S

Saturasyon pH 'ı 3.11
 Scanning Elektron Mikroskobu (SEM) 7.18
 Seçimli korozyon 2.12
 Sekant modülü 5.8
 Sementit 5.2
 Sıcak su tanklarının katodik koruması 9.44
 Sigma fazı 6.14
 Silastik 5.6
 Sıvı emdirme deneyi 7.13
 Sıvı oksitler 2.30
 Solvent buharlaşması ile kabuk oluşturma 8.4
 Solvent ile yüzey temizleme 8.11
 Solventler 8.5 , 8.6 , 8.17
 Spinel oksitler 1.13 , 6.8
 Standard ve şartnameler 7.20
 Standart elektrot potansiyeli 2.2
 Standart EMK serisi 1.1 , 1.2 , 2.2
 Standart hidrojen elektrodu (SHE) 1.1
 Stern - Geary denklemi 7.7
 Stres korozyonu 2.18
 Stres korozyonu ile ilgili tasarımlar 4.20
 Stres korozyonu yapan ortamlar 2.21
 Su birikintisi ile ilgili tasarımlar 4.6
 Su buharı penetrasyonu 8.11
 Su için Pourbaix diyagramı 1.17
 Su kulesi katodik koruması 9.45
 Su/çimento oranı etkisi 3.32
 Süperferrit 6.4

Ş

Şehir atmosferi 3.5 , 8.40

T

Tabanca ile boya uygulanması 8.14
 Tafel denklemi 1.8
 Taneler arası korozyon 2.9 , 6.9
 Tank ayak tasarımları 4.4
 Tank direnajları 4.3

Tank tabanları katodik koruması 9.41 , 9.42
 Tasarım kuralları 4.5
 Tasarımda yapılan hatalar 4.1
 Tatlı su içinde korozyon 3.9
 Tavlama 5.11
 Tebeşirleşme 8.26
 Teorik akım kapasitesi 9.6
 Termal yöntemler 7.14
 Termoplastik 5.6
 Termosetting 5.6
 Thermit kaynağı 9.7
 Titanyum ve titanyum alaşımları 5.4
 Toprağın yapısı 3.21
 Transformator - Redresör sistemi 9.9
 Transmission Tekniği 7.12
 Transmission Elektron Mikroskobu (TEM) 7.17
 Tuz püskürtme deneyi 7.6

U

Ultrasonik deneyler 7.12

Ü

Üç elektrot yöntemi 7.7
 Üniform korozyon 2.1
 Üst kat 8.1

V

Vinil boyalar 8.7

W

Whitney Diyagramı 3.27

Y

Yalıtım ile ilgili tasarımlar 4.14
 Yapışma kaybı 8.26
 Yaş film kalınlığı 8.21
 Yeraltı tanklarının katodik koruması 9.43
 Yield noktası 5.8
 Yıpranma analizleri 7.15
 Yorulma 6.13
 Yorulmalı korozyon 2.23
 Yüksek sıcaklık korozyonu 2.27
 Yüzey kirlenmesi 8.24
 Yüzey sonu etkisi 6.14
 Yüzey temizleme maliyetleri 8.28
 Yüzey temizliği 8.10
 Yüzey temizlik dereceleri 8.12 , 8.40

Z

Zemin içinde korozyon 3.21
 Zemin koroziflik derecesi 3.28
 Zemin rezistivitesi 3.27
 Zemin rutubetinin etkisi 3.23