

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OVERHOLE GİREN GEMİLERDE GÖRÜLEN
KOROZYON HASARLARI VE BU HASARLARIN
GİDERİLME YÖNTEMLERİ**

Makine Müh. Evren KALAY ÜÇÜNCÜ

FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN

İSTANBUL, 2006

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTIMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖNSÖZ.....	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. KOROZYON.....	3
2.1 Korozyon Prosesi.....	4
2.2 Korozyon Çeşitleri.....	6
2.2.1 Homojen dağılımlı korozyon.....	7
2.2.2 Galvanik korozyon.....	7
2.2.3 Aralık korozyonu.....	9
2.2.4 Çukurcuk korozyonu.....	10
2.2.5 Taneler arası korozyon.....	11
2.2.6 Gerilmeli korozyon.....	12
2.2.7 Hidrojen gevrekleşmesi.....	13
2.2.8 Korozyonlu yorulma.....	13
2.2.9 Seçici korozyon.....	14
2.2.10 Erozyonlu korozyon.....	14
2.2.11 Biyolojik korozyon.....	17
3. GEMİLERDE KOROZYON.....	19
3.1 Korozyon Hücresi.....	19
3.2 Elektrokimyasal Korozyon.....	23
3.3 Deniz Suyunun Korozyona Etkisi.....	28
3.3.1 Tuzluluğun korozyona etkisi.....	32
3.3.2 Oksijenin korozyona etkisi.....	34
3.3.3 Karbondioksit ve pH'ın korozyona etkisi.....	36
3.3.4 Biyolojik organizmaların etkisi.....	37
3.3.5 Sıcaklığın korozyona etkisi.....	38
3.3.6 Akış hızının korozyona etkisi.....	38

3.4	Denizel Ortama Dayanıklı Metal ve Alaşımlar	39
4.	GEMİLERİN KOROZYONDAN KORUNMA YÖNTEMLERİ	50
4.1	Katodik Koruma	51
4.1.1	Gemilerin korunmasında katodik korunma kriterleri	54
4.1.1.1	Potansiyel kriteri	55
4.1.1.2	Akım kriteri	57
4.1.2	Katodik koruma yöntemleri	59
4.1.2.1	Harcanabilir (galvanik) anotlar	61
4.1.2.2	Hariçten akım uygulama sisteminde anotlar	63
4.1.2.3	Hariçten akım uygulamayla katodik koruma sistemlerinde akım kaynakları	64
4.1.3	Katodik koruma yönteminin seçimi	65
4.1.4	Potansiyel izleyiciler	67
4.1.5	Katodik korumada dikkat edilecek hususlar	68
4.1.6	Aşırı katodik korumanın zararları	68
4.1.6.1	Boyaya zararı	68
4.1.6.2	Gerilmeli korozyon çatlama	69
4.1.6.3	Hidrojen kırılmalı	69
4.1.6.4	Korozyonlu yorulma	70
4.1.7	Katodik koruma sistemlerinin ömrü	70
4.2	Boya Kaplaması İle Koruma	71
4.2.1	Boyanın bileşenleri	71
4.2.1.1	Bağlayıcılar	71
4.2.1.2	Pigmentler	72
4.2.1.3	Çözücüler	73
4.2.1.4	Katkı maddeleri	74
4.2.2	Gemilerin korunmasında boya ile kaplama kriterleri	75
4.2.2.1	Seçim kriteri	76
4.2.2.2	Test kriteri	79
5.	OVERHOLE GİREN GEMİLERDE KOROZYON HASARLARININ TESPİTİ VE GİDERİLME YÖNTEMLERİ	81
5.1	Yüzey Hazırlığı İşlemi Ve Korozyon Hasarlarının Tespiti	81
5.1.1	Yüzey hazırlığı işlemi	82
5.1.1.1	Yüzey hazırlığına başlamadan önce yapılan kontroller	82
5.1.1.2	Yüzey korozyon seviyesinin tespiti ve hazırlık derecelerinin sınıflandırılması	83
5.1.1.3	Yüzey hazırlığı sırasında dikkat edilmesi gereken hususlar	88
5.1.1.4	Yüzey hazırlığı sonrasında yapılan kontroller	89
5.1.2	Gemilerde korozyon nedeniyle oluşan malzeme hasarlarının tespiti	91
5.1.2.1	Korozyon nedeniyle oluşan çukurcuk yoğunluğunun tespiti	91
5.1.2.2	Korozyon nedeniyle oluşan kalınlık incelmelerinin tespiti	93
5.2	Overhole Giren Gemilerde Korozyon Hasarlarının Giderilme Yöntemleri	96
5.2.1	Metal kayıplarının giderilmesi yöntemi	96
5.2.1.1	Dolgu maddesi uygulanması ile metal kayıplarının giderilmesi	96
5.2.1.2	Kaynak işlemi ile metal kayıplarının giderilmesi	96
5.2.1.3	Çelik eleman yenileme yöntemi ile metal kayıplarının giderilmesi	96
5.2.2	Boyama yöntemi	97
5.2.2.1	Boya uygulaması esnasında dikkat edilecek hususlar	97

5.2.2.2	Boyanın kontrolü	99
5.2.3	Sıvı kaplama maddesi uygulama yöntemi	102
5.2.4	Katodik koruma yöntemi	104
5.3	Su Altında Karina Kontrolü.....	108
5.3.1	Su altı kontrolü öncesi yapılan hazırlıklar	114
5.3.2	Su altı karina kontrol esnasında dikkat edilmesi gereken hususlar	114
6.	OVERHOLE GİREN GEMİLERDE KOROZYON HASARLARININ TESPİTİ VE GİDERİLMESİ UYGULAMASI	118
6.1	Geminin Teknesindeki Korozyon Hasarlarının Tespiti ve Giderilmesi İşlemleri	118
6.2	Gemi Güvertesinde, Yaşam Yerlerinde, Sintinesinde ve Pervanelerinde Korozyon Hasarlarının Tespiti ve Giderilmesi İşlemleri.....	132
6.2.1	Ana güverte.....	132
6.2.2	Yaşam yerleri ve sintineler	136
6.2.3	Pervaneler	138
7.	SONUÇ.....	140
	KAYNAKLAR.....	142
	İNTERNET KAYNAKLARI.....	143
	EKLER	145
	ÖZGEÇMİŞ.....	146

SİMGE LİSTESİ

ΔG	Serbest enerji
ΔE	Korozyon hücresinin potansiyel farkı
n	Korozyon reaksiyonu sırasında alınıp verilen elektron sayısı
F	Faraday sabiti
E_{oA}	Anodun denge potansiyeli ($i=0$)
E_{oK}	Katodun denge potansiyeli ($i=0$)
E_A	Anodun korozyon potansiyeli
E_K	Katodun korozyon potansiyeli
\dot{I}_{kor}	Korozyon akımı
E_{kor}	Korozyon potansiyeli
R	Sistemin direnci
η_a	Anodik reaksiyonun fazla voltajı
η_k	Katodik reaksiyonun fazla voltajı
i_a	Anodik reaksiyonla şekil değiştiren madde miktarı
i_k	Katodik reaksiyonla şekil değiştiren madde miktarı
i_{ilave}	Koruma akımı
b_k	Katodik reaksiyonun tafel eğimi
b_a	Anodik reaksiyonun tafel eğimi
W	Yaş film kalınlığı
D	Kuru film kalınlığı
S	Boya içerisindeki katı maddenin hacimce oranı
T	Boyaya eklenen tinerin hacimce oranı
t_{hesap}	Hesaplanmış ortalama sac kalınlığı
t_{levha}	Çukurcuk alanının dışında kalan ortalama sac kalınlığı
Int	Çukurcuk oluşumunun sac yüzeyindeki yoğunluk oranı
$t_{çukurcuk}$	Çukurcuk içindeki ortalama sac kalınlığı
F	Geminin ıslak alanı
L	Geminin boyu
D	Geminin tam draftı
G	Geminin eni
I	Teknenin akım ihtiyacı
V	Geminin seyir hızı

Q	Toplam anot ağırlığı
I	Teknenin toplam akım ihtiyacı
K	Anot kapasitesi
Y	Koruma ömrü
F	Uzama faktörü

KISALTMA LİSTESİ

NBS	ABD’de ölçüm standartlarının hazırlanmasından sorumlu kurum
GSMH	Gayri Safi Milli Hasıla
EMK	Elektromotif Kuvvet
SHE	Standart Hidrojen Elektronuna Göre Potansiyel
AISI	Eski Amerikan Standardı
ASTM	Amerikan Standardı
DIN	Alman Standardı
ISO	Uluslararası Standart
BS	İngiliz Standardı
NAVSEA	Amerikan Donanması Deniz Sistemleri Yönergesi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Kuru ve ıslak ortam korozyonunun atomik seviyede davranışları	4
Şekil 2.2 Çelik yüzeyinde oluşan homojen korozyon	7
Şekil 2.3 Farklı metallerin temas halinde olmasından kaynaklanan galvanik korozyon.....	8
Şekil 2.4 Aralık korozyonunun mekanizması	9
Şekil 2.5 Aralık korozyonu.....	9
Şekil 2.6 Çukurcuk korozyonunun mekanizması	10
Şekil 2.7 Gemi uskurunda görülen çukurcuk korozyonu	11
Şekil 2.8 Taneler arası korozyon	12
Şekil 2.9 Çeşitli parçalarda oluşan gerilmeli korozyon.....	12
Şekil 2.10 Pirinç(Cu-Zn) malzemelerde seçici korozyon.....	14
Şekil 2.11 Gemilerdeki boru tesisatında erozyonlu korozyon.....	15
Şekil 2.12 Gemi pervanelerinde kavitasyon	17
Şekil 2.13 Gemi uskurunda görülen kavitasyon korozyonu.....	17
Şekil 3.1 Gemilerde korozyon	19
Şekil 3.2 Korozyon hücresi	22
Şekil 3.3 Korozyon hücresinin elemanları; anot,katot,elektrolit,elektron iletkeni.....	22
Şekil 3.4 Evans diyagramları.....	27
Şekil 3.5 Katot / anot (C/A) oranının galvanik korozyon üzerine etkisi	28
Şekil 3.6 Denizde korozyon hızının dalma derinliğine göre değişimi	31
Şekil 3.7 Pasifik okyanusu test bölgesinde derinlik ile deniz suyunun değişimi	32
Şekil 3.8 Kıyısal bölgelerde sıcaklık(a), tuzluluk(b) ve oksijen(c) konsantrasyonunun derinliğe bağlı olarak değişimi.....	35
Şekil 3.9 Yavaş hareketli su içinde, oksijen konsantrasyonunun düşük karbon çeliklerinin korozyonuna etkisi	36
Şekil 4.1 Katodik koruma prensibi	52
Şekil 4.2 Katodik koruma kriteri	54
Şekil 4.3 Harcanabilir anotlarla katodik koruma.....	60
Şekil 4.4 Gemi gövdelerinin harcanabilir anotlarla katodik olarak korunması.....	66
Şekil 4.5 Gemi gövdelerinin harici akım uygulama sistemi ile katodik olarak korunması.....	67
Şekil 4.6 Gemi gövdelerinde farklı boya bölgeleri.....	78
Şekil 5.1 Daha önce boyanmamış yada önceki kaplaması tamamen kaldırılmış yüzeylerin pas dereceleri.....	84

Şekil 5.2 Değişik pas derecelerindeki çelik yüzeylere grit/kum ile yapılan yüzey temizliği dereceleri.....	85
Şekil 5.3 Değişik pas derecelerindeki çelik yüzeylere, elle ve motor tahrikli aletlerle yapılan yüzey temizliği dereceleri	86
Şekil 5.4 Kısmi raspa ile yüzey temizliği derecesi	88
Şekil 5.5 Çukurcuk yoğunluk oranları.....	91
Şekil 5.6 Gemi elemanları	94
Şekil 5.7 Yenilenecek çelik sacların minimum boyutları.....	97
Şekil 5.8 Hariçten akım uygulamalı katodik koruma sistemi.....	105
Şekil 5.9 Su altında karina kontrol ve temizliği	109
Şekil 5.10 Biyolojik tekne kirliliği oranları.....	110
Şekil 5.10 Biyolojik tekne kirliliği oranları(devam)	111
Şekil 5.11 Boya bozunma oranları	112
Şekil 6.1 Gemi dümen bölgesi.....	118
Şekil 6.2 Geminin borda ve faça bölgeleri	119
Şekil 6.3 Geminin stern tube bölgesi.....	119
Şekil 6.4 Geminin şaft braket bölgesi.....	119
Şekil 6.5 Geminin karina bölgesine yerleştirilmiş tutya.....	120
Şekil 6.6 Geminin karina bölgesindeki tekne sacı.....	120
Şekil 6.7 Geminin karina bölgesinde korozyona uğrayan sac.....	120
Şekil 6.8 Gemi yalpalığı üzerine yerleştirilmiş, harcanmamış tutya.....	121
Şekil 6.9 Gemi yalpalığı üzerine yerleştirilmiş tutya	121
Şekil 6.10 Gemiye yapılan raspa uygulaması.....	122
Şekil 6.11 Gemi teknesine yapılan çelik macun uygulaması	122
Şekil 6.12 Kalınlığı limit değerinin altına düşen sacın kesilerek yenilenmesi	123
Şekil 6.13 Kesilerek yenilenen harici kaplamalar	123
Şekil 6.14 Onarılacak bölgelerin gemi üzerinde işaretlenmesi	124
Şekil 6.15 Kesim işleminin ardından gemi teknesinin görünümü.....	125
Şekil 6.16 Sacların kaynakla birleştirilme işlemleri.....	125
Şekil 6.17 Gemi stern tube bölgesinde, kaynak yerlerinin boyanması.....	128
Şekil 6.18 Gemi teknesine yapılan anti-korozif boya uygulaması	128
Şekil 6.19 Gemi baş bölgesinin anti-korozif boya uygulaması sonrası görünümü	129
Şekil 6.20 Gemi teknesine yapılan ara kat boya uygulaması	129

Şekil 6.21 Gemi teknesine yapılan zehirli boya ve faça boyası uygulaması.....	130
Şekil 6.22 Faça ve karina boyası tamamlanan gemi teknesi	130
Şekil 6.23 Gemi üzerinde tutya dağılımı	131
Şekil 6.24 Baş üstü güvertede korozyonlu bölge	133
Şekil 6.25 Telsiz kamarası taban sacında korozyon	133
Şekil 6.26 Puntel dikmeleri ve güverte-borda birleşim yerlerinde korozyon.....	134
Şekil 6.27 Kıç üstü güvertede korozyon.....	134
Şekil 6.28 Yenilenen ana güverte sacları.....	135
Şekil 6.29 Gemi güvertesine uygulanan raspa işlemi.....	135
Şekil 6.30 Gemi güvertesinde astar boya uygulaması.....	136
Şekil 6.31 Gemi güvertesinde kumlu boya uygulaması	136
Şekil 6.32 Sintinde oluşan korozyon	137
Şekil 6.33 Yenilenen alt güverte sacları	137
Şekil 6.34 Sintinde oluşan korozyonun giderilmesi	138
Şekil 6.35 Gemi pervanesinde oluşan korozyon	138
Şekil 6.36 Gemi pervanesine uygulanan dolgu maddesinin kalkması	139
Şekil 6.37 Hurdaya ayrılan ve yenilenen gemi pervaneleri.....	139

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Korozyon çeşitleri	6
Çizelge 2.2 Denizel ortamda kullanılan metaller için tipik galvanik seri	8
Çizelge 3.1 Elektromotif kuvvet serisi	24
Çizelge 3.2 Deniz suyunda (hareketli) ölçülen metal potansiyelleri (galvanik seri).....	25
Çizelge 3.3 Temiz deniz suyu içinde en çok bulunan 11 iyon ve molekülün ortalama konsantrasyonu(%o 35 Tuzluluk, 1.023 g.cm-3 yoğunluk, 25°C sıcaklıkta).....	28
Çizelge 3.4 Suların elektriksel direnci (yaklaşık Ω cm cinsinden değerler)	29
Çizelge 3.5 Deniz suyunda çözülmüş oksijen miktarları (ml/l olarak)	30
Çizelge 3.6 Sıcaklık ve klorluluğun bir fonksiyonu olarak deniz suyunun spesifik iletkenliği	33
Çizelge 3.7 Durgun deniz suyunda gözlemlenen korozyon hızları (Akma hızı 0,6 m/s ve altı)	40
Çizelge 3.8 Deniz suyunda çukurcuk korozyonuna duyarlık gösteren malzemelerde gözlemlenen delik büyüme hızları (Akma hızı: 0-1 m/s)	42
Çizelge 3.9 Denizel ortamda kullanım bulan malzemelerin çukurcuk korozyonuna dayanımlılık yönünden gruplandırılması	42
Çizelge 3.10 Deniz suyunda korozyon hızının akma hızı ile değişimi	44
Çizelge 3.11 Birbirleriyle temas halinde deniz suyuna terk edilen malzemelerin korozyon bakımından uyumluluğu	46
Çizelge 3.12 Denizel ortamda kullanım bulan malzemelerde seçici korozyon.....	47
Çizelge 3.13 Çeşitli dayanımdaki malzemelerin gerilmeli korozyon ve hidrojen gevrekleşmesine gösterdikleri duyarlılık	48
Çizelge 3.14 Kavitasyon dayanımı (malzemeler en dayanımlı olandan en az dayanımlı olana doğru sıralanmıştır).....	49
Çizelge 4.1 Katodik koruma tesislerinde kullanılan referans elektrot potansiyelleri (standart hidrojen elektrotuna, SHE, göre) (V).....	55
Çizelge 4.2 Çeliğin korozyonu ve potansiyel ilişkisi	56
Çizelge 4.3 Yapıların katodik korunabilmeleri için tavsiye edilen potansiyeller.....	57
Çizelge 4.4 Gemilerin katodik korunmasında tavsiye edilen koruma akım değerleri.....	59
Çizelge 4.5 Harcanabilir çinko anot özellikleri	62
Çizelge 4.6 Harcanabilir alüminyum anot özellikleri.....	62
Çizelge 4.7 Harcanabilir magnezyum anot özellikleri	63
Çizelge 4.8 Harici akım uygulamasıyla katodik korumada kullanılan anotlar.....	64
Çizelge 5.1 Çukurcuk seviyesi	92

Çizelge 5.2 Çelik teknelerde müsaade edilebilir kalınlık incelmeleri.....	95
Çizelge 5.3 Vinil tip boyalar için, koruyucu akım yoğunluğunun gemi hızı ile değişimi	106
Çizelge 5.4 Gemi üzerinde anotların dağılımı.....	108
Çizelge 5.5 Biyolojik tekne kirliliği oranlarının açıklaması.....	111
Çizelge 5.6 Zehirli boya(AF) ve anti-korozif boya(AC) sistemleri için boya bozunma oranlarının açıklaması.....	113
Çizelge 5.7 Fırça/disk karakteristikleri.....	115
Çizelge 5.8 Fırça/disk temizleme metotları.....	116
Çizelge 5.9 Temizleme yöntemleri.....	117
Çizelge 6.1 Gemi boya planı	126
Çizelge 6.2 Boya kontrol formu	127
Çizelge 6.3 Anotların gemi karinasına dağılımı.....	131
Çizelge 6.4 Korozyon potansiyeli ölçüm değerlendirmesi.....	132

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, overhole giren gemilerde görülen korozyon hasarları incelenmiştir. Geminin enerji sarfını arttırarak, performansını düşüren ve ömrünü kısaltan bu hasarların, giderilme yöntemleri araştırılmıştır. Korozyonun yol açtığı , malzeme, işçilik, zaman ve bilgi kaybının minimum düzeye düşürülerek, yüksek onarım maliyetinin ortadan kaldırılması için overhole giren gemilere uygulanan hasar tespit çalışmaları, koruma sistemleri ve onarım yöntemleri araştırılmıştır.

Bu çalışmanın hazırlanmasında, yardım ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN'a, aileme, eşim Bülent ÜÇÜNCÜ'ye ve iş arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ederim.

ÖZET

Metal ve alaşımlarının ortam ile reaksiyonları sonucu bozunmaları olayı “korozyon” olarak bilinmektedir.Korozyonun ülkelerin ekonomilerine yüklediği “malzeme-enerji-emek-bilgi” kaybı, gayri safi milli gelirlerinin yüzde 3,5-5’i arasında değişmektedir. Türkiye’nin toplam korozyon kaybı GSMH’sının yüzde 4,36’sıdır.Korozyon, sebep olduğu maddi kayıplar yanında çevreyi kirleten, insan sağlığını tehlikeye sokan bir değişimdir.

Korozyona neden olan ortamlar içinde en önemlileri, su-hava-toprak üçgenidir.Bu üçgendeki temel korozif öge, su ve su buharıdır.Gerek atmosfere maruz, gerekse toprak içindeki metalik yüzeylerde her zaman, çok incede olsa, bir su filmi mevcuttur.Tatlı-tuzlu-acı sular içinde gelişen korozyon ise, su filmi kalınlığının, atmosferik veya toprak altı koşullardan daha fazla olduğu haller olarak kabul edilebilir.

Denizel ortamdaki metalik yapıların çok büyük bir bölümü çelikten yapılmış olanlardır.Bu yapıların, denizin korozif etkisinden korunmalarında, temelde iki prensip yatmaktadır.Bunlardan birincisi boya ile kaplamak, ikincisi ise katodik olarak korumaktır. Koruma sistemleri, durağan deniz yapıları için uzun süreli koruma yapmak, hareketli yapılar içinse, overhol periyotlarında korumayı gerçekleştirmek amacıyla tasarlanmıştır.Gemilerin overhol onarımlarında, tasarım ömrünü dolduran, hasar gören yada işlevini yerine getiremeyen koruma sistemleri kontrol edilerek yenilenmektedir.Gemi yüzeylerinde, korozyona neden olan kimyasal ve biyolojik kirlenmeler temizlenmekte ve korozyon nedeniyle oluşan hasarlar onarılmaktadır.

Overhol onarımındaki gemilerde, korozyon hasarlarının tespit edilerek giderilmesi ve koruma sistemlerinin yenilenmesi uygulamalarının maliyeti, toplam bakım maliyetinin yüzde 25’inin oluşturmaktadır.Bu uygulamalarda doğru yöntemlerin kullanılması, periyodik olarak overhole giren gemilerin, yüksek onarım maliyetini düşürmektedir.Ayrıca, geminin enerji sarfını azaltarak performansını arttırmakta ve ömrünü uzatmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Korozyon, denizin korozif etkisi, koruma sistemleri, gemilerde korozyon hasarları, gemilerin overhol onarımları

ABSTRACT

Corrosion can be defined as the reaction of metals and alloys with environment. National economical load caused by the corrosion such as “material-energy-information-labor force” is approximately 3,5-5 per cent of national income. Total corrosion loss is 4,36 per cent of national income in Turkey. Besides, corrosion is a change which causes environmental pollution, human health problems and also financial losses.

Most important corrosion environment can be listed as “water-air-earth”. Main corrosive element in this triangular is water and vapour. Metallic surfaces both in atmosphere and in earth have some thin water film. Corrosion happened in salt water and fresh water can be accepted as much more important in according to the corrosion existed in earth and atmosphere.

Constructions used in sea are mostly steel. The principles emerged to prevent corrosive effect of sea can be given as painting and cathodic prevention. Prevention systems are designed to long term prevention for stationary sea construction and overhaul period prevention for dynamic construction. In overhaul maintenances, prevention systems which completed design life term (defected, deformed or functioned non-regularly) are checked and replaced if necessary. Chemical and biological pollutions existed on ship surfaces are cleaned and all corrosion damages are repaired in overhaul maintenances.

Approximately 25 per cent of ship overhaul maintenance budget is caused by the corrosion-related effects. The implementation of correct procedure and methodology decreases the maintenance cost of regularly maintained ships. Moreover, energy consumption can be reduced and the performance of correctly maintained ships can be improved.

Keywords: Corrosion, corrosive effect of sea, prevention system, ship corrosion damages, ship overhaul maintenance

1. GİRİŞ

Teknolojik öneme sahip metallerin,altın,cıva ve nadiren bakır hariç hemen hemen tümü tabiatta "bileşik" halinde bulunurlar. Bileşiklerden üretilen metaller ise içinde buldukları ortam ile reaksiyona girerek bozulurlar ve tekrar kararlı hallerine yani bileşik haline dönmeye çalışırlar.Metal ve alaşımlarının ortam ile reaksiyonları sonucunda bozulmaları olayı "korozyon" olarak bilinir(Çakır, 1988). Bir başka ifadeyle korozyon, malzeme yüzeyinden başlayan ve malzeme derinliklerine doğru kimyasal ve elektrokimyasal bir reaksiyonla tesir oluşturarak bir malzemenin değişikliğe uğraması yada aşınması olayıdır [1].

Korozyonun ülkelerin ekonomilerine yüklediği "malzeme-enerji-emek-bilgi" kaybı gayri safi milli gelirlerin %3.5 - 5 'i arasında değişmektedir. Bu kayba korozyonun neden olduğu üretim veya ürün kayıpları dahil değildir(Çakır, 1988).Bu alanda bilinen en kapsamlı çalışma, National Bureau of Standard'ın (NBS) 1975'de gerçekleştirip 1978 yılında yayınladığı çalışmadır.NBS'in yayınına göre, 1975 yılında metalik korozyon Amerika Birleşik Devletleri ekonomisine yüklediği yük, GSMH'nin %4.2'si yani 70 milyar dolar civarındadır (Çakır, 1994).Bu kaybın öneminin daha iyi anlaşılması için, 1977 yılındaki işlenmemiş yabancı petrol maliyetinin 45 milyar dolar olduğuna dikkat edilmelidir (Kruger, 2001). ABD National Bureau of Standard'ın (NBS)511-1/2 sayılı özel yayınındaki katsayıların uyarlanmış değerleri kullanılarak Türkiye ekonomisinin 1991 yılına ait girdi-çıkıtı verilerinden yararlanılarak, en önemli on beş sektöre ait korozyon kaybı değerleri hesaplanmış ve bu değerler yardımıyla Türkiye'nin metalik korozyon kaybı tahmini yapılmıştır. Türkiye'nin toplam korozyon kaybı GSMH'sının %4.36'sıdır (Çakır, 1994). Korozyon, sebep olduğu maddi kayıplar yanında çevreyi kirleten,insan hayatını tehlikeye sokan bir değişimdir [2].

Korozyona neden olan ortamlar içersinde en önemlileri "su-hava-toprak" üçgenidir.Bu üçgendeki temel korozif öge, su ve su buharıdır.

Gerek atmosfere maruz gerekse toprak içindeki metalik yüzeylerde her zaman çok ince de olsa bir su filmi mevcuttur.Tatlı-tuzlu-acı sular içinde gelişen korozyon ise su filmi kalınlığının atmosferik veya toprak altı koşullarından çok daha fazla olduğu haller olarak da kabul edilebilir.(Çakır, 1988).

Denizel ortamdaki metalik yapıların çok büyük bir bölümü çelikten yapılmış olanlardır.Bu yapıların denizin korozif etkisinden korunmalarında temelde iki prensip yatmaktadır.Bunların birincisi metal yüzeyinin denizle ilişkisini yalıtkan bir organik kaplama yani "boya" ile kesmek,ikincisi ise metalin deniz içinde çözünmesini engelleyecek bir yöntem

uygulamak,yani onu " katodik olarak korumaktır.Günümüzde her iki tip koruma yöntemi daha çok birbirlerini tamamlayacak şekilde beraber kullanılmaktadırlar.Ancak özel koşullarda yalnız boyama veya yalnız katodik korumanın müstakil uygulamaları da mevcuttur (Ürgen ve Çakır, 1989)

Koruma sistemleri, durağan deniz yapıları için uzun süreli koruma yapmak, hareketli yapılar içinse, overhol olarak adlandırılan, mevcut teknik ve istatistik kriterlere göre belirlenen, kuru havuzlama periyotları arasında korumayı gerçekleştirmek amacıyla tasarlanmıştır.Bu periyotlar sonunda, overhole giren hareketli deniz yapılarında korozyon hasarları tespit edilerek, tasarım ömrünü dolduran, hasar gören yada işlevini yerine getiremeyen koruma sistemleri yenilenir (Çakır, 1988).

Bu çalışmanın amacı, overhole giren gemilerde korozyonun sebep olduğu malzeme, işçilik, zaman ve bilgi kaybının önüne geçilerek, yüksek onarım maliyetinin ortadan kaldırılması için korozyon hasarlarının ve bu hasarların giderilme yöntemlerinin araştırılmasıdır.Bu amaç doğrultusunda, deniz suyu ortamındaki gemilerde korozyon oluşumu, korozyona etki eden faktörler irdelenmiş ve korozyondan korunma yöntemleri araştırılmıştır.Gemilerde, boya bozunmaları ve metal kaybı ile kendini gösteren korozyonun tespit edilebilmesi için yapılması gereken çalışmalar incelenmiştir.Korozyonun sebep olduğu hasarların doğru yöntemler kullanarak giderilmesi için yapılması gereken çalışmalar araştırılmıştır.

2. KOROZYON

Korozyon, malzeme yüzeyinden başlayan ve malzeme derinliklerine doğru ilerleyen, kimyasal ve elektro-kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan bozunmalardır [1].

Korozyon toplumumuzda, ekonomik, teknolojik, emniyet, sağlık ve kültürel açıdan çok çeşitli öneme sahiptir;

Ekonomik açıdan korozyon, büyük öneme sahiptir. Bazı ülkelerde, yapılan çalışmalar neticesinde korozyonun ulusal maliyeti belirlenmek istenmiştir. Bu çalışmaların en kapsamlısı, 1976 yılında Amerika'da yapılan bir çalışmadır. Bu çalışma ile, metalik korozyonun U.S. ekonomisine toplam yıllık maliyetinin 70 milyar dolar yada brüt ulusal maliyetin % 4.2'si olduğu bulunmuştur. Ekonomik önemini vurgulamak için 1977 yılında işlenmemiş yabancı petrol maliyetinin 45 milyar dolar olduğunu belirtmekte fayda vardır.

Korozyon yeni teknolojik gelişmeleri önemli oranda engellemektedir. Çünkü çoğu durumda malzemelerin, , yüksek sıcaklıklara ve yüksek basınçlara, korozif ortamlar içinde dayanım göstermesi gerekmektedir. Bu durumlar, kapsadığı karmaşık zorlukların pek çoğu yanında korozyon problemlerinin de üstesinden gelmeyi gerektirir. Korozyon, sistemlerde ekonomik yada teknolojik olarak uygulanabilen gelişmeleri engelleyen sınırlayıcı bir faktördür.

Buna ilave olarak yapılarıdaki korozyon problemleri, emniyet açısından büyük tehlike oluşturmaktadır. Köprüler, gemiler, uçaklar, otomobiller, gaz boru hatları v.b. yapılarda korozyon, hayati önem taşıyan hasarlara neden olmaktadır.

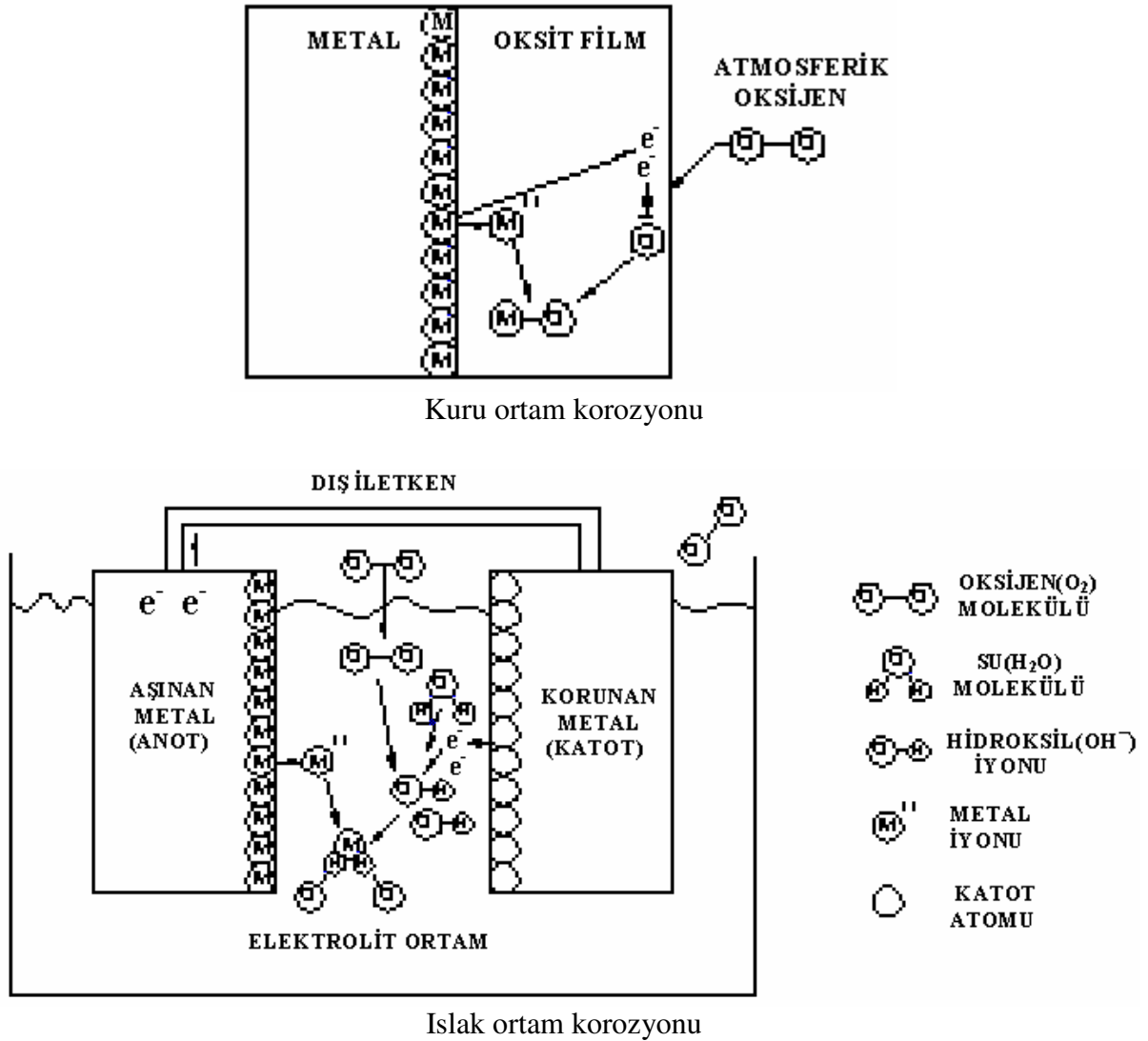
Korozyon, sağlık sektöründe de büyük sorun yaratmaktadır. Geliştirilen yeni tekniklerle birlikte korozyon sorun yaratmaya devam etmektedir. Korozyonun sağlık açısından önemini anlatmak için, son yıllarda kullanım oranında büyük yükselme görülen, metal protezler örnek olarak verilebilir. Kalp atışlarını düzenleyen aygıttaki bağlantıların kırılması, korozyon ürünlerinin aletlerin etrafındaki dokularda iltihaplara sebep olması ve bedenin duruşuyla ilgili olan protezlerin kırılması, korozyonun yol açtığı sorunlardan bazılarıdır .

Korozyonun kültürel önemiyle ilgili uluslararası kaygı, İtalya, Venedik'de sanatsal ve kültürel büyük önem taşıyan yaldızlanmış bronz heykellerin deformasyonlarının açıklanması ile oluşmuştur. Korozif prosesler, dünya ülkelerinin çoğunda yaygın olan yüksek çevre kirliliğinin etkisiyle, Venedik'deki gibi önemli sanat eserlerinin deformasyonunu hızlandırmaktadır. Bunun gibi kültürel hazineleri korozyonun tahribatına karşı korumak için, müzelerde restorasyon çalışmaları yapılmaktadır (Kruger, 2001).

2.1 Korozyon Prosesi

Korozyon oluşum mekanizmaları; fiziksel korozyon, kimyasal korozyon ve elektro-kimyasal korozyon olmak üzere üç şekilde incelenebilir. Ergimiş metaller arasında meydana gelen, doğrudan fiziksel çözünme ve hal değişimi ile kendini gösteren korozyon fiziksel korozyon olarak tanımlanmaktadır. Direkt olarak ortamla elektron alış verişi yapılması neticesinde oluşan korozyon kimyasal korozyondur ve malzeme yüzeyinde tufal adı verilen bir tabaka oluşumuyla kendini gösterir. En çok rastlanan korozyon mekanizması, anot ve katot olarak görev yapan iki metalin elektrolit adı verilen iletken bir ara yüzey üzerinden elektron alış verişi yapması neticesinde gerçekleşen elektro-kimyasal korozyondur.

Korozyon, kuru yada ıslak bir ortamda gerçekleşebilir. Şekil 2.1'de kuru ve ıslak ortam korozyonunun her ikisinin de atomik seviyede davranışları gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Kuru ve ıslak ortam korozyonunun atomik seviyede davranışları (Sondalini, 2005)

Islak ortamda korozyon, metal atomlarının elektronlarının bazılarını yitirerek iyon haline dönüşmeleriyle oluşur. Pozitif yüklü metal iyonları, çözelti içindeki belirli sayıda molekül ile bağ kurarak alçak enerji durumuna geçerler ve kararlılık kazanırlar. Elektron kaybeden yani korozyona uğrayan metale anot denir. Şekil 2.1'de ıslak ortam korozyonu gösterilmiştir. Korozyona uğrayan metalden ayrılan elektronlar, korunan metal yüzeyine elektronik bir bağ vasıtasıyla taşınırlar. Elektronların sarf edildiği metale veya metalin o bölgesine katot denir. Katoda taşınan elektronlar, metal-elektrolit ara yüzeyinde, elektrolit içindeki oksijen ve su molekülleriyle birleşerek OH^- iyonu oluştururlar. Yeni oluşan negatif yüklü iyonlar, çözelti içindeki pozitif yüklü metal iyonları ile kararlı bir bileşik yapmak için reaksiyona girerler.

Kuru ortamda korozyon, metal yüzeyinde bir tabaka oluşumuyla kendini gösterir. Şekil 2.1'de kuru korozyon prosesi gösterilmiştir. Elektronlarının bazılarını yitirerek iyon haline dönüşen metal atomu oksijenle birleşerek yüzey üzerinde bir oksit tabakası oluşturur. Oksit tabakası, metali oksijenden koruyan bir bariyer formundadır. Koruyucu film tabakası, havadaki oksijenin metal ile temasını zorlaştırır. Zamanla, elektronlarla iyonların hareketini durduracak kadar kalınlaşır. Ortamdaki oksijenin taşınması, metalin kendi koruyucu film tabakasını yaratma kabiliyetini ortadan kaldırır.

Islak korozyonda elektrolit nötr, asidik yada alkali olabilir. $\text{pH}=6 - 8$ olan nötr çözelti içindeki " $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- = 4\text{OH}^-$ " katodik reaksiyonu, Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Eğer korozyon hücresi içinde oksijen mevcut değilse, " $\text{H}^+ + \text{e}^- = \text{H}$, $\text{H} + \text{H} = \text{H}_2$ " hidrojen değişim reaksiyonu, katodik reaksiyon olur ve anot aşınmaya devam eder. Bu reaksiyon, oksijen absorpsiyon reaksiyonundan daha yavaş bir reaksiyondur. $\text{pH}=0-6$ olan asidik çözeltiler içinde, hidrojen konsantrasyonu daha yüksek olduğu için hidrojen değişim reaksiyonu baskın durumdadır (Sondalini, 2005).

Korozyon esnasında eş zamanlı meydana gelen anodik ve katodik reaksiyonların bazı örnekleri aşağıda gösterildiği gibidir;

Anodik reaksiyona örnek olarak, demir metalinin çözünerek pozitif yüklü iyon haline dönüşmesi aşağıda gösterilmiştir;



Korozyon prosesinin kapsadığı katodik indirgenmenin örnekleri aşağıda gösterildiği gibidir;





Eşitlik (2.2)'de nötr pH değerindeki bir ortam içindeki katodik reaksiyon örnek olarak gösterilmiştir. Eşitlik (2.3) ve (2.4)'de, endüstriyel proseslerde karşılaşılan asidik ortamlar içinde yada hidroliz reaksiyonlarından dolayı pH'ın asidik değere ulaştığı, çukurcu ve aralık gibi sınırlı hacimlerde korozyon prosesi örnek olarak gösterilmiştir.



Bu reaksiyon H⁺ iyonları oluşturur. Eğer H⁺ iyonları sınırlı hacimden dışarı kolayca taşınamıyorsa konsantrasyon artar. Sonuçta oluşan korozyon reaksiyonu, katodik ve anodik kısmi reaksiyonlarının toplamıdır. Çözünen iyonların oluşturduğu bir reaksiyona örnek olarak (2.1) ve (2.4) kısmi reaksiyonlarının toplamı verilebilir;



(2.1) ve (2.2) kısmi reaksiyonlarının toplamı ile, çözünmeyen hidroksit oluşumu aşağıda gösterildiği gibidir; (Kruger, 2001).



2.2 Korozyon Çeşitleri

En sık rastlanan korozyon çeşitleri, aşağıdaki tabloda gösterildiği gibi sınıflandırılabilir; (Nimmo ve Hinds, 2003)

Çizelge 2.1 Korozyon çeşitleri (Nimmo ve Hinds, 2003)

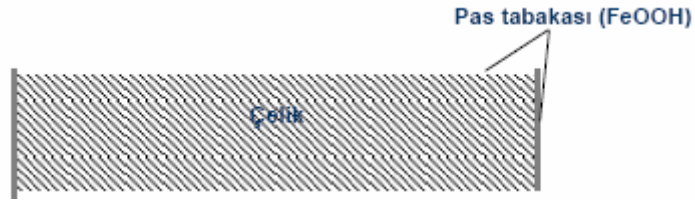
Korozyon Çeşidi	Açıklama
Homojen Dağılımlı Korozyon	
Galvanik Korozyon	Ayrı metallerin bir araya gelmesi ile oluşan korozyon çeşididir.
Aralık Korozyonu Çukurcuk Korozyonu Taneler Arası Korozyon	Geometrik yada kimyasal faktörler tarafından oluşturulan korozyon çeşitleridir.
Gerilmeli Korozyon Hidrojen Gevrekleşmesi Korozyonlu Yorulma	Mekanik faktörlerin, çatlak tipi hasarlara yol açmasıyla oluşan korozyon çeşitleridir.
Seçici Korozyon	Özel kimyasal etkiler tarafından oluşturulan korozyondur.
Erozyonlu Korozyon	Akış etkileri tarafından oluşturulan korozyondur
Biyolojik Korozyon	

2.2.1 Homojen dağılımlı korozyon

En yaygın korozyon türüdür. Uzun süreler için hesaplanan ortalama korozyon hızlarının her yerde aynı olduğu kabul edilebilir. Eşit dağılımın başlıca kaynağı, anodik ve katodik çevrelerin sürekli olarak yer değiştirmeleridir.

En yaygın korozyon türü olarak, homojen dağılımlı korozyonun yol açtığı metal kaybı diğer korozyon türlerine oranla çok yüksek olmasına karşın en az korkulan korozyon türü olduğunu belirtmek gerekir. Çünkü homojen dağılımlı korozyonun hızı basit laboratuvar deneyleriyle saptanabilir. Böylece saldırgan ortamlara terk edilen parça ve yapıların ömrüne ilişkin tutarlı tahminlere ulaşmak mümkün olur. Homojen dağılımlı korozyon, farklı koruma yöntemleri uygulayarak başarı ile kontrol edilebilir (Doruk, 1982).

Şekil 2.2’de gösterilen çeliğin bir yüzü veya her tarafı yaklaşık eşit kalınlıkta korozyon ürünü tufal veya pas ile kaplanmıştır [3].



Şekil 2.2 Çelik yüzeyinde oluşan homojen korozyon [3]

2.2.2 Galvanik korozyon

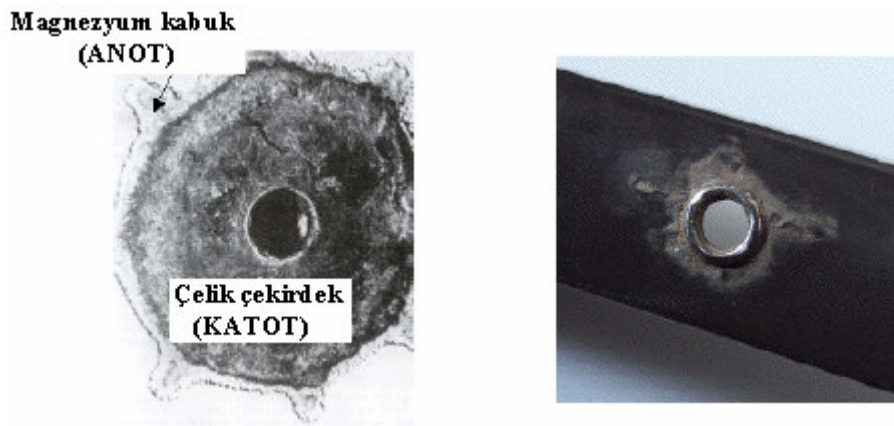
Birbirleri ile temas halinde olan farklı türden iki metal veya alaşım, iletken bir çözelti içine daldırıldığı zaman, genellikle farklı korozyon potansiyelleri geliştirirler. Aktif olan metal veya alaşımın korozyonu hızlanırken, daha soy olan metal veya alaşımın korozyonu yavaşlar. Standart koşulları temel alan elektro kimyasal seri, iki veya daha çok metal veya alaşımdan oluşan korozyon hücrelerinin çalışma koşulları hakkında kaba bir fikir verebilir. Belli bir uygulama alanı için söz konusu olabilecek tüm metal ve alaşımlarının gerçek ortam içindeki tutumlarını temel alan galvanik seri, elektro kimyasal seriye kıyasla daha yararlıdır (Rothwell, 2003).

Çizelge 2.2, metallerin deniz suyu ortamında gözlemlenen gerçek potansiyelleri temel alınarak geliştirilmiştir. Tablonun altındaki metaller daha soy olarak adlandırılırken, tablonun üstündeki metaller aktif olarak adlandırılır [11].

Çizelge 2.2 Denizel ortamda kullanılan metaller için tipik galvanik seri (Rothwell, 2003)

Aktif	Magnezyum	
	Çinko	
	Alüminyum(Ticari)	
	Kadmiyum	
	Duralumin(4½ %Cu ile Al)	
	Yumuşak çelik	
	Dökme demir	
	Paslanmaz çelik(Tip 430; 18%Cr)	AKTİF
	Paslanmaz çelik(Tip 304; 18%Cr 10%Ni)	AKTİF
	Kurşun-Kalay lehimler	
	Kurşun	
	Kalay	
	Nikel	
	Pirinç	
	Bakır	
	Bronz	
	Bakır nikel alaşımı	
	Gümüş lehimler(70% Ag 30%Cu)	
	Nikel	PASİF
	Paslanmaz çelik(Tip 430)	PASİF
Paslanmaz çelik(Tip 304)	PASİF	
Gümüş		
Titanyum		
Grafit		
Altın		
Soy	Platin	

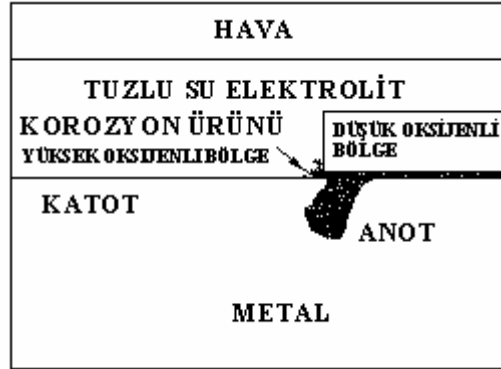
Şekil 2.3’de farklı iki metalin, birbirleriyle temas halinde olmasından kaynaklanan galvanik korozyon örnek olarak gösterilmiştir [3].



Şekil 2.3 Farklı metallerin temas halinde olmasından kaynaklanan galvanik korozyon [3]

2.2.3 Aralık korozyonu

Makine parçalarının montajında, kesinlikle yok edilemeyen dar bölgeler ve aralıklar oluşur. Korozyon aralık içinde ve aralık dışında yer alan oksijen reaksiyonu ile başlar. Aralık içine sızan oksijen, hacmin küçüklüğü nedeni ile hızla kaybolur. Böylece oksijen reaksiyonu yalnızca aralık dışında oluşmaya devam eder (Doruk, 1982). Şekil 2.4’de deniz suyunun bir tabakası altında aralık korozyonunun meydana gelişi gösterilmiştir (Sondalini, 2005).



Şekil 2.4 Aralık korozyonunun mekanizması (Sondalini, 2005)

Eğer ortam şartları, yüzey dışında düzensizce geliyorsa, korozyonun tek bir metal üzerinde oluşması da oldukça muhtemeldir. Dizayn, tortu v.b. sebeplerle yüzey üzerinde oluşan aralık ve dar bölgeler korozyona sebep olabilir (Rothwell, 2003).

Pasif tutumunu kaybederek aktif tutuma geçen metalin potansiyelinde, aktif değerlere doğru hızlı bir kayma olması nedeni ile aralık korozyonunun pasif metaller üzerine yaptığı bozucu etki diğerlerine oranla daha fazladır (Doruk, 1982).

Şekil 2.5’de sızdırmazlık elemanı ile metal yüzeyi arasında oluşan aralıkta meydana gelen korozyon örnek olarak gösterilmiştir [3].



Şekil 2.5 Aralık korozyonu [3]

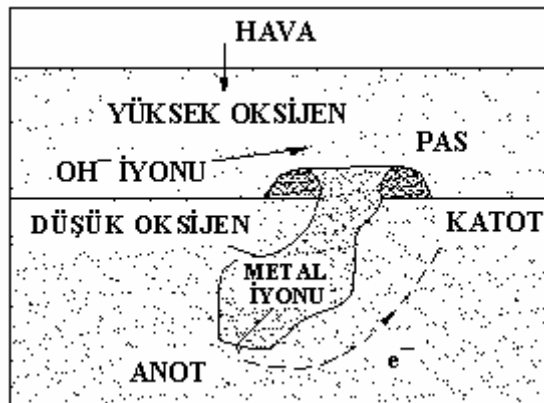
2.2.4 Çukurcuk korozyonu

Çukurcuk korozyonu, özellikle pasifleşme eğilimindeki paslanmaz çelikler ve alüminyum alaşımlarında oluşur. Oluşum düzenini açıklamak için NaCl ve çözülmüş oksijen içeren bir ortamla temas haline getirilen alüminyum alaşımı örnek olarak gösterilebilir.

Klor iyonları, koruyucu yüzey tabakasının üzerine sızarak metalin o yerlerde aktif duruma geçmesine neden olur. Aktif tutum kazanan yerlerin toplam alanı, pasif tabaka ile örtülü olan yüzey alanına oranla çok küçüktür. Bu durum metalin, aktif duruma geçen noktalarda hızla çözünmesine ve yer yer çukurcukların oluşmasına yol açar. Hızlı çözünme sonucu çukurcuklar içindeki ortam, metal iyonları bakımından zenginleşir. Ancak korozyon oranının her aşamasında ortamın elektrik yükleri bakımından dengelenmesi gerekir. Bu koşul metal iyonlarının taşıdığı elektrik yüküne eşdeğer miktarda klor iyonunun, çukurcuklar içine yayılması ile sağlanır. Böylece oluşturulan metal klorürler aşağıdaki reaksiyon uyarınca hidrolize uğrayarak hidrojen iyonlarının büyük miktarlarla ortaya çıkmasına olanak sağlar;



Otokatalitik olarak tanımlanan bu olay, çukurcuklar içindeki ortama asit karakteri kazandırır ve bu nedenle korozyonun etkenliğini sürekli olarak artırır. Katodik olay, yani oksijen reaksiyonu, çukurcukların yeterli miktarda oksijenle temas edebilen ağız kısımlarında oluşmaya devam eder. Metal çözülümü ise tarif edilen olayların tekrarı ile çukurcuk diplerinde yoğunlaşır (Doruk, 1982). Şekil 2.6'da çukurcuk korozyonunun mekanizması gösterilmiştir. (Sondalini, 2005).



Şekil 2.6 Çukurcuk korozyonunun mekanizması (Sondalini, 2005)

Pasif film tabakasının bozulması genellikle, metal yüzeyi dışındaki ortamın değişiminden kaynaklanır. Bunlara örnek olarak yüzey dışındaki sıcaklık değişimleri, oksijen miktarındaki

çeşitlilik ve değişken su akışı verilebilir.

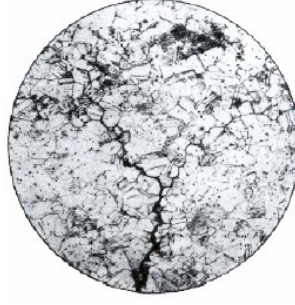


Şekil 2.7 Gemi uskurunda görülen çukurcuk korozyonu [11]

Şekil 2.7’de gemi uskurunda meydana gelen çukurcuk korozyonu örnek olarak gösterilmiştir [11]. Çukurcuk korozyonunun sebep olduğu toplam metal kaybı önemsizdir. Ancak aşırı derecedeki bozulmalar, tesisata ciddi anlamda zarar verir. Çukurcuk korozyonu, ağırlıklı olarak, klor iyonu hareketinin bir sonucu olarak ortaya çıkmasına karşın bromid, hipokloridler v.b. iyonlar da çukurcuk korozyonuna sebep olabilir (Rothwell, 2003).

2.2.5 Taneler arası korozyon

Korozyon olayının malzemenin tane sınırları yakınında yoğunlaşması sonucu ortaya çıkan bozunma türüdür. Taneler arası korozyonun en belirgin özelliği çok küçük ağırlık kaybına karşın korozyon hızının tane sınırları yakınında çok yüksek değerlere ulaşabilmesidir. Taneler bütünlük ve şekillerini korurlarken taneler arası bağ bozunmaya uğrar. Bunun sonucu olarak metallere özgü bazı tutumlarda önemli değişiklikler olur. Bunlardan en önemlisi korozyonun etken olduğu bölgelerde mekanik direncin sıfıra inmesidir. Parçaların dış görünüm ve ölçülerinde önemli bir değişiklik görülmez. Bu koşullar tane sınırları korozyonunun izlenmesini ve kontrol altına alınmasını güçleştirir. Taneler arası korozyon özellikle ostenitik dokulu krom–nikel çeliklerinde ve alüminyum–bakır alaşımlarında görülür (Doruk, 1982). Şekil 2.8’de taneler arası korozyonun oluşumu gösterilmiştir [3].



Şekil 2.8 Taneler arası korozyon [3]

2.2.6 Gerilmeli korozyon

Saldırgan ortamla temas halinde olan makine parçaları ve metal yapıların çoğu mekanik gerilmeler altındadır (Doruk, 1982). Gerilmeli korozyon, malzemeye aynı anda etki eden korozif ve mekanik faktörlerin yol açtığı bir bozunma şeklidir (Rothwell, 2003). Bozunma, parça yüzeyinde mevcut çatlaklar veya gerilim yoğunlaşmasına olanak sağlayan diğer geometrik düzensizliklerle başlar. Çatlaklar, mekanik gerilmelerin büyüklüğü ve çevresel koşulların etkenliğine bağlı olarak belirli hızlarla malzeme içine doğru yürürler. Parça kesitinin mevcut yükleri taşıyamayacak ölçüde daralması sonucu ani kopmalar meydana gelir (Doruk, 1982). Bu sebeple, bozunmalar beklenmedik bir anda ve çoğu zaman yıkıcı bir şekilde ortaya çıkar (Rothwell, 2003).

Gerilmeli korozyonun en önemli özelliği kimyasal ve mekanik etkilerin birbirlerini destekler nitelikte gelişmeleridir (Doruk, 1982). Şekil 2.9’da çeşitli parçalarda oluşan gerilmeli korozyon örnek olarak gösterilmiştir [3].



Şekil 2.9 Çeşitli parçalarda oluşan gerilmeli korozyon [3]

2.2.7 Hidrojen gevrekleşmesi

Genellikle, hacim merkezli kübik yapıya sahip yüksek dayanımlı malzemelerde (özellikle yüksek dayanımlı çeliklerde) görülür. Hidrojenin yol açtığı bozunma, farklı görünümde karşımıza çıkar. Bunlardan en önemlileri boşluklanma ve çatlama. Bozunma için gerekli hidrojen çeşitli kaynaklardan sağlanabilir. Korozyon açısından en önemli olanı katodik olay sırasında yani hidrojen reaksiyonu ile üretilen hidrojendir. Molekülleşme aşamasının yeterince engellendiği reaksiyonlarda, hidrojen atomları önce yüzeyde tutunurlar, daha sonrada yayınarak malzeme bünyesine girerler (Doruk, 1982). Bu durum sadece malzeme korumasız kaldığında olmaz. Yeterince kolay etkilenen malzemeler için tek çevresel ihtiyaç sudur (Rothwell, 2003). Hidrojen bazı önemli imalat işlemleri sırasında da açığa çıkarak bu tür bozunmalara neden olabilir. Elektrolitik kaplama, sıcak haddeleme sırasında oluşan oksit tabakalarının uzaklaştırılması için uygulanan kimyasal işlemler, kaynak ve ergitme bunun başlıca örnekleridir.

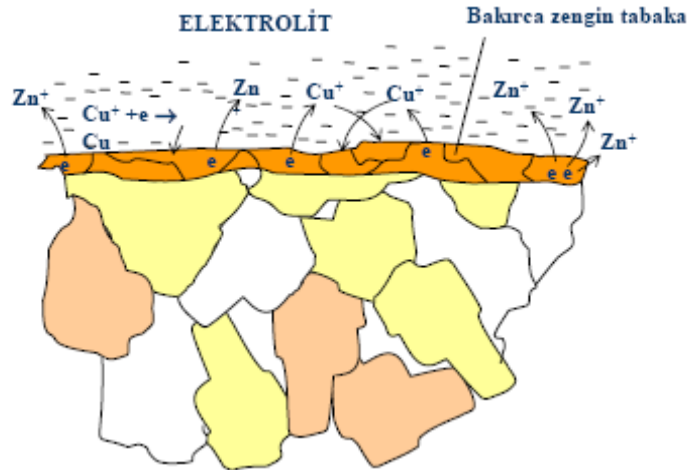
Hidrojenle çatlama metal hidrürlerin yol açtığı malzeme gevrekleşmesine bağlanabilirse de, bu daha çok titan gibi hidrojene aşırı ilgili hidrür yapıcılar için geçerlidir. Çelik gibi zayıf hidrür yapıcılarında durum daha da karmaşıktır. Yayınarak çatlak ucuna ulaşan hidrojenin oynadığı rol hakkında çeşitli ancak bazı gözlemlere göre birbirleriyle çelişen yaklaşımlar vardır.

2.2.8 Korozyonlu yorulma

Periyodik yön değiştiren gerilmelerin, korozif ortamlarda yol açtıkları malzeme bozunmasıdır. Gerilmeli korozyona paralel olarak, korozyonlu yorulmada da çatlak oluşum ve çatlak büyüme dönemlerinden söz edilebilir. Bu benzerliklere karşın, iki özellik korozyonlu yorulmayı, gerilmeli korozyondan ayırır. Bunlardan birincisi, gerilmeli korozyona özgü duyarlı malzeme-etken ortam ilişkisinin korozyon yorgunluğu için geçersiz olmasıdır. Diğer bir deyişle, bir malzeme için belirli bir ölçüde saldırgan olan her ortam korozyon yorgunluğu ile bozunmaya yol açabilir. Diğer bir özellik ise, gerilmeli korozyonun aksine, korozyonlu yorulma sınırı olarak tanımlanabilecek bir sınır gerilim veya gerilim şiddeti faktöründen söz etmenin mümkün olmamasıdır. Normal atmosferi koşullarda denendiğinde, belirgin bir yorulma sınırı gösteren malzemeler, saldırgan ortamda bu özelliklerini yitirirler (Doruk, 1982).

2.2.9 Seçici korozyon

Alaşımlarda belirli bir metal veya belirli bir faz üzerinde yoğunlaşarak, öncelikle çözünmelerine neden olan korozyon türüdür. İlke olarak, elektro kimyasal gerilim dizisinde birbirlerinden çok uzak metallere oluşan alaşımlar seçici korozyona uğrarlar. Örneğin, altın-gümüş alaşımları, seyreltik nitrik asit çözeltisine terk edilince, gümüşün çözüldüğü ve hatta giderek geriye yalnız saf altının kaldığı görülür. Şekil 2.10'da örnek olarak gösterilen bakır-çinko alaşımlarında görülen çinko kaybı, dökme demirde ana yapının çözülmesi ile gelişen grafitleşme olayı, bu tür korozyon için verilebilecek önemli örneklerdir (Doruk, 1982).



Şekil 2.10 Pirinç(Cu-Zn) malzemelerde seçici korozyon [3]

Seçici korozyonun bozucu etkisi, malzemenin uğradığı dayanım kaybıdır. Korozyonun etkili olduğu bölgelerde, çekme dayanımının sıfıra indiği kabul edilebilir. Bu nedenle, korozyona uğrayan parçalarda saptanan dayanım kaybı, korozyondan etkilenen kesit alanının doğrudan bir göstergesi olarak önem taşır. Büyük ölçüde dayanım kaybına karşın, korozyona uğrayan parçaların dış görünümünde renk değişimi dışında hiçbir fark görülmeyebilir (Doruk, 1982).

2.2.10 Erozyonlu korozyon

Malzeme yüzeyi ile ortam arasındaki bağıl hızın yüksek değerlere ulaştığı sistemlerde görülen bozunma türüdür. Erozyonlu korozyon, durağan koşullara oranla metal kayıp hızının önemli ölçüde artmasıyla kendini hissettirir. Metal kaybı, metalin iyonlara dönüşmesi veya yüzeyde oluşturulan oksit tabakalarının uzaklaştırılarak ortama karışması ile gerçekleşir (Doruk, 1982). Bozunan yüzey görünümü, akış doğrultusuna yönelik, oluklardan, dalgalanmalardan ve oyuklardan oluşur (Rothwell, 2003). Durağan koşullar altında yeterli korozyon dayanımına sahip malzemelerin hemen hepsi erozyonlu korozyona karşı belirli ölçüde duyarlılık

gösterirler. Bu duyarlılık malzemeye korozyon dayanımına sağlayan yüzey tabakalarının uzaklaştırılmaları sonucu ortaya çıkar. Yüzey tabakasının bozunduğu yerlerde metal aktif duruma geçerek yüksek hızlarla çözünür.

Erozyonlu korozyonun hızını belirleyen önemli faktörlerden biri ortamın akma hızıdır (Doruk, 1982). Deniz suyu içinde belirli akış hızlarında metal ve alaşımlarının korozyon davranışları örnek olarak gösterilebilir. Daha soy olan metaller 2 m/sn yada 7.2 km/saat'ten daha büyük akış hızlarında korunurken, bakır esaslı alaşımlar koruyucu yüzey tabakalarını kaybederek hızlı bir şekilde aşınmaya başlarlar. Alüminyum-kurşun, çelik ve çinko gibi metallerin korozyon hızları, akış hızının yüksek bir değere ulaşması ile ani bir artışa uğrar. Gemilerdeki pompa gövdeleri egzost sistemleri, borular v.b. sistemler akış hızının yüksek olduğu yerlerdir. Gemilerdeki su akış hızı, borularda 1.2 – 3.6 m/sn, pompa gövdelerinde ise 9.1 – 24.4 m/sn arasında değişebilir. Şekil 2.11'de gösterilen tesisat erozyonlu korozyonun ilerlemesiyle tamamen aşınmıştır [11].



Şekil 2.11 Gemilerdeki boru tesisatında erozyonlu korozyon [11]

Akım doğrultusunun değişikliğe zorlandığı dirsek, vana ve flanş gibi parçalar erozyonlu korozyona özellikle duyarlıdır. Bunun nedeni akım doğrultusunun malzeme yüzeyine paralel olmasından kaynaklanan çarpma etkisidir. Çarpma malzeme yüzeyini örten koruyucu tabakayı kısmen uzaklaştırarak etkenliğinin büyük ölçüde azalmasına yol açar. Bu kısımlar, yüzey tabakalarının etkenliğini sürdürdüğü diğer bölgelere oranla anodik tutum kazanacaklarından hızla çözünürler. Sistemin yer yer erozyonlu korozyona uğrayarak bozunmasına yol açan diğer bir etmen galvanik eşlemedir. Durağan koşullarda çoğu kez sakıncalı bulunmayan galvanik eşlemeler akım hızının artmasıyla etkenlik kazanarak

elektrokimyasal bakımdan daha aktif kısımların öncelikli aşınmasına neden olur (Doruk, 1982).

Ortamda bulunan katı parçacıklar, erozyonlu korozyonun hızında göze çarpan yükselmelere neden olur (Rothwell, 2003). Bunlar, oksit tabakalarının uzaklaştırılmasını hızlandırır. Ayrıca çarptıkları yüzey için aşındırıcı özellikte de olabilirler. Katı parçacıkların etkenliği ortam içindeki miktarlarına, tane büyüklüğüne, sertliklerine, şekillerine ve malzemeye oranla elektrokimyasal tutumlarına bağlıdır (Doruk, 1982). Bozulma büyük oranda, ortamda bulunan katı parçacıkların yüzeye çarpmalarından kaynaklanıyorsa bu tür bozunmalar çarpma erozyonu olarak ifade edilir.

Erozyonlu korozyonun kapsadığı diğer bir bozunma şekli ise kavitasyon erozyonudur (Rothwell, 2003). Kavitasyon, su türbinleri ve pompa kanatları, gemi uskurları ve benzeri sistemlerde rastlanan bozunma türüdür. Hızla akan sıvıların malzeme yüzeyine yakın bölümlerinde oluşan alçak basınç kabarcıkları giderek büyürler ve patlarlar. Böylece başlatılan şok dalgaları yüzeye çarparak malzeme içinde yüksek gerilimlerin oluşmasını sağlar. Gözlemler bu gerilimlerin malzemenin plastik deformasyonuna yol açacak düzeye ulaşabildiklerini göstermektedir. Şok dalgalarının yüzeye çarpması sırasında malzeme yüzeyini örten tabaka yer yer yara alarak koruyucu özelliğini kaybeder. Bu bölgeler pasif tutumdan aktif tutuma geçerek çözünürler. Bu bölgeler alçak basınç kabarcıklarının oluşması ve patlaması için elverişli noktalar olarak ayrıca önem taşırlar. Bu koşullar aşınmanın yerel yoğunlaşmasına ve malzeme yüzeyinin yer yer delinmesine yol açarlar. Kabarcıkların oluşumu, büyümeleri ve patlamaları çok kısa sürelerle tekrarlandığında bozunma hızı genellikle çok yüksektir. Çukurcukların çoğalması ile gelişen yüzey kabalaşması türbülansı ve bu nedenle de kavitasyon hızını artırıcı bir faktördür.

Kavitasyon hızı ortamın saldırganlığı ile artar. Ancak bu artış çukurcuk korozyonuna yol açabilen ortamlarda daha belirgindir. Ortamda içerilen çözünmüş oksijen ve katı parçacıklar kavitasyon hızını artırıcı diğer faktörlerdir. Kavitasyon hızı sıcaklıkla artarak 45 °C civarında en yüksek değerine ulaşır. Daha yüksek sıcaklıklarda kavitasyon hızının azaldığı görülür. Kavitasyonla oluşan çukurcuklar, çukurcuk korozyonuna oranla daha sıktır (Doruk, 1982).



Şekil 2.12 Gemi pervanelerinde kavitasyon [11]

Kavitasyon, deniz suyu ortamlarında ve özellikle gemilerde çok sık görülür. Şekil 2.12’de gemi pervanelerinde oluşan kavitasyon örnek olarak gösterilmiştir. Bozunma genellikle kanat uçlarında başlar ve kanat diplerine doğru ilerleyerek gelişir [11]. Şekil 2.13’de gemi uskurlarında görülen kavitasyon korozyonu [3].



Şekil 2.13 Gemi uskurunda görülen kavitasyon korozyonu [3]

2.2.11 Biyolojik korozyon

Biyolojik korozyon tam olarak ayrı bir korozyon çeşidi değildir (Rothwell, 2003). Ortamda içerilen organizmaların yol açtığı mikrobiyolojik oluşumlar, korozyon olayını farklı mekanizmalarla etkiler. Bunlardan en yaygın olanı, yetersiz havalandırılmış ortamlarda yaşayan organizmaların sülfatları, H_2S ve sülfürlere indirgemeleridir. Bu organizmalar desulfovibrio grubundandır. En sık rastlanan türleri, *D. desulfuricans*, *D. aestuari* ve *D. rubentschiki*’dir. Sülfat indirgenmesi olayı aşağıdaki koşulların yerine getirilmesiyle gerçekleşir;

- Ortam, sülfatları ve bakterilerin oluşumu için gerekli organik maddeleri içermelidir.
- Ortam, oksijen bakımından fakir olmalı ve oksijen yayınmasına izin vermeyecek özellikte olmalıdır.

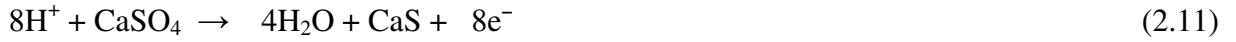
- Ortamın pH değeri, 5.5-8.5 arasında olmalıdır.
- Ortam, sülfat indirgeyen organizmaları, özellikle de *D.desulfuricans*' i içermelidir.

Zeminler dışında, yukarıda sıralanan koşulların karşılandığı su şebekeleri, petrol kuyuları ve petrol endüstrisinin diğer dallarında da sülfat indirgenmesi olayına rastlanabilir. Bozunma genellikle çukurcuk korozyonu türündedir. Korozyona uğrayan metalin demir olması halinde sülfat indirgenmesi aşağıda verilen reaksiyonlardan oluşur;

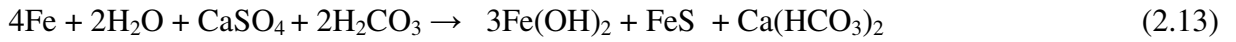
Anodik reaksiyon;



Katodik reaksiyon;



Toplam reaksiyon;

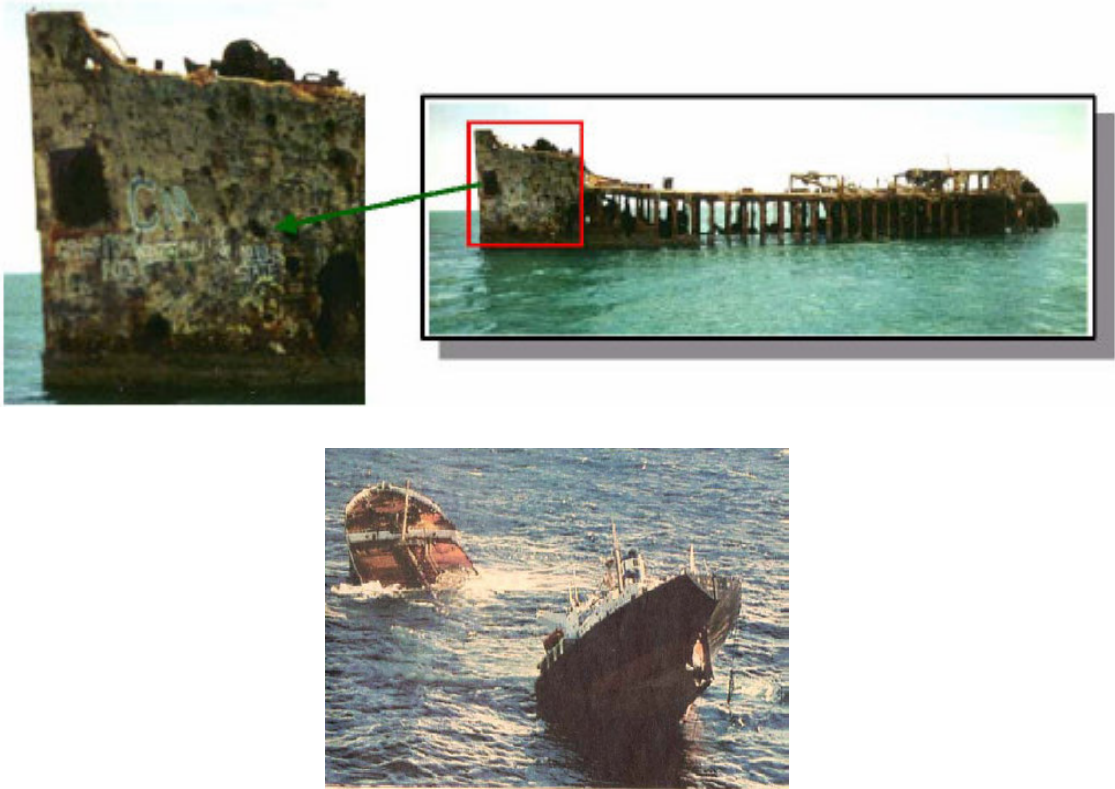


Biyolojik korozyon ürünleri demir hidroksit yanında demir sülfürde içerirler. Teorik olarak üç kısım $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 'ye karşılık, bir kısım FeS oluşmaktadır. Korozyon ürünleri üzerinde yapılan analizler bu oranın 2.4/1 – 3.4/1 arasında değiştiğini göstermektedir. Sülfat indirgenmesinin bir diğer sonucu potansiyel düşmesidir. Örneğin, sülfat indirgenmesine olanak sağlayan bir zeminde demirin korozyon potansiyeli, indirgenmenin olmadığı bir zeminde ölçülen orandan 0.052 V daha aktiftir.

Biyolojik korozyon, zemin, su ve petrol türünden ortamlarda kullanılan çelik türlerinin hızla bozunmasına ve çalışma ömrünün önemli ölçüde kısalmasına neden olur. Bu tür korozyonun etkinliği koruyucu yüzey tabakalarının oluşmamasına bağlanabilir. Bu, korozyon olayını hızlandıran diğer bir faktördür (Doruk, 1982).

3. GEMİLERDE KOROZYON

Denizel ortamlarda sıklıkla rastlanan korozyon türlerinin başlıcaları, taneler arası korozyon, çukurcuk ve aralık korozyonu ile gerilmeli korozyondur. Ayrıca paslanmaz çelik bağlantı elemanlarının oluşturduğu galvanik korozyondan ve akış hızı yüksek akışkanlarla çalışan pervane, pompa gibi ekipmanlarda rastlanan kavitasyon korozyonundan da bahsedilir (Ürgen ve Çakır, 1989) Deniz suyunda korozyon; gemilerin tertibatlarında, güvertede, bağlantı elemanlarında, tekne kaplamalarında, pervanelerde, şaftlarda, valflerde, kondansatörde ve borularda hasarlara neden olur. Deniz atmosferinde korozyon ise gemilerin çatılarında, çatılardaki oluklarda ve iç döşemelerde hasarlar oluşturur (Harvey, 1999).



Şekil 3.1 Gemilerde korozyon [3]

3.1 Korozyon Hücresi

Ortam ile reaksiyona giren metal çözünür, yani korozyona uğrar. Denizde ortam "deniz suyudur" çözünme ise metal atomlarının elektronlarından bazılarını yitirerek "iyon" haline dönüşmeleri yani "oksitlenmeleri" olarak tanımlanabilir. Dolayısıyla ile metalin "çözünmesi", "oksitlenmesi", "korozyonu" kelimeleri eş anlamlıdır. Örneğin demirin çözünmesi şu şekilde

ifade edilir.



(3.1) reaksiyonu bir "oksitlenme" reaksiyonu yani elektron veren bir reaksiyon olduğu için "anodik reaksiyon" olarak isimlendirilir. Elektron kaybeden, yani korozyona uğrayan demire ise "anot" denir.

(3.1) reaksiyonunda açığa çıkan elektronlar başka bir reaksiyon tarafından kullanılıp harcanmazlarsa korozyon reaksiyonu oluşamaz.

Dolayısıyla korozyonun meydana gelebilmesi ancak "elektronları harcayacak" bir başka reaksiyon yani "redüksiyon" reaksiyonu mevcut ve anodik reaksiyonla aynı anda geliyorsa mümkündür. Elektron harcayan "redüksiyon" reaksiyonuna "katodik reaksiyon" ve yüzeyinde elektronların sarf edildiği metale veya metalin o bölgesine ise "katot" denir. Denizel ortamda redüklenmesi mümkün iki madde mevcuttur.

a) Deniz suyu içinde çözülmüş havanın oksijeni

b) Deniz suyunun hidrojen iyonu

Bu iki maddenin redüklenmesi şu şekilde ifade edilir.



Deniz suyunda her zamanda bulunan ve redüklenmesi en kolay madde çözülmüş oksijendir. Genelde sıcaklık, biyolojik aktivite ve suyun hareketliliğine bağlı olarak deniz suyundaki çözülmüş oksijen miktarı 4-20mg/l arasında değişir ve hatta sıfır olabilir.

Deniz suyu pH sı, yani asitliliği nötre yakın olduğu için hidrojenin redüklenmesinden çok oksijenin redüksiyonu bu ortamda en önemli katodik reaksiyondur. Deniz suyunda çözülmüş oksijen miktarı sınırlıdır. Dolayısıyla demirin çözünmesi sonucu açığa çıkacak elektronların ancak bir kısmı oksijenin redüklenmesi ile harcanabilir. Başka bir deyişle metalin çözünme hızını deniz suyunda çözülmüş sınırlı miktardaki oksijen kontrol eder, yani demirin çok yüksek hızla korozyona uğraması mümkün olmaz.

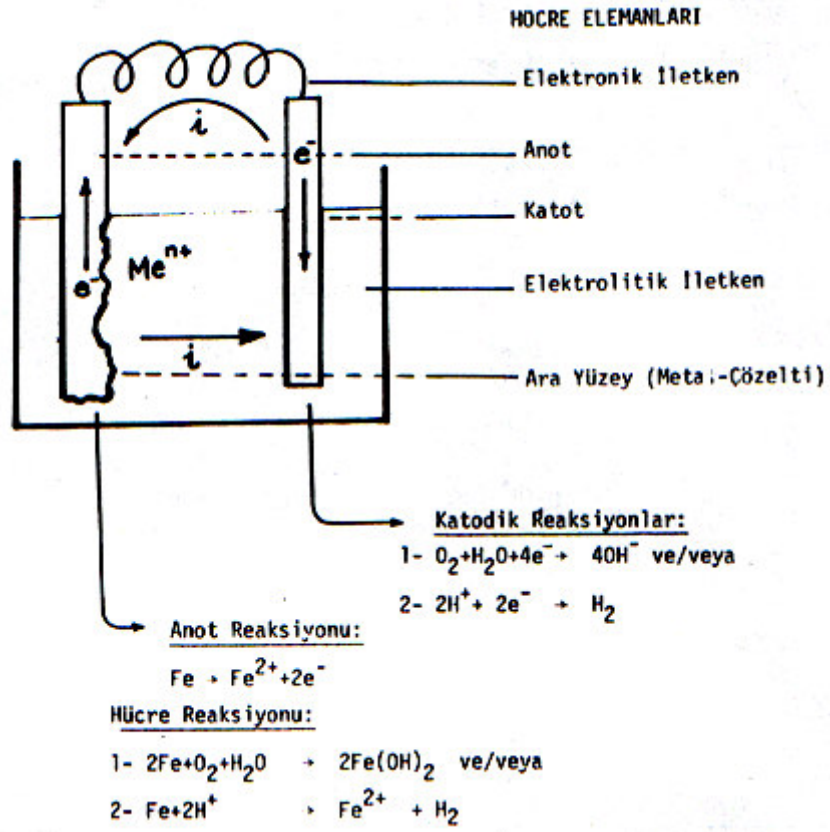
Çözünme ile anot bölgesinde açığa çıkan elektronların katot bölgesine nakledilmeleri her iki bölge arasında "elektronik" bir bağ mevcut ise mümkündür. Genelde çeliğin bir bölgesi anot bir başka bölgesi katot olarak davrandığı için "elektronik iletken" çeliğin bizzat

kendisidir.Fakat eğer anot ve katot aynı metaller veya aynı metalden iki bağımsız parça ise bunların mutlaka birbirleriyle temas ettirilmeleri gereklidir.Aksi halde anot ve katot bölgeleri arasında elektron alış verişi meydana gelmez ve korozyon olmaz.Korozyonu önleme yolları arasında en önemli yöntem anot-katot arasındaki elektriksel ilişkiyi keserek elektron hareketlerini engellemektir.

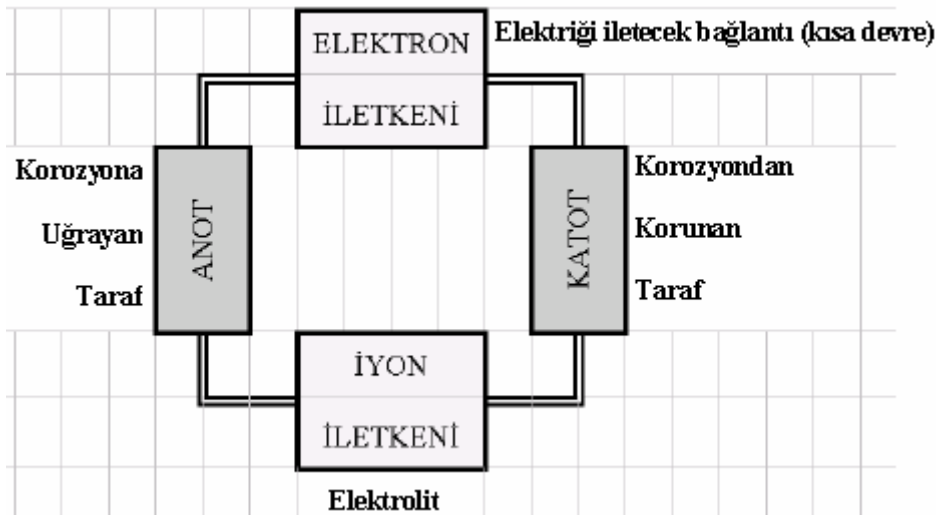
Anot ve katot olarak davranan bölgelerin birbirlerinden makroskobik boyutta ayrı olmaları yani çözünen "anodik" bölge ile çözünmeyen "katodik" bölgenin farklılığı, metalin bir bölümünün anodik tercihli çözünmesine neden olur.Bu tip korozyona "bölgesel" korozyon denir.Anot ve katot reaksiyonlarından oluşan korozyon hücresine de "makro korozyon hücresi" adı verilir.

Metal yüzeyi üzerinde aynı noktanın zamana bağlı olarak hem anot hem de katot şeklinde davranması ise bu gibi metal yüzeylerinin her tarafta eşit korozyona uğramasına yani "homojen" korozyonuna neden olur. Homojen korozyondaki korozyon hücreleri "mikrokorozyon" hücreleridir.Bu tip korozyonda belirgin bir anodik veya katodik bölge yoktur.

Deniz suyu içinde metal yüzeyinin bir bölümünde metalin çözünmesi diğer bölümünde oksijenin redüklenmesi ve iki bölüm arasında elektronların metal içinde nakledilmesiyle oluşan "korozyon hücresi, ancak anot ve katot arasında elektrik akımını iyonlar vasıtasıyla nakleden bir "elektrolitin" "çözeltinin" bulunmasıyla tamamlanabilir.Aksi halde elektriksel çevirim tamamlanamadığı için elektron hareketi gerçekleşemez, korozyonda oluşamaz.Deniz suyu korozyon hücresinin "elektrolitik" iletken bölümünü oluşturur. Şekil 3.2'de anot ,katot,elektronik ve elektrolitik iletken ile metal /çözelti ara yüzeyinden oluşan "korozyon hücresi" şematik gösterilmiştir.Anot/çözelti ara yüzeyinde oluşan oksidasyon sonucu metalin kimyasal değişikliğe uğrayarak iyon halinde çözeltiliye geçişi "elektrokimyasal" bir reaksiyon olarak bilinir.Korozyon elektrokimyasal bir olaydır.Elektrokimyasal olaylarda (katodik veya anodik) mutlaka bir elektron alışverişi söz konusu ise de bu koşul tek başına yeterli değildir.Elektron alışverişinin belirli,devamlı ve elektriksel yük dağılımı bozulmuş bir bölgede meydana gelmesi gereklidir.İki gaz atomunun çarpışarak birisinin oksitlenip öbürünün redüklenmesi yani aralarında elektron alıp vermeleri,elektrokimyasal reaksiyon olarak tanımlanamaz. (Çakır, 1988).



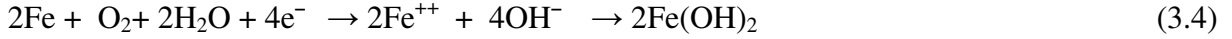
Şekil 3.2 Korozyon hücresi (Çakır, 1988)



Şekil 3.3 Korozyon hücresinin elemanları; anot,katod,elektrolit,elektron iletkeni [3]

3.2 Elektrokimyasal Korozyon

Denizel ortamda oluşan korozyon elektrokimyasal mekanizma ile gerçekleşir. Deniz suyunda çeliğin çözülüp oksijenin redüklenmesi kendi kendine oluşan tabii bir reaksiyondur. Reaksiyonun oluşması için hariçten bir enerji verilmesine gerek yoktur. Demirin oksitlenip, oksijenin redüklenmesinin bir arada gelişmesi ile oluşan demir ve hidroksil iyonlarının meydana gelme reaksiyonları, reaksiyon (3.1) ve (3.2)'yi toplayıp hücre reaksiyonunu yazalım.



(3.4) reaksiyonunun sol kısmının toplam enerjisi sağ kısmının toplam enerjisinden daha fazladır. Bu nedenle ısının yüksek sıcaklıktaki bölgeden alçak sıcaklıktaki bölüme veya suyun yüksekte alçağa tabii olarak akışından olduğu gibi, (3.4) reaksiyonu da tabii olarak soldan sağa gelişir. Bu gelişimin olasılığı, reaksiyonun sağ ve sol bölümü arasındaki enerji farkı ile orantılıdır. Korozyon reaksiyonu soldan sağa tabii olarak ve kontrol edilemeden gelişen bir reaksiyondur. Eğer soldan sağa gelişen bu kimyasal değişim, istenildiği zaman başlatılıp durdurulabilen bir sistem oluşturur ise bu sisteme "pil" denir. Korozyon hücresi kontrol altında tutulamayan bir pile eşdeğerdir. (3.4) reaksiyonunun sağ ve sol tarafı arasında ki enerji farkından gidilerek korozyon hücresinin elektriksel potansiyeli hesaplanabilir.

$$\Delta E = -\Delta G / nF \quad (3.5)$$

ΔG (3.4) reaksiyonunun sağ bölümü ile sol bölümü arasındaki enerji farkı, gibbs serbest enerjisi

ΔE Korozyon hücresinin potansiyel farkı

n Korozyon reaksiyonu sırasında alınıp verilen elektron sayısı

F Faraday sabiti

(3-5) denkleminde yararlanarak (3.1), (3.2), (3.3), (3.4) reaksiyonlarının potansiyelleri hesaplanabilir. Örneğin tüm reaksiyonlar (3.2), (3.3) gibi redüksiyon reaksiyonları şeklinde yazılıp standart koşullarda (iyonların aktivitesi 1, sıcaklık 25 C ve basınç 1 atm) potansiyelleri hesaplanıp sıralanabilir. Bu hesaplamada hidrojenin standart potansiyeli "0" kabul edilir. Bu şekilde elde edilen sıralamaya elektromotif kuvvet (EMK) dizisi denir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 Elektromotif kuvvet serisi (Çakır, 1988)

	Sistem (Standart Koşullarda)	Standart Hidrojen Elektrotuna Göre Potansiyel (SHE)
Aktif	Mg/ Mg ²⁺	-2.363
(Anodik)	Al/ Al ³⁺	-1.662
(-)	Zn/ Zn ²⁺	-0.763
	Cr/ Cr ³⁺	-0.744
	Fe/ Fe ²⁺	-0.440
	Cd/ Cd ²⁺	-0.403
	Ni/ Ni ²⁺	-0.250
	Sn/ Sn ²⁺	-0.136
	Pb/ Pb ²⁺	-0.126
	H ₂ / H ⁺	0.000
	Cu/ Cu ²⁺	+0.337
	Hg/ Hg ²⁺	+0.788
(+)	Ag/ Ag ⁺	+0.799
Asil	Pt/ Pt ²⁺	+1.2
(Katodik)	O ₂ / OH ⁻	+1.229
	Au/ Au ³⁺	+1.498
Standart koşul = T=25°C, P=1 atm, iyon aktiviteleri=1		
(H ⁺ oluşum serbest enerjisi sıfır)		
Reaksiyon	= Men ⁺ + ne ⁻ ↔ Me (Redüksiyon)	

Bu dizide (+) potansiyelli olanlarda metal iyonunun metal atomuna dönüşümü, (-) potansiyelli olanlarda ise metal atomunun metal iyonuna dönüşümü olayı daha olasıdır. Dolayısıyla (+) potansiyelde artış "asilliğin" (çözünmeye direncin), (-) potansiyelde artış ise "aktifliğin" (çözünme eğiliminin) bir ölçüsü olarak kabul edilir. EMK dizisindeki herhangi iki reaksiyon eşleştirildiğinde negatif yönde bulunan reaksiyon çözünme (yani anodik veya korozyon) eğilimine sahip reaksiyonu, pozitif yöndeki ise redüklenme (yani katodik) eğiliminde olanı gösterir. EMK dizisine bakarak hangi metallerin hangi sistemle eşleştirildiklerinde korozyona uğrayacaklarını söylemek mümkündür. Örneğin hidrojene göre (-) yönde yer alan tüm metaller hidrojenin redüklenmesi ile korozyona uğrayabilecekleri gibi oksijenin redüklenmesi ile de uğrayabilirler. Oksijen ve hidrojenin redüklenme potansiyeli arasında kalan, örneğin bakır gibi metaller ise yalnız oksijenin redüksiyonu ile korozyona uğrarlar.

EMK serisi teorik bir seridir. Bize gerçeği tam yansıtmaz, ancak bir ön fikir verir. Metal veya alaşımların deniz suyu içindeki potansiyellerinin ölçülerek bulunması ile elde edilen potansiyel dizisine ise "galvanik seri" denir ve bu seri korozyon olasılığının tahmininde EMK serisinden daha sağlıklı olarak kullanılabilir (Çizelge 3.2). (Çakır, 1988)

Çizelge 3.2 Deniz suyunda (hareketli) ölçülen metal potansiyelleri (galvanik seri) (Dexter, 2003)

	Anodik yada aktif	
Alaşım		Referans elektrod alaşım voltaj oranı
Magnezyum		-1.60/-1.63
Çinko		-0.98/-1.03
Alüminyum alaşımları		-0.7/-0.9
Kadmiyum		-.07/-0.76
Dökme demir		-0.6/-0.72
Çelik		-0.60/-0.70
Alüminyum bronz		-0.3/-0.40
Kırmızı pirinç, sarı pirinç		-0.3/-0.4
Bakır		-0.28/-0.36
Kurşun-kalay cevheri		-0.26/-0.35
Manganezli bronz		-0.25/-0.33
Silikon bronz		-0.24/-0.27
400 serisi paslanmaz çelikler		-0.20/-0.35
90-10 Bakır-nikel		-0.21/-0.28
Kurşun		-0.19/-0.25
70-30 Bakır-nikel		-0.13/-0.22
17-4 pH paslanmaz çelik		-0.10/-0.20
Gümüş		-0.09/-0.14
Bakır-nikel alaşımı (monel)		-0.04/-0.14
300 serisi paslanmaz çelikler		-0.00/-0.15
Titanyum ve titanyum alaşımları		+0.06/-0.05
Platinyum		+0.25/+0.18
Grafit		+0.30/+0.20
	Katodik yada soy	

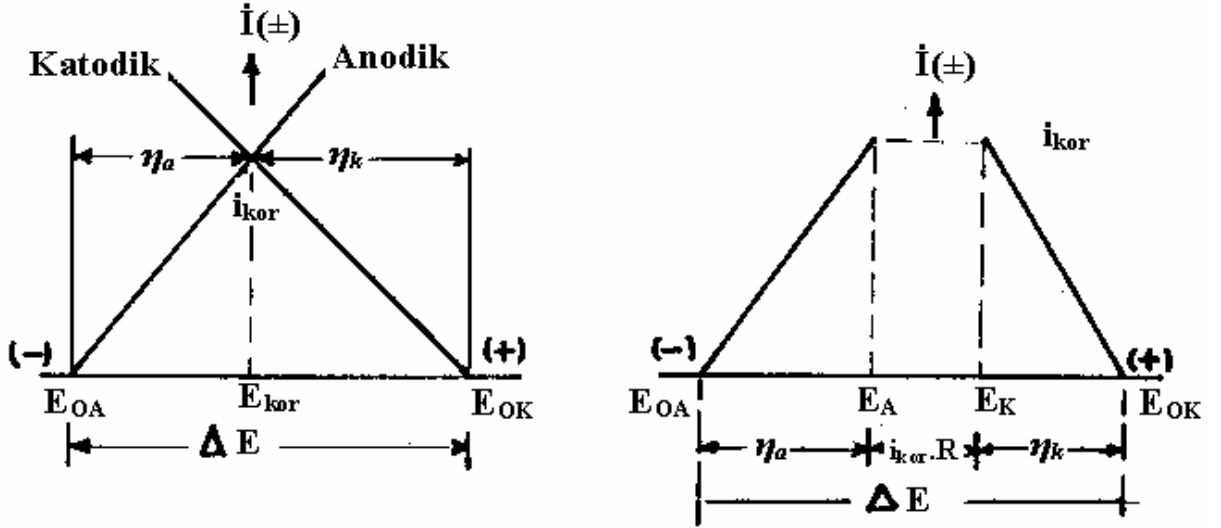
Galvanik seri ile korozyon olasılığının tahminini bir örnekle açıklayabiliriz; Bazı alüminyum alaşımları deniz suyunda hızlı korozyona uğramaz ve gemi teknelerinde kullanılır. Bazı bronz alaşımları da deniz suyunda hızlı korozyona uğramaz ve gemi pervanelerinde kullanılır. Pervaneler ve tekne arasında elektronik bir bağ mevcut değilse problem çıkmaz. Fakat eğer bu

iki materyal, yatak, dişli yada motor vasıtası ile elektronik bir bağ oluşturuyorsa, galvanik seriden yararlanarak korozyon olasılığını tahmin edebiliriz. Alüminyum bronzla göre daha aktiftir ve elektronik bağ alüminyum tekneyi anot yapar. Korozyona uğrayan alüminyum tekne zarar görür.

Bir galvanik seri, metal voltajlarının sıralandığı basit bir liste yada voltaj oranlarının belirtildiği komplike bir çizelge halinde olabilir (Harvey, 1999).

Deniz suyuna daldırılmış bir çelik parçası korozyona uğrarken demir belirli bir hızla çözünür yani birim zamanda belirli bir miktarda elektron açığa çıkar. Katodik olay ile de bu elektronlar harcanır. Dolayısıyla birim zamanda alınıp verilen elektronlar "akım" olarak ölçülebilirler. Faraday kanunundan yararlanarak akım ile kimyasal şekil değiştiren madde arasında ilişki kurulabilir. Korozyon sırasında devreden geçen akıma "korozyon akımı" denilir. Devreden net bir akım geçişi ancak bir enerji sarfı ile mümkündür. Bu enerji ise korozyon hücrelerini anot katot reaksiyonu arasındaki potansiyel farkıdır. Bu potansiyel farkının bir kısmı anodik, diğer bir kısmı da katodik reaksiyon için harcanır. Anodik ve katodik reaksiyonların net bir hızla oluşması için "harcanan" ek enerjiye "anodik" veya "katodik" "fazla voltaj" veya bazı kaynaklarda "anodik" veya "katodik" "polarizasyon" denir. Sonuçta eş hızla anodik ve katodik reaksiyonlar (korozyon akımı, i_{kor}) oluşurken korozyon hücrelerinin toplam enerjisi de bu iki reaksiyon tarafından paylaşılmış olur. Fakat korozyon hücrelerinin tüm enerjisi yalnız anodik ve katodik reaksiyonlar tarafından paylaşılmaz .

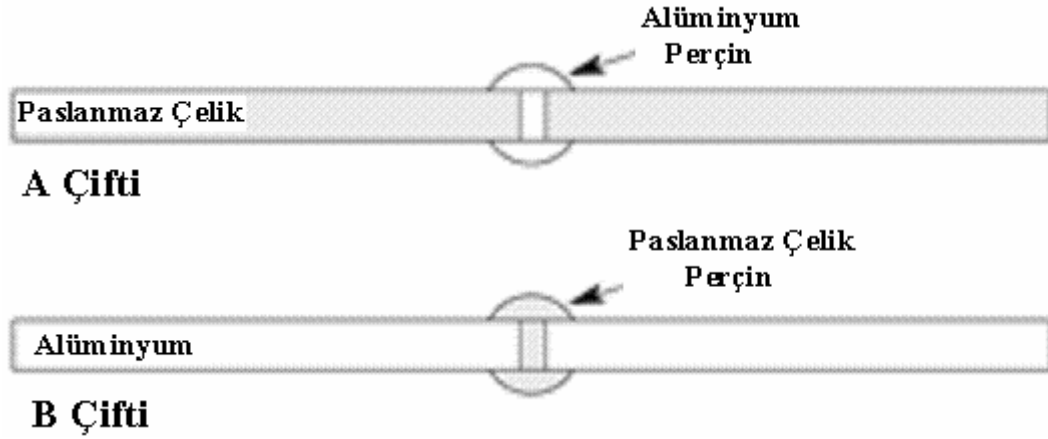
Hücreden geçen akımın yenmek zorunda olduğu direnç içinde (çözelti, metal/çözelti ara yüzeyi, metal dirençleri) bir enerji sarfı söz konusudur. Bu enerjiye "dirençle bağlı potansiyel düşüşü" adı verilir. Korozyon olayında, toplam enerjinin mümkün olan en büyük oranda, dirençle bağlı potansiyel düşüşüne harcanması halinde, anodik ve katodik reaksiyonun payına düşen enerji azalır. Dolayısıyla, korozyon reaksiyonu hızı yavaşlatılmış olur. Sistem direncini arttırarak korozyon hızını azaltmak işte bu şekilde mümkün olmaktadır (boyama ile metal/çözelti ara yüzey direncini arttırma gibi). Şekil 3.4'de korozyon hücrelerinin akım potansiyel ilişkileri Evans diyagramı olarak bilinen basitleştirilmiş halleriyle gösterilmiştir (Çakır, 1988).



ΔE	Korozyon hücresi potansiyeli
E_{oA}	Anodun denge potansiyeli ($i=0$)
E_{oK}	Katodun denge potansiyeli ($i=0$)
E_A	Anodun korozyon potansiyeli
E_K	Katodun korozyon potansiyeli
i_{kor}	Korozyon akımı
E_{kor}	Korozyon potansiyeli
R	Sistemin direnci
η_a	Anodik reaksiyonun fazla voltajı
η_k	Katodik reaksiyonun fazla voltajı

Şekil 3.4 Evans diyagramları (Çakır, 1988)

Korozyon hızını etkileyen bir diğer faktör ise katot/anot (C/A) alan oranıdır. Katot/anot alan oranı etkisini ilk olarak Sir Humphry Davy, midyelerin gelişmesini önlemek için, gemilerin diplerine bağlanan bakır plakaları incelerken keşfetmiştir (Harvey, 1999). Bu faktör Şekil 3.5'de gösterilen bir plakaya monte edilmiş perçin örneği ile açıklanabilir. Her iki malzeme çiftinde de alüminyum anot ve paslanmaz çelik katottur. A malzeme çiftinde alüminyum perçinin alanı, paslanmaz çelik plakaya oranla oldukça küçüktür ve dolayısıyla katot/anot oranı küçük olur. B malzeme çiftinde ise bunun tersine, paslanmaz çelik perçinin alanı alüminyum plakaya oranla daha küçüktür ve katot/anot oranı da küçük olur. Her iki malzeme çiftinde de potansiyel farkı aynı olmasına rağmen, A malzeme çiftindeki alüminyum perçinin korozyon hızı bir hayli yüksektir. Buna karşın, B malzeme çiftindeki geniş alüminyum plakanın korozyon hızı oldukça azdır (Dexter, 2003).



Şekil 3.5 Katot / anot (C/A) oranının galvanik korozyon üzerine etkisi (Dexter, 2003)

3.3 Deniz Suyunun Korozyona Etkisi

Yeryüzünde bulunan elementlerin birçoğu deniz suyu içinde mevcuttur. Temiz deniz suyu içinde en çok bulunan 11 iyon ve molekülün ortalama konsantrasyonu Çizelge 3.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 Temiz deniz suyu içinde en çok bulunan 11 iyon ve molekülün ortalama konsantrasyonu(‰ 35 Tuzluluk, 1.023 g.cm-3 yoğunluk, 25°C sıcaklıkta) (Roberge, 1999)

Tür	Konsantrasyon	
	mmol-1.kg-1	g.kg-1
Na ⁺	468.5	10.77
K ⁺	10.21	0.399
Mg ²⁺	53.08	1.290
Ca ²⁺	10.28	0.4121
Sr ²⁺	0.090	0.0079
Cl ⁻	545.9	19.354
Br ⁻	0.842	0.0673
F ⁻	0.068	0.0013
HCO ₃ ⁻	2.30	0.140
SO ₄ ²⁻	28.23	2.712
B(OH) ₃	0.416	0.0257

Buna ilave olarak deniz suyu, çözülmüş organik materyalleri ve yaşayan organizmaları içerir. Deniz suyundaki çözülmüş materyallerin konsantrasyonu konuma ve zamana bağlı olarak değişim gösterir (Roberge, 1999). Mevsimler, fırtınalar ve gel-git olayları, deniz suyunun yapısında konuma bağlı değişimlere sebep olur (Heiderbach, 1987). Yağmur yada erimiş buzlar deniz suyunu seyreltirken, buharlaşma deniz suyunu deriştirir (Roberge, 1999).

Deniz suyunun sahip olduğu en önemli özellikler aşağıda belirtildiği gibi sıralanabilir;

- Yüksek tuz konsantrasyonu
- Yüksek elektrik iletkenliği
- Oldukça yüksek ve kararlı pH değeri
- Çözme kabiliyeti
- Organik bileşiklerin varlığı
- Biyolojik yaşamın varlığı

Bu faktörlerin bazıları derinlik, sıcaklık , ışığın gücü ve besinlerin varlığı gibi fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişkenlere bağlıdır (Roberge, 1999).

Denizler yeryüzünün 2/3 ünü kaplayan yüksek tuz içerikli tabii sulardır.Deniz suyu elektriksel direnci düşük bir elektrolittir.(Çizelge 3.4)

Çizelge 3.4 Suların elektriksel direnci (yaklaşık Ω cm cinsinden değerler) (Çakır, 1988)

Saf su	20 000 000
Damıtık su	500 000
Yağmur suyu	20 000
Musluk suyu	1-5 000
Irmak suyu (acı)	200
Deniz suyu (sahil)	30
Açık deniz	20-25

Deniz suyundaki toplam çözünmüş tuz miktarına "tuzluluk" denir ve "binde" cinsinden ifade edilir;

$$\text{Tuzluluk} = 0.33 + (1.805 \times \text{Klorluluk})$$

Klorluluk ise deniz suyunun gümüş nitrat ile çöken tüm alkalilerinin (başta klorür olmak üzere bromür ve iyodürlerin hepsi) binde cinsinden miktarıdır ve klorür cinsinden ifade edilir.Klorluluk tüm halojenleri çöktürmek için harcanan gram cinsinden gümüşün 0.328533 ile çarpımı ile bulunur.

Genel olarak okyanuslarda tuzluluk ‰ 33-37 arasında değişir.Deniz suyu bileşimindeki en önemli iyonlar, Cl^- , Na^+ , SO_4^- , Mg^{++} , Ca^{++} , K^+ , HCO_3^- dür.

Deniz suyunda çözünmüş oksijen miktarı sıcaklık artışı ile azalır.Çizelge 3.5'de normal bir

tuzluluğa sahip ve atmosfer ile dengedeki deniz suyunda çözünmüş oksijen miktarları verilmiştir. Deniz suyunda çözünmüş oksijeni hareketlilik artırır. Biyolojik faaliyetler ise hem artırır hem de azaltabilirler.

Çizelge 3.5 Deniz suyunda çözünmüş oksijen miktarları (ml/l olarak) (Çakır, 1988)

Sıcaklık °C	-2	0	5	10	15	20	30
Çözünmüş Oksijen	8.52	8.08	7.16	6.44	5.86	5.38	5.42

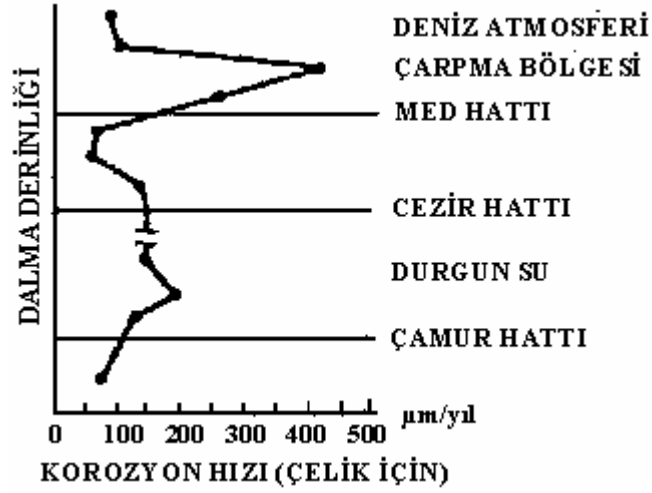
Deniz suyu sıcaklığı yaklaşık, -2°C ile 35°C arasında değişebilir (Çakır, 1988). Ortalama deniz suyu sıcaklığı, derin okyanuslarda 2-4°C, tropikal bölgelerde ise 29°C 'dir. Yoğunlaştırıcılarda deniz suyu sıcaklığı 43°C'a kadar yükselebilir. Tatlı su elde edebilmek için deniz suyunun 145-200°C arasında ısıtılması gerekir (Doruk, 1982).

Deniz suyu pH sı genelde 8.1 - 8.3 arasındadır. Durgun iç denizlerde pH 7 ye kadar düşebilir ve anaerobik bakterilerin etkisiyle hidrojen sülfürde oluşabilir.

Deniz suyunda metallerin korozyonu yüzeylerine çöken karbonat ve hidroksit bileşikleriyle kısmen engellenebilir. Bu nedenle deniz suyu içindeki kalsiyum bikarbonat ve magnezyum sülfat önemli rol oynar. Bilindiği gibi oksijen redüksiyonu OH⁻ iyonu ürettiği için pH yükselmesine neden olur, buda (3.6) ve (3.7) reaksiyonlarının soldan sağa doğru gelişmelerine yani CaCO₃ ve Mg(OH)₂' in katodik bölgelere çökmesine neden olur; (Çakır, 1988).

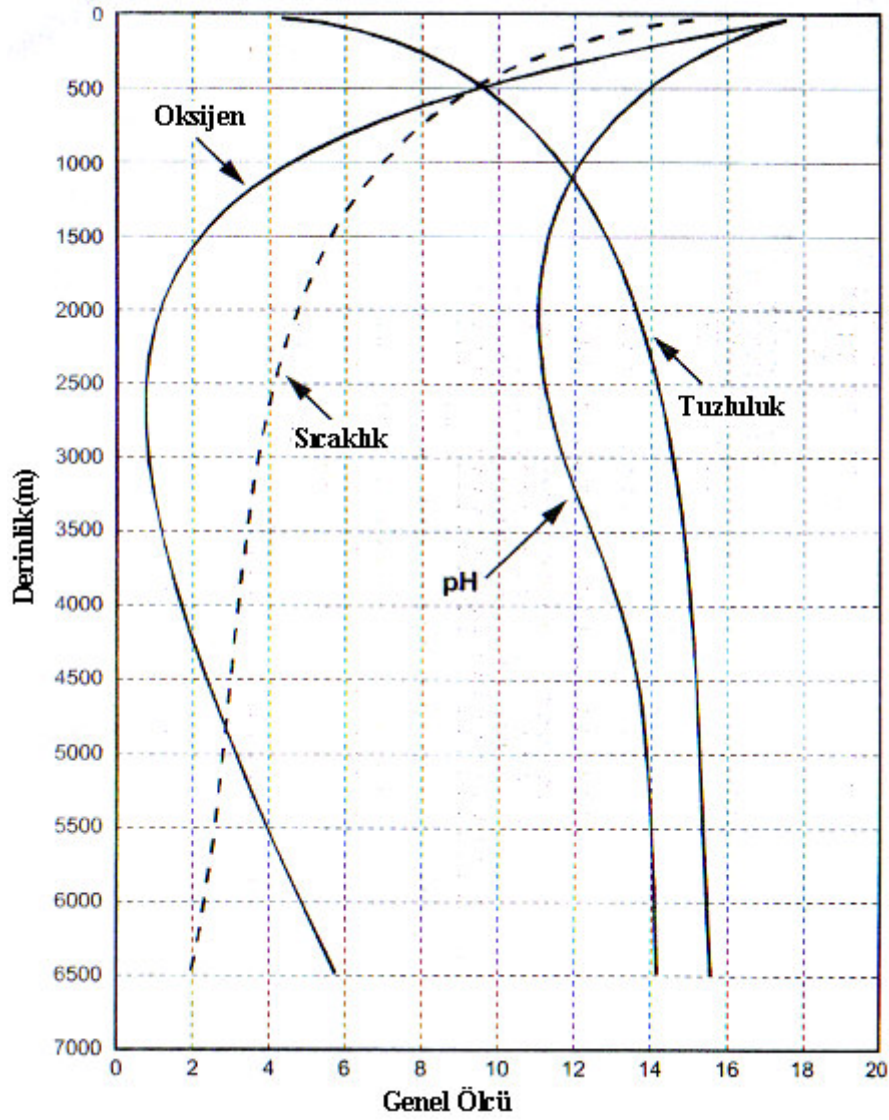


Deniz yapıları dalma durumuna göre deniz korozyonundan farklı biçimlerde etkilenirler. Örneğin, çelik bir yapının deniz atmosferi, çarpma bölgesi, med ve cezir alanları, durgun su ve çamur hizasındaki ortalama korozyon hızları Şekil 3.6'da görülmektedir. Bir yandan korozyonu önleyici yüzey tabakalarının tutunamamaları diğer yandan da çarpan suyun oksijen bakımından zengin olması korozyon hızının çarpma bölgesinde en yüksek değere ulaşmasını sonuçlar. Bu nedenle, deniz yapıları genellikle su seviyesinin hemen üstünde yoğunlaşan çukurcuk korozyonu ile bozulurlar (Doruk, 1982).



Şekil 3.6 Denizde korozyon hızının dalma derinliğine göre değişimi (Doruk, 1982)

Metal ve alaşımlarının deniz suyundaki korozyonunu etkileyen faktörler, tuzluluk etkisi, metal yüzeyine erişen oksijen miktarının etkisi, karbondioksit ve pH etkisi, biyolojik organizmaların etkisi, sıcaklığın etkisi ve akış hızının etkisi olarak özetlenebilir. Şekil 3.7’de Pasifik okyanusu test bölgesinde derinlik ile sıcaklık, oksijen, pH ve tuzluluk değişimleri örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Pasifik okyanusu test bölgesinde derinlik ile deniz suyunun değişimi. (Roberge, 1999)

Birimler aşağıdaki dönüşüm ile değerlendirilecektir.

Sıcaklık: Genel ölçü x 1(°C)

Oksijen: Genel ölçü x 0.333(ppm)

Ph: 6.4 + genel ölçü x 0.1 (pH birimi)

Tuzluluk: 33.0 + genel ölçü x 0.1 (‰) (Roberge, 1999)

3.3.1 Tuzluluğun korozyona etkisi

Yüksek tuzluluk, deniz suyunun iletkenliğini artırarak korozyonun hızlanmasına sebep olur.

Deniz suyunun iletkenliğinin sıcaklık ve klorluluğa bağlı olarak değişimi Çizelge 3.6'da gösterilmiştir. Deniz suyunun yüksek iletkenlik özelliğine sahip olması nedeniyle, korozyon reaksiyonlarının oluşumunda, elektrolit direncinin önemi azalırken yüzey alanının önemi artar.

Çizelge 3.6 Sıcaklık ve klorluluğun bir fonksiyonu olarak deniz suyunun spesifik iletkenliği (Heiderbach, 1987)

İletkenlik: $\Omega^{-1} - \text{cm}^{-1}$

Klorluluk ‰	Sıcaklık, °C (°F)					
	0 (32)	5 (40)	10 (50)	15 (60)	20 (70)	25 (75)
1	0.001839	0.002134	0.002439	0.002763	0.003091	0.003431
2	0.003556	0.004125	0.004717	0.005338	0.005971	0.006628
3	0.005187	0.006016	0.006872	0.007778	0.008702	0.009658
4	0.006758	0.007845	0.008958	0.010133	0.011337	0.012583
5	0.008327	0.009653	0.011019	0.012459	0.013939	0.015471
6	0.009878	0.011444	0.013063	0.014758	0.016512	0.018324
7	0.011404	0.013203	0.015069	0.017015	0.019035	0.021121
8	0.012905	0.014934	0.017042	0.019235	0.021514	0.023868
9	0.014388	0.016641	0.018986	0.021423	0.023957	0.026573
10	0.015852	0.018329	0.020906	0.023584	0.026367	0.029242
11	0.017304	0.020000	0.022804	0.025722	0.028749	0.031879
12	0.018741	0.021655	0.024684	0.027841	0.031109	0.034489
13	0.020167	0.023297	0.026548	0.029940	0.033447	0.037075
14	0.021585	0.024929	0.028397	0.032024	0.035765	0.039638
15	0.022993	0.026548	0.030231	0.034090	0.038065	0.042180
16	0.024393	0.028156	0.032050	0.036138	0.040345	0.044701
17	0.025783	0.029753	0.033855	0.038168	0.042606	0.047201
18	0.027162	0.031336	0.035644	0.040176	0.044844	0.049677
19	0.028530	0.032903	0.037415	0.042158	0.047058	0.052127
20	0.029885	0.034454	0.039167	0.044114	0.049248	0.054551
21	0.031227	0.035989	0.040900	0.046044	0.051414	0.056949
22	0.032556	0.037508	0.042614	0.047948	0.053556	0.059321

Bu konuyu 2 örnekle açıklayabiliriz;

Tatlı su içinde, birbiriyle temas halinde olan iki metal arasında oluşan galvanik korozyon, yüksek elektrolit direnci nedeniyle temas yüzeyleri yakınlarında oluşmaya meyillidir. Buna karşılık, deniz suyu içinde oluşan galvanik korozyon, daha çok dışa yayımlıdır ve temas yüzeylerinde daha az etkilidir.

Deniz suyu içinde, geniş alanlı, paslanmaz çelik gibi katodik bir metalin galvanik saldırınlığı, tatlı suda olduğundan daha şiddetlidir. Bunun sebebi, deniz suyunun yüksek iletkenliği nedeni ile, paslanmaz çeliğin tüm yüzey alanının, korozyon reaksiyonuna

katılmasıdır. Benzer şekilde, çukurcuk korozyonu da deniz suyu içinde daha şiddetli olur.

Tuzluluğun korozyona diğer bir etkisi; klorür iyonlarının, paslanmaz çelik ve alüminyum gibi metal yüzeylerindeki pasif filmi bozmasıdır. Yüksek tuzluluk, klorür iyonlarının, metal yüzeylerindeki pasif filme kolaylıkla nüfuz etmesine neden olur. Metal yüzeylerindeki pasif filmin bozulması, çukurcuk ve aralık korozyonuna sebep olur.

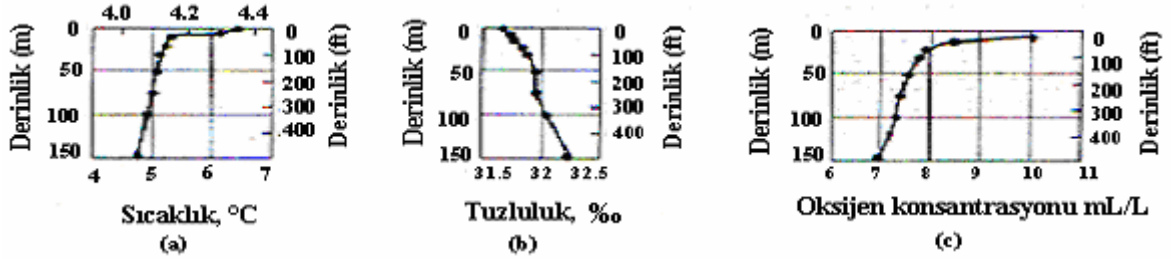
3.3.2 Oksijenin korozyona etkisi

Korozyon prosesi için en önemli bileşenler, karbon dioksit ve oksijen gibi çözünmüş gazlardır. Bu gazların konsantrasyonu, hava-deniz değişimlerinden ve biyokimyasal proseslerden çok etkilendiğinden değişkendir. Deniz suyu içindeki oksijenin çözünürlüğü, sıcaklık ve tuzlulukla ters orantılı olarak değişir. Özellikle sıcaklık, oksijen çözünürlüğünde daha etkin rol oynar.

Genellikle deniz yüzeyindeki sular, spesifik bir sıcaklıktaki atmosferde, oksijenle denge halindedir. Bazı koşullar deniz suyunun, oksijenle aşırı doymasına sebep olabilir. Bu koşullardan birincisi, mikroskobik deniz bitkilerinin fotosentezinin sebep olduğu oksijen üretimidir. Fotosentez, birkaç haftanın üstündeki periyotlarda %200 doygunluğa kadar yükselen konsantrasyonlar üretebilir. Aşırı oksijen doygunluğu genellikle, kıyıya yakın bölgelerde, kısa süreli olarak gözlenir.

Aşırı oksijen doygunluğuna neden olan diğer bir koşul ise, dalga hareketlerinden kaynaklanan hava kabarcıklı ortamdır. Bu faktör genellikle %10'dan daha fazla aşırı doygunluğa sebep olmamaktadır.

Yüzey suları, atmosferik koşullarda, oksijenle doymuş yada aşırı doymuş haldedir. Derin sular ise genellikle, doyma değerinin altındadır. Bunun nedeni, derin sularda bulunan organik maddelerin, biyokimyasal oksidasyonu esnasında oksijen tüketilmesidir. Kıyısal bölgelerde, derinliğe bağlı olarak oksijen konsantrasyonunun değişimi Şekil 3.8'de gösterilmiştir (Heiderbach, 1987).

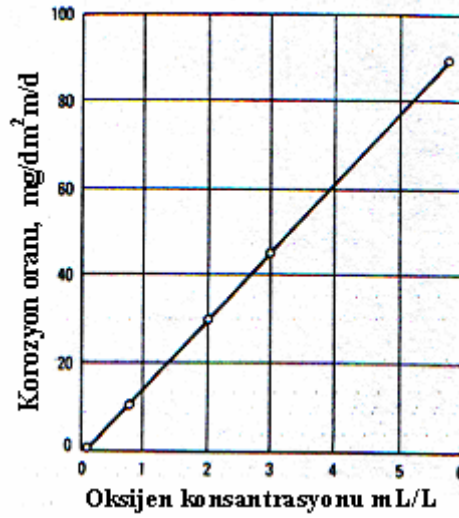


Şekil 3.8 Kıyısal bölgelerde sıcaklık(a), tuzluluk(b) ve oksijen(c) konsantrasyonunun derinliğe bağlı olarak değişimi (Heiderbach, 1987)

Herhangi bir metalin muhtelif kısımlarının, farklı oksijen içeriğine sahip deniz suyuna daldırılması halinde, metalin yüksek çözünmüş oksijen içeren deniz suyu ile temas eden kısımlarının katot, düşük çözünmüş oksijen içeren deniz suyu ile temas eden kısımlarının ise anot olarak davrandığı gözlenir. Bu olaya "farklı havalandırma" nedeni ile oluşan korozyon denir ve deniz içinde hareketsiz duran ve özellikle sathıtan zemine uzayan çelik yapılar için önemli bir tehlike oluşturur. Hareketli yapılarda örneğin, gemilerde bu tehlike yoktur. Limanda demirleme veya depolama sırasında da nadiren bir tehlike teşkil eder.

Deniz suyunda metal yüzeyine erişen oksijen redüklenerek metali korozyona uğratar. Fakat katodik bölgelerdeki pH artışı nedeniyle çelik yüzeyinde oluşan koruyucu tabaka zamanla genişleyerek korozyona uğrayan anodik alanı daraltır. Dolayısıyla genelde boyanmadan çıplak olarak denize daldırılan bir çelik parçası 100-150 gün sonra sabit bir korozyon hızına erişir. Bu şekildeki korunmamış bir çeliği katodik korumak için gerekli akım ihtiyacı da zamanla azalarak sabit hale gelir. Aynı şekilde çelik yapı ile deniz suyu arasında rölatif bir hız bulunması halinde hızın artışı metal yüzeyine erişecek oksijen miktarını arttırdığı için korozyon hızı da artar. Dolayısıyla bu durumda çeliği katodik olarak korumada gerekli akım yoğunluğu da hızın artışı ile artar. Denizel yapılarda deniz suyu seviyesinin hemen üstünde, çarpıntı bölgesinde korozyon en şiddetlidir. Daima ıslanan kuruyan bu bölgedeki su filmi atmosferle devamlı temasta olduğu için yüksek çözünmüş oksijen içeriğine sahiptir. Dolayısıyla bu bölgedeki korozyonda diğer bölgelere göre daha şiddetlidir (Çakır, 1988).

Sabit sıcaklıktaki deniz suyu içinde demir ve çelik gibi aktif metallerin korozyon oranı, Şekil 3.9'da gösterildiği gibi çözünmüş oksijen konsantrasyonunun direkt doğrusal bir fonksiyonudur.



Şekil 3.9 Yavaş hareketli su içinde, oksijen konsantrasyonunun düşük karbon çeliklerinin korozyonuna etkisi (Heiderbach, 1987)

Alaşımelerde, deniz suyu içindeki yüksek oksijen konsantrasyonu, pasif film oluşumunu hızlandırma eğilimindedir. Böylece, çukurcuk korozyonunun başlangıcı gecikir. Diğer taraftan yüksek oksijen konsantrasyonu, çukurcuk başlangıcı sonrasında katodik reaksiyon oluşturarak çukurcuk korozyonunu hızlandırır.

Tüm alaşımlar için, korozyona en elverişli koşullar, metal yüzeyi üzerindeki iki bölgede farklı oksijen konsantrasyonlarının olduğu koşullardır. Bu koşullarda, metal yüzeyinin iki bölgesi arasında, 0.5 V gibi büyük bir potansiyel farkı oluşur. Hidrojen konsantrasyonunun en düşük olduğu bölgenin anot olduğu metal yüzeyinin parçası, yerel korozyona uğrar. Metal yüzeyindeki iki bölgede farklı oksijen konsantrasyonlarının oluşması, su içindeki değişimlerden kaynaklanmamaktadır. Bu farklar, yerel tortulardan yada metal yüzeyinde oksijen- siper bölgeleri oluşturan, yapısal dizayn faktörlerinden kaynaklanır.

Oksijen konsantrasyonundaki bu farklar, karbon yada düşük alaşımlı çelikler gibi aktif metallerde çukurcuk korozyonuna yol açabilir. Denizel ortamlarda, karbon yada düşük alaşımlı çeliklerde oluşan homojen dağılımlı korozyonun hızı, ortalama 50- 125 $\mu\text{m}/\text{yıl}$ 'dır.

3.3.3 Karbondioksit ve pH'in korozyona etkisi

Hava-deniz etmeninin karbondioksit konsantrasyonuna etkisi, oksijen konsantrasyonuna olan etkisinden daha azdır. Çünkü deniz suyu içindeki karbondioksit konsantrasyonu, bikarbonat ve karbonat iyonları tarafından tamponlanır. Karbondioksit, sulu bir asittir ve deniz suyu içinde iki şekilde iyonlaşır;



Hava-deniz etkisi ve fotosentez nedeniyle, deniz suyu yüzeyindeki pH değeri genellikle, 8'den daha büyüktür. Bu pH değerinde, toplam inorganik karbonun %93'ü HCO_3^- , % 6'sı CO_3^{2-} ve % 1'i CO_2 olarak bulunur. Yüzey suları, kalsiyum karbonat ve aragonitle aşırı doymuş durumdadır (Heiderbach, 1987). Karbonatla aşırı doymuş sularda, kalsiyum karbonat ayrışarak, metal yüzeyinde ince bir tabaka oluşturur. Bu tabaka elektronların geçişine izin vermediğinden metalle ortam arasında etken bir engeldir ve oluştuğu yerde korozyon olayı son bulmaktadır (Doruk, 1982).

Açık okyanuslarda deniz suyunun pH değeri yaklaşık olarak 7.5-8.3 arasındadır. pH değerinin değişimi, yapısal metal ve alaşımların korozyonu üzerine doğrudan etki etmemektedir. Ancak, alüminyum alaşımlarında durum farklıdır. Yüzey sularında 8.2 olan pH değerinin, derin sularda 7.5-7.7'ye düşmesi, çukurcuk ve aralık korozyonunda göze çarpan bir hızlanmaya neden olur. Bu durum, derin deniz sularında alüminyum alaşımlarının korozyonunun hızlandığını gösterir. Deniz suyu içinde, pH değerinin değişiminin korozyona direkt etkisi çok azdır. pH değerinin değişimi, metal yüzeyinde oluşan kalsiyum karbonat tabakasının oluşumunu etkileyerek korozyona dolaylı olarak etki eder.

3.3.4 Biyolojik organizmaların etkisi

Deniz suyuna daldırılan metal ve alaşımların yüzeyinde ilk olarak cansız organik bir film tabakası oluşur. Bu film tabakası, daldırma sonrasındaki iki saatlik bir periyot içinde oluşumunu tamamlar. Bu oluşumun ardından, 24-48 saatlik bir periyodun sonunda bakteriyel zayıf bir film tabakasının oluşumu gözlenir. Bu tabaka gelişimini iki haftalık bir periyot sonunda tamamlar. Bakteriyel film tabakası, metal-su ara yüzeyinde, birçok yerde korozyona neden olan kimyasal değişime sebep olur. Film içindeki organizmalar çok sayıda ürün oluştururlar. Bu ürünlerden organik asitler, hidrojen sülfid ve protein bakımından zengin polimerik maddeler balçık olarak adlandırılırlar. Organizma ve birleşik polimer film, metal-su ara yüzeyinde bir yayılma engeli oluşturur. Bu engelin %90'ı sudur. Dolayısıyla yerleştiği ara yüzeyi tamamen izole etmez.

Bu filmler nadiren sürekli bir yapıya sahiptirler. Bu sebeple, oksijenin geçişine izin verirler.

Film içindeki bozulan organik maddeler üzerindeki bakteriyel hareketler amonyak ve sülfür oluşumuna sebep olur. Amonyak, bakır alaşımlarında gerilmeli korozyona sebep olur. Sülfür, bakır alaşımları ve çeliklerde homojen dağılımlı korozyonu hızlandırır.

Anaerobic şartlarda oksijen, organik maddelerin bozulması için kullanıldığından çeliklerin korozyon hızının düşmesi beklenir. Bu şartlar altında, sülfür indirgeyen organizmalar tehlikesiz ortamı, çeliğin hızla aşındığı saldırgan bir ortama dönüştürürler.

Havayla doymuş deniz suyunda, hava doygunluğunda, bakteriyel film tabakası, metal yüzeyinde oksijensiz bir ortam içinde oluşabilir. Oluşan bu oksijensiz tabaka, metal yüzeyini kaplayarak sülfat indirgeyen organizmaların gelişebildiği bir yer sağlar.

Makroskobik organizmaların oluşturduğu film tabakasıyla mikroskobik organizmaların oluşturduğu film tabakası benzer şekilde korozyona etki eder. Makroskobik organizma filmleri sürekli bir tabaka yapısında ise, metal-su ara yüzeyindeki oksijeni azaltarak korozyon hızını düşürürler.

3.3.5 Sıcaklığın korozyona etkisi

Tüm değişkenler sabit tutulduğu zaman, sıcaklık içindeki bir artış, deniz suyunun korozyon özelliğini artırır. Eğer çözülmüş oksijen konsantrasyonu sabit tutulursa, deniz suyu içindeki düşük karbon çeliklerinin korozyon hızı, sıcaklık içindeki her 30 °C 'lik yükselme için yaklaşık iki katı artar (Heiderbach, 1987).

Karbon çeliklerinin korozyonu, ortalama sıcaklığın 27-29°C olduğu yaz aylarında, ortalama sıcaklığın 7°C olduğu kış aylarına oranla yaklaşık %50 yükselmektedir. Yüksek sıcaklıklarda, oksijenin çözünme eğilimi düşer ve yayılma hızı artar. Sıcaklığın korozyona etkisi çok önemlidir ve çeliklerin korozyon hızı sıcaklıkla beraber artmaktadır.

Bakır alaşımlarında sıcaklığın yükselmesiyle film oluşumları hızlanmaktadır. 15°C'de koruyucu film 1 günde oluşurken, 2°C'de 1 haftada yada daha uzun sürelerde oluşmaktadır. Çukurcuk ve aralık korozyonuna dayanıksız paslanmaz çelikler ve diğer alaşımlarda, sıcaklıktaki yükselme, bu tip bozulmaların başlamasını kolaylaştırır. Sıcaklık aynı zamanda biyolojik hareketleri de etkiler (Roberge, 1999).

3.3.6 Akış hızının korozyona etkisi

Pasifleşmenin gerçekleşmesi halinde, artan akış hızına karşılık korozyon hızında azalma görülmektedir. Pasifleşme için yeterli akma hızı, metalin pasifleşme eğilimi yanında yüzey

kabalığına ve suyun arılığına bağlıdır.Yüksek akış hızlarında, ortamda çözünmüş oksijenin metal yüzeyine aktarılması, metalin pasifleşmesi için gerekli oksijeni sağlar.

Yüksek akış hızları bazı durumlarda zararlı etkilere sahiptir (Roberge, 1999). Artan hızlarla, metal ile ortam arasındaki tıkanık bölgelerin (durgun su ve metal yüzeyinde tutunan tabakalar)inceldiği ve böylece oksijenin metal yüzeyine daha çabuk ulaştığı görülür.Bu koşullar korozyon hızının artmasının sonucudur.Yüksek hızlarda korozyon ürünleri ve onlardan oluşan yüzey tabakaları nitelik değiştirirler.Örneğin,paslanmaz çeliklerde yüzey tabakaları kararlılık kazanırken çelikler ve bakır alaşımlarında tamamen uzaklaştırırlar.Metal ve alaşımlarda yüzey tabakalarını uzaklaştırmaya yeterli hızlar aşılınca korozyon hızında sürekli artış görülür.

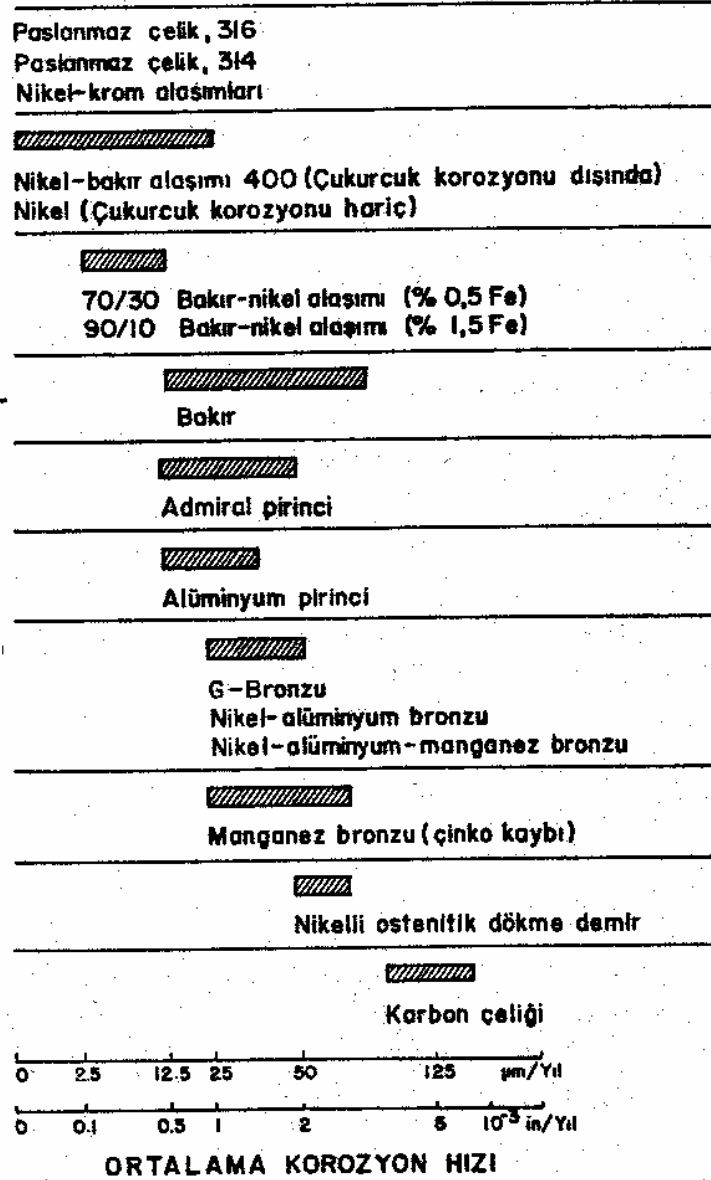
Düşük akış hızları korozyona yol açan etmenlerin eşit dağılımını sağlayarak korozyon olayının bölgeselleşmesini önler (Doruk, 1982). Buna karşılık düşük akış hızlarında, suda bulunan tortular korozyon hücreleri oluşturarak, korozyonun bölgeselleşmesine sebep olurlar (Roberge, 1999).

3.4 Denizel Ortama Dayanıklı Metal ve Alaşımlar

Çeşitli metal ve alaşımların, akma hızının 0,6 m/s olduğu durgun deniz suyunda ortalama korozyon hızları Çizelge 3.7'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.İlk bakışta paslanmaz çeliklerin, nikel-krom ve nikel-bakır alaşımlarının çok yavaş çözündükleri veya korozyona uğramadıkları gibi bir sonuç çıkarmak mümkünse de bunların çukurcuk korozyonuna duyarlı olduklarını unutmamak gerekir (Doruk, 1982). AISI numaraları 200-399 arasında olan ostenitik paslanmaz çelik alaşımları , genellikle manyetiktir değildir.300 ve yukarısındaki alaşımlar, 300'ün altındakilerden daha çok nikel içermektedirler ve deniz suyuna dirençleri daha yüksektir.300 serisi alaşımların korozyon dayanımları yüksektir ve mimari yapılarda, gemi üstü tertibatlarda, güverte malzemelerinde kullanılırlar.300 serisi alaşımlarda genellikle tatlı su yada deniz atmosferinde fark edilir bir korozyon gözlenmez.400 serisi ferritik ve martenzitik alaşımları genellikle manyetiktir ve korozyon direnci ostenitik alaşımlardan daha azdır.Bıçak ağızlarında ve el aletlerinde kullanılırlar.Bu alaşımlar, tatlı su ve deniz atmosferine korumasız kaldıkları zaman, bazen yumuşak yüzey pasına maruz kalırlar.Sertleştirilebilir paslanmaz çeliklerin bazıları çok güçlüdür ve korozyon dirençleri yüksektir.Ostenitik ve ferritik arsındakiler yada martenzitik olanlar, orta güçte ve korozyon direncindedirler (Harvey, 1999).

Paslanmaz çelikler, nikel-krom ve nikel-bakır alaşımları denizel ortama bırakıldıklarında yüzeylerinin büyük bir kısmının korozyondan etkilenmediği ancak, az sayıdaki çukurcukların parçanın tüm kesiti boyunca ilerleyerek, görevini yapamayacak ölçüde bozunmalarına yol açtığı görülür. Karbon çelikleri dışında yukarıda sıralanan malzemelerin tümünde korozyon hızları 0,08 mm/yıl değerinin altındadır. Homojen dağılımlı korozyon varsayılırsa bu hızların yeterli parça ömrüne izin verecek küçüklikte oldukları görülür. Ne var ki, deniz suyunun çukurcuk korozyonu yönünden çok etken bir ortam oluşu bu varsayımı geçersiz kılar.

Çizelge 3.7 Durgun deniz suyunu gözlemlenen korozyon hızları (Akma hızı 0,6 m/s ve altı)
(Doruk, 1982)



Korozyon hızları ihmal edilebilir düzeyde olmasına karşın paslanmaz çelikler ve nikel-krom alaşımları deniz suyunda çukurcuk korozyonuna dayanıklı değildirler (Doruk, 1982).

Paslanmaz çelikler, özellikle tuzdaki klorür saldırganlığının pasif filmi hızlı bir şekilde yok ettiği, deniz sularında korozyona karşı dayanıksızdırlar. Paslanmaz çeliklerin çoğu, deniz suyuna daldırıldıklarında çukurcuk ve aralık korozyonuna maruz kalırlar. En iyi 300 serisi paslanmaz çeliklerden biri olan 316 paslanmaz çelikleri, bir gün gibi kısa bir süre, deniz suyunda korumasız olarak kalırsa, yumuşak rondela altlarında, o-ring yivleri içinde yada herhangi bir yarık alanı içinde sadece 30 gün sonra bozunmaya uğrarlar (Harvey, 1999).

Deniz suyunun çukurcuk korozyonu bakımından etkenliği Çizelge 3.8'de görülmektedir. Denizel ortamda kullanım bulan malzemeler çukurcuk korozyonuna dayanımlılıklarına göre gruplandırılarak Çizelge 3.9'da verilmiştir.

Çizelge 3.7 ile Çizelge 3.8, ve Çizelge 3.9'un karşılaştırılmasından ortaya çıkan ilginç sonuç, homojen dağılımlı korozyona bağlılık ölçüsünde dayanımlı görünen bazı malzemelerin, çukurcuk korozyonuna aşırı duyarlılık göstermeleridir. Deniz suyunda çukurcuk korozyonu oksijen miktarındaki yerel farklılıklardan kaynaklanır. Bu tür farklılıklara yol açabilecek dar bölgelerin tasarım, imalat ve montaj aşamalarında önlenmesi gerekir. Önlenemeyen dar bölgelerin bir çinko oksit bileşiği ile doldurulması hiç olmazsa bir süre bozunmayı geciktirir. Buraya kadar gözden geçirilen verilerin karşılaştırılmasından ortaya çıkan önemli bir sonuç malzeme seçimi ile ilgilidir. Gerek homojen dağılımlı ve gerekse çukurcuk korozyonuna dayanım temel alınınca bakır esaslı alaşımların denizel ortamda diğer malzemelerle üstünlük sağladıkları görülür (Doruk, 1982).

Çizelge 3.8 Deniz suyunda çukurcuk korozyonuna duyarlık gösteren malzemelerde gözlemlenen delik büyüme hızları (Akma hızı: 0-1 m/s) (Doruk, 1982)

Malzeme	Dayanımlılık Derecesi	Çukurcuk mm/yıl	Büyüme Hızı 10-3 in/yıl
Yüksek dayanımlı alaşımsız çelik	Orta	0,38-0,76	15-30
Düşük karbonlu çelik	Orta	0,38-0,76	15-30
Çelik(yüzeyde oksit tabakası)	Zayıf	0,51-1,02	20-40
Dökme demir ve sfero dökme demir	İyi	0,10-0,30	4-12
Bakır	İyi	0,15-0,30	6-12
%40 Sn + %60 Pb	Çok iyi	-	-
Pirinç (%15 Zn)	İyi	0,15-0,30	6-12
Deniz pirinci	İyi	0,15-0,30	6-12
Alüminyum pirinci	İyi	0,18	7
Alüminyum bronz	İyi	0,076	3
Nikel-Alüminyum bronz	İyi	0,05-0,23	2-12
Manganez bronz	İyi	0,25-0,38	10-15
Silisyum bronz	İyi	0,18-0,36	7-14
Kalay bronz	İyi	0,13-0,25	5-10
Kurşun içeren kalay bronz	İyi	0,13-0,38	5-15
Nikel-kalay bronz	İyi	0,02-0,05	1
90-10 Cu-Ni-Fe	İyi	0,025-0,13	1-5
70-30 Cu-Ni-Fe	İyi	0,025-0,13	1-5
%59 Ni-Cr-Mo alaşımı	Çok iyi	-	-
Ni-cu alaşımı,400	Orta	0,13-0,38	5-15
Ni-cr-Fe alaşımı	Zayıf	1,53	60
Paslanmaz çelik, 304 L	Zayıf	1,78	70
Paslanmaz çelik, 316	Orta	1,53-1,78	60-70
Alaşım 20(%29 Ni paslanmaz çelik)	İyi	0,18	7
Ostenitik dökme demir	İyi	0,05-0,10	2-4

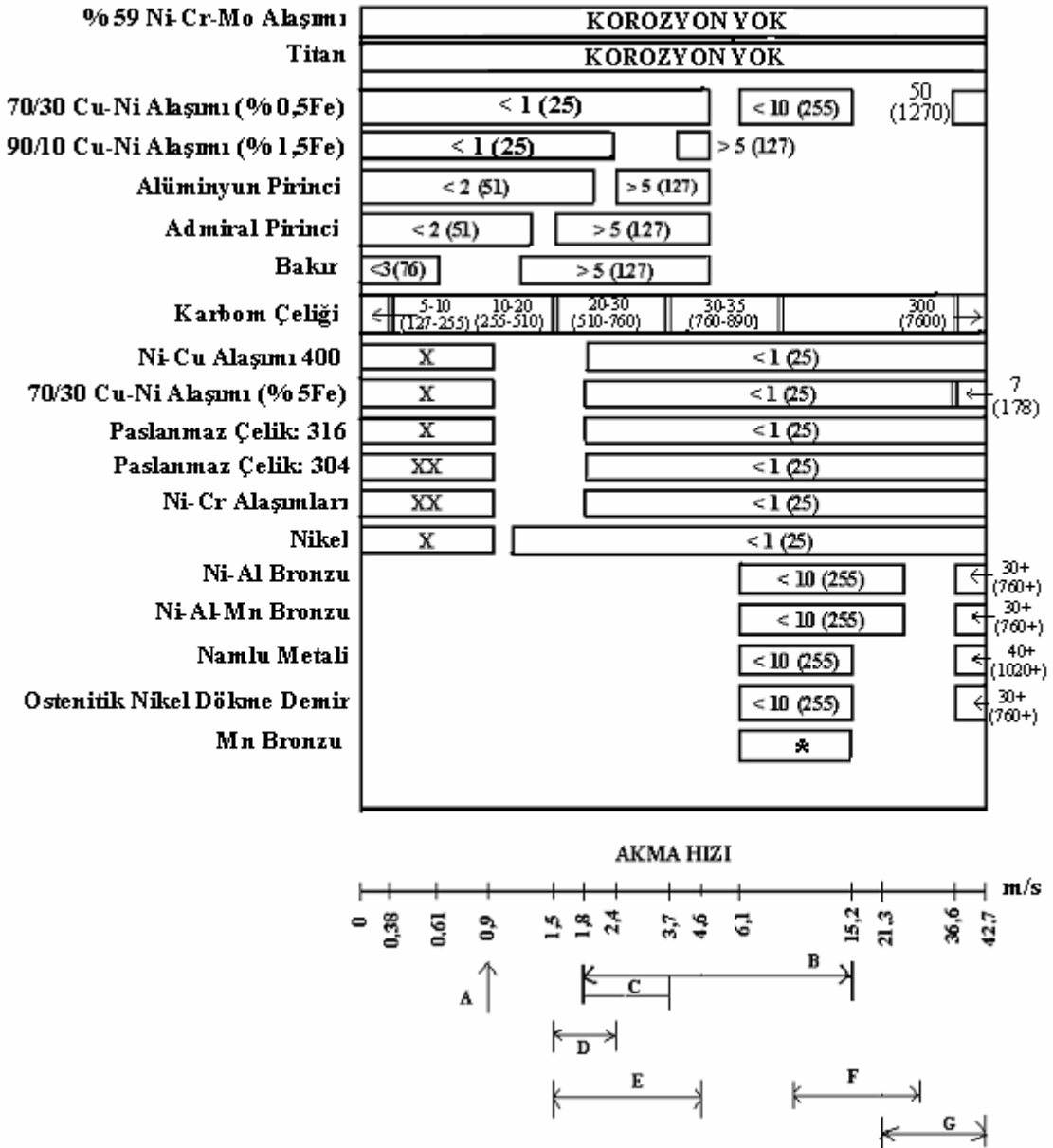
Çizelge 3.9 Denizel ortamda kullanım bulan malzemelerin çukurcuk korozyonuna dayanımlılık yönünden gruplandırılması (Doruk, 1982)

Bağışık	Dayanım Yüksek	Dayanım Orta	Dayanım Yeterli	Dar Bölgelerin Derin Delinmeye Yol Açtığı Malzemeler
Ni-Cr-Mo alaşımları	90-10 Cu-Ni alaşımı (%1,5 Fe)	Ostenitik dökme Demir(nikelli)	Ni-Fe-Cr Alaşımı, 825	Paslanmaz çelik, 316 Ni-Cr alaşımları
Titan	70-30 Cu-Ni alaşımı (0,5 Fe)	Dökme demir Karbon çeliği	Alaşım 20 (%29 Ni paslanmaz çelik)	Paslanmaz çelik, 304 Paslanmaz çelik, Seri 400
	Bronz		Ni-Cu alaşımı, 400	
	Pirinç		bakır	

Denizel ortamda terkedilmiş olarak görev yapan yapılar, donatım ve parçaların hemen hepsinde akma hızının bir etmen olarak dikkate alınması zorunludur. Denizel ortamda

kullanım bulan malzemeleri, hız etmeni nedeni ile yararlılıkları sınırlı ve sınırlı olmayan malzemeler olarak iki gruba ayırabiliriz. Karbon çelikleri ve bakır alaşımları birinci grup malzemeler için verebileceğimiz örneklerdir. Çizelge 3.10'da da görüleceği gibi bu malzemelerde korozyon hızı akma hızıyla önemli artış gösterir ve parça ömrünü ciddi ölçüde kısaltacak değerlere ulaşabilir. İkinci gruba giren paslanmaz çelikler ve nikel esaslı alaşımlarda ise akma hızıyla korozyon hızındaki artışlar sınırlı kalmaktadır. Özellikle birinci sınıf malzemelerin kullanılması halinde geometrik süreksizlikler (vanalar, boru dirsekleri v.b.) nedeni ile akma hızında meydana gelecek yerel artmaları hesaplamak zorunludur. Örneğin 1,8 mm/sn lik bir hıza göre ölçülendirilmiş bir boru şebekesinde akma hızının yerel olarak 30 m/s'e kadar çıkabildiği görülür. Aynı şekilde pompalarda akma hızı 2 ile 15 m/s arasında değişebilir. Akma hızının, yerel olarak bu denli artış gösterdiği hallerde, hız etmeni ile kullanımları sınırlı olan malzemeler büyük sakıncalar doğururlar. Sistem büyük bir kısmı ile korozyondan etkilenmezken bazı yerleri kısa zamanda bozunmaya uğrayarak işletmeye ara verilmesi zorunluluğu ortaya çıkar. Pompa ve benzeri donanımlarda parçalar döküm yolu ile imal edilirler. Bu imalat tekniğine özgü parça et kalınlıkları dayanım gereksiniminin ötesinde olup 13-25 mm arasında değişir. Bu durumlarda korozyon hızının 0,25 mm/yıl değerine kadar yükselmesine izin verilebilir. Aynı şekilde cidar kalınlığı 1,25 mm olan borularda 0,025 mm/yıl hızının altında kalarak yeterli çalışma ömrüne ulaşılabilir.

Çizelge 3.10 Deniz suyunda korozyon hızının akma hızı ile değişimi (Doruk, 1982)



Çubuklar arası boşluklar veri bulunmayan alanları belirtmektedir. Çubuklar içindeki sayılar yaklaşık korozyon hızlarını (10^{-3} in/yıl, parantez içinde verilenler $\mu\text{m/yıl}$) gösterirler. Diğer işaret ve harflerin anlamları şöyledir:

- x Çukurcuk korozyonu oluşabilir,
- xx Derin çukurcuk oluşumu,
- * Çinko fakirleşmesi,
- A Korozyonla bozunumun azalmaya başladığı hız,
- B Pompa ve valf gövdelerinde rastlanan akma hızları,
- C Borularda rastlanan hızlar
- D Enerji üretim tesisleri kondansatörlerinde rastlanan hızlar,

- E Pompa rotorları
 F Gemi uskurlarına özgü hızlar
 G Kanatlara özgü maksimum hızlar.

Metalik malzemelerin, denizel ortamda kullanılmalarının önemli sonuçlarından biride galvanik korozyondur. Sınırlı iletkenlik nedeni ile normal sularda etkili olmayan galvanik eşler deniz suyuna aktarılınca faaliyetlerini büyük ölçüde arttırırlar.İletkenliği yüksek olan deniz suyu, birbirlerinden uzak bölgeler arasında kurulu korozyon hücrelerinin etkili olarak faaliyete geçmelerine olanak sağlar.

Galvanik korozyon, doğru eşleme ve birbirleriyle temas halinde olan metallerin isabetli seçimi ile zararsız düzeyde tutulabilir. Çizelge 3.11’de gösterilen veriler galvanik korozyonu sınırlama yönünden geçerli malzeme seçimi ile ilgilidir.Bu verilere ek olarak galvanik korozyonun minimuma indirgenmesi için uygulanacak ilkeleri bazı örnekler ile birlikte aşağıdaki gibi belirtebiliriz;

- Eğer imkanlar dahilindeyse donanımın tamamı veya deniz suyuna terk edilen bölümü aynı malzemedan yapılmalıdır.Örneğin, deniz suyunun soğutucu olarak kullanıldığı bir sistemde borular 90-10 bakır-nikel alaşımından ise boru aynaları da aynı malzemedan olmalıdır.
- Yukarıdaki ilkenin uygulanması olanaksız ise civata, perçin ve kaynak gibi bağlayıcılarla benzer görevi olan diğer parçaların daha soy malzemelerden olmalarına özen gösterilmelidir. Örneğin, 90-10 bakır-nikel alaşımından parçaları birleştirmek için kaynak malzemesi olarak daha soy olan 70-30 bakır-nikel alaşımı kullanılmalıdır.
- Galvanik eşleme sonucu korozyona uğraması beklenen parçaların geniş yüzeyli ve yeterli et kalınlığına sahip olması sağlanmalıdır.Örneğin, borular ve boru aynaları için 90-10 bakır-nikel alaşımının kullanıldığı bir sistemde kaynak malzemesi olarak 70-30 bakır-nikel alaşımı seçilirse kaynak dikişlerine oranla geniş yüzeye sahip borular ve boru aynaları üzerindeki galvanik korozyon, kendini hissettirmeyecek düzeyde kalacaktır.
- Sanılanın aksine, aktif olanlar yerine soy malzemedan mamul parçaların yüzey kaplamaları ile korunması daha iyi sonuç verir.Böylece koruyucu tabakaların, çatlaklı ve boşluklu olduğu yerlerde korozyonun tehlikeli bir biçimde bölgeselleşmesi önlendiği gibi aktif parçalar üzerinde yoğunlaşan galvanik akımlar sınırlanmış olur. Örneğin, bakır-nikel alaşımlarından imal edilen kapların kullanıldığı deniz altı gemilerinde, daha aktif olan gemi gövdesi yerine, daha soy olan kaplara, yüzey kaplaması uygulanmalıdır.

Çizelge 3.11 Birbirleriyle temas halinde deniz suyuna terk edilen malzemelerin korozyon bakımından uyumluluğu (Doruk, 1982)

Ana Malzeme	Bağlayıcı Malzeme							
	Alüminyum ^a	Karbon Çeliği	Silisyum bronzu	Nikel	Ni-Cr Alaşımları	Paslanmaz Çelik,304	Ni-Cu Alaşımı,400	Paslanmaz çelik,316
Alüminyum	Evet	Evet ^a	Hayır ^a	Evet	Evet	Evet	Evet ^a	Evet
Karbon çeliği	Hayır	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet
Ostenitik nitelikli Dökme demir	Hayır	Hayır	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet
Bakır	Hayır	Hayır	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet
70-30 ve 90-10 Cu-Ni alaşımları	Hayır	Hayır	Hayır	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet
Nikel	Hayır	Hayır	Hayır	Evet	Evet ^b	Evet ^b	Evet	Evet ^b
Paslanmaz çelik,304	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Değiştirilebilir ^c	Evet ^c	Evet	Evet ^c
Ni-Cu alaşımı,400	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Değiştirilebilir ^c	Değiştirilebilir ^c	Evet	Değiştirilebilir ^c
Paslanmaz çelik, 316	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Değiştirilebilir ^c	Değiştirilebilir ^c	Değiştirilebilir ^c	Evet ^c

(Evet:Bağlayıcı eleman korunur, Hayır:Seçim doğru değil. Korozyon öncelikle bağlayıcı eleman üzerinde yoğunlaşır.)

- a* Bağlayıcı eleman korozyona karşı korunur. Ancak alüminyum levhalarındaki cıvata delikleri vb. de büyüme görülür.
- b* Ana metal tarafından bağlayıcı elemana sağlanan katodik koruma, dar bölge korozyonunu engellemeye yeterli olmayabilir. Bu dar bölge oluşumuna yol açacak şekilde bağlantı elemanlarında dikkate alınmalıdır.
- c* Aralık korozyonu olasılığı (özellikle cıvata başları altında)

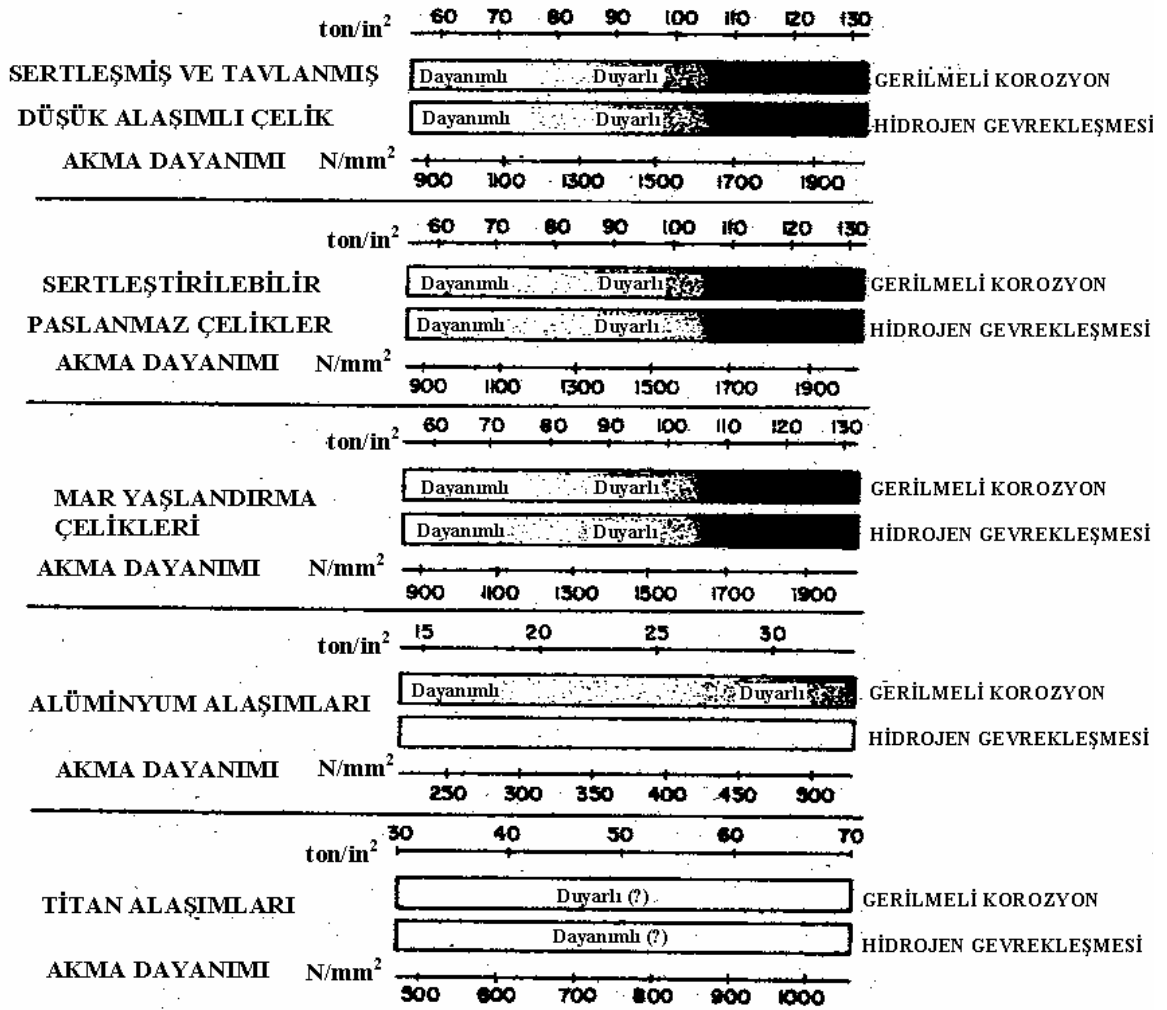
Deniz suyu seçici korozyon bakımından da etkili bir ortamdır.Yaygın korozyon türlerine ek olarak alüminyum ve nikel fakirleşmesi olarak tanımlayabileceğimiz korozyon türleri denizel ortamda etkili olabilirler. Deniz suyunda rastlanan seçici korozyon türleri ile bunlara karşı alınabilecek önlemler Çizelge 3.12’de özet olarak verilmiştir.Taneler arası korozyona bir tür seçici korozyon olarak bakmak mümkündür. Bu nedenle Çizelge 3.12’de verilmiştir.

Çizelge 3.12 Denizel ortamda kullanım bulan malzemelerde seçici korozyon (Doruk, 1982)

	Grafit Korozyonu	Çinko Fakirleşmesi	Alüminyum Fakirleşmesi	Nikel Fakirleşmesi	Paslanmaz Çeliklerde Tane Sınırları Korozyonu
Duyarlı Malzeme	Dökme demir sfero dökme demir	Çinko miktarı %15'den fazla alaşımlar (Örnekler: Deniz pirinci, Muntz alaşımı, manganez bronzu)	Nikel miktarı %4'den az olan alüminyum bronzları	Alçak akma hızı ve yüksek sıcaklıklarda, özellikle kirli sularda çalışan 70-30 Cu-Ni alaşımından mamül kondenser boruları	Tane sınırları korozyonuna duyarlı olan çelikler veya duyarlılığa yol açıcı etkenler
Başvurulacak Önlemler	Ostenitik nikelli dökme demir kullanılır.	1. As, Sb veya P içeren pirinçler kullanılır. 2. Çinko miktarı düşük veya çinkosuz alaşımlar kullanılır.	Nikel miktarı en az %4 olan bir alaşım kullanılır.	Kondenseri kuru olarak çalıştırmamalı, akma hızı en az 1 m/s olmalıdır.	Isıl işlem uygulanır veya tane sınırları korozyonuna duyarlılık göstermeyen çelikler kullanılır.

Denizel ortamda kullanım bulan malzemelerden bazıları gerilimli korozyon çatlama duyarlılık gösterirler. Çizelge 3.13, bu duyarlılığın ortaya çıktığı gerilim anlarını yaklaşık olarak vermektedir. Çizelgede, "DUYARLI" olarak belirlenen alanlar gerilimli korozyon çatlama'nın kısa zamanda oluşabileceği koşulları yansıtır. "DAYANIMLI" olarak tanımlanan alanlarda ise çatlamanın normal koşullar altında oluşmadığı kabul edilmelidir. Çatlama olayının yer alamaması gerilimin yetersizliği yanında çatlama zamanının uzun olması gibi nedenlere bağlanabilir. Çizelge 3.13'de verilen değerler deniz suyundan başka, sular ve nemli hava için de geçerlidir (Doruk, 1982).

Çizelge 3.13 Çeşitli dayanımdaki malzemelerin gerilmeli korozyon ve hidrojen gevrekleşmesine gösterdikleri duyarlılık (Doruk, 1982)



Paslanmaz çeliklerin en iyileri, yapım şekli sebebiyle korozyona dirençlidir. Örneğin, 316 paslanmaz çelikleri, tatlı sularda çok yüksek korozyon direncine sahiptir. Fakat kaynak yapıldığı zaman, termal değişime uğrayan kaynaklı bölgeler, malzemeyi korozyona uğratabilir. Diğer taraftan 316'nın düşük karbon versiyonlarına 316L denir ve duyarlı değildir. Kaynak edildikleri zaman korozyon özelliklerini çok az etkilerler.

Ostenitik paslanmaz çelikler, tamamen deniz suyuna daldırıldıkları zaman, çeşitli derecelerde gerilmeli korozyon çatlaklarına maruz kalabilirler. Gerilmeli korozyon çatlakları, ortam içinde sürekli yük uygulamaları sebebiyle fazla metal kaybı olmaksızın oluşan çatlaklardır. Ferritik paslanmaz çeliklerde genellikle bu problemler yaşanmaz (Harvey, 1999).

Çizelge 3.14, çeşitli malzemelerin kaviteye karşı dayanımlarının temel alındığı bir sıralamadır. Gerçek uygulamalardan edinilen veriler yanında laboratuvar testlerinin sonuçlarına da bu tabloda yer verilmektedir. Verilerin büyük bir kısmı suda edinilen tecrübelerden kaynaklanmaktadır. Ancak kavite hızının çok yüksek olduğu hallerde su ve deniz suyu ayırmasının önemini yitirdiği, karbonlu çelikler dışındaki malzemelerin aynı hızla bozdukları görülür. Kavite hızının düşük olduğu hallerde ise malzemenin korozyon dayanımı önem kazanır ve kavite dayanımı belirleyen ana faktör olarak karşımıza çıkar. Bu özellik deniz suyu için geçerlidir. Kavite dayanımı malzemenin sertliği ile artar. Böylece kaviteye dayanımı malzemelerin seçiminde aranacak özellikler;

- Sertlik
- Plastik deformasyon ile hızlı sertlik artışı ve
- Korozyon dayanımı olarak özetlenebilir.

Çizelge 3.14 Kavite dayanımı (malzemeler en dayanımlı olandan en az dayanımlı olana doğru sıralanmıştır) (Doruk, 1982)

Uygulama Sonuçlarına Göre	Laboratuvar Gözlemlerine Göre
Co-esaslı sert yüzey kaplama alaşımı	Co-esaslı sert yüzey kaplama alaşımı
17-7 Cr-Ni paslanmaz çelik kaynağı	17-7 Cr-Ni paslanmaz çelik kaynaktan çift tabaka
18-8 Cr-Ni paslanmaz çelik kaynağı	18-8 Cr-Ni paslanmaz çelik kaynağı
25-20 Cr-Ni kaynağı	18-8 Cr-Ni paslanmaz çelik kaynağı
18-8 Cr-Ni paslanmaz döküm	Ni-Al bronz
Ni-Al bronz (döküm)	18-8 Cr-Ni paslanmaz döküm
13 Cr paslanmaz döküm	13 Cr paslanmaz döküm
Mn-bronz (döküm)	Mn-bronz (döküm)
18-8 Cr-Ni paslanmaz çelik (püskürtme)	Çelik döküm
Çelik döküm	Bronz
Bronz	Dökme demir
Lastik	18-8 Cr-Ni paslanmaz çelik (püskürtme)
Dökme demir	Lastik
Alüminyum	Alüminyum

4. GEMİLERİN KOROZYONDAN KORUNMA YÖNTEMLERİ

Denizel ortamdaki yapıların korozyondan korunmasında, öncelikle dikkat edilmesi gereken hususlar, uygun malzeme seçimi ve engelleyici dizayn stratejilerinin geliştirilmesidir. Ancak bunlar tek başına yeterli olmamaktadır. Çeşitli koruma yöntemleri uygulanarak, yapılardaki korozyon problemleri büyük ölçüde engellenebilmektedir (Wade ve Ernest, 2003). Denizel ortamdaki yapıların çok büyük bir bölümü metalden yapılmış olanlardır. Denizel ortamdaki yapıların, denizin korozif etkisinden korunmalarında temelde iki prensip yatmaktadır. Bunların birincisi metal yüzeyinin denizle ilişkisini yalıtkan bir organik kaplama yani "boya" ile kesmek, ikincisi ise metalin deniz içinde çözünmesini engelleyecek bir yöntem uygulamak, yani onu "katodik olarak korumaktır. Günümüzde her iki tip koruma yöntemi daha çok birbirlerini tamamlayacak şekilde beraber kullanılmaktadırlar. Ancak özel koşullarda yalnız boyama veya yalnız katodik korumanın müstakil uygulamaları da mevcuttur.

Korozyon "Metal" ile "Ortam" arasında "Ara Yüzey" de gelişen bir "yüzey" olayıdır. Dolayısı ile korozyondan korunmada da bu üç eleman, yani "Metal-Ara Yüzey-Ortam" önemli rol oynarlar. Korozyondan korunma tedbirleri aşağıda belirtildiği gibi sınıflandırılabilir;

- Metali ortama daha dayanıklı hale getirmek veya onu ortama daha dayanıklı bir başka metal veya alaşımla değiştirmek
- Ortamın saldırganlığını azaltmak veya ortamı değiştirmek
- Ara yüzeyin özelliğini değiştirerek korozyonu azaltmak veya engellemek.

Metal özelliklerinde yapılacak değişikliklerle korozyonu azaltmak ancak sınırlı sonuçları olan bir tedbirdir. Ortam olarak denizi değiştirmekte mümkün değildir. Bu nedenle denizel yapılarda en önemli koruma yöntemleri "ara yüzey" özelliklerini değiştirmeye yönelik tedbirlerdir.

Ara yüzeyin özellikleri aşağıda belirtilen şekillerde değiştirilebilir;

- Metal ile denizel ortam ilişkisi boya, plastik kaplama gibi elektriksel iletkenliği çok düşük organik kaplamalarla kesilebilir.
- Metal yüzeyinde koruyucu bir film oluşturulabilir veya oluşmuş filmin tahribatı engellenebilir. Bu duruma örnek olarak, alüminyumun anodik oksidasyonu ve paslanmaz çeliğin pasif durumda kalması verilebilir.
- Metal yüzeyi, %60Ni, %30Cu içeren monel levha ve çinko gibi denize daha dayanıklı bir başka metalle kaplanabilir.
- Metal, kendisinden daha aktif olan Zn, Al ve Mg alaşımları gibi bir başka metalle eşleştirilir ve aktif metal çözünerek ana metalin çözünmesini engelleyebilir.

- Metale hariçten akım uygulayarak, yüzeyindeki çözünme reaksiyonu azaltılır veya durdurulabilir.

İlk üç yöntem, a, b, ve c, "kaplama ile koruma" yöntemleridir. Son iki yöntem, d ve e, "katodik koruma" yöntemleridir. Sondan ikinci yöntem, d, "harcanabilir anotlarla katodik koruma" birinci yöntem, e, ise "hariçten akım uygulaması ile katodik koruma" yöntemleri olarak bilinir. Her iki yöntemde temelde çözünen metal yüzeyinin "elektrokimyasal" özelliğini değiştirme prensibinin uygulamasıdır.

4.1 Katodik Koruma

Şekil 4.1'de demirin oksidasyonu ve oksijenin redüklenmesinden oluşan korozyon hücresindeki olayları akım-potansiyel değişimi halinde gösteren bir Evans diyagramı görülmektedir. Şekil anlaşımını kolaylaştırmak için sistemdeki ohmik potansiyel düşüşü dikkate alınmamıştır. Sistemin korozyon akımı i_{kor} ve çözünen metalin potansiyeli de E_{kor} , olarak gösterilmiştir. Korozyon sırasında hücrede birim zamanda anodik reaksiyon ile şekil değiştiren madde miktarı, i_a , katodik reaksiyonda şekil değiştiren madde miktarı, i_k , eşittir ve bu miktara korozyon akımı denir.

$$i_a = i_k = i_{kor} \neq 0 \quad (4.1)$$

Çözünen metalin korozyon potansiyelini herhangi bir yöntem ile negatif yöne, örneğin A noktasına kaydıracağımızı düşünelim. Bu durumda devreden geçen toplam anodik akım içinde demirin çözünmesi sonucu oluşan anodik akım, i_{a1} , katodik akıma göre daha azalmıştır, yani metalin çözünmesi yavaşlamıştır. Fakat devredeki toplam anodik akım katodik akıma eşit olması gerektiği için azalan anodik akımı katodik akım seviyesine çıkartmak için ya devreye çözünen başka bir metal konularak veya sisteme elektron pompalanarak ilave bir akım kaynağı (i_{ilave}) yaratılır.

Çözünen metalin korozyon potansiyeli B noktasına kaydırılırsa metalin çözünmesi tamamen durur. Korozyonu durdurmak için gerekli akıma da, i_{ilave2} , "koruma akımı" denir. B noktasından daha negatif potansiyel bölgesi ise metalin katodik olarak davrandığı yani metalin kararlı olduğu bölgedir. Bu bölgede metal çözünmesi söz konusu değildir. Bunun yerine metal yüzeyinde bir redüksiyon reaksiyonu, örneğin çelik üzerinde hidrojen çıkışı meydana gelir. Korozyona uğrayan metalin potansiyelini dışarıdan müdahale edip katodik yöne kaydırarak korozyon hızını azaltmak veya tamamen durdurmak ise "katodik koruma" olarak bilinir.

azaltır.Günümüzdeki katodik koruma uygulamasında deniz suyunda tabii olarak korozyona uğrayan metallerin potansiyelleri en az iki tafel eğimi mV negatif yönde kaydırılarak korozyondan koruma yapılır.

Katodik korumada diğer önemli faktörde deniz suyundaki katodik olay,yani çözülmüş oksijenin redüklenmesidir;



Bu reaksiyon sonucu bölgesel bir alkali artışı meydana gelir,yani katodik bölgelerde pH artar.Bu da metalin bu bölgelerde pasifleşmesine yol açar.Örneğin, nötr deniz suyunda çözünen demirin anodik bölgelerinde demir iyonları pas yani demir hidroksit halinde çökerler, bu arada hidroliz nedeniyle bölgesel asitlenme olur;



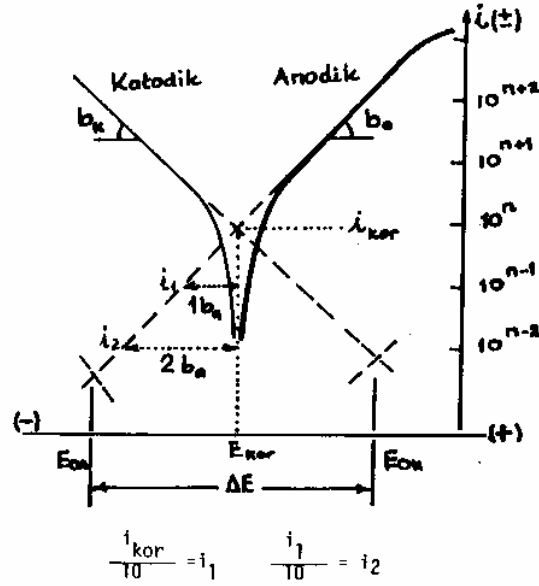
Hareketli deniz suyunda oksijenin deniz yüzeyine bolca erişebildiği kısımlarda katodik bölgeler oluşur ve bu bölgeler katodik korumanın artışı ile daha da genişleyerek tüm metal yüzeyini kaplarlar ve metalin korozyonunu engellerler.

Denizel ortamda katodik koruma yolu ile bir metali katot olarak davrandığı potansiyel aralığında çalıştırmak ise yüzeyinde hem (4.3) reaksiyonunun daha şiddetli gelişmesine hem de hidrojen redüksiyonu sonucu hidrojen gazının çıkmasına veya metal içine hidrojen atomunun yayılmasına neden olur;



Yukarıda gösterilen reaksiyon, şematik bir reaksiyon olarak yazılmış olup meydana gelen olayları stokiometrik açıdan açıklamaktadır, kinetik bir anlamı yoktur.

Hidrojen gazı çıkışı metal yüzeyindeki boyaların kabarmasına neden olabilir.Aynı şekilde katodik olayın bölgesel alkalileşmeye neden olması, katodik koruma yapılan metal yüzeylerinde kullanılan boya ve dolayısıyla boya bileşenlerinin, özellikle pigmentlerin alkaliye dayanıklı olmasını gerektirir.Metal içine yayılan atomal hidrojen ise metalin hidrojen kırılma dayanıklılığına neden olabilir.



Şekil 4.2 Katodik koruma kriteri (Çakır, 1988)

4.1.1 Gemilerin korunmasında katodik koruma kriterleri

Bir geminin denizdeki hareketini engelleyen en önemli kuvvet deniz ile gemi yüzeyi arasındaki sürtünmedir. Örneğin 15-16 knots servis hızına sahip büyük gemilerin enerji sarfiyatının %80 i yüzey sürtünmesini yenmeye harcanır. Sürtünme kuvveti ise "yüzey pürüzlülüğünün" bir fonksiyonudur. Gemi şekil ve dalga direnci ise ikincil derecedeki faktörlerdir. Geminin "yüzey pürüzlülüğü" nün zamanla artması engellenecek veya yavaşlatılacak olursa gemi yüzeyi-deniz arasındaki sürtünme kuvveti düşük tutulduğu için gerekli enerji sarfiyatı da kontrol altına alınmış olur.

Katodik koruma yapılmayan tankerlerde, korozyon ve boya bozulması nedeniyle "yüzey pürüzlülüğü" nün ortalama yılda 125μ arttığı bilinmektedir (yüzey pürüzlülüğü = 50mm lik bir çizgi üzerindeki ortalama pürüzlülük değeri). Aynı tankerlere katodik koruma uygulaması bu değeri 25μ /yıl'a indirmiştir. Günümüzde yüksek performanslı boyalar ve katodik korumanın birlikte kullanımıyla yüzey pürüzlülüğü artışı ortalama 20μ /yıl'a düşmüştür. Gemi dış yüzeyinde 100μ 'luk bir yüzey pürüzlülüğü geminin enerji ihtiyacını yaklaşık %10 arttırmaktadır. Gemilerde yüzey pürüzlülüğü iki nedenle artar;

- Geminin metalik kısımlarında oluşan korozyon sonucu yüzey kaplamanın bozulması
- Özellikle hareketsiz kaldığı zamanlarda gemi gövdesinde oluşan biyolojik faaliyetler yani "fouling".

Bunların birincisi katodik koruma ile önlenirken, ikincisi ise "anti fouling" boya

kullanımıyla engellenebilir.

Gemilerde katodik koruma yüzey pürüzlülüğünün kontrolü yanında farklı metallerin teması sonucu oluşan galvanik korozyonun zararını engellemeyi de amaçlar.Örneğin, pervanenin de katodik olarak korunması .Gemilerde katodik koruma, aşağıda belirtilen bölgeleri korumak amacıyla gerçekleştirilmektedir;

- Gövde ve bağlantı elemanları
- Gemi içindeki tanklar

Katodik korumanın temelinde, metalin potansiyelini katodik yönde değiştirerek, çözünmesini azaltmak veya durdurmak yatar.Metalin potansiyel değişimini referans elektrotlar yani potansiyelleri değişmeyen elektrokimyasal yarı hücreler yardımıyla ölçmek mümkündür. Devreden geçen anodik akımın ise hangi oranda katodik koruma anodundaki reaksiyondan,hangi oranda da metalin korozyonundan sağladığı tespit çok zordur.Bu nedenle pratikte katodik koruma metal potansiyelini en az iki tafel eğimi katodik yönde değiştirecek potansiyeli sağlayacak koruma akımı uygulanarak sağlanır.

4.1.1.1 Potansiyel kriteri

Katodik koruma sistemlerinde potansiyeller standart referans elektrot olan "standart hidrojen elektroduna" göre değil,bakır/bakır sülfat (Cu/CuSO_4) veya gümüş/gümüş klorür (Ag/AgCl) veya çinko elektrotuna göre ölçülür.Bu ve diğer referans elektrotların standart hidrojen elektronuna göre potansiyelleri Çizelge 4.1' de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Katodik koruma tesislerinde kullanılan referans elektrot potansiyelleri (standart hidrojen elektrotuna, SHE, göre) (V) (Çakır, 1988)

Adı	Volt(25°C)
- Standart hidrojen elektrotu (SHE)	0.000
-Doymuş kalomel elektrotu	0.246
-Gümüş/gümüş klorür elektrotu (deniz suyunda) (Ag/AgCl)	0.250
-Bakır/bakır sülfat elektrotu (Cu/CuSO_4)	0.316
-Çinko elektrotu (deniz suyunda (Zn))	-0.81

Denizel yapılar, mühendislik veya ekonomik açıdan genelde çelikten imal edilmişlerdir. Deniz suyunda tabii olarak korozyona uğrayan çeliğin potansiyeli SHE göre -0.34 ve civarındadır. Bu değer diğer referans elektrotlara göre; -0.590 V Ag/AgCl, -0.656 V Cu/CuSO₄ ve +0.770 V Zn'dir. Genelde denizel ortamda katodik koruma için çelik yapının potansiyelinin -0.850 V Cu/CuSO₄ (veya (-0.784 V Ag/AgCl)) değerine düşürülmesi yeterlidir. Uygulamada tavsiye edilen değerler; -0.840 - -0.92 V Cu/CuSO₄ göre değişmektedir. Başka bir deyişle katodik koruma sağlamak için çeliğin potansiyeli en az 200 mV daha negatif yapılmalıdır. Bu değer bazılarında ise 300 mV'dir. Uygulamada denizel ortamda -0.850 V Cu/CuSO₄ değerinin çeliklerde başarılı bir katodik koruma sağladığı bilinmektedir. Çizelge 4.2' de çeliklerin, denizel ortamdaki potansiyel -korozyon - katodik koruma ilişkisi verilmiştir. Çizelge 4.3' de ise değişik metaller için tavsiye edilen katodik koruma potansiyelleri sıralanmıştır. Bakteriyel faaliyetlerin yoğun olduğu anaerobik ortamdaki çeliği korumak için genelde 0.1 V daha fazla (-0.95V Cu/CuSO₄) koruma potansiyeli uygulanır.

Çizelge 4.2 Çeliğin korozyonu ve potansiyel ilişkisi (Çakır, 1988)

Cu/CuSO ₄	POTANSİYEL	SHE
-0.5		-0.18
	Yoğun Korozyon	
-0.6		-0.28
	Serbest Korozyon	
-0.7		-0.38
	Az Koruma	
-0.8		-0.48
	KATODİK KORUMA BÖLGESİ	
-0.9		-0.58
	Az "Fazla Koruma"	
-1.0		-0.68
	Artan "Fazla Koruma"	
-1.1		-0.78
	Önemli Boyutta "Fazla Koruma"	
-1.2		-0.88
	Boyanın Kabarması	
-1.3		-0.98
	Metalin Kırılma Tehlikesi	
-1.4		-1.08

(Yaklaşık değer :Cu/CuSO₄= -0.320 SHE)

Çizelge 4.3 Yapıların katodik korunabilmeleri için tavsiye edilen potansiyeller (Çakır, 1988)

Korunacak metal	PotansiyelV (Cu/CuSO ₄)
Demir-çelik (1)	
a)Aerobik ortam	-0.85 (-0.8)-(-1.1)
b)Anaerobik ortam (mikrobik faaliyetler)	-0.95 (-0.95) – (-1.1)
Kurşun (2)	-0.6
Bakır alaşımları	(-0.5) – (-0.65)
Alüminyum (3)	
Pozitif sınır	-0.95
Negatif sınır	-1.2
1-Paslanmaz çelik genelde katodik koruma istemez.Yalnız katodik koruma aralık korozyonunu engelleyebilir.Fazla koruma hidrojen kırılğanlığına neden olur.	
2-Alkali ortamlarda kurşun çok negatif potansiyellerde korozyona uğrayabilir.	
3-Potansiyelin çok düşürülmesi bölgesel alkaliliği arttırarak korozyona neden olur,o nedenle potansiyel sınırları konulmuştur.	

4.1.1.2 Akım kriteri

Kaynaklardaki katodik koruma akım değerleri çok geniş sınırlar arasında değişmektedir. Bunun nedeni metal yüzeylerindeki koruyucu kaplamaların özellikleri ile denizel ortamda zamanla oluşan koruyucu tabakanın sağladığı korumanın boyutu hakkındaki değişik fikir ve değerlendirmelerdir.Özellikle denizel ortamda oluşan koruyucu kabuk koruma akım ihtiyacını zamanla azaltır.Genellikle yüzey kaplamasız çeliklerin deniz içinde korunmalarında 50/200 mA/m² civarında bir koruma akımı yeterlidir.Bu değer uzun sürede daha da azalabilir.Akım ihtiyacını arttıran faktörler yüksek akış hızları, düşük sıcaklık (denizde çözünmüş oksijen miktarını arttırıp,kabuk oluşumunu azaltması nedeni ile) ve bazen askıdaki partiküler maddelerdir.

Deniz içindeki metal yapıların yüzeylerinin koruyucu kaplamalarla kaplanmaları halinde koruma akım ihtiyacında büyük azalmalar olur. Boya türüne ve uygulama kalitesine göre boyanmış yüzeylerin akım ihtiyacı azalır.

Fakat zamanla boyalı yüzeylerin tahribata uğrayacağı dikkate alınarak boyalı yüzey akım ihtiyacı çıplak yüzeye göre %80 civarında kabul edilir.Kazığın zemine çakılmış bölgeleri için akım ihtiyacı 10 - 30 mA/m² civarındadır.

Gemi gövdeleri günümüzde, yüksek performanslı boyalarla boyanmaktadır.Bu boyaların katodik koruma sırasında oluşan alkali ortama dayanıklı olmaları gereği daha önce belirtilmişti.İyi boyanmış yüzeylerin katodik koruma akım ihtiyacı "harcanabilir anotlarla"

koruma yapılabilmesi halinde, yeni gemiler için 5-10 mA/m² dir. Bu ihtiyaç zamanla ve boya kalitesindeki değişiklik nedeniyle 200 mA/m² ye çıkabilir. Ortalama akım ihtiyacı 10-30 mA/m² civarındadır. Örneğin günümüzde okyanusa çıkan gemiler için 10 mA/m² koruma akımı yeterli kabul edilmektedir. "Hariçten akım uygulaması" ile yapılan katodik korumadaysa ıslak bölge akım ihtiyacı 25-35 mA/m² olarak hesaplanır. Çok iyi kaplanmış yüzeylerde bu ihtiyaç azalabilir (Çakır, 1988). Gemilerin periyodik olarak overhole girmeleri nedeniyle, off shore boru hatları ve deniz platformları gibi durağan yapılara kıyasla, kullanılan koruyucu anotların boyutları daha düşüktür (Heiderbach vd., 1987).

Genel olarak gemi gövdelerinin kış kısmındaki koruma akım ihtiyacı diğer bölgelere göre daha yüksektir. Kış kısmındaki şiddetli su hareketi ve değişik metallerin bulunması bunun nedenidir (Çakır, 1988). Gemilerin kış kısımları, pervane, şaft ve tekne malzemeleri arasında galvanik eşleşmelerin oluşabildiği mahallerdir (Heiderbach vd., 1987). Katodik olarak korunmayan pervanelerin, yüz, kanat ucu ve sırt bölgelerinde kavite oluşur. Kavite pervanenin verimini düşürür [10]. Tam verimle çalışan bir pervane, % 10 verimsiz çalışan bir pervaneye göre, 300 HP'lik bir motorda, yıllık 200 saatlik bir çalışmada, 1000 Dolar yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Buda pervane fiyatının yaklaşık 2-3 katını bulabilmektedir [4]. Gemilerde katodik koruma tasarımında tüm gemi gövdesinin katodik korunması dikkate alınabileceği gibi birçok halde de yalnız kış bölgesi katodik olarak korunur, diğer bölümler korumasız bırakılır. Tüm koruma halinde anotların %15-25'i kış bölgesine yerleştirilir. Pervanenin gövdeye bağlanması halinde çıplak bronz pervane içinde ayrıca ilave koruma akımına ihtiyaç vardır; örneğin ticaret gemileri için ilave ortalama değer 500 mA/m² dir. Gemilerin iç bölgelerinin korunmasında ise 5-120 mA/m² arasında değişen akım yoğunlukları kullanılır. Gemilerde tankların dahili korunmalarında yalnız harcanabilir anotlarla koruma yapılır. Emniyet açısından ise hem magnezyum anotlarla hem de hariçten akım uygulaması ile koruma yapılmamaktadır. En büyük tehlike katodik koruma sırasında açığa çıkan gazların magnezyum veya koruyucu akımdan çıkacak kıvılcım ile ateşlenerek patlamasıdır. Çizelge 4.4' de uygulamada tavsiye edilen değerler sıralanmıştır.

Çizelge 4.4 Gemilerin katodik korunmasında tavsiye edilen koruma akım değerleri
(Çakır, 1988)

Bölge	Akım yoğunluğu (mA/ m ²)
Gövde: Yüksek performanslı boya ile boyalı	10
Gövde: Standart boya ile boyalı	15
Yük/temiz balast tank	86
Yalnız balast ve balast kargo tankı	108
Üst bölüm tankları	120
Ön ve arka tanklar	108
Boyanmış yüzeyli tanklar	5
Alt bölüm tankları	86
Çift tabanlı tank, yalnız balast	86
Kargo/pis balast tankı	Duruma göre

Periyodik olarak doldurulup boşaltılan tankların kısa zamanda koruyucu filmle kaplanması için genelde tankların koruma akım yoğunlukları yüksektir.

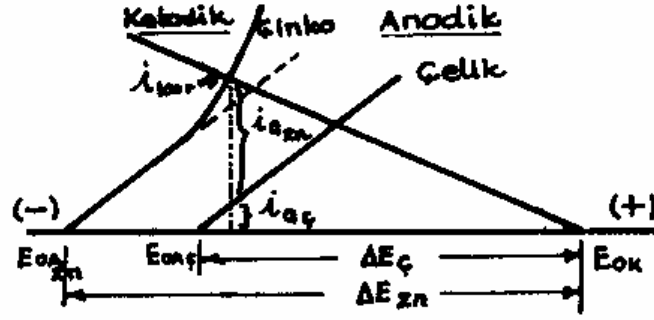
4.1.2 Katodik koruma yöntemleri

Deniz suyunda metal yapıların katodik korunmaları iki şekilde sağlanabilir;

- Kendini feda eden anotlar kullanılarak (Al,Zn,Mg alaşımları)
- Hariçten akım uygulanarak

Bunlardan birincisine "harcanabilir anotlarla" ikincisine de "harici akım uygulaması" ile katodik korunma denir.

Harcanabilir anotlar metale göre daha aktiftirler.Şekil 4.3'de çeliğin harcanabilir anotlarla katodik korunması gösterilmiştir.Dolayısıyla sistemde kendisinden daha aktif bir metalin bulunması halinde daha çok bu yeni metal korozyon hücresinin anodunu oluşturur.Korunacak metal yüzeyi ise daha ziyade üzerinde oksijenin redüklendiği katot olarak davranır veya çok az oksitlenir (Çakır, 1988). Kontrollü olarak gözden çıkarılan Zn, Mg,Al alaşımlarına kurban anot adı uygun görülmüştür. Kurban anodun görevi, kendi iyonlarının çözeltiye geçmesiyle zenginleşen elektronlarını bir kablo üzerinden korunacak metale vermesi ve onun çözeltiye iyon vermemesini sağlaması şeklindedir.Kurban anot bizzat korozyona uğrayacağı ve tükeneyeceği için zamanla yenilenmesi ve takip edilmesi gereklidir [3].



$$i_{kor} = i_{azn} + i_{a\check{c}} = i_k$$

$$i_{a\check{c}} = 0 = \text{çeliğin tam katodik korunması}$$

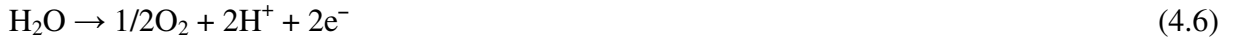
$$i_{azn} = \text{çinkonun çözünme akımı}$$

$$i_{a\check{c}} = \text{çeliğin çözünme akımı}$$

$$i_k = \text{katodik akım}$$

Şekil 4.3 Harcanabilir anotlarla katodik koruma (Çakır, 1988)

Metalin potansiyelini negatif yönde kaydırma, metale katodik akım uygulanarak da elde edilir.(Şekil 4.1) Bu durumda anot, çözünebilen veya genelde çözünmeyen bir başka metaldir.Bu son durumda anot yüzeyinde su ayrışıp oksitlenerek açığa oksijen gazı çıkar;



Deniz suyunda klorür iyonları da bulunduğu için, yüksek akım yoğunluklarında bu iyonların oksidasyonu en önemli reaksiyondur;



Klor gazı su ile reaksiyona girerek HOCl ve HCl oluşturulabilir;



Dolayısıyla anot çevresinde asidik ve koroziyel bir ortam oluşabilir.Fakat deniz suyunun hareketliliği genelde buna imkan vermez ise de yüksek akım yoğunluklarında kullanılacak anotların klorürlü asidik ortama dirençli olması gerekir (Çakır, 1988).

Yabancı akım ile katodik koruma, kurban anottan katoda gelen elektronların bir doğru akım elektrik kaynağından temin edilmesi esasına dayanır.Bu durumda katot olarak devreye sokulan malzemeye yabancı akım kaynağı vasıtasıyla kontrollü olarak akım verilir ve çözülmeye geçmemesi sağlanır.Bu iki katodik koruma yöntemi de, yüzeyleri boyanmış ve yalıtılmış metallere uygulanır. Aksi halde akım gereksinimi veya kurban anot gereksinimi büyük boyutlara ulaşır ve maliyeti çok yüksek olur [3].

4.1.2.1 Harcanabilir (galvanik) anotlar

Harcanabilir anotlar çinko,alüminyum veya magnezyum alaşımlarından oluşurlar.Magnezyum kullanımı, günümüzde tekne içlerinde ve kapalı bölgelerde tamamen terk edilmiş,denizle temas edilen dış yüzeylerde de yerini diğer alaşımlara bırakmıştır.

Denizel uygulamada alüminyum anotlar gittikçe artan oranda kullanılmaktadırlar.Çinko anotlar, daha çok gömülmüş boru hatları ve çamur altı bölgeleri korumada tercih edilmektedir.Gemi gövdelerindeyse hem çinko hem de alüminyum uygulaması yaygındır.Deniz içi yapıların korunmasında alüminyum alaşımları gittikçe daha önemli hale gelmektedir, zira özellikle 329 kg gibi ağır anot uygulaması gerektiren off-shore yapılarda anot yerleştirme masrafı çinkoya göre yarı yarıya daha azdır.Aynı şekilde Amper/yıl temeline göre alüminyum anotla koruma çinko anotlara göre daha ucuzdur (Çakır, 1988).Buna karşılık alüminyum anotlar, nehir suyunun denize karıştığı yerlerde ve hafif tuzlu sularda pasifleştiklerinden, bu ortamlarda kullanılan gemilerde çok tercih edilmezler (Heiderbach vd., 1987).

Anot malzemelerinin saf metal olmayıp bir alaşımdan meydana gelmesinin birçok nedeni vardır.Bazı alaşım elementleri ilavesiyle küçük tane yapıları anotlar elde edilerek, homojen çözünme sağlanır.Örneğin çinkodaki alüminyum ve kadmiyum gibi.Diğer bazı elementler anotların kendi kendilerine çözünmelerini engelleyerek verimi artırır.Örneğin magnezyum ve alüminyum alaşımında silis ve magnezyum gibi.Başkaları ise örneğin alüminyumda çinko,galyum,indium veya cıva aktifleyici etkiye sahiptirler.

Alaşımlar içinde en yüksek potansiyele magnezyum anotlar sahiptir.Bir amper yıl yük için en az malzeme sarfı gerektiren anotlar ise alüminyum alaşımlarıdır.

Çizelge 4.5, 4.6, 4.7' de denizel ortamda kullanılan belli başlı çinko,alüminyum,magnezyum anot bileşimleri ve teknik spesifikasyonları verilmiştir.

Çizelge 4.5 Harcanabilir çinko anot özellikleri (Çakır, 1988)

Tipi	MİL-SPEC MİL-A-18001-J
%Al	0.10-0.50
Cd	0.025-0.07
Fe	<0.005
Cu	<0.005
Pb	<0.006
Potansiyel Cu/CuSO ₄	-1.1/-1.15
Ag/AgCl	-1.05
Akım Kapaitesi Teorik As/kg	820
Pratik As/kg	780
Verim (%)	%95(saf çinko)
Sarfiyat (kg/Ay)	11.2

Çizelge 4.6 Harcanabilir alüminyum anot özellikleri (Çakır, 1988)

Tipi	Aloline 778	X-Meral	COBAL-A
%Cu	0.01 max	0.02max	0.003 max
Mg	-	0.04-0.05	-
Si	0.05-0.2	0.05 max	0.10 max
Fe	0.05-0.15	0.1 max	0.13 max
Zn	3.5-5	2-2.2	3.5-5.0
Ti	0.01-0.05	0.02-0.03	-
Mg	-	0.045-0.055	-
Bi	0.05-0.15	-	-
İn	0.02-0.05	-	0.015-0.025
Mn	-	0.25-0.3	-
Potansiyel Cu/CuSO ₄		-1.3/-1.4	
Ag/AgCl	-1.10		-1.09
Akım Kapaitesi Teorik As/kg		2920	
Pratik As/kg	2700	2625/2775	2600
Verim (%)		90-95	88
Sarfiyat (kg/Ay)		3.25	3.37

Çizelge 4.7 Harcanabilir magnezyum anot özellikleri (Çakır, 1988)

Tipi	I	II	III
%Al	2.5-3.5	5.3-6.7	0.05 max
Zn	0.5-1.0	2.5-3.5	0.03 max
Mn	0.4 max	0.15 min	1.2-2.0
Fe	-	0.005 max	0.005 max
Ni	-	0.003 max	0.001 max
Cu	-	0.05 max	0.005
Si	-	0.3 max	-
Diğerleri	0.1 max	0.3 max	0.2 max
Potansiyel			
Cu/CuSO ₄	-1.3/-1.6	-1.4/-1.6	-1.3/-1.6
Ag/AgCl			
Akım Kapaitesi			
Teorik As/kg	2200	2185	2160
Pratik As/kg	1100-1200	1100	1100-1200
Verim (%)	50-55	50	50-55
Sarfiyat (kg/Ay)	7.6	7.95	7.6

4.1.2.2 Hariçten akım uygulama sisteminde anotlar

Hariçten akım uygulamasıyla katodik koruma uygulamasında çok değişik türde anotlar kullanılır. Temelde bu anotların koruma sırasında çözünmeleri istenilmez. Fakat bazılarında çok, bazılarında da ihmal edilebilir boyutta çözünme söz konusudur.

Denizel yapıların korunmasında en yaygın kullanılan anot türleri kurşun gümüş alaşımları ve platin kaplı titanyum anotlardır. Durağan yapıların korunmasında demir silis alaşım anotları da kullanılır. Günümüzde özellikle deniz içi platformlarının korunmasında kararlı boyutlu ve karışık oksitlerle kaplı titanyum anotlar da kullanılmaya başlamıştır. Eskiden kullanılan grafit anotlar ise bugün hemen hemen tamamen terkedilmişlerdir.

Denizel uygulamada kullanılan demir silikon anotlar ayrıca krom, mangan ve/veya molibden de içerirler. Böylece çözünmeleri azaltılmış olur.

Kurşun gümüş alaşım anotlarının türleri aşağıda belirtildiği gibidir;

- %1 - %2 gümüş , %6 antimuan
- %1 gümüş, %5 antimuan, %1 kalay
- Platin içneli kurşun

Bu tip anotlar yalnız tuzlu sularda kullanılmaktadırlar. Anot, yüzeyde oluşan PbO₂ tabakası tarafından korunur.

Platin kaplı titanyum anotlar takriben 2.5-10 μ kalınlığında platin ile kaplıdır. Bu anotlar yüksek akım yoğunluklarında çalıştırılabilirler. Fakat anot potansiyeli 8 V'u geçerse yüzey filmi bozulur ve anot çözülmeye başlar. Bu tip anotlar 100 Hz den düşük frekanslara hassastır ve çözünürler.

Son yıllarda geliştirilen karışık oksit kaplı titanyum anotlarsa, deniz suyunda 600Amp/m² akım geçirebilirler. Çizelge 4.8'de değişik harici akım anotlarının teknik özellikleri sıralanmıştır.

Çizelge 4.8 Harici akım uygulamasıyla katodik korumada kullanılan anotlar (Çakır, 1988)

Türü	Bileşimi %	Anot akım yoğunluğu (A/dm ²) max	Anot Sarfiyatı (g/Ay)
Grafit	100 C	0.5-1.5	30-450
Ferrosilis	14 Si, 1C gerisi Fe (5 Cr veya 1 Mn veya 2Mo)	3	90-250
Pb/Ag			
1	1 Ag, 6 Sb	3	45-90
2	1Ag, 5 Sb, 1 Sn	5	30-80
Pb/Pt	Pb + Pt iğne	5	2-60
Pt/Ti	Platinize Ti	> 10	4-10 (mg/Ay)

4.1.2.3 Hariçten akım uygulamayla katodik koruma sistemlerinde akım kaynakları

Hariçten akım uygulamasıyla katodik koruma sistemlerinde doğru akım kaynağı olarak 110, 220 – 240V veya 380 - 440V ve 50-60 Hz lik alternatif akım kaynaklarından indirgeme-düzleme yöntemi ile doğru akım üreten kaynaklar kullanılır. Bu kaynakların düzleyicilerinin tek veya üç fazlı alternatif akımı düzlemelerine göre çıkış voltajı dalgalı olabilir. Bu dalgalanmanın çıkış voltajının %5 den fazla olması istenilmez. Özellikle, üç fazlı alternatif akımdan düzleyerek elde edilen akımlarda potansiyel dalgalanması çok düşüktür. Bu dalgalanmanın frekansıysa özellikle asil metal (Pt) kaplı titanyum, niyobyum anotlarda çok önemlidir ve 100 Hz den düşük frekanslar kaplamanın dökülmesine neden olur. Genelde, tek fazlı akımdan doğru akım üretiminde bu frekans 100-120 Hz civarındadır, üç fazlı akımdan üretmede ise daha yüksektir.

Günümüzde doğru akım kaynakları silikonlu sistemlerdir. Çalışmalar daha küçük ve hafif üniteler üretme yönündedir. Ayrıca mikroprosesör ünitelerinin uygulanmasıyla kontrol koşullarının iyileştirilmesine de çalışılmaktadır. Son yıllarda 15-20 Amp gücünde güneş enerjisi hücrelerinden de yararlanılmaya başlanmıştır (Çakır, 1988). Güneş pilleri bir doğru

akım kaynağı olarak katodik koruma sistemlerine doğrudan bağlanabilir. Ancak bu şekilde yalnız güneş ışınları mevcut iken koruma yapılabilir. Diğer taraftan güneş ışınlarının şiddeti gün boyunca da değiştiğinden üretilen akımda voltaj dalgalanmaları gözlenir. Bunu önlemek için güneş ışınlarının bulunduğu süre içinde fazla olarak üretilen elektrik enerjisi depolanarak üniform bir voltaj ile sisteme uygulanır. Bu işlem katodik koruma devresine bir elektronik kontrol ünitesi ilave edilerek sağlanır. Ülkemizin 36° - 42° kuzey enlemleri arasında yer aldığı ve güneşli gün sayısının yılda 300 gün civarında olduğu göz önüne alınırsa, ülkemizde güneş enerjisi ile katodik koruma yapılması son derece elverişli bir yöntem olmaktadır (Akat ve Yalçın, 1988). Ayrıca elektrik enerjisi bulunmayan hallerde rüzgar, su, gaz, petrol gibi bölgesel enerji kaynaklarından yararlanarak üretilen elektrik enerjisinden de katodik koruma sistemlerinde yararlanılmaktadır.

Doğru akım kaynaklarının sağladığı akımın kontrollü olarak verilebilmesi değişik şekillerde yapılır. Günümüzde bu kontrolün gittikçe otomatik olarak yapılmasına doğru hızlı bir gelişim mevcuttur. Kontrol ya indirgeyiciye verilen alternatif akımın potansiyelinin veya düzleyiciden çıkan doğru akımın potansiyelinin ayarlanmasıyla yapılır. Kontrol kademeli olarak elle veya değişik yarı otomatik yöntemlerle yapılabilir. Otomatik kontroldeyse daha çok kontrollü silikonlu düzleyiciler kullanılır (Çakır, 1988). Silikonlu düzenleyicilerin çok önemli sayılan akım veriminin zamanla değişmesi ve yüksek sıcaklık etkilerine dayanıklı oluşu gibi avantajları vardır.

Bazı hallerde yapının akım ihtiyacında zamanla değişimler söz konusu olmaktadır. Örneğin, gel-git olaylarında veya gemilerin boş ve yüklü olması halinde akım ihtiyacında büyük değişimler meydana gelmektedir. Bu durumlarda, sistem direncinde meydana gelen değişimlere bağlı olarak akım miktarını istenilen düzeye ayarlayabilmek için sabit voltajlı rektifiyelerin kullanılması yoluna gidilmelidir (Akat ve Yalçın, 1988).

4.1.3 Katodik koruma yönteminin seçimi

Denizel yapılarda katodik koruma hem "harcanabilir anotlar" hem de "hariçten akım uygulama" yöntemleriyle yapılabilir.

Harcanabilir anotlarla yapılan koruma elektrik kesintisinden etkilenmez, uygulaması kolaydır ve enterferans tehlikesi yoktur. Anotlar sabit potansiyelde çalıştıkları için, korunacak sistemin potansiyelindeki değişikliğe uygun olarak, koruma akımı artar veya azalır. Genelde anot potansiyelleri çok yüksek değildir ve magnezyum anotlar hariç boyayı tahrip etmez. Bağlantılarını kendileri koruduklarından, yanlış bağlama yani ters kutup olayı söz konusu

değildir. Buna karşılık, daha çok iyi kaplanmış yüzeyleri korumada daha ekonomik olarak kullanılırlar. İlk yatırım maliyeti yüksektir ve yüksek iletkenlikteki ortamlarda kullanılırlar. Değişik bölgelerdeki anotlar farklı hızlarla çözünürler. Kütleleri dolayısıyla hareketli denizel yapılarda (gemiler) yüzey direncini arttırabilirler.

Hariçten akım uygulamasıyla koruma yöntemi, özellikle büyük ve kaplamasız yapıların korunmasında ekonomiktir. Her türlü iletkenliğe sahip ortamda kullanılabilirler. Akım ve potansiyel, istenilen değerlere ayarlanabilir. Daha az anot sayısına ihtiyaçları vardır. Basit kontrol sistemleriyle otomatik hale getirilebilirler. Özellikle gemilere, yüzey direncini arttırmayacak anotlar monte edilebilir. Dezavantajları arasında, elektrik kesilmesinde etkinliğini yitirmeleri ve diğer benzer sistemlerle etkileşime girebilmeleri sayılabilir. Buna ilave olarak, anot yerleştirmek için gemi gövdesinin delinmesi gerekmektedir. Yüksek izolasyona ve kaliteli bağlantı sistemine ihtiyaç duyarlar. Bağlantı kutuplarına dikkat edilmesi gerekmektedir (Çakır, 1988).

Şekil 4.4'de küçük ebatlı bir geminin koruma akım ihtiyacını gidermek için harcanabilir anotların yerleşimi örnek olarak gösterilmiştir [3].



Şekil 4.4 Gemi gövdelerinin harcanabilir anotlarla katodik olarak korunması [3]

Genel olarak küçük ve yavaş gemilerde galvanik anot uygulaması tercih edilir. Büyük gemiler ise daha üst düzeyde dikkat ve teknik bilgi gerektiren hariçten akım uygulamasını tercih edebilirler. Gemilerin iç bölümleri ise yalnız galvanik anotlarla korunur (Çakır, 1988).



Şekil 4.5 Gemi gövdelerinin harici akım uygulama sistemi ile katodik olarak korunması [3]

Şekil 4.5’de büyük ebatlı bir geminin koruma akım ihtiyacının, hariçten akım uygulama sistemi ile giderilmesi örnek olarak gösterilmiştir [3].

4.1.4 Potansiyel izleyiciler

Katodik kontrolün denetimi, elektrolitik yarı hücreler kullanılarak yapılır.Referans elektrot olarak bilinen bu hücrelerin yardımıyla, katodik olarak korunan sistemin potansiyeli ölçülerek, başta kabul edilen potansiyel kriterine ulaşmaya kadar devreye uygulanan akım değiştirilir.

Denizel yapıların kontrolünde Ag/AgCl ve çinko elektrot en yaygın kullanılırlar.Cu/CuSO₄ elektrodu daha az yaygın kullanıma sahiptir.Toprak içi ölçümlerdeyse Cu/CuSO₄ elektrotu en çok kullanılandır.Modern denizel yapılarda sistemin potansiyeli muntazaman okunup kaydedilmektedir.

Denizel yapıların denetim ölçümlerinde, elde taşınan Ag/AgCl + Zn elektronlarını içeren tabanca şeklinde proplar kullanılır.Ayrıca yalnız potansiyeli değil akım okuyan proplar da mevcuttur.sabit denizel yapılarda bazı harcanabilir anotlara bağlanan şöntlerdeki potansiyel düşüşleri okunarak anottan çekilen akımda ölçülebilir.Deniz altı boru hatlarındaki potansiyeller,gemilerden sarkıtılıp boru hattı boyunca hareket ettirilen referans elektrot vasıtasıyla ölçülebilir.Gemilerde referans elektrotlar gövdelere, uygun yerlere kalıcı olarak yerleştirilirler.

Gelecekte denizel yapıların potansiyelleri kadar bölgesel koruma akımlarının ölçülmesi önem kazanacaktır. Ayrıca uzaktan kontrollü sistemlerle özellikle deniz içi platform ayaklarındaki potansiyel ölçümlerinin öneminin artacağı tahmin edilmektedir.

4.1.5 Katodik korumada dikkat edilecek hususlar

Katodik koruma sistemlerinde aşağıdaki hususlara bilhassa dikkat edilmelidir;

- Alkalileşme boyanın bozulmasına neden olabilir. Bunu engellemek için yüksek negatif koruma potansiyelleri kullanılmamalı veya bu koşullara dayanıklı boya seçilmelidir. (örneğin alüminyum pigmentli boyalar alkali ortama dayanıklı değildir).
- Alkalilik denizel ortamda tabakalaşmaya neden olur. Bunun durağan yapılara korozyonu azaltması açısından avantajı olabilir. Gemilerde ise yüzey pürüzlülüğünü ve dolayısıyla sürtünme katsayısını artırır, fazla enerji sarfına neden olur.
- Alüminyum korumasında alt ve üst potansiyel limitlerine dikkat edilmelidir.
- Kapalı yerlerde açığa çıkan hidrojen, birikerek patlamaya neden olabilir. Bu durum, gemi içlerindeki katodik korunmuş bölgelerde özellikle çok önemlidir.
- Yüksek mukavemetli çelikler, katodik koruma nedeniyle hidrojen kırılabilirliğine maruz kalırlar.
- Yarıklarda oluşan hidrojen, yüzeydeki koruyucu filmi veya katmanı patlatabilir.
- Deniz suyunda, çözünmeyen anotların yüzeyinde açığa çıkan klor gazı bölgesel asitlenmeye neden olur.

4.1.6 Aşırı katodik korumanın zararları

Denizel yapıların aşırı katodik korunmalarının yani sisteme koruma potansiyelinin üstünde negatif potansiyellerin uygulanmasının da zararı vardır. Bu zarar aşağıda belirtildiği gibi özetlenebilir;

- Yüzeydeki boyanın kabarıp patlaması ve dökülmesi
- Bazı çelik elemanların gerilmeli korozyon çatlaması, hidrojen kırılabilirliği ve korozyonlu yorulmaya maruz kalmaları

4.1.6.1 Boyaya zararı

Aşırı katodik koruma potansiyellerinin boya tabakalarının patlamasına, dökülmesine neden olarak katodik koruma akım ihtiyacını arttırdığı ve ayrıca gemilerde yüzey pürüzlülüğünü de arttırarak, fazla enerji sarfına neden olduğu bilinmektedir. Bu zararların kalitatif değil kantitatif değerlendirilmesi çok zordur. Zira aynı katodik aşırı koruma potansiyelinin,

değişik boyalar üzerindeki etkilerinin farklılığı yanında aynı tür boyanın imalatçı ve üretim periyoduna bağlı olarak da davranışı farklı olmaktadır. Ayrıca laboratuvar deneyleriyle uygulamadaki sonuçlar arasında da büyük ayrılıklar göze çarpmaktadır.

Genelde laboratuvar deneyleri sabit potansiyelerde yapılmaktadır. Uygulamada ise sistemin potansiyeli değişimler göstermektedir. Bu özellikle harcanabilir anotlarda çok barizdir. Hariçten akım uygulamasında sabit potansiyelle çalışmaya dikkat edilmesine karşın potansiyel değişimlerinin ani yapılmaması sistemin bir gereği olduğu için boyalı yüzey uzunca süre aşırı olarak korunabilmektedir. Ayrıca günümüzde geliştirilen yüksek performanslı boyalar başlangıçta çok az koruma akımına ihtiyaç gösterirler. Buna karşılık doğru akım kaynağının verebileceği minimum akım sıfır değil, kaynağın maksimum kapasitesinin %3 'ü kadardır. Başlangıçta bu akım aşırı korumaya neden olabilir.

Katodik korunan yüzeylerdeki boyanın patlaması, dökülmesi, koruma potansiyelindeki artışa bağlı olarak artar yani, yüksek koruma potansiyellerinde boya daha az süre kabarmadan kalır. Ayrıca boyanın kalınlığının artışı, kabarmadan kalma süresini azaltır. Aynı şekilde kalın boyalar normal koruma potansiyeli olan, "-800 V Ag/AgCl" ve onu 250-300 mV aşan potansiyelerde, daha kısa zamanda hasara uğrarlar. Hariçten akım uygulamalı sistemlerde kötü tasarım, sistemdeki bozukluklar, diğer katodik korunmuş sistemlerle enterferans yüzeylerin aşırı korunarak boyanın tahribine neden olur.

4.1.6.2 Gerilmeli korozyon çatlaması

Aşırı katodik koruma, düşük ve orta mukavemetli çeliklerin gerilmeli korozyon çatlamasına neden olmaz. Bu çelikler klorürlü denizel ortam veya deniz içindedeki gerilim korozyon çatlamasına maruz değillerdir. Fakat karbon ve manganlı çelikler, seyreltik karbonat/bikarbonatlı ortamlarda gerilim korozyon çatlamasına uğrayabilirler. Uzun sürede, OH^- - CO_2 etkileşimiyle, karbonatlı -bikarbonatlı ortam üreterek gerilmeli korozyon çatlamasına neden olabilir. Özellikle 35-60 °C lik ortamlarda sıcaklık, gerilmeli korozyona hassas potansiyel bölgesini genişleterek çatlamaya daha mümkün kılar.

4.1.6.3 Hidrojen kırılabilirliği

Özellikle düşük alaşımlı, yüksek mukavemetli çelikler bünyelerine giren atomal hidrojenin etkisiyle çatlarlar. Katodik koruma çelik yüzeyinde hidrojen atomu ve gazı oluşumuna neden olduğu için bu tip çelikler için çok tehlikelidir.

Düşük karbonlu veya manganlı çeliklerse hidrojen kırılabilirliğine daha az hassastırlar.

Dolayısıyla bu çelik türleri, hidrojen kırılma tehlikesine maruz değildirler. Bu nedenle aşırı katodik korumada bir tehlike doğurmaz. Fakat teorik olarak aşırı katodik korumanın hidrojen kırılma tehlikesine sebep olma tehlikesi mevcuttur.

İki hidrojen atomunun birleşip hidrojen gazı oluşturmasını engelleyen koşullar, atomal hidrojenin metal içine yayılarak konsantrasyonun tehlikeli boyutlara ulaşmasına neden olabilir. Hidrojen sülfür bu tip bir engelleyicidir ve hidrojen sülfürlü ortamlarda hidrojen kırılma tehlikesi bu tip çelikler için dahi tehlikelidir. Dolayısıyla yüksek hidrojen sülfürlü sulu ortamda, aşırı katodik koruma tehlike yaratabilir. Ayrıca, aşırı katodik koruma ile birlikte yavaş dinamik yüklenmelerin bulunduğu koşullarda devamlı meydana gelen taze yüzeylerden yayılan hidrojen kırılma tehlikesi oluşturabilir. Bu olay ancak 10-15 yıl gibi uzun süreler sonucunda açığa çıkabilir.

4.1.6.4 Korozyonlu yorulma

Metallerin dairesel, çevrimsel veya değişebilir yüklere maruz kalmaları halinde zamanından önce ve beklenen yüklerin altında yüklenmeler dahi çatladıkları ve kırıldıkları görülür. Bu olaya korozyonlu yorulma denir. Denizel ortamda (klorürlü) özellikle dayanıklı parçalar korozyonlu yorulmayla çatlarlar. Düşük ve orta mukavemetli çeliklerde de bu tehlike mevcuttur. Özellikle dalga hareketi gerekli gerilim çevrimini sağlar. Katodik korunma ile korozyonlu yorulma engellenebilir. Fakat aşırı katodik korunmanın ise korozyonlu yorulmayı hızlandırdığı gözlenmiştir.

4.1.7 Katodik koruma sistemlerinin ömrü

Katodik koruma sistemleri; durağan deniz yapıları için uzun süreli koruma yapmak, hareketli yapılar içinse overhole girme süreleri arasında, korumayı gerçekleştirmek amacıyla tasarlanır.

Gemilerde katodik koruma, harcanabilir anotlarla yapılıyorsa tasarım ömrü 2-4 yıl arasında değişir. Bu süre, gemi içleri için 4 yıldır. Bu süreler sonunda takriben %85'i çözülmüş anotlar değiştirilir. Anot tasarımında ince uzun anotların %90 diğer şekillerdeki anotların %85 oranında çözümlerine müsaade edilir. Emniyet açısından yıllık kısmi değişim de gereklidir.

Hariçten akım uygulanmasında sistem, en az 10 yıl bakıma ihtiyaç göstermeyecek şekilde tasarlanır. Genelde tasarım ömrü 20 yıldır (Çakır, 1988).

4.2 Boya Kaplaması İle Koruma

Denizel ortamdaki yapılar, deniz suyunun şiddetli korozif etkisi nedeniyle kısa sürede korozyona uğrarlar. Denizel yapıların korozyondan korunması için uygulanan en temel iki yöntem, boya ile kaplama ve katodik korumadır (Çakır, 1988).

Boya ve benzeri kaplama maddeleri ile korozyon kontrolü çok yaygın uygulanan bir yöntemdir. Bu uygulamanın yaygın olmasının nedenlerini aşağıda belirtildiği gibi açıklayabiliriz;

- Uygulama kolaylığı
- Maliyetin düşük olması
- Bir çok durumda istenilen koruma derecesini sağlayan sistemlerin var olması
- Tamir ve bakımının kolay olması
- Koruyucu özelliği yanında dekoratif özelliğinin de olması.

Yüzey kaplama ile korunma yöntemlerinden, organik kaplamalar sınıfına giren boyalar, ortamla malzeme yüzeyi arasında, etkileşimi engelleyici bir tabaka oluşturarak, korozyonu yavaşlatırlar.

4.2.1 Boyanın bileşenleri

Boyalar, dekoratif ve/veya koruyucu amaçlarla, değişik yöntemler kullanarak yüzeylere uygulanan ve yüzeyde ince bir katı film bırakan kimyasal maddelerdir. Boya, astar, ara kat, son kat, vernik, emülsiyon v.s. gibi çeşitli ürünleri kapsar. Boya üretiminde kullanılan binlerce kimyasal madde veya bir boyayı oluşturan onlarca kimyasal madde 4 grupta toplanabilir;

- Bağlayıcılar
- Pigmentler
- Çözücüler
- Katkı maddeleri

4.2.1.1 Bağlayıcılar

İçinde, pigment ve dolgu maddelerinin homojen olarak dağıtıldığı, boyanın film veren bileşenidir. Boyanın kuruma, yapışma, sertlik, esneklik, fiziksel ve kimyasal direnç gibi önemli özellikleri büyük ölçüde bağlayıcılar tarafından belirlenir. Bağlayıcılar, polimer yapısında, çeşitli kimyasal maddelerdir. Bu gruba giren kimyasal maddelerden bir kısmı

aşağıda belirtildiği gibidir;

- Kuruyan yağlar
- Üretan yağlar
- Alkidler
- Poliaminler
- Epoksi esterler
- Epoksi bağlayıcılar
- Poliüretanlar
- Hidrokarbonlar
- Fenolik bağlayıcılar
- Klorlu kauçuk
- Vinil esaslı bağlayıcılar
- Selülozik bağlayıcılar
- Akrilik bağlayıcılar
- Silikon bağlayıcılar

4.2.1.2 Pigmentler

Boyaya renk ve örtücülük özelliklerini sağlayan, genellikle bağlayıcı ve çözücülerde çözünmeyen katı taneciklerdir. Pigment grubunda yer alan tipik örnekler aşağıda verilmiştir;

- Renk pigmentleri
 - İnorganik pigmentler
 - Titanyum dioksit
 - Çinko dioksit
 - Demir oksit
 - Krom bileşikler
 - Metal tozları (alüminyum, bakır)
 - Organik pigmentler
 - Azo- bileşikler
 - Ftalosiyenin'ler
 - Antrakinon'lar

- Korozyon önleyici pigmentler
 - Çinko kromat
 - Kırmızı kurşun
 - Çinko fosfat
 - Bazik kurşun sülfat
 - Çinko, kurşun gibi metal tozları
- Dolgu pigmentleri
 - Talk
 - Barit
 - Kalsit
 - Kaolin

4.2.1.3 Çözücüler

Boyanın uçucu kısmını oluşturan kimyasal maddelerdir.Çözücülerin, boyada kullanılması için birçok neden vardır.Genellikle, çözücüler boyaya iki aşamada ilave edilir.Birinci aşamada amaç, boya üretimi sırasında akışkanlığı az olan veya katı halde bulunan bağlayıcıyı akışkan hale getirmek, ikinci aşamada amaç ise, ambalajındaki boyayı uygulama sırasında daha da akışkan hale getirmektir.

Çözücüler, boya uygulandıktan sonra, boya filminden buharlaşarak atmosfere karışır.Bu nedenle hangi amaçla olursa olsun boyaya ilave edilen çözücü gerekli miktardan fazla olmamalıdır.Fazla ilave edilen çözücü aşağıda belirtilen zararlara neden olur;

- Boya kusurları
- Boya kalınlığında düşme
- Ekonomik kayıp
- Çevre kirliliği

Boya üretiminde kullanılan çözücülerin seçiminde çözme gücü, buharlaşma hızı, alevlenme noktası, insan sağlığına ve çevreye zararlılık derecesi dikkate alınan özelliklerdir.Aşağıda, boya üretiminde kullanılan çözücülerin bir kısmı gösterilmiştir;

- Dietilen eter
- Hekzan
- Aseton
- Metil asetat

- Etil asetat
- Metil etil keton
- Toluen
- Metanol
- Metil izobutil keton
- İzobutil asetat
- Etanol
- Ksilen
- Butil asetat
- İzobutanol
- Butanol
- Metil glikol
- Metil glikol asetat
- Etil glikol
- Etil glikol asetat
- Su
- Butil glikol
- İzofron
- Etilen glikol
- Metil diglikol
- Etil diglikol

4.2.1.4 Katkı maddeleri

Bu grupta yer alan maddeler çok değişik özelliklerde olan ve boyaya az miktarda ilave edilen kimyasallardır. Katkı maddeleri, boyanın bazı özelliklerini iyileştirmek, istemeyen olumsuz değişimleri önlemek veya bu değişimlerin hızını yavaşlatmak için kullanılırlar. İşlevlerine göre, katkı maddeleri olarak kullanılan kimyasal maddelere, aşağıda belirtilen örnekleri verilebilir;

- Kurutucular(Metal tuzları)
- Islaticılar(Silikon bileşikleri)
- Çökmeyi engelleyiciler(beton)
- Ultraviole emiciler(benzofenonlar)
- Kaymaklaştırmayı önleyiciler(ketoksimler)
- Katalizatörler
- Stabilizatörler

4.2.2 Gemilerin korunmasında boya ile kaplama kriterleri

Korozyonun, geciktirilmesi için elektrokimyasal tepkimelerin yavaşlatılması gerekmektedir. Genel olarak tanımladığımız boyalar, bu tepkimeleri çeşitli şekillerde kontrol eder (Erol, 1988).

Metal yüzeyine uygulanan boyanın oluşturduğu yalıtkan sınır, aşındırıcı deniz suyunun yüzeye ulaşmasını engellediğinden, korozyon hızı azalır.Hasara uğramış, iyi kaplanmamış film tabakalarının hasıl olduğu metal yüzeylerinde veya doğrudan doğruya deniz suyu ile temas eden çıplak alanlarda bile boya içindeki pigmentler, korozyonu önleyici bir rol oynar ve korozyon ürünlerinin kendi kendilerini yok etmelerini sağlar (Çay ve Aygöl, 1997).

Pigmentler grubunda yer alan kimyasal maddelerin, korozyonu geciktirme özellikleri vardır.Korozyon önleyici olarak adlandırılan bu pigmentlerin, boyada kullanılması ile korozyon hızı kontrol edilebilir.Korozyon önleyici pigmentlerin özelliklerini aşağıda belirtildiği gibi sıralanabilir;

- Metal yüzeyini pasivize ederler.
- Alkali özelliktedirler.Bağlayıcının bozunması sonucu oluşan ve korozyonu hızlandıran, asidik özellikteki bileşiklerle sabun yaparak, asidik maddelerin etkisini yok ederler.
- Kuvvetli oksitleyici maddelerdir.

Boyalar galvanik etki ile korozyonu geciktirirler.Korunacak metalden daha aktif olan metal tozları (çinko, kurşun, alüminyum), pigment olarak kullanılabilir.Metal ile elektriksel teması olan bu tozlar, kendilerini feda ederek metalin korozyonunu yavaşlatırlar.Boya filmlerinin elektrik direnci yüksektir.Boyalar, anot-katot arasındaki elektron akımını keserek veya yavaşlatarak korozyon hızını azaltırlar (Erol, 1988).

Boyalarda zehirli maddeler kullanılarak, makroskobik ve mikroskobik organizmaların gemi yüzeylerine yapışarak, kalın bir tabaka haline gelene kadar gelişmeleri önlenir. Biyolojik kirlenmeye neden olan deniz organizmalarının metal yüzeyini korozyona uğratması engellenir (Çay ve Aygöl, 1997).

Gemi gövdesine kaplanan boyanın az ömürlü olması, metal yüzeyinin zarar görmesine neden olur.Boyaların ömrü,bulunduğu deniz suyunun karakterine,boya bileşim oranlarına ve bileşim özelliklerine bağlıdır.Buna ilave olarak, uzun ömürlü boya için, uygun boya sistemleri seçilmeli,yüzey hazırlığına özellikle dikkat edilmeli ve boya uygulaması doğru yapılmalıdır [6].

4.2.2.1 Seçim kriteri

Çeşitli şartlara göre, değişik firmaların üreterek uygulamaya sunduğu, çeşitli özelliklere sahip boyaların, belirli sıra ve kurallara göre uygulanmasına ‘boya sistemleri’ adı verilir.Boyaların korozyonu önleme mekanizması dikkate alındığında, koruyucu bir boya sisteminin özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Yüzeye çok iyi yapışmalıdır.
- Denizel ortamla metal arasında, ulaşımı engelleyici bir tabaka oluşturmaldır.
- Yeterli oranda korozyon önleyici pigment içermelidir.
- Geçirgenliği az olmalıdır.
- İçinde bulunacağı ortam koşullarına dayanıklı olmalıdır.

Korozyona karşı yeterli koruyuculuğun, ekonomik olarak sağlanması için, boyadan beklenen bu özelliklerin hepsinin, tek bir çeşit üründen beklenmesi olanaksızdır.Görünüş özellikleri de dikkate alındığında, koruyucu boya sistemleri farklı boya ürünlerinden oluşur (Erol, 1988). Boya sistemi, astar boya kaplaması, ana kaplama(anti-korozif kat), ara kat kaplaması ve en üstte anti-fouling kaplama ile mükemmel yüzey hazırlığı gerektiren komplike bir sistemdir [12].

Gemilerde boya sistemi, baştan sona doğru, aşağıda belirtilen sırada oluşur ;

- Yüzey hazırlık işlemleri
- Metal astar boyaları
- Ara kat

- Anti-korozif kat
- Ara kat
- Anti-fouling kat

Boya sistemi uygulamalarının başarılı olabilmesi için yüzey hazırlığı kademesi çok önemlidir. Boyanacak yüzey temiz ve düzgün olmalıdır (Çay ve Aygöl, 1997).Astar katlar, metal yüzeyle ilk temas eden, metale çok iyi yapışan, korozyon yavaşlatıcı pigmentleri içeren, mat veya yarı mat görünümlü ilk kattır (Erol, 1988).Astar boyalar, genellikle çinko esaslı organik reçinelerdir [12].

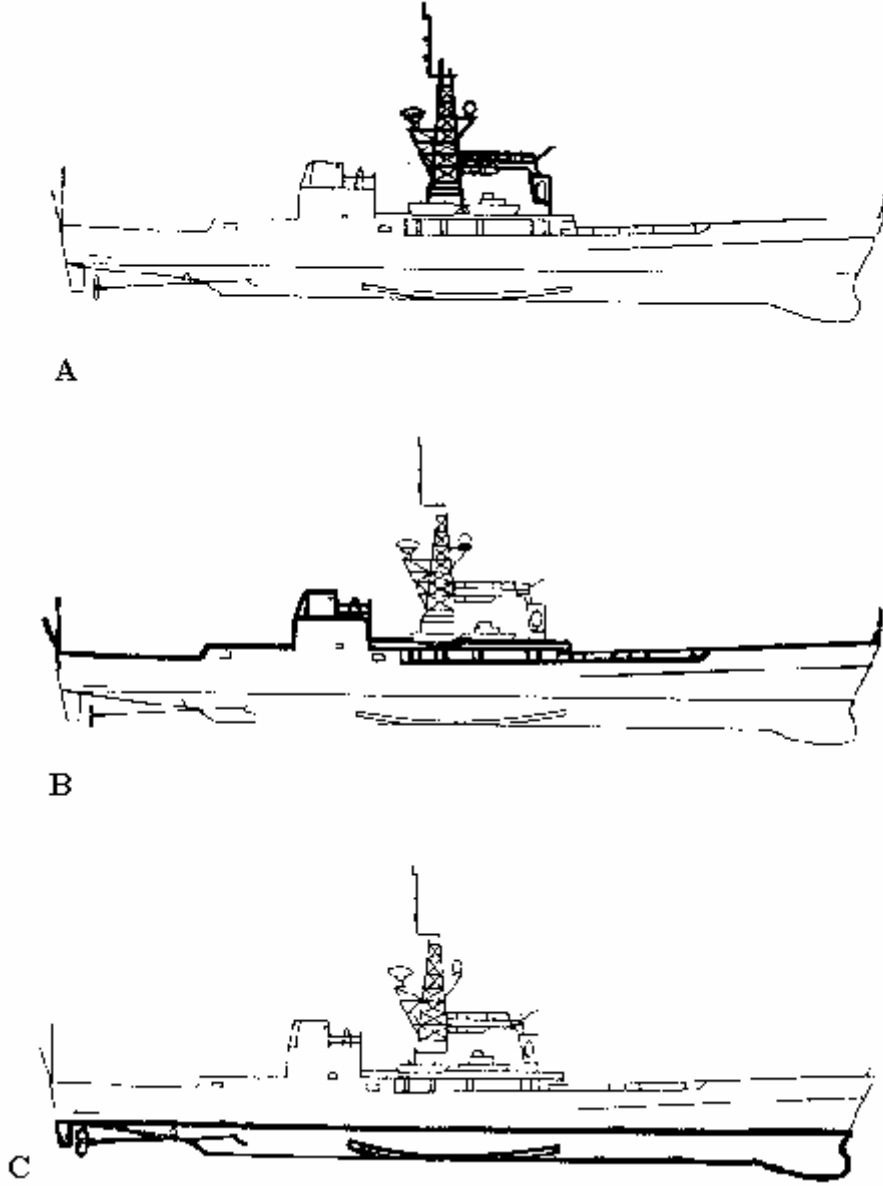
Ara katlar, boya kalınlığını arttırmak veya astarla ana katın uyumunu sağlamak için uygulanır (Erol, 1988). Gemi boya sistemlerinde, birinci ara kat, hem astar boyanın hem de anti-korozif boyanın özelliklerini taşır.İkinci ara kat ise anti- korozif ve anti- fouling boya özelliklerini taşır (Çay ve Aygöl, 1997).

Ana kat, ortamda bulunan korozif etkilere dayanıklı, geçirgenliği az, renk ve parlaklık gibi görünüş özelliklerini sağlayan kattır (Erol, 1988).Ana kaplamaların en iyi korozyon direncini sağlamaları için 2-3 kat kaplanmaları gerekmektedir.Ana kaplamalar genellikle, vinil, klor- kauçuk veya epoksi tipi boyalardır [12].

Her türlü koşula dayanıklı bir boya sistemi olamayacağından, çeşitli ortamlarda uygulanmak üzere, bir çok boya sistemi geliştirilmiştir.Bu sistemler arasında en uygun olanının seçimi için, yapılan değerlendirmelerde dikkat edilmesi gereken bir çok nokta vardır;

- Boya sisteminin içinde bulunacağı ortamın fiziksel ve kimyasal özellikleri
- Boyanacak yüzeyin cinsi ve durumu
- Boyadan beklenen ömür
- Maliyet
- Uygulama şekli
- Yüzey hazırlama ve temizleme olanakları (Erol, 1988).

Gemi gövdelerinde, korozyon açısından üç farklı bölge vardır.Bu bölgelerin boyanmasında farklı cinsten boyaların kullanılması gerekir.



Şekil 4.6 Gemi gövdelerinde farklı boya bölgeleri (Heiderbach vd., 1987)

Şekil 4.6'da gemi gövdelerindeki farklı boya bölgeleri gösterilmiştir.(a) ile gösterilen bölge, 'su üstünde kalan bölge' olarak tanımlanır. Bu bölge, geminin antenini ve üst yapısını kapsar.Maruz kaldığı korozif koşullar; asidik egzost dumanı, aşırı sıcaklık, şiddetli güneş ışığı, termal şok ve rüzgarın yönlendirdiği deniz suyudur (Heiderbach vd., 1987). Deniz suyu ile ıslanmayan bu bölgelerin katodik olarak korunması mümkün değildir.Bu bölgelerde korozyon, alkit veya poliüretan tipi boylarla kaplanarak önlenbilir (Koç ve Türkmen, 1990).

(b) ile gösterilen bölge, 'su üstünde kalan ve zaman zaman ıslanan bölge' olarak tanımlanır. Maruz kaldığı korozif koşullar; insan ve ekipman trafiği, mekanik aşınma, yakıt ve kimyasal döküntüsüdür (Heiderbach vd., 1987). Bu bölgelere uygulanan kaplama kalınlığı artırılır

(Koç ve Türkmen, 1990).

(c) ile gösterilen bölge, 'sürekli su altında kalan bölge' olarak tanımlanır. Maruz kaldığı korozif koşullar; denizel biyolojik kirlenme, aşınma ve korozif deniz suyudur (Heiderbach vd., 1987). Bu bölge, korozif saldırıların en çok görüldüğü bölgedir.

Sürekli deniz suyu altında kalan bölgelerin boyanmasında, alkaliye dayanıklı boyalar tercih edilmelidir. Bu amaçla vinil, klor-kauçuk veya epoksi tipi boyalar kullanılabilir (Koç ve Türkmen, 1990). Gemilerin su altında kalan bölgeleri, deniz suyunun yol açtığı korozyona ilave olarak mikroskobik ve makroskobik organizmalardan kaynaklanan biyolojik kirlenmenin yol açtığı korozyon tehlikesiyle de karşı karşıyadır [6]. Bu sebeple, üst kat boya olarak zehirli boya kullanılmalıdır (Koç ve Türkmen, 1990).

4.2.2.2 Test kriteri

Kullanıcı açısından bakıldığında boya testleri iki amaçla yapılır;

- Boya seçimi sırasında en uygun sistemin bulunması ve seçeneklerin değerlendirilmesi
- Belirli bir ürünün spesifikasyon değerlerinin kontrolü

Birinci grupta yapılan testler kapsamlı ve uzun sürelidir. Hatta bazen aylar veya yıllar alan saha testleri yapılması gerekli olabilir. İkinci durumda ise genellikle performansı az çok bilinen bir boyanın tanımlanmasına dönük, daha kısa süreli testler yapılır. Boya üzerinde yapılan testler birkaç grupta toplanabilir;

- Yaş boya testleri
 - Çökme, ayrışma
 - Kaymaklaşma
 - Ambalaj ve etiket bilgileri
 - Viskozite
 - Yoğunluk
 - Katı madde oranı
 - Ezilme inceliği
 - Uygulama özellikleri
 - Kuruma hızı
- Kuru boya filmi üzerine yapılan testler
 - Renk
 - Parlaklık
 - Yapışma

- Sertlik
- Elastikiyet
- Darbe, sürtünme direnci
- Direnç özellikleri
 - Tuzlu su direnci
 - Nem direnci
 - Kimyasal maddelere karşı direnç
 - Ultravirole direnci

Bu testlerin bir kısmının yapılabilmesi için özel cihazlar gerekirse de, gerçekte asgari şartlara sahip bir laboratuarda bu testlerin bir kısmı yapılabilmektedir. Boya testlerinde ölçülen özelliklerin, birçok etkenin bileşkesi olan bir değer olduğu unutulmamalıdır. Test paneli cinsi, yüzey hazırlama şekli, boya kalınlıkları, panelin bulunduğu ve testin yapıldığı ortam koşulları, kuruma şartları en önemli etkenler olarak sayılabilir. Bu nedenle, tekrar edilebilir ve güvenilebilir sonuçlar almak için bu etkenlerin sabit tutulması gerekir. Ayrı merkezlerde yapılan test sonuçlarının karılatırılabilir olması için ASTM, DIN, ISO, BS'de test sonuçlarıyla ilgili olarak çok açık tanımlar yapılmıştır (Erol, 1988).

5. OVERHOLE GİREN GEMİLERDE KOROZYON HASARLARININ TESPİTİ VE GİDERİLME YÖNTEMLERİ

Gemiler, en üst hazırlık seviyesinde, en ekonomik ve en etkin şekilde idame edilmeleri amacıyla, bakım/onarım işlemlerine tabi tutulmaktadır. Bakım/onarım işlemleri, gemi seviyesi ve tersane seviyesi olmak üzere iki seviyede gerçekleşmektedir. Herhangi bir sınırlama olmaksızın, gemi personelinin kendi imkan ve kabiliyetleri ile yapabilecekleri her türlü bakım/onarım işlemleri, gemi seviyesi onarımlar olarak tanımlanmaktadır. Tersane seviyesi onarımlar, kendi içinde üç kısma ayrılmaktadır. Bunlar, overhol onarımları, plan dışı onarımlar ve özel onarımlardır. Periyodik olarak, planlı bir şekilde uygulanan bakım/onarım işlemlerine, overhol onarımları denilmektedir. Gemilerin faaliyet süreleri içerisinde meydana gelen arızaların giderilmesi maksadıyla yapılan onarımlar, plan dışı onarımlar olarak tanımlanmaktadır. Tersanelerin kapasitesi dışında kalan veya iç ve dış piyasa imkanları ile yaptırılması daha ekonomik olan onarımlara, özel onarımlar denilmektedir.

Overhol onarımları, mevcut teknik ve istatistiksel kriterlere göre belirlenen periyot ve sürelerde, gemilerin tersanelere alınarak, belirlenen yöntemlerle bakım/onarımlarının yapılmasını öngören onarım şeklidir. Overhole giren gemilerin, su altı bakım ve kontrollerini yapmak maksadıyla alındıkları veya çekildikleri özel yapılmış mahallere, havuz veya kızak denilmektedir. Bu işlemlerin yapılması için değişik sistemler ve yöntemler geliştirilmiştir [13].

Bir geminin, denizel ortamdaki etkenler sonucu korozyona uğraması ve hasar görmesi doğal bir olaydır [13]. Gemilerin, denizin korozif etkisinden korunmalarında yatan temel iki prensip olan, boya ve katodik koruma sistemleri, overhol periyotları arasında, korumayı gerçekleştirmek amacı ile tasarlanmıştır. Bu periyotlar sonunda overhole giren gemilerde, korozyon hasarları kontrol edilerek, tespit edilen hasarlar giderilmektedir. Tasarım ömrünü dolduran, hasar gören yada işlevini yerine getiremeyen koruma sistemleri yenilenmektedir (Doruk, 1982). Bu koruma bakımı maliyeti, overhole giren gemilerin toplam bakım maliyetinin %25'ini oluşturmaktadır (Panosky, 2004).

5.1 Yüzey Hazırlığı İşlemi Ve Korozyon Hasarlarının Tespiti

Overhole giren gemilerde, korozyonun yol açtığı hasarların tespiti, yüzeyin boyaya hazırlanması amacıyla yapılan, yüzey hazırlığı işlemi esnasında ve bu işlemin ardından yapılmaktadır. Yüzey hazırlama işlemleri, yüzeydeki pas derecesine göre uygun yöntemin seçilerek, yüzeyin yabancı maddelerden temizlenmesi işlemleridir. Böylece gemi yüzeyinde

oluşan korozyon ürünleri temizlendiği gibi, korozyonun neden olduğu metal kaybının, kolaylıkla ve doğru bir şekilde ölçülebilmesi için uygun ortam sağlanmış olmaktadır. Metal kaybı, korozyonun yol açtığı çukurcuk yoğunluğunun ve sac incelmesinin ölçülmesi ile hesaplanmaktadır.

5.1.1 Yüzey hazırlığı işlemi

Overhole giren gemilerin yüzeyleri, başta korozyon ürünleri olmak üzere, hadde cürufları, hasarlı boya kaplamaları, gres, yağ, kir v.b. yabancı maddelerden temizlenmesi amacıyla, yüzey hazırlık işlemlerine tabi tutulmaktadırlar. Yüzey hazırlık işlemleri, yüzeyin boya bozunmasına bağlı korozyon seviyesinin tespit edilerek, uygun temizleme metodunun seçilmesi prensibine göre gerçekleştirilmektedir.

Yüzey hazırlığı birden fazla metotla yapılabilecek olup, bu metotlardan biri veya birkaçı karma olarak da kullanılabilir. Yüzey hazırlama metotları, kum/grit raspa, el ve motorlu araçlarla raspa ve su jeti olmak üzere üç grupta toplanabilir. Yüzey hazırlama işlemlerine başlamadan önce bütün yüzeylerdeki, tuz, asit v.s. gibi kimyasal kirleticiler uygun bir yöntemle temizlenmelidir (Şener, 1990).

5.1.1.1 Yüzey hazırlığına başlamadan önce yapılan kontroller

Yüzey hazırlığının asıl amacı, boya tabakasının yüzey üzerine en iyi seviyede yapışmasını sağlamaktır. Birçok madde yüzeyden temizlenmediği takdirde, kısa veya uzun vadede, boyanın performansı üzerinde ciddi seviyede olumsuz etkiler oluşmaktadır. Bu maddeler, korozyon ürünleri, yağ, gres, toprak, toz, çamur, kaynak cürufu, klorür ve sülfat tuzları gibi maddelerdir. Raspa işleminin uygun yapılması, işlem maliyetini düşürmesi, boya performansını arttırması ve iş emniyetini sağlaması açısından son derece önemlidir. Bu hususların sağlanması için, astar boya atılmadan önce, aşağıda belirtilen kontrollerin yapılması gerekmektedir;

- Kullanılan raspa kumu/gridinin, ıslak veya nemli olmadığı ve içinde kir bulunmadığı gözle kontrol edilmelidir.
- Raspa kumu/gridi içerisinde bulunan, suda çözülebilir klorid ve sülfat tuzlarının miktarının, boyanın yapışma özelliğini önemli ölçüde etkileyecek oranda olmadığı kontrol edilmelidir. Bu amaçla, iletkenlik testi yapılmalıdır. İlk kez kullanılacak raspa kumu/gridi için, tedarik edilen her parti için bir kez iletkenlik testi yapılmalıdır. Kullanımdan sonra geri kazanılmış raspa gridi için ise, yıkama, kurutma ve havalandırma işleminden geçirilen her bir parti için, bir kez iletkenlik testi yapılmalıdır.

- Raspa kumu/gridi içinde yağ olmadığı, hazırlanacak bir sulu çözeltide, yüzey tabakası muayene edilerek kontrol edilmelidir.
- Raspa işlemine başlanmadan önce, yüzeyin kuru olduğu, kağıt havlu ile kontrol edilmelidir.
- Yüzey sıcaklığının, çığlenme sıcaklığının en az 3°C üzerinde olması gerekmektedir. Bu amaçla, her 4 saatte bir çığlenme sıcaklığı ölçülmekte ve yüzey sıcaklığı ile çığlenme sıcaklığı arasında 3°C den daha az fark kaldığının belirlenmesi halinde, raspa işlemine ara verilmelidir.
- Raspa kazanı hava hortumu ve raspa gridi akış hortumlarının üzerinde, ezilme, kırılma, çatlama ve benzeri fiziksel deformasyonların olmadığı, kullanımının iş emniyeti açısından uygun olduğu kontrol edilmelidir.
- Hava sürtünmesinden oluşan basınç kayıplarının azaltılması için, raspa kazanına hava taşıyan hortumun boyu, mümkün olduğunca kısa olmalıdır.
- Kum/grid raspası için kullanılan basınçlı hava içerisinde, yoğunlaşmış su veya yağ bulunmadığı kontrol edilmelidir.

5.1.1.2 Yüzey korozyon seviyesinin tespiti ve hazırlık derecelerinin sınıflandırılması

Yüzeylerin hazırlık derecelerinin sınıflandırılmasıyla ilgili olarak, değişik kaynaklı birçok standart bulunmaktadır. Yaygın olarak kullanılan TS EN ISO-8501-1'e göre, yüzey hazırlık dereceleri aşağıda belirtildiği gibi sınıflandırılmaktadır.

- Kaplanmamış veya önceki kaplaması tamamen kaldırılmış çelik yüzeylerin hazırlanma dereceleri;

Kaplanmamış veya boya v.b. gibi önceki kaplaması tamamen kaldırılmış çelik malzeme yüzeyleri, aşağıdaki temizlik derecelerine göre tanımlanmaktadır;

- Pas derecesi tayini;

Boyanmamış düşey konumlu çelik malzeme yüzeylerinde, stokta tutulan çelik malzeme yüzeylerinde ve şiddetli korozyona maruz kalan malzeme yüzeylerinde, yaygın olarak bulunan pas ve hadde cürufları dört derece ile gösterilmektedir;

A- Geniş ölçüde yapışkan hadde cürufu ile kaplı çelik yüzey ve varsa çok az paslı yüzeyler.

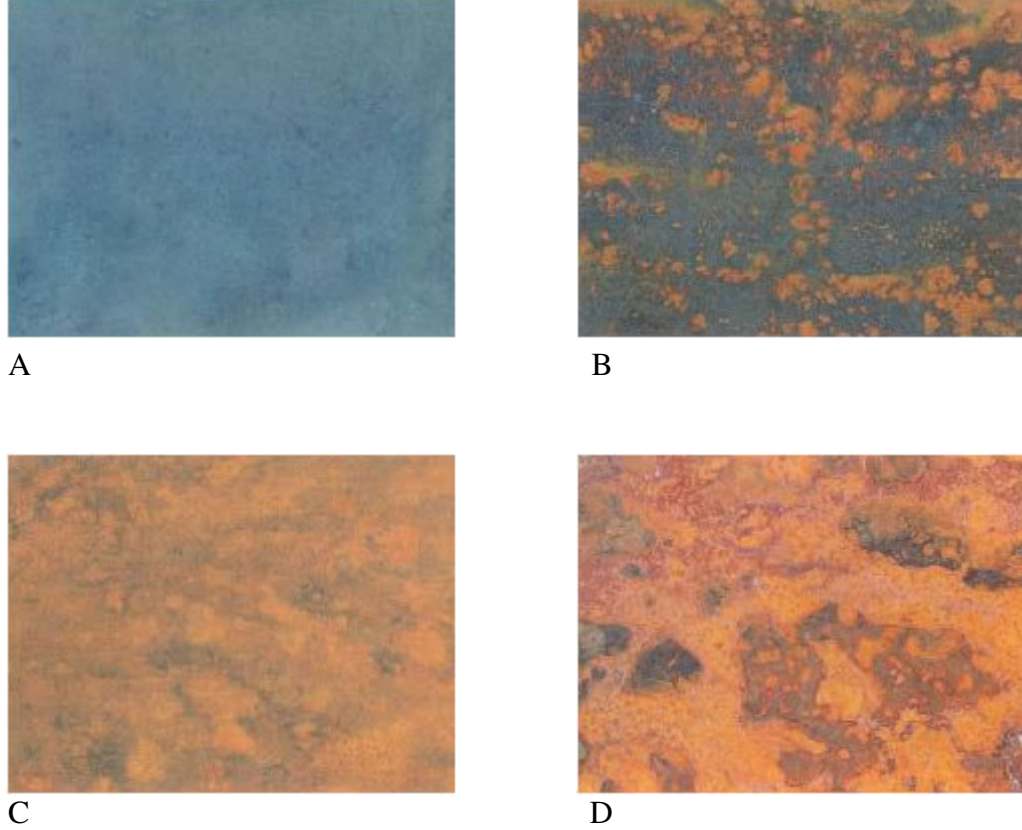
B- Paslanmaya başlayan ve hadde cüruflarının dökülmeye başladığı çelik malzeme yüzeyleri

C- Yüzey üzerindeki hadde cüruflarının paslanarak döküldüğü, ancak incelendiğinde küçük çukurların görülebildiği yüzeyler.

D- Yüzey üzerindeki hadde cüruflarının paslanarak döküldüğü, ancak genel olarak

bakıldığında küçük çukurların görülebildiği yüzeyler (TS EN ISO-8501-1, 2005).

Daha önce boyanmamış yada önceki kaplaması tamamen kaldırılmış yüzeylerin pas derecelerinin tayini, Şekil 5.1'deki referans fotoğraflarla karşılaştırılarak yapılmaktadır [7]. Çelik malzeme yüzeyi, iyi gelen bir gün ışığı altında veya buna denk bir aydınlatma ile incelenmektedir. Uygun fotoğraflar, muayene edilen çelik yüzeyle yan yana konulmakta ve çelik yüzeyin görünümüne en yakın derece için değerler tayin edilmektedir.



Şekil 5.1 Daha önce boyanmamış yada önceki kaplaması tamamen kaldırılmış yüzeylerin pas dereceleri (TS EN ISO-8501-1, 2005)

Daha önce boyanmamış yada önceki kaplaması tamamen kaldırılmış yüzeylerin pas dereceleri, bu yüzeylere yapılacak yüzey hazırlığı temizlik derecesinin tanımlanması için, yüzey temizlik kodlarından önce kullanılmaktadır.

Korozyona uğrayıp, ağır paslanmaya maruz kalan yüzeyler için yapılacak yüzey hazırlığının tayininde, paslanma durumuna göre, daha önce boyanmamış yüzeylerin pas dereceleri kullanılmaktadır.

- Grit/kum ile yapılan yüzey hazırlaması için yüzey temizlik derecesi, Sa Kum/grit kullanılarak yapılan yüzey hazırlama, Sa kodu ile gösterilmektedir. Sa kodundan

sonra verilen rakamlar, yüzeyde bulunan pas, hadde cürufu, önceki kaplama kalıntıları v.b. yabancı madde miktarına göre, yüzey temizliğini derecelendirmektedir (TS EN ISO-8501-1, 2005). Değişik pas derecelerindeki çelik yüzeylere, grit/kum ile yapılan yüzey temizliğinin dereceleri, Şekil 5.2’de gösterilmektedir [8].

- Basınçlı hava ile grit/kum püskürterek hafif temizleme, Sa 1

Malzeme yüzeyine büyütmeden bakıldığında, yüzeyin, gres, yağ, kir, hadde cürufu, pas, boya kaplamaları ve yabancı maddelerden kısmen arındırılmış olduğu görünmektedir. Bu yüzey temizlik derecesi, Sa 1 kodu ile gösterilmektedir.

- Basınçlı hava ile grit/kum püskürterek tam temizleme, Sa 2

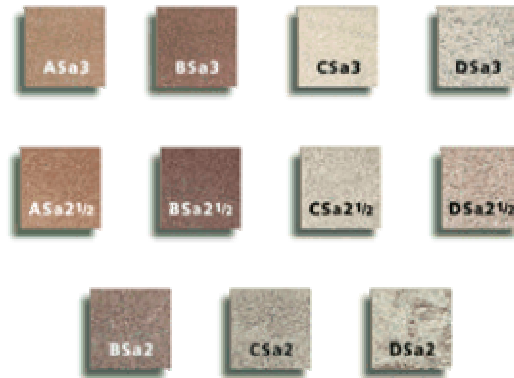
Malzeme yüzeyine büyütmeden bakıldığında, yüzeyin, gres, yağ, kir, hadde cürufu, pas, boya kaplamaları ve yabancı maddelerin çoğundan arındırılmış olduğu görünmektedir. Yüzey üzerinde, yüzeye kuvvetle yapışmış, artık maddeler bulunabilir. Bu yüzey temizlik derecesi, Sa 2 kodu ile gösterilmektedir.

- Basınçlı hava ile grit/kum püskürterek çok iyi temizleme, Sa 2 ½

Malzeme yüzeyine büyütmeden bakıldığında, yüzeyin, gres, yağ, kir, hadde cürufu, pas, boya kaplamaları ve yabancı maddelerden arındırılmış olduğu görünmektedir. Yüzey üzerindeki kirler, benek veya bere gibi önemsiz lekeler halinde bulunmaktadır. Bu yüzey temizlik derecesi, Sa 2 ½ kodu ile gösterilmektedir.

- Basınçlı hava ile grit/kum püskürterek görsel temizleme, Sa 3

Malzeme yüzeyine büyütmeden bakıldığında, yüzeyin, gres, yağ, kir, hadde cürufu, pas, boya kaplamaları ve yabancı maddelerden arındırılmış olduğu görünmektedir. Yüzey, ton farklılığı göstermeyen metalik bir renge sahiptir. Bu yüzey temizlik derecesi, Sa 3 kodu ile gösterilmektedir.



Şekil 5.2 Değişik pas derecelerindeki çelik yüzeylere grit/kum ile yapılan yüzey temizliği dereceleri [8]

- Elle ve motor tahrikli aletlerle temizleme, St

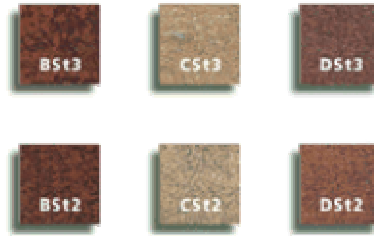
Kazıyarak, telle veya makineyle fırçalayarak yada rendeleyerek, elle ve motor tahrikli aletlerle yapılan yüzey temizliğidir. Elle ve motor tahrikli aletlerle temizleme 'St' kodu ile gösterilmektedir (TS EN ISO-8501-1, 2005). Değişik pas derecelerindeki çelik yüzeylere, elle ve motor tahrikli aletlerle yapılan yüzey temizliğinin dereceleri, Şekil 5.3'de gösterilmektedir [8].

- Elle ve motor tahrikli aletle tam olarak temizleme, St 2

Malzeme yüzeyine büyütmeden bakıldığında, yüzeyin, gres, yağ, kir, hadde cürufu, pas, boya kaplamaları ve yabancı maddelerden arındırılmış olduğu görünmektedir.

- Elle ve motor tahrikli aletle daha iyi temizleme, St 3

St 2 yüzey temizleme derecesi gibidir. Ancak yüzey, bir metal parlaklığı verene kadar, çok iyi temizlenmelidir.



Şekil 5.3 Değişik pas derecelerindeki çelik yüzeylere, elle ve motor tahrikli aletlerle yapılan yüzey temizliği dereceleri [8]

- Önceki kaplaması kısmen kaldırılmış çelik yüzeylerin hazırlanma dereceleri

Overhole giren gemilerin yüzeyindeki kaplamalar, eğer koruma görevini arızalı da olsa yapabiliyorsa, korozyonun aşırı hasar verdiği bölgelerde, kısmen kaldırılmaktadır. Boya kaplamasının, kısmen kaldırıldığı için, "P" kodu kullanılmaktadır. Önceki kaplamanın kısmen kaldırılması sonrasında malzeme yüzeyi, yaygın olarak kullanılan TS EN ISO-8501-2'ye göre, aşağıda belirtilen temizlik derecelerine göre tanımlanmaktadır;

- Önceden kaplanmış yüzeylerin bazı kısımlarını, basınçlı hava ile grit/kum püskürterek temizleme, P Sa :
 - Bazı kısımları basınçlı hava ile grit/kum püskürterek tam temizleme, P Sa 2

Yüzey üzerinde, kuvvetle yapışmış ve bozunmamış boya kaplamaları bulunmaktadır. Malzeme yüzeyine büyütmeden bakıldığında, diğer kısımların, gres, yağ, kir, hadde cürufu, pas, boya kaplamaları ve yabancı maddelerden arındırılmış olduğu görünmektedir (TS EN ISO-8501-2, 2005). Karşılaştırma yapmak için, Şekil 5.2'de gösterilen C Sa 2 ve D Sa 2 fotoğraflarından yararlanılabilir [8]. Bu fotoğraflardan hangisinin kullanılacağı, yüzeyde

oluşmuş çukur miktarına göre belirlenmektedir.

- Bazı kısımları basınçlı hava ile grit/kum püskürterek çok iyi temizleme, P Sa 2 ½
Yüzey üzerinde, kuvvetle yapışmış ve bozunmamış boya kaplamaları bulunmaktadır. Malzeme yüzeyine büyütmeden bakıldığında, diğer kısımların, gres, yağ, kir, hadde cürufu, pas, boya kaplamaları ve yabancı maddelerden arındırılmış olduğu görünmektedir. Yüzey üzerindeki kaplama artıkları, benek veya bere gibi önemsiz lekeler halinde bulunmaktadır (TS EN ISO-8501-2, 2005). Karşılaştırma yapmak için, Şekil 5.2’de gösterilen C Sa 2 ½ ve D Sa 2 ½ fotoğraflarından yararlanılabilir [8]. Bu fotoğraflardan hangisinin kullanılacağı, yüzeyde oluşmuş çukur miktarına göre belirlenmektedir.

- Önceden kaplanmış yüzeylerin bazı kısımlarını, elle ve motor tahrikli aletle temizleme, P St

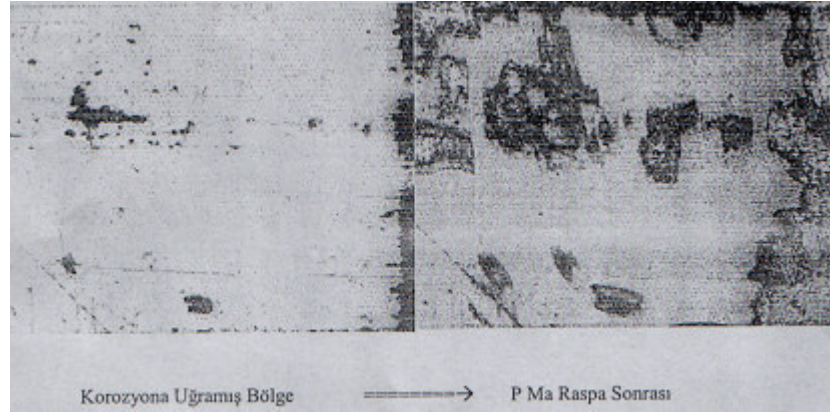
- Elle ve motor tahrikli aletle, bazı kısımları tam temizleme, P St 2

Yüzey üzerinde, kuvvetle yapışmış ve bozunmamış boya kaplamaları bulunmaktadır. Malzeme yüzeyine büyütmeden bakıldığında, diğer kısımların, gres, yağ, kir, hadde cürufu, pas, boya kaplamaları ve yabancı maddelerden arındırılmış olduğu görünmektedir (TS EN ISO-8501-2, 2005). Karşılaştırma yapmak için, Şekil 5.3’deki C St 2 ve D St 2 fotoğraflarından yararlanılabilir [8]. Bu fotoğraflardan hangisinin kullanılacağı, yüzeyde oluşmuş çukur miktarına göre belirlenmektedir.

- Elle ve motor tahrikli aletlerle, bazı kısımları çok iyi temizleme, P St 3

P St 2 yüzey temizlik derecesi gibidir. Ancak yüzey eğer metal ise, bir metal parlaklığı verene kadar, metalden farklı bir malzeme ise, tabii rengi ortaya çıkana kadar, çok iyi temizlenmelidir (TS EN ISO-8501-2, 2005). Karşılaştırma yapmak için, Şekil 5.3’deki C St 3 ve D St 3 fotoğraflarından yararlanılabilir [8]. Bu fotoğraflardan hangisinin kullanılacağı, yüzeyde oluşmuş çukur miktarına göre belirlenmektedir.

- Önceden kaplanmış yüzeylerin bazı kısımlarının, makineyle aşındırılması, P Ma
Bu hazırlama şekli, aşındırıcı kağıtlı disk gibi makinelerle, yüzeyi tamamen aşındırmayı veya iğneli püskürtücüyle birlikte kullanılan, özel dönen tel fırçalarla yüzeyi temizlemeyi kapsamaktadır. Yüzey üzerinde, kuvvetle yapışmış ve bozunmamış boya kaplamaları bulunmaktadır. Malzeme yüzeyine büyütmeden bakıldığında, diğer kısımların, gres, yağ, kir, hadde cürufu, pas, boya kaplamaları ve yabancı maddelerden arındırılmış olduğu görünmektedir. Yüzey üzerindeki artık izleri, benek veya bere gibi önemsiz lekeler halinde bulunmaktadır. Daha önce boya kaplaması yapılmış çelik yüzeylere yapılan P Ma derecesi yüzey temizliği, Şekil 5.4’de örnek olarak gösterilmektedir (TS EN ISO-8501-2, 2005).



Şekil 5.4 Kısmi raspa ile yüzey temizliği derecesi

5.1.1.3 Yüzey hazırlığı sırasında dikkat edilmesi gereken hususlar

Kısmi raspa işlemlerinde, raspa edilecek alan $2m^2$ 'den küçük ise raspa, el ve motorlu aletlerle yapılmalıdır. Alanı $2m^2$ 'den büyük olan yüzeyler, kum/grid ile raspa edilmelidir. Kum/grid ile kısmi raspa işlemi sırasında, raspa edilen alana komşu alanlardaki sağlam boya, gösterilen tüm titizliğe rağmen zarar görebilir. Bu nedenle kısmi raspa işlemi sırasında, gerekli olmadığı sürece, kum/grid ile raspa işlemi tercih edilmemelidir. Kısmi raspa sırasında motorlu fırça ve disk zımparanın fazla kullanılmasından kaçınılmalıdır. Çünkü, bu cihazlarla yapılan raspa sırasında, parlatılmış bir yüzey elde edildiğinden, bu yüzeye kaplanacak boyada, yapışma zafiyeti oluşmaktadır. Verimli bir kum/grid raspa işlemi için, raspa nozul çıkışında hava basıncının 6-7 bar arasında olması gerekmektedir. Raspa nozullarının çalışma ömürleri, orifis gömlek tipi ve kullanılan aşındırıcı tipine bağlı olarak, 2-1500 saat arasında değişmektedir. Orifislerin aşırı aşınması sonucunda, raspa verimi ve yüzey temizlik kalitesi düştüğünden, nozul orifisinin aşınması, her dört saatte bir kontrol edilmelidir. Nozul, orifis çapının, orijinal değerinin %12,5 oranında artması halinde, kullanılmamalıdır. Raspa nozulu, kirlenme durumuna bağlı olarak, temizlenen yüzeye $45^\circ - 90^\circ$ arasındaki açılarda ve değişik mesafelerde tutulabilir. Ancak raspa sırasında, nozul ile yüzey arasındaki açının korunmasına ve nozulun kavisli hareket ettirilmemesine dikkat edilmelidir. Yeni boyanmakta olan ve boyanıp kurumakta olan yüzeylerin yakınında, raspa işlemi yapılmamalıdır. Boyanacak yüzeyin tamamı raspa ediliyorsa, raspa işlemi üst kısımlardan başlayarak aşağı doğru yapılmalıdır. Daha önce raspası tamamlanmış yüzeylerde, tozlanma oluşmasına mahal verilmemelidir. Raspa işlemi kısmi olarak yapılıyorsa, sağlam boyaya bitişik alanların zarar görmemesi için, uygun maskeleme işlemi yapılmalıdır. Su jeti ile yıkama ve boya kaldırma işlemi, diğer raspa türlerine oranla maliyetinin daha düşük olması, personel ve çevre için daha

sağlıklı olması nedeniyle tercih edilmektedir.Su jeti ile, boya sisteminin tamamı sökülme istendiği takdirde, su basıncının 1360 bardan yüksek olmasına dikkat edilmelidir.Aksi takdirde boya sağlıklı olarak sökülememekte ve yüzeyde kalıntılar bırakmaktadır.Su jeti içinde aşındırıcı bulunmadığı takdirde, yüzey profili oluşturulamamaktadır.Yüzey, raspa edildikten hemen sonra, ani paslanmaya maruz kalıyorsa, paslanma oluşmadan boyanabilecek kadar alan için yüzey hazırlığı yapılmalıdır.Raspa edilmesi planlanan alan, raspasından boyanmasına kadar geçecek süre içerisinde ıslak kalacak ise, raspa edilmemelidir. Raspa işlemi sonrasında boyanana kadar, yüzey sıcaklığı çığlenme noktasının en az 3°C üzerinde muhafaza edilmelidir.

5.1.1.4 Yüzey hazırlığı sonrasında yapılan kontroller

Yüzey hazırlığının uygun olup olmadığının belirlenmesi maksadıyla aşağıda belirtilen kontrol işlemleri yapılmaktadır;

- Yüzey temizlik derecesinin kontrolü

Yüzey temizlik derecesinin tayin edilmesi amacı ile, çelik malzeme yüzeyi, iyi gelen gün ışığı altında veya buna denk bir yapay aydınlatma ile incelenmekte ve referans fotoğraflar kullanılarak, çelik yüzeyin görünümüne en yakın derece için değerler tayin edilmektedir. Yüzey temizlik derecesinin gözle muayene edilmesi esnasında, aşağıda belirtilen hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir;

- Muayene edilen metal yüzey, eğer daha önce boyanmamış ise, raspa işlemi öncesindeki pas derecesine dikkat edilmelidir.
- Çelik malzemenin kendi rengine dikkat edilmelidir.
- Çukur ve benzeri yüzey düzensizlikleri kontrol edilmelidir.
- El ve motorlu araçlar ile raspa aletlerinden kaynaklanan çizikler kontrol edilmelidir.

Raspa edilen yüzeyler aynı gün ve tercihen ilk 8 saat içerisinde astar boya ile boyanmalıdır. Eğer raspa sonrasında yüzeyde paslanma belirtileri tespit edilirse yüzey tekrar raspa edilmelidir.

- Yüzey tuzluluğunun kontrolü

Yüzey hazırlığı tamamlanan alanlarda, suda çözülebilir klorid miktarının limitte olması gerekmektedir.Yüzey üzerinde bulunan klorür içerikli tuzların miktar tayini, her 100 m² de bir kez yapılmaktadır.Tuz miktarı, su ile temas eden ıslak alanlar için 3 mikrogram/cm², kuru alanlar için 5 mikrogram/cm² değerlerinin altında olmalıdır.Limitlerin üzerinde suda çözülebilir klorid içeren yüzeyler, 70 bar basıncında su jeti ile yıkanmakta ve sonrasında ölçüm

tekrarlanmaktadır.Bu işleme, yüzey kirliliği limitlerinin altına inene kadar devam edilmektedir.

- Yüzeyde petro-kimyasal atık kontrolü

Raspa uygulaması ile yüzey üzerinde bulunan yağ, gres ve benzeri petro-kimyasal maddeler temizlenememektedir.Eğer yüzeyde petro-kimyasal atık izleri tespit edilirse, kimyasal temizlik işlemi yapılmaktadır.Kimyasal temizlik işlemi için tiner, emülsiyon, solvent, temizlik maddeleri veya kullanıma uygun olan benzeri madde ve metotlar kullanılmaktadır.

- Yüzey tozluluğunun kontrolü

Yüzey hazırlığı tamamlanan alanlar, komşu mahallerdeki raspa faaliyetleri sonucu açığa çıkan raspa tozlarından etkilenmektedirler.Toz varlığının tespit edilmesi halinde, tozlar fırça ve basınçlı hava yardımıyla temizlenmelidir.

- Yüzey profilinin kontrolü

Yüzey profilinin genel olarak 40-100 μ aralığında olması gerekmektedir.İdeal pürüzlülük değeri olarak, boya sistemi toplam kuru film kalınlığının 1/4 – 1/3 oranı esas alınmaktadır.Bu kural, toplam film kalınlığının 300 μ 'dan fazla olması halinde uygulanmamaktadır.Bu durumlarda, 100 μ pürüzlülük değeri yeterli olarak kabul edilmelidir.

- Geometrik şekillere sahip yüzeylerin kontrolü

Geometrik olarak, girintili-çukuntulu şekillere sahip yüzeylerin, ulaşılması zor kesimlerinin, uygun şekilde raspa edildiği ve temizlik sonrasında yüzeyin raspa artıklarından tam olarak temizlendiği kontrol edilmektedir.

- Kaynaklı yüzeylerin kontrolü

Kaynak yapılan kısımların, düzgün şekilde taşlandığı ve kaynak cürufularından temizlendiği kontrol edilmektedir.

- Kısmi raspa sonrası, geriye kalan boyaya uygulanacak işlemlerin kontrolü

Eğer yüzeye kısmi raspa yapılmışsa, raspa edilen alana komşu olan, sağlam boya alanları da yüzey hazırlığı kapsamında yer almaktadır.Bu alanlar için aşağıda belirtilen kontrol işlemlerinin yapılması gerekmektedir;

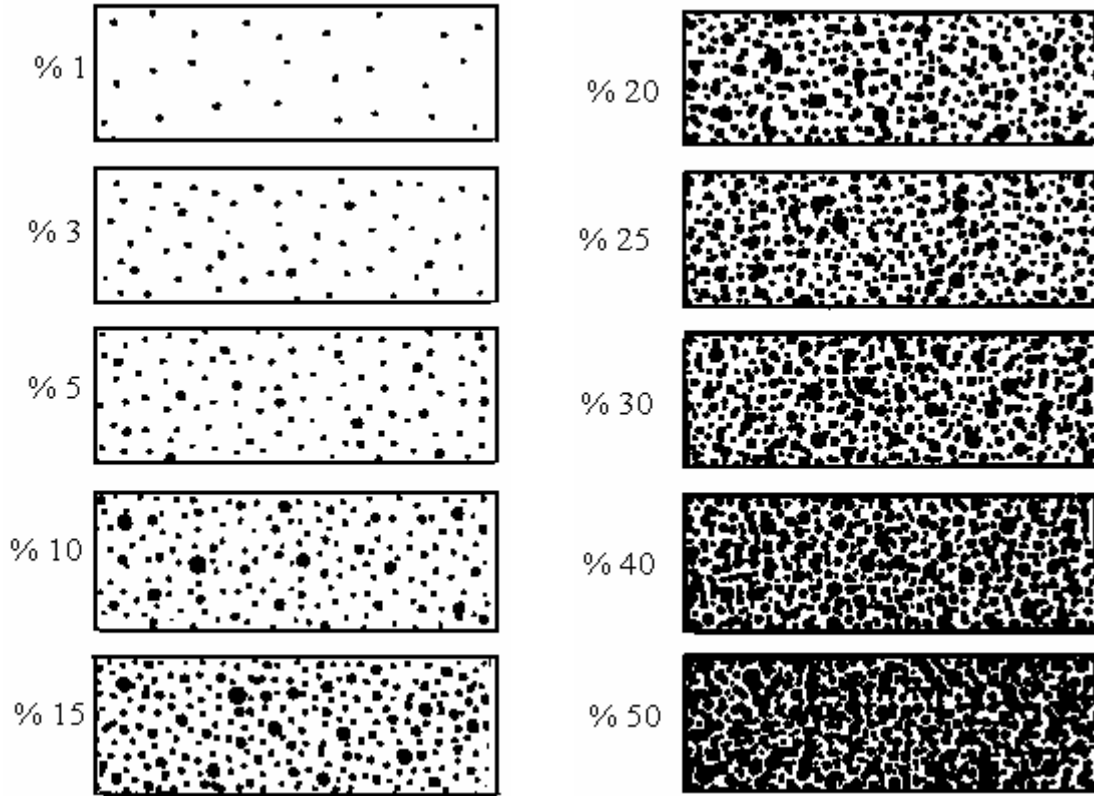
- Sağlam boyanın, komşu bölgelerde yapılan raspa tozlarından temizlendiği kontrol edilmelidir.
- Sağlam boya sınırlarının, aşırı kalınlık oluşturmaksızın, düzgün geçişi sağlayacak şekilde zımparalanarak inceltmiş olduğu kontrol edilmelidir.

5.1.2 Gemilerde korozyon nedeniyle oluşan malzeme hasarlarının tespiti

Overhol onarımlarında, yüzey hazırlığı işlemlerinin ardından, gemilerin korozyon sebebiyle deformasyona uğrayan çeşitli elemanlarında meydana gelen hasarların tespiti yapılmakta ve buna uygun onarım yöntemleri belirlenerek uygulanmaktadır. Korozyon hasarlarının tespiti, çukurcuk yoğunluğunun tespiti ve kalınlık incelmesinin tespiti olarak iki başlık altında incelenebilir.

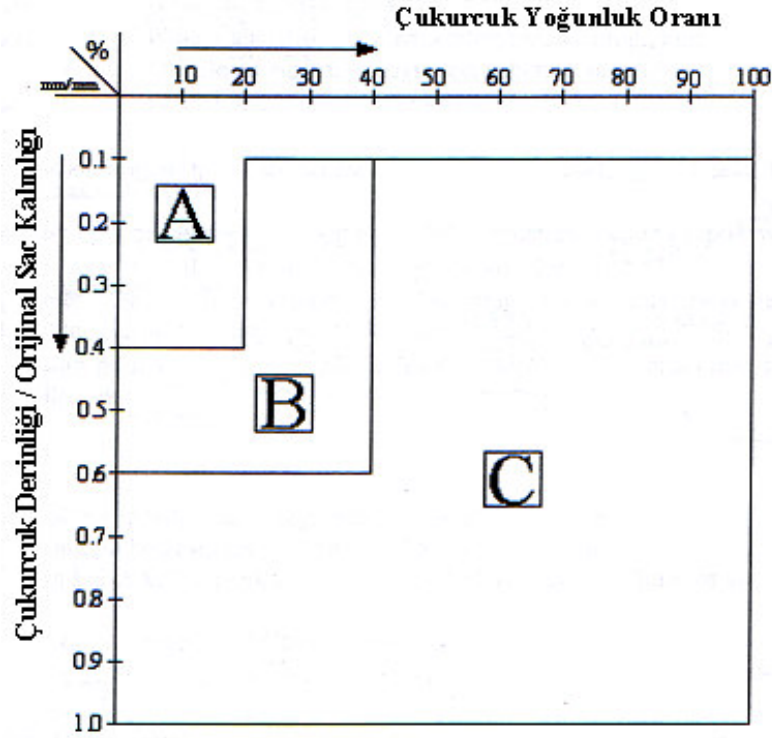
5.1.2.1 Korozyon nedeniyle oluşan çukurcuk yoğunluğunun tespiti

Gemi teknelerinde, çukurcuk korozyonunun tespiti amacıyla yüzeyler, lokal olarak gözle incelenmekte ve Şekil 5.5'e göre yoğunluk oranı belirlenmektedir. Yoğunluk oranının belirlenmesinin ardından, Çizelge 5.1'de gösterilen değerler baz alınarak çukurcuk yoğunluğunun seviyesi tespit edilmektedir .



Şekil 5.5 Çukurcuk yoğunluk oranları (Türk Loydu, 1989)

Çizelge 5.1 Çukurcuk seviyesi(Türk Loydu, 1989)



Çizelge 5.1'de 'A' ile tanımlanan bölge, çukurcuk oluşumunun kabul edilebilir sınırlarda olduğunu göstermektedir. Böyle durumlarda, düzeltici herhangi bir işlem yapılmasına gerek kalmamaktadır. 'B' ile tanımlanan bölge, orta dereceli çukurcuk oluşumunu göstermektedir. Bu gibi durumlarda, kaynak yöntemi kullanılarak, yüzey üzerindeki korozyon hasarının giderilmesi yoluna gidilmelidir. Çizelge üzerindeki 'C' bölgesi, çukurcuk korozyonunun aşırı derecede olduğunu göstermektedir. Tekne sacının aşırı derecede hasar gördüğü bu gibi durumlarda, yapılabilecek tek onarım yöntemi, korozyona uğrayan sacın yenisi ile değiştirilmesidir. Korozyon hasarlarının giderilmesi amacıyla yapılan işlemler aşağıda belirtildiği gibidir;

- Çukurcuk derinliği $< 0.07 \times$ Sac kalınlığı ise; yüzey taşlanarak çukurcuklar giderilmektedir.
- $0.07 \times$ Sac kalınlığı $<$ Çukurcuk derinliği $< 0.2 \times$ Sac kalınlığı ise; yüzey önce taşlanmakta, daha sonra da kaynakla dolgu yapılmaktadır.

Çukurcuklarda aşırı derecede korozyon görülmesi halinde, çukurcuk derinliği kabul edilebilir sınırlar içinde olsa dahi korozyon hasarları giderilmelidir. Deniz ortamına dayanıklı özel macun uygulamaları, belirli bir zaman zarfı için korozyonun ilerlemesini yavaşlatmak amacıyla kullanılmaktadır. Sacın mukavemetinin artmasını sağlamamaktadır. Çukurcukların geniş aralıklarla yayılması durumunda kaynak dolgusu uygulanabilir.

5.1.2.2 Korozyon nedeniyle oluşan kalınlık incelmelerinin tespiti

Overhole giren gemilerde, sac ölçümü yapılacak yüzey, çukurcuk korozyonuna uğramışsa, aşağıda belirtilen formül kullanılarak ortalama sac kalınlığı bulunmaktadır;

$$t_{\text{hesap}} = t_{\text{levha}} \cdot (1 - \text{Int}/100) + t_{\text{çukurcuk}} \cdot \text{Int}/100 \quad (5.2)$$

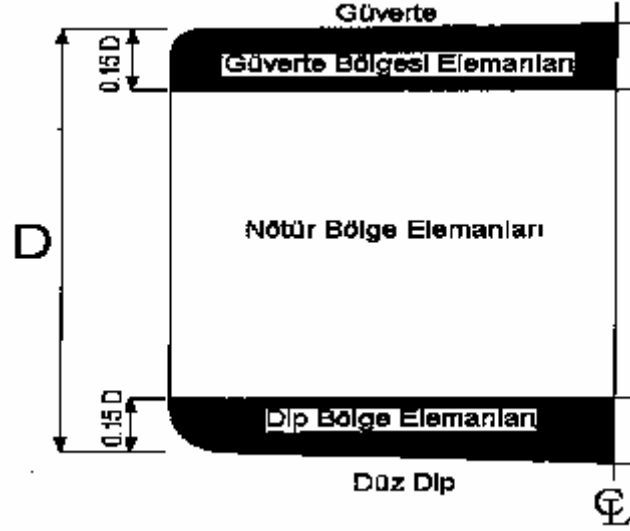
t_{hesap}	Hesaplanmış ortalama sac kalınlığı
t_{levha}	Çukurcuk alanının dışında kalan ortalama sac kalınlığı
Int	Çukurcuk oluşumunun sac yüzeyindeki yoğunluk oranı
$t_{\text{çukurcuk}}$	Çukurcuk içindeki ortalama sac kalınlığı

Ortalama sac kalınlığı ' t_{hesap} ', aşağıda belirtilen işlem basamakları ile belirlenmektedir;

- Sac levhanın, çukurcuk korozyonuna maruz kalmayan bölgesinde sac ölçümü yapılarak, formülde belirtilen " t_{levha} " yerine konulmaktadır.
- Çukurcuk korozyonunun, sac levha üzerindeki dağılım oranı Şekil 5.5 kullanılarak tespit edilmekte ve formülde " Int " yerine konulmaktadır.
- Sac levhanın çukurcuk oluşmuş bölümünden alınan sac ölçüm değeri mm birim cinsinden " $t_{\text{çukurcuk}}$ " yerine kullanılmaktadır.

Overhol havuzundaki gemilerin, tespit edilen çeşitli bölümlerinde, ultrasonik cihaz ile kalınlık ölçümü yapılmaktadır. Genellikle , boyuna tekne bünye elemanlarının kalınlığı üç noktadan alınmalıdır. Ana tekne bünye elemanlarının stifnerlerinden ve saclarından, makine ve kazan temellerinden, dümenden v.b. pas temizlenmelidir.

Yapılan ölçümler çerçevesinde, gemi elemanlarının kalınlıklarının azalma seviyesi, Çizelge 5.2'ye göre kontrol edilmektedir. Eğer kalınlık azalması, kabul edilebilir sınırlar dahilinde değilse, korozyona maruz kalan elemanın, değiştirilmesi yoluna gidilmelidir. Çizelge 5.2'de belirtilen değerler, Şekil 5.6 esas alınarak uygulanmaktadır.



Şekil 5.6 Gemi elemanları

Şekil 5.6'da gemi üzerinde, güverte bölgesi, nötr bölge ve dip bölge gösterilmiştir. Çelik gemiler için, bu bölgelerde bulunan elemanlar ile, diğer bölge elemanlarının, gemi özelliklerine göre, kabul edilebilir kalınlık incelmeleri Çizelge 5.2'de gösterilmiştir. Çizelgede (*) işareti ile gösterilen bölgelerdeki müsaade edilebilir kalınlık incelmeleri ' $t > 5$ mm' için %25, ' $t \leq 5$ mm' için %20'dir.

Çizelge 5.2 Çelik teknelerde müsaade edilebilir kalınlık incelemeleri

ÇELİK TEKNELERDE MÜSAADE EDİLEBİLİR KALINLIK İNCELEMESİ

TABLO 1		90 METREDEN BÜYÜK GEMİLER								90 METREDEN KÜÇÜK GEMİLER								
		LEVHALAR	STİFNERLER	STRİNGERLER	DERİN	ARA	GÖNDERLER	DÖŞEKLER	KEMERELER	LEVHALAR	STİFNERLER	STRİNGERLER	DERİN	PROFİL	GÖNDERLER	DÖŞEKLER	KEMERELER	
GÜVERTE BÖLGESİ ELEMANLARI	ANA/MUKAVEMET GÜVERTELERİ	20 %	20 %				20 %		20 %	(*)	(*)				(*)		(*)	
	MARJİN	20 %								(*)								
DİP BÖLGE ELEMANLARI	TEK DİP GEMİLER	DİP	20 %	25 %			20 %	20 %		(*)	(*)				(*)	(*)		
		SİNTİNE BÖLÜMÜ	20 %							(*)								
		TANK TOP	25 %							(*)								
	ÇİFT DİP GEMİLER	DİP	25 %	25 %			20 %	20 %		(*)	(*)				(*)	(*)		
		SİNTİNE BÖLÜMÜ	25 %							(*)								
		TANK TOP	25 %							(*)								
NÖTR BÖLGE ELEMANLARI	BORDA	20 %	25 %	20 %						(*)	(*)	(*)						
	ANA GÜVERTE	25 %	25 %							(*)	(*)							
	POSTALAR				25 %	20 %						(*)	(*)					
DİĞER ELEMANLAR	BAŞ/KIÇ PİK PERDELERİ	20 %	20 %							20 %	20 %							
	DİĞER ENİNE PERDELER	25 %	20 %							(*)	20 %							
	KASARA/ÜST BİNA GÜVERTELERİ	25 %								(*)								
	ÜST BİNA YAN ALABANDA	25 %	25 %							(*)	(*)							
	ÜST BİNA ÖN PERDE	20 %	20 %							20 %	(*)							
	ÜST BİNA ARKA PERDE	30 %	25 %							(*)	(*)							
	MEZARNALAR	30 %	30 %							(*)	(*)							

5.2 Overhole Giren Gemilerde Korozyon Hasarlarının Giderilme Yöntemleri

Overhole giren gemilere, korozyon hasarlarının giderilmesi amacıyla yapılan işlemler, metal kayıplarının giderilme yöntemi, boyama yöntemi, sıvı kaplama maddesi uygulama yöntemi ve katodik koruma yöntemi olarak sıralanabilir.

5.2.1 Metal kayıplarının giderilmesi yöntemi

Gemilerde, metal kayıplarıyla sonuçlanan korozyon hasarlarının giderilmesinde, dolgu maddesi uygulaması, kaynak işlemi ve çelik eleman yenileme yöntemi kullanılmaktadır.

5.2.1.1 Dolgu maddesi uygulanması ile metal kayıplarının giderilmesi

Uygulanacak dolgu maddesi, denizel ortama dayanıklı, özel bir macun olmalıdır. Dolgu maddesi uygulanmadan önce, dolgu yapılacak gözenek, kum/grit raspası ile temizlenmeli ve ardından kurutulmalıdır. Dolgu yapılması düşünülen gözenek, sivri köşe kalmayacak şekilde taşlanmalıdır.

Dolgu maddesi uygulamasında, korozyonun yol açtığı gözenek tamamen doldurulmalı ve taşan kısımlar düzgün yüzey elde edilene kadar taşlanmalıdır.

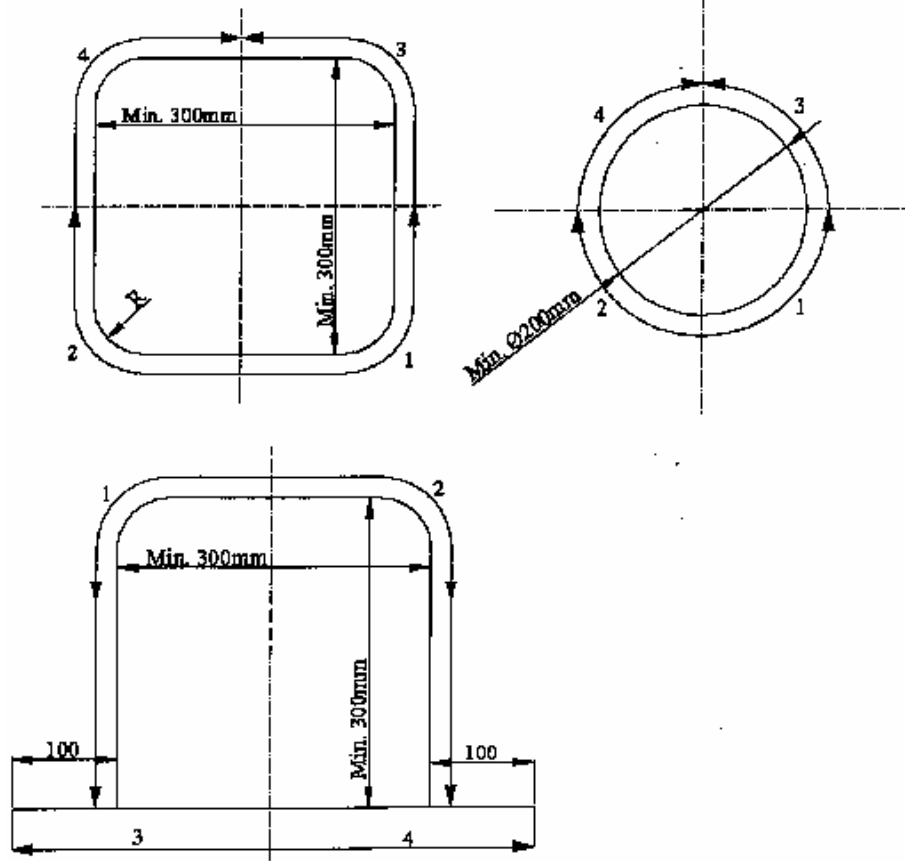
5.2.1.2 Kaynak işlemi ile metal kayıplarının giderilmesi

Kaynak işleminin uygulanması düşünülen bölge, kaynak öncesi kum/grit raspası ile temizlenip kurutulmalıdır. Ayrıca kaynak bölgesi düzgün bir yüzey elde edilmesi amacı ile taşlama işlemine tabi tutulmalıdır. Kaynak işlemi esnasında, çelik malzeme kalitesine ve özelliklerine uygunluğu onaylanmış elektrotlar kullanılmalıdır. Korozyon sonucunda oluşan gözeneğin kaynak ile doldurulmasının ardından, kaynak çapakları ve taşıntıları, tamamen pürüzsüz bir yüzey elde edilecek şekilde taşlama işlemi ile giderilmelidir. Kaynak ile dolgu yapılırken tam kaynak nüfuziyeti sağlanmasına özellikle dikkat edilmelidir.

5.2.1.3 Çelik eleman yenileme yöntemi ile metal kayıplarının giderilmesi

Korozyona uğramış gemiye ait, değiştirilmesine karar verilen eleman yerine kullanılan malzemenin kalitesi, orijinalinin aynısı olmalıdır. Ayrıca, yenilecek malzemenin yerine konulacak olan malzeme kalınlığı ve mukavemet değeri projelendirilmiş değer ile aynı olmalıdır. Özel bir onarım zorunluluğu olması durumunda malzeme kalınlığı, orijinal değerinin maksimum %5-10 fazlası olmalıdır. Orijinal değerinin altında bir kalınlık uygulaması yapılmamalıdır. Yenileme esnasında, çelik malzeme kalitesi ile aynı özelliğe sahip, uygun elektrot kullanılmalıdır. Yapılan kaynağın tam nüfuz etmesi sağlanmalı ve

kaynak sonrası yüzey taşlanarak tamamen pürüzsüz hale getirilmelidir. Kaynak işlemi sonrasında X-Ray röntgen filmi ile kaynak kontrolü yapılmalıdır. Yenilenecek çelik sacların, minimum boyutları Şekil 5.7'de gösterildiği gibi olmalıdır. Yani sac parçalarının yarıçapının, sac kalınlığının 5 katı olmasına ve 100mm.'den küçük olmamasına dikkat edilmelidir. Kaynak sırası 1,2,3,4 şeklinde olmalıdır. (Türk Loydu, 1989)



Şekil 5.7 Yenilenecek çelik sacların minimum boyutları(Türk Loydu , 1989)

5.2.2 Boyama yöntemi

Gemiler, yüzey hazırlama işlemleri sonrasında, tespit edilen metal kayıplarının giderilmesinin ardından, korozyondan korunmaları amacıyla boyama işlemine tabi tutulurlar.

5.2.2.1 Boya uygulaması esnasında dikkat edilecek hususlar

Boya performansının en üst düzeyde olabilmesi için öncelikle, boya uygulaması sırasında aşağıda belirtilen atmosferik şartların sağlanması gerekmektedir;

- Hava sıcaklığı, +5 - +35 °C arasında olmalıdır.

- Bağıl nem %85'in altında olmalıdır.Eğer boyanacak zemin nemli ise, boya performansını arttırmak için, yüzey metil izobutil keton ile silinmeli ve boya öncesi yüzeye boya tineri uygulanmalıdır.Ayrıca, yüzeye basınçlı hava tutulması da, solvent ve suyun buharlaşmasını hızlandırdığından tavsiye edilmektedir.Böyle durumlarda, yüzeye ilk kat boyanın fırça ile atılması tercih edilmektedir.
- Rüzgar hızı, 25 km/saat'i geçmemelidir.
- Boyanacak yüzeyin sıcaklığı, çığleşme sıcaklığının en az 3°C üzerinde olmalıdır. Çığleşme sıcaklığının tayini, boyanacak yüzeye maksimum 2m uzakta yapılmaktadır.
- Yağmur ve kar yağışı olmamalı, ayrıca hava sisli ve puslu olmamalıdır.
- Boyası yapılan mahalın havalandırması, boyadan buharlaşan solventleri ortamdan uzaklaştırmak için yeterli seviyede olmalıdır.

Boyanacak bir yüzey, korozyon oluşumunun önlenmesi amacıyla, kum/grit raspa veya el ve motorlu araçlar ile temizlendikten hemen sonra, primer (sülyen) boya ile boyanmalıdır. Bu maksatla sadece aynı gün boyanabilecek kadar yüzey raspa edilmeli ve yüzey hazırlandığında, mümkün olan en kısa zamanda primer boya ile boyanmalıdır. Korozyona karşı koruyucu özellik taşıyan bu boya çok ince olmalı ve hiçbir aralık bırakılmadan sürülmelidir. Bir önceki boya katının kuruduğundan emin olmadan, ikinci kat boya tatbik edilmemelidir. Boyama işleminde en sık yapılan uygulama hatası, boya katının gereğinden kalın olmasıdır. Kalın boya tabakası, alt kattaki boya tabakasının kurummasını engelleyerek, boya performansını düşürmektedir.

Boya yapma usulleri, fırça ile sürme, merdane ile sürme ve boya tabancası ile püskürtme şeklinde üç kısma ayrılmaktadır.Boya iç mahallere, boya tabancasıyla veya fırça ile, mümkün olan incelikte ve yüzeyi tam kapatacak şekilde uygulanmalıdır. Böylece, çatlama ve soyulma önlenildiği gibi gereksiz boya sarfiyatının da önüne geçilmektedir.Dahili mahallerin boyanması, tek kat astar ve son kat boya uygulaması şeklinde olmaktadır. Bu iki tabakanın toplam kalınlığı 0.2 mm'yi geçmemelidir.Su kesiminin üstünde kalan harici kısımlarda, bir kat astar boya ve iki kat son kat boya uygulanmaktadır. Astar boya üzerine atılacak olan anti-korozif boya, öncelikle kaynak dikişlerine tatbik edilmeli ve daha sonra tüm yüzeyin boyanmasına geçilmelidir. Boyanın ilave edeceği ağırlık nedeniyle, üst kısımların, sık sık boydan boya boyanmasından kaçınılmalıdır. 1600 tonluk bir gemiye, fazladan sürülen bir tabaka boyanın, gemi ağırlığına 1 ila 1/2 ton fazla yük ilave etmesi, konunun öneminin anlaşılması amacıyla örnek olarak verilebilir . Kalın uygulanan bir boyanın yarattığı ikinci bir sıkıntı da, kolaylıkla soyulmasının getirdiği problemlerdir.

5.2.2.2 Boyanın kontrolü

Boyanın kontrolü, film bozukluklarının kontrolü, yaş film kalınlığının kontrolü, kuru film kalınlığının kontrolü, kürleşme kontrolü ve süreksizlik kontrolü gibi çok çeşitli şekillerde yapılmaktadır.

- Film bozukluklarının kontrolü

- Kanama

Kanama, alt kat boya renginin, üst kat boyada, izler halinde görülmesine denilmektedir. Kanama genellikle, alt kat boya renklendirici birleşenlerinin, üst kat boya ile kimyasal olarak reaksiyona girerek, çözümleri ile meydana gelmektedir. Kanama, boyanın estetik görünüşünü etkilemekte fakat, koruma performansında herhangi bir kayba yol açmamaktadır. Düzeltmek için, boya kuruduktan sonra ince olarak yeni bir üst boya katı atılabilir.

- Portakal kabuğu

Boya yüzeyinde, portakal kabuğunu andıran şekilde, girinti ve çıkıntıların bulunması ile kendini gösteren film bozuklukları, portakal kabuğu olarak tanımlanmaktadır. Atomizasyonun düzgün olmaması, boyanın aşırı viskoz olması, boya tabancasının yüzeye çok yakın tutulması ve boya solventinin çok süratli olarak buharlaşması sonucu oluşmaktadır. Düzeltmek için, kusurlu alan raspa edilerek tekrar boyanmalıdır.

- Kraterleşme

Sprey ile tatbik edilen boya yüzeyindeki düzenli girinti ve çıkıntılar, kraterleşme film bozukluğu olarak tanımlanmaktadır. Havanın, yaş boya içerisinde hapis olmasından kaynaklanmaktadır. Düzeltmek için, kusurlu alan, sağlam boya katına kadar raspa edilmeli ve tekrar boyanmalıdır.

- İğnelenme

Boya film tabakasında, yüzeye kadar inen küçük deliklerin oluşturduğu film bozukluklarıdır. Yetersiz atomizasyon, pigment çökmesi, uygun miktarda solvent kullanılmaması veya solventsiz boyaların solvent ile inceltilmesi sebebiyle oluşmaktadır. Düzeltmek için, eğer film tabakası kürleşmemişse, fırça ile kusurlu alan üzerindeki boya dağıtılmalı ve üzerine ilave boya atılmalıdır. Eğer boya kürleşmiş ise sadece ilave boya katı atılmalıdır.

- Akma, sarkma ve perdeler

Boyanın yüzeyde akması veya kayması sonucu oluşan film bozukluklarıdır. Fazla tiner kullanılması, fazla yaş film kalınlığı, boya tabancasının yüzeye çok yakın tutulması, bir önceki boya tabakasının çok sert olması, boyanan yüzeyin pürüzsüz ve parlak olması veya

yüzeyin çok soğuk olması sonucu oluşmaktadır. Düzeltmek için, eğer film tabakası kürleşmemişse, fırça ile kusurlu alan üzerindeki boya dağıtılmalı, eğer boya kürleşmiş ise, alan raspa edilerek tekrar boyanmalıdır.

- Buruşma

Boyanın pürüzlü ve kırışık görünümde olması buruşma olarak tanımlanmaktadır. Yaş film kalınlığının fazla olması, yüksek ortam sıcaklığı, yumuşak boya üzerine sert boya atılması veya alt kattaki boyanın kurumadan yeni bir boya katının atılması sonucu oluşmaktadır. Düzeltmek için, spatula ile buruşukluklar kazınmalı ve boya üst katı yenilenmelidir.

- Düzensiz parlaklık

Boya yüzeyinde düzensiz parlamalar ve düz alanlar olmasıyla kendini gösteren film bozukluğudur. Nemlenme, film kalınlığının değişken olması, boya kürleşmesi sırasında oluşan sıcaklık değişimleri ve boyanın hala yumuşak veya kurumamış olan bir boya tabakası üzerine atılması sonucu oluşmaktadır. Düzeltmek için, boyanın tamamen kuruması beklendikten sonra, yeni bir üst kat boya uygulaması yapılmalıdır.

- Fazla sprej, kuru sprej

Boyanın düz, kuru ve taneli bir görünümde olmasıdır. Boya solventinin çok süratli buharlaşması veya boya uygulaması sırasında boya tabancasının yüzeye çok uzak tutulması sebebiyle oluşmaktadır. Düzeltmek için, eğer boya kürleşmemişse solvent ile silinerek düzeltilmeli, kürleşmiş ise alan raspa edilerek tekrar boyanmalıdır.

- Yüzeyde kirlilik

Boya film tabakasına karışmış, çıplak gözle veya bir büyüteç ile seçilebilen, raspa gridi veya diğer kirlilerdir. Boyanacak yüzeyin uygun şekilde temizlenmemesinden kaynaklanmaktadır. Düzeltmesi için, kusurlu alan raspanmalı, temizlenmeli ve tekrar boyanmalıdır.

- Boya yaş film kalınlığının kontrolü

Boya planına göre, istenen kuru film kalınlığının sağlanabilmesi için yüzeye uygulanacak yaş filmin kalınlığı, boya içerisindeki katı madde miktarına ve boyanın inceltmesi için kullanılan tiner miktarına bağlıdır. Yüzeye uygulanması gereken yaş film kalınlığı, aşağıda belirtilen formül ile tespit edilebilmektedir;

$$W = D(1+T)/S \quad (5.1)$$

W Yaş film kalınlığı(μ)

D Kuru film kalınlığı(μ)

S Boya içerisindeki katı maddenin hacimce oranı

T Boyaya eklenen tinerin hacimce oranı

Boya film kalınlığının ölçülebilmesi için çeşitli standartlar kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın kullanılanı, 'TS 4772 EN ISO 2808' standardıdır. Yaş film kalınlığı, içindeki solventin buharlaşmasına bağlı olarak zamanla azaldığından, doğru kalınlığın ölçülebilmesi için, boya yüzeye atıldıktan hemen sonra, ölçülmelidir. Yaş film kalınlığının yeterli olmaması halinde, yüzeye atılan boya tamamen kurumadan, ilave kat boya atılmamalıdır. Yaş film kalınlığı her boya katı için ayrı ayrı ölçülmelidir (TS 4772 EN ISO 2808, 2005).

- Boya kuru film kalınlığının kontrolü

Boya kürleşmesi tamamlandıktan sonra kuru film kalınlığı, her boya katı için ölçülmeli ve boya planına uygunluğu kontrol edilmelidir. Boya kuru film kalınlığı, boyanmış alan üzerinde, elverdiğince farklı noktalardan ölçüm alınarak, aritmetik ortalamaya göre hesaplanmaktadır. Ölçüm yapılan mahallerdeki kuru film kalınlığı, nominal film kalınlığının %80'inden az ise, yetersiz olarak kabul edilmektedir. Kuru film kalınlıkları, nominal kuru film kalınlığının %80 - %100'ü arasında olmalı ve toplam aritmetik ortalaması, nominal kuru film kalınlığına eşit veya üzerinde olmalıdır.

- Boya kürleşme kontrolü

Boyanın kürleşmesiyle ilgili olarak çeşitli standartlar bulunmaktadır. ASTM D 1640-03 standardı yaygın olarak kullanılmaktadır. Eğer boyanan yüzey, boya uygulaması sonrasında, su ile temas edecekse, boyanın tam olarak kürleştiği kontrol edilmelidir (ASTM D 1640-03, 2004).

- Boya süreksizlik kontrolü

Boya korumasının önem arz ettiği bölgelerde ve ihtiyaç duyulması halinde, boya katı üzerinde süreksizliklerin, kesintilerin v.b. kaplama zafiyetlerinin olup olmadığı kontrol edilmelidir. Süreksizlik kontrolü için en yaygın kullanılan standart ASTM D 5262-04'dür. Boya katı süreksizliğinin test edilmesi için aşağıda belirtilen şartların sağlanması gerekmektedir;

- Tam olarak kürleşmemiş boya içerisinde bulunan solventler, yanlış ölçüme neden olabileceğinden, test yapılmadan önce boyanın tam olarak kürleşmesi sağlanmalıdır.
- Boyanın, elektrik özelliklerini etkileyen iletken pigment ve katkı maddeleri ihtiva edip etmediği belirlenmelidir.
- Kuru film kalınlığı, 500 μ 'dan az olan boyaların testi, alçak voltaj süreksizlik detektörü ile, 500 μ 'dan fazla olanların testi ise yüksek voltaj süreksizlik detektörü ile yapılmalıdır.

Bu test ancak, metal yüzeyi üzerine yeni tatbik edilen boyalar için kullanılmaktadır. Deniz suyuna maruz kalarak, tabakaları arasına nem nüfuz eden eski boyaların süreksizlik testleri

güvenilir neticeler vermediğinden, bakım uygulaması sonrasında sağlam olduğu değerlendirilen mevcut boya katı üzerine atılan boyalar için kullanılmamaktadır (ASTM D 5262-04, 2004)

5.2.3 Sıvı kaplama maddesi uygulama yöntemi

Korozyon önleyici sıvı kaplama maddesi, overhol onarımında bulunan çelik gemilerin, insan ve yük trafiği olmayan sarnıç ve bölmelerine uygulanmaktadır. Bu tür koruma yapılan boş ve kapalı sintine bölümleriyle balast tanklarında katodik korumaya gerek kalmamaktadır. Bu kaplama maddesi “akışkan film” adıyla da bilinmektedir. Yüzey pas durumuna göre ve uygulama koşullarına bağlı olarak çeşitli özelliklere sahip, değişik sıvı kaplama maddeleri mevcuttur.

Akışkan film, metal yüzeylerin korozyonunu etkin bir biçimde kontrol etmek için tasarlanmış, kompleks, yapışkan bir maddedir. Akışkan filmin yarı likit korozyon kontrol sistemi, pas tabakasına nüfuz ederek metale ulaşmakta ve burada yerleşerek oksidasyonun zarar verici etkilerine karşı bir engel oluşturmaktadır. Akışkan film ürünleri, alışılmadık katı kaplamalar ile diğer yumuşak kaplama tiplerine nazaran kendilerine has avantajlara sahiptir. Herhangi mevcut bir sisteme göre, ön hazırlık yapmadan yüzey üstüne kolay, emin, ucuz ve kısa zamanda uygulanması ile uzun süreli koruma sağlanmaktadır.

Akışkan film uygulamasının sert kaplamalar ve diğer tip yumuşak kaplamalar karşısındaki avantajları aşağıda belirtildiği gibi sıralanabilir;

- Akışkan film, en kalın pas tabakalarına dahi nüfuz edeceğinden her türlü yeni ve paslı yüzeylerde, mekanik veya kum raspa gibi detaylı yüzey hazırlığı yapılmasına gerek yoktur. Bu nedenle de zamandan ve ekonomik açıdan tasarruf sağlamaktadır.
- Akışkan film, özel işlenmiş koyun yünü yağı ve solvent içermeyen diğer seçilmiş maddelerden, tek komponentli olarak imal edildiğinden, uygulama esnasında yangın, patlama ve zehirlenme tehlikesi yaratmamaktadır.
- Akışkan film tek katlı olarak uygulanmakta, sertleşme ve kuruma zamanına ihtiyaç göstermemektedir.
- Akışkan filmin, metrekaşe başına birim maliyet fiyatı, uzun koruma ömrü ile birleştirildiğinde, diğer ürünlere oranla çok daha ekonomiktir.
- Akışkan film uygulamak için özel eğitilmiş personele ihtiyaç yoktur. Boya pompası haricinde fırça ve rulo ile uygulanabilmektedir.
- Akışkan film, devamlı yumuşak kalan bir maddedir. Esneme kabiliyeti olduğundan, metal yüzeylerde oluşabilecek deformasyonlara karşı dirençlidir.

- Akışkan filmin bazı çeşitleri, flotasyon metodu ile uygulanabildiğinden, uygulayıcı kişilerin giremeyeceği ulaşılmaması mümkün olmayan yerlerde dahi kolayca ve kısa zamanda uygulanabilmektedir.
- Akışkan film, uygulanacak kalınlığa bağlı olarak on beş yıla kadar, hiç bakım yapılmaksızın balast tanklarını koruma altına almaktadır.
- Akışkan film, suyun içinde erimediğinden ve sadece tank cidarlarına yapışıp kaldığından dolayı, balast basma esnasında denize akmamaktadır. Böylece çevre ve deniz kirliliğine sebebiyet vermemektedir.

Balast tanklarına uygulanacak akışkan filmde aşağıda belirtilen özelliklere sahip olması beklenmektedir;

- Sulfanet veya lanolin esaslı olması
- Solvent ve toksin madde içermemesi
- Şeffaf veya yarı şeffaf bir renge sahip olması
- 5-35 °C aralığında sıcaklıklarda uygulanabilmesi ve uygulandıktan sonra, yaklaşık 120°C'ye kadar olan ortam sıcaklıklarına devamlı olarak dayanabilmesi
- Özgül ağırlığının, 25°C'de 1gr/cm³ olan tatlı su özgül ağırlığından az olması

Akışkan filmin uygulanması esnasında, bazı hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir. Hafif paslı yüzeylere tatbik edilen akışkan film uygulamasından önce yüzeyde raspa işlemi yapılmasına gerek yoktur. Çelik yüzeye iyice yapışmayan pas ve boya, tel fırça ile temizlenmelidir. Ayrıca yüzeyler üzerindeki çamur, yağ ve su alınmalıdır. Bu temizleme işleminde, yer yer çıkması zor olan kalın korozyon ürünleri için çekiç raspa veya 700 bar basınçta su jeti kullanılabilir. Asfalt ve bitümlü boyalar, kalınlıkları 0,05 mm'nin altına düşüncüye kadar raspa edilmelidir. Ayrıca kaynak dikişleri üzerindeki çapak ve kurumuş cüruf tel fırça ve uygun metot kullanılarak temizlenmelidir. Uygulama yapılacak mahaldeki gazlar giderilmeli ve içerideki patlayıcı gaz miktarı ölçülmelidir. Sac yüzeyinde bulunan pas katmanındaki su miktarı, ortama hava sirkülasyonu tatbik edilerek azaltılmalıdır. Hazırlanan yüzeylere, akışkan film özel tabanca, fırça veya rulo ile, kalınlığı yeni yüzeylerde 1,5 mm, paslı yüzeylerde 1,7 mm olacak şekilde tatbik edilmelidir.

Teknik imkansızlıklardan ötürü yada zaman darlığı nedeniyle temizlenmesi mümkün olmayan yerlerde, paslı yüzeye yapışarak içine sızan ve metale kadar ilerleyerek pasla metal arasında film oluşturma özelliğine sahip olan sıvı kaplama maddeleri kullanılmaktadır. Bu maddeler, sadece çok kaba pasların kazınmasıyla kullanılabilir. Bu tür uygulamalardan sonra, 3 - 4 ayda bir sarnıç kontrol edilmelidir. Sıvı madde etkisiyle pasla ilişkisi kesilen sarnıcın

üzerindeki pas tabakası dökülür. Sızma özelliği nedeniyle, bu tür sıvı kaplama maddeleri, boya üzerinden de tatbik edilebilir. Zamanla kabaran boyayla sacın arasına giren sıvı madde, korumanın devamlılığını sağlamaktadır. Tatbik edilen yüzeyin kuru olmasına gerek yoktur. Yüzeydeki pasın durumuna göre 500 – 800 µ kalınlığında uygulanmaktadır.

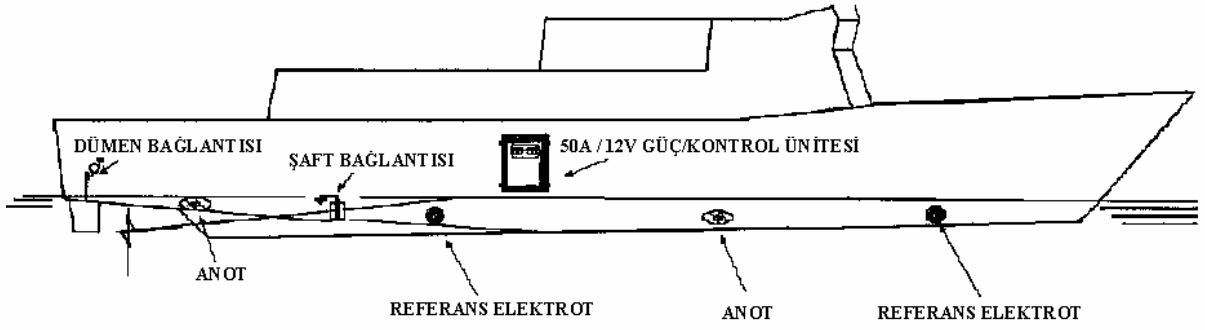
Girilemeyen balast tanklarına uygulanan akışkan filmler, kaba pas ve çamur temizlendikten sonra, tankın tavan ve yan yüzeylerine uygulanmakta, ayrıca tankın içine dökülmektedir. Akışkan film tanka döküldükten sonra, balast suyu, su seviyesi dakikada 15 cm'den fazla arttırılmayacak şekilde doldurulmalıdır. Bu işleme başlamadan önce, akışkan film nemli tank içinde uzun süre kalmamalıdır. Daha sonra, dakikada 15 cm'den hızlı olmayacak şekilde boşaltılmalıdır. Boşaltma, sıvı seviyesi boşaltma deliğine gelmeden durdurulmalı ve doldurup boşaltma işlemi 2 – 3 kere tekrarlanmalıdır. Bu çeşit filmler, herhangi bir astarın üstüne uygulanabilir.

Akışkan film uygulanan mahallerde, kaynak ve oksii-asetilen ile kesme işlemi yapılmadan önce ortamdaki gaz uzaklaştırılmalıdır. Balast tanklarında bu işlen, tankın birkaç kere deniz suyu ile doldurulup boşaltılması ile yapılabilir. Ayrıca, işlem yapılacak bölmedeki gazın giderilmesinden sonra, atmosferin kesme ve kaynak işlemine uygun olup olmadığı gaz seviyesi ölçülerek kontrol edilmelidir. Motorin ve artık yağ bulunan bölgeler temizlenmelidir. Kesme ve kaynak işlemi yapılacak nokta için, 1,5 m yarıçaplı daire içi, hat için, 2,5 m genişliğinde hattı ortalamayan şerit bölgedeki akışkan film kazıma ve silme yöntemleriyle temizlenmelidir. Eğer tavanda işlem yapılıyorsa, sarnıç veya bölme dibinde su bulundurmak yararlı olmaktadır. (HODT Korrosionsschutz, 1992)

5.2.4 Katodik koruma yöntemi

Gemilerde katodik koruma harcanabilir anotlarla yapılıyorsa, tasarım ömrü 2-4 yıl arasında değişmektedir. Bu süreler sonunda overhole giren gemilerde, takriben %85'i çözünmüş olan anotlar değiştirilmektedir. Emniyet açısından, yıllık kısmi değişim de gerekmektedir. Hariçten akım uygulanmasında sistem, en az 10 yıl bakıma ihtiyaç göstermeyecek şekilde tasarlanmaktadır (Çakır, 1988).

Şekil 5.8'de, 4 adet anot ve 2 adet referans elektrottan oluşan hariçten akım uygulamalı bir katodik koruma sistemi örnek olarak gösterilmiştir. Anotların iki tanesi sancak tarafında ve iki tanesi iskele tarafındadır. Referans elektrotlarla gemi bünyesindeki potansiyel farkı ölçülmekte ve ölçülen bu voltaj anota ters gerilim olarak verilmektedir. (M.G.Duff Marine Division, 1994)



Şekil 5.8 Hariçten akım uygulamalı katodik koruma sistemi (M.G.Duff Marine Division, 1994)

Yeterli ve kesin bir katodik koruma oluşabilmesi için, geminin deniz suyuna karşı oluşturduğu negatif gerilimin ölçülmesi gerekmektedir. Bu ölçüm, aşağıda belirtilen sorulara açıklık getirilebilmektedir;

- Katodik korumanın oluşup oluşmadığı,
- Kullanılan anotların uygun olup olmadığı,
- Yapılan dizaynda seçilen koruma ömrünün doğru olup olmadığı.

Katodik koruma sistemlerinin, görevini yerine getirememelerinin en önemli sebebi, dizayn esnasında yapılan hatalardır. Overhole giren gemilerde, harcanabilir anotlarla katodik koruma planlaması aşağıda belirtilen işlem basamaklarıyla yapılmaktadır;

- Geminin ıslak alan hesabının yapılması
- Geminin akım ihtiyacının belirlenmesi
- Uygun anodun seçilmesi
- Toplam anot ağırlığının belirlenmesi
- Toplam anot sayısının belirlenmesi
- Anot dağılımının yapılması

Geminin ıslak alan hesabı için birçok formül bulunmaktadır. Özellikle iki formül yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlardan ilki aşağıda belirtildiği gibidir;

$$F = L \times (1.85 \times D + 0.8 \times G) \quad (5.3)$$

Diğer formül, gemi boyuna bağlı olarak iki şekilde kullanılmaktadır. $L > 80\text{m}$ için;

$$F = (2 \times L \times D) + (0.75 \times L \times G) \quad (5.4)$$

$L < 80\text{m}$ için;

$$F = (1.7 \times L \times D) + (0.75 \times L \times G) \quad (5.5)$$

F Gemini ıslak alanı, m^2

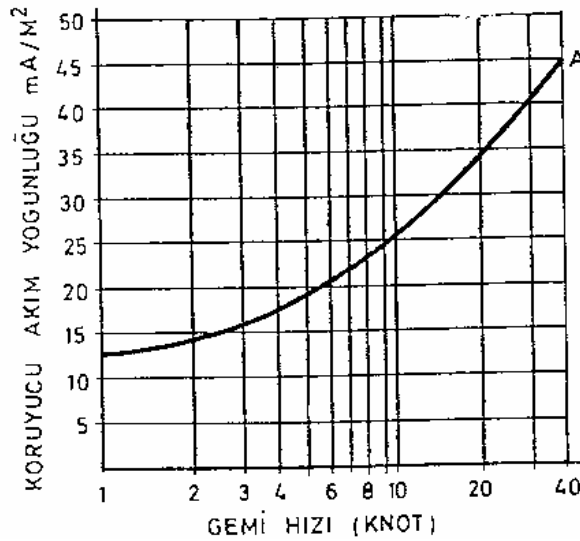
L Geminin boyu, m

D Geminin tam draftı, m

G Geminin eni, m

Koruma akımı, geminin hızı ile ters logaritmik orantıda artmaktadır. Her zaman gemi aynı hızda gitmemektedir. Bu farklı durumlarda akım ihtiyacı değişmektedir. Yapılan bir çok deneyler neticesinde, gemi hızı ve seyir oranlarına göre bir çizelge oluşturulmuştur. Bu çizelge vinil esaslı boyalara göre hazırlanmıştır. Epoksi boyalar, vinil esaslı boyalara göre daha dayanıklıdır. Bu sebeple, hız ve duruş faktörleri de göz önüne alınarak, vinil esaslı boyalar için hazırlanan çizelgeye göre bulunan akım ihtiyacının %75-80'i, epoksi boya kullanılan yüzeylerin akım ihtiyacı olarak değerlendirilebilir.

Çizelge 5.3 Vinil tip boyalar için, koruyucu akım yoğunluğunun gemi hızı ile değişimi (YUY-SAN, 2000)



A- Devamlı seyir hali

1- Yılın %50'sinin seyirde geçmesi halinde, belirlenen değer %70'i

2- Yılın %40'ının seyirde geçmesi halinde, belirlenen değer %65'i

3- Yılın %30'unun seyirde geçmesi halinde, belirlenen değer %60'ı

Gemi hızından yararlanılarak, çizelgeye göre belirlenen akım değeri, seyir oranına bağlı

olarak hesaplanmaktadır.Bu hesap sonucunda, teknenin akım ihtiyacı aşağıda belirtilen formül yardımıyla bulunmaktadır;

$$I = F \times \text{Hesaplanan akım değeri} \quad (5.6)$$

I Teknenin akım ihtiyacı, Amper

V Geminin seyir hızı, Knots

İhtiyaç duyulan toplam anot ağırlığı, aşağıda belirtilen formülle hesaplanmaktadır;

$$Q = I \times K \times Y \times F \quad (5.7)$$

Q Toplam anot ağırlığı, kg

I Teknenin toplam akım ihtiyacı, Amper

K Anot kapasitesi, kg/A.yıl

Y Koruma ömrü, yıl

F Uzama faktörü, 1.12

Bu hesaplamada, 'F' uzama faktörü, overhol havuzlaması geciken teknelerin korozyona uğramaması için kullanılan bir katsayıdır.Gemiler çeşitli sebeplerle, daima öngörülen zamanlarda havuzlanamazlar.Bazı durumlarda ise yanlış yapılan dizayn hesabı nedeniyle, anotlar öngörülen sürelerden daha önce tükenirler.Bu gibi durumlar için önceden önlem olarak gemiyi riske atmamak için uzama faktörü kullanılmaktadır.

Koruma ömrüne ve seçilen anot tipine bağlı olarak, anot listesinden bir adet anodun ağırlığının ne kadar olduğu öğrenilebilir.Toplam anot ağırlığı yardımı ile ,ihtiyaç duyulan toplam anot sayısı hesaplanabilir.

Islak alan hesabında, dümen alanı ayrı tutulmuştur.Dümen, hızlı su akışı nedeniyle, kavitasyon ve erozyon gibi korozyon çeşitlerine direk maruz kaldığı için ihtiyaç duyduğu akım miktarı gemi gövdelerinden farklıdır.Yapılan bir çok deneyler neticesinde, dümenin gemi boyuna göre esas alınan akım ihtiyaçları aşağıda belirtildiği gibidir;

- 10-50 m arasındaki tekne uzunluklarında, 1 Amper
- 50-100 m arasındaki tekne uzunluklarında, 2 Amper
- 100-150 m arasındaki tekne uzunluklarında, 4 Amper
- 150 m'den büyük tekne uzunluklarında, 7 Amper

Gemiler aerodinamik bir yapıya sahiptirler.Sabit bir hızla giden geminin, cidarına sürten su hızı her yerde aynı değildir.Yapılan araştırmalar, gemi üzerinde, su hızının değiştiği altı farklı

bölüm olduğu sonucunu ortaya çıkarmıştır. Teknenin homojen bir şekilde korunması için, hesaplanan toplam anot miktarının, bu bölgelere uygun bir şekilde dağıtılması gerekmektedir. Çizelge 5.4’de gemi üzerinde, anotların dağılımını gösteren pratik bir çizelge, örnek olarak verilmektedir.

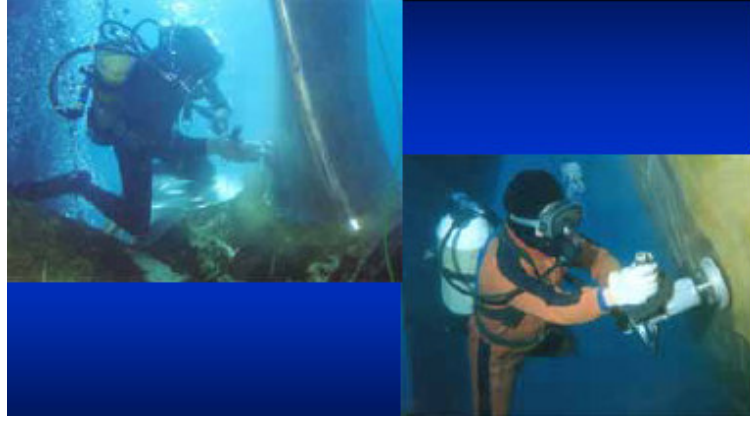
Çizelge 5.4 Gemi üzerinde anotların dağılımı (YUY-SAN, 2000)

Gemi boyuna göre	KIÇTARAF BAŞTARAF ←GEMİNİN BOYU “L” →					
	A (Dümen)	B	C	D	E	F
Bölüm uzunluğu yüzdesi(%)	-	5	10	20	35	30
Toplam anot dağılım yüzdesi(%)	-	20	18	15	35	12

Uygun olmayan katodik koruma sistemlerinin sebep olduğu korozyon hasarlarının önüne geçilmesi ancak, overhol esnasında yapılan doğru dizayn uygulamalarıyla mümkün olabilmektedir. Yapılan katodik koruma projelerinde, her ne kadar deneyimler sonucu elde edilen değerler esas alınsa da, en uygun koruma, dijital avometre ve referans elektrotlarla yapılan ölçümlerin esas alındığı katodik koruma uygulamalarıyla gerçekleştirilmektedir (YUY-SAN, 2000).

5.3 Su Altında Karina Kontrolü

Bu yöntem, overhol periyodu uzatılan gemilerin, son overhol havuzundan sonraki 12 aylık periyotlar içinde yapılacak olan, kontrol faaliyetlerini ve eğer gerekiyorsa temizlik işlemlerini içermektedir. Bu yöntem ile, gemilerin su altında kalan bölümleri olan karinaları, korozyon hasarlarının giderilmesi ve yakıt tasarrufunun sağlanması amacı ile kontrol edilerek temizlenmektedir. Dalgıçlar tarafından yapılan su altı kontrolleri ve temizlik işlemleri, 6-8 ay gibi, overhol periyotlarından daha kısa periyotlarla gerçekleştirilebilmektedir (NAVSEA, 1989). Şekil 5.9’da su altında dalgıç marifetiyle yapılan temizleme işlemi gösterilmektedir [9].

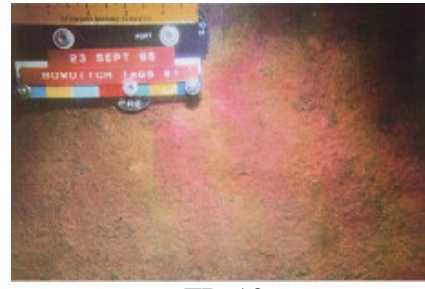


Şekil 5.9 Su altında karina kontrol ve temizliği [9]

Overholde, havuzlama esnasında boya uygulanmış veya karina temizliğine tabi tutulmuş tekne, 12 ay kadar temizlik ihtiyacı göstermemektedir. Ancak, uzun süre limanda atıl kalmış, özellikle de bu süreyi deniz suyu sıcaklığının yüksek olduğu yaz aylarında geçirmiş gemiler için, 12 aylık süre yetersiz kalmakta ve bu süre 6 aya düşmektedir. Dalgıçlar tarafından yapılan su altı temizliği, ara temizlik ve tam temizlik olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Tam temizlik uygulamasında, teknenin tüm karina yüzeyleri, pervaneler ve şaftlar temizlenmektedir. Ara temizlik uygulamasında ise sadece pervane şaftlar temizlenmektedir. Yüzey bozunma oranlarının kontrol edilebilmesi için, su altında çekilecek fotoğraf ve video CD kayıtları, referans fotoğraflarla karşılaştırılmaktadır. NAVSEA (Naval Sea System Command)'a göre referans olarak kullanılan fotoğraflar, Şekil 5.10 ve Şekil 5.11'de, gösterilmektedir. Şekil 5.10, biyolojik korozyona yol açan ve gemiyi ağırlaştırarak yakıt sarfını yükselten, biyolojik tekne kirliliği oranlarını göstermektedir. Şekil 5.11'de, teknede biyolojik kirlenmeye ve korozyona yol açan, zehirli boya ve anti-korozif boya bozulma oranları gösterilmektedir. Bu oranların değerlendirilmesi, Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6'ya göre yapılmaktadır.



FR-0



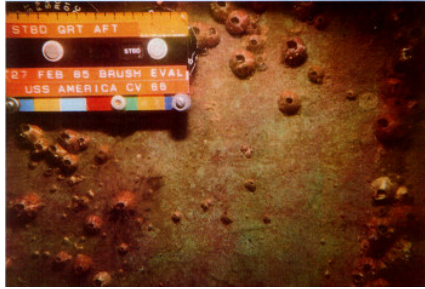
FR-10



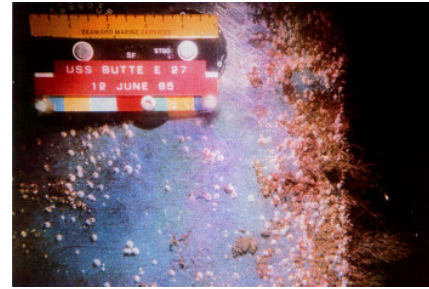
FR-20



FR-30



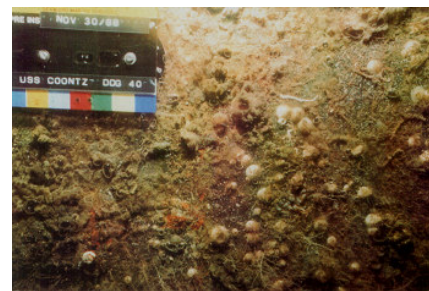
FR-40



FR-50



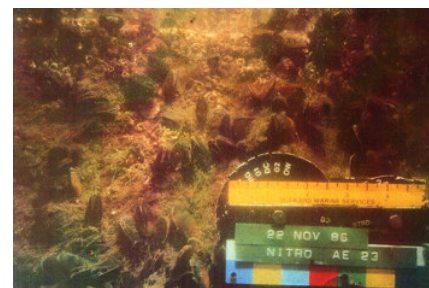
FR-60



FR-70

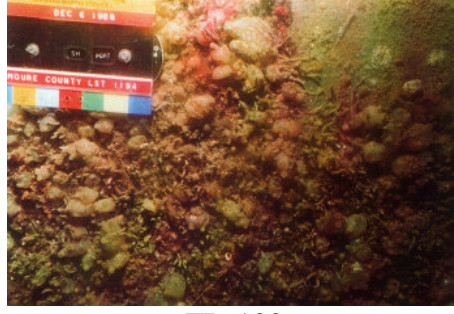


FR-80



FR-90

Şekil 5.10 Biyolojik tekne kirliliği oranları (NAVSEA, 1989)



FR-100

Şekil 5.10 Biyolojik tekne kirliliği oranları(devam) (NAVSEA, 1989)

Çizelge 5.5 Biyolojik tekne kirliliği oranlarının açıklaması (NAVSEA, 1989)

Biyolojik Kirlenme Oranı(FR)	Açıklama
0	Temiz, kirlenmemiş yüzey; kırmızı zehirli boya (havuzdan henüz çıkmış bir gemi için)
10	Süreklilik gösteren, kırmızı ve yeşil gölgeli yüzey(balçık başlangıcı)
20	Sarı yada kahverengi alanlarla yamanmış görüntüsü veren koyu yeşil balçıklı yüzey(ileri aşamadaki balçık)
30	76mm uzunluğunda ve 6,4mm yüksekliğinde yosun lifli yüzey(Sarı,yeşil veya kahverengi düz bir lif örtüsü kaplanmış)
40	Kenarlarda,kaynak dikişlerinde,köşelerde yada çapı, 229-254mm olan yüzey alanlarında kalsiyumlu kirlenme
50	Düz yada hafif eğimli yüzeyler üzerinde, gelişigüzel dağılmış beyaz kurtçuklar veya midyeler
60	Yüzey üzerinde, 6,4mm çapında yada daha az dağılım gösteren beyaz kurtçuklar yada midyeler.Biyolojik kirlenme yüzeyi tamamen örtmemektedir.
70	229-254 mm çapını aşan, beyaz kurtçuk ve midye dağılımının yüzeyi tamamen kaplaması.Merkezden dışarıya doğru yayılarak büyüyen, 6,4mm çapında yada daha küçük midye ve beyaz kurtçukların yüzeyi kaplaması.
80	İç içe geçmiş ve yüzeyden dışarı doğru büyüyen beyaz kurtçuklar, birbirinin üzerinde büyüyen midyeler, beyaz renkte kalsiyum kabuklar
90	6,4 mm yada daha büyük midyeler ve yoğun beyaz kurtçuklar.Dış tabakada balçık ve yosun oluşması ile, kalsiyum kabuklarının kahverengi olması.
100	Kirlenmenin tüm formlarının oluşması, özellikle kalsiyum kabuğu olmayan yumuşak deniz hayvanlarının yüzeye yerleşmesi



PDR-10



PDR-20



PDR-30



PDR-40



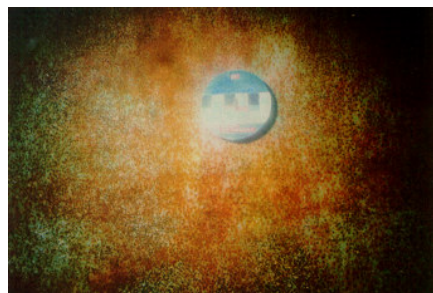
PDR-50



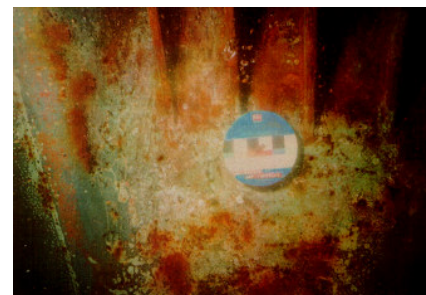
PDR-60



PDR-70



PDR-80



PDR-90



PDR-100

Şekil 5.11 Boya bozunma oranları (NAVSEA, 1989)

Çizelge 5.6 Zehirli boya(AF) ve anti-korozif boya(AC) sistemleri için boya bozunma oranlarının açıklaması (NAVSEA, 1989)

Boya Bozunma oranı(PDR)	Açıklama
10	AF boya bozulmamış,kırmızı renkte yada açık yeşil ile kırmızının karışımı halinde alacalı görünümlü
20	AF boya kenarlarda, köşelerde, dikiş yerlerinde, kaynaklarda, perçinlerde yada cıvata başlarınca bozulmuş.AC boya açığa çıkmış
30	AF boya düz yada hafif eğimli yüzeylerde, silinerek bozunmuş. AC boya bu kısımlarda açığa çıkmış.
40	AF boya, patlamamış boya kabarcıkları üzerinde bozunmuş. AC boya bu kısımlarda açığa çıkmış.
50	AF boya kabarcıkları patlamış.Açığa çıkan AC boya bozunmamış .
60	AF/AC boya bozulmuş yada soyulmuş.Açığa çıkan çelikte korozyon mevcut değil.
70	AF/AC boya kenarlarda, köşelerde, dikiş yerlerinde, kaynaklarda, perçin yada cıvata başlarından kalkmış.Açığa çıkan çelikte korozyon başlangıcı oluşmuş.
80	Eğimli ve düz yüzeylerde AF/AC boya kabarcıkları patlamış.Korozyon lekeleri mevcut.
90	Aşınma ve çukurcuk korozyonu nedeniyle, AF/AC boya kalkmış.Çelik korozyona uğramış.
100	Gözle görülebilir çukurcuk korozyonu.Pul pul dökülme ve aşınmayla kendini gösteren korozyon

Tam temizlik uygulaması, son havuzlamadaki boyanmamış yüzeyler hariç tutulduğunda, karınada FR-50 ve üzerinde kirlenme tespit edilirse gerçekleştirilmektedir.Ara temizlik, pervane gibi boyanmayan yüzeylerde FR-30 ve üzerinde kirlenme görüldüğünde uygulanmaktadır.Hareket ihtiyaçlarından doğan zaman kısıtlaması veya kaynak yetersizliği gibi nedenlerle, karar verilme durumunda kalındığında, tam temizlik uygulaması aşağıda belirtilen öncelik sırasına göre yapılmaktadır;

- Pervaneler
- Başa doğru teknenin 1/3'lük kısmı
- Kıça doğru teknenin 2/3'lük kısmı

Eriyen ve kendiliğinden parlayan zehirli boyalar, geleneksel zehirli boyalardan daha yumuşaktır. Bu boyaların uygulandığı yüzeyler temizlenmemelidir. Ancak, bu boyaların tatbik edildiği yüzeyler, ara temizlik kontrollerine tabi tutulmalıdırlar. Yüzey üzerinde yapılan kontroller sonucunda, FR-50 ve üzerinde kirlenme tespit edilirse, gemi havuzlanmalıdır.

5.3.1 Su altı kontrolü öncesi yapılan hazırlıklar

Kontrollerin güvenilir ve emniyetli bir şekilde yapılabilmesi için, su altı kontrolü öncesinde aşağıda belirtilen hazırlıkların yapılması gerekmektedir;

- Dalış emniyeti ve etkin bir temizleme için, gemi ile iskele arasında en az 1,2 metre mesafe olmalıdır.
- Gemi omurgası ile dip arasında, en az 3 metre mesafe olmalıdır.
- Çalışmalar boyunca dalgıç ile gemi arasında iletişim sağlanmalıdır.
- Kontrol çalışmaları, görüşü mümkün kılan en açık suda yapılmalıdır. Temizlik esnasında, 0,5 knot'luk su akıntısı, temizlik kalıntılarını sürükleyerek, çalışma sahasından temizlediğinden, tercih edilen bir durumdur. Zorunlu olmadıkça, akıntı hızının 2 knot'u aştığı sahalarda, kontrol yapılmamalıdır.
- Çalışmalar esnasında, ana ve yardımcı deniz suyu tulumaları devre dışı bırakılmalıdır. Kontrol ve temizlik süresince, tekne su altı cihazları çalıştırılmamalıdır.
- Gemi, aktif katodik koruma sistemine sahipse, temizlik süresince sistem devre dışı bırakılmalıdır. Korozyonu önleme açısından, temizlik işlemleri sonunda, sisteme tekrar elektrik verilmelidir.
- Lastik kaplı hassas yüzeylerin temizliğinde, kendinden tahrikli, çok başlı temizlik fırçaları kullanılmamalıdır.

5.3.2 Su altı karina kontrol esnasında dikkat edilmesi gereken hususlar

Rutin tekne temizliğinde kullanılan, fırça/disk karakteristikleri Çizelge 5.7'de gösterilmektedir. Gemi su altı sistemlerinin temizliği, Çizelge 5.8'de belirtilen metotlarla, uygun aletlerin kullanılmasıyla gerçekleştirilmektedir.

Çizelge 5.7 Fırça/disk karakteristikleri (NAVSEA, 1989)

Fırça/Disk Tipi	Çap(mm)	Fırça malzemesi	Çap(mm)	Kıl fırça uzunluğu (mm)	Rockwell sertliği	Tane büyüklüğü	Kalınlık	Ölçülmeyen iş naylon örgü matrisi
A	381	Polipropilen	12.7	25.4	R 108.120	-	-	-
C	330.2	Çelik	Düz tel 3.6x0.5	44.5	C-41	-	-	-
D	127/177.8/3048	Naylon içinde silikon karpit	1.524	25.4	-	46	-	-
D3	190.5 veya 228.6	Silikon karpit	-	-	-	36-40	25.4	Yoğun
D5	190.5 veya 228.6	Silikon karpit	-	-	-	36-40	25.4	Sert yoğun
*B1 (Kendinden tahrikli çoklu fırça)	508	Galv.Çelik 7x19 tel	4.76	152.4 iki sıra fırça başlı 60 adet	-	36-40	-	-
*B2 (Kendinden tahrikli çoklu fırça)	508	Galv.Çelik 7x19 bakır faroll	4.76	152.4 iki sıra fırça başlı 60 adet	-	-	-	-

Eğrilik yarıçapı 3mm'den büyük olan dış bükey tekne yüzeylerinde, kendinden tahrikli çoklu fırçalar kullanılabilir. Bu aletlerde kullanılan fırçalar iyi durumda olmalı ve Çizelge 5.7'de listelenen özelliklere uygun olmalıdır. Bu tip aletlerdeki döner fırçalar, yeni bir temizlik sahasına geçiş yaparken veya bir bölge temizliği herhangi bir sebeple kesintiye uğramışsa, tekne yüzeyinden uzaklaştırılmalı yada kapatılmalıdır. Dış bükeyliliğin olduğu iç bükey sahalar ve erişimin kısıtlı olduğu bölgelerde, elle tutulan döner fırçalar kullanılabilir. Bu aletlerde kullanılan fırçalar iyi durumda olmalı ve Çizelge 5.7'de listelenen özelliklere uygun olmalıdır. Tutamaklı döner fırçalarda, A tipi fırça, kirlilik oranı FR-10 ile FR-30 arasında olan yüzeylerde, C tipi fırça ise, kirlilik oranı FR-40 ile FR-100 arasında olan yüzeylerde kullanılmaktadır. Rutin tekne temizliği, kendinden tahrikli çoklu fırça ile yapılırken, E-1 tipi fırça kullanılmalıdır. E-1 tipi fırçanın yetersiz kaldığı çok kirli yüzeylerde, E-2 tipi fırça kullanılabilir. Uygun olmayan kullanımlarda boya zarar görebilir.

Çizelge 5.8 Fırça/disk temizleme metotları (NAVSEA, 1989)

Fırça/Disk Tipi	Tekne yüzeyi (Dış bükey)	Tekne yüzeyi (İç bükey)	Pervane 15cm'lik saha içi	Pervane 15cm'lik saha dışı	Sonardomu su üstü gemisi lastik/GRP	Sonardomu denizaltı GRP	Sonardomu çelik	Masker emitter belt boyalı	Masker emitter belt boyasız	Kinistimler
A		X	X	X	X	X		X	X	
C		X		X Son çare olarak			X	X	X	
D			X		X					
D3			X						X	
D5									X	
*B1	X									
*B2	X									
El Raspas			X							
Su jeti			X <703.07 bar	X <703.07 bar					X	X

Katodik koruma sağlayan aktif anotlar temizlenmemelidir. Aktif anotların di-elektrik sahalarındaki kalsiyum birikintilerine dokunulmamalıdır. Anotların di-elektrik sahaları, 4.88m genişliğinde ve 3.96m yüksekliğinde bir yüzey olarak kabul edilmektedir. Katodik koruma sağlayan galvanik anotların temizliği yapılabilmektedir.

Pervanelerin yüz, kanat ucu ve sırtı kritik bir geometriye sahiptir. Bu kritik sahaları hasardan korumak için, hiçbir metal alet, pervanenin yüz, kanat ucu ve sırt kısımlarının oluşturduğu, 15cm'lik genişlik bandı içerisinde kullanılmamalıdır. Aksi takdirde pervanenin akustik ve kaviteasyon özelliklerine zarar verilebilir. Pervane sahası temizlenirken, fırça ve diskler, yüzeye paralel tutulmalı, pervane kanat kenarları aşındırılarak yuvarlatılmamalıdır. Kendinden tahrikli çoklu fırçalar, pervane temizliğinde kullanılmamalıdır. Pervane yüzeyinin FR-50 ve üzerindeki kirlenme oranlarında, temizlik ancak piriç el raspasıyla veya yüksek basınçlı su jeti ile yapılabilmektedir. FR-40 ve altındaki, hafif kirlenme oranlarında, D tipi fırçalar yada D3 ve D5 tipi diskler kullanılarak, tek bir işlemde etkin bir temizlik sağlanabilir. C tipi fırça

ancak, yüksek kirlenme oranlarında, bu konuda tecrübeli, dalgıçlar tarafından 15cm'lik saha dışındaki bölgelerde kullanılabilir. Kullanım esnasında, pervane kanat yüzeyine hasar vermemek için büyük dikkat gösterilmelidir. Pervane temizliğinde kullanılan, yüksek basınçlı su jetinin çalışma basıncı, hiçbir durumda, 70.3 MPa'ı aşmamalıdır. Çeşitli yüzeylerin temizleme yöntemleri, Çizelge 5.9'da belirtilmiştir (NAVSEA, 1989).

Çizelge 5.9 Temizleme yöntemleri (NAVSEA, 1989)

Temizlik yapılan yüzey	Kullanılabilir temizlik aleti	Kirlilik oranı	Fırça tipi	Açıklama
Dış bükey tekne yüzeyi Eğrilik yarıçapı>3m	Kendinden tahrikli çoklu fırça	FR-10/FR-30	E-1	E-1 kullanımında sonuç alınmazsa E-2 kullanılmaktadır.
		FR-40/FR-100	E-2	
Dış bükey<3m iç bükey tekne yüzeyi	Tutamaklı döner fırça	FR-10/FR-30	A	
		FR-40/FR-100	C	
Aktif aktodik koruma	-	-	-	Temizlenmemektedir
Pervane 15cm'lik saha içi	Pirinç, sert plastik, tahta el kazıyıcı, naylon ve silikon karpit, fırça, su jeti <703.07 bar	<FR-40	D Tipi fırça D3 veya D5 disk	Belirtilen fırça tipleri ile tek bir işlemde temizlik yapılabilir.
Pervane 15cm'lik saha dışı	Yukarıda belirtilenlere ilave olarak C Tipi fırça	>FR-50	Pirinç el kazıyıcı D tipi fırça D3 veya D5 disk	Pirinç el raspaı veya su jeti <703.07bar ile ön temizlik, devamında belirtilen fırça tipleri ile temizlik yapılır. C tipi fırça zorunlu kalınırsa, aşırı kirlenmelerde kullanılır
Su üstü sonar domu lastik, GRP denizaltı GRP Çelik dom	Tutamaklı döner fırça	Çok hafif	A tipi fırça, D3 disk Yalnız A tipi fırça C tipi fırça	-
Masker Emmitter belt boyalı boyasız	Tutamaklı döner fırça	-	C tipi fırça C tipi fırça D3, D5 disk veya su jeti	-

6. OVERHOLE GİREN GEMİLERDE KOROZYON HASARLARININ TESPİTİ VE GİDERİLMESİ UYGULAMASI

Uygulama çalışması olarak, overhole giren ve özellikleri aşağıda verilen geminin tekne, güverte, yaşam yerleri, sintinesi ve pervanelerinde oluşan korozyon hasarları tespit edilmiş ve bu hasarlar, uygun yöntemler kullanılarak giderilmiştir.

- Geminin boyu (L): 37.62 m
- Geminin eni (G): 6.28 m
- Geminin tam draftı(D): 1.76 m
- Dümen sayısı: 2
- Overhol periyodu: 4 yıl

6.1 Geminin Teknesindeki Korozyon Hasarlarının Tespiti ve Giderilmesi İşlemleri

Kuru havuza alınan geminin çelik teknesi, su jeti ile temizlendikten sonra, aşağıda belirtilen kontroller yapılmıştır;



Şekil 6.1 Gemi dümen bölgesi

- 1) Şekil 6.1’de teknenin borda, karina ve faça bölgeleri gösterilmektedir. Borda olarak isimlendirilen teknenin su üstünde kalan bölgesinde, doğrudan su ile temasın olmaması nedeni ile önemli derecede korozyon hasarının oluşmadığı görülmüştür.. Teknenin su altında kalan karina bölgesinde ise, korozyon nedeniyle tekne sacı hasar görmüştür.



Şekil 6.2 Geminin borda ve faça bölgeleri

- 2) Teknenin, zaman zaman su altında kalan faça bölgesinde, biyolojik kirlenme nedeniyle, boya hasar görmüş ve yer yer tekne korozyona uğramıştır. Geminin faça ve borda bölgesinin birleşim yerinde, hareketli deniz suyunun neden olduğu korozyonun, tekne sacını aşındırdığı görülmüştür. Faça bölgesinde, beyaz kurtçukların oluşturduğu biyolojik kirlenme görülmüştür. Şekil 6.2, bu durumun açıklanması için örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.3 Geminin stern tube bölgesi

- 3) Bundan önceki overhol onarımı, 2001 yılında yapılan geminin, sürekli hareketli su ile temas halinde olan stern tube bölgesindeki sac, korozyon nedeni ile aşınarak, Şekil 6.3'de gösterildiği gibi delinmiştir.



Şekil 6.4 Geminin şaft braket bölgesi

- 4) Geminin şaft braket bölgelerindeki tekne sacı, yerleştirilen tutyaların (galvanik anotlar) görevini yapmasına rağmen, şiddetli korozyona maruz kalarak aşınmıştır. Şekil 6.4'de geminin şaft braket bölgesindeki korozyon gösterilmektedir.



Şekil 6.5 Geminin karina bölgesine yerleştirilmiş tutya

- 5) Bakım sırasında, tutyaların değişimlerinin kolay olması nedeniyle, vidalı bağlantılar tercih edilirken, gemiye yerleştirilen tutyalar, gövdeye kaynaklı birleşme ile monte edilmiştir. Şekil 6.5’de gemi karinasına yerleştirilmiş bir tutya gösterilmektedir. Tutya, fazlasıyla tükenerek, limit değer olan %80’in altına düşmüş ve %50 azalmıştır. Gemi saçındaki boya %85-90 oranında kalkmıştır.



Şekil 6.6 Geminin karina bölgesindeki tekne sacı

- 6) Gemi karinasındaki bazı bölgelerde, yüzeydeki boya, pul pul dökülmüş ve tekne sacında çukurcuk oluşumu görülmüştür. Şekil 6.6’da bu şekilde hasar görmüş tekne sacı gösterilmiştir.



Şekil 6.7 Geminin karina bölgesinde korozyona uğrayan sac

- 7) Gemi karinasındaki bazı bölgelerde, Şekil 6.7’de görüldüğü gibi, yüzeydeki boya soyularak dökülmüştür. Oluşan boya kabarcıkları patlayarak, tekne sacını açığa çıkarmış,

açığa çıkan tekne sacı deniz suyu ile doğrudan temasa geçtiği için korozyona uğramıştır.



Şekil 6.8 Gemi yalpalığı üzerine yerleştirilmiş, harcanmamış tutya

- 8) Gemi karinasına yerleştirilen tutyalardan bir kısmı harcanırken, bir kısmı da görevini yerine getirmeyerek harcanmamıştır. Katodik korumanın projelendirilmesi sırasında yapılan hata veya yanlış yerleşim nedeniyle, görevini yerine getiremeyen bir tutya, Şekil 6.8’de örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.9 Gemi yalpalığı üzerine yerleştirilmiş tutya

- 9) Harcanan tutyaların gemi sacına boşluklu monte edildiği, harcanmayanların ise boşluksuz monte edildiği dikkat çekmektedir. Görevini yerine getirerek harcanan bir tutya, Şekil 6.9’da örnek olarak gösterilmiştir.

Yapılan kontroller sonucunda tespit edilen hususlar, aşağıda belirtildiği gibi özetlenebilir;

- Karina ve faça boyalarının %85-90 oranında bozulduğu tespit edilmiştir.
- Karinada bulunan katodik koruma tutyalarının bir kısmının çalışarak harcandığı, bir kısmının ise çalışmadığı tespit edilmiştir.

Tespit edilen yüzey hasarları doğrultusunda gemi teknesi, Sa 2 ½ derecesinde grit raspa ile temizlenmiştir. Şekil 6.10’da gemiye yapılan raspa uygulaması gösterilmiştir.

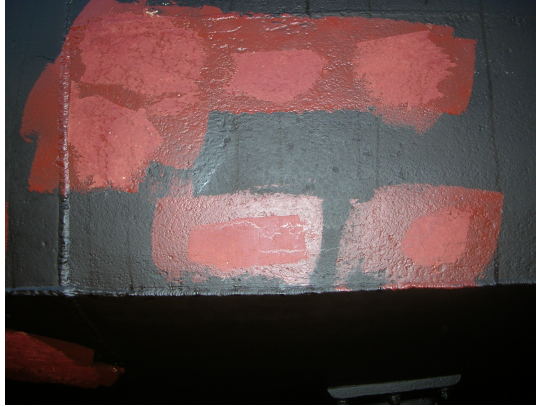


Şekil 6.10 Gemiye yapılan raspa uygulaması

Raspa uygulaması sonrasında, tekrar kontrol edilen gemide, aşağıda belirtilen hususlar tespit edilmiştir;

- Karinanın muhtelif bölgelerinde, çukurcuk oluşumu tespit edilmiştir.
- Karinanın bazı bölgelerinde, orijinal değeri 10 mm olan sac kalınlıklarının, limit değer olan 8mm'nin altına düşerek, 3,4 – 5,0 mm olduğu tespit edilmiştir.
- Geminin iskele ve sancak tarafındaki, faça, borda ve karina saclarında, değişik çaplarda ve çok sayıda delik, ayrıca korozyonun neden olduğu aşırı derecede hasar tespit edilmiştir.

Yapılan tespitler neticesinde gemi, korozyon nedeniyle oluşan metal kayıplarının giderilmesi amacı ile aşağıda belirtilen onarım işlemlerine tabi tutulmuştur;



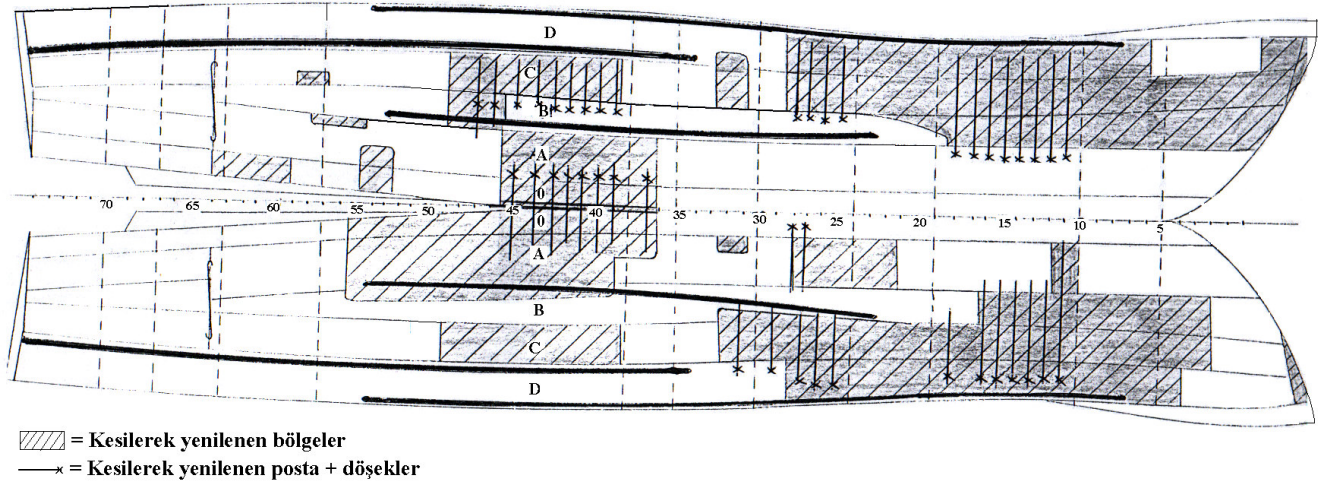
Şekil 6.11 Gemi teknesine yapılan çelik macun uygulaması

- 1) Karina saclarının kesim dışında kalan bölgelerindeki, 2mm ve daha derin çukurcuklar, kaynakla örülerek doldurulmuş, örülemeyen yoğun çukurcuklara çelik macun çekilmiş ve bu işlemlerin ardından söz konusu bölgeler astar boya ile kaplanmıştır. (Şekil 6.11)



Şekil 6.12 Kalınlığı limit değerinin altına düşen sacın kesilerek yenilenmesi

- 2) Kalınlığı, limit değerinin altına düşen saclar, sınır bölgeleri belirlenerek, uygun boyutlarda kesilmiş ve yenilenmiştir.(Şekil 6.12)
- 3) Aşırı derecede korozyona maruz kalan saclar, uygun boyutlarda kesilerek yenilenmiştir.Gemi teknesi, iç tarafta bulunan desteklere göre, kıçtan başa doğru numaralandırılarak, posta adı altında bölümlere ayrılmıştır.Postayı oluşturan sac levhalar ise onarım sırasında karışıklık yaşanmaması için harflerle birbirinden ayrılmıştır.Geminin kontrolü sonrasında, aşağıda belirtilen bölgeler kesilerek yenilenmiştir. Kesilerek yenilenen harici kaplamalar Şekil 6.13’de gösterilmiştir.



Şekil 6.13 Kesilerek yenilenen harici kaplamalar

- Sancak tarafında bulunan aşırı derecede korozyona uğramış bölgeler;
 - Posta 36-46 arası "0" sac sırası 5000x1000x5 mm
 - Posta 53-55 arası "0" sac sırası 1000x1000x5 mm
 - Posta 59-64 arası "0" sac sırası 2500x1000x5 mm
 - Posta 36-46 arası "A" sac sırası 5000x1500x5 mm
 - Posta 46-49 arası "B" sac sırası 1500x1200x5 mm
 - Posta 19-B arası "B" sac sırası 11000x1500x5 mm

- Posta 39-49 arası “C” sac sırası 5000x1500x5 mm
- Posta 31-32 arası “C” sac sırası 1500x1000x5 mm
- Posta 28-C arası “C” sac sırası 15500x1500x5 mm
- Posta 28-G arası “D” sac sırası 11000x1500x5 mm
- Posta 1-E arası “D” sac sırası 2500x1500x5 mm
- İskele tarafında bulunan aşırı derecede korozyona uğramış bölgeler;
 - Posta 36-55 arası “0” sac sırası 9500x1000x5 mm
 - Posta 10-12 arası “A” sac sırası 1000x1000x5 mm
 - Posta 19-27 arası “A” sac sırası 4000x1500x5 mm
 - Posta 36-55 arası “A” sac sırası 9500x1500x5 mm
 - Posta 3-15 arası “B” sac sırası 6000x1500x5 mm
 - Posta 3-32 arası “C” sac sırası 14500x1500x5 mm
 - Posta 39-48 arası “C ” sac sırası 5000x1500x5 mm
 - Posta 4-28 arası “D” sac sırası 12000x1500x5 mm



Şekil 6.14 Onarılacak bölgelerin gemi üzerinde işaretlenmesi

Şekil 6.14’de tekne üzerinde, kesilecek veya onarım işlemine tabi tutulacak bölgenin işaretlenmesi gösterilmiştir.



Şekil 6.15 Kesim işleminin ardından gemi teknesinin görünümü

Gemi üzerinde işaretlenen bölgelerdeki, aşırı derecede korozyona uğrayan sacların kesiminden sonra, gemi teknesinin görünümü Şekil 6.15’de gösterilmiştir.



Şekil 6.16 Sacların kaynakla birleştirilme işlemleri

Hasar gören sacların kesiminin ardından, bu bölgelere uygun özellikteki sacların kaynatılması ile gemi teknesi onarılmıştır. Saclarla kaynak ağzı açılması ve kaynaklı birleştirilme işlemleri Şekil 6.16’da gösterilmiştir.

- 4) Yapılan kontroller sonrasında delik olduğu tespit edilen aşağıda belirtilen bölgeler kaynakla örülerek doldurulmuştur.
- İskele tarafında bulunan delik bölgeler;
 - Posta 13-14 arası “0” sacında 7-8 mm çapında 1 adet
 - Posta 19-20 arası “A” sacında 5-6 mm çapında 1 adet
 - Posta 24-25 arası “A” sacında 8-9 mm çapında 1 adet
 - Posta 31-32 arası “0” sacında 8-9 mm çapında 1 adet
 - Posta 49-51 arası “B” sacında 5-6 mm çapında 5 adet
 - Posta 59-62 arası “A ve B” sacında 4-6 mm çapında 8 adet
 - Sancak tarafında bulunan delik bölgeler;
 - Posta 1-2 arası “A” sacında 5-6 mm çapında 1 adet
 - Posta 2-3 arası “A” sacında 6-7 mm çapında 1 adet
 - Posta 3-4 arası “A” sacında 5-6 mm çapında 2 adet
 - Posta 4-5 arası “0” sacında 14 mm çapında 1 adet
 - Posta 34-35 arası “0” sacında 8-10 mm çapında 1 adet
- 5) Değişim yapılan sacların kaynak bölgeleri, X-RAY filmi çekilerek kontrol edilmiş ve bir sorun olmadığı görülmüştür.

Çizelge 6.1 Gemi boya planı

BOYANIN CİNSİ	KALINLIK(μm)	KARİNA KATI	FAÇA KATI
Astar boya	20-30	1	1
Anti- korozyon boya Kahverengi	70-90	1	1
Anti- korozyon boya Siyah	70-90	1	1
Anti- korozyon boya Kahverengi	70-90	1	1
Ara kat boyası	30-50	1	1
Zehirli boya	200	2	-
Façta boyası	150-200	-	3

- 6) Saç onarımı tamamlanan gemi teknesi, Çizelge 6.1’de belirtilen boya uygulamasına tabi tutulmuştur. Boyama işlemi yapılırken, havuzlanan geminin yerleştirildiği, domuz damlarının altında kalan bölgeler boyanmamıştır.Façaya zehirli boya uygulanmamış, bunun yerine üç kat faça boyası atılmıştır.

Çizelge 6.2 Boya kontrol formu

Tekne Yapısı		Hava				Boya			Bekleme süresi	
Sac		Sac Sıc.(°C)	Ort. Sıc.(°C)	Nem Or. (% RH)	Basınç (MB)	Cins	Kalınlık (µm)	Tatbik	İstenen	Yapılan
Karina	1.kat	22,5	21.5	64	1015	Astar boya (kiremit)	25	Havalı nozul	8 saat	12 gün
	2.kat	25,5	25	65	1020	Anti-korozif (kahve)	80	Havalı nozul	10 saat	8 gün
	3.kat	20	16	60	1023	Anti-korozif (siyah)	80	Havalı nozul	11 saat	24 saat
	4.kat	20	17,8	65	1025	Anti-korozif (kahve)	80	Havalı nozul	6 saat	6 saat
	5.kat	21,4	20	59	1025	Ara kat (A.kahve)	40	Havalı nozul	3 saat	4 gün
	6.kat	20	14,5	53	1020	Zehirli boya (kiremit)	75	Havalı nozul	8 saat	6 saat
	7.kat	19	13	56,5	1010	Zehirli boya (kiremit)	75	Havalı nozul	9 saat	3 gün
Faça	1.kat	22,5	21,5	64	1015	Astar boya (kiremit)	25	Havalı nozul	8 saat	12 gün
	2.kat	25,5	25	65	1020	Anti-korozif (kahve)	80	Havalı nozul	10 saat	8 gün
	3.kat	20	16	60	1023	Anti-korozif (siyah)	80	Havalı nozul	11 saat	24 saat
	4.kat	20	17,8	65	1025	Anti-korozif (kahve)	80	Havalı nozul	6 saat	6 saat
	5.kat	21,4	20	59	1025	Ara kat (A.kahve)	40	Havalı nozul	3 saat	4 gün
	6.kat	16	11,7	65	1020	Faç a boyası	55	Fırça, rulo ufak	5 saat	5 saat
	7.kat	16	13	60	1020	Faç a boyası	55	Fırça, rulo ufak	5 saat	19 saat
	8.kat	15	13,5	56	1021	Faç a boyası (son kat)	55	Fırça, rulo parmak	5 saat	24 saat

Boya uygulaması sırasında, kontrol amacıyla ölçülen sac sıcaklığı, ortam sıcaklığı, nem oranı, basınç, boya kalınlığı, tatbik şekli ve bekleme süresi Çizelge 6.2’de belirtildiği gibidir.



Şekil 6.17 Gemi stern tube bölgesinde, kaynak yerlerinin boyanması

Gemi teknesine kaplanan astar boya, solvent bazlı, çift komponentli epoksi metal primer boyadır. Epoksi primer, anti-korozif pigment ihtiva eden birinci komponent ile poliamid sertleştirici ihtiva eden ikinci komponentten oluşan, metal yüzeye yapışarak genel maksatlı kimyasal koruma yapan bir boyadır. Astar boya atıldıktan sonra, geminin öncelikle kaynak bölgeleri, anti-korozif boya ile boyanmıştır.(Şekil 6.17)



Şekil 6.18 Gemi teknesine yapılan anti-korozif boya uygulaması

Kaynaklı bölgelerin boyanmasının ardından, gemi karina ve faça bölgelerinin tamamı üç kat olarak anti-korozif boya ile boyanmıştır. Boyama işleminin yapılışı Şekil 6.18’de gösterilmiştir. Anti-korozif boya olarak, iki komponentli, kömür katranı ve alüminyum ihtiva eden, epoksi reçine ile sertleştiricisinden oluşan, bitoksi alüminyum boya kullanılmıştır. Bitoksi alüminyum boya, yüksek anti-korozif özelliğe sahip olup deniz suyuna karşı dayanıklıdır. Ayrıca, katodik korumaya uygun olup, aşınmaya karşı dayanıklıdır.



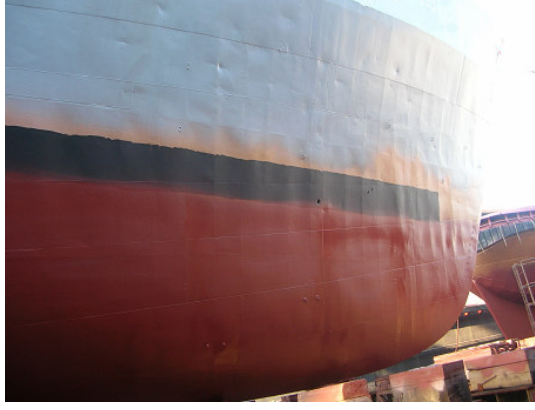
Şekil 6.19 Gemi baş bölgesinin anti-korozif boya uygulaması sonrası görünümü

Gemi karina ve façasına yapılan anti-korozif boya uygulaması sonrasında, gemi baş bölgesinin görünümü Şekil 6.19'da gösterilmiştir.



Şekil 6.20 Gemi teknesine yapılan ara kat boya uygulaması

Anti-korozif boya uygulaması sonrasında, gemi karina ve façasına, bir kat ara kat boyası atılmıştır. Ara kat boya uygulaması yapılan geminin, baş kısmının görünümü, Şekil 6.20'de gösterilmiştir. Ara kat boyası, kopolimer vinil reçine esaslı olup, tek komponentli, fiziksel korumalı bir boyadır. Deniz suyuna karşı dirençlidir ve bünyesindeki özel pigmentler sayesinde anti-korozif özelliğe sahiptir. Katodik korumaya uygundur. Ara kat boyası, karina ve faça bölgelerinde kullanılan epoksi boyalar ile zehirli boya ve faça boyaları arasında bir yapışma köprüsü sağlamaktadır.



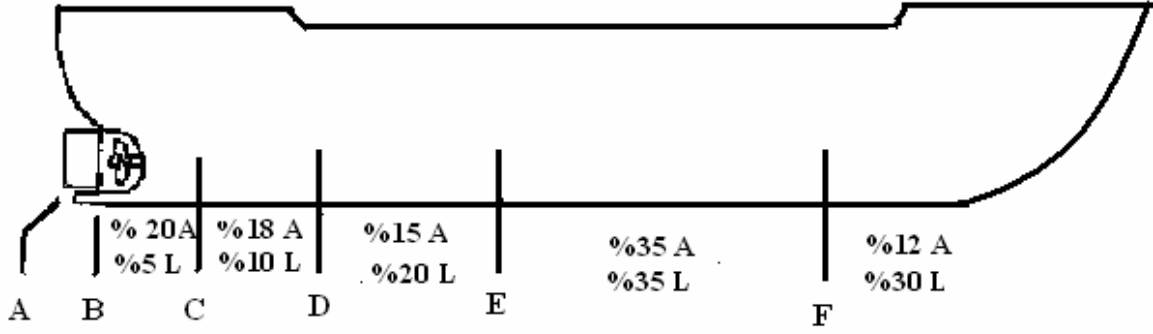
Şekil 6.21 Gemi teknesine yapılan zehirli boya ve faça boyası uygulaması

Ara kat boyasının ardından, gemi karinasına iki kat zehirli boya, façaya ise üç kat faça boyası kaplanmıştır. Zehirli boya ve faça boyası uygulaması esnasında gemi teknesinin görünümü Şekil 6.21’de gösterilmiştir. Kullanılan zehirli boya tek komponentli olup, kopolimer reçine ve tesirli zehirli maddeleri ihtiva etmektedir. Yüzey düzgünlüğü sağlayan boyanın ömrü, doğrudan boya film kalınlığına bağlıdır. Faça boyası olarak, vinil reçine esaslı, tek komponentli, çabuk kuruyan, deniz suyuna, güneş ışınlarına, sürtünme ve darbelere dirençli boya kullanılmıştır. Faça boyası, biyolojik kirlenmeye karşı özel kimyasal maddeler ihtiva etmektedir.



Şekil 6.22 Faça ve karina boyası tamamlanan gemi teknesi

- 7) Zehirli boya ve faça boya uygulaması tamamlanan gemi, korozyondan korunması amacıyla, katodik koruma uygulamasına tabi tutulmuştur. (Şekil 6.22) Çelik tekneye sahip olan gemide, galvanik anot olarak, 8 kg ağırlığında, 4 yıl ömre sahip, çinko anot seçilmiştir. Gemiye ait katodik koruma projesi, aşağıda belirtildiği gibi oluşturulmuştur;



Şekil 6.23 Gemi üzerinde tuya dağılımı

Şekil 6.23'de gösterildiği gibi gemi teknesi 6 bölgeye ayrılmıştır. İlk sırada belirtilen değerler, toplam anotun bölgelere dağılım yüzdeleri, ikinci sırada belirtilen değerler, gemi boyuna göre bölgelerin uzunluk yüzdeleri göstermektedir. Toplam anot ihtiyacı, aşağıda belirtildiği gibi hesaplanmaktadır;

$$\text{Islak alan} = L \times (1,85 \times D + 0,8 \times G) = 37,62 \times (1,85 \times 1,76 + 0,8 \times 6,28) = 312 \text{ m}^2 \quad (6.1)$$

$$\text{Teorik akım ihtiyacı} = 0,02 \text{ A/m}^2 \times 312 \text{ m}^2 = 6,3 \text{ Amper} \quad (6.2)$$

$$\text{Teorik anot ağırlığı} = 12 \text{ kg.A/yıl} \times 6,3 \text{ A} \times 4 \text{ yıl} \times 1,2 = 363 \text{ kg} \quad (6.3)$$

$$\text{Anot adedi} = 363 \text{ kg} : 8 \text{ kg} = 46 \text{ Adet} \quad (6.4)$$

Bulunan toplam anot miktarının, bölgelere göre dağılımı, Şekil 6.23'de gösterilen dağılım yüzdelere göre yapılmaktadır. Örnek geminin, anot dağılımı Çizelge 6.3'de gösterilmiştir.

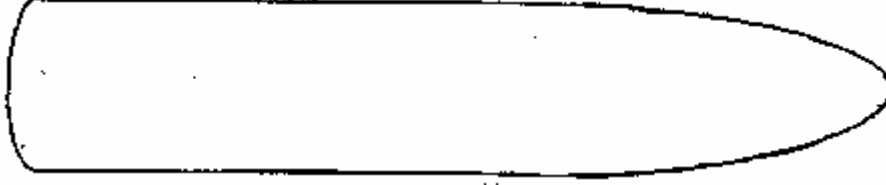
Çizelge 6.3 Anotların gemi karinasına dağılımı

Bölgenin başlangıç, bitim noktaları	İskele(Adet)	Sancak(Adet)	Toplam(Adet)
A-bölgesi(Dümen)	2	2	4
B-bölgesi(2m)	5	5	10
C-bölgesi(2m-6m)	4	4	8
D-bölgesi(6m-14m)	3	3	6
E-bölgesi(14m-27m)	7	7	14
F-bölgesi(27m-37.62m)	2	2	4

Çizelge 6.4 Korozyon potansiyeli ölçüm değerlendirilmesi

İSKELE

5	4	3	7	2			
---	---	---	---	---	--	--	--



5	4	3	7	2			
---	---	---	---	---	--	--	--

SANCAK

Çizelge 6.4'de korozyon potansiyelinin değerlendirilmesi amacıyla, gemi üzerindeki bölgelerin anot ihtiyacı ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir. Galvanik anotlarla katodik koruma uygulamasına tabi tutulan geminin, anot dağılım projesi Ek 1'de verilmiştir.

6.2 Gemi Güvertesinde, Yaşam Yerlerinde, Sintinesinde ve Pervanelerinde Korozyon Hasarlarının Tespiti ve Giderilmesi İşlemleri

Overhol havuzunda bulunan geminin güverte, yaşam yerleri ve sintinesinin kontrolü sonucunda, bazı bölgelerdeki sacların ve mukavemet elemanlarının, aşırı derecede korozyona uğrayarak, kalınlıklarının limitlerin altına düştüğü tespit edilmiştir. Ayrıca, gemi pervanelerinin korozyon nedeniyle hasar gördüğü tespit edilmiştir. Yapılan tespitler neticesinde aşağıda belirtilen işlemler uygulanmıştır;

6.2.1 Ana güverte

- Baş üstü güverte, kış üstü güverte ve vasatta, aşırı derecede korozyona uğradığı tespit edilen, aşağıda belirtilen ana güverte sacları, kesilerek yenilenmiştir;
 - Baş üstü güverte;

Posta 5-10 arası hariç, göğüs perdesinden baş taraftaki son posta, aşırı korozyona uğrayan alt elemanlarla birlikte 6000x2500x6 mm , 4000x4000x6 mm ebatlarında kesilerek yenilenmiştir.



Şekil 6.24 Baş üstü güvertede korozyonlu bölge

Şekil 6.24’de, korozyona uğrayarak delinen sac, baş üstü güvertede oluşan korozyona örnek olarak gösterilmiştir.

- Vasat ;

Posta 40-55 arası iskele taraf 500x1700x5 mm, vasat 3700x2700x5 mm, sancak taraf 5000x1700x5 mm ebatlarında, aşırı derecede korozyona uğrayan alt elemanlarıyla birlikte, kesilerek yenilenmiştir.

Ana güvertedeki üst bina içi, iskele taraf, posta 27-31 arası telsiz kamarası 3500x2000x5 mm , posta 23-27 arası 2500x1500x5 mm ebatlarında, aşırı derecede korozyona uğrayan alt elemanlarıyla birlikte, kesilerek yenilenmiştir. Korozyona uğrayarak hasar gören, telsiz kamarası taban sacı Şekil 6.25’de, ana güvertedeki korozyona örnek olarak gösterilmiştir.

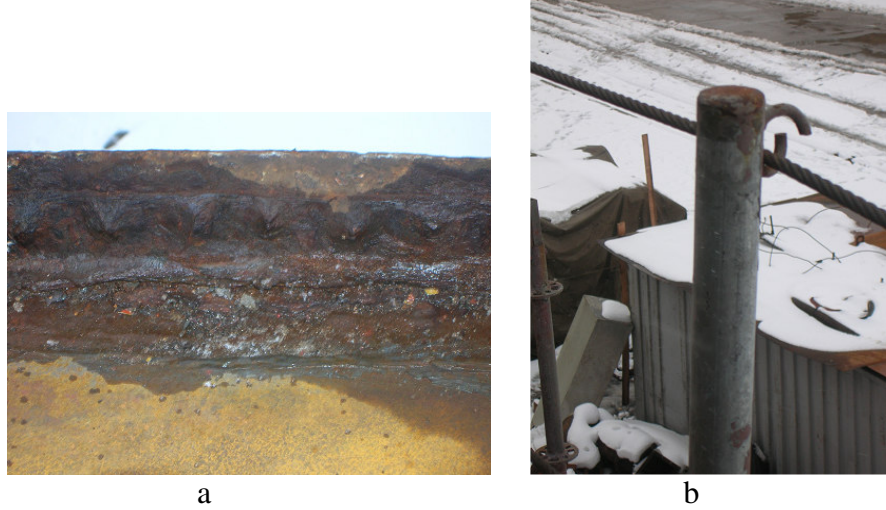


Şekil 6.25 Telsiz kamarası taban sacında korozyon

İskele taraf, posta 18-35 arası, 8500x1000x5 mm kesilerek yenilenmiştir.Sancak taraf, posta 18-40 arası, 11000x1000x5 mm ebatlarında aşırı derecede korozyona uğrayan alt elemanlarıyla birlikte, kesilerek yenilenmiştir.Sancak taraf, posta 18-40 arası, 11000x1000x5 mm ebatlarında aşırı derecede korozyona uğrayan alt elemanlarıyla birlikte, kesilerek

yenilenmiştir.

Tüm güverte üzerinde bulunan puntel dikmelerinin, küpeşte borularının, güverte ile borda birleşim sacının, kış üstü/baş üstü tüm yatay kaporta kapaklarının aşırı derecede korozyona uğrayarak hasar gören kısımları yenilenmiştir. Şekil 6.26'da, "a" ile, güverte ve borda birleşim yerlerinde görülen korozyon, "b" ile, puntel dikmelerine görülen korozyon gösterilmiştir.



Şekil 6.26 Puntel dikmeleri ve güverte-borda birleşim yerlerinde korozyon

- Kış üstü güverte;

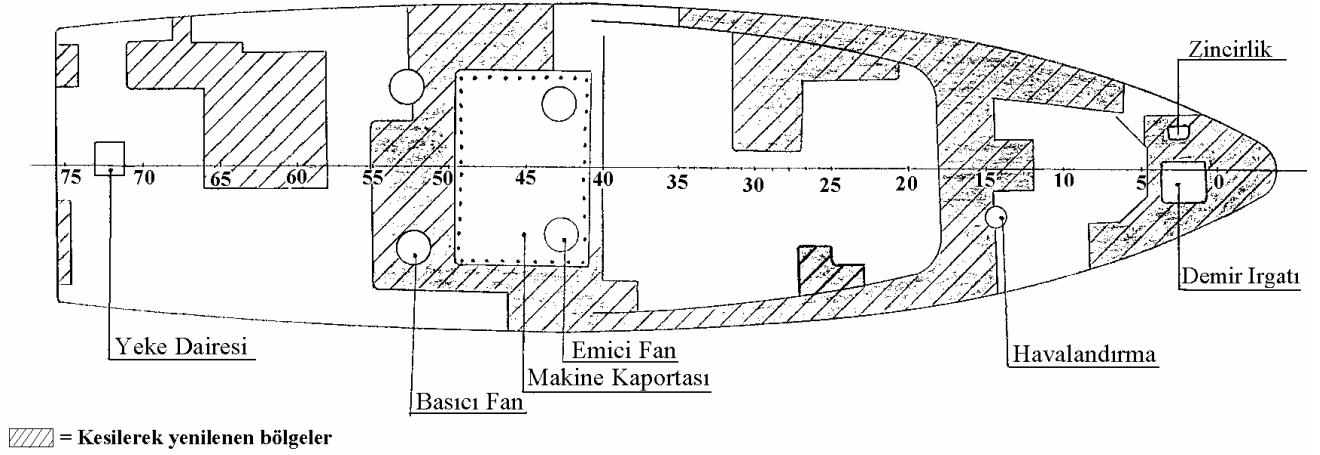
İskele/vasat, posta 58-70 arası, 5500x2500x5 mm ebatlarında, aşırı derecede korozyona uğrayan alt elemanlarıyla birlikte, kesilerek yenilenmiştir. Şekil 6.27'de, korozyona uğrayan kış üstü güverte bölgelerinden biri örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.27 Kış üstü güvertede korozyon

- Ana güverte üzerinde bulunan üst bina ve dip etek, alüminyum saclarının, aşırı derecede korozyona uğrayan kısımları, kesilerek yenilenmiştir.

Şekil 6.28'de, baş üstü güverte, kış üstü güverte ve vasatda kesilerek yenilenen, ana güverte sacları gösterilmiştir.



Şekil 6.28 Yenilenen ana güverte sacları

- Değişim yapılan sacların kaynak bölgeleri, X-RAY filmi çekilerek kontrol edilmiş ve bir sorun olmadığı görülmüştür.
- Geminin korozyona uğrayan güverte üstü bölgesi, Sa 2 ½ derecesinde raspa uygulamasına tabi tutulmuştur (Şekil 6.29).



Şekil 6.29 Gemi güvertesine uygulanan raspa işlemi

- Bir kat astar boya ile kaplanan güverte daha sonra, yolluk şeklinde kumlanarak, iki kat güverte boyası ile boyanmıştır. Astar boya olarak solvent bazlı, epoksi metal primer astar boya kullanılmıştır. Güverte boyası olarak, sentetik bazlı gri boya kullanılmıştır.



Şekil 6.30 Gemi güvertesinde astar boya uygulaması

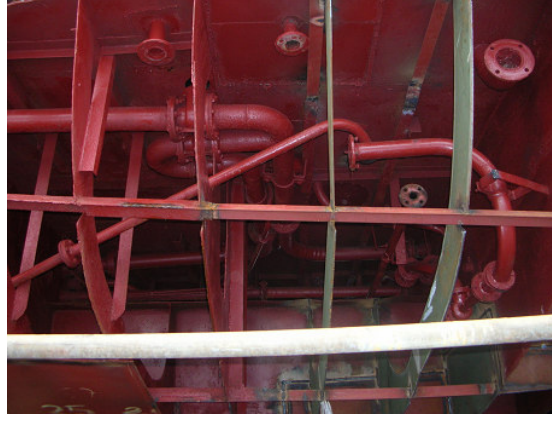
Şekil 6.30'da, astar boya uygulanan güverte gösterilmiştir. Şekil 6.31'de kumlanan ve güverte boyası ile boyanan güvertenin görünümü gösterilmektedir.



Şekil 6.31 Gemi güvertesinde kumlu boya uygulaması

6.2.2 Yaşam yerleri ve sintineler

- Yaşam yerleri ve sintinelerde aşırı derecede korozyona uğradığı tespit edilen aşağıda belirtilen saclar kesilerek yenilenmiştir;
 - İskele kış taraf, 1 numaralı kamara taban sacı, posta 68-70 arası, 1500x1500x5mm, 1 numaralı banyo, WC, çamaşırhane ve koridor taban sacı, 6500x2500x5 mm ebatlarında, aşırı derecede korozyona uğrayan alt elemanlarıyla birlikte, kesilerek yenilenmiştir.
 - Sintinedeki 57 ve 70 no'lu perde ile merkez tulani, postaları ile birlikte aşırı derecede korozyona uğrayan kısımlarından, 2500x1500x6 mm ebatlarında, kesilerek yenilenmiştir. Şekil 6.32, sintinede oluşan şiddetli korozyonu ve korozyona uğrayan sacların yenilenmek amacıyla kesimini göstermektedir.



Şekil 6.34 Sintinede oluşan korozyonun giderilmesi

- Baş üstü, kış üstü ve ana güvertenin kesim dışında kalan 2 mm ve daha derin çukurcuk korozyonuna uğrayan bölgeler kaynakla örülüp, taşlanarak tesviye edilmiştir.

6.2.3 Pervaneler

Sökülerek, kontrolü yapılan bronz gemi pervanelerinde, erozyonlu korozyon ve kavitasyon oluştuğu tespit edilmiştir. Şekil 6.35’de “a” ile pervane kanat ucunda oluşan erozyonlu korozyon, “b” ile pervane kanat sırtında oluşan kavitasyon gösterilmiştir.



a



b

Şekil 6.35 Gemi pervanesinde oluşan korozyon

Pervane kanadı üzerindeki bir bölgede, daha önceki overhol onarımında uygulanan dolgu maddesinin kalktığı görülmüştür. Erozyonlu korozyon hasarının giderilmesi için uygulanan dolgu maddesi kalkmış ve bölgede tekrar korozyon oluşmuştur. (Şekil 6.36)



Şekil 6.36 Gemi pervanesine uygulanan dolgu maddesinin kalkması

Çarpma nedeni ile aşırı hasar gören pervanelerin, yapılan ölçü kontrolü sonrasında, kabul edilebilir değerlerde olmadığı, bu sebeple düzeltme işlemlerine tabi tutulamayacağı anlaşılmış ve hurdaya ayrılmıştır Şekil 6.37’de “a” ile hurdaya ayrılan pervaneler, “b” ile yerine takılacak yeni pervane gösterilmiştir.



a



b

Şekil 6.37 Hurdaya ayrılan ve yenilenen gemi pervaneleri

Kabul edilebilir ölçülerde olan pervaneler, düzeltme işlemine tabi tutularak istenilen değerlere getirilmekte ve balans işlemine tabi tutulmaktadır. Bunun ardından, penetran sıvı ve ultrasonik test cihazları ile test edilen pervanenin korozyon hasarları, kaynakla doldurularak veya dolgu maddesi uygulanarak giderilmektedir.

7. SONUÇ

Gemilerin, yüksek korozyon özellikteki denizel ortamlarda, korozyondan korunmalarını sağlayan temel iki koruma sistemi, boya kaplama sistemleri ve katodik koruma sistemleridir. Overhol periyotları arasında gemileri korumak amacıyla tasarlanan bu koruma sistemleri, overhol periyotları sonunda, gemilerin bakıma alınmasıyla, kontrol edilerek yenilenmektedir. Overhol onarımlarında, tasarım ömrünü dolduran, hasar gören yada işlevini yerine getiremeyen koruma sistemleri yenilendiği gibi, gemi yüzeyinde, korozyona yol açabilecek, kimyasal ve biyolojik kirlenmeler temizlenmekte, korozyon nedeniyle oluşan hasarlar onarılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, overhole giren gemilerde korozyonun sebep olduğu malzeme, işçilik, zaman ve bilgi kayıplarının önüne geçilerek, yüksek onarım maliyetinin ortadan kaldırılması için korozyon hasarlarının ve bu hasarların giderilme yöntemlerinin araştırılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda, overhole giren bir gemi üzerinde, korozyon hasarlarının tespiti ve giderilmesi işlemlerini kapsayan uygulama çalışması yapılmıştır.

Overhole giren gemiler, yüzeydeki kirlenme, boya bozunmaları ve bunların sebep olduğu korozyon hasarlarının tespit edilerek, boya uygulaması öncesi, yüzey temizliğinin sağlanması amacı ile yüzey hazırlık işlemlerine tabi tutulmaktadır. Yüzey hazırlığının ardından yapılan yüzey kontrolü neticesinde, korozyon nedeniyle deformasyona uğradığı tespit edilen gemi elemanları, hasar derecesine göre, kaynak uygulaması, dolgu maddesi uygulaması veya yenileme yöntemlerinden uygun olanı kullanılarak onarılmaktadır. Temizlenen ve hasarı giderilen yüzeyin maruz kalacağı korozyon ortamının özellikleri dikkate alınarak seçilen boya, uygun şartlar altında ve yüzey özelliklerine göre belirlenen bir usulle yüzeye kaplanmaktadır. İnsan ve yük trafiği olmayan, gemilerin balast tankları ve sintineler gibi sarnıç ve bölmelerine, yüzey korozyon durumuna göre ve uygulama koşullarına bağlı olarak, çeşitli özelliklere sahip, korozyon önleyici sıvı kaplama maddeleri uygulanmaktadır. Gemilerin katodik olarak korunmasında kullanılan galvanik anotların tasarım ömürleri, 2-4 yıl arasında değişmektedir. Bu süreler sonunda takriben %85'i çözülmüş anotlar, gemilerin overhol havuzlaması esnasında değiştirilmektedir. Emniyet açısından yıllık kısmi değişim de gereklidir. Doğru projelendirilemeyen katodik koruma sistemleri, görevlerini tam olarak yerine getiremeyerek, geminin korozyona uğramasına neden olmaktadır. Bu sebeple overhole giren gemilerde katodik koruma sistemlerinin doğru projelendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Overhol havuzlaması esnasında, boya uygulanmış veya karina temizliğine tabi tutulmuş tekne, yaklaşık on iki ay kadar temizlik ihtiyacı göstermemektedir. Ancak, çeşitli

sebeplerle overhol periyotları uzatılan gemiler ile uzun süre, limanda atıl kalmış, özellikle de bu süreyi deniz suyu sıcaklığının yüksek olduğu yaz aylarında geçirmiş olan gemiler, 6-12 aylık periyotlar sonunda, karinalarının kontrolüne ve gerekiyorsa temizliğine ihtiyaç duymaktadırlar. Bu gemilere, su altında, dalgıç marifeti ile yapılan karina kontrol ve temizlik işlemleri, korozyonun ilerlemesini engelleyerek, gemi performansını arttırmaktadır. Overhole giren gemilerin, korozyon hasarlarının tespit edilmesi ve bu hasarların giderilerek koruma sistemlerinin yenilenmesi faaliyetlerinin maliyeti, toplam bakım maliyetinin %25'ini oluşturmaktadır. Bakım işlemlerinde doğru yöntemlerin kullanılması, periyodik olarak overhole giren gemilerin, yüksek onarım maliyetini düşürmekte, geminin enerji sarfını azaltarak performansını arttırmakta ve gemi ömrünü uzatmaktadır.

Çalışmada yapılan uygulama neticesinde; korozyon nedeniyle oluşan malzeme hasarlarının giderilme çalışmalarının, birçok yerde dayanımı azalttığı, performansı düşürdüğü ve yüksek onarım maliyetine yol açtığı görülmüştür. Bu yöntemlerin doğru şekilde uygulanması, söz konusu kayıpları bir ölçüde azaltsa da kayıpların minimum seviyeye indirilmesinin ancak, doğru projelendirilen ve tasarım ömrünü doldurduğunda zaman geçirmeden yenilenen koruma sistemleri ile gerçekleştirilebileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- AKAT, O., ve YALÇIN H., (1988), “Katodik Koruma Konusundaki Yeni Gelişmeler”, Korozyon Derneği, O.D.T.Ü., 1. Korozyon Sempozyumu Bildirileri, 24-27 Ekim 1988, Ankara
- ÇAKIR, A.F., (1988), “Denizel Yapılar ve Gemilerde Katodik Koruma”, Türk Loydu Vakfı Seri Konferanslar III, 1988/1989, İstanbul
- ÇAKIR, A., F., (1994), “Türkiye’nin Metalik Korozyon Kaybı”, İ.T.Ü. Metalurji Mühendisliği Bölümü, IV. Korozyon Sempozyumu, 25-27 Ekim 1994, İstanbul
- ÇAY, S. ve AYGÜL M., (1997), “Gemilerde Kullanılan Boyalar ve Boyama Usulleri”, T.C.z.K.K. Deniz Harp Okulu K.lığı, İstanbul
- DEXTER, S., C., (2003), “Galvanic Corrosion”, Professor of Applied Science and Marine Biology, , University of Delaware Graduate College of Marine Studies and the Sea Grant College Program, Delaware, USA
- DORUK, M., (1982), Korozyon ve Önlenmesi, , ODTÜ Müh. Fak., Yayın No:70, Ankara
- EROL Z., (1988), “Boya-En Yaygın Uygulanan Korozyon Kontrol Yöntemi”, O.D.T.Ü. 1. Korozyon Sempozyumu Bildirileri, 24-27 Ekim 1988, Ankara
- HARVEY, P., H., (1999), “Corrosion Control:Galvanic Corrosion and Stainless Steel”, The Corrosion Column, Under Water Magazine Article, Houston, USA, Summer 1999
- HEIDERBACH, R., H., (1987), “Marine Corrosion”, ASM International Handbook Committee, Formerly Ninth Edition, Metals Handbooks
- HEIDERBACH, R., H., BAXTER, R., SMART, J., S. ve HAROUN, M., (1987), “Marine Corrosion” ASM International Handbook Committee, Formerly Ninth Edition, Metals Handbooks
- HODT Korrosionsschutz, (1992), “Corrosion Preventive Systems”, Technisches Datenblatt, Hamburg
- KOÇ, T. ve TÜRKMEN, Y., M., (1990), “Sabit ve Hareketli Deniz İçi Metalik Yapıların Korozyonu ve Katodik Korunması”, O.D.T.Ü. 2. Korozyon Sempozyumu Bildirileri, 5-8 Kasım 1990, Ankara
- KRUGER J., (2001), “Electrochemistry of Corrosion”, Elektrochemistry Encyclopedia, The Johns Hopkins University, Baltimore, USA, April 2001
- M.G.Duff Marine Division, (1994), “Impressed Current Cathodic Protection”, A Member Of The M G Duff Group of Companies, England
- NAVSEA, (1989), “S9086-CQ-STM-010 CHAPTER 081 Waterborne Underwater Hull Cleaning Of Navy Ships”, United States Navy Sea Systems Command, Naval Ships’ Technical Manual, , October 1989, USA
- NIMMO B. ve HINDS G., (2003), “Beginners Guide to Corrosion”, Life Management of Materials in Corporating, The National Corrosion Service(LMM-NCS), U.K., February 2003
- PANOSKY, M., (2004), “Coating for Corrosion Protection”, Chair of SP-3 Technical Panel on Surface Preparation and Painting for The National Shipbuilding Research Program(NSRP), Colorado School of Mines Office of Special Programs&Continuining

Education, Colarado, April 2004

ROBERGE, P., R., (1999), "Seawater", Mc Graw Hill Handbook, Handbook of Corrosion, Chapter Two

ROTHWELL, G., P., (2003), "An Introduction to Corrosion Phenomene", Life Management of Materials in Corporating, The National Corrosion Service(LMM-NCS), U.K., February 2003

SONDALİNİ, M., (2005), "Metal Corrosion Basic", Publisher of Feedforward UPTIME Newsletter, Australia

ŞENER, S., (1990), "Boyanacak ve Kaplama Yapılacak Konstrüksiyonlarda Projelendirme ve Yüze Hazırlığı", O.D.T.Ü. 2. Korozyon Sempozyumu Bildirileri, 5-8 Kasım 1990, Ankara

TS EN ISO-8501-1, (2005), "Çelik Yüzeylerin Hazırlanması-Boya ve İlgili Malzemelerin Uygulanmasından Önce-Yüze Temizliğinin Gözle Muayenesi Bölüm 1: Kaplanmamış Çelik Alt Yüzeylerin Önceki Kaplamanın Tamamen Kaldırılmasından Sonraki Pas ve Hazırlanma Dereceleri", 07 Nisan 2005

TS EN ISO-8501-2, (2005), "Çelik Yüzeylerin Hazırlanması-Boya ve İlgili Malzemelerin Uygulanmasından Önce-Yüze Temizliğinin Gözle Muayenesi-Bölüm 2:Kaplanmış Çelik Alt Yüzeylerin Önceki Kaplamanın Kısmen Kaldırılmasından Sonra Yüzeylerinin Hazırlanma Dereceleri", 07 Nisan 2005

TS 4772 EN ISO 2808, (2005), "Boyalar ve Vernikler-Film Kalınlığı Tayini", 24 Şubat 2005

TÜRK LOYDU, (1989), "Çelik Gemilerin Klaslama ve Sörvey Kuralları", Eylül 1989, İstanbul

ASTM D 1640-03, (2004), "Test Methods for Drying, Curing, or Film Formation of Organic Coatings at Room Temperature", February, 2004

ASTM D 5262-04, (2004), "Test Method for Evaluating the Unconfined Tension Creep Behavior of Geosynthetics", Jul, 2004

ÜRGEN, M. ve ÇAKIR, A.F., (1989), "Denizel Ortamda Paslanmaz Çeliklerin Korozyon Davranımı", Türk Loydu Vakfı Seri Konferanslar IV, 1989/1990, İstanbul

WADE, G., B. ve ERNEST, J., C., (2003), "The Role of Materials in Ship Design and Operation", AMMTIAC Advanced Materials Manufacturing, Testing Information Analist Center, NY, USA

YUY-SAN., (2000), "Gemilerde Korozyon ve Katodik Koruma", YUY-SAN. Katodik Koruma Ltd.Şti., İstanbul

INTERNET KAYNAKLARI

[1] www.makinemetal.com

[2] www.korozyondernegi.org.tr

[3] www.cmeran.pamukkale.edu.tr/korozyon.pdf

[4] www.gurtas.com info@gurtas.com

- [5] www.korozyon.org
- [6] www.bimco.dk
- [7] www.surfanet.org/uk/summary2_en.htm
- [8] www.taresa.es/fichae.html
- [9] www.ncl.ac.uk/marine/assets/docs/NclUni_Lect3_1203.pdf
- [10] <http://www.cembercidenizcilik.com/teknik.htm>
- [11] www.clubmarine.com.au/internet/clubmarine.nsf/docs/MG19-5+Technical
- [12] www.etshipping.com/sept2003/sReport02.html
- [13] www.ozgurdogan.net/gemicilik

EKLER

Ek 1 Katodik Koruma Uygulaması Yapılan Geminin Tutya Yerleşim Projesi

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 28.10.1976

Doğum yeri Trabzon

Lise 1990-1993 Antalya Lisesi

Lisans 1993-1999 Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fak.
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2003-Devam ediyor Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Müh. Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programı

Çalıştığı kurumlar

1999-2000 Akademik Asansör A.Ş.

2001-Devam ediyor T.C.Dz.K.K.lığı İstanbul Tersanesi Komutanlığı