İZMİR BAKIRÇAY ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ A.B.D.

GEMİ İŞ ORTAMLARINDA KOROZYONUN KAZALARA ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nil ELDEMİR

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Akil Birkan SELÇUK

Ocak 2022

GEMİ İŞ ORTAMLARINDA KOROZYONUN KAZALARA ETKİSİ

Nil ELDEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Akil Birkan SELÇUK
(İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi H. Deniz ADA)

İzmir
İzmir Bakırçay Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Ocak 2022

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

İzmir Bakırçay Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim dalında öğrenim görmekte olan Nil ELDEMİR'in "Gemi İş Ortamlarında Korozyonun Kazalara Etkisi" başlıklı tezi .../.../20.. tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "İzmir Bakırçay Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**Unvanı Adı Soyadı**	**İmza**
Üye (Tez Danışmanı)	Prof. Dr. Akil Birkan SELÇUK	
Üye (2. Danışman)	Dr. Öğr. Üyesi H. Deniz ADA	
Üye	Doç. Dr. Kadir GÖK	
Üye	Doç. Dr. Uğur ÇAVDAR	
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Abidin ŞAHİNOĞLU	

.....

Prof. Dr. Serkan ÇINARLI

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

FINAL APPROVAL FOR THESIS

This thesis titled "The Effect of Corrosion on Accidents in Ship Work Environments" has been prepared and submitted by Nil ELDEMİR in partial fulfilment of the requirements in "İzmir Bakırçay University Directive on Graduate Education and Examination" for the Degree of Master of Science in Occupational Health and Safety Department has been examined and approved on …../…../……..

Committee Members	Title, Name and Surname	Signature
Member (Supervisor)	Prof. Dr. Akil Birkan SELÇUK	
Member (2^{nd}.Supervisor)	Asst. Prof. H. Deniz ADA	
Member	Assoc. Prof. Dr. Kadir GÖK	
Member	Assoc. Prof. Dr. Uğur ÇAVDAR	
Member	Asst. Prof. Abidin ŞAHİNOĞLU	

.....

Prof. Dr. Serkan ÇINARLI

Director of Graduate Education Institute

ÖZET

GEMİ İŞ ORTAMLARINDA KOROZYONUN KAZALARA ETKİSİ

Nil ELDEMİR

İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı
İzmir Bakırçay Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ocak 2022

Danışman: Prof. Dr. Akil Birkan SELÇUK

(İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi H. Deniz ADA)

Günlük hayatımızda çevremizde, sanayide hatta vücut için kullan birçok malzeme ve biyomalzemelerde (stent, implant ve protez vb.) korozyon sıklıkla görülmektedir. Bu alanlarda kullanılan metaller ve metalli yapılar, bulunduğu ortam koşullarında korozyona uğrayarak kararlılıklarını kaybederler. Taşıtlar, köprüler, direkler, depolar, boru hatları, tanklar, gemiler vb metal içeren yapılar beklenenden daha kısa sürelerde korozyon nedeni ile kullanılmaz hale gelmektedir. Korozyon nedeniyle oluşan kayıpların toplam değerinin hesaplanması güç olmakla beraber, çevreye kirlilik ve zararlı etkiler, yangın tehlikeleri, hastalık riskleri ve iş kazaları gibi dolaylı sonuçları da bulunmaktadır. İş güvenliğinin amacı, proaktif yöntemler uygulayarak iş kazaları meydana gelmeden önce öngörülmesi, meydana gelmesinin önlenmesine yönelik gerekli tedbirlerin alınması için önceden çalışmalar yapmaktır. Özellikle ilk sırada olan kaynağında önleme koruma politikalarının devreye sokulması korozyona bağlı olası iş kazalarının önlenmesi açısından çok önemlidir. Korozyon gibi bu kadar göz önünde bulunan bir unsur için yapılan çalışmaların yeterli olmadığını felaket boyutunda şimdiye kadar meydana gelen kazalar kanıtlanmaktadır. Korozyonun en çok meydana geldiği ortamlardan biri de deniz suyu ve çevresidir. Deniz suyuna maruz kalan ve iş ortamı olan gemilerde korozyona sıkça rastlanmakta ve önem arz etmektedir. Bu çalışmada, bir general kargo gemisine ait bazı bölümlerde korozyonun nasıl ilerlediği, sertifikalı bir mühendislik firması tarafından yapılan ölçüm sonuçları incelenmiştir. Çalışmamızda, bu koşullar göz önüne alınarak riskleri en aza indirmek için korozyon risk yönetim stratejisi önerilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Korozyon; İş güvenliği; İş kazası; Gemilerde korozyon; Korozyonla mücadele yöntemleri.

ABSTRACT

THE EFFECT OF CORROSION ON ACCIDENTS IN SHIP WORK ENVIRONMENTS

Nil ELDEMİR

Department of Occupational Health and Safety
İzmir Bakırçay University, Graduate Education Institute, January 2022

Supervisor: Prof. Dr. Akil Birkan SELÇUK
(Co-Supervisor: Asst. Prof. H. Deniz ADA)

In our daily life, corrosion is frequently seen in many materials and biomaterials (stent, implant and prosthesis, etc.) used in our environment, industry and even for the body. Metals and metal structures used in these areas are subject to corrosion under ambient conditions and lose their stability. Vehicles, bridges, poles, warehouses, pipelines, tanks, ships, etc. structures containing metal become unusable due to corrosion in a shorter time than expected. Although it is difficult to calculate the total value of the losses due to corrosion, there are also indirect consequences such as pollution and harmful effects on the environment, fire hazards, disease risks and occupational accidents. The aim of occupational safety is to predict work accidents before they occur by applying proactive methods and to take the necessary precautions to prevent their occurrence. In particular, the introduction of prevention and protection policies at the source, which is in the first place, is very important in terms of preventing possible work accidents due to corrosion. The accidents that have occurred so far have proven that the studies carried out for such an important factor as corrosion are not sufficient. One of the environments where corrosion occurs most is sea water and its environment. Corrosion is frequently encountered and important in ships exposed to sea water and having a working environment. In this study, the progress of corrosion in some parts of a general cargo ship and the measurement results made by a certified engineering firm were examined. In our study, considering these conditions, a corrosion risk management strategy has been proposed to minimize the risks.

Keywords: Corrosion; Work safety; Work accident; Corrosion on ships; Corrosion control methods.

ÖNSÖZ

Öğrenmek sancılı bir süreçtir ancak keyif vericidir. Aynı zamanda özel sektörde çalışırken akademik katkıda bulunmak zor olsa da bunu değerli danışman hocalarım sayesinde çok severek ve yeni şeyler öğrenerek gerçekleştirdiğime inanıyorum. Bu tezin hazırlanması aşamasında bana yol gösteren, bilgilerini cömertçe paylaşan ve beni her zaman destekleyen çok kıymetli hocalarım Prof. Dr. Akil Birkan SELÇUK ve Dr. Öğr. Üyesi H. Deniz ADA'ya şükranlarımı sunarım.

Değerli fikirleri ile katkısı büyük olan Doç. Dr. Kadir GÖK'e teşekkürü bir borç bilirim.

Tezde incelenen gemi ile ilgili ölçüm verilerini paylaşan Tim Gemi Mühendislik firmasına ve bu firmanın Operasyon Müdürü olan Sayın Fatih BÜYÜKYAKA'ya paylaşımlarından ve desteklerinden dolayı sonsuz teşekkür ederim.

Her zaman için bana destek olan, cesaretlendiren annem, babam başta olmak üzere, kardeşlerime, neşe kaynağım olan yeğenlerime ve benim için paha biçilemez ve yeri doldurulamaz dostlarıma sevgilerimi sunarım.

Son olarak iş kazalarında hayatlarını kaybeden çalışanları da rahmetle anıyorum.

.../.../20...

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın İzmir Bakırçay Üniversitesi tarafından kullanılan Turnitin bilimsel intihal tespit programıyla tarandığını ve hiçbir şekilde "intihal içermediğini" beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Nil ELDEMİR

.../.../20...

STATEMENT OF COMPLIANCE WITH ETHICAL PRINCIPLES AND RULES

I hereby truthfully declare that this thesis is an original work prepared by me; that I have behaved in accordance with the scientific ethical principles and rules throughout the stages of preparation, data collection, analysis and presentation of my work; that I have cited the sources of all the data and information that could be obtained within the scope of this study, and included these sources in the references section; and that this study has been scanned for plagiarism with Turnitin scientific plagiarism detection program used by İzmir Bakırçay University, and that "it does not have any plagiarism" whatsoever. I also declare that, if a case contrary to my declaration is detected in my work at any time, I hereby express my consent to all the ethical and legal consequences that are involved.

Nil ELDEMİR

İÇİNDEKİLER

Sayfa
GEMİ İŞ ORTAMLARINDA KOROZYONUN KAZALARA ETKİSİ .....
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI i
FINAL APPROVAL FOR THESIS ii
ÖZET iii
ABSTRACT iv
ÖNSÖZ v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ vi
STATEMENT OF COMPLIANCE WITH ETHICAL PRINCIPLES AND RULES .. vii
İÇİNDEKİLER viii
TABLOLAR DİZİNİ x
ŞEKİLLER DİZİNİ xi
GÖRSELLER DİZİNİ xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ xiii
1. GİRİŞ 1
2. TEMEL KAVRAMLAR 3
2.1. İş Kazaları ve Nedenleri 3
2.2. Korozyon 5
2.3. Korozyonun Elektrokimyasal Temeli 7
2.4. Korozyonun Elektrokimyasal Termodinamik Uygulaması 8
2.4.1. Potansiyel–pH diyagramları 11
2.4.2. Pasifleşme 12
2.5. Korozyon Türleri 13
2.6. Deniz Suyunda Korozyon 26
2.7. Korozyonun Önlemesi için Uygulanabilecek Yöntemler 27
2.7.1. Katotik Yöntem 27
2.7.2. Anotik Koruma 28
2.7.3. Kaplama Yoluyla Koruma 28
2.7.4. İnhibitörle Koruma 29
2.8. Gemilerin Yapısı 29
2.9. Gemilerde Korozyon 29
3. GEMİLERDE KOROZYONUN İNCELENMESİ 31
3.1. Ölçümlerde Kullanılan Cihazlar ve Kalibrasyonları 31

3.2. Ölçüm Sonuçlarının İncelenmesi 31
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 49
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 54
KAYNAKÇA 57
EK-1 60
ÖZGEÇMİŞ.....63

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Standart elektrot potansiyel serisi **.....10**
Tablo 2.2. En sık görülen korozyon türleri **.....14**
Tablo 3.1. Geminin ultrasonik ölçüm noktaları **.....32**
Tablo 4.1. Geminin bölgelerine göre korunma önerileri**.....53**

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Evans Diyagramı **7**
Şekil 2.2. Saf demirin sulu ortam içindeki Pourbaix diyagramı **11**
Şekil 2.3. 25ºC'de Fe-H_2O sistemi için Pourbaix diyagramı **12**
Şekil 2.4. Pasifleşme özelliğindeki bir metalin anotik polarizasyon eğrisi **13**
Şekil 2.5. Kaçak akım korozyonu **23**
Şekil 2.6. Çeşitli korozyonların görsel çizimleri **25**
Şekil 2.7. Belirlenebilirlik durumlarına göre korozyon **25**
Şekil 2.8. Normal çeliğin deniz suyunda korozyonu **26**
Şekil 3.1. Enine kesit görünümü (2015) **33**
Şekil 3.2. Enine kesit görünümü (2018) **34**
Şekil 3.3. Enine kesit görünümü (2021) **34**
Şekil 3.4. İskele dış gövde görünümü (2015) **36**
Şekil 3.5. İskele dış gövde görünümü (2018) **37**
Şekil 3.6. İskele dış gövde görünümü (2021) **38**
Şekil 3.7. Sancak dış gövde görünümü (2015) **39**
Şekil 3.8. Sancak dış gövde görünümü (2018) **40**
Şekil 3.9. Sancak dış gövde görünümü (2021) **41**
Şekil 3.10. Ambar tabanı (2015) **42**
Şekil 3.11. Ambar tabanı (2018) **42**
Şekil 3.12. Ambar tabanı (2021) **43**
Şekil 3.13. Ara perdeler (2015) **44**
Şekil 3.14. Ara perdeler (2018) **44**
Şekil 3.15. Ara perdeler (2021) **45**
Şekil 3.16. Postalar (2015) **45**
Şekil 3.17. Postalar (2018) **46**
Şekil 3.18. Postalar (2021) **46**
Şekil 3.19. Baş Pik Tank (2015) **47**
Şekil 3.20. Baş Pik Tank (2018) **47**
Şekil 3.21. Baş Pik Tank (2021) **48**

GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Resim 2.1. Gemilerde oluşan galvanik korozyon **15**
Resim 2.2. Aralık korozyonu.....**17**
Resim 2.3. Çukur korozyonu.....**18**
Resim 2.4. Fili form korozyon **19**
Resim 2.5. Pirinç vanada meydana gelen seçimli korozyon **19**
Resim 2.6. Erozyonlu korozyon.....**21**
Resim 2.7. Kavitasyonla aşınan östenitik-ferritik paslanmaz (sol) ve pik döküm (sağ) çark **21**
Resim 2.8. Gemi pervanesinde kavitasyon **22**
Resim 2.9. Stres korozyon.....**22**
Resim 2.10. Çelik boruda bakteri kolonilerinin oluşumu ve korozyonun başlangıcı **24**
Resim 3.1. Geminin dış kabuk sacında meydana gelen korozyonun görüntüleri **35**
Resim 3.2. Korozyona uğrayan kısımlarda yenileme işlemleri öncesi işaretleme.....**35**
Resim 3.3. Korozyona uğrayan parçaların yenilenmesi.....**35**
Resim 3.4. Ambarların tavanına denk gelen geminin ana güvertesinde korozyon sonucu sacın incelmesinden kesilen parçalar **43**

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

MIC : Metil izosiyanat

EPNG : El Paso Doğal Gaz Şirketi

ICCP : Katodik Korozyon Önleme Sistemi

IACS : Uluslararası Klas Kuruluşları Birliği

1. GİRİŞ

Genellikle sıvı ve gaz ortamlarda bulunan metal ve alaşımlarının, çevreleri ile girdikleri elektrokimyasal ve kimyasal tepkimeler sonucu uğradıkları hasar *korozyon* olarak tanımlanır. Sanayide birçok kullanım alanı bulan metallerin çoğunluğu bulunduğu ortam koşullarında kararlılıklarını korozyona uğrayarak kaybederler. Korozyon sonucu büyük iş kazaları meydana gelmekte ve buna bağlı olarak büyük ekonomik kayıplar oluşmaktadır.

Meydana gelen iş kazalarının oluşumları incelendiğinde, korozyon gibi kazayı oluşturan temel unsurların dikkate alınmadığı görülmektedir. Kaza gerçekleşmeden önce, korozyon etkisinin öngörülmesi ve hasarlarına karşı önlemlerin alınması hem iş kaybını hem de ekonomik kayıpları önlemeye yardım edecektir.

Dünyada korozyon hasarlarına karşı önleyici tedbirler alınmadığı gibi her yıl büyük boyutlarda korozyondan kaynaklı hasarlar meydana gelmektedir. Mevcut ortam koşullarında bulunan enerji nakil hatları, köprüler, taşıtlar, direkler, şebeke su boruları, yeraltından ve üstünden geçen boru hatları, depolar, gemiler, barajlar gibi metal aksam içeren yapılar ortam koşullarına göre kısa sürede korozyona uğrayabilmektedirler. Bunun sonucunda tüm bu malzemeler kullanılmaz hale gelmektedir. Korozyon nedeniyle oluşan bütün bu kayıpların toplam değerinin hesaplanması çok zordur. Ekonomik zararlarının yanında çevre kirliliği, patlama tehlikeleri, hastalık tehlikeleri ve iş kazaları gibi dolaylı etkileri de bulunmaktadır.

Korozyon çok büyük felaketler yaşanmadıkça (örneğin; Bhopal Felaketi-1984-Hindistan, Guadalajara Felaketi-1992-Meksika, Aloha Uçak Kazası-1988 vb.) dikkate alınmamaktadır. Büyük kazalarda proaktif önlemler düşünülmediği için kaza sonrası ödenen küçük tazminatlar dışında yapılan bir aksiyon bulunmamaktadır. Korozyonun maliyetleri ve olası tüm kazalarda korozyonun etkisi detaylı olarak oluşumunun araştırılması, belirli periyotlarla incelenmesi ve tedbirlerin alınması konuları üzerinde durulmalıdır. Korozyon tamamen önlenemese bile en azından takip edilmelidir ki sonrasında meydana gelebilecek hasarlar ve kazalar önlenebilsin.

Bu tez çalışmasında, korozyonun çeşitli sektörlerde meydana gelmesi ve bunun sonucu oluşan iş kazaları ile muhtemel sonuçları incelenmiştir. Bununla birlikte, korozyon olayının iş kazalarında kök neden olarak incelenmesi, istatistiksel bilgilerinin

takip edilmesi ve bu sonuçların olası korozyon nedeniyle zararlarının ortaya çıkmasının önüne geçilmesi konuları tartışılmıştır. Özellikle literatürde çok rastlanmayan gemilerde meydana gelen korozyonlar üzerinde çalışılmıştır. Bu amaçla, Tim Gemi Mühendislik şirketinin bir gemide yapmış olduğu korozyona uğrayan bölgelerin periyodik ölçümlerine ait raporlar incelenmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkarak, iş güvenliği yönünden korozyona karşı alınabilecek önlemler, takip edilmesi gereken unsurlar belirlenmeye çalışılmış ve tartışılmıştır.

2. TEMEL KAVRAMLAR

2.1. İş Kazaları ve Nedenleri

"*İş kazası; işyerinde veya işin yürütümü nedeniyle meydana gelen, ölüme sebebiyet veren veya vücut bütünlüğünü ruhen ya da bedenen engelli hale getiren olay*" olarak tanımlanır. (6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, madde 3/1-g).

İş kazaları genellikle önlenemeyen durumlar, güvensiz davranışlar ve güvensiz koşullar ve/veya bunların kombinasyonları sonucunda meydana gelmektedir.

Önlenemeyen durumlar; doğal afetler gibi önceden kestirilemeyecek olaylar olarak tanımlanır. İş kazalarındaki payı %2 oranındadır. Bu yüzden şimdiye kadar iş güvenliği konusunda yapılan çalışmalar geriye kalan %98'lik pay için gerçekleştirilmiştir.

Güvensiz davranışlar; insan kaynaklı hatalardan, ihmallerden, yanlış iş güvenliği kültürü ve iş güvenliği eğitimlerinin eksikliklerinden dolayı meydana gelmektedir. İnsan, fizyolojik ve psikolojik yapısı gereği çevre şartlarından etkilenmekte ve böylece güvensiz hareket veya davranışlar sergilemektedir. Ayrıca kişinin yaptığı iş, o kişinin fiziksel gücünün ve zihinsel yeterliliğinin üzerinde ise güvensiz davranışlar ortaya çıkar. Bunun yanında, kişilerde dalgınlık ve dikkatsizlik yaratabilecek işler olarak nitelendirilebilen tekdüze özellik gösteren çalışmalar, güvensiz davranışlara davetiye çıkarmaktadır. Ayrıca yapılan işin gerektirdiği enerji çalışanın aldığı besinlerden yeterince karşılanmıyorsa, iş güvenliği kültürü oluşmadıysa, kişiye yapması beklenen iş için gerekli ve yeterli eğitim verilmediyse güvensiz davranışlar ortaya çıkabilir. Bunun sonucunda iş kazaları kaçınılmaz hale gelir.

Uygun olmayan fiziksel ve çevresel koşullar *güvensiz koşullar* olarak incelenir. Kişilerin yaptığı işe uygunluğu, çalışma sırasında kullanılan teknolojilerin ve araçların niteliği, bakım ve periyodik kontrollerinin eksikliği, depolama ve istifleme hataları, iş ve işyeri düzensizliği, sağlıksız çevre koşulları, yönetim hataları, gibi birçok etken güvensiz koşullara neden olur.

İş kazalarında önlenebilir tedbirler arasında güvensiz koşulların önüne geçmek amacıyla mevzuatımızda çeşitli yönetmelikler bulunmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda listelenmiştir:

- "Asansör Periyodik Kontrol Yönetmeliği (Sayı:30411, 04.05.2018)"
- "Basınçlı Ekipmanlar Yönetmeliği (Sayı:30349, 03.03.2018)"

- “Basit Basınçlı Kaplar Yönetmeliği (87/404/AT) (Sayı:26392, 30.12.2006)”
- “Ekranlı Araçlarla Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik (Sayı:28620, 16.04.2013)”
- “Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği (Sayı:25305, 03.12.2003)”
- “İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği (Sayı:28628, 25.04.2013)”
- “İşyeri Bina ve Eklentilerinde Alınacak Sağlık ve Güvenlik Önlemlerine İlişkin Yönetmelik (Sayı:28710, 17.07.2013)”
- “Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik (Sayı:28733, 12.08.2013)”
- “Makine Emniyeti Yönetmeliği (2006/42/AT) (Sayı:27158, 03.03.2009)”
- “Gemi adamları ve Klavuz Kaptanlar Yönetmeliği (Sayı:30328, 10.02.2018)”

Mevzuatımız incelendiğinde korozyon kelimesini içeren 59 adet kayıt ortaya çıkmaktadır. Bunlara bakıldığında korozyon gibi çok önemli bir konunun bir başlık altında bile yer almadığı görülmektedir.

Dünya çapında meydana gelmiş olan büyük felaketler incelendiğinde, bu kazaların korozyondan kaynaklandığı görülmektedir:

“1984 yılında Hindistan’da gerçekleşen bir iş kazası ve ihmali, endüstri tarihinin en büyük olayı olarak kayıtlara geçmiştir. Metil izosiyonat (MIC) dolu 40 tonluk tankın korozyon etkisiyle patlayarak çevreye dağılması sonucu en az 15.000 kişi ölmüş ve 150.000–600.000 aralığında kişi sakat kalmış veya etkilenmiştir. Böyle büyük bir felaket, tanka su eklenmesi sırasında basınç ve sıcaklık çok yükselmiş ve paslanmaz çeliğin son derece hızlı bir şekilde korozyona uğraması sonucu gerçekleşmiştir. Kaza nedeniyle şirket sadece 470 milyon ABD $ gibi komik bir rakamı tazminat olarak ödemiştir” (http-1).

“28 Nisan 1988 günü, Aloha Airlines’a bağlı bir BOEING 737 uçağının kazası dünya uçuş tarihine girmiştir. Hawai’ye doğru yol alan uçakta aniden büyük bir patlama yaşamıştır. Korozyon yüzünden uçağın yakıt paneli 24.000 feet yükseklikte parçalanmıştır. Şans eseri can kaybının yaşanmadığı kazada 90 yolcudan 60’ı yaralanmıştır. Araştırmalar hasarın yakıt paneli üzerinde korozyonun hızlandırdığı yorulmadan kaynaklandığını göstermiştir” (http-2).

“Meksika’da 1992 yılında korozyonun neden olduğu bir kanalizasyon patlaması sonucu 215 kişi ölmüş binlerce kişi yaralanmıştır. Çelik benzin borusu ve çinko kaplı su borusu arasında korozyon nedeniyle oluşan tek bir delikten başlayan benzin sızıntısı kanalizasyona karışınca patlama meydana gelmiştir. Hasar 75 milyon ABD doları olarak tahmin edilmektedir.” (http-3)

“12 Aralık 1999 tarihinde Malta’ya kayıtlı tanker Erika, yaklaşık 30 tonluk mazot taşırken zorlu hava koşulları nedeniyle Fransa’nın Brittany kıyısına 70 km uzaklıktayken ikiye bölünmüştür. Korozyona bağlı bu kazanın sonucunda 19,8 ton civarında mazot denize sızmıştır. Bu petrol sızıntısı, 1998 yılında dünya çapında dökülen toplam petrol miktarına eşittir. Olayın ekonomik sonuçları bölge genelinde yoğun olarak hissedilmiştir. Turizmden elde edilen gelirde düşüş kaydedilmesinin yanında balıkçılıktan elde edilen gelir kayıpları da görülmüştür. Bu bölgeden yapılacak istiridye, yengeç gibi tüm deniz ürünleri ticareti yasaklanmıştır. Bu gerçekleşen kaza bir sürpriz değildi. Çünkü Erika 1994'ten beri korozyon hataları ve belirtileri vermişti. Bu durum ABD Sahil Güvenlik kayıtlarına göre belgelendirilmiştir. Ayrıca, yangınla mücadele ve inert gaz sistemlerinde de birçok önemli eksiklik bulunuyordu. Denetim firması olan Lloyd's List tarafından, kazadan birkaç hafta önce ciddi korozyonlar tespit edilip, raporlanmıştır” (http-4).

“19 Ağustos 2000 tarihinde saat 05:26'da, El Paso Doğal Gaz Şirketi (EPNG) tarafından işletilen yaklaşık 71 cm çapında bir doğal gaz iletim boru hattı, Carlsbad, New Mexico yakınlarındaki Pecos Nehri'nin bitişiğinde kopmuş ve serbest kalan gaz alevlenerek 55 dakika boyunca sürekli yanmıştır. Nehir boyunca boru hattını destekleyen beton döşemeli çelik bir köprünün altında kamp yapan on iki kişi ölmüş ve üç araç kullanılamaz hale gelmiştir. Nehir üzerindeki gaz boru hatlarının geçtiği iki çelik asma köprü büyük ölçüde hasar görmüştür. EPNG'ye göre ölüm hariç hasar ve kayıpların tümü toplam 998.296 $'dır” (http-5).

Bahsi geçen kazalardan da görüldüğü üzere korozyon ciddi bir tehlike arz etmektedir ve takip edilmesi ekonomik kayıpların, çevre kirliliğinin, can kayıplarının ve iş kazalarının önlenmesi adına çok önemlidir. Her ne kadar bu büyüklükte felaketler her zaman meydana gelmese de küçük boyutta olan ve çok önemsenmeyen kazaların incelenmesinde korozyon konusu gündeme gelmemektedir.

2.2. Korozyon

Metaller de dahil olmak üzere evrendeki bütün element veya malzemeler en az enerjiye sahip olacağı taban enerji seviyesinde kalma eğilimindedirler. Bunun anlamı, metallerin tümü doğada bulunduğu haldeki mineral yapılarına dönmeye çalışırlar [1].

Korozyon, malzemelerin bulundukları ortamın etkisiyle zamanla hasara uğramasıdır. Metaller elektrokimyasal reaksiyonlara yatkın olmasından dolayı daha sık korozyona uğrarlar. Bunun nedeni metallerin oksijene olan ilgileridir. Korozyona dayanıklı olan titanyum ve benzeri malzemeler serbest halde daha kararlıdır. Demir ve benzeri malzemelerin oksijene ilgisi fazladır. Bu tarz metaller daha kolay korozyona uğrarlar [2].

Korozyon probleminin başlangıcı metalik çağın başlangıcı kadar eski olmasına rağmen hala korozyon teorisi ya da mekanizması hakkında çok şey bilinmemektedir. İlk

güvenilir korozyon mekanizması 1903'te Whitney ve 1907'de Cushman tarafından öne sürülmüştür. Bunu değişik korozyon çalışmaları takip etmiştir.

Korozyon, metal ve alaşımların bulunduğu ortam ile yaptığı kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu meydana gelen bozunmalardır. İş ve ekonomi hayatında olumsuz sonuçları olan bir sorundur. Kimya ve gıda sanayileri başta olmak üzere endüstriyel fabrikalarda özellikle korozyon nedeniyle çok yüksek kayıplar meydana gelmektedir [3].

Petrović tarafından 2016 yılında yapılan çalışmada, son yüzyılda insanlık dikkate değer ilerlemeler kaydetmiş olsa da, insan yaşamını kaybetmesine neden olan vakalar olmuştur. Korozyonun kendisi önemli değildir fakat korozyon hatalarının sonuçları çok ciddi olabilir. Korozyonun insan hayatını kaybetmesinden sorumlu olduğu olaylar incelenmiştir. Bu olayların soruşturmalarında yaşanan felaketlerin yasal, teknolojik, organizasyonel ve insan hatalarının kombinasyonu olduğu görülmüştür. Aynı zamanda korozyonun kontrol altına alınması ve önlenmesinin hem maddi kayıpların hem de insan hayatı kayıplarının önlenmesi açısından ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmıştır [4].

Rafinerideki tehlikeleri azaltmak için korozyonun kontrolü bir zorunluluktur. Raporlara göre meydana gelen 40 büyük kazadan 21'i korozyon nedeni ile meydana gelmektedir. Bu kazalar incelendiğinde korozyon hasarlarının tespit edilmesine rağmen tehlikenin büyüklüğü algılanmamış veya önemsenmemiştir. Bir diğer konu da rafinerilerde farklı disiplinlerin bir bütün olarak bir arada çalışmak zorunluluğudur. Korozyon riskinin oldukça açık olduğu durumlarda yönetimler; ilgisizlik, ekonomik veya birçok farklı nedenden dolayı bu tür durumları görmezden gelebilmektedirler. Bunun yanında korozyonun hızının belirlenmemesi riski daha da arttırmaktadır. Korozyonun belirlenebilmesi için korozyonu test eden çalışanların uzman ve tecrübeli olması gerekir. Deneyimsizlik veya bilgi eksikliği yüzünden göze çarpmayan değişiklikler ile özgün süreç, ekipman tasarım hataları ve yaşlanan ekipman da ayrıca riski arttırabilir. Bahsi geçen olumsuzluklar yöneticiler tarafından göz önüne alındığında gerekli önlemler alınması durumunda rafinerilerin korozyon riski zamanla azaltılabilecektir. Korozyon nedeniyle ortaya çıkabilecek tehlikelerin tanımlanması veya yönetilmesi doğru bir şekilde yapılamazsa, rafineriler için büyük sorun teşkil etmeye devam edecektir[5].

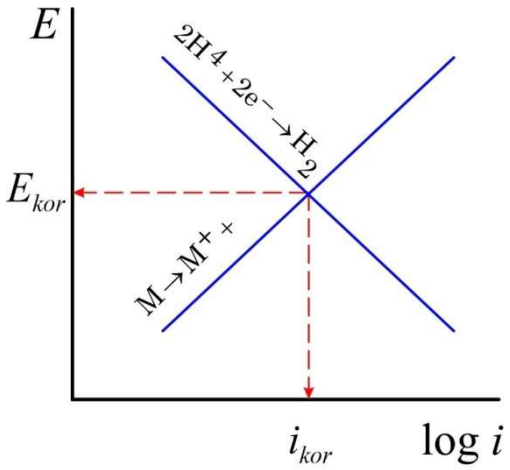
Sonuç olarak korozyonu yönetmek ve kontrol altında tutmak, ancak etkin bir risk yönetimi sistemi ile mümkündür.

2.3. Korozyonun Elektrokimyasal Temeli

Metallerdeki korozyon, ıslak atmosferde, yer altında, sulu ortamlarda bir metalden diğer metale veya aynı metalin yüzeyindeki bir noktadan diğer bir noktaya geçen galvanik akımlardan kaynaklanır. Bahsi geçen iki nokta arasındaki elektrik akımı geçişinin gerçekleşmesi için ortamda ıslak bir iletken veya elektrolit olma zorunluluğu vardır. Tuzlu su ise mükemmel bir elektrolittir [2].

İlk olarak 1800'de Volta tarafından korozyonun meydana gelişi deneysel olarak gözlemlenmiştir. Bu deney göstermiştir ki bir çözelti içinde eş zamanlı olarak akım verilen iki metal oldukça aktiftir. Buna göre farklı metaller bağlantıdayken korozyon oluşur. Evans ve Hears'ın 1932'de çelik bir plakayı dik olarak KCl çözeltisine batırması sonucu alt ve üst kısımlarından akım geçişi elektrokimyasal hücre varlığının bir kanıtı olmuştur. Onların oluşturdukları anotik ve katotik bölgeler için hazırlanmış akıma karşı potansiyel eğrileri Evans diyagramı (Bkz. Şekil 2.1) olarak bilinir. Korozyon akımı çözünmüş metal ağırlığı ile doğru orantılıdır [6].

Altın, platin gibi soy metaller doğada metal olarak bulunurlar. Bunlar dışında kalan metaller su, hava, çeşitli gazlar, buharlar ve atmosferik etkenlerin etkisiyle giderek aşınırlar. Yani metaller korozyona uğrarlar ve başlangıçta doğada bulundukları en kararlı oksit, karbonat, sülfat gibi minerallere dönüşürler [6].



Şekil 2.1. Evans Diyagramı

Bir metalin elektrokimyasal reaksiyonu için metal-çevre ara yüzeyinde elektrokimyasal bir hücre oluşması gereklidir. Bir metal – elektrolit ara yüzeyinde denge potansiyeli adı verilen bir potansiyel vardır. Metal – elektrolit ara yüzeyinde oluşan

korozyon da aslında bir elektrokimyasal hücre oluşumudur. Bu hücre oluşumu bir metal bir elektrolite batırıldığında yüzeyinde anot ve katot denilen iki farklı davranışa sahip bölgeler meydana gelir. Galvanik hücre bu şekilde meydana gelir. Elektrokimyasal olarak korozyon aslında bir metal çözünmesidir. Bir Fe – H_2O sisteminde tüm pH'larda anodik katodik rekasiyonlar aşağıdaki şekilde meydana gelir [7].

$$Fe \rightarrow Fe^{+2} + 2e^{-} \quad \text{(Anot)}$$

$$2H_2O + O_2 + 4e^{-} \rightarrow 4OH^{-} \quad \text{(Katot)}$$

$$2H_2O + 2e^{-} \rightarrow H_2 + 2OH^{-} \quad \text{(Çözünmüş } O_2 \text{ yokluğunda indirgenme)}$$

$$4H+ + O_2 + 4e^{-} \rightarrow 2H_2O$$

$$2H+ + 2e^{-} \rightarrow H_2 \quad \text{(Çözünmüş } O_2 \text{ yokluğunda indirgenme)}$$

Anotik çözünme reaksiyonu her durumda aynıdır. Ancak demirin çözünme oranı her bir durum için farklı olabilmektedir. O_2 varlığında suyun katotta indirgenme reaksiyonu, yokluğundakinden çok daha hızlı gerçekleşir. Yükseltgenme-indirgenme reaksiyonları birbirini tamamlar. Ancak demirin yükseltgenmesi veya korozyonu olayı çok daha hızlı gerçekleşmektedir. Buna ek olarak konsantrasyon hücresi halindeki alan katotik hücreden her zaman daha küçüktür. Bu da korozyon prosesindeki aşınma sürecini yavaşlatır. Bir metal – çevre sisteminde havalandırmalı hücre oluşumu galvanik hücre oluşumundan daha hasar vericidir [7].

Korozyon; elektrokimyasal hücre tipi, anot ve katot konumları, yüzey alanı, oluşum hızı, çevre gibi etkenlerle değişik formlarda meydana gelebilir [7].

2.4. Korozyonun Elektrokimyasal Termodinamik Uygulaması

Termodinamik yasalarına göre kimyasal bir tepkime, ancak Gibbs serbest enerji değişiminin negatif $(G < 0)$ olması durumunda kendiliğinden devam eder. Metallerin mineral hale dönüşme eğilimleri yani istemlilik kavramından şu sonuçları çıkartabiliriz:

- Bir reaksiyon istemli ise, buna zıt olan işlem istemsizdir.
- Hem istemli, hem de istemsiz reaksiyonlar olasıdır, doğal olaylar istemli olaylardır. Ancak sisteme belli bir yönde etki yapılması istemsiz olayları gerçekleştirebilir.

Korozyon da termodinamik yasalarına uyar. Bu demektir ki metaller doğada

bulundukları kararlı bileşiklerine dönüşme eğilimi gösterirler. Altın, platin gibi soy metaller doğada metal olarak bulunurlar. Bunlar dışında kalan metaller, su, hava, çeşitli gazlar, buharlar ve atmosferik etkenlerin etkisiyle giderek aşınırlar. Genelde çözünme potansiyelleri hidrojenin çözünme potansiyelinden küçük olan metaller sulu çözeltilerde hidrojen çıkışı ile çözünürler. Çözünme potansiyelleri hidrojenin çözünme potansiyelinden büyük (sıfır volt) ve oksijenin çözünme potansiyelinden küçük olan (+1,23 volt) metaller hidrojen çıkışı ile korozyona uğramazlar. Ancak, oksijen içeren çözeltilerde metaller korozyona uğrarlar. Çözünme potansiyelinin, oksijenin çözünme potansiyelinden büyük olduğu durumlarda metaller genellikle sulu çözeltilerde korozyona uğramazlar [6].

Metalin çözünme potansiyeli hidrojenin çözünme potansiyelinden ne kadar büyükse korozyon da o kadar büyük olur. Aktif metallerin (Na, Mg vb. elementler) standart elektrot potansiyel değerleri (Bkz. Tablo 2.1) diğerlerine oranla daha büyüktür.

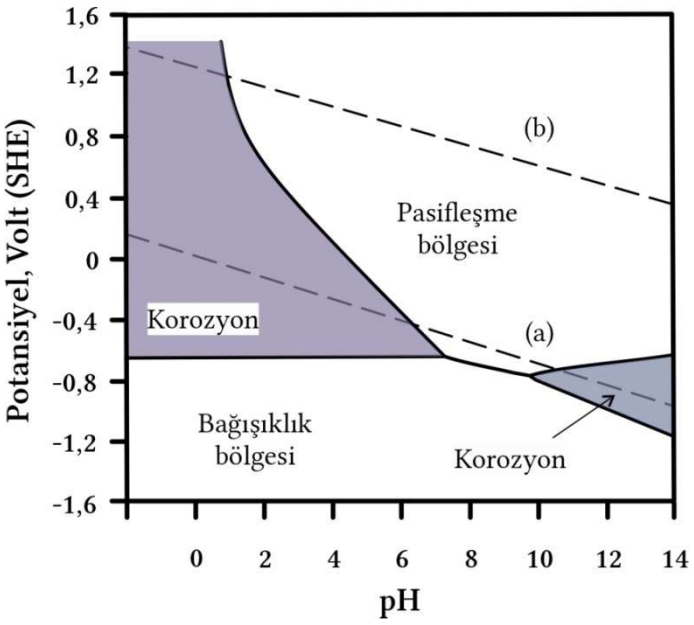
Tablo 2.1. Standart elektrot potansiyel serisi

Elektrot	Elektrot Reaksiyonu	Standart Elektrot Potansiyeli (Oksidasyon), Volt
Na / Na^{+}	$Na \rightarrow Na^{+} + e^{-}$	+2,714
Mg / Mg^{+2}	$Mg \rightarrow / Mg^{+2} + 2e^{-}$	+2,363
Mn / Mn^{+2}	$Mn \rightarrow Mn + 2 + 2e^{-}$	+1,180
Al / Al^{+3}	$Al \rightarrow Al^{+3} + 3e^{-}$	+1,662
Co^{+2} / Co^{+3}	$Co^{+2} \rightarrow Co^{+3} + e^{-}$	+1,82
Zn / Zn^{+2}	$Zn \rightarrow Zn^{+2} + 2e^{-}$	+0,763
Fe / Fe^{+2}	$Fe \rightarrow Fe^{+2} + 2e^{-}$	+0,440
$Pt / H_2 / H^{+}$	$H_2 \rightarrow 2H + + 2e^{-}$	0,000
Mo / MoO_2	$Mo \rightarrow MoO_2 + 4e^{-}$	-0,15
Cu / Cu^{+2}	$Cu \rightarrow Cu^{+2} + 2e^{-}$	-0,337
Ni / Ni^{+2}	$Ni \rightarrow Ni^{+2} + 2e^{-}$	-0,23
Cd / Cd^{+2}	$Cd \rightarrow Cd^{+2} + 2e^{-}$	-0,403
$Ti_2O_3 / 2TiO_2$	$Ti_2O_3 \rightarrow 2TiO_2 + 2e^{-}$	-0,56
Cr / Cr^{+3}	$Cr \rightarrow Cr^{+3} + 3e^{-}$	-0,74
Hg / Hg^{+2}	$Hg \rightarrow Hg^{+2} + 2e^{-}$	-0,780
Ag / Ag^{+}	$Ag \rightarrow Ag^{+} + e^{-}$	-0,799
Au / Au^{+3}	$Au \rightarrow Au^{+3} + 3e^{-}$	-1,500
K / K^{+}	$K \rightarrow K^{+} + e^{-}$	-2,92

2.4.1. Potansiyel–pH diyagramları

Korozyon olaylarında elektrokimyasal tepkimelerin de gerçekleştiği anlaşıldıktan sonra korozyon sorunlarının çözümünde kimyasal termodinamik yönteminin yanında elektrokimyasal termodinamikten yararlanılması gerekmektedir. Pourbaix ve arkadaşları (1974) tarafından birçok elementin 25ºC sıcaklığı için Pourbaix diyagramları (Bkz. Şekil 2.2) çizilmiştir [8].

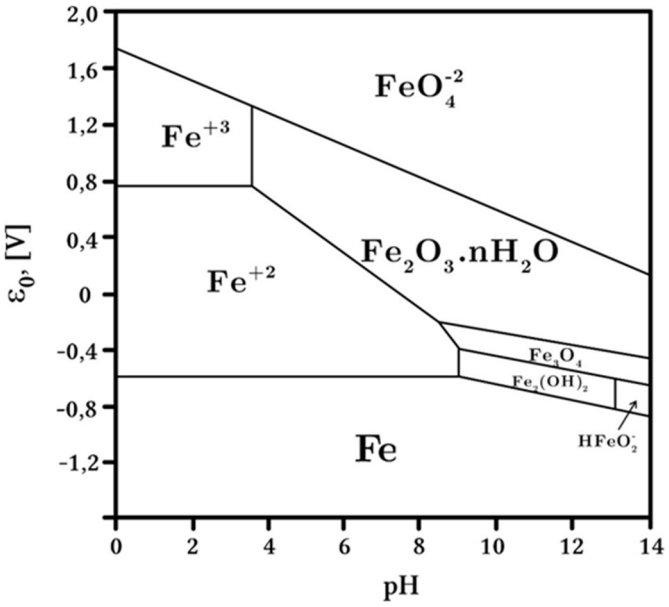
Potansiyel-pH diyagramları, metalin korunması için hangi potansiyel ve pH aralığında çalışılacağını gösterir, anotik veya katotik koruma seçeneklerini verir. Bu grafikler yardımıyla, hangi şartlarda ne tip bir reaksiyonun gerçekleşeceği önceden belirlenebilir. Bu diyagramlar su ile beraber sistemde mevcut diğer iyonlar, [örneğin klorür (Cl^-) ve sülfat ($SO4^{-2}$)] dikkate alınarak da çizilebilir. Ayrıca termodinamik olarak kararlı olmayan fakat pratikte kararlı oldukları bilinen ara fazlarda dikkate alınarak geliştirilebilir. Bu şekilde uygulamaya daha yakın sonuçlar verebilecek bir diyagram elde edilir. Ancak potansiyel-pH diyagramları metal bileşiklerinin koruyucu olup olmadıklarını söylemez. Reaksiyon hızını da bildirmezler [9].



Şekil 2.2. Saf demirin sulu ortam içindeki Pourbaix diyagramı

2.4.2. Pasifleşme

Şekil 2.2'de demirin nitrik asit içinde meydana gelen reaksiyonunda *kendine özgün pasifleşme* olayı gözlenir. Eğer bir çelik parçası önce nitrik asit içinde, daha sonra da bakır sülfat içine daldırılırsa bakırın pasifleşmiş olan çelik üzerinde toplanmadığı görülür. Çelik parçası bir cam çubuk ile çizilecek olursa pasiflik bozulur ve bakır çelik üzerinde toplanmaya başlar. Buna benzer dayanıksız pasiflik filmleri teknikte koruyucu olarak kullanılamaz [7].



Şekil 2.3. 25°C'de Fe-H_2O sistemi için Pourbaix diyagramı

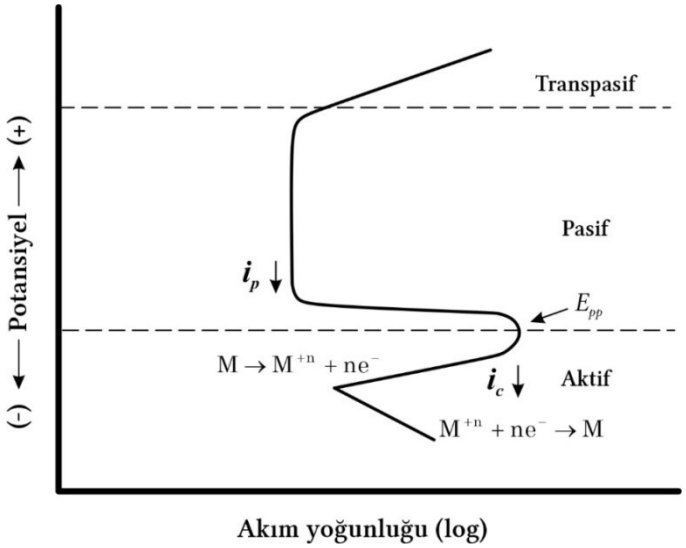
Pasifleşme özelliği gösteren bir metale ait diyagramda Şekil 2.4'de görüldüğü üzere üç potansiyel bölgesi vardır:

Aktif Bölge: Potansiyelin E_{pp} (Pasifleşme potansiyeli) değerinden daha negatif olduğu bu bölgede metal şiddetle korozyona uğrar.

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

Transaktif Bölge: Pasif filmin bozulduğu bu bölgede korozyon hızı yeniden artar. Korozyon pasifleştirici filmin bozulduğu noktalarda çukur oluşumu şeklinde ilerler.

Aktif-pasif-transpasif geçişi gösteren metaller orta ve yüksek yükseltgeyici gücü olan ortamlarda pasifleşirler. Çok yüksek yükseltgeme gücü olan ortamlarda bu gereçler korozyona karşı dirençlerini yitirirler. Metallerin pasiflik özelliklerinden korozyona karşı yeni koruma yöntemleri geliştirilmiştir [7].



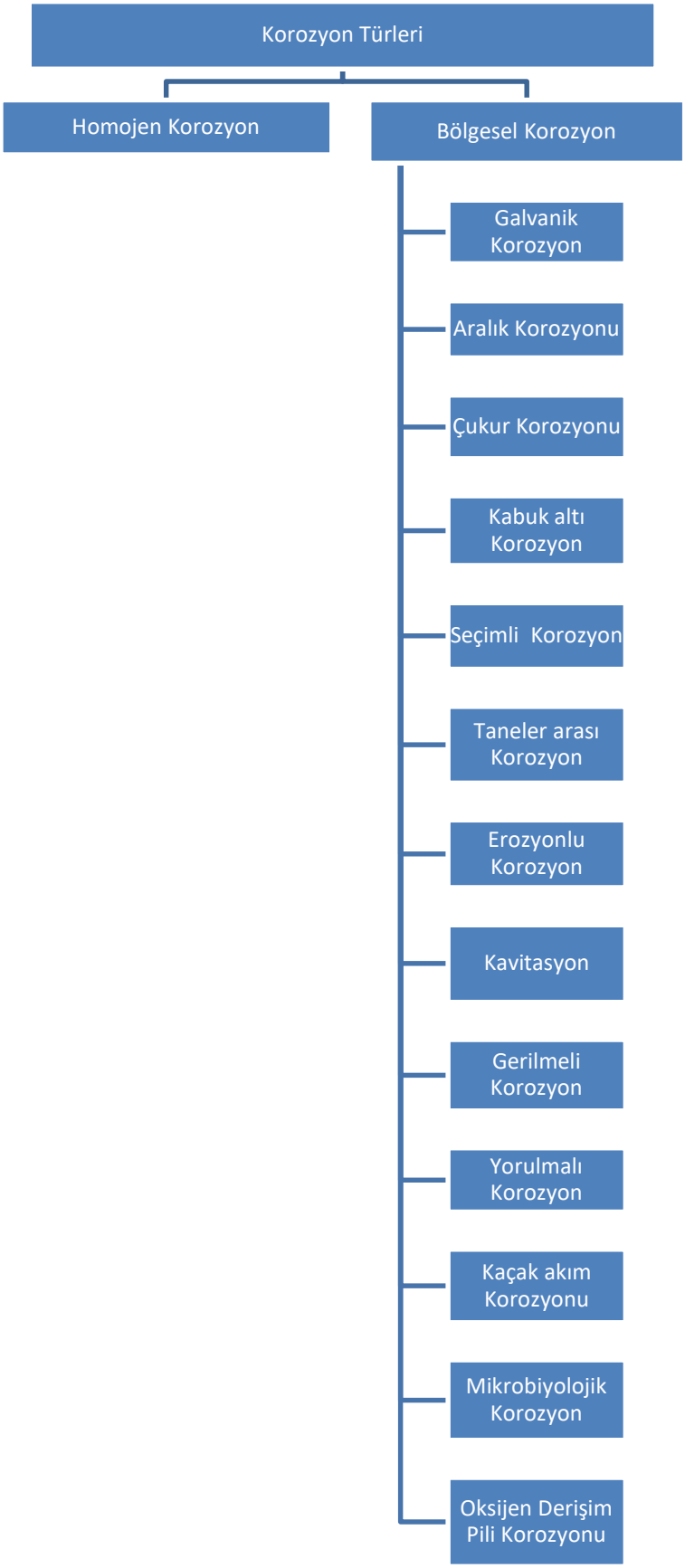
Şekil 2.4. Pasifleşme özelliğindeki bir metalin anotik polarizasyon eğrisi

2.5. Korozyon Türleri

Bir metalin ortamda maruz kaldığı elektrokimyasal, kimyasal ve fiziksel etkilere göre korozyon sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma korozyon türlerini birbirinden ayırma konusunda yeterli değildir. Ancak ortam etkisine göre incelenmesi açısından faydalıdır.

Korozyonun, metalin görünüşünde fiziksel olarak meydana getirdiği değişikliklere göre sınıflandırılması (Bkz. Tablo2.2) incelenmesi açısından daha kullanışlı olmuştur.

Tablo 2.2. En sık görülen korozyon türleri



Yukarıdaki tabloda bulunan korozyon türlerini tanımlayacak olursak;

Homojen (Uniform) Korozyon; korozyonun malzemenin tüm yüzeyinde ve eşit miktarda meydana geldiği korozyon çeşididir.

Bölgesel Korozyon; malzemenin bölgesel olarak hasara uğramasına sebep olur. Verdiği hasarın şekline göre veya kaynağına göre sınıflandırılmakta olup yaklaşık 20 türü vardır.

Galvanik korozyon; farklı potansiyellere sahip olan iki metal temas ederse aralarında bir galvanik pil yapısı oluşur. Aktif metal olan taraf anot, soy metal ise katot olarak görev yapar. Bu durumda aktif metalde galvanik korozyon ortaya çıkar. Oluşacak korozyonun hızı, devrenin toplam direncine ve anot ile katot bölgeleri arasındaki potansiyel farkına bağlı olarak değişir. Örneğin bakır ile çelik temas ederse, aktif metal olan çelik korozyona uğrar [7].

Galvanik korozyonun etkili olması için koşullar:

Koroziflik derecesinin yüksekliği: Metallerin bulunduğu ortamın koroziflik derecesi ne kadar yüksek ise galvanik korozyonun etkisi de o kadar şiddetli olur. Deniz ortamındaki galvanik etki (Bkz. Resim 2.1) daha hızlı bir korozyona neden olurken kuru atmosfer ortamında ise galvanik korozyon kolay gerçekleşmez [7].

Metallerin arasındaki mesafe: Mesafenin korozyona etkisi metaller arasında bulunan çözeltinin iletkenliği ile ilintilidir. Elektrolit direncinin fazla olması durumunda oluşacak korozyon, metallerin birbirine bağlandığı kısımda oyuk şeklinde kendini gösterir. Bu durumda çözeltinin iletkenliği yüksekse korozyon daha geniş bir bölgeye yayılacaktır [7].



Resim 2.1. Gemilerde oluşan galvanik korozyon (http-6)

Katot/anot yüzey oranının büyüklüğü: Yüzey alanı büyük olan bir katot ile yüzey alanı küçük olan bir anottan oluşan bir galvanik hücrede, anot kısa sürede korozyona uğrayarak yıpranır. Katot/Anot oranı arasındaki fark büyük ise bu fark anottaki akım yoğunluğunun büyümesine neden olur. Bundan dolayı küçük bölgeden fazla miktarda madde kaybı gerçekleşir. Çelik perçin kullanılarak bakır plakalar bir araya getirilirse, kısa süre içinde çelik perçinler parçalanır. Kaplama yapılmış malzemelerde ise kaplamanın küçük bir hasar görmesi durumunda bu etki kolayca görülür. Kaplamanın hasar gördüğü yerde malzeme zamanla delinmeye kadar gidebilir [7].

Galvanik etki sonucu oluşan korozyonu önlemek için yapılabilecek uygulamalar şunlardır [11]:

- Galvanik diziyi oluşturacak yapılarda birbirine yakın olan metaller seçilmelidir.
- Küçük anot–büyük katot etkisi olabilecek durumlardan mümkün olduğunca kaçınılmalıdır.
- İnhibitör eklenerek ortamın korozifliği azaltılabilir.
- Katotik koruma olarak tanımlanan her iki metale karsı anotik davranan üçüncü başka bir metal kullanılabilir.
- Anotik parçalar kolay değiştirilebilecek şekilde tasarlanmalı veya daha kalın malzemeden yapılmalıdır.

Bazı durumlarda yukarıda önerilen önlemlerin sadece bir tanesi yeterli olurken, bazı durumlarda ise birkaç tanesinin aynı anda uygulanması gerekebilmektedir.

Aralık korozyonu; metal yüzeyindeki yarık, çatlak ve aralıklar içinde conta, civata, perçin gibi altı örtülü yüzeylerde korozif ortamlarda meydana gelebilen korozyon türü olarak tanımlanır (Bkz. Resim 2.2). Aralık korozyonunun oluşabilmesi için ortamdaki boşluğun boyutu çözeltinin girebileceği kadar yeterli genişlikte ve çözeltinin çıkamayacağı kadar da dar olmalıdır. Aralık içinde bulunan çözelti durgun olduğu için ortamdaki oksijen kısa zamanda tükenir. Aralık içi ve dışındaki oksijen iyonu konsantrasyon farkı sonucunda korozyon oluşur. Aralık korozyonunun oluşumu santimetrenin binde biri genişliğindeki açıklıklarda ya da bundan daha küçük deliklerde meydana gelir. Metal yüzeyinde bulunabilecek çatlak, açıklık veya cep gibi yerlerde çözeltinin bir müddet bulunabileceği bölgelerde oksijen geçişi zorlaşır. Bu bölgeler anot olarak, çatlağın çevresindeki bölgeler de katot olarak görev yapar. Korozyon, en büyük

etkisini katot bölgesine yakın olan ağız bölgelerinde gösterir. Çatlağın milimetrenin binde biri kadar boyutlarda olması dahi bile korozyonun başlaması için yeterlidir [12].
Aralık korozyonunu azaltmak veya önlemek amacıyla uygulanabilecek önlemler [7]:

- Metalleri perçin ve cıvata ile birleştirmektense lehim yapılabilir.
- Depoların içindeki maddelerin tam olarak boşaltımını sağlayacak şekilde dizayn edilmesi gerekir.
- Ekipmanlar kontrol edilmeli ve çöken maddelerin ekipman içerisinde beklemesi önlenmelidir.
- Proses sırasında oluşan asılı tanecikler ortamdan imkan dahilinde uzaklaştırılmalıdır.
- Borularda sıvıların akışlarının hızının her bölgede aynı olmasına dikkat edilmelidir.



Resim 2.2. Aralık korozyonu (https-7)

Çukur (oyuklaşma) korozyonu; malzemelerin üzerinde bulunan çok dar bölgelerde derin oyuklar şeklinde meydana gelen korozyondur (Bkz. Resim 2.3). Çukurların derinliği, çapları büyüklüğüne yakındır. Oluşan çukurların giriş bölgelerinde korozyon ürünleri birikir. Metallerin yüzeyinde karıncalanma görünümü oluşturan bu korozyon türü tehlikeli bölgesel hasarlar meydana getirir. Çukur korozyonu ile meydana gelen malzeme kaybı diğer korozyon türlerine göre daha az miktardadır, ancak çukur korozyonuna uğrayan malzemeler kısa zamanda delinerek kullanılmaz hale gelirler. Çukurlar iki aşamada meydana gelir; çekirdeklenme ve ilerleme. Çekirdeklenme için pasif film hasara uğramalıdır. Çekirdeklenen çukurun zamanla ilerlemesi sonucu oyuğun tabanında artan asitlik nedeniyle oyuk içindeki metal çözünmesi artar. Oluşan bu korozyon türünde anot

ve katot bölgeleri kesin olarak birbirinden ayrılmıştır. Anot bölgesi metalin yüzeyinde açılan çukurun içindeki dar alan, katot bölgesi ise çukurun çevresinde bulunan geniş alan olarak tanımlanır. Bu çukur ortam koşullarına göre kısa zamanda derinleşerek metalin delinmesini sağlar. Çukur korozyonu anotik reaksiyon ile metal yüzeyinin herhangi bir noktasında ve hızlı bir şekilde oto katalitik reaksiyonlar oluşur. Bu korozyon türü genelde durgun çözeltiler içinde gerçekleşir. Tankların tabanlarında, boruların içlerinde akış hızının azaldığı bölgelerde çukur korozyonu gözlenir [7].
Çukur korozyonunu etkileyen durumlar şunlardır [7]:

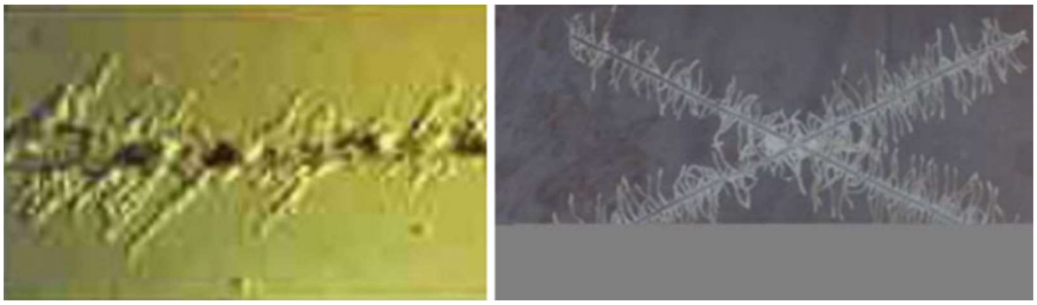
- Malzemenin metalürjik özelliklerinin farklı olması
- Çözelti içinde klorür iyonu bulunması
- Çözelti hızının azalması

Çukur korozyonunun oluşmasını önlemek amacıyla aralık korozyonunu önlemek için uygulanan yöntemler kullanılabilir. Çukur korozyonu meydana gelmiş malzemeler kullanılmamalıdır. Bu korozyon türünün meydana gelme ihtimali yüksek olan malzeme türleri tercih edilmemelidir [7].



Resim 2.3. Çukur korozyonu (http-8)

Kabuk altı (fili form) korozyon; kabuk altında oluşan ve metal yüzeyinde meydana gelmiş korozyon ürünleri sebebiyle veya başka bir sebeple oluşan korozyon türüdür (Bkz. Resim 2.4). Bu korozyon türü kabuk altında nemli bir alan olması veya kabuk altının yeterince oksijen alamadığı durumlarda gerçekleşir. Kabuk altında çatlak korozyonuna benzer bir ortam oluşur. Bunun nedeni sıvı hareketinin olmamasıdır. Kabuğun alt bölgesi anottur ve korozyona uğrar. Kabuk çevresi katot bölgesi olarak hasara uğramaz [7].



Resim 2.4. Fili form korozyon (http-9)

Seçimli korozyon; alaşım yapıdaki metallerin içinde bulunan elementlerden birinin korozyona uğraması durumunda meydana gelen korozyon türüdür. Alaşım içinde bulunan metallerden biri diğer metalden önce korozyona uğrayabilir. Örneğin %70 oranda bakır ve %30 oranda çinkonun birleşimi sonucu oluşan pirinç alaşımının içinde bulunan çinko elementi kolayca korozyona uğrar. Böylece pirinç alaşımı yüzeyinde bulunan çinko miktarı azalır ve sonuç olarak malzemenin sarı olan rengi, bakır kırmızısı olur (Bkz. Resim 2.5). Bu seçimli korozyon olayına "*çinko azalması*" denir. Alüminyum, demir, kobalt, krom gibi elementler seçimli olarak alaşımlardan uzaklaşır. Seçimli olarak gerçekleşen başka bir korozyon olayı da gri dökme demirde meydana gelen grafitizasyon da denilen olaydır. Gri dökme demirde yüzde 2 ila 4 oranında karbon elementi bulunur. Burada karbon olarak bulunan grafit katot görevinde demir ise anot görevindedir. Demir korozyona uğrayarak çözünür böylece grafit iskelet halinde ortamda kalır. Beyaz dökme demirde ise karbon elementi serbest halde bulunmamasından dolayı, grafitizasyon olayı gözlenmez [7].



Resim 2.5. Pirinç vanada meydana gelen seçimli korozyon (http-10)

Taneler arası korozyon; eritilmiş metalin katı hale gelmesi sırasında veya katı halde bulunan bir metalin eritilmesi sırasında metal kristallerinin sınır çizgileri boyunca bazı

bozuklukların oluşması sonucu ortaya çıkan korozyon türüdür. Korozif ortam metalde taneler arası korozyon oluşmasında etkendir. Paslanmaz çeliklere ısıl işlem uygulanması veya kaynak yapılması durumunda çelik içinde bulunan karbon ve krom tepkimeye girerek krom karbür bileşiğinin açığa çıkmasına neden olur. Oluşan krom karbür bileşiği taneler arasında bulunan sınırlarda birikerek malzemenin korozyona dayanıklılığını azaltır. Taneler arasında bulunan safsızlıklar korozyona neden olur. Alüminyum içindeki az miktarda bulunan demirin çok az çözünmesi ve taneler arasında birikmesinden dolayı korozyon meydana gelir. [7].

Erozyonlu korozyon; korozif ortam ile metal yüzey arasındaki bağıl hareket sebebiyle metalin aşınması sonucu meydana gelen korozyon olayıdır. Korozif özellikteki çözeltilerin metal yüzeyinden hızla akması durumunda yüzeyde erozyon olayı meydana gelir (Bkz. Resim 2.6). Oluşan korozyon ürünlerinin akışkan tarafından sürüklenerek götürülmesi nedeniyle meydana gelen erozyon olayı korozyonun hızını arttırıcı etki gösterir. Daha çok limanlar ve boru sistemlerinde karşılaşılan korozyon türüdür. Metallerin yüzeylerinde oluklar, delikler oluşur. Sulu ortamda bulunan hareket halindeki birçok yapıda erozyonlu korozyona rastlanır. Katı parçacıkların ortamda bulunması korozyon hızının daha da artmasına neden olur. Erozyonlu korozyona en duyarlı olan metal türü bakır ve bakır alaşımlarıdır. Kurşun, paslanmaz çelik, alüminyum gibi pasifleşme özelliği bulunan metaller erozyonlu korozyona daha çok duyarlıdır. Bunun nedeni metallerin yüzeylerinde erozyon etkisinde kalan bölgelerde pasifleşme tabakası oluşmaz ve korumasız kalan bu bölgelerde şiddetli korozyon meydana gelir [7].

Erozyonlu korozyonu önlemek amacıyla yapılabilecek işlemler [7]:

- Erozyon korozyonuna karşı daha dayanıklı malzemelerin seçilmesi,
- Malzemelerin tasarımının iyi yapılması,
- Korozif ortamın değiştirilmesi,
- Malzemelerin kaplanması,
- Katotik koruma uygulaması yapılabilir.

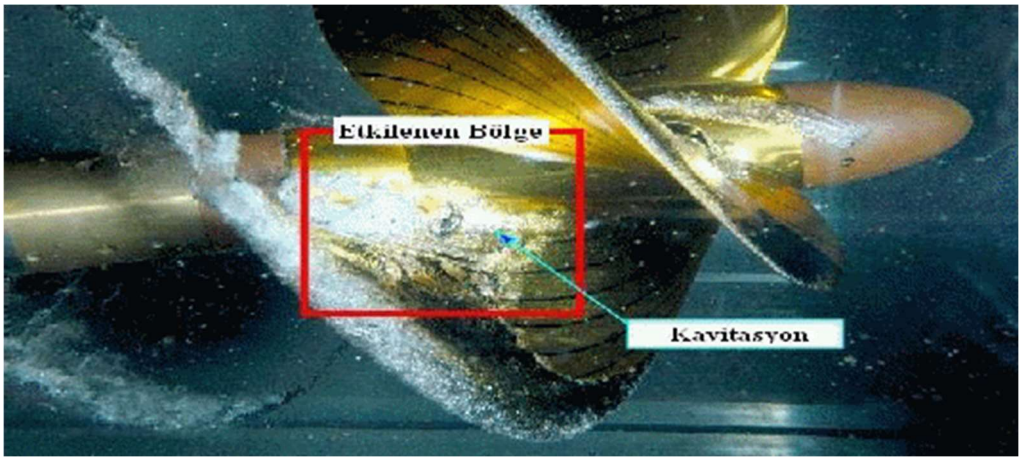


Resim 2.6. Erozyonlu korozyon (http-10)

Kavitasyon (oyuk hasarları); Çözeltilerin hızlı bir şekilde akarken metal yüzeyine yakın kısımlarda alçak basınç kabarcıkları oluşur. Bu kabarcıkların büyümesi ve patlaması sonucu oyuk hasarı da denilen kavitasyon (Bkz. Resim 2.7) meydana gelir. Basınçla oluşan şok dalgaları metalin yüzeyine çarpar, metal yüzeyine hasar verirken, açığa çıkan metal çözünür. Metal yüzeyi sık oyuklu ve petek görünümlüdür. Bu tip korozyona daha çok gemi pervanelerinde (Bkz. Resim 2.8) ve hidrolik türbinlerde rastlanır. Kavitasyonun, erozyonlu korozyonun özel bir türü olması nedeniyle, oluşumunu ve ilerlemesini durdurmak için erozyonlu korozyonu önlemek amacıyla yapılan işlemler uygulanabilir [7].

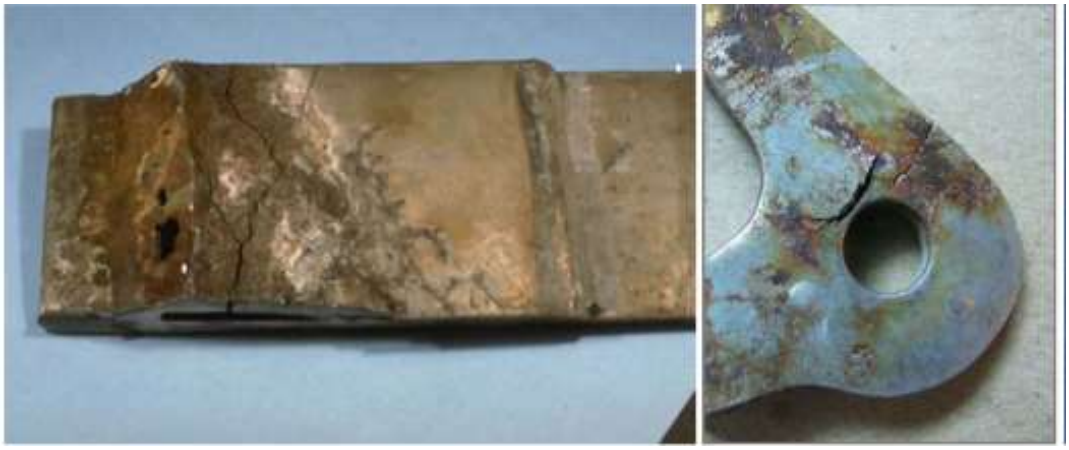


Resim 2.7. Kavitasyonla aşınan östenitik-ferritik paslanmaz (sol) ve pik döküm (sağ) çark (http-11)



Resim 2.8. Gemi pervanesinde kavitasyon (http-12)

Gerilmeli korozyon çatlaması (stres korozyon); Metallerin yüzeyindeki çukur veya çatlak, korozif bir ortamda gerilim altında bulunuyorsa duyarlı hale gelir ve korozyon başlar. Gerilim altında bulunan metal yüzeyinde koruyucu bir kabuk oluşamaz ve bu durum korozyonun daha hızlı bir şekilde ilerleyerek, metalin o kısmında çatlak oluşmasına neden olur (Bkz. Resim 2.9). En çok bilinen gerilmeli korozyon çatlaması, buhar kazanlarında meydana gelen kostik kırılganlığıdır. Buna neden olan besleme sularının korozif etkinliğini azaltmak için suyun alkali özellikte olması tercih edilir. Gerilmeli korozyon çatlamasına alaşımlar saf metallere göre daha yatkındır [7].



Resim 2.9. Stres korozyon (http-13)

Gerilmeli korozyon çatlaması ile mücadele için [7]:

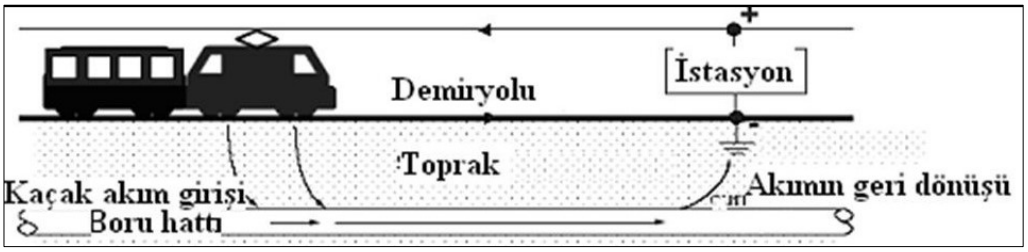
- Bu korozyon türüne dayanıklı olan metaller kullanılmalı,
- Korozif ortam önlenmelidir.

Yorulmalı korozyon; sürekli veya değişken gerilmeler ve korozyon olayının birleşmesi sonucu metalin hızlı bir şekilde çatlaması veya kırılması şeklinde görülen olaydır. Gerilme nedeni ile oluşan çatlama veya kırılmalar çok küçük kırıklarla başlayarak taneler boyunca artar.

Yorulmalı korozyonu önlemek için [7]:

- Korozyona daha dayanıklı metaller kullanılabilir,
- İnhibitörler kullanılabilir,
- Katotik koruma uygulanabilir,
- Tasarımlar yorulmalı korozyon göz önünde bulundurularak yapılabilir.

Kaçak akım korozyonu; raylı taşıtların (tren, tramvay, metro vb) yeraltı hatlarında, hattın her noktasında toprağa doğru bir akım oluşur, bu durumda metal çok şiddetli ve hızla korozyona uğrar. Raylı taşıt üzerinden yayılan kaçak akım, negatif kutbun raya bağlandığı noktadan tekrar raya döner ve bu durum korozyon riskini arttırır (Bkz. Şekil 2.5). Yeraltında veya sualtında bulunan yapılarda sıkça rastlanan bir korozyon türüdür. Doğru akım kaynağından kaçan akımlar yeraltı veya sualtı yapılarında bulunan metalik yapılara ilerleyerek korozyona uğramalarına neden olurlar. Kaçak akımların yapıya girmesinin engellenmesi ancak kaçak akım etkisinin olduğu bölgelere direnç konularak sağlanabilir. Böylelikle kaçak akım nedeniyle meydana gelebilecek korozyonlar önlenebilir [7].



Şekil 2.5. Kaçak akım korozyonu (http-14)

Mikrobiyolojik korozyon; mikroorganizmaların gelişmesi sırasında ortaya çıkan asitler ve sülfürlerin korozyon hızını arttırmasıyla meydana gelen korozyon türüdür (Bkz. Resim 2.10). Bazı bakteriler sülfür bileşiklerini element halindeki kükürte veya sülfata kadar oksitleyebildiği gibi bazıları da bu reaksiyonların tersini gerçekleştirebilir. Aerobik bakteri olan *thiobacillus thio oxidans*, sülfür bileşiklerini ve element halinde bulunan

kükürdü sülfata oksitleyebilir. Bu reaksiyonun sonucunda sülfürik asit açığa çıkar [7];

$2S + 3O_2 + 2H_2O \rightarrow 2H_2SO_4$

Desulfovibrio anaerobik bakterisi ise hidrojen kullanarak sülfat iyonlarını sülfür iyonlarına indirger. Bunlar da H_2S haline dönüşür ve korozyonu daha da hızlandırırlar [8].

$SO_4^{-2} + 4H_2 \rightarrow S^{-2} + 4H_2O$

Korozyonun meydana gelmediği bölgelerde mikrobiyojik korozyona rastlanmaz. Mikrobiyolojik korozyonu azaltmak veya önlemek için [7]:

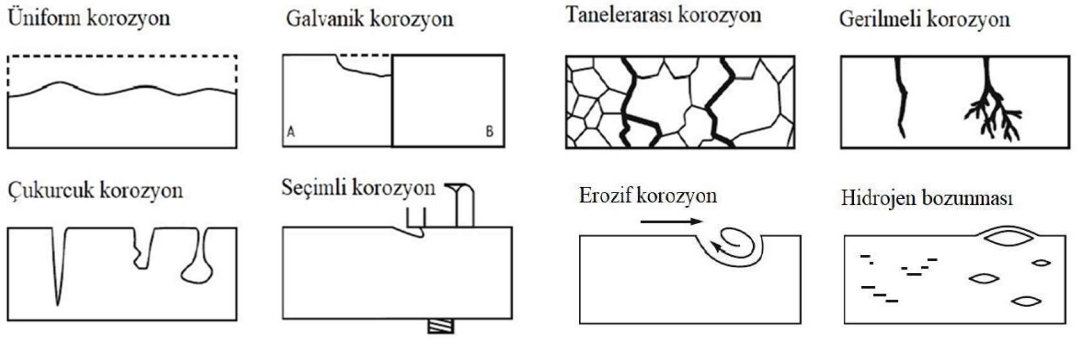
- pH derecesini değiştirilebilir,
- Periyodik olarak dezenfeksiyon işlemi yapılabilir,
- Organometalik metal bileşikleri kullanılabilse de mikro canlılar bu tür zehirleyicilere karşı kısa zamanda adapte olup, dayanıklı hale gelebilir.



Resim 2.10. Çelik boruda bakteri kolonilerinin oluşumu ve korozyonun başlangıcı (http-15)

Oksijen derişim pili korozyonu; ortamdaki oksijen derişimi de potansiyel farkına neden olur. Oksijen derişiminin farklılık gösterdiği ara yüzey bölgesinde görülür. Oksijen indirgemesi gerçekleşirken, metal elektronlarını vererek yükseltgenir. Böylece korozyon kaçınılmaz olur. Metal yüzeyinin farklı havalandırılmış yerleri arasında oksijen konsantrasyon pili oluşur. Derişimin artı kutbu daha çok oksijen içerir, eksi kutbunda katyon oluşur ve burada korozyon meydana gelir. Geminin suya batan kısmının alt yörelerinde, su yüzeyine yakın yörelerine oranla korozyon daha çok olur. Aynı şekilde su borularında suyun aktığı iç yüzeye oranla iç yüzeydeki yarık ve çatlaklar içinde korozyon daha çok meydana gelir.

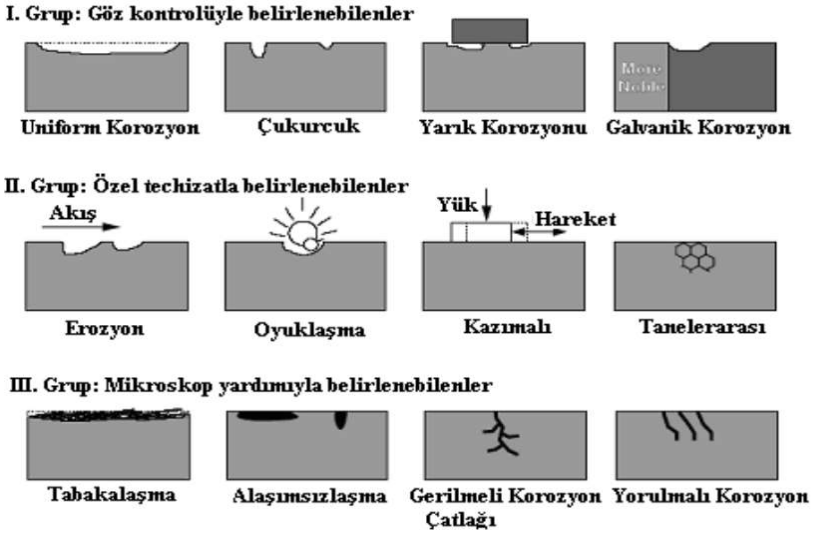
Korozyon türleri basitçe incelendiğinde Şekil 2.6'daki gibi oluşumlar oldukları anlaşılmaktadır.



Şekil 2.6. Çeşitli korozyonların görsel çizimleri (http-16)

Korozyonlar belirlenebilirlik durumlarına göre üç grupta (Bkz. Şekil 2.7) sınıflandırılabilirler:

1. Göz kontrolüyle belirlenebilenler; uniform korozyon, çukurcuk korozyonu, galvanik korozyon, vb.
2. Özel teçhizatla belirlenebilenler; erozyonlu korozyon, oyuklaşma korozyonu, taneler arası korozyon, vb.
3. Mikroskop yardımıyla belirlenebilenler; gerilmeli korozyon çatlağı, yorulmalı korozyon, vb.



Şekil 2.7. Belirlenebilirlik durumlarına göre korozyon (http-16)

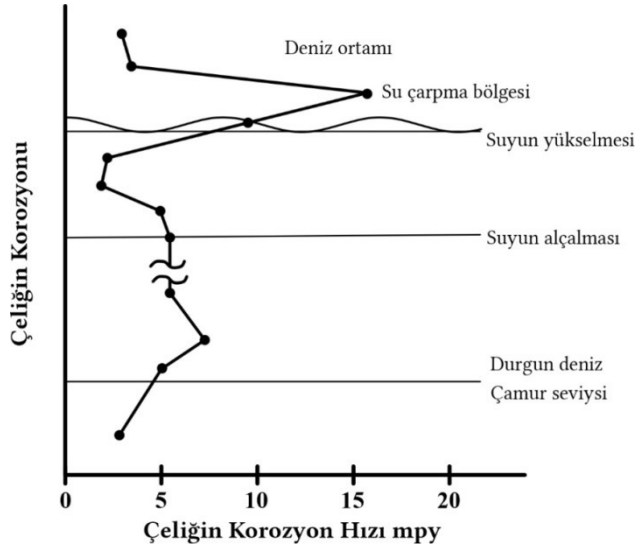
2.6. Deniz Suyunda Korozyon

Deniz suyunun elektrolit özellik göstermesinin nedeni birçok tuz türünü oldukça yüksek derişimde bünyesinde bulundurmasıdır. Deniz suyunun başlıca bileşenleri klorür, sülfat, bikarbonat, bromür, florür, borik asit, sodyum, magnezyum, kalsiyum, potasyum, stronsiyum, vb. yapılardır [6].

Okyanuslarda deniz suyu tuzluluğu birbirine göre çok değişmez. Buralarda tuzluluk binde 33 ile binde 37 değerleri arasındadır. Binde 19,4 klorluluğa eşdeğer olan binde 35 tuzluluk, açık deniz suyu için ortalama değer olarak kabul edilir. Ancak yerel koşullar bu değerleri çok değiştirir. Kuzey ve güney kutup denizlerinde ve büyük nehirlerin denize kavuştuğu yerlerde tuzluluk oranları ortalamadan önemli derecede düşüktür ve mevsimlere göre de büyük ölçüde değişiklik gösterebilir [6].

Doğal deniz suyunun pH'ı 8,1 ile 8,3 arasında değişmektedir. Ancak durgun olan bölgelerde bakterilerin kükürtlü hidrojen oluşturması sonucu pH değeri 7'ye kadar düşebilir [6].

Deniz ortamındaki metallerin çoğunun açık devre potansiyelleri oksijen miktarına, suyun hızına ve sıcaklığına, denizde bulunan metallerin yapılarına, özelliklerine ve yüzey koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Şekil 2.8'de çeliğin deniz suyu içindeki karakteristik korozyon hızları verilmiştir. Çelikte oluşacak en büyük aşınma deniz suyunun çeliğe çarpma bölgesinde gerçekleşir. Çünkü bu bölgelerde belirli aralıklarla gerçekleşen ıslanma, kuruma ve havalanma söz konusudur [6].



Şekil 2.8. Normal çeliğin deniz suyunda korozyonu

Derinliğin korozyon hızına olan etkisi konusunda literatürde çok az araştırma bulunmaktadır. Yapılan bir çalışmada değişik zamanlarda, Pasifik okyanusunun çeşitli bölgelerine yerleştirilen metallerin korozyona uğrama hızları ölçülmüştür. Çalışmanın sonucunda okyanus yüzeyindeki oksijen derişiminin daha az ve sıcaklığının yüzey bölgesine göre daha düşük olmasına rağmen derinliğin artmasıyla demir içermeyen metallerde korozyon hızının da arttığı görülmüştür [6].

Deniz suyu ve kent suyu içinde midye ve alg gibi binlerce çeşit canlı yaşamaktadır. Bu canlılar bir yüzeye tutunarak büyürlerken, aralık korozyonuna neden olurlar. Bu sırada tutundukları yapıları bozar ve kirletirler. Aynı durum gemilerin alt yüzeylerinde bu yapıların toplanmasıyla söz konusu olmaktadır [6].

Deniz suyundaki mikroorganizmaların birikimi çevresel koşulların bir fonksiyonu sonucu ortaya çıkar. Sığ ve durgun sularda bu sorun daha fazla görülmektedir. Bundan dolayı liman koşullarında gemilerdeki birikim daha fazla olmaktadır [6].

2.7. Korozyonun Önlemesi için Uygulanabilecek Yöntemler

Metallerin az veya çok etkilendiği korozyon olayı tamamen önlenemese de bazı yöntemler uygulanarak korozyon hızı yavaşlatılabilir. Uygulanacak yöntemlerin etkin olmasının yanı sıra maliyetlerinin de düşük olması beklenir. Korozyonun iyi tanınması ve kontrol altına alınabilecek parametrelerin bilinmesi korozyonu önlemede atılacak ilk adımdır. Koruma için uygulanacak teknik veya teknikler belirlenirken, korozyonun doğası, ortam koşulları ve sistemin özelliklerinin göz önünde bulundurulması önemlidir. Ortam şartlarının değiştirilmesi, metalin korozif ortamla temasının önlenmesi, metalin kendisinden daha aktif başka bir metal ile galvanik olarak eşleme veya metalin daha soy hale getirilmesi gibi tekniklerden biri ya da bir kaçının uygulanması korozyon ile mücadele yöntemlerinden bazılarını oluşturmaktadır.

2.7.1. Katotik Yöntem

İletken ortamlarda elektrokimyasal hücre, katotu oluşturan gövde metal ile anotu oluşturan bu metalin yüzeyidir. Tepkimenin gerçekleştiği alanlar bu bölgelerdir. Tepkimelerin önüne geçmek için korozyona uğrayan metal ile başka bir metal kullanılarak galvanik bir çift oluşturulur. Katot korozyona uğrayan metaldir. Anot olarak ise:

a) Katot görevindeki metale göre daha aktif olan metal veya alaşım seçilir. Galvanik yöntem olarak tanımlanan bu yöntemde korozyon sonucu kurban edilen (gözden çıkarılan) metal yok olurken, esas metalin korunması sağlanmış olur.
b) Katot görevindeki metale göre daha dayanıklı bir metal seçilir ve dışarıdan akım uygulanır. Bu durumda akım korunacak metalden çözeltiye doğru geçer.

Katotik korumanın gerçekleştirilebilmesi için katotik koruma uygulanacak malzeme su veya toprak içinde gömülü olmalıdır. Gemi gövdelerinde ve yer altında bulunan borularda kurban anot kullanılır. Köprü ayaklarında ve yere gömülü halde bulunan petrol tanklarında kurban anot uygulaması yetersiz kaldığı durumlarda dıştan akım uygulanması gerekir [13].

2.7.2. Anotik Koruma

Pasifleşebilen metallere uygulanabilen bir yöntemdir. Metalin pasif kaldığı potansiyele ulaşmak için anotik potansiyellerde polarizasyon gerçekleştirilir. Katotik korumada olduğu gibi galvanik veya elektrolitik anotik yöntemler uygulanabilir. Metal içine Pt, Pb, Ag, gibi soy metaller eklenerek veya metalin yüzeyi Ti, Ta, Zn gibi metallerle kaplanarak galvanik anotik koruma sağlanabilir. Dışarıdan akım veya potansiyel uygulanarak elektrolitik anotik koruma yapılabilir. Bu durumda korunması gereken metal anot olur, katot görevi görecek yardımcı bir metalle pasiflik potansiyeline polarize edilir ve bu potansiyelde kalması sağlanır [13].

2.7.3. Kaplama Yoluyla Koruma

Bu yöntemde metalin yüzeyi organik veya metalik malzeme kaplanarak korozif ortamla bağlantısı kesilir. Kaplama yöntemiyle koruma yapılarken aşağıdaki konular dikkate alınmalıdır:

a) Organik boya seçimi korozif ortama uygun olmalıdır. Yüzey tamamıyla uygun şekilde kapatılmalıdır. Yoksa boyanmadan kalmış bölgelerden dolayı çukur korozyonu oluşarak, işlem uygulanmadan önceki duruma

göre daha kötü bir durum ortaya çıkabilir.

b) Metalik boyalarda ortama uygunluk olmasının yanında boya içindeki metalin korunması istenen metale göre potansiyeli de önemli bir konudur. Kaplama esnasında yüzeyde çok küçük bir açıklık kalması durumunda, büyük katot etkisi yapar ve metal hızla delinir.
c) Daha soy ve dayanıklı bir metalle ince bir tabaka halinde korozyona uğrayacak metal yüzeyi kaplanabilir. Kaplamanın korozyona karşı dayanıklı olması ve ekonomik olmasından dolayı bu yöntem daha çok tercih edilir [13].

2.7.4. İnhibitörle Koruma

Az veya çok miktarda ortama eklenerek korozyonu yavaşlatan veya durduran maddelere *inhibitör* denir. İnhibitörler malzeme yüzeyinde adsorplanabilen, kompleks oluşturabilen veya polimerleşme tepkimesi meydana getiren maddelerdir. Bu yöntemdeki amaç metal yüzeyini kapatarak metal/ortam ara yüzeyinin direncini arttırmaktır [13].

2.8. Gemilerin Yapısı

Gemicilikte kullanılan temel tanımlar EK-1'de verilmiştir.

2.9. Gemilerde Korozyon

Deniz ve çevresinde bulunan yapılar hareketli, hareketsiz, kıyı ile bağlantılı veya kıyıdan uzak olabilmektedir. Deniz suyunun korozif özellik göstermesinden dolayı deniz suyuna temas eden metaller hızlıca korozyona uğrar. Bu nedenle deniz suyu ile temas eden metal yapılara katotik koruma yapılmalıdır. Eğer bu yapılara katotik koruma yapılmazsa sonraki yıllarda ekonomik boyutu çok daha fazla olacak korozyon kayıpları meydana gelecektir [14].

2010 yılında ABD Donanmasının, donanma korozyon önleme ve kontrol departmanı tarafından hazırlanan raporda toplam korozyon kaynaklı kayıplar 7,36 milyar $ olarak açıklanmıştır. Tespit edilen bu miktar içerisinde ilk sırada 3,2 milyar $ (%43) ile Gemi Donanması bulunmaktadır. Bu ekonomik değerlere bakıldığında gemi endüstrisinde korozyonun maliyeti oldukça yüksektir [15].

Korozyon maddi kayıpların yanında çevreyi kirleten ve insan hayatını tehlikeye sokan etkileri ile de ciddi zararlara neden olur.

Deniz ortamında bulunan yapılarda homojen dağılımlı korozyon, aralık korozyonu, çukurcuk korozyonu, gerilmeli korozyon, korozyonlu yorulma, erozyonlu korozyon, taneler arası korozyon, hidrojen gevrekleşmesi, seçici korozyon, mikrobiyolojik korozyon gibi korozyonun birçok türü ile karşılaşılır. Bunların yanı sıra paslanmaz çelik bağlantı elemanlarının meydana getirdiği galvanik korozyon ve yüksek akış hızında akışkanlarla çalışan pervane, pompa gibi ekipmanlarda görülen kavitasyon korozyonu da meydana gelmektedir [16].

Gemilerde korozyon oluşumuyla meydana gelecek olan hasarlar; gemilerin inşasından önce, inşa sürecinde ve işletmeciliği döneminde alınacak önlemlerle azaltılmaya çalışılmalıdır. Gemilerin kıç tarafında, pervanenin hareketi ve yoğun su akışı sebebiyle korozyon hızı yüksektir. Bu bölgede korozyonu önlemek için katodik koruma uygulanmalıdır. Gemi suya inmeden önce geminin kıç bölgesine anotlar yerleştirilerek katotik koruma yapılmalıdır. Elektrokimyasal korozyon nedeniyle bu anotlar aşınır ancak geminin su altındaki gövdesi korozyona uğramaz. Katotik koruma uygulaması için seçilecek metal, geminin bakıma gireceği süreler göz önünde bulundurulmalıdır.

Gemi gövdelerinde meydana gelen korozyona karşı galvanik anotlu ve dış akım kaynaklı katotik koruma sistemleri (ICCP) kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin maliyetleri de göz önüne alınarak uygulanır [17]. Galvanik anotlu sistemlerde akım maliyeti yüksek olması nedeniyle akım ihtiyacı yüksek olan hatlarda kullanılmamaktadırlar. 0,5–1 mA'den az akım ihtiyacı olan hatlarda galvanik anotlu katotik koruma sistemi daha uygun maliyettedir. ICCP sistemlerinde elektrik akımı şebekeden sağlandığı için kullanımı daha ekonomiktir [18]. Küçük tonajlı gemiler için galvanik anotlu katodik koruma sistemi, büyük tonajlı gemiler için üst düzeyde dikkat ve teknik bilgi gerektiren ICCP sistemi kullanılabilir. Gemilerin iç bölümleri galvanik anotlarla korunabilir [16,17].

Korozyona karşı katotik koruma gemicilik de dahil olmak üzere birçok endüstride uygulanmaktadır. Korozyondan kaynaklanan kayıpları en aza indirgemek için yapılması gerekenler arasında; korozyon araştırma geliştirme merkezleri kurmalı ve bu merkezlerde korozyonun tüm detayları ile incelenmesi için çalışmalar yapılmalıdır. Korozyon konusunda, bilgi ve eğitim eksikliğinin giderilmesi ve aynı zamanda üniversite, endüstri ve yatırımcı kuruluşlarının yer aldığı ortak bir çalışma ortamının oluşturulması büyük maliyetlere yol açan korozyonu önleme çalışmalarına çok fayda sağlayacaktır [19].

3. GEMİLERDE KOROZYONUN İNCELENMESİ

Uluslararası Klas Kuruluşları Birliği (International Association of Classification Societies (IACS)) on iki üye deniz sınıflandırma topluluğundan oluşan teknik tabanlı bir sivil toplum kuruluşudur. Dünyadaki yük taşıyan gemilerin tonajının %90'ından fazlası IACS üye toplulukları tarafından belirlenen sınıflandırma standartları kapsamındadır. Deniz sınıflandırması, öncelikle gemilerin, açık deniz birimlerinin ve diğer deniz ile ilgili tesislerin tasarımı, inşası ve yaşam döngüsü bakımı için teknik ve mühendislik standartlarına uygunluğun oluşturulması ve doğrulanması yoluyla can, mal ve çevre güvenliğini teşvik etmek için kurulmuş bir sistemdir. IACS'nin en son 2017 yılında güncellediği Green Book'ta bu standartlar tanımlanmıştır.

Bu çalışmada, Tuvali bandıralı, 1991 yılı yapımı, Akdeniz-Karadeniz seyir bölgesinde çalışan bir general kargo gemisine ait bazı bölümlerde korozyonun nasıl ilerlediği, sertifikalı bir mühendislik firması tarafından, üçer yıl arayla ultrasonik yöntemler kullanılarak yapılan ölçüm sonuçları incelenerek, analiz edilmiştir.

Ölçümleri yapan Tim Gemi Mühendislik'in "Gemilerde Kalınlık Ölçümleri" konusunda TÜRK LOYDU tarafından kuruluş onaylı sertifikası bulunmaktadır.

Ölçümleri yapan personellere ait akreditasyon sertifikaları da raporlarda bulunmaktadır.

Ölçüm tarihleri:

1. ölçüm:10.11.2015-20.11.2015
2. ölçüm: 17.01.2018-22.01.2018
3. ölçüm: 16.01.2021-20.02.2021

olmak üzere belirtilen tarihler aralığında ölçümler yapılmış, sonuçlar raporlanmıştır.

3.1. Ölçümlerde Kullanılan Cihazlar ve Kalibrasyonları

Ölçümler Ultrasonik Kalınlık Ölçer cihazı ile yapılmıştır. Ölçüm aralığı 0,6-508 mm, çözünürlük 0,01 mm'dir.

3.2. Ölçüm Sonuçlarının İncelenmesi

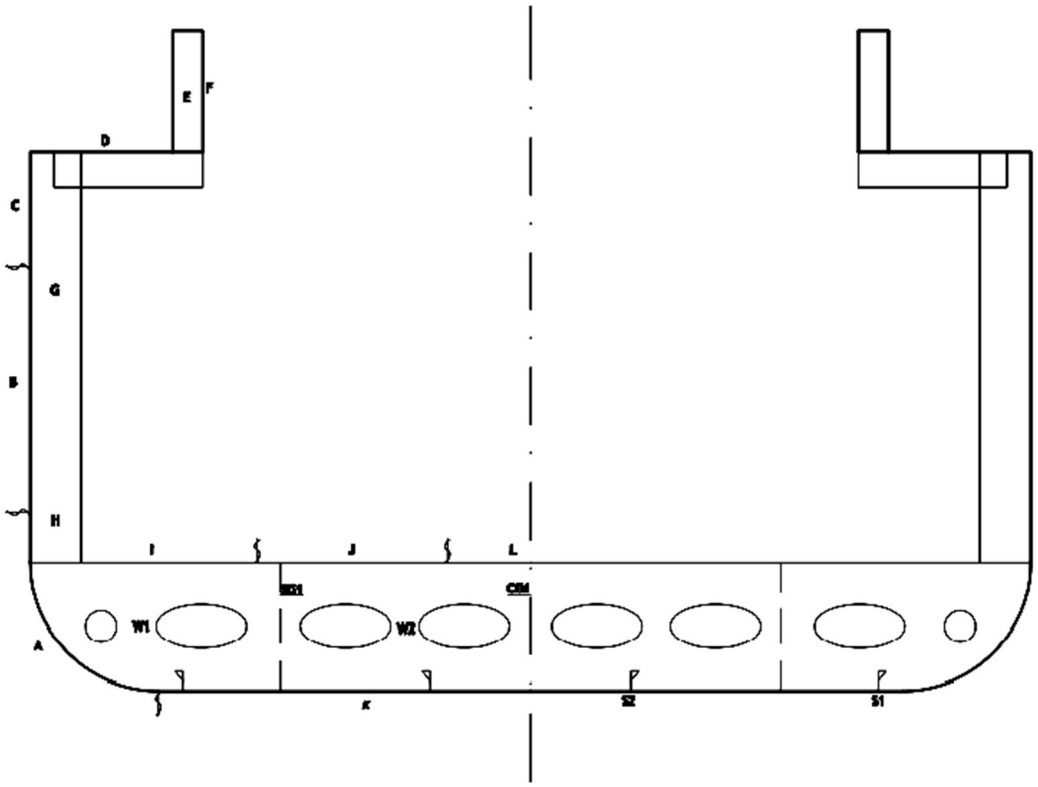
Ölçümler aynı gemide üçer yıl arayla gerçekleştirilmiştir. 2015 yılında 16 bölümde, 2018 yılında 14 bölümde, 2021 yılında 16 bölümde ölçüm yapılmıştır (Bkz. Tablo 3.1).

İskele geminin sol tarafını, sancak sağ tarafını ifade etmektedir. Şekillerde geminin bölümleri harfli ve numaralı olarak kısımlara bölünmüş, limitlerin üzerinde korozyona uğrayan alanlar taralı çizgilerle işaretlenmiştir.

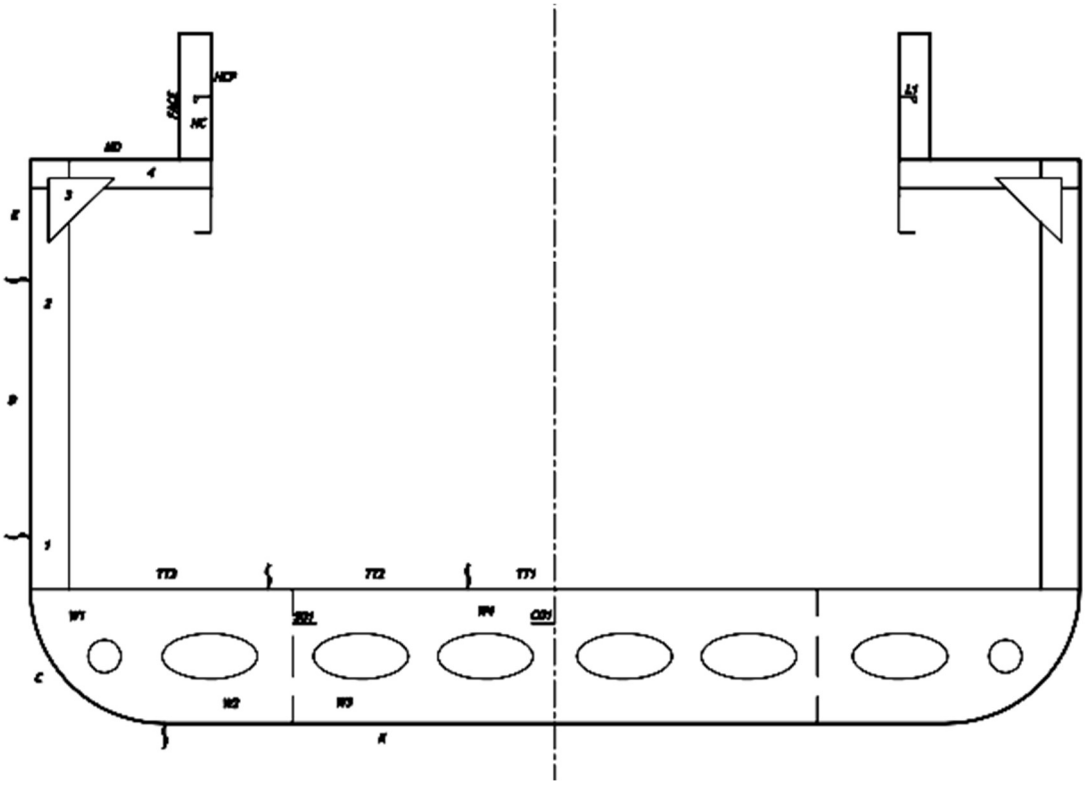
Tablo 3.1. Geminin ultrasonik ölçüm noktaları

ÖLÇÜM NOKTALARI	2015	2018	2021
Enine Kesit	X	X	X
Dış Gövde	X	X	X
Ana Güverte	X	X	X
Üst Güverte (Yaşam alanı)	X	X	X
Ambar Tabanı	X	X	X
Ara Perde	X	X	X
Postalar	X	X	X
Baş Pik Tank	X	X	X
Kıç Pik Tank	X	X	X
Dip Tank	X		X
Balast Tankı	X		
Çift Dip Tank	X	X	X
Ambar Mavernası	X	X	X
Ambar Kapakları	X	X	X
Dış Kaplama Tahliye	X	X	
Kinistin Sandığı	X	X	X

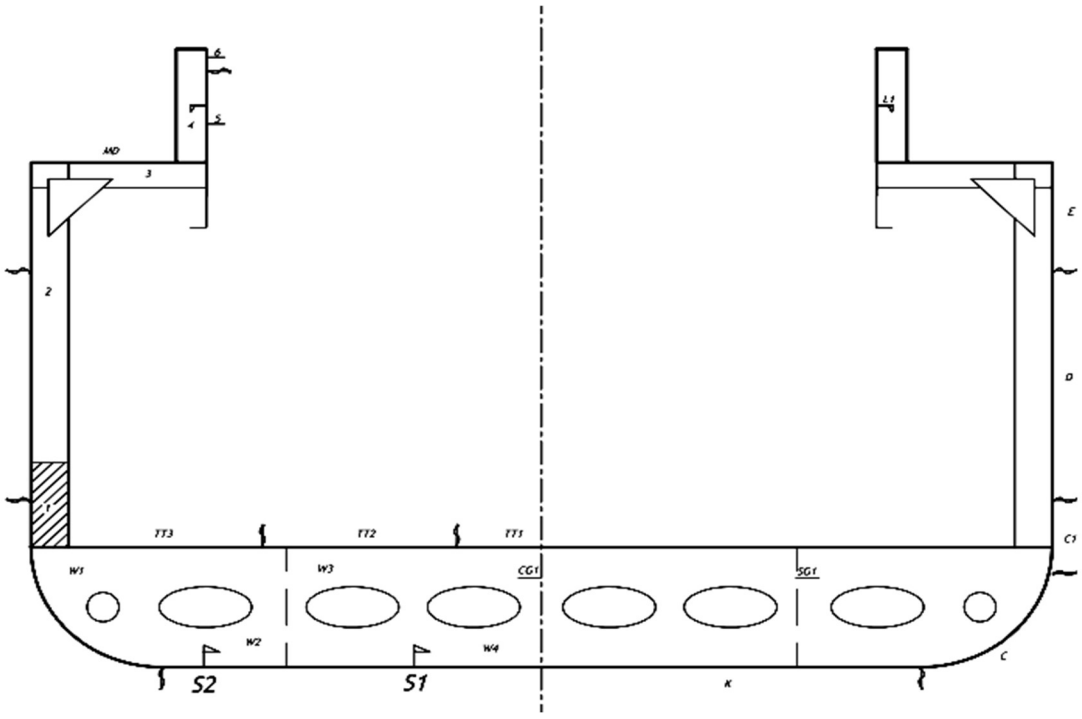
Enine kesit: Geminin enine kesiti ortadan ikiye bölündüğünde görünen kısımlardır. İncelenmesindeki neden gemilerdeki yükün kayma durumu, balastın uygun olup olmadığının tespit edilmesidir. Geminin enine kesitinin 2015, 2018 ve 2021 yıllarında görünümleri (Bkz. Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3):



Şekil 3.1. Enine kesit görünümü (2015)



Şekil 3.2. Enine kesit görünümü (2018)



Şekil 3.3. Enine kesit görünümü (2021)

Enine kesit görüntülerinden geminin üst tarafının tek cidarlı, alt tarafının çift cidarlı olduğu anlaşılmaktadır. Korozyona uğramış ve işlemlerin yapıldığı görünümler Resim 3.1, Resim 3.2 ve Resim 3.3 fotoğraflardan görülmektedir.



Resim 3.1. Geminin dış kabuk sacında meydana gelen korozyonun görüntüleri

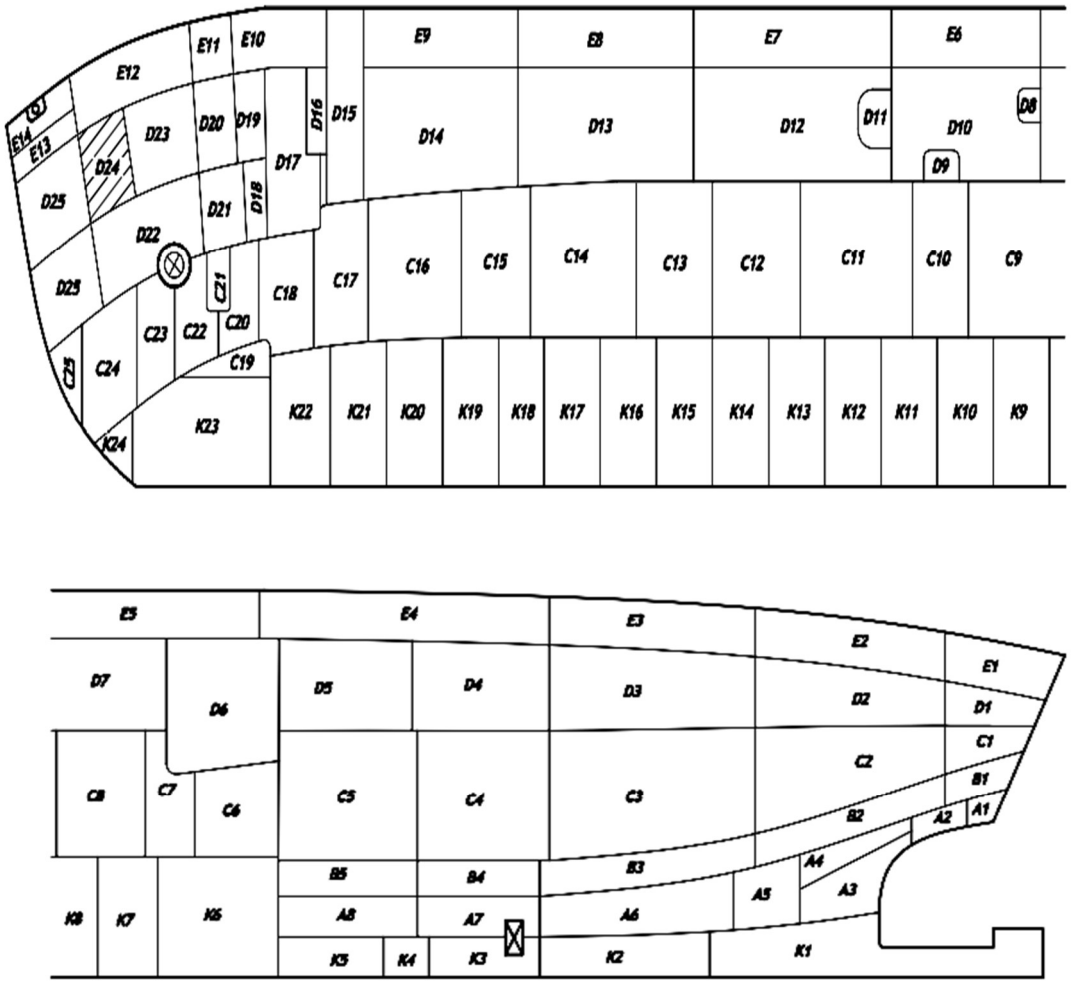


Resim 3.2. Korozyona uğrayan kısımlarda yenileme işlemleri öncesi işaretleme

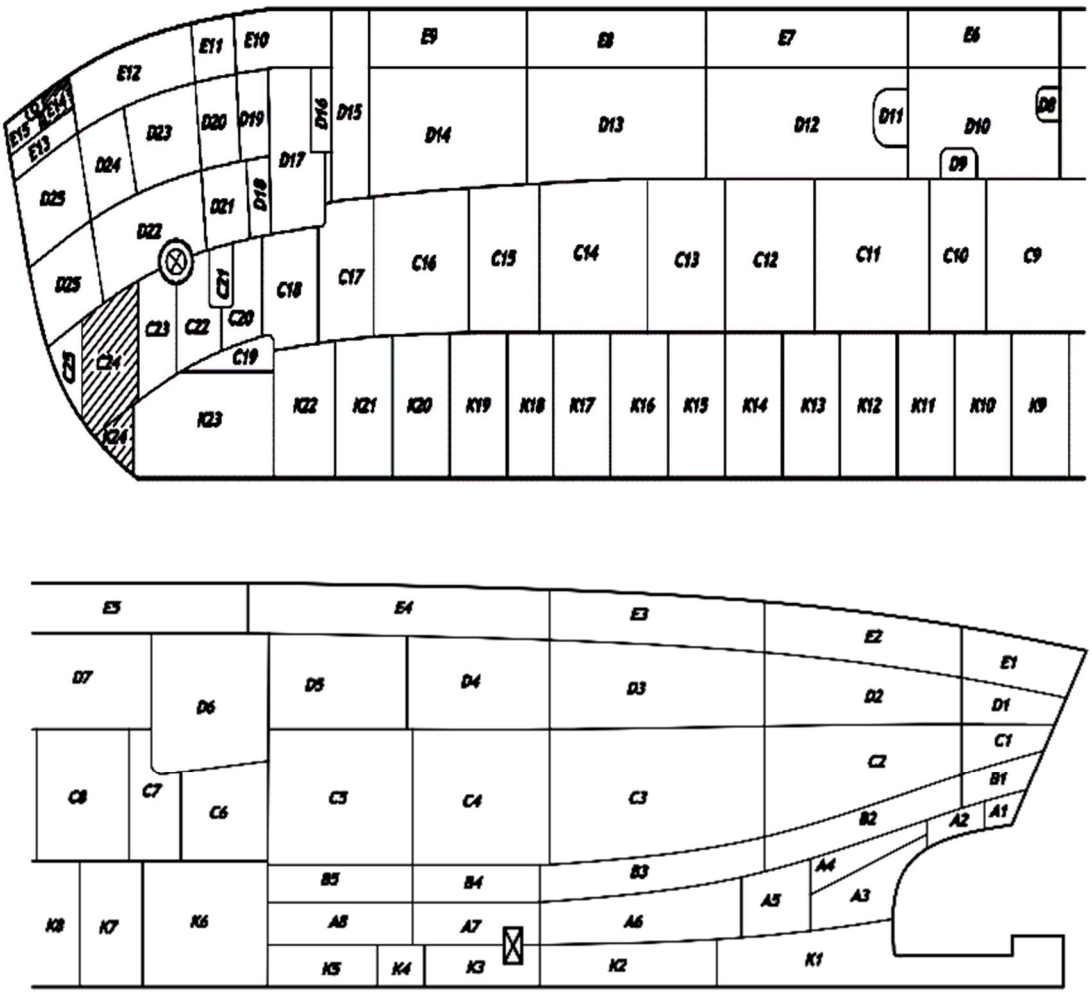


Resim 3.3. Korozyona uğrayan parçaların yenilenmesi

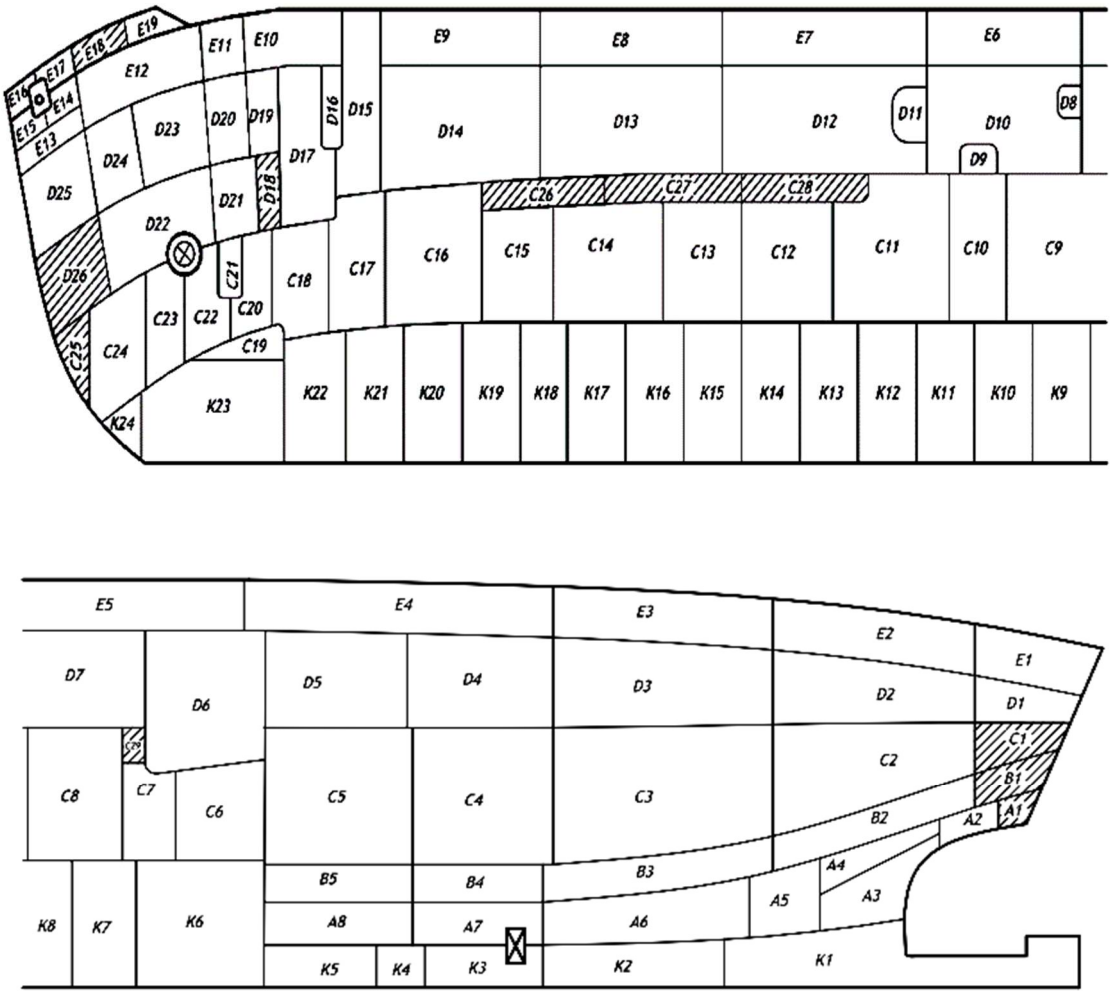
İskele dış gövde: Geminin iskele dış gövdesi geminin sol yanını ifade etmektedir. Şekillerde geminin iskele dış gövdesinin 2015, 2018 ve 2021 yıllarında yapılan ölçümlerine ait teknik çizimleri (Bkz. Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6):



Şekil 3.4. İskele dış gövde görünümü (2015)

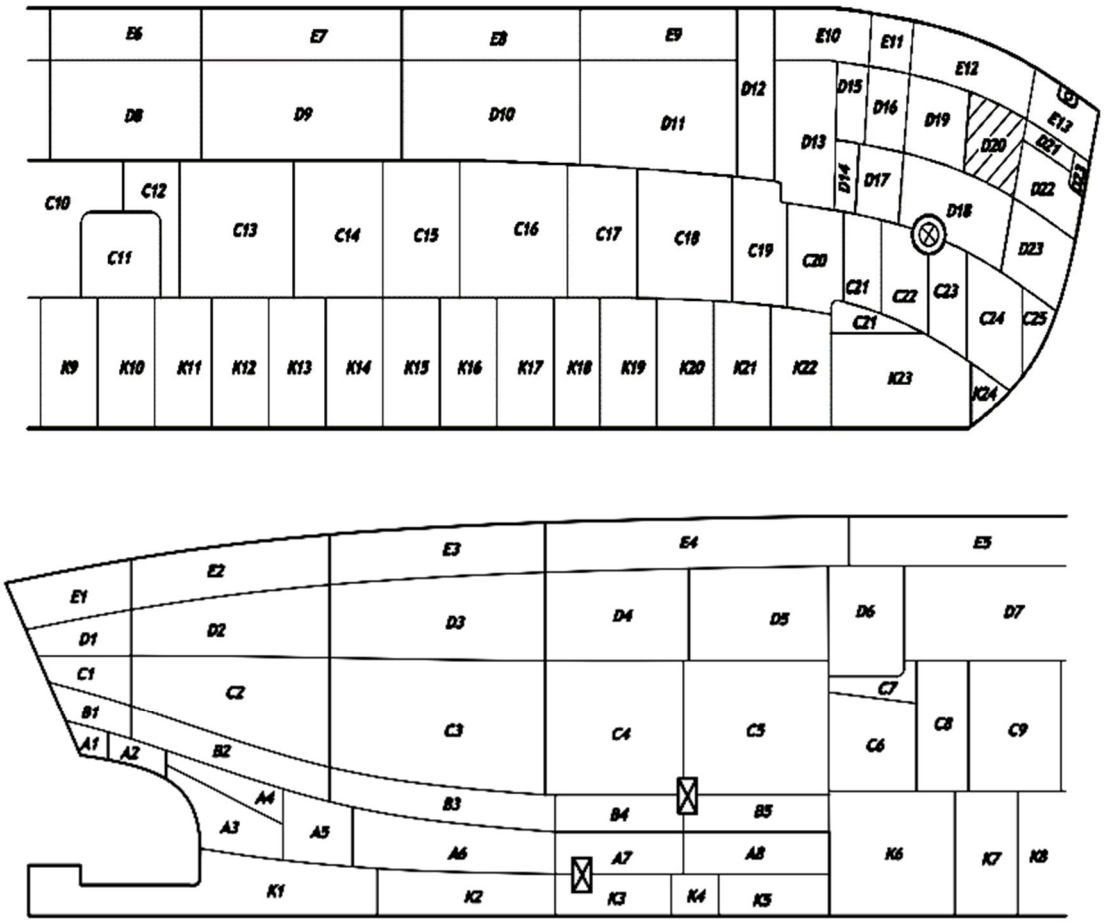


Şekil 3.5. İskele dış gövde görünümü (2018)

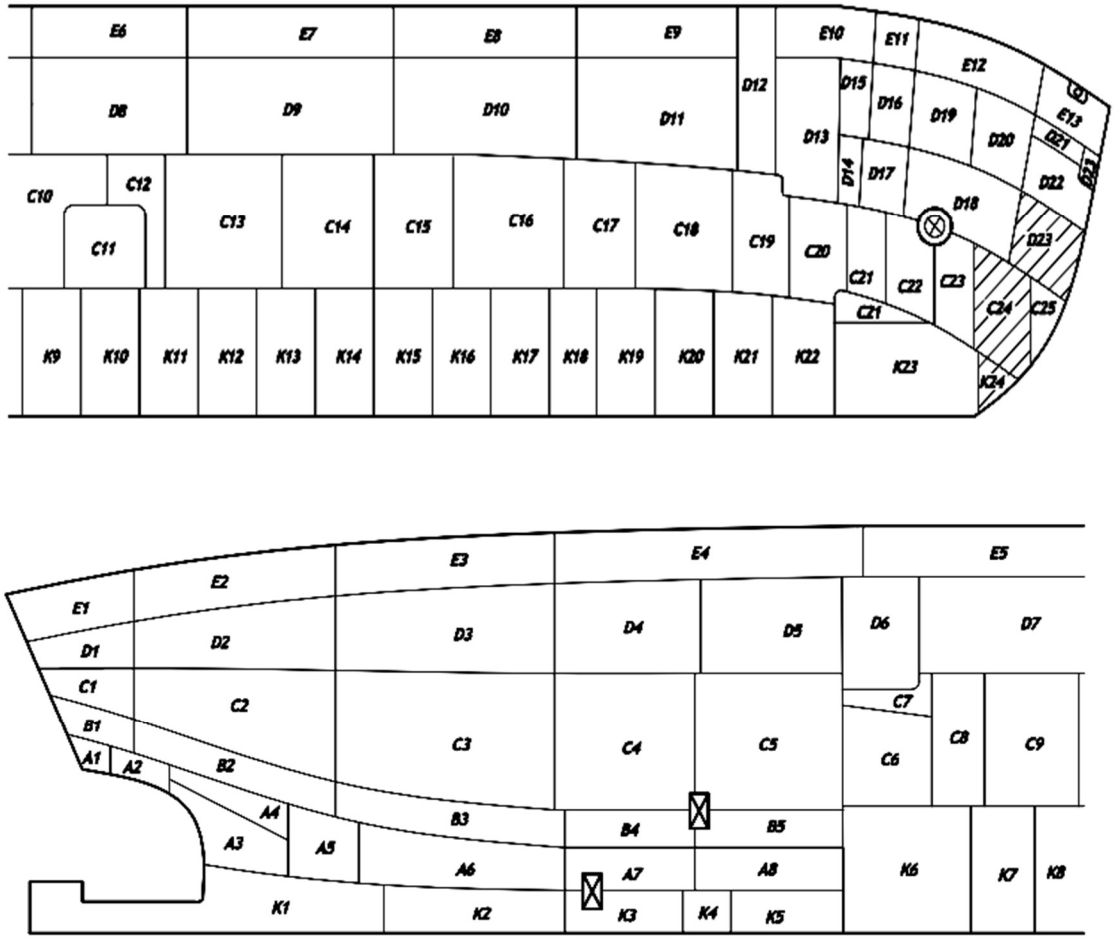


Şekil 3.6. İskele dış gövde görünümü (2021)

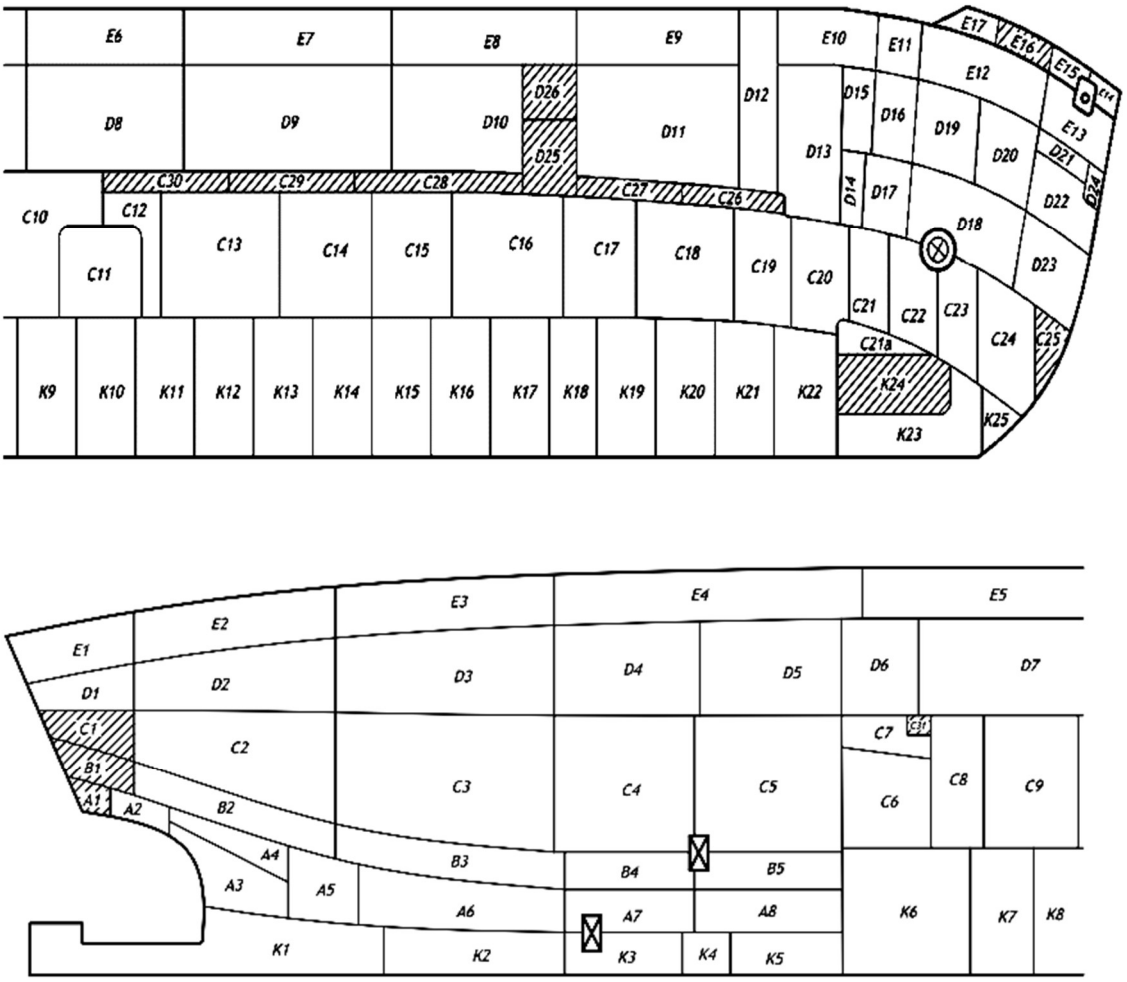
Sancak dış gövde: Geminin sancak dış gövdesi sağ yanını ifade etmektedir. Şekillerde geminin sancak dış gövdesinin 2015, 2018 ve 2021 yıllarında yapılan ölçümlerine ait teknik çizimleri (Bkz. Şekil 3.7, Şekil 3.8, Şekil 3.9):



Şekil 3.7. Sancak dış gövde görünümü (2015)

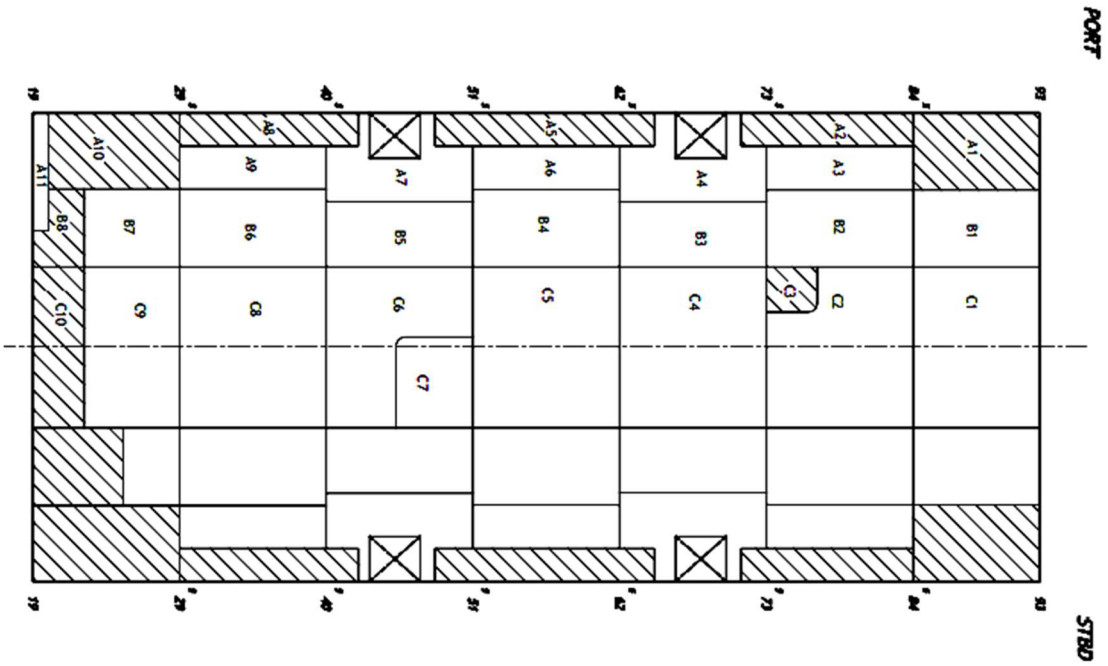


Şekil 3.8. Sancak dış gövde görünümü (2018)

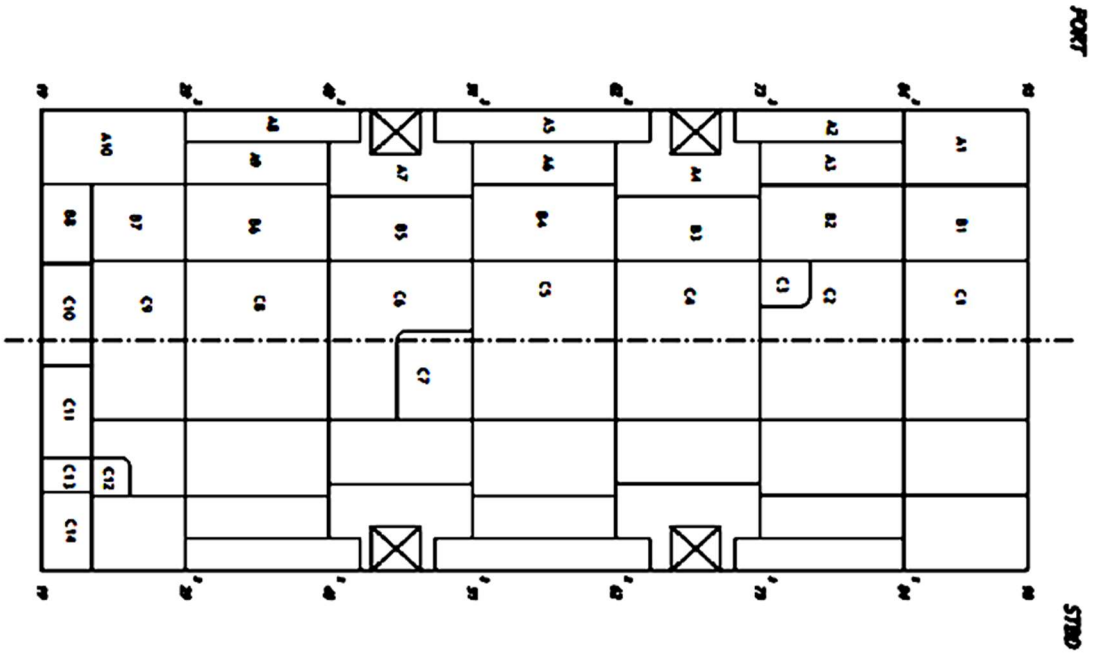


Şekil 3.9. Sancak dış gövde görünümü (2021)

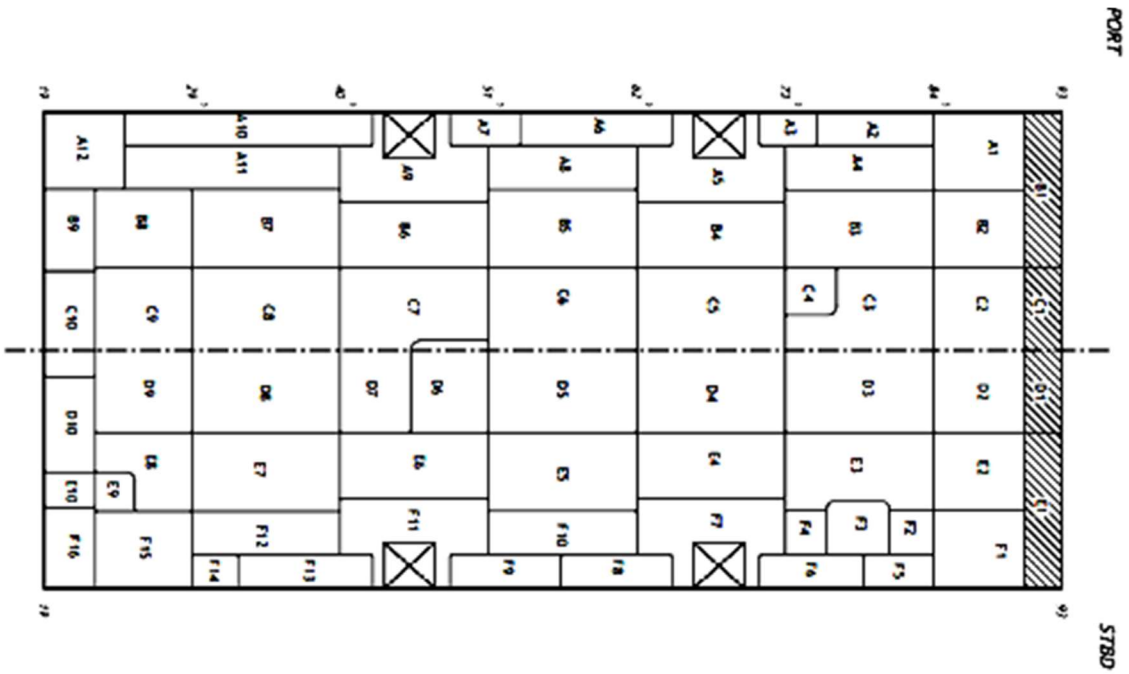
Ambarlar: Gemilerde yükün bulunduğu kısım ambarlar olarak ifade edilmektedir. Şekillerde geminin ambarlarına ait 2015, 2018 ve 2021 yıllarında yapılan ölçümlerine ait teknik çizimleri (Bkz. Şekil 3.10, Şekil 3.11, Şekil 3.12):



Şekil 3.10. Ambar tabanı (2015)



Şekil 3.11. Ambar tabanı (2018)



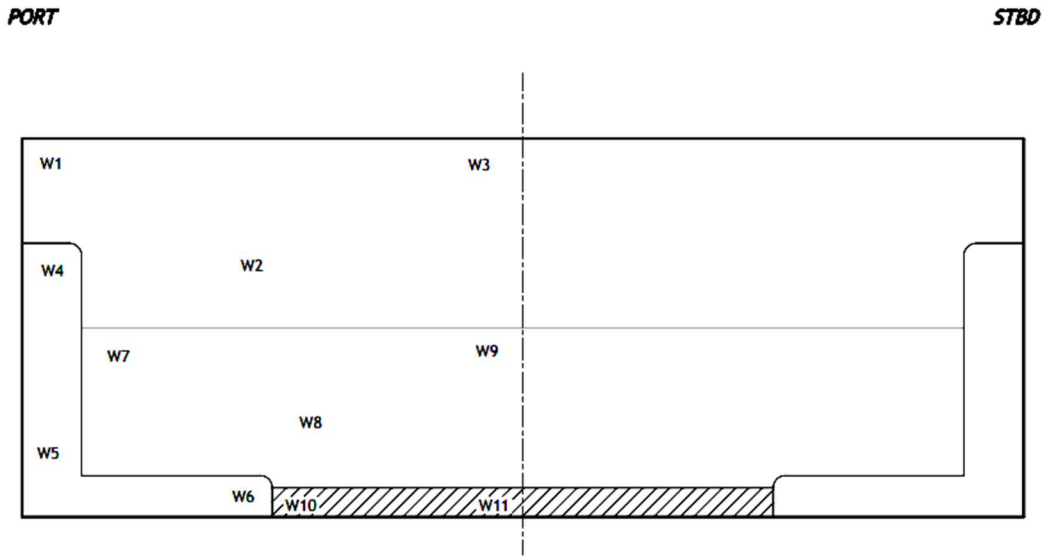
Şekil 3.12. Ambar tabanı (2021)

Ambarların tavan kısmına gelen geminin ana güvertesinde incelen sac parçaları kesilip yeni uygun kalınlıkta olan parçalarla yenilenmiştir (Bkz. Resim 3.4).

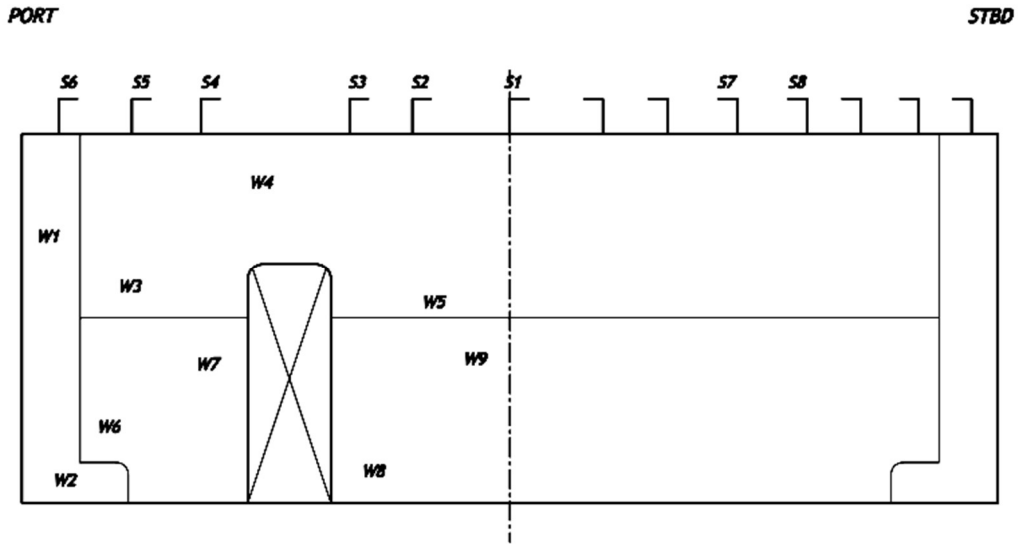


Resim 3.4. Ambarların tavanına denk gelen geminin ana güvertesinde korozyon sonucu sacın incelmesinden kesilen parçalar

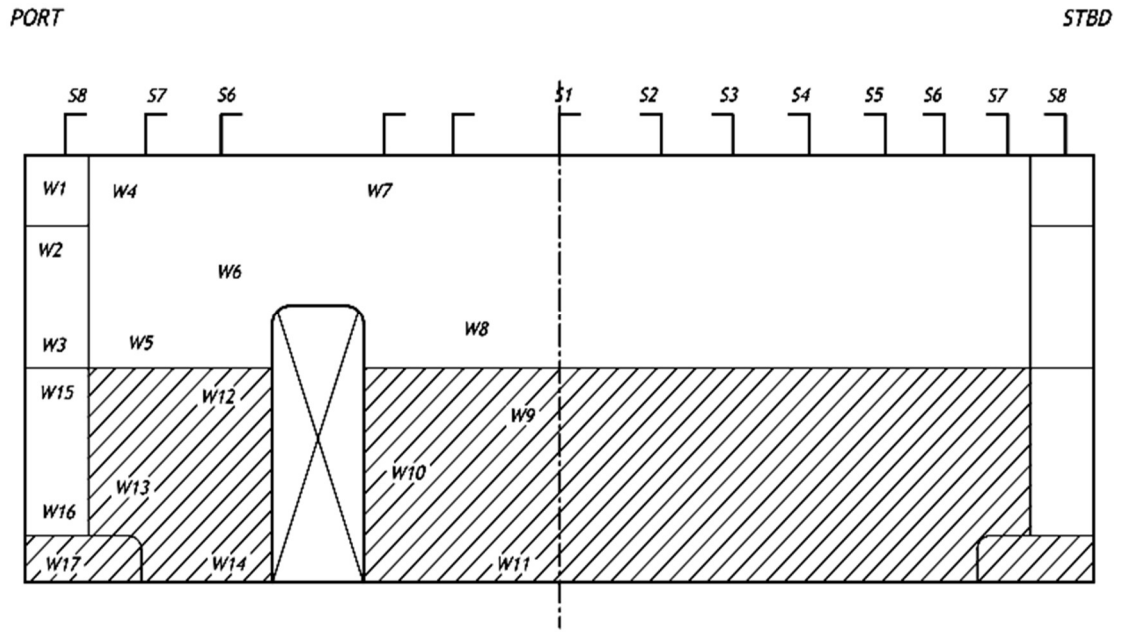
Ara perdeler: Gemilerde yük bölmelerinin ve tankların ayrılmasını sağlayan kısımlardır. Şekillerde geminin ara perdelerine ait 2015, 2018 ve 2021 yıllarında yapılan ölçümlerine ait teknik çizimleri (Bkz. Şekil 3.13, Şekil 3.14, Şekil 3.15):



Şekil 3.13. Ara perdeler (2015)

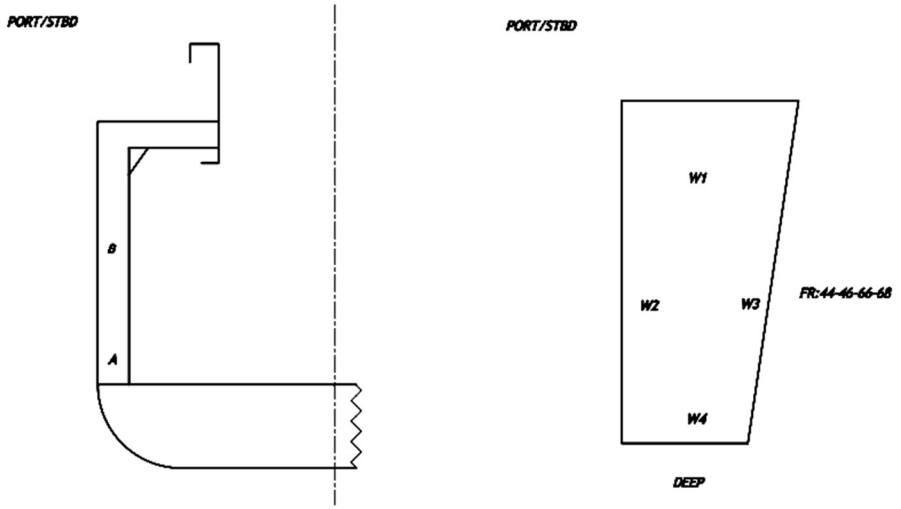


Şekil 3.14. Ara perdeler (2018)

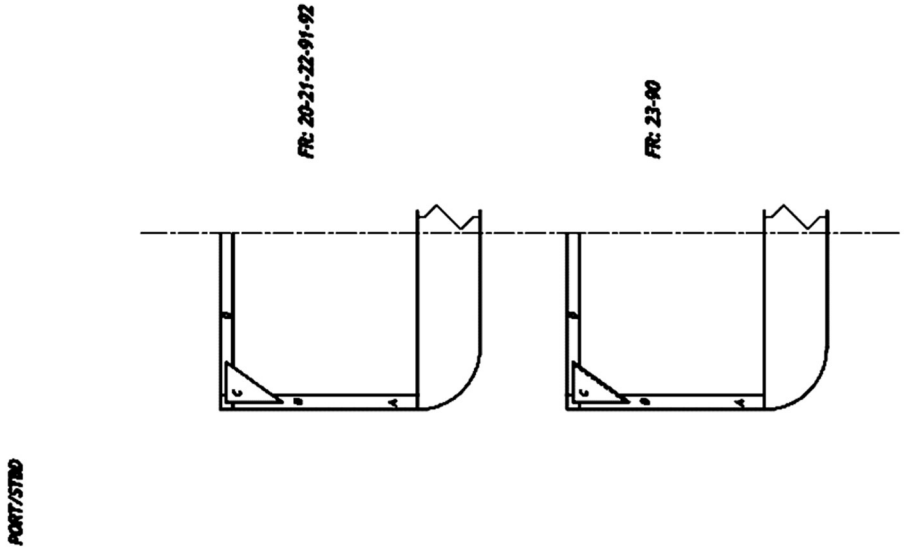


Şekil 3.15. Ara perdeler (2021)

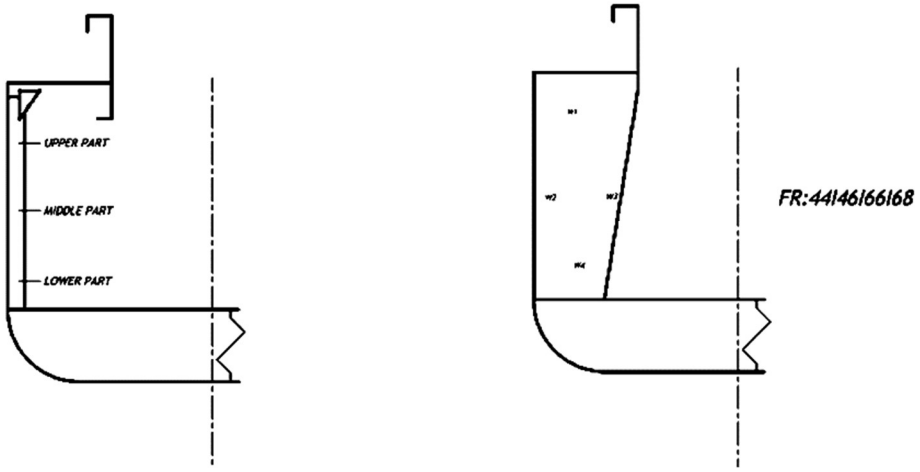
Postalar (Kargo Ambarı Enine Çerçeveleri): Gemilerde omurga yapı elemanlarıdır. Şekillerde geminin kargo ambarı enine çerçevelerine ait 2015, 2018 ve 2021 yıllarında yapılan ölçümlerine ait teknik çizimleri (Bkz. Şekil 3.16, Şekil 3.17, Şekil 3.18):



Şekil 3.16. Postalar (2015)

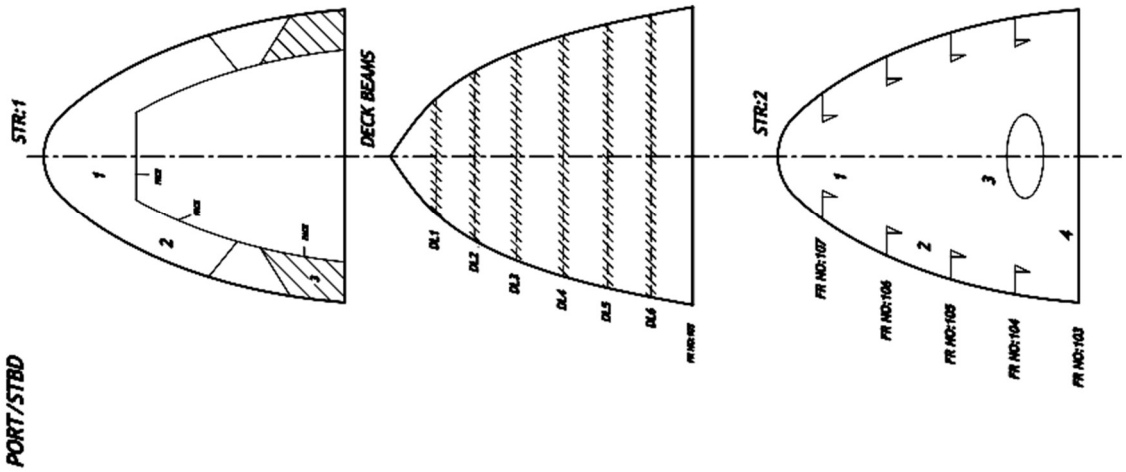


Şekil 3.17. Postalar (2018)

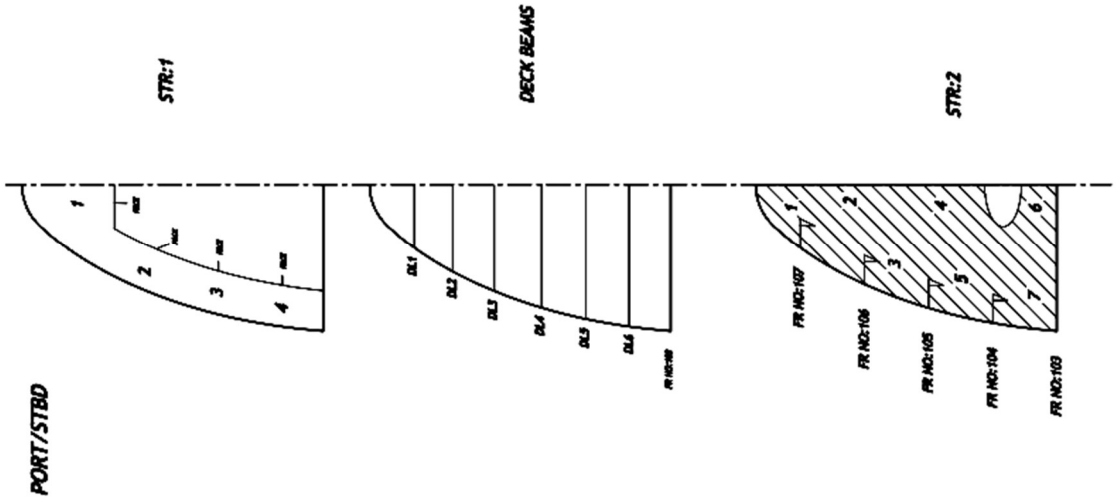


Şekil 3.18. Postalar (2021)

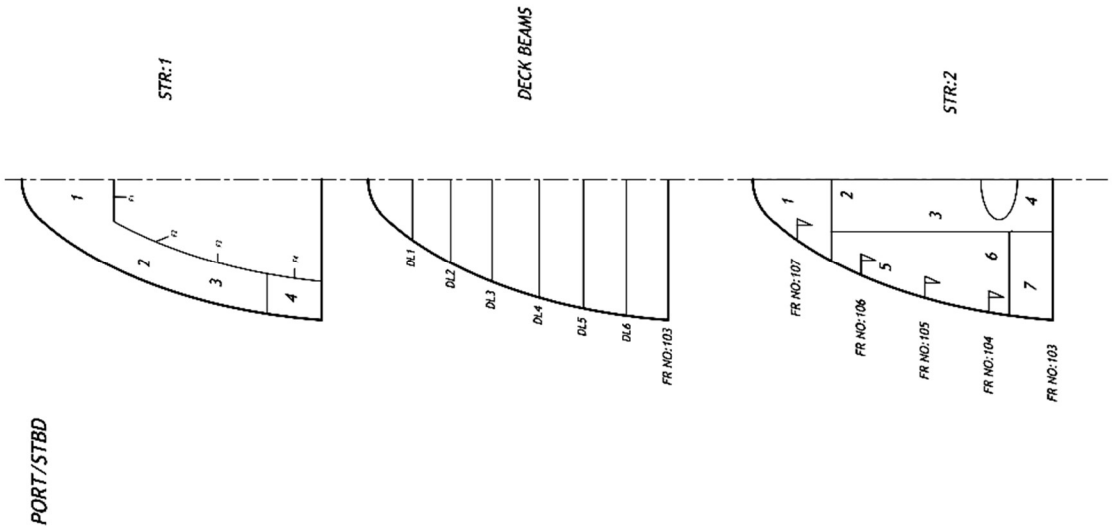
Baş Pik Tank: Gemilerde denge elemanı olarak bulunmaktadır. Şekillerde geminin baş pik tankının 2015, 2018 ve 2021 yıllarında yapılan ölçümlerine ait teknik çizimleri (Bkz. Şekil 3.19, Şekil 3.20, Şekil 3.21):



Şekil 3.19. Baş Pik Tank (2015)



Şekil 3.20. Baş Pik Tank (2018)



Şekil 3.21. Baş Pik Tank (2021)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yaşadığımız dünyayı büyük ölçüde kaplayan deniz suyu yüksek derişimli bir tuz çözeltisi ve iyi bir elektrolittir. Okyanus suyu yaklaşık olarak % 3,5 NaCl içerir. Bunun dışında deniz suyu çok çeşitli organik ve inorganik maddeleri de barındırmaktadır. Tüm bu içerikler deniz suyunda korozyonu etkilemektedir. Metallerin deniz suyu içinde maruz kaldığı oksijen miktarı, suyun hareketi ve sıcaklığı gibi etkenlerle elektrot potansiyelleri sabit kalmaz. İki metal elektriksel olarak birbirine bağlı ise korozyon başlaması muhtemeldir. Buna bağlı olarak deniz yapıları, tersaneler, gemi gibi işyeri ortamlarında da korozyon kaçınılmazdır.

Tez çalışması için geminin incelenen raporlarında bazı bölümlerde kritik incelmelerin meydana geldiği alanlar çizgilerle taranmıştır. Bu alanlar tersanede yenilenmiştir.

Ölçüm verilerine göre söz konusu geminin enine kesit görünümleri incelendiğinde (Bkz. Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3) 2018 ve 2021 yıllarında bulunan S harfi ile belirtilen alanlar dış kabuk, T ile belirtilen alanlar yükün konulduğu kısımlardır. 2021 yılı verilerinde posta olarak tanımlanan alanın korozyon oranı %18,18 (2mm) civarındadır. Bu ölçümlere göre E, D, C olarak tanımlanan kısımlardan birisi delinirse yük kaymasına bağlı olarak gemi batabilir. Bu incelme miktarı riskli görülmüş ve geminin dış sacı ile iç parçası değiştirilmiştir. 2021 yılı görünümlerinde karina olarak da adlandırılan 1 numara ile işaretlenen kısım korozyona daha fazla uğramıştır. Geminin bu kısmı deniz suyunun sürekli içinde kaldığı bir bölümdür. Burada korozyonu engelleyen tutyalar bulunmaktadır. Karinanın temizliği düzenli yapılmazsa bu kısımlarda yosun, midye vb. unsurlardan dolayı sakallanma olarak adlandırılan biyolojik kaynaklı kirlenme oluşmaktadır. Tüm bunlar mikrobiyolojik korozyona zemin hazırlamaktadır. Bu durumu engellemek için düzenli karina temizliği ve epoksi boya uygulaması yapılabilir. Meydana gelen azalmanın bir diğer nedeni ise geminin yanaşmaları sırasında usturmaçaların kuvvetli sürtünmeleri neticesinde hasar görmeleri olabilir.

2015 yılına ait geminin iskele dış gövde bölgesinin raporları incelendiğinde, (Bkz. Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6) 2015 yılına ait ölçümde D24 olarak işaretlenen kısım zaafiyete uğramış ve değişmiştir. Orijinal ölçü 9mm ve zaafiyet %20'nin üzerinde olduğu için yenilenmesi gerekmiştir. E14 olarak tanımlanan alan halat loçasının olduğu yere yakın bölümdür. Burada halat hareketi bulunması sebebiyle, halatın bölge üzerine

uyguladığı baskı, yoğun gerilim, halatın yanaşma esnasında geminin dalgayla yükselmesi, römorkörle yapılan manevralar esnasında meydana gelen gerilimler korozyona neden olabilmektedir. Bunun yanında halat kesilmesi veya harici bir cisimle temaslar sonucu darbeler de bu bölgede hasarlara neden olabilmektedir. 2018 yılına ait ölçümlere bakıldığında K24 ile belirtilen kısımda %13 ve C24'te %26'lık bir kayıp söz konusu olduğu görülmüştür. Bu azalmaların iki kaynaktan meydana geldiği söylenebilir. Bunlardan biri geminin bir yere çarpması, diğeri ise taşıdığı yükten veya dalga yükselmelerinden meydana gelen gerilmelerden kaynaklanmış olabilir. Korozyona bağlı bu incelmeler limitler içinde olmasına rağmen kritik noktalarda yer almalarından dolayı parçaların değiştirilmeleri, tedbir amaçlı olarak uygun görülmüştür. 2021 yılı ölçüm raporlarında geminin iskele tarafına bakıldığında D25-D26 bölümlerinde plakanın baş tarafında çukurcuk korozyonlarının meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu bölümün iyice inceldiği hatta kayıp değerlerinin %22'nin üzerinde olduğu gözlenmiştir. Bu durum gemi iskele gövdesinin delinme riskinin oldukça yükseldiğini gösterdiğinden bu parçalar yenilenmiştir. Geminin 2021 yılına ait ölçüm raporları incelendiğinde baş tarafa denk gelen E16-E17-E18-E19 olarak işaretlenen bölümlerde deniz suyunun geminin baş üstü kısmına deniz serpintisini azaltmak amacıyla üretim projesinde bulunmayan fazladan yükseltme yapıldığı anlaşılmıştır. Ek yapılan baş üstü kısım üç yıl sonra yapılan ölçüm raporlarına göre kritik incelme gösterdiği için yenilenmiştir. Limit değerlerinin üzerinde incelme olmasının nedenleri arasında gemiye yeni parça eklenmesi esnasındaki işlemlerden, boyanın uygun tatbik edilememesinden veya kullanım sırasında bu bölgenin maruz kaldığı darbelerden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Yine 2021 yılı ölçüm raporlarına göre C26-C27-C28 bölgelerinde meydana gelen incelmelerin nedeni gemiye baş temaslarından, yanaşma esnasında römorkör darbelerinden meydana gelmiş olabilir. Ayrıca bu bölümlerde ambar yükünün tabanı ile gemi dış kaplamasının birleştiği kısımda incelme, gerilme meydana gelmiştir. Buralardaki incelme oranı %20 civarında olduğundan bu kısımlar yenileri ile değiştirilmiştir.

2015 yılı ölçüm raporlarına göre geminin sancak dış gövde bölgesinde D20 ile tanımlanan kısım (Bkz. Şekil 3.7, Şekil 3.8, Şekil 3.9) yenilenmiştir. Geminin aynı tarafının 2018 yılı ölçüm raporlarına göre D23 ve K24 ile tanımlanan kısım deformasyona uğramış ve yenilenmiştir. Bu bölgeler şiddetli havalarda seyir yapan geminin baştan aldığı yüksek dalgalar etkisiyle baş-kıç yönünde kuvvetli yalpalara düşmesi sonucu baş bölgesindeki sacların hasarlandığı, ve böylece zayıfladığı değerlendirilmektedir. 2021 yılı

ölçüm raporlarında da C26-C27-C28-C29-C30 olarak tanımlanan bölgede görülen hasarın yanaşma esnasında römorkör darbesi nedeni ile meydana gelmiş olabileceği değerlendirilmiştir. Sancak tarafında da iskele tarafında olduğu gibi %20 civarında korozyona uğradığından bu bölge de yenilenmiştir.

2015 yılı ölçüm raporlarına göre ambar tabanında 19/93 numaraları ile tanımlanan iki tane perde aralığı tamamen yenilenmiştir. 2018 yılındaki ölçüm raporlarında azalmalar gözlense de bu azalmalar %20'nin altında olması nedeniyle bir değişiklik yapılmasına gerek görülmemiştir. 2021 yılı raporuna göre baş kısmında bulunan B1-C1-D1-E1 bölümlerinde %22'nin üzerinde incelmeler gözlenmiş ve bu bölümler yenilenmiştir. 2021 yılı raporlarında ölçülen kalınlıklar A1:9,4 mm - A2:9,6 mm – A3:9,5 mm – A4:9,7 mm – A5:10,00 mm – A6:9,4 mm – A7:9,8 mm – A8:10,00 mm – A9:9,7 mm – A10:9,5 mm – A12:9,4 mm şeklindedir. Geminin orijinal projesinde kalınlık değerleri 11 mm veya 12 mm olup ölçülen değerler projedeki değerleri karşılamamaktadır. Bu durumda parçaların değiştirilmesi gerekmektedir. Ancak parçaların değiştirilmesi yüksek maliyetlere neden olacağı için yapılan enine boyuna mukavemet hesapları sonucunda 9 mm kalınlığın da bu bölgeler için yeterli olacağı tespit edilmiştir. Bu yüzden orijinal projede daha önce 11-12 mm olan kalınlık değerleri 9 mm olarak revize edilmiştir.

2015 yılındaki ölçüm raprolarında W10, W11 olarak gösterilen ara perdeler; yenilenmiştir. Buralarda 2018 yılında azalmalar tespit edilse de kayda değer incelme gözlemlenmemiştir. 2021 yılında yapılan ölçümlere göre %25 civarında azalmalarla en çok incelme oranına sahip olmuştur ve ilgili parçalar yenilenmiştir.

Postalar (Kargo Ambarı Enine Çerçeveleri) 2015 ve 2018 yıllarında kayda değer azalmalar gözlenmemiştir. 2021 yılında ambar orta ve alt bölümlerde %27'nin üzerinde azalmalar gözlenmiştir. Alt bölümde azalmalar daha sık meydana gelmiştir. Geminin taşıdığı yükten meydana gelen gerilme nedeniyle korozyon meydana gelmiş olabilir.

Geminin balastı olarak kullanılan baş pik tank, deniz suyuna çok teması olması nedeniyle bu bölgede korozyonun meydana gelmesi yüksek olasılıklıdır. Bu bölümün korozyon yüzünden 2015 yılında bir kısmı yenilenmiştir.

Güverte kirişlerinin tamamı 2015 yılında yenilenmiştir. 2018 yılında da kirişin tamamı korozyondan dolayı oluşan deformasyon sonucu yenilenmiştir. 2021 yılında ise kirişin yüz kısmı yenilenmiştir. Bu kısımlarda oldukça yüksek değer olan %31 ve üzerinde azalmalar gözlenmiştir.

Ambar mavernasının 2018 yılında deformasyona uğraması sonucu yenilenmiştir.

Baş pik tankta bulunan zincir kilidi, postalar, merkez kirişleri, tank kısımlarında %20 ve üzerinde azalma gözlenmiş ve yenilenmiştir.

Ana güverte, baş güverte, kıç güverte, köprü güverte, kaptan güvertesi kısmında her 3 ölçüm içinde kayda değer bir azalma gözlenmemiştir.

Gemilerde korozyonu oluşturan birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar, gövdeyi oluşturan, iskele dış gövde ve sancak dış gövdede meydana gelen, gövdenin maruz kaldığı atmosferik ve deniz suyu koşulları, dalga yükselmesi, taşıdığı yük sebebiyle oluşan gerilme, geminin bir yere çarpması, darbe gibi etkenler ve deniz canlılarının özellikle alt gövdeye yapışması sonucu oluşan pürüzlülüklerdir. Bahsi geçen yerlerde genel ve çukurcuk korozyonları meydana gelmektedir. Bu tip korozyonlardan kaçınmanın ilk yöntemi, gövdenin doğru boya ile kaplanmasıdır. Deniz suyu alkali bir ortam olmasından dolayı kullanılacak en uygun boya çeşitleri çinko fosfat, çinko kromat gibi antikorozif astar boyalardır. Boya ile gövdenin kaplanmasının önemli bir fonksiyonu da özellikle denizin içinde kalan bölümün pürüzlülüğünü ortadan kaldırmaktır. Çünkü deniz canlıları pürüzlü bölgelere kolayca yapışarak yaşam alanı oluşturduklarından dolayı mikrobiyolojik korozyona sebep olmaktadırlar.

Katotik koruma da gövde için uygulanabilecek diğer bir yöntemdir. Katotik korumada hem kurban anotlu hem de dış akım kaynaklı koruma yapmak mümkündür. Büyük tonajlı gemilerde bunun için en uygun yöntem dış akım kaynaklı olan katotik koruma olarak düşünülebilir.

Gemi pervanelerinin çoğunluğu bakırdan oluşan nikel, alüminyum ve demir içeren çelik saclardan imal edilirler. Elektrolit görevi gören deniz suyu pervane ve çelik yapı arasında galvanik pil oluşumuna neden olduğundan kolayca korozyon olayı başlar. Böyle sistemlere, dış akım kaynaklı anotlar (tutya) yerleştirmek sorunu çözer. Diğer yandan pervaneler şiddetli türbilans etkisi altında olmalarından dolayı kavitasyon korozyonuna uğrarlar. Bu durumda katotik koruma, pervaneler için de uygun bir yöntem olarak kullanılabilir.

Ambarlar alanlarının dış yüzeylerinin bir bölümü deniz suyu içinde bulunurlar. Buralarda nem kaynaklı korozyonu önlemek için özellikle epoksi türevi boya uygulamalarının yapılması tavsiye edilir.

Gemilerde tanklar tatlı su, balast, yakıt vb. sıvıların depolandığı kısımlar olarak yer alır. Bu alanlarda daha çok genel, çukurcuk ve mikrobiyolojik gibi korozyon türleri meydana geldiği için katotik koruma yönteminin uygulanması önerilir. Yakıt depolayan

alanlarda bir patlama riski olmaması için özellikle balast tankında kurban anotlu koruma tercih edilmelidir.

Gemilerde meydana gelen korozyonların önlenmesini veya yavaşlamasını sağlayıcı bazı önlemler alınabilir. Gemilerin bazı bölümlerinde meydana gelen korozyonlara karşı uygulanabilecek birtakım korunma önerileri Tablo 4.1'de sunulmuştur.

Tablo 4.1. Geminin bölgelerine göre korunma önerileri

Bölge	**Korunma Önerileri**
Dış gövde	Boya ile kaplama, katotik koruma (kurban anotlu, dış akım kaynaklı
Pervaneler	Dış akım kaynaklı anot (tutya), katotik koruma
Ambarlar	Epoksi türevi boya uygulanması
Tanklar	Katotik koruma (kurban anotlu)
Karina	Düzenli temizlik, epoksi boya uygulaması

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizde korozyonun neden olduğu ekonomik kayıplar tam olarak bilinmemektedir. Ancak korozyon kaynaklı zararın maliyeti tahmin edilenin de üzerindedir.

Korozyonun neden olduğu ekonomik kayıplar her sektör için ayrı ayrı hesaplanması gereken bir konudur. Bu tam olarak hesaplanmadığı takdirde korozyondan kaynaklanan kayıplar önemsenmez ve önlenemez. Tahmini rakamları ve diğer ülke istatistikleri incelendiğinde kayıpların ne denli büyük olduğu ve tahmin edilenin ötesine ulaştığı ortaya çıkacaktır.

Korozyonun iş güvenliğine etkileri yeterince bilinmemekte, araştırılmamaktadır. Yaşanan büyük felaketlerde can kayıpları, yaralanmalar bellidir ancak korozyon kaynaklı kazaların henüz bir istatistiği tutulmamaktadır. Bazı kazalarda asıl nedenin korozyon olduğu dahi bilinmemektedir.

Korozyonun iş kazalarına etkileri incelenmelidir. Korozyon büyük kazalar dışında araştırılmamaktadır. Küçük kazalar, ramak kalalar ve olaylarda korozyona bakış açısı oluşturulmadığı için kazaların kök nedenlerine inilememektedir.

Korozyon tasarım aşamasında önlenmelidir. Bunun için malzeme hangi türlerde korozyona uğrayacaksa o korozyon türüne özel malzemeler geliştirilmelidir. Buna rağmen korozyon önlenemiyorsa her zaman için korozyondan korunma maliyetleri tadilat masraflarının altındadır. Bu nedenle korozyondan korunma politikaları geliştirilmeli ve uygulanmalıdır.

Karmaşıklığı ve boyutları nedeniyle korozyonla ilgili tehlikelerin tamamen ortadan kaldırılması mümkün değildir. Bu koşullar göz önüne alındığında riskleri en aza indirmek için korozyon risk yönetim stratejisinin ivedi olarak yürürlüğe koyulması gereklidir. Ayıca korozyona bağlı oluşacak iş kazalarını önlemek için gerekli koruma politikalarının alınması da önemlilik arz etmektedir.

Risk yönetim hataları:

- Bilinen korozyon tehlikelerine karşı farkındalığın az olması ve dikkatsizlik
- Korozyonun takip edilmesi konusunda zayıflık
- Korozyon ile ilgili risklerin değerlendirilmemesi

Tersaneler ve gemiler korozyon kaynaklı iş kazalarının en çok görülme ihtimali olan iş ortamlarından biridir. Bu nedenle bu ortamlarda iş kazalarına neden olabilecek korozyon çeşitlerine önem vermek ve daha oluşmadan önlemek önem arz etmektedir.

Bu çalışmada sertifikalı bir mühendislik firması olan Tim Gemi Mühendislik tarafından yapılan, Tuvali bandıralı, 1991 yılı yapımı, Akdeniz-Karadeniz seyir bölgesinde çalışan bir general kargo gemisinin bazı bölümlerinde kalınlık ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir. Bu ölçüm sonuçlarından yola çıkılarak gemi iş ortamında meydana gelebilecek olası korozyon türleri ve hasarları analiz edilerek, uygun korunma yöntemleri önerilmiştir. İncelenen raporlara göre gemi korozyonu gerek tersane şartlarında gerekse açık denizlerde farklı farklı nedenlerle meydana gelen önemli bir iş güvenliği sorunudur. Gemilerde meydana gelen başlıca korozyon türleri galvanik korozyon, çukur (oyuklanma) korozyonu, kaplama olan yerler için kabuk altı korozyonu, erozyonlu korozyon, kavitasyon (oyuk hasarları), mikrobiyolojik korozyondur. Bu korozyon türleri de geminin maruz kaldığı ortama göre değişiklik göstermektedir.

Gemilerde ve tersanelerde bakımı gerçekleştirecek yetişmiş personel yetersizliği bulunmakta, bu konularda donanımlı personel yetiştirilmelidir.

Uluslararası Denizcilik Örgütü (International Maritime Organization (IMO)) standartlarına göre tüm ticari yük gemilerinin 5 yılda bir tersane kuru havuzlamaya çekilmesi zorunludur. Ancak eski/yaşlı gemilerde bu süre daha sık hale getirilmelidir.

Meydana gelen korozyon türlerine göre yapılabilecek uygulamalar:

- Boyama
- Kaplama
- Anodik koruma
- Katodik koruma (kurban anot, pil veya dış akım kaynağı)

Bu uygulamalarda doğru yöntemlerin kullanılması yüksek onarım maliyetini düşürmektedir. Ayrıca, geminin enerji sarfını azaltarak performansını arttırmakta ve ömrünü uzatmaktadır.

Mevzuatımızda korozyon kontrolleri ile ilgili herhangi bir yönetmeliğe rastlanmamıştır. Ayrıca korozyonun neden olduğu kazalar büyük olmadığı müddetçe korozyon olayı çok dikkate alınmamaktadır. Küçük kazalar, ramak kalalar ve olaylarda korozyona bakış açısı oluşturulmadığı için kazaların kök nedenlerine inilememektedir. Gemide yapılan bu çalışmamızın haricinde diğer iş kollarında da korozyonun etkisi ve

önlenmesi konularında araştırmaların yapılması; gürültü, titreşim, aydınlatma ve kimyasal maddelerin limit değerleri gibi korozyon için de sınır ölçütlerin bilimsel gerçekler göz önünde bulundurularak mevzuatta yer alması tüm işyerlerinde korozyona bağlı kazaların azalmasında etken rol oynayacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

[1] Jones, D.A. (2004). Principles and Prevention of Corrosion. (Second Edition). Nevada: Prentice Hall, Upper Saddle River. NJ 07458.

[2] Altanlar, S. (2006). Şeker fabrikaları buharlaştırıcı borularında meydana gelen korozyonun ve şerbetin korozif özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

[3] Kaya, S., Demirören, H., Korkut. M.H. (2008). St–37 Düşük alaşımlı çelik ve AISI 304, 304l, 316 östenitik paslanmaz çelik numunelerinin şeker fabrikaları kule difüzör ünitesindeki korozyon davranışlarının deneysel araştırılması. XI. Uluslararası Korozyon Sempozyumu, İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, 22-25 Ekim 2008, 401-409.

[4] Petrović, Z. C. (2016). Catastrophes caused by corrosıon. Serbian Armed Forces, AF and AD. Field: Materials, Chemical Technolog, Vojnotehnı Čkı Glasnık / Military Technical Courier, Vol 64, No 4.

[5] Demirören, H., Sinanoğlu, T. (2014). Korozyonun Sebep Olduğu İş Kazaları. 13.Uluslararası Korozyon Sempozyumu, 117-120. (Kontrol No: 1209197)

[6] Üneri S. (2011). Korozyon ve Önlenmesi. (3. Baskı) Ankara: Korozyon Derneği.

[7] Ada, H.D. (2014). Ankara Şeker Fabrikası'nda değişik ünitelerden alınan şerbet örneklerinde çelik türlerinin korozyon direnç ölçümleri, uygun malzeme seçimi ve maliyet analizi çalışmaları. Doktora Tezi. Eskişehir: Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

[8] Pourbaix, M. (1974). Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous solutions. New York: Pergamon Press.

[9] Pierre, R.R. (2012). Handbook of Corrosion Engineering. (Second Edition). McGraw-Hill Education, LLC.

[10] Yalçın, H., Koç, T. (1997). Mühendisler için Korozyon. Ankara: Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, Kimya Mühendisleri Odası. ISBN 975-395-269-4.

[11] Mamaş, S. (2003). Alüminyumun poliprol filmlerle kaplanması ve korozyona karşı etkinliğinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[12] Gürü, M., Yalçın H. (2004). Malzeme Bilgisi. Ankara: Palme Yayıncılık.

[13] Kınan, E. (2005). Folium theae (çay)'nin civa çeliğinin korozyonu üzerine inhibisyon etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Adana: Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[14] İz, S. (2019). Betonarme ve çelik yapılarda korozyon modern korozyon önleme teknikleri. Şantiye mühendislerine yönelik meslek içi semineri. T.M.M.O.B. İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul Şubesi.

[15] Thomas, E. D. (2010). Current U.S. Navy Corrosion Concerns. Department of the Navy Corrosion Prevention & Control.

[16] Üçüncü, E. K. (2006). Overhole giren gemilerde görülen korozyon hasarları ve bu hasarların giderilme yöntemleri. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.

[17] Esen Metal. (2004). Gemi Gövdelerinin Katodik Koruması.

[18] Şendenel, E.(2004). Katodik Koruma. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya ve Metalurji Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü.

[19] Elçiçek, H., Karaoğlanlı, A. C., Demirel, B. (2011). Gemicilik endüstrisinde korozyon problemi ve katodik koruma uygulamaları. Elazığ: 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11).

http-1: http://en.wikipedia.org/wiki/Bhopal_Disaster (Erişim tarihi: 08.11.2021)

http-2: http://www.corrosion-doctors.org/Aircraft/Aloha.htm (Erişim tarihi: 08.11.2021)

http-3: http://www.corrosion-doctors.org/Localized/sewer.htm (Erişim tarihi: 08.11.2021)

http-4: https://corrosion-doctors.org/Pollution/erika.htm (Erişim tarihi: 08.11.2021)

http-5: https://corrosion-doctors.org/Pipeline/Carlsbad-explosion.htm (Erişim tarihi: 08.11.2021)

http-6: https://www.elektrikrehberiniz.com/esanjor/galvanik-korozyon-95933/ (Erişim tarihi: 20.11.2021)

http-7: https://slidetodoc.com/korozyon-v-korozyon-nedir-v-korozyon-nasl-oluur/ (Erişim tarihi: 20.11.2021)

http-8: https://www.stmcoatech.com/cukurcuk-korozyonu-pitting -corrosion-/

(Erişim tarihi: 21.11.2021)

http-9: https://www.taninmismakina.com/tesisatta-korozyon/filiform-korozyonu/ (Erişim tarihi: 21.11.2021)

http-10: https://malzemebilimi.net/korozyon-nedir-korozyon-turleri-nelerdir.html (Erişim tarihi: 21.11.2021)

http-11: https://www.tesisat.com.tr/yayin/193/pompalarda-malzeme-kaynakli-hasarlar-ve-malzeme-secimi_5023.html#.YZo1bE7P200 (Erişim tarihi: 21.11.2021)

http-12: https://k.ogren-sen.com/kimya/2231/index.html?page=3 (Erişim tarihi: 21.11.2021)

http-13: https://www.thermaxxjackets.com/stress-corrosion-cracking/ (Erişim tarihi: 26.11.2021)

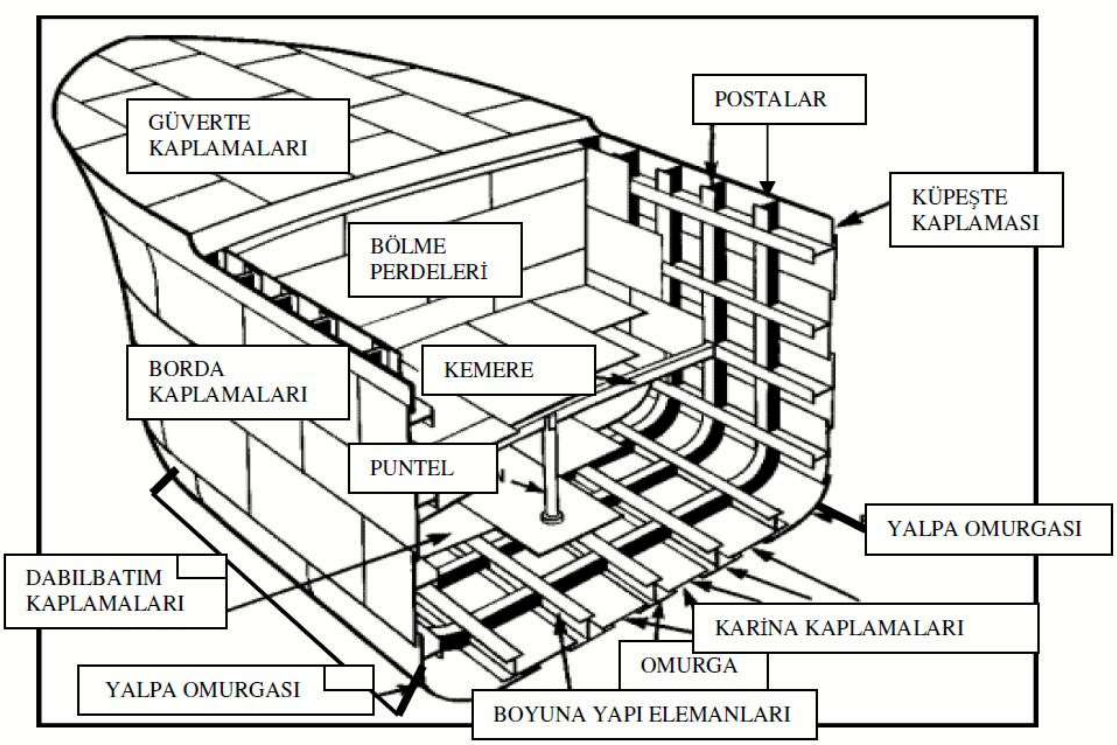
http-14: https://www.voltimum.com.tr/haberler/kacak-akim-korozyonu-ve-katodik-koruma (Erişim tarihi: 26.11.2021)

http-15: https://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi169/d169_4045.pdf (Erişim tarihi: 26.11.2021)

http-16: https:_//insapedia.com/korozyon-nedir-korozyon-cesitleri-ve-onleme-yollari/ (Erişim tarihi: 26.11.2021)

http-17: https://www.likerya.com/2020/12/gemi-yap-elemanlar.html (Erişim tarihi: 26.11.2021)

EK-1



"GEMİDE BULUNAN ANA ELEMANLAR

Omurga: Teknenin temel elemanıdır. Baştan kıça kadar uzanır. Diğer bütün elemanlar omurga esas alınarak onun üzerine inşa edilir.

Postalar: Teknenin şeklini oluşturan, üzerine kaplamaların monte edildiği omurgaya dik yapı elemanlarıdır.

Boyuna Yapı Elemanları: Omurgaya paralel gövdeyi kuvvetlendiren elemanlardır.

Yalpa Omurgası: Teknenin yalpaya düşmesini azaltmak için karina dönümüne eklenen, omurgaya paralel elemanlardır.

Kemere: Postaları birbirine bağlayan ve güverte kaplamalarını taşıyan enine yapı elemanlarıdır.

Kaplamalar: Postanın ve kemerelerin üstünü kaplayarak teknenin şeklini veren, ağaç, çelik veya sentetik maddeden oluşan elemanlardır.

Bölme Perdeleri: Alabandadan alabandaya, sintineden güverteye uzanan, tekneyi bölmelere ayıran perdedir.

Döşek: Double bottom ları bordadan bordaya ayıran yapı elemanlarıdır.

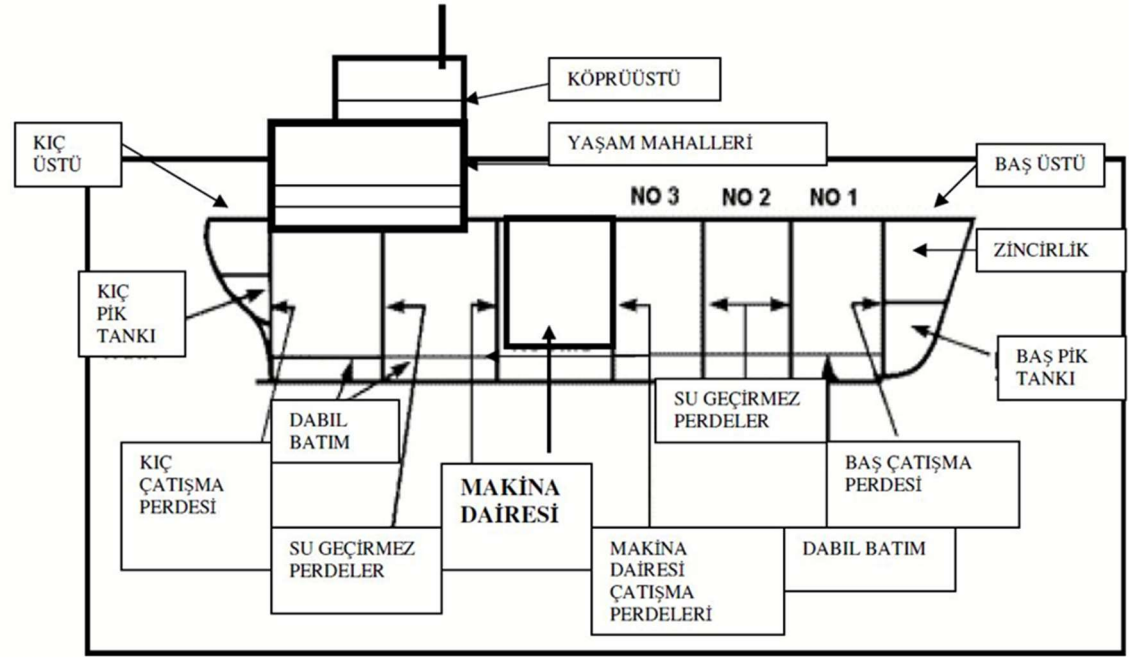
Puntel: Kemereleri destekleyen dikine yapı elemanlarıdır.

Baş-Kıç Bodoslama: Teknenin baş ve kıç kısmında omurganın yükseldiği kısımlara verilen isimdir. Omurgayla yekpare olabileceği gibi, omurgaya ilave edilen parçalardan da oluşabilir.

Güverte: Kemerelerin üstüne döşenmiş baştan kıça kadar uzanan platformdur.

Küpeşte: Denizin güverteye girmemesi için güverte üstüne devam eden borda kaplamasıdır.

Gövde: Tüm elemanların birleşiminden oluşan ve bütün bölümlerini bir kabuk gibi sararak, geminin şeklini veren ve yüzücülüğünü sağlayan yapıdır.



GEMİDE BULUNAN YARDIMCI ELEMANLAR

Kaporta: Gemide bölmeler arasındaki geçişi sağlayan, kapatıldığında su ve gaz sızdırmayan basınca dayanıklı kapılardır.

Lumbuz: Gemi bölmelerini havalandırmak ve aydınlatmak için bordalara açılmış pencerelerdir.

Menhol: Güverteler arası geçişi sağlamak, ambar veya tanklara girmek için kullanılan kapaklı, sızdırmaz girişlerdir.

Manika: Aşağı katlardaki kamaraları, ambarları, makine dairelerini havalandırabilmek için güverteye açılmış olan baca.

Puntel: Güverte kenarında korkuluk vazifesi gören ve vardavelaların bağlanmasına

yarayan dikine metal elemanlardır.

Ambar Kapakları: Ambarlara konulan yükleri korumak için ambar girişlerini kapatan sızdırmaz kapaklardır.

Makine Dairesi: Geminin makinelerinin bulunduğu ana bölmedir. Makine dairesinde ana makineler, yardımcı makineler, kontrol odası, kontrol panelleri ve atölyeler bulunur.

Tanklar: Tatlı su, balast, yakıt gibi sıvı yüklerin bulundurulduğu bölmelerdir.

Ambarlar: Taşınacak malzemeleri koymak için dizayn edilmiş bölmelerdir.

Pik Tanklar: Baş kasaranın altında, baş bodoslama ile ilk çatışma perdesinin; kıç kasaranın altında, kıç bodoslama ile son çatışma perdesinin arasında kalan kısımlara denir.

Double Bottom: Gemi dibinde karina kaplamaları ile ambar tabanları arasında kalan bölümlerdir. Yakıt, balast gibi sıvı yükler için tank olarak kullanılır.

Portuç: Çeşitli malzeme, araç ve gerecin depolandığı güverte üstü yerlerdir.

Yaşam Mahali: Gemi personeli ve varsa yolcuların kullanması için çok amaçlı inşa edilen çok katlı yapılardır.

Köprüüstü: Yaşam mahallerinin en üstünde, geminin sevk ve idare edildiği, geminin seyriyle ilgili her türlü cihaz ve aletin bulunduğu yerdir.

Zincirlik: Geminin baş tarafında, gemi zincirinin yığıldığı yerdir.

Kasara: Geminin baş ve kıçında ana güverteden yukarıda kalan yarım güvertelerdir.

Kırlangıç: Köprüüstünden bordalar istikametinde dışarıya uzanan yapılardır. Manevralar esnasında bordaları rahatça görebilmek için dizayn edilmiştir.” (http-17)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Nil ELDEMİR

Eğitim	
Lisans	2008, Gazi Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü
Yüksek Lisans	2011, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Bölümü, Fizikokimya Anabilim Dalı

Yayın Listesi	
Makale	Eşsiz, S., Sarı, B., Eldemir, N. (2014). Effect of synthetic route on structural and morphological properties of poly(thiophene-co-indole). Springer Link, 56, 593-602.
Bildiri	Budak, Ö. Ş., Sarıca, D., Avcı, B., Eldemir, N., (2009), Pul biberde toksijenik küflerin izolasyonu, tanımlanması ve oluşturduğu ikincil metabolitler ile Pb ve NO3'ın Karakterizasyonu, 7th International participated Turkish Toxicology Symposium, 30 Mayıs-2 Haziran 2009, Ankara
	Sarıca, D.Y., Avcı, B., Eldemir, N., (2009), 5th Black Sea Conference On Analytical Chemistry, A Survey for minerals profile of potato, tomato and whaet based products in Turkish Market, Fatsa
	Eldemir, N., Selçuk, A.B., Ada, H.D., Gök, K., (2021), 7. Uluslararası İş Güvenliği Ve Çalışan Sağlığı Kongresi, Korozyonun iş kazalarına etkisi, İstanbul