



**ERGİTMELİ KAYNAK YÖNTEMLERİYLE KAYNATILAN GRADE-A  
GEMİ SACININ İMALAT AŞAMASINDA KAYNAK BÖLGESİNİN  
KOROZİF KARAKTERİSTİĞİ**

**Mesut GÜLTEKİN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**METAL EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2019**

Mesut GÜLTEKİN tarafından hazırlanan “ERGİTMELİ KAYNAK YÖNTEMLERİYLE KAYNATILAN GRADE-A GEMİ SACININ İMALAT AŞAMASINDA KAYNAK BÖLGESİNİN KOROZİF KARAKTERİSTİĞİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi METAL EĞİTİMİ Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi Henifi ÇİNİCİ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

**Başkan :** Prof. Dr. Behçet GÜLENÇ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

**Üye :** Doç. Dr. Arif UZUN

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kastamonu Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 11/ 01 / 2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazılım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhimde doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mesut GÜLTEKİN

11/01/2019

ERGİTMELİ KAYNAK YÖNTEMLERİYLE KAYNATILAN GRADE-A GEMİ  
SACININ İMALAT AŞAMASINDA KAYNAK BÖLGESİNİN KOROZİF

KARAKTERİSTİĞİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Mesut GÜLTEKİN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2019

ÖZET

Gemilerin denize indirilmeden önceki imalatı esnasında atmosferik koşullara maruz kalmaktadır. Maruz kalınan atmosferik koşullar gemi imalatında kullanılan çeliklerin korozyona uğramasına neden olmaktadır. Yapılan bu çalışmada, gemi imalat esnasında kullanılan ergitmeli kaynak yöntemlerinin Grade A gemi sacının korozyon öncesi ve korozyon sonrası mekanik özelliklerindeki değişimi ortaya koymak amaçlanmıştır. Bu amaçla Grade-A gemi sacları gazaltı, tozaltı ve örtülü elektrod ark kaynak yöntemleri ile birleştirilmiştir. Daha sonra bu sacların bir kısmı nötral tuz püskürtme işlemine tabi tutulmuştur. Nötral tuz püskürtme işlemine tabi tutulan ve tutulmayan sacların sertlik, çekme dayanımı ve eğme dayanımlarındaki değişimler ortaya konulmuştur. Yapılan çalışmada, gaz altı kaynak yöntemiyle birleştirilen saclarda daha düşük oranda kırmızı pas meydana geldiği ve korozyon sonrası çekme dayanımı ile eğme dayanımlarında daha düşük oranda azalma meydana geldiği görülmüştür.

Bilim Kodu : 91513  
Anahtar Kelimeler : Korozyon, gemi sacı, ergitmeli kaynak yöntemleri, kaynak bölgesi  
Sayfa Adedi : 93  
Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Henifi ÇİNİCİ

CORRESPONDING TO THE RESOURCE REGION IN THE PRODUCTION STORE  
OF GRAY-A SHIP SILICON BOILED BY MOLECULAR WELDING METHODS

(M. Sc. Thesis)

Mesut GÜLTEKİN

GAZİ UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE SCIENCES

January 2019

ABSTRACT

It is exposed to atmospheric conditions during the manufacture of ships before launching. Exposed atmospheric conditions cause corrosion of the steels used in shipbuilding. In this study, it is aimed to reveal the change in the pre-corrosion and post-corrosion mechanical properties of the Grade A ship sheet metal during the process of smelting. For this purpose, Grade-A ship plates are combined with arc, arc and submerged arc arc welding methods. Some of these sheets were then subjected to neutral salt spraying. Changes in the hardness, tensile strength and bending strengths of the sheets not subjected to neutral salt spraying process were determined. In the study, it was seen that a lower rate of red rust occurred in the sheets joined with the gas-welded welding process and a lower rate of post-corrosion tensile strength and bending strengths decreased.

Science Code : 91513

Key Words : Corrosion, ship plate, melt welding methods, welding region

Page Number : 93

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Henifi ÇİNİCİ

## TEŞEKKÜR

Bu tezin yapılmasında ki tüm aşamalarda; araştırılmasında, planlanmasında ve yürütülmesinde her türlü yardımını esirgemeyen, bana vakitlerini ayırarak çok kıymetli bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren Yüksek Lisans tez danışmanım çok değerli Hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Henifi ÇİNİCİ' ye sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Tezimin her aşamasında yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Öğretim Üyeleri, kıymetli Hocam Sayın Doç. Dr. Behçet Gülenç' e teşekkür ederim.

Tezimin literatür ve yazım sürecinde teknik bilgilerini esirgemeyen arkadaşlarım Ümit ÖZKARA' ya Yasin EKER' e, Osman KURT' a teşekkür ederim.

Ve son olarak maddi ve manevi yardımı esirgemediğim yanımda oldukları için Aileme teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

|                                                                  | <b>Sayfa</b> |
|------------------------------------------------------------------|--------------|
| ÖZET .....                                                       | iv           |
| ABSTRACT.....                                                    | v            |
| TEŞEKKÜR.....                                                    | vi           |
| İÇİNDEKİLER .....                                                | vii          |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....                                        | x            |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....                                         | xi           |
| RESİMLERİN LİSTESİ .....                                         | xiii         |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....                                     | xv           |
| 1. GİRİŞ.....                                                    | 1            |
| 2. GEMİ ENDÜSTRİSİ, GEMİ YAPIMI, GEMİCİLİK SEKTÖRÜ .....         | 7            |
| 2.1. Gemi Endüstrisinin Dünya İçin Önemi .....                   | 7            |
| 2.2. Gemi İmalatında Kullanılan Çelik Malzemeler.....            | 8            |
| 2.3. Normal Mukavemetli Tekne Yapım Çeliği .....                 | 10           |
| 2.4. Yüksek Mukavemetli Tekne Yapım Çeliği .....                 | 11           |
| 2.5. Paslanmaz ve Aside Dayanıklı Çelikler .....                 | 13           |
| 2.5.1. Ferritik Cr çelikleri.....                                | 14           |
| 2.5.2. Östenitik Cr-Ni çelikleri.....                            | 15           |
| 3. GEMİ İMALATINDA KULLANILAN BAŞLICA KAYNAK YÖNTEMLERİ .....    | 17           |
| 3.1. Kaynağın ve Kaynak Kabiliyetinin Tarifi .....               | 18           |
| 3.1.1. Çeliklerin ergitme kaynağında kaynak kabiliyeti .....     | 21           |
| 3.2. Gemi İmalatında Sıklıkla Kullanılan Kaynak Yöntemleri ..... | 21           |
| 3.2.1. Örtülü elektrot ark kaynağı .....                         | 23           |
| 3.2.2. Gaz altı kaynağı .....                                    | 24           |
| 3.2.3. Oksi-asetilen Kaynağı.....                                | 27           |

|                                                                   | <b>Sayfa</b> |
|-------------------------------------------------------------------|--------------|
| 3.2.4. Toz altı kaynağı .....                                     | 28           |
| 3.2.5. Sürtünme kaynağı.....                                      | 31           |
| <b>4. KAYNAK BÖLGESİ VE ITAB .....</b>                            | <b>33</b>    |
| <b>5. KOROZYON.....</b>                                           | <b>37</b>    |
| 5.1 Korozyon Süreci.....                                          | 38           |
| 5.2. Korozyon Türleri .....                                       | 39           |
| 5.2.1. Homojen dağılımlı korozyon .....                           | 40           |
| 5.2.2. Galvanik korozyon .....                                    | 40           |
| 5.2.3. Aralık korozyonu.....                                      | 41           |
| 5.2.4. Çukurcuk korozyonu.....                                    | 42           |
| 5.2.5. Taneler arası korozyonu .....                              | 43           |
| 5.2.6. Gerilmeli korozyon .....                                   | 44           |
| 5.2.7. Hidrojen kırılgenliği.....                                 | 45           |
| 5.2.8. Yorulmalı Korozyon .....                                   | 46           |
| 5.2.9. Seçici Korozyon .....                                      | 47           |
| 5.2.10. Erozyonlu Korozyon.....                                   | 47           |
| 5.2.11. Mikrobiyolojik Korozyon .....                             | 49           |
| <b>6. GEMİLERDE KOROZYON HASARLARI.....</b>                       | <b>51</b>    |
| 6.1. Gemi Pervanesinde Korozyon .....                             | 52           |
| 6.2. Deniz Suyu Devresinde Korozyon .....                         | 53           |
| 6.2.1. Deniz suyundaki çözünmüş katılar .....                     | 54           |
| 6.3. Gemi Makineleri Isı Değiştiricisinde (Cooler) Korozyon ..... | 55           |
| 6.4. Gemi Buhar Türbinlerinde Korozyon .....                      | 55           |
| 6.5. Gemi Makineleri Yataklarında Korozyon .....                  | 56           |
| 6.6. Gemi Ambarı ve Tanklarında Korozyon .....                    | 57           |
| <b>7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....</b>                               | <b>59</b>    |

|                                                                                  | <b>Sayfa</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 7.1. Malzeme .....                                                               | 59           |
| 7.2. Deneysel Yöntem .....                                                       | 59           |
| 7.2.1. Grade-A gemi sacının tozaltı kaynak yöntemiyle birleştirilmesi.....       | 60           |
| 7.2.2. Grade -A gemi sacının elektrik ark kaynak yöntemiyle birleştirilmesi .... | 60           |
| 7.2.3. Grade-A gemi sacının gaz altı kaynak yöntemiyle birleştirilmesi .....     | 61           |
| 7.2.4. Korozyon Testleri.....                                                    | 62           |
| 7.2.5. Test Programı.....                                                        | 62           |
| 7.3. Kaynaklı bağlantıların mekanik testlere hazırlanması.....                   | 67           |
| 7.4. Kaynaklı Bağlantılara Uygulanan Testler .....                               | 67           |
| 7.4.1. Kaynak dikişlerinin optik mikroskop ve SEM analizi .....                  | 67           |
| 7.4.2. Mikro yapı incelemeleri .....                                             | 67           |
| 7.4.3. Çekme deneyi .....                                                        | 68           |
| 7.4.4. Eğme deneyi.....                                                          | 69           |
| 7.4.5. Sertlik testi.....                                                        | 70           |
| <b>8. DENEYSEL BULGULAR .....</b>                                                | <b>71</b>    |
| 8.1. Mikroyapısal Karakterizasyon.....                                           | 71           |
| 8.2. Sertlikler .....                                                            | 75           |
| 8.3. Eğme Testi.....                                                             | 78           |
| 8.4. Çekme Deneyi .....                                                          | 80           |
| 8.5. Korozyon Deneyi.....                                                        | 84           |
| <b>9. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>                                                | <b>87</b>    |
| 9.1. Öneriler.....                                                               | 88           |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                           | <b>89</b>    |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                                            | <b>93</b>    |

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| Çizelge                                                                              | Sayfa |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 2.1. Loyd kuruluşları.....                                                   | 8     |
| Çizelge 2.2. Çelik kalitelerinin standart karşılığı.....                             | 10    |
| Çizelge 2.3. Normal mukavemetli çeliklerin kimyasal bileşimleri .....                | 11    |
| Çizelge 2.4. Yüksek mukavemetli gemi inşa çeliğinin genel kimyasal bileşimleri. .... | 12    |
| Çizelge 2.5. Yüksek mukavemetli tekne yapım çeliklerinin genel mekanik özellikleri   | 13    |
| Çizelge 3.1. Karbon eşdeğerliğine göre ön tavlama sıcaklıkları .....                 | 21    |
| Çizelge 3.2. Bazı yanıcı gazların fiziksel özellikleri .....                         | 27    |
| Çizelge 5.1. Deniz ortamında kullanılan metaller için tipik galvanik seri.....       | 41    |
| Çizelge 7.1. Grade-A gemi sacının kimyasal ve fiziksel özellikleri.....              | 59    |
| Çizelge 7.2. Tozaltı kaynak telinin ve kaynak metalinin kimyasal analizi.....        | 60    |
| Çizelge 7.3. Fox Ev 60 8018 Ø 2,5x450 elektrik ark kaynağı numunesi .....            | 61    |
| Çizelge 7.4. Oerlikon Ø1,2 MG2 masif Gaz altı teli numunesi.....                     | 61    |
| Çizelge 7.5. Korozyon test cihazları modelleri.....                                  | 62    |
| Çizelge 7.6. Korozyon Testi uygulama değerleri (parametreleri) .....                 | 65    |
| Çizelge 8.1. Sertlik değerleri .....                                                 | 75    |
| Çizelge 8.2. Korozyon sonrası eğme dayanımlarındaki değişimler .....                 | 80    |
| Çizelge 8.3. Korozyon sonrası çekme dayanımlarındaki değişimler.....                 | 84    |
| Çizelge 8.4. Korozyon Test Sonuçları .....                                           | 85    |

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil                                                                                                                              | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 3.1. DIN 8528'e göre kaynak kabiliyetine etki eden faktörlerin şematik gösterimi.....                                        | 20    |
| Şekil 3.2. Örtülü elektrot ark kaynağının (şematik) gösterimi .....                                                                | 24    |
| Şekil 3.3. TIG Gaz altı kaynak tekniğinde ark oluşturma işlemi ve torcun şematik gösterimi.....                                    | 25    |
| Şekil 3.4. Toz Altı Kaynak Yöntemi Çalışma Prensibi .....                                                                          | 29    |
| Şekil 3.5. Tozaltı kaynağı şematik gösterimi.....                                                                                  | 30    |
| Şekil 3.6. Sürtünme kaynağında, parçaların hareketlerinin türleri .....                                                            | 32    |
| Şekil 4.1. Isının etkisi altındaki bölgedeki (ITAB) tane yapısı değişimi.....                                                      | 34    |
| Şekil 4.2. Kaynak sırasında ısının etkisi altındaki bölge (ITAB) .....                                                             | 35    |
| Şekil 5.1. Kuru ve ıslak ortam korozyonunun atomik düzeyde tepkileri.....                                                          | 38    |
| Şekil 5.2. Homojen korozyon .....                                                                                                  | 40    |
| Şekil 5.3. Galvanik Korozyon.....                                                                                                  | 40    |
| Şekil 5.4. Aralık korozyonunun mekanizması.....                                                                                    | 42    |
| Şekil 5.5. Çukurcuk korozyonunun mekanizması .....                                                                                 | 43    |
| Şekil 5.6. Paslanmaz çelikte tane sınırlarında krom karbür çökmesi.....                                                            | 44    |
| Şekil 5.7. Metal içine hidrojen atomu penetrasyonu.....                                                                            | 46    |
| Şekil 5.8. Pirinç (Cu-Zn) malzemelerde seçici korozyon .....                                                                       | 47    |
| Şekil 5.9. Erozyonlu korozyon.....                                                                                                 | 48    |
| Şekil 5.10. Kaviteasyon olayının meydana gelişi.....                                                                               | 49    |
| Şekil 7.1. ASTM-E8 standardına göre çekme test numunesi ölçüleri .....                                                             | 68    |
| Şekil 7.2. ASTM A263-12 standardına göre eğme numunesi. ....                                                                       | 69    |
| Şekil 7.3. Sertlik testi planı .....                                                                                               | 70    |
| Şekil 8.1. Grade-A gemi saclarının ana metal, geçiş bölgesi ve kaynak metallerindeki sertlik değişimlerini gösteren grafikler..... | 77    |

| <b>Şekil</b>                                                                                                                                           | <b>Sayfa</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 8.2. Elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiş Grade A gemi sacının eğme dayanımı grafikleri; a) korozyon öncesi b) korozyon sonrası.....   | 79           |
| Şekil 8.3. Korozyon öncesi ve sonrası Eğme Dayanımları .....                                                                                           | 80           |
| Şekil 8.4. Elektrik Ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiş Grade A gemi sacının çekme dayanımı grafikleri; a) korozyon öncesi b) korozyon sonrası ..... | 82           |
| Şekil 8.5. Ergitmeli kaynak yöntemi ile birleştirilmiş Grade A gemi sacının korozyon öncesi ve korozyon sonrası çekme dayanımı grafikleri. ....        | 83           |
| Şekil 8.6. Ergitmeli kaynak yöntemi ile birleştirilmiş Grade A gemi sacının korozyon öncesi ve korozyon sonrası çekme dayanımı grafikleri. ....        | 84           |
| Şekil 8.7. Kaynaklı birleştirmelere ait makro yapı resimleri .....                                                                                     | 85           |

## RESİMLERİN LİSTESİ

| Resim                                                                              | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Resim 2.1. Yapım aşamasında bir gemi.....                                          | 8     |
| Resim 5.1. Malzeme yüzeyindeki aralık korozyonu görüntüsü.....                     | 42    |
| Resim 5.2. Gemi uskurunda görülen çukurcuk korozyonu.....                          | 43    |
| Resim 5.3. Gerilmeli korozyon çatlağı .....                                        | 45    |
| Resim 5.4. Yorulmalı korozyon.....                                                 | 47    |
| Resim 5.5. Gemilerdeki boru tesisatında erozyonlu korozyon .....                   | 48    |
| Resim 5.6. Gemi pervanelerinde kavitasyon .....                                    | 49    |
| Resim 5.7. Gemi uskurunda görülen kavitasyon korozyonu .....                       | 49    |
| Resim 6.1. Gemide bakım onarım .....                                               | 51    |
| Resim 6.2. Bakıma ihtiyacı olan bir gemi parçası .....                             | 51    |
| Resim 6.3. Korozyona uğramış bir pervane.....                                      | 53    |
| Resim 6.4. Gemi yataklarında korozyon.....                                         | 56    |
| Resim 6.5. Gemi ambar kesiti.....                                                  | 58    |
| Resim 6.6. Bakımsız balast tank .....                                              | 58    |
| Resim 7.1. Korozyon Testi öncesi numune resimleri .....                            | 63    |
| Resim 7.2. Korozyon Testi öncesi numune test kabini içinde iken çekilen resim..... | 64    |
| Resim 7.3. Korozyon Testi sonrası numune resimleri .....                           | 66    |
| Resim 7.4. ASTM-E8 standardına göre üretilen çekme test numunesi .....             | 68    |
| Resim 7.5. Eğme deneyi öncesi numune görüntüsü .....                               | 70    |
| Resim 8.1. Gaz altı kaynağı (korozyon öncesi) mikroyapısı .....                    | 72    |
| Resim 8.2. Gaz altı kaynağı (korozyon sonrası) mikroyapısı .....                   | 72    |
| Resim 8.3. Elektrik ark kaynağı (korozyon öncesi) mikroyapısı.....                 | 73    |
| Resim 8.4. Elektrik ark kaynağı (korozyon sonrası) mikroyapısı .....               | 73    |
| Resim 8.5. Tozaltı kaynağı (korozyon öncesi) mikroyapısı .....                     | 74    |
| Resim 8.6. Tozaltı kaynağı (korozyon sonrası) .....                                | 74    |

**Resim****Sayfa**

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| Resim 8.7. Eğme deneyi uygulanan numunelerin makro görüntüleri ..... | 78 |
|----------------------------------------------------------------------|----|



## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

| <b>Simgeler</b>         | <b>Açıklamalar</b>                      |
|-------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Al</b>               | Alüminyum                               |
| <b>C</b>                | Karbon                                  |
| <b>°C</b>               | Celsius Derece                          |
| <b>Cu</b>               | Bakır                                   |
| <b>Cr</b>               | Krom                                    |
| <b>Fç</b>               | Çekme Kuvveti                           |
| <b>g/cm<sup>3</sup></b> | Gram/Santimetreküp                      |
| <b>HRB</b>              | Rockell B Sertlik Birimi                |
| <b>HRc</b>              | Rockell C Sertlik Birimi                |
| <b>kN</b>               | Kilo Newton                             |
| <b>m<sup>2</sup></b>    | Metrekare                               |
| <b>m<sup>3</sup></b>    | Metreküp                                |
| <b>Mg</b>               | Magnezyum                               |
| <b>mm/dak</b>           | Milimetre/Dakika (Kaynak İlerleme Hızı) |
| <b>Mn</b>               | Mangan                                  |
| <b>Mo</b>               | Molibden                                |
| <b>MPa</b>              | Mega Pascal                             |
| <b>µm</b>               | Mikro Metre                             |
| <b>N</b>                | Azot                                    |
| <b>Nb</b>               | Niobyum                                 |
| <b>Ni</b>               | Nikel                                   |
| <b>P</b>                | Fosfor                                  |
| <b>S</b>                | Kükürt                                  |
| <b>Si</b>               | Silisyum                                |
| <b>Ti</b>               | Titanyum                                |
| <b>V</b>                | Vanadyum                                |

## Kısaltmalar Açıklamalar

|               |                                                                      |
|---------------|----------------------------------------------------------------------|
| <b>AISI</b>   | American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü) |
| <b>ASTM</b>   | American Society for Testing and Materials                           |
| <b>DIN</b>    | Alman Endüstri Normları                                              |
| <b>DWT</b>    | Deadweight Tonnage (Geminin Taşıyabileceği En Çok Ağırlık)           |
| <b>EDS</b>    | Enerji Dispersive Spectrum (Enerji Dağıtıcı Spektrum)                |
| <b>HSLA</b>   | High Strength Low Alloy (Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli)          |
| <b>ITAB</b>   | Isı Etkisi Altındaki Bölge                                           |
| <b>LNG</b>    | Liquified Natural Gas (Sıvılaştırılmış Doğal Gaz)                    |
| <b>LPG</b>    | Liquified Petroleum Gas (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı)                |
| <b>MAG</b>    | Metal Active Gas (Metal Aktif Gaz)                                   |
| <b>MIG</b>    | Metal Inert Gas                                                      |
| <b>MKE</b>    | Makine Kimya Endüstrisi Kurumu                                       |
| <b>NSS</b>    | Notr Salt Sprey (Nötr Tuz Püskürtme)                                 |
| <b>OM</b>     | Optik Mikroskop                                                      |
| <b>SEM</b>    | Scanning Electron Microscope (Elektron Tarayıcı Mikroskop)           |
| <b>TEM</b>    | Transmission Electron Microscope (Geçirimli Elektron Mikroskopu)     |
| <b>TIG</b>    | Tungsten Inert Gas                                                   |
| <b>TURKAK</b> | Türk Akreditasyon Kurumu                                             |
| <b>TW</b>     | Thermit Welding (Termit Kaynağı)                                     |
| <b>XRD</b>    | X-Ray Diffraction (X-Işınımı Yayınımı)                               |
| <b>YMDA</b>   | Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli                                    |
| <b>YMK</b>    | Yüzey Merkezli Kübik                                                 |

## 1. GİRİŞ

Gemi yapım endüstrisinin değeri yıllar geçtikçe artmaktadır. Zira küresel ticaret kapasite ve potansiyelinin neredeyse yüzde 95'i deniz aracılığıyla yapılan lojistikle sağlanmaktadır. Bu yüzden teknolojik ve maddi yönden nitelikli ve dayanıklı gemi üretimi şarttır. Uluslararası ticaretin deniz yoluyla yapılan lojistikle sağlanması, ülkemizde de başka ülkelerde de gemi imalatı/ isteğini ortaya koymaktadır. Filo sahiplerinin gemilerini restore gereksinimleri, enternasyonal ilkeler, popüler ve güncel lojistik felsefesi, ABD ve AB devletlerinin sınırlamaları vs. mecburiyetler de gemi üretim sahasının ilerlemesini sağlayan etkenlerdir. Gemi yapımı endüstrisi, temelde farklı sanayi mamullerinin sentezini kapsayan bir üretim sanayiidir. Çelik, makine üretimi, elektrik-elektronik, boya ve lastik, plastik sanayii vb. pek çok yardımcı sanayii alanlarının yaşamasına ve ilerlemesine fayda sağlamaktadır. Türkiye'deki gemi inşa ve imalat sanayii; sıfırdan gemi üretimi, yat imalatı, gemi onarımı ve restorasyonu, gemi yardımcı endüstrisi ve çelik konstrüksiyon hizmetleri gibi sahaları kapsamaktadır. Teknik sahalardaki ilerlemeler gemi imalat alanına etki etmektedir. Bu açıdan nitelikli ve az masraflı gemilerin imalatıyla araştırma-geliştirme faaliyetleri gemi üreten kişi ve kurumların küresel yarışı açısından son derece önemlidir. Bu açıdan nitelikli projeyle ekonomik ve nitelikli gemi imalatı yapılarak bu yarış için üreticilerin eli güçlenmektedir [1, 15].

Gemi yapımı endüstrisinde çeşitli çelik saclar kullanılmaktadır. Bu çelik saclardan Grade A, seri biçimde imal edilmektedir. Metal gemilerin inşalarının niteliği, sağlamlığı ve az maliyetli olması; yine aynı şekilde gemilerin kaynak bağlantılarının niteliğiyle, sağlamlığıyla ve az maliyetli olmasıyla irtibatlıdır. Gemi konstrüksiyonunda kaynaklı üretim biçimi, imalatın neredeyse tümünü kapsamaktadır. Örtülü elektrotlarla ark kaynağı gemi imalatında belirli bir zaman iş görse de bu metodun negatif/olumsuz yönleri sebebiyle kısmen otomatik bir metot sayılan gaz altı metotları yaygınlaşmıştır. Elektrot değiştirmek amacıyla sarf edilen süreden kurtulmak, kaynağın başında ve sonunda çokça görülen küçük delik ve çatlakların engellenmesi, kısmen otomatik kabul edilen bu metodun kaynak yapanlarca uygulanmasının zor olmaması, gaz altı kaynak yönteminin avantajlarıdır. Otomatik taşıyıcı sistemlerle ve kaynak robotlarıyla uyuma imkân vermesi sebebiyle gaz altı kaynak metotları gemi inşasında en fazla kullanılan metotlardan bir tanesidir [2-4,15]. Japon gemilerinde tüm kaynak metotları içerisinde kullanma miktarı yüzde yetmiş-seksen civarında özlü telle gaz altı metotlarıdır. Özlü tel elektrotun, katı tel

elektroda oranla; dolgu performansının çok yüksek olması, öz maddesi sayesinde kaynak sırasında koruyucu koşullar oluşturmaları, sıçrama kayıplarının az olması, kaynak hızının fazla olması ve derin nüfuziyet özelliğine sahip olması gibi gerekçelerden dolayı kullanımı giderek artmıştır. [2,15].

Gemicilik alanında kaynak dikişlerinin dayanımı, nüfuziyete göre daha fazla önem arz etmektedir. Toz altı kaynağı yöntemi ile birleştirme en uygun sonucu vermektedir. Tek tel kullanımından çoklu tel kullanımına kadar kurulu toz altı sistemleri bulunmaktadır. Üretim hatlarında kalın malzemelerin kaynaklarında genellikle tandem ve üçlü tel kullanılan makineler bulunmaktadır. Klasik kaynak makinaları ile sadece düz alın ve köşe pozisyonlarındaki kaynakları yapılabilmektedir. Çok yüksek amper kullanılarak yapılan bu yöntemde başlangıç ve sona konulan lamaların kaynatılacak sac kalınlığında ve kaynak ağzına uygun olması sağlanırsa; uygun nüfuziyete sahip kaynak dikişleri oluşturmaktadır. [2,5,15].

Çağımızda bilim ve tekniğin ilerlemesiyle birlikte robotik teknoloji, melez (sentez) kaynak ve lazer kaynağı gibi metotlardan, gemi üretim alanında amacına uygun ve iyi sonuçlar alacak biçimde, yararlanılmaktadır.[6,7]. Gemi üretiminde yüksek niteliğin sağlanması ve amaçlanan servis gereksinimlerinin elde edilmesi amacıyla birtakım konu maddelerinin önemsenmesi gereklidir. Bunları şöyle sıralayabiliriz [15]:

- Gemi üretim çeliklerinin özellikleri ve mekanik niteliklerinin saptanması,
- Kaynak metodu ile dolgu metalinin isabetli ve uyumlu bir biçimde tercih edilmesi,
- Kaynak sırasında fazla ısınma neticesinde ortaya çıkan şekil bozulmalarının sebepleri ve çözümleri,
- Kaynak planları ve kaynak ölçütlerinin tercihi.

İmalatta kaynak tercihi isabetli olmalı, kaynak niteliğinin denetimi önemsenmeli, uygulanacak kaynak boyutları ve önceliği evvelden saptanmalıdır. Nüfuziyet durumu, kaynak konumu, elektrot randımanı, ergime kuvveti, malzeme niteliği elverişli olan kaynak metodu tercih edilmelidir [2,5,15].

Gemi gibi yük taşıyan malzemelerin dinamik yüklere karşı davranışı oldukça önemli olup, dinamik yükler altında göstereceği kırılmaların mekanizmaları, mekanik özellikler ile

mikroyapı ilişkilerinin belirlenmesi üretilen konstrüksiyonların daha güvenli olmaları bakımından oldukça önemlidir. Bu nedenle bu tür malzemelerin bazı mekanik özellikleri üzerine yapılan çalışmalar özellikle yorulma ve kırılma tokluğu üzerine yapılan çalışmalardır [8,10,15].

Bütün yeryüzünde malzemelerin, ağırlık ve dayanımının, can, mal, ulusal varlık kaybına sebep olan kazaların nedeni olarak gösterilmektedir. Diğer taraftan bakım, tamirat, maliyet, süre vb. değişken, ölçüt ve faktörlerin fazlalaşmasına yol açan korozyonların gemi inşaatı alanını uğrattığı kayıp bilinmektedir. Gemi inşaatı başka bir ifadeyle tersanecilik alanında korozyonla alakalı problemler net şekilde görülmektedir. Korozyon koşullarının en gözle görülür olduğu yerler, deniz kıyısı ile deniz suyudur. İnsanoğlu, gemiden istifade etmeye tarih öncesi devirlerde başlamıştır. Su üstünde duran ağaç parçalarından esinlenilerek içi yontulan ağaç gövdelerinden ilkel gemiler oluşturulmuştur. Belli bir süre sonra gemi yapımı sektörü, yeni icat ve keşiflere şahit olmuştur. Kalın kerestelerden gemi tekneleri üretilmiştir. Ek yerleri çeşitli malzemelerle sağlamlaştırılarak su geçirmez duruma getirilmiştir. Bu ilkel gemilerin baş ve kıç bölümleri gergi halatları aracılığıyla birbirlerine bağlanmaktadır. Eski Mısırlıların MÖ 3000’de bu biçimdeki primitif teknelerden yararlandıkları bilinmektedir. Akdeniz’de Finikeliler, Eski Yunanlılar, Romalılar; kuzeyde İskandinavlar gemi yapımında önemli aşama kaydetmişlerdir. Söz konusu medeniyetler; omurgaları ile postaları olan gemiler inşa etmişlerdir. Bunların harekete geçirilmesinde rüzgâr gücü ile insan gücünden yararlanılmıştır. Bu ilkel gemilerin içerisinde elli kürekli ve altmış metreye değin olanları mevcuttu [16]. Bilim, teknoloji ve uygarlığın gelişmesiyle olanaklar fazlalaşmış, gereksinimler artmıştır. Kürek ve yelken gücüyle gemilerin istenen hıza ulaşması zorlaşmıştır. En nihayetinde mekanik kuvvetle devinimi sağlanan gemiler inşa edilmeye başlanmıştır. 1788’de İngiltere’de ilk buharlı gemi inşa edilmiştir. Daha sonra Amerika’da Clermont isminde kırk iki metre boyunda, yandan çarklı buharlı geminin yapımı bitirilmiştir. Savannah isimindeki başka bir Amerikan gemisinin 1829’da Atlantik’i aşması ise dünyada ilk defa gerçekleşen bir olaydır [16]. Mekanik kuvvetten gemi için faydalanılması neticesinde daha büyük gemilerin yapılmasına olanak bulunmuştur. Ama ağaç direnç açısından büyük gemilerin inşasına imkân vermediği için on dokuzuncu asırda demir ve çelik gemilerin inşaatı başlanmıştır. Önceden demir ile ahşap sentezi gemiler yapılmakta, gemilerin omurga ve postaları demirden dış kaplama ve güverteleri ahşaptan yapılmaktadır. Demirden yapılan ilk gemiler içinde en tanınanlarıysa şunlardır [16]:

- 1843'te İngiltere'de üretilen boyu 87,23 metre, eni 15,56 metre, yüksekliği 9,91 metre ve deplasmanı 3000 ton olan “Muazzam Britanya”;
- Gene İngiltere'de üretilen 207 metre boy, 25 metre genişlik, 17 metre yükseklik ve 2700 ton kütlesindeki “Muazzam Britanya” gemisi.

Bu gemilerin pervaneleri ve yandan iki tane çarkı bulunmaktadır. On dokuzuncu asrın 2. elli yılında daha hızlı gemiler 2 ve üstünde sayıda pervaneli biçimde üretilmiştir. Yirminci asırda gemi yapımında daha ciddi atılımlar yapılmış, hem yüksek hıza sahip hem de lüks ve rahat gemi yapımı devam etmiştir. 291 metre boyunda olan “Bismark”, o yıllarda yeryüzünün en büyük gemisidir. Daha sonra 1929 senesinde üretilen “Europa”, “Bremen” ve “Queen Elisabeth” o yıllardaki en gösterişli gemiler olarak tarihteki yerini almıştır[16]. Yirminci asırda, gemilerde motor gücünden yararlanılmaya başlandı ve bunun sonucunda da gemi yapımı hızlı bir biçimde ilerledi. Gemi yapımı teknolojisi de çağımıza dek son derece hızlı, amacına uygun ve iyi sonuç alacak biçimde ilerledi. Bugün, gemi yapımında elektrik kaynağından yüksek oranda yararlanılmakta; bunun için de çelik, alüminyum ve yapay malzemelerden faydalanılmaktadır. Model deneyimleri sayesinde gemiler en uygun biçimlere sokularak tasarruf ve kusursuzluk sağlanmaktadır [16].

Bir gemi, su üstündeki bir kompleks ya da evi gibi kabul edilebilir. Bu yüzden, gemi yapımında kullanılan gereç ve malzemeler günlük hayattakilerin tamamını içine alabilir. Örnek verecek olursak yaşam ortamlarında faydalanılan yanmaz panellerde yanmaz yalıtım madde ve gereçleri (taş yünü, cam yünü vb.) ve estetik bir kaplama (genelde sentetik madde) içinde olduğu, kablo tesisatında bakır ile plastik yalıtım maddeleri, mobilyada ahşap, kumaş ve köpük vb. maddeler olduğu, koridor tabanında beton olduğu saptanacaktır. Bu çalışmada ele alınacak malzeme yalnızca geminin gövde sistemini kapsayan bölümlerde kullanılan malzemelerdir. İlkesel açıdan ticari gemilerin birinci dereceden malzemesi çeliktir. Yapı kütlesinin önemsendiği gemilerde plastik veya FRP (lifli polimer) yanında Alüminyum ya da elyaftan faydalanılır [17]. Günümüzde de seyahat gemilerinin çok büyük bir kısmı kısmî olarak ya da komple ahşaptan üretilmiştir. Bunun yanı sıra yüzen havuzların tabanları, birtakım dubalar ve dibe oturan açık deniz petrol platformlarının inşaatlarında sağlamlaştırılmış betondan yararlanılmıştır ve yararlanılmaya devam edilmiştir [17].

Gemi yapımında çoğu zaman yararlanılan çelik; değer, nitelik ve ulaşılabilirlik açısından elverişli olan ve sert olmayan çeliklerdir. Düşük ve yüksek ısıda biçim vermeye ve kaynak yapmaya elverişli olan bu çelikleri işleme sıcaklıklarında mekanik özelliklerinde ciddi bir değişiklik saptanmaz. Fakat çok soğuk ortamlarda darbe direncini yitirerek yumuşar, kırılmaya müsait hal alır ve iç yapıda kırılmaya sebep olabilir [18]. Çelikten gemi yapımında faydalanabilmek amacıyla, gemiyi belgeleyecek klas kuruluşu tarafından, çeliğin kontrol edilmesi, denenmesi ve damgalanması gereklidir. Klas müesseseleri, gemi yapımında faydalanılan çelikleri belli bir sınıflandırmadan geçirerek bu çeliklere A'dan E'ye kadar semboller vermiştir. Örneğin Grade A ve B yumuşak çelik çeşitleridir. Klas ilkeleri hangi tür çeliklerden hangi koşullarda yararlanılacağını ve mekanik özelliklerin ne olması gerektiğini belirli ve anlaşılır bir biçimde ortaya koyar. Çoğu zaman gerilmelerin fazla olduğu büyük tankerler ile dökme yük gemileri ve kütlenin kritik olduğu harp gemileri, Ro-Ro ve yolcu gemileri vb. yapılarda yüksek gerilim çeliklerinden faydalanılır. Benzer biçimde, soğutularak sıvılaştırılan LPG ve LNG taşıyan gemilerin tanklarında soğuk ortamda kırılma eğilimi olan ve tanklarında korozyon etkisi yüksek maddeler taşıyan tankerlerdeyse korozyona dirençli çelik malzemelerden faydalanılır [18].

Gemi üretim endüstrisinde çok önemli ve kritik olan Grade A kalite gemi sacı, değişik ergitmeli kaynak metodlarıyla birleştirilip korozyon durumlarından bir neticeye ulaşarak gemi inşaatı sanayiinde ilmî done edindirilmek hedeflenmiştir. Buna bağlı olarak bu çalışmada, Grade A kalite gemi sacı gemi üretiminde çoğunlukla kullanılan ergitmeli kaynak metodlarıyla bir araya getirilmiştir. Birleştirilen Grade A gemi sacı; nötral tuz püskürtme yöntemiyle korozyon işlemine tabi tutulmuştur. Ergitmeli kaynak yöntemlerinin birleştirme bölgesinin mekanik ve korozyon özelliği incelenmiştir. Bu amaçla korozyon öncesi ve sonrası eğme, çekme ve sertlik değişimi belirlenmiştir. SEM ve Optik mikroskop yardımıyla mikro yapısal karakterizasyonu yapılmıştır.[19].



## 2. GEMİ ENDÜSTRİSİ, GEMİ YAPIMI, GEMİCİLİK SEKTÖRÜ

### 2.1. Gemi Endüstrisinin Dünya İçin Önemi

Gemiler insan taşıma yoluyla taşımacılık ve ulaşım endüstrisi dalına; petrol ve doğalgaz taşıma yoluyla ve işlenmemiş enerji kaynağı arama-bulma yoluyla enerji endüstri dalına, ticari ve endüstriyel şeyler taşıma yoluyla dış alım-dış satım ve ticarete; savaş gereçleri taşıma ve bizzat savaş ve güvenlik gereci olma yoluyla da güvenlik alanına; yat veya sahil restoranına dönüşerek turizm ile eğlence alanına; balıkçı teknesi olma yoluyla yeme-içme alanına katkı sağlamaktadır. Dolayısıyla hizmet sektörü ve iktisada katkı sağlamaktadır. Yeryüzünün yüzde yetmiş beşinin su olması göz önüne alınırsa bütün alanlarda deniz ulaşımından yararlanılmaya talep olması olağan, zorunlu ve gereklidir. Kara ve hava vasıtalarına oranla daha fazla ticari ürün taşıması, kıtalar arası seyahatlerin kara vasıtaları ile olanaksız olması gibi sebepler; deniz ulaşımının çok mühim ve kritik olduğunu ortaya koymaktadır. Bu derece geniş ve gereksinim duyulan gemi ve gemicilik sanayiinde gemi inşaatı ve imalatı oldukça mühim ve kritiktir. Gemilerin sağlıklı, çetin ve mukavemetli olması, hacim ve potansiyelinin yüksek olması, tüm gereksinimleri karşılaması ise hayat garantisi bakımından ve maddi bakımdan arzu edilen bir şeydir. Denizcilik alanı gider açısından diğer opsiyonlarına (kara, demir ve hava) oranla az masraflı olması, ticari ürün yitiminin daha az olması, nicelik ve boyut açısından bir kerede daha fazla yük taşıması vb. avantajları ile uluslararası ticarete en fazla yeğlenen ağıdır. Denizcilik alanı, ticaret bakımından ele alındığında en mühim ve kritik taşımacılığı bünyesinde barındırır. Maddi kâr ve avantajının son derece fazla olduğu gemi inşaatı alanında giderlerin küçültülmesine hizmet veren araştırmalar yüksek ehemmiyet taşımaktadır.

On yedinci asırda yaşayan ve bir kahvehanesi olan İngiliz Edwart Lloyd, müşterilerinin isteklerini öngörerek müşterileri iş yerine cezbetmek amacıyla dükkânın bir kenarında gemi ve yük sahiplerinin, sigortacıların ve gemi insanların gemilerle alakalı bilgilerini teşhir etmiştir. 1688 yılında ise Edward Lloyd'un öncülüğünde gemi yapımcıları ve sigortacıları bir dernek teşkil etmişlerdir. Ardından hayat, mülk ve çevre emniyetinin oluşturulması için gemilerle alakalı ilkeler meydana getiren teftiş/kontrol örgütleri, kara sanayiinde etkin olan örgütlerle sigorta örgütleri başta olmak şartıyla, “Lloyd” ismi altında çalışmalarına başlamıştır. Bugün bütün ülkelerde vakıf biçiminde meydana getirilen bağımlı olmayan, yansız, profesyonel teftiş/kontrol kurumlarına Lloyd denmektedir. Lloyd

kurumları teknolojik ölçüt ve normları belirlemek ve yürütmek amacıyla kurulan kurumlardır. Pek çok Loyd kuruluşu bulunmaktadır. Bunlardan bazıları Çizelge 2.1.'de mevcuttur [20]:

Çizelge 2.1. Loyd kuruluşları

| KISALTMA | KURUM                        | ÜLKE      |
|----------|------------------------------|-----------|
| ABS      | American Bureau of shipping  | ABD       |
| LRS      | Lloyd's Register of shipping | İngiltere |
| TL       | Türk Loydu                   | Türkiye   |

Loyd gemiler ve denizde yüzer vasıtalar olma koşuluyla, deniz ile alakalı kurumların ve komplekslerin yapımı, düzenlenmesi ve kontrolü ile alakalı teknik normları belirleyen ve yürüten örgütlerdir. Klas kurumunca pratiğe dökülen bu kriterler yazılı ilkeler biçimindedir.

## 2.2. Gemi İmalatında Kullanılan Çelik Malzemeler



Resim 2.1. Yapım aşamasında bir gemi

Gemi Üretiminde çoğu zaman yararlanılan çelik saclar, hareketli yüklerin altında da kolayca işleyebilecek ve kaynak yeterliliği fazla olan %0,15'le %0,23 karbon ihtiva eden ve mangan alaşımı bakımından verimli olan ve sert olmayan çelik başka bir ifadeyle az oranda karbon içeren malzemelerdir. Bu çeşit malzemelerde kaynak kabiliyetine negatif açıdan tesir etmesinden dolayı fosfor ile kükürt asgari düzeyde tutulur (%0,05'ten düşük). Ortaya çıkan sülfür, haddeleme işlemi esnasında çatlamaya yol açabilir. Düşük ısıda, yüksek ısıda şekillendirmeye ve kaynaklı birleştirmeye elverişli olan bu malzemelerin işleme sıcaklıklarında mekanik özelliklerinde ciddi bir farklılık görülmez. Fakat çok soğukta çarpma ve sarsıntılara karşı direncini yitirir, kırılgan hale gelir ve gevrek kırılma ortaya çıkabilir [21].

Tasarımcı, olağan servis şartlarında çatlamaya karşı dirençli malzeme tercih etmelidir. Farklı devamsızlıkların bulunduğu ve yüksek gerilimlerin etkisinde kalan bölgelerde daha fazla çentik sertliğini bünyesinde barındıran çelikten faydalanılmalıdır. Benzer biçimde anormal derecede düşük sıcaklıkların etkisinde kalan bölgelerde kullanılacak çeliklerin de çentik sertlikleri son derece fazla olmalıdır. Gereç ve çeliklerin tercih edilmesi yüksek oranda klaslama kurumlarının ilkeleriyle belirlenmiş olsa bile yapısal iş yapma amacıyla faydalanılacak çeliğin çok farklı çeşitlerinin bulunabilme ihtimali hesaplanmalıdır. Birtakım çelik çeşitleri kontrollü sıcaklık haddeleme, yapısal inceltme ya da normalizasyon vb. metotlardan faydalanılması neticesinde daha da netleşir. Bir çelikten gemi üretiminde faydalanabilmek amacıyla gemiyi belgeleyecek klas kuruluşu tarafından kontrol ve teftiş edilmesi, muayene edilip denenmesi ve soğuk damgalanmış olması gereklidir. Ülkemizin sahip olduğu klaslama kurumu Türk Loydu'dur. Bu kurumun kendine özgü klaslama ilkeleri vardır [16].

Bugün, gemi üretim alanında değişik çelik çeşidinden faydalanılmaktadır: Karbon çeliği, normalin üstünde dirençli çelik ve daha üst derece yüksek dirençli olan düşük alaşımlı çelik. Karbon çeliği, orta derece dirençli bir çeliktir ve Grade A, B, D ve E kalite şeklinde kategorize edilmiştir. Bunların arasında gemi yapımı alanında en fazla yararlanılan A kalite orta derece yumuşak çeliktir. B kalite sac, A kalite saca göre daha iyi bir nitelikte yumuşak çeliktir ve çoğu zaman daha önemli ve stratejik bölgelerde kalın saclar olarak yararlanılır. C, D, E kalite saclarda çarpma ve darbe direnci açısından daha kaliteli çeliktir. Orta derece dirençli yumuşak çeliğin dışında gerilim ve bozulma ihtimalinin fazla olduğu büyük tanker ve dökme yük gemileri ile kütlenin mühim ve kritik olduğu harp gemileri, Ro-Ro ve yolcu gemisi vb. yapılarda üst seviye dirençli ve dayanımlı yani az alaşımlı (HSLA) tekne yapma çeliklerinden faydalanılır. Üst seviye dirençli tekne imalat çeliği farklı dayanım ölçüsünde 32, 36 ve 40 ( $kg/mm^2$ ) olmak kaydıyla kategorize edilir ve tokluk durumuna bakılarak AH, DH, EH ve FH biçiminde isimlendirilir. Aynı biçimde soğukta faydalanılacak olan, örneğin soğutulup akıcılaştırılan LPG ve LNG taşıyan gemilerin tanklarında soğuk koşullarda kırılma hale gelmeyen, korozyon etkisi fazla nesne ve malzeme taşıyan tankerlerin tanklarındaysa ekstradan üst seviye dirence sahip az alaşımlı ve korozyona mukavemet gösterebilen çelik saclardan yararlanılır [21]. Çizelge 2.2'de Erdemir Anonim Şirketinin "çelik niteliklerinin standart karşılığı" gösterilmiştir. Standardına göre sac kalitesi ile bu sacların çoğunlukla yararlanıldığı branşlar ve sacların nitelikleri belirtilmiştir.

Çizelge 2.2. Çelik kalitelerinin standart karşılığı

| Erdemir Kalite Kodu | Çelik Kalitelerinin Standart Muadili |           | Çelik Kalitelerinin Evvelki Standart Muadili |           | Çoğunlukla Yararlanılan Branşlar ve Yararlanma Nitelikleri |
|---------------------|--------------------------------------|-----------|----------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------|
|                     | Standart                             | Kalite    | Standart                                     | Kalite    |                                                            |
| 3701                | ABS-P2-96                            | Grade-A   | ABS-P2-95                                    | Grade-A   | Gemi inşa plakaları                                        |
| 3702                | ABS-P2-96                            | Grade-B   | ABS-P2-95                                    | Grade-B   |                                                            |
| 6704                | ABS-P2-96                            | Grade-D   | ABS-P2-95                                    | Grade-D   |                                                            |
| 3281                | DIN EN 10025-94                      | S235JR G2 | DIN EN 10025-91                              | Fe 460 B  | Atmosfer ve Gaz Korozyonuna Dirençli Sac Levhalar          |
| 6284                | DIN EN 10025-94                      | S355JR G3 | DIN EN 10025-91                              | Fe 510 D1 |                                                            |
| 9960                | JIS G3125-87                         | SPA-H     | CORTEN                                       | A         |                                                            |
| 6252                | DIN EN 10025-94                      | S355JR G3 | DIN EN 10025-91                              | Fe 510 D1 | Üst derece Dayanıklı ve İnce Taneli İmalat Çeliği          |
| 3990                | SAE J1442-93                         | 345F      | SAE J410-84                                  | 950 C     |                                                            |
| 2008                | Erdemir                              | Özel      | Erdemir                                      | Özel      | Boru Profil Üretimi                                        |
| 2009                | ASTM A53-96                          | Grade-A   | ASTM A53-93a                                 | Grade-A   |                                                            |
| 4009                | ASTM A53-96                          | Grade-A   | -                                            | -         |                                                            |
| 3018                | ASTM A283-93a                        | Grade-C   | ASTM A53-93a                                 | Grade-C   | Genel Makine Parçası Üretimi                               |
| 3244                | DIN EN 10025-94                      | S275JR    | DIN EN 10025-91                              | Fe 430 B  |                                                            |

### 2.3. Normal Mukavemetli Tekne Yapım Çeliği

Orta derece nitelikli tekne inşa çeliği, maksimum akma sınırı değeri  $ReH$ , minimum 235 N/mm<sup>2</sup> ve çekme dayanımıysa 400-520 N/mm<sup>2</sup> ölçüsünde olan çeliktir. Orta derece tekne inşa çelikleri dayanıklılık nitelikleri birbirinden başka olan, A, B, D, E niteliklerine bakılarak sınıflandırılır. Bu çalışmada, gemi inşa çelik öğelerinden TL-A (Grade-A) kalitesinde sac kullanılacaktır [16].

Orta derece dirençli tekne inşa çelikleri, gemi üretiminde en çok yararlanılan sacdır. Bu sacdan, üst derece dayanıma gerek duyulmayan yerlerde faydalanılır. Bunlardan, gemilerde dış borda, üst yapı, ambar içi ve denizde ilerlemeyecek (dalga şiddeti etkisi altında olmayacak) ırmağa uygun gemilerde faydalanılır [21].

Orta derece dirençli tekne inşa çelikleri C ölçü karşılığı neredeyse %0,20 ve Mn ölçü karşılığı %0,5-1 aralığındadır. Orta derece dirençli sacların farklılık gösteren niteliklerine göre kimyasal bileşimleri Çizelge 2.3' te gösterilmiştir. Orta derece dirençli tekne inşa çeliklerinin içeriğinde olan birtakım alaşım elementlerinin fonksiyon ve özellikleri [21]:

- Mn ve Si, mukavemet ile sertlik fazlaştırır.

- Al, tane inceltici tesire sahiptir.
- Cu,  $\alpha$ - $\gamma$  geçiş sıcaklığı azaltır.
- Cr, aşınım ile korozyon mukavemeti yükseltir.
- Ni, soğuklarda tokluk fazlalaştırır.
- Mo, sıcaklarda mukavemeti fazlalaştırır.

Çizelge 2.3. Normal mukavemetli çeliklerin kimyasal bileşimleri (Türkloydu, 2008)

| Kalite                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | A                                                                                                                              | B                                                                                                                              | D                                                                                                                                    | E                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Deoksidasyon Yöntemi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | $t \leq 50$ mm için<br>sakinleştirilmemiş<br>çelik hariç diğer<br>yöntemler<br>$t > 50$ mm için<br>tamamen<br>sakinleştirilmiş | $t \leq 50$ mm için<br>sakinleştirilmemiş<br>çelik hariç diğer<br>yöntemler<br>$t > 50$ mm için<br>tamamen<br>sakinleştirilmiş | $t \leq 25$ mm için<br>tamamen<br>sakinleştirilmiş,<br>$t \leq 25$ mm için<br>tamamen<br>sakinleştirilmiş ve<br>taneleri inceltilmiş | Tamamen<br>sakinleştirilmiş<br>ve taneleri<br>inceltilmiş |
| Kimyasal bileşim (%)<br>(eriyik örnekleri)(3)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | (Karbon + 1/6 Mangan) %0.40'ı aşmamalıdır                                                                                      |                                                                                                                                |                                                                                                                                      |                                                           |
| $C_{maks}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 0,21 (1)                                                                                                                       | 0,21                                                                                                                           | 0,21                                                                                                                                 | 0,18                                                      |
| $Mn_{min}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 2,5xC                                                                                                                          | 0,80                                                                                                                           | 0,60                                                                                                                                 | 0,70                                                      |
| $Si_{maks}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 0,50                                                                                                                           | 0,35                                                                                                                           | 0,35                                                                                                                                 | 0,25                                                      |
| $P_{maks}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 0,035                                                                                                                          | 0,035                                                                                                                          | 0,035                                                                                                                                | 0,035                                                     |
| $S_{maks}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 0,035                                                                                                                          | 0,035                                                                                                                          | 0,035                                                                                                                                | 0,035                                                     |
| Al (asitte<br>çözülebilir) $_{min}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | -                                                                                                                              | -                                                                                                                              | 0,015 (1) (2)                                                                                                                        | 0,015 (2)                                                 |
| (1) 25 mm kalınlığın üstündeki D kalite çelik için<br>(2) Kalite E ve kalınlığı 25 mm üzerinde Kalite D için asitle çözeltilebilir kısmı yanma alüminyumun toplam miktarı belirlenebilir. Bu durumda alüminyumun toplam miktarı %0,020'den az olmamalıdır.<br>(3) Eriyikte, aşağıdaki alınanlar için verilen üst sınır değerleri aşılamaz.<br><i>Cu: %0,30; Cr: %0,20; Ni: %0,40; Mo: %0,08</i> |                                                                                                                                |                                                                                                                                |                                                                                                                                      |                                                           |

## 2.4. Yüksek Mukavemetli Tekne Yapım Çeliği

Çağımızda gemilerin dış yapısında, güvertesinde, baş ile kıç direğinde ve yük donanım direğinde üst seviye dirençli çelikten gittikçe fazlalaşacak ölçü ve biçimde faydalanılmaktadır. Bunların pek çok cinsi, nitelikleri farklı bir biçimde haddelenirken yanı zamanda normalleştirilmiş biçimde ya da sulama yöntemi ile hızlı soğutulmuş ve temperlenmiş biçimde üretilmektedir [16].

Üst seviye dirençli gemi inşa çeliği, çekme dayanımının, sertliğin ve korozyon direncinin fazlalaşması açısından Mn-Cu alaşımı bakımından verimlidir. Dolayısıyla akma-çekme mukavemeti orta derece gemi inşa çeliklerinden fazladır. Orta derece dayanımlı gemi yapım çeliklerinden ayrı biçimde ilave edilen Nb, V, Ti ve N alaşım elementlerinin

mukavemeti, sertliği, korozyon dayanımını fazlalaştırıcı ve tane irileşmesini önleyici nitelikleri mevcuttur. Çizelge 2.4'te yüksek mukavemetli gemi yapım çeliğinin genel kimyasal terkipleri, Çizelge 2.5'te ise mekanik nitelikleri gösterilmiştir [21].

Çizelge 2.4. Yüksek mukavemetli gemi inşa çeliğinin genel kimyasal bileşimleri (Türkloydu 2008).

| Çelik Sınıfı         | A32       | D32 | E32 | F32       | F36 | F40 |
|----------------------|-----------|-----|-----|-----------|-----|-----|
|                      | A36       | D36 | E36 |           |     |     |
|                      | A40       | D40 | E40 |           |     |     |
| Kimyasal Bileşim (%) |           |     |     |           |     |     |
| C <u>max.</u>        | 0,18      |     |     | 0,16      |     |     |
| Mn                   | 0,90-1,60 |     |     | 0,90-1,60 |     |     |
| Si <u>max.</u>       | 0,50      |     |     | 0,50      |     |     |
| P <u>max.</u>        | 0,035     |     |     | 0,025     |     |     |
| S <u>max.</u>        | 0,035     |     |     | 0,025     |     |     |
| Al min.              | 0,015     |     |     | 0,015     |     |     |
| Nb                   | 0,02-0,05 |     |     | 0,02-0,05 |     |     |
| V                    | 0,05-0,10 |     |     | 0,05-0,10 |     |     |
| Ti <u>max.</u>       | 0,02      |     |     | 0,02      |     |     |
| Cu <u>max.</u>       | 0,35      |     |     | 0,35      |     |     |
| Cr <u>max.</u>       | 0,20      |     |     | 0,20      |     |     |
| Ni <u>max.</u>       | 0,40      |     |     | 0,80      |     |     |
| Mo <u>max.</u>       | 0,08      |     |     | 0,08      |     |     |
| N <u>max.</u>        | -         |     |     | 0,009     |     |     |

Çizelge 2.5. Yüksek mukavemetli tekne yapım çeliklerinin genel mekanik özellikleri (Türkloydu 2008).

| Kalite                       | Akma Dayanımı<br>(N/mm <sup>2</sup> )<br>min. | Çekme Dayanımı<br>(N/mm <sup>2</sup> )<br>min. | Kopma Uzunması<br>(%)<br>min. | Çentik darbe testleri  |                    |              |              |       |             |       |
|------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------|--------------------|--------------|--------------|-------|-------------|-------|
|                              |                                               |                                                |                               | Test Sıcaklığı<br>(°C) | Darbe enerjisi (J) |              |              |       |             |       |
|                              |                                               |                                                |                               |                        | t≤50 mm            |              | 50<t≤70 mm   |       | 70<t≤100 mm |       |
|                              |                                               |                                                |                               |                        | Boyuna             | Enine        | Boyuna       | Enine | Boyuna      | Enine |
| AH32<br>DH32<br>EH32<br>FH32 | 315                                           | 440-570<br>(2)                                 | 22 (1)                        | 0                      | 31                 | 22           | 38           | 26    | 46          | 31    |
| -20                          |                                               |                                                |                               | 31                     | 22                 | 38           | 26           | 46    | 31          |       |
| -40                          |                                               |                                                |                               | 31                     | 22                 | 38           | 26           | 46    | 31          |       |
| -60                          |                                               |                                                |                               | 31                     | 22                 | Kullanılamaz |              |       |             |       |
| AH36<br>DH36<br>EH36<br>FH36 | 355                                           | 490-630<br>(2)                                 | 21 (1)                        | 0                      | 34                 | 24           | 41           | 27    | 50          | 34    |
| -20                          |                                               |                                                |                               | 34                     | 24                 | 41           | 27           | 50    | 34          |       |
| -40                          |                                               |                                                |                               | 34                     | 24                 | 41           | 27           | 50    | 34          |       |
| -60                          |                                               |                                                |                               | 34                     | 24                 | Kullanılamaz |              |       |             |       |
| AH40<br>DH40<br>EH40<br>FH40 | 390                                           | 510-660<br>(2)                                 | 20 (1)                        | 0                      | 41                 | 27           | Kullanılamaz |       |             |       |
| -20                          |                                               |                                                |                               | 41                     | 27                 |              |              |       |             |       |
| -40                          |                                               |                                                |                               | 41                     | 27                 |              |              |       |             |       |
| -60                          |                                               |                                                |                               | 41                     | 27                 |              |              |       |             |       |

*r*= mamul kalınlığı

(1) Genişliği 25 mm ölçü uzunluğu 200 mm ve kalınlığı mamul kalınlığında olan düz çekme test parçalarında kopma uzunması, aşağıdaki minimum değerlere erişmelidir.

| Kalınlık (mm)        |                        | ≤5 | >5<br>≤10 | >10<br>≤15 | >15<br>≤20 | >20<br>≤25 | >25<br>≤30 | >30<br>≤40 | >40<br>≤50 |
|----------------------|------------------------|----|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Kopma<br>uzaması (%) | AH32, DH32, EH32, FH32 | 14 | 16        | 17         | 18         | 19         | 20         | 21         | 22         |
|                      | AH36, DH36, EH36, FH36 | 13 | 15        | 16         | 17         | 18         | 19         | 20         | 21         |
|                      | AH40, DH40, EH40, FH40 | 12 | 14        | 15         | 16         | 17         | 18         | 19         | 20         |

(2) Termo-mekanik haddelenmiş çeliklerde çekme mukavemetinin alt sınırı 30 N/mm<sup>2</sup>'den fazla aşılmamalıdır.

Yüksek mukavemetli gemi inşa çelikleri; akma-çekme nitelikleri, orta derece gemi inşa çeliklerinin üzerinde olan bir çelik türüdür. Malzeme ve gereç ilkelerine bakılırsa Yüksek mukavemetli gemi inşa çelikleri, maksimum üç akma sınırı 315, 355 ve 390 N/mm<sup>2</sup> ölçülerini bünyelerinde barındırmaları bakımından 3 sınıftır. Yüksek mukavemetli gemi inşa çelikleri, dayanıklılık nitelikleri birbirinden ayrı olan nitelik sınıflarına ayrılır [16].

## 2.5. Paslanmaz ve Aside Dayanıklı Çelikler

Orta derece alaşımsız ve düşük alaşımlı çelikler korozif tesirlere mukavemet gösteremez. Terkiplerinde minimum % 12 Cr barındıranlarsa yüzeylerine şiddetle bağlanmış öz kütlesi yüksek, doğun ve çok ince bir oksit katmanından dolayı pasif olur, bir başka deyişle indirgeyici olmayan şartlarda korozyona karşı dayanımlı hale gelir. Fakat bunlarda krom karbür meydana gelirse krom niceliği % 12'lik ölçünün aşıısına inebilir. Dolayısıyla

korozyona dayanım niteliği yitirilir. Böylece çelik terkinindeki karbon farklılaşması arttıkça karbon oranı fazlaştırılmalı ya da karbür yapma meyli ve refleksi kromdan çok olan bazı bilinen elementler takviye edilerek krom karbür meydana gelmesi önlenmelidir. Paslanmayan çeliklerde alaşım elementleri kritik olma önceliği bakımından krom, nikel, molibden ve mangandır. Bunların içinde nikel ile krom, iç yapının ferritik ya da östenitik olmasına etki eder [22].

### 2.5.1. Ferritik Cr çelikleri

İçyapıları ve mekanik özellikleri mekanik işlemlerle değişiklik göstermez. Fakat şiddetli östenit üretici olan karbon, belli bir orana erişince kromun ferrit üreten etkisi yok olur. Dolayısıyla fazla sıcaklıklarda ortaya çıkan östenitin, soğuma hızıyla bağlantılı dönüşüm ürününe göre perlitik ya da çoğu zaman suda soğutulan martenzitik paslanmayan krom çeliği üretilir. Ferritik çeliklerin taneler arası gerilme korozyonuna duyarlılıkları azdır. Östenitik, krom-nikel alaşımı çeliğe nazaran kükürtlü gazlara karşı daha dayanımlıdır. Esas olarak amonyak ve genel korozyona mukavemetli olan bu çelikler noktasal taneler içi ve taneler arası korozyona maruz kalabilir. Bu ise en başta içyapıdaki heterojenlik sebebiyle ortaya çıkan bir durumdur. Buna bağlı olarak da korozyon mukavemeti, ısıt işlemlerle daha nitelikli hale getirilebilir. Geçiş sıcaklığının fazlalığından ötürü darbe toklukları normal oda sıcaklığında az olan bu çeliklerde yüksek sıcaklıkta tutma zamanıyla oranlı biçimde altta gösterilen üç gevrekleşme alanı görülür [22].

400 ila 500 derece aralığında uzun süre bekletildikten sonra yavaş soğutulan yüzde 15'ten çok krom ihtiva eden çelikte çökeltmelerin yol açtığı 475 derece gevrekleşmesi gözlenir. 600 ila 800 derece aralığında uzun süre bekletilme neticesinde ise fazla kromlu ferritik ile birtakım östenitik çeliklere yüzde 50 Cr ve yüzde 50 Fe'den meydana gelen sigma fazı ortaya çıkar. 950 derece üstündeyse tane büyümesine ilaveten tane sınırlarında krom karbür çökeltileri meydana gelir [22].

Bu çeliklerde kaynak işinden evvel tokluğu fazlaştırmak amacıyla 150 ila 200 derece aralığında ön ısıtma ve kaynaktan sonra tav uygulanmalıdır. Tane büyümesi ile karbür çökeltmelerini engelleme amacıyla kaynak esnasında ısı girişinin düşük olması sağlanmalıdır. Tokluğu artıran östenitik cinsteki ek malzemelerden yararlanılarak kaynak dikişinin çatlama meyli azaltılmalıdır [22].

### 2.5.2. Östenitik Cr-Ni çelikleri

Korozyona dirençli çeliklerin en mühim ve kritik kısmınıdır. Manyetik olmayan bu çeliğe östenitik içyapıları deformasyona uğramamasından dolayı normalizasyon ve sertleştirme ısı işlemleri yapılmaz. Korozyonu engellemek amacıyla gerekli olan kromun ferrit düzeltici etkisini, östenit yapıcı alaşım elementinden yaralanarak yok etme imkânı vardır. Fakat bu maksatla güçlü östenit yapıcı olmasına rağmen karbür ortaya çıkararak korozyon reaksiyonunun etkisini azaltan karbonun oranını artırmaktansa oksitleyici ve redükleyici asitlere de mukavemet gösterebilen nikel kullanılır [22].

Kükürtsüz korozif koşullarda östenitik çelikler, ferritliklere göre çoğu zaman daha iyi neticeler gösterir. Molibden takviyesiyle organik ve birtakım mineral asitlere, tuzlara karşı daha çok mukavemet elde eder. Bunların eksilerinden biriyse sıcak çatlama meyli taşınmasıdır. Bunun yanı sıra bu çelikteki en önemli problem. krom-karbür çökmesidir. Bu karbürler taneler arasında korozyona ve tane ayrılmasına yol açar. Bunda krom oranının korozyona mukavemet sınırının aşağısına inmesinin çok büyük etkisi ve önemli işlevi söz konusudur. Östenitik çelik, kaynak için çok uygundur. Gemi yapım alanında bu niteliğinden ötürü son derece geniş ve sık bir yararlanma sahaları mevcuttur. Bunlarda sünekliğin yanı sıra tokluk ölçüsü de son derece fazla bir orandadır. Kaynak işlemi sırasında ısının etki ettiği yerlerde herhangi bir sertleşme gözlenmez. Yalnızca kaynak dikişi yanında stratejik öneme sahip sıcaklık derecesinde ısınan ve ağır soğuyan dar bir hat boyunca karbürlerin ayrışma ihtimali vardır. Bundan dolayı kaynatılacak çelikler gerekirse düzgün hale getirilmiş ve sağlamlaştırılmış cins çeliklerden tercih edilmelidir. Bunun yanı sıra östenitik çeliğin ısıyı iletme çarpanının küçük, ısı genleşme çarpanının büyük olmasından dolayı çarpılma riskini önlemek amacıyla kaynak esnasındaki ısı girişinin az olmasının sağlanması daha iyidir. Taneler arasındaki korozyona engel olmak amacıyla çeliklere stablizatör (karbona yönelik eğilimi kroma göre daha çok olan) element takviye edilebilir [22].



### 3. GEMİ İMALATINDA KULLANILAN BAŞLICA KAYNAK YÖNTEMLERİ

Kaynak, yüksek sıcaklıkta ergime sıcaklıkları aynı ya da benzer iki ya da daha çok metal veya termoplastik malzemenin sıcaklık enerjisi, basınç ya da ikisinden faydalanılması ile, gene aynı cinsten ek malzeme ilave edilerek ya da ilave edilmeksizin birleştirilmesidir. Günümüzde gemi yapımında perçin ve/veya başka unsurlar ile meydana getirilen birleştirmeler, yerini kaynaklı bağlantılara bırakmıştır. Kaynaklı bağlantılar çok daha iyi sızdırmazlık sağlar. Kaynak metodu üretim, onarım ve yüzey kaplama alanında kullanılmaktadır[23].

Bir üretim metodu olması bakımından kaynak teknolojisi başka üretim teknolojilerine nazaran çok daha yüksek önem arz etmektedir. Boru hattı, 100 bin tonluk süper dev tankerler, petrol platformları vb. neredeyse tüm konstrüksiyonlarda kaynak olmazsa olmaz bir pozisyonundadır ve bu işlenmiş endüstriyel ürünlerin esas üretim tekniği olma görevini yerine getirmektedir. Türkiye’de bilhassa oksii-asetilen ile elektrik ark kaynak tekniklerinin uygulanma sahaları önemli ilerlemeler göstermiştir. Diğer imalat tekniklerinin imkân vermediği onarım işlerinde de kaynak yöntemi amacına uygun ve iyi sonuç alacak biçimde uygulanmaktadır. Bu yüzden yüksek dayanımın istenmediği her çeşit çelik yapımında sorunsuzca faydalanılabilecek kaynak elektrotları üretilmiştir. Yüzey kaplama ya da oyuk doldurma maksadıyla yapılan kaynak işlemi, unsurların farklı maksatlarla yüzeylerinin özdeş ya da değişik ek malzemelerle kaplanması biçiminde tarif edilebilir. Bu cins bir uygulamaya mekanik aşınmalar ya da kimyasal aşınmalar neticesinde lüzum görülebileceği gibi, bu çeşit etkiye uğrayacağı önceden anlaşılan unsurların, yüksek mukavemetli malzemelerle kaplanması maksadıyla ilgili olarak da müracaat edilebilir. Kaynak, dış görünüş açısından biçim kararlılığı gösteren bir birleştirme tekniğidir. Hakikaten de kesite dışarıdan bakıldığında, bilhassa kaynak bölgesinin alt ile üstü düzlendiğinde, ek yeri yok gibi gözükür. Kaynak vasıtasıyla ortaya konan imalatla tercih edilen malzemelerin elden geldiğince ana malzemeye özdeş (yüksek ısıda) erime sıcaklığına sahip olması uygun bulunmaktadır. Kaynak yönteminde kullanılan eş malzeme ifadesi metalurjik anlamda eşitlik biçiminde kabul edilmekte, bir birleştirme sırasında kaynak yerinde bütün malzemelerin sentezlenmeleri manasını içermektedir [23].

Kaynak yönteminin ve kullanılacak dolgu metalinin seçimi, kaynatılacak malzemeye, kaynak pozisyon sınırlamalarına, işin sırasına ve düzenine, araçların portatifliğine geniş ölçüde bağlıdır. Kaynakla birleştirme tekniklerinin birçok kurum tarafından nitelik denetimi talep edilir. Tüm gemilerin içerisinde normal biçimde faydalanılan kaynak tekniğinin tasdik

edilmesi amacıyla gerekli olan deneylerin yapılması da klaslama kurumları tarafından talep edilir [23].

Metal birleştirilirken en fazla yararlanılan tekniklerden biri olarak kaynak, birleştirilecek olan unsurların uçlarıyla dolgu malzemesinin yüksek ısıda eritilerek akıcılaştırılmasının ardından soğutulup katılaştırılması yoluyla meydana getirilen bir bileştirme tipidir. Uygun ve isabetli işlem uygulanırsa kaynak dikişinin direnci minimum kaynatılan parçalar kadar yüksektir. Çoğu zaman ısı kaynağı meydana getirmede elektrik arkı, Oxi-asetilen (ya da Oxi-bütan) gaz karışımının yanması, elektrik direnci, kimyasal malzemeler (= termit), elektron ışını demeti ya da lazer ışınından yararlanılır. Gemi yapımında en fazla yararlanılan kaynak, elektrik ark kaynağıdır [17].

### **3.1. Kaynağın ve Kaynak Kabiliyetinin Tanımı**

Üretim yönteminde maksat, sadece malzemelerin bir araya getirilmesidir denemez. Bununla birlikte amaç, üretilen parçanın iş koşullarında deforme olmaması ve fonksiyonuna uygun kullanılması lüzumu ve ihtiyacını karşılamaktır. Bundan dolayı kaynaklı bağlantılardan da birtakım ilke ve kaideleri ifa etmesi istenmektedir. Bahsi geçen ilke ve kaidelerin hayata geçme miktar ve düzeyi, kaynak edilen malzeme ve parçaların “kaynak kabiliyeti” yle doğru orantılı biçimde ele alınır [24].

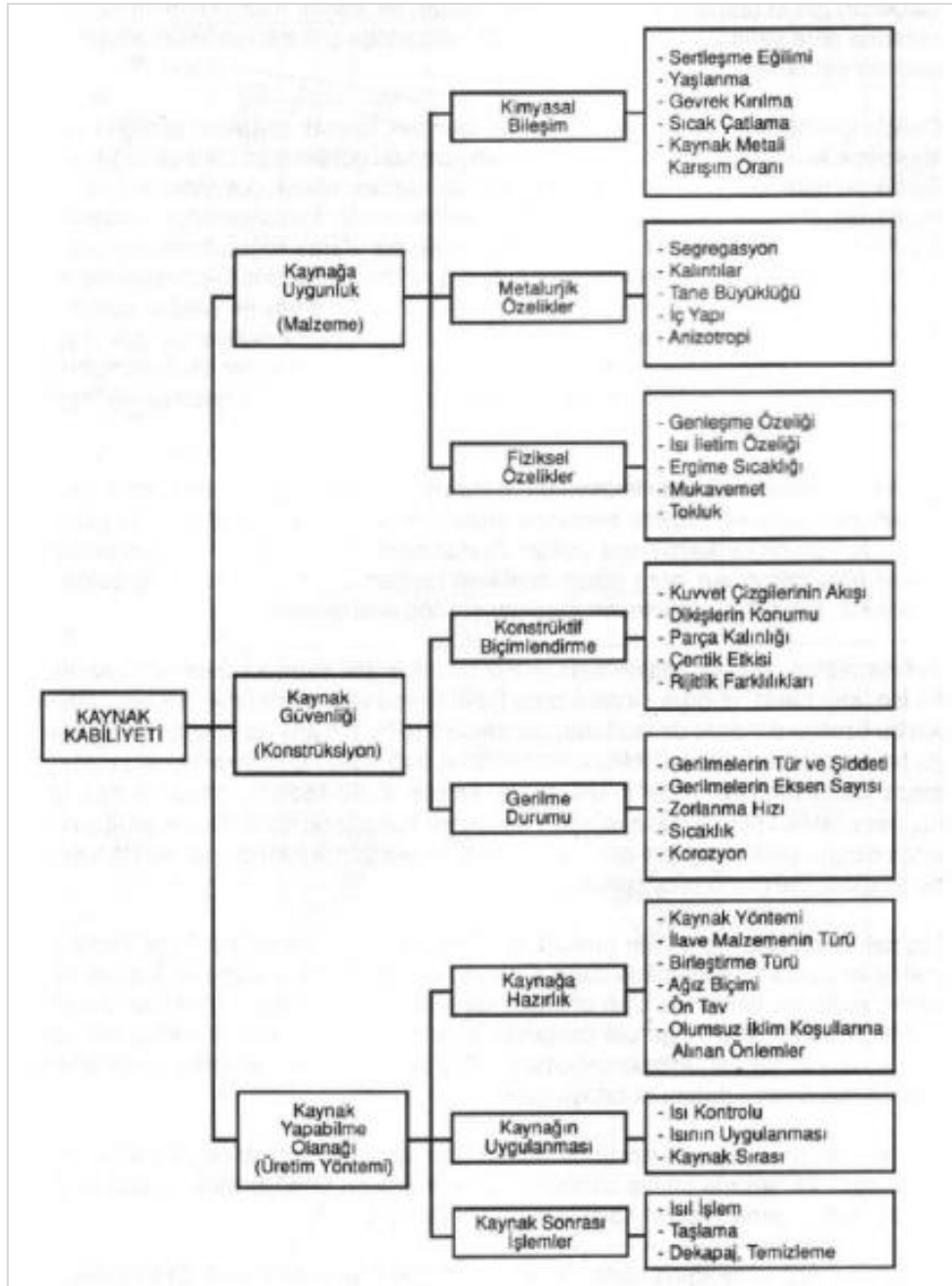
Malzemelerin kaynak kabiliyetini saptamada en kritik ve mühim etken, birleştirilecek malzeme/parça niteliğinin tanınmasıdır. Birleştirilecek malzemelerle ek dolgu malzemelerinin kimyasal içeriği, fiziki nitelikleri, mekanik nitelikleri ve metalik niteliklerinin kaynak uygulaması başlamazdan evvel tanınması en kritik meseledir. Zira malzemelerin kimyasal içeriğinin tanınması, o parçanın birleştirilmesinin ardından gevreyerek kırılma, yüksek ısıda çatlama/yarılma, düşük ısıda çatlama/yarılma ve sertleşebilir olma vb. yaşanabilecek sorunların halledilmesine katkı sağlayacaktır. Birleştirilecek parça/malzemelerin hem fiziki hem mekanik ve metalik niteliklerinin ayrıntılı tanınması, tercih edilecek kaynak tekniği, kaynaktan evvelki ve kaynağın ardından uygulanacak işlemlerin saptanmasına önemli derecede yardım edecektir. Malzemelerin kaynak yeterliliğinin saptanmasında kritik bir etmen de kaynak işinin yapılması ve kaynak metodunun belirlenmesidir. Malzeme niteliklerine ve strüktür koşullarıyla ilişkili biçimde kaynak metodunun saptanması, kaynaktan evvelki, kaynağın ardından gerçekleşen ve kaynak sırasındaki önemsenmesi gerekli olan uygulama ve

işlemlerin ayrıntılı biçimde ele alınması gereklidir. Bunların yanı sıra ek dolgu malzemelerin tercihi, paso sayısının saptanması, kaynak ağzı formunun belirlenmesi, ön tavlama işlemlerinin tespiti, kaynak değişken, ölçüt ve etkenlerinin belirlenmesi, kaynak dikiş önceliğinin netleştirilmesi, kaynak dikiş kalınlıklarının belirlenmesi ve kaynaktan evvelki ve kaynağın ardından olacak temizliklerin yapılması, kaynaklı birleştirmenin mekanik ve metalik niteliklerine tesir eden etmenlerdir [25].

Kaynak tekniği tercih edilirken malzeme, parça ve gereç niteliklerinin önemsenmesi gereklidir. Zira herhangi bir malzeme, parça ve gerecin kaynak yeterliliğinin bir kaynak tekniği açısından elverişli olma ihtimali vardır ancak farklı bir kaynak tekniği açısından yetersiz ya da elverişsiz olma ihtimali de vardır. Mesela Al-Cu ve Al-Mg-Zn alüminyum alaşımlarının kaynak işinde ergitme kaynak tekniklerinden yararlanıldığında etkisiz kaynak yeterliliği ortaya koymalarına rağmen katı hal kaynak tekniklerinden sürtünme-karıştırma kaynak tekniğiyle birleştirildiklerindeyse çok verimli bir kaynak yeterliliği niteliği ortaya koymaktadır [25].

Malzemelerin kaynak yeterliliğinin saptanmasında üçüncü kritik etmen, kaynaklı yapı nitelikleri ile servis koşullarıdır. Bu etmen kapsamında bulunan malzeme kalınlıklarının netleştirilmesi, dikiş kalınlıklarının saptanması, çentik etkisinin ele alınması, gerilme koşullarının görülmesi ve korozyon ambians niteliklerinin önemsenmesi lüzumlu olan en kritik faktörlerdir. Şekil 3.1’de DIN 8528’e göre kaynak yeterliliğini etkileyen etkenler açıklanmıştır [25].

Yatay kaynağı, pratiğe dökme açısından en elverişli konumdur. Dikey kaynak üstten alta ya da alttan üste yapılabilir. Çoğu zaman alttan üste uygulanan teknik akıcılaşmış kaynak malzemelerinin daha iyi derine etki etmesini sağlar. Tavan kaynağıysa en zor kaynak cinsidir öyle ki özel kaynak elektrotu ile özel teknikleri gerekli kılar. Gemi imalatı açısından kaynak işleminin elden geldiği kadar el altı ve dikey kaynaktan faydalanılacak biçimde imalatı tasarlamak gemi randımanını fazlalaştırır. Gemi yapımındaki kaynak işlerinin tamamı klas denetimi ve tasdikini gerekli kılar. Kaynak yapan kişilerin sertifika sahibi olması zorunluluğu haricinde kaynak prosedürlerinin hazır edilmesi ile pratiğe dökülmesi de klas kontrolündedir. Bunların yanı sıra uygulanan kaynaklar örselemeksizin yapılan kontrol (test) teknikleriyle ayrıntılı incelenir. Bu teknikler; radyografik, akustik ve X-Ray vb. muayeneleri de kapsar [17].



Şekil 3.1. DIN 8528'e göre kaynak kabiliyetine etki eden faktörlerin şematik gösterimi

Kaynaklar türlü açılardan kategorize edilebilir. Akademik kaynaklarda tarif edilen iki önemli tasnif eritme ve basınç kaynağıdır [26]:

- **Eritme Kaynağı:** Malzemeyi sadece ısı enerjisinin etkisiyle lokal biçimde (belirli bir bölümünü) ergitip, ek bir metalle takviye ederek ya da takviye etmeksizin bir araya getirip kaynaştırmak.
- **Basınç Kaynağı:** Malzemeyi çoğu zaman ek metalle takviye etmeksizin basınca maruz bırakarak lokal biçimde ısıtıp bir araya getirerek kaynatmak.

### 3.1.1. Çeliklerin ergitme kaynağında kaynak kabiliyeti

Sanayide yaygın olarak kullanılmakta olan çeliklerin malzemelerde kaynak kabiliyetinin analiz edilmesi gerekir. Alaşımsız veya hafif alaşımlı yüksek mukavemetli bir çeliğe iyi bir kaynak kabiliyetine sahiptir diyebilmek için iki şey gereklidir [24]:

- Kaynak öncesinde ve sonrasında kaliteli bir sünekliği olmalıdır.
- Kaynak metali ile asıl metal karıştığında, gevrek olmayan bir kimyasal bileşim meydana getirmelidir.

Yapısal çeliğin kaynak uygulamasında, kaynağın sonucunu etkileyen en kritik etken asıl metalin bileşimidir. Özellikle bileşimdeki karbon ile manganez miktar ve ölçüsü kaynak yeteneği açısından çok kritik olmakla birlikte en yüksek oranları belirlenerek kısıtlanmıştır. Manganez ile öteki alaşım elemanlarının kaynak yeteneği üzerine etkileri, karbon türünden dile getirilerek "karbon eşdeğeri" tabiri önerilmiştir. Karbon eşdeğeri farklı biçimlerde gösterilmiştir. Milletlerarası Kaynak Cemiyetinin karbon eşdeğeri bu formülle gösterilmektedir[24]:

$$\%C_{es} = \%C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

Karbon eşdeğeri kullanılarak bir yapısal çelik için gerekli olan ön tav verme derecesi aşağıdaki değerler ölçüsünde önerilmiştir.

Çizelge 3.1. Karbon eşdeğerliğine göre ön tavlama sıcaklıkları

| Karbon Eşdeğerliği (%) | Ön Tavlama Sıcaklığı(°C) |
|------------------------|--------------------------|
| 0,45'e kadar           | Gerek yok                |
| 0,45-0,60 arası        | 100-200                  |
| 0,60'dan yukarısı      | 200-350                  |

### 3.2. Gemi İmalatında Sıklıkla Kullanılan Kaynak Yöntemleri

Gemi imalatında en çok yararlanılan kaynak tekniği bazı akademik kaynaklarda elektrik ark, bazı akademik kaynaklarda ise gaz altı kaynağı olarak kabul edilmektedir. Bu farklılığın sebebi ise bilim ve tekniğin ilerlemesiyle otomatik ve yarı otomatik tekniklerin, ilkel ve demode tekniklerin yerine geçmesidir. Kaynakta insan unsurunu devre dışı

bırakarak daha hızlı, az maliyetli, duyarlı, pratik ve üst nitelikli kaynak işlemi için modern kaynak teknikleri yeğlenmesidir.

Gemi inşaatında genellikle faydalanan kaynak türleri ergitme kaynakları olmakla beraber aşağıdaki gibi tasnif edilebilir [23]:

- Gemi inşaatında en çok yararlanılan kaynak tekniği, örtülü elektrotlar ve el ile uygulanan metal-ark kaynağıdır.
- Ayrıca pek çok otomatik ve yarı otomatik tekniklerden başarıyla yararlanılmaktadır. Bu teknikler gaz metal-ark, toz altı, MAG, cüruf altıdır.
- Cüruf altı, MAG vb. teknikler kalın kesitli malzemelerin tek bir pasoda kaynatılmasına olanak verir.
- Özel toz altı kaynakları ise uzun bir kaynağın tek taraftan kaynatılmasına imkân verir.
- İlerleyen zamanlarda elektron ışın kaynağından ya da lazer ışın kaynağından gemi inşaatında faydalanılabilir.

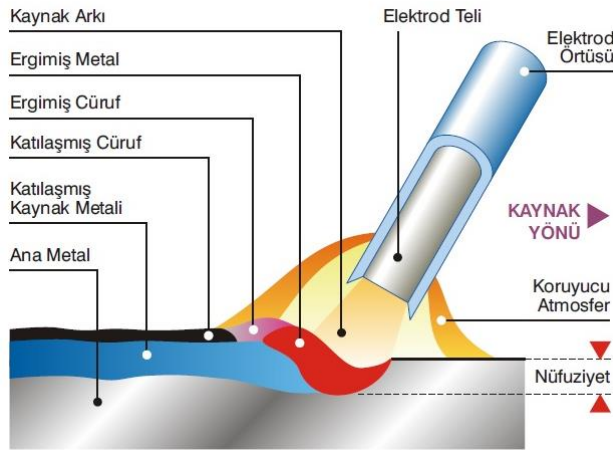
Kaynak tekniğinin ve faydalanılabilecek dolgu metalinin tercih edilmesi; birleştirilecek malzeme ve parçayla, kaynak konum kısıtlamalarıyla, işin önceliğine ve düzenine ve araçların portatif olmasıyla büyük oranda irtibatlıdır. Kaynak tekniği ve dolgu metali o kadar iyi tercih edilmelidir ki en sonunda ortaya konan kaynak dikişinin mekanik nitelikleri kaynatılan esas metalin mekanik nitelikleriyle denk olsun [23].

- Tersanelerdeki Robotlu Panel Hattı [2]:Genellikle ön imalatla yatay pozisyonundaki stiffener, t-kiriş, profillerin köşe kaynaklarında tek kaynak robotu kullanılan panel hatlarıdır. Kaynağı yapılacak malzeme ve parçaların CAD/CAM düzeneklerinin bilgisayar koşullarında hazır hale getirilmesinin ardından taşıyıcı düzenek üzerindeki kontrol panosuna aktarılır. Kaynak süreci sırasında işletme yalnızca kontrol panosundan imalatın seri olma durumunu takip eder. Önceden insan kuvveti ile işleyen gemilerde, belli ve sınırlı bir küttele kaynak yönteminin ilerlemesi ve modern kaynak tekniklerinin işe koyulmasıyla son zamanlarda imalat hızlı bir hal almış, önceki durumun aksine şimdi aynı tonajlı gemiler üç ay kadar az bir zamanda yapıp denize indirilebilmektedir. Kaynak yapan kişi unsurunun dikiş niteliği üstünde etkisini düşürmek amacıyla çağımızın bilim-teknikinde otomatik ya da mekanik kaynak teknikleri olarak adlandırılan Toz altı kaynağı ile MIG/MAG kaynağından yaygın ve sık bir biçimde

faydalanılmaya başlanmıştır. Ark kaynağında bazik elektrot kullanımı bazı avantajlar sunmuştur. Gemi yapımı alanında yaygın ve sık biçimde faydalanılan bu elektrotun en kayda değer niteliği az oranda hidrojen içeriğini bünyesinde barındırmasıdır. Taşıdığı yüksek mekanik özellikleri, çarpma ve sarsılmaya karşı üst derece mukavemet ortaya koymaları, periyodik şiddet ve gerilmelerde gerekli teknik nitelikleri ortaya koyması sebebiyle gemilerde öncelikli olarak faydalanılan kaynak tekniğidir. Bazik elektrottan faydalanılmadan evvel elektrotların mutlaka 300 °C'lik fırınlarda kuru duruma getirilmesi ve söz konusu elektrotların 150 °C'lik bekletme fırınlarına alınmalarının ardından bunlardan yüksek ısıda olacak biçimde faydalanılması gerekir. Bazik elektrottan, gemi işlemlerinde çoğu zaman armuz-sokra kaynaklarında, foundation, menhol, boru birleşimleri ile çelik tekne-teçhiz kaynaklı üretimlerinde faydalanılır [2].

### 3.2.1. Örtülü elektrot ark kaynağı

Örtülü elektrot ark kaynağı, kaynak için gerekli olan sıcaklık derecesine, örtü kaplı bir elektrotla iş malzemesi arasında meydana gelen ark yardımıyla ve elle uygulanan bir ark kaynak tekniğidir (Şekil 3.2). Elektrotun ucu, kaynak banyosu, ark ve iş malzemesinin kaynağa yakın yerleri, havanın dezavantajlı etkileri örtü malzemesinin yanarak ayrışmasıyla meydana gelen gazlarca muhafaza edilir. Ergimiş örtü malzemesinin meydana getirdiği kaynak banyosundaki ergimiş kaynak metaline yönelik ek bir koruma olanağı sunar. İlave metal, elektrotun çekirdek telinden ve birtakım elektrotlarda da elektrot örtüsündeki metal tozlarından elde edilir. Örtü amacıyla faydalanılan malzemelerin çok farklı olma olasılığı vardır. Elektrotlar örtü niteliği bakımından selülozik, rutil, rutil bazik, rutil selülozik, bazik özellikli ve özel elektrotlar diye tasnif edilmektedir. Örtülü elektrot ark kaynağı sunduğu avantajlarından dolayı metallerin bir araya getirilmesinde en fazla faydalanılan kaynak tekniğidir [27]. Şekil 3.2'de örtülü elektrot ark kaynağının şematik gösterimi:



Şekil 3.2. Örtülü elektrot ark kaynağının (şematik) gösterimi

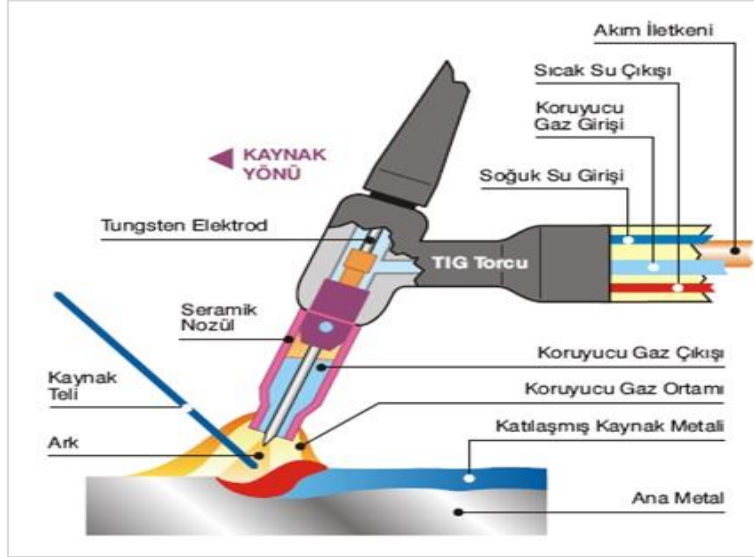
### 3.2.2. Gaz altı kaynağı

Gaz altı kaynağı, kaynak için gerekli olan sıcaklığa, bir elektrotla iş parçası arasında meydana gelen ark yardımıyla ulaşılarak yapılan bir ark kaynak tekniğidir. Kaynak yerine devamlı biçimde sürülen, som durumdaki tel elektrot, yüksek ısıda eriyerek bittikçe kaynak metalini meydana getirir. Elektrot, kaynak banyosu, ark ve iş parçasının kaynak bölgesi, havanın olumsuz tesirlerinden, kaynak torcundan gelen gaz ya da karışım gazlar sayesinde korunur. Gaz, kaynak yerini gerçek anlamda ve boşluk bırakmaksızın koruyabilmelidir, yoksa çok ufak bir hava girmesi bile kaynak metalinde kusura yol açar. Koruyucu gazın cinsi bakımından aşağıdaki biçimde kategorize edilebilir [27].

- Ergimeyen elektrot ile uygulanan gaz altı kaynağı, ark atom kaynağı ile Tungsten Inert Gas (TIG) kaynağı olmak üzere 2 bölümde,
- Ergiyen elektrot ile uygulanan gaz altı kaynağı, Metal Inert Gas (MIG) ve Metal Aktif Gas (MAG) kaynağı biçiminde 2 bölümde ele alınabilir.

Gemilerde elektrik ark kaynağının ardından en çok TIG, MIG ve MAG kaynaklarından faydalanılmaktadır. Son zamanlarda bilhassa otomatik niteliklerinden ötürü elektrik ark kaynağının yerine geçmektedir. Yarı otomatik olan bu tekniğin kaynak yapan kişilerce kullanılması; değişik kaynak ark türleriyle iş yapılması; örtülü elektrotlara göre sarfin az olması; örtüdeki yanma ve sıçrama kayıplarının fazla olmaması sebebi ile bütün masrafların totali hesap edildiğinde bazik elektrota nazaran ucuz bir teknik olması vb. artıları mevcuttur. Tam otomatik taşıyıcı düzenekler ile kaynak robotlarına uyum olanağının

olmasından dolayı gemilerde en fazla uygulanan tekniktir [2]. Şekil 3.3'te TIG Gaz altı kaynak tekniğinde ark oluşturma işlemi ve torcun şematik gösterimi verilmiştir:



Şekil 3.3. TIG Gaz altı kaynak tekniğinde ark oluşturma işlemi ve torcun şematik gösterimi

### MIG-MAG kaynağı

Ergiyen elektrot ile uygulanan gaz altı ark kaynağı sürekli beslenen kaynak teliyle iş parçası arasında uygulanan bir elektrik ark kaynağı işlemidir. MIG sözcüğü, “Metal Inert Gas” sözcüklerinin baş harflerinden oluşturulmuştur. Burada “Inert” sözcüğü durağan demek olsa da Türkçeye kimya terimi olarak “soy” şeklinde girmiştir. Soy gaz olarak argon ya da helyum gazından faydalanılır [28].

MIG kaynak tekniğiyle neredeyse ticari tüm alaşımları kaynatma olanağı vardır. Bu teknikle kaynak sırasında yalnız alüminyum ile alaşımlarının kaynağında doğru akımdan faydalanılır. Kaynak ağızlarının tam anlamıyla temiz hale getirilmesi, oksit katmanlarından temizlenmesi dikişte açıklık oluşumunu aza indirir. Cu ve alaşımlarının kaynağında, gerekli olduğunda 200-400°C’lik ön tavlama uygulanır. Paslanmaz çeliklerin MIG yoluyla kaynak edilmesi, önemli bir avantaj sunar. Zira ergimiş metalle atmosfer arasındaki tepkime yardımıyla, yaşanacak zararlar engellenmektedir [26].

MAG, ergiyen elektrot ile karbondioksit ortamın uygulanan, gaz altı kaynak tekniğidir. MIG kaynağından tek farkı, faydalanan muhafaza edici gazın karbondioksit olmasıdır. Bundan ötürü MIG kaynak sisteminden, MAG kaynağında da faydalanılır. MAG

kısaltması, “Metal Activ Gas” tabirinin sözcüklerinin baş harflerinden oluşturulmuştur. MAG kaynağı; alüminyum ile alaşımları vb. rahatça yükseltgenen malzemelerin kaynağında uygulanmaz. Bugün yaygın ve sık biçimde, çelik malzemelerin kaynağında faydalanılmaktadır [26].

MAG kaynağında faydalanılan karbondioksit; şeffaf, kokmayan ve atmosfere oranla kütlesi fazla bir gazdır. Faydalanılacak karbondioksit gazı, arı ve kuru olmalıdır. Gaz içinde olabilecek nem, dikişi gevrek hale getirir ve gözenek oluşumuna yol açar. Kaynağın ulaştığı sıcaklık derecesinde karbondioksit gazı, karbonmonoksit ile oksijen şeklinde ayrışır. Bunun yanı sıra karbondioksit, akışkan durumdaki demirle bileşip demiroksiti ortaya çıkarır. Demiroksitse manganer ile silisyumla bileşip bu elementlerin yok olmasını sağlar. Bu kayıpların telafisi içinse kaynak teli, bu elementler açısından verimli olmalıdır. Ayrıca karbondioksit, karbonla bileşip karbon yitimine hatta karbondioksit, ayrışıp karbon oluşumunu sağlar [26].

### TIG Kaynağı

TIG kaynağı, kaynak için gerekli olan sıcaklığın, sabit erimeyen bir elektrotla iş parçası arasında meydana gelen ark yardımıyla olduğu bir ark kaynağı tekniğidir. Elektrot, kaynak banyosu, ark ve iş parçasının kaynağa uzak olmayan yerleri, havanın olumsuz etkilerinden, kaynak torcundan gelen gaz ya da karışım gazlarca muhafaza edilir. Gaz, kaynak yerini bütünüyle muhafaza edebilmelidir, yoksa oldukça ufak bir hava girmesi bile kaynak metalinde kusura yol açar [27].

TIG kaynağında ısı, ergimeyen elektrotla kaynak yapılan iş parçası arasında elde edilir. Tungsten elektrot bitmez; düzgün, isabetli, verimli, dikkatli ve akıllı biçimde istifade edilirse ergimez ve kaynak metalinin bir unsuruna dönüşmez. İlave dolgu malzemesi, kaynak telinden faydalanılarak katılabilir. Kaynak arkı, elektrot ve kaynak havuzu, bir soy gazca muhafaza edilir. Bu, çoğu zaman argondur ve elektrotu saran bir nozuldan kaynak yerine aktarılır. Kaynağın ardından korozyondan kaynaklı kalıntıların ortamdaki çıkarılmasına gerek olmaması; yüksek mukavemetli, korozyona dayanıklı ve biçimlendirilebilir dikiş niteliği kazandırması; malzemeleri kaynağın ardından en az biçimde çarpıklık ve bükülmeye maruz bırakması; sıçrama zararlarının bulunmaması kritik

ve mühim artılarından. Gemilerde tatbik etme sahası bakımından çoğu zaman karbon, paslanmayan çelik (ostenitik ve duplex), Cu ve alüminyum boruların kaynak edilmesinde yararlanılmaktadır. TIG kaynağı uygulanarak üretilen gemilerde boyama sürecinden evvel uygulanan tam raspalama işinden sonra oluşan kaynağın içerisindeki kusurlarının (açıklık; dışık sıkışması) ve sacın üst yüzündeki haddeleme kusurlarının onarımında da faydalanılabilir [15, 28].

### 3.2.3. Oksi-asetilen Kaynağı

Kaynak ile ilgili gerekli olan sıcaklığa biri yanıcı, diğeri yakıcı olan gazların yanmasıyla meydana gelen alev kullanılarak uygulanan kaynağa “gaz ergitme kaynağı” denir. Yakıcı gaz olarak genellikle oksijenden faydalanılır. Yanıcı gaz olarak şu gazlardan faydalanılmaktadır [30]:

- Asetilen ( $C_2H_2$ ),
- Hidrojen ( $H_2$ ),
- Metan ( $CH_4$ ),
- Propan ( $C_3H_8$ ),
- Bütan ( $C_4H_{10}$ ),
- Propan ile bütan karışımı ( $C_3H_8$  -  $C_4H_{10}$ ),
- Hava gazı,
- Benzin ve benzol buharı.

Söz konusu yanıcı gazlardan bazılarının fiziki nitelikleri Çizelge 3.2’de gösterilmiştir. Çizelge 3.2’deki yanıcı gazların fiziki niteliklerinin ele alınmasından, çok ayrı ölçü ve oranları taşıdığı anlaşılır [30].

Çizelge 3.2. Bazı yanıcı gazların fiziksel özellikleri

| Gazların özellikleri           | Asetilen<br>( $C_2H_2$ ) | Hidrojen<br>( $H_2$ ) | Propan<br>( $C_3H_8$ ) | Bütan<br>( $C_4H_{10}$ ) | Havagazı |
|--------------------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------|----------|
| Isıl Değeri ( $kcal/m^3$ )     | 13600                    | 2580                  | 21700                  | 28300                    | 4200     |
| Alev Sıcaklığı ( $^{\circ}C$ ) | 3120                     | 2280                  | 2780                   | 2500                     | 2000     |
| Tutuşma hızı (cm/sn)           | 1350                     | 890                   | 450                    | 450                      | 705      |

Gaz eritme kaynağında faydalanılacak gazın seçiminde şu koşullara dikkat edilir [30]:

- Üst seviye termik derece
- Üst derece alev sıcaklığı
- Üst derece alev alma hızı
- Kaynak banyosunu atmosfere karşı muhafaza etme
- Kalıntı bırakmayan yanma
- Ekonomik ve pratik imal edebilme

Söz konusu koşulları maksimum başarıyla sağlayan gaz, asetilen gazıdır. Dolayısıyla çoğunlukla gaz eritme kaynağında asetilen gazında faydalanılır. Ayrıca gaz eritme kaynağının diğer adı “oksiasetilen” dir [30].

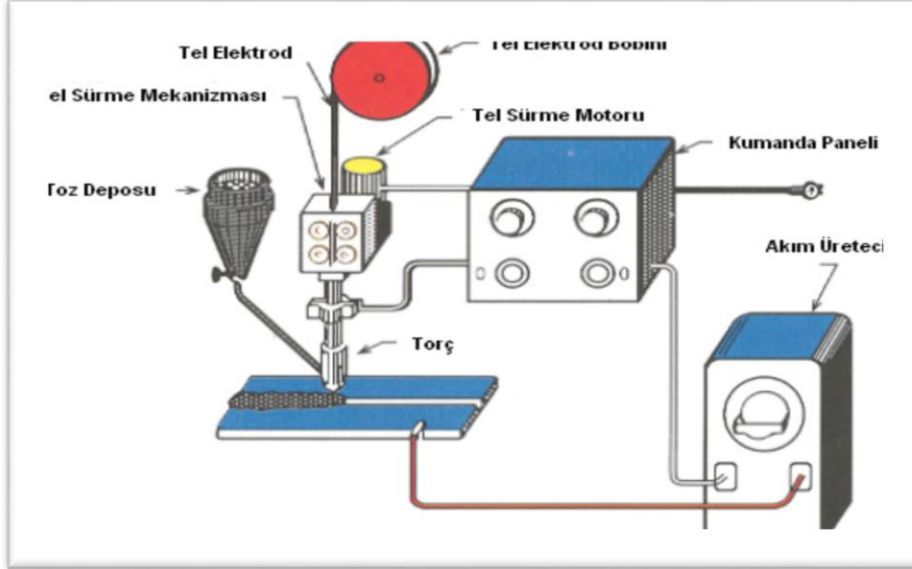
#### **3.2.4. Toz altı kaynağı**

Toz altı kaynağı, gemi yapımında en fazla tercih edilen usullerden biridir. En üst derece kaynak dikişi niteliği bu teknik ile elde edilir. Toz altı kaynağından, düz kesit şeklindeki büyük yapı parçalarının (güverte, perde, dış kaplama sacı, gemi omurgası ve borda üzerindeki düz bölümler), armuz ile sokraların ve düz yatay konumlardaki köselerin kaynak edilmesinde faydalanılır [31].

Bir bobinden gelen kaynak teli, bir motorun tahrik ettiği makaralar arasından bir meme arasından geçer. Telle iş malzemesi arasında meydana gelen ark, farklı bir hattan gelen silikat ile toprak alkali metalleri bünyesinde barındıran tozlar ile, havanın zararlı tesirlerinden muhafaza edilir, çevreye radyasyon dağıtmaz ve ark kuvvetinin önemli bir bölümü direkt olarak kaynağa yönelik elde edilmiş olur [2].

Gemilerde uygulanan toz altı kaynağında, ark bir düzenek yardımıyla otomatik biçimde kaynak yerine gönderilen tel elektrotla iş malzemesi arasında ortaya çıkar. Oldukça fazla yüksek erime kuvvetini bünyesinde barındırması, kaynak nüfusiyetinin yüksek olmasından dolayı on altı milimetre kalınlığındaki sacın 2 pasoda kaynak edilmesine olanak sunması, sıçrama ve elektrot zarar/yitimlerinin olmaması, kaynak işletmeninin kaynak dikişi üstündeki etkisinin asgari olması, hususi ve spesifik vasıf ve düzeneğe gerek duydurmaması en mühim ve kritik artılardandır. Bunların yanı sıra otomatik makinelerden

faaydalanıldığı için işşilikten kaynaklı yanılmalar meydana gelmez[15,2]. Toz altı kaynak tekniğinin çalışma ilkesi şekil 3.4'te gösterilmiştir:

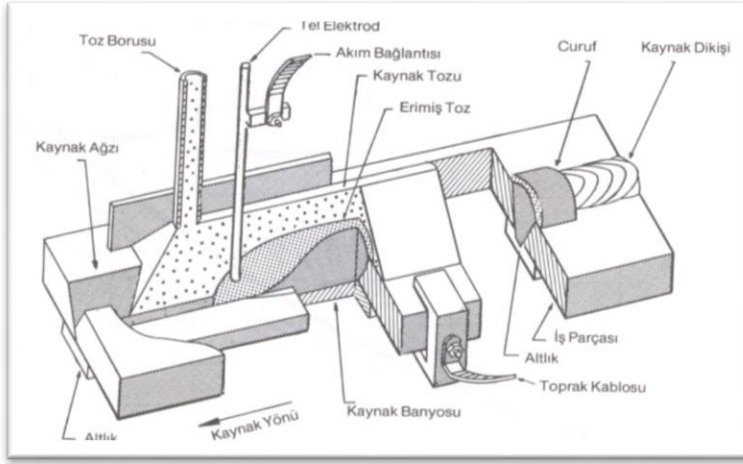


şekil 3.4. Toz Altı Kaynak Yöntemi alışma Prensibi

Gemi yapımı alanında boya yüzey hazırlığı bakımından kaynak dikişlerinin görüntüsü, derine etki etmeye nazaran daha önemlidir. Toz altı kaynağı bu bakımdan en isabetli ve başarılı neticeyi vermektedir. Bir telden yararlanmaktan altı telden yararlanmaya değin kurulmuş toz altı düzenekleri vardır. İmalat hatlarında kalın malzemelerin kaynak edilmesinde çoğu zaman ikili tel ya da üçlü telden yararlanılan makineler vardır [2]. Toz altı kaynağı şematik gösterimi şekil 3.5'te gösterilmiştir:

Toz altı kaynağında faydalanılan kaynak teli, üst derece nitelikli çeliktir. Bu tel, bilhassa bakır kaplı biçimde imal edilir. Telin yüzeyindeki ince bakır katmanı, meme içinden akım geçişini iyi hale getirirken paslanmayı da önler. Toz altı tozlarının pek çok fonksiyonu bulunur [32]:

- Ark yerini havanın olumsuz tesirlerine karşı muhafaza eder;
- Katı hale gelen dışık, dikişin sıcaklığının daha ağır düşmesine olanak verir;
- Dikişin dış şeklinin meydana getirir;
- Temel metalle kaynak metali arasındaki geçiş yerinde çentik ortaya çıkarmaz.



Şekil 3.5. Tozaltı kaynağı şematik gösterimi

Toz altı kaynağında kullanılan tozlar, farklı açılardan tasnif edilir [32]:

A) Kaynağın Maksadı Açısından

- a) Hızlı kaynak tozları
- b) Derin etki kaynak tozları
- c) İnce sac kaynağı tozları
- d) Dolgu yeteneği olan kaynak tozları

B) Üretim Biçimi Açısından

- a) Ergimiş kaynak tozları
- b-) Silikat tortusu kaynak tozları
- c-) Aglomere kaynak tozları

C-) Kimyasal Niteliği Açısından

- a) Asit nitelikli tozlar
- b) Baz nitelikli tozlar
- c) Yansız nitelikli tozlar

D-) Manganez Niceliği Açısından

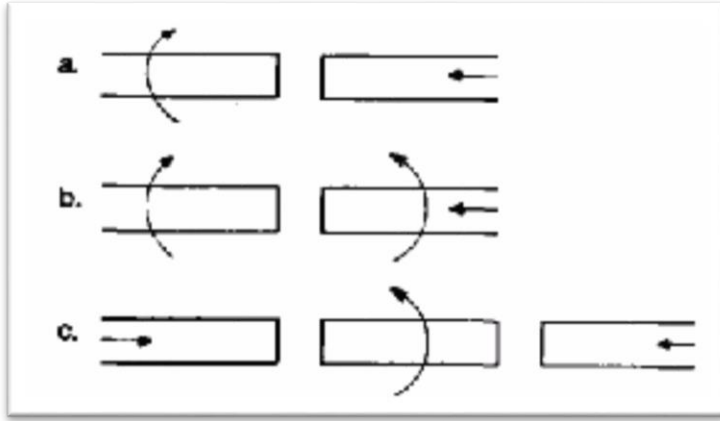
- a) Üst derece dozda manganezli tozlar
- b) Normal derece manganezli tozlar
- c) Manganezi olmayan tozlar

Ergimiş toz; yapay biçimde ergitilmiş silikat ve katı haldeyken kristal özelliği gösteren şekilsiz yığındır. Üretiminde kuvars, manganez cevheri ya da dolomit, kalkspat ve kil vb. maddeler doğru oranlarda sentezlenerek ergitilir. Ergitme işinde ark fırınlarından ya da alevli fırınlardan faydalanılır [32].

Silikat tortusu tozların üretiminde işe yarar bileşimdeki malzeme harmanı öğütülür. Ardından öğütülen tozlar elli ve sınırlı oranda tanecik şeklinde baskılandıktan sonra alevli fırında sinterlenir. Ardından yeniden küçültülür ve uygun tane oranında olanlar ayrılır [32]. Aglomere tozlarsa ince öğütülen toz şeklindeki ana maddeye belli ve sınırlı büyüklük oranında olan ana maddenin takviye dilmesi ve bir yapıştırıcıyla aglomere edilmesi ile üretilir. Aglomere olan karışım ardından rutubetinin alınarak kurutulması amacıyla bir tav vermeye maruz bırakılır. Aglomere tozlardan son dönemde yaygın biçimde faydalanılırken ergimiş tozlara nazaran birtakım avantajları mevcuttur. Aglomere toz ile kaynak metali daha başarılı şekilde alaşıma sokulabilirken toz kullanımı da daha az olmaktadır [32].

### 3.2.5. Sürtünme kaynağı

Sürtünme kaynağı kaynatılacak malzemenin birleşme yüzeyleri arasında, mekanik enerjinin sürtünme yardımıyla ısı enerjisine dönüştürülmesi ve bu malzemelere eksenleri yönünde pres gücü tatbik edilmesi neticesinde yapılmaktadır [33]. Bu tarife bakılırsa sürtünme kaynağında tazyik ve pres tatbik edilmesinin yanı sıra sıcaklık da meydana getirilmektedir [33]. Bundan dolayı bu tekniği sıcak basınç tekniklerinden saymak gereklidir [33]. Sürtünme kaynağı, torna tezgahının işleme ilkesine uyumlu biçimde özel uygulanmaktadır [33]. Kaynayacak malzeme, makinenin dairesel ve yatay harekette bulunan çenelerine monte edilir. Dairesel hareket eden aynaya bağlı malzeme, üst derece hızta çevrilirken, ikinci malzemenin yatay bir hareketle dönen parçaya değmesiyle iki malzeme arasında sürtünme ortaya çıkar. Mekanik enerjinin sürtünmeyi ortaya çıkardığı, sürtünmeninse kaynak ısı enerjisine dönüşerek sürtünen malzemelerin uç bölümlerinin hamur yoğunluğunda sünekleştirildiği sırada, birdenbire yapılan frenlemeyle malzemenin hareketi bitirilir. Malzemeler eksenleri yönünde bir pres gücüyle karşılıklı yaklaştırılır. Bu, birleşme bölgesinde katılaşma oluna değin sürer. Kaynak açısından gerekli olan basınç (pres gücü) mekanik ya da hidrolik düzenle uygulanır. [33].Şekil 3.6'de, hareket cinsleri görülmektedir.



Şekil 3.6. Sürtünme kaynağında, parçaların hareketlerinin türleri

- a) Malzemelerden teki durağan, öteki hareketli.
- b) İki malzeme aksi istikamette hareketli.
- c) Kaynak edilecek malzemeler hareketsizken bazen parça hareket halinde.
- d) Parçalardan teki küçük genlikli, alternatif hareket etmektedir [24].

#### 4. KAYNAK BÖLGESİ VE ITAB

Sıcaklığın etkisi altındaki yer, ergiyen yerin asıl metalle birleştiği bölümden başlayarak yaklaşık 1400-700 °C arasında bir ısının etkisi altındaki yerdir. Bu yerdeki ısı yayılım oranı, kaynak koşullarıyla bağlantılı biçimde değişiklik göstermektedir. Kaynak esnasında sıcaklık derecesi etkisi altındaki yerdeki ısı yayılım oranı ve ısının düşme hızından haberdar olunması durumunda, kaynağın ardından bu lokasyonda ortaya çıkacak iç yapının saptanması olanaklıdır. %0,25'in üstünde karbon içeren ve alaşımlı olmayan konstrüksiyon çelikleri ile yüksek mukavemetli düşük alaşımlı konstrüksiyon çeliklerinde sıcaklık derecesinin etkisi altındaki lokasyonun 900 °C derecenin üstünde tav verilen bölümlerinde oldukça sert bir yapı ortaya çıkar. Bu yapı, gevrek kırılmalara oldukça müsaittir. ITAB'da çatlamayı engellemek amacıyla Uluslararası Kaynak Enstitüsünün Kaynak Kabiliyeti Komisyonu, bu lokasyonun en yüksek sertlik derecesinin 350 Vickers verisinin üstüne çıkmamasını öngörmüştür [24].

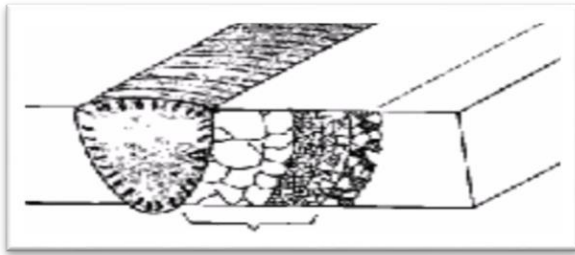
Çelik konstrüksiyon işlemlerinde kullanılan bütün kaynak tekniklerinde, kaynak edilen metalin kaynak bölgesinin, metalin ergime sıcaklığına yakın bir ısıya ısıtılması gereklidir. Bu şekilde bir ısıtma işlemi takip eden soğuma, metalde iç yapı değişikliklerine sebep olmasının yanı sıra “yüksek ısı, kaynak metal, curuf, ana metal ve koruyucu ortam” arasında birtakım kimyasal tepkilerin oluşmasını kolaylaştırır. Kaynak metal, elektrik arkı ya da gaz alevinin yüksek ısıları karşısında ergir ve daha evvelden hazır hale getirilen kaynak ağzı içine boşaltılır. Bu uygulama esnasında, kaynak edilen malzemenin kaynak dikişine bitişik bölümlerinde, metalin ergime ısısından ortam ısisına dek, farklı ısılarda ısınmış yerler meydana gelir. Tatbik edilen termik uygulamanın stabil olmamasından ötürü kaynak yerinde, mekanik nitelikleri ile iç yapısı, ana metal ile kaynak metalinden ayrı yerler meydana gelir. Ayrı niteliklere sahip olan bu yerlerde, gerilme ve deformasyon tepkisinde ve korozif dirençte ana metalden ayrı tepkiler gözlenir.

Kaynak edilen malzemedeki kaynak yeri; “erime bölgesi” ile “ısının etkisi altında kalan bölge (ITAB)” biçiminde ikiye ayrılabilir. Erime bölgesi, kimyasal bileşim olmakla birlikte ana metal ile kaynak metal karışımından meydana gelir. ITAB'sa kaynak esnasında kullanılan sıcaklığın meydana getirdiği birtakım termal dönüştürmelerin etkisinde kalarak iç yapı değişikliğine maruz kalan noktadır. Bu nokta, kaynak metalıyla

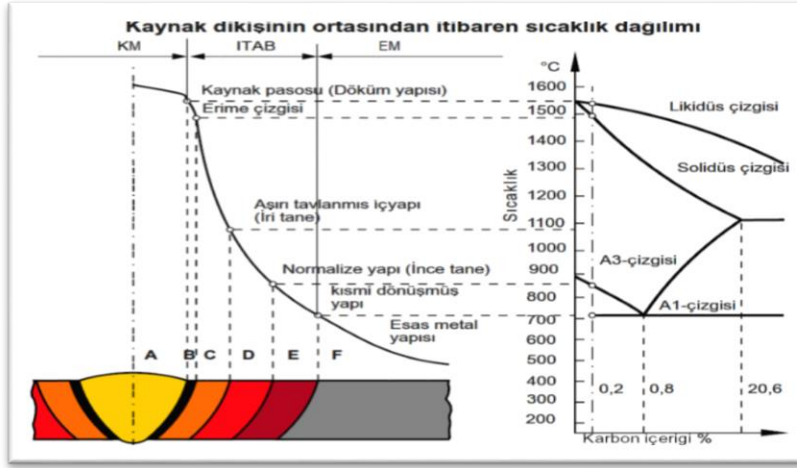
ana metalin birleştii hattan itibaren kaynak uygulaması esnasında sıcaklığın metalin niteliklerine tesir ettiğı yerdir [34].

Çeliklerin kaynak edilmesinde, bu noktada sıcaklık 1450 ila 700 °C arasında farklılık göstermektedir. Burada ulaşılan en üst sıcaklıkla ilişkili olarak ayrı iç yapı ve nitelik ortaya koyan noktalar göze çarpar. Kaynak uygulaması esnasında ısının etkisi altında kalan bölge, çabuk bir biçimde ısınarak parça kalınlığına, kaynağına tatbik edilen enerjiye ve kaynak edilen metallere tatbik edilen ön tav sıcaklığı ile ilişkili biçimde de çabuk şekilde ısınıp düşürmektedir. Bu çabuk ısı yükselmesi ve düşmesi neticesinde kaynak edilen metal malzemenin bileşimine nazaran, sert ve kırılmaya müsait bir yer ortaya çıkar. Bu nokta, kaynak bağlantısının en önemli ve stratejik yeridir ve pek çok çatlak ve kırılmalar burada meydana gelir [34]. Şekil 4.1' de Isının etkisi altındaki bölgedeki (ITAB) tane yapısı değişimi şematik olarak gösterilmiştir.

Kaynak uygulamalarının önemli bir bölümünde, bilhassa eritmeli kaynaklarda, kaynak yeri bölgesel erime ısısının üstündeki bir sıcaklığa ısıtılır. Eriyen bölgenin sıcaklığının düşmesi, erime sırasında malzemelere verilen ısı girdisinden daha yavaş olur. Kaynak yerini ısıtma ve kaynaktan sonra ısıyı düşürme çalışmaları arasındaki ayırıcı durumlar kaynak işiyle birleştirilen unsurlarda uygun olmayan ve beklenmedik metalik deformasyon ve gerilmelere yol açar.



Şekil 4.1. Isının etkisi altındaki bölgedeki (ITAB) tane yapısı değişimi



Şekil 4.2. Kaynak sırasında ısının etkisi altındaki bölge (ITAB)



## 5. KOROZYON

Korozyon, malzemenin içerisinde olduğu koşulların etkisiyle, kimyasal ve elektrokimyasal tepkiler neticesinde fiziki, kimyasal ve mekanik niteliklerinde farklılaşmaların oluşmasıdır [35]. Metaller, tabiatta çoğunlukla oksit-sülfür bileşikleri şeklinde gözlenir. Metaller, bu bileşikler halinde iken serbest enerjileri minimum biçimdedir. Mineraller, metalürjik fırınlarda enerji sarf edilerek metale çevrilir. Fakat metaller elde edilirken aldıkları bu enerjiyi tekrar vererek otomatik ve refleksif biçimde tabiatta bulundukları şekle evrilme meyli gösterir [36].

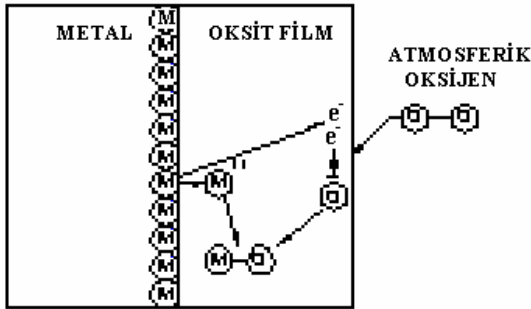
Metallerin önemli bir bölümü su ile hava etkisine dirençli olmak şöyle dursun, standart şartlarda bile korozyona maruz kalır. Birtakım soy metaller dışında tüm metaller ve alaşımları az da olsa korozyona maruz kalır. Korozyon, sanayinin bütün sektörlerinde vardır. Açık havadaki tank, depo, direk, korkuluk, taşıt aracı, gemi, makine parçası vb. şeyler korozyona uğrar [37]. Bütün bunlar korozyondan kaynaklı önemli maddi zararlar ortaya çıkarmaktadır. Korozyon, yeryüzündeki kısıtlı metal rezervlerinin en büyük zarar sebebidir. Her sene elde edilen metal malzemelerin üçte biri sene sonunda korozyon sebebiyle işe yaramaz duruma dönüşür. Bu, senelik metal malzeme imalatının yüzde onunun korozyon sebebiyle geri dönüşümsüz yitilmesi anlamına gelir [38].

Korozyon, en başta insan yaşamı ve sıhhati bakımından yüksek ehemmiyet taşır. Bakırın korozyonunun insan sağlığı yönünden oldukça olumsuz olmasından ötürü insanlar bakır araçlardan asırlarca kalayla kaplayarak yararlanmıştır. Uçaklardaysa birtakım kritik unsurların korozyon sebebiyle kırılması, uçağın düşmesine ve can kaybına yol açabilir [38].

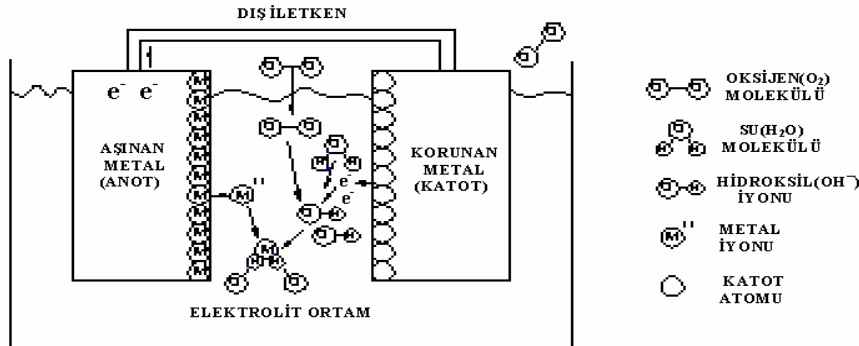
Korozyon sebebiyle malzeme yitirilmesinin yanı sıra yatırım, emek ve enerji de yitilmesi de söz konusudur. Korozyonun ekosistem ve atmosferi kirletmesinin yanında kirli koşullar da metal korozyonunu hızlandırır. Bu durum da riskli bir döngüye yol açar. Örneğın bakır iyonu ihtiva eden sular; dökme demir ya da alüminyum yüzeyle karşılaşırsa bakır metalik şekle dönüşerek metali çözer [38].

### 5.1 Korozyon Süreci

Korozyon teşekkül düzenek ve sistemleri; fiziki korozyon, kimyasal korozyon ve elektrokimyasal korozyon olacak şekilde üç başlıkta ele alınabilir. Fiziki korozyon, canlı sıvılarının veya erimiş metallerin yol açtığı korozyondur [39]. Korozyon direkt fiziki çözünme veya katı hal değişimiyle meydana gelir. Metal malzemelerin doğrudan ortamla elektron alışverişine girmesi neticesinde meydana gelen korozyonsa kimyasal korozyondur. Elektrokimyasal korozyon ise sulu ortamda metal ile metal alaşımlarının deformasyonu ile ortaya çıkan korozyondur. Elektrokimyasal korozyon mekanizmasında, elektron alışverişi ara yüzeyde gerçekleşir. Bu mekanizmanın gerçekleşebilmesi için; aralarında potansiyel fark olan malzemelerin aynı ortamda bulunması ve elektron akışının sunulabileceği bir elektrolit olması gereklidir [38]. Korozyon, kuru ya da ıslak bir ortamda gerçekleşebilir. Şekil 5.1’de kuru ve ıslak ortam korozyonunun ikisinin de atomik düzeyde tepkileri verilmiştir:



Kuru ortam korozyon



Islak ortam korozyonu

Şekil 5.1. Kuru ve ıslak ortam korozyonunun atomik düzeyde tepkileri (Sondalini, 2005)

Islak koşullarda korozyon, metal atomlarının elektronlarının bazılarını kaybederek iyonla dönüşmeleriyle meydana gelir. Artı yüklü metal iyonları, çözelti içindeki sınırlı sayıya sahip molekülle bağ kurup alçak enerji haline geçtikten sonra kararlı hale gelir. Elektron yitiren, başka bir deyişle korozyona maruz kalmış metal, “anot” sözcüğüyle adlandırılır. (Şekil 5.1) Korozyonla karşılaşan metalden ayrılan elektronlar, korunan metal yüzeyine elektronik bir bağ aracılığıyla taşınır. Elektronların harcandığı metale ya da metalin o noktasına “katot” ismi verilir. Katoda taşınan elektronlar, metal-elektrolit ara yüzeyinde, elektrolit içerisindeki oksijen ve su molekülleriyle bileşip  $\text{OH}^-$  iyonu meydana getirir. Yeni meydana gelen eksi yüklü iyonlar, çözelti içerisindeki artı yüklü metal iyonları ile nötr bir bileşik yapmak için tepkimeye girer.

Kuru ortamda korozyon, metal yüzeyinde bir katman teşekkülüyle ortaya çıkar. ( Şekil 5.1) Elektronlarının kimisini kaybederek iyon halini alan metal atomu, oksijenle bileşip yüzeyde bir oksit katmanı meydana getirir. Oksit katmanı, metali oksijene karşı muhafaza eden bir tampon şeklindedir. Koruyucu film katmanı, atmosferdeki oksijenin metalle irtibatını zor hale getirir. Belli bir süre sonra elektronlar ile iyonların hareket etmesini sona erdirecek derecede kalın olur. Ortamdaki oksijenin taşınması, metalin kendi koruyucu film katmanını ortaya çıkarma yeteneğini devre dışı bırakır.

## 5.2. Korozyon Türleri

En fazla gözlenen korozyon tipleri, şu şekilde tasnif edilir (Nimmo ve Hinds, 2003):

- Homojen Dağılımlı Korozyon
- Galvanik Korozyon
- Aralık Korozyonu
- Çukurcuk Korozyonu
- Taneler Arası Korozyon
- Gerilmeli Korozyon
- Hidrojen Gevrekleşmesi
- Yorulmalı Korozyon
- Seçici Korozyon
- Erezyonlu Korozyon
- Mikrobiyolojik Korozyon

### 5.2.1. Homojen dağılımlı korozyon

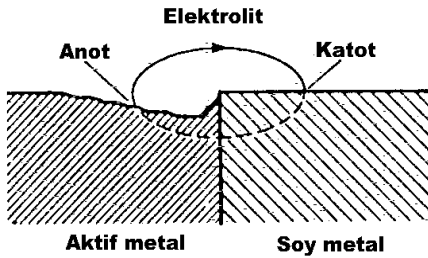
Homojen dağılımlı korozyon en sık rastlanan korozyondur. Metal yitimi öteki korozyon çeşitlerine göre daha çok olmasına rağmen rahatlıkla farkına varılabilir. Zira basit laboratuvar ortamında uygulanacak deneylerle saptanabilir. Korozyona maruz kalan bölümlerde aynı miktarda metal yitimi olduğu gözlenir. Korozyonun bütün yüzeyde özdeş miktarda meydana gelmesinin nedeni, anodik ve katodik yerlerinin devamlı yer değiştirmesidir [38]. Şekil 5.2’de bir yüzü ya da her tarafı yaklaşık eşit kalınlıkta korozyona uğramış malzemenin gösterimi verilmiştir.



Şekil 5.2. Homojen korozyon

### 5.2.2. Galvanik korozyon

İki ayrı metalin bağlantısından dolayı ortaya çıkan bir korozyon türüdür. Metallerden daha aktif olanı “anot”, daha soy olanıysa “katot” olarak davranarak bir korozyon hücresi oluşur. Bu şekildeki bir hücrede sadece anot olan metal korozyona maruz kalır. Galvanik seride daha yukarıda olan metaller, daha aktif metal olarak aşağıda bulunan metallerle temas halinde anot olur. Galvanik bir hücrede korozyon hızı, asıl olarak yürütücü kuvvet olan anot ve katot arasındaki potansiyel farkıyla çevre elektrolitin iletkenliğiyle ilişkilidir [40]. Şekil 5.3’te galvanik korozyon oluşumunun şematik resmi verilmiştir:



Şekil 5.3. Galvanik Korozyon

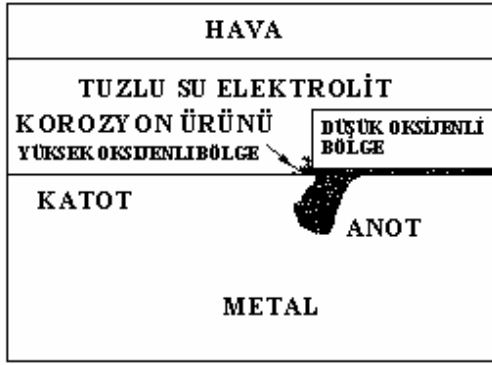
Çizelge 5.1 metallerin deniz suyu şartlarında rastlanan gerçek kapasiteleri esas alınarak oluşturulmuştur. Tablonun altındaki metaller, “daha soy” biçiminde isimlendirilirken, tablonun yukarıdaki metaller “aktif” biçiminde isimlendirilir.

Çizelge 5.1. Deniz ortamında kullanılan metaller için tipik galvanik seri

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

### 5.2.3. Aralık korozyonu

Makine unsurlarının monte edilmesinde yararlanılan perçin, vida vb. bağlantı öğeleri asla ortadan kaldırılamayan oldukça dar bölge ve aralıklara yol açar. Korozyon aralık dahilinde ve haricinde olan oksijen tepkimesiyle başlar. Aralık içine yayılan oksijen, kapasitenin ufaklığı sebebiyle çabucak yok olur. Bundan ötürü oksijen tepkimesi sadece aralık haricinde teşekkülünü sürdürür [41]. Şekil 5.4’te deniz suyunun bir katmanı altında aralık korozyonunun ortaya çıkışı verilmiştir:



Şekil 5.4. Aralık korozyonunun mekanizması

Aralık korozyonuna yol açan birikintilerin kum, kir, korozyon ürünleri ve öteki birikintiler olması mümkündür. Birikinti, yüzeyi kapatarak etkiler ve altında pasif şartlar meydana getirir. Metalik olan ve metalik olmayan yüzeylerin temas bölgelerinde aralık korozyonu olması mümkündür. Conta, ağaç, plastik, cam, beton, asbest, vaks, tekstil vb. malzemelerin aralık korozyonuna yol açma ihtimali vardır. Korozyonun başlaması ve ilerlemesi bunların yanı sıra edilgen filmin nitelikleri, metalin kristal özellikleri ve metalik mazisiyle de ilgilidir. Bir aralığın korozyona yol açması için içerisine sıvı alabilecek derecede geniş; ama pasif bir alan sunabilecek derecede de dar olması gerekir. Bundan ötürü aralık korozyonu, çoğunlukla 0,01 mm genişliğindeki aralık veya daha ufak gözeneklerde oluşur [41]. Resim 5.1’de malzeme yüzeyindeki aralık korozyonu verilmiştir.



Resim 5.1. Malzeme yüzeyindeki aralık korozyonu görüntüsü

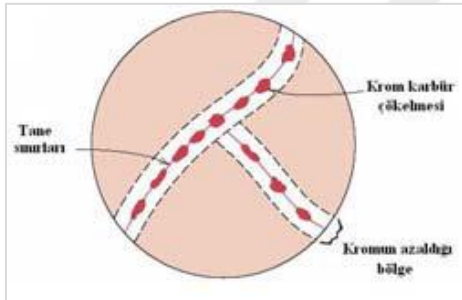
#### 5.2.4. Çukurcuk korozyonu

Çukurcuk korozyonu, bilhassa pasif olma meyli gösteren oksitlenmeye dirençli çelikler ile alüminyum alaşımlarında ortaya çıkar. Durgun çözeltilerdeki metal yüzeyinde kimi noktaların bazı nedenlerle daha etkin duruma gelip mikroskopik derecede küçük çukurlar halini alması ve otokatalitik mekanizmayla gittikçe büyük hale gelmesidir. Bu çeşit korozyonda anot ve katot yerleri kesin biçide ayrıdır. Anot, metal yüzeyinde açılmış



korozyona müsait şartlara dahil olursa bu yerlerde taneler arası korozyon ortaya çıkar. Bu tür korozyonun en net niteliği, oldukça ufak kütle yitimine rağmen korozyon hızının taneyi belirleyen çizgiler çevresinde çok büyük rakamlara varabilmesidir [36].

Taneler arası korozyon olayı, kaynak edilen yerlerin sınır hatlarında daha fazla gözlenir. Bunun diğer adı, “kaynak çürümesi” dir. Kaynak edilen noktada sıcaklık arttıktan sonra taneler arasında krom karbür çökeltisi meydana gelir. Sıcaklığın güçlü olduğu yerler korozyon yönünden hassas vaziyet alır. Bu, kaynak edilen malzeme kalınlığı ile de ilgilidir. Söz gelimi, kalın olmayan kesitler hızlı biçimde kaynatılıp yine hızlıca soğur. Bu zaman ise krom-karbür bileşiğinin meydana gelmesi ile taneler arasında birikmesi açısından yeterli değildir. Bu durumda kaynak çürümesi yaşanmaz. Bu bakımdan paslanmayan çeliklerin elektrik ile kaynaklanması daha isabetli ve doğru olur [41]. Nitekim Şekil 5.6’da paslanmaz çelikte tane sınırlarında krom-karbür çökeltisi şematik olarak verilmiştir.



Şekil 5.6. Paslanmaz çelikte tane sınırlarında krom karbür çökeltisi

### 5.2.6. Gerilmeli korozyon

Korozyona müsait veya korozyonun yaşandığı koşullarda olan metal, bir de statik gerilmeye uğrarsa metalin çatlayıp kırılma olayı hızlanır. Metal yüzünde olan bir çukur ya da çatlak, gerilim uğrarsa hassaslaşıp korozif koşullar meydana getirir. Normal durumda korozyon ürünleri metal yüzünde tampon meydana getirmesine rağmen, gerilmeye maruz kalırsa aynı şeyi yapamaz. Dolayısıyla korozyon hızlı şekilde sürerek metalin bu noktasında çatlamalara yol açar [40]. Bu türden korozyona saf metallere nazaran alaşımlar daha fazla maruz kalır. Bu noktada kritik olan sadece çekme gerilmesidir; basınç gerilmesinin korozyonu artırıcı etkisinden bahsedilemez. Korozyona müsait veya korozyon olan koşullar, gerilmeli korozyonun meydana gelmesini hızlandırır. Söz gelimi amonyaklı

koşullarda bakırla bakır alaşımı, klorürlü koşullarda paslanmaz çelik, nitrat çözeltilerinin içerisinde karbon çeliğinin gerilmeli korozyonu daha net ve hızlı biçimde ilerler. Gerilmeli korozyon başka koşullarda da kendini gösterebilir [40]. Resim 5.3'te Taramalı elektron mikroskopunda çekilmiş gerilmeli korozyon çatlağı verilmiştir.

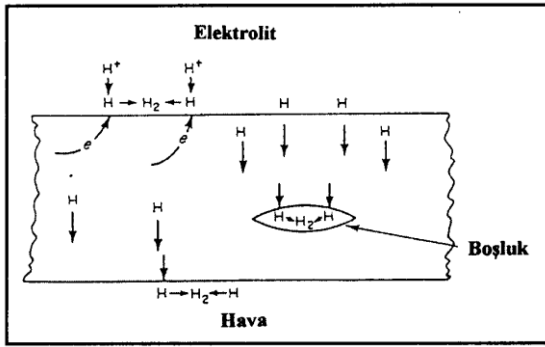


Resim 5.3. Gerilmeli korozyon çatlağı [40]

#### 5.2.7. Hidrojen kırılabilirliği

Çoğunlukla, kapasite eksenli küp benzeri yapısı olan yüksek mukavemetli malzemelerde rastlanır. Bilhassa, petrokimya sanayiinde çoğu zaman rastlanır. Korozyon tepkimeleri neticesinde ya da katodik koruma işlemlerinde metal yüzünde hidrojen atomları meydana gelir. Bu atomlar, metal yüzeyinde soğurulur. Bunlardan bir bölümü  $H + H \rightarrow H_2$  biçiminde bileşip hidrojen molekülü şeklinde havaya katılır.

Hidrojen atomlarının bir bölümü ise metal yapısına girip oradaki boşluklara yerleşir. Ardından bunlar da molekül halini alarak önemli derecede hacim fazlalaşmasına yol açar. Molekül şeklindeki hidrojenin difüzyon karakteri taşıdığı söylenemez. Bundan dolayı metal içerisinde ortaya çıkan hidrojen molekülüleri, metal boşluklarında şiddetli bir basınç meydana getirerek metal çatlaklarına yol açar. Söz gelimi, elektroliz ya da kuru olmayan elektrotlar ile kaynaklama yapılması durumunda ortaya çıkabilir. Şekil 5.7.'de Metal içine hidrojen atomu penetrasyonu görülmektedir.



Şekil 5.7. Metal içine hidrojen atomu penetrasyonu

### 5.2.8. Yorulmalı Korozyon

Düzenli aralıklarla yükleme-boşaltma biçiminde etkide bulunan dinamik gerilmeye maruz kalan metal, belli bir süre sonra yıpranır ki buna yorulma denir. Yorulan metal, olağan şartlardan daha az şiddette gerilmelerin etkisiyle çatlar. Yorulma ile korozyonun aynı anda etkisi metalin çabucak ve az zamanda çatlamasına yol açar [40].

Korozyondan bağımsız, sadece yorulma etkisiyle pek çok çeliğin çekme mukavemeti standart ve alışlagelen mukavemet verilerinin yarısına değin inebilir. En fazla düşme; tatlı ve tuzlu suyun hatta nemli atmosferin tesirlerinin beraber bulunması durumunda yaşanır. Tuzlu suyun içerisinde çekme mukavemeti sınırı, standart koşullardaki çekme mukavemetinden yüzde altı yedi daha aşağıdadır. Düşük alaşımlı pek çok en üst standarttaki çelik bile yorulmalı korozyona karşı sıradan ve niteliksiz karbon çeliğine nazaran daha az mukavemetlidir [40]. Yorulmalı korozyona pek çok koşulda ve yerde rastlanır. Buna verilebilecek klasik bir örnek, gemi pervanesinde sık sık görülen kırılmalarıdır.

Pervanelerin paletlerinin üstündeki taşınan malzeme, geminin hızıyla irtibatlı biçimde farklılık gösterir. Deniz suyu korozyona elverişli koşullar taşıdığı için pervaneler de yorulmalı korozyona maruz kalır. Yorulmalı korozyon ile ilgili başka bir örnek de sıcak su ileten borulardır [40] Resim 5.4.'de yorulmalı korozyona uğramış malzemenin mikro yapısı vardır:

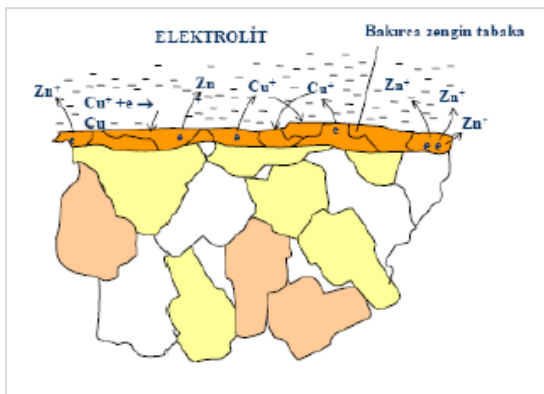


Resim 5.4. Yorulmalı korozyon

### 5.2.9. Seçici Korozyon

Alaşımın içerisindeki elementlerin birinin korozyona maruz kalıp uzaklaşması neticesinde meydana gelir. Buna verilebilecek en güzel örnek, pirinç alaşımı içerisindeki çinkonun bakırdan evvel korozyona maruz kalmasıdır [40]. Bu tarz seçimli korozyona “dezinsifikasyon” denir.

Korozyon neticesinde malzemenin mukavemeti yüksek derecede düşer. Korozyonun şiddetli ve tesirli olduğu yerde çekme mukavemeti “0” varsayılır. Bu tarz korozyonda malzeme ve unsurlarda mukavemet yitimi bulunmasına rağmen malzemenin dıştan görünümünde renk dönüşümü haricinde değişiklik gözlenmez. Seçici korozyona pirinç malzemele lamel grafitli dökme demirde daha fazla rastlanır [39]. Şekil 5.8.’de bakır-çinko alaşımlarında yaşanan çinko kaybı şematik olarak gösterilmiştir:

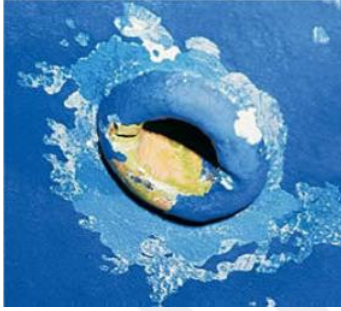


Şekil 5.8. Pirinç (Cu-Zn) malzemelerde seçici korozyon

### 5.2.10. Erozyonlu Korozyon

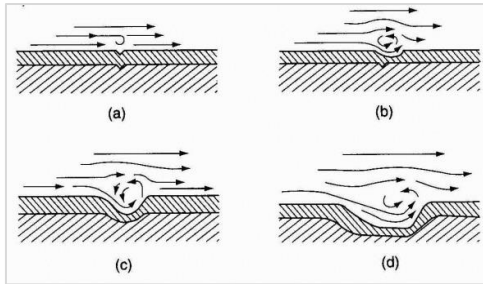
Metalle korozyona elverişli şartlar arasındaki bağıl hareket sebebi ile metalin erozyonudur. Korozyona elverişli çözeltilerin metal yüzeyinden hızlı biçimde akması durumunda,

korozyonun yanı sıra aşınım da oluşur. Bu durum korozyon hızının da yükselmesine yol açar. Bunun sebebiyse ortaya çıkan korozyon artıklarının sıvı vasıtasıyla sürüklenip taşınmasıdır. Akış doğrultusunda belirgin oyuklar ile dalga şeklinde oval oluklar ortaya çıkar [41]. Resim 5.5.'te erozyonlu korozyonun gelişmesiyle komple aşınmış olan tesisatın remi verilmiştir.



Resim 5.5. Gemilerdeki boru tesisatında erozyonlu korozyon

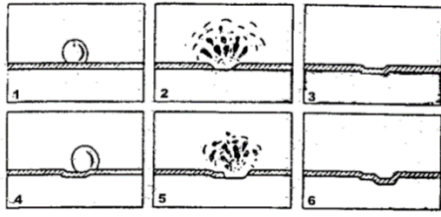
Sıvı madde; akarken malzeme/parçanın yüzeyinde hava boşluğu kazandıran yüzey kusurlarının olduğu bölgelerde akışın hızıyla yüzeye uyguladığı darbe etkisi bu bölgede fazlalaşır [42]. Nitekim Şekil 5.9'da evre ve dereceleri görüldüğü gibi, bu bölge çevresinde erozyon biçiminde deformasyon oluşturur.



Şekil 5.9. Erozyonlu korozyon

Erozyonlu korozyonun bir tipi de “kavitasyon” dur: Sıvı içerisinde bir hava ya da nem kabarcığının olması durumunda, basınçlı hava metal yüzeyi üstünde olan pürüz/bariyer sebebi ile patlayıp bu noktada hasar ve zedelenmeye yol açabilir. Çoğunlukla hidrolik türbin, gemi pervanesi ve pompa paletinde ortaya meydana gelir [40]. Kaviteasyon şöyle olur: Üst derece akış hızlarında çeşitli noktalarda boşluk meydana gelir. Dolayısıyla akışkan, gaz haline geçer ya da akışkan içerisindeki çözünmüş haldeki gazlar ayrışır.

Dolayısıyla akışkan içerisinde düşük basınca sahip hava kabarcıkları oluşur. Bunlar, akış yüzeyinde olan bir pürüz/bariyere çarpıp patlar. Bu patlama, metal yüzeyinde şiddetli emme etkisinde bulunup metalin bu bölgesinin çukurlaşmasına yol açar. Oyulmuş bu bölge, yeni kabarcıkların ortaya çıkmasına ve çukurun giderek genişleyip derinleşmesine yol açar [40]. Şekil 5.10’da kavitasyonun meydana gelişi gösterilmiştir.



Şekil 5.10. Kavitasyon olayının meydana gelişi



Resim 5.6. Gemi pervanelerinde kavitasyon



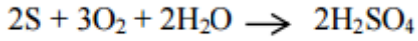
Resim 5.7. Gemi uskurunda görülen kavitasyon korozyonu

Kavitasyon, deniz suyunun olduğu koşullarda ve bilhassa gemilerde oldukça yoğun gözlenir. Nitekim Resim 5.6’da, gemi pervanesinde meydana gelen kavitasyona bir örnek verilmiştir. Bozunma çoğunlukla kanat uçlarında başlayıp kanat diplerine ilerler. Resim 5.7.’de de gemi uskurlarında bir rastlanan kavitasyona örnek verilmiştir.

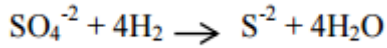
#### 5.2.11. Mikrobiyolojik Korozyon

Mikrobiyolojik korozyon, mikroorganizmaların korozyon hızını yükseltmesiyle meydana gelir. Mikroorganizmanın gelişmesi aşamasında asit ile sülfür meydana gelir. Bu bileşenler de korozyonu hızlandırır. Kimi durumlarda mikroorganizmanın bizzat kendisi de

elektrokimyasal tepkimeye dahil olur. Sülfür bileşikleri, bakterilerce element kükürdü ya da sülfata değin oksitlenebilir. Bazı durumlarda bunun aksi bir tepkime ortaya çıkarır. Thiobacillus thio oxidans vb. birtakım havayla yaşayabilen bakteriler, her türden sülfür bileşimini ve element kükürdünü sülfata oksitler. Tepkime neticesinde sülfürik asit ortaya çıkar [41].



Oksijensiz yaşayabilen bakterilerden desulfovibrio bakterisiyse sülfatı indirger. Bu çeşit bakteriler, hidrojenden faydalanarak sülfat iyonlarını sülfür durumuna indirger [41].



Oluşan sülfür iyonları H<sub>2</sub>S'ye dönerek korozyonu hızlandırıcı tesir gösterir. Bu yüzden mikrobiyolojik korozyon çıktılarında hep sülfür bileşikleri gözlenir. Olağan şartlarda korozyonun gözlenmediği yerlerde mikrobiyolojik korozyon çok nadir görülür [41].

Mikrobiyolojik korozyona engel olmak amacıyla, pH düzeyinin farklılaştırılması, periyodik biçimde dezenfekte edilmesi ya da organometalik metal bileşiklerinden faydalanarak mikroskobik canlıların yok edilmesi sağlanır. Fakat pek çok mikroorganizma, bu kimyasallara oldukça hızlı bir şekilde uyum da sağlayabilir [41].

## 6. GEMİLERDE KOROZYON HASARLARI

Gemiler, pek çok kimyasal ve fiziki olaya maruz kalmaktadır. Deniz suyundaki kimyasal maddeler, atmosferin kimyasal özellikleri, güneş, yağmur, soğuk, sıcak ve dalgaların etkisi ile gemiler; karaya oranla daha çok yıpranma ve zarar, erozyon, korozyon, paslanma vb.ne maruz kalır. Gemiler, ancak periyodik olarak havuza alındıktan sonra, dip tanklarının içerisine girilip son halleri tespit edilerek gerekli olan tamiratlar yapılırsa sefer için müsaade alabilmektedir [37]. Resim 6.1. Gemide bakım onarım ve Resim 6.2. Bakıma ihtiyacı olan bir gemi parçası verilmiştir.



Resim 6.1. Gemide bakım onarım



Resim 6.2. Bakıma ihtiyacı olan bir gemi parçası

Güverte ve su kısmından üstte gerçekleştirilecek boya deformasyonlarda tabakaları kaldırarak ve perdah edilerek atıldıktan sonra yeni boya sürmek, geminin ömrünü uzattığı gibi estetik imajının deforme olmamasına katkı verir. Yirmi otuz yıl evveline kadar, gemiler boyanırken boyaların ana maddeleri iç pazardan alınıp boyayla macun gemilerde üretilirdi. Bugün neredeyse her gemide hazır boyalarla macunlardan faydalanılmaktadır. Hem boyanın kendisi ve hem de emeği oldukça masraflı bir işlemdir. Ayrıca düzgün

uygulanmazsa; olması gereken şekilde sürülmez, boyanın yüzeye yapışması, yüzeyi kaplaması yeterli derecede sağlamazsa boya isteneni veremez. Katmanlı şekilde boya sürülüp altındaki malzemeyi daha güzel muhafaza etme görüşü oldukça hatalıdır [37].

Çok sürülen boya dikey yerlerde akıp estetik olmayan ve göze hoş gelmeyen bir hal almasının yanı sıra fazladan masrafa da yol açar. Boyama aracı (fırça) 1/3'üne değin boyaya hafif batırılıp kutu, teneke, patlak kenarında fazlalığı içine bırakıldıktan sonra artan boya sert bir biçimde yüzeye mümkün olduğunca nüfuz ettirilerek, birkaç sefer de üzerinde gidilip gelinerek uygulanmalıdır. Gerekirse fırça sadece üstten alta değil, soldan sağa ve sağdan sola hareket ettirilerek fırça izinin kalmaması sağlanmalıdır [37].

### **6.1. Gemi Pervanesinde Korozyon**

Elektrolit özellikli olan deniz suyu içerisinde korozyon meydana gelmesi için iki unsur olmalıdır: Anot ve katot. Sadece bir metalde de farklı iki metalde de meydana elektrolit içerisinde olabilir. Pervanelerin malzemeleri bakırdan olmakla birlikte takviyelerle sert hale getirilmiştir. Bir pervanenin yapısında takriben yüzde 80,2 bakır, yüzde 9,3 alüminyum, yüzde 4,3 nikel, yüzde 5 demir bulunur [37].

Gemi, dümenleri de dahil olmak üzere işlenebilir karbonlu çelik sacdan üretilir. Uygun ve kararında bir elektrolit olan deniz suyu iki farklı potansiyelde olan pervane ile çelik gemide; mangan -bronz ve pervane-katottur [37].

Çelik tekne ile anot, aynı anda bir yerdedir ve bu koşullar altında galvanik pil oluşur. Şöyle ki korozyonu meydana getiren akım, demir iyonları anot işlevindeki gemiden çıkıp deniz suyunun içerisinde geçerek katot işlevindeki pervaneden geçer. Bu şekilde elektrik akımının çıktığı anot, başka bir ifadeyle gemi sacı erir [37].

Şayet bu düzeneğe üst derece kapasitede elektrik akımı oluşturabilen takviye anotlar (tutya) eklenirse bunlardan elde edilen akım; paslanmayı, oksitlenmeyi ve erimeyi meydana getiren koşullara dahil olarak bu koşulların ve alanın tamamını katot yani korunmuş hale getirir. Kısacası gemiden demir iyon akım çıkışı durur. Elektrik akımı, anotlardan ve tutyalardan çıkıp sac tekneyi erozyona uğrayan anot halinden aşınmayan

katot haline dönüştürür. Bir başka deyişle, demir gemiden çıkabilecek elektrik akımını durdurup gemi saclarını katoda çevirir [37]. Resim 6.3. Korozyona uğramış bir pervane resmi verilmiştir.



Resim 6.3. Korozyona uğramış bir pervane

Demir ve bakır levhalar, deniz suyu içerisinde bir kabloyla birleştirilir ise demir anot, bakır (katot) tarafından korozyona maruz bırakılır. Sac tekne ise aşınır. Bir çinko parçası bu yapıya eklenirse, elektrik çinkodan demir ile bakıra gelip demir tekneyi katot, başka bir deyişle aşınmayacak hale getirir [37].

Bu düzenekle meydana getirilen demiri muhafaza etme, aşınmaz korumanın temelini oluşturur. Dümene ve kıça monte edilen alüminyum çinkolar, yardımcı anotlar olarak sac gemiyi anottan katoda dönüştürerek oksitlenme ve erimeye karşı muhafaza eder. Bu noktada “Demir ya da bakır bir kabloyla değil de kararlı deniz suyu akıntısı kablo fonksiyonundadır.” denebilir [37].

## 6.2. Deniz Suyu Devresinde Korozyon

Soğutma suyu devrelerinde deniz suyuna batırıldığı zaman elektrokimyasal mikro pil oluşturma yapısı sergileyen dökme demir, bakır ile alüminyum vb. maden ürünlerinin olması durumunda galvanik korozyon meydana gelir. Elektrolit halindeki deniz suyunun bir kısmının elektroliziyle oksijen ile hidrojen meydana gelir. Oksijen artı kutup karakterindeki bakır çinko ile bunların alaşımına gittikten sonra birleşip oksitleri meydana

getirir. Buna bağılı olarak metal veya alaşımlarının erozyonuna yol açan korozyon oluşur [37].

### 6.2.1. Deniz suyundaki çözünmüş katılar

Deniz suyu 32.000 ppm dolayında çözünmüş katı içerir. Sodyum klorür, tatlı sularda nadir olan bir tuz olmasına rağmen deniz suyundaki çözünmüş katıların en büyük bileşenidir [37]. Çizelge 6.1’de deniz suyunda çözünmüş tuzların ppm cinsinden nicelikleri verilmiştir.

Çizelge 6.1. Deniz suyundaki çözünmüş katılar

| Tuz                  | Çözünmüş Katı (%) | PPM          |
|----------------------|-------------------|--------------|
| Kalsiyum bikarbonat  | 1                 |              |
| Kalsiyum sülfat      | 4                 | 1200         |
| Magnezyum bikarbonat | 1                 | 150          |
| Magnezyum klorür     | 110               | 3000         |
| Magnezyum sülfat     | 6                 | 2000         |
| Sodyum klorür        | 79                | 25000        |
| <b>TOPLAM</b>        |                   | <b>31500</b> |

- Kalsiyum Sülfat: Buhar kazanlarında kabuk meydana getiren en riskli tuzdur. Gereğinden fazla sıcaklık artışı ve ısıtma yüzeyi yıpranmalarına yol açan kazan taşı ya da kabuk tabakasını meydana getirir.
- Magnezyum bikarbonat: Isındığında magnezyum hidroksite dönüşür. Magnezyum hidroksitse yumuşak kabuk meydana getirecek biçimde çöker. Düşük çözünürlüğe sahip olan magnezyum hidroksit, kazanda en fazla olan magnezyum bileşimidir. Düşük çözünürlüğü yüzünden kabuk üretir. Fakat doğru iyileştirme usulleriyle kazan sacına yapışmayan çamura çevrilerek kazandan dışarı atılabilir. Hidroklorik asitse korozyon üretir.
- Magnezyum klorür: Kazan metalinde aktif korozyona yol açan hidrolik asidin sebebidir.
- Magnezyum sülfat: Olağan kazan ortamında çözünebilir. Fakat öz kütle fazlaysa kabuk üretir

- Sodyum klorür: Suda oldukça üst derecede çözünürlük gösterir. Olağan alıştırma ortamında ve yükselen basınç ile ısıda, derişimi oldukça üst derece verilere değin artar.

Klorürse olağan kazan ortamında çözelti durumundadır [37].

Sodyum klorür, magnezyum sülfatla bileşip sodyum sülfat ve magnezyum klorür meydana getirir. Sodyum klorür, kazan sularının öz kütlelerinin artmasına yol açan ve suda çözelti biçiminde bulunan tuzdur. Genellikle kazanlarda çözelti durumunda bulunabilir ve sünek bir kışır biçiminde çökebilir [37].

### 6.3. Gemi Makineleri Isı Değiştiricisinde (Cooler) Korozyon

Isı değiştiricilerin boru şeklindekilerinde çoğunlukla boru bölümü (pirinç, al, cu, zn), aynalık bölümü (bronz, Al, Cu, Zn, Pb) ve gövde bölümü (döküm demir- elik) bu ögeyi oluşturmaktadır. Boru malzemeleri, bilhassa bakır ile çinkodan meydana gelir. Çinko ile bakır deniz suyunda kusursuz bir pil oluşturur. inkodan bakıra doğru bir elektrik akımı meydana gelir. Akımın çıktığı çinko anot, girdiği bakır katot işlevi görür.

Akımın çıktığı çinko-bakır alaşımlı boru delinmemesi iink, tedbir olarak da ters akım düzeneğini oluşturmak gereklidir. Alüminyum-manganez ve alüminyum-cıva alaşımlı tutyalardan faydalanılır. Tutyalar, deniz suyu kutusuna kaynaklanır. Tutyalar çıkardıkları akımlara bakılarak çeşitli boyutlarda üretilir. Tutyalar boruların içinden ilerleyen deniz suyuna çinkonun kapasitesinin üstünde elektrik akımı ileterek ve çıkacak akımı önleyerek elektro kimikal teşekküle engel olup çinko iyonlarının teşekkülüne engel olur. Borular da katodik korunmuş olur. elik ya da döküm demir, deniz suyu kutusu bitümistik apenior boyayla boyanarak deniz suyuna karşı muhafaza edilir [37].

### 6.4. Gemi Buhar Türbinlerinde Korozyon

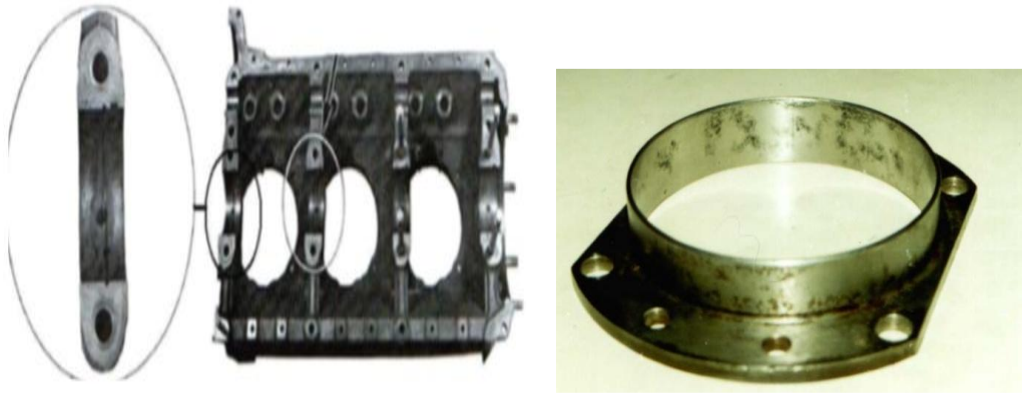
Türbin kasalarında arıza; buharın sıvı hale gelmesiyle ortaya çıkan ama tahliye edilmeyen suyun yığılması yüzünden meydana gelmektedir [37]. Rotor disklerinde de korozyona rastlanır ki bu korozyonun sebebinin kalitesiz malzeme/parça kullanımı ve etkisiz termal uygulama olma ihtimali vardır. İleri derecede korozyon saptandığında disklerin en ince bölümlerinde ölçme işlemi uygulamak gerektir. Disklerde izin verilen kalınlık yitimi hatası, dizayn ölçüsün yüzde beşinin altındadır. Şayet yitim daha fazlaysa diskin gerçek ebatlarından faydalanılarak mukavemet hesaplanmalıdır [37].

Kanatlardaki asıl yıpranma korozyondur. Bu, türbine buharla dahil olan tozlar ile oksijen yüzünden ortaya çıkar. Oksijense kazana verilen çelik suyu ile türbine taşınan atmosfer yüzünden ortaya çıkar. Kanat korozyonu, kanadın yukarı bölümü dolaylarındaki giriş bölümünde oluşur. Korozyon, buharda barınan yüksek orandaki alkali ile asit buharları yüzünden artar. Korozyon, kritik biçimde kanatların yüzeyleri, rotora bağlantısı ve kanat parça ile malzemeinin etkisinde kalır. Parlatılan yüzeyler, parlatılmayan yüzeylere oranla daha az oksitlenir[ 37].

En şiddetli korozyona, yağ buhar ile işletilen makinelerde rastlanır. Sebebiyse buhar içerisindeki su damlacıklarının merkezkaç kuvveti yüzünden buharların ayrılarak kanat uçlarına vurmasıdır. En büyük korozyon yıpranmasına ise hareket halindeki kanatların en yukarıdaki bölümünün 20 ila 60 milimetre altında rastlanır [37].

#### 6.5. Gemi Makineleri Yataklarında Korozyon

Yatak korozyonunun sebebi, makine devir sayısı ile çalıştırma ısıları fazla olduğunda yağın oksitlenmesinden kaynaklı meydana gelen organik asittir. Bu, yatağın ısını artırır. Yatağın metali içerisindeki kurşun, yüzeye ağır gelince giderilir. En aza çekmek amacıyla deterjanlı yağlama yağlarından yararlanılır. Oksitlenmeyi engelleyerek korozyonu önleyen ilaveler sayesinde çok rastlanmaz [37]. Resim 6.4 Gemi yataklarında korozyona örnek resimler verilmiştir.



Resim 6.4. Gemi yataklarında korozyon

Yağlama işi için kullanılan yağa deniz suyu sızması neticesinde, yatağın metal yüzeyi, operasyon esnasında parlaması gerekirken ilk önce gri ya da kahverengiyi andıran bir renk alır. En sonunda da yatak yüzeyinde oldukça sert ve siyah ya da kahverengi bir tabaka meydana gelir. Ortaya çıkan asit tabakası jurnal ile krank pin yüzeylerinde yıpranmaya yol açar. Fakat oldukça ağır ilerler. Yatağın kontrolü esnasında fark edilebilir [37].

Gaz kabarcıkları, yağın asidik yapısının baskın olması, kusurlu yağlama esnasında ısı artışı ve yataklardaki elektriksel potansiyelin sebebiyse yüksek devirli şarjlarda meydana gelen statik elektriğin yataklarda topraklanması ya da karşılıklı değen iki metal arasında meydana gelen potansiyel farklardır [37].

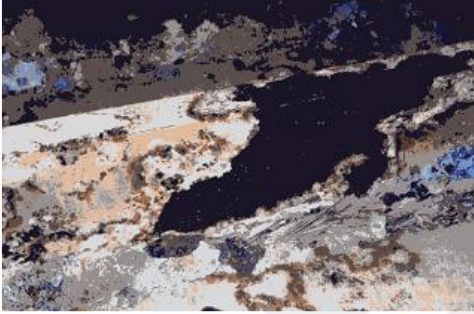
## **6.6. Gemi Ambarı ve Tanklarında Korozyon**

Dökme yük gemilerinde; ambar mezarnalarıyla kapaklarının bütün iç ve dış yüzeyleri, düz tank üstü bölgeleriyle borda postaları ve braketlerin, kargo ambarlarının bütün iç yüzeyleri, imalatçıların önerilerine uyacak şekilde kuvvetli epoksi veya özdeşi koruyucu boyayla boyanmalıdır [37]. Gemi ambar kesiti Resim 6.5'de verilmiştir. Ambar borda façaları tek yandan deniz içerisinde. Sürekli boyalı olduğundan ve görülür biçimde olduğundan bordanın bakımı pratiktir. Ambar kısmında olan borda sacları, postalar, bayraklar ve taban sacları da görülür biçimde olduğundan bakımı pratiktir [37].

Balast tanklarında oksitlenme ve ergimeden korunma gemi türü bakımından ikiye ayrılır. Kuru yük gemilerinde balast tanklarının muhafaza edilmesi, gemilerin inşaatında balast tank unsurlarının iki yüzeyi de gemite boya şirketi kontrolünde, arı “epoxy-pure”, “epoxy” ya da “solvent free” boyaları kullanılarak, iki seferde olmak kaydıyla, 300 mikron (150/150 ) kuru boya film kalınlığında boyanır. Bu yolla tank içindeki unsurlar yaklaşık 10 sene muhafaza edilir. Mevzi boya deformasyonları gemi çalışanlarınca yoğun biçimde takip edilip bakımı yapılır. Arıra tank içi unsurlarının paslanması neticesinde gemi yapısında dayanımın azaltılmasının yanında yıllık klas kontrollerinde korozyon döküntüsü sacların ıslahı oldukça yüksek maliyet ve çok fazla vakit israfına yol açar. Resim 6.6'de düzgün biçimde boyanmamış, ardından da olması gereken bakım uygulanmamış arıra tank içi gösterilmiştir. Bu gemi, asla yıllık tekne kontrolünü geçiremez ve sefere çıkamaz. Ayrıca denize elverişlilik belgesini de alamaz [37].



Resim 6.5. Gemi ambar kesiti



Resim 6.6. Bakımsız balast tank

Üst balast tankın omurga üstüne denk düşen alt bölümlerine beyaz boya atılır. Yüksek sıcaklığın olduğu günlerde güverte üstünün sacları, ekstra kızacağı için alttaki boyayı deforme edip çatlatır. Beyaz renk kullanma yoluyla ışınlımla anormal sıcaklığın ısısı düşürülür. Aşırı sıcak günlerde güverte sacına deniz suyu tutulur. Balast tanklarının geminin ilk inşasında aza çoğa bakmadan en kaliteli boya ile -ki bu boya pure epoxy – solvent free’dir- ve oldukça düzgün bir yüzey hazırlığının ardından iki seferde atılacak 300 mikron kuru film kalınlığında olacak şekilde boyanması gerekir. Bu, balast tankları unsurlarını en az on beş yıl korur [37].

## 7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 7.1. Malzeme

Bu çalışmada deney malzemesi olarak, ark kaynak yöntemleri ile birleştirilebilen, ekonomik ve yeterli mekanik özelliklere sahip, gemi endüstrisinde geniş kullanım alanı bulunan Grade-A Gemi Sacı seçilmiştir. 5×1000×1000 mm boyutlarında temin edilen Grade-A Gemi sacı lazer yöntemiyle 5×100×210 mm boyutlarında kesilerek kaynağa uygun hale getirilmiştir. Grade-A sacına ait kimyasal özellikler ve fiziksel özellikler Çizelge 7.1 ' de verilmiştir.

Çizelge 7.1. Grade-A gemi sacının kimyasal ve fiziksel özellikleri

| Kimyasal Bileşim |            |           |           |     |            |            | Fiziksel Özellikler         |                            |                 |
|------------------|------------|-----------|-----------|-----|------------|------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------|
| C                | Mn         | P<br>max. | S<br>max. | Si  | Al<br>max. | Cu<br>max: | Çekme<br>Kg/mm <sup>2</sup> | Akma<br>Kg/mm <sup>2</sup> | Uzama<br>% min. |
| .12-<br>23       | .70-<br>90 | .020      | .030      | .25 | .10        | .20        | 41-50                       | 24                         | 21              |

### 7.2. DeneySEL Yöntem

Bu çalışmada deney parametresi olarak farklı ergitmeli kaynak yöntemleri kullanılmıştır. Bunlar tozaltı kaynağı, elektrik ark kaynağı ve gaz altı kaynağı yöntemleridir. Farklı yöntemlerle birleştirilen plakaların bir kısmına mekanik testler uygulanmış, diğer kısmına da korozyon testine tabi tutulduktan sonra mekanik testler uygulanmıştır. Böylelikle korozyon öncesi ve sonrası mekanik özelliklerdeki değişim incelenmiştir.

Grade A gemi sacı plakaları her bir kaynak çeşidiyle birleştirilmeden önce, korozyon testine tabi tutulmadan önce ve mikro incelemelerden önce birleştirme yüzeyleri spiral el taşlama makinesine zımpara ve döner tel fırça takılarak ve zımpara kağıtlarıyla yüzeyinde herhangi bir oksit, pas ve yağ gibi yabancı maddeler kalmayacak şekilde her iki yüzeyi de temizlenmiştir.

### 7.2.1. Grade-A gemi sacının tozaltı kaynak yöntemiyle birleştirilmesi

Tozaltı kaynağı Emek Boru Makina Sanayi ve Ticaret A.Ş. atelyesinde bulunan Lincoln marka DC-1500 model tozaltı kaynak makinasında 428 amp, 28 volt 330 mm/dak hız tozaltı parametreleriyle birleştirilmiştir. Oerlikon SW 702Mo Tozaltı kaynak teli ve SF 104 Kaynak tozu kullanılmıştır. Çizelge 7.2.' de Tozaltı kaynak telinin ve kaynak metalinin kimyasal analizi verilmiştir.

Malzeme kaynak öncesi temizliğe tabi tutulmuştur. Gerekli sabitleme sağlanmış ve 5 mm 100×210 Grade-A kalite plakalar alın pozisyonunda, kaynak ağzı açılmaksızın çift taraflı olarak birleştirilmiştir.

Çizelge 7.2. Tozaltı kaynak telinin ve kaynak metalinin kimyasal analizi

|             |                        |      |                      |      |
|-------------|------------------------|------|----------------------|------|
| Amper (A)   | Volt                   |      | Kaynak hızı (mm/dak) |      |
| 428         | 28                     |      | 330                  |      |
| Kaynak teli | Tipik Kimyasal Analizi |      |                      |      |
| Oerlikon    | C                      | Si   | Mn                   | Mo   |
| SW 702Mo    | 0,09                   | 0,15 | 1,00                 | 0,50 |
| Kaynak Tozu | Tipik Kimyasal Analizi |      |                      |      |
| Oerlikon    | C                      | Si   | Mn                   | Mo   |
| SF 104      | 0,05                   | 0,40 | 1,20                 | 0,50 |

### 7.2.2. Grade -A gemi sacının elektrik ark kaynak yöntemiyle birleştirilmesi

Elektrik ark kaynağı Emek Boru Makina Sanayi ve Ticaret A.Ş. atölyesinde bulunan KEMPPI marka Master MLS 3500 model elektrik ark kaynak makinasında FOX EV 60 8018 Ø2,5x450 elektrodu ile Çizelge 7.3.' de belirtilen parametrelerde birleştirilmiştir. Malzeme kaynak öncesi temizliğe tabi tutulmuştur. Gerekli sabitleme sağlanmış ve 5 mm 100×210 Grade-A kalite plakalar alın pozisyonunda, kaynak ağzı açılmaksızın çift taraflı olarak kaynatılmıştır.

Çizelge 7.3. Fox Ev 60 8018 Ø 2,5x450 elektrik ark kaynağı numunesi

| Amper (A)                      | Volt                       | Kaynak hızı (mm/dak) | Elektro çapı (mm) |     |
|--------------------------------|----------------------------|----------------------|-------------------|-----|
| 90                             | 25                         | 109,56               | 2,5               |     |
| Kaynak metali (Katolog değeri) | Tipik kimyasal analizi (%) |                      |                   |     |
|                                | C                          | Si                   | Mn                | Ni  |
|                                | 0,07                       | 0,4                  | 1,15              | 0,9 |

| İŞLEM    | AMPER | SÜRE (sn) | UZUNLUK (mm) |           |
|----------|-------|-----------|--------------|-----------|
| 1. DOLGU | 90    | 115       | 210          | DIŞ YARMA |
| 2. DOLGU | 90    | 115       | 210          |           |

| İŞLEM    | AMPER | SÜRE (sn) | UZUNLUK (mm) |          |
|----------|-------|-----------|--------------|----------|
| 1. DOLGU | 90    | 115       | 210          | İÇ YARMA |
| 2. DOLGU | 90    | 115       | 210          |          |

### 7.2.3. Grade-A gemi sacının gaz altı kaynak yöntemiyle birleştirilmesi

Gaz altı kaynağı Emek Boru Makina Sanayi ve Ticaret A.Ş. atölyesinde bulunan Magmaweld marka RS 500 MW model Gaz altı kaynak makinasında OERLIKON Ø1,2 MG2 MASİF GAZ ALTI TELİYLE Çizelge 7.4.' de belirtilen parametlerde birleştirilmiştir. Malzeme kaynak öncesi temizliğe tabi tutulmuştur. Gerekli sabitleme sağlanmış ve 5 mm 100×210 Grade-A kalite plakalar alın pozisyonunda, kaynak ağzı açılmaksızın çift taraflı olarak kaynatılmıştır.

Çizelge 7.4. Oerlikon Ø1,2 MG2 masif Gaz altı teli numunesi

| Amper (A)    | Volt                       | Kaynak hızı (mm/dak) | Kaynak teli çapı (mm) | Kullanılan gaz |
|--------------|----------------------------|----------------------|-----------------------|----------------|
| 203          | 22,2                       | 213,55               | 1,2 mm                | Argon          |
| Kaynak Teli  | Tipik Kimyasal Analizi (%) |                      |                       |                |
| Oerlikon MG2 | C                          | Si                   | Mn                    | P              |
|              | 0,07                       | 0,8                  | 1,45                  | 0,008          |
|              | S                          | Cr                   | Ni                    | Mo             |
|              | 0,01                       | 0,025                | 0,05                  | 0,002          |

Çizelge 7.4. (devam) Oerlikon Ø1,2 MG2 masif Gaz altı teli numunesi

| İŞLEM                                                   | AMPER | VOLTAJ | SÜRE (sn) | UZUNLUK (mm) |           |
|---------------------------------------------------------|-------|--------|-----------|--------------|-----------|
| 1.<br>DOLGU                                             | 203   | 22,2   | 59        | 210          | DIŞ YARMA |
| İŞLEM                                                   | AMPER | VOLTAJ | SÜRE (sn) | UZUNLUK (mm) |           |
| 1.<br>DOLGU                                             | 203   | 22,2   | 121       | 210          | İÇ YARMA  |
| NOT: Makina ayarı 2' nin 3' ü tel hızı 9 gaz basıncı 21 |       |        |           |              |           |

#### 7.2.4. Korozyon Testleri

Farklı ergitmeli kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirilen Grade-A Gemi Sacının birleştirme bölgesinin korozyon testleri Metaltek Teknoloji Kimyasal Ürünler Ltd. Şti. Test laboratuvarlarında bulunan ve Ekipman bilgileri Çizelge 7.5.' de verilen cihazlarda yapılmıştır.

Çizelge 7.5. Korozyon test cihazları modelleri

| Test Cihazı Adı                         | Kalibrasyon Yapılma Tarihi / Kalibrasyon Bitiş Tarihi | Modeli       | Üretici Firma     |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------|-------------------|
| Tuzlu Sis Korozyon Cihazı<br>MT-SİS-087 | 04.02.2016 / 04.06.2017                               | SSP1100      | Q-LAB             |
| pH Metre<br>MT-PHM-110                  | Her ölçüm öncesi kalibrasyonu yapılır.                | STARA1110    | THERMO SCIENTIFIC |
| İletkenlik Ölçer<br>MT-İLT-011          | Her ölçüm öncesi kalibrasyonu yapılır.                | STARTER 300C | OHAUS             |

TSE EN ISO 9227 Standardına göre 48 saat Nötral Tuz Püskürtme testinin yapılmasıyla parçaların ve kaynak Bölgelerinin korozyona dayanımı incelenmiştir.

#### 7.2.5. Test Programı

##### Nötral Tuz Püskürtme Testi

Nötral tuz püskürtme testi TS EN ISO 9227 standardına göre yapılmıştır. Öncelikle mekanik temizleme yapılmıştır. Test öncesi hazırlık işlemleri ayrıyeten firma tarafından

aşağıdaki gibi yapılmıştır. Çelik parçaların yüzeyleri hafif nemli bir kağıt mendil ile kaplamaya zarar vermeyecek şekilde silinerek elden ve diğer ortamlardan bulaşmış korozyon tetikleyici yağ ve kirlilik unsurları ortadan kaldırılmıştır. Numunelere verilen numaralar, parçaların arka yüzeylerine yazılmıştır. Çelik parçaların test öncesi fotoğrafları çekilmiştir.

Çelik parçalar daha sonra dikey eksenle  $20 \pm 50$  derecelik açığı sağlayacak şekilde inert (numune ile tepkimeye girmeyen) malzemelerden yapılmış test kasetlerine yerleştirilmiştir. Çelik parçaların kabin içerisinde ki fotoğrafı da çekildikten sonra test başlatılmıştır.

Ergitmeli kaynak yöntemleri ile kaynatılan Grade A malzemelerin deniz suyu korozyon davranışlarını incelemek için her bir yöntem için 3'er adet toplamda 15 adet numune kesilmiştir. Kesilen numuneler, epoksi reçine içinde soğuk olarak bakalite alınmışlar ve sonrasında standart metalografik numune hazırlama işlemlerine (zımparalama ve parlatma) tabi tutulmuşlardır. Korozyon testleri her bir malzeme için 3 adet numuneye uygulanmış ve ortalaması alınmıştır. Resim 7.1.' de Korozyon Testi öncesi numune resimleri verilmiştir.



Resim 7.1. Korozyon Testi öncesi numune resimleri



Resim 7.2. Korozyon Testi öncesi numune test kabini içinde iken çekilen resim

Korozyon deneyleri, Ankara Ostim İvedik Sanayi Bölgesinde, Metaltek Teknoloji Kimyasal Ürünler Ltd. Şti. test laboratuvarlarında, % 5 NaCl çözeltisinde tuz püskürtme kabini (Nötr Tuz Püskürtme (NSS) Testi) içerisinde, Resim 7.2. Korozyon Testi öncesi numune test kabini içinde iken çekilen resimde de görüldüğü gibi, ve Resim 7.7’de görüntüsü verilen Q-LAB firmasının SSP1100 tipi, MT-SİS-087 tuzlu sis korozyon cihazında gerçekleştirilmiştir. Korozyon deneyleri, “TS EN ISO 9227 korozyon deneyleri - yapay atmosferde tuz püskürtme deneyleri” standartına uygun olarak yapılmıştır. Korozyon testi sonunda test sonuçları, firmada uzman statüsünde çalışan yetkili bir personel tarafından raporlanmıştır.

Korozyon deneyleri Çizelge 7.6. ’da verilen uygulama değerlerine (parametrelerine) göre yapılmıştır. Numuneler, test öncesinde yüzeyleri hafif nemli bir kağıt mendil ile silinerek, elden ve diğer ortamlardan bulaşmış korozyon tetikleyici, yağ ve kirlilik unsurları ortadan kaldırılmıştır. Deneylerin yapıldığı numunelerden, korozyon değişimi sonuçlarını görebilmek için; başlangıç, 48 saat sonunda optik mikroskop ile 100x büyütmede, mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Numunelerden, korozyon değişimini bozmadan görüntü alabilmek için, test kabini içinde çıkarılan numuneler oda sıcaklığında kurumaya bırakılmış ve kuruduktan sonra mikroyapı görüntüleri çekilmiştir.

Çizelge 7.6. Korozyon Testi uygulama değerleri (parametreleri)

|                                                                                                                                                   |                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| UYGULAMA BİLGİLERİ :                                                                                                                              |                                                             |
| Uygulama :                                                                                                                                        | Sürekli spreyleme                                           |
| Numunenin duruş açısı :<br>(Olması gereken değer: $200 \pm 50$ lik açı )                                                                          | Dikey eksenle $20 \pm 50$ derecelik açı                     |
| Testte toplanan tuzlu suyun pH değeri (ortalama):<br>( Olması gereken değer: $6,5 - 7,2$ ( $25 \pm 2$ ) 0C de )                                   | 6,74 ( $25 \pm 2$ 0C)                                       |
| Testte kullanılan arı suyun özellikleri (ortalama):<br>( Olması gereken değer: $< 20 \mu\text{S} / \text{cm}$ ( $25 \pm 2$ ) 0C de )              | İletkenliği $3,13 \mu\text{S} / \text{cm}$ ( $25 \pm 2$ 0C) |
| Test Kabini Sıcaklığı :                                                                                                                           | $(35 \pm 2)$ 0C                                             |
| Bağıl nem : -                                                                                                                                     |                                                             |
| Testte kullanılan tuzun özellikleri :<br>(Olması gereken değer: min. %99.5)                                                                       | Arılığı % 99.8                                              |
| Korozif atmosfer :<br>( Olması gereken değer: $\% 5 \pm 0,5$ (w/w) )                                                                              | $\% 5 \pm 0,5$ (w/w) Tuzlu Su                               |
| Testte toplanan tuzlu suyun yoğunluğu (ortalama):<br>( Olması gereken değer: $1,029- 1,036$ gr/ml ( $25 \pm 2$ ) 0C de )                          | $1,0357$ ( $25 \pm 2$ 0C) gr/ml                             |
| Varsa, numunelerin yer değiştirilme sayısı ve sıklığı :                                                                                           | Yok.                                                        |
| Toplam test süresi :                                                                                                                              | 48 saat                                                     |
| Ara kontrol süresi :                                                                                                                              | -                                                           |
| Deney boyunca ortaya çıkan herhangi bir beklenmedik durum veya olay:                                                                              | yok                                                         |
| 24 saat sonra toplama kaplarında biriken tuz çözeltisi hacmi, mL (ort.):<br>Olması gereken değer: $1.5 \pm 0.5$ mL/saat ( $36 \pm 12$ ml/24 saat) | -                                                           |

### Test sonrası yapılan işlemler



Resim 7.3. Korozyon Testi sonrası numune resimleri

TS EN ISO 9227 madde 10 da belirtildiği gibi yapılan deney sonunda, çelik parçalar test kabininden çıkarılmıştır ve fotoğrafları çekilmiştir. Korozyon ürünlerinin uzaklaştırılması riskini azaltmak için, çalkalamadan önce 0,5 saat kurumaya bırakılmıştır. Çelik parçalar incelenmeden önce, püskürtülen çözelti kalıntıları, yüzeylerinden dikkatle temizlenmiştir. Çelik parçalar temiz ve sıcaklığı 40°C'ı geçmeyen bir akar su içerisinde yavaş yavaş çalkalanmıştır, daha sonra yaklaşık 300 mm mesafeden üflenerek ve basıncı 200 kPa'ı geçmeyen bir hava akımı ile kurutulmuştur. Daha sonra çelik parçalar incelenmiştir. Çelik parçaların test sonu fotoğrafları çekilerek test sonlandırılmıştır. Resim 7.3.' da Korozyon Testi sonrası numune resimleri gösterilmiştir.

### 7.3. Kaynaklı bağlantıların mekanik testlere hazırlanması

Hazırlanan levhalar lazer kesim yöntemi ile eğme, çekme, sertlik numune standartlarına göre kesilerek her bir kaynak yöntemi için korozyon öncesi ve korozyon sonrası olmak üzere her bir 6' şar adet hazırlanmıştır. 3'ü kaynak öncesi mekanik testlere 3' ü de kaynak sonrası mekanik testlere tabii tutulmuştur. 3 ayrı kaynak yöntemi için toplamda 18 parça hazırlanmıştır. Mikroyapı, sertlik, çekme ve eğmeli yorulma test numuneleri çıkarılmıştır. Gerekli temizleme işlemleri yapılmıştır.

### 7.4. Kaynaklı Bağlantılara Uygulanan Testler

#### 7.4.1. Kaynak dikişlerinin optik mikroskop ve SEM analizi

Ergitmeli kaynak yöntemleri ile birleştirilen parçaların üzerinde makro ve mikroyapı incelemesi yapılmış ve birleşme özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla kaynak yönüne dik kesitten alınan numuneleri 400, 600, 800, 1000 ve 1200 nolu zımparalar ile zımparalanmıştır. Daha sonra numuneler 1 µm parlatma keçesinde 1 µm'lik elmas pasta ile parlatılmıştır. Keller Reaktif (190 ml arı su, 5 ml HNO<sub>3</sub>, 3 ml HCl, 2 ml HF) ile numuneler 90-120 saniye arasında dağlanmış. Numunelerin makro yapı incelemeleri Dino-Lite (Pro) Digital Microscope ile yapılmıştır. Mikroyapı incelemelerinde ise Leica DM 4000M tip metal mikroskobu kullanılmıştır. Yapılan incelemeler ile kaynak işlemi sırasında birleşme bölgesinde meydana gelen makro ve mikroyapısal değişimler belirlenmeye çalışılmıştır. Doğrusal Kesişme Yöntemi (Mean Linear Intercept-MLI) kullanılarak kaynak metalinin ortalama tane boyutu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar incelenmiş ve kaynak parametrelerinin kaynak metali mikroyapısına etkisi tespit edilmiştir. JEOL JSM-6060LV Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope-SEM) ile mikroyapı analizleri yapılmıştır. Bazı kaynak dikişlerinde görülen yumrusal yapı SEM ile incelenmiştir.

#### 7.4.2. Mikro yapı incelemeleri

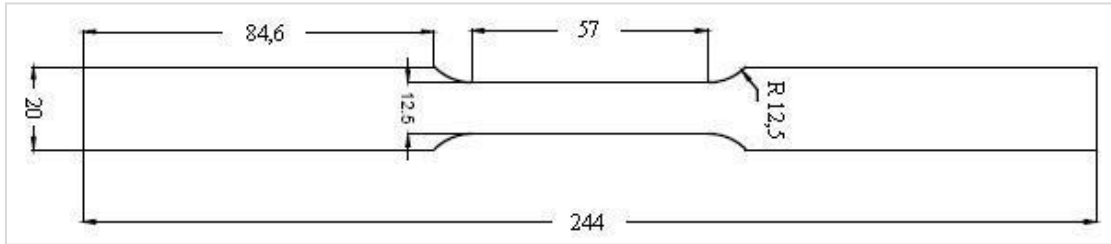
Ergitmeli kaynak teknikleriyle birleştirilen Grade A sacı kaynak doğrultusuna paralel ya da dik biçimde mikro yapı uygulamalarında faydalanılmak üzere; her bir kaynak için örnek tel aşınma tekniğiyle kesilmiştir.

Kesilen örnekler, epoksi reçine içerisinde düşük ısıda bakalite alındıktan sonra normal metalografik numune hazırlama uygulamalarına – ki bunlar zımparalama ile parlatmadır- uğratılmışlardır. Parlatması biten numuneler mikro yapılarının görülebilmesi amacıyla dağlama uygulamasına maruz bırakılmışlardır. Dağlamada maksat, taneyi belirleyen çizgileri ve kaynak ara yüzeyini daha iyi görmeyi sağlamaktır. Bu maksatla iki mililitre Nitrik Asit ile 98 mililitre metanolden meydana gelen kimyasal solüsyonda beş saniye dağlama uygulanmıştır. Dağlama uygulaması biten örnekler, LEIKA DFC 320 dijital kameraya bağlı, LEICA DM 4000 M marka optik mikroskopla görüntülenmiştir.

### 7.4.3. Çekme deneyi

Çekme deneyi, ASTM-E8 standardına uygun olarak hazırlanmış numunelerde Instron Instron 3369 model cihazda 2 mm/dak hızında gerçekleştirilmiştir.

Kaynak bağlantılarının mekanik özelliklerini saptamak amacıyla çekme deneyinden faydalanılmıştır. Çekme deney numuneleri, ASTM-E8 normlarıyla uyumlu biçimde kaynaklı plaka kesitler üstünden kaynak istikametine dik yönde lazer tekniğiyle kesilip çıkarılmıştır (Şekil 7.1. ve Resim 7.4). Tüm bağlantının niteliklerine sahip olması amacıyla ise numuneler kaynağın baş, orta ve son bölümünden kesilmiştir.



Şekil 7.1. ASTM-E8 standardına göre çekme test numunesi ölçüleri



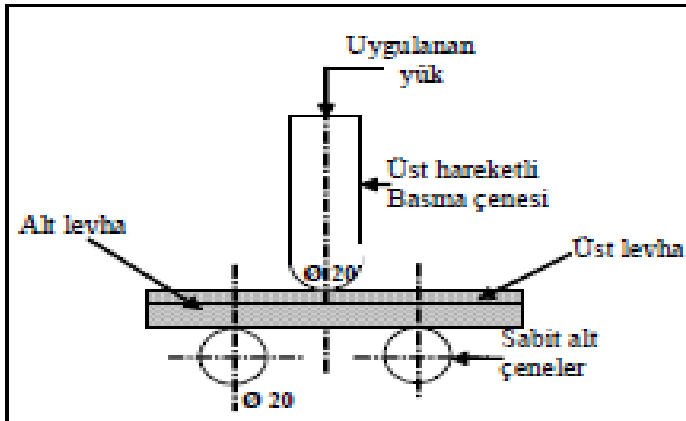
Resim 7.4. ASTM-E8 standardına göre üretilen çekme test numunesi

Çekme deneyleri, Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda bulunan 60 ton yük kapasitesine sahip Instron 8503 marka universal çekme test cihazı vasıtasıyla 10 mm/dak çene hızında gerçekleştirilmiştir. Çekme deneyi sonucunda cihazdan Gerilme-Gerinim ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) eğrileri çıktı olarak alınmış ve bu grafik çıktısına göre her bir numunenin kopma dayanımları da tespit edilmiştir.

#### 7.4.4. Eğme deneyi

Eğme deneyleri Instron 3369 model cihazda ASTM A263-12 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan numunelere 5 mm/dk ilerleme hızında, 180°'ye kadar eğme testi uygulanmıştır.

Ergitmeli kaynak yöntemleri ile birleştirilmiş Grade A sac numunelerin birleştirme arayüzeyinde, 180° eğilme şartlarında çatlak, yırtılma, ayrılma hatası olup olmadığını belirlemek için yapılacak eğme testlerinde kullanılmak üzere, toplamda 6 adet numune tel erozyon yöntemi ile kesilmiştir. ASTM A263-12'de belirtilen şartlarda (Şekil 7.2) eğme standartına uygun olarak kesilen numuneler, eğme testi sonrasında arayüzeyin daha iyi incelenmesi için 1000 mesh SiC zımpara ile zımparalanarak, eğme deneyi için hazırlanmıştır. Resim 7.5' de ise eğme deneyi öncesi numune görüntüleri verilmiştir.



Şekil 7.2. ASTM A263-12 standardına göre eğme numunesi.



Resim 7.5. Eğme deneyi öncesi numune görüntüsü

Eğme deneyleri, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Malzeme laboratuvarlarında bulunan, INSTRON MFL SYSTEM tipi çekme cihazı ile 5 mm/dk ilerleme hızında, 180°'ye kadar eğme testi uygulanmıştır. Resim 7.14.' de Eğme deneyi numune görüntüsü verilmiştir.

#### 7.4.5. Sertlik testi

Yapılan çalışmada, sertlik testleri kaynak yönüne dik kesitten alınan numuneler üzerinde yatay doğrultuda yapılmıştır. Deneylerde 1/16" çelik bilye ile 100 kgf yük 10 saniye süre ile uygulanarak ölçümler yapılmıştır.

Yapılan çalışmada, sertlik testleri kaynak yönüne dik kesitten alınan numuneler üzerinde yatay doğrultuda yapılmıştır. Deneylerde Time TH 300 marka sertlik test cihazı ile 1/16" çelik bilye ile 100 kgf yük 10 saniye süre ile uygulanarak ölçümler yapılmıştır.

Sertlik ölçümleri kaynak merkezinden başlamak üzere malzeme kesit kalınlığının 2 mm'lik doğrultusu boyunca her iki tarafa 2 mm aralıklarla toplam 31 noktadan alınmıştır (Şekil 7.3).



Şekil 7.3. Sertlik testi planı

## 8. DENEYSEL BULGULAR

Bu bölümünde, kaynaklı numunelere uygulanan, mekanik ve korozyon testlerinden elde edilen veriler, kolay değerlendirilebilmesi için grafik olarak çizilerek değerlendirilmiştir. Ayrıca, optik mikroskop ve SEM çalışmaları sonucu elde edilen görüntüler irdelenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen bulgular, daha önceden yapılmış benzer çalışmalarla sebep-sonuç ilişkisi ile kıyaslanmıştır.

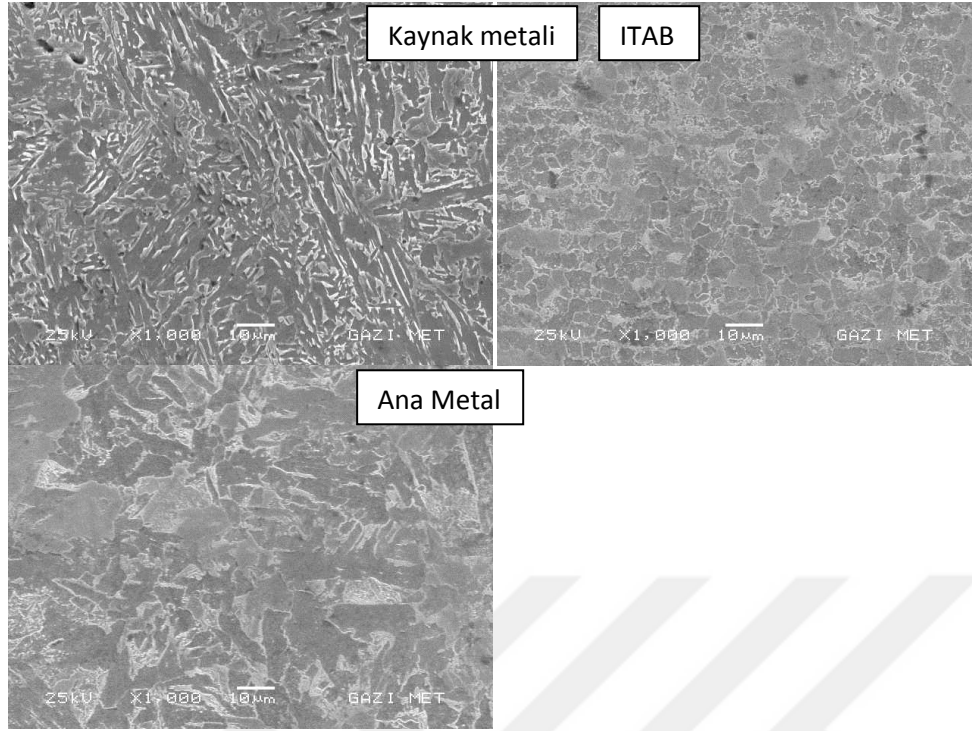
### 8.1. Mikroyapısal Karakterizasyon

Resim 8.1 ile 8.6 arası Mikro yapılar incelendiğinde kaynak metalinde ısı girdisine bağlı olarak koyu renkli perlit ve açık renkli ferrit tanelerinin kolonsal yapıda olduğu görülmektedir. Isı girdisinin artışına bağlı olarak bu kolonsal yapıların irileştiği en yüksek ısı girdiği ve en yavaş soğumaya bağlı olarak ta en iri kolonsal yapının toz altı kaynak merkezinde olduğu tespit edilmiştir.

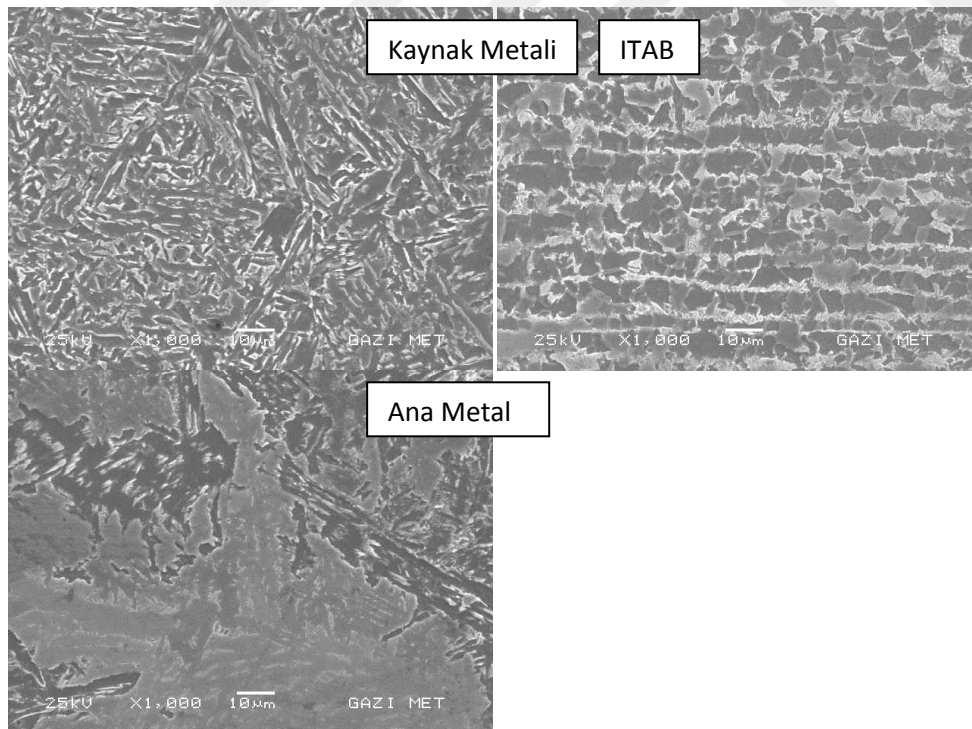
ITAB'larda ise yine ısı girdisi ve soğuma hızına bağlı olarak tanelerin büyüme gösterdiği, kolonsal yapıdan daha çok bir toparlanma olduğu görülmektedir. Özellikle elektrik ark ile yapılan kaynakta ITAB' da ki tanelerin düşük ısı girdisi ve daha hızlı soğumaya bağlı olarak tanelerin inceldiği ve daha homojen bir yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir.

Elektrik ark kaynağı numuneleri üzerinde korozyon etkisi incelendiğinde kaynak metali bölgesinde ferrit tanelerinin birleştiği ve büyüdüğü, perlit tanelerinin ise büyük ferrit adacıkları arasında yer aldığı görülmüştür. ITAB' da ise tane yapısının çok inceldiği ve daha homojen bir dağılım gösterdiği görülmüştür.

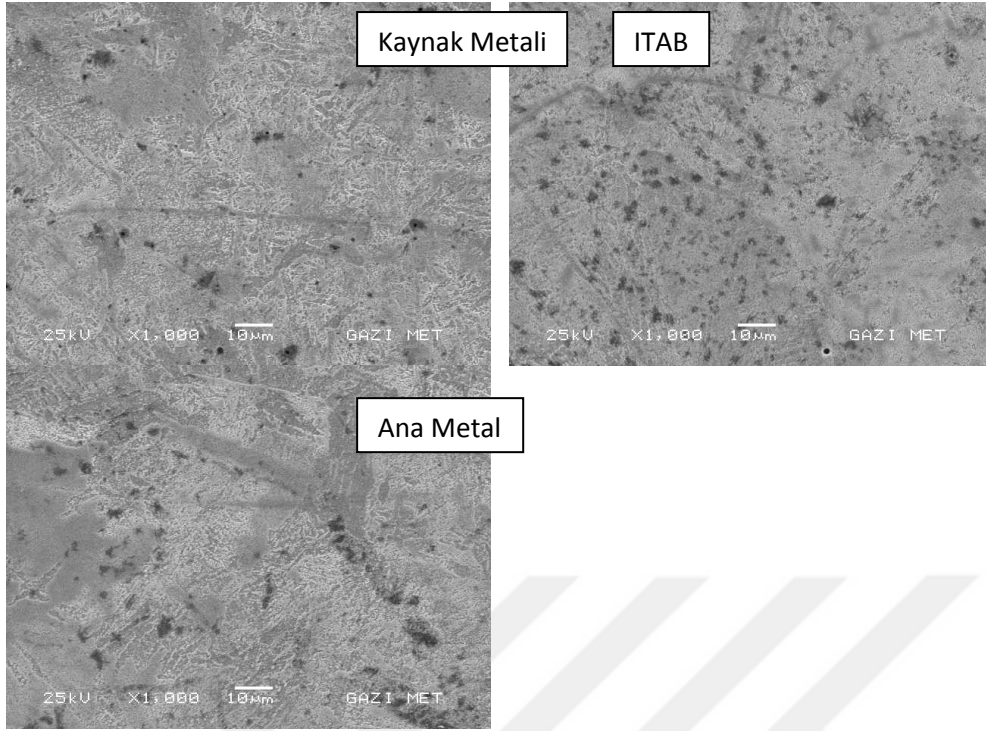
Gaz altı kaynağında ise kaynak merkezinde ve ITAB bölgesinde perlit tanelerinin korozyon etkisiyle bir miktar büyüdüğü ve daha belirgin hale geldiği tespit edilmiştir. Toz altı kaynağında ise perlitik yapının kolonsal hacminde bir artış tespit edilirken, yapının daha da belirginleştiği görülmüştür.



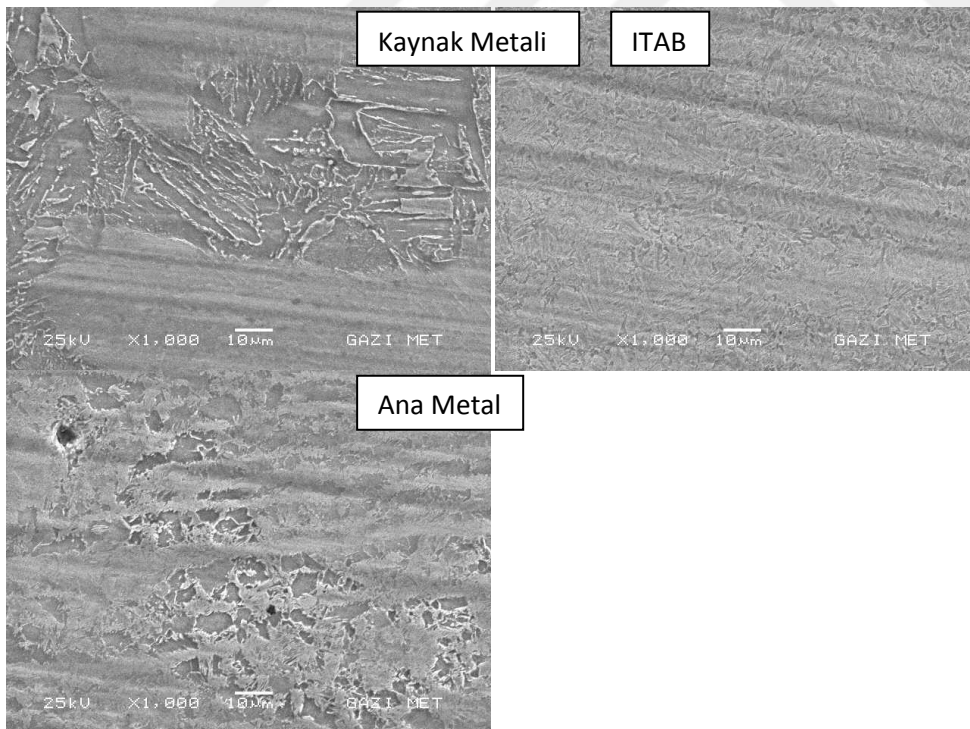
Resim 8.1. Gaz altı kaynağı (korozyon öncesi) mikroyapısı



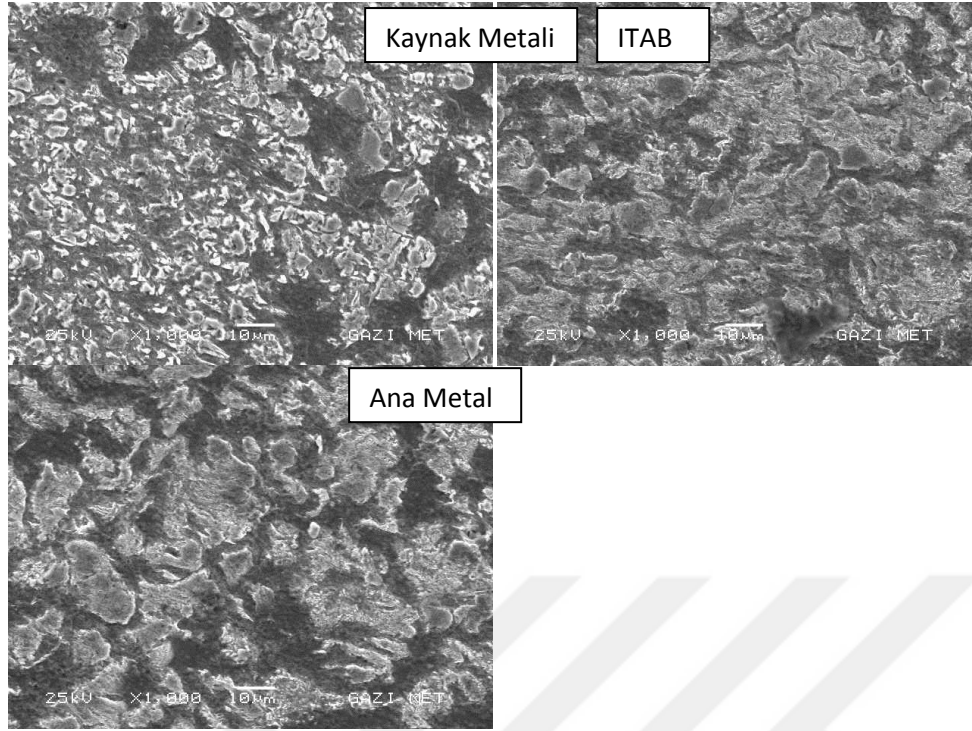
Resim 8.2. Gaz altı kaynağı (korozyon sonrası) mikroyapısı



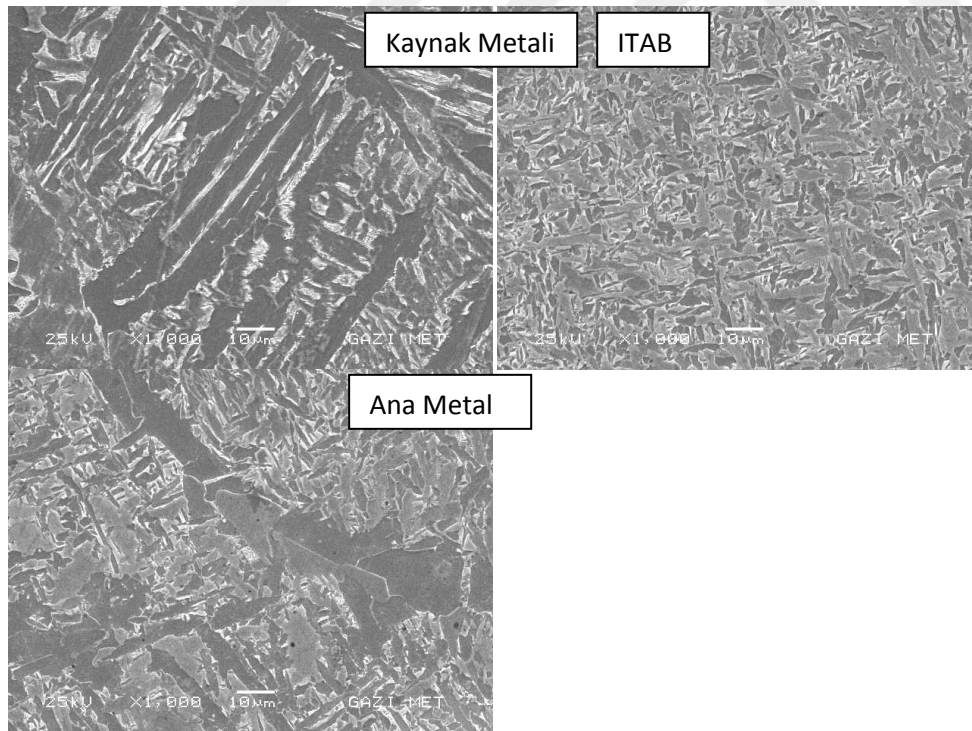
Resim 8.3. Elektrik ark kaynağı (korozyon öncesi) mikroyapısı



Resim 8.4. Elektrik ark kaynağı (korozyon sonrası) mikroyapısı



Resim 8.5. Tozaltı kaynağı (korozyon öncesi) mikroyapısı



Resim 8.6. Tozaltı kaynağı (korozyon sonrası)

## 8.2. Sertlikler

Grade A gemi saclarına kaynak yönteminin sertliğe etkisini belirlemek amacıyla yapılan sertlik ölçüm deneylerinde korozyon öncesi 3 ve korozyon sonrası 3 olmak üzere 6 numune kullanılmıştır. Her bir numunede 3 çizgisel hatta 15'er adet olmak üzere toplam 45 noktadan sertlik ölçümü alınmıştır (Resim 8.7). Alınan bu değerlerin ortalamaları alınarak elde edilen sertlik değerleri Çizelge 8.1'de verilmiştir.

Çizelge 8.1. Sertlik değerleri

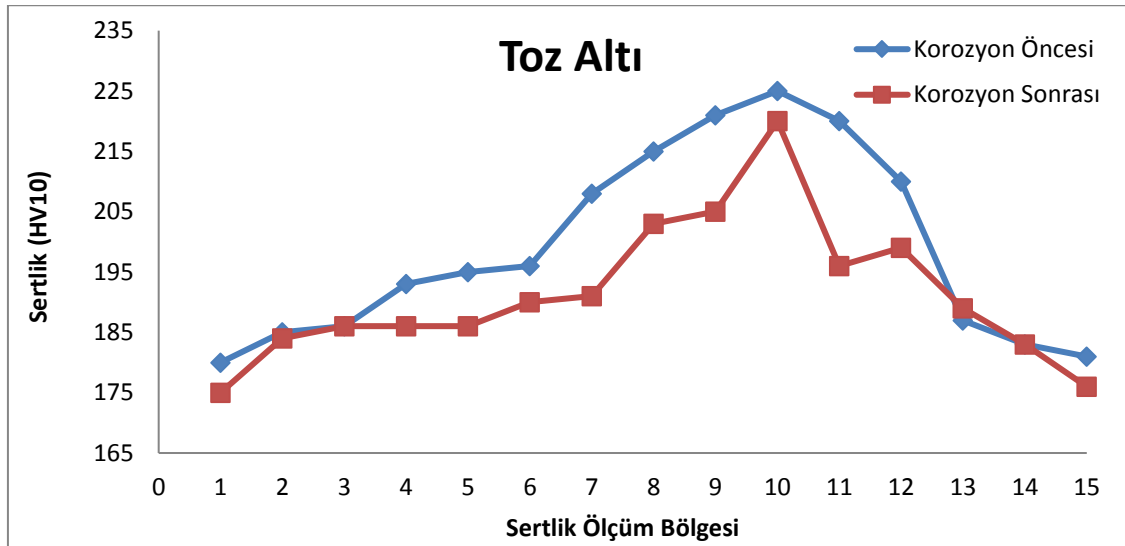
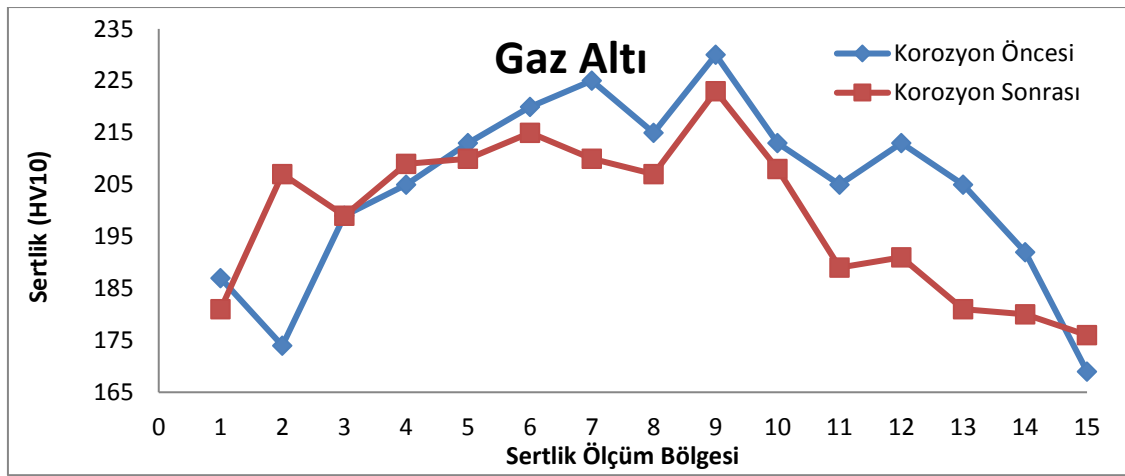
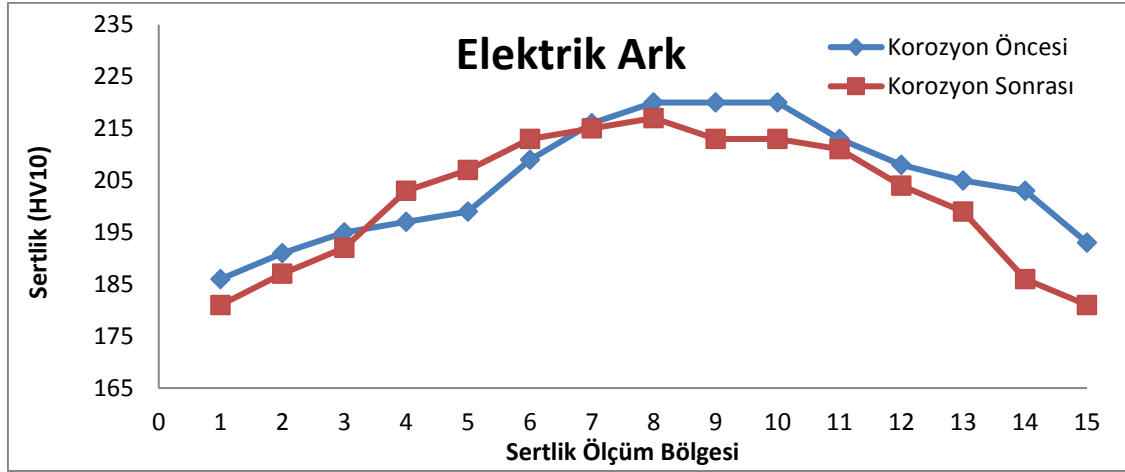
| Sertlik Ölçüm Bölgesi | Elektrik Ark                    |                                  | Gaz Altı                        |                                  | Toz Altı                        |                                  |
|-----------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
|                       | K. Öncesi sertlik değeri (HV10) | K. Sonrası sertlik değeri (HV10) | K. Öncesi sertlik değeri (HV10) | K. Sonrası sertlik değeri (HV10) | K. Öncesi sertlik değeri (HV10) | K. Sonrası sertlik değeri (HV10) |
| 1                     | 186                             | 181                              | 187                             | 181                              | 180                             | 175                              |
| 2                     | 191                             | 187                              | 174                             | 207                              | 185                             | 184                              |
| 3                     | 195                             | 192                              | 199                             | 199                              | 186                             | 186                              |
| 4                     | 197                             | 203                              | 205                             | 209                              | 193                             | 186                              |
| 5                     | 199                             | 207                              | 213                             | 210                              | 195                             | 186                              |
| 6                     | 209                             | 213                              | 220                             | 215                              | 196                             | 190                              |
| 7                     | 216                             | 215                              | 225                             | 210                              | 208                             | 191                              |
| 8                     | 220                             | 217                              | 215                             | 207                              | 215                             | 203                              |
| 9                     | 220                             | 213                              | 230                             | 223                              | 221                             | 205                              |
| 10                    | 220                             | 213                              | 213                             | 208                              | 225                             | 220                              |
| 11                    | 213                             | 211                              | 205                             | 189                              | 220                             | 196                              |
| 12                    | 208                             | 204                              | 213                             | 191                              | 210                             | 199                              |
| 13                    | 205                             | 199                              | 205                             | 181                              | 187                             | 189                              |
| 14                    | 203                             | 186                              | 192                             | 180                              | 183                             | 183                              |
| 15                    | 193                             | 181                              | 169                             | 176                              | 181                             | 176                              |

Şekil 8.1' de ergitmeli kaynak yöntemi ile birleştirilen Grade-A gemi saclarının ana metal, geçiş bölgesi ve kaynak metallerindeki sertlik değişimlerini gösteren grafikler verilmiştir.

Yapılan sertlik ölçümleri sonucunda, örtülü elektrod ark kaynak yönteminde ise korozyon öncesi kaynak metalinin sertlik değeri yaklaşık 216 HV, geçiş bölgesinin sertlik değeri yaklaşık 197 HV ve korozyon sonrası kaynak metalinin sertlik değeri yaklaşık 213 HV, geçiş bölgesinin sertlik değeri ise 194 HV olmuştur. Toz altı kaynak yönteminde korozyon öncesi kaynak metalinin sertlik değeri yaklaşık 216 HV, geçiş bölgesinin sertlik değeri

yaklaşık 186 HV ve korozyon sonrası kaynak metalinin sertlik değeri yaklaşık 202 HV, geçiş bölgesinin ise 183 HV olduğu tespit edilmiştir. Benzer eğilim diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmada da elde edilmiştir (Kaya ve ark., 2010). Gaz altı kaynak yönteminde korozyon öncesi kaynak metalinin sertlik değeri yaklaşık 220 HV, geçiş bölgesinin sertlik değeri yaklaşık 195 HV ve korozyon sonrası kaynak metalinin sertlik değeri yaklaşık 213 HV, geçiş bölgesi sertliği ise 193 HV'dir. Düşük karbonlu çeliklerde ITAB'daki sertlik değeri çatlama riskine karşı 350 HV sertlik değerinin altında olması arzu edilmektedir (Kaya ve ark., 2010). Her 3 kaynak tekniğinde de ITAB' da ki sertlik değeri bu kritik sertlik değeri altında kalmıştır.

Elde edilen değerlere bakıldığında örtülü elektrod ark, tozaltı ve gazaltı kaynak yöntemlerinde korozyon öncesi kaynak metalinin ve geçiş bölgesi sertliklerinin yakın değerlerde olduğu görülmüştür. Korozyon sonrasında kaynak metalinin sertliklerinde tozaltı kaynak yönteminde %6,4, örtülü elektrod ark kaynak yönteminde %1,3 ve gazaltı kaynak yönteminde %3,1 oranında azalma görülmüştür. Geçiş bölgelerinde ise tozaltı kaynak yönteminde %1,6, örtülü elektrod ark kaynak yönteminde %1,5 ve gazaltı kaynak yönteminde %1 oranında azalma meydana gelmiştir.



Şekil 8.1. Grade-A gemi saclarının ana metal, geçiş bölgesi ve kaynak metallerindeki sertlik değişimlerini gösteren grafikler

### 8.3. Eğme Testi

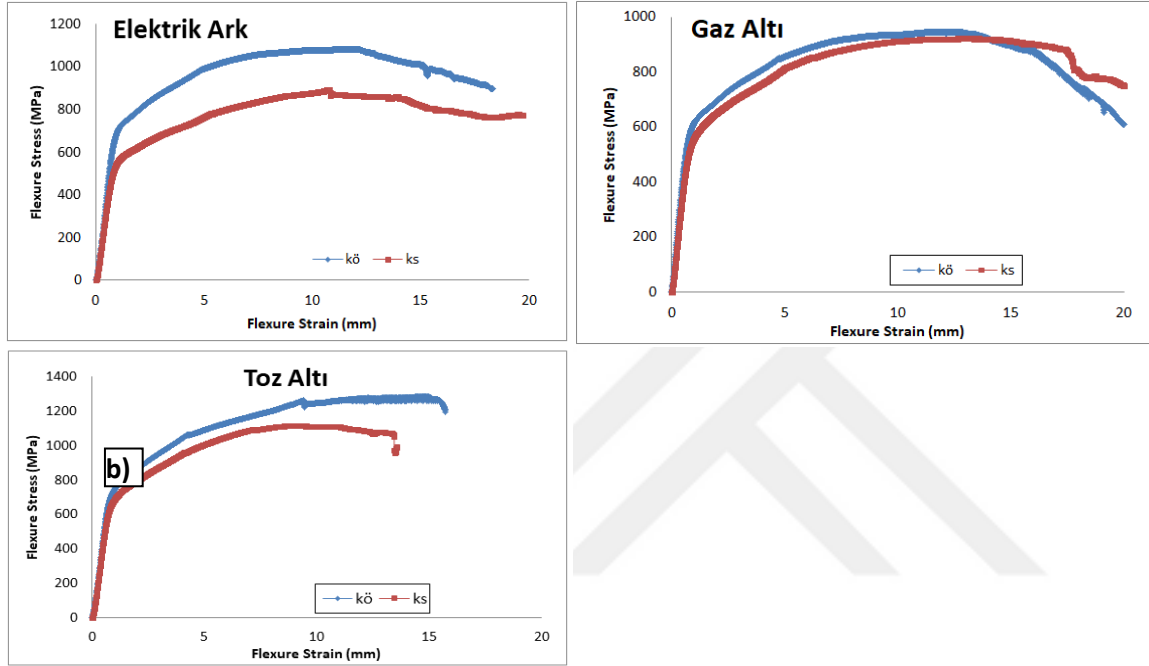
Gemilerin imalat esnasında maruz kalacakları kuvvetlere karşı göstereceği mekanik özellikleri belirlemek amacıyla ergitmeli kaynak yöntemi ile birleştirilen Grade A gemi saclarında kaynak sonrasında taşlama işlemi yapılmamıştır. Kaynak bölgesi taşlanmadan hazırlanan korozyon öncesi ve korozyon sonrası numunelere eğme deneyi uygulanmıştır. Eğme deneyi uygulanan numunelerin makro görüntüleri Resim 8.7’ de verilmiştir.

|                             | Korozyon Öncesi                                                                     | Korozyon Sonrası                                                                     |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Elektrik Ark Kaynağı</b> |    |    |
| <b>Gaz altı Kaynağı</b>     |   |   |
| <b>Tozaltı Kaynağı</b>      |  |  |

Resim 8.7. Eğme deneyi uygulanan numunelerin makro görüntüleri

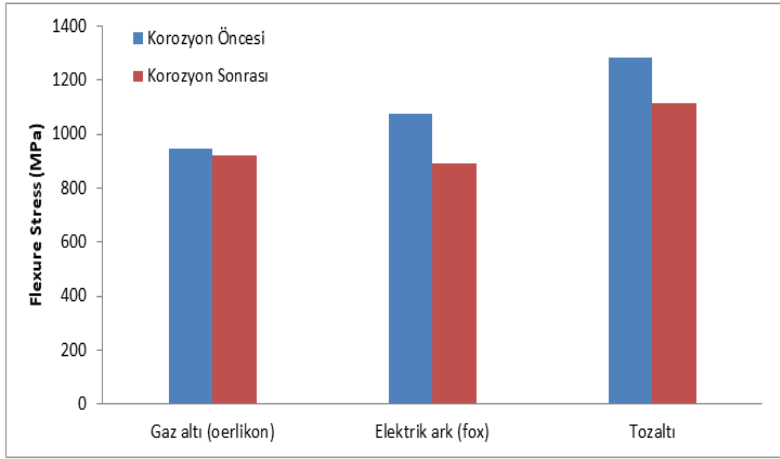
Şekil 8.2’ de ergitmeli kaynak yöntemi ile birleştirilen Grade A gemi sacının korozyon öncesi ve korozyon sonrası eğme dayanımı grafikleri verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, örtülü elektrod ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiş gemi sacının eğme dayanımı korozyon öncesi 1078 MPa iken korozyon sonrasında 890 MPa olduğu tespit edilmiştir. Gazaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerde korozyon öncesi ve sonrası eğme dayanımları sırasıyla 945 MPa ve 920 MPa olarak elde edilmiştir. Maksimum eğme dayanımı toz altı kaynağı ile birleştirilmiş numunelerde elde edilmiştir. Buna göre korozyon öncesi eğme dayanımı 1284 MPa iken bu değer korozyon sonrası 1113 MPa’ya düşmüştür. Yapılan eğme dayanım deneyleri sonrasında tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerin korozyon öncesi eğme dayanımlarının örtülü elektrod ark ve gaz altı kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Ancak korozyon sonrası eğme dayanımları kıyaslandığında tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerin

eğme dayanımlarında %13.31, gazaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerin eğme dayanımlarında %2.58 ve örtülü elektrod ark kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerin eğme dayanımlarında %17.38 oranında bir azalma meydana gelmiştir. Dolayısıyla korozyon sonrası gazaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerde eğme dayanımı daha az oranda düşmüştür.



Şekil 8.2. Elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiş Grade A gemi sacının eğme dayanımı grafikleri; a) korozyon öncesi b) korozyon sonrası

Yapılan eğme dayanım deneyleri sonrasında tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerin korozyon öncesi eğme dayanımlarının elektrik ark ve gaz altı kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. (Şekil 8.3). Ancak korozyon sonrası eğme dayanımları kıyaslandığında tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerin eğme dayanımlarında %25.6, Gaz altı kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerin eğme dayanımlarında %21.1 ve elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerin eğme dayanımlarında %13.5 oranında bir azalma meydana gelmiştir (Çizelge 8.2). Dolayısıyla korozyon sonrası elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerde eğme dayanımı daha az oranda düşmüştür.



Şekil 8.3. Korozyon öncesi ve sonrası Eğme Dayanımları

Çizelge 8.2. Korozyon sonrası eğme dayanımlarındaki değişimler

| Kaynak Yöntemi | Korozyon Öncesi Eğme Dayanımı (MPa) | Korozyon Sonrası Eğme Dayanımı (MPa) | Korozyon Sonrası Eğme Dayanımındaki Azalma (%) |
|----------------|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------|
| Elektrik ark   | 896,57                              | 774,95                               | 13,56503                                       |
| Gaz altı       | 552,65                              | 435,77                               | 21,14901                                       |
| Tozaltı        | 1194,03                             | 887,34                               | 25,68528                                       |

#### 8.4. Çekme Deneyi

Ergitmeli kaynak yöntemi ile birleştirilen Grade A gemi sacının korozyon öncesi ve korozyon sonrası çekme deneyi grafikleri Şekil 8.4' de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiş gemi sacının maksimum çekme dayanımı 595 MPa iken bu değer korozyon sonrası 585 MPa'a düşmüştür. İki değer arasında yaklaşık % 1,73'lük fark meydana gelmiştir (Şekil 7). İmdat ve ark. (2018) atmosferik ortamda örtülü elektrod ark kaynağı ile birleştirdikleri grade A gemi sacının kaynak sonrası çekme dayanımını 450 MPa olarak bulmuşlardır. Araştırmacılar maksimum gerilme değerindeki şekil değiştirme oranı ise yaklaşık %22 olarak bulmuşlardır.

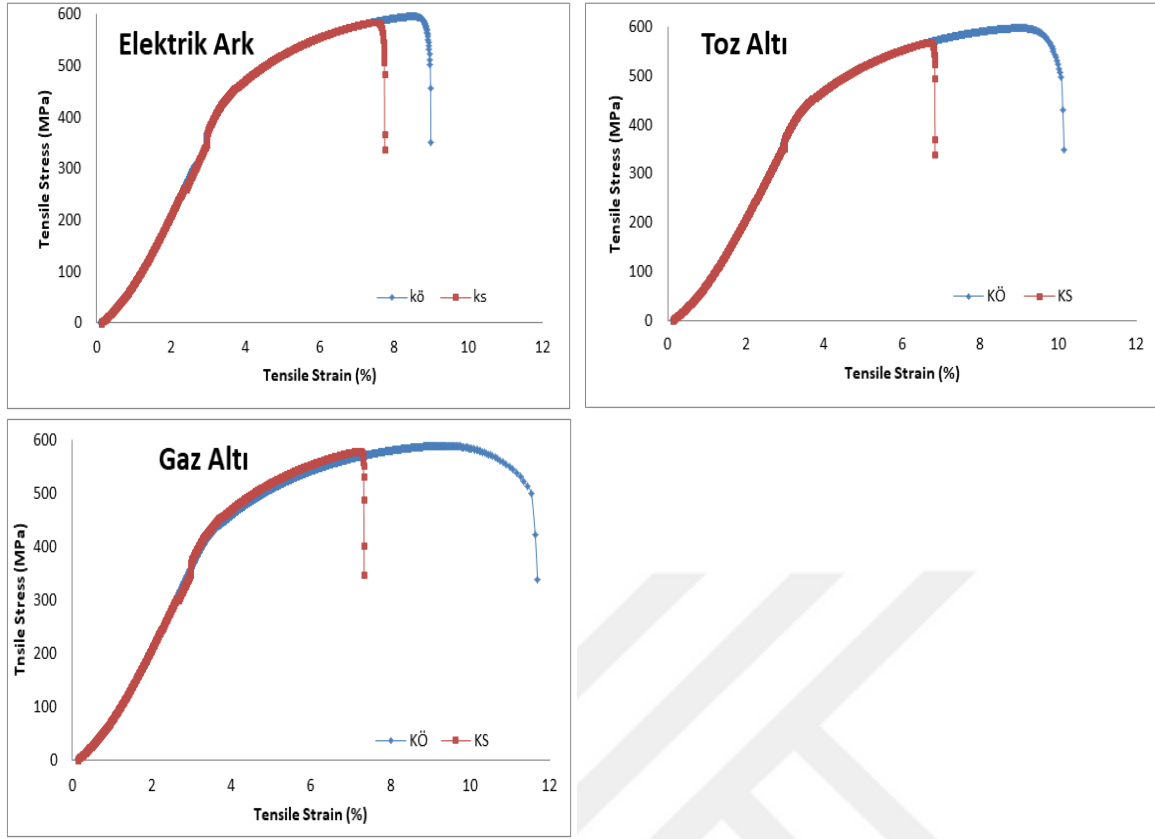
Yapmış olduğumuz bu çalışmada ise korozyon öncesi maksimumum çekme gerilmesinde meydana gelen şekil değiştirme oranı yaklaşık % 9'dur. Korozyon sonrası ise bu oran yaklaşık %7 civarındadır. Tozaltı kaynağı ile birleştirilen bağlantıların çekme deney sonuçları incelendiğinde korozyon öncesi maksimum çekme dayanımının 597 MPa olduğu, korozyon sonrası bu değer yaklaşık 569 MPa'a düştüğü görülmüştür. İki değer

arasında yaklaşık % 4,80'lik fark meydana gelmiştir. Bu durum korozyon etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Kaya ve arkadaşları (2010) farklı kalınlıklardaki grade A gemi sacını tozaltı kaynağı ile birleştirmiş ve bağlantının mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Araştırmacılara göre 8 mm'lik kaynaklı birleştirmenin çekme dayanımı 428,5 MPa uzama miktarı ise %19,9 olarak saptanmıştır.

Yapmış olduğumuz bu çalışmada ise korozyon öncesi maksimumum çekme gerilmesinde meydana gelen şekil değiştirme oranı yaklaşık % 10'dur. Korozyon sonrası ise bu oran yaklaşık %7 civarındadır. Gaz altı kaynağı ile birleştirilen bağlantıların çekme deney sonuçları incelendiğinde korozyon öncesi maksimum çekme dayanımının 589 MPa, uzama miktarının ise yaklaşık %10 olduğu tespit edilmiştir. Korozyon sonrası ise çekme dayanımı yaklaşık 585 MPa'a ve uzama miktarı yaklaşık %7'ye düşmüştür. Korozyon öncesi ve sonrası çekme dayanımları arasındaki fark %0,76 olarak hesaplanmıştır. Korozyon sonrası çekme dayanımlarında en fazla düşme toz altı kaynak yöntemi ile birleştirilen parçalarda görülmüştür. Bu düşmenin sebebinin yüksek ısı girdisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kaynak ısı girdisi (H) aşağıda verilen formülden hesaplanmıştır.

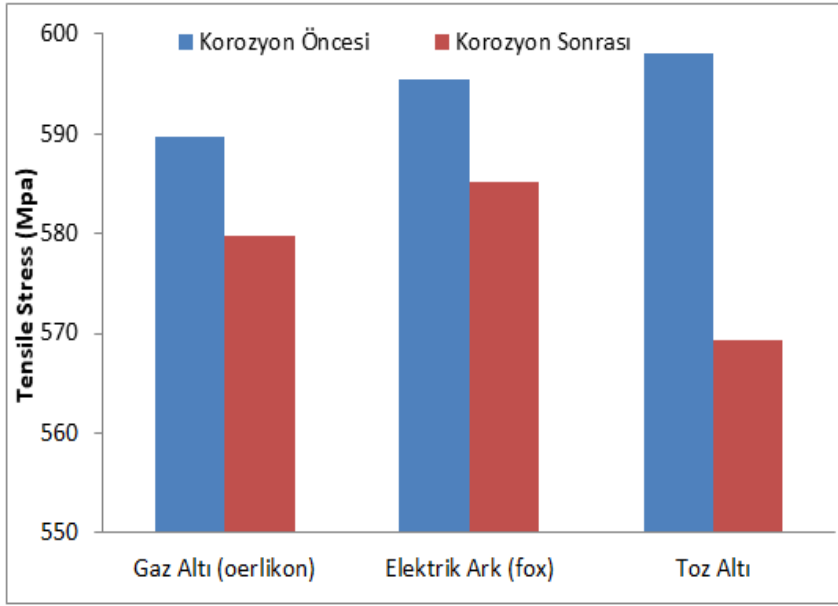
$$H=(IUn60) / 1000V$$

Burada n; kaynak verimliliği katsayısı (Gaz altı kaynağı :0.7, Örtülü elektrot ark kaynağı: 0.8 ve Toz altı kaynağı : 1), U; kaynak gerilimi, I; kaynak akımı, ve V; kaynak hızını ifade etmektedir [15]. Bu değer örtülü elektrod ark kaynağında 0,98 kJ/mm, gazaltı kaynağında 0,88 kJ/mm ve tozaltı kaynağında 2,71 kJ/mm olarak hesaplanmıştır.



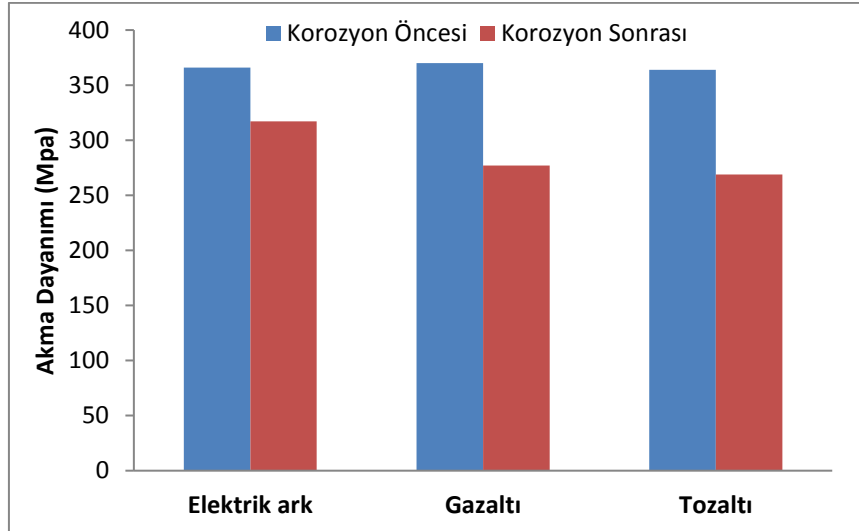
Şekil 8.4. Elektrik Ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiş Grade A gemi sacının çekme dayanımı grafikleri; a) korozyon öncesi b) korozyon sonrası

Şekil 8.5 'da korozyon öncesi ve korozyon sonrası çekme deneyinden elde edilen maksimum çekme değerleri kullanılarak oluşturulan grafik verilmiştir. Grafik incelendiğinde korozyon öncesi ve korozyon sonrası maksimum çekme dayanımlarda kısmi değişiklikler olduğu görülmüştür. Özellikle toz altı kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerin korozyon sonrası çekme dayanımında daha belirgin bir düşme meydana gelmiştir.



Şekil 8.5. Ergitmeli kaynak yöntemi ile birleştirilmiş Grade A gemi sacının korozyon öncesi ve korozyon sonrası çekme dayanımı grafikleri.

Korozyonun akma dayanımına belirgin bir şekilde etki ettiği şekil 8.6 'da verilen grafikte görülmektedir. Zira, yapılan çekme dayanım deneyleri sonrasında tozaltı, elektrik ark ve gaz altı kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerin korozyon öncesi akma dayanımlarının 370 MPa civarında olduğu görülmüştür. Ancak korozyon sonrası akma dayanımları kıyaslandığında tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerin akma dayanımlarında %26, Gaz altı kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerin eğme dayanımlarında %25.1 ve elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerin eğme dayanımlarında %13.3 oranında bir azalma meydana gelmiştir (Çizelge 8.3). Dolayısıyla korozyon sonrası elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerde akma dayanımı daha az oranda düşmüştür.



Şekil 8.6. Ergitmeli kaynak yöntemi ile birleştirilmiş Grade A gemi sacının korozyon öncesi ve korozyon sonrası çekme dayanımı grafikleri.

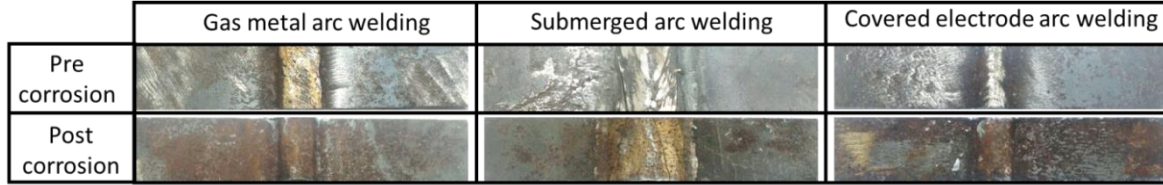
Çizelge 8.3. Korozyon sonrası çekme dayanımlarındaki değişimler

|              | Korozyon öncesi      |                     | Korozyon sonrası     |                     | Korozyon Sonrası Eğme Dayanımındaki Azalma (%) |
|--------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|------------------------------------------------|
|              | Çekme Dayanımı (Mpa) | Akma Dayanımı (Mpa) | Çekme Dayanımı (Mpa) | Akma Dayanımı (Mpa) |                                                |
| Elektrik Ark | 559                  | 366                 | 560                  | 317                 | 13,3                                           |
| Gaz altı     | 555                  | 370                 | 553                  | 277                 | 25,1                                           |
| Toz altı     | 551                  | 364                 | 533                  | 269                 | 26,0                                           |

### 8.5. Korozyon Deneyi

Tozaltı, elektrik ark ve gaz altı kaynak yöntemleri ile birleştirilen Grade A malzemelerin deniz suyunda korozyon davranışlarını incelemek için Nötral Tuz Püskürtme (NSS) yöntemi ile yapılan korozyon deneyi sonucu elde edilen değerler Çizelge 8.4 'de verilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda toz altı kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerde ortalama %11,6-21,6, gaz altı kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerde ortalama %6,6-15 ve elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerde ise ortalama %20-30 arasında kırmızı pas görülmüştür. Dolayısıyla elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerde meydana gelen korozyon oranı daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Parçaların korozyona dayanımları iyiden kötüye aşağıda ki gibi sıralanmıştır;

Gaz altı kaynak yöntemi> Toz altı kaynak yöntemi > Elektrik ark kaynak yöntemi. Dolayısıyla örtülü elektrod ark kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerde daha fazla korozyon meydana gelmiştir. Şekil 8.7 Kaynaklı birleştirmelere ait makro yapı resimleri



Şekil 8.7. Kaynaklı birleştirmelere ait makro yapı resimleri

Çizelge 8.4. Korozyon Test Sonuçları

| Numune Adı                         | Test Sonuçları                  |
|------------------------------------|---------------------------------|
| Örtülü elektrod ark kaynaklı parça | %20-30 oranında kırmızı pas     |
| Gazaltı kaynaklı parça             | %6,6-15 oranında kırmızı pas    |
| Tozaltı kaynaklı parça             | %11,6-21,6 oranında kırmızı pas |



## 9. SONUÇ VE ÖNERİLER

İşleme konan uygulamalar neticesinde, ergitmeli kaynak teknikleriyle kaynatılan Grade A gemi sacının kaynak noktasında ve ITAB’da perlit taneciklerinin korozyon etkisiyle biraz irileştiği saptanmıştır. Ulaşılan verilere bakılırsa toz altı, gaz altı ve elektrik ark kaynak tekniklerinde korozyondan evvel kaynak metalinin ve geçiş yeri sertliklerinin benzer verilerde olduğu saptanmıştır. Korozyonun ardından kaynak metalinin sertliklerinde toz altı kaynak tekniğinde ortaya çıkan sertlik miktarındaki düşüşün, elektrik ark ve gaz altı kaynak tekniklerine oranla daha çok olduğu gözlenmiştir.

Bu çalışma, gemi gövdelerinin imalat aşamasında maruz kaldığı atmosfer ortamından kaynaklanan korozyonun kaynak bölgesinin mekanik özelliklerine etkilerine ilişkin yeni bilgiler içermektedir

Tozaltı, gazaltı ve elektrik ark kaynak yöntemlerinde korozyon öncesi kaynak metalinin ve geçiş bölgesi sertliklerinin yakın değerlerde olduğu görülmüştür. Toz altı kaynak yöntemi ile birleştirilen Grade A sacının korozyon sonrasında kaynak metalinin sertlik değerindeki azalma, elektrik ark kaynak yöntemi ve gazaltı kaynak yöntemine göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Korozyon öncesi ve korozyon sonrası geçiş bölgelerindeki sertlik değerlerinin düşük olduğu görülmüştür. Sertlik değerlerindeki bu düşüşün birleştirme esnasında meydana gelen ısı girdisindeki artışa bağlı olarak geçiş bölgesinde meydana gelen tane irileşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Korozyon sonrasında, toz altı kaynak yöntemiyle birleştirilen gemi saclarının çekme dayanımı ve birim şekil değiştirme değerlerinde daha fazla oranda düşme meydana gelmiştir.

Örtülü elektrot ark kaynağı ve toz altı kaynak yöntemi ile birleştirilen sacların korozyon sonrası eğme dayanımlarında sırasıyla %17,38 ve %13,31 oranlarında azalma meydana gelmiştir.

Yapılan alışmalar sonucunda, çekme dayanımı ve eğme dayanım değerlerinin en yüksek değerleri toz altı kaynak yöntemiyle birleştirilen saclarda görülmüştür. Buna rağmen korozyon sonrası çekme, sertlik ve eğme dayanımlarındaki azalma oranları açısından en düşük değerler gaz altı kaynak yöntemiyle birleştirilen saclarda elde edilmiştir. Bu nedenle gemi imalatı esnasında korozyon sonrası özellikler açısından gaz altı kaynak yönteminin tercih edilmesi daha uygun olacaktır.

### **9.1. neriler**

Korozyon testleri için farklı yöntemler kullanılabilir. Farklı özelliklerdeki gemi saclarının mekanik ve korozyon özellikleri belirlenebilir. Parça kalınlıkları değiştirilerek kaynak ve korozyon testleri gerçekleştirilebilir.

## KAYNAKLAR

1. Devlet Planlama Teşkilatı. (2001). *Gemi inşa sanayi ve rekabet edebilirlik özel ihtisas komisyonu raporu, 8. beş yıllık kalkınma planı*. Ankara: Devlet Planlama Teşkilatı, 2588-ÖİK: 600.
2. Asarkaya, M. (2004). *Tersanelerde uygulanan ve uygulanabilecek kaynak yöntemleri*, Gemi Mühendisliği ve Sanayimiz Sempozyumu, 252–267
3. Özden, H. (2003). *Gemi inşaatında kalın çelik sac kaynak bağlantılarının işletme mukavemeti*. Kocaeli:24-25
4. Ang, M., Lin, W., ve Lim, S. (1999). *A Walk-Through Programmed Robot for Welding in Shipyards*. *Industrial Robot*, pp. 377–388.
5. Asarkaya, M. (2006). *Gemi İnşasında Kullanılan Kaynak Yöntemlerinin Mekanik Özelliklere Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 12.
6. Gerritsen, C. H. J., ve Howarth, D. J. (2005). *A review of the development and application of laser and laser-arc hybrid welding in european shipbuilding*. 11th CF/DRDC International Meeting on Naval Applications of Materials Technology, Halifax Canada.
7. Gerritsen, C.H.J., Allen, C.M., ve Mawella,J. (2005). *Development and evaluation of co2 laser-fcaw hybrid welding for dh36 shipbuilding steel*. 11th CF/DRDC International Meeting on Naval Applications of Materials Technology, Halifax Canada
8. Ay, T., Özşaraç, U., Aslanlar, S. (2003). *Gemi saçlarına uygulanan kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerinin incelenmesi*. Kaynak Teknolojisi IV Ulusal Kongresi, Kocaeli,24-25
9. Fricke, W., ve Kahl, A. (2005). *Comparison of Different Structural Stress Approaches for Fatigue Assessment of Welded Ship Structures, Marine Structures* , 473–488
10. Sumpter, J. D. G., ve Kent, J.S. (2006). *Fracture toughness of grade D ship steel*, *Engineering Fracture Mechanics*, 1396–1413.
11. ESAB. (2003). *Welding Handbook for Manual and Automatic welding*.
12. Shome, M. (2007). *Effect of Heat-input on Austenite Grain Size in The Heat-Affected Zone of HSLA–100 Steel*, *Materials Science and Engineering A*, 445–446, 454–460.
13. Eroğlu, M., ve Aslan, S., (2001). *Düşük karbonlu bir çelikte molibdenin ITAB'ın mikroyapısı ve mekanik özelliklere etkisi*. Kaynak Teknolojisi III Ulusal Kongresi, İstanbul: 127-135
14. Kökemli, K., ve Kaçar, R. (2005). *Kontrollü atmosferin gaz altı ark kaynak bağlantılarının ısı tesiri altındaki bölgesinin özelliklerine etkisi*. *Gazi University Journal of Science*, 18(4), 671-680.

15. Yılmaz, R., ve Tümer, M. (2009). Gemi saclarının tozaltı ve özlü tel kullanarak MAG kaynağı ile birleştirilmesi ve mekanik özellikleri. *Tübav Bilim Dergisi*, 2(1), 56-66.
16. Milli Eğitim Bakanlığı. (2012). *Gemi Yapımı, NESTİNG 521MMI465*. Ankara: Milli Eğitim Bakanlığı, Son Erişim Tarihi: 29 Aralık 2018.
17. İnternet: İstanbul Teknik Üniversitesi, *Gemi İnşaatında Kullanılan Malzemeler*, İstanbul Teknik Üniversitesi Ders Sunumu, URL:
18. İnternet: İstanbul Teknik Üniversitesi, *Gemi İnşaatında Kullanılan Malzemeler*, İstanbul Teknik Üniversitesi Ders Sunumu, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fakademi1.itu.edu.tr%2F160.75.46.2%2Fstaff%2Fferdem%2FGMG%2Fweek10.pdf&date=2019-03-01>, Son Erişim Tarihi: 29 Aralık 2018.
19. Gözütok, E. (2016). *Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynağında Argon-Hidrojen Gaz Karışımının Birleştirmelerin Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerine Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 13.
20. Varışlı, C. (2015). *Türkiye’de ve Dünya’da Denizcilik Finansmanı ve Deniz Sigortaları*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 18.
21. İmdat, K., Kaya, Y., ve Kahraman, N. (2017). Grade A gemi sacının örtülü elektrod ark kaynak yöntemi ile sualtı ve atmosferik şartlarda birleştirilebilirliğinin araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 21(3), 543-552.
22. Bağcı, K. (2002). Makine Mühendisliği Ansiklopedisi.
23. İnternet: *Gemi İnşaatı*, URL: [http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.muhendisizbiz.net%2Fuploadlar%2F92%2F+o\\_d\\_e\\_v\\_4607.pdf&date=2019-03-01](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.muhendisizbiz.net%2Fuploadlar%2F92%2F+o_d_e_v_4607.pdf&date=2019-03-01) Son Erişim Tarihi: 30 Aralık 2018.
24. Anık, S. (1991). *Kaynak tekniği el kitabı*. Ankara: Birsan Yayınevi, 15.
25. İnternet: [http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.muhendisizbiz.net%2Fuploadlar%2F92%2F+o\\_d\\_e\\_v\\_4607.pdf&date=2019-03-01](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.muhendisizbiz.net%2Fuploadlar%2F92%2F+o_d_e_v_4607.pdf&date=2019-03-01), Son Erişim Tarihi: 30 Aralık 2018.
26. İnternet: Mansuroğlu, Y. *Gazaltı kaynak yöntemi ve bu yöntemde kullanılan koruyucu Gazlar*. URL: [http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.yusufmansuroglu.com.tr%2Fegitim%2FYusuf\\_Mansuroglu\\_Gazalti\\_Kaynak\\_Yontemi\\_ve\\_Bu\\_Yontemde\\_Kullanilan\\_Koruyucu\\_Gazlar.pdf&date=2019-03-01](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.yusufmansuroglu.com.tr%2Fegitim%2FYusuf_Mansuroglu_Gazalti_Kaynak_Yontemi_ve_Bu_Yontemde_Kullanilan_Koruyucu_Gazlar.pdf&date=2019-03-01) Son Erişim Tarihi: 30 Aralık 2018.
27. İnternet: [http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.oerlikon.com.tr%2Far\\_k\\_kaynak\\_yontemleri.html&date=2019-03-01](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.oerlikon.com.tr%2Far_k_kaynak_yontemleri.html&date=2019-03-01), Son Erişim Tarihi: 30 Aralık 2018.
28. Soykan, C. (2018). *İmalat İşlemleri*, Kocaeli.

29. İnternet: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.teranedergisi.info&date=2019-03-01>, Son Erişim Tarihi: 30 Aralık 2018.
30. İnternet: Sakarya Üniversitesi, *İmal Usulleri ve Kaynak Teknolojisi*. Sakarya Üniversitesi Ders Sunumu, URL: [http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/49081/46000/imal\\_kaynak\\_\\_3.1\\_kaynak\\_yontemleri.ppt](http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/49081/46000/imal_kaynak__3.1_kaynak_yontemleri.ppt), Son Erişim Tarihi: 30 Aralık 2018.
31. Çelik, Ö. *Gemi İnşaatında Kullanılan Kaynak Yöntemlerinin İncelenmesi*.
32. İnternet: *Tozaltı Kaynağı*, Sakarya Üniversitesi Ders Notu, URL: [http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fcontent.lms.+sabis.sakarya.edu.tr%2FUploads%2F71097%2F46847%2Ftozalt%C4%B1\\_kayna%C4%9F%C4%B1B1.pdf+&date=2019-03-01](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fcontent.lms.+sabis.sakarya.edu.tr%2FUploads%2F71097%2F46847%2Ftozalt%C4%B1_kayna%C4%9F%C4%B1B1.pdf+&date=2019-03-01), Son Erişim Tarihi: 30 Aralık 2018.
33. Dede, A., Soy, U., Aslanlar, S. (2002). Sürtünme kaynak yöntemi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(1), 7-12.
34. İnternet: Tama, Y.S. *Çelik yapı uygulamalarında kullanılan kaynak yöntemleri, üstünlükleri ve sakıncalı yönleri*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fdocplayer.biz.tr%2F17588166-Celik-yapi-uygulamalarında-kullanılan-kaynak-yontemleri-ustunlukleri-ve-sakincali-yonleri.html&date=2019-03-01> Son Erişim Tarihi: 30 Aralık 2018.
35. Görenler, A. (2007). *Al-Sİ Matrisli Kompozit Malzemelerin Korozyon Davranışlarının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 12.
36. İnternet: Balbaşı, M. *Korozyon*, Gazi Üniversitesi. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fw3.gazi.edu.tr%2Fbalbasi%2FBolum-6.pdf+&date=2019-03-01> Son Erişim Tarihi: 30 Aralık 2018.
37. Milli Eğitim Bakanlığı. (2013). *Gemilerde korozyonu önleme*. Ankara: Milli Eğitim Bakanlığı.
38. İnternet: Akdoğan Eker, A. (2009). *Korozyon*, Yıldız Teknik Üniversitesi. URL: [http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.+yildiz.edu.tr%2F%7Eakdogan%2Flessons%2Fkorozyonvekoruma%2FKorozyon\\_Korozyon\\_Mekanizmalari.pdf+&date=2019-03-01](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.+yildiz.edu.tr%2F%7Eakdogan%2Flessons%2Fkorozyonvekoruma%2FKorozyon_Korozyon_Mekanizmalari.pdf+&date=2019-03-01), Son Erişim Tarihi: 30 Aralık 2018.
39. Kılıç, B., Sevgili, İ., Uysal, N., İşler, B., Gülenler, H. *Korozyon Kimyası ve Önemi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Buca Eğitim Fakültesi, Fen Bilgisi Öğretmenliği.
40. Onat, A. (2015). *Korozyon Ders Notu*, Sakarya Üniversitesi Sakarya Meslek Yüksek Okulu Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü Metalurji Programı.
41. Palmanak, E. (2010). *6-Amino-M-Kresol Polimerinin Bakır ve Paslanmaz Çelik Üzerine Sentezi ve Korozyon Performansının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

## 42. İnternet:

<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fdocplayer.biz.tr%2F10207269-Erozyon-korozyonu-eru-muhendislik-fakultesi-makine-muhendisligi-bolumu-03-11-2011-korozyon-ve-onlenmesi-dersi-konu-sunumu.html.&date=2019-03-01>. Son Erişim Tarihi: 30 Aralık 2018.



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : GÜLTEKİN, Mesut  
 Uyuğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 04.03.1980, Ankara  
 Medeni hali : Evli  
 Telefon : 0 (554) 171 05 27  
 Faks : 0 (530) 287 34 70  
 e-mail : mmesutgultekin@gmail.com



### Eğitim

| Derece        | Eğitim Birimi                                | Mezuniyet Tarihi |
|---------------|----------------------------------------------|------------------|
| Yüksek lisans | Gazi Üniversitesi /Metal Eğitimi             | Devam Ediyor     |
| Lisans        | Gazi Üniversitesi /Metal İşleri Öğretmenliği | 2001             |
| Lise          | Bala Atatürk E.M.L.                          | 1997             |

### İş Deneyimi

| Yıl        | Yer    | Görev    |
|------------|--------|----------|
| 2010-Halen | M.E.B. | Öğretmen |

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayınlar

Gültekin, M., Çinici, H., Arabacı, U., Fındık, T., Ulutaş, A. (2017). *Grade A Gemi Saclarında Kaynak Bölgesinin Sertliğine Korozyonun Etkisi*, 1st International Turkish World Engineering and Science Congress, Turkey: 769-777.

### Hobiler

Spor, Yüzme, Müzik, Kitap



*GAZİ GELECEKTİR..*