

# Örtülü Elektrod Ark Kaynağı ve Gazaltı Kaynağı Kullanılarak Birleştirilen Gemi İnşa Çeliğinde Kaynak Bölgesinin İyapı Ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi

Ali Ragıp AKKAYA<sup>1</sup>, Dursun Murat SEKBAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği, Trabzon, Türkiye

<sup>2</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği, Trabzon, Türkiye

<sup>1</sup> akkayali.98@gmail.com<sup>1</sup>, ORCID: 0000-0003-2911-2068

<sup>2</sup>(sorumlu yazar), msekban@ktu.edu.tr<sup>2</sup>, 0000-0002-7493-108

## ÖZET

Bilindiği üzere gemiler sacların ve çeşitli profillerin kaynaklı birleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. Önceleri bir tamir yöntemi olarak kullanılan kaynak işlemi, bu alandaki gelişmelerin sonucu olarak tamamen kaynaklı bağlantıların kullanıldığı büyük çaplı gemilerin inşaatına imkân sağlamıştır. Günümüzde gemi imalatında en çok örtülü elektrotlarla ark kaynağı ve gazaltı kaynak yöntemleri kullanılmaktadır. Öte yandan geminin kullanım amacı, gemideki kullanım yeri ve seyirin yapıldığı sular gibi birçok değişkene bağlı olmakla birlikte, iyi tokluk değerleri, yüksek korozyon direnci, düşük maliyetleri ve yüksek kaynak edilebilirlikleri göz önüne alındığında gemi imalatında genellikle %0,15-0,23 aralığında karbon ihtiva eden düşük-orta mukavemetli çelikler kullanılmaktadır. Bu bilgiler ışığında düşük-orta mukavemetli gemi inşa çeliklerinin bahsi geçen kaynak yöntemleri ile kaynak edilmesi sonucunda kaynak bölgesinde oluşan yapının içyapısal ve mekanik özelliklerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi son derece faydalı olacaktır. Bu bağlamda çalışmada düşük-orta mukavemetli gemi inşa çeliği örtülü elektrotlarla ark kaynağı ve gazaltı kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirilmiş ve sonrasında kaynak bölgesinin içyapı ve mekanik özellikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda gazaltı kaynağı sonucunda kaynak bölgesinde daha ince taneli bir içyapı olduğu görülmüştür. Mekanik özelliklerin belirlenmesi için yapılan testler sonucunda da sertlik, dayanım ve darbe tokluğu değerlerinin tamamında gazaltı kaynağı ile yapılan kaynaklı birleştirmelerde daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Örtülü elektrotla ark kaynağı, gazaltı kaynağı, düşük-orta mukavemetli gemi inşa çeliği.

**Makale geçmişi:** Geliş 08/12/2020 – Kabul 20/12/2020

# Comparative Investigation of Microstructure and Mechanical Properties of Shielded Metal Arc Welded and Gas Metal Arc Welded Shipbuilding Steel

Ali Ragıp AKKAYA<sup>1</sup>, Dursun Murat SEKBAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Trabzon, Türkiye

<sup>2</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Department of Marine Engineering Operations, Trabzon, Türkiye

<sup>1</sup> [akkayyali.98@gmail.com](mailto:akkayyali.98@gmail.com)<sup>1</sup>, ORCID: 0000-0003-2911-2068

<sup>2</sup>(corresponding author), [msekban@ktu.edu.tr](mailto:msekban@ktu.edu.tr)<sup>2</sup>, 0000-0002-7493-108

## ABSTRACT

As it is known, ships are built by welded joining of sheets and various profiles. Welding, which was previously used as a repair method, has enabled the construction of large-scale ships using fully welded joints as a result of the developments in this field. Nowadays, shielded metal arc welding and gas metal arc welding are mostly used in shipbuilding. The materials used in ships depend on many variables such as the purpose of use of the ship, the place of use on the ship and the waters in which the navigation takes place. On the other hand, low-medium strength steels with carbon content in the range of 0.15-0.23% are generally used in ships due to their good toughness values, high corrosion resistance, low costs and high weldability. In light of this information, it will be extremely useful to comparatively examine the microstructural and mechanical properties of the welded zone as a result of welding low-medium strength shipbuilding steels with the mentioned methods. In this context, in this study, low-medium strength shipbuilding steel was joined with shielded metal arc welding and gas metal arc welding methods, and then the microstructure and mechanical properties of the weld zone were compared comparatively. As a result of the investigations, it was observed that a finer-grained microstructure was formed in the weld area as a result of gas metal arc welding. Also, result of the tests performed to determine the mechanical properties, better results were obtained in welded joints made with gas arc welding in all values of hardness, strength and impact toughness.

**Keywords:** Shielded metal arc welding, gas metal arc welding, low-medium strength shipbuilding steel.

**Article history:** Received 08/12/2020 – Accepted 20/12/2020

## 1. Giriş

Sevk için rüzgâr ve insan gücü yerine sanayi devriminden sonra makine gücüne geçilmesi; gemilerin tasarımları, boyutları ve inşa malzemelerinin çeşitlenmesi gibi birçok alanda gelişmelerin yaşanmasına sebep olmuştur (Sekban, 2018). Gemi imalatındaki gelişmelere paralel olarak malzeme bilimi alanında da birçok gelişme yaşanmış ve yeni yapı malzemeleri ortaya çıkmıştır. Malzeme bilimindeki bu gelişmeler gemi inşaatında kullanılan malzeme türlerinin çeşitlenmesinde de önemli rol oynamıştır.

Günümüzde gemi inşaatında kullanılan malzemeler incelendiğinde çelikler, alüminyum, ahşap ve kompozit malzemelerin öne çıktığı görülmektedir.

Geminin ağırlığını düşürmek amacıyla ahşap, alüminyum ve kompozit malzemeler gemi yapımında kullanılsa da bu malzemelerin dayanım anlamındaki problemlerinden ötürü çelikler gemi inşaatında kullanım yoğunluğu olarak öne çıkmaktadır. Dayanım dışında kolay temin edilebilmesi, yüksek kaynak edilebilirliği ve iyi şekil verilebilirlik özellikleri de çelikleri diğer malzemeler karşısında gemilerde kullanımı açısından ön plana çıkarmaktadır. Klas kuruluşu tarafından gemi inşaatında kullanılan çelikler genel anlamda düşük-orta mukavemetli ve yüksek mukavemetli çelikler olarak 2 ana gruba ayrılmaktadır. Geminin kullanım amacı, gemideki kullanım yeri ve geminin çalıştığı su sıcaklığı gibi değişkenlere bağlı olmakla birlikte düşük maliyetleri, iyi kaynak edilebilirlikleri ve iyi tokluk değerleri göz önüne alındığında gemilerde genellikle %0,15-%0,23 aralığında karbon içeren düşük-orta mukavemetli çelikler kullanılmaktadır. Öte yandan gemi türüne ya da gemilerde kullanıldığı yere göre (yüksek dayanım değeri istenen bölgelerde) gemi inşaatında yüksek mukavemetli çelikler de kullanılabilir. Gemi inşaatında kullanılan yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımıyla ilgili en önemli sınırlayıcı etken bu tür çeliklerin düşük kaynak edilebilirlik özellikleridir (Eyres, 2001).

Gemi inşaatında kullanılan çelik plakaları bir araya getirerek yapıyı oluşturmaya yarayan birleştirme elemanı kaynak işlemidir. Temel anlamda kaynak, malzemeyi ısı, basınç ya da her ikisini birden kullanarak bir ilave metal kullanarak ya da kullanılmaksızın yapılan birleştirme işlemidir. Gemi inşaatında kullanılan kaynak yöntemleri incelendiğinde örtülü elektrotlarla ark kaynağı ve gaz-altı kaynak yöntemlerinin kullanım yoğunluğu anlamında ön plana çıktığı görülmektedir.

Gemi inşaatında kullanılan farklı malzemelerin farklı kaynak metotları ile birleştirilmesi üzerine yapılan literatür incelendiğinde çalışmaların oldukça sınırlı olduğu görülmektedir (Kaya and Kahraman, 2013, Çolak vd., 2020, Mathivanan vd., 2014, Ragu Nathan vd., 2015, Sumpter and Kent, 2006, Martin and Wei, 2015, Roepke vd., 2010, Turichin vd., 2017, Yılmaz and Günay, 2017, Kaya vd., 2017, Kaya, 2018, Churiaque vd., 2019, Ericsson and Sandström, 2003, İmdat vd., 2017, Yılmaz and Tümer, 2009, Sekban vd., 2019). Bu çalışmalar incelendiğinde ise çalışmaların örtülü elektrotlarla ark kaynağı ve gazaltı kaynak yöntemlerinin dışındaki kaynak yöntemleri ya da farklı tür çelik malzemelerin kaynağı üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu anlamda gemi inşaatında yoğun kullanıma sahip düşük-orta mukavemetli çeliklerin örtülü elektrotlarla ark kaynağı ve gaz-altı kaynağı kullanılarak birleştirilmesi ve kaynak bölgesinin içyapısal ve mekanik özelliklerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi son derece faydalı olacaktır. Bu bağlamda bu çalışmada gemi inşaatında yoğun olarak kullanılan düşük-orta mukavemetli çelik örtülü elektrotlarla ark ve gaz-altı kaynağı kullanılarak birleştirilmiştir ve kaynak bölgesinin içyapısı karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Yine çalışma kapsamında her iki kaynak sonrasında kaynak bölgelerinin sertlik, mukavemet ve darbe dayanımı değerleri belirlenmiş ve uygulanan kaynak yöntemleri sonrasında kaynak bölgesinin mekanik özellikleri arasında karşılaştırmalı analizler gerçekleştirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metod

Çalışma kapsamında gemi inşaatında yoğun bir kullanıma sahip düşük-orta mukavemetli gemi inşaatı çeliği kullanılmıştır. Kullanılan çeliğin kimyasal bileşimi 0.17 wt % C, 0.16 wt % Si, 0.7 wt % Mn, 0.01 wt % S, 0.016 wt % P, 0.1 wt % Cr, 0.1 wt % Mo, 0.04 wt % Cu, 0.04 wt % V ve kalan Fe şeklindedir. Numuneler 8 mm kalınlığında sıcak hadde ürünü olarak temin edilmiştir.

Kaynak işlemlerinden önce plakalara 45° kaynak ağı açılmıştır. Kaynak ağı açılan numuneler alın alına birleştirilerek örtülü elektrodla ark kaynağı ve gazaltı kaynağı kullanılarak birleştirilmiştir. Örtülü

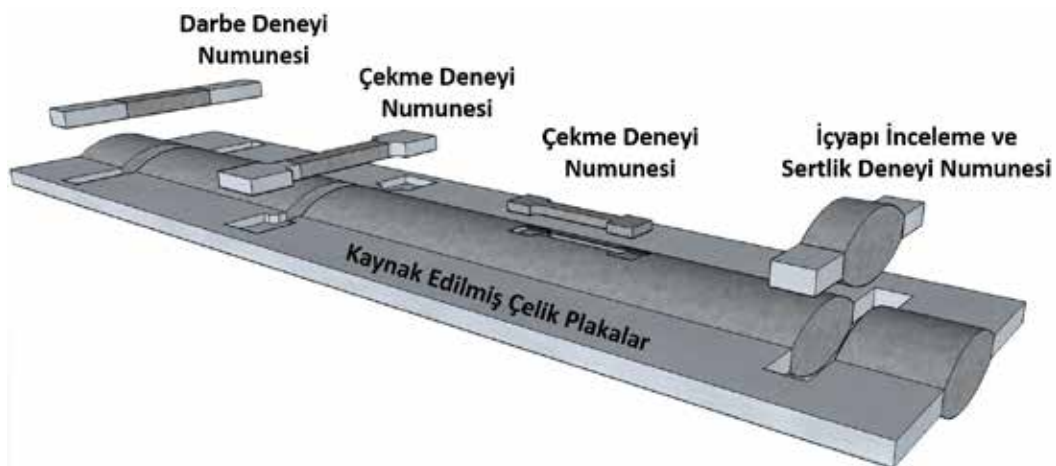
elektrodlarla ark kaynağı işleminde 3.25 mm çapında rutil özlü kaynak teli kullanılmıştır. Kaynak işlemleri için 120 A akım değeri seçilmiştir. Gazaltı kaynağı işlemi esnasında 1.2 mm çapında rutil özlü kaynak teli kullanılmış, akım 200-220 A aralığında tutulmuş, gerilim değeri olarak ise 30-32 V aralığında çalışılmıştır. Gazaltı kaynağı esnasında koruyucu gaz olarak CO<sub>2</sub> kullanılmıştır.

Örtülü elektrodla ark kaynağı ve gazaltı kaynağı ile birleştirilen plakaların kaynak bölgesinde içyapı inceleme numuneleri Şekil 1’de gösterilen şekilde tel erozyon kesme cihazı kullanılarak çıkarılmıştır. Tüm numunelerin içyapı incelemeleri için optik mikroskop kullanılmıştır. Optik mikroskop incelemeleri için çıkarılan numuneler sırasıyla farklı numaralardaki zımparalar kullanılarak zımparalanmış sonrasında 1 µm boyutunda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kullanılarak parlatılmış ve %3 Nital çözeltisi ile dağlanarak hazır hale getirilmiştir.

Sertlik incelemeleri için Şekil 1’de gösterildiği gibi kaynak yapılmış plakalardan çıkarılan numunelere Vickers sertlik ölçüm yöntemi kullanılarak Struers marka (Duramin 3) mikro sertlik deney cihazında sertlik ölçümleri uygulanmıştır. Sertlik ölçümleri için batıcı ucun basma yükü 300 g ve yük altında bekleme süresi olarak da 10 s seçilmiştir. Sertlik taraması kaynaklı numuneye dik kesitten bakıldığında tam merkeze gelen kısımdan başlanarak 0,5 mm’lik adımlarla her iki yönde ana yapıya doğru gidilerek yapılmıştır.

Örtülü elektrodla ark kaynağı ve gazaltı kaynağı ile birleştirilen plakalardan çekme deneyi numuneleri Şekil 1’de görüldüğü gibi tamamı kaynak bölgesinden olacak ve çekme bölgesinde ana yapıyı da içerecek şekilde 2 farklı boyutta çıkarılmıştır. Buradaki amaç sadece kaynak bölgesinden çıkarılan numuneler ile kaynak bölgesinin dayanım değerlerini belirlemekken çekme bölgesinde ana yapıyı da içeren numuneler ile kopmanın ana yapıda mı yoksa kaynak bölgesi içinden mi olacağını saptamaktır. Çekme deneyleri oda sıcaklığında en az 3 numune çekilerek 5x10<sup>-4</sup> s<sup>-1</sup>’lik deformasyon hızında gerçekleştirilmiş ve meydana gelen uzama değerleri bu cihaza bağlı video tipi bir ekstansometre yardımıyla belirlenmiştir.

Her iki kaynak yöntemiyle birleştirilen plakalardan Şekil 1’de görüldüğü gibi çıkarılan numuneler oda sıcaklığında darbe deneylerine tabi tutularak kaynak bölgesinin kırılma enerjisi değerleri belirlenmiştir. Deneyler 50 J kapasiteli Charpy çentik darbe makinesinde DIN 50115 standardına uygun olarak hazırlanan numunelerle gerçekleştirilmiştir. Her iki kaynaklı bağlantı içinde en az 3 adet numune darbe deneyine tabi tutulmuş ve tutarlı sonuçların ortalaması alınarak elde edilen değerler sonuçlar kısmında verilmiştir.

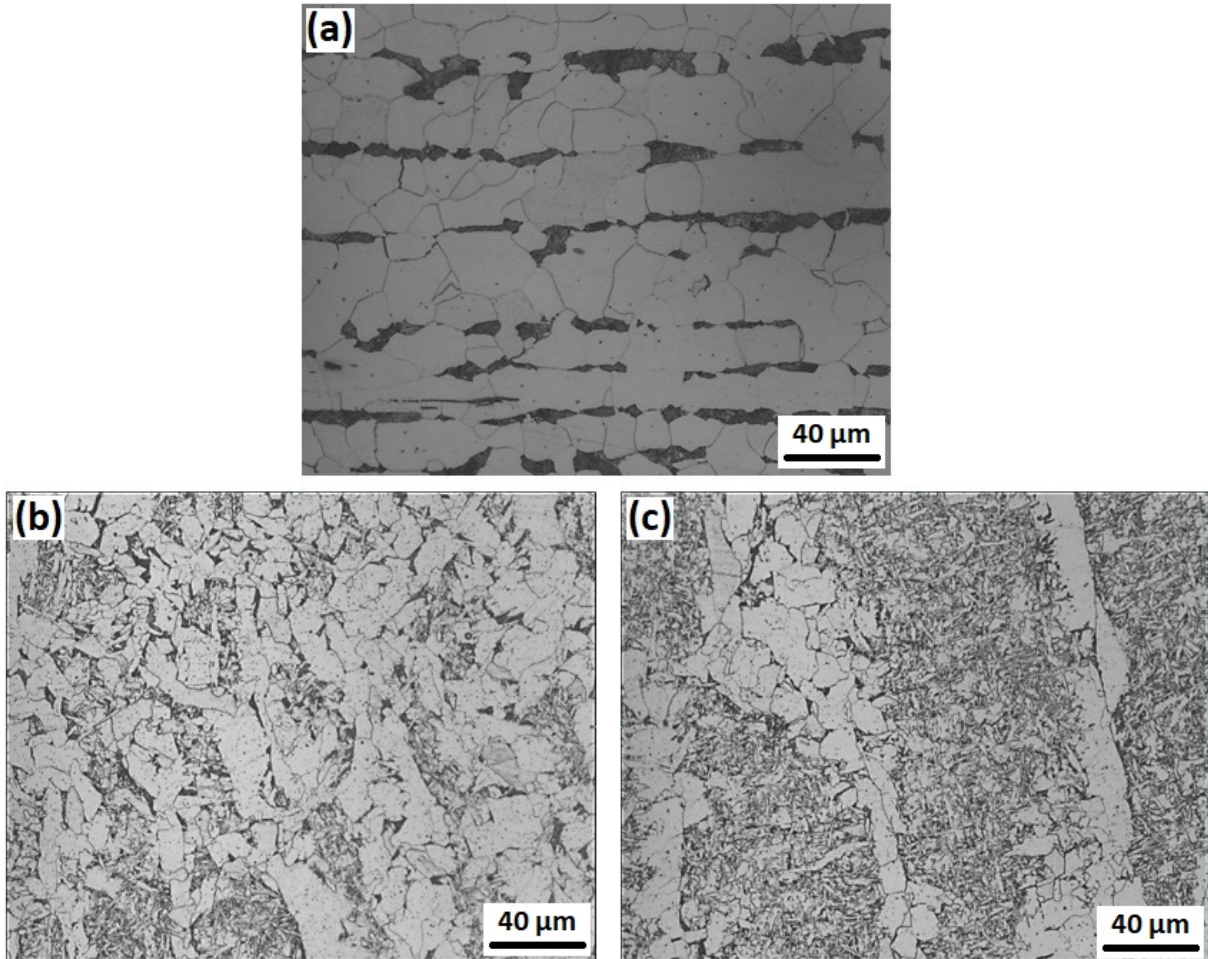


**Şekil 1.** Örtülü elektrod ark kaynağı ve gazaltı kaynağı ile birleştirilen çelik plakalardan çıkarılan içyapı ve mekanik özellik inceleme numuneleri.

### 3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

#### 3.1 İçyapı

Çalışma kapsamında kullanılan düşük-orta mukavemetli gemi inşa çeliğinin, bu çeliğin örtülü elektrodla ark kaynağı ile birleştirilmesi sonrası kaynak bölgesinin ve yine bu çeliğin gazaltı kaynağı ile birleştirilmesi sonrasında kaynak bölgesinin iç yapılarına ait görüntüler Şekil 2’de gösterilmektedir. Şekil 2(a)’da görülebildiği gibi kullanılan çeliğin içyapısı tipik bir düşük-orta karbonlu çelik yapısı sergilemektedir. Görülen açık renkli fazlar ferrit fazı iken, koyu renkli fazlar sementit lamelleri içeren perlit fazlarıdır. Sıcak hadde ürünü olarak temin edilen çeliğin içyapısında beklenildiği üzere perlit fazının bir miktar haddeleme doğrultusunda yönlendiği yine şekilden açıkça görülmektedir. Yapıdaki ferrit tanelerinin ortalama tane boyutunun yaklaşık 25  $\mu\text{m}$  olduğu içyapı görüntülerinden belirlenmiştir. Şekil 2(b)-(c)’den görülebildiği üzere kaynak işlemi öncesi içyapıdaki iri taneli yapı her iki kaynak yöntemi esnasında meydana gelen sıcaklık ve hızlı soğumanın etkisiyle oldukça incelmış ve soğumanın etkisiyle yönlenmiş bir hal almıştır. Öte yandan örtülü elektrodla ark kaynağı ve gazaltı kaynağı sonrası kaynak yapısında oluşan içyapıları karşılaştırmalı olarak incelediğimizde ise gazaltı kaynağı ile yapılan kaynak işlemi sonrasında içyapıda tanelerin bir miktar daha ince olduğu belirlenmiştir. Bu durumun sebebinin gazaltı kaynağının daha hızlı yapılması sonucu kaynak bölgesindeki yapının yüksek sıcaklıklara daha kısa süreler maruz kalması olduğu düşünülmektedir.

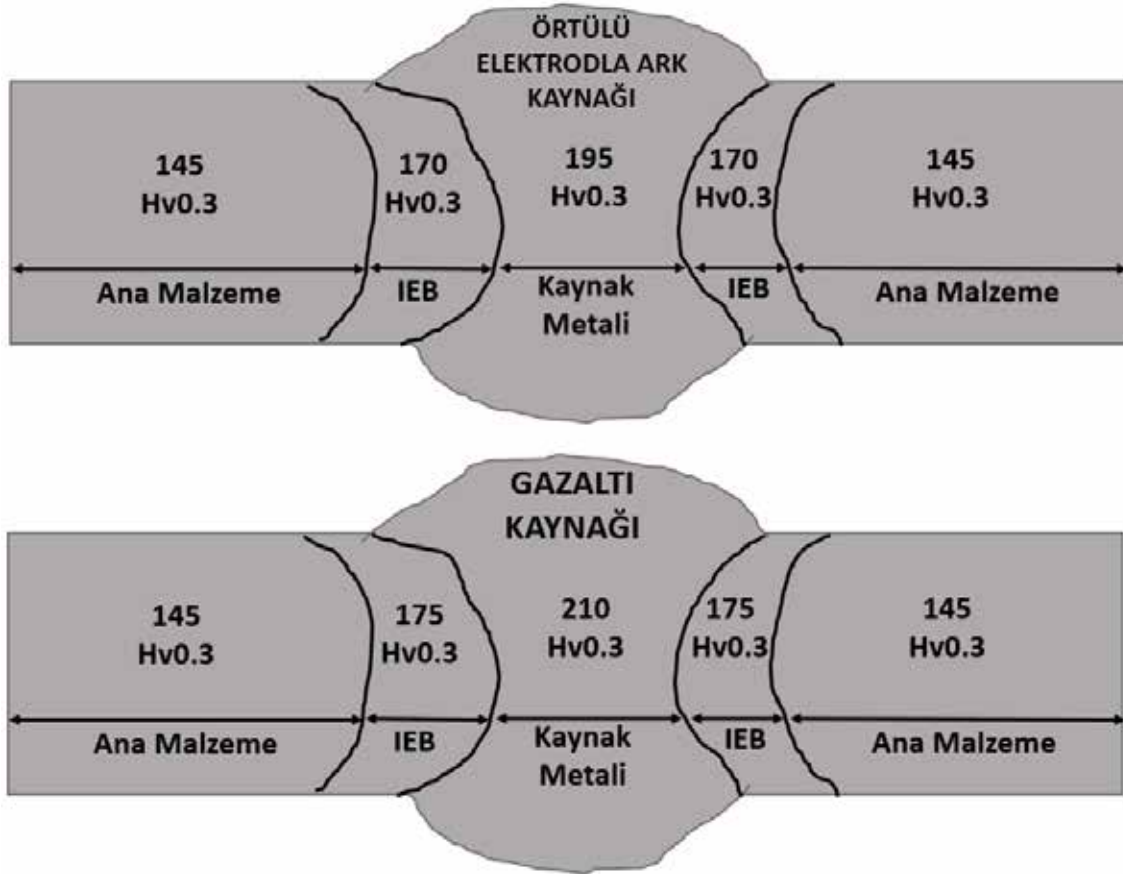


**Şekil 2.** Optik mikroskop ile alınan içyapı görüntüleri: (a) Kaynak işlemi öncesi, (b) örtülü elektrodla ark kaynağı sonrası kaynak bölgesi ve (c) gazaltı kaynağı sonrası kaynak bölgesi.



### 3.2 Mekanik Özellikler

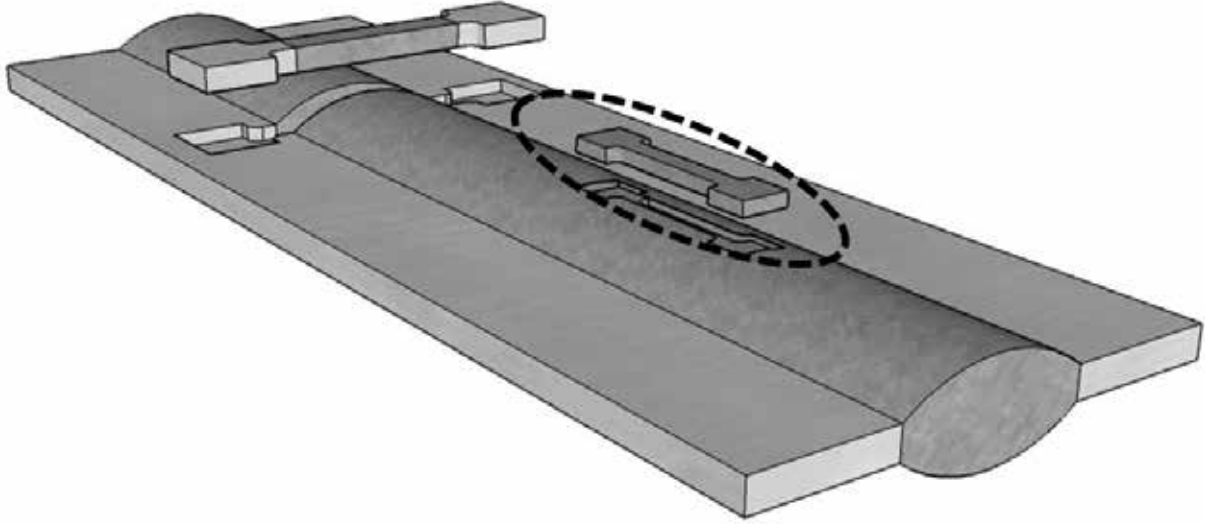
Örtülü elektrodla ark kaynağı ve gazaltı kaynağı ile birleştirilen çeliğin farklı bölgelerinde oluşan sertlik değerleri Şekil 3’de gösterilmiştir. Bilindiği üzere tane incelmesinin sonucu olarak yapının sertlik değerleri artmaktadır (Su vd., 2005). Bu bağlamda her iki kaynak işleminden sonrada yapıda meydana gelen tane incelmesinin sonucu olarak kaynak bölgesinde beklenildiği üzere ana yapıya göre daha yüksek sertlik değerlerine ulaşılmıştır. Kaynak sonrasında ana yapıya ait 145 Hv sertlik değeri örtülü elektrodla arka kaynağı sonrasında kaynak bölgesinde 195 Hv’e, gazaltı kaynağı sonrasında kaynak bölgesinde ise 210 Hv’e yükselmiştir. Kaynak işlemleri sonrasında oluşan ısıdan etkilenen bölgeye (IEB) baktığımızda ise yine bu bölgede kaynak esnasında meydana gelen sıcaklık artışı ve hızlı soğuma sonrasında sertlik değerlerinde ana yapıya göre bir artış meydana geldiği görülmüş ve bu bölgede sertlik değeri örtülü elektrodla ark kaynağı sonrasında 170 Hv’e, gazaltı kaynağı sonrasında ise 175 Hv’e çıkmıştır. Uygulanan kaynak yöntemlerinin sertlik değerlerini kendi arasında karşılaştırdığımızda ise nispeten daha ince taneli içyapının olduğu gazaltı kaynağı sonrasında örtülü elektrodla kaynak sonrasında erişilene göre daha yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir.



**Şekil 3.** Örtülü elektrodla ark kaynağı ve gazaltı kaynağı MAG kaynağı sonrası kaynak parçasında oluşan sertlik değerleri

Ana yapı, örtülü elektrodla ark kaynağı ve gazaltı kaynağı ile birleştirilen ve kaynaklı birleştirmelerin çekme deneyinde kullanılan numunenin ölçü uzunluğu bölgesinde ana yapıyı içermediği küçük numunelere ait temel dayanım ve uzama değerleri şematik gösterimle birlikte Şekil 4’de verilmiştir. Sonuçlardan görüldüğü gibi her iki kaynak işlemi sonrasında da kaynak bölgesinin dayanım değerleri incelenen taneler sonucunda artmıştır (Hajian vd., 2015). Öte yandan daha ince tanelerin olduğu gazaltı kaynağı sonrasında örtülü elektrodla ark kaynağına göre daha yüksek dayanım değerleri elde edilmiştir.

Ana yapıya ait 245 MPa akma dayanımı ve 420 MPa çekme dayanımı örtülü elektrodla ark kaynağı sonrasında sırasıyla 330 MPa ve 465 MPa ve gazaltı kaynağı sonrasında 360 MPa ve 500 MPa çıkmıştır. Dayanım değerlerinde elde edilen artışa karşın, tane incelmesinin sonucu olarak birim alanda karşılaşılan tane sınırı miktarı arttığı için kaynak bölgesinin uzama değerlerinde ana yapıya göre bir miktar düşüş yaşanmıştır (Hansen vd., 2001). Uniform uzama ve kopma uzaması değerleri örtülü elektrodla ark kaynağı sonrasında sırasıyla %16 ve %35 seviyesine inerken gazaltı kaynağı sonrasında bu değerler %14 ve %33 seviyesine gerilemiştir.

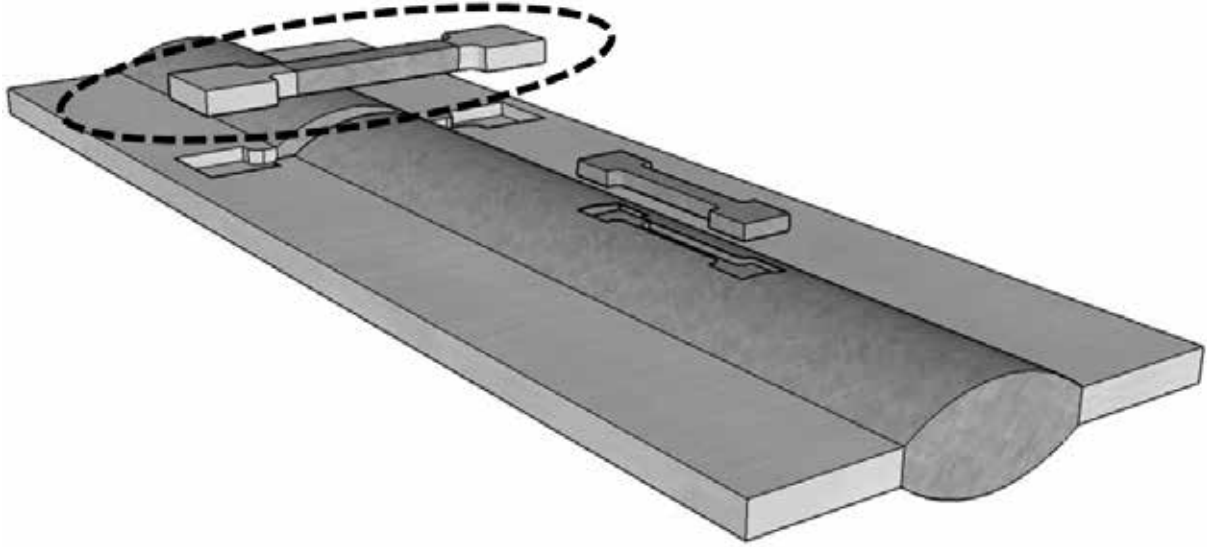


Durum	Akma Gerilmesi (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Uniform Uzama (%)	Kopma Uzaması (%)
Ana Yapı	245	420	18	38
Örtülü Elektrodla Ark Kaynağı	330	465	16	35
Gazaltı Kaynağı	360	500	14	33

**Şekil 4.** Ana yapı, örtülü elektrodla arka kaynağı ve gazaltı kaynağı uygulanarak birleştirilen ve kaynaklı bağlantıdan çıkarılan çekme numunelerinde ölçü uzunluğu bölgesinde ana yapıyı içermeyen duruma ait dayanım ve uzama değerleri.

Kaynaklı birleştirmeler sonrasında çekme uzunluğu bölgesinde ana yapıyı içermeyen küçük boyutlu numunelerle sadece kaynak bölgesinin dayanım ve uzama değerleri belirlenmiştir. Öte yandan kaynaklı bağlantıların kullanımında kaynak ana yapı geçişi de büyük önem arz ettiğinden çekme uzunluğu bölgesinde kaynak bölgesinin yanısıra ana yapıyı da içeren numuneler kullanarak çekme deneyleri uygulamak son derece önemlidir. Bu bağlamda kaynak işlemlerine tabi tutulan numunelerden ölçü uzunluğu bölgesinde ana yapıyı da içeren büyük boyutlu çekme numuneleri de çıkarılmış ve bu numuneler çekme deneyine tabi tutulmuşlardır. Ana yapı, örtülü elektrodla ark kaynağı ve gazaltı kaynağı kullanarak birleştirilen ve ölçü uzunluğu bölgesinde ana yapıyı da (kaynaksız bölge) içeren numunelere ait temel dayanım ve uzama değerleri şematik gösterimle birlikte Şekil 5'de verilmiştir. Değerlerden görüldüğü üzere üzere her iki kaynak sonrasında da ana yapıya göre dayanım değerlerinde önemli bir değişim gerçekleşmemiştir. Bu durumun nedeni her iki kaynak sonrasında da numunelerin kaynak bölgesinden ana yapıya geçiş noktasından kopmasıdır. Dayanım değerlerinde bir değişim olmazken her iki kaynak sonrasında da uzama değerlerinde ana yapıya göre önemli oranda azalma

olduğu görülmüştür. Ana yapıda %17 ve %37 seviyelerinde elde edilen unfor uzama ve kopma uzaması değerleri örtülü elektrodla ark kaynağı sonrasında sırasıyla %10 ve %18, gazaltı kaynağı sonrasında ise %9 ve %18 seviyesine düşmüştür. Bu duruma deney sırasında uzamaya büyük oranda sadece ana yapının katkıda bulunması ve bu yüzden de bu numunelerde toplam uzama oranının tamamen ana yapıdan oluşan numuneye kıyasla daha düşük çıkmasının neden olduğu düşünülmektedir (Kahraman et al., 2005, Kim et al., 2001).



Durum	Akma Gerilmesi (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Uniform Uzama (%)	Kopma Uzaması (%)
Ana Yapı	240	410	17	37
Örtülü Elektrodla Ark Kaynağı	242	415	10	18
Gazaltı Kaynağı	245	413	9	18

**Şekil 5.** Ana yapı, örtülü elektrodla ark kaynağı ve gazaltı kaynağı uygulanarak birleştirilen ve kaynaklı bağlantıdan çıkarılan çekme numunelerinde ölçü uzunluğu bölgesinde ana yapıyı da içeren duruma ait dayanım ve uzama değerleri.

Ana yapının ve iki farklı kaynak yöntemiyle birleştirilen kaynaklı bağlantıların kaynak bölgesinin tokluk değerleri darbe deneyleri ile belirlenmiştir. Ana yapı, örtülü elektrodla ark kaynağı ve gazaltı kaynağı ile birleştirilen numunelerin tokluk değerleri Tablo 3’de verilmiştir. Tablodan görüleceği üzere her iki kaynak sonrasında da kaynak bölgesinde ana yapıya göre daha yüksek tokluk değerleri elde edilmiştir. Ana yapıda 8 J seviyesinde elde edilen kırılma enerjisi değeri örtülü elektrodla ark kaynağı sonrasında 9J ve gazaltı kaynağı sonrasında 9.3 J seviyesine yükselmiştir. Bu durumun sebebi kaynak işleminden sonra kaynaklı bölgelerin mukavemetinde gerçekleşen artışın uzamadaki düşüşe göre daha fazla olmasıdır. Öte yandan örtülü elektrodla ark kaynağı ve gazaltı kaynağı ile yapılan birleştirmelerden gazaltı kaynağı ile yapılanın daha yüksek tokluk değerleri sergilediği görülmektedir. Bu durum gazaltı kaynağı ile yapılan birleştirmelerde nispeten daha yüksek dayanım değerlerinin elde edilmesinden kaynaklanmaktadır.



**Tablo 1.** Ana yapı, örtülü elektrodla ark kaynağı ve gazaltı kaynağı ile birleştirilen numunelere ait darbe tokluğu değerleri.

Durum	Darbe Tokluğu (Joule)
Ana Yapı	$8 \pm 0.5$
Örtülü Elektrodla Ark Kaynağı	$9 \pm 0.4$
Gazaltı Kaynağı	$9.3 \pm 0.6$

#### 4. Sonuçlar

Çalışma kapsamında gemi inşaatında yoğun bir kullanıma sahip düşük-orta karbonlu gemi inşa çeliği örtülü ark kaynağı ve gazaltı kaynağı ile birleştirilmiş ve kaynak bölgesinin içyapısal ve mekanik özellikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Çalışmada elde edilen genel sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

1- Örtülü elektrodla ark kaynağı ve gazaltı kaynağı sonrası oluşan içyapılar incelendiğinde her iki kaynak sonrasında da ana yapıya göre kaynak bölgesinde daha ince taneli bir içyapı olduğu görülmüştür. Öte yandan gazaltı kaynağı ile yapılan kaynak sonrasında örtülü elektrodla ark kaynağına göre daha ince taneli bir içyapı olduğu belirlenmiştir.

2- Her iki kaynak sonrasında da ana yapıya göre kaynak bölgesinde daha yüksek sertlik değerleri olduğu görülmüştür. Örtülü elektrodla ark kaynağı ve gazaltı kaynağı ile yapılan kaynaklar sonrasında kaynak bölgesindeki sertlik değerleri karşılaştırıldığında ise gazaltı kaynağı sonrası elde edilen daha inc taneli yapının sonucu olarak bu kaynak sonrasında daha yüksek sertlik değerlerinin elde edildiği belirlenmiştir.

3- Örtülü elektrodla ark kaynağı ve gazaltı kaynağı sonrası kaynak bölgesinin dayanım değerlerinin ana yapıya göre arttığı belirlenmiştir. İki kaynak yöntemi arasında ise gazaltı kaynağı ile yapılan kaynak sonrasında daha yüksek dayanım değerleri elde edilmiştir. Öte yandan çekme bölgesinde ana yapıyı da içeren numunelere uygulanan çekme deneyi sonrasında her iki kaynak için denumunelerin kaynaklı bölgeden değil, ana yapıdan koptukları belirlenmiştir.

4- Çalışma sonucunda her iki kaynak sonrasında da tokluk değerlerinin ana yapıya oranla arttığı, kendi aralarında karşılaştırıldığında ise gazaltı kaynağı sonrasında örtülü elektrodla ark kaynağına göre daha yüksek tokluk değerleri elde edildiği belirlenmiştir.

#### Teşekkür

Çalışma kapsamında çelik plakaların temini ve kaynak işlemlerindeki katkılarından ötürü Mimarine Gemi İnşa Mühendislik ve Mimarlık Hiz. Ltd. Şti'ye teşekkür ederiz. Öte yandan laboratuvar imkânlarının kullanılması noktasındaki katkılarından ötürü Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Gençğa PÜRÇEK'e teşekkürü bir borç biliriz.

## 5. Kaynaklar

Churiaque, C., Chludzinski, M., Porrua-Lara, M., Dominguez-Abecia, A., Abad-Fraga, F. & Sánchez-Amaya, J. M. (2019). Laser hybrid butt welding of large thickness naval steel. *Metals*, 9, 100.

Colak, Z., Ayan, Y. & Kahraman, N. (2020). Gerçek deniz ortamında su altı kaynağı ile birleştirilen Grade AH36 gemi sacının kaynak bölgesinin karakterizasyonu. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35.

Ericsson, M. & Sandström, R. (2003). Influence of welding speed on the fatigue of friction stir welds, and comparison with MIG and TIG. *International Journal of Fatigue*, 25, 1379-1387.

Eyres, D. J. (2001). *Ship Construction*, Butterworth-Heinemann.

Hajian, M., Abdollah-Zadeh, A., Rezaei-Nejad, S. S., Assadi, H., Hadavi, S. M. M., Chung, K. & Shokouhimehr, M. (2015). Microstructure and mechanical properties of friction stir processed AISI 316L stainless steel. *Materials & Design*, 67, 82-94.

Hansen, N., Huang, X. & Hughes, D. A. 2001. Microstructural evolution and hardening parameters. *Materials Science and Engineering: A*, 317, 3-11.

Imdat, K., Kaya, Y. & Kahraman, N. (2017). Grade A Gemi Sacının Örtülü Elektrod Ark Kaynak Yöntemi ile Sualtı ve Atmosferik Şartlarda Birleştirilebilirliğinin Araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 21, 543-552.

Kahraman, N., Gülenç, B. & Durgutlu, A. (2005). Investigation of The Effect Of Electrode Extension Distance on Microstructural and Mechanical Properties of Low Carbon Steel Welded With Submerged Arc Welding. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 18(3), 473-480.

Kaya, Y. (2018). Microstructural, mechanical and corrosion investigations of ship steel-aluminum bimetal composites produced by explosive welding. *Metals*, 8, 544.

Kaya, Y. & Kahraman, N. (2013). An investigation into the explosive welding/cladding of Grade A ship steel/AISI 316L austenitic stainless steel. *Materials & Design (1980-2015)*, 52, 367-372.

Kaya, Y., Kahraman, N., Durgutlu, A. & Gülenç, B. (2017). Investigation of the Microstructural, Mechanical and Corrosion Properties of Grade A Ship Steel-Duplex Stainless Steel Composites Produced via Explosive Welding. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 48, 3721-3733.

Kim, J. H., Oh, Y. J., Hwang, I. S., Kim, D. J. & Kim, J. T. (2001). Fracture behavior of heat-affected zone in low alloy steels. *Journal of Nuclear Materials*, 299, 132-139.

Martin, J. & Wei, S. (2015). Friction stir welding technology for marine applications. *Friction Stir Welding and Processing VIII*. Springer.

Mathivanan, A., Devakumaran, K. & Kumar, A. S. (2014). Comparative Study on Mechanical and Metallurgical Properties of AA6061 Aluminum Alloy Sheet Weld by Pulsed Current and Dual Pulse Gas Metal Arc Welding Processes. *Materials and Manufacturing Processes*, 29, 941-947.

Ragu Nathan, S., Balasubramanian, V., Malarvizhi, S. & Rao, A. G. (2015). Effect of welding processes on mechanical and microstructural characteristics of high strength low alloy naval grade steel joints. *Defence Technology*, 11, 308-317.

Roepke, C., Liu, S., Kelly, S. & Martukanitz, R. (2010). Hybrid laser arc welding process evaluation on DH36 and EH36 steel. *Welding Journal*, 89, 140-149.

Sekban, D. M. (2018). Sürtünme Karıştırma İşleminin Bir Gemi İnşa Çeliğinin Yapısal Ve Mekanik Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi ve Bu Çeliğin Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi İle Birleştirilmesi. Doktora, Karadeniz Teknik Üniversitesi.

Sekban, D. M., Aktarer, S. M. & Purcek, G. (2019). Friction Stir Welding of Low-Carbon Shipbuilding Steel Plates: Microstructure, Mechanical Properties, and Corrosion Behavior. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 50, 4127-4140.

Su, J.-Q., Nelson, T. W. & Sterling, C. J. (2005). Microstructure evolution during FSW/FSP of high strength aluminum alloys. *Materials Science and Engineering: A*, 405, 277-286.

Sumpter, J. D. G. & Kent, J. S. (2006). Fracture toughness of grade D ship steel. *Engineering Fracture Mechanics*, 73, 1396-1413.

Turichin, G., Kuznetsov, M., Tsibulskiy, I. & Fırsova, A. (2017). Hybrid Laser-Arc Welding of the High-Strength Shipbuilding Steels: Equipment and Technology. *Physics Procedia*, 89, 156-163.

Yılmaz, A. F. & Günay, M. (2017). Investigation of Mechanical Strength and Distortion in Submerged Arc Welding of AH36 Ship Steel Plate. *Journal of Ship Production and Design*, 33, 335-341.

Yılmaz, R. & Tümer, M. (2009). Gemi saclarının tozaltı ve özlü tel kullanarak MAG kaynağı ile birleştirilmesi ve mekanik özellikleri. *Tübav Bilim Dergisi*, 2, 56-66.