



## Characterization of the weld zone of Grade AH36 steel ship plate joined at the real marine conditions through underwater welding

Zahit Çolak<sup>ID</sup>, Yusuf Ayan\*<sup>ID</sup>, Nizamettin Kahraman<sup>ID</sup>

Manufacturing Engineering, Technology Faculty, Karabük University, Karabük, 78050, Turkey

### Highlights:

- Welding process at real underwater conditions
- Weldability of Grade AH36 steel ship plate at real underwater with different depths
- Microstructural and mechanical properties of the welded joints

### Keywords:

- Underwater welding
- Ship steel
- Mechanical properties
- Microstructural
- Non-destructive test

### Graphical/Tabular Abstract



Figure A. Flowchart of the study

### Article Info:

Research Article  
Received: 29.01.2019  
Accepted: 27.09.2019

### DOI:

10.17341/gazimmfd.519055

### Acknowledgement:

This study was supported by Karabük University (Project number: KBÜ-BAP-17YL-432).

### Correspondence:

Author: Yusuf Ayan  
e-mail: yusufayan@karabuk.edu.tr  
phone: +90 370 433 82 01

**Purpose:** The main aim of this study was to investigate weldability of low carbon Grade AH36 steel ship plate at the real marine conditions with different water depths.

### Theory and Methods:

Grade AH36 steel ship plate frequently used for off shore applications was joined at both the atmospheric and real underwater conditions with different water depths through shielded metal arc welding process. The welded specimens firstly subjected to visual inspection and this was followed by the radiographic test. Microhardness, bending, impact toughness tests were also carried out in order to determine the mechanical properties of the joints. Microstructural examines were performed to examine the structural transformation on the weld zones.

### Results:

Microstructural and mechanical properties of the welded specimens at both the atmospheric and real under water conditions were evaluated in detail. From the results of visual inspection test; some welding defects were seen on the samples joined at underwater. It was determined from the microhardness test; for all specimens, micro hardness values of the weld metal were lower than the HAZ and higher than the base metal. Samples joined under the atmospheric conditions has about 50% higher impact toughness value than the samples joined at underwater. Microstructural examines show that specimens joined underwater presented approximately 25-50% narrower HAZ than the specimens joined at atmospheric conditions.

### Conclusion:

This study presents better understanding case of the welding process at real underwater conditions. The study also deals with weldability of Grade AH36 steel and comparison between atmospheric and real underwater conditions.



## Gerçek deniz ortamında su altı kaynağı ile birleştirilen Grade AH36 gemi sacının kaynak bölgesinin karakterizasyonu

Zahit Çolak<sup>ID</sup>, Yusuf Ayan<sup>ID</sup>, Nizamettin Kahraman<sup>ID</sup>

Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, 78050, Karabük, Türkiye

### ÖNEÇİKANLAR

- Gerçek su altı koşullarında kaynak işlemi
- Grade AH36 gemi sacı çeliğinin farklı derinliklerde ve gerçek su altı koşullarında birleştirilebilirliği
- Kaynaklı bağlantıların mikro yapı ve mekanik özellikleri

#### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 29.01.2019

Kabul: 27.09.2019

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.519055

#### Anahtar Kelimeler:

Su altı kaynağı,  
gemi sacı,  
mekanik özellikler,  
mikroyapı,  
tahribatsız muayene

#### ÖZET

Bu çalışmada, Grade AH36 gemi sacı atmosferik şartlarda ve su altında artan farklı derinliklerde (4, 8 ve 16 m) örtülü elektrodla ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Birleştirmelerde E6013 rutil örtü tipli elektrod bantla kaplanarak kullanılmıştır. Kaynaklı numuneler ilk olarak gözle muayene edilmiş, devamında radyografik teste tabi tutulmuşlardır. Kaynaklı birleştirmelerin mekanik özelliklerini belirlemek için çentik darbe ve eğme testleri uygulanmıştır. Kaynak bölgesinde meydana gelen yapısal dönüşümleri gözlemek için mikroyapı çalışmaları, ayrıca kaynak bölgesinde sertlik taraması yapılmıştır. Kaynaklı numunelere yapılan tahribatsız muayene sonucunda kaynak yüzeyinde ve pasolar arasında cüruf kalıntısı, gaz boşluğu, yanma olukları, nüfuziyet azlığı gibi hatalara rastlanılmıştır. Su altında birleştirilen parçalarda derinlik farkı arttıkça kaynak metalinde oluşan kalıntı, gaz boşlukları vb. gibi hatalardan dolayı eğme testleri olumsuz sonuçlanmıştır. Çentik darbe test sonuçlarına göre, atmosferik şartlarda birleştirilen numunenin su altında farklı derinliklerde birleştirilenlere göre daha iyi tokluğa sahip oldukları görülmüştür. Yapılan sertlik testleri sonucunda, en yüksek sertlik değerleri kaynak metalinden ölçülürken onu sırasıyla ısının tesiri altında kalan bölge (ITAB) ve ana malzeme takip etmiştir. Mikroyapı incelemelerin sonucunda kaynak metalinin dentritik yapıda olduğu, ITAB'da ana malzemenin hadde yapısının bozulduğu ve bu bölgede tanelerin kısmen irileştiği görülmüştür.

## Characterization of the weld zone of Grade AH36 steel ship plate joined at the real marine conditions through underwater welding

### HIGHLIGHTS

- Welding process at real underwater conditions
- Weldability of Grade AH36 steel sheep plate at real underwater with different depths
- Microstructural and mechanical properties of the welded joints

#### Article Info

Research Article

Received: 29.01.2019

Accepted: 27.09.2019

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.519055

#### Keywords:

Underwater welding,  
ship steel,  
mechanical properties,  
microstructural,  
non-destructive tes

#### ABSTRACT

In this study, Grade AH36 steel ship plate was joined at both the atmospheric and real underwater conditions at ascending different depths through shielded metal arc welding process. The isolated E6013 rutile electrode was used in welding process. The welded specimens firstly subjected to visual inspection and this was followed by radiographic test. Bending and impact toughness tests were also carried out in order to determine the mechanical properties of the welded joints. Microstructural examines were performed to observe the structural transformation and hardness test was also conducted on the weld zones. Non-destructive test results showed that the specimens joined underwater had weld defect such as slag remains on the weld surface and between the pass, gas porosities, grooves and the lack of penetration. According to the bending test results, when the difference of water depth increased, the tests resulted in adversely at some angles due to defects like remains, gas porosities etc. on the weld metal. With respect to impact toughness tests, the specimens welded at atmospheric conditions presented better toughness than the others. The maximum hardness value was measured from the weld metal and this was followed by the heat affected zone (HAZ) and base metal sequentially. Microstructure evolutions showed that structures of the weld metals were dendritic, rolled structure of the base metal in the HAZ was destroyed and partial grains growth was seen in this section.

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: zahitcolak@hotmail.com, yusufayan@karabuk.edu.tr, nkahraman@karabuk.edu.tr /

Tel: +90 370 433 82 01

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gemi imalat sanayi; çelik sanayi, makine imalat sanayi, elektrik-elektronik sanayi, boya sanayi ve lastik-plastik sanayi gibi pek çok sanayi kollarınca da beslenen bir sanayi dalı olması sebebiyle çok yönlü bir alandır [1, 2]. Son yıllarda, önemli bir ağırlık azaltma sağlamak için gemi yapımında daha yüksek dayanımlı çeliklerin kullanımına büyük ilgi gösterilmiştir [3]. Gemi imalatında genelde kullanılan çelik saclar, dinamik yükler altında rahatça çalışabilecek ve kaynak kabiliyeti yüksek, %0,15-%0,23 karbon içeren ve mangan alaşımı açısından zengin olan “yumuşak çelik (düşük karbonlu)” malzemedir [4, 5]. Düşük karbonlu alaşımsız çelikler endüstriyel uygulamaların vazgeçilmez malzeme guruplarından [6]. Petrol ve gaz offshore platformları, denizde yapılan dalgakıranlar ve gemi yapımı bu malzemelerin en çok kullanıldığı alanlardan bazılarıdır [7].

Gemi imalatında kullanılan bu çelikler Grade A, B, C, D ve E çelikleri olarak sınıflandırılmış olup, Lloyd’s Register denetimi doğrultusunda kullanılmaktadır [4]. Grade A çeliği yumuşak çeliktir ve gemi imalatında yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. AH36 çeliği, ASTM A131 çeliğinin bir kalitesidir ve çoğunlukla gemi yapımında kullanılan sıcak haddelenmiş bir çeliktir. Bu çelik ferritik-perlitik bir mikro yapıya sahip olup, kaynak işlemi sırasında katı hal faz dönüşümlerine uğramaktadır [8].

Gemi yapım endüstrisi, istenen mekanik özelliklere zarar vermeden işlem süresini ve maliyetlerini azaltmak için kaynak tekniklerinde araştırma ve uygun malzemeler kullanma gibi teknolojik ilerlemeler istemektedir. Son zamanlarda bu çeliklerin kaynaklanabilirliklerini etkileyen faktörler üzerine odaklanılmaktadır [9]. Literatür araştırmalarında gemi inşaatında sıklıkla tercih edilen AH36 gemi çeliklerinin kaynaklanabilirliği üzerine farklı çalışmalar yapıldığı görülmüştür. Yılmaz [10], AH36 malzemelerini tozaltı ark kaynak yöntemi, Wu vd. [11], Badogiannis vd. [12] gazaltı (GMAW) kaynak yöntemi, Okawa vd. [13], özlü tel ile gazaltı kaynak yöntemi, Lee vd. [14], basitleştirilmiş elektro gaz ark (simplified electro-gas arc welding) kaynak yöntemi, Tsirkas vd., [15] lazer kaynağı, Unta vd., [16, 17] hibrit lazer ark (lazer-gazaltı) kaynak yöntemleri ile birleştirmişlerdir. Ayrıca AH36 gemi çeliğinin elektrik ark, tozaltı ve gazaltı kaynak yöntemleri ile farklı kaynak pozisyonlarında (alın, yatay, dik ve tavan) birleştirildiği çalışmalar da mevcuttur [18]. AH36 gemi çeliğinin genellikle geleneksel kaynak yöntemleri ile atmosferik ortamlarda birleştirildiği görülmüştür. Son zamanlarda su altında yapılan kaynaklı birleştirme üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, çalışmaların direk olarak deniz altında veya gerçek deniz ortamında olmayıp genellikle ıslak kaynak (wet welding) olarak gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu çalışmalar genellikle deniz ortam şartları sonradan kazandırılmış örneğin fanus gibi kap içerisinde gerçekleştirilmiştir. Wanga vd. [19], E40 çeliğini 0,5 m derinlikte titanyum tipi kendinden korumalı

flux-özlü tel ile sualtında, Li vd. [20], 304L paslanmaz çelik ve düşük alaşımlı 16Mn’lı çelikleri 0,3 m derinlikte kendinden korumalı özlü teller kullanarak, Fu vd. [21], orta karbonlu (Q235) çelik malzemeleri 0,5 m derinlikte kendinden korumalı flux özlü tel ile ıslak kaynak işlemi uygulayarak birleştirmişlerdir. Bahsedilen çalışmalar gerçek deniz ortamında olmayıp oldukça düşük derinliklerde gerçekleştirilmiştir. Chen vd. [22], gerçekleştirdiği başka bir çalışmada; düşük alaşımlı çelik (Q235) malzemeler, rutil tip kendinden korumalı flux-özlü tel ile 0,5, 30, 50, 70 ve 90 m’lik hidrostatik basınç ortamı simüle edilerek ıslak kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Bu çalışmada öncekiler gibi gerçek deniz ortamı olmadan simüle yöntemiyle yapılmıştır. Literatürde gerçek sualtı veya deniz şartlarında yapılan çalışmaların sayısı çok sınırlıdır. Yapılan literatür araştırmalarında Winarto vd. [23], AH36 çelik malzemelerini E6013 ve E7024 rutil elektrodlar kullanarak 5 ve 10 m derinliklerde birleştirdiği görülmüştür.

Gerçek deniz ortamında ve sualtı koşullarında gerçekleştirilen kaynak işlemi ile bir cam fanus gibi ekipman kullanılarak sonradan sualtı şartları kazandırılmış ortam içerisinde uygulanan ıslak kaynak işlemi, sualtı kaynağının gerçek sonuçlarının değerlendirilmesi açısından önemli farklılıklar göstermektedir. Gerek su altı kaynağının güçlükleri [24], (basınç, kötü görüş koşulları, ışığın kırılma olayı, dalgıç ve ekipmanlarının verdiği rahatsızlık, sabit duramama, ilk pasodan sonra kaynak yerinin iyi görünmemesi, arkin çıkardığı kabarcıklar vb.) gerekse kaynak işlemi yapılacak ortam için uygun ekipman ve dalgıç kaynakçı bulunamaması sualtı kaynağının daha çok sonradan sualtı şartları kazandırılmış ortamda ıslak kaynak olarak nitelendirilen yöntemle yapılmasına sebep olmaktadır. Tüm bu güçlüklerin yanında, elle yapılan elektrik ark kaynak işleminin, kaynak yapan kişiye, hatta aynı kaynakçı için bile yorgunluk durumuna göre farklılıklar gösterdiği bir gerçektir [25, 26]. Bu çalışmanın amacı yukarıda bahsedilen sualtı ortamında meydana gelen tüm bu güçlüklerin üstesinden gelerek; AH36 gemi sacını gerçek deniz ortamında, farklı derinliklerde birleştirilebilirliğinin araştırılmasıdır. Bir önceki çalışmada [4, 27] AH36 gemi sacı 1,5, 3 ve 6 m derinlikte su altında birleştirilmiştir. Bu çalışmayı bir önceki çalışmadan ayıran en önemli fark ise her bir derinlik farkını önemli derecede artırıp yaklaşık 2 katına çıkartarak (4, 8 ve 16 m), derinliğin kaynaklı bölge üzerindeki etkilerinin daha net olarak incelenmesi ve anlaşılmasıdır. Gerçekleştirilen bu çalışmayla; öncelikle ülkemiz olmak üzere, tüm uluslararası literatüre gerçek deniz suyu ortamında ve şartlarında yapılan kaynaklı bağlantıların mekanik ve metalürjik özellikleri konusunda bilimsel ve herkesin ulaşabileceği bir “Know-how” oluşturulması hedeflenmiştir.

## 2. DENEYSEL METOT (EXPERIMENTAL METHOD)

Bu çalışmada; genellikle su ile temas eden konstrüksiyonlarda kullanılan ve özellikle de gemi imalat sanayinde büyük bir öneme sahip, Grade AH36 gemi sacının

farklı ortamlarda kaynak kabiliyeti araştırılmıştır. Grade AH36 gemi sacı atmosferik şartlarda ve su altında farklı derinliklerde birleştirilerek kaynaklı birleştirmelerin metalürjik benzerlikleri ve farklılıkları belirlenmeye çalışılmıştır. Sualtı kaynak işlemleri üç farklı derinlikte (4, 8 ve 16 m) ve üzeri kaplanmış rutil (E6013) elektrodla gerçekleştirilmiştir.

Birleştirme işleminde kullanılan Grade AH36 gemi sacının kimyasal bileşimi Tablo 1’de, mekanik özellikleri ise Tablo 2’de verilmiştir.

Ereğli demir çelik fabrikasından temin edilen 6000 mm x 1500 mm x14 mm ebatlarındaki Grade AH36 gemi sacı sulu kesim şerit testere ile 400 mm x 100 mm x14 mm boyutlarında kesilerek deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Kaynak işlemi için kullanılacak olan elektrod çapları göz önünde bulundurularak kök paso ve dolgu işleminde ark boyu da düşünülerek her bir parçaya 22,5° ve birleştirilecek parçalar yan yana koyulduğunda toplamda 45° açı olacak şekilde kaynak ağızı açılmıştır. Parçalar atölye ortamında bir kaynak fikstürü aracılığıyla seramik altlık kullanarak aynı türden malzemeler yardımıyla uç noktalarından puntalamak suretiyle kaynağa hazır hale getirilmişlerdir. Şekil 1’de malzemelerin hazırlanış ölçüleri ile (şematik) puntalandıktan sonra fikstüre sabitlenmiş durumları verilmiştir.

Kaynak işlemi uygulaması endüstriyel dalgıç tarafından İstanbul’da tersaneler bölgesinde (Haydarpaşa) gerçekleştirilmiştir. Uygulama, imalat sonunda gemiyi suyla buluşturmak için kullanılan bir rampanın (duba) su zeminine doğru uzanan ayaklarına parçaları sabitlemek suretiyle yapılmıştır. Her bir numune için elektronik derinlik ölçen bir saat yardımıyla üç farklı derinlik parametresi (4 m, 8 m ve 16 m) ölçülmüş ve rampaya ilgili derinliklerde sabitlenmiştir. Kaynak makinesi su altı kaynağı için elektrod

üreticisi ve literatürün desteklediği 350 A maksimum değerinde çalışabilecek kapasitede seçilmiştir. Uygulama için sualtı kaynaklarında GeKaMac RKM350 kaynak makinesi, atmosferik kaynaklarda ise Lincoln INVERTEC V260-S marka ve model kaynak makinesi kullanılmıştır. Su altında kaynak açık ortamda yapılan kaynak işlemine benzese de uygulamanın deniz suyunda gerçekleştiriliyor olması ve tuzlu suyun elektrik iletkenliğinin yüksek olması sebebiyle gelişmiş kaynak ekipmanlarının kullanımını zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle dalgıç kaynakçı özel olarak tasarlanmış kaynak pensesi kullanmak zorunda kalmıştır. Atmosferik şartlarda ve su altında kaynatılan parçalarda bir takım akım ve paso sayısı değişimi söz konusu olmuştur. Suyun sıcaklığının açık alandan düşük olması ve derinlikle artan basınç gibi etkenler, kaynak paso sayısında büyük fark oluşumu gerçekleştirilmemiş olsa da akım değerinde hissedilecek bir değişim oluşturmuştur. Elektrod, akım değeri değişkenleri, derinlik farkındaki durum farklılıkları ve paso sayıları Tablo 3’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Grade AH36 gemi sacının mekanik özellikleri (Mechanical properties of Grade AH36 ship plate)

Malzeme	Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Akma Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama (%)
Grade A	540	355	23

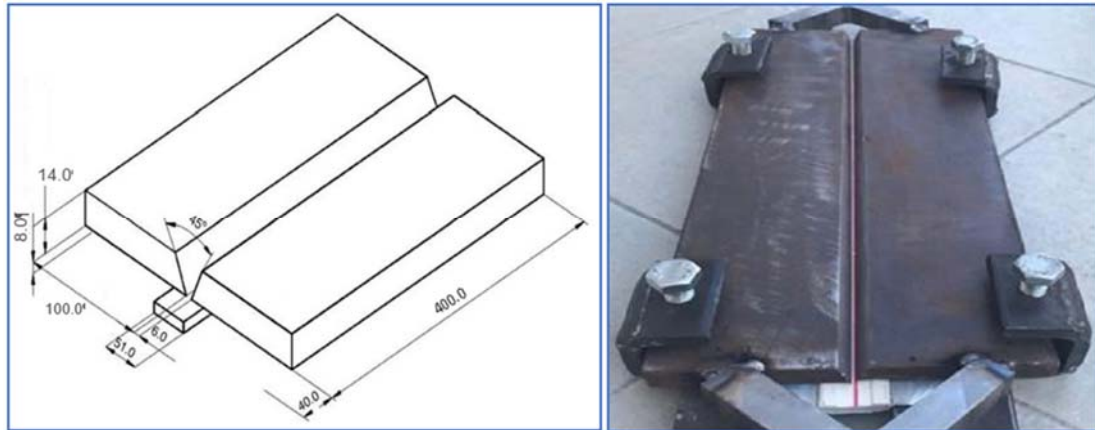
**Tablo 3.** Derinlik, paso sayısı ve akım değeri (Depths, pass and current values)

Elektrod Çapı	Atmosferik	4 metre	8 metre	16 metre
3,25 mm (E6013)	4 paso	4 paso	5 paso	6 paso
Akım (A)	140 A	160 A	180 A	200 A

Öncelikle kaynak işlemlerine atmosferik şartlarda başlanmış, akabinde sırasıyla su altında 4 m, 8 m ve 16 m derinliklerdeki kaynak işlemleri yapılmıştır. Kaynak

**Tablo 1.** Grade AH36 sacının kimyasal bileşimi (Ağırlıkça %) ve Ceş değeri (Chemical compositions of AH36 ship plate (wt. %) and Ceq values).

Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	Cu	Cr	Ni	Mo	Fe	Ceş
Grade A	0,18	0,50	0,90	0,035	0,035	0,015	0,02	0,35	0,20	0,40	0,08	Kalan	0,43



**Şekil 1.** Malzeme ölçüleri ve kaynağa hazırlanması (Dimensions of the plate and preparing to welding)

işlemleri biten numuneler, yüzey kusurlarının belirlenmesi için öncelikle TS EN ISO 17637 standardına göre gözle muayene ve iç kusurların belirlenmesi için de TS EN ISO 17636-1 standardına göre radyografik muayene testine tabi tutulmuşlardır.

Tahribatsız muayeneleri biten numuneler sulu şerit testere makinası ile mekanik testler için gerekli ölçülerde kesilmişlerdir. Kaynaklı bağlantıların dayanımlarını belirlemek için numunelere çentik darbe ve eğme testleri yapılmıştır. Çentik darbe testi için AH36 ana malzemeden 4, her bir kaynak metali ve ITAB'dan 4 olmak üzere toplam 36 numune hazırlanmıştır.

Çentik darbe deney numuneleri TS EN ISO 9016 standardında belirtildiği üzere 55 mm x 10 mm x10 mm ölçülerinde hazırlanmış ve V çentikleri YILMAZ marka çentik açma cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Çentik darbe numunelerinin kırma işlemleri 450 Joule kapasiteli ZWICK ROELL RKP 450 tipi Charpy darbe cihazında ve oda sıcaklığında yapılmıştır.

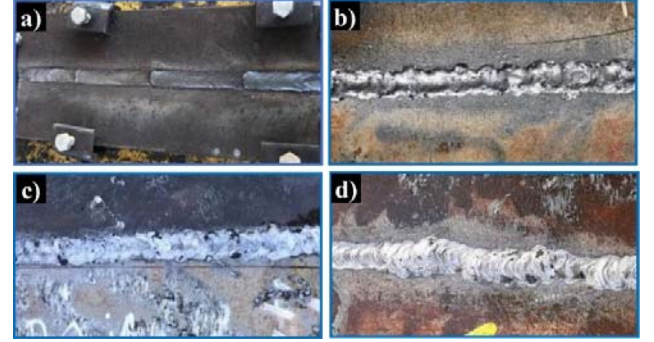
Kaynaklı numunelerin kaynak bölgesinde, 180° eğilme şartlarında çatlak, yırtılma, ayrılma hatası olup olmadığını belirlemek için TS EN ISO 5173 standardına göre 5 mm x 20 mm x 200 mm ebatlarında 2'şer adet numune hazırlanmış ve her iki numune de kep eğme testine tabi tutulmuştur. Eğme testleri AG-50 kN SHIMADZU Autograph çekme/basma cihazında ve 2 mm/dk eğme hızında gerçekleştirilmiştir. Şekil 2'de çentik darbe ve eğme deney numuneleri görüntüleri verilmiştir.

Mikroyapı ve sertlik için numuneler standart metalografik yöntemler ile (zımparalama ve parlatma) dağlama işlemine hazır hale getirilmişler ve %2 nital ile dağlanmışlardır. Sertlik ölçme işlemlerinde Shimadzu HVM cihazı kullanılmış olup, 2000 g yük (HV<sub>2</sub>) uygulanmış ve sonuçlar için her bölgeden gerçekleştirilen 3 ölçümün sonucunun ortalama değeri hesaplanarak ifade edilmiştir. Kaynak işlemleri çok pasolu olarak gerçekleştirildiği için ölçümler hem enlemesine (kaynak metali, ITAB ve ana malzemeyi kapsayacak şekilde) hem de boylamasına (sadece kaynak metalinden kaynak kökünden kaynak kepine doğru) alınmıştır. Mikroyapı için hazırlanan numuneler bilgisayara görüntü aktarabilen 1000 büyütme kapasiteli NIKON Epiphot 200 marka optik mikroskop ile görüntülenmiştir. Bu işlem esnasında görüntülerin, ana malzeme, ITAB ve birleşme ara yüzeylerini içermesine özen gösterilmiştir.

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

#### 3.1. Gözle Muayene (Visual Inspection)

Gözle muayene işleminde kaynak fazlalığı, yanma olukları, eksen kaçıklığı, dikişin konumu, yüzeydeki ark izleri ve oyukların olup olmadığı TS EN ISO 5817 standardına göre incelenmiştir. Şekil 3'de gözle muayenesi yapılan kaynaklı numunelerin (hem atmosferik hem de su altında) kaynak yüzeylerinin görüntüleri verilmiştir.

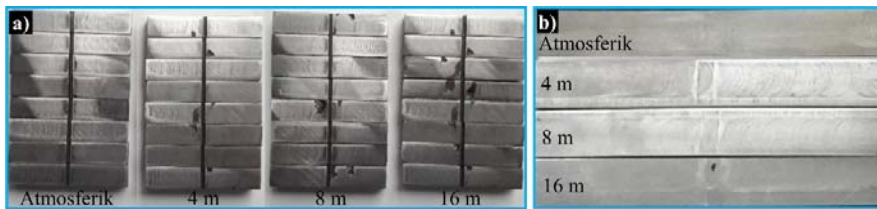


Şekil 3. Kaynaklı numunelerin makro görüntüleri a) atmosferik b) 4 m c) 8 m ve d) 16 m

(Macro photographs of welded samples a) atmospheric b) 4 m c) 8 m and d) 16 m)

Öncelikle atmosferik şartlarda birleştirilen kaynaklı numune gözle yapılan muayene sonucunda (Şekil 3a), kaynak yüzey hatalarından eksik veya fazla kaynak kepi, kökte çökme, eksen kaçıklığı, yanma olukları, makro çatlaklar, açılma çarpılma vb. kaynak hatalarına rastlanmazken, özellikle son pasodaki 2. ve 3. elektrodun başlatılması esnasında kısmi hataların (başlama/bitiş hatası) olduğu görülmüştür. Ayrıca malzeme yüzeylerinde sıçrama kalıntılarının meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Şekil 3'de verilen görüntüler incelendiğinde su altında gerçekleştirilen kaynaklı bağlantılarda farklı yüzey hatalarının varlığı tespit edilmiştir. Su altında 4 m derinlikte birleştirilen kaynaklı numune (Şekil 3b) eksik bir pasonun olduğu dikkat çekmektedir. Bu numune su altında birleştirilen ilk numune olduğu için dalgıç kaynakçı paso eksikliğini su altında fark edememiştir. Açığa çıktığında sonraki derinliklerde 1 paso daha yapması gerektiği kanısına varmıştır. Eksik paso hatasının yanında bu numune de yoğun bir yanma oluğu olduğu görülmektedir. 8 m derinlikte (Şekil 3c) birleştirilen numunelerin yüzey görüntüleri 4 m



Şekil 2. a) Çentik darbe ve b) eğme deney numuneleri (Impact toughness and bending test samples)

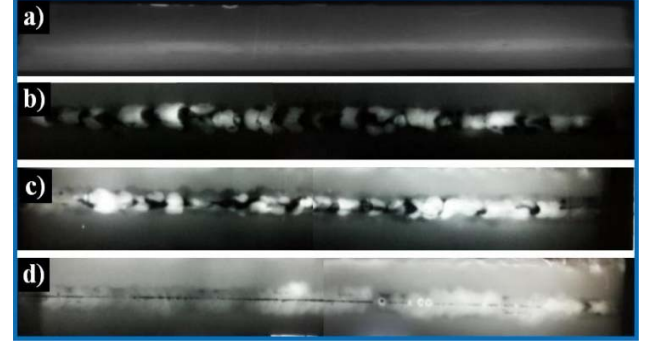
derinlikte birleştirilen kaynağa göre daha iyi gözükmetedir. Bu numunelerde eksik dikiş hatası gözükmez iken, çok az miktarda yanma oluklarının varlığı görülmektedir. 16 m derinlikte birleştirilen (Şekil 3d) numunede ise diğer numunelerde olmayan kaynak kapak (kep) pasonun düzgün olmaması hatasının varlığı tespit edilmiştir. Burada kaynak kapak pasonun düz olmamasının sebebi olarak kaynak esnasında sualtında görüş mesafesinin kötüleşmesi ve kaynak ağzının son pasoda kılavuzluk edememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Netice itibarı ile kaynak ağzı, kök paso ve ara pasolarda bir kılavuz görevi görmekte ve kaynağın kılavuz eşliğinde düzgün olması sağlanmaktadır. Ancak kapak pasoda kaynak ağzı kısmen kaybolduğundan kaynak dikişinin düzgün oluşması zorlaşmaktadır. Literatürde [4, 27], sualtı kaynaklarının tek pasolu yapılmasının zamandan kazanma, pasolar arasında dikiş temizleme gereksiniminin olmaması ve birleştirme boyunca elektroda yol göstermek üzere bir oluşun idamesine gerek kalmaması avantaj olarak gösterilmektedir. Ayrıca su altında kaynak esnasında, belirli sayıdaki dikişten sonra yol gösterici oluk kaybolduğundan, çok pasolu kaynakların güç olduğu vurgulanmaktadır. Sonuç olarak farklı derinliklerde su altında birleştirilen kaynaklı numunelerin hiçbirinde gözle görülebilir makro çatlaklara rastlanılmaması olumlu bir gelişme olarak değerlendirilmiştir.

### 3.2. Radyografik Muayene (Radiographic Test)

Deniz kenarında atmosferik şartlarda ve su altında farklı derinliklerde birleştirilen kaynaklı numunelere radyografik test uygulanmış ve test sonucu elde edilen görüntüler Şekil 4'de verilmiştir. Testler XX GHA 2505 X ray cihazında ve 3x3 odak boyutunda 1 dakika poz süresinde yapılmıştır. Çekim sonrası film banyo sıcaklığı 33°C olarak seçilmiştir.

Şekil 4'de verilen görüntülerle TS EN ISO 5817 standardına göre "bölgesel olarak oluşmuş gözenek, gaz gözenegi, eş dağılmış gözenek, kök ergime noksanlığı, pasolar arası ergime noksanlığı, ergime noksanlığı (yetersiz ergime), cüruf kalıntıları, düzenli dağılmış gözenek, gaz deliği, aşırı nüfuziyet, aşırı kaynak metal, sürekli yanma oluşu, kesintili yanma oluşu, yüzey gözenegi, çatlak, krater çatlağı vb. hatalar kontrol edilmektedir. Radyografik muayene sonucunda Şekil 4'de görüldüğü üzere atmosferik şartlarda birleştirilen numunede dikkate değer kökte nüfuziyet

eksikliği hatasının yanında oldukça küçük ve dağınık halde pasolararası cüruf hatasıyla karşılaşmıştır. Deniz kenarında yapılan bu kaynakta bu hatalardan başka bir iç yüzey hatasına rastlanılmamıştır.



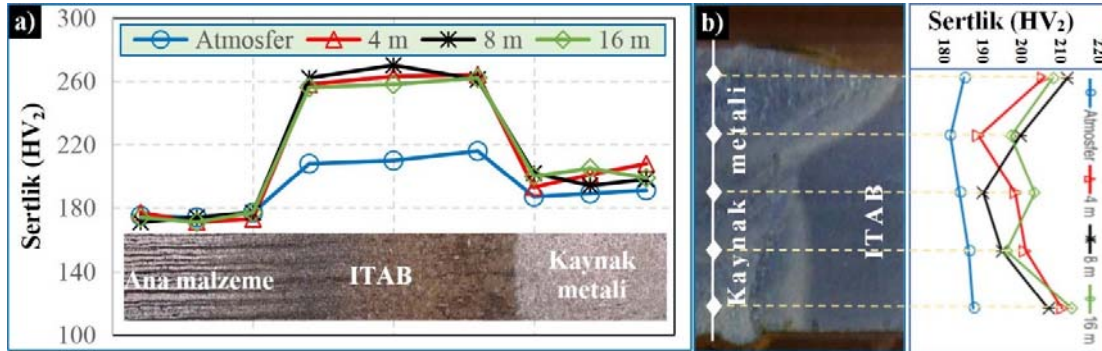
Şekil 4. Radyografik muayene filmleri a) atmosferik b) 4 m c) 8 m ve d) 16 m  
(Radiographical test films a) atmospheric b) 4 m c) 8 m and d) 16 m)

Su altında farklı derinliklerde birleştirilen numunelerde ise kökte nüfuziyet eksikliği hatasının yanında, kötü kaynak yüzeyi, gözenek, gaz kanalları, cüruf kalıntısı, kümelenmiş cüruf kalıntısı ve yanma oluşu hatalarına rastlanmıştır. Bu muayene yönteminde de kaynak çatlak kusurlarına rastlanılmamıştır. Ayrıca alanında uzman (Level 3) muayene personelinin raporları incelendiğinde, kaynak derinliği arttıkça oluşan hataların da arttığı belirlenmiştir.

### 3.3. Sertlik Testi (Hardness Test)

Gerek atmosferik şartlarda gerekse su altında farklı derinliklerde gerçekleştirilen kaynak işlemleri çok pasolu olarak yapıldığı için ölçümler hem enlemesine (kaynak metal, ITAB ve ana malzemeyi kapsayacak şekilde) hem de boylamasına (sadece kaynak metalinden kaynak kökünden kaynak kepine doğru) alınmıştır. Sertlik ölçümü yapılan bölgeler ve bu bölgelerden ölçülen sertlik değerleri Şekil 5'de verilmiştir.

Şekil 5a'da verilen kaynak bölgesine ait sonuçlar incelendiğinde en yüksek sertliğin max 270 HV olarak ITAB'dan ölçüldüğü, ITAB'ı sırasıyla max 209 HV ile kaynak metal ve max 177 HV ile ana malzemenin takip



Şekil 5. Sertlik ölçüm bölgeleri ve değerleri (Hardness measurement zones and values)

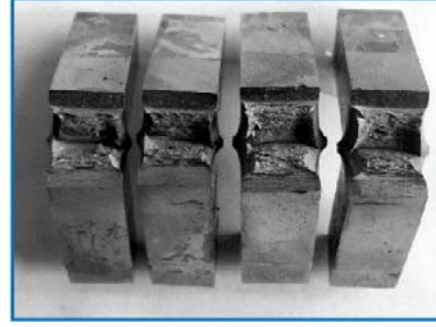
ettiği görülmektedir. Grafikte, atmosferik şartlarda birleştirilen kaynaklı numune sertliğinin hem kaynak metalinde hem de ITAB'da su altında farklı derinliklerde birleştirilen numunelere göre daha düşük sertlik değerleri sergiledikleri açıkça görülmektedir. Su altında farklı derinliklerde birleştirilen kaynaklı numuneler kendi aralarında kıyaslandığında ise özellikle ITAB'larda, derinliğin ITAB sertliğini etkileyecek bir bulguya rastlanılmamıştır. Verilen grafikte, atmosferik şartlarda birleştirilen numuneden elde edilen kaynak bölgesi (kaynak metal ve ITAB) genişliği ile su altında birleştirilen numunelerden elde edilen kaynak bölgesi genişliğinin farklı olduğu unutulmamalıdır. Özellikle düşük alaşımlı çeliklerde çatlama riski en fazla olan ITAB'da sertliğin 350 HV değerini aşmaması istenmektedir. Yapılan sertlik testlerinde bu değeri geçen herhangi bir değere rastlanılmamış olması olumlu bir gelişme olarak değerlendirilebilir.

Wang vd. [28]; özlü tel ile ark kaynak yöntemi ile E40 çelik malzemeleri geliştirdikleri bir tank içerisinde ultrasonik titreşim kullanarak ve kullanmaksızın ıslak kaynak işlemi gerçekleştirmişler ve ultrasonik titreşimin etkilerini incelemişlerdir. Sertlik çalışmaları sonucunda hem titreşimli hem de titreşimsiz birleştirilen kaynaklı numunelerde en yüksek sertliğin ITAB'da olduğunu, kaynak metalinin ise ana malzemeden daha yüksek olduğunu rapor etmişlerdir. ITAB'da sertlik artışının daha çok iri taneli bölgede meydana geldiğini, bunun sebebinin de katılma sırasında meydana gelen iğnemsiz (laht) martenzit olduğunu belirtmişlerdir. Kaynak elektrodu üreticileri, elektrod metalinin bileşimini o denli ayarlamışlardır ki, ergiyen esas metal ile bir miktar karışmasına rağmen, soğuma sonucunda ergiyen bölgede bir sertleşme görülmez, buna karşın ergime bölgesine bitişik olan esas metalde (ITAB) bu kısım yüksek sıcaklığa kadar ısınmış ve soğumuş olduğundan bir sertlik yükselmesi ile karşılaşılır [29]. Bir başka ifade ile elektrod üreticileri tarafından, kaynak metalinin bileşimi, hızlı soğuma halinde dahi sertleşme oluşturmayacak şekilde ayarlanmıştır.

Şekil 5b'de verilen kaynak metal dikey sertlik grafiği incelendiğinde atmosferik şartlarda birleştirilen kaynaklı numune sertliğinin su altında farklı derinliklerde birleştirilen kaynaklı numunelerden daha düşük olduğu görülmektedir. Grafikte göze çarpan bir başka durum da özellikle sualtı kaynaklarda daha belirgin olmak üzere kaynak kep ve kök pasoların ara pasolara göre daha yüksek sertlik değerlerine sahip olmasıdır. Bu durumun, çok pasolu kaynak uygulamalarında bir önceki pasonun bir sonraki paso ile gelen ısı girdisiyle kısmen normalizasyon tavlama etkisine girmesiyle açıklanabilir. Literatürde [30] düşük karbonlu bir çelik malzemeye çok pasolu kaynak uygulaması ile elde edilen sonuca göre kökte bulunan ilk pasoların ince taneli izotrop, dış kapakları oluşturan son pasoların ise iri ve sütünsal taneli yönlenmiş yapıları oluşturduğu ifade edilmiştir. Bu açıklamalar ışığında kaynak metalinde kepten köke doğru yapılan sertlik çalışmalarında elde edilen ortalama sonuçlardaki farklılıkları açıklamak mümkün olmaktadır.

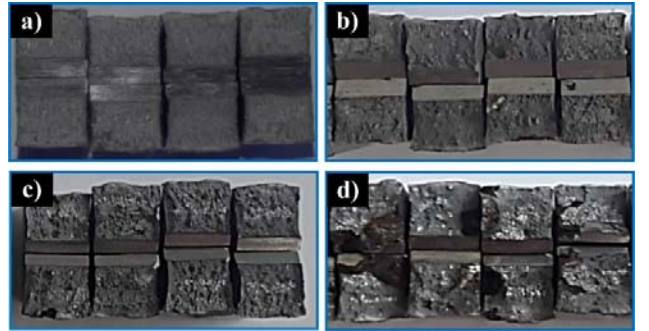
### 3.4. Çentik Darbe Deneyi (Impact Toughness Test)

Öncelikle atmosferik şartlarda ve su altında farklı derinliklerde birleştirilmiş kaynaklı numunelerin kaynak metal ve ITAB kırık yüzeylerini değerlendirebilmek için AH 36 ana malzemenin darbe deney sonrası görüntüleri Şekil 6'da verilmiştir. Şekildeki ana malzeme kırık yüzeyleri incelendiğinde sünek tipi bir kırılmanın gerçekleştiği görülmektedir.

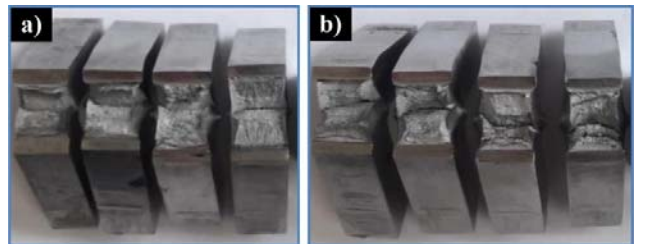


Şekil 6. AH36 ana malzemenin kırık yüzeyleri (Broken surfaces of AH36 base metal)

Şekil 7'de hem atmosferik şartlarda hem de su altında farklı derinliklerde birleştirilmiş kaynaklı numunelerin kaynak metalinin, Şekil 8'de ise 4 ve 16 m derinlikte birleştirilen (kırık yüzeyler birbirlerinin benzeri olduğundan burada sadece en düşük ve en yüksek parametrelerde birleştirilmiş numuneler örnek olarak verilmiştir) kaynaklı numunelerin ITAB'ların kırık yüzey makro görüntüleri verilmiştir.



Şekil 7. Kaynak metal kırık yüzeyleri a) atmosferik b) 4m c) 8m ve d) 16m (Broken surfaces of the weld metal a) atmospheric b) 4m c) 8m and d) 16m)

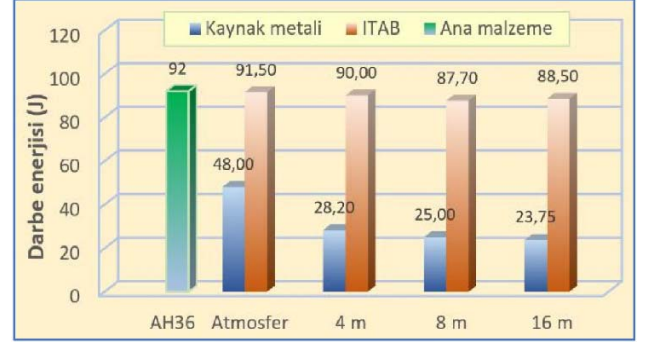


Şekil 8. ITAB kırık yüzeyleri a) 4 m ve b) 16 m (Broken surfaces of the HAZ a) 4m and b) 16 m)

Şekil 7’de verilen kaynak metali kırık yüzey görüntüleri incelendiğinde atmosferik şartlarda birleştirilen kaynaklı numune ile su altında farklı derinliklerde birleştirilen kaynaklı numune kırık yüzeylerinin farklılık gösterdiği görülmektedir. Burada atmosferik şartlarda birleştirilen kaynaklı numunenin kaynak metali yarı-sünek bir kırılma davranışı sergilerken, su altında birleştirilmiş numunelerin kaynak metalleri ise daha gevrek bir kırılma yüzey görüntüsü sergilemiştir. Fotoğraflarda göze çarpan bir başka durum da su altında derinlik arttıkça kırık yüzeylerde meydana gelen cüruf kalıntısı, gözenek vb. hataların kaynak metalinde artmasıdır. Şekil 8’de su altında 4 m ve 16 m derinlikte birleştirilmiş kaynaklı numunelerin ITAB kırık yüzey görüntüleri incelendiğinde, kırılma tipinin sünek olduğu ve orijinal malzemeye (Şekil 6) benzerliği ile dikkat çekmektedir. Bu benzerliğin sebebi Şekil 9’da verilen şematik resim ile açıklanabilir.

Şekil 9a’da verilen şematik resim incelendiğinde açılan çentiğin ve kırılan bölgenin kaynak metalinden meydana geldiği görülmektedir. Benzer şekilde Şekil 9b’de atmosferik şartlarda birleştirilen kaynaklı numunede yavaş soğumadan dolayı ITAB geniş olduğundan açılan çentik ve kırılma ITAB’dan gerçekleşmektedir. Su altında yapılan kaynaklarda hızlı soğumadan dolayı ITAB çok dardır. Bu yüzden kaynaklı numunelere standart çentik açıldığında çentiğin kendisinin bir kısmı kaynak metaline bir kısmı da bir fiil ITAB’a açılmaktadır. Buradan hareketle Şekil 9c’de görüldüğü üzere aslında ITAB’dan açılan çentiğin kırılma bölgesinin tam olarak ITAB olmayıp, ITAB’a bitişik olan orijinal ana malzeme olduğu görülebilir. Sonuç olarak darbe testi sonrasında kırılmanın tamamına yakını ana malzemeden veya ısıdan etkilenmeyen düşük sıcaklık bölgesinden gerçekleşmektedir. Dolayısı ile kaynaklı numunelerin kırık yüzeylerinden elde edilen kırık yüzey görüntülerinin birbirlerine benzerlik göstermesi gayet normaldir. Şekil 10’da AH 36 ana malzeme ile deniz kenarında atmosferik şartlarda ve su altında katlamalı farklı derinliklerde birleştirilen kaynaklı numunelerin kaynak bölgelerinden (kaynak metali ve ITAB) elde edilen darbe deney sonuçları (her bir sonuç, deneysel çalışmalardan elde edilen 4 değer aritmetik ortalamasıdır) grafik olarak verilmiştir. Şekil 10’da verilen çentik darbe deney sonuçları incelendiğinde kaynaklı numunelerin ITAB değerleri için darbe sönümlenme enerjisi birbirine yakın değerlerde seyrederken, kaynak metali sonuçlarında, atmosferik şartlarda birleştirilen numuneye sualtı farklı derinliklerde birleştirilen numuneler arasında farklılıklar gözlemlenmiştir. Atmosferik şartlarda birleştirilen numunelerin kaynak metaline ait darbe deney sonucu 48 J bulunurken, su altında birleştirilen numuneler 4 m derinlikten başlayarak sırasıyla 28,20 J, 25,00 J ve 23,75 J enerji absorbe etmişlerdir. Su

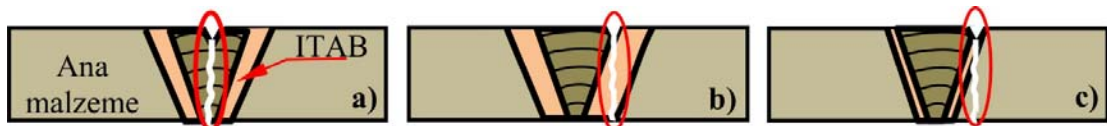
altında farklı derinliklerde birleştirilen kaynaklı numunelerin kaynak metallerinden ölçülen tokluk değerlerin birbirlerinden farklı bulunmasının en büyük sebebi metalürjik/yapısal dönüşüm farklılıklarından ziyade kaynak metallerinde farklı miktarda ve boyutta oluşan gaz boşlukları ve cüruf kalıntılarıdır.



Şekil 10. Grade AH36 ve farklı derinlik değerlerine göre darbe deney sonuçları  
(Impact toughness test results of Grade AH36 with different depths)

Atmosferik şartlarda ve su altında farklı derinliklerde birleştirilen kaynaklı numunelerin verimleri kıyaslandığında, su altında birleştirilen numunelerden, atmosferik şartlarda birleştirilmiş numunelere göre yaklaşık %48-58 arasında bir başarı sağlanmıştır. Literatürde [27] kaynak metali için, atmosferik şartlarda birleştirilen bir numunenin darbe absorbe etme yeteneği, su altında birleştirilen numuneden yaklaşık %50 oranında daha fazla olacağı belirtilmiştir.

Şekil 10’da verilen grafikte en dikkat çeken durumun ITAB’lardan ölçülen darbe tokluk değerlerinin ana malzemeye yakın bulunmasıdır. Ayrıca da atmosferik şartlarda ve su altında farklı derinliklerde birleştirilen kaynaklı numunelerin ITAB değerleri incelendiğinde de sonuçların birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. Su altında gerçekleştirilen kaynaklı numunelerin ITAB’larında derinliğin artmasına bağlı olarak darbe dayanımının azaldığı/arttığına dair bir bulguya rastlanılmamıştır. Kaynaklı numunelerin ITAB tokluk değerlerinin birbirlerine ve ana malzemeye yakın çıkmasının sebebi Şekil 9’daki şematik resim üzerinden anlaşılabilir. Su altında birleştirilen numunelerin tümünde çentiğin ITAB’da olmasına rağmen nihai kırılmanın ana malzemeden gerçekleştiği tahmin edilmektedir. Sualtı farklı derinliklerde örtülü elektrodla ark kaynağı üzerine yaptığı çalışmada İmdat, [1] açık havada yapılan birleştirmelerin, su altında yapılan birleştirmelere göre neredeyse iki kat daha yüksek enerji sönümlenme kabiliyeti sunduğunu rapor etmiştir.

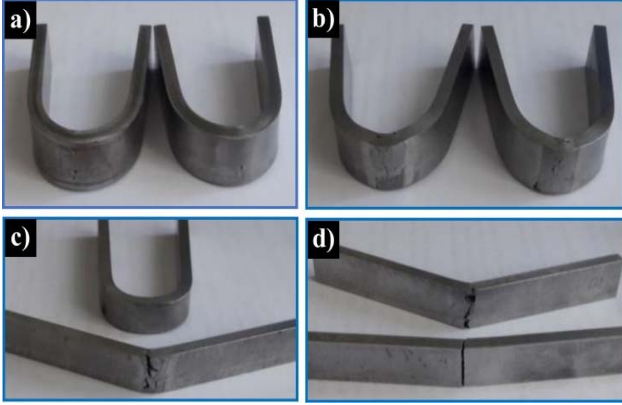


Şekil 9. Darbe deneyi kırılma bölgeleri a) kaynak metali b) atmosferik kaynak ITAB ve c) su altı kaynak ITAB  
(Broken zones of impact toughness test a) weld metal b) HAZ of atmospheric weld and c) HAZ of underwater weld)



### 3.5. Eğme Deneyi (Bending Test)

Deniz kenarında atmosferik şartlarda ve su altında farklı derinliklerde birleştirilen numunelere ilgili standartlar çerçevesince her numuneden 2'şer adet eğme numunesi hazırlanmış ve numunelerin her ikisine birden kep eğme testi uygulanmıştır. Uygulama sonucunda numunelerin görünüşü Şekil 11'de verilmiştir.



**Şekil 11.** Eğme deneyi sonrası numuneler a) atmosferik b) 4 m c) 8 m ve d) 16 m  
(Samples after the bending test a) atmospheric b) 4 m c) 8 m and d) 16 m)

Şekil 11a'da verilen görsellerde atmosferik ortamda birleştirilen numunenin kaynak yüzeyinde mevcut olan mikro cüruf kalıntısı ve kısmi boşluklara rağmen 3 nokta eğme deneyinde 180° eğme deneyinin sorunsuz gerçekleştiği görülmektedir. Benzer şekilde 4 m derinlikte birleştirilen ve eğme deneyine tabi tutulan numunelerin 160°'de gerçekleşen kaynak metali ve ITAB'da oluşan yüzeysel çatlaklar dahi işlemin (180°'ye eğme) tamamlanmasında

herhangi bir sorun çıkarmamış ve eğme deneyi başarıyla tamamlanmıştır.

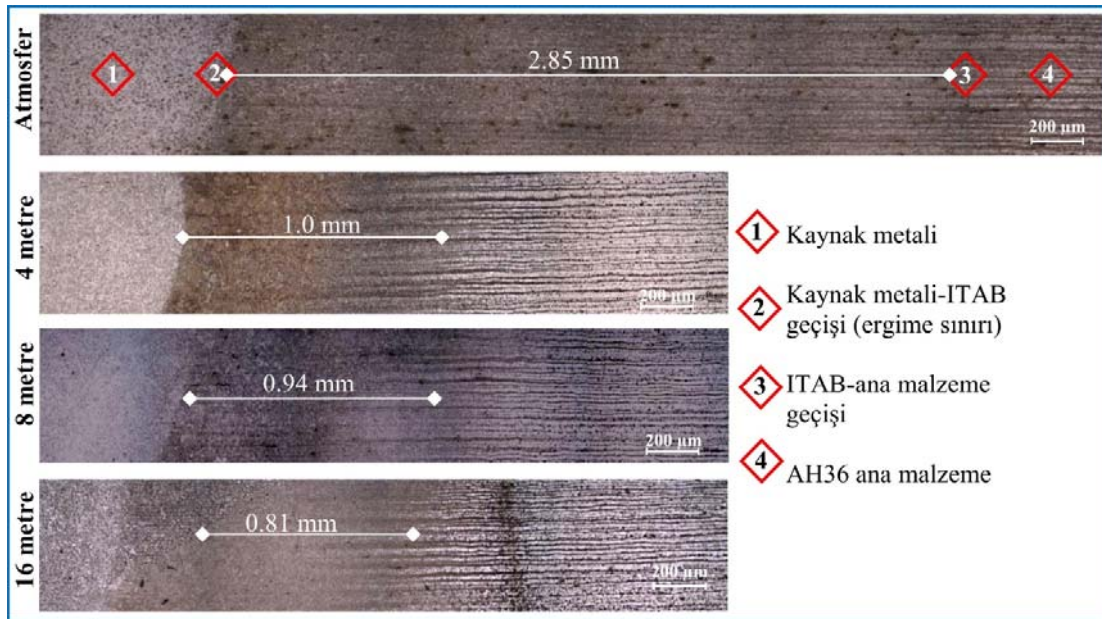
Şekil 11c'de verilen su altında 8 m derinlikte birleştirilen numunelerden tesadüfi sonuçlar alınmıştır. Bir başka ifade ile hazırlanan 2 adet eğme numunesinden 1 tanesi 180° eğilmiş diğer numune ise küçük eğme açılarında hasara uğrayarak kaynak metalinden kırılmıştır. 16 m derinlikte birleştirilen numunenin eğme testlerinde ise her iki numune de çok küçük açılarda hasara uğramıştır.

Eğme testleri sonrasında kırık yüzeyler üzerinde yapılan gözle muayenede kırılmalara kaynak metalinde pasolar arasında kalan cüruf kalıntılarının ve gözeneklerin sebebiyet verdiği tespit edilmiştir. Bu durum, radyografik test sonuçları ile eğme test sonuçlarının birbirlerini doğruladıklarını göstermektedir.

Li vd. [31], ASTM Gr.65 çelik malzemeleri özlü tel ark kaynak yöntemi ile farklı ilave metaller kullanarak su altında ıslak ortamda birleştirdikleri çalışmada, kaynaklı numunelere eğme testleri uygulamışlardır. Eğme testleri sonucunda kep (yüz) eğme testlerinde numunelerin bükme açısı makro kusur olmadan 140°'ye kadar ulaşabilirken, kök eğme testlerinde bükme açısı 90° olarak gerçekleşmiştir.

### 3.6. Mikroyapı Çalışmaları (Microstructural Studies)

Literatürde [1, 2, 4], Grade AH36 malzemenin mikroyapısının ferrit ve perlit tanelerinden oluşan bir yapıya sahip olduğu bildirilmiştir. Ayrıca bir başka çalışmada [10] AH36 malzemede meydana gelen bantlı yapının, termomekanik kontrol işlemi sırasında ortaya çıkan mikro-yapısal değişikliklerden kaynaklandığı rapor edilmiştir (Şekil 12, 4. Bölge). Şekil 12'de kaynaklı numunelerin kaynak bölgesinin



**Şekil 12.** Numunelerin kaynak metali, ITAB ve ana malzeme ile geçiş bölgelerinin mikroyapılar  
(Microstructures of samples: weld metal, HAZ and base metal with transition zones)

(kaynak metali, ITAB ve ana malzeme ile geçiş bölgeleri) mikroyapı görüntüleri verilmiştir.

Atmosferik şartlarda ve su altında katlamalı farklı derinliklerde birleştirilen numunelere ait Şekil 12’de verilen mikroyapı görselleri incelendiğinde kaynak metali, kaynak geçiş bölgeleri ve ITAB genişliği net olarak seçilebilmektedir. Deniz kenarında atmosferik şartlarda birleştirilen numunede ITAB genişliği 2,85 mm ölçülürken, su altında 4 m derinlikte birleştirilmiş numunede bu değer 1,0 mm, 8 metre derinlikte birleştirilmiş numunede 0,94 mm ve son olarak su altında 16 m derinlikte birleştirilmiş kaynaklı numunede 0,81 mm olarak ölçülmüştür. Literatürde [30], ısının tesiri altında kalan bölge (ITAB) 727°C sıcaklığa kadar ısınıp soğumuş olan bölge olarak tanımlanmış ve genişliğinin şartlara göre 1-3 mm aralığında oluştuğu ifade edilmiştir. Çalışma sonucu hem atmosferik şartlarda hem de su altında farklı derinliklerde birleştirilmiş kaynaklı numunelerin ITAB’larından ölçülen uzunluklar literatürde verilen bilgiler ile örtüşmektedir.

Ayrıca literatürde [27], su altında kaynaktaki ITAB’ın genişliğinin, açık havada yapılan kaynaktakinin %25 ila %50’si kadar olacağı belirtilmiştir. Su altında gerçekleştirilen kaynakların atmosferik şartlarda birleştirilen kaynaklara göre daha dar bir ITAB’a sahip olması suyun kaynak bölgesini hızlı soğumasıyla açıklanabilir.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Grade AH36 gemi sacının rutil örtü tipli E6013 standardına sahip elektrod ve örtülü elektrodla ark kaynak yöntemi kullanılarak atmosferik şartlarda ve su altında farklı derinliklerde birleştirildiği bu çalışmada;

- Kaynaklı numunelere gözle yapılan muayene sonucunda, atmosferik şartlarda birleştirilen numunelerde kaynak yüzey hatalarına (eksik veya fazla kaynak kepi, kökte çökme vb.) rastlanılmazken su altında birleştirilmiş numunelerde yanma oluklarına, cüruf kalıntılara ve kökte yetersiz birleşme hatasına rastlanılmıştır.
- Radyografik muayene işlemleri sonucunda, sualtı ark kaynağında oluşabilecek cüruf kalıntıları, gaz boşlukları ve yanma olukları hatalarına rastlanılmıştır. Bu muayenede yüzey ve yüzey altı kusurlardan çatlaklara rastlanmamıştır.
- Sertlik ölçümleri sonucunda, tüm numunelerin kaynak metali sertlik değerlerinin ITAB’dan düşük, ana malzemenin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, kaynak metalinde dikey ekseninde kepi ve kök pasodan ölçülen sertlik değerlerinin orta pasolardan ölçülen sertlik değerlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- Çentik darbe deney sonuçlarına göre kaynak metali tokluk değerlerinin, ana malzeme ve ITAB tokluk değerlerine göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca atmosferik şartlarda birleştirilen numunenin, su altı farklı derinliklerde birleştirilenlere göre yaklaşık %50 daha yüksek darbe dayanımı sergilediği tespit edilmiştir.

- Eğme deneyi sonuçlarına göre atmosferik şartlarda ve su altında 4 m derinlikte birleştirilen numunelerin kepi eğme testleri başarıyla gerçekleştirilmiştir. Ancak su altında 8 m ve 16 m derinliklerde birleştirilen kaynaklı numunelerden tesadüfi sonuçlar alınmıştır. Eğme numunelerinin kırık yüzeyleri incelendiğinde derinlik farkı arttıkça porozite, gaz boşluğu ve kalıntı miktarlarının arttığı gözlemlenmiştir.
- Mikroyapı çalışmalarına göre su altında birleştirilen tüm numunelerin atmosferik şartlarda birleştirilen numuneye nazaran neredeyse %25-50 oranında daha dar ITAB’a sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum suyun kaynak bölgesinin hızlı soğumasına etkisi olarak ifade edilebilir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmanın (KBÜ-BAP-17YL-432) yapılmasındaki desteklerinden dolayı KBÜ Rektörlüğüne ve BAP koordinatörlüğüne teşekkür ederiz.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. İmdat K., Grade A gemi sacının örtülü elektrod ark kaynak yöntemi ile su altı ve atmosferik şartlarda birleştirilmesi ve kaynaklı birleştirmelerin mekanik/mikroyapı özelliklerinin karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2017.
2. Kaya Y., Patlamalı kaynak yöntemi ile üretilen Grade A gemi sacı-paslanmaz çelik kompozitlerin mikroyapı, mekanik ve korozyon özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2014.
3. Crupi V., Guglielmino E., Maestro M., Marino A., Fatigue analysis of butt welded AH36 steel joints: Thermographic method and design S-N curve, Marine Structures, 22, 373–386, 2009.
4. İmdat K., Kaya Y., Kahraman N., Grade A gemi sacının örtülü elektrod ark kaynak yöntemi ile su altı ve atmosferik şartlarda birleştirilebilirliğinin araştırılması, Politeknik Dergisi, 21 (3), 543–552 2018.
5. Hayat F., Masif ve özlü kaynak telleri ile birleştirilen çift-fazlı çeliklerin mekanik ve mikroyapı özellikleri, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2009.
6. Erden M. A., Gündüz S., Çalgılı U., Boz M., Investigation of hardness and microstructure properties of non alloyed and hardox steel combined with submerged arc welding method, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 33 (1), 221-226, 2018.
7. Şık A., A research into the effect of additional electrode types and protective mixture gases on the bending fatigue life of steel material that is welded with MIG/MAG welding method, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 22 (4), 769-777, 2007.
8. Pazooki A.M.A., Hermans M.J.M., Richardson I.M., Control of welding distortion during gas metal arc

- welding of AH36 plates by stress engineering, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 88, 1439–1457, 2017.
9. Ribeiro A.C.N., Henein H., Ivey D.G., Brandi S.D., Evaluation of AH36 microalloyed steel welded joint by submerged arc welding process with one and two wires, *Materials Research*, 19 (1), 143-152 2016.
  10. Yılmaz A.F, Gemi inşaatındaki kaynaklı bağlantıların yapısal ve mekanik özelliklerinin optimizasyonu, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2018.
  11. Wu L., Cheon J., Kiran D.V., Na S.J., CFD simulations of GMA welding of horizontal fillet joints based on coordinate rotation of arc models, *Journal of Materials Processing Technology*, 231, 221–238, 2016.
  12. Badogiannis E., Tsiourva D., Papazoglou V.J., Pantelis D.I, Tsouvalis N.G., Corrosion and its effects on the mechanical properties of AH36 steel welds, 12th International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean, Varna-Bulgaria, 145-151, 2008.
  13. Okawa T., Shimanuki H., Funatsu Y., Nose T., Sumi Y., Effect of preload and stress ratio on fatigue strength of welded joints improved by ultrasonic impact treatment, *Weld World*, 57, 235–241, 2013.
  14. Lee H.K., Kim K.S, Kim C.M, Fracture resistance of a steel weld joint under fatigue loading, *Engineering Fracture Mechanics*, 66, 403-419, 2000.
  15. Tsirkas S.A., Papanikos P., Kermanidis T., Numerical simulation of the laser welding process in butt-joint specimens, *Journal Of Materials Processing Technology*, 134 (1), 59-69, 2013.
  16. Unta A., Lappalainen E., Salminen A., Autogeneous laser and hybrid laser arc welding of T-joint low alloy steel with fiber laser systems, *Physics Procedia*, 41, 140–143, 2013.
  17. Unta A., Poutiainen I., Salminen A., Influence of filler wire feed rate in laser-arc hybrid welding of T-butt joint in shipbuilding steel with different optical setups, *Physics Procedia*, 78, 45–52, 2015.
  18. Özakın N., AH ve DH kalite gemi saclarının değişik kaynak yöntemleri ve kaynak pozisyonlarındaki mekanik özelliklerinin ve mikroyapılarının irdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 2010.
  19. Wang J, Suna Q., Panb Z., Yang J., Feng J., Effects of welding speed on bubble dynamics and process stability inmechanical constraint-assisted underwater wet welding of steel sheets, *Journal of Materials Processing Technology*, 264, 389-401, 2018.
  20. Li H., Liu D., Ma Q., Gua N., Song X., Fenga J., Microstructure and mechanical properties of dissimilar welds between 16Mn and 304L in underwater wet welding, *Science and Technology of Welding and Joining*, 24 (1), 1–7, 2019.
  21. Fu Y., Guo N., Du Y., Chen H., Xu C., Feng J., Effect of metal transfer mode on spatter and arc stability in underwaterflux-cored wire wet welding, *Journal of Manufacturing Processes*, 35, 161-168, 2018.
  22. Chen H., Guo N., Shi X., Du Y., Feng J., Guodong Wang G., Effect of hydrostatic pressure on protective bubble characteristic and weld quality in underwater flux-cored wire wet welding, *Journal of Materials Processing Technology*, 259, 159-168, 2018.
  23. Winarto W., Pumama D., Churniawan I., The effect of different rutile electrodes on mechanical properties of underwater wet welded AH-36 steel plates, 3rd International Conference on Materials and Metallurgical Engineering and Technology (ICOMET 2017), Surabaya-Indonesia, 30-31 October 2017, 2018.
  24. Kahraman N. ve Gülenç B., Modern kaynak teknolojisi, Epa-Mat Basım Yayın Ltd. Şti., 3. baskı, Ankara, 2016.
  25. Kaçar R, Ertek Emre H., İşineri Ü. I., Najafiharehtapeh A., Effects of welding methods on the mechanical properties of joining dissimilar steel couple, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 33 (1), 255-265, 2018.
  26. Kılınçer S., Kahraman N, MIG welding of AISI 409 and Ç1010 steel using an austenitic electrode and investigation of their mechanical properties, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 24 (1), 23-31, 2009.
  27. İmdat K., Kaya Y., Yıldırım M.S., Kahraman N., Sualtı ve atmosferik şartlarda birleştirilen Grade A gemi sacının mekanik/mikroyapı özelliklerinin incelenmesi, II. Uluslararası Multidisipliner Çalışmaları Sempozyumu (ISMS), Roma-Italy, 69-81, 18-21 May, 2017.
  28. Wang J., Sun Q., Wu L., Liu Y., Teng J., Feng J., Effect of ultrasonic vibration on microstructural evolution and mechanical properties of underwater wet welding joint, *Journal of Materials Processing Technology*, 246, 185–197, 2017.
  29. Anık S., Tülbentçi K., Kaluç E., Örtülü Elektrod İle Elektrik Ark Kaynağı, Gedik Holding Yayını, İstanbul, 1991.
  30. Özden N., Kaynağın ısıtma işlemi, Nurettin Uycan Ciltce Basım Sanayii A.Ş., İstanbul, 1985.
  31. Li H., Liu D., Song Y., Yan Y., Guo N., Feng J., Microstructure and mechanical properties of underwater wet welded high-carbon-equivalent steel Q460 using austenitic consumables, *Journal of Materials Processing Technology*, 249, 149–157, 2017.

