



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Grade A gemi sacının örtülü elektrod ark kaynak yöntemi ile sualtı ve atmosferik şartlarda birleştirilebilirliğinin araştırılması

an investigation on joinability of Grade A ship steel through shielded metal arc welding method in underwater and atmospheric conditions

Yazar(lar) (Author(s)): Kadir İMDAT¹, Yakup KAYA², Nizamettin KAHRAMAN³

ORCID¹: 0000-0002-6829-9438

ORCID²: 0000-0002-9951-2844

ORCID³: 0000-0002-7152-3795

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): İmdat K., Kaya Y., ve Kahraman N., “Grade A gemi sacının örtülü elektrod ark kaynak yöntemi ile sualtı ve atmosferik şartlarda birleştirilebilirliğinin araştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 543-552, (2018).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.428975

Grade A Gemi Sacının Örtülü Elektrod Ark Kaynak Yöntemi ile Sualtı ve Atmosferik Şartlarda Birleştirilebilirliğinin Araştırılması

Araştırma Makalesi / Research Article

Kadir İMDAT, Yakup KAYA*, Nizamettin KAHRAMAN

Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Karabük Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 10.02.2017 ; Kabul/Accepted : 30.03.2017)

ÖZ

Bu çalışmada, Grade A gemi sacı, örtülü elektrodla ark kaynak yöntemi ile, parafin kaplanmış E 6013 standardına sahip rutil örtü tipli elektrodla, atmosferik şartlarda ve su altında farklı derinliklerde birleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirmelerin mekanik özelliklerini belirlemek için sertlik deneyi ve çekme testleri yapılmıştır. Ayrıca kaynak bölgesinde meydana gelen yapısal değişim ve dönüşümleri gözlemek için kaynaklı numuneler üzerinde mikroyapı çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan sertlik testleri sonucunda, en yüksek sertlik değerleri kaynak metalinden ölçülürken onu sırasıyla ısıtım tesiri altında kalan bölge (ITAB) ve ana malzeme takip etmektedir. Yapılan çekme testleri sonucunda, tüm numunelerde kopma kaynak metalinde gerçekleşmiş ve bütün bağlantı dayanımları, ana malzemeden düşük bulunmuştur. Mikroyapı incelemelerinde ilk pasoların ince taneli izotrop, dış kapakları oluşturan son pasoların ise ince sütunsal taneli olduğu gözlenmiştir. Ayrıca su altında birleştirilen numunelerde hızlı soğumadan kaynaklı martenzitik dönüşüm olduğu mikroyapı incelemelerinde gözlenmiştir. Deney sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, sualtı ark kaynak yöntemiyle birleştirilen numunelerin atmosferik şartlarda birleştirilen numuneye göre uzama değerlerinde yaklaşık % 30, çekmede ise yaklaşık % 12 daha düşük dayanım sergiledikleri gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sualtı ark kaynak yöntemi, gemi sacı, sertlik ve çekme testi.

An Investigation on Joinability of Grade A Ship Steel Through Shielded Metal Arc Welding Method in Underwater and Atmospheric Conditions

ABSTRACT

In this study, Grade A ship steel was joined at both the atmospheric conditions and underwater at various depths through shielded metal arc welding method using paraffin coated shielded rutile type electrode conforming to E 6013 standard. In order to determine the mechanical properties of welded joints hardness and tensile tests were carried out. In addition, microstructural examinations were performed on the welded specimens in order to observe structural the changes and transformations occurring in the welding zone. The hardness test results showed that the highest hardness values are seen for the weld metal and these are followed by heat affected zone (HAZ) and base material. After the tensile tests, it was seen that all the specimens fractured at the weld metal and that strength of the joints lower than that of base material. It was observed from the microstructural examinations that first passes are fine grained isotropic while the last passes are fine grained columnar. In addition, martensitic transformation due to rapid cooling was seen in the specimens joined at underwater. When the experimental results are generally evaluated, it is seen that the specimens joined through underwater arc welding method exhibited 30 % lower elongation and 12 % lower tensile strength than those joined at the atmospheric conditions.

Keywords: Underwater arc welding, ship steel, hardness and tensile test

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gemi imalatında genelde kullanılan çelik saclar, dinamik yükler altında rahatça çalışabilecek ve kaynak kabiliyeti yüksek, % 0,15 ila % 0,23 karbon içeren ve mangan alaşımı açısından zengin olan “yumuşak çelik (düşük karbonlu)” malzemedir [1]. Bu tür malzemede kaynak kabiliyetine olumsuz yönde etki ettiğinden fosfor ve kükürt minimum seviyede tutulur (% 0,05’den az) [2]. Gemi imalatında bir çeliğin kullanılması için ilgili

kurumca denetlenmesi, test edilmesi ve soğuk damga ile mühürlenmiş olması gerekmektedir [1,3]. 1959 yılından sonra dünyada önde gelen gemi klas kuruluşları tarafından gemi imalatı için kullanılan saclar standartlaştırılmıştır [4]. Karbon çelikleri, normal mukavemetli (akma sınırı 235 N/mm²) 5 farklı kalitede çeliklerdir [2]. Gemi imalatında kullanılan bu çelikler Grade A, B, C, D ve E çelikleri olarak sınıflandırılmış olup, Lloyd’s Register denetimi doğrultusunda kullanılmaktadır [3]. Grade A çeliği yumuşak çeliktir ve gemi imalatında yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Grade B çeliği ise yumuşak çelik

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : ykaya@karabuk.edu.tr

sınıfına girmektedir ve Grade A çeliğinden daha iyi kalitededir. Grade C, D ve E kalite saclar ise darbe dayanımı daha iyi olan yumuşak çeliklerdir [4,5].

Örtülü elektrodla ark kaynağı, (Shielded metal arc welding), metallerin birleştirilmesinde avantajları nedeniyle sıkça kullanılan ve kullanımı kolay, ergitmeli bir kaynak yöntemidir [6]. Çok yönlü ve basit bir yöntem olan örtülü elektrodla ark kaynağı, gerek üretim, gerekse tamirat aşamalarında, ülkemizde ark kaynak yöntemleri arasında en çok kullanılan kaynak yöntemlerinden birisidir [6-8]. Örtülü elektrod kullanılarak uygulanan elektrik ark kaynağında ark oluşumu, iş parçasıyla ergiyen elektrod arasında oluşmaktadır [9-11]. Böylece ergiyen elektrod kaynak metali haline geçmektedir [12]. Su altında ark, havada olduğu gibi elektrodla parça arasında temasla tutuşur, ancak onu bu halde tutmak çok daha güçtür [10,13]. Ergime halindeki elektrodun ucunda, havada oluşandan daha derin bir krater meydana gelir ki, böyle kısmen ergimiş bir elektrodun yeniden tutuşturulması hayli güç olmaktadır [13]. Su altında arkın esas özelliği, etrafında bir gaz, duman ve buharlardan oluşan bir cebin meydana gelmesi olup bu cepten sürekli olarak yüzeye çıkıp, burada patlayan küçük veya iri kabarcıklar yükselir. Buharla birlikte küçük beyaz dumanlar da kahverengi veya kurşuni bulutlar hasil ederler [14]. Bazı kabarcıklar, çatlarken, suyu tedrici olarak bulandıran katı zerrecikler çıkarırlar. Buharlar, arkdan itibaren dikey olarak doğruca su yüzeyine yükselirler [14,15].

Su altında kaynak yapımı için en iyi kaynak özelliğine sahip elektrod olarak E 6013 yumuşak çelik elektrodu imal edilmiştir [14,16]. Karbon eşdeğeri (C_e)'nin 0.40'dan düşük olduğu çelik esas (ana) malzemesi üzerinde en iyi yaş kaynak E 6013 elektrodu ile yapılmaktadır [14]. Sualtı kaynaklarının çoğu 4 ve 5 mm elektrodlarla yapılır. Bahriye, bütün pozisyon kaynakları için E 6013 elektrodlarını önermektedir [15]. 5 mm elektrod, sacın bu çap için fazla ince olması dışında bütün işlerde tavsiye edilmektedir [17]. Bununla birlikte son deneyler E 6027 ve 7024 demir tozlu elektrodların da aynı tekniklerle kullanılabilirliği halinde iyi sonuç verdiklerini göstermiştir. Örtü, suyun zararına karşı parafin kaplamayla korunmalıdır [14,15]. Yaş ortamda yapılan elektrik ark kaynağının kullanım alanları ise; sızdırma çatlakları, su altındaki gemi gövdelerinde meydana gelen aralıklar, liman ile köprü ayağı ve platform tesislerinde, çelik levha kazıklarının tamiri gibi alanlarda uygulama yapılmaktadır [15,18].

Sualtı ark kaynak yönteminde, atmosferik şartlarda uygulanan kaynaklı birleştirmelere göre malzemenin mekanik özelliklerinde oldukça büyük değişim olmaktadır [19]. Ibarra vd. [20] sualtı kaynağının yüzey kaynağına göre düşük mekanik özellikler gösterdiğini, yani kaynak

banyosundaki önemli alaşım elementlerinin oksijen, hidrojen ve karbon ile reaksiyona girmesinden dolayı oluştuğunu çalışmalarındaki numunelerin üretim derinliklerini göz önüne alarak birbirine kıyasla açıklamışlardır. Christensen [21] manganez ve karbon içeriğinin varyasyonları kaynak metalini sertleştirirken, oksijen içeriğinin varyasyonlarının ise kaynak metalinin tokluğunu etkilediğini belirtmişlerdir. Pessoa vd. [22] Yük değişikliği gözenekliliğinin kaynak boyunca azalmasını etkisini açıkça gösterdiğini belirtmiş, derinliği dikkate alarak 50 metrede yapılan kaynaklar tarafından tahammül edilen yüklerin 100 metrede yapılan kaynaklara göre daha yüksek sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Özellikle son zamanlarda yapılan sualtı ark kaynağı çalışmalarında yüksek basınçlı kap ve simüle edilmiş ortamlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada gerçek ortam kullanılmak suretiyle, su altında katlamalı olarak farklı derinliklerde birleştirilen numunelerin atmosferik şartlarda birleştirilen numuneyle karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı numunelerin kaynak bölgeleri gözle muayene, sertlik, çekme deneyi ve makro/mikroyapı deneyleriyle incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Birleştirme işlemlerimde, kimyasal bileşimi Çizelge 1'de verilen düşük karbonlu Grade A gemi sacı malzemesi kullanılmıştır. Öncelikle malzemeler şerit testere ile 250x100x10 mm ebatlarında kesilmiş ve frezede 45° kaynak ağızı açılmıştır.

Kaynak ağızı açılan malzemeler Şekil 1'de gösterildiği gibi iki malzeme arasında 2 mm boşluk kalacak şekilde 5 mm kalınlığında bir parça ile birbirlerine puntalanmışlardır. Ayrıca kaynak esnasında sarkmaları önlemek ve kaynak kökünün kolay bir biçimde oluşturulabilmesi için seramik bir altlık kullanılmıştır.



Şekil 1. Kaynak öncesi parçaların sabitlenmesi (Fixing the pieces before welding).

Çizelge 1. Grade A gemi sacının kimyasal bileşimi (ağırlıkça %) (Chemical compositions of Grade A ship steel) (wt. %).

C	Mn	P	S	Si	Al	Cu	Cr	Ni	Mo	Fe
0,149	0,7	0,015	0,012	0,166	0,028	0,049	0,022	0,052	0,002	Kalan

Atmosferik şartlarda ve su altında kaynak işlemleri için kullanılan E 6013 rutil elektrod parafin maddesi ile kaplanarak yalıtkan hale getirilmiştir. Kaynak işleminde kullanılan elektrodun mekanik özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. E 6013 rutil örtülü elektrodun mekanik özellikleri (Mechanical properties of E 6013 rutile covered electrode).

Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)	Çentik Darbe Dayanımı 0 °C’de (J)
500	560	28	55-60

Kaynak işlemi uygulaması endüstriyel dalgıç tarafından, İstanbul Pendik’te bulunan tershaneler bölgesindeki Sedef Gemi İnşaatı A.Ş. firmasının bünyesinde gerçekleştirilmiştir. Uygulama, seçilen üç farklı derinlik parametresinin gerçekleştirilmesi için (1,5 m, 3 m ve 6 m) derinlikler ölçülerek, imalat sonunda gemiyi suyla buluşturmak için kullanılan bir rampanın (duba) su zeminine doğru uzanan ayaklarına parçaların uç kısımlarından puntalandıktan sonra yapılmıştır. Kaynak işlemi esnasında dalgıç kaynakçı, tel fırça, raspa ve çekiç gibi temizlik materyalleriyle her pasodan sonra curuf kalıntılarını temizleyerek yeni pasoyu uygulamıştır. Su altında ve açık alanda çok pasolu olarak yapılan birleştirme işleminde atmosferik şartlarda birleştirilen numune de aynı gün, aynı tershane bünyesinde kaynakla birleştirilerek tamamlanmıştır. Çizelge 3’te kaynak esnasında kullanılan kaynak parametreleri verilmiştir.

Atmosferik şartlarda birleştirilen numune açık havada kendi halinde soğumaya bırakılmıştır. Kaynak uygulamasında, kök paso kaynak işleminde kaynak ağız açısı darlığı ve derin nüfuziyet eldesi baz alınarak \varnothing 2,5 mm elektrod tercih edilmiştir. Parafin kaplı elektrodla malzemenin ilk etapta tek pasoda kök birleştirilmesi gerçekleştirilmiş, ardından \varnothing 3,25 mm parafin kaplanmış elektrodla üç paso dolgu işlemi gerçekleştirilmiştir. Son olarak \varnothing 4 mm parafin kaplı elektrodla iki paso dolgu

işlemi ve son kapak paso atılarak kaynak işlemi tamamlanmıştır.

Kaynak işlemi gerçekleşen numunelerin başlangıç ve bitiş kısımlarından 20 mm’lik kısımları ıskarta olarak ayrılmıştır. Karakterizasyon işlemleri için kaynak yönü takip edilerek her parçadan 3’er adet çekme ve 1’er adet de metalografi (sertlik ve mikroyapı) işlemleri için numune kesilmiştir. Sertlik testi için ayrılan kaynaklı numuneler, klasik metalografik numune hazırlama işlemine (zımparalama ve parlatma) tabi tutulmuşlardır. Sertlik ölçümleri, Shimadzu HMV cihazla HV türünden yapılmıştır. Sertlik ölçüme işlemlerinde 2000 g yük (HV2) uygulanmış ve sonuçlar için her bölgeden gerçekleştirilen 3 ölçümün sonucunun ortalama değeri hesaplanarak ifade edilmiştir. Çekme deney numuneleri TS EN ISO 4136 (2012) nolu “Metalik malzemelerin kaynakları üzerinde tahribatlı deneyler – Enine çekme deneyi” standardı dikkate alınarak hazırlanmıştır. Kaynaklı parçalardan standarda uyarak kaynak bölgesi merkezde olacak şekilde, inceltilmiş kısmın boyu 60 mm ve çapı da \varnothing 5 mm olacak şekilde hazırlanmıştır. Kaynaklı numuneler AG-50 kN SHIMADZU Autograph çekme cihazında teste tabi tutulmuştur. Test esnasında çekme hızı 0.5 mm/dk olarak seçilmiştir. Kaynaklı numunelere uygulanan çekme testi, her bir parametreden 3 adet yapılmış ve ortalamaları değerlendirilmiştir.

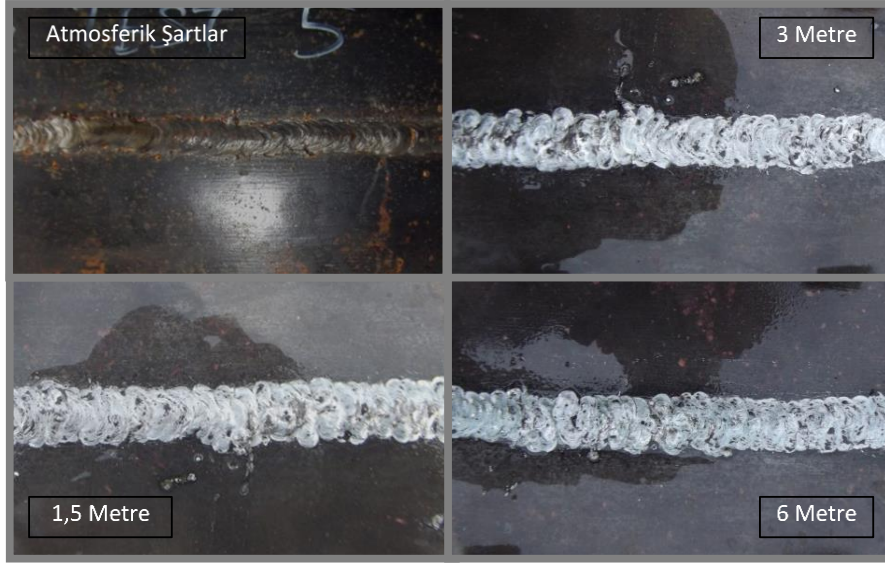
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. Görsel muayene (Visual inspection)

Farklı derinliklerde su altında ve atmosferik şartlarda birleştirilen kaynaklı numuneler öncelikle TS EN ISO 17637’e göre göz ile muayene testine tabi tutulmuşlardır. Şekil 2’de kaynaklı numunelerin makro görüntüleri verilmiştir. Gözle yapılan muayene sonucunda, belirgin yüzey hatalarına (eksik veya fazla kaynak kepi, kökte çökme vb.) rastlanılmamıştır. Kısmen yanma olukları oluştuğu, ancak oluşan hatalarına kabul sınırları çerçevesinde olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 3. Kaynak parametreleri (Welding parameters).

Derinlik	Net	1,5 m	3 m	6 m	Atmosferik
Paso Sayısı	-	6	6	7	5
Elektrod	2,5 mm	180 A	190 A	200 A	135 A
	3,25 mm	215 A	220 A	230 A	155 A
	4 mm	240 A	245 A	255 A	170 A
Şasi Kablo Boyu	-	60m	60m	100m	50m
Pense Kablo Koyu	-	100m	100m	100m	60m
Ortam Isısı	Meteoroloji Verileri	7°C	7°C	7°C	12°C



Şekil 2. Sualtı (farklı derinliklerde) ve atmosferik şartlarda birleştirilen numuneler (Joined samples in underwater (at different depths) and atmospheric conditions).

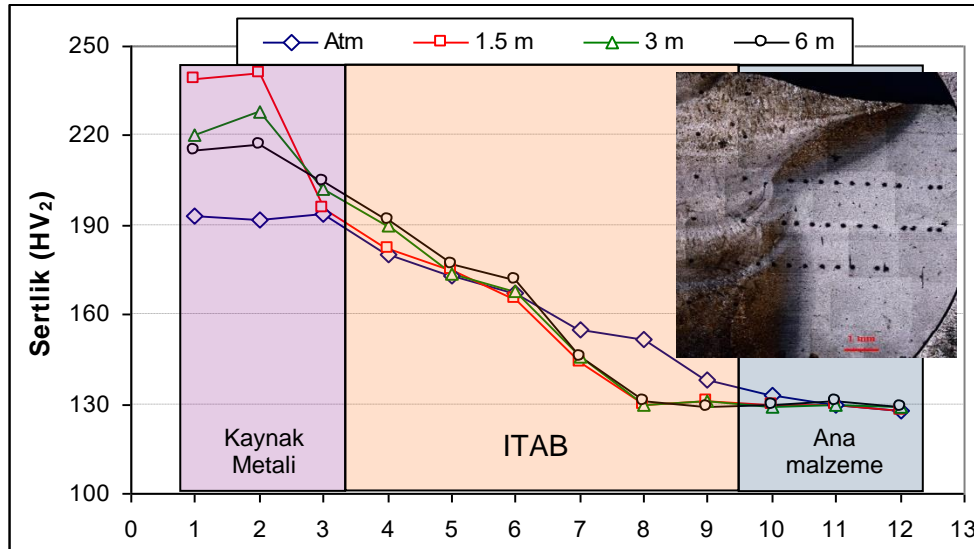
3.2. Sertlik Testi (Hardness Test)

Sertlik çalışmaları için hazırlanan numunelere 2000 g yük uygulanarak Vickers sertlik deneyi yapılmış ve elde edilen 3 sonucun ortalama değerlerine göre Şekil 3’de verilen grafik çizilmiştir. Ayrıca grafik üzerinde su altında 6 m derinlikte birleştirilen numunenin makro görüntüsü ve bu numune üzerinden alınan sertlik ölçüm izleri verilmiştir. Sertlik ölçüm işlemi kaynak metalinden ana malzemeye doğru çift yönlü olarak gerçekleştirilmiş ancak grafik simetrik bir yapı sergilediğinden burada tek taraf olarak verilmiştir.

Şekil 3’te verilen grafikte, atmosferik şartlarda birleştirilen numunedan elde edilen kaynak bölgesi (kaynak metal ve ITAB) genişliği ile su altında birleştirilen numunelerden elde edilen kaynak bölgesi genişliğinin farklı olduğu unutulmamalıdır. Bu durumda atmosferik

şartlarda birleştirilen numunede ölçüm uzunluğu yaklaşık 5-6 mm iken, bu uzunluk su altında birleştirilen numunelerde yaklaşık 3-4 mm olarak ölçülmüştür. Literatürde [6], su altında kaynaktan ITAB’ın genişliğinin, açık havada yapılan kaynaktakinin % 25 ila 50’ si kadar olacağı belirtilmiştir.

Şekil 3 genel olarak incelendiğinde kaynaklı numunelerin sertlik değerlerinde atmosferik şartlarda birleştirilen numune için kaynak metal, ITAB ve ITAB içerisindeki geçiş bölgelerinde (iri taneli-ince taneli, ince taneli-kısmen dönüşüme uğramış) sertlik değerleri su altında birleştirilenlere göre daha düşük değerlerde seyretmiştir. Atmosferik şartlarda birleştirilen numune için kaynak metalinde ortalama sertlik değeri 193.8 HV olarak ölçülmüştür. ITAB’da yapılan ölçümlerde en yüksek sertlik değeri 180 HV iken, en düşük sertlik değeri ise 135 HV



Şekil 3. Kaynaklı numunelerin sertlik sonuçları (Horizontal hardness results of welded samples)

olarak ölçülmüştür. Kaynak metalinin merkezinde derinlik arttıkça sertlikte az miktarda bir düşüşün olduğu tespit edilmiştir. 1.5 metre derinlikte

kaynatılan numunede ortalama sertlik değeri 224.2 HV, 3 metre derinlikte kaynatılan numunede ortalama sertlik değeri 213.66 HV ve 6 metre derinlikte kaynatılan numunede ortalama sertlik değeri 207.33 HV olarak ölçülmüştür. Sertlik değerleri kaynak metalinde olduğu gibi ITAB'da da yaklaşık farklılıkta değerler sergilemiştir. Su altında dalma derinliği arttıkça kaynak esnasındaki yanan karbon miktarı artar ve buna bağlı olarak karbon oranının düşmesinin sertlik değerlerindeki azalmada etkin rol oynadığı tespit edilmiştir. Ölçümler esnasında tespit edilen ITAB genişliği için, atmosferik şartlardakine kıyasla daha dar bir mesafenin söz konusu olduğu gözlemlenmiştir. Atmosferik şartlarda birleştirilen numunenin sertlik ölçümü esnasında tespit edilen ITAB genişliği yaklaşık 4.8 mm iken, su altında farklı derinliklerde birleştirilen numuneler için bu değer yaklaşık 1.8 mm olarak tespit edilmiştir.

Metal malzemelerin kaynakla birleştirilmesiyle kaynak bölgesinde meydana gelen metalurjik değişimler, kaynak sonrası soğuma hızı ve kaynak sürecinde uygulanan ısıyla yakından bağlantılıdır. Bu bilgi dikkate alındığında, çelik malzemelerin kaynağında östenit fazından oda sıcaklığına soğuma hızı, ITAB'da ve kaynak metalinde sonuç mikroyapıyı etkilediğinden oldukça önemlidir. Kaynak işlemi yapılan çelik malzemelerde 800 °C oldukça önemli bir sıcaklıktır. 800 °C, kaynak yapılan birçok çelik malzemenin A₃ sıcaklığıdır ve östenit fazından dönüşüm bu sıcaklıkta başlamaktadır. Çeliğin 800 °C'den 500 °C'ye soğuma süresi saniye olarak ölçülüp $\Delta t_{8/5}$ ile ifade edilir. Genellikle kaynak metali soğuma süresi olan $\Delta t_{8/5}$, 5 sn'den az olursa mikro yapı martenzit ve/veya beynit olur. $\Delta t_{8/5}$, 100 sn'den fazla olursa poligonal ferrit ve perlit mikroyapıyı oluşturur. $\Delta t_{8/5}$, soğuma süresi iki değer arasında olursa kimyasal bileşime bağlı olarak yüksek miktarda asiküler ferrit hacim oranı elde edilir [12].

Kaynaklı numunelerden ölçülen sertlik değerleri genel olarak değerlendirildiğinde en yüksek sertliğin tüm numunelerde kaynak metalinden ölçüldüğü, onu sırasıyla ITAB ve ana malzemenin takip ettiği tespit edilmiştir. Literatürde genelde en yüksek sertliğin kaynak metali veya iri taneli bölge olduğu, dolayısıyla en yüksek martenzit oluşumunun da yine bu bölgede olduğu belirtilmektedir. Bu gelişmelerin doğal sonucu olarak aynı bölgede sertlikte yüksektir [13].

Kaynak metalinden ölçülen sertlik değerleri incelendiğinde en yüksek sertliğin 6 m su altında yapılmış kaynakta olduğu ve derinlik azaldıkça sertlik değerinin de azaldığı belirlenmiştir. Atmosferik ve su altında birleştirilmiş kaynaklı numunelerin kaynak metali pasoları farklı bir açıdan değerlendirildiğinde, pasoların soğuma hızlarının farklı olması sıvı kaynak metali miktarını değiştirmekte, dolayısıyla sıvı kaynak metali miktarının değişmesi de sertlikte farklılığa sebep olmaktadır. Litera-

türde [12] sıvı kaynak metal miktarı arttıkça, kaynak bölgesinin soğuma hızının azaldığı, bu sebeple de sertlikte bir düşmenin olduğu rapor edilmiştir.

3.3. Çekme testi (Tensile Test)

Deneyel çalışmalarda kullanılan Grade A gemi sacı için yapılan çekme deneyleri sonuçlarına göre literatürde de belirtildiği gibi Grade A gemi sacı ortalama yaklaşık olarak üretici firmanın sunduğu değere yakın olan 445,16 N/mm² gerilim değeri sunmuştur. Ayrıca atmosferik şartlarda ve farklı derinliklerde birleştirilen kaynaklı numunelerin çekme deneyi sonuçları Çizelge 4'te ve çekme grafikleri ise Şekil 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Çekme deneyi sonuçları (Tensile test results)

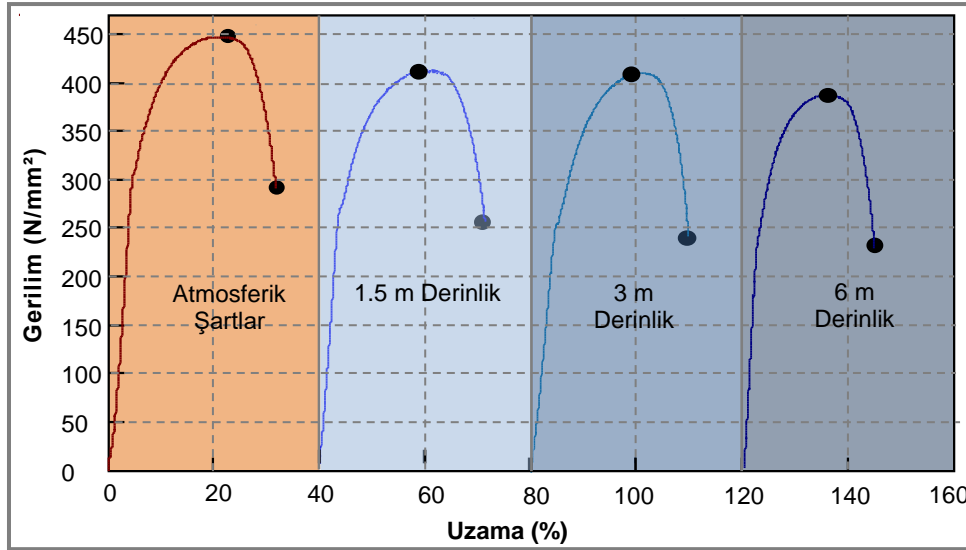
	Çekme Sonuçları (N/mm ²)	Ortalama Sonuçlar (N/mm ²)	Uzama Miktarı (%)
Ana malzeme	440,16	445,16	26
	446,38		
	448,94		
Atmosferik şartlar	447,21	446,12	23
	445,36		
	445,79		
1.5 m Derinlik	414,53	410,23	18
	409,12		
	413,12		
3 m Derinlik	407,41	405,53	18
	404,68		
	406,56		
6 m Derinlik	399,28	396,74	17
	394,36		
	396,91		

Şekil 4'te verilen gerilme-% uzama diyagramları incelendiğinde en yüksek çekme dayanımının atmosferik şartlarda yapılan birleştirmede olduğu, su altında yapılan tüm birleştirmelerde dayanımın atmosferik şartlara göre daha düşük olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca su altında gerçekleştirilen kaynaklı numunelerde derinlik arttıkça çok az da olsa dayanımda bir düşmenin olduğu açıkça görülmektedir. Grafik uzama açısından değerlendirildiğinde de dayanım sonuçlarına benzer sonuçların olduğu görülmektedir. Bir başka ifade ile atmosferik şartlarda en yüksek uzama değerleri elde edilirken, sualtı kaynaklarında derinliğin artmasına bağlı olarak uzamanın bir miktar azaldığı tespit edilmiştir.

Grafikteki değerler sayısal ifade ile değerlendirilecek olursa atmosferik şartlarda yapılan birleştirme için hazırlanan numunelerin sonuçlarının ortalaması 446,12 N/mm² bulunmuştur. Çekme sonuçları itibarıyla atmosferik şartlarda birleştirilen numune, orijinal malzemeye benzer değerler sunmuştur. Buna nazaran su altında yapılan farklı derinliklere sahip numunelerden alınan sonuçlarda ise; 1.5 m derinlik için 410,23 N/mm², 3 m

derinlik için 405,53 N/mm² ve 6 m derinlik için 396,74 N/mm² çekme değerleri elde edilmiştir.

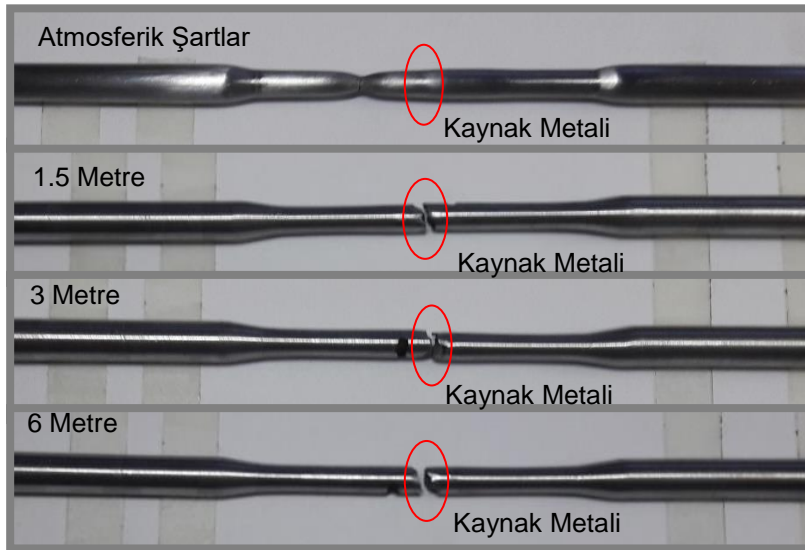
metali ve ITAB'ın sertliğinin artmasına neden olduğundan sualtı kaynaklarının % uzama değerlerinde bir azalma belirlenmiştir. Literatürde [23] demir karbon alaşımlarının, yani çeliklerin kimyasal bileşimine karbon



Şekil 4. Kaynaklı numunelerin çekme test sonuçları grafiği (Tensile test results chart of welded samples)

Su altında birleştirilen numunelerde kaynak metalinin katılaşması esnasında hızlı soğumadan kaynaklı olarak

ve diğer alaşım elementlerinin ilave edilmesi, perlit ve beynit bölgelerine ait burun bölgeleri ile diğer



Şekil 5. Çekme deneyi sonucu numunelerin kopma bölgeleri (Rupture zones of the result of the tensile test specimen).

curuf yapıcı elementlerin kaynak metalinde kalıntı oluşturduğu, kaynaklı numunelerden çekme numunesi hazırlama aşamasında görülmüştü. Bu nedenle su altında birleştirilen numunelerin çekme deneyi sonucunda kopmanın kaynak metalinden gerçekleşmesi kaynak metalindeki curuf kalıntılarının kaynaklanmaktadır. Şekil 5'de atmosferik şartlarda ve sualtında birleştirilen numunenin kopma noktaları verilmiştir.

Kaynak esnasında elde edilen yüksek sıcaklık ve suyla temastan kaynaklanan ani soğumanın etkisi, kaynak

kısımlarının sağa doğru kaymasına neden olduğu belirtilmiştir. Hızlı soğumanın da etkisiyle ana malzemeye göre % uzama sonuçlarında yaklaşık % 30 bir düşüş gözlenmiştir. Literatürde [6] su altında birleştirilen malzemelerin, atmosferik şartlarda birleştirilen malzemelere göre düşük verimli dayanım özellikleri sergiledikleri açıkça belirtilmiştir.

Hiperbarik ortamda gerçekleştirdikleri ıslak kaynak uygulaması sonrası yaptıkları deneylerin sonucunda Ibarra vd. [20], sualtı kaynağının açık alanda yapılan kaynaklara göre düşük mekanik özellikler gösterdiğini,

yani kaynak banyosundaki önemli alaşım elementlerinin oksijen, hidrojen ve karbon ile reaksiyona girmesinden dolayı oluştuğunu numuneleri birbirine kıyas ederek açıklamışlardır.

3.4. Makroyapı/Mikroyapı İncelemeleri

(Macrostructure/Microstructure Investigations)

Makroyapı/mikroyapı çalışmaları atmosferik şartlarda ve su altında farklı derinliklerde birleştirilmiş kaynaklı malzemelerin kaynak bölgesinde (kaynak metali ve ITAB) meydana gelen farklılıkları birbirleriyle kıyaslayarak inceleyebilmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca deneysel çalışmada kullanılan Grade A gemi sacı yapısı, kaynaklı malzemelerin yapısı ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmek için mikroyapı çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Şekil 6'da bu çalışmada kullanılan Grade A gemi sacı malzemesinin orijinal mikroyapı görüntüsü verilmiştir.



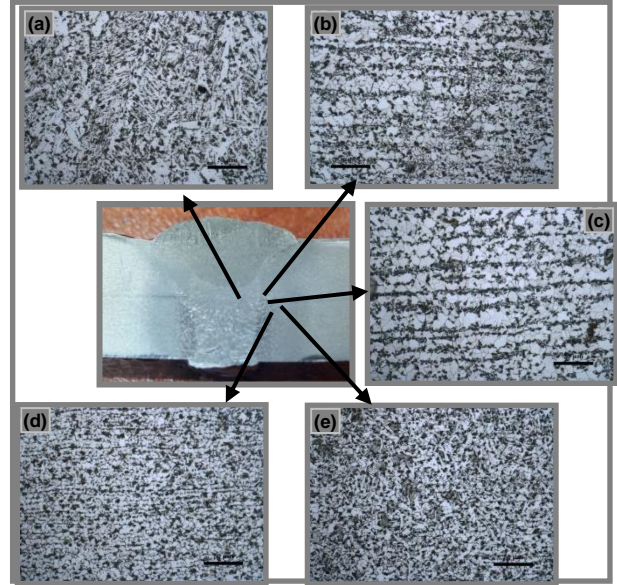
Şekil 6. Grade A gemi sacı mikroyapı görüntüsü (Microstructure image of Grade A ship steel)

Şekil 6 incelendiğinde, yapının genel itibarıyla eş aksel ferrit ve perlitin oluştuğu, burada yapının büyük bir kısmının ferrit olduğu ve çok az miktarda perlitin varlığı (koyu renkli) göze çarpmaktadır. Ayrıca yapıda, hadde yönünde uzama gösteren oksit ve sülfür kalıntılarında oluştuğu düşünülen bantlaşmalar görülmektedir. Literatürde [2], Grade A malzemenin mikroyapısının ferrit ve perlit tanelerinden oluşan bir yapıya sahip olduğu bildirilmiştir.

Kaynak bölgesi; ısının tesiri altında kalan bölge (ITAB) ile kaynak metalinden meydana gelmektedir. Kaynağın sıvı fazdan oda sıcaklığına soğumasıyla elde edilen mikroyapı kaynak metali olarak adlandırılmaktadır. Düşük alaşımlı ve düşük karbonlu çeliklerin kaynak metalinde oluşan yapılar; tane sınırı ferrit, widmanstätten ferrit, asiküler ferrit ve mikro fazlardır (az miktarda martenzit, kalıntı östenit). Widmanstätten ferrit bazen martenzit, östenit ve karbür fazları ile dengelenmiş ferrit olarak ifade edilmektedir. Termodinamik ve kinetik karakteristikleri farklı olmasına rağmen beynit de kaynak metalinde bazen oluşabilir [8,12].

Şekil 7'de atmosferik şartlarda birleştirilen numunenin kaynak bölgesine ait (kaynak metali ve ITAB) optik mikroyapı fotoğrafları verilmiştir. Şekil 7'de verilen mikroyapı görsellerinde; a) kaynak metalini, b) kaynak metali ile iri taneli yapı arası geçişi, c) iri taneli yapıyı, d)

iri taneli yapı ile ince taneli yapı arası geçişi, e) ince taneli yapının görselini ifade etmektedir.



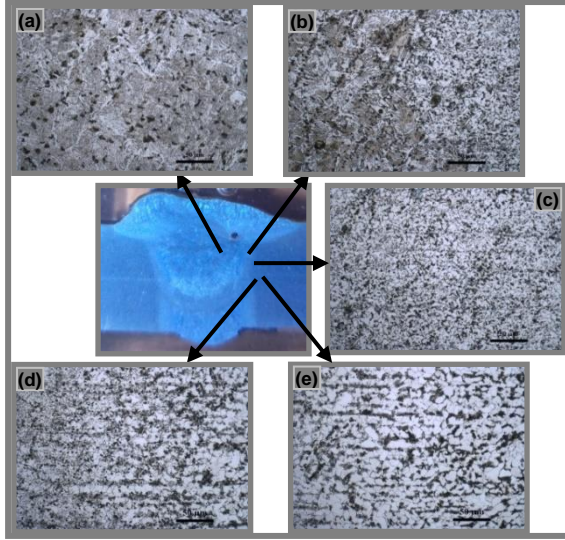
Şekil 7. Atmosferik şartlarda birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüsü (Microstructure image of the sample joined at atmospheric conditions)

Şekil 7'de merkezde makro resmi verilen görüntü incelendiğinde, kaynak metalinin her iki malzemeyi de merkezleyecek biçimde oluştuğu, kök ve kep pasoların, ara pasolara göre daha hızlı soğuduğundan farklı bir görünüm sergiledikleri görülmektedir. Ayrıca ara pasolarda yüksek sıcaklıklarda gerçekleşen ısı etkileşimi nedeniyle kaynak metalindeki yönelmenin kaybolduğu, tanelerin küçüldüğü ifade edilebilir.

Kaynak bölgesinde; kaynak esnasında çeliğin kaynak metalinde katılaşması sırasında östenit sıcaklığının altına düşürüldüğünde kolon tipi östenit ile tane sınırlarında ilk olarak tane sınırı ferritlerin (allotriomorfik ferrit) oluştuğu bilinmektedir. Çünkü tane sınırı ferriti, A3 sıcaklığının hemen altında oluşan bir fazdır. Ferrit, östenit tane sınırlarında widmanstätten kenar levhaları veya ferrit tane levhalarının çekirdeklendiği ve büyüdüğü kabul edilmektedir. Fotoğraflar incelendiğinde kaynak metali merkezine yönelmiş, klasik kaynak metalindeki dentritik yapının hakim olduğu belirgin bir şekilde görülmektedir.

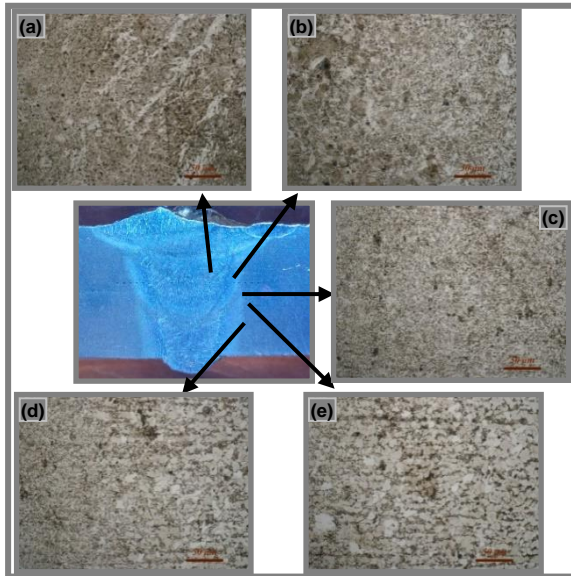
Kaynak uygulaması çok pasolu olarak gerçekleştirildiği için sonraki kaynak pasosunun öncekine ısı girdisi uyguladığı bir gerçektir. Shitong vd. [24] kaynak metalinde sütun şekilli çekirdek alanı ve çok pasolu kaynak uygulamasındaki gibi eş aksel çekirdek alanı (daha sonraki kaynak kordonu ile ısı işlem deneyimli) oluştuğunu belirtmişlerdir.

Şekil 8-10 arasında su altında farklı derinliklerde birleştirilen kaynaklı numunelerin makro ve mikroyapıları verilmiştir.



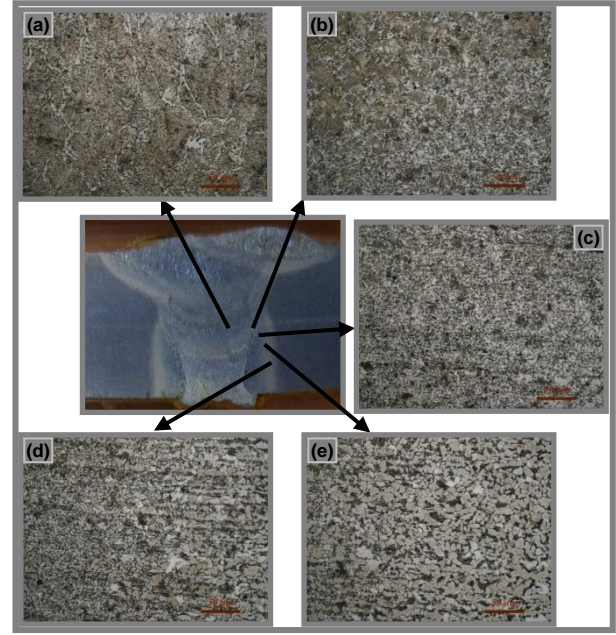
Şekil 8. 1,5 metre derinlikte birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüsü (Microstructure image of sample joined at 1,5 meters depth).

Şekil 8’de ortada bulunan makroyapı resmi incelendiğinde, altı kaynak pasosuyla yapılan birleştirme işlemi esnasında, arkın birleştirilen her iki malzemeye de aynı oranda etki ettiği görülmektedir. Buradan kaynak esnasında değişken olan elektrod-iş parçası arasındaki mesafe ve elektrod açısı gibi parametrelerin doğru seçildiğinin göstergesi olarak değerlendirilebilir. Kök pasonun, atmosferik şartlarda birleştirilen numuneye kıyasla, kapak pasodan farklı görünümüne sahip olduğu ancak, parçanın ortasında bulunan dolgu pasolarının ani soğumadan kaynaklı olarak, bir üst pasonun ısısından yeterince etkilenemediği ve kapak pasoyu oluşturan pasolara benzer görsel sergilediği anlaşılmaktadır. Ayrıca kaynak metalinde bölgesel curuf kalıntılarının olduğu da göze çarpmaktadır.



Şekil 9. 3 metre derinlikte birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüsü (Microstructure image of sample joined at 3 meters depth).

Şekil 9’da verilen makroyapı görseli incelendiğinde kaynak metalinin altı pasodan oluştuğu ve kaynak esnasında meydana gelen ergimenin her iki malzemeye de aynı oranda kapsadığı görülmektedir. Sıvı ergiyik metalin suyla temasındaki ani soğumadan kaynaklanan, kaynak metalini oluşturan kep, kök ve dolgu pasolarının uygulanmasında üst pasonun alt pasoya ısı geçişinin düşük miktarlarda gerçekleştiği, kaynak metalini oluşturan pasoların (kep, kök ve dolgu pasoları) benzer görsellik sergilemelerinden anlaşılmaktadır.



Şekil 10. 6 metre derinlikte birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüsü (Microstructure image of sample joined at 6 meters depth).

Şekil 10’da merkezde verilen makroyapı görselinde kaynak metalinin yedi pasodan oluştuğu görülmektedir. Burada diğer iki derinlikte birleştirilen numunelerden farkı, son kapak pasonun yetersiz oluşu nedeniyle küçük kesitli bir tamamlayıcı pasonun ilave edilmesidir. Bu birleştirmede kaynak metalini, kep, kök ve dolgu pasolarının uygulanışı esnasında suyla temas halinde olduğu için, hızlı soğumanın etkisiyle atmosferik şartlara göre alt pasoya bir üst pasonun oldukça düşük ısı etkide bulunduğu, katılma formundan anlaşılmaktadır.

Kaynak bölgesinde; çeliğin kaynak metalinin katılması sürecinde östenit sıcaklığının altına düşürüldüğünde, C atomlarının tane sınırında karbür kalıntılarının oluşmasına neden olduğu bilinmektedir. Literatürde [23] demir karbon alaşımlarının, yani çeliklerin kimyasal bileşimine karbon ve diğer alaşım elementlerinin ilave edilmesi, hızlı soğuma esnasında perlit ve beyrit bölgelerine ait burun bölgeleri ile diğer kısımlarının sağa doğru kaymasına neden olduğu belirtilmektedir. Daha çok bu nedenle, sualtı farklı derinliklerde yapılan çalışmada kaynak işlemi suyla temas halinde gerçekleştiği için tane sınırlarında yoğunlukla karbür kalıntıları içermektedir. Çünkü kaynak metalini oluşturan sıvı ergiyik, suyla temas halinde bulunduğu ani soğumaya maruz kalmış ve bu nedenle yapısal olarak

karbon atomları katılaşmada yer bulamayıp tane sınırlarında kalıntı haline dönüşmüştür.

Su altında gerçekleştirilen birleştirmelerde derinlik farkı arttıkça makro ve mikro boyutta gözeneklilik ve curuf kalıntılarında artma olduğu anlaşılmaktadır. Porozite ise mekaniksel özelliklerin düşmesine neden olan başka bir faktördür. Islak kaynak olarak tanımlanan basınçlı kap içerisinde gerçekleştirilen Grade A gemi sacıyla yapılmış bir çalışmada Liu vd. [25] kaynak metalindeki porozitenin çelikler için; yüksek soğuma hızına bağlı olarak martenzit oluşumunda artışa etki ettiğini belirtmişlerdir.

Hiperbarik (yüksek basınçlı) bir ortamda ıslak kaynak uygulaması ile derinliğin farklı değerlerinde oluşan porozite ve gözeneklilik artışını hesaplamayı amaçlayan bir çalışmada Pessoa vd. [22] yüksek soğutma hızı, düşük genel süneklilik gibi düşük tokluk ve yüksek gözeneklilik olan martenzitin oluşumunu desteklediğini ifade etmişlerdir. Islak kaynaklar, düşük süneklilikte çatlak oluşması gibi numuneler tarafından desteklenen maksimum yüke sahip olduğu gerçeği kabul edilebilir ki, kaynak bölgesinin başından sonuna kadar porozite oluşumunda artış olduğunu gözlemlemiştir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Grade A gemi sacının rutil örtü tipli E 6013 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, belirgin yüzey hatalarına (eksik veya fazla kaynak kepi, kökte çökme vb.) rastlanılmamıştır. Kısmen yanma olukları oluştuğu, ancak oluşan hatalarına kabul sınırları çerçevesinde olduğu tespit edilmiştir.
- Çekme testlerinden elde edilen sonuçlara göre atmosferik şartlarda birleştirilen numunenin su altında birleştirilenlere oranla daha yüksek mukavemet ve uzamaya sahip olduğu görülmüştür. Su altında birleştirilen numunelerin derinlik arttıkça her iki değerinde de bir azalma gösterdikleri tespit edilmiştir.
- Makroyapı incelemelerinde atmosferik şartlarda birleştirilen numunelerde kep ve kök pasonun hızlı soğuması nedeniyle oluşan tanelerin iri ve sütunsal olduğu, ancak ara pasoların ısıdan etkilenecek sütunsal yönlenmeyi kaybettiği görülmüştür. Sualtı farklı derinliklerde birleştirilen numunelerin makroyapı görsellerinde ise kep, kök ve dolgu pasolarının yapısal olarak büyük kısımlarının birbirine benzer formda olduğu, dolgu pasolarının ise kısmen ısı etkileşiminde buldukları gözlemlenmiştir.
- Mikroyapı incelemelerinde sualtı farklı derinliklerde birleştirilen numunelerde kalıntı, porozite ve boşluk gibi istenmeyen faktörlerin derinlik farkı arttıkça kısmen artış gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca sualtı

farklı derinliklerde birleştirilen numunelerin, kaynak işlemi esnasında hızlı soğumadan kaynaklı perlit burnunun sağa kayması, bu nedenle oluşan yapının düşük mekanik özellikleri sergilemesini ve mikro incelemelerde görülen karbür kalıntılarının nedenini açıklamaktadır.

- Tahribatlı muayene testlerinden alınan sonuçlara göre sualtı ark kaynak yöntemiyle birleştirilen numunelerin atmosferik şartlarda birleştirilen numuneye göre çekme dayanımında yaklaşık % 12, uzamada ise yaklaşık % 30 düşük değer sunduğu tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışmayı KBÜ-BAP-14/2-YL-031 numaralı proje ile destekleyen, KBÜ Rektörlüğüne ve BAP komisyonuna teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] 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).
- [2] 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).
- [3] Özalp T., "Gemi elemanları", *Matbaa Teknisyenleri Basımevi*, İstanbul, (1964).
- [4] Ay T., Öz Saraç U., Aslanlar S., "Gemi saclarına uygulanan kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerinin incelenmesi", *Sakarya Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi*, Kocaeli, 19-29, (2003).
- [5] 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).
- [6] Kahraman N., Gülenç B., "Modern kaynak teknolojisi", *Epa-Mat Basım Yayın Ltd. Şti.*, Ankara, (2016).
- [7] Anık S., Tülbentçi K., Kulaç E., "Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı", *Gedik Holding Yayını*, İstanbul, (1991).
- [8] Eryürek B. İ., "Kaynak teknolojisi" *FSF Matbaacılık*, Kocaeli, (2008).
- [9] Ünlü B. S., Sargın F., Çivi C., "Elektrik ark kaynağı ile farklı akımlarda birleştirilmiş TS-Fe 37 çeliğinin kaynak bölgesinin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi" *III. Ulusal Kaynak Sempozyumu Bildiri Kitabı*, Manisa, 1082-1091 (2014).
- [10] Gour L. M., "Fundamentals of welding technology" Çeviri: Dikicioğlu A., Bodur O., Eryürek B., "Kaynak teknolojisinin esasları" *Birsan Yayınevi*, İstanbul, (1996).
- [11] Gültekin N., "Kaynak tekniği" *Engin Ofset*, İstanbul, (1991).
- [12] Yüklükler A. İ., "Kaynak metali", *MÜTEF Matbaası*, İstanbul, (1994).

- [13] Özden N., “Kaynağın ısıtılması” *Nurettin Uycan Cilt ve Basım Sanayii A.S.*, İstanbul, (1985).
- [14] Oğuz B., “Ark kaynağı”, *Oerlikon Yayını*, İstanbul, (1989).
- [15] Underwater Cutting & Welding Manual, Published By Direction Of Commander, *Naval Sea Systems Command*, Chapter 3/1-25, Chapter 4/1-20 (2002).
- [16] Anık S., Tülbentçi K., “Elektrik ark kaynağı”, *Gedik Holding Yayını*, İstanbul, (1986).
- [17] Oğuz B., Karbonlu ve alaşımlı çeliklerin kaynağı, , *Oerlikon Yayını*, (1985).
- [18] Kalyoncu R., “Su Altı Kaynak-Kesme yöntemleri ve parametrelerinin incelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (1997).
- [19] Kasapoğlu H., “Su altı kaynak tekniğinin incelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, (1988).
- [20] Ibarra S., Grups C. E., Liu S., State-of-the-art and practice of underwater wet welding of steel, *International Workshop on Under-water Welding of Marine Structures*, New Orleans, Louisiana, 49-67, (1994).
- [21] Christensen N., “The Metallurgy of MMA Hyperbaric Welding”, *SINTEF Report No. STF34 F83032*, Trondheim (1983).
- [22] Pessoa E. C. P., Bracarense A. Q., Zica E. M., Liu S., Guerrero F. P., “Porosity variation along multipass underwater wet welds and its influence on mechanical properties” *Journal of Materials Processing Technology*, 179: 239-243, (2006).
- [23] Callister W. D., Rethwish D. G., “Materials Science and Engineering”, Çeviri: Genel K., Malzeme bilimi ve mühendisliği, *Nobel Akademik Yayıncılık*, Ankara, (2015).
- [24] Shitong W., Shanping L., “Effects of multiple normalizing processes on the microstructure and mechanical properties of low carbon steel weld metal with and without Nb”, *Materials and Design*, 35: 43-54, (2012).
- [25] Liu S., Pope, A. M., Daemen R., “Welding consumables and weldability”, *International Workshop on Underwater Welding of Marine Structures*, Louisiana, USA, 321-350, (1994).