

## GAZALTI VE TOZALTI KAYNAK YÖNTEMLERİYLE BİRLEŞTİRİLMİŞ GEMİ SACININ MEKANİK ÖZELLİKLERİ

**Sare ÇELİK<sup>1</sup>, Recep ÇAKIR<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>[scelik@balikesir.edu.tr](mailto:scelik@balikesir.edu.tr) Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Çağış, 10100 Balıkesir

<sup>2</sup>[recepacakir@balikesir.edu.tr](mailto:recepacakir@balikesir.edu.tr) Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Çağış, 10100 Balıkesir

### ÖZET

Bu çalışmada, 12 mm kalınlıkta gemi gövdesi yapımında kullanılan çelik sac (DH36) levhalar tozaltı ve gazaltı kaynak yöntemleri ile birleştirilmiş ve kaynaklı malzemelerin çekme, eğme, çentik darbe, mikrosertlik deneyleri ve radyografik kontrolü yapılmıştır. Çekme testleri sonucunda tüm numunelerde kopmalar birleştirmenin Isı Tesiri Altındaki Bölge (ITAB)'de gerçekleşmiştir. Tozaltı kaynağı ile birleştirilmiş numunelerde, çekme dayanımı ve tokluk değerleri gazaltı kaynağına göre daha yüksek ve tozaltı kaynağı ile birleştirilen numunelerin mekanik özellikleri ana malzemeye daha yakın elde edilmiştir. Radyografik incelemelerinde mikro çatlakların ve kaynak hatalarının olmadığı görülmüştür. Tozaltı ve gazaltı kaynak yöntemleri karşılaştırıldığında, tozaltı kaynak yönteminin gemi sacı kaynak bağlantısında daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Gazaltı kaynağı, tozaltı kaynağı, yapı çelikleri, gemi sacı, mekanik özellikler

### ABSTRACT

In this study, 12 mm thick steel sheet used in the construction of ship hull (DH36) plates welded with submerged arc and gas metal arc welding methods. The specimens were investigated to tensile, bend, impact, micro hardness tests and radiography. The result of tensile test indicated that all test specimens fracture occurred at the heat affected zone (HAZ). The tensile strength and the ductile of submerged arc welded joints were higher than the gas metal arc welded samples. The mechanical properties of the submerged arc welding specimen were obtained close to the base material. Radiography studies of micro cracks and welding defects were not detected. The result shows that submerged arc welding was good than gas metal arc welding.

**Keywords:** Mag arc welding, Submerged arc welding, Structural steel, Ship steel sheets, Mechanical properties.

## 1. GİRİŞ

Yapı çelikleri, 1980 ve 1990'lı yıllarda çelik yapıların kompozit kiriş ve döşemelerinin imalatında etkili bir şekilde kullanımı, Batı Avrupa ülkelerinde ve özellikle İngiltere'de çok kullanılan bir malzeme haline gelmiştir. Ülkemizde henüz yeterli derecede kullanılmayan yapı çelikleri özellikle 1999 Marmara depremi sonrasında inşaat sektöründe adından sıkça söz edilen bir yapı malzemesi olmuştur. Çelik, demir ingotlarından ısıtılarak işlemler uygulanarak saflaştırma ve şekillendirme işlemleriyle elde edilmektedir. Ana unsurları büyük ölçüde demir ve kontrollü miktarda karbondur.

Üretimde metal bazlı olmayan kükürt ve fosfor gibi maddelerin miktarının en azda tutulması önemlidir [1].

Yapı çeliği; endüstriyel binalarda, köprü ve demiryollarında, geçici ve kalıcı zemin altyapı projelerinde, denizde yapılan dalgakıranlarda, gemi yapımında, şehirlerarası elektrik kabloları taşıyan direklerde, petrol ve gaz offshore platformlarda, çok amaçlı sosyal tesisler, ticari yapılar, binaya yük bindirmeyen çatı katları gibi alanlarında kullanılmaktadır [2].

Gemiler, çok çeşitli ve karmaşık yapıya sahip deniz yüklerine maruz kalırlar. Bu yükler altında hareket eden bir gemide, hem enine hem de boyuna gerilme ve sekil değiştirmeler meydana gelir. Bu gerilme ve sekil değiştirmeleri karşılayabilmesi, geminin dayanıklılığı açısından önemlidir. Bu yüzden, gemi inşasında kullanılan yapı malzemelerinden istenen özellikler, gemi üzerine gelecek çekme, basma ve kesme gerilmelerini karşılayabilme özelliği, sertliği, sünekliliği, kırılabilirliği, yorulmaya dayanımı, yoğunluğu ile yanma mukavemeti vb. özelliklerdir.

Gemilerde kullanılan yapı çeliklerinin kaynağa uygunluğunda dikkate alınması gereken en önemli husus çelikteki karbon miktarıdır. Çelikteki karbon miktarı % 0,2'nin üzerine çıktığında, ön tavlama ve kaynaktan sonra son tavlama gibi önlemlerin alınması gerekmektedir [3].

Gemi yapımında diğer endüstriyel sektörlerden farklı olarak daha kalın levhali yapılar kullanılmaktadır. Farklı yapılara sahip konstrüksiyonlar farklı malzemeler ve kaynak yöntemleri gerektirmektedir [4]. Şekil 1'de görüldüğü gibi gemi inşasında kaynaklı imalat üretimin hemen hemen tamamını oluşturmaktadır. Günümüzde teknolojinin gelişmesine paralel robot teknolojisi, lazer kaynağı ve çeşitli hibrid kaynak yöntemleri başarı ile gemi imalat sektöründe kullanılmakta ve bu kaynak yöntemlerinin avantajlı yönleri birleştirmelerde değerlendirilmektedir. Gemilerin imalatında kalitenin artırılması ve istenen servis özelliklerinin sağlanabilmesi için bazı hususların dikkate alınması gerekmektedir. Bunlar: Gemi inşa çeliklerinin yapısı ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, uygun kaynak yöntemi ve dolgu metalinin seçimi, kaynak esnasında yüksek ısı sonucunda oluşan deformasyonların nedenleri ve çareleri, kaynak planları ve kaynak parametrelerinin seçimidir. Üretimde uygun kaynak yöntemi seçimine ve kaynak kalitesinin kontrolüne dikkat edilmeli, yapılacak kaynak uzunlukları ve sırası önceden tespit edilmelidir. Nüfuziyet durumu, kaynak pozisyonu, elektrot verimi, ergime gücü, malzeme özellikleri uygun kaynak yöntemi seçilmeli ve uygulanmalıdır [5, 6]. Gemi yapımında ilk olarak kullanılan örtülü elektrotla ark kaynağı; kolay uygulanma şekli, kullanımı kolay makinelerle olması sebebi ile yaygın olarak kullanılmaktadır [1, 7]. Elektrod örtüsü de aynı anda yanarak erir. Bu esnada açığa çıkan gaz ark bölgesini korur ve oluşan cürufta kaynak dikişini örterek kaynak bölgesinin korunmasını sağlar [8]. Örtülü elektrotlar ile ark kaynağı ilk kaynak yöntemi olması nedeniyle gemi üretiminde kullanılmasının yanında, zamanla bu kaynak yöntemin dezavantajları nedeniyle yarı-otomatik bir yöntem olan gazaltı kaynak yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır[1]. Gazaltı kaynak yönteminin avantajları arasında; elektrot değişimleri için harcanan zamanın ortadan kaldırılması, kaynak başlangıç ve bitişinde sıkça karşılan gözenek, krater çatlağı hatalarının önüne geçilmesi, yarı-otomatik olan bu yöntemin kaynakçılar tarafından uygulamasının kolay olması, derin nüfuziyet elde edilmesidir [9]. Otomatik taşıyıcı sistemlere ve kaynak robotlarına adaptasyonun mümkün olması nedeniyle gazaltı kaynak yöntemleri tersanelerde en çok kullanılan yöntemlerden biri olmuştur [5, 6, 10, 11]. Tozaltı kaynak yöntemi yüksek amperle akım yapılması nedeniyle yüksek nüfuziyet elde edilmesini sağlamıştır [1]. Toz altı kaynak yönetiminde ark, otomatik olarak kaynak yerine sürülen çıplak elektrot ile iş parçası arasında meydana gelir ve ayrı bir kanaldan kaynak yerine dökülen toz yığının altında işlevine devam eder [12].Dikiş yüzeyi diğer kaynak usullerine göre çok iyidir [1].

Bu çalışmada, tozaltı ve gazaltı kaynak yöntemleri ile gemi yapı yapımında kullanılan DH36 çeliği birleştirilerek mekanik özellikleri belirlenmiş ve iki kaynak yöntemi karşılaştırılmıştır.



Şekil 1. Gemi tabanı sacları kaynaklı imalat uygulamaları

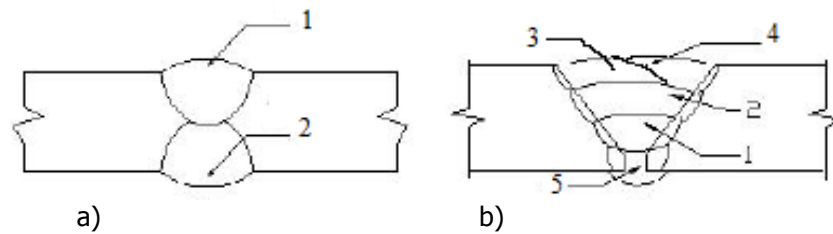
## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneyisel çalışmada, ABS-P2-10 standardında, DH36 kalitesinde, Erdemir firmasının 4736 kalite nolu 12 mm kalınlığında yapı çeliği levhalar kullanılmıştır. Kullanılan malzeme gemi yapımına uygun yüksek mukavemetli çelik grubuna girmektedir. Kullanılan yapı çeliğinin kimyasal bileşim (% ağırlık olarak) değerleri Tablo 1’ de verilmiştir.

Tablo 1. Ana malzemenin kimyasal bileşimi (% Ağırlık) [13]

ALAŞIMLAR	C	Mn	P	S	Al	Cu	Nb	Cr	V	Mo	Ni	Ti	
KALİTE NO	max	min	Max	max	max	min	min	max	max	max	max	max	
4736 Standart	0,18	0,9	1,6	0,04	0,04	0,02	0,35	0,05	0,2	0,1	0,08	0,4	0,02

Birleştirme işlemlerinde, tozaltı kaynağında LAE 1000 tipi ESAB kaynak makinesi kullanılarak kaynak ağızı açılmadan 2 pasoda, gazaltı kaynağında 405 MAG tipi ESAB kaynak makinesi kullanılarak 60° lik V kaynak ağızı açılmış numunelere 5 pasoda kaynak uygulanmıştır (Şekil 2). Deneylerde kullanılan kaynak parametreleri Tablo 2-3-4’de verilmiştir.



Şekil 2. a) Tozaltı b) Gazaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen malzemede kaynak işlem sırası

Tablo 2. Tozaltı kaynak parametreleri

Tozaltı kaynak parametreleri		
Kaynak paso sayısı	1	2
Kaynak cinsi	SAW	SAW
Kaynak kodu	16 ( PA )	16 ( PA )
Kanak metali (wire)	W	W
Kaynak metali sınıfı	BV	BV
Kaynak metali adı	AWS A5,17	AWS A5,17
Kaynak metali çapı	Ø 3,2	Ø 3,2
Kaynak koruyucu (flux)	F	F
Kaynak koruyucu sınıfı	BV	BV
Kaynak koruyucu ürün adı	Lincoln	Lincoln
Kullanılan akım cinsi	DC	DC
Kaynak metali bağlanan uç	+	+
Kullanılan akım (a)	512	675
Kullanılan voltaj (v)	33	34,5
Kaynak hızı	10,4	10,6
Sıcak giriş (j/cm) (vxax60)/s	28964	39921
Kaynak makinası	E SAB	E SAB
Kaynak makinası tipi	LAE 1000	LAE 1000

Tablo 3. Gazaltı kaynak parametreleri

Gazaltı kaynak parametreleri					
Kaynak paso sayısı	1	2	3	4	5
Kaynak cinsi	MAG	MAG	MAG	MAG	MAG
Kaynak kodu	3G (PF )	3G (PF )	3G (PF )	3G (PF )	3G (PF )
Kanak metali (wire)	W	W	W	W	W
Kaynak metali sınıfı	BV	BV	BV	BV	BV
Kaynak metali adı	SWFC 71	SWFC 71	SWFC 71	SWFC 71	SWFC 71
Kaynak metali çapı	Ø 1,2	Ø 1,2	Ø 1,2	Ø 1,2	Ø 1,2
Kaynak koruyucu (gas)	G	G	G	G	G
Koruyucu gaz oranı	%100 CO2	%100 CO2	%100 CO2	%100 CO2	%100 CO2
Koruyucu harcama	15 ml/sn	15 ml/sn	15 ml/sn	15 ml/sn	15 ml/sn
Kullanılan akım cinsi	DC	DC	DC	DC	DC
Kaynak metali dc uçu	+	+	+	+	+
Kullanılan akım (a)	188	188	188	188	188
Kullanılan voltaj (v)	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5
Kaynak hızı	5,38 dk	4,58 dk	3,40 dk	3,40 dk	4,50 dk
Kaynak metali harcama	6 mm/sn	8 mm/sn	8 mm/sn	8 mm/sn	8 mm/sn
Kaynak makinası	ESAB	ESAB	ESAB	ESAB	ESAB
Kaynak makinası tipi	405 MAG	405 MAG	405 MAG	405 MAG	405 MAG

Tablo 4. Tozaltı ve gazaltı kaynak parametrelerinin karşılaştırılması

Kaynak Parametreleri	Akım(A)		Voltaj(V)		Tel Çapı mm	Kaynak Hızı m/dk	Kaynak Ağız Açısı
	DC	DC	DC	DC			
Kaynak türü							
Tozaltı Kaynak Parametreleri	512	675	33	34.5	3.2	10.5	—
Gazaltı Kaynak Parametreleri	188	188	24.5	24.5	1.2	4.25	60

Tozaltı kaynağında BW AWS A5,17 veya TS 5387 EN756 kod numaralı ek kaynak metali (elektrod) kullanılmıştır. Çekme dayanımı 500 MPa 'a kadar olan alaşımsız yapı çeliklerinin, ince taneli karbon-manganez çeliklerin ve gemi levhalarının tozaltı kaynak yönteminde kullanılmaktadır. Tozaltı kaynağında kullanılan elektrodun kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri Tablo 5'de, kaynak tozunun kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri ise Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 5. İlave kaynak metalinin kimyasal bileşimi(ağırlıkça %) ve mekanik özellikleri

Elektrod	C	Si	S	Mn	Cr	Çekme Dayanımı(MPa)	Akma Dayanımı(MPa)	% Uzama
BW AWS A5,17/ TS 5387 EN756	0,10	0,07	<0,025	< 0,025	<0,30	440 – 490	370 – 400	34

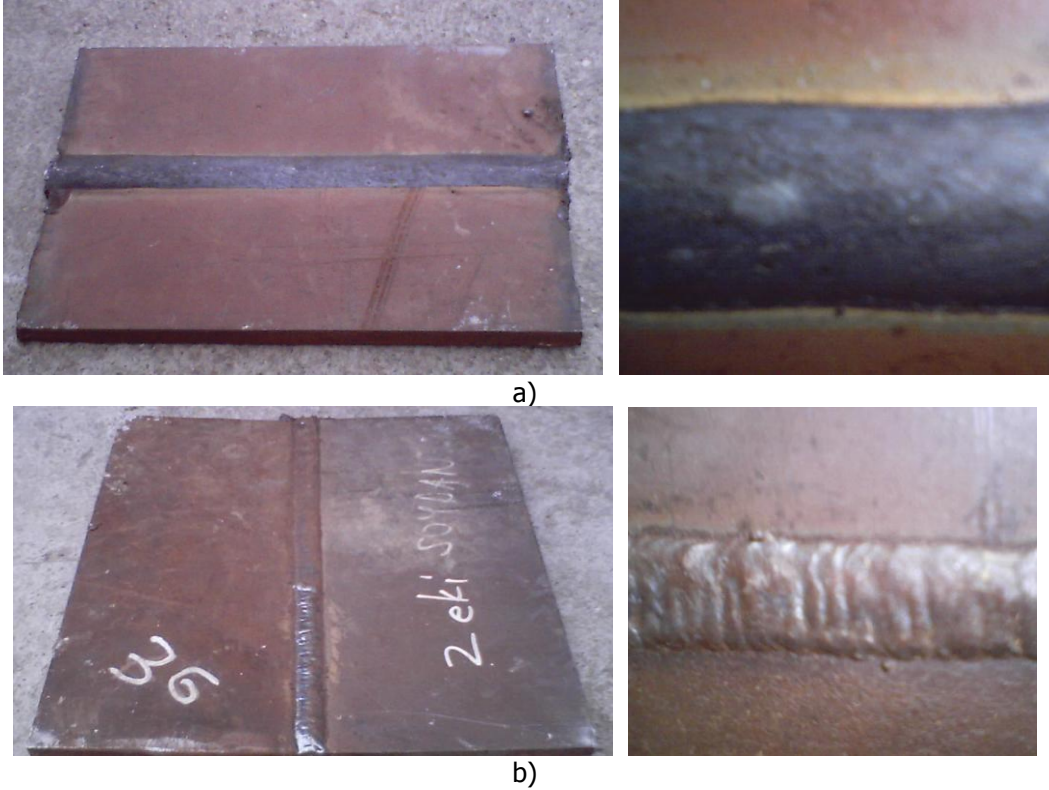
Tablo 6. Kaynak tozunun kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri

	% C	% Si	% Mn	Çekme Dayanımı(MPa)	Akma Dayanımı(MPa)	% Uzama
Kaynak tozu	0,08	0,3	1,2	520	400	30

Gazaltı kaynağında (GMAW) kullanılan kaynak elektrodu (Starweld SW FC-71) olup karbonlu çeliklerin, düşük alaşımlı çeliklerin, karbon+mangan çeliklerinin ve benzeri türdeki çeliklerin (ince taneli yapıya sahip olanlar da dahil) karbondioksit koruması altında tam otomatik ve yarı otomatik olarak gerçekleştirilen tek ve çok pasolu kaynak uygulamalarında kullanılmaktadır. Bütün pozisyonlarda yüksek kaynak hızına ve yüksek kaynak kabiliyetine sahiptir. Kaynak dikişinin görüntüsü çok düzgün olup cürufu kolay kalkar. Kaynak işlemi sırasında yumuşak ve kararlı bir ark ile çalışmaya olanak sağlar. Elde edilen kaynak dikişinin darbe dayanımı yüksektir. Özellikle tersanelerdeki gemi inşa uygulamalarında, köprülerin ve yüksek kaliteye sahip çelik yapıların kaynak konstrüksiyonlarında, petro-kimya endüstrisinde, basınçlı kazan ve kapların imalatında kullanılır. Gazaltı kaynağında kullanılan kaynak elektrodunun kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri Tablo 7'de verilmiştir. Şekil 3'de tozaltı ve gazaltı kaynak yöntemi ile kaynaklanmış numunelerin makro görüntüleri verilmiştir.

Tablo 7. Gazaltı Kaynak Elektrodunun Kimyasal bileşimi (% ağırlık) ve mekanik özellikleri

	C	Mn	Si	P	S	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	% Uzama	Darbe Dayanımı Joule
SW FC-71	0.05	0.48	1.52	0.013	0.016	597	525	28	106

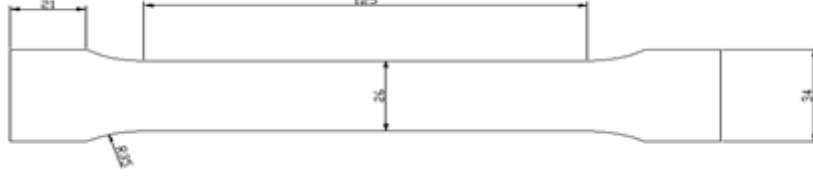


Şekil 3. a) Tozaltı, b) Gazaltı kaynaklı parça görüntüsü

TS 138 çekme standartlarına uygun olarak Şekil 4'de boyutları verilen çekme numunesi hazırlanarak çekme deneyleri yapılmıştır. Ana malzemenin de çekme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca kaynaklı numunelere eğme ve çentik darbe deneyleri yapılmıştır. Eğme deneyi çekme cihazında gerçekleştirilmiş olup, deney hızı 1 mm/s olarak belirlenmiştir. Çentik darbe için numuneler TS EN

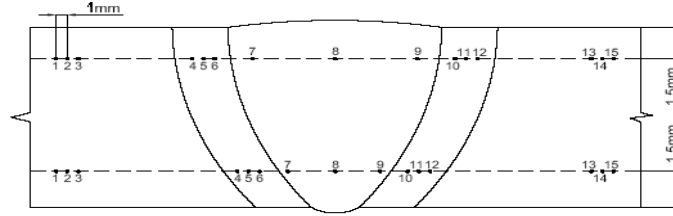


10045-1 standardına göre hazırlanan numunelerin çentik darbe testleri uygulanmıştır. Mekanik deneyler üçer numune ile yapılmış ve ortalama değerleri alınmıştır.



Şekil 4. Çekme numunesi

Tozaltı ve gazaltı kaynak yöntemleri ile birleştirilen numunelerin vickers sertlik ölçme yöntemi ile kaynak kesitinin hem üst hem de alt kısmından olmak üzere sertlik değerleri ölçülmüştür. Ölçümler için 300 gr yük kullanılmıştır. Sertlik alınan bölge ve noktalar Şekil 5'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5. Kaynak bölgesinin üst ve altındaki noktaların yerleri

Kaynakta oluşabilecek hataların tespit edilmesi amacıyla tozaltı kaynak yöntemi uygulanarak birleştirilen parçanın 40 mm'lik kaynak bölgesi 2 adet radyografi filmi çekilmiştir.

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Tozaltı ve gazaltı kaynak yöntemleri ile birleştirilen gemi sacının çekme deneyi sonucu elde edilen akma, çekme mukavemetleri ve % uzamaları Tablo 8'de verilmiştir. Çekme sonrası numunelerin görüntüleri Şekil 6'da verilmiştir.

Tablo 8. Çekme deney sonuçları

Numune	Kaynak yöntemi	Çekme Mukavemeti MPa	Akma Mukavemeti MPa	%Uzama
Ana malzeme	-	490	355	34
Gemi sacı	Tozaltı	496,48	343,45	32
	Gazaltı	477,06	316,96	25,8



Şekil 6. a) Tozaltı çekme deneyi sonra numune b) Gazaltı çekme deneyi sonra numune

Numunelere uygulanan çekme deneyi sonucunda kopan parçalar incelendiğinde kaynak bölgesinden kopmadığı kaynak dikişine yakın ısı tesiri altındaki bölgeden kopduğu görülmüştür. Tablo 8'den görüldüğü gibi, gemi sacının (DH36) tozaltı kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen numunelerden elde edilen sonuçlar, gazaltı kaynak yöntemi ile birleştirilenlerle karşılaştırıldığında, daha yüksek çekme, akma dayanımları ve % uzama değerleri elde edilmiştir. Tozaltı kaynak yöntemiyle birleştirilmiş parçalar ana malzeme ile karşılaştırıldığında ise çekme dayanımları aynı, akma dayanımı ve % uzama değerlerinde çok az bir düşüş olduğu görülmektedir.

Kaynaklı numunelere uygulanan eğme ve çentik darbe testi sonuçları Tablo 9 ve 10'da verilmiştir.

Tablo 9. Eğme testi sonuçları

Kaynak Yöntemi	Numune	Mandrel çapı/Eğme açısı	Sonuç
Gazaltı	1	40 mm/180 <sup>0</sup>	Hasar yok
	2	40 mm/180 <sup>0</sup>	Hasar yok
	3	40 mm/180 <sup>0</sup>	Hasar yok
Tozaltı	1	40 mm/180 <sup>0</sup>	Hasar yok
	2	40 mm/180 <sup>0</sup>	Hasar yok
	3	40 mm/180 <sup>0</sup>	Hasar yok

Tablo 10. Çentik darbe testi sonuçları

Kaynak Yöntemi	Çentik bölgesi	Sıcaklık	Kırılma enerjisi (Joule)
Gazaltı	Kaynak	0 <sup>0</sup>	140
	Isı tesir altında kalan bölge (ITAB)	0 <sup>0</sup>	60
	ITAB+2mm	0 <sup>0</sup>	65
Tozaltı	Kaynak	0 <sup>0</sup>	80
	Isı tesir altında kalan bölge (ITAB)	0 <sup>0</sup>	105
	ITAB+2mm	0 <sup>0</sup>	95

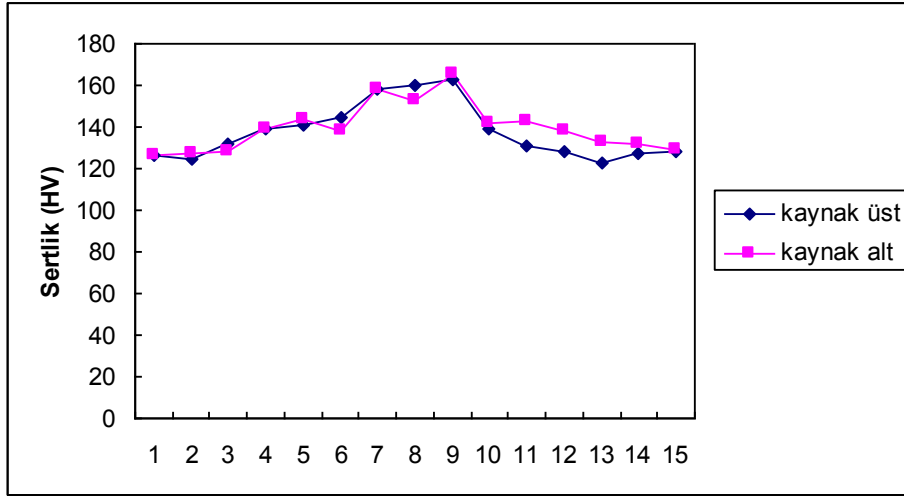
Her iki kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerin eğme testleri sonucu incelendiğinde kaynaktaki herhangi bir sorun (çatlama, kırılma, ayrılma, hasar vb.) görülmemiştir.

Çentik darbe testi sonucu elde edilen kırılma enerjisi değerleri incelendiğinde sadece gazaltı kaynak yönteminde kaynak bölgesinin değerlerinin tozaltı kaynak yöntemine göre yüksek olduğu

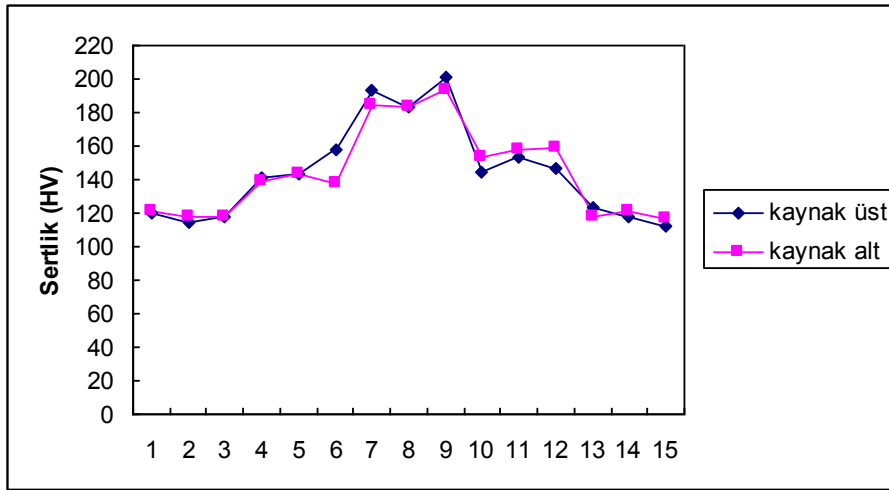


görülmüştür. Tozaltı kaynak yönteminde, kaynak bölgesi dışındaki bölgelerin kırılma enerjileri gazaltı kaynak yöntemine göre yüksektir. Gazaltı kaynak yöntemi ile yapılan birleştirmelerde beş paso uygulanmıştır. Her paso bir önceki paso için bir ısı işlem özelliği taşımaktadır. Böylece tokluk değerlerine olumlu etki göstermektedir. Genel olarak bakıldığında tozaltı kaynak yönteminde kaynak bölgesi, ITAB ve ana malzemenin kırılma enerjileri daha homojen bir dağılım göstermektedir.

Tozaltı ve gazaltı kaynak yöntemleri ile birleştirilen numunelerin vickers sertlik ölçüm değerleri grafik olarak Şekil 7'de verilmiştir.



a)



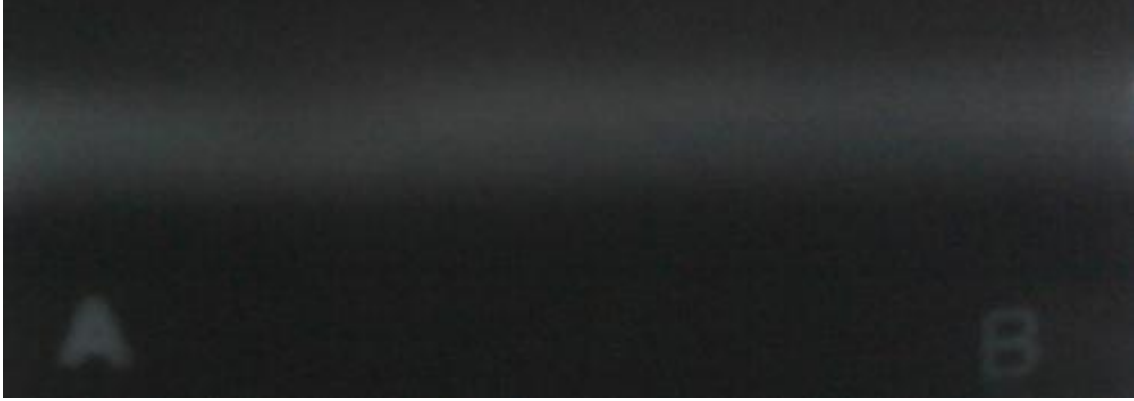
b)

Şekil 7. a) Tozaltı b)Gazaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen numunenin sertlik grafiği

Şekil 7'de verilen sertlik değerleri sonuçlarına göre kaynak bölgesinden esas metale doğru gidildikçe sertlik değerlerinde bir azalma görüldüğü, fakat en sert ve en düşük sertliğe sahip bölgelerin değişmediği görülmüştür. Her iki yöntemde de kaynak bölgesinin sertlik değeri diğer bölgelerden yüksek çıkmıştır. Gazaltı kaynak yönteminde, kaynak bölgesindeki sertlik artışı daha fazla olmuştur. Kaynağın alt ve üst kısımlarında da sertlik farklılıkları gözlemlenmiştir. Gazaltı kaynak yönteminde kaynak bölgesinde elde edilen sertlik değeri (193 HV), ITAB ve ana malzemeye (120 HV) göre daha fazla farklılık göstermiş, tozaltı kaynak yönteminde kaynak bölgesinde elde edilen sertlik değerinden (165 HV) daha yüksek çıkmıştır. Bu sonuç gazaltı kaynak yönteminde yapılan çentik darbe deneyi

sonuçlarında elde edilen darbe enerjisinin bölgelere göre farklılık göstermiş olmasını açıklamaktadır. Kaynak metalindeki sertliklerin farklı olmasındaki etkenler ısı girdisi, elektrotların alaşım elementleri miktarları ve soğuma hızlarının farklı olmasıdır. Kalıntı gerilmeler sonucu, doğal olarak sertlik değerlerinde artış olabilmektedir [14].

Tozaltı kaynak yöntemi ile kaynaklanan numune kaynak bölgesinin Şekil 8'de görülen 2 adet radyografi filmi çekilmiştir. İlk film 2.8 optik yoğunluk, 180 KV/4mA ve 750 mm ile çekilmiştir. Bu yoğunlukta çekilmesinden amaç kaynak bölgesinde, kökte yetersiz ergimenin incelenmesidir. İkincisi 3.2 optik yoğunluk, 180KV/4mA ve 750 mm ile çekilmiştir. Bu yoğunlukta çekilmesinden amaç ise kaynak dikisi boyunca cüruf kalıntılarının araştırılmasıdır. Tozaltı kaynak numunesine çekilen 2 adet radyografi filmi kontrol edildiğinde herhangi bir kaynak hatası tespit edilmemiştir.



a)



b)

Şekil 8. a) 2.8 optik yoğunluk, b) 3.2 optik yoğunluk, radyografi filmi

#### 4. SONUÇLAR

Uygulamada günümüzde gemi inşaatında kullanılan Erdemir 4736 kod numaralı (DH36) 12 mm.lik gemi sacı tozaltı ve gazaltı kaynak yöntemleri ile başarılı bir şekilde birleştirilmiş ve birleştirmenin mekanik özellikleri incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Çekme testinde elde edilen değerler incelendiğinde elde edilen değerlerin ana malzemeye yakın olması her iki kaynak yönteminin de başarılı olduğunu göstermektedir. Ancak tozaltı kaynağının akma mukavemeti ve % uzaması ana malzemenin akma mukavemetine ve % uzamasına çok daha yakındır. Çekme mukavemeti ise ana malzemenin çekme mukavemeti değerinden daha fazladır. Bu kullanılan kaynak ilave malzemesi ve seçilen yöntemlerin mekanik özellikleri etkilediğini ve uygun birleştirmenin sağlandığını göstermektedir. Sonuç

olarak, dayanım kadar sünekliliğinde önemli olduğu göz önünde bulundurulursa tozaltı kaynağı, gazaltı kaynağına göre daha dayanıklı ve daha sünektir.

2. Eğme testi sonrasında numunelerde herhangi bir hasar (çatlak, kırılma, ayrılma vb.) görülmemiştir.
3. Çentik darbe testi sonucunda tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerin kaynak bölgesi dışındaki kırılma enerjisi değerleri gazaltı kaynak yöntemine göre yüksek çıkmıştır. Gazaltı kaynak yöntemi ile kaynaklanan malzemede kaynak bölgesi, ITAB ve ana malzemenin kırılma enerjilerinde farklılık gözlenmiştir.
4. Sertlik ölçme incelemelerine göre her iki kaynak yöntemi ile birleştirilen parçaların kaynak bölgesinin ana malzemeye göre daha sert bir yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir. Gazaltı kaynak yönteminde, kaynak bölgesindeki sertlik artışı daha fazla görülmüştür. Kaynak metalindeki sertliklerin yüksek olmasındaki etkenler ısı girdisi, elektrotların alaşım elementleri miktarları ve soğuma hızlarının farklı olmasıdır.
5. Radyografik inceleme sonuçlarından mikro çatların ve kaynak hatalarının olmadığı görülmüştür.

## 5. KAYNAKLAR

- [1] KURT, K., DH 36 Gemi Sacının Farklı Kaynak Yöntemleri İle Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye, (2008).
- [2] ŞIK, A., Mig/mag kaynak yöntemi ile birleştirilen çelik malzemelerde ilave tel türleri ve koruyucu gaz karışımlarının eğmeli yorulma ömürlerine etkilerinin araştırılması, **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.**, 2007, Cilt 22, No 4, 769-777
- [3] VURAL, M., PİROĞLU, F., ÇAĞLAYAN, ÖZDEN B., UZGİDER, E., Yapı Çeliklerinin Kaynaklanabilirliği, **Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı** 426-2003/4
- [4] WOLFGANG FRICKE, ANATOLE VON LILIENFELD-TOAL, HANS PAETZOLD, Fatigue strength investigations of welded details of stiffened plate structures in steel ships, **International Journal of Fatigue**, Volume 34, Issue 1, January 2012, Pages 17-26
- [5] M. ASARKAYA, Gemi İnşasında Kullanılan Kaynak Yöntemlerinin Mekanik Özelliklere Etkisi, Y. Lisans Tezi, SAÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [6] YILMAZ, R., TÜMER, M., Gemi Saclarının Tozaltı ve Özlü Tel Kullanarak MAG Kaynağı ile Birleştirilmesi ve Mekanik Özellikleri, **Türk Bilim Araştırma Vakfı (TUBAV) Bilim Dergisi**, 2009, Cilt:2, Sayı:1, pp. 56-66
- [7] K. CHAKAROV, Y. GARBATOV, C. GUEDES SOARES, Fatigue analysis of ship deck structure accounting for imperfections, **International Journal of Fatigue**, Volume 30, Issue 10-11, October-November 2008, pp. 1881-1897
- [8] ANIK, S., TÜLBENTÇİ, K., KALUÇ, E., **Örtülü Elektrod ile Elektrik Ark Kaynağı**, Gedik Eğitim Vakfı, İstanbul, 1991
- [9] ERYÜREK, İ.B., **Gazaltı Ark Kaynağı**, Askaynak, İstanbul, 2007

- [10] M.H. ANG, W. LİN, S.Y. LİM, A Walk-Through Programmed Robot for Welding in Shipyards, **Industrial Robot**, 26, 5, 1999, pp. 377–388.
- [11] H.ÖZDEN, **Gemi İnşaatında Kalın Çelik Sac Kaynak Bağlantılarının İşletme Mukavemeti**, 24–25 Ekim 2003 Kocaeli.
- [12] KÜLAHLI, E., **Kaynak Bilimi**, Oerlikon Yayını, 1988, Sayı 2
- [13] **Erdemir Ürün Kataloğu**, Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş., 2011
- [14] YILMAZ, R., UZUN, H., TIG Ve MIG Gazaltı Kaynak Yöntemleriyle Birleştirilmiş Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri, **Journal of Marmara for Pure and Applied Sciences**, 18 (2002), Marmara University, Printed in Turkey