

## Gaz Metal Ark Kaynaklı Zırh Çeliklerinin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Ramazan KAÇAR<sup>1</sup>, Hayriye ERTEK EMRE<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Karabük.

e-posta: rkacar@karabuk.edu.tr, hayriyeertek@karabuk.edu.tr

Geliş Tarihi:15.09.2018

; Kabul Tarihi:30.10.2018

### Özet

Armox zırh çeliği geleneksel olarak askeri uygulamalar için kullanılmasının yanı sıra günümüzde sivil uygulamalar içinde kullanılmaktadır. Armox zırh çelikleri yüksek sertlik ve mukavemetle birlikte mükemmel balistik özelliklere sahiptir. İyi aşınma direncine sahip olan bu çelikler düşük karbon eşdeğerine sahip olduklarından iyi derecede kaynak edilebilirliğe sahip oldukları bilinmektedir. Endüstriyel uygulamalar zırh çeliklerinin birbirleriyle ve farklı cins çeliklerle kaynak edilebilirliklerine ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Bilhassa farklı cins çelik birleştirmelerinde kullanılan kaynak yöntemi ve kaynak parametreleri yanı sıra, koruyucu gaz ve doğru ilave metalin seçimi de birleştirme kalitesini önemli derecede etkilediği bilinmektedir. Bu çalışmada Armox 500T–Armox 500T aynı cins zırh çelik çifti ve Armox 500T-AISI 304 farklı cins çelik çiftinin gaz metal ark kaynak kabiliyetleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Sonuç olarak; Armox 500T–Armox 500T aynı cins zırh çelik çifti ve Armox 500T-AISI 304 farklı cins çelik çifti östenitik paslanmaz çelik ER307 ilave metali ile uygun kaynak parametreleri seçilerek, robotik gaz metal ark kaynak yöntemiyle başarıyla birleştirilebilmektedir.

#### Anahtar kelimeler

Armox Zırh çeliği, AISI 304 Östenitik paslanmaz çelik, Gaz altı ark kaynağı, Mekanik özellikler, Mikro yapı

## Determination of the Mechanical Properties of Gas Metal Arc Welded Armox Steels

### Abstract

Armox protection plate is traditionally used for military applications, and in today's world it is also used for civil applications. Armox has excellent ballistic properties in combination with high hardness and strength. Armox steels having good abrasive wear resistance has got low carbon equivalent so it is known that they have good weldability. Industrial applications show the need for weldability of armor steels with each other and with different types of steels. Especially, In addition the welding method and welding parameters, the shielding gases and selecting of the right welding consumable also affect significantly to the weld quality of dissimilar steel weldment. In this study, the gas metal arc welding capabilities of Armox 500T-Armox 500T steel couple and Armox 500T-AISI 304 dissimilar steel pair was investigated in detail. As a result; Armox 500T–Armox 500T similar armor steel couple and Armox 500T-AISI 304 dissimilar steel couple can be joined with austenitic stainless steel ER307 filler metal by using robotic gas metal arc welding method selecting appropriate welding parameters.

#### Keywords

Armor steel, AISI 304 Austenitic stainless steel, Gas metal arc welding, Mechanic Properties, Microstructure

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Zırh çelikleri yüksek balistik performansları sayesinde sivil ve askeri alanlarda araçların, inşaat ve binaların korunmasında çok geniş yelpazede kullanım alanı bulmaktadır (Barényi et al. 2014).

Yüksek dayanım, sertlik ve toklukları bu çeliklere yüksek balistik performans sağlar, (Ade et al. 1991), (Madhusudhan Reddy and Mohandas 1996). Zırh çelikleri alaşımlı çelik ailesinin üyesi olup, su verme ısıl işlemi sonrası temperleme ısıl işleminden dolayı

ıçyapıları temper martenzitten oluşurlar (Balakrishnan et al. 2011). Kara ve Korkut (2012)'e göre zırh çeliklerinin birleştirme işleminde ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) ve kaynak metalinde ileri gelen yapısal dönüşümlerinin bir sonucu olarak ana metale nazaran daha düşük mukavemet ve balistik performans söz konusudur. Zırh çeliklerinin birbirleriyle ve zırh çeliği-alüminyum alaşımları başta olmak üzere farklı malzemelerle kaynaklanabilirliği, farklı ilave metal ve kaynak yöntemlerinin etkileri üzerinde birçok araştırma gerçekleştirilmiştir (Sabari et al. 2016), (Ilangovan et al. 2015), (Alkemade et al. 1996), (Magudeeswaran et al. 2008), (Magudeeswaran et al. 2014). Zırh çeliklerinin kaynaklı birleştirmelerinde meydana gelen hidrojenin neden olduğu çatlak oluşumu nedeniyle östenitik paslanmaz kaynak ilave telleri tercih edilmektedir. Kaynak metalindeki hidrojenin östenitik fazda yüksek çözünürlüğü ile difüze edilebilen hidrojenin neden olduğu çatlak oluşumu giderilebilmektedir, (Magudeeswaran et al. 2014). Aynı ve farklı tür çeliklere uygulanan kaynak yöntemleri arasında endüstride yaygın kullanım alanı bulan kaynak tekniklerinden biriside yarı otomatik kaynak metodu olan gaz metal ark kaynağıdır (GMAK) (Ünlü vd. 2012). Farklı cins malzeme birleştirmelerinin kaynak bölgesi; ilave metal ve ana malzemelerden önemli miktarda alaşım elementi ihtiva eder. Kaynak metalinde bunların kimyasal kompozisyonlarına ve kaynak şartına bağlı olarak yapısal farklılıklar meydana gelebilir, (Soysal et al. 2017), (Sireesha et al. 2000).

Bu çalışmada; yüksek balistik özellikteki ArmoX 500T zırh çeliği birbirleriyle ve yüksek korozyon direncine sahip AISI 304 östenitik paslanmaz çelikle gaz metal ark kaynak yöntemiyle ER307 kaynak ilave metalinden yararlanılarak birleştirilmiştir. Birleştirmelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için çekme ve üç nokta eğme testleri uygulanmıştır. Ayrıca kaynaklı bağlantının kesitinde sertlik ölçümü gerçekleştirilmiştir. İlave olarak birleştirmelerin mikroyapı incelemeleri de gerçekleştirilerek, birleştirme mekanik özellik ve mikroyapı ilişkisi belirlenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

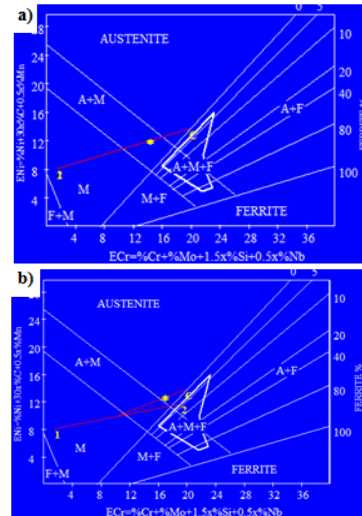
### 2.1 Deneysel Malzeme ve Schaeffler Diyagramı

Bu çalışmada 4,5 mm kalınlığında ArmoX 500T zırh çeliği ile 4 mm kalınlığında AISI 304 paslanmaz çelik çifti GMAK yöntemi ile argon koruyucu gaz kullanılarak 1.2 mm çapında AWS A5.9 standardına göre ER307 ilave tel ile birleştirilmiştir. Deneyde kullanılan ana malzeme ve ilave tel kimyasal bileşimleri Çizelge 1'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Ana malzeme ve ilave tel kimyasal bileşimi (% ağırlık)

Alaşım	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	S	P	Fe
ArmoX 500T	0,2	0,8	0,24	0,5	0,9	0,37	0,003	0,004	Kalan
AISI 304	0,04	0,9	0,61	18,4	7,9	0,04	0,01	0,03	Kalan
ER307	0,08	7	0,8	19	9	-	<0.35		Kalan

Çalışmada kullanılan çelik çeşitlerine ve kaynak ilave metaline bağlı olarak kaynak sonrasında oluşabilecek yapıyı tahmin edebilmek için Schaeffler diyagramından yararlanılmıştır. Şekil 1'de kaynak sonrası oluşması beklenen kaynak metal mikroyapısı Schaeffler bilgisayar programı kullanılarak belirlenmiştir. Diyagram üzerinde ArmoX 500T ana malzeme 1 rakamı, AISI 304 ana malzeme 2 rakamı ve ilave tel C harfi ile belirtilmiştir. Kaynaklı birleştirmede farklı cins çeliğin ergime karışım oranı %50 ve kaynak ilave metal ve ana malzeme ergime karışım oranı %30 olduğu varsayılarak kaynak bileşimi noktası yıldız işareti ile gösterilmiştir. Program sonucu kaynak metal tahmini kimyasal bileşimi ve Cr, Ni eşdeğerleri her iki birleştirme grubu için ayrı ayrı Çizelge 2 a ve b'de gösterilmiştir.



**Şekil 1.** Birleştirmelerin Scheaffler diyagramı, a) Armox 500T-Armox500T, b) Armox 500T-AISI304

**Çizelge 2.** Kaynak metali tahmini kimyasal bileşimi ve Cr, Ni eşdeğerleri a) Armox 500T-Armox 500T, b) Armox 500T-AISI304

Weld Metal								
%C	%Si	%Mn	%Cr	%Ni	%Mo	%Nb	%Cu	ppm N
0.131	0.64	4.91	13.13	5.60	0.27	—	0.01	349
	ECr	ENi		ECr	ENi		ECr	ENi
<b>Schaeffler:</b>	14.36	11.99	<b>DeLong:</b>	14.36	13.04	<b>WRC-92:</b>	13.40	10.89

(a)

Weld Metal								
%C	%Si	%Mn	%Cr	%Ni	%Mo	%Nb	%Cu	ppm N
0.103	0.70	5.00	15.74	6.95	0.24	—	0.01	650
	ECr	ENi		ECr	ENi		ECr	ENi
<b>Schaeffler:</b>	17.03	12.53	<b>DeLong:</b>	17.03	14.47	<b>WRC-92:</b>	15.98	11.84

(b)

Şekil 1 a'daki diyagrama göre; Armox 500T birleştirmelerinin kaynak metali mikroyapısının östenit ve martenzit fazından oluşması beklenmektedir. Şekil 1 b'deki diyagram ise Armox 500T-AISI 304 birleştirmelerinin kaynak metali mikroyapısının ise tamamen östenit fazından oluşacağına işaret etmektedir. Çizelge 2'deki verilere göre kullanılan ilave tel kimyasal kompozisyonuna bağlı olarak kaynak metali kimyasal bileşiminin seyrelerek değişim göstermesi beklenmektedir.

## 2.2 Malzemelerin Kaynak İşlemi

Armox 500T-AISI 304 çelik çifti 4.5x250x500 mm<sup>3</sup> ebatlarında kesilerek birleştirmelere 60° V kaynak ağzı açılmıştır. Numune yüzeyleri kaynak öncesi tel fırça ile oksit, yağ vb. atıklardan temizlenmiştir. Her iki malzeme çifti için de E307Si ilave tel ile yapılan MIG/MAG kaynağı, 242 A kaynak akımı, 24.7 V elektriksel gerilim, 45 cm/dak. kaynak ilerleme hızı, 1000 cm/dak. tel sürme hızı, 15 lt/dak. gaz debisi altında argon koruyucu gazı kullanılarak kaynak robotu ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada deney numunelerini birleştirmek için Fanuc marka 100 İC/8L model kaynak robotu ile Lincoln Elektrik S 350 POWER WAVE MODEL gaz altı ark kaynak makinesinden yararlanılmıştır. Kaynak işlemi doğru akım ters kutuplama ile gerçekleştirilmiştir. Birleştirme görüntüleri Şekil 2'de gösterilmiştir.

Birleştirmelere gözle yapılan incelemelerde yüzeysel çatlak tespit edilmemiştir. Kaynaklı bağlantı her iki yüzeyinden 0,5 mm taşlama ve ardından zımparalama yapılarak 3,5 mm kesit kalınlığına düşürülmüştür.

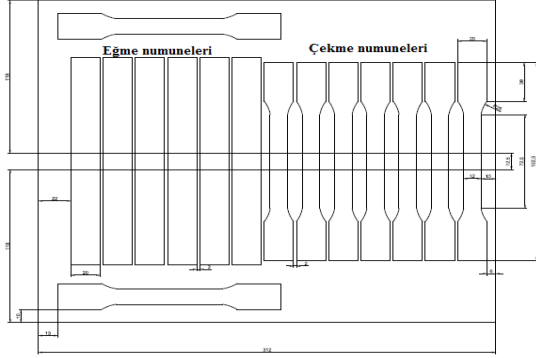


Şekil 2. Kaynaklı birleştirme görüntüleri

## 2.3 Çekme ve Eğme Deneyi

TS EN ISO 6892-1 standardına uygun hazırlanmış ana malzeme ve TS EN ISO 4136 standardına uygun hazırlanmış kaynaklı çekme deney numunelerinin çekme testi 50 kN kapasiteli SHIMAZDU marka test cihazında 3 mm/dakika çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirmelerin şekillendirilebilirliğini belirlemek için TS EN ISO 5173 standardına uygun üç nokta eğme numuneleri

10 tonluk ALŞA marka hidrolik test cihazında eğme deneyine tabi tutulmuştur. Deneysel numunelerin kesme işlemi öncesi standartlara göre boyutları belirlenmiştir. Teknik resimleri autocad programında çizilerek ve lazer kesim için hazırlanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Deneysel numunelerin şematik olarak gösterimi

#### 2.4 Mikroyapı incelemesi ve sertlik ölçümü

Metalografi numuneleri 250-1500 mesh arası zımparalar ile zımparalanarak ardından 6, 3 ve 1

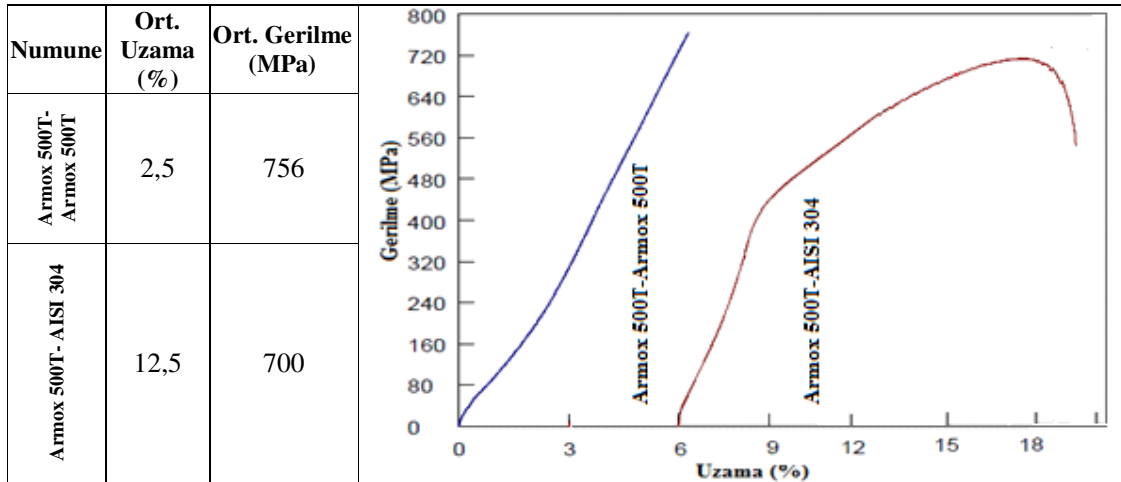
mikronluk elmas pastalar kullanarak keçede parlatılmıştır. Numuneler önce %2 nital çözeltisinde 6 saniye dağlanarak Armox 500T tarafından mikroyapı görüntüsü alınmıştır. Daha sonra numune 80 ml saf su + 20 gr sodyum hidroksit solüsyonu içerisinde doğru akımda 5V gerilim ve 2A akım şiddeti altında ortalama 15 sn elektrolitik dağlanarak AISI 304 malzeme tarafından görüntü alınmıştır. Mikroyapı incelemeleri optik mikroskopta gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümü FV-700 SHIMADZU marka Vickers mikrosertlik ölçüm cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Batıcı uca 500 g yük uygulanmıştır.

### 3. Bulgular

#### 3.1 Çekme Deney Sonuçları

GMAK yöntemi birleştirilmiş deneysel numunelerinin çekme testi sonuçları ve gerilim-uzama eğrileri Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Armox 500T- Armox 500T ve Armox 500T- AISI 304 birleştirmelerinin çekme deney sonuçları



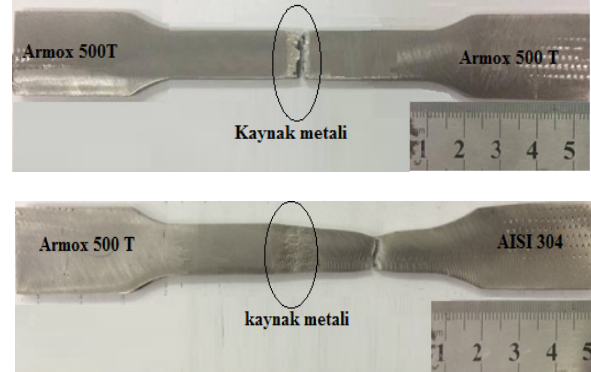
Çizelge 3'den görüldüğü gibi aynı cins Armox 500T çelik çifti birleştirmesi çekme dayanımı, Armox 500T- AISI304 farklı cins çelik birleştirmesinden 56 MPa daha yüksek bulunmuştur. Bilindiği üzere birleştirmelerde aynı cins malzemelerin kaynağında uygun ilave metal ve kaynak parametrelerle kaynak yapıldığında bağlantının mukavemetinin en az ana malzeme kadar dayanıklı olması istenir. Farklı cins

malzemelerin kaynağında ise bağlantı mukavemeti dayanımı düşük olan malzeme kadar veya düşük olabilir. Bunun için ilave metal seçimi son derece önemlidir. Bu çalışmada sert ve aşınmaya dirençli zırh çeliğinin kendi cins ve östenitik paslanmaz çelik birleştirmesinde daha sünek, şekil alabilenve yeterli mukavemete sahip kaynak metali elde edebilmek amacıyla östenitik yapıllı ilave metal kullanılmıştır.

Kaynaklı birleştirmelerin çekme mukavemeti performansı aynı cins malzemelerin kaynağında kaynaklı numunenin maksimum çekme mukavemetinin ana malzemenin çekme mukavemetine oranı olarak tanımlanabilir. Farklı cins malzemelerin kaynaklı birleştirmelerinde ise kaynaklı numunenin maksimum çekme mukavemetinin dayanımı düşük olan ana malzemenin maksimum çekme mukavemetine oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu tanımlamalar göz önüne alındığında aynı cins malzemelerin kaynağında çekme mukavemeti performansı yaklaşık %50 olarak hesaplanmıştır. Bu düşük çekme performans sonucun kaynak metalinin yeterli mukavemet, tokluk ve şekillendirilebilirliğe sahip olması amacıyla seçilen östenitik paslanmaz ilave telle ilişkili olduğu düşünülmektedir. Farklı cins çelik birleştirmesinde ise performans %100 bulunmuştur. Farklı cins malzeme birleştirmesi için bulunan bu çekme mukavemeti performans sonucu uygun kaynak parametreleri ve ilave metal seçimiyle bağlantı performansının ana malzemeyle aynı değerlere ulaştırılabileceğine işaret etmektedir.

Genel katalog bilgilerine göre Armox 500T ana malzeme çekme dayanımı 1450 MPa ve uzama miktarı %8 olarak rapor edilmektedir (<http://www.ssab.com> 2018). Çalışmada kullanılan AISI 304 ana malzeme çekme dayanımı 700 MPa, uzama miktarı ise %50 olarak tespit edilmiştir. Aynı cins zırh çelik birleştirmesi çekme testi sonrasında hasar kaynak metal-ana malzeme ergime sınırından gerçekleşmiştir. Armox 500T-AISI304 farklı cins çelik birleştirmesinde çekme testi sonrası hasar ise AISI304 ana malzeme tarafından gerçekleşmiştir. Numunelerin test sonrası görüntüleri Şekil 4'de gösterilmiştir. Armox 500T-Armox 500T aynı cins çelik birleştirmelerin kullanılan ilave telin kimyasal bileşimiyle ilişkili içyapısı ağırlıklı olarak östenitik oluşmuştur. Düşük sertlik ve düşük mukavemete sahip olan kaynak metal bitimindeki ısı girdisine bağlı olarak martenzitik dönüşüm gösteren daha gevrek bölgeden kaynaklı bağlantı düşük bir uzama (%2,5) göstererek kopmuştur. Şekil 4 makro görüntüsü incelendiğinde Armox 500T çelik çifti çekme

numunesinde boyun verme, diğer bir ifadeyle kesit daralması meydana gelmeden gevrek bir şekilde kırılma meydana geldiği görülmektedir.

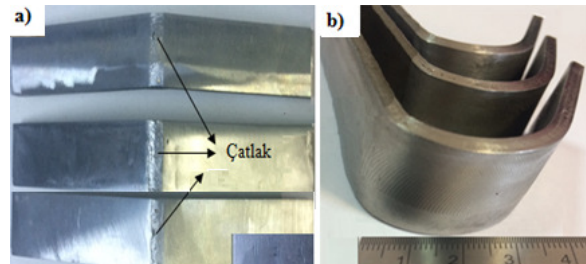


Şekil 4. Çekme deneyi sonrası numunelerin kırılma görüntüleri

Armox 500T-AISI 304 farklı cins çelik çifti birleştirmesinde ise kaynak metal mikroyapısının tamamen östenitik yapıda olması kaynak metal tokluğunun artmasına ve kaynaklı bağlantının ise daha düşük çekme dayanımına sahip AISI 304 paslanmaz çelik ana malzeme tarafından kırılmasına neden olduğu düşünülmektedir.

### 3.2 Üç Nokta Eğme Deney Sonuçları

Kaynaklı deney numunelerinin oda sıcaklığında şekillendirilebilirliği üç nokta eğme deneyi ile belirlenmiştir. Deney numunesinde hasar oluşuncaya kadar kep eğme deneyine tabi tutulan ve maksimum 90° eğilen Armox 500T-Armox 500T çelik çiftinin Şekil 5 a'da görüldüğü gibi kaynak ergime bandında veya ITAB kaba taneli bölgesinde çatlak oluşumu meydana gelmiştir. Armox 500T-AISI 304 çelik çifti ise Şekil 5 b'de görüldüğü gibi maksimum 180° katlanmış ve kaynak metal ve ITAB'de herhangi bir çatlak oluşumu meydana gelmemiştir. Ancak eğme daha düşük akma dayanımına sahip AISI 304 paslanmaz çelik ana malzeme tarafından gerçekleşmiştir.



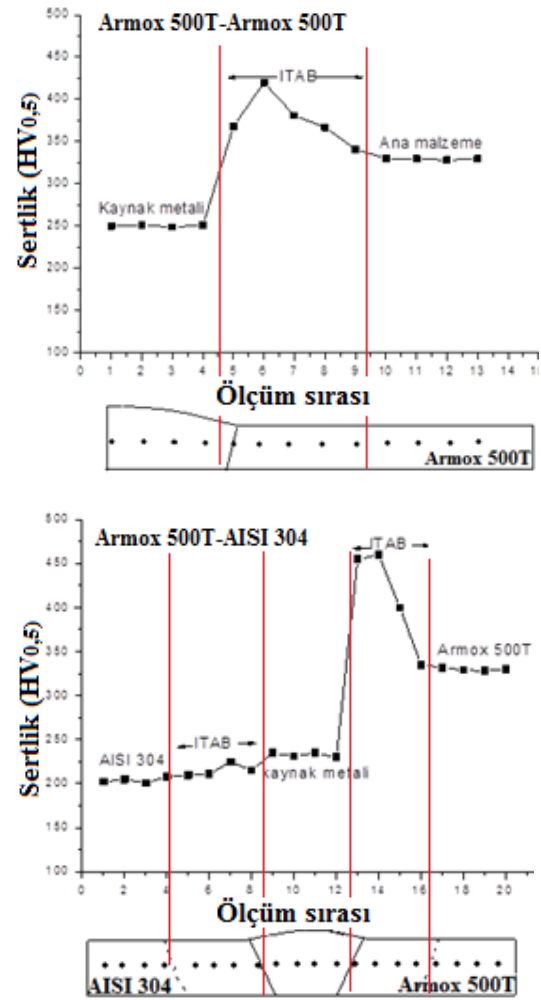


Şekil 5. Eğme deney numune görüntüleri a) ArmoX 500T-ArmoX 500T, b) ArmoX 500T-AISI 304.

### 3.3 Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları

Birleştirmelerin sertlik ölçüm sonuçları Şekil 6'da gösterilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi AISI 304 ana malzeme sertliği ortalama 200HV<sub>0.5</sub> olarak ölçülmüştür. Sertleştirme ısıl işlemi uygulanmış ve ardından temperlenmiş yapıya sahip olan ArmoX 500T çeliği ortalama sertlik değeri ise 330HV<sub>0.5</sub> olarak tespit edilmiştir. ArmoX 500T-ArmoX 500T birleştirmeleri için, ana malzemeden ITAB'a doğru gidildikçe sertlik değerlerinde artış eğilimi ergime bandında belirgin bir yükselme göstermektedir. En yüksek ITAB sertliği 440 HV<sub>0.5</sub> olarak bulunmuştur. Ortalama kaynak metali sertliği 250 HV<sub>0.5</sub> olarak belirlenmiştir. ArmoX çeliği ITAB'da kaynak ısı girdisiyle tane irileşmesini maruz kalmaktadır. Çeliğin içeriğindeki karbon oranına ve sertleşebilirliğe etki eden diğer alaşım elementlerine bağlı olarak kaynak sonrası hızlı soğuma ile kaba taneli östenit fazı martenzite dönüşerek sertliği arttığı düşünülmektedir. Balakrishnan vd. (2011), ArmoX çeliklerinin ark kaynak birleştirmelerinde ergime sınırı yakınındaki ITAB bölgesinde en yüksek sertlik değerine ulaşıldığını rapor etmişlerdir.

ArmoX 500T-AISI 304 birleştirmesi için, en yüksek ITAB sertliğine ArmoX 500T çelik ergime bandında 460HV<sub>0.5</sub> değerine ulaşmıştır. AISI 304 ve ArmoX 500T ana metal birleştirmesine ilave metal olarak ER307 östenitik karakterli ilave tel kullanılmasından dolayı birleştirme kaynak metalinin ağırlıklı östenitik yapıda oluştuğu için kaynak metali ortalama sertliği 230HV<sub>0.5</sub> olarak ölçülmüştür.



Şekil 6. Mikrosertlik ölçüm sonuçları

### 3.4 Mikroyapı İncelemeleri

Şekil 7 ve 8' de sırasıyla ArmoX 500T-ArmoX 500T ve ArmoX 500T-AISI 304 çelik çifti birleştirmesi mikroyapıları gösterilmiştir. Şekil 7 a ve 8 f'den su verilmiş ve ardından temperleme ısıl işlemi görmüş ArmoX 500T ana malzeme, temperlenmiş martenzit ve asiküler martenzit fazlarından oluştuğu görülmektedir. Şekil 7 ve 8 e'den görüldüğü gibi, birleştirmenin ArmoX 500 T çelik tarafı ITAB'da tane irileşmesi ve kaba taneli martenzitik yapı göze çarpmaktadır.

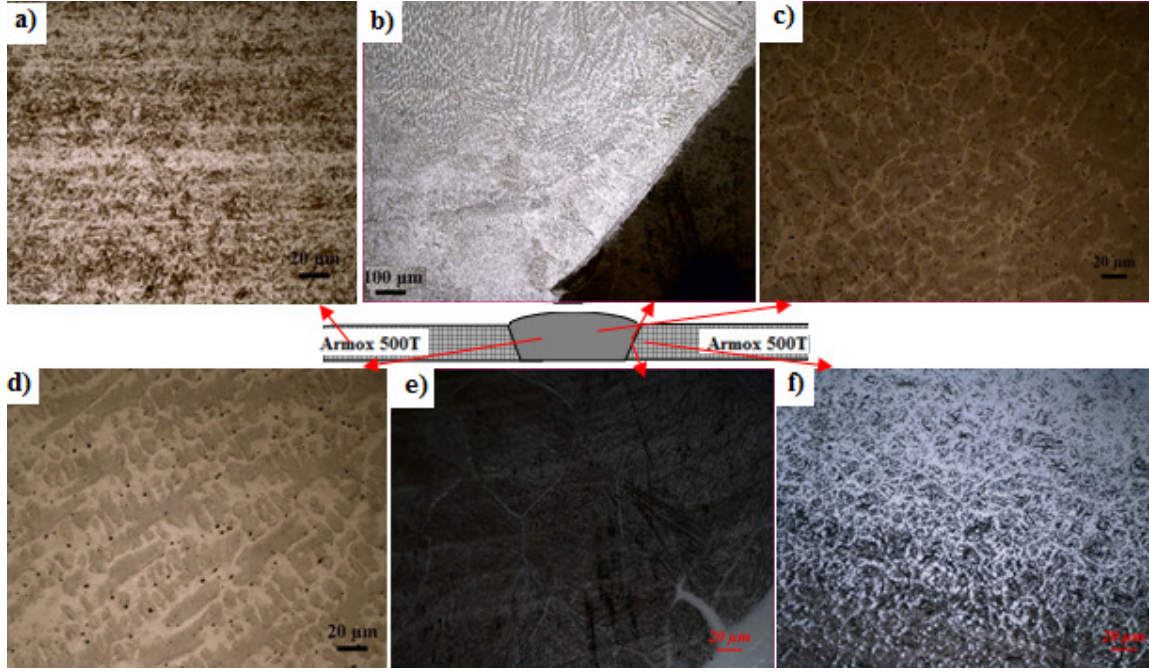
Jena vd. (2008)'de benzer şekilde ArmoX zırh çeliklerinin ergitmeli kaynaklı birleştirmelerinde ısı girdisine bağlı olarak ITAB'da kaba martenzit yapının meydana geldiğini belirlemişlerdir. Şekil 7 f'de ArmoX 500T ITAB'dan ana malzeme geçiş bölgesi görülmektedir. Martenzit yapı ana

malzemeye doğru azalarak homojen bir dağılım sergilemektedir. Armox 500T-Armox 500T birleştirmelerinde kaynak metali mikroyapısının kullanılan ilave telin kimyasal bileşimine bağlı olarak östenitik matris içerisinde widmanstaten tip ferritten meydana geldiği görülmektedir (Şekil 7 b-d).

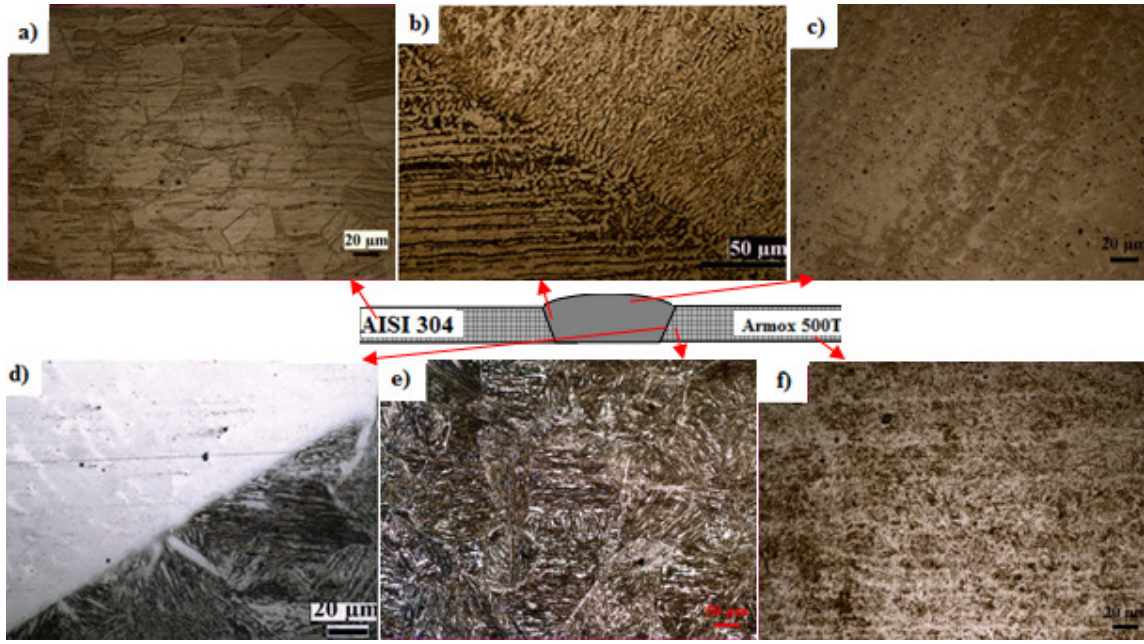
Şekil 8 a'da östenit fazından oluşan AISI 304 mikroyapısı görülmektedir. Ayrıca yapıda haddelemeye bağlı deformasyondan kaynaklanan

bantlaşma göze çarpmaktadır. Şekil 8 b'de Armox 500T-AISI 304 birleştirmelerin kaynak metalinden AISI 304 paslanmaz çelik tarafına geçiş bölgesi görülmektedir. Kaynak metalinin östenitik matris içerisinde skeletal tip delta ferritten oluştuğu görülmektedir (Şekil 8 b ve c).

Şekil 8 d ve e'de Armox 500T-AISI 304 birleştirmenin Armox 500T tarafı ITAB mikroyapısının kaba taneli martenzitik yapıda olduğu görülmektedir.



Şekil 7. Armox 500T-Armox 500T birleştirmesi, a) Armox 500T ana malzeme, b,c,d) kaynak metali, e)ITAB, f)ITAB-ana malzeme geçiş



**Şekil 8.** Armox 500T-AISI 304 birleştirmesi, a) AISI 304 ana malzeme, b,c,d) kaynak metali, e)Armox 500T ITAB, f)Armox 500T ana malzeme

#### 4. Tartışma ve Genel Sonuçlar

Çalışmada aynı cins Armox 500T zırh çeliği çifti ve AISI 304 paslanmaz çelik ile Armox 500 T farklı cins çelik çifti GMAK yöntemiyle birleştirilmiştir. Birleştirmelere çekme ve üç nokta eğme testleri uygulanmıştır. Kaynaklı bağlantıların mikroyapı değişimi incelenmiş ve sertlik profili belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

Armox 500T-Armox 500T ve Armox 500T- AISI 304 çelik çifti GMAK yöntemiyle başarılı bir şekilde birleştirilmiştir. Kaynak sonrası birleştirmelerde herhangi bir yüzeyel çatlak veya süreksizlik meydana gelmediği belirlenmiştir.

Armox 500T-Armox 500T birleştirmesi ortalama çekme dayanımı 756 MPa ve uzama miktarı %2,5 iken, Armox 500T-AISI 304 farklı cins çelik çifti ortalama çekme dayanımı 700 MPa ve uzama miktarı %12,5 olarak tespit edilmiştir. Birleştirmelerin çekme dayanımları aynı cins çelik bağlantısı için Armox 500T çelik ana malzeme dayanımından daha düşük, Armox 500T-AISI 304 farklı cins birleştirmeleri için AISI 304 paslanmaz çelik çekme dayanımına eşit olduğu belirlenmiştir. Armox 500T çelik çifti birleştirmelerinde hasarın

kaynak metali-ergime sınırından kesit daralması olmadan gevrek bir şekilde meydana gelirken, Armox 500T-AISI 304 farklı cins çelik birleştirmesi için östenitik paslanmaz çelik tarafından belirgin bir kesit daralmasıyla sünek bir kırılma davranışıyla meydana geldiği tespit edilmiştir.

Armox 500T çelik çifti birleştirmeleri üç nokta eğme deney numunelerinde 90° katlama sonucunda kaynak metalinden çatlak oluşumu meydana geldiği belirlenmiştir. Armox 500T-AISI 304 farklı cins çelik çifti için deney numunelerinin 180° katlama sonrası çatlak oluşmaması birleştirme şekillendirilebilirliğinin daha iyi olduğunu göstermektedir.

AISI 304 ve Armox 500T çelik sertlikleri sırasıyla ortalama 200HV ve 330 HV olarak tespit edilmiştir. Her iki aynı ve farklı cins çelik birleştirmeleri içinde Armox 500T zırh çeliği tarafı ana malzemedan ITAB'a doğru gidildikçe sertlikte artış göze çarpmaktadır. Armox 500T-Armox 500T çelik çifti birleştirmesi kaynak metali sertliği, Armox 500T-AISI 304 çelik çifti birleştirmesinden 20HV daha yüksek bulunmuştur. Birleştirmede kullanılan



malzeme kimyasal bileşim farklılıklarının kaynak metali sertliğini etkilediği görülmektedir.

AISI 304 ana malzemenin eş aksel östenit fazından, Armox 500T ana malzemenin ise temperlenmiş martenzit ve asiküler martenzit fazlarından oluştuğu görülmektedir. Birleştirmenin Armox çelik ITAB'ında kaynak termal çevriminin etkisiyle yapı tamamen martenzite dönüşmüştür. Armox 500T- Armox 500T çelik çifti kaynak metali östenitik matriks içerisinde widmanstatten ferritten oluşmaktadır. Armox 500T-AISI 304 çelik çifti kaynak metali östenitik matriks içerisinde skeletal tip delta ferritten oluşmuştur.

### Teşekkür

Bu çalışmada kaynaklı birleştirmelerin gerçekleştirilmesinde desteklerinden dolayı Askaynak firması ve Kaynak mühendisi Eren Sancar'a ve deney numunelerinin işlenmesinde yardımlarından dolayı Kaynak mühendisi Alpaslan Parlak'a teşekkür edilir.

### 5. Kaynaklar

- Ade, F., 1991. Ballistic qualification of armour steel weldments. *Welding Journal*, **70**, 53–54.
- Alkemade, S.J., 1996. The weld cracking susceptibility of high hardness armour steel, *Defense Science and Technology Organization*, Australia, 1–17.
- Balakrishnan, M., Balasubramanian, V., Madhusudan Reddy, G. and Sivakumar, K., 2011. Effect of buttering and hard facing on ballistic performance of shielded metal arc welded armour steel joints. *Materials & Design*, **32**, 469–479.
- Barényi, I., Lipták, P., H. and Vojtovič, S., 2014. Effect of over Tempering at UHSLA Steel ARMOX 500. *Advanced Materials Research*, **875-877**, 1324-1328. <http://www.ssab.com> (11.12.2018)
- Ilangoan, M., Rajendra Boopathy, S. and Balasubramanian, V., 2015. Effect of tool pin profile on microstructure and tensile properties of friction stir welded dissimilar AA 6061–AA 5086 aluminium alloy joints. *Defence Technology*, **11**, 174-184.
- Jena, P.K., Siva Kumar, K., Rama Krishna, V., Singh, A.K. and Balakrishna Bhat, T., 2008. Studies on the role of microstructure on performance of a high strength armour steel. *Eng Fail Anal*, **15**, 1088–1096.
- Kara, S. ve Korkut, M.H., 2012. Zırhlı muharebe araçlarında kullanılan zırh plakalarında kaynak sonrası ısıl işlemin bileşim mukavemetine etkisinin araştırılması. *Savunma Bilimleri Dergisi, The Journal of Defense Sciences* **11**, 159-171.

- Madhusudhan, Reddy, G. and Mohandas, T., 1996. Ballistic performance of high-strength low-alloy steel weldments. *J. Mater Process Technol.*, **57**, 23–30.
- Magudeeswaran, G., Balasubramanian, V. and Madhusudhan Reddy, G., 2008. Hydrogen induced cold cracking studies on armour grade high strength, quenched and tempered steel weldments. *Int J Hydrogen Energy*, **33**, 1897–1908.
- Magudeeswaran, G., Balasubramanian, V. and Madhusudhan Reddy, G., 2014. Effect of welding processes and consumables on fatigue crack growth behaviour of armour grade quenched and tempered steel joints. *Defence Technology*, **10**, 47–59.
- Sabari, S.S., Malarvizhi, S., Balasubramanian, V., and Madhusudhan Reddy, G., 2016. Experimental and numerical investigation on under-water friction stir welding of armour grade AA2519-T87 aluminum alloy, *Defence Technology*, **12**, 324-333.
- Sireesha M., Albert, S.K., Shankar, V. and Sunderesan, S., 2000. A comparative evaluation of welding consumables for dissimilar welds between 316LN austenitic stainless and Alloy800, *J. Nucl.Mater.* **279**, 65-76.
- Sosyal, T., Kou, S., Tat, D. and Pasang, T., 2016. Macroseggregation in dissimilar-metal fusion welding *Acta Materialia*, **110**, 149-160.
- Ünlü, B.S., Yılmaz, S.S., Uzkut, M.Ç. ve Çivi, C., 2012. MIG/MAG kaynağı ile farklı akımlarda birleştirilmiş Fe 37 çeliğinin kaynak bölgesinin mikroyapı ve mekanik özellikleri. *Uluslararası Kaynak Teknolojileri Sempozyumu*, Ankara, Türkiye, 383-391.