



## Dubleks ve Östenitik Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynağı Sonrasında Oluşabilecek Kaynak Hatalarının Ultrasonik ve Radyografik Muayene Yöntemleri ile İncelenmesi

### Radiographic and Ultrasonic Inspection of Duplex and Austenitic Stainless Steels Weld Defects that Formed After TIG Welding

Aziz Barış BAŞYİĞİT<sup>\*1</sup>, Recep ÇALIN<sup>2</sup>, Z.Onur PEHLİVANLI<sup>3</sup>

Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 04/02/2018

Kabul/Accepted: 28/05/2018

Son Versiyon/Final Version: 29/06/2018

#### Öz

Dubleks paslanmaz çelikler özellikle klor içeren ortamlarda korozyona karşı üstün dayanım sağlarken aynı zamanda yapı çeliklerine yakın değerlerde tatminkâr mukavemet sağlamaktadırlar. Oksitleyici ortamlarda korozyona tam dayanım sağlayan, yüksek sıcaklıklarda kullanımda yoğunlukla tercih edilen östenitik paslanmaz çelikler ise dubleks paslanmaz çeliklere kıyasla daha ekonomik bir satın alma maliyeti sergilemektedirler.

Bu çalışmada; AISI 304L ve S32205 paslanmaz çelik levhalarının aynı koşullarda TIG kaynağı sonrasında üç farklı kimyasal bileşime sahip olan; ER 2209, ER 312 ve ER 316 kodlu TIG telleri ile üç farklı kaynak metali içeriği oluşturulmaya çalışılmış, ultrasonik ve radyografik muayene yöntemlerinin her ikisi ile kaynak metalinin süreksizlikleri incelenmiştir. Test maliyeti daha yüksek olan radyografik muayene yöntemine alternatif olarak ultrasonik muayene yöntemi ile muhtemel kaynak bölgesi süreksizliklerinin daha düşük maliyetle tespit edilebileceği belirlenmiştir.

#### Anahtar Kelimeler

“Dubleks paslanmaz çelikler, östenitik paslanmaz çelikler, TIG kaynağı, Tahribatsız Muayene Yöntemleri, Ultrasonik Muayene, Radyografik Muayene, Kaynaklı Bağlantılarda Süreksizlikler.”

#### Abstract

Duplex stainless steels maintains superior corrosion resistance especially in chlorine containing media besides they exhibit satisfactory strength values that close to the structural steels. The austenitic stainless steels that supports exact resistance to oxidation are also selected intensively upon their high temperature resistivity are economical choice rather to duplex types.

In this study; AISI 304L and S32205 stainless steel plates are TIG welded by ER312, ER316 and ER2209 coded TIG welding wires for composing three different weld metal contents and discontinuities of weld metal regions are investigated by both ultrasonic and radiographic inspection. Discontinuities in weld regions are determined by an alternative and cheaper ultrasonic inspection rather than expensive radiographic technique.

#### Key Words

“Duplex Stainless Steels, Austenitic Stainless Steels, TIG Welding, Non-destructive Testing Methods, Ultrasonic Inspection, Radiographic Inspection, Discontinuities in Weldments.”

## 1.GİRİŞ

1980'li yıllardan beri hızla gelişen ve üstün korozyon direnci ile mukavemetin bir arada istendiği; kimyasal, petro-kimyasal boru hatları, depolama tankları, kağıt endüstrileri, enerji santralleri, madencilik, gıda teknolojileri, köprüler gibi endüstrilerde dubleks paslanmaz çelikler artarak tercih edilmektedir ( J. Lippold ve D. Kotecki,2005, Gunn N. Robert, 2003). Dubleks paslanmaz çelikler nispeten yüksek ferrit içeriklerinden dolayı manyetik özellik sergilerler ( J. Lippold ve D. Kotecki,2005, Gunn N. Robert, 2003, Pierre R. Roberge, 2000, David N. Noble,1993).

Dubleks paslanmaz çeliklerin kaynak edilebilirlikleri genel olarak iyidir. Ancak zararlı metallere-arası bileşikler ile katılma ve hidrojen çatlak oluşumu riskinden dolayı kaynak işleminde dikkatli olunmalıdır (David N. Noble, 1993).

Bununla birlikte; dubleks paslanmaz çeliklerin kaynak metalinde ve ısının tesiri altındaki bölgede (ITAB) yer alan ferrit ve östenit dağılımları korozyon ve mekanik özelliklerini etkilemektedir. Kaynaklı bağlantı; gerilmeli korozyon çatlaklarına yeterli düzeyde dayanım için en az %25, ana metalde sağlanan genel korozyon direnci ve tatminkar mekanik özelliklerin sağlanabilmesi için en fazla %60  $\delta$ -ferrit faz içeriğine sahip olmalıdır (ASM Handbook Volume 13-B. 1992).

Östenitik paslanmaz çelikler ise üretim maliyetleri açısından dubleks paslanmaz çeliklere göre daha ekonomiktir ( J. Lippold ve D. Kotecki,2005, Gunn N. Robert, 2003). Nispeten daha düşük seviyede kritik korozyon ve mekanik dayanım istenen uygulamalarda tercih edilmektedirler.

Bu çalışmada iki temel paslanmaz çelik grubu olan östenitik ve dubleks paslanmaz çeliklerin TIG kaynağı ile birleştirilmeleri sonrasında literatürde ifade edilen (ASM Handbook Vol 17. 1992) oluşabilecek muhtemel boşluk, çatlak, gözenek gibi kaynağa bağlı olan hacimsel iç kusurların tespiti, ultrasonik muayene yöntemi ve radyografik muayene yöntemi ile incelenmiş ve yöntemler arasında hata tespit yeteneği ve duyarlılığı ile ilgili kıyaslamalar yapılmıştır.

Ana malzemelerin fazlarının dağılımlarının belirlenmesi amacıyla ASTM E562 (2011) ve ASTM E1245 (2008) standartları kapsamında faz analiz yazılımı uygulanmıştır.

Mikro-yapısal incelemeler; ASTM A 923-08 (2008) standardı kapsamında uygulanmış, ana malzemelerden EN ISO 17655 (2003) ve EN ISO 8249 (2000) standartlarına göre manyetik yöntemle  $\delta$ -ferrit ölçümü yapılmıştır.

Dubleks paslanmaz çelikler ile östenitik paslanmaz çeliklerin TIG kaynak işlemi sonrası ultrasonik muayene yöntemi ile tespit edilen hataların radyografik muayene hata tespit yöntemi ile kıyaslanması hedeflenmiştir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Deneysel Malzemeler

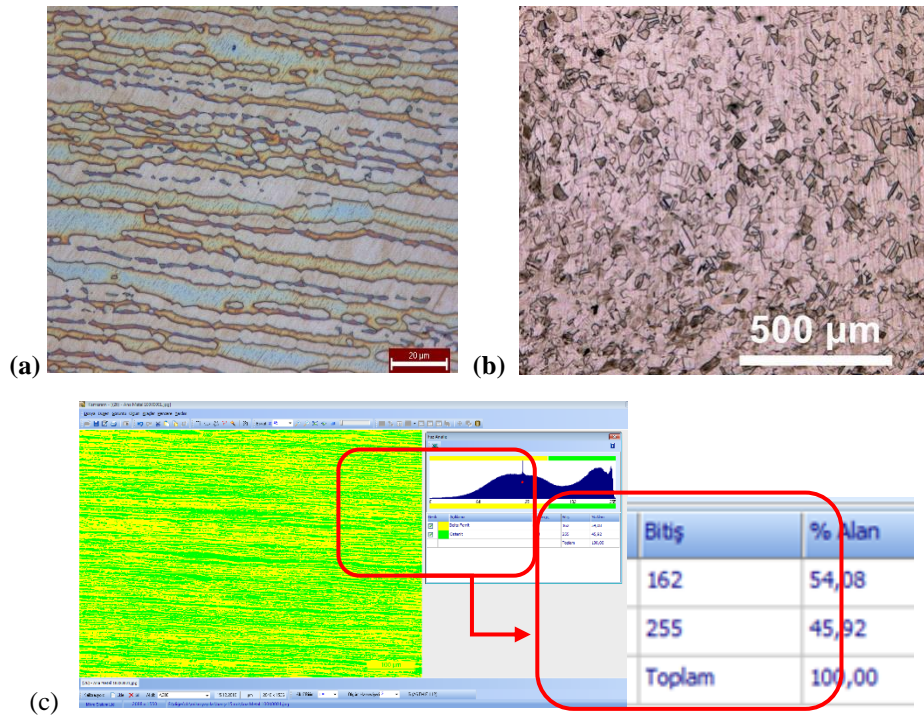
Çalışmada kullanılan östenitik AISI 304L ve UNS S32205 dubleks paslanmaz çeliklerin % ağırlıkça kimyasal bileşimleri Tablo 1' de verilmektedir.

**Tablo 1.** AISI 304L Östenitik ve UNS S32205 Dubleks paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri

Malzeme	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	P	S	N	Fe	Diğerleri
AISI/SAE 304L	0.038	0.290	1.570	18.90	10.83	0.297	0.022	0.0005	0.092	67.3	0.66
UNS S32205	0.016	0.340	0.832	24.95	6.638	3.511	0.015	0.0004	0.306	62.7	0.68

### 2.2. Deneysel Malzemelerin Mikro-yapıları

S32205 Dubleks paslanmaz çeliğin mikro-yapısı Şekil 1-(a)'da görülmektedir. Çeliğin haddeleme yönü açıkça görülmektedir. Açık renkli fazlar östenit kahverengi ve koyu fazlar ise delta ferriti ifade etmektedir. Şekil 1-(c)' de görüldüğü gibi faz analizi ve ayrıca manyetik ölçümler ile yapılan faz analizleri dubleks paslanmaz çeliğin yaklaşık %54 delta-ferrit %46 östenit içerdiği anlaşılmıştır.

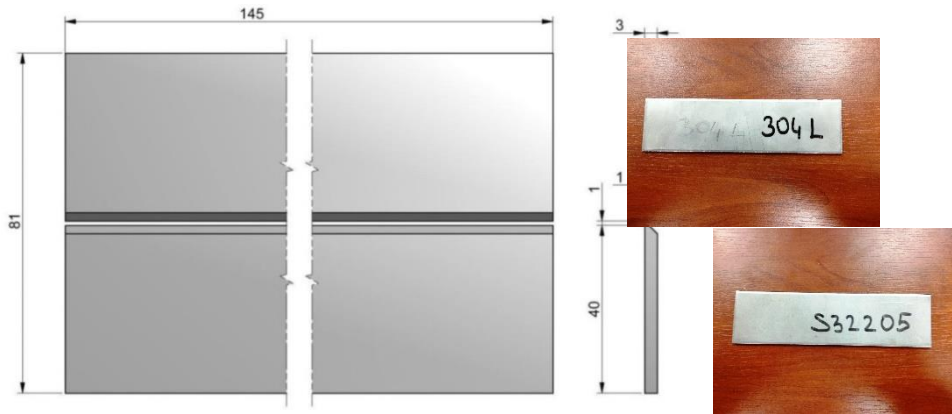


Şekil 1. (a) S32205 Dupleks paslanmaz çeliğin, (b) AISI/SAE 304L paslanmaz çeliğin mikro-yapıları (c) S32205 Dupleks paslanmaz çeliğin faz analizi

AISI/SAE 304L paslanmaz çeliğin mikro-yapısı Şekil 1-b' de görülmektedir. Yapı tamamen östenitik fazdan meydana gelmektedir. Tane sınırlarında azınlıkta delta-ferrit görülmektedir.

### 2.3. Deneysel Malzemelerin Birleştirilmeye Hazır Hale Getirilmesi

3 mm kalınlığına sahip AISI SAE 304L Östenitik ve UNS S32205 dupleks paslanmaz çelik plakalar Şekil 2'de görüleceği üzere 145x40 mm boyutlarında kesilip hazırlanmıştır. Kesim işleminde parçaların ısınmaması amacıyla soğutma sıvısı olarak bor yağı kullanılmıştır. Kaynak ağız hazırlığı Şekil 2' de orta kısımda görüldüğü gibi 45° açıyla parçalar arası 1 mm açıklık bırakılarak yapılmıştır.



Şekil 2. Kaynak edilecek numunelerin hazırlanması

Birleştirmede kaynak yöntemi TIG (Tungsten Inert Gas Welding-Tungsten Asal Gaz Kaynağı) olarak seçilmiştir.

### 2.4. TIG Kaynak Yönteminin Uygulanması

Hazırlanan AISI 304L ve S32205 paslanmaz çelik saclar, TIG kaynağı yöntemi ile Şekil 3' deki gibi ve Tablo 2' de verilen kaynak hazırlık ve uygulama parametreleri kapsamında birleştirilmiştir. S32205 dupleks paslanmaz çelikler için literatürde ifade

edilen pasolararası sıcaklık kontrolü sağlanarak ikinci paso kaynak işlemi tamamlanmıştır ( J. Lippold ve D. Kotecki,2005, Gunn N. Robert, 2003).



Şekil 3. TIG Kaynağı uygulaması

Uygulanan TIG Kaynak koşulları ve parametreleri Tablo 2’ de verilmektedir. Kaynak operasyonu iki pasoda gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Kaynak koşulları ve parametreleri

Koruyucu Gaz Türü	Gaz Debisi (litre/dakika)	Pasolar-arası sıcaklık °C	Tungsten Elektrot	Kaynak İlerleme Hızı (mm/sn)		Kaynak Akımı DC (-) (Amper)		Kaynak Gerilimi (Volt)		Isı girdisi (kök paso-joule)	Isı girdisi (ikinci paso-joule)
				Kök Paso	İkinci Paso	Kök Paso	İkinci Paso	Kök Paso	İkinci Paso		
Saf argon (%100 Ar)	6	150	%2Th içeren tungsten elektrot	2.15	2.10	70-75 A	95-100 A	12 V	13V	420	450

Çalışmada dubleks ve östenitik paslanmaz çelik sacları birleştirmede 2 mm çapında 1 m boyunda standart AWS A5.9 2209 EN ISO 14343-A W 22 9 3 N L (2209), AWS A5.9 ER316L ve AWS A5.9. ER 312 kalite üç farklı TIG kaynak ilave telleri kullanılmıştır.

Kaynak ilave tellerinin kimyasal bileşimi Tablo 3’de verilmektedir.

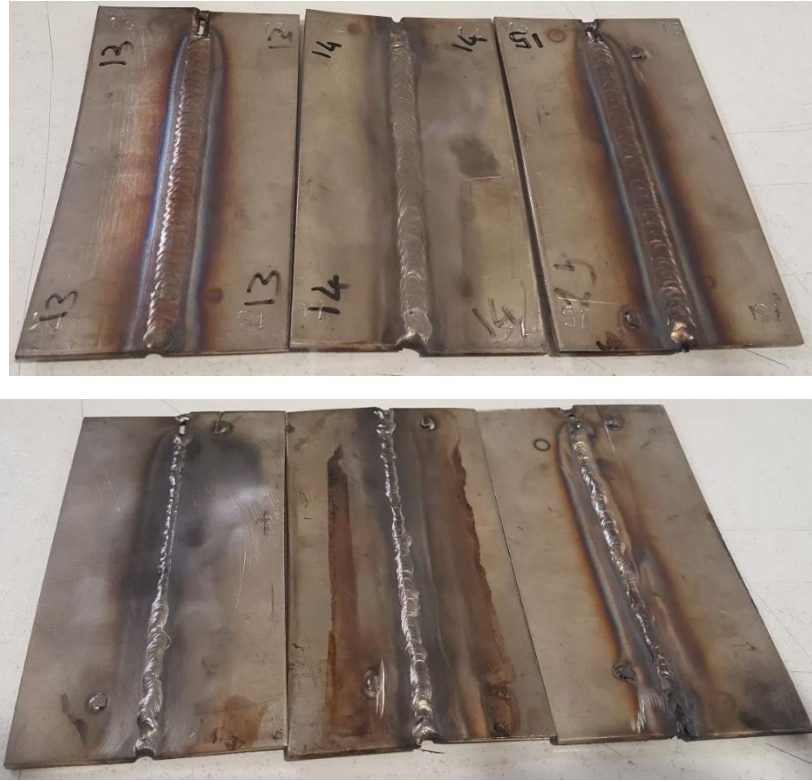
Tablo 3. TIG kaynak ilave telleri kimyasal içerikleri

İlave Tel	Element (%ağırlık)									
	C	P	S	Cu	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	N
ER 2209	0,01<	0,02<	0,01<	0,10	0,44	1,50	23,0	8,6	3,1	0,16
ER 312	0,12<	0,03<	0,03<	0,75<	0,40	1,80	30,0	9,0	0,75<	---
ER 316	0,03<	0,03<	0,03<	0,75<	0,65<	1,0-2,5	18-20	11-14	2-3	---

İlave malzemenin kaynak edilebilirliğe ve netice olarak kimyasal bileşimin kaynak bölgesi hatalarına olan etkilerinden dolayı inceleme amaçlı kusur oluşturabilmek için 3 farklı dolgu malzemesi kullanılmıştır.

Tüm kaynak işlemlerinde kök ve kapak pasolarında toplam iki pasolar halinde olacak şekilde %100 Argon gazı koruyucu gaz olarak kullanılmıştır.

Tablo 2' de verilen kaynak parametrelerine göre birleştirilen örnek numunelerin ön ve arka görünüşleri Şekil 4' de verilmektedir. Şekil 4' de görüleceği üzere kaynaklı parçalarda deformasyon bulunmamaktadır. Parçalarda tam nüfuziyet sağlanmıştır.



Şekil 4. Birleştirilen numuneler

## 2.5. Kaynaklı Numunelerin Tahribatsız Muayeneleri

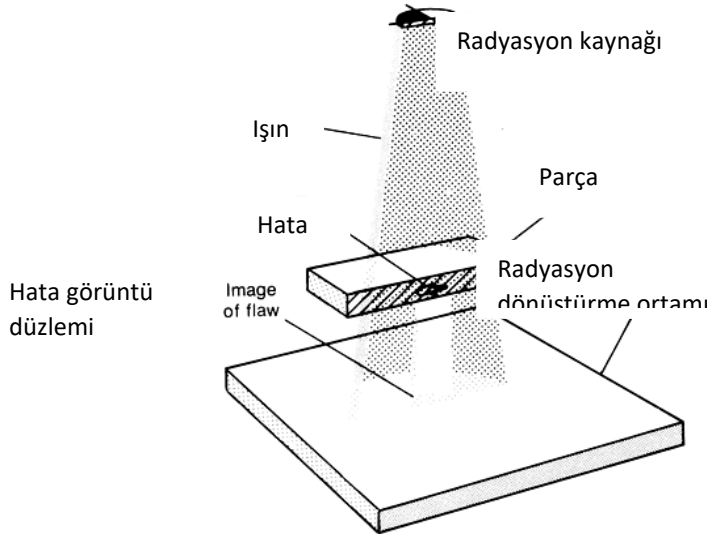
Birleştirilen numuneler, kaynak bölgelerinde meydana gelebilecek muhtemel çatlak boşluk gözenek gibi kusurları tespit etmek amacıyla %100 radyografik ve ultrasonik muayeneden geçirilmişlerdir. Ultrasonik muayene yöntemi; zaman alıcı olması ancak bunun yanında ekonomik oluşu radyografik muayeneye göre üstün yanları olarak ortaya çıkmaktadır.

Radyografik muayene ise detay hassasiyeti daha net görüntüleme daha düşük belirsizlik nitelikleri nedeniyle doğru pozlama durumunda daha güvenilir hata tespit sonuçları vermesi açısından öne çıkmaktadır. Ancak radyografik muayene yönteminin doğru ve güvenilir bir sonuç vermesi tecrübe ve pozlama doğruluğu gerektirmektedir. Radyografik muayenenin öne çıkan dezavantajı ise ilk yatırım maliyeti ile test maliyetinin nispeten yüksekliğidir. Bu çalışmada; malzemelerdeki mevcut çeşitli hacimsel kusurların iki farklı hata tespit yöntemi ile tespitinin ekonomik yönden ele alınması hedeflenmiştir.

### 2.5.1. Kaynaklı Numunelerin Radyografik Muayeneleri

Radyografik muayenede; malzeme içerisinden geçirilen x-ışınları herhangi bir boşluk gözenek çatlak v.b. hatalara rastlandığında boşluğun x-ışınlarını dolu malzemeye göre daha ince bir malzeme gibi algılayarak diğer hatasız bölgelere göre kontrast farklılığından yola çıkılarak bir radyograf film görüntüsü oluşturması prensibine göre iç-yapısal hataların konumlarının net bir şekilde bulunması amaçlanmaktadır.

Şekil 5' de radyografik muayene yöntemi genel uygulama prensibi görülmektedir.

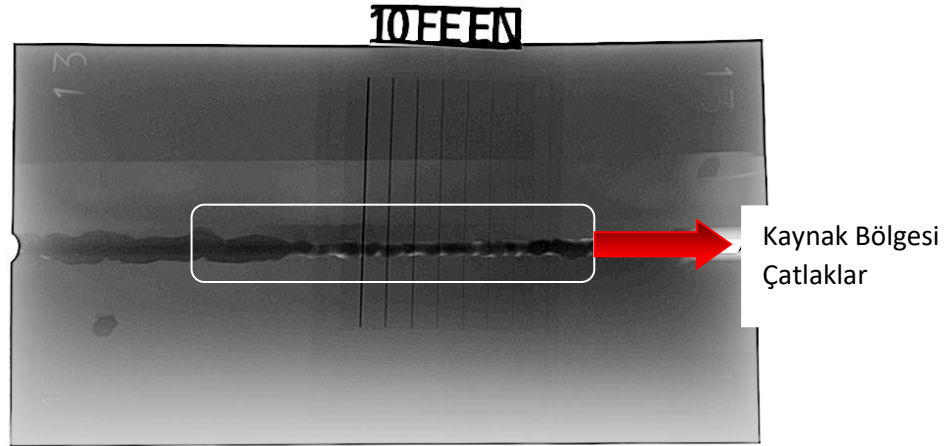


Şekil 5. Radyografik muayene temel prensibi (ASM Metals Handbook Vol.17)

Radyografik muayene yönteminin ilk kuruluş maliyeti kapasitesine (ölçülecek parça boyutu ve kalınlığı) bağlı olarak yüksek olup hata tespit duyarlılığı test edilen malzemeye, geometrisine ve radyografik muayene cihazı hassasiyeti ve gücüne göre değişmektedir.

DeneySEL çalışmada; 3 farklı kimyasal bileşime sahip ilave dolgu malzemesi kullanılarak yapılan TIG kaynak işleminde üç farklı kimyasal bileşime sahip olan ve dolayısıyla farklı çökelti ve bileşikler içeren kaynak metali oluşturulmaya çalışılmıştır. Paslanmaz çeliklerin yüksek alaşım elementi içeriğine sahip olmaları nedeniyle bu çeliklerin kaynağında çeşitli zararlı faz ve çökelti oluşabilmektedir. Bu gevrek zararlı çökelti kaynak bölgesinde çatlak boşluk gibi iç-yapısal kusurlara neden olabilmektedir. Bu amaçla 3 farklı ilave dolgu malzemesi ile birleştirilen numunelerin kaynak metali radyografik muayene ile incelenmiştir. Cihaz radyasyon kaynağı olarak radyo-izotop malzeme yerine x-ışınları tüpü ile bilgisayar destekli yazılımlar ile çalıştığından hatalı bölgeleri daha açık kontrast ile ortaya koymaktadır.

ER 2209 Dubleks TIG Teli ile birleştirilen numunenin radyografik muayenesi sonucunda elde edilen görüntü aşağıda Şekil 6' da verilmektedir.



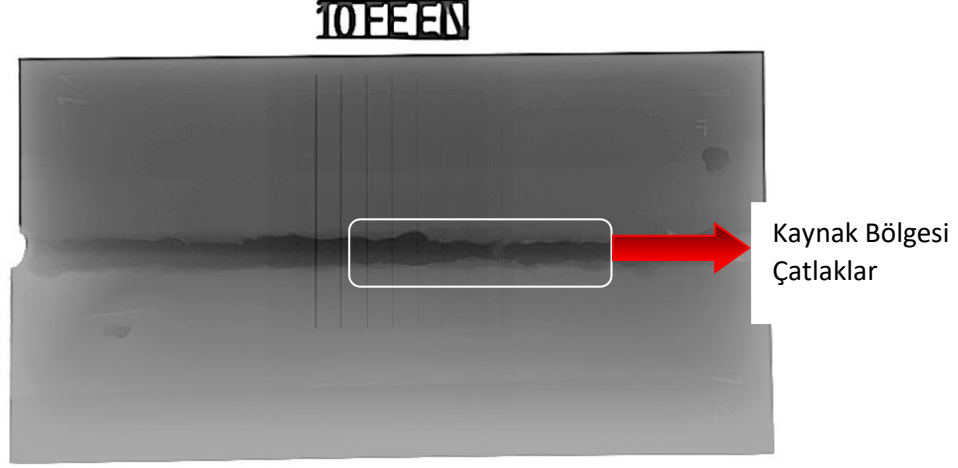
Şekil 6. ER 2209 TIG Teli ile birleştirilen numunenin (No:13) radyografi görüntüsü

Şekil 6' da verilen ER2209 TIG teli ile birleştirilen (13 numaralı numunenin) radyografi görüntüsünde açık renkli bölgeler çatlak ve boşlukları ifade etmektedir.

ER2209 TIG ilave telinin kimyasal kompozisyonu incelendiğinde yüksek krom içeriğinin yanında molibden içeriğinin de yüksek olması zararlı krom ve molibden esaslı çökelti ve bileşiklerin oluşumunu desteklemiş olabileceğinden ve ayrıca düşük miktarda da olsa azot içeriği muhtemel çok gevrek çökelti olan nitrürlü bileşiklerin oluşumunu artıracığından kaynak bölgesindeki boşluk ve gözenek oranını artırmıştır. Radyografi görüntüsünde bu durum açıkça anlaşılmaktadır.

Şekil 7' de, ER316 TIG ilave teli ile birleştirilen numunenin (No:14) radyografi görüntüsü verilmektedir. ER316 TIG ilave telinin kimyasal kompozisyonu incelendiğinde krom ve molibden oranının ER2209 ilave teline göre nispeten daha düşük olduğu görülmektedir.

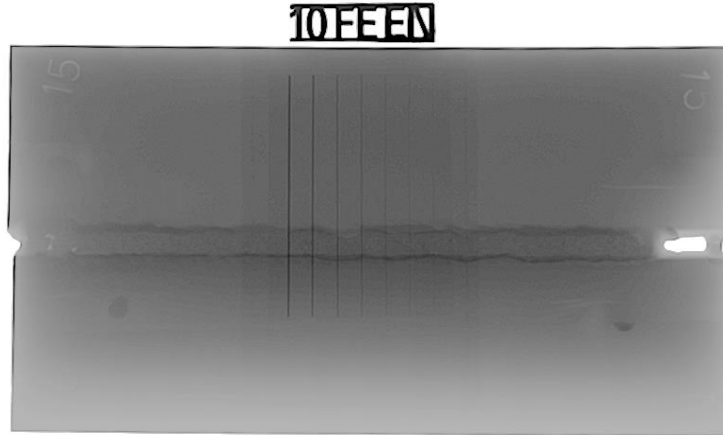
ER 316 TIG teli kullanılan numunenin kaynak bölgesi çatlaklarının oransal olarak ER2209 TIG teline göre daha az olmasının nedeni yüksek olasılıkla daha düşük krom molibden içeriğinden dolayı daha az zararlı çökelti içeriğine sahip olması düşünülmektedir.



Şekil 7. ER 316 TIG Teli ile birleştirilen numunenin (No:14) radyografi görüntüsü

Şekil 8' de, ER312 TIG ilave teli ile birleştirilen numunenin (No:15) radyografi görüntüsü verilmektedir. Radyografi görüntüsü incelendiğinde diğer iki numuneye göre boşluk ve çatlak oranı oldukça azaldığı görülmektedir.

ER312 ilave telinin kimyasal kompozisyonu incelendiğinde ER2209 ve ER316 TIG teline göre en düşük molibden içeriğine ancak en yüksek krom içeriğine sahip olduğu görülmektedir. Molibden çok kuvvetli karbür oluşturu element oluşu ve çeliklerde sertleşebilirliği artırdığından dolayı kromun karbür yapıcı etkisinin yanında sertleşebilirliğe etkisi öne çıkmaktadır. Bu durumda radyografi görüntüsünde en az nispete boşluk içeriğine sahip olduğu anlaşılmaktadır.

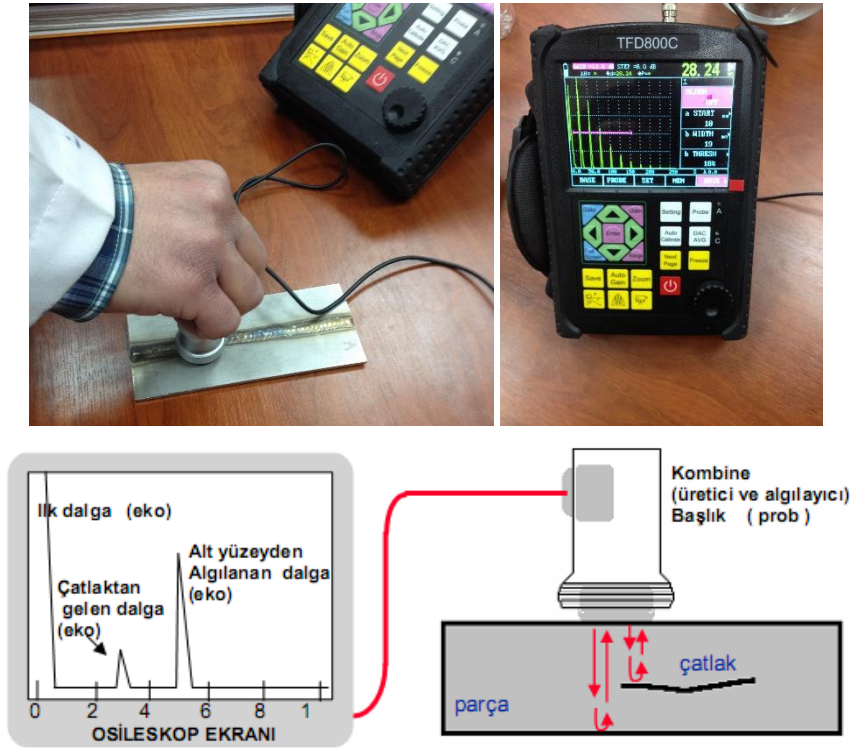


Şekil 8. ER 312 TIG Teli ile birleştirilen numunenin (No:15) radyografi görüntüsü

## 2.5.2. Kaynaklı Numunelerin Ultrasonik Muayeneleri

Birleştirilen kaynaklı numuneler aşağıda Şekil 9' da verilen ultrasonik muayene yöntemi ve cihazı ile muhtemel boşluklar gözenekler çatlaklar v.b. hatalar tespit edilmeye çalışılmıştır.

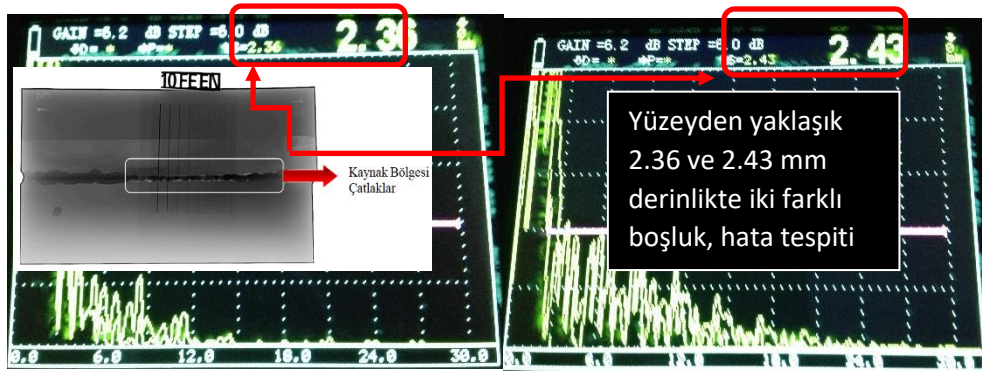
Ultrasonik muayene yöntemi; yüksek frekansa sahip ses dalgalarının kullanılarak malzeme içerisindeki ilerleme hızlarındaki değişime bağlı olarak hata boşluk gözenek gibi yerlere varıldığında ses hızındaki anlamlı değişimlerden yola çıkılarak hataların konumlarının hassas bir şekilde tespit edilmesi prensibine dayanmaktadır.



Şekil 9. Ultrasonik Muayene Cihazı ve hata kontrolü örneği

Radyografik muayeneden geçirilen ve kusurları kayıt altına alınan kaynaklı numunelere mevcut kusurların ultrasonik muayene ile tespit edilebilirliğini incelemek amacıyla bu yöntemle de tespit edilebilen hataların kroki çıkarılmıştır. Benzer şekilde tespit edilen hataların konumları kayıt edilmiştir.

ER 2209 kodlu TIG Teli ile birleştirilen numunenin (No.13) ultrasonik muayenesi sonucunda elde edilen ekran görüntüleri aşağıda Şekil 10' da örnek olarak verilmektedir.

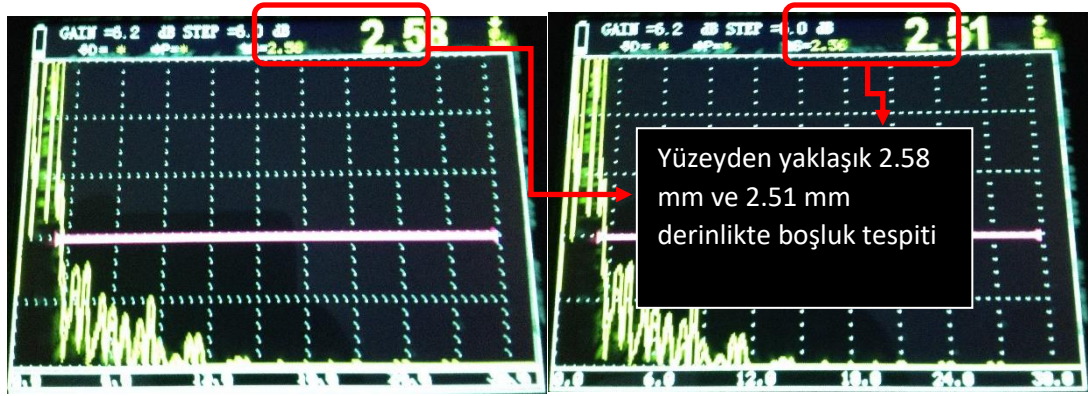


Şekil 10. ER 2209 TIG teli ile birleştirilen numunenin ultrasonografisi

Şekil 10'da yüzeyden yaklaşık 2.36 ve 2.43 mm derinlikte tespit edilen iki farklı hata görülmektedir. Radyografik muayenede tespit edilen ve Şekil 10' un üzerine de yerleştirilen hata bölgesinde ultrasonik muayene ile buna benzer bu bölgeden birçok farklı derinlikte hata bölgesi tespit edilmiştir. Bu bölge radyografide de tespit edilen hata bölgesidir.

ER 316 kodlu TIG Teli ile birleştirilen numunenin (No.14) ultrasonik muayenesi sonucunda elde edilen ekran görüntüleri aşağıda Şekil 11' de verilmektedir.





Şekil 11. ER 316 TIG teli ile birleştirilen numunenin ultrasonografisi

Şekil 11’ de görülen ultrasonografi görüntüsüne göre; malzemenin yüzeyinden itibaren yaklaşık olarak 2.51 mm ve 2.58 mm derinlikte yer alan kaynak bölgesi boşluğu örnek amaçlı verilmiştir.

ER 312 kodlu TIG Teli ile birleştirilen numunenin (No.15) ultrasonik muayenesi sonucunda elde edilen ekran görüntüleri aşağıda Şekil 12’ de verilmektedir.



Şekil 12. ER 312 TIG teli ile birleştirilen numunenin ultrasonografisi

Şekil 12’ de görüleceği üzere hata olmayan malzeme kalınlığının, metrolojik (kumpas v.b. ekipman ile) olarak yaklaşık 2.95 ile 2.99 mm aralığında ölçülen değeri ultrasonografi ile hem taşlanmış kaynak metalinden hem de ana malzemedan yaklaşık 2.95 mm ölçülmüştür. Bu değer ana malzeme kalınlığına çok yakından olduğundan kaynak bölgesinde yüzeyden itibaren hacimsel bir major ölçekte kayda değer kusur içermediğini ifade etmektedir. Bu hükmün hali hazırda radyografik muayene sonuçları ile uyum halinde olduğu anlaşılmaktadır.

Ultrasonik muayene cihazının tolerans değerleri, kalibrasyon doğruluğu ve ölçüm belirsizlikleri göz önüne alındığında bu durumun elle manuel olarak kumpasla ölçülen hem ana malzeme hem de kaynak metali malzeme kalınlık değerlerine oldukça yakın olduğu anlaşılmaktadır. Ultrasonik ve radyografik muayene hata tespit sonuçları Tablo 4’ de verilmektedir.

**Tablo 4.** Ultrasonik ve radyografik muayene hata tespit sonuçları

Numune No	Ultrasonik Muayene		Radyografik Muayene	
	Tespit edilen bağımsız süreksizliğin ortalama olarak yaklaşık		Tespit edilen bağımsız süreksizliğin ortalama olarak yaklaşık	
	Konum	Adet	Konum	Adet
13	Kaynak metali ile ısının tesiri altındaki bölgede, Yüzeyden derinliği 2.36-2.43 mm. arası değişen çeşitli hacimsel süreksizlikler.	8	Kaynak Metali ile ısının tesiri altındaki bölgede ancak derinliği ölçüsel olarak net bilinmiyor	12
14	Kaynak metali ile ısının tesiri altındaki bölgede, Yüzeyden derinliği 2.51-2.58 mm. arası değişen çeşitli hacimsel süreksizlikler.	8		5
15	Kaynak metali ile ısının tesiri altındaki bölgede, Yüzeyden derinliği 2.95 mm. tespit edilen kaynak metali ve ana malzeme kalınlığı,	Minör seviyede hatalar		Minör seviyede hatalar

Bununla birlikte, bilhassa ince parçaların ultrasonik muayene ile hacimsel hatalarının tespitinde, ultrasonik muayene operatörünü hata belirlemede zorlamakta olan çimlenme olarak adlandırılan ses dalgalarının parça geometrisine ve tane yapısına bağlı olarak saçılması olarak açıklanan bir problem ile sıklıkla karşılaşmaktadır. Bu çalışmada; Şekil 10-11 ve 12' de görüleceği üzere çimlenme sorunu (ses dalga piklerinin çok sayıda yakın tekrarlı yansımaları) ortaya çıkmıştır. Ancak, yine de son yıllarda üretilen ultrasonik muayene cihazlarında ince kesitli parçalarda ve nispeten tane yapısı kaba olan malzemelerde yüksek çimlenme olasılığına rağmen dijital ekranlı cihazlar hataların derinliğini ekranda kalibrasyon doğrultusunda mm olarak vermekte olduğundan kayda değer miktarda hata tespit problemi yaşanmamıştır.

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Deneyisel çalışmalar neticesinde elde edilen bulgular doğrultusunda; paslanmaz çeliklerin iki temel türleri olan östenitik ve dubleks paslanmaz çeliklerin TIG kaynağı sonrasında oluşabilecek muhtemel kaynak hatalarının tespiti, insan sağlığına risk oluşturan radyasyon ışıması ve yayınımları içeren radyografik muayene gibi ve ayrıca metalografik incelemeler gibi tahribatlı ve çok zaman harcayan yöntemlere göre daha pratik ve düşük maliyetli bir teknik olan ultrasonik muayene yönteminin hata tespit yeteneği ortaya koyulmaya çalışılmıştır.

Deneyisel çalışmalarda; ilave malzemenin kaynak edilebilirliğe ve bunun bir sonucu olarak kimyasal bileşimin kaynak bölgesi hatalarına olan etkilerinden hareketle inceleme amaçlı kusur oluşturabilmek amacıyla 3 farklı ilave malzeme (dolgu malzemesi) kullanılmıştır.

Birleştirilen numuneler, kaynak bölgelerinde meydana gelebilecek muhtemel çatlak boşluk gözenek ve benzeri kusurları tespit etmek amacıyla radyografik ve ultrasonik muayeneden geçirilmişlerdir.

ER2209 TIG ilave teli ile yapılan birleştirme işlemi sonucunda; ilave telin kimyasal kompozisyonunda yer alan temel alaşım elementleri incelendiğinde yüksek krom içeriğinin yanında molibden içeriğinin de yüksek olması zararlı krom ve molibden esaslı çökelti ve bileşiklerin oluşumunu desteklemiş olabileceğinden ve ayrıca mevcut azot içeriğinin çok gevrek çökelti olan nitrürlü bileşiklerin oluşumunu artırmasından dolayı kaynak bölgesindeki boşluk ve gözenek oranını artırmıştır. Ultrasonografi ve Radyografi görüntüsünde de bu durum desteklenmektedir.

ER316 TIG ilave telinin kimyasal kompozisyonu incelendiğinde krom ve molibden oranının ER2209 ilave teline göre nispeten daha düşük olduğu görülmektedir. ER 316 TIG teli kullanılan numunenin kaynak bölgesi çatlaklarının oransal olarak ER2209 TIG teline göre daha az olmasının nedeni yüksek olasılıkla daha düşük krom molibden içeriğinden dolayı daha az zararlı çökelti içeriğine sahip olduğu düşünülmektedir. ER 316 TIG teli ile birleştirilen numunenin radyografi ve ultrasonografi görüntüleri bu durumu desteklemektedir.

ER312 ilave telinin kimyasal kompozisyonu incelendiğinde ER2209 ve ER316 TIG teline göre en düşük molibden içeriğine ancak en yüksek krom içeriğine sahip olduğu görülmektedir. Kromun karbür yapıcı etkisinin yanında mukavemet artırma etkisi öne çıkmaktadır. Radyografi görüntüsünde ve ultrasonik muayenede en az nispete boşluk içeriğine sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Savunma sanayi, mutfak ekipmanları, gıda saklama ürünleri, depolar, köprüler gibi çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılan dubleks ve östenitik paslanmaz çeliklerin üstün korozyon dirençleri ve mukavemet değerleri bir arada olması gerektiği durumlarda bu farklı iki çelik gruplarının birleştirilmesinde kaynak yöntemleri sıklıkla uygulanmaktadır. Bu kaynaklı bağlantıların kaynak bölgelerinin içerebileceği muhtemel hataların kontrolünde kullanılan tahribatsız muayene yöntemlerinin seçiminde pratiklik ve ekonomi gibi unsurlar öne çıkmaktadır. Radyografik muayene; uygulama zorluğu, doğru pozlama sorunları ancak buna karşılık daha net sonuç verme yeteneği açısından öne çıkarken ultrasonik muayene ise sağlığa zararsız oluşu, ekonomiklik ve tatminkar sonuç verme açılarından öne çıkmaktadır.

DeneySEL çalışmalarda; kaynak bölgesi radyografisi ve ultrasonografisi incelenen numunelerin sonuçlarının birbirini desteklediği ve bu nedenle daha pratik ve ekonomik bir yöntem olan ultrasonik muayenenin bu tür kontrollerde tercih edilebileceği anlaşılmıştır.

Ultrasonik muayene cihazı ile metalik ve metalik olmayan malzemelerin gerek ham malzeme üretim aşamasında hiç kullanılmadan, gerekse kaynak ısıl işlem plastik şekillendirme gibi termo-mekanik işlemler sonrasında oluşabilecek muhtemel çatlak, boşluk, gözenek gibi temel hacimsel (iç-yapısal) hataların tahribatsız olarak pratik ve yeterli hassasiyet seviyelerinde tespiti mümkün olabilmektedir. Bu teknik, hali hazırda birçok endüstriyel uygulama alanlarında kullanıma sahiptir.

## **TEŞEKKÜR**

Yazarlar; Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine bu çalışmanın gerçekleşmesinde gereken cihazın alımında finansal destekleri için teşekkürlerini sunarlar. (KKU-BAP Proje Kodu:2016/068).

Yazarlar; ayrıca radyografik muayeneler için desteğini esirgemeyen Gazi Üniversitesi Kaynak Teknolojisi Araştırma ve Uygulama Merkezine ve çalışanlarına teşekkür ederler.

## **REFERANSLAR**

J. Lippold and D. Kotecki. (2005). *Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels*, Wiley Interscience Publications, New Jersey.

Gunn N. Robert. (2003). *Duplex Stainless Steels, Microstructures, Properties and Applications*, Abington Publishing, Cambridge, England.

Pierre R. Roberge. (2000). *Handbook of corrosion engineering, Materials Selection, Chapter 8*, McGrawhill Publications.

David N. Noble, (1993). *Microstructural Development in Duplex Stainless Steels*, ASM Handbook Volume 6. *Welding Brazing and Soldering*. ASM International, USA, p.1218,

ASM Handbook Volume 13-B. (1992). *Corrosion. Corrosion of Duplex stainless steel weldments*, ASM International, p.813,

ASTM E-562-11. (2011). *Standard Test Method for Determining Volume Fraction by Systematic Manual Point Count*.

ASTM E 1245-03. (Re-approved 2008). *Standard Practice for determining the Inclusion or Second Phase Constituent Content of Metals by Automatic Image Analysis*.

ASTM A 923-08 (2008). *Standart Test Methods for Detecting Detrimental Intermetallic Phase in Duplex Stainless Steels*, USA.

EN ISO 17655. (2003). Destructive tests on welds in metallic materials-method for taking samples for delta ferrite measurement. European Standard, Brussels.

EN ISO 8249. (2000). Welding-determination of ferrite number (FN) in austenitic and duplex ferritic-austenitic Cr-Ni stainless steel weld metals, European standard, Brussels.

ASM Handbook Vol 17. (1992). Non-Destructive Evaluation and Quality Control, ASM Committee on Ultrasonic Inspection, USA.