



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

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

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



# Basınçlı kap çeliklerin MAG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilmesi ve mekanik özelliklerinin araştırılması

## *Joining of pressure vessel steels using MAG welding method and investigation of mechanical properties*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Ferhat YALÇIN<sup>1</sup>, Mehmet Serkan YILDIRIM<sup>2</sup>, Yakup KAYA<sup>3</sup>

*ORCID<sup>1</sup>:* 0000-0001-8707-6750

*ORCID<sup>2</sup>:* 0000-0001-6133-6905

*ORCID<sup>3</sup>:* 0000-0002-9951-2844

**To cite to this article:** Yalçın F., Yıldırım M. S. ve Kaya Y., “Basınçlı kap çeliklerin MAG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilmesi ve mekanik özelliklerinin araştırılması”, *Journal of Polytechnic*, 27(5): 1889-1901, (2024).

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Yalçın F., Yıldırım M. S. ve Kaya Y., “Basınçlı kap çeliklerin MAG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilmesi ve mekanik özelliklerinin araştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 27(5): 1889-1901, (2024).

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

**DOI:** 10.2339/politeknik.1385257

# Basınçlı Kap Çeliklerin MAG Kaynak Yöntemi Kullanılarak Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması

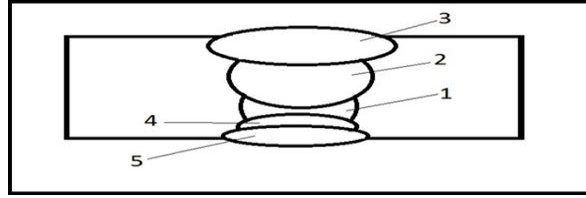
## Joining of Pressure Vessel Steels Using MAG Welding Method and Investigation of Mechanical Properties

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Basınçlı kap üretimi / Pressure vessel production
- ❖ Basınçlı kap üretiminde MAG kaynağı / MAG welding in pressure vessel production
- ❖ Kaynaklı basınçlı kap çeliklerinin mekanik özellikleri / Mechanical properties of welded pressure vessel steels

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

P265GH ve P355NH basınçlı kap çelikleri MAG kaynak yöntemi kullanılarak kendi aralarında ve birbirleri ile birleştirilmiştir. Kaynaklı numunelere tahribatsız ve mekanik testler uygulanmıştır. / P265GH and P355NH pressure vessel steels were combined with each other using the MAG welding method. Non-destructive and mechanical tests were applied to the welded samples.



Şekil. Kaynak pasolarının şematik görüntüsü / Figure. Schematic view of welding passes

### Amaç (Aim)

Basınçlı kap üretiminde kullanılan çeliklerin MAG kaynağı kullanılarak birleştirilmesi. / Joining of steels used in pressure vessel production using MAG welding.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Basınçlı kap çeliklerinin MAG kaynağı ile çok pasolu birleştirmeleri yapılmıştır. / Multi-pass joints of pressure vessel steels were made with MAG welding.

### Özgünlük (Originality)

P265GH ve P355NH çelikleri MAG kaynak yöntemi kullanılarak, kendi aralarında ve birbirleri ile MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş hem tahribatsız hem de tahribatlı testler uygulanmıştır. / P265GH and P355NH steels were combined with each other using the MAG welding method, and both non-destructive and destructive tests were applied.

### Bulgular (Findings)

Tahribatsız testler sonucunda tolerans dışı herhangi bir hataya rastlanmamıştır. Ayrıca mekanik testler kaynaklı bağlantıların güvenilirliğini doğrulamıştır. / As a result of non-destructive tests, there was no error out of tolerance. Additionally, mechanical tests confirmed the reliability of welded joints.

### Sonuç (Conclusion)

P265GH ve P355NH çeliklerinin belirlenen parametrelerle MAG kaynak yöntemi ile yapılan birleştirmelerinin basınçlı kap üretiminde kaynağa uygunluğu tespit edilmiştir. / It has been determined that the joints of P265GH and P355NH steels made with the MAG welding method with the determined parameters are suitable for welding in the production of pressure vessels.

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

# Basıncılı Kap Çeliklerin MAG Kaynak Yöntemi Kullanılarak Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Ferhat YALÇIN<sup>1</sup>, Mehmet Serkan YILDIRIM<sup>2\*</sup>, Yakup KAYA<sup>3</sup>**

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

<sup>2</sup> Teknik Bilimler MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

<sup>3</sup>Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Karabük Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 02.11.2023 ; Kabul/Accepted : 21.12.2023 ; Erken Görünüm/Early View : 10.01.2024)

## ÖZ

Bu çalışmada, çoğunlukla basınçlı kap üretiminde kullanılmakta olan P265GH ve P355NH çelikler MAG kaynağı uygulanarak birleştirilmiştir. Elde edilen birleştirmelerin kaynak bölgelerinde, gözle (VT), radyografik (RT) ve ultrasonik (UT) muayeneler ile optik mikroskop, mikrosertlik, çekme, çentik darbe ve eğme incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Gözle muayene uygulamalarında tolerans dışı herhangi bir hata oluşumu tespit edilememiştir. Ayrıca radyografik ve ultrasonik olarak yapılan incelemelerde kaynaklı numunelerde herhangi bir süreksizlik tespit edilmemiştir. Yapılan mikroyapı incelemelerinde ısı akış yönünde yönelen iri ve kolonsol yapıları kaynak metali tanelerinin oluşumu görülmüştür. Ayrıca yapılan mikrosertlik ölçümlerinde en yüksek sertlik değerinin elde edildiği yer kaynak metali olup onu sırasıyla ITAB ve ana malzeme takip etmiştir. Tüm çekme testlerinde boyun verme ve kopma ana malzemeden sünek olarak gerçekleşmiştir. Gerçekleştirilen çentik darbe testlerinde ITAB bölgesinin darbe tokluğu değerinin kaynak metaline göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Eğme testlerinde ise kaynaklı numunelerde gözle görülür bir hata tespit edilmemiştir.

**Anahtar Kelimeler:** P265GH, P355NH, MAG kaynağı.

## Joining of Pressure Vessel Steels Using MAG Welding Method and Investigation of Mechanical Properties

### ABSTRACT

In this study, P265GH and P355NH steels, which are mostly used in pressure vessel production, were joined by MAG welding. Visual (VT), radiographic (RT) and ultrasonic (UT) examinations, as well as optical microscope, microhardness, tensile, notch impact and bending examinations were carried out in the welding areas of the obtained joints. No errors out of tolerance were detected in visual inspection practices. In addition, no discontinuity was detected in the welded samples during radiographic and ultrasonic examinations. In the microstructural examinations, the formation of large and columnar-shaped weld metal grains oriented in the direction of heat flow was observed. In addition, in the microhardness measurements, the highest hardness value was obtained in the weld metal, followed by HAZ and the main material, respectively. In all tensile tests, ductile necking and rupture occurred from the main material. In the notch impact tests performed, it was determined that the impact toughness value of the HAZ region was higher than that of the weld metal. In bending tests, no visible defects were detected in the welded samples.

**Keywords:** P265GH, P355NH, MAG welding.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çelikler, endüstriyel ekipman üretiminde en çok kullanılan malzemelerin başında gelmektedir. Çelikler sahip oldukları alaşım elementleri ve mikroyapılarına bağlı olarak geniş bir özellik alanı elde edilebilir ve farklı alanlarda kullanılabilirler [1,2]. Bu alanlardan biri de basınçlı kap üretimleridir [3]. Endüstriyel üretimde gerekli olan sıvılaştırılmış, sıkıştırılmış ve basınç altında çözülmüş gazların nakliyesinde ve depolanmasında basınçlı kaplar kullanılmaktadır. Kaynak teknolojileri Birinci Dünya Savaşı'ndan bu yana basınçlı kaplar ve daha fazlasını üreten imalat endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [4]. Basınçlı kap imalatında, elektrik ark, gazaltı kaynak yöntemleri ve tozaltı ark kaynak

teknikleri yoğun olarak kullanılmaktadır [5]. MAG kaynağı hızlılığı, dikiş kalitesinin yüksek olması, seri kaynağı hızlılığı, dikiş kalitesinin yüksek olması, seri imalata daha uygun olması sebebiyle imalata daha uygun olması sebebiyle sıkça kullanılan bir yöntemdir [6]. Bu kapların imalatları belirli standartlara uygun olarak gerçekleştirilmektedir [7]. Standartlara uygun olmayan üretimlerden dolayı işyerlerinde hatırı sayılır sayıda çatlak ve hasarlı kap bulunduğu yapılan çalışmalarda bildirilmiştir. Çatlak ve hasarlı kaplar sızıntılar veya kopma arızaları oluşturabilir. Yırtılma arızaları çok daha yıkıcı olabilir ve ciddi can ve mal kaybına sebep olabilir [8]. Ancak kazaları önlemek amacıyla kaynaklı yapıların

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : msyildirim@gazi.edu.tr

standart gereklilikleri karşılaması için yeterli mekanik özellikleri sağlanması gerekir [4]. Kaynak işlemlerinin uygulanması ile temel mekanik özellikler üzerindeki etkinin tanımlanması gerekmektedir. Çekme, çentik darbe ve sertlik testleri genellikle gerçekleştirilen testlerin ayrılmaz bir parçasıdır [9].

Bu çalışmada; çoğunlukla basınçlı kap üretiminde kullanılmakta olan P265GH ve P355NH çelikler kendi aralarında ve birbirleri ile MAG kaynağı kullanılarak birleştirilmiştir. Elde edilen birleştirmelerin kaynak bölgeleri gözle (VT), radyografik (RT), ultrasonik (UT), optik mikroskop, mikrosertlik, çekme, çentik darbe ve eğme testleri uygulanarak incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

Kaynak işlemleri, 200x120x8 mm boyutlarında P355NH ve P265GH çelik levhalar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda kullanılan P355NH ve P265GH malzemelerin kimyasal içerikleri Çizelge 1’de, sahip oldukları mekanik özellikler ise Çizelge 2’de verilmiştir. Ayrıca işlemlerde kullanılan Lincoln LW71 1.2 mm kalınlığa sahip özlü ilave metale ait kimyasal içerik Çizelge 3’te mekanik özellikler ise Çizelge 4’ verilmiştir.

**Çizelge 1.** P355NH ve P265GH çeliklerinin kimyasal içerikleri (Chemical contents of P355NH and P265GH steels)

Malzeme	C	Mn	Si	Mo	Cr	P	S	Fe
P265GH	0.145	0.932	0.017	0.013	0.028	0.010	0.003	Kalan
P355NH	0.180	1.618	0.378	0.005	0.211	0.015	0.008	Kalan

**Çizelge 2.** P355NH ve P265GH çeliklerinin sahip oldukları mekanik özellikler (Mechanical properties of P355NH and P265GH steels)

	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
P265GH	308	428	32
P355NH	380	569	26

**Çizelge 3.** MAG kaynağında kullanılan ilave metale ait kimyasal içerik (Chemical content of the filler metal used in MAG welding)

	C	Mn	Si	P	S
LW71	0.06	1.29	0.37	0.02	0.01

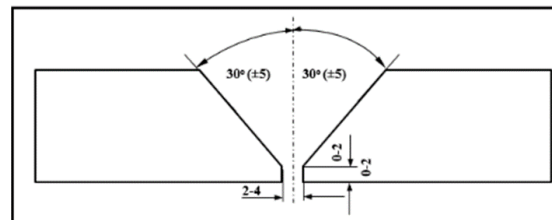
**Çizelge 4.** MAG kaynağında kullanılan ilave metalin sahip olduğu mekanik özellikler (Mechanical properties of the filler metal used in MAG welding)

	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
LW71	390-490	490-620	22-29

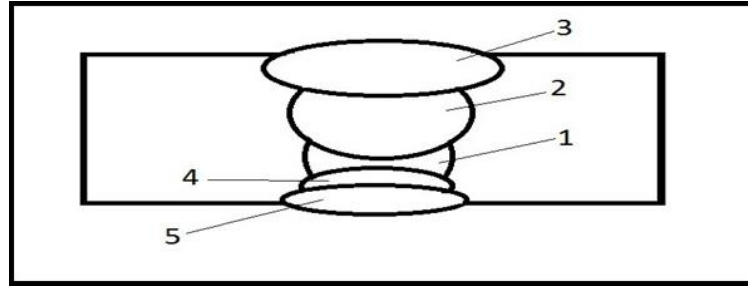
P355NH ve P265GH çelik levhalar birleştirme işleminden önce CNC freze kullanılarak 200x120 mm ebatlarında hazırlanmıştır. Hazırlanan parçalara EN ISO 15609-1 standardına göre Şekil 1’de gösterildiği gibi V kaynak ağızları açılmıştır.

Kaynak ağızı açma işleminden sonra hazırlanan parçalar aralarında en az 2 mm mesafe olacak şekilde puntalama yapılarak sabitlenmiştir. Sonrasında MAG kaynak yöntemi ile birleştirme aşamasına geçilmiş ve PA (yatay) pozisyonunda, 15 lt/dk debili CO<sub>2</sub> koruyucu gazı kullanılarak, Çizelge 5’te verilen kaynak parametreleri ile Şekil 2’de görüldüğü gibi 5 pasoda birleştirmeler

tamamlanmıştır. Pasolara arası geçişte 200 °C den yukarı çıkılmamasına dikkat edilmiştir.



**Şekil 1.** Açılan kaynak ağızlarının detayı (Detail of the opened welding holes)



Şekil 2. Kaynak pasolarının şematik görüntüsü (Schematic view of welding passes)

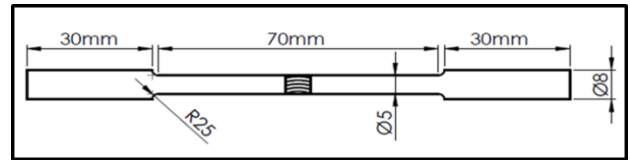
Çizelge 5. MAG kaynağının işlem parametreleri (Process parameters of MAG welding)

Paso	Akım (A)	Gerilim (V)	Akım türü	Kaynak hızı (cm/dk)	Isı girdisi (KJ/cm)
1	170-180	24.5-25	DC (+)	38	5.9- 6.3
2	200-210	25-25.5		39	6.9- 7.4
3				24	11.2- 12
4				36	7.5- 8
5				30	9- 9.6

Yapılan kaynak işlemleri sonrasında yüzeyde oluşabilecek hataların tespiti için yeterli aydınlatma altında uygun mesafe şartlarına uyularak gerekli malzemeler (kamera, ayna, fiberoskop, videoskop, vb.) kullanılarak gözle muayene işlemleri yapılmıştır. Kaynak işlemleri sonrasında kaynaklı bölgelerin yüzeylerinin ve iç kısımlarının kontrolü için yapılan radyografik muayene işlemleri TS EN ISO 5817 standardına uygun olarak Gamma-Ray Ir 192/30Ci markalı cihazla 10x16 Afga D5 marka filmlere basılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca yine kaynaklı bölgelerin yüzeylerinin ve iç kısımlarının kontrolü için yapılan radyografik muayene işlemleri Stescan 140-Sn:1401480C markalı cihazda Sa04-70 prob kullanılarak yapılmıştır. Radyografik ve ultrasonik muayene işlemleri TS EN ISO 17640 standardına göre gerçekleştirilmiş ve TS EN ISO 11666 standardına göre kabul edilerek rapor edilmiştir. Muayene ve raporlama işlemlerini NDT Level 2 belgesi bulunan bir uzman gerçekleştirmiştir.

Mikroyapı görüntülemeleri için numuneler kesilmiştir bu numuneler zımparalama ve parlatma işlemleri uygulandıktan sonra %2 Nital karışımında dağlanmış ve Nikon Epiphot 200 marka optik mikroskop kullanılarak mikroyapıları incelenmiştir. Mikrosertlik ölçümleri ana malzeme, kaynak metali ve ITAB'dan 3'er adet olacak şekilde Vickers yöntemi kullanılarak 500 gr yük altında Shimadzu marka cihaz kullanılarak yapılmıştır. Çekme testleri için 3'er adet Şekil 4'teki gibi hazırlanan numuneler TS EN ISO 4136 standartlarına uygun olarak 1 mm/dk çekme hızında 5 ton kapasiteye sahip Shimadzu markalı bir cihaz kullanılarak yapılmıştır. Çentik darbe testleri için 3'er adet numune kaynak metali ve ITAB'dan

olarak Şekil 4'te görüldüğü gibi 55x10x8 mm ebatlarında hazırlanmış ve çentik darbe testleri uygulanmıştır.



Şekil 3. Çekme test numunelerinin şematik resmi (Schematic picture of tensile test specimens)



Şekil 4. Çentik darbe testleri için hazırlanan numune örnekleri (Sample samples prepared for notch impact tests)

Eğme testlerinde kullanılacak numuneler TS EN ISO 5173 standartlarına uyularak Şekil 5'te verildiği gibi hazırlanmış ve tüm kaynaklı birleştirmeler için 3'er adet olacak şekilde eğme testleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5. Eğme test numunesi görseli (Bend test sample image)

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

#### 3.1. Gözle Test (VT) (Visual Test)

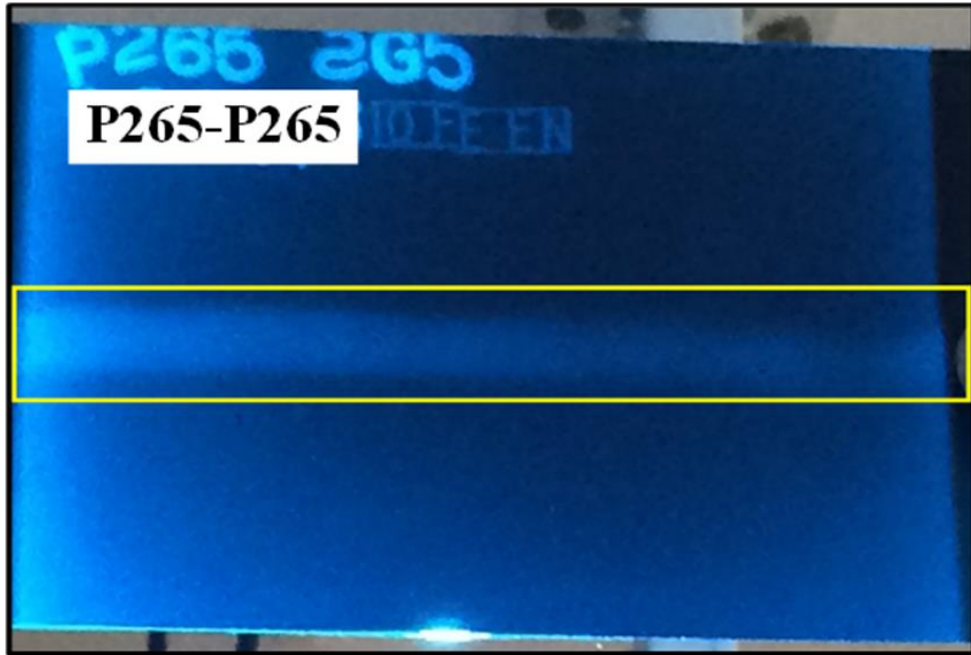
Gerekli sertifikasyona sahip uzman tarafından yapılan gözle kontrol işlemleri sonrasında uzman tarafından gerekli rapor hazırlanmıştır. Hazırlanan raporda kaynaklı numunelerin yüzey kısımlarında tolerans dışı herhangi bir hataya rastlanılmadığı belirtilmiştir.

Akay [10] yaptığı çalışmada çeşitli çelik malzemeleri toz altı ark kaynak yöntemi kullanarak birleştirmiş ve kaynak bölgelerinin kontrollerini sağlamıştır. Kaynak bölgelerinin gözle kontrolü sonrasında tolerans dışı bir hataya rastlanmadığı bildirilmiştir.

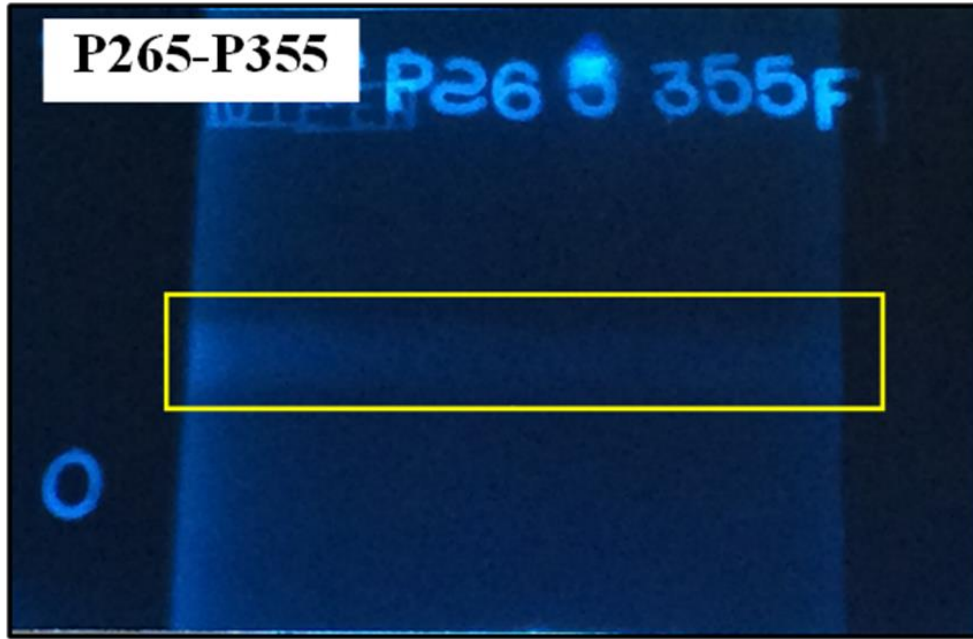
#### 3.2. Radyografik Test (RT) (Radiographic Testing)

MAG kaynak yöntemi kullanılarak P265GH ve P355NH malzemelerden üretilen kaynaklı numunelere gerekli sertifikasyona sahip bir uzaman tarafından gerçekleştirilen radyografik muayenelerin görüntüleri Şekil 6-8’de verilmiştir.

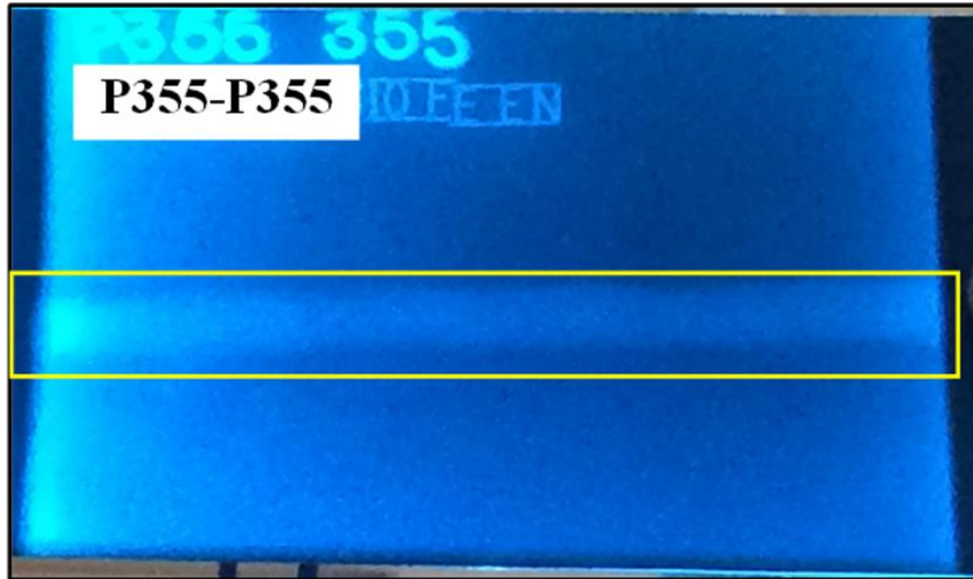
Yapılan radyografik görüntülemeler incelendiğinde, kaynak bölgesinde yüzey altında herhangi bir hataya rastlanmamıştır. Uzman raporunda MAG kaynak yöntemi ile üretilen numunelerin standartlara uyduğu bildirilmiştir.



Şekil 6. P265GH-P265GH kaynaklı numunelerine ait radyografik test görüntüsü (Radiographic test image of welded samples P265GH-P265GH)



Şekil 7. P265GH-P355NH kaynaklı numunelerine ait radyografik test görüntüsü (Radiographic test image of P265GH-P355NH welded samples)



Şekil 8. P355NH-P355NH kaynaklı numunelerine ait radyografik test görüntüsü (Radiographic test image of welded samples P355NH-P355NH)

Özkan [11] yapmış olduğu çalışmada kaynak uygulanmış yapı çeliklerine kaynak işlemi sonrasında uygulanan gerilim giderme işleminin etkilerini incelemiştir. Yapılan radyografik testler sonrasında numunelerde bir kaynak hatası olmadığını belirtmiştir. Atılğan [12] yapmış olduğu çalışmada tozaltı kaynak yöntemiyle farklı akım değerleri kullanarak depolama tankı üretiminde kullanılan ASTM A36 çelikleri birleştirmiş ve kaynak bölgesini incelemiştir. Yapılan radyografik testler sonucunda kaynak akım değerinin 450A ve 475A olduğu birleştirilmelerde kökte nüfuziyet eksikliği olduğunu belirtmiş, kaynak akım değerlerinin yükselmesi (500A,

525A ve 550A) ile yapılan işlemlerde üretilen numunelerde herhangi bir hata oluşumunun meydana gelmediğini tespit etmiştir.

### 3.3. Ultrasonik Test (UT) (Ultrasonic Testing)

MAG kaynağı kullanılarak P265GH ve P355NH malzemelerden üretilen kaynaklı parçalara gerekli sertifikasyona sahip bir uzaman tarafından gerçekleştirilen ultrasonik muayenelerin görüntüleri Şekil 9'da verilmiştir.

SURFACE CONDITION / YÜZEY DURUMU		WELDED / KAYNAKLI	CAST / DÖKÜM	HEAT TREATED / ISİTİLMİŞ	ROLLED / ROLLANMIŞ	COORDINATES		LOCATION OF DEFECT mm		TYPE OF DISCONTINUITY		RESULT	WALL THICKNESS mm	TOTAL LENGTH OF JOINT (mm)	
ITEM NO	WELD NO / KAYNAK NO	BORU ÇAPı	WELDER NO/KAYNAKCI NO	TEST RANGE mm	PROBE NO	ACOUSTIC COUPLING	SOUND LEVEL dB	MAX dB	LENGTH OF DEFECT mm	X	Y	Depth T	ACCEPTED	REJECTED	
1	P265-355	-	-	85	1	Oil	45	+5	-	-	-	-	√	-	8
2	P265-355	-	-	85	1	Oil	45	+5	-	-	-	-	√	-	8
3	P265-355	-	-	85	1	Oil	45	+5	-	-	-	-	√	-	8
WELD NO EXTENSIONS / KAYNAK UZUNLUĞU EKLERİ		A	POROSITY / GÖZENEK	B	SLAG INCLUSION / ÇORUP KALINTISI	C	LACK OF FUSION / KAYNAK SOĞANLIĞI	TOTAL RE		1 Ad					
TEST SPECIFICATION / TEST STANDARTI		TS EN ISO 17840		OPERATOR		CLIENT		THIRD PARTY REPRESENTATIVE							
ACCEPTANCE CRITERIA / KABUL KRİTERİ		TS EN ISO 11990		NAME / İMZA		NAME / İMZA		DATE / TARİH							

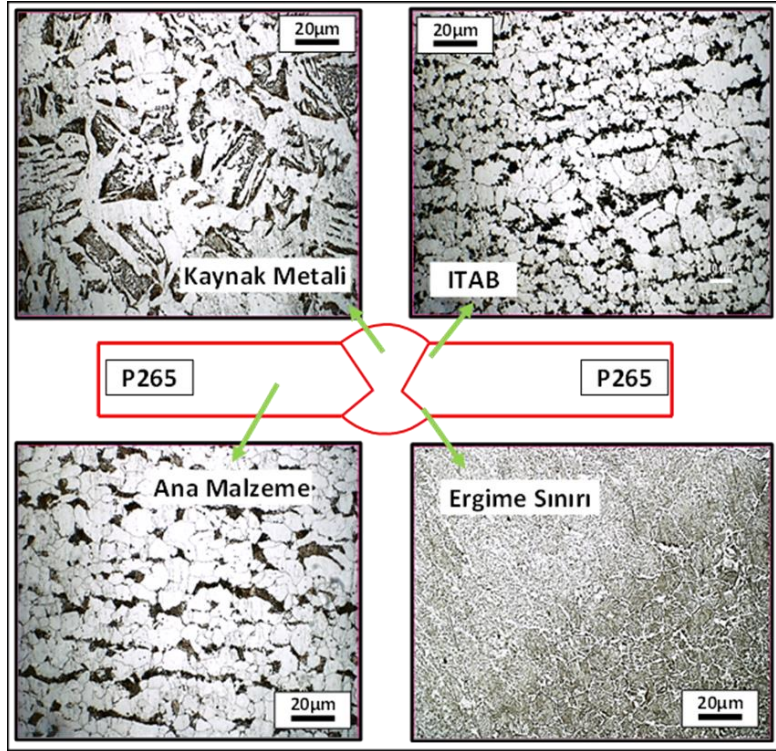
Şekil 9. P265GH ve P355NH malzemelerden üretilen kaynaklı numunelere ait ultrasonik test raporu (Ultrasonic test report of welded samples produced from P265GH and P355NH materials)

Yapılan ultrasonik muayeneler sonucunda hazırlanan uzman raporunda MAG kaynak yöntemi ile üretilen numunelerin uygun olduğu bildirilmiştir. Çolak [13] yapmış olduğu çalışmada düşük karbonlu çelikleri sualtı kaynağı kullanarak birleştirmiş ve kaynak bölgesinin kontrollerini sağlamıştır. Yapılan ultrasonik testler sonucunda numunelerde herhangi bir hata oluşumunun meydana gelmediği rapor edilmiştir.

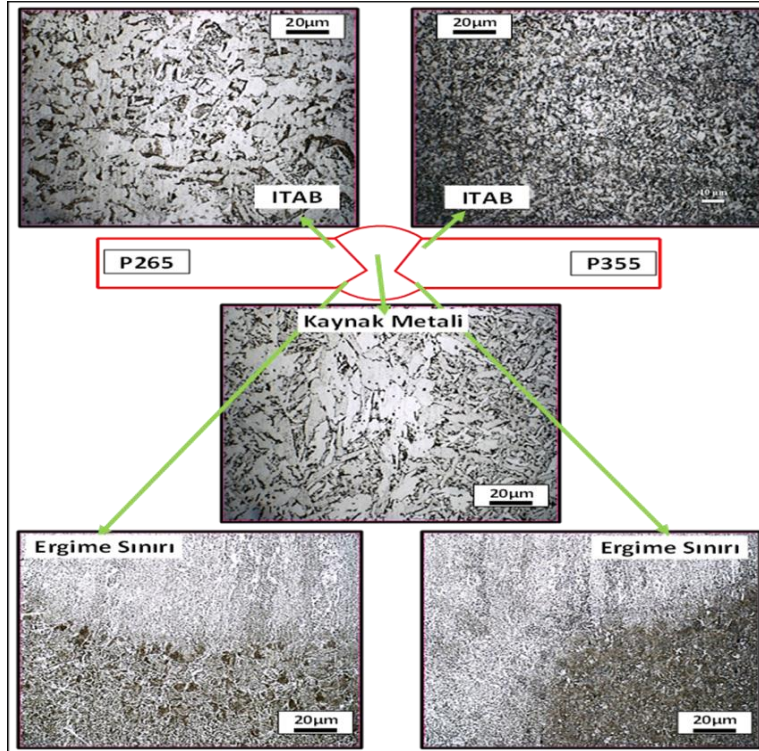
#### 3.4. Mikroyapı İncelemeleri (Microstructure Investigations)

MAG kaynak yöntemi kullanılarak P265GH ve P355NH malzemelerden üretilen kaynaklı numunelerin kaynak bölgelerine yapılan optik mikroskop görüntülemesi sonucunda elde edilen mikroyapı resimleri Şekil 10-12'de verilmiştir.

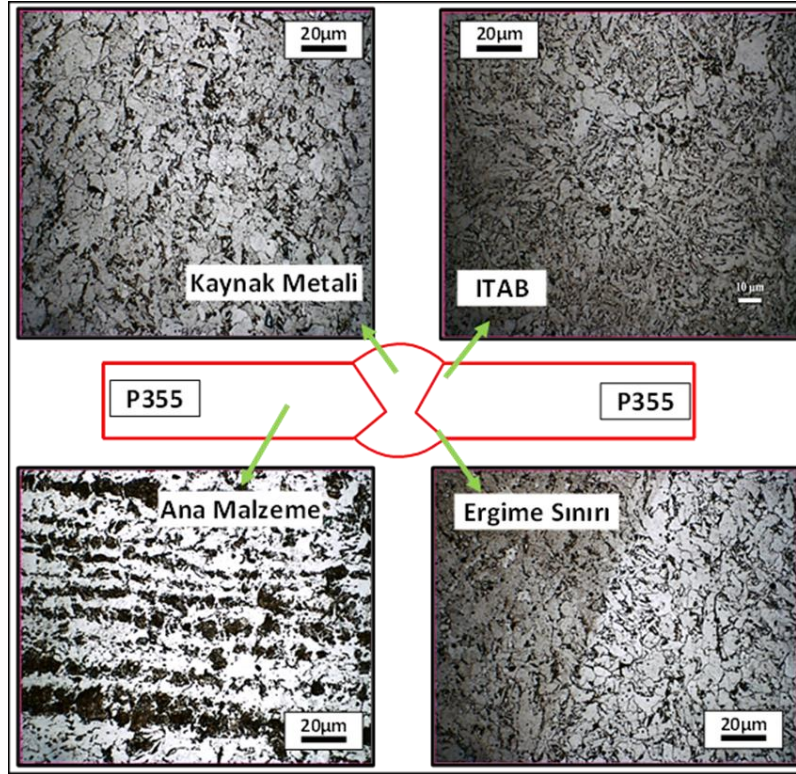




Şekil 10. P265GH-P265GH kaynaklı numunesine ait mikroyapı görüntüleri (Microstructure images of P265GH-P265GH welded sample)



Şekil 11. P265GH-P355NH kaynaklı numunesine ait mikroyapı görüntüleri (Microstructure images of the P265GH-P355NH welded sample)



Şekil 12. P355NH-P355NH kaynaklı numunesine ait mikroyapı görüntüleri (Microstructure images of the P355NH-P355NH welded sample)

P265GH-P355NH kaynaklı numunelerine ait mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, P265GH-P265GH birleştirmelere ait mikroyapı incelemelerine göre farklılıklar olduğu belirlenmiştir. P355NH bölgesinde oluşan ITAB'ın tanelerinin içinde çok daha fazla koyu renge sahip perlit tanelerinin olduğu açık renkli ferrit tanelerinin ise daha az olduğu görülmüştür. P265GH kısmındaki ergime sınırı bölgesinin P355NH ait ergime sınırı bölgesine kıyasla daha iri tanelere sahip olduğu tespit edilmiştir. Tane boyutlarındaki bu farkın, P355NH kimyasal içeriğindeki Cr oranının yüksek (%0,211) olması sebebiyle kaynak esnası ve sonrasında CrC(N) (krom karbür ve nitür) oluşma ihtimalinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Yılmaz vd. [14] krom nikelli paslanmaz çeliklerin kaynaklı birleştirilmesinde, ortaya çıkan en büyük problemlerden birisinin ITAB ve kaynak metalinde (427-871 °C sıcaklığı aralığında) tane sınırlarına çökelen krom karbür oluşumu gösterilmiştir. Taş [15] çökeltilerin tane sınırlarında, tane boyutu küçülmesi sağladığı ve tane sınırlarında yoğunluğu arttırarak, dislokasyon hareketini engellediği bunun ise çekme mukavemetinde artışa sebep olduğu bildirilmiştir.

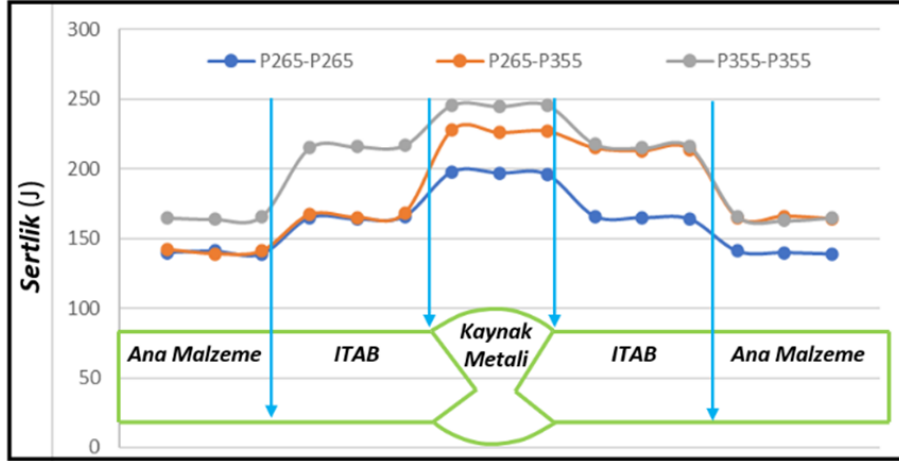
P355NH-P355NH kaynaklı numunelerine ait mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, P265GH-P265GH birleştirmelere ait mikroyapı incelemelerinden farklı olarak, ana malzemeye ait (P355NH) mikroyapının büyük çoğunluğunun koyu renkli perlit tarafından oluşturduğu açık renkli ferrit miktarının ise daha az olduğu ayrıca tane yönelmelerinde haddeleme yönünde

gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu tespitlerin yanı sıra üç farklı birleştirmenin mikroyapı incelemelerinde ITAB ve kaynak metalinin geçişinden oluşan ergime sınırının net bir şekilde görüldüğü, ana malzemeden kaynak metaline doğru ilerlenmesiyle birlikte tane yapısında irileşmenin olduğu ve kaynak metallere doğru yönelmiş olan dentritik kollara sahip iri tanelerden meydana geldiği belirlenmiştir.

Çayırhan [16] yapmış olduğu çalışmada basınçlı kap çeliği (P355GH) ile duplex paslanmaz çelik (AISI 2205) malzemeleri MAG kaynak yöntemini kullanarak birleştirmiştir. Yapılan mikroyapı çalışmaları sonucunda ana malzemenin (P355GH) haddeleme yönüne paralel uzadığı, yapının ince taneli ferrit ve perlitten oluştuğu ayrıca ergime sınırına yakın bölgelerde tanelerin irileştiğini belirtmiştir. Kaya [17] yapmış olduğu çalışmada yapı çeliği (S235JR) malzemeleri özlü tel kullanarak MAG kaynak yöntemiyle birleştirmiştir. Yapılan mikroyapı çalışmaları tüm numunelerde ana malzemeden kaynak metaline doğru ilerlendikçe tanelerde bir irileşme olduğunu bildirmiştir.

### 3.5. Sertlik Testi (Hardness Test)

MAG kaynak yöntemi kullanılarak P265GH ve P355NH malzemelerden üretilen kaynaklı numunelerin kaynak bölgelerine yapılan mikrosertlik ölçümleri sonucunda elde edilen grafik Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 13. Kaynaklı numunelere ait mikrosertlik ölçümlerinin sonuçlarının grafiği (Graph of the results of microhardness measurements of welded samples)

Şekil 13'te verilen sertlik grafiği incelendiğinde, P355NH-P355NH kaynaklı numunelerine ait sertlik değerleri ana malzeme ( $166\pm 5$  HV), ITAB ( $217\pm 5$  HV) ve kaynak metali ( $246\pm 5$  HV) olarak ölçülmüştür. P265GH-P265GH kaynaklı numunelerine ait sertlik değerleri ana malzeme ( $141\pm 5$  HV), ITAB ( $166\pm 5$  HV) ve kaynak metali ( $198\pm 5$  HV) olarak ölçülmüştür. P265GH-P355NH kaynaklı numunelerine ait sertlik değerleri ise kaynak metali ( $228\pm 5$  HV), P355NH ait ITAB'da ( $215\pm 5$  HV) iken P265GH ait ITAB'da ( $168\pm 5$  HV) olarak ölçülmüştür.

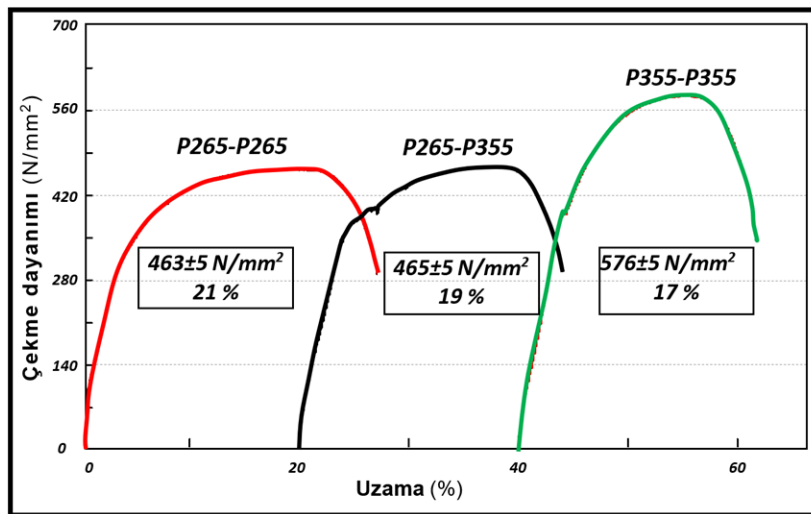
Gerçekleştirilen incelemeler sonucunda, yapılan tüm birleştirme işlemleri arasında en yüksek sertlik değerinin ( $246\pm 5$  HV) P355NH-P355NH numune çiftinin kaynak bölgesine ait olduğu onu da sırasıyla P355NH ITAB'ının ( $217\pm 5$  HV) ve P355NH ana malzemesinin ( $166\pm 5$  HV) takip ettiği görülmektedir.

P355NH çeliği yüksek Cr içermesi sebebiyle kaynak esnasında ve sonrasında CrC(N) (krom karbür ve nitrür) oluşma ihtimalinin sertlik değerlerinde artışa neden

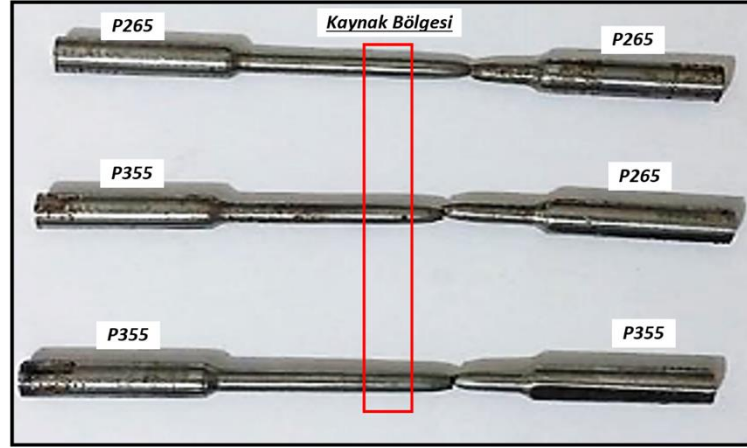
olduğu düşülmüştür. Yürük vd. [18] St-37 ve AISI 430 paslanmaz çeliği MIG kaynak yöntemi ile birleştirmiş ve AISI 430 paslanmaz çelik tarafı ITAB'ında krom karbür çökmesi sonucu sertliğin arttığını rapor etmiştir. Canlı vd. [5] yapmış oldukları çalışmada basınçlı kap çeliği malzemelerini (P355NL2-S355J2) toz altı kaynak yöntemi kullanarak birleştirmiş ve kaynaklı numunelere mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirmiştir. Yapılan incelemelerde en yüksek sertlik değerine kaynak metalinde ulaşılırken, ITAB ve ana malzeme sırasıyla onu takip ettiği bildirilmiştir.

### 3.6. Çekme Testi (Tensile Test)

MAG kaynak yöntemi kullanılarak P265GH ve P355NH malzemelerden üretilen kaynaklı numunelerine uygulanan çekme testleri sonucunda oluşan grafik Şekil 14'te, testler sonrası oluşan kopma görüntüleri ise Şekil 15'te verilmiştir.



Şekil 14. Kaynaklı numunelerin çekme testleri sonuçlarının oluşturduğu grafik (Graph created by the tensile test results of welded samples)



Şekil 15. Çekme testleri sonrasında oluşan kopmaların görüntüleri (Images of ruptures occurring after tensile tests.)

Şekil 14 ve 15'te yapılan incelemeler sonrasında, birleştirmelerin tamamında çekme numuneleri ana malzemeden boyun vermiş ve kopmalarda ana malzemelerde sünek olarak meydana gelmiştir. Çekme işlemi esnasında kaynak bölgelerinde herhangi bir hasar oluşmamıştır. En yüksek çekme dayanımı değeri ( $576 \pm 5$  N/mm<sup>2</sup> - %17) P355NH-P355NH kaynaklı numunesinde elde edilmiştir. Onu sırasıyla P265GH-P355NH ( $465 \pm 5$  N/mm<sup>2</sup> - %19) ve P265GH-P265GH ( $463 \pm 5$  N/mm<sup>2</sup> - %21) takip etmiştir. Kaynaklı numunelerin çekme dayanımı değerleri ile kaynak işlemi öncesindeki ana malzemelerin çekme dayanımı değerlerinin verildiği Çizelge 2 incelendiğinde (P265GH  $428$  N/mm<sup>2</sup> - %32 ve P355NH  $569$  N/mm<sup>2</sup> - %26) kaynaklı numunelerin çekme dayanımlarının değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir.

P355NH çeliklerinde CrC(N) (krom karbür ve nitrür) oluşma ihtimalinin mukavemet artışında etkisinin olduğu düşünülmektedir. Taş [19] düşük alaşımlı yüksek mukavemetli çeliklerde özelliklerin büyük oranda çökelti tarafından belirlendiği çökelti dislokasyon hareketini engellediği ve bununla sertlik ve mukavemet artışına sebep olduğu bildirilmiştir.

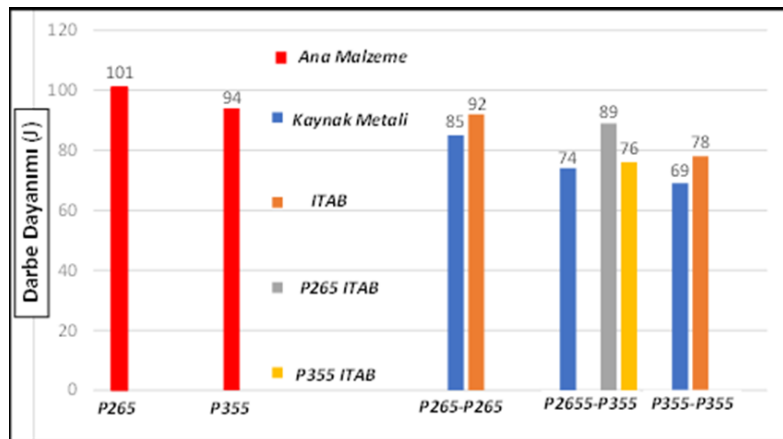
P265GH-P265GH ve P265GH-P355NH kaynaklı numunelerine ait çekme dayanımı sonuçları

incelendiğinde sonuçların birbirine yakın oldukları tespit edilmiştir. Bu durum iki birleştirmede kopmanın P265GH malzemeden gerçekleşmesi ile alakalı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca Çizelge 2'de verilen % uzama değerleri yapılan ölçümler sonrasındaki elde edilen sonuçlar arasındaki farkın kaynak bölgesinde meydana gelen sertlik artışından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Yıldırım ve Kaya [20] yapmış oldukları çalışmada MAG kaynak yöntemi ile farklı akım değerleri kullanarak yapı çeliklerini (S355JR) birleştirdikleri çalışmalarında ve Canlı vd. [5] ise basınçlı kap çeliği malzemeleri (P355NL2-S355J2) toz altı kaynak yöntemi kullanarak birleştirdikleri çalışmalarının sonucunda yaptıkları çekme testlerinde tüm kopmaların ana malzemelerde olduğunu bildirmişlerdir.

### 3.7. Çentik Darbe Testi (Notch Impact Test)

MAG kaynak yöntemi kullanılarak P265GH ve P355NH malzemelerden üretilen kaynaklı numunelerine uygulanan çentik darbe testlerine ait sonuçlar Şekil 16'da verilmiştir. Çentik darbe testleri oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 16. Kaynaklı numunelere ait darbe tokluğu değerleri (Impact toughness values of welded samples)

Ana malzemelere yapılan testlerde ana malzemelerin darbe tokluğu değerleri P265GH için 101 J, P355NH için ise 94 J olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre malzemelerin tokluk değerlerinin katalog değerlere göre daha az olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebi standart çentik darbe numunesinin boyutu 55x10x10 mm iken çalışmada 55x10x8 mm ölçülerine sahip bir numunenin kullanılmasıdır.

P265GH-P265GH kaynaklı numunesine ait darbe tokluğu değerleri kaynak metali ve ITAB'dan ölçülmüş ve değerler sırasıyla 85 J, 92 J olarak belirlenmiştir. P265GH-P355NH kaynaklı numunesine ait darbe tokluğu değerleri kaynak metali ve ITAB'dan ölçülmüş ve değerler sırasıyla 69 J, 78 J olarak belirlenmiştir.

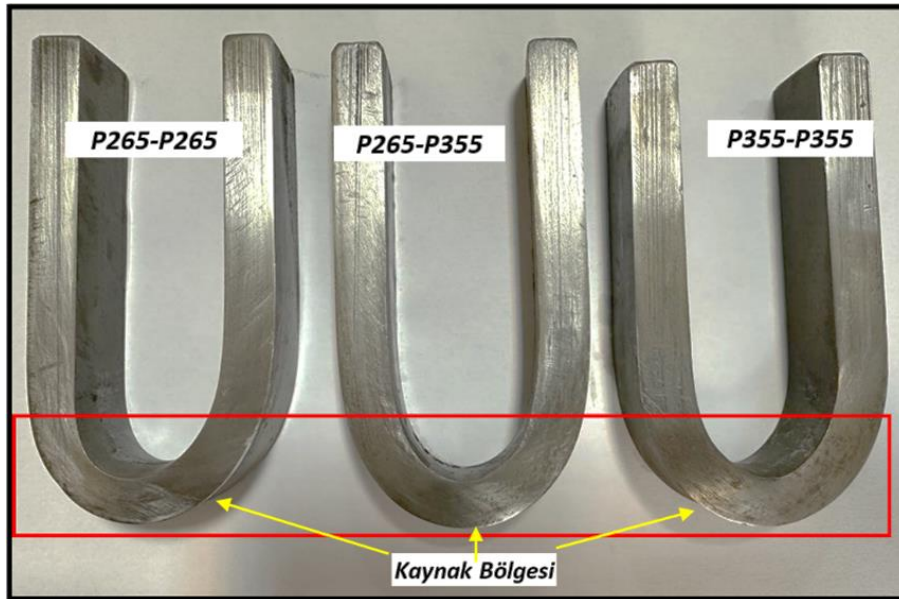
P265GH-P355NH kaynaklı numunesinde ise kaynak metali, P265GH ait ITAB ve P355NH ait ITAB'dan ölçülmüş ve değerler sırasıyla 74 J, 89 J, 76 J olarak belirlenmiştir. Kaynaklı numunelere yapılan çentik darbe testleri sonuçları incelendiğinde P265GH-P265GH kaynaklı numunesinin ITAB'I (92 J) en yüksek darbe tokluğu değeri olarak ölçülmüştür. P355NH-P355NH kaynaklı numunesinin ise kaynak metalinden yapılan ölçümlerde en düşük darbe tokluğu değeri olan (69 J) ölçülmüştür.

Çıkan sonuçlar değerlendirildiğinde ITAB'ların darbe tokluğu değerlerinin kaynak metallere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Şekil 13'te verilen sertlik değerleri ile darbe tokluğu değerleri kıyaslandığında ikisi arasında ters bir orantı olduğu artan sertlik değerleriyle birlikte darbe tokluğu değerlerinde bir azalma meydana geldiği tespit edilmiştir.

Canlı vd. [5] yapmış olduğu çalışmada basınçlı kap çeliği malzemeleri (P355NL2-S355J2) toz altı kaynak yöntemi kullanarak birleştirmiş ve kaynaklı numunelere çentik darbe testleri uygulamıştır. Yapılan incelemelerde ITAB'ın darbe tokluğu değerinin kaynak metali darbe tokluğu değerinden daha yüksek olduğu bildirilmiştir.

### 3.8. Eğme Testi (Bending Test)

MAG kaynağı kullanılarak P265GH ve P355NH malzemelerden üretilen kaynaklı numuneler tek taraflı olacak şekilde 180° eğme testlerine tabi tutulmuştur. Yapılan testler sonrasında numune görüntüleri Şekil 17'de verilmiştir.



Şekil 17. Eğme testleri sonrasında elde edilen numunelerin görüntüleri (Images of samples obtained after bending tests)

180° eğme testleri sonrasında elde edilen numunelerin görüntüleri incelendiğinde, tüm kaynaklı birleştirmelerin kaynak bölgelerinde gözle görülebilen herhangi bir hata tespit edilememiştir. Bu sonuç üretilen kaynaklı numunelerin eğilmeye maruz kalacağı şartlarda dahi kaynak bölgesinde herhangi bir hata olmadan kullanılabileceğini göstermektedir.

Kaya ve Canlı [21] yapmış oldukları çalışmada basınçlı kap çeliği malzemelerini (P355NL2-P460) toz altı kaynak yöntemi ile birleştirmeler. Yapılan kaynaklı birleştirmelere eğme testleri uygulamış ve eğme testleri

sonucunda hiçbir kaynaklı numunede hata tespit edilemediğini belirtmişler.

### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

- Yapılan gözle muayene uygulamalarında tolerans dışı herhangi bir hataya rastlanmamış, ayrıca radyografik ve ultrasonik olarak yapılan incelemelerde de kaynaklı numunelerde herhangi bir süreksizlik tespit edilmemiştir.
- Yapılan mikroyapı incelemelerinde kaynak metalinin tanelerinin ısı akışı yönünde

yönlendiği, ayrıca iri ve kolonsal yapıya sahip olduğu belirlenmiştir. P265GH ana malzemeye kıyasla P265GH üzerindeki ITAB'ın ergime bölgesine sınır kısımlarında tanelerde kabalaşma meydana geldiği ve ITAB'ın ana malzemeye yakın olan kısımlarında ise tanelerde inceleme oluştuğu belirlenmiştir.

- Yapılan tüm birleştirme işlemlerinde sertlik değerinin en yüksek olduğu yerin kaynak metali olduğu tespit edilmiştir. Onu sırasıyla ITAB ve ana malzeme izlemiştir.
- Yapılan tüm çekme testlerinde boyun vermeler ana malzemelerden gerçekleşmiş kopmalarda sünek olarak yine ana malzemede meydana gelmiştir. Çekme işlemleri sırasında kaynak bölgelerinde herhangi bir hata oluşmamıştır.
- Yapılan 180° eğme testleri sonrasında kaynaklı bölgelerin hiçbirinde herhangi bir hata tespit edilememiştir.
- Çentik darbe testleri sonrasında ITAB ve kaynak metali darbe tokluğu açısından kıyaslandığında ITAB'ın darbe tokluğu değerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

#### ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

#### YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Ferhat YALÇIN:** Deneyleri yapmıştır.

**Mehmet Serkan YILDIRIM:** Sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

**Yakup KAYA:** Sonuçlarını analiz etmiştir

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Widen H., Toussaint P., Courdreuse L., "Past, present and future of weldablesupermartensitic alloys Supermartensitic Stainl Steel", *KCI Publishing*, 1, Brussels, Belgium, (2002).
- [2] Zaharia G.M., Stanciu S., Cimpoesu R., Ionita I., Cimpoesu N., "Preliminary results on effect of H<sub>2</sub>S on P265GH commercial material for natural gases and petroleum transportation", *Applied Surface Science*, 438 : 20-32, (2018).
- [3] Canlı, A. "Östenitik paslanmaz çelik ve IF çeliğinin nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirilebilirliğinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2017).

- [4] Capek J., Trojan K., Kec J., Cerný I., Ganev N., Nemecek S., "On the Weldability of Thick P355NL1 Pressure Vessel Steel Plates Using Laser Welding", *Materials*, 14 (1): 131, (2021).
- [5] Canlı, A., Yıldırım, M. S., Kaya, Y., "Tozaltı ark kaynak yöntemiyle S355J2-P460 basınçlı kap çeliklerinin birleştirilebilirliğinin araştırılması" *2nd International Turkish World Engineering and Science Congress*, November 7-10 Antalya-Türkiye, 809-816, (2019).
- [6] Harman M., Ada H. ve Çetinkaya C., "QStE 420 TM çeliğinin MAG kaynak yöntemiyle kaynaklanmasında dolgu metali türünün metalürjik ve mekanik özelliklere etkisinin belirlenmesi", *Politeknik Dergisi*, 23 (2) : 321-332, (2020).
- [7] Sayılğan, U., Basınçlı Kapların Tanımı, Tasarımı, Standartları, *Türk Loydu Vakfı*, İstanbul, 1-98, (1993).
- [8] Ennaceur C., Laksimi A., Herve C., Cherfaoui M., "Monitoring crack growth in pressure vessel steels by the acoustic emission technique and the method of potential difference" *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 83:197-204, (2006).
- [9] Grünenwald S., Seefeld, T., Vollertsen, F., Kocak, M., "Solutions for joining pipe steels using laser-GMA-hybrid welding processes", *Physics Procedia*, 5 : 77-87, (2010).
- [10] Akay, A. A., "Farklı özellikteki malzemelerin tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ve birleştirmelerin tahribatlı ve tahribatsız muayenesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2012).
- [11] Özkan, E., "Kaynak sonrası S355J2N yapı çeliğinde oluşan gerilmeleri gidermek için uygulanan ısı işleminin etkilerinin tahribatlı-tahribatsız muayene yöntemleriyle belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2019).
- [12] Atılğan, Y., "Depolama tankı imalatında tozaltı ark kaynağı uygulaması ve kaynak bölgesinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2022).
- [13] Çolak, Z., "Su altı kaynak yöntemi ile birleştirilen düşük karbonlu çelik malzemelerin tahribatlı ve tahribatsız muayenesi" Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2018).
- [14] Yılmaz, N. F., Kurt, H. İ., Oduncuoğlu, M., Çakır, M. V., "Ahtlık tipinin östenitik çeliklerde krom karbür çökmesi üzerine etkisinin araştırılması", *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4 (3): 341-348, (2017).
- [15] Taş, Z., "Nb-V alaşımlı boru çeliklerinde mikroyapı-mekanik özellikler ilişkisi", *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22 (1-2): 152-160, (2006).
- [16] Çayırhan, G., "Dubleks paslanmaz çelik (2205) ve basınçlı kap (P355NHGH) çeliğinin robotik MAG kaynak yöntemi ile birleştirilebilirliğinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2019).
- [17] Kaya, Y., "S235JR ile S355JR yapı çeliklerinin özlü tel elektrotla MAG kaynak yöntemiyle birleştirilebilirliğinin araştırılması" *Politeknik Dergisi*, 21(3): 597-602, (2018).
- [18] Yürük, A., Bozkurt, B., Kahraman, N., "S235JR karbon çeliği ile AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin MIG kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliğinin incelenmesi", *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21 (2): 90-97, (2017).

- [19] Taş, Z., “Yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çeliklerde metalurjik mukavemet artırma mekanizmaları”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28 (2): 97-101, (2012).
- [20] Yıldırım, M. S., Kaya, Y., “Yapı çeliklerinin MAG kaynağı ile birleştirilmesinde kaynak akımının etkisi” *III. Uluslararası Avrasya Multidisipliner Çalışmalar Kongresi Uygulamalı Bilimler Kitabı*, 4-7 Nisan Gaziantep-Türkiye, 406-411, (2019).
- [21] Kaya, Y., Canlı, A., “Tozaltı ark kaynak yöntemiyle birleştirilen basınçlı kap çeliklerinin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi” *IV. International Symposium on Multidisciplinary Studies (ISMS)*, Paris/France 27-28 Nisan, 67-78, (2018).