



MAG Kaynak Tekniği ile Birleştirilen S235JR ve S355JR Çeliklerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Investigation of Mechanical Properties of S235JR and S355JR Steels Joined with MAG Welding Technique

Halil Gültoptayan¹ , Mehmet Serkan Yıldırım^{2*} , Yakup Kaya³

^{1,3}Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Ankara, Türkiye

Öz

Yapılan çalışmada, güç trafoları kazan imalatında kullanılmakta olan S235JR ve S355JR yapı çelikleri metal aktif gaz (MAG) kaynak tekniği kullanılarak birleştirilmiştir. Elde edilen kaynaklı birleştirmelere, mikrosertlik, çentik darbe ve eğme incelemeleri yapılmıştır. Yapılan mikrosertlik ölçümlerinde, yapılan tüm birleştirmeler içinde en yüksek sertlik değeri (245±5 HV), 3 numaralı kaynak akım değeri kullanılarak birleştirilen S355-S355 malzeme çiftinin kaynak metalinde ölçülmüştür. Ayrıca mikrosertlik ölçümlerinde en yüksek kaynak akımının kullanıldığı birleştirmelerde çok fazla fark olmasa da diğer akımlara göre sertlik değerlerinde bir miktar artış olduğu belirlenmiştir. Tüm birleştirmelerde en yüksek sertlik değerleri kaynak metallerinde ölçülmüş onu sırasıyla ısı tesiri altında kalan bölgeler (ITAB) ve ana malzemeler takip etmiştir. Yapılan çentik darbe testleri sonucunda, tüm birleştirmeler içinde en yüksek darbe tokluğu S235-S235 kaynaklı malzeme çiftlerinden, 1 numaralı kaynak akım değeri kullanılarak birleştirilen numunenin kaynak metalinde (81 J) ve ITAB'de (103 J) olarak ölçülmüştür. Çentik darbe test sonuçları ITAB'ların darbe tokluk değerlerinin kaynak metallerine göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Ayrıca deneysel çalışmalar sonucunda sertlik değerlerindeki artışların darbe tokluğu değerlerinde azalma meydana getirdiği tespit edilmiştir. Son olarak yapılan eğme testleri sonucunda kaynaklı numunelerin tamamında herhangi bir hata oluşmadığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: MAG kaynağı, S235JR, S355JR

Abstract

In the study, S235JR and S355JR structural steels used in the manufacture of power transformers and boilers were joined by Metal Active Gas (MAG) welding. Microhardness, notch impact and bend tests were carried out on the resulting welds. In the microhardness measurements, the highest hardness value (245±5 HV) of all the joints made was measured in the weld metal of the S355-S355 material pair joined using welding current value number 3. The microhardness measurements showed that although there was not much difference in the joints where the highest welding current was used, there was a slight increase in hardness values compared to other currents. In addition, the highest hardness values in all joints were measured in the weld metals, followed by the heat affected zone (HAZ) and the base materials. As a result of the notch impact tests, the highest impact toughness of all joints was measured as (81 J) in the weld metal and (103 J) in the HAZ of the sample joined using welding current value number 1 from the S235-S235 welded material pairs. The notch impact test results showed that the impact toughness values of the HAZs were higher than those of the weld metals. In addition, because of the experimental studies, it was found that as the hardness values increased, the impact toughness values decreased. Finally, because of the bending tests, it was found that there were no defects in any of the welded specimens.

Keywords: MAG welding, S235JR, S355JR

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: msyildirim@gazi.edu.tr

Halil Gültoptayan orcid.org/0009-0002-5961-2725

Mehmet Serkan Yıldırım orcid.org/0000-0001-6133-6905

Yakup Kaya orcid.org/0000-0002-9951-2844



1. Giriş

S235 ve S355 çelikleri, EN 10025'de tanımlanan kimyasal bileşime ve mekanik özelliklere sahip, düşük alaşımlı yapısal çeliklerdir (Uzun vd. 2014, Canlı vd. 2019a, İrsel 2022, Konat ve Białobrzaska 2022). S235JR çeliği içeriğinde karbon elementinin yanı sıra alaşım elementi olarak manganez içermektedir. Mukavemet değerleri olarak minimum 235 MPa akma dayanımına sahiptir (Pamuk ve Durgutlu 2018). İçeriğindeki karbon miktarının nispeten düşük olmasından dolayı kaynaklanabilirlik açısından kullanışlı bir malzemedir. Bu sebeple tarım makineleri, basınçlı kap, inşaat ekipmanları, endüstriyel borular ve denizcilik sektöründe yapılan imalatlarda yoğun olarak kullanılmaktadır. (Kaya 2018, Krella vd. 2020, İrsel 2022). S355JR çeliği, belirli miktarda manganez içerir ve minimum 355 MPa akma dayanımına sahiptir. S355JR çeliği de S235JR gibi iyi kaynaklanabilirlik özelliğine sahiptir. S355JR çelikleri, köprü ve gemi inşasında ayrıca endüstriyel ekipman imalatında sıklıkla tercih edilmektedir (Lazić vd. 2018, Xiangming ve Erfu 2020).

Kaynak uygulamaları modern teknolojik üretim hatlarının önemli bir parçasıdır (Milosevic vd. 2018). Kaynaklı yapılar hemen hemen tüm endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. MIG/MAG, TIG, lazer ve tozaltı Ark kaynak yöntemleri endüstride en çok tercih edilen yöntemlerdir (Wahab 2014, Canlı vd. 2019b, Wang vd. 2020). Düşük ve orta karbonlu çelik malzemelerin kullanıldığı endüstriyel uygulamalarda çoğunlukla gaz korumalı kaynak yöntemleri tercih edilmektedir (Wahab 2014, Apay 2020). MAG kaynağı bu gaz korumalı kaynak yöntemlerinden biridir (Altinkök 2017).

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte, yüksek mukavemetli çelik malzemelere olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Bu nedenle, endüstriyel çalışmalarda çeliklerin farklı malzemelerle birleştirerek kalitesinin artırılması çok yaygındır. Bu tür birleştirme işlemlerinde MAG kaynak yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır. (İrsel 2022) Özellikle S235 ve S355 çeliklerinin geniş bir uygulama alanı olmasına rağmen, farklı birleştirmelerin özelliklerini araştırmaya yönelik çalışmalar devam etmektedir (Kaya 2018, Elmas vd. 2024). Bu çalışmalarda kaynak işlemlerinin düzgün ve doğru bir şekilde yapılması, uygun kaynak işleminin, işlem parametrelerinin, metal özelliklerinin ve çalışma koşullarının seçilmesine bağlı olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle, birçok araştırma kaynak işleminin parametrelerini kontrol ederek kaynaklı parçaların mekanik özelliklerini iyileştirmeye odaklanmaktadır (İrsel 2022). Mevcut çalışma, güç trafoları kazan imalatı yapan endüstriyel firmaları tarafından kullanılan mev-

cut MAG kaynak işlemi parametreleri kullanılarak üretilen S235 ve S355 yapı çeliklerinin kaynak dikişlerinin mekanik özelliklerini araştırmayı amaçlamaktadır. Böylece firmaların yapmış oldukları kaynak bağlantılarının mekanik özelliklerinin kıyaslanması amaçlanmıştır. Kaynaklı bağlantılardan hazırlanan numunelere mikrosertlik, çentik darbe ve eğme testleri uygulanmıştır.

2. Gereç ve Yöntem

2.1. Malzeme

Deneyisel çalışmalarda 500x1250x10 mm boyutlarına sahip S235JR ve S355J2 malzemeler, S235-S235, S355-S355 ve S235-S355 şeklinde gruplandırılarak 3 farklı amper değerinde Fronius TPS 500'i marka MIG-MAG kaynak makinesi kullanılarak MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Kaynak işlemlerinde 1.2 mm kalınlığa sahip EN 10204-3.1 ESAB özlü ilave tel kullanılmıştır. S235JR, S355J2 ve EN 10204-3.1 ESAB özlü ilave tel malzemelere ait kimyasal içerikler Çizelge 1'de, Çizelge 2'de ise mekanik özellikler verilmiştir. Deneyisel çalışmalarda koruyucu gaz olarak %8 CO₂ + %92 Ar kullanılmıştır. Gaz debisi 15 lt/dk olarak belirlenmiştir. Literatürde Kargın (2022), S460MC yapı çeliklerinin MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmesini konu alan çalışmasında aynı gaz karışımını kullanmış ve mekanik özellikleri iyi olan kaynak dikişleri elde ettiğini belirtmiştir. Belirlenen malzemeler ve kaynak parametreleri firmaların güç trafoları kazan imalatı üretiminde kullanılmaktadır.

2.2. Deney Tasarımı

Kaynak işlemi için malzemeler TS EN ISO 9692-1 standardına göre çift taraflı V kaynak ağızları açılarak hazırlanmıştır. Kaynak ağızı açılan malzemeler aralarında 2mm boşluk bırakılarak sabitlenmiştir. Kaynak işlemleri yatay ve oluk pozisyonunda (PA) ve 4 pasoda yapılmıştır. Şekil 1'de kaynak pasolarına ait sıralama görülmektedir. Şekil 2'de kaynaklı numunelere ait bir örnek verilmiştir. Kullanılan kaynak parametreleri ve oluşturdukları ısı girdileri 1 numaralı kaynak akım değerleri için Çizelge 3'te, 2 numaralı kaynak akım değerleri için Çizelge 4'te ve 3 numaralı kaynak akım değerleri için ise Çizelge 5'de verilmiştir. Isı girdileri Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Isı girdisi (J/mm)} = \frac{\text{Akım (A)} \times \text{Gerilim (V)} \times 0.8}{\text{Kaynak hızı (mm/dak)} \times 1000} \quad (1)$$

2.3. Mekanik Testler

Şekil 2'de mekanik testlerde kullanılan numunelerin kaynaklı parçalarda çıkartıldığı bölümler gösterilmiştir. Mik-

Çizelge 1. Deneylerde kullanılan çelik malzemelerin ve özlü telin kimyasal içerikleri.

Malzeme (% _{max})	C	Mn	P	S	Si	Cu	N	Mo	Cr	Ni	Fe
<i>S235JR</i>	0.17	1.40	0.035	0.035	0.40	0.55	0.012	-	-	-	Kalan
<i>S355J2</i>	0.24	1.60	0.035	0.035	0.55	0.55	0.012	-	-	-	Kalan
<i>EN ISO 14341-A: G</i>	0.08	1.47	0.014	0.013	0.87	0.04	-	0.01	0.02	0.02	Kalan

Çizelge 2. Deneylerde kullanılan çelik malzemelerin ve özlü telin mekanik özellikleri.

	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)
<i>S235JR</i>	235	360-510	24
<i>S355J2</i>	355	470-630	20
<i>3Si1-ESAB</i>	470	560-600	26

Çizelge 3. 1 numaralı akım değerinde kullanılan parametreler.

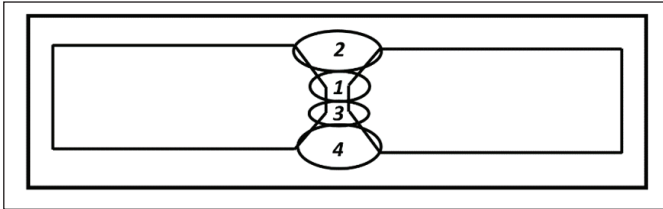
Paso	Akım (A)	Gerilim (V)	Akım türü	Tel besleme hızı (mm/dk)	Hız (mm/sn)	Isı girdisi (KJ/mm)
1	150-170	16-17	DC (+)	4.1	120	0.017
2	220-240	23-24		8.8	70	0.050
3	150-170	16-17		4	120	0.020
4	220-240	23-24		7.3	80	0.050

Çizelge 4. 2 numaralı akım değerinde kullanılan parametreler.

Paso	Akım (A)	Gerilim (V)	Akım türü	Tel besleme hızı (mm/dk)	Hız (mm/sn)	Isı girdisi (KJ/mm)
1	170-190	16-17	DC (+)	4.8	110	0.020
2	270-290	23-24		8.8	70	0.070
3	170-190	16-17		4.8	110	0.020
4	270-290	23-24		8.8	70	0.070

Çizelge 5. 3 numaralı akım değerinde kullanılan parametreler.

Paso	Akım (A)	Gerilim (V)	Akım türü	Tel besleme hızı (mm/dk)	Hız (mm/sn)	Isı girdisi (KJ/mm)
1	180-200	18-19	DC (+)	5.2	80	0.035
2	340-360	27-29		12.2	55	0.140
3	180-200	18-19		5.2	80	0.035
4	330-350	27-29		12.5	55	0.140

**Şekil 1.** Kaynak pasoları düzenlemesi şematik görüntüsü.

rosertlik ölçümleri Shimadzu HMV marka test cihazı kullanılarak vickers yönteminde 1 mm aralıklarla 500 gr yük uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Eğme testleri için numuneler TS EN ISO 5173 standardına uygun olarak 120x20x10 mm ölçülerinde hazırlanmıştır. Ayrıca ITAB ve kaynak metalinden 55x10x10 mm alınan numunelerde çentik darbe numunesi olarak hazırlanmıştır. Tüm mekanik testler için

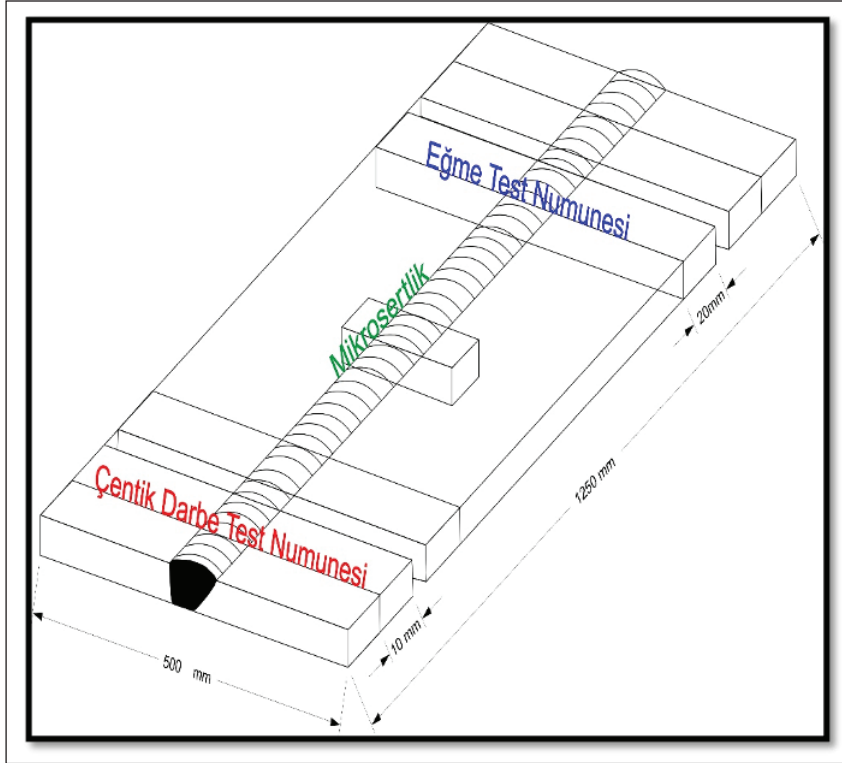
numuneler 3 adet test gerçekleştirilmiş ve test sonuçlarının ortalamaları alınmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

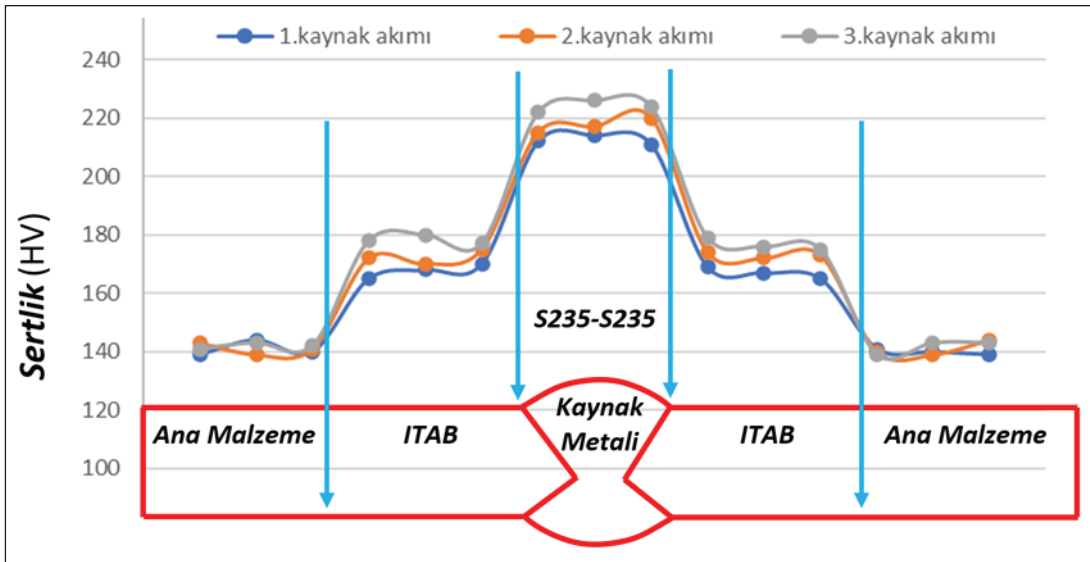
3.1. Sertlik Testi

MAG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen S235JR ve S355J2 numunelere uygulanan sertlik testlerinin sonuçları

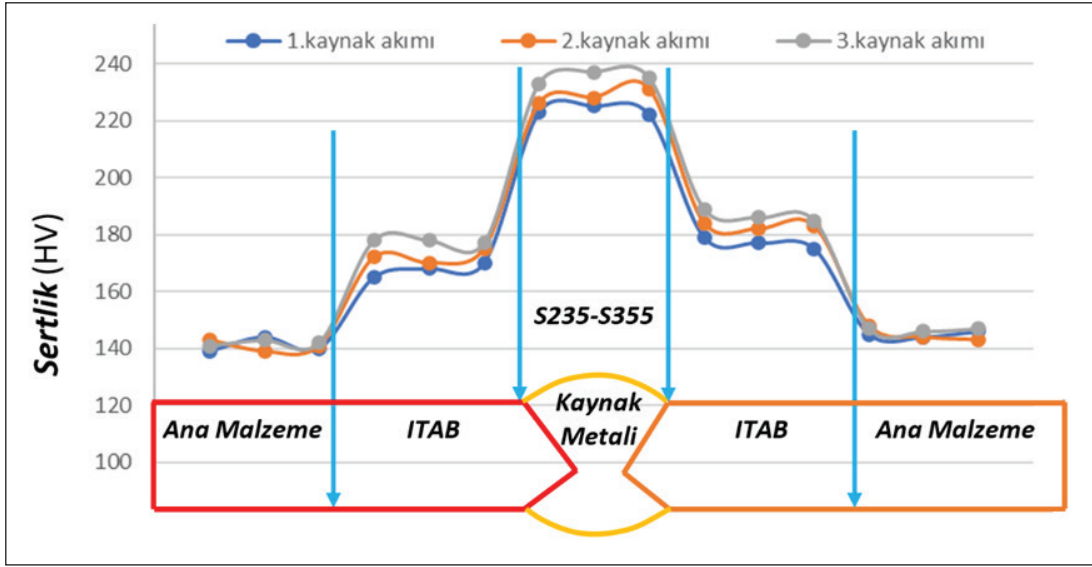
Şekil 3-5'te verilmiştir. Kaynak işlemleri öncesinde yapılan ölçümlerde S235JR malzemenin sertlik değeri 141 ± 5 HV, S355J2 malzemenin ise sertlik değeri 146 ± 5 HV olarak tespit edilmiştir. Mikrosertlik değerleri incelendiğinde, yapılan tüm birleştirmeler içinde en yüksek sertlik değeri (245 ± 5 HV), 3 numaralı kaynak akım değeri kullanılarak birleştirilen S355-S355 malzeme çiftinin kaynak metalinde ölçülmüştür.



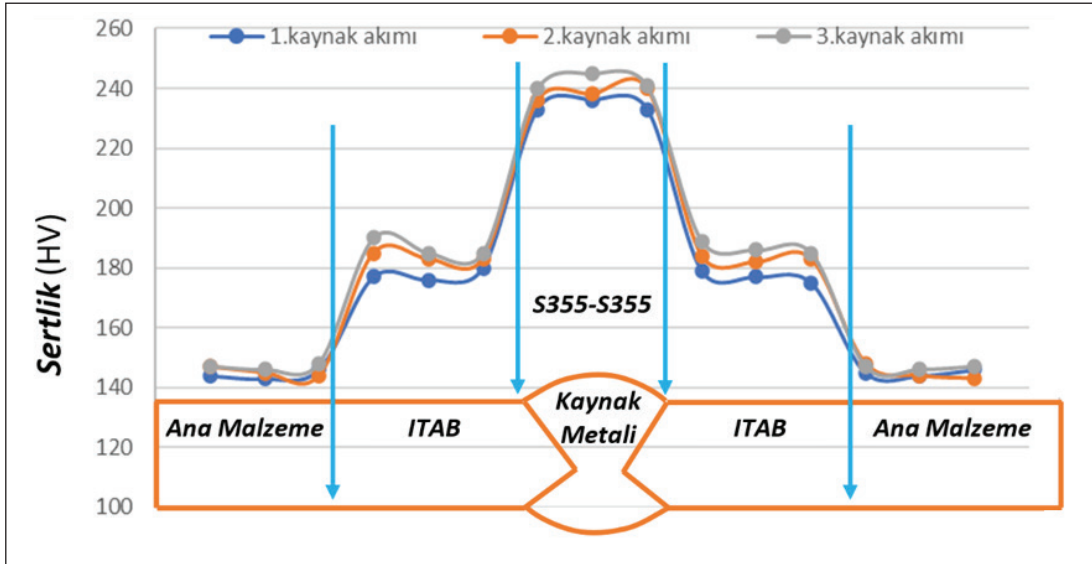
Şekil 2. Mekanik testlerde kullanılan numunelerin kaynaklı parçalarda çıkartıldığı kısımlar.



Şekil 3. S235-S235 kaynaklı malzeme çiftinin sertlik sonuçları.



Şekil 4. S235-S355 kaynaklı malzeme çiftinin sertlik sonuçları.



Şekil 5. S355-S355 kaynaklı malzeme çiftinin sertlik sonuçları.

S235-S235 numune çiftlerine 3 numaralı kaynak akım değeriyle yapılan birleştirmelerin kaynak metalinde mikrosertlik değeri 236 ± 5 HV, ITAB'de 180 ± 5 HV ölçülmüştür. 2 numaralı kaynak akım değeriyle yapılan birleştirmenin kaynak metalinde 230 ± 5 HV, ITAB'de 175 ± 5 HV olarak ölçülmüştür. 1 numaralı kaynak akım değeriyle yapılan birleştirmenin ise kaynak metalinde 224 ± 5 HV, ITAB 170 ± 5 HV ve S235 ana malzeme 141 ± 5 HV olarak belirlenmiştir.

S355-S355 numune çiftlerine 3 numaralı kaynak akım değeriyle yapılan birleştirmelerin kaynak metalinde mikrosertlik değeri 245 ± 5 HV, ITAB'de 190 ± 5 HV ölçülmüştür. 2 numaralı kaynak akım değeriyle yapılan birleştirmenin kaynak metalinde 240 ± 5 HV, ITAB'de 185 ± 5 HV olarak

ölçülmüştür. 1 numaralı kaynak akım değeriyle yapılan birleştirmenin ise kaynak metalinde 236 ± 5 HV, ITAB 180 ± 5 HV ve S355 ana malzeme 146 ± 5 HV olarak belirlenmiştir.

S235-S355 numune çiftlerine 3 numaralı kaynak akım değeriyle yapılan birleştirmelerin kaynak metalinde mikrosertlik değeri 237 ± 5 HV, ITAB'ın S235 tarafında 178 ± 5 HV ve S355 tarafında 189 ± 5 HV ölçülmüştür. 2 numaralı kaynak akım değeriyle yapılan birleştirmenin kaynak metalinde 231 ± 5 HV, ITAB'ın S235 tarafında 175 ± 5 HV ve S355 tarafında 184 ± 5 HV olarak ölçülmüştür. 1 numaralı kaynak akım değeriyle yapılan birleştirmenin ise kaynak metalinde 225 ± 5 HV, ITAB'ın S235 tarafında 170 ± 5 HV ve S355 tarafı 179 ± 5 HV olarak belirlenmiştir.

Sonuçlar genel olarak incelendiğinde 3 numaralı kaynak akım değerlerinde çok fazla fark olmasa da diğer akımlarına (1 ve 2 numaralı akım) göre bir miktar artış olduğu belirlenmiştir. Ayrıca tüm kaynaklı birleştirmelerde en yüksek sertlik değerlerine kaynak metali bölgesinde ulaşıldığı tespit edilmiştir. Aksöz vd. (2017) yapmış oldukları çalışmalarında bu duruma kaynak işlemi sonucu meydana gelen aşırı ısınma ve hızlı soğuma sonucu oluşan ince taneli yapıların sebep olduğunu belirtmişlerdir. Daha önce yapılan çalışmalarda, S235JR çeliğini masif ve özlü teller kullanarak birleştirmiş ve sertlik değerlerini incelemiştir. Yapılan ölçümler sonrasında ana metalden kaynak metaline geçildikçe sertlik değerinin arttığı belirlenmiştir. Ayrıca en yüksek sertlik değeri kaynak bölgesinde ölçüldüğü bildirilmiştir (Uzun 2014). Kaya (2018) S235JR ve S355JR çeliklerini MAG kaynak yönteminde özlü tel elektrot kullanarak birleştirmiştir. Yapılan sertlik ölçümlerinde en yüksek değer kaynak metalinde ölçülmüştür. Onu da sırasıyla ITAB ve ana malzemeler takip ettiği bildirilmiştir. Yıldırım ve Kaya (2019) S355JR çeliğini MAG kaynak yöntemiyle farklı amper değerleri kullanılarak birleştirmiştir. Yapılan çalışmada sertlik testlerinde en yüksek değeri yine kaynak metalinde ölçülmüştür. Onu sırasıyla ITAB ve ana malzemenin takip ettiği belirtilmiştir. Bu durum mikro sertlik test sonuçlarının daha önce yapılan çalışmalarla uyumlu olduğunu göstermiştir.

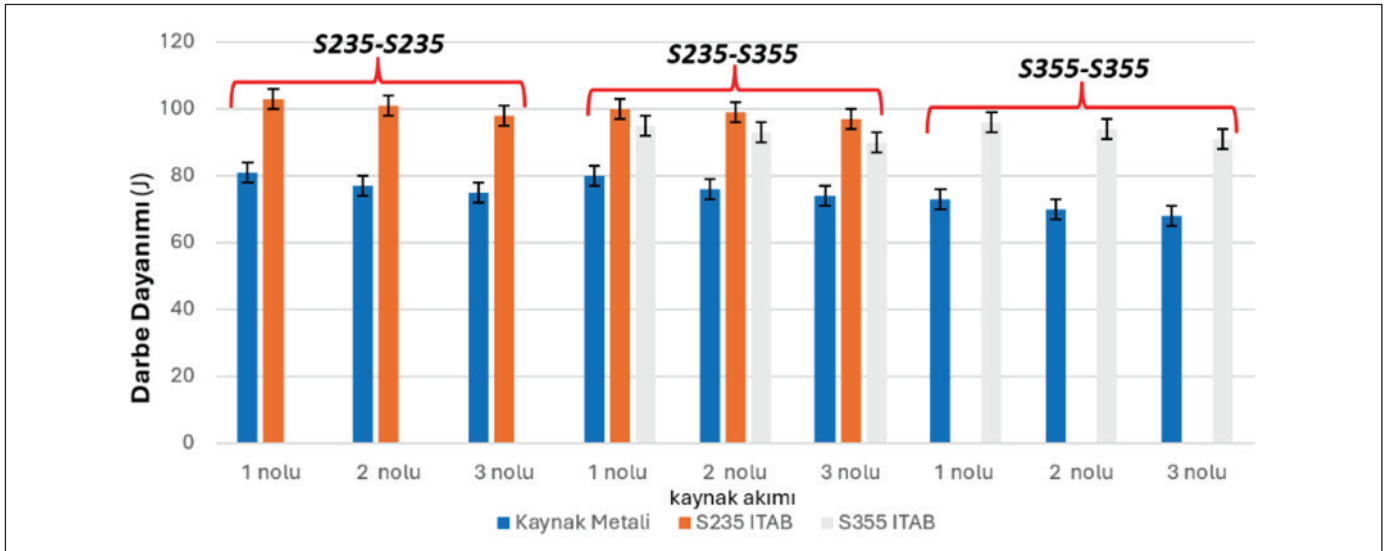
3.2. Çentik Darbe Testi

S235-S235, S355-S355 ve S235-S355 kaynaklı malzeme çiftlerinin kaynak metali ve ITAB'larından hazırlanan numunelere uygulanan çentik darbe testlerinin sonuçları Şekil 6'da testlerin bitiminde elde edilen numune makro görün-

tüleri de Şekil 7'de sunulmuştur. Kaynak işlemleri öncesinde yapılan ölçümlerde S235JR malzemenin darbe tokluğunun 135 J, S355J2 malzemenin darbe tokluğu ise 115 J olarak tespit edilmiştir.

S235-S235 kaynaklı malzeme çiftlerinin darbe tokluğu değerleri incelendiğinde, en yüksek darbe tokluğu değerinin 1 numaralı kaynak akım değeri kullanılarak birleştirilen numunenin kaynak metalinde (81 J) ve ITAB'de (103 J) ölçülmüştür. S355-S355 kaynaklı malzeme çiftlerinin darbe tokluğu değerleri incelendiğinde, en yüksek darbe tokluğu değerinin 3 numaralı kaynak akım değeri kullanılarak birleştirilen numunenin kaynak metalinde (73 J) ve ITAB'de (96 J) olarak tespit edilmiştir. S235-S355 kaynaklı malzeme çiftlerinin darbe tokluğu değerleri incelendiğinde, en yüksek darbe tokluğu değerinin 3 numaralı kaynak akım değeri kullanılarak birleştirilen numunenin kaynak metalinde (80 J), ITAB'ın S235 tarafında (100 J), ITAB'ın S355 tarafında ise (95 J) olarak ölçülmüştür. Ayrıca kaynak işlemleri öncesinde S235 ana malzemenin darbe tokluğu 130 J ve S355 J ana malzemenin darbe tokluğu ise 115 J olarak belirlenmiştir.

Sonuçlar genel olarak incelendiğinde, en yüksek çentik darbe enerjisinin ITAB'da elde edildiği onu kaynak metalinin takip ettiği belirlenmiştir. Şekil 6'da verilen çentik darbe test sonuçları ile sertlik sonuçları (Şekil 3-5) karşılaştırıldığında artan sertlik değerleri ile birlikte darbe tokluğu değerlerinde bir azalma meydana geldiği görülmüştür. Çetinkaya (1999) daha önce yapmış olduğu bir çalışmada sertlik değerinin artmasıyla tokluk değerinde bir azalma meydana geldiğini belirtmiştir. Kaya vd. (2012) ile Akay vd. (2013) yapmış



Şekil 6. Kaynaklı numunelerin çentik darbe testlerinin sonuçları.

oldukları çalışmalarda ITAB'nin darbe tokluğunun yüksek olmasının ITAB'da oluşan iri taneli bölge kaynaklı olduğu belirtilmiştir. Ayrıca ITAB'nin sertliğinin kaynak metalinin

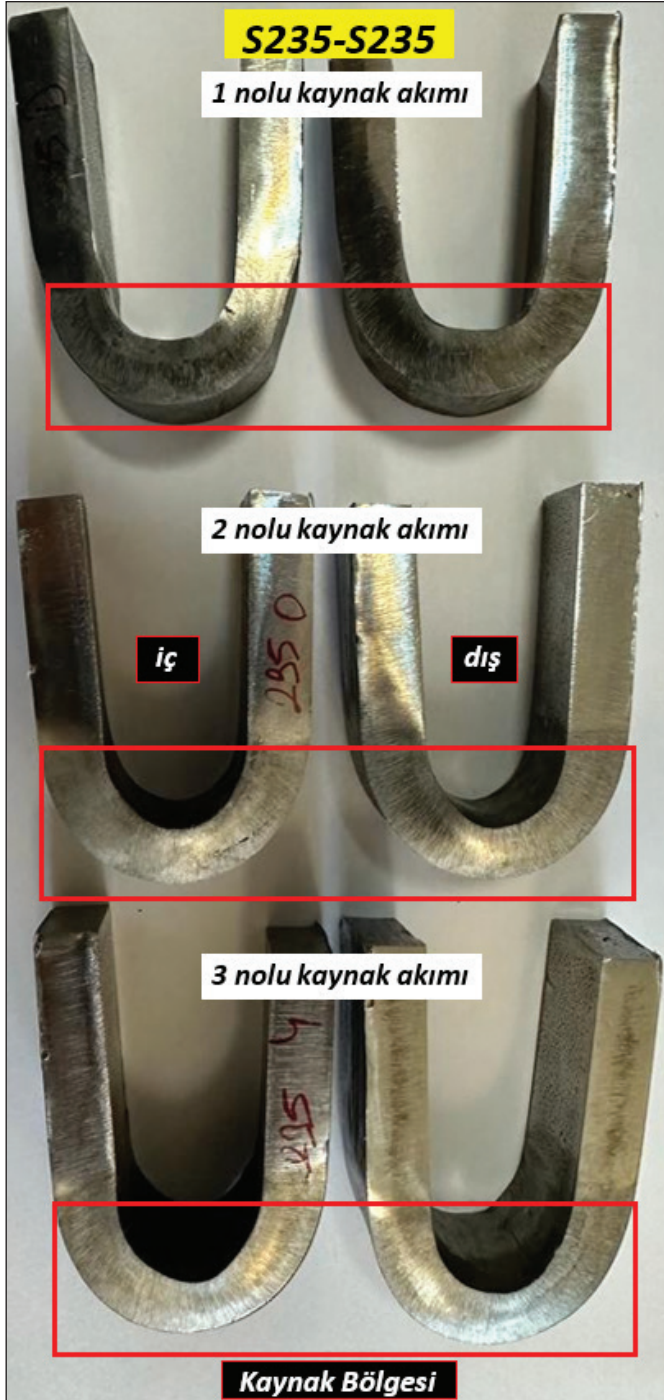
sertliğinden düşük olmasının bu sonucu doğruladığı bildirilmiştir.



Şekil 7. Çentik darbe testi sonrası elde edilen numune görüntüleri.

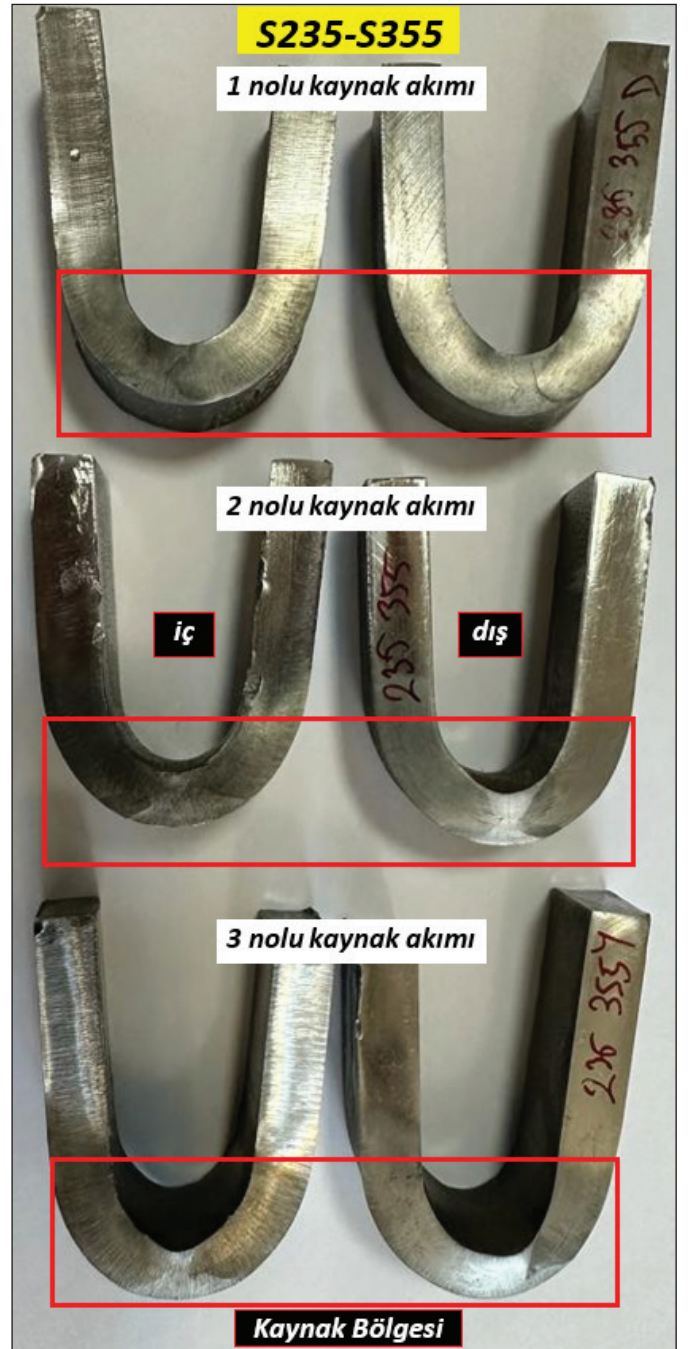
3.3. Eğme Testi

MAG kaynak tekniği kullanarak birleştirilmiş S235-S235, S235-S355 ve S355-S355 malzeme çiftlerine yapılan 180° eğme testleri sonrasında elde edilen görüntüler şekil 8-10'da görülmektedir.



şekil 8. S235-S235 numunelerin eğme testleri sonrası görünümleri.

Yapılan eğme testleri sonrasında elde edilen görüntüler incelendiğinde, numunelerin hiçbirinde herhangi bir hata (yrtık, çatlak vb.) tespit edilmemiştir. Bu sonuçlar, yapılan tüm birleştirmelerin eğilmeye maruz kalabileceği şartlarda kullanla bilineceğini göstermiştir.



şekil 9. S235-S355 numunelerin eğme testleri sonrası görünümleri.



Şekil 10. S355-S355 numunelerin eğme testleri sonrası görünümleri.

Kaya ve Canlı (2018) tozaltı kaynak yöntemini kullanarak P355NL2-P460 çeliklerini birleştirmişler ve kaynaklı numunelere yaptıkları eğme testleri sonucunda numunelerde gözle görülebilir herhangi bir hata oluşumu tespit etmediklerini bildirmişlerdir.

4. Sonuç ve Öneriler

Deneyisel çalışmalar sonucunda ulaşılan sonuçlar aşağıda belirtilmiştir:

- Sertlik sonuçları incelendiğinde tüm birleştirmeler arasında en yüksek sertlik değeri (245 ± 5 HV) 3 numaralı kaynak akım değeri kullanılarak birleştirilen S355-S355 malzeme çiftinin kaynak metalinde ölçülmüştür. Tüm birleştirmelerde en yüksek sertlik ölçümlerinde en yüksek değerler kaynak metallerinde elde edilmiştir. Bu durumun kaynak işlemi sonucu meydana gelen aşırı ısınma ve hızlı soğuma sonucu oluşan ince taneli yapıların sebep olduğunu düşünülmektedir.
- En yüksek darbe tokluğu değeri (103 J) çentik darbe testleri sonrasında 1 numaralı kaynak akım değerleri kullanılarak birleştirilen S235-S235 malzeme çiftinin ITAB'ından elde edilmiştir. Ayrıca ITAB'ların darbe tokluk değerlerinin kaynak metallerine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durumun ITAB'da oluşan iri taneli bölge kaynaklı olduğu düşünülmektedir.
- Çentik darbe test sonuçları ile sertlik sonuçları karşılaştırıldığında artan sertlik değerleri ile birlikte darbe tokluğu değerlerinde bir azalma meydana geldiği görülmüştür.
- 180° çift taraflı olarak yapılan eğme testleri sonucunda incelenen görüntülerde, hiçbir kaynaklı numunede kaynak bölgesinde herhangi bir hata tespit edilememiştir.

Deneyisel çalışmalar sonucunda gelecekte yapılacak çalışmalar için öneriler aşağıda belirtilmiştir:

- Kaynak amperinden farklı olarak kaynak hızı, koruyucu gaz karışım oranları gibi farklı parametreler seçilebilir. Bunun neticesinde kaynak kaliteleri kıyaslanabilir.

Yazar katkısı: Halil GÜLTÖPLAYAN: Deneylerin bir kısmını yapmıştır, Mehmet Serkan YILDIRIM: Deneylerin bir kısmını yapmış, sonuçları analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir, Yakup KAYA: Sonuçları analiz etmiştir.

Etik kurul onayı: Etik kurul onayı gerekmemektedir.

5. Kaynaklar

- Akay, A., Kaya, Y., Kahraman N. 2013.** Farklı özellikteki malzemelerin tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ve birleştirmelerin tahribatlı ve tahribatsız muayenesi. SAÜ. Fen Bil. Der., 17(1):85-96.
- Aksöz, S., Ada, H., Fındık, T., Çetinkaya, C., Bostan, B., Candan İ. 2017.** API 5L X65 çeliklerinin elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde, kaynak işleminin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi. El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi, 4(1):72-81. DOI: 10.31202/ecjse.289639
- Altınkök, N. 2017.** MAG-TIG- tozaltı kaynak bağlantısının sonlu elemanlar yöntemi ile termal analizi. Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 7(2):536-544. orcid.org/0000-0002-3919-7985
- Apay, S. 2020.** Optimization of welding parameters in MAG lap welding of DD13 sheet metal with Taguchi method and FEM analysis. İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları, 3(3):20-30. DOI: 10.52795/mateca.1190277
- Canlı, A., Yıldırım, MS., Kaya, Y. 2019a.** Tozaltı ark kaynak yöntemiyle S355J2-P460 basınçlı kap çeliklerinin birleştirilebilirliğinin araştırılması. II. Uluslararası Türk Dünyası Mühendislik ve Fenbilimleri Kongresi, s. 809, Türkiye.
- Canlı, A., İmdat, K., Yıldırım, MS., Kaya, Y. 2019b.** Basınçlı kap çeliklerinin tozaltı ark kaynak yöntemiyle birleştirilebilirliğinin incelenmesi. III. Uluslararası Avrasya Multidisipliner Çalışmalar Kongresi, s. 412, Türkiye.
- Çetinkaya, C. 1999.** Düşük karbonlu çeliklerin tozaltı ark kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliği ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(2):279-293.
- Elmas, M., Koçar O., Anaç, N. 2024.** Study of the microstructure and mechanical property relationships of gas metal arc welded dissimilar protection 600T, DP450 and S275JR steel joints. Crystals, 14:477. DOI: 10.3390/cryst14050477
- İrsel, G. 2022.** Study of the microstructure and mechanical property relationships of shielded metal arc and TIG welded S235JR steel joints. Materials Science & Engineering A, 830:142230. DOI: 10.1016/j.msea.2021.142320.
- Kargın, Y. 2022.** S460MC ince taneli yapı çeliklerinin mag kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde akım ve koruyucu gaz karışımının mikro yapı ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, 74s.
- Kaya, Y. 2018.** S235JR ile S355JR yapı çeliklerinin özlü tel elektrotla mag kaynak yöntemiyle birleştirilebilirliğinin araştırılması. Politeknik Dergisi, 21(3):597-602.
- Kaya, Y., Canlı, A. 2018.** Tozaltı ark kaynak yöntemiyle birleştirilen basınçlı kap çeliklerinin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. IV. International Symposium on Multidisciplinary Studies (ISMS), s. 67, Fransa.
- Kaya, Y., Kahraman, N., Durgutlu, A., Gülenç, B. 2012.** Ferritik paslanmaz çelik ile düşük karbonlu çelik malzemelerin farklı kaynak yöntemleriyle birleştirilebilirliğinin araştırılması. International Iron & Steel Symposium, s. 779, Türkiye.
- Konat, Ł., Białobrzaska, B. 2022.** Effect of welding technique and thermal treatment parameters on abrasive wear of steel S355. Tribologia, 3:25-38. DOI: 10.5604/01.3001.0016.1021
- Krella, KA., Zakrzewska, ED., Marchewicz, A. 2020.** The resistance of S235JR steel to cavitation erosion. Wear, 452-453. DOI: 10.1016/j.wear.2020.203295
- Lazić, V., Arsić, D., Ilić, I., Aleksandrović, S., Nikolić R., Djordjević, M., Hadzima, B. 2018.** Qualification of the welding technology of the structural steel S355J2G3. 9th International Symp. on Steel Bridges. Doi:10.1088/1757-899X/419/1/012019
- Milosevic, N., Sedmak, A., Jovicic R. 2018.** Analysis of strain distribution in overmatching V groove weld using digital image correlation. Procedia Structural Integrity, 13:1600-1604. DOI: 10.1016/j.prostr.2018.12.337
- Pamuk, Ö., Durgutlu, A. 2018.** Patlama kaynağı yöntemi ile birleştirilen östenitik paslanmaz çelik (AISI 316 L) – S235JR kompozit malzemelerde patlayıcı oranının mikroyapı ve yorulma özelliklerine etkisi. Politeknik Dergisi, 21(3):527-534.
- Uzun, Y. 2014.** Konvansiyonel ve sinerjik kaynak makinaları ile masif ve özlü tel ile kaynak edilmiş St 37 çeliğin kaynak dikişlerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, 86 s.
- Uzun, M., Gökkaya, H., Metlioğlu, MR. 2014.** St37 çelik levhanın türbinli kumlama tezgâhında kumlanması esnasında işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel olarak incelenmesi. Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 4(1):58-62.
- Yıldırım, MS., Kaya, Y., 2019.** Yapı çeliklerinin MAG kaynağı ile birleştirilmesinde kaynak akımının etkisi. III. Uluslararası Avrasya Multidisipliner Çalışmalar Kongresi, s. 406, Türkiye.
- Wahab, M. 2014.** Manual Metal Arc Welding and Gas Metal Arc Welding. Comprehensive Materials Processing, 13(6):49-76. DOI: 10.1016/B978-0-08-096532-1.00610-5
- Wang, B., Hu Jack, S., Sun, L. 2020.** Intelligent welding system technologies: State-of-the-art review and perspectives. Journal of Manufacturing Systems, 56:373-39. DOI: 10.1016/j.jmsy.2020.06.020
- Xiangming, W., Erfu, G. 2020.** Numerical analysis and verification of residual stress in T joint of S355 steel. Frattura ed Integrità Strutturale, 52: 25-32. Doi: 10.3221/IGF-ESIS.52.03