



**Yakup Kaya, Gökhan Çayırhan, Mehmet Bökü, Nizamettin Kahraman**  
Karabük University, Karabük-Turkey  
ykaya@karabuk.edu.tr; gkhncyrh@gmail.com; mhmtbk.92@gmail.com;  
nkahraman@karabuk.edu.tr

|                      |   |                     |
|----------------------|---|---------------------|
| DOI                  | <a href="http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2020.15.2.1A0453">http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2020.15.2.1A0453</a> |                     |
| ORCID ID             | 0000-0002-9951-2844   | 0000-0001-7400-4379 |
|                      | 0000-0003-1865-9017   | 0000-0002-7152-3795 |
| CORRESPONDING AUTHOR | Yakup Kaya  |                     |

### PASLANMAZ ÇELİK İLE DÜŞÜK KARBONLU ÇELİK MALZEMELERİN MIG KAYNAK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

#### ÖZ

Bu çalışmada, 3 mm kalınlıkta paslanmaz çelik ve düşük karbonlu çelik levhalar; MIG kaynak yöntemi ile farklı parametreler kullanarak birleştirilmiştir. Birleştirilen numunelere çekme, eğme, çentik darbe testleri uygulanmış ayrıca mikrosertlik ve mikroyapı özellikleri incelenmiştir. Çekme testleri sonucunda; malzemelerin kaynak metali veya ısı tesiri altında kalan bölgeden (ITAB) ayrılmadığı, kopmanın düşük karbonlu çelik malzemede meydana geldiği tespit edilmiştir. Eğme testlerinde; kaynaklı numuneler 180° eğildiklerinde gözle görülebilir bir kaynak hatasına rastlanılmamıştır. Çentik darbe testlerinde, kaynak metali darbe tokluğu ITAB'lerden daha yüksek ölçülmüştür. Mikrosertlik testleri sonucunda en yüksek sertlik değeri kaynak metalinde ölçülmüştür. Mikroyapı incelemelerinde ısı girdisine bağlı olarak, paslanmaz çelik ve düşük karbonlu çeliğin ITAB bölgesinde tane irileşmesinin meydana geldiği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** MIG Kaynağı, Paslanmaz Çelik, Düşük Karbonlu Çelik, Mekanik Özellikler, Mikroyapı

### AN INVESTIGATION OF JOINABILITY OF STAINLESS STEEL AND THE LOW CARBON STEEL MATERIALS BY MIG WELDING METHOD

#### ABSTRACT

In this study, stainless steel and low carbon steel plates with 3 mm thickness were joined using different parameters by MIG welding method. Tensile, bending, notch impact tests were applied to the joined samples and microhardness and microstructure properties were examined. The results of the tensile test indicated that separation was not occurred on weld metal or heat affected zone (HAZ). In that case fracture observed at low carbon steel side in the all samples. No crack or separation was observed in welded samples during 180° bending tests. In notched impact tests, weld metal impact strength is measured higher than HAZ. As a result of microhardness tests, the highest hardness is measured in the weld metal. In microstructure investigation, the grain growth was observed in the HAZ of the stainless steel and low carbon steel depending on the exerted heat input.

**Keywords:** MIG welding, Stainless Steel, Low Carbon Steel, Mechanical Properties, Microstructure

#### How to Cite:

Kaya, E., Çayırhan, G., Bökü, M. ve Kahraman, N., (2020). Paslanmaz Çelik İle Düşük Karbonlu Çelik Malzemelerin MIG Kaynak Yöntemiyle Birleştirilebilirliğinin İncelenmesi, Engineering Sciences (NWSAENS), 15(2):89-99, DOI: 10.12739/NWSA.2020.15.2.1A0453.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gelişmekte olan ülkemiz endüstrisinin paslanmaz çeliklere olan gereksinimi her geçen gün artmaktadır [1]. Özellikle petro-kimya, kimya, gıda endüstrisinde kullanılan depolama tankları, basınçlı kaplar, ısı değiştiricileri ve paslanmaz boruların üretiminde çok çeşitli türlerde paslanmaz çelik kullanılmaktadır [2 ve 3]. Paslanmaz çeliklerin büyük bir bölümünün kaynak kabiliyeti yüksektir [4], ancak hatasız kaynak edilebilmeleri ve servis koşullarında yeterli özellikleri sağlamaları için bu tür çeliklerin kaynağında izlenmesi gereken birçok kural bulunmaktadır. Bir alaşımın yaygın ve verimli bir biçimde kullanılabilmesi iyi derecede kaynak edilebilir olmasına bağlıdır [5]. Östenitik paslanmaz çelikler, paslanmaz çelikler grubunda %70'lik oranla en çok kullanılan çeliklerdir [6]. Östenitik paslanmaz çelikler içinde; korozyon direnci, yüksek mukavemet, iyi biçimlendirilme ve kaynaklanabilme kabiliyeti olan AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çelikler yaygın olarak kullanılmaktadır [7, 8 ve 9]. Günümüz endüstrisinde kullanılan malzeme çeşitlerinin artması farklı özellikler gerektiren yerlerde farklı metal bağlantılarının gerekliliği ve özellikle son yıllarda ekonomik faktörlerin giderek önem kazanması farklı özelliklere sahip malzemelerin birbirleriyle birleştirilmesi zorunluluğunu doğurmaktadır [10, 11, 12, 13 ve 14]. Böylece farklı metallerin kaynakla birleştirilmesi ile o malzemelerin spesifik özelliklerinden birlikte yararlanılmaktadır [14]. Farklı metallerin kaynağı, genellikle katı hal kaynak yöntemleri [15] ile yapılmasına rağmen MIG kaynak yöntemi ile de yapılabilmektedir [16].

## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada, endüstride yaygın bir kullanım alanına sahip olan, östenitik paslanmaz çelik (AISI 304) ve düşük karbonlu çelik malzemeler, üç farklı kaynak akımı (70 A, 80 A ve 90 A) kullanarak MIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Farklı malzemelere uygulanan farklı kaynak akımının, kaynak bölgesi üzerindeki etkilerini belirlemek için, birleştirilen malzemelere çekme, eğme, çentik darbe ve mikrosertlik testleri yapılmış ayrıca kaynaklı bağlantılar üzerinde mikroyapı çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

## 3. DENEYSSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL PROCEDURE)

Deneysel çalışmalarda kullanılan, 3mm kalınlıktaki paslanmaz çelik ve düşük karbonlu çelik malzemeler 300x100mm ebatlarında kesilmiştir. Birleştirilecek numuneler aralarında 1 mm boşluk kalacak şekilde 10cm aralıklarla tersten puntalanmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan östenitik paslanmaz çelik (AISI 304) ve düşük karbonlu çeliğin kimyasal bileşim (% ağırlık olarak) değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Esas metallerin kimyasal bileşimi (Ağırlıkça %)  
(Table 1. Chemical composition of basic metals (% weight))

| Malzeme                           | C     | Mn    | Si    | Ni    | Cr    | P      | S     | Fe    |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| Östenitik Pas. Çel.<br>(AISI 304) | 0.031 | 1.49  | 0.30  | 9.34  | 19.12 | 0.005  | 0.008 | Kalan |
| Düşük Karbonlu<br>Çelik           | 0.054 | 0.266 | 0.021 | 0.050 | 0.037 | 0.0053 | 0.018 | Kalan |

Kaynak işlemlerinde, kaynak sonrası paslanmaz çeliklerin kaynak bölgesinde görülen istenmeyen yapıları (sigma fazı, krom karbür çökmesi) önlemek için düşük karbonlu L tipi, ER-308LSi ek kaynak metali kullanılmıştır. Kullanılan ek kaynak metalinin kimyasal bileşimleri Tablo 2'de verilmiştir. Ayrıca kaynak işlemlerinde; GKM 240 MIG-MAG tipi kaynak makinası kullanılmıştır. Deneylerde kaynak

akımının kaynak kabiliyetine etkisini incelemek için 3 farklı kaynak akımı kullanılmış ve diğer parametreler sabit tutulmuştur. Deneysel çalışmalarda kullanılan kaynak parametreleri Tablo 3'te verilmiştir.

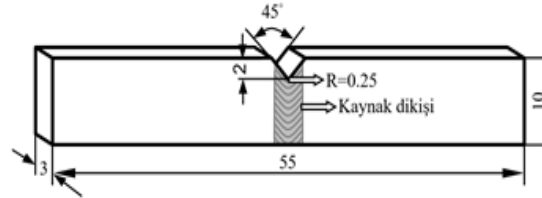
Tablo 2. Ek kaynak metallerin kimyasal bileşimleri (Ağırlıkça %)  
(Table 2. Chemical composition of additional weld metals (% weight))

| Ek Kaynak Metali | C    | Cr   | Ni   | Mn  | Si  | P    | S    | Fe    |
|------------------|------|------|------|-----|-----|------|------|-------|
| ER-308LSi        | 0.02 | 20.4 | 10.2 | 1.7 | 0.8 | 0.03 | 0.04 | Kalan |

Tablo 3. Birleştirme işlemlerinde kullanılan kaynak parametreleri  
(Table 3. Joining parameters used in welding processes)

| Numune No | Kaynak Akımı (A) | Tel İlerleme Hızı (m/dk) | Kaynak Hızı (mm/dk) | Kaynak Gerilimi (V) | Koruyucu Gaz | Gaz Basıncı (lt/dk) | İlave Metal Çapı (mm) |
|-----------|------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|--------------|---------------------|-----------------------|
| 1         | 70               | 400                      | 250                 | 21                  | Ar           | 12                  | 0.8                   |
| 2         | 80               | 600                      |                     |                     |              |                     |                       |
| 3         | 90               | 700                      |                     |                     |              |                     |                       |

Mekanik mikroyapı çalışmaları için kaynaklı bağlantıların başlangıç ve bitiş kısımlarından 20mm şerit testere ile kesilerek atılmıştır. Kalan kısımlarından çekme, eğme, çentik darbe testi ve mikroyapı incelemeleri için numuneler hazırlanmıştır. Çekme numuneleri TS EN ISO 4136 standardına göre her bir kaynaklı bağlantıdan 3'er adet hazırlanmış ve Autograph-Shimadzu AG-IS tipi cihaz ile 2mm/dk ilerleme hızında çekilmiştir. Eğme numuneleri TS EN ISO 5173 standardına göre kaynak kepi üstte ve kaynak kökü üstte kalacak şekilde hazırlanmıştır. Çentik darbe numuneleri (Esas metaller, kaynak metalleri ve ITAB'lar) Şekil 1'de verilen ölçülerde ve standarda göre her bir numuneden 3'er adet hazırlanmış ve Dewotrans marka çentik darbe cihazıyla oda sıcaklığında kırılmıştır.



Şekil 1. Kaynak metali için çentik darbe test numunesi  
(Figure 1. Notch impact test specimen for weld metal)

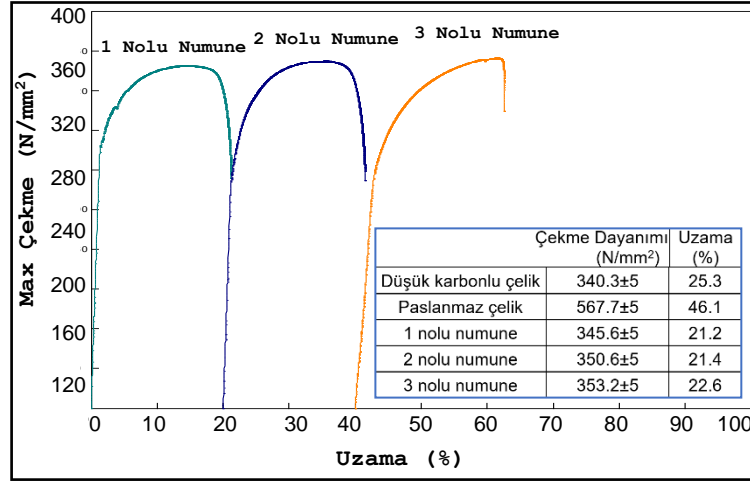
Mikroyapı numunelerine bakalite alma işleminden sonra standart metalografik numune hazırlama işlemleri (zımparalama, parlatma) uygulanmıştır. Parlatma işleminden sonra 15ml HClO<sub>3</sub> (klorik asit), 5ml HNO<sub>3</sub> (nitrik asit) içeren dağlama çözeltisi ve 10 gr oksalik asit ile 100ml su çözeltisinde 15volt/akım altında elektrolitik dağlama kullanılarak, mikroyapı incelemesi için hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin mikroyapı çalışmaları, NIKON Epiphot 200 model optik mikroskop ile gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı numuneleri daha sonra mikrosertlik ölçümü için de kullanılmıştır. Mikrosertlik ölçümleri, Shimadzu HMV marka cihaz ile HV cinsinden ölçülmüştür. Mikrosertlik ölçümlerinde 500g yük uygulanmış ve sonuçlar her bir bölgede gerçekleştirilen 3 ölçüm sonucunun ortalaması alınarak değerlendirilmiştir.

#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (CONCLUSIONS AND DISCUSSION)

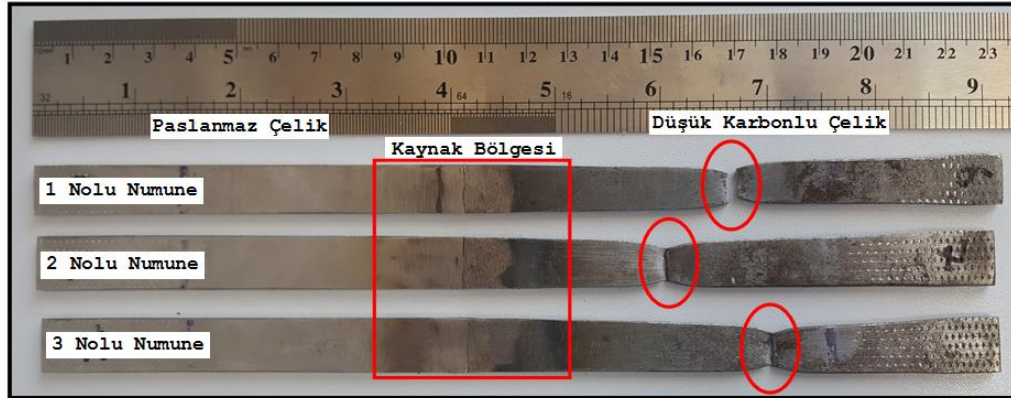
##### 4.1. Çekme Testi (Tensile Test)

Paslanmaz çelik ve düşük karbonlu çelik malzemelerin farklı kaynak parametreleri ile MIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş bağlantılara ait çekme eğrileri Şekil 2'de verilmiştir. Ayrıca şekil

üzerinde ana malzemeler ve kaynaklı bağlantılardan elde edilen çekme ve % uzama değerleri sayısal olarak verilmiştir. Çekme testi sonrası kopma bölgesi görüntüleri ise Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 2. Çekme test sonuçları  
(Figure 2. Tensile test results)



Şekil 3. Çekme numunelerin kopma bölgeleri  
(Figure 3. Rupture zones of tensile samples)

Çekme sonuçlarından görüldüğü gibi, üç farklı kaynak akımıyla birleştirilmiş numunelerde kopmalar düşük karbonlu çelik tarafında gerçekleşmiştir. Bütün birleştirmelerde kaynak bölgesi mukavemetinin, mukavemeti daha az olan düşük karbonlu çelikten daha yüksek, mukavemeti yüksek olan östenitik paslanmaz çelikten daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Başka bir ifade ile kaynaklı bağlantılardan ölçülen mukavemet değerleri, ana malzemeleri oluşturan östenitik paslanmaz çelik ve düşük karbonlu çelik numunelerin mukavemet değerleri arasındadır. Kaynaklı numuneler çekme testi sırasında, öncelikle östenitik paslanmaz çeliğe göre (565.7 N/mm<sup>2</sup>) çekme ve akma dayanımı düşük olan düşük karbonlu çelik (340.3 N/mm<sup>2</sup>) tarafında boyun vermeye başlamış ve kopma düşük karbonlu çelik ana metal tarafında sünek olarak gerçekleşmiştir. Birleştirmenin östenitik paslanmaz çelik tarafında gözle görülebilir herhangi bir tahribat meydana gelmemiştir. Üç farklı kaynak akımında da kopmalar, kaynak dikişinde veya ITAB'da gerçekleşmemiş, kopma bütün kaynaklı numunelerde düşük karbonlu çelik ana malzemede meydana gelmiştir (Şekil 3). Bilindiği gibi kaynaklı bağlantıların en kritik bölgesi ITAB'dır ve birçok çatlama ve kırılma

bu bölgede meydana gelmektedir. Fakat, Şekil 3 incelendiğinde kopma işleminin ITAB'dan uzak bir bölgede meydana geldiği görülmektedir. Çekme numuneleri standartlara uygun olarak hazırlandığından, orijinal malzemeler tam boyda uzama gösterirken kaynaklı numunelerde uzamanın az olması (çekme esnasında östenitik paslanmaz çelik levhanın deformasyonunun çok az olması ve/veya olmaması) kaynak bölgesinin (kaynak metali ve ITAB) sertliğinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Kılınçer ve Kahraman [12] AISI 409 ve Ç1010 çeliğini östenitik elektrod kullanarak MIG kaynak yöntemi ile birleştirerek, mekanik özelliklerini incelemişler ve çekme testi sonuçlarında, kopmanın Ç1010 (düşük karbonlu çelik) malzemesinde olduğunu bildirmişlerdir. Literatürde [17 ve 18], farklı metallerin kaynaklı birleştirilmelerinde bağlantı çekme dayanımının, birleştirilen farklı metallerin çekme dayanımının en düşük olanından fazla ise birleştirmenin başarılı olarak kabul edileceği bildirilmiştir. Başka bir literatürde ise [19] farklı metallerin bağlantısında uygun dolgu metali seçiminin servis şartlarında önemli olduğunu ve kaynak metalinin servis şartları altında en az esas metallere kadar daha zayıf olanı kadar güçlü ve sünek olması gerektiği bildirilmiştir.

Üç farklı kaynak parametresi kullanarak MIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiş bağlantılardan en yüksek çekme dayanımı  $353.3\text{N/mm}^2$  ile 90 A kaynak akımı kullanılarak birleştirilen 3 nolu numuneden elde edilmiştir. Çok büyük bir fark olmamakla beraber 80 A kaynak akımı kullanılarak birleştirilen 2 nolu numuneden ölçülen çekme dayanımı  $350.6\text{N/mm}^2$  olurken, 70 A kaynak akımı kullanılarak birleştirilen 1 nolu numuneden ölçülen çekme dayanımı  $345.6\text{N/mm}^2$  olarak bulunmuştur. Kopmaların kaynak metalinden olmamasına rağmen üç farklı kaynak akımı ile birleştirilen bağlantılardaki bu çekme mukavemeti farkı, kaynak akımına bağlı olarak kaynak esnasındaki ısı girdilerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Normalde kaynak esnasında malzemelere verilen ısı girdisi kaynak akımının yanı sıra, kaynak ark gerilimi ve kaynak hızı ile değişmektedir [20]. Kaynak esnasında malzemelere verilen ısı en çok ITAB'da etkili olmakta ve bu bölgede ısı girdisi artışına bağlı olarak tane irileşmesi de artmaktadır. Kırılma tipleri incelendiğinde ise, çekme kırıklarının çanak şeklinde olduğu numune kopma yüzeylerinden belirlenmiş ve sünek kırılma olarak tespit edilmiştir.

Kaynaklı bağlantıların çekme testi sonucunda elde edilen % uzama değerleri incelendiğinde; 3 nolu numune %22.6, 2 nolu numune %21.4 ve 1 nolu numune %21.2 uzama değeri elde edilmiştir. Kaynaklı bağlantıların % uzama miktarları incelendiğinde değerlerin birbirlerine çok yakın olduğu ve üç farklı kaynak akımı kullanarak birleştirilen malzemelerin ortalama % uzama değerlerinin her iki esas malzemenin (paslanmaz çelik ve düşük karbonlu çelik) daha düşük olduğu görülmüştür. Kaynaklı bağlantılardaki % uzama miktarının azalmasının nedeni, paslanmaz çeliğin deforme olmaması ve düşük karbonlu çelik tarafının sadece tek taraflı % uzamaya maruz kalmasına bağlanabilir. Kaynaklı bağlantıların az miktarda farklı % uzama göstermesinin nedeni ise, farklı kaynak akımının sebep olduğu ısı girdileri farkından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kaya ve arkadaşları [16] ferritik paslanmaz çelik ve düşük karbonlu çelik malzemeleri farklı kaynak yöntemleri ile birleştirerek, mikroyapı ve mekanik özelliklerini incelemişler ve çekme testi sonuçlarında, benzer sonuçlar bildirmişlerdir.

#### 4.2. Eğme Testi (Bending Test)

Üç farklı kaynak akımı kullanılarak MIG kaynak yöntemiyle birleştirilen paslanmaz çelik ve düşük karbonlu çeliklere  $180^\circ$  iki

yönlü (kep ve kök) eğme testi uygulanmıştır. Şekil 4'te paslanmaz çelik ve düşük karbonlu çelik birleştirmelerine ait iki yönlü gerçekleştirilen eğme testi sonucunda elde edilen makro görüntüler verilmiştir.

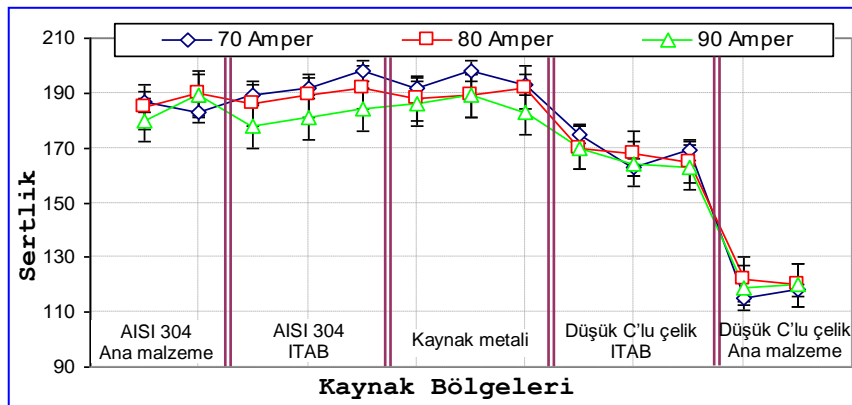


Şekil 4. Kaynaklı birleştirmelerin eğme testi sonucu görüntüleri  
(Figure 4. Bending test result images of welded joints)

Kaynaklı numunelere, kaynak bölgesinin şekil değiştirme özelliğinin belirlenmesi için uygulanan 180° iki yönlü (kep ve kök) eğme testleri sonucunda, bütün kaynaklı numunelerde gözle görülebilir bir kaynak hatasına rastlanmamıştır. Üç farklı kaynak akımı (70 A, 80 A ve 90 A) kullanarak MIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş kaynaklı numunelerin eğme testi sonuçlarına göre, kaynak sonrası servis şartlarına göre 180°'ye kadar istenilen açıda bükülerek güvenli bir şekilde kullanılabilir. Literatürde [11, 12 ve 17] sırasıyla; düşük karbonlu çelik-bakır, AISI 409-Ç1010 ve AISI 304-düşük karbonlu çelik farklı malzemelere uygulanan eğme testleri sonrasında paralel sonuçlar rapor edilmiştir.

#### 4.3. Sertlik Testi (Hardness Test)

Şekil 5'te MIG kaynak yöntemi ile birleştirilen östenitik paslanmaz çelik ve düşük karbonlu çelik malzeme bağlantılarının mikrosertlik değerleri verilmiştir.



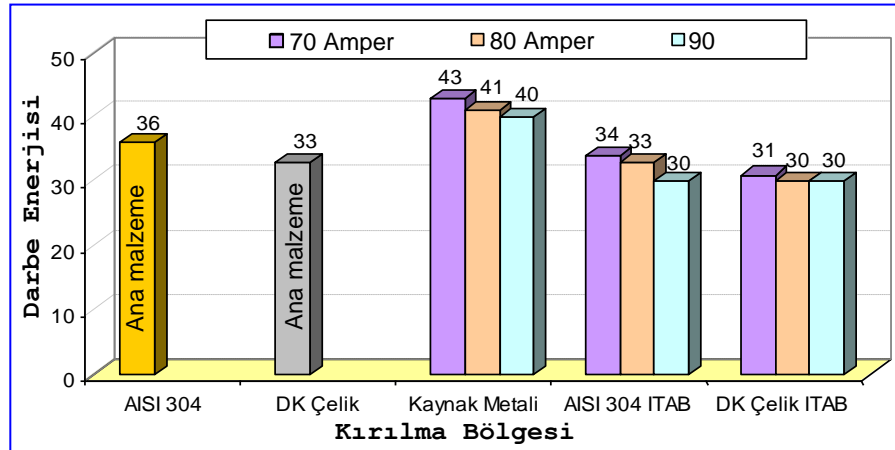
Şekil 5. Mikrosertlik testi sonuçları  
(Figure 5. Microhardness test results)

Farklı kaynak akımları kullanılarak birleştirilen bağlantıların sertlik değerleri incelendiğinde, ölçülen sertlik değerlerinin birbirlerine çok yakın oldukları görülmüştür. En yüksek sertlik

değerleri kaynak metalinden ölçülürken, onu sırasıyla AISI 304 paslanmaz çelik ITAB'ı ve düşük karbonlu çelik ITAB'ı takip etmiştir. Kaynaklı numunelerin ITAB'ları incelendiğinde her iki ITAB'ında ana malzemelerden daha sert, kaynak metalinden ise daha az sert oldukları göze çapmaktadır. Kaynaklı bağlantılarda kullanılan ana malzeme sertlik değerleri incelendiğinde ise AISI 304 ana malzeme sertlik değerinin, düşük karbonlu çelik ana malzeme sertlik değerinin yaklaşık 2 katı olduğu görülmektedir. Kahraman ve arkadaşları [3], östenitik paslanmaz çelik ve düşük karbonlu çeliği ark kaynak yöntemi ile birleştirerek, mikroyapı ve mekanik özelliklerini incelemişler ve sertlik testi sonuçlarında, benzer sonuçlar rapor etmişlerdir. Ayrıca literatürde [4], östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında başlıca problemlerden birinin yüksek çalışma sıcaklığında meydana gelen sigma fazı olduğu, çok sert (700-800 Vickers) ve gevrek bir yapıya sahip metaller arası bir bileşik olduğu belirtilmektedir. Kaynaklı bağlantı sertlik değerleri incelendiğinde, en yüksek sertlik değerinin 198 HV ile kaynak metalinden ölçüldüğü görülmektedir. Bu sonuç, östenitik paslanmaz çelik ve düşük karbonlu çelik malzemelerin MIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde kullanılan parametrelerin uygun olduğunu göstermektedir.

#### 4.4. Çentik Darbe Testi (Charpy Notch Impact Test)

Östenitik paslanmaz çelik ve düşük karbonlu çelik malzemeler MIG kaynak yöntemiyle üç farklı kaynak akımı kullanılarak birleştirilmiş ve kaynaklı malzemelere oda sıcaklığında çentik testi testi uygulanmıştır. Çentik darbe testi sonuçları Şekil 6'da verilmiştir. Çentik darbe testleri; esas metaller, kaynaklı bağlantılar ve ITAB'ların tokluklarını belirlemek ve kaynaklı bağlantıları birbirleriyle kıyaslamak (kaynak akımı etkisini belirlemek) amacıyla yapılmıştır.



Şekil 6. Esas metal, kaynak metal ve ITAB darbe test sonuçları  
(Figure 6. Results of base metal, weld metal and ITAB impact test)

Çentik darbe sonuçları incelendiğinde, kaynak metallerinden ölçülen tokluk değerlerinin, birleştirmelerin östenitik paslanmaz çelik ITAB'ı ve düşük karbonlu çelik ITAB'ından daha yüksek değerler verdiği tespit edilmiştir. Birleştirmelerin ITAB'ları kıyaslandığında ise AISI 304 ITAB'ının çok fark olmamakla beraber düşük karbonlu çelik ITAB'ından daha yüksek darbe tokluğuna sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca AISI 304 ana malzemede tokluk değeri 36 J iken düşük karbonlu çelik ana malzeme tokluk değeri 33 J olarak ölçülmüştür. Bilindiği gibi bir malzemenin tokluğu, o malzemenin ne kadar enerji absorbe ettiğine göre değerlendirilir. Darbe enerjisi ne kadar yüksekse

malzemenin tokluğu da o kadar yüksek demektir. Bu durumda kaynak esnasında kullanılan ilave metalin uygun seçildiği sonucuna varılabilir. Farklı kaynak akımları kullanılarak birleştirilen malzemelerde, en düşük kırılma enerjisi östenitik paslanmaz çelik ve düşük karbonlu çelik ITAB'larında 30 J olarak ölçülmüştür. Kaynaklı birleştirmelerinin östenitik paslanmaz çelik tarafındaki ITAB'dan ölçülen kırılma enerjileri, 70 A kaynak akımında birleştirilen bağlantıdan 34 J olarak ölçülürken, 80 A kaynak akımında birleştirilen bağlantıdan 33 J, 90 A kaynak akımında birleştirilen bağlantıda ise 30 J olarak ölçülmüştür. Benzer şekilde düşük karbonlu çelik tarafındaki ITAB'dan ölçülen kırılma enerjileri, 70 A kaynak akımında birleştirilen bağlantıdan 31 J olarak ölçülürken, 80 A ve 90 A kaynak akımında birleştirilen bağlantılardan ise 30 J olarak ölçülmüştür. En yüksek darbe tokluğunun 70 A kaynak akımı kullanılarak MIG kaynağı ile birleştirilmiş numunelerden ölçülürken en düşük tokluk değerleri 90 A kaynak akımı kullanılarak birleştirilmiş kaynaklı numunelerden ölçülmüştür. Ölçülen bu değerler, kaynak esnasındaki ısı girdisiyle kıyaslandıklarında, artan ısı girdisiyle tokluk değerlerinin düştüğü açıkça anlaşılmaktadır. Artan ısı girdisiyle tokluğun düşüşüne sebep olarak, tane irileşmesi gösterilebilir. Kaynaklı bağlantılarda ITAB'da oluşan iri taneli bölgenin tokluğu diğer bölgelere oranla düşük olduğu bilinmektedir. Literatürde [21], kaynaklı malzemelerin ITAB'ında tane irileşmesi nedeni ile tokluğun düşük olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, çentik darbe testleri sonucunda elde edilen darbe toklukları, kaynaklı numunelerden ölçülen sertlik değerleri ile kıyaslandıklarında da artan sertlik değerleriyle tokluk değerlerinin düştüğü görülmüştür. Literatürde [22 ve 23], kaynaklı malzemelerde sertlik artışına bağlı olarak darbe tokluğunun bir miktar azalacağı bildirilmiştir.

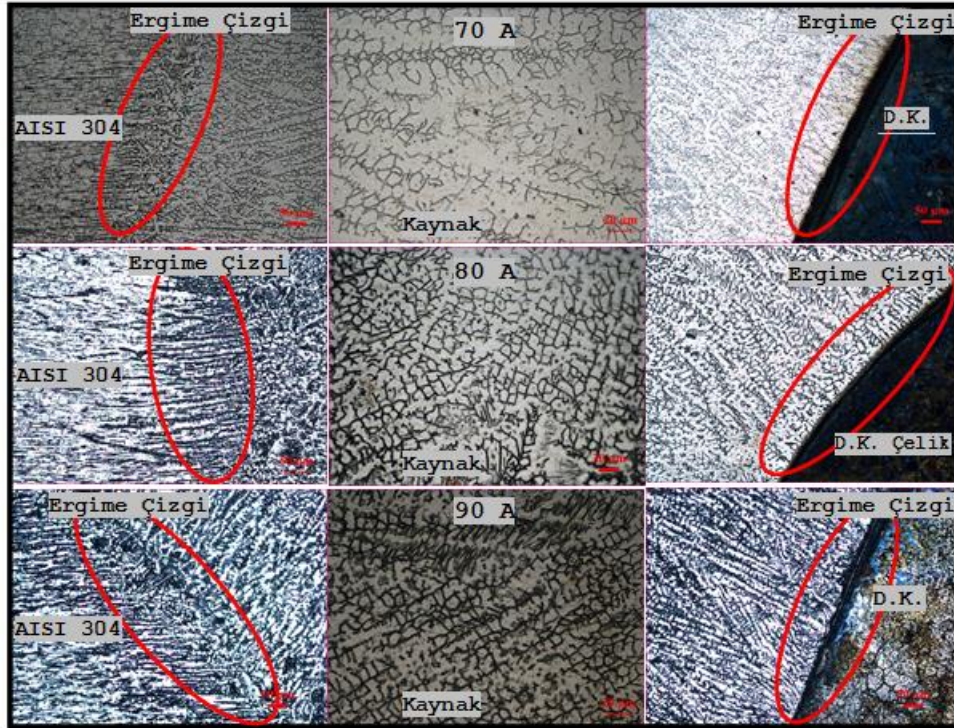
#### 4.5. Mikroyapı Çalışmaları (Microstructural Studies)

Üç farklı kaynak akımı kullanılarak MIG kaynak yöntemi ile birleştirilen östenitik paslanmaz çelik ve düşük karbonlu çelik malzemelerden elde edilen optik mikroskop görüntüleri Şekil 7'de verilmiştir. Mikroyapı görüntülerinde 70 A, 80 A ve 90 A kaynak akımı kullanılarak birleştirilen bağlantıların kaynak bölgesi (kaynak metal, geçiş bölgesi ve ITAB) mikroyapı görüntüleri görülmektedir. Şekil 7'deki mikroyapı resimleri genel olarak incelendiğinde; östenitik paslanmaz çelik ve düşük karbonlu çelik kaynak metalinin farklı görünüm sergilediği görülmektedir. Literatürde [14] bu mikroyapı değişimlerinin kaynakla birleştirilen farklı metallerin kimyasal kompozisyonlarının farklılığı, ergime ve karışımın yanı sıra soğumanın farklı olması, ana malzemelerin ısı iletim ve ısı genleşme katsayılarının farklı olmasının neden olduğu bildirilmiştir.

Östenitik paslanmaz çelik ana malzeme, hadde yönlü bir yapı sergilerken, düşük karbonlu çelik ise eş taneli görünüm sergilemektedir. Ayrıca, kaynaklı bağlantının hem östenitik hem de düşük karbonlu çelik ergime çizgisine bitişik bölgede tane irileşmesinin meydana geldiği görülmektedir. Literatürde [24] bu bölge, yüksek sıcaklık ısıdan etkilenmiş bölge olarak tanımlanmakta ve kaynak ısı çevriminde A3 sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklara ısıtılmış esas metal temsil etmektedir. Kaynak metal ise daha ince yapı bir görünüm sergilemektedir. Kaynaklı numunelerde kaynak akımı artışı ile ısı girdisinin artmakta ve buna bağlı olarak hem östenitik paslanmaz çelikte hem de düşük karbonlu çelik malzeme, ısının tesiri altında kalan bölgede tane irileşmesinin arttığı görülmüştür. Isı girdisinin artışına bağlı olarak tane irileşmesinin arttığı ve kaynak metalinin katılaşmasının kaynak merkez çizgisine doğru gerçekleştiği ve de ergimiş-katılaşmış tanelerin ısı akış yönünde yönlendiği görülmüştür. Literatürde [25, 26 ve 27] östenitik paslanmaz çeliklerin



kaynağı üzerine yapılan çalışmalarda, ısı girdisinin artmasına bağlı olarak tane irileşmesinin arttığı ve kaynak metalinde ısı akışına göre tanelerde yönlendirmelerin oluştuğu belirtilmiştir.



Şekil 7. MIG kaynak yöntemiyle birleştirilen numunelerinin mikroyapı görüntüleri  
(Figure 7. Microstructure images of samples bonded by MIG welding method)

##### 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Sonuç olarak, endüstride yaygın bir kullanım alanına sahip olan, östenitik paslanmaz çelik (AISI 304) ve düşük karbonlu çelik malzemeler, üç farklı kaynak akımı (70 A, 80 A ve 90 A) kullanarak MIG kaynak yöntemiyle yapılan bu çalışma için aşağıdaki sonuçlar ileri sürülebilir. Buna göre;

- Kaynaklı numunelere uygulanan çekme testi sonucunda ayrılma, kaynak bölgesi dışarısında ve düşük karbonlu çelik levha tarafında meydana gelmiştir.
- Eğme testlerinde; kaynaklı numuneler iki yönlü 180° eğildiklerinde gözle görülebilir bir kaynak hatasına rastlanılmamıştır.
- Çentik darbe testlerinde, kaynak metali darbe tokluğu ITAB'lardan daha yüksek ölçülmüştür.
- Yapılan sertlik ölçümleri sonucunda en yüksek sertliğin kaynak metalinde ölçülmüştür.
- Mikroyapı incelemelerinde ısı girdisine bağlı olarak, paslanmaz çelik ve düşük karbonlu çeliğin ITAB bölgesinde tane irileşmesinin meydana geldiği tespit edildiği, ayrıca ısı girdisinin artmasına bağlı olarak tane irileşmesinin arttığı ve kaynak metalindeki tanelerin ısı akış yönünde yönlendikleri belirlenmiştir.

#### **NOT (NOTICE)**

Bu çalışma, 5-8 Eylül 2017 tarihleri arasında Tiflis (Gürcistan)'da düzenlenen 2<sup>nd</sup> International Science Symposium'da sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

#### **TEŞEKKÜRLER (ACKNOWLEDGMENTS)**

Bu çalışmayı KBÜ-BAP-17-YD-282 numaralı proje ile destekleyen, KBÜ Rektörlüğüne ve Bilimsel Araştırma Projeleri komisyonuna teşekkür ederiz.

#### **KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1] Kaya, Y., (2010). AISI 304 ve AISI 430 Paslanmaz Çeliklerin TIG, MIG ve Örtülü Elektrod Ark Kaynağıyla Birleştirilebilirliğinin Araştırılması. Gazi Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi, 25(3):549-557.
- [2] Tülbentçi, K., (1998). MIG-MAG Gazaltı Kaynak Yöntemi. Arctech Kaynak Elektrodları Yayını, Yayın No: 2, İstanbul, ss:1-55.
- [3] Kahraman, N., Gülenç, B. ve Akça, H., (2002). Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilen Östenitik Paslanmaz Çelik ile Düşük Karbonlu Çeliğin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi, 17(2):75-85.
- [4] Odabaş, C., (2007). Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı. As kaynak Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticareti A.Ş. Yayını, İstanbul, ss:3-4.
- [5] Taban, E., (2007). Yapısal Uygulamalar İçin Geliştirilen Modifiye 12 Cr Ferritik Paslanmaz Çeliğinin Özellikleri ve Kaynak Kabiliyeti, Doktora Tezi. Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [6] Gözütok, E., Kahraman, N., Durgutlu, A., and Gülenç, B., (2009). The Influence of Hydrogen Addition to the Shielding Argon Gas in TIG Welding of AISI 304 Materials. 1.International Conference On Welding Technologies, Gazi University Ankara/Turkey, pp:778-786.
- [7] Kanga, B.Y., Yarlagadda, K.D., Prasad, V., Kang, M.J., Kim, H.J., and Kim, I.S., (2009). The Effect of Alternate Supply of Shielding Gases in Austenite Stainless Steel GTA Welding. Journal of Materials Processing Technology, Volume:209, pp:4722-4727.
- [8] Moayed, M.H., Davoodi, A., and Ale-Yassin, A., (2009). Galvanic Corrosion in Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) 304 Austenitic Stainless Steel Weldment. 1. International Conference On Welding Technologies, Gazi University Ankara/Turkey, pp:604-609.
- [9] Karcı, F., Kaçar, R., and Gündüz, S., (2009). The Effect of Process Parameter on the Properties of Spot Welded Cold Deformed AISI 304 Grade Austenitic Stainless Steel. Journal of Materials Processing Technology, Volume:209, pp:4011-4019.
- [10] Kahraman, N. ve Durgutlu, A., (2005). 316L Paslanmaz Çelik ile Bakır Levhaların Örtülü Elektrod ve TIG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilebilirliğinin Araştırılması, Teknoloji Dergisi, 8(1):43-50.
- [11] Durgutlu, A., Kahraman, N. ve Gülenç, B., (2005). Bakır ve Çelik Levhaların Örtülü Elektrod ve TIG Kaynak Yöntemleri ile Birleştirilmesi ve Arayüzey Özelliklerinin İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 20(2):183-189.
- [12] Kılınçer, S. ve Kahraman, N., (2009). AISI 409 ve Ç1010 Çeliğin Östenitik Elektrod Kullanarak MIG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 24(1):23-31.
- [13] Kahraman, N. ve Gülenç, B., (2009). Modern Kaynak Teknolojisi. Epa-Mat Basım Yayın Ltd. Şti, Ankara, ss:1-225.



- [14] Çalık, A., (2004). Elektron Işın Kaynağı ile Birleştirilmiş İki Farklı Çelik Malzemenin Kaynak Bölgesinin İncelenmesi, Doktora Tezi. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [15] Satyanarayana, V.V., Madhusudhan, R.G., and Mohandas, T., (2005). Dissimilar Metal Friction Welding of Austenitic-Ferritic Stainless Steels. Journal of Materials Processing Technology, Volume:160, pp:128-137.
- [16] Kaya, Y., Kahraman, N., Durgutlu, A., and Gülenç, B., (2012). An Investigation on Joinability of the Low Carbon Steel and Ferritic Stainless Steel by Different Welding Methods. International Iron & Steel Symposium, Karabük University Karabük/Turkey, pp:779-788.
- [17] Tekin, N., Küpeli, G. ve Gülsoy, H.Ö., (2009). Paslanmaz Çelik ile Düşük Karbonlu Alaşımız Çeliklerin Tozaltı Kaynak Metodu Kullanarak Birleştirilmesi, 1.Uluslararası Kaynak Teknolojileri Konferansı, Gazi Üniversitesi Ankara/Türkiye, ss:637-644.
- [18] Kaçar, R., Gündüz, S., Acarer, M. ve Demir, B., (2003). 304 Paslanmaz Çelik ve Mikroalaşımli Çeliklerin Ark Kaynağı ile Birleştirilmesinde Mikroyapı-Mekanik Özellik İlişkisinin İncelenmesi, 6. Uluslararası Kırılma Konferansı, Selçuk Üniversitesi, Konya/Türkiye, ss:157-167.
- [19] Metals and Their Weldability, (1997). AWS Welding Handbook, Seventh Edition, Volume:4, pp:521-522.
- [20] Gourd, L.M., (1995). Principles of Welding Technology. Third ed. British Library Cataloguing in Publication Data, London, pp:40-42.
- [21] Mechanical Testing and Evaluation, (2000). ASM Metals Handbook, Tenth Edition, First Printing, Materials Park, Ohio, USA, Volume:8, pp:1-1000.
- [22] Kılınçer, S., (1998). Düşük Karbonlu Çeliklerin Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi ile Kaynak Edilebilirliğinin ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [23] Çetinkaya, C., (1999). Düşük Karbonlu Çeliklerin Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi ile Kaynak Edilebilirliği ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(2):279-293.
- [24] Taban, E., Deleu, E., Dhooge, A., and Kaluç, E., (2008). Evaluation of Dissimilar Welds Between The Ferritic Stainless Steel Modified 12% Cr And The Carbon Steel S355, Welding Journal, 87(12):291-297.
- [25] Kahraman, N., Durgutlu, A. ve Gülenç, B., (2004). 316L Paslanmaz Çeliğin TIG Kaynağında Koruyucu Argon Gazına Hidrojen İlavesinin Kaynak Bölgesi Tane Morfolojisine Etkilerinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi Politeknik Dergisi, 7(3):223-228.
- [26] Gülenç, B., Develi, K., Kahraman, N., and Durgutlu, A., (2005). Experimental Study of The Effect of Hydrogen in Argon As A Shielding Gas in MIG Welding of Austenitic Stainless Steel, International Journal of Hydrogen Energy, 30:1475-1481.
- [27] Durgutlu, A., (2004). Experimental Investigation of The Effect of Hydrogen in Argon As A Shielding Gas on TIG Welding of Austenitic Stainless Steel, Materials and Design, 25:19-23.