



Nokta Direnç Kaynak Yöntemiyle Farklı Parametrelerde Birleştirilen SCGA590 Çeliğinin Mikroyapı ve Sertlik Özelliklerinin İncelenmesi

Zülfinaz Melike DOĞAN ^{a,*}, Muhammed ELİTAŞ ^b

^a Makine Mühendisliği ABD, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, TÜRKİYE

^b Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, TÜRKİYE

* Sorumlu yazar e-mail adresi: muhammed.elitas@bilecik.edu.tr

Özet

Bu çalışmada SCGA590 kalite otomotiv çeliği, diğer kaynak parametreleri sabit tutularak üç farklı akım (8 kA, 10 kA ve 12 kA) ve iki farklı zaman değerlerinde (100 ms ve 200 ms) nokta direnç kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Farklı parametrelerde elde edilen numunelerin mikroyapısı detaylı olarak incelenmiş ve mikro sertlik deneyleri yapılmıştır. Kaynak işleminde meydana gelen yüksek sıcaklık ve sonrasında gerçekleşen hızlı soğuma mikroyapıda bölgesel değişimlere sebep olmuştur. Bu doğrultuda kaynaklı birleşimde esas metal, ısının tesiri altındaki bölge ve kaynak metali olmak üzere 3 farklı bölge tespit edilmiştir. Mikroyapı sebebiyle sertlik değerleri esas metalden kaynak metaline doğru artış göstermiştir. En yüksek sertlik değerine (621 HV), 10 kA kaynak akımı 200 ms kaynak süresi parametrelerinde elde edilen numunede ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: SCGA590 çeliği, Nokta direnç kaynağı, Mikroyapı, Mikro sertlik

Investigation of the Microstructure and Hardness Properties of SCGA590 Steel Joined by Resistance Spot Welding at Different Parameters

Abstract

In this study, SCGA590 automotive steel was joined using the resistance spot welding method with three different currents (8 kA, 10 kA, and 12 kA) and two different time values (100 ms and 200 ms), while keeping other welding parameters constant. The microstructure of the specimens obtained under different parameters was examined in detail, and microhardness tests were performed. The high temperature generated during the welding process and the subsequent rapid cooling caused regional changes in the microstructure. Accordingly, three distinct regions were identified in the welded joint: the base metal, the heat-affected zone, and the weld metal. Due to the microstructure, the hardness values increased from the base metal to the weld metal. The highest hardness value (621 HV) was achieved in the sample obtained with welding current parameters of 10 kA and a welding time of 200 ms.

Keywords: SCGA590 steel, Resistance spot welding, Microstructure, Microhardness

Citation: ZM. Doğan & M. Elitaş, “Nokta Direnç Kaynak Yöntemiyle Farklı Parametrelerde Birleştirilen SCGA590 Çeliğinin Mikroyapı ve Sertlik Özelliklerinin İncelenmesi”, AJEAS. (2025) 3(3): 175-183. <http://dx.doi.org/10.70988/ajeas.1834477>

1. Giriş (Introduction)

Günümüzde çevreyi koruma bilincinin artmasıyla birlikte hava kirliliğinin azaltılması amaçlanarak, araçlarda hafif malzemeler kullanılmasına ve bunun beraberinde yakıt tasarrufuna yoğunlaşılmıştır [1, 2]. Çevrecilik ilkesiyle birlikte emniyet, kalite, sağlamlık ve üretilebilirlik otomotiv endüstrisinde malzeme seçimini belirleyen önemli faktörlerdir [3]. Bu bağlamda özel ısıtılma prosesleri ile elde edilen çift fazlı çelikler ön plana çıkmaktadır. Çift fazlı çeliklerin büyük çoğunluğu ağırlık azalımı, emniyetli performans gelişimi ve maliyet kazanımı gibi avantajlarından dolayı otomotiv endüstrisinde oldukça kullanışlı bir hale gelmektedir. Bu doğrultuda mevcut çeliklere kıyasla daha ince çift fazlı çeliklerde eşdeğer çekme mukavemeti elde edilmektedir. Bu durum ise ağırlık azalmasına katkı sağlamaktadır. Çift fazlı çelikler otomobilin dayanımında düşüş olmadan ağırlığını azaltmakta, benzer veya daha yüksek seviyede çarpışma enerjisini absorbe edebilmektedir [4, 5]. SCGA çelikler ise soğuk haddelenmiş galvaniz kaplı, çift fazlı bir çelik çeşididir. Çekme dayanımının yüksek oluşu ve olası kaza durumlarına karşı enerji absorpsiyonu sağlıyor olmasının beraberinde iyi şekillendirilebilirliğe sahiptir. Böylelikle otomotiv gövdelerinde, çarpışma sönümleyici, motor braketleri, yan paneller, aks bağlantı parçaları ve güçlendirme parçaları gibi çarpışmaya maruz kısımlarda kullanımı mümkün olan bir çelik türüdür [6]. Aynı zamanda hafif bir çelik türü olmasıyla SCGA çeliğinin birleştirilmesinde Nokta direnç kaynak (NDK) yöntemi öne çıkmaktadır. NDK, otomotiv endüstrisinde yer alan önemli bir birleştirme prosedürüdür [7].

Literatürde SCGA çeliğinin NDK yöntemiyle birleşimi üzerine sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Farabi vd. (2011) çift fazlı çelikler üzerine yaptıkları çalışmada, SCGA çift fazlı çeliklerin otomotiv sektöründe çarpışma sönümleyici ve güçlendirme parçalarında yüksek mukavemet ve sünekliği sebebiyle yaygın kullanımını belirtmiştir [8]. Aras vd. (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, yüksek mukavemetli DP800, Usibor 1500 ve Ductibor 500P çelik saclar NDK yöntemiyle birleştirilmiş ve sertlik değerleri incelenmiştir. Ductibor 500P ve DP 800 çeliklerinin Kaynak metali (KM) bölgelerinde Esas metal (EM) bölgelerine göre yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir. Bu duruma kimyasal bileşimlerinde bulunan sertlik artışına sebep olan alaşım elementlerinin (Mn ve Si) NDK esnasında hızlı ısınma ve soğuma durumunda martenzitik oluşumlara sebep olması ile değerlendirilebileceği ifade edilmiştir [2]. Sivaraj vd. (2019), çalışmalarında 1,6 mm kalınlığında soğuk haddelenmiş DP600 çeliğinden 5 kA aralıklarla 40 kA-60 kA arası akım değerlerinde 5 farklı seviyede NDK birleşimleri elde etmişlerdir. Sonrasında bu numunelerin sertlik değerleri incelenmiş olup, çalışma sonucunda kaydedilen maksimum sertlik değeri 480 HV ölçülmüştür. Kaynak akımı arttıkça kaynak çekirdek bölgesinin derinleştiğini, mukavemetin arttığını ifade etmişlerdir [9]. Bitirim (2024) tarafından SCGA590 çeliğinin farklı kaynak sürelerinde (10,15,20,25 ve 30 periyot) NDK birleşimleri gerçekleştirilmiştir. KM bölgesinden, EM'e yaklaştıkça sertlik değerinde düşüş meydana geldiği belirtilmiştir. Mikroyapı analizleri sonucunda ferrit fazı ve iğnemsiz martenzit yapı gözlenmiştir. Ayrıca kaynak süresindeki artışa bağlı olarak tane büyümesi meydana geldiği ifade edilmiştir [10]. Yakupoğlu (2021) SCGA440 çeliğinin, soğuk metal transfer yöntemiyle farklı parametrelerde birleşimini yapmıştır. Sertlik değerlerinin EM bölgesine doğru ısı girdisindeki azalmaya bağlı olarak düştüğünü ifade etmiştir. EM'den ısının tesiri altındaki bölgeye (ITAB) doğru sıcaklık etkisiyle tanelerde irileşme gözlenmiştir [11].

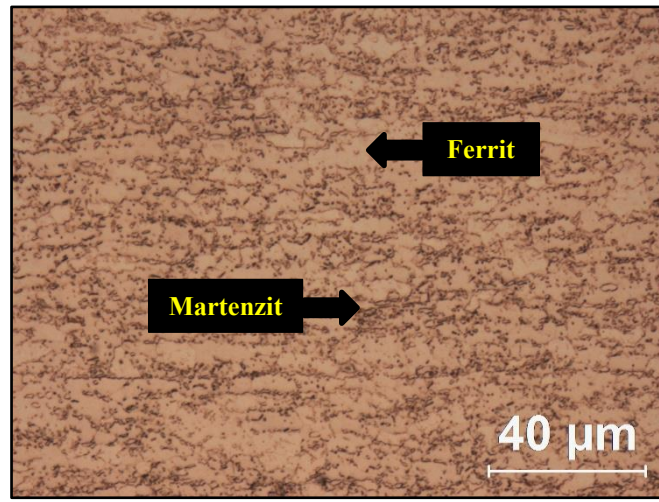
SCGA çeliği, otomotiv endüstrisinde şasi üzerinde montajı yapılarak güvenlik önlemlerinin bir parçası olarak çarpışma kutusu üretiminde kullanılmaktadır [11]. Bu sebeple araç gövde imalatında kaynaklı birleşimleri gerçekleştirilen SCGA çeliğinin mikroyapı ve sertlik özelliklerini iyileştiren kaynak parametrelerinin tespiti çok önemlidir. Literatürde ise SCGA590 otomotiv çeliğinin NDK birleşimleri üzerine sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada NDK işleminin mikroyapı üzerindeki etkisine ve sertlik değerlerinin en yüksek elde edilmesine katkı sağlayan ideal kaynak parametrelerinin tespitine odaklanılmıştır. Kaynak parametrelerindeki ufak bir iyileştirme, araç güvenliğine katkı

sağlayacak olması nedeniyle çok önemlidir. Sertlik, malzemenin çekme dayanımı hakkında da fikir sahibi olunmasına katkı sağlaması açısından bu çalışmada ayrıca ele alınmıştır. Bu bağlamda çalışmanın literatüre katkı sağlaması hedeflenmektedir.

2. Materyal ve Metot (*Materials and Method*)

2.1. Malzeme (*Material*)

SCGA çeliği, otomotiv endüstrisinde güvenlik önlemlerinin bir parçası olarak araç gövde imalatında sıklıkla kullanılmaktadır. NDK parametrelerinin iyileştirilmesine odaklanıldığı bu çalışmada 1,2 mm kalınlığında soğuk haddelenmiş, galvaniz kaplı SCGA590 çeliği kullanılmıştır. Sonuçların daha doğru değerlendirilebilmesi için kullanılan çeliğin kimyasal bileşimi Tablo 1’de verilmiştir, mikroyapısı ise Şekil 1’de gösterilmiştir. SCGA çeliği, ferrit ve martenzit fazlarından oluşan bir mikroyapıya sahiptir (Şekil 1). Çekme dayanımı ise yaklaşık olarak 590 MPa’dır.



Şekil 1. SCGA590 Çeliğinin EM Mikroyapısı (*BM Microstructure of SCGA590 Steel*)

Tablo 1. SCGA590 çeliğinin kimyasal bileşimi (% ağırlık) (*Chemical composition of SCGA590 steel (% by weight)*)

Çelik	C	Mn	Si	P	S	Fe
SCGA590	0,23	3,3	2	0,09	0,015	Kalan

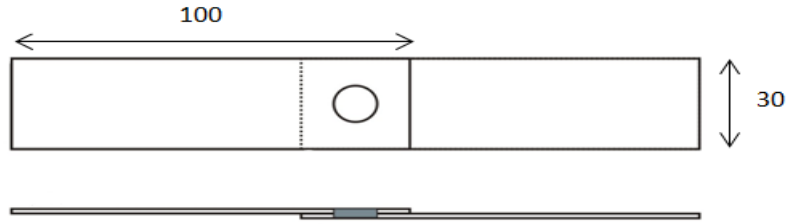
2.2. Test numunesi ve NDK işlemi (*Test sample, and RSW process*)

NDK işlemi için numuneler giyotin makas kullanılarak 100*30 mm boyutlarında hazırlanmış olup Şekil 2’de gösterilmiştir. Kaynak işlemi, Sağlamlar marka PP060 model akım ve zaman kontrollü kaynak makinesinde gerçekleştirilmiştir. 6 mm uç çapında bakır alaşımlı elektrotlar kullanılarak üç farklı akım ve iki farklı zaman parametrelerinde birleşimler gerçekleştirilmiştir. NDK işlemi 8 kA, 10 kA ve 12 kA kaynak akımlarında, 100 ms ve 200 ms kaynak sürelerinde ve 4,4 bar elektrot basıncı kullanılarak yapılmıştır. Elektrot basıncı tüm NDK işlemleri boyunca sabit tutulmuştur. NDK işlem parametreleri ve ilgili birleşim kodları Tablo 2’de gösterilmiştir. 1 adet mikroyapı çalışmaları ve 1 adet sertlik ölçümlerinde kullanılmak üzere her parametreden ikişer adet kaynaklı birleşim hazırlanmıştır. Literatürde SCGA çeliğinin NDK birleşimlerinde kaynak süresinin etkisi ile ilgili çalışma bulunmaktadır [10]. Kaynak akımı, kaynak süresi ve elektrot basıncı ısı girdisine etki eden önemli kaynak parametreleridir. Ancak kaynak akımının, SCGA çeliğinin NDK birleşimlerinin mikroyapı, sertlik özellikleri üzerine bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Ayrıca seçilen kaynak süresi ve

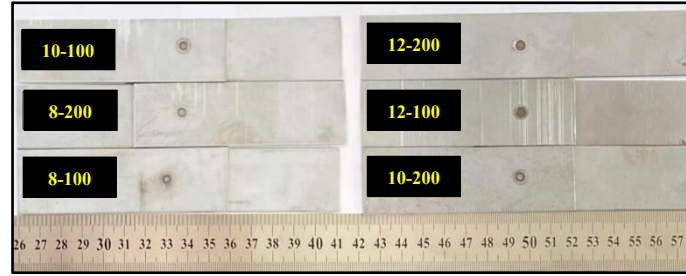
kaynak akımı değerleri gerçekleştirilen ön deneyler neticesinde ısı girdisinin az olması sebebiyle oluşabilecek kaynak boşlukları ve fazla olması sebebiyle gözlemlenebilecek sıçramalara mahal vermeyecek değerlerde seçilmiştir. NDK işlemi sonrası elde edilen birleşimler Şekil 3'te gösterilmiştir.

Tablo 2. NDK işlem parametreleri (*RSW process parameters*)

Birleşim kodu	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Kaynak akımı (kA)	8	10	12	8	10	12
Kaynak süresi (ms)	100	100	100	200	200	200



Şekil 2. NDK Numunesi Şematik Görüntüsü (*Schematic View of the RSW Sample*)



Şekil 3. NDK ile Farklı Parametrelerde Elde Edilen Birleşimler (*Combinations Obtained with Different Parameters Using RSW*)

Kaynak işleminden sonra elde edilen birleşimler hassas kesme cihazı kullanılarak EM, ITAB ve KM bölgelerini içerecek şekilde enlemesine kesilip bakalite alınmıştır. Numuneler, mikroyapı incelemesi için 120, 220, 360, 600, 800, 1000, 1200 ve 2000 mesh zımparalar ile zımparalama işlemine tabi tutulmuştur. Sonrasında sırasıyla 3µ ve 1µ elmas solüsyonlar ve çuhalar yardımıyla parlatma işlemi yapılmış olup, %2 nital (%98 metanol+%2 nitrik asit) çözeltisi kullanılarak dağlanmıştır. Mikroyapı görüntüleri optik mikroskop yardımıyla alınmıştır. Ayrıca iğnemi martenzit fazını gözlemlemek amacıyla taramalı elektron mikroskobu yardımıyla KM bölgesinden mikroyapı görüntüsü alınmıştır. Mikro sertlik deneyleri ise EMCASET marka DuroScan 20 model cihaz kullanılarak, ölçüm yönü EM'den KM'e doğru olacak şekilde HV 0,5 yük altında 10 saniye süre uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

3. Sonuçlar ve Tartışma (*Results and Discussion*)

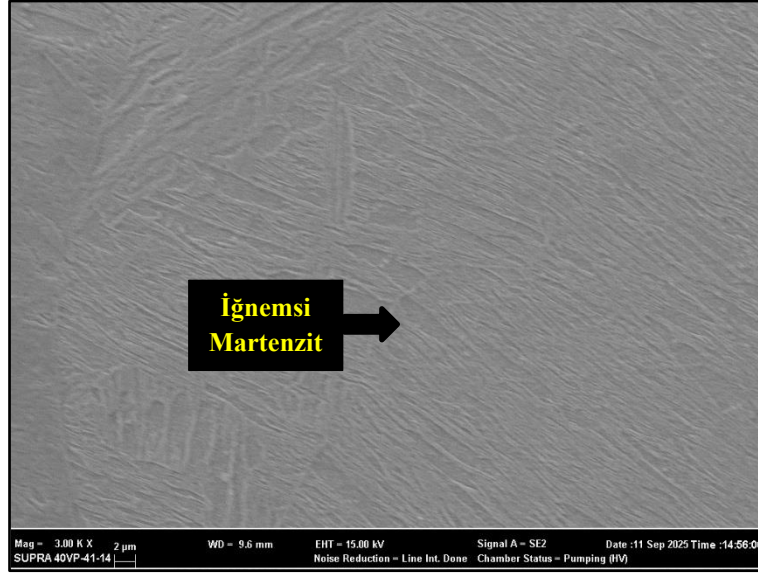
3.1. Mikroyapı (*Microstructure*)

Literatürde çift fazlı çeliklerin mikroyapısında genellikle ağırlıklı olarak hacim merkezli kübik (bcc) ferrit ve düşük oranda hacim merkezli tetragonal (bct) martenzit olmak üzere iki faz bulunduğu ifade edilmiştir [12]. EM, ITAB ve KM bölgelerinden optik mikroskop yardımıyla alınan mikroyapı görüntüleri Şekil 4'te verilmiştir. İyapı analizi için optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde, EM'de ferrit içinde dağınık şekilde martenzit fazı bulunurken, KM'e doğru ferrit yoğunluğunun azaldığı görülmektedir.



Şekil 4. EM, ITAB ve KM Bölgelerinden Alınan Optik Mikroskop Görüntüleri (*Optical Microscope Images Taken from BM, HAZ, and WM Regions*)

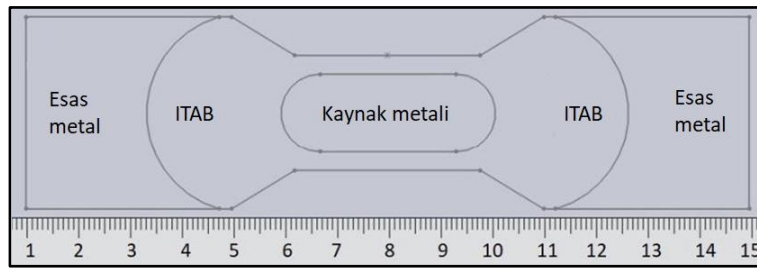
EM’de açık renkli ferrit taneleri belirgin şekilde gözlemlenebilirken ITAB ve KM’de ısı girdisine bağlı olarak özellikle KM’de olmak üzere iğnemsî martenzit hacim yoğunluğu artmıştır. Gözlemlenen ciddi martenzit oluşumu çift fazlı çeliklerde bulunan yoğun karbon ve mangan içeriğine bağlı olabilmektedir, bu elementler sertleşmeyi arttırmaktadır [12]. ITAB’da ise sıcaklık etkisiyle tane boyutlarının irileşmeye başladığı, soğuma sırasında martenzit fazına dönüştüğü ve KM bölgesine gelindiğinde iri tanelerin dikey yönde uzadığı literatürde ifade edilmiştir [13]. KM bölgesinde iğnemsî martenzit fazı oluşumuna dair taramalı elektron mikroskobundan alınan mikroyapı görüntüsü Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5. KM Bölgesinin Taramalı Elektron Mikroskop Görüntüsü (*Scanning Electron Microscope Image of the WM Region*)

3.2. Mikro sertlik (*Microhardness*)

Farklı kaynak akımı ve zaman parametrelerinde gerçekleştirilen NDK işlemleri sonucunda elde edilen numunelerin mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır. 5 bölgeden (2 adet EM, 2 adet ITAB ve KM) 3’er adet olmak üzere toplamda 15 adet sertlik ölçümü gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümü gerçekleştirilen bölgelere ait şematik görüntü Şekil 6’da gösterilmiştir.

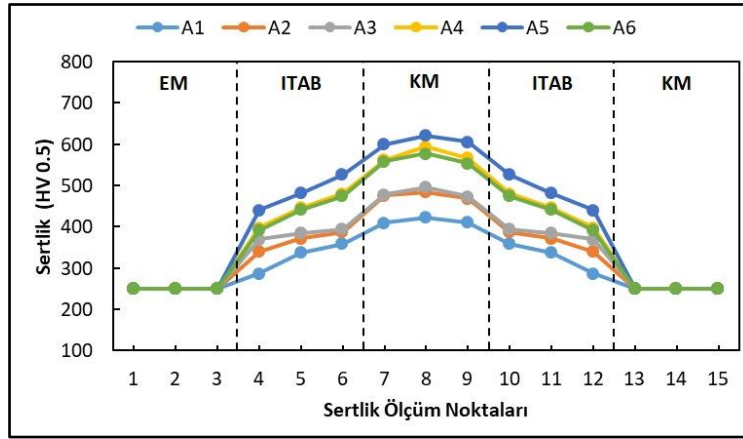


Şekil 6. Sertlik Ölçüm Noktaları (*Hardness Measurement Points*)

Mikro sertlik değerlerini gösteren grafik Şekil 7’de verilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde NDK işleminde meydana gelen yüksek sıcaklık ve sonrasında hızlı soğuma sebebiyle sertlik değerlerinde sırasıyla EM, ITAB ve KM bölgesi boyunca artış görülmüştür. KM’e doğru sertlik artışına katkı sağlayan martenzit fazı artışı bu duruma sebep olmuştur. Bu doğrultuda tüm numunelerde KM bölgesinde daha yüksek ve KM’den uzaklaştıkça düşüş sergileyen bir gidişat görülmüştür. En yüksek sertlik değeri 10 kA kaynak akımı 200 ms kaynak süresi parametrelerinde elde edilen A5 kodlu numunede ölçülmüştür (621 HV).

Bitirim (2024) tarafından gerçekleştirilen çalışmada SCGA590 çeliğinin farklı kaynak sürelerinde elde edilen NDK birleşimleri için maksimum KM sertlik değeri 440 HB (yaklaşık olarak 466 HV) elde edilmiştir [10]. Mevcut çalışmada kaynak parametrelerinde sağlanan iyileştirme neticesinde 466 HV sertlik değerine göre yaklaşık %33 artış sağlanmıştır.

Kaynak akımı ve kaynak süresi değerleri arttıkça ısı girdisi artmaktadır [14]. Artan ısı girdisi, elektrot/sac arayüzü sıcaklığında artışa sebep olmakta ve bu durum elektrot basıncı altında sac arayüzünde meydana gelen plastik deformasyon derecesini artırmaktadır [15]. Bu doğrultuda, aşırı ısı girdisi sebebiyle elektrot batma derinliği artmakta ve sertlik gibi mekanik özellikler açısından olumsuz etkide bulunmaktadır [16, 17]. Elektrot batma derinliğindeki artışa bağlı olarak A6 kodlu numunede A5 kodlu numuneye göre sertlik değeri düşüş göstermiştir.



Şekil 7. Farklı Parametrelerde Elde Edilen Mikro Sertlik Değerleri (*Microhardness Values Obtained Under Different Parameters*)

4. Sonuçlar (*Conclusions*)

SCGA590 çeliğinin farklı akım ve zaman parametrelerinde elde edilen nokta direnç kaynak birleşimleri, mikroyapı ve mikro sertlik bakımından incelenmiş olup çalışmada elde edilen sonuçlar şu şekildedir;

- Nokta direnç kaynak işlemi, mikroyapıda esas metal, ısının tesiri altındaki bölge ve kaynak metali olmak üzere 3 farklı bölge oluşmasına sebep olmuştur.
- Esas metalden kaynak metaline doğru sünekliliğe katkı sağlayan ferrit fazı azalırken sertliğe katkı sağlayan martenzit fazı artış göstermiştir. Kaynak metali bölgesinde iğnemsiz martenzit fazı gözlenmiştir.
- Mikroyapı değişimleri ile paralel olarak mikro sertlik değerleri esas metalden kaynak metaline doğru artış göstermiştir.
- En yüksek sertlik değerine 10 kA kaynak akımı ve 200 ms kaynak zamanında elde edilen A5 kodlu numunede ulaşılmıştır (621 HV).

Teşekkür ve Finansman (*Acknowledgments and Funding*)

Bu çalışmanın yapılması ve sonuçlarının elde edilmesinde desteklerinden dolayı; Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne (Proje No: TEZ-Y-2025-658) teşekkür ederiz. Ayrıca kaynak işlemlerinin gerçekleştirilmesinde katkı sağlayan Sağlamlar Punta Firmasına teşekkür ederiz.

Deklarasyon ve Etik Standartlar (*Declarations and Ethical Standards*)

Yazarlar bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve/veya yayınlanmasıyla ilgili olarak herhangi bir potansiyel çıkar çatışması beyan etmemiştir. Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan ederler.

Yazar Katkısı (*Author Contributions*)

Yazarlar çalışmada ortak katkı sağlamışlardır.

Kaynaklar (*References*)

- [1] S. Aras, R. Ertan, H. G. Özgül, “Investigation of mechanical properties of high strength steel welded by resistance spot welding”, Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 24:1 (2018) 63–68. doi: 10.5505/pajes.2017.88972
- [2] R. Ertan, S. Aras, H. G. Özgül, “Direnc nokta kaynağı ile birleştirilen yeni nesil çeliklerde kaynak akımının mekanik özelliklere etkisi”, Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering, 19 (2019) 461–469. doi: 10.35414/akufemubid.594175
- [3] B. Demir, M. Elitaş, H. Karakuş, “Nokta direnc kaynağı ile birleştirilen DP600 çeliğinin çekme makaslama özelliğinin incelenmesi”, Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 28:4 (2022) 533–538. doi: 10.5505/pajes.2021.53383.
- [4] M. Elitaş, “Effects of welding parameters on tensile properties and fracture modes of resistance spot welded DP1200 steel”, Materials Testing, 63:2 (2021) 124–130. doi: 10.1515/mt-2020-0019.
- [5] X. Long, S. K. Khanna, “Fatigue properties and failure characterization of spot welded high strength steel sheet”, International Journal of Fatigue, 29:5 (2007) 879–886. doi: 10.1016/j.ijfatigue.2006.08.003.
- [6] C. T. Sezgin, “Otomotiv endüstrisinde yeni nesil çelik kullanımının önemi”, Akademia Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi / Academia Journal of Engineering and Applied Sciences, 1:3 (2017) 205–210.
- [7] Y. Hasirci, M. Elitas, “Microstructure and mechanical properties of similar and dissimilar resistance spot welded DC04 and HRP6222 (DD11) steels”, Materials Testing, 66:10 (2024) 1739–1749. doi: 10.1515/mt-2024-0249.
- [8] N. Farabi, D. L. Chen, Y. Zhou, “Microstructure and mechanical properties of laser welded dissimilar DP600/DP980 dual-phase steel joints”, Journal of Alloys and Compounds, 509:3 (2011) 982–989. doi: 10.1016/j.jallcom.2010.08.158.
- [9] P. Sivaraj, M. Seeman, D. Kanagarajan, R. Seetharaman, “Influence of welding parameter on mechanical properties and microstructural features of resistance spot welded dual phase steel sheets joint”, Materials Today: Proceedings, 22 (2020) 558–562. doi: 10.1016/j.matpr.2019.08.201.
- [10] B. Bitirim, Otomotiv sektöründe kullanılan SCGA590® malzemesinin direnc nokta kaynağında mekanik özelliklerinin incelenmesi / Investigation of the mechanical properties of SCGA590® material used in the automotive industry in resistance spot welding, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, Türkiye, 2024, 68 s.

- [11] C. Yakupoğlu, Otomotivlerde kullanılan crash boxların CMT yöntemi ile birleştirilebilirliğinin ve mekanik özelliklerinin incelenmesi / Investigation of combinability and mechanical properties of crash boxes used in automobiles with CMT method, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, Türkiye, 2021, 115 s
- [12] C. Ma, D. L. Chen, S. D. Bhole, G. Boudreau, A. Lee, E. Biro, “Microstructure and fracture characteristics of spot-welded DP600 steel”, Materials Science and Engineering: A, 485:1-2 (2008) 334–346. doi: 10.1016/j.msea.2007.08.010.
- [13] H. Zhang, A. Wei, X. Qiu, J. Chen, “Microstructure and mechanical properties of resistance spot welded dissimilar thickness DP780/DP600 dual-phase steel joints”, Materials & Design, 54 (2014) 443–449. doi: 10.1016/j.matdes.2013.08.027.
- [14] M. Pouranvari, S. P. H. Marashi, “Critical review of automotive steels spot welding: process, structure and properties”, Science and Technology of Welding & Joining, 18:5 (2013) 361–403. doi: 10.1179/1362171813Y.0000000120.
- [15] M. Goodarzi, S. P. H. Marashi, M. Pouranvari, “Dependence of overload performance on weld attributes for resistance spot welded galvanized low carbon steel”, Journal of Materials Processing Technology, 209:9 (2009) 4379–4384. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2008.11.017.
- [16] M. Pouranvari, A. Abedi, P. Marashi, M. Goodarzi, “Effect of expulsion on peak load and energy absorption of low carbon steel resistance spot welds”, Science and Technology of Welding & Joining, 13:1 (2008) 39–43. doi: 10.1179/174329307X249342.
- [17] M. Pouranvari, A. Abedi, S. P. H. Marashi, M. Goodarzi, “Dissimilar resistance spot welding of DP600 dual phase and AISI 1008 low carbon steels: correlation between weld microstructure and mechanical properties”, Ironmaking & Steelmaking, 38:6 (2011) 471–480. DOI: 10.1179/1743281211Y.0000000024.

Yazar Biyografileri (Author Biographies)

 Zülfinaz Melike DOĞAN	Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden lisans derecesini aldıktan sonra, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.
 Muhammed ELİTAŞ	Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı’nda öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Çalışma alanları kaynak teknolojileridir.