

MAG Gazaltı Kaynağı ile Birleştirilen Farklı Otomotiv Çeliklerinin (SPH270-C/SPH440-OD) Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Investigation of Microstructural and Mechanical Properties of Different Automotive Steels (SPH270-C/SPH440-OD) Joined by MAG Gas Metal Arc Welding

Çağrı Ertürk^{1*}, Muhammed Elitaş²

Geliş / Received: 04/10/2025

Revize / Revised: 29/12/2024

Kabul / Accepted: 29/12/2024

ÖZ

Bu çalışmada, SPH270-C ile SPH440-OD otomotiv çelikleri Metal Aktif Gaz (MAG) kaynağı yöntemiyle birleştirilip numunelerin mikroyapısı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. 9 farklı kaynak kombinasyonunda farklı tel hızı, kaynak gerilimi değerlerinde kaynak işlemi uygulanmıştır. Mikroyapı incelemeleri optik mikroskopta gerçekleştirilmiştir. Mekanik özelliklerin değerlendirilmesi amacıyla çekme deneyi ve Vickers sertlik ölçümleri uygulanmıştır. Sonuç olarak, farklı kaynak parametrelerinin çekme mukavemetini, yüzde uzamayı ve kaynak dikişini etkilediği gözlenmiştir. En yüksek çekme dayanımı C3 kodlu numunede (6 m/dak tel hızı, 19 V kaynak voltajı parametreleri) gözlenirken, en düşük çekme dayanımı A3 kodlu numunede gözlenmiştir. En yüksek yüzde uzama değeri B2 kodlu numunede, en düşük ise A3 kodlu numunede meydana gelmiştir. Genellikle kaynak gerilimi kademeli olarak artırılıp, tel hızının sabit tutulduğu durumlarda kaynak dikişi genişlemiştir. Kaynaklı birleşimlerde kopmalar SPH270-C esas metalinde gerçekleşmiştir. Mikroyapı incelemelerinde esas metalden kaynak metaline doğru ilerledikçe tane irileşmesi ve sıklığın arttığı görülmüştür. Ayrıca sertlik değerleri esas metalden kaynak metaline doğru artış göstermiştir.

Anahtar Kelimeler- SPH270-C, SPH440-OD, MAG Kaynağı, Mikroyapı, Mekanik Özellikler

ABSTRACT

This study investigated the microstructure and mechanical properties of SPH270-C and SPH440-OD automotive steels joined by the Metal Activated Gas (MAG) welding method. Nine different welding combinations were tested with varying wire speeds and welding voltages. Microstructure investigations were carried out using an optical microscope. Tensile tests and Vickers hardness measurements were performed to evaluate the mechanical properties. The results showed that different welding parameters affected the tensile strength, percent elongation, and weld seam. Specimen C3 exhibited the highest tensile strength (6 m/min wire speed and 19 V welding voltage), while specimen A3 exhibited the lowest tensile strength. The highest percent elongation value was observed in specimen B2, and the lowest value was observed in specimen A3. In general, the weld seam widened as the welding voltage increased while the wire speed remained constant. Ruptures in the welded joints occurred in the SPH270-

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: cagrierturk19@gmail.com (<https://orcid.org/0009-0000-7859-541X>)

Makine Mühendisliği, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilecik, Türkiye

²İletişim: muhammed.elitas@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-5358-1783>)

Makine Mühendisliği, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilecik, Türkiye

C base metal. Microstructure examinations revealed that grain coarsening and density increased from the base metal to the weld metal. Hardness values also increased from the base metal to the weld metal.

Keywords- SPH270-C, SPH440-OD, MAG Welding, Microstructure, Mechanical Properties

I. GİRİŞ

Çelikler demir karbon alaşımı olup mühendislik malzemeleri arasında önemli yere sahiptir [1,2]. Bu çalışmada, “Steel Plate Hot” kelimelerinin baş harflerinden oluşan SPH kısaltmasına sahip sıcak haddelenmiş çelik levhalar incelenmiştir [3]. Bu doğrultuda Japon Endüstri Standartlarına (JIS) göre G3131 standartlarına ait bir çelik türü ayrıca Toyota üretim kodu TSG3100G ile adlandırılan SPH270-C çeliği ile JIS’ a göre G3113 standartlarına ait bir çelik olan Toyota kodu TSG3100G ile adlandırılan SPH440-OD çelikleri incelenmiştir [4]. Özellikle SPH440-OD çeliği çarpışma sonucu aşırı yük altında bozulmama özelliğine sahip çeliktir aynı zamanda SAPH olarak da tanımlanır [5]. SPH270-C ve SPH440-OD, genellikle otomotiv endüstrisinde tercih edilen ve çelik levha üretiminde kullanılan çeliklerdir. Bu çeliklerin, yüksek mukavemetin gerekli olduğu aynı zamanda şekil alabilme özelliği gösteren araç şasisi, tekerliği gibi uygulama alanları bulunmaktadır [3,6].

Gazaltı kaynağı, MIG (Metal Inert Gas) /MAG (Metal Active Gas) olarak ayrılır. Gazaltı kaynağı yaparken koruyucu gaza ihtiyaç duyulur. Koruyucu gazın kullanım amacı havanın olumsuz etkilerinden kaynak bölgesini korumaktır [7]. Koruyucu gaz ortamı, Argon (Ar), Helyum (He) veya Ar+He karışımı gibi soygazlardan oluşursa MIG, karbondioksit, azot gibi aktif gazlar içerirse MAG olarak isimlendirilir [8]. Malzemelerin kaynaklanabilmesi için ergimenin gerçekleşmesini sağlayacak ısının oluşması gerekmektedir. Isı, devamlı beslenen elektrod ile malzeme arasında oluşan arkın ve oluşan kaynak akımının tel elektrottan geçmesi ile oluşan etkileşme sonucu ısınmanın gerçekleşmesi ile telin ergimesinin sağlanması mantığına dayanmaktadır. Koruyucu gaz ile olumsuz sebepler ortadan kaldırılarak gazaltı ark kaynağı uygulamaları gerçekleştirilmektedir [9].

Farklı malzemelerin üstün özelliklerini bir araya getirebilmek amacıyla kaynaklı birleşimleri yapılmaktadır. Kasih vd. (2018) çalışmalarında otomotiv endüstrisinde genellikle kullanılan farklı kalınlıklara sahip SPC 440 ve SPH 440 çeliklerinin Nokta Direnç Kaynak (NDK) yöntemiyle birleşimlerini gerçekleştirmişlerdir. Bu bağlamda, daha iyi mekanik sonuçlar elde etmek amacıyla proses parametrelerinin optimizasyonuna odaklanmışlardır. Farklı kaynak akımı, kaynak süresi ve elektrot kuvveti parametrelerinin Taguchi yöntemi ile sonuçlara etkisini değerlendirmişlerdir. İncelemeler sonucu kaynak prosesinde kontrol edilmesi gereken en önemli parametrenin kaynak süresi olduğunu bulmuşlardır [10]. Okuyan ve Uzun (2017), çalışmalarında 1 mm ve 4 mm kalınlığındaki SPH440 çelik lama ile 1,2 mm kalınlığında ve Ø31,8 mm çapındaki STKM800 boru profili, en iyi kaynak nüfuziyetini sağlamak amacıyla kaynak akımı, kaynak hızı ve kaynak gerilimi parametrelerini farklı kombinasyonlarda uygulayarak robot ark kaynağı ile birleştirmişlerdir. Sonuç olarak en iyi nüfuziyetin sağlandığı kaynak akımı, kaynak hızı ve kaynak gerilim değerlerini bulmuşlardır [11].

Literatürde SPH270-C ve SPH440-OD çeliklerinin robot ark kaynağı, punta kaynağı ile birleştirilmesine dair çalışmalara rastlanılmasına rağmen MAG kaynağı ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada literatür çalışmalarından farklı olarak SPH270-C ile SPH440-OD otomotiv çelikleri, MAG gaz altı kaynağı ile birleştirilmiştir. 3 farklı tel ilerleme hızı ve her tel ilerleme hızı için 3 farklı gerilim değerinde olmak üzere 9 farklı parametrede birleşimler gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı numunelerin mikroyapısı optik mikroskopta analiz edilmiştir. Mekanik özelliklerin incelenmesi için çekme testleri ve mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri esas metal (EM), ısının tesiri altındaki bölge (ITAB) ve kaynak metali (KM) bölgeleri boyunca eksenlere paralel doğrultuda gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kaynak parametrelerinin kaynak dikişine etkisi değerlendirilmiştir. Farklı kalınlıklardaki iki farklı sıcak haddelenmiş SPH270-C/SPH440-OD çeliklerin MAG kaynak uygulamaları ile literatüre ve otomotiv endüstrisine vereceği katkı çalışmanın önemini göstermektedir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

SPH270-C ve SPH440-OD, otomotiv endüstrisinde yüksek mukavemet ve şekil alabilme yeteneği gösterebilmeleri sebebiyle yapı çeliği olarak kullanılmaktadırlar [12]. Deney sırasında kaynak işlemi için Gedik GeKA marka 1 mm çapındaki SG2 AWS A5 18(ER70 S-6) kodlu kaynak teli kullanılmıştır. Bu çeliklere ve kaynak teline ait kimyasal bileşim değerleri Tablo 1’de verilmiştir. Ayrıca çelikler ve kaynak teli ile ilgili mekanik özelliklerin bulunduğu değerler Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 1. Esas metallerin (SPH270-C/SPH440-OD) ve SG2 elektrodunun kimyasal bileşimleri (%)

Alaşım Elementi (%)	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Al	Fe
SPH270-C	0,04	0,01	0,24	0,011	0,01	0,009	0,010	0,02-0,05	Kalan
SPH440-OD	0,15	0,01	0,7	0,013	0,007	0,026	0,022	0,02-0,05	Kalan
SG2 Kaynak Teli	0,08	0,85	1,45	<0,02	<0,025	<0,3	-	-	Kalan

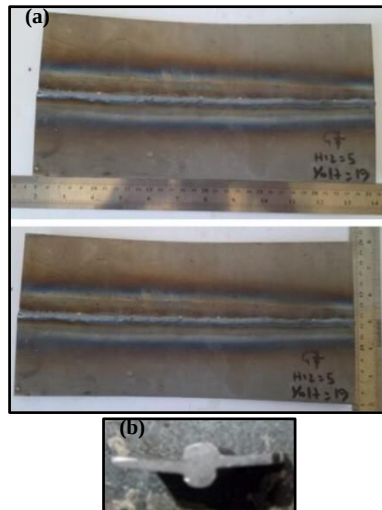
Tablo 2. Esas metallerin (SPH270-C/SPH440-OD) ve SG2 elektrodunun mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Yüzde Uzama (%)
SPH270-C	165-325	≥270	39
SPH440-OD	255-410	≥440	35
SG2 Kaynak Teli	420	500-640	22

2 mm kalınlığındaki SPH270-C ile 3 mm kalınlığındaki SPH440-OD çelikleri EN ISO 14273 standartlarına göre NTE 2500/4B devirmeli giyotin makas ile 300x75 mm boyutlarında hazırlanmıştır [13]. Sac malzemeler MAG gazaltı kaynağı ile manuel çift taraflı tek pasolu olarak birleştirilmiştir (Şekil 1). Kaynak parametreleri Tablo 3'te verilmiştir. GekaMac marka GKM 500 su soğutmalı kaynak makinesinde 1 mm çapında SG2 AWS A5 18 kaynak teli kullanılmıştır. Koruyucu gaz olarak HB212 karışımı tercih edilmiştir. Koruyucu gazın gaz bileşimi %2 oksijen, %12 karbondioksit ve %86 balans argon gazıdır.

Tablo 3. Kaynak parametreleri

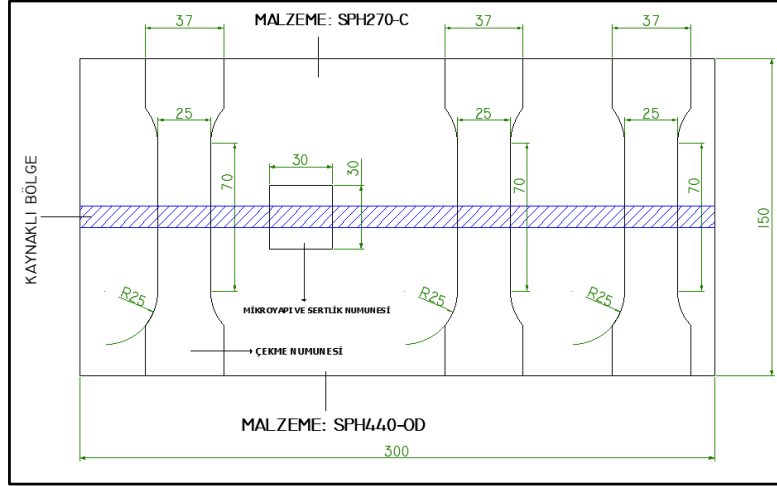
Kaynak Kodu	Tel İlerleme Hızı (m/dk)	Gerilim (V)	Gaz Miktarı (lt/dk)
A1	5	15	14
A2	5,5	15	14
A3	6	15	14
B1	5	17	14
B2	5,5	17	14
B3	6	17	14
C1	5	19	14
C2	5,5	19	14
C3	6	19	14



Şekil 1. 5m/dk- 19 V parametrelerinde elde edilen kaynaklı birleşimlerin makro görüntüsü (a) 300x150 mm boyutlarında hazırlanan numune (b) Kaynaklı birleşimin mikroyapı incelemeleri için hazırlanan kesit alan görüntüsü

Kaynaklı numunelerin mikroyapı incelemesi ve mekanik özelliklerini belirlemek için çekme deneyi, sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. BODOR marka lazer kesim makinesinde TS EN ISO 4136 standardına bağlı

kalınarak mikroyapı ve çekme deney numuneleri hazırlanmıştır (Şekil 2). Mikroyapı çalışmaları için hazırlanan numuneler sertlik ölçümleri için de kullanılmıştır. Mikroyapı incelemeleri için öncelikle 120, 220, 360, 600, 800 1000 meshlik SiC zımparalar kullanılarak zımparalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonrasında numune yüzeyi, 3 µm ve 1 µm elmas pasta solüsyonları ile parlatılarak dağlama işlemi uygulanmıştır. Dağlama işlemi, %2 nital (%98 metanol+%2 nitrik asit) çözeltisinde 2 saniye aralıklarla fazlar tespit edilene kadar tekrarlı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı görüntülemeleri için Nikon Eclipse LV1500N marka optik mikroskop kullanılmıştır. EMCO TEST DuraScan 20 marka cihazda HV 0.5 yük 10 saniye süreyle uygulanarak mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır. Çekme testleri, Shimadzu AG-IC (100 kN) marka çekme-basma cihazında 2 mm/dk çene hızında gerçekleştirilmiştir. Her parametreden üçer adet olmak üzere toplamda 27 adet numune çekme deneyine tabi tutulmuş ve sonuçların aritmetik ortalaması alınarak her parametre için ortalama çekme dayanım değerleri belirlenmiştir.



Şekil 2. 300x150 mm boyutlarında hazırlanan kaynaklı birleşimden lazer kesim yöntemiyle elde edilen 1 adet mikroyapı ve 3 adet çekme deney numunelerinin ölçüleri

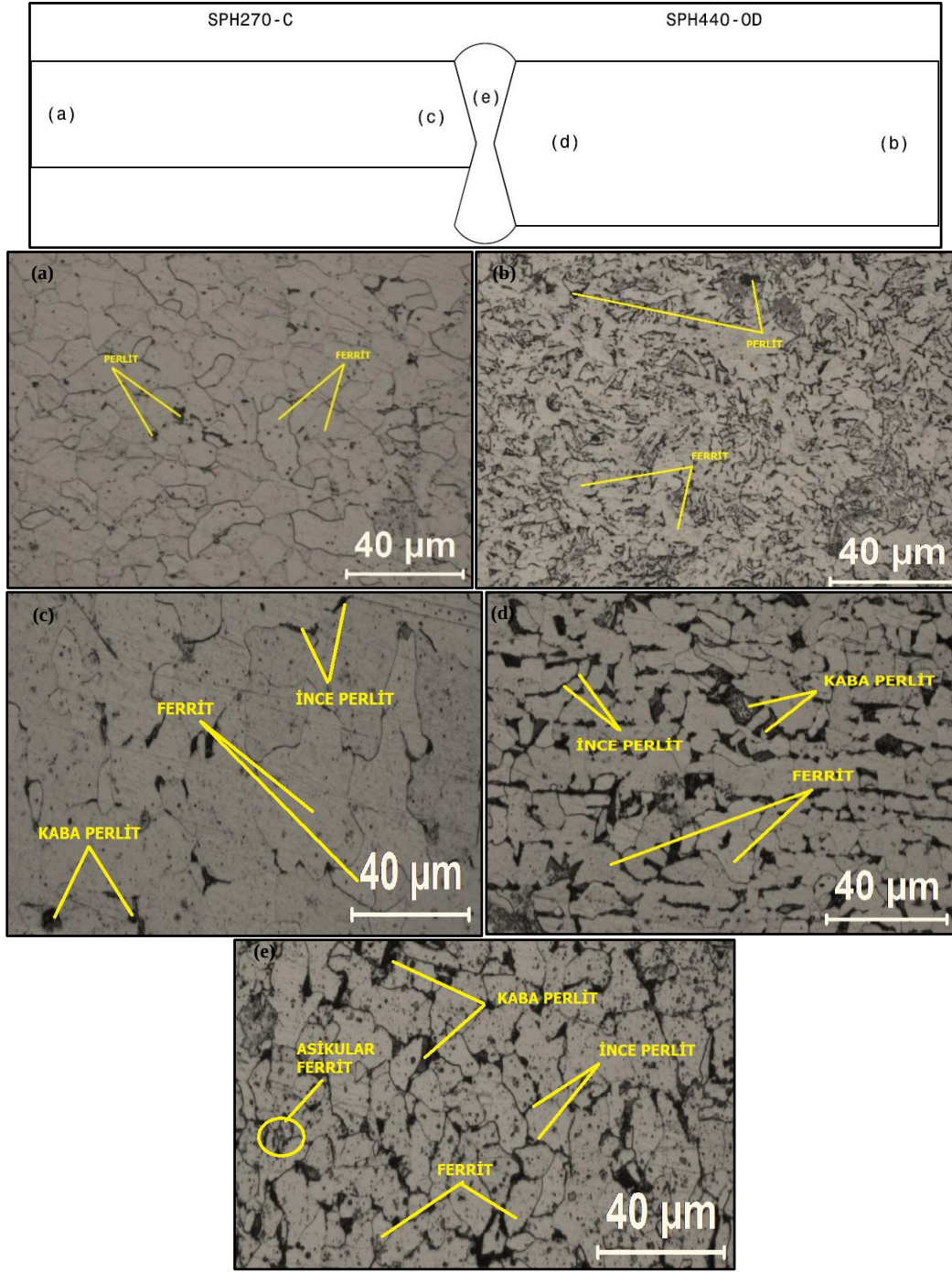
III. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

A. Mikroyapı incelemeleri

MAG gazaltı kaynak işleminde oluşan yüksek ısı ve sonrasında hızlı soğuma neticesinde EM, ITAB ve KM bölgelerinde farklı mikroyapı görüntüleri elde edilmiştir. Elde edilen görüntüler Şekil 3'te sunulmuştur.

Şekil 3a ve 3b'de EM mikroyapısının ince ve homojen dağılımlı ferrit ve perlit yapıda olduğu gözlenmiştir. Şekil 3c ve 3d'de ITAB bölgelerine bakıldığında kaynak işleminde oluşan yüksek sıcaklık sebebiyle tane irileşmeleri görülmüştür. ITAB bölgelerinden KM'e doğru tane sınırı sayısı artmıştır (Şekil 3e). Tane sınırı sayısı artması dislokasyon hareketini zorlaştırmaktadır. Dislokasyon hareketinin engellenmesi ise KM sertliğinin ve çekme dayanımının diğer bölgelere göre daha yüksek olmasına sebep olmaktadır. KM, ferrit, perlit ve yer yer asiküler ferrit yapıya sahiptir. Literatür araştırmalarında asiküler ferrit oranının artması ile kaynak metalinin mukavemetinin ve tokluğunun arttığı ifade edilmiştir [14].

Ferrit oda sıcaklığında % 0,009 oranında C bulunduran bir fazdır. Faz bölgesinde karbon miktarının düşük olması sertliğin az olduğu anlamına gelmektedir. Bu fazdaki malzemeler işlemeye elverişli ve sünek yapıdadır. Perlit fazı, ferrit ve sementit (Fe₃C) karışımı olan bir fazdır. Sementit fazı gevrek ve sert yapıya sahiptir. Sementit fazının yapıdaki artışı malzemenin dayanım ve sertliğini artırır, süneklik ve tokluğunu azaltır. Malzemelerin mekanik özelliklerine sementit oranı dışında fazların tabaka kalınlıkları da etki etmektedir. Perlit fazının bir türü olan ince perlit fazı, ferrit ve sementit yapılarının tekrarlı ve ince tabakalar oluşturduğu bir faz yapısına sahiptir. Kaba perlit yapısına göre dayanıklı ve daha sert olmasına karşın sünekliği daha azdır. Perlitin diğer türü olan kaba perlit, bölgesinde ferrit ve sementit yapılarının tekrarlı ve kalın tabakalar oluşturduğu bir faz düzenine sahiptir. İnce perlite göre yüksek tokluğa, sünekliğe sahiptir [15]. EM bölgesinden farklı olarak ITAB ve KM'de ince perlit fazlarının görülmesi yapıdaki sertliğin artmasına sebep olmuştur.



Şekil 3. MAG kaynak işlemi sonrası oluşan mikroyapı görüntüleri
a) SPH270-C EM b) SPH440-OD EM c) SPH270-C ITAB d) SPH440-OD ITAB e) KM

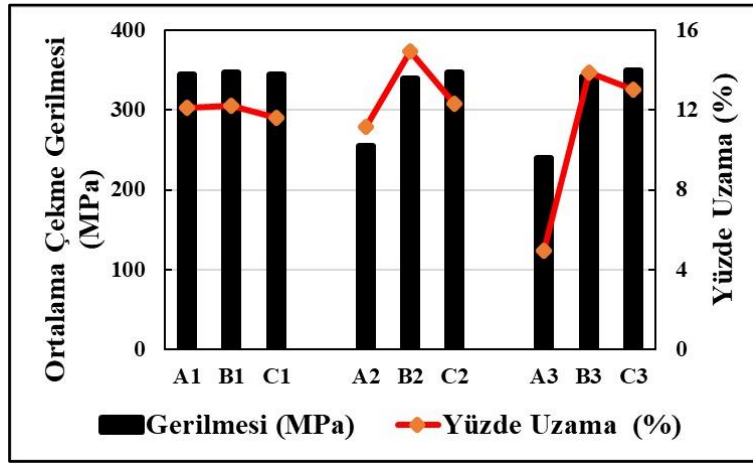
B. Çekme Deneyi ve Kaynak Dikişi İncelemeleri

Tablo 3'te verilen 9 farklı kaynak parametresi için her parametreden 3'er adet numune çekme deneyine tabi tutulmuştur. Şekil 4 ve Şekil 5'te çekme deneyi sonuçlarına göre ortalama çekme gerilmesi ve yüzde uzama verileri gösterilmiştir.

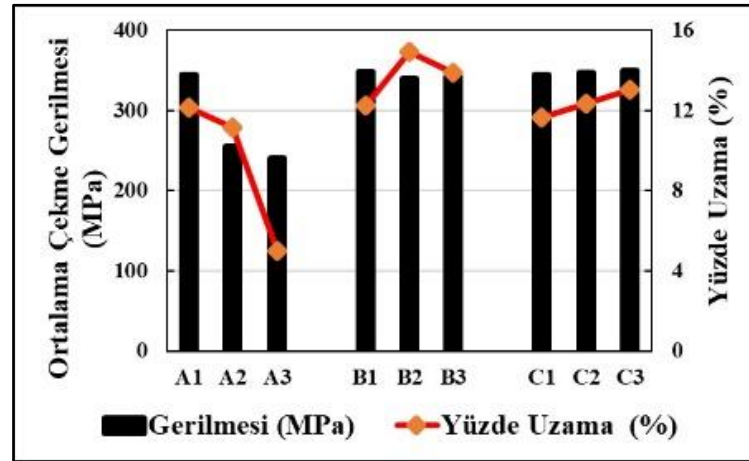
Şekil 4 incelendiğinde en düşük çekme gerilimi ortalaması 239,81 MPa ile A3 kodlu numune de görülmüştür. En yüksek çekme gerilimi değeri 349,87 MPa ile C3 kodlu çekme numunesinde görülmüştür. Yüzde uzama değerlerine bakıldığında ortalama yüzde uzama değerinde en yüksek değere %14,92 ile B2 kodlu numune de ulaşılmıştır. En düşük yüzde uzama değeri ise %4,98 ile A3 kodlu numune de gerçekleşmiştir. Kaynak gerilimi arttıkça 2. grup ve 3. grupta çekme dayanımı düzenli olarak artış göstermiştir. 1. Grupta A1' den B1' e çekme

dayanımında yükselme olsa da C1 numunesinde çekme dayanımında çok az düşme olduğu gözlemlenmiştir. Kaynak esnasında kaynak nüfuziyetinin yeteri kadar sağlanamaması sebebiyle çekme dayanımına olumsuz etki yaptığı düşünülmektedir.

Şekil 5 incelendiğinde, kaynak gerilimi sabit tutulup tel hızının kademeli olarak artırılması durumunda, 3. grupta çekme dayanımında düzenli olarak artış olduğu görülmüştür. Kılınçer ve Kahraman (2009) çalışmalarında, kaynak geriliminin sabit tutulup, tel hızının kademeli olarak artırılması koşullarında gerçekleştirilen MIG kaynağı uygulamasında iki ayrı numunenin çekme deneyi sonuçlarında çekme gerilmesi değerlerinde artış olduğunu ifade etmiştir [16]. 3. Grupta tel ilerleme hızındaki artışa bağlı olarak çekme gerilmesi değerleri artış göstermiştir. Ancak, 1. ve 2. gruptaki çekme gerilim değerleri incelendiğinde sırasıyla A1'den A3'e, B1'den B3'e çekme dayanımlarında düşüşler yaşanmıştır. Kaynaklı plakada kaynak nüfuziyetinin sağlanamaması sonucu oluşan olumsuz durum bu plakalara ait çekme numunelerinde dayanım artışını engellemiştir. Literatürde farklı metallerin kaynaklı birleşimlerinde bağlantı çekme dayanımlarının, birleştirilen farklı metallerin çekme dayanımının en düşük olanından yüksek olması durumunda birleşimin başarılı olarak kabul edileceği bildirilmiştir [16,17]. SPH270-C çeliğinin çekme dayanımı 270 MPa ve SPH440-OD çeliğinin ise çekme dayanımı 440 MPa'dır. Farklı kaynak parametrelerinde bulunan çekme dayanım değerleri incelendiğinde SPH270-C çeliğine göre A2 ve A3 haricinde tüm numunelerde daha yüksek dayanım değerleri elde edilmiştir. Genel olarak kaynaklı birleşimlerin çekme dayanım değerleri iki ana malzemenin çekme dayanım değerlerinin arasında bulunmuştur.



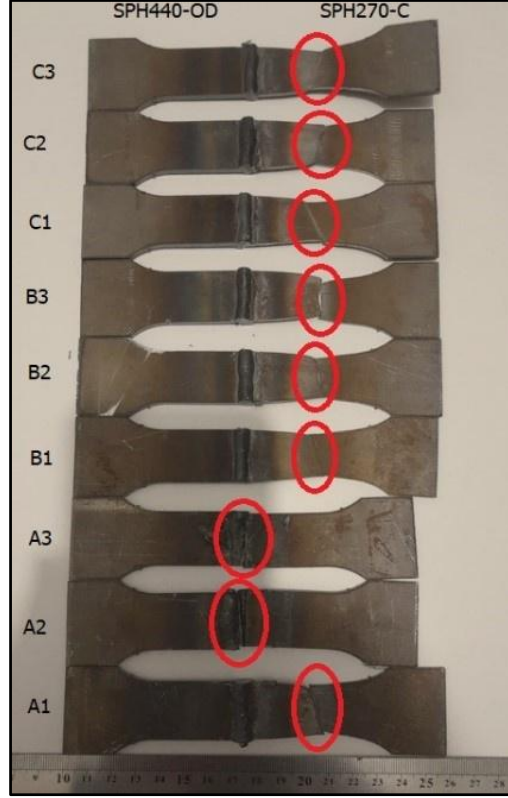
Şekil 4. Sabit tel ilerleme hızında elde edilen çekme deney sonuçları



Şekil 5. Sabit kaynak geriliminde elde edilen çekme deney sonuçları

Kaynaklı numunelerde kopmalar Şekil 6' da görüldüğü üzere A2, A3 numunelerinde KM'de meydana gelmiştir. Bu kaynak parametrelerinde kaynaklanabilirliğin uygun olmadığı görülmüştür. Diğer numunelerde kopmalar ITAB ve KM dışında, SPH270-C otomotiv çeliğinin EM bölgesinde meydana gelmiştir. Yürük vd. (2017) kaynaklı numunelerde kopmaların KM ve ITAB dışında, EM' de meydana geldiğini, kaynaklı bağlantılarda maksimum çekme dayanımı değeri ile % uzama değerlerinin birbirine yakın olduğunu ifade etmişlerdir. Farklı malzemelerin kaynak işleminde ITAB ile KM çekme dayanımı mukavemetinin EM' lerden çekme mukavemeti düşük olandan yüksek bulunması durumunda, kaynak işleminin beklenen şartı sağladığını belirtmişlerdir [18]. A2 ile A3 parametreleri dışında beklenen şartların sağlandığı görülmüştür. SPH440-OD çeliğinin çekme

dayanımının SPH270-C çeliğinin çekme dayanımından daha yüksek olması, kopmanın SPH270-C çeliğinde meydana gelmesine sebep olan önemli bir faktördür.



Şekil 6. Çekme testi sonucu farklı parametrelerde elde edilen numunelerin kopma bölgeleri

Tablo 2’de SPH270-C ile SPH440-OD çeliklerinin mekanik özellikleri incelendiğinde sırasıyla %39, %35 uzama verisi görülmektedir. Çekme deneyi sonucunda kaynaklı numunelerde A3 numunesi haricinde diğer parametrelerde uzama %11,15 - %14,92 aralığında gerçekleşmiştir (Şekil 4 ve Şekil 5). Daha düşük yüzde uzama değeri elde edilme sebebi, EM sertliğinin KM sertliğinden daha düşük olması olarak açıklanabilir [17]. Deney sonucunda, birbirine yakın yüzde uzama verileri elde edilmesinin sebebinin, akım etkisine göre ısı girdisi farklılıklarının kaynaklı çekme numunelerinin yüzde uzama değerlerinde farklılık oluşturacağı şeklinde ifade edilmiştir [13]. Çekme deneyi sonucu A2 ile A3 numunelerinde hem kopmaların KM’de meydana gelmiş olması hem de A3 kodlu numunede % uzama değerinin düşük olması, bu kaynak parametrelerinde numunelerin kaynaklanabilirliğinin uygun olmadığını göstermiştir.

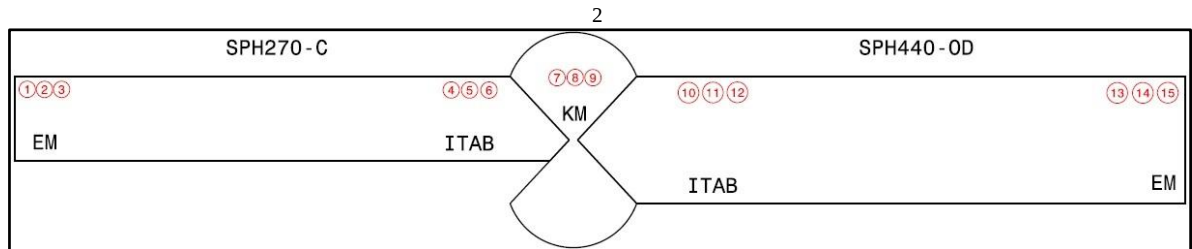
Kaynak işlemi sonrası kaynaklı bölgelerden alınan makro görüntüler Şekil 7’ de verilmiştir. Kaynak dikişleri, tel ilerleme hızları sabit tutulup gerilim değerlerinde değişimler yapılarak incelenmiştir. 5 m/dk tel ilerleme hızı ile 15V-17V-19V (Şekil 7 a, d, g) gerilim değerlerinde gerilim değerinin artmasıyla kaynak dikiş genişliğinde artış görülmüştür. Ayrıca, gerilim değeri azaldıkça dikiş yüksekliği artış göstermiştir. Literatürde gerilimin düşük olmasının dar, dışbükey görünümlü dikişlerin oluşmasına sebep olduğu belirtilmiştir [13]. Aynı şekilde tel ilerleme hızı 5,5 m/dk (Şekil 7 b, e, h) ile 6 m/dk (Şekil 7 c, f, i) için gerilim değerleri değişimlerinde A2 ve A3 numuneleri haricinde kaynak dikişindeki değişimler aynı şekilde meydana gelmiştir. A2 (5,5 m/dk tel hızı, 17 V gerilim) ve A3 (6 m/dk tel hızı, 19 V gerilim) numunelerinde ise, dikiş sürekliliği ve uygun kaynak nüfuziyetinin sağlanmadığı görülmüştür. Diğer parametrelerdeki kaynak işlemlerinde, uygun kaynak hızında ve kaynakçının el becerisi sayesinde birleşimlerde uzama verileri ve çekme gerilimleri yakın sonuçlar göstermiştir. Dikiş sürekliliklerinde olumsuzluklar gözlenmemiştir. Kaynak parametrelerinin uyumlu olması sebebiyle kaynak kalitesi ve mekanik özelliklerin istenilen değerlerde elde edildiği gözlemlenmiştir. Bu bağlamda, A2 ve A3 numuneleri dışında sorun tespit edilmemiştir.



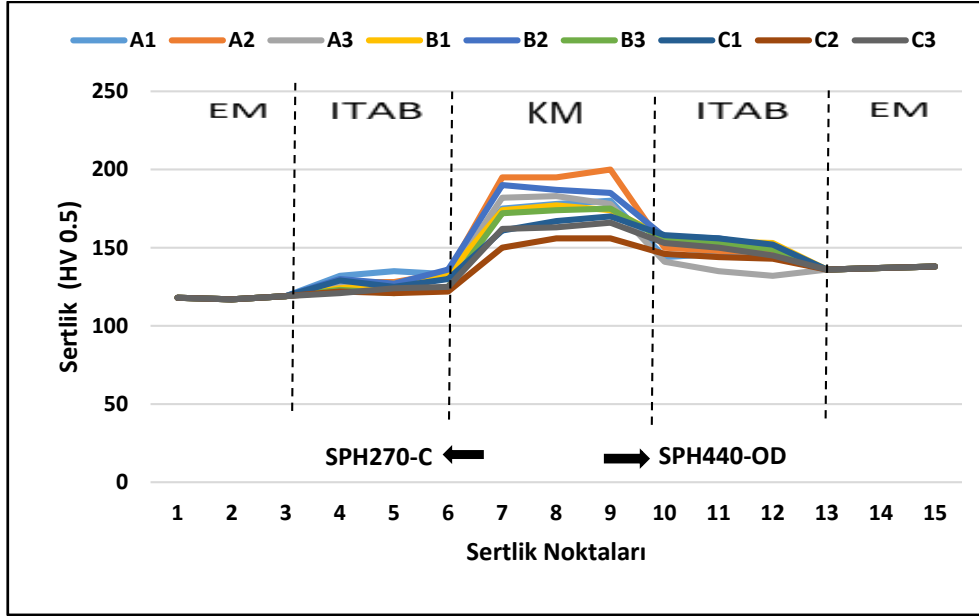
Şekil 7. Kaynak dikişlerinin farklı parametrelerde elde edilen makro görüntüleri a) A1 b) A2 c) A3 d) B1 e) B2 f) B3 g) C1 h) C2 ı) C3

C. Mikrosertlik testi

Numunelerin mikrosertlik ölçümleri sırasıyla EM, ITAB ve KM bölgelerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 8’ de sertlik ölçüm noktaları şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 9’ da Vickers mikrosertlik deneyi ölçüm sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 8. Sertlik ölçüm noktalarının şematik gösterimi



Şekil 9. Vickers sertlik ölçüm sonuçları

Şekil 9 incelendiğinde, kaynaklı bağlantılardaki ITAB ve KM sertliklerinin her iki metalden de yüksek olduğu görülmüştür. Yürük vd. (2017) çalışmalarında S235JR karbon çeliği ile AISI430 ferritik paslanmaz çeliği MIG gazaltı ark kaynağı yöntemi ile farklı kombinasyonlarda birleştirmiş ve bu birleşime HV 0,5 yük altında Vickers sertlik deneyi uygulamışlardır. Bu deney sonucu EM' den KM' e doğru sertlik değerlerinde artış olduğunu ifade etmişlerdir [18].

ITAB sertliğine bakıldığında, SPH440-OD çeliği ITAB sertliğinin, SPH270-C çeliğinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Her iki ITAB' ın sertlik değerinin EM sertlik değerinden daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Literatürde her iki ITAB' daki bu sertlik artışına, kaynak sırasındaki ısı girdisi ve kaynak işlemi sonrasında soğuma hızının malzemelerin mikroyapısını etkilemesinin neden olduğu ve bu durumun da ITAB' da sertliğin EM' e göre fazla olmasına sebep olduğu belirtilmiştir [18].

Tüm plakalara ait sertlik değerleri, SPH270-C çeliğinde EM'de 118 HV, ITAB'da 121-138 HV, SPH440-OD çeliğinde EM'de 137 HV, ITAB' da 136-155 HV, KM' de ise 154-196 HV ölçüm aralığında elde edilmiştir.

Mikroyapı incelemeleri sonucunda, ITAB ve KM'de görülen ince perlitin malzemelerin sertliğini arttırdığı belirtilmiştir. ITAB ve KM sertlik değerinin EM' den daha fazla olduğu görülmüş bu sebeple metalografi ve sertlik deney sonuçları birbirini desteklemiştir.

IV. SONUÇLAR

MAG gazaltı kaynak yöntemi ile 2 mm SPH270-C ile 3 mm SPH440-OD çelik malzemelerinin farklı parametrelerde birleştirildiği bu çalışmada elde edilen sonuçlar şu şekildedir;

- Kaynak işlemleri sonrasında mikroyapıda EM, ITAB ve KM olmak üzere 3 farklı bölge meydana gelmiştir. EM ağırlıklı olarak Ferrit ve perlit fazlarından oluşurken, EM' den KM' e doğru ilerledikçe tane irileşmesi meydana gelmiş ve ITAB' dan KM' e doğru tane sınırı sayısı artmıştır.
- C3 numunesinde en yüksek çekme gerilimi (349,87 MPa) elde edilmiştir. Genel olarak kaynak gerilimi arttıkça çekme dayanımı artış göstermiştir. Ancak tel ilerleme hızı arttıkça 1. ve 2. Grupta çekme dayanım değerleri azalırken 3. Grupta artmıştır.
- Kaynaklı birleşimlerde, SPH440-OD çeliğinden daha düşük dayanıma sahip SPH270-C çeliğine göre genel olarak daha yüksek çekme gerilmesi değerleri elde edilmiştir.
- A2 ve A3 numunelerinde kopmalar KM'de meydana gelirken, diğer tüm numunelerde birleşimlerin SPH270-C EM bölgesinde gerçekleşmiştir.
- 5 m/dk tel ilerleme hızında gerilim değeri arttıkça, kaynak dikiş genişliği artmış ancak kaynak dikiş yüksekliği azalmıştır. 5,5 m/dk ve 6 m/dk tel ilerleme hızı değerlerinde ise gerilim değeri arttıkça A2 ve A3 numuneleri haricinde kaynak dikişindeki değişimler 5 m/dk ilerleme hızı sonuçları ile benzer şekilde meydana gelmiştir.
- Kaynaklı bağlantılardaki ITAB ve KM sertliklerinin her iki metalden de yüksek olduğu görülmüştür. Sertlik değerleri her iki metal için de EM, ITAB ve KM boyunca artış göstermiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Güney, B. (2021). Microstructure analysis of welding fume of low and medium carbon steels. *Revista de Metalurgia*, 57 (1), 1-9.
- [2] Güney, B., Dilay, Y., Solomon, M.M., Gerengi, H., Özkan, A., & Yıldız, M. (2022). Corrosion characteristic of plasma spray, arc spray, high velocity oxygen fuel, and diamond jet coated 30MnB5 boron alloyed steel in 3.5 wt.% NaCl solution. *Corrosion Reviews*, 40 (1), 51-63.
- [3] Aliandi, F., Muchlis, A., & Suryady, S. (2021). Manufacturing process and tonase calculation on bumper rear axle bracket Rh. *International Journal of Science, Technology & Management*, 2 (6), 1970-1979.
- [4] Ertürk, Ç. (2024). *Gazaltı kaynağı ile birleştirilen farklı otomotiv çeliklerinin mikroyapı ve çekme özelliklerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilecik.
- [5] Kaya, M.B. (2024). *MAG kaynak yöntemi ile birleştirilen SPH440-OD çeliğinin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilecik.
- [6] Nippon Steel Corporation. (2020). *Hot-Rolled Steel Sheets and Coils*. Marunouchi, Chiyodaku, Tokyo, Japonya, https://www.nipponsteel.com/product/catalog_download/pdf/U001en.pdf, (16.05.2025)
- [7] Okuroğulları, Y. (2022). *Gazaltı kaynağı ile birleştirilen farklı özellikteki çeliklerin mekanik özelliklerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [8] Weman, C., & Linden, G. (2006). *MIG Welding Guide*. CRC Press, USA, 319.
- [9] Kahraman, N., & Gülenç, B. (2020). *Modern Kaynak Teknolojisi ve Kaynak İşlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği*. Epa-Mat Basım Yayın Ltd. Şti., Ankara, 348.
- [10] Kasih, T. P., Kharisma, A., & Suryanto, A. (2018). Optimization of Spot Welding Process Parameters on Dissimilar and Unequal Thickness of Metal Sheets By Using Taguchi Technique. *The 2nd International Conference on Eco Engineering Development 2018 (ICEED 2018)*. 5-6 September, Alam Sutera, 1-6.
- [11] Okuyan, A. A., & Uzun, H. (2017). Boru ve lamanın robot ark kaynak tekniğiyle birleştirilmesinde optimum kaynak parametrelerinin belirlenmesi. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4(2), 297-307.
- [12] BBN Steel Co.,Ltd. (2025). *JIS G3113 SAPH440 Chemical & Mechanical Composition*. Zhengzhou, China, http://www.bbnsteelpate.com/news/jis-g3113-saph440-chemical-mechanical-composition_933.html, (24.07.2024)
- [13] Kaya, Y. (2018). S235JR ile S355JR yapı çeliklerinin özlü tel elektrotla MAG kaynak yöntemiyle birleştirilebilirliğinin araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 21 (3), 597-602.
- [14] Ulewicz, R., Mazur, M., & Bokuyka, O. (2013). Structure and mechanical properties of fine-grained steels. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 41(2), 111-115.
- [15] Kanca, Y. (2024). *Faz Dönüşümleri*. Çorum, Türkiye, <https://web.hitit.edu.tr/dosyalar/duyurular/yusufkanca@hititedutr211220180X7J9S0V.pdf>, (29.07.2024)
- [16] Kılınçer, S., & Kahraman N. (2009). AISI 409 ve Ç1010 çeliğin östenitik elektrod kullanarak MIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ve mekanik özelliklerin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24 (1), 23-31.
- [17] Aslanlar, S. (2009), Kaynak Teknolojisi ve Uygulamaları - Elektrik Ark Kaynak ve Gaz Kaynak Teknolojisi Ders Notu, Sakarya Üniversitesi, <https://kocaelimakine.com/wp-content/uploads/2013/04/kaynak-teknolojisi-salim-aslanlar.pdf>, (16.05.2025).
- [18] Yürük, A., Bozkurt B., & Kahraman N. (2017). 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.