




Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Galvaniz Kaplı Çelik Sacların Nokta Direnç Kaynağı ile Birleştirilmesi ve Kaynak Bölgesinin İncelenmesi

 Arzu ALTINPINAR ^{a,*},  Hakan ERDEM ^b,  Mustafa Burak TELLİ ^c

^a CPS Pressform San. Tic. A. Ş., Kocaeli, TÜRKİYE

^b CPS Pressform San. Tic. A. Ş., Kocaeli, TÜRKİYE

^c Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: arzualtinpinar88@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.1250495

Öz

Kaynak, temel mekanik özelliklere sahip bileşenlerin veya parçaların üretimi için kullanılan bir imalat sürecidir. Metallerinin birleştirilmesi alanında nokta direnç kaynağı; otomotiv ve beyaz eşya gibi birçok imalat sanayide pratik ve zaman kazandıran uygulamalar sunmaktadır. Nokta direnç kaynağı sırasında kaynak akımı, kaynak ısı girişini belirleyen ve ardından kaynak kalitesi üzerinde büyük etkisi olan en önemli proses parametresidir. Bu çalışmada, otomotiv sektöründe kullanımı oldukça yaygın olan düşük karbonlu çelik sacların birleştirilmesinde kullanılan nokta direnç kaynağının malzemenin mekanik ve mikro yapı özelliklerine olan etkisi incelenmiştir. Kaynak yapılan malzeme olarak DX54D+Z100 kalite düşük karbonlu çelik kullanılmıştır. Birleştirme işlemlerinde 6 mm çaplı bakır alaşımı elektrot kullanılmıştır. Kaynak parametrelerinden elektrot baskı kuvveti 1 kN olarak sabit tutularak, kaynak akımı 6,6 kA, 7,6 kA ve 8,6 kA ve kaynak zamanı her üç numune için 200 ms sabit tutularak çalışmalar yapılmıştır. Kaynak işlemi tamamlandıktan sonra, malzemenin kesit yüzeyinde Vickers sertlik testi yapılmıştır. Ayrıca kesit numunesi alınmış malzeme; %3' lük nital çözeltisi ile dağlanıp ve ışık mikroskobunun aydınlık alan görüntü kontrastında kaynak yapılmış bölgeler incelenmiştir. Kaynaklanan numunelerin kristal yapı oluşumları X - Işınları difraksiyonu (XRD) ile analiz edilmiştir. Son olarak farklı kaynak akımlarının kopma mukavemetine etkilerini incelemek üzere çekme-makaslama testi yapılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda, artan kaynak akım şiddetine bağlı olarak ısı girdisinin artması sebebiyle esas metalden kaynak çekirdeğine doğru tane boyutlarında artış olduğu belirlenmiştir. Artan ısı girdisinin aynı zamanda; kaynak bölgesinde sertlik artışına, çekirdek çapının artışına ve kopma mukavemeti artışına neden olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Otomotiv, Nokta Direnç Kaynağı, Düşük Karbonlu Çelik

Joining Galvanized Steel Sheets by Resistance Spot Welding and Inspection of the Welding Zone

ABSTRACT

During resistance spot welding, the welding current is the most important process parameter that determines the weld heat input and subsequently has a major impact on the weld quality. Welding is a manufacturing process used to manufacture components or parts with basic mechanical properties. Resistance spot welding in the field of metal joining; It offers practical and time-saving applications in many manufacturing industries such as automotive and white goods. In this study, the effect of resistance spot welding used in joining low carbon steel sheets, which is widely used in the automotive industry, on the mechanical and microstructure properties of the material was investigated. DX54D+Z100 quality low carbon steel was used as the material to be welded. This steel sheet material was welded to appropriate standards by overlapping two steel sheets with the point resistance welding

method. 6 mm diameter copper alloy electrode was used in the welding processes. Studies were carried out by keeping the electrode pressure force constant as 1 kN, welding current 6.6 kA, 7.6 kA and 8.6 kA and welding time constant 200 ms for all three samples. After the welding process was completed, the Vickers hardness test was performed on the cross-sectional surface of the material and the results were examined. In addition, the material from which the section sample was taken; The areas etched with 3% nital solution and welded in the bright field image contrast of the light microscope were examined. The crystal structure formations of the welded samples were analyzed by X-Ray diffraction (XRD). Finally, a tensile test was performed to examine the effects of different welding currents on the rupture strength. As a result of the examinations, it was determined that there is an increase in grain size from the base metal to the weld core due to the increase in heat input depending on the increasing welding current intensity. At the same time, increasing heat input; It has been determined that it causes an increase in hardness, an increase in core diameter and an increase in rupture strength in the weld zone.

Keywords: Automotive, Spot Resistant Welding, Low Carbon Steel.

I. GİRİŞ

Temel olarak kaynak, sıcaklık, basınç ve metalürjik koşulların uygun kombinasyonunun lokal olarak uygulanması yoluyla iki metalin kalıcı birleşimlerini elde etmek için kullanılır. Bu birleştirme işleminde en yaygın olarak kullanılan kaynak yöntemi ise nokta direnç kaynağıdır [1]. Nokta direnç kaynağı özellikle otomotiv ve beyaz eşya sektörü başta olmak üzere pek çok sektörde başlıca imalat yöntemlerindedir. Üretici ana sanayilerin belirlediği kaynak özelliklerine göre yan sanayilerinden bu kaynak özelliklerine uygun nokta direnç kaynağını uygulamaları beklenmektedir. Özellikle araçların gövde sac parçalarının birleştirilmesinde hem seri üretime uygunluğu hem de maliyeti açısından ciddi oranda tercih edilmektedir.

Araç üzerinde uygulanan nokta direnç kaynak sayısı aracın marka ve modeline göre değişmektedir. Büyük bir binek taşıtta ortalama olarak 4000 ila 6000 arasında nokta direnç kaynağı uygulandığı bilinmektedir [2]. Kaynaklı imalat yöntemlerinde öncelikle sorgulanan özellik, kaynağın yapısal karakteristikleri olup, statik ve dinamik yüklemelerde mekanik dayanımının olmasıdır. Bunun yanında korozyon direnci, sızdırmazlık ve estetik özellikleri de ön plana çıkmaktadır [3].

Nokta direnç kaynağı yöntemi ile birleştirilen iki sac malzeme için öncelik kaynağın sağlamlığıdır. Yani nokta direnç kaynağı ile yapılan kaynak hem tasarımcının belirlediği yük aralıklarına dayanıklı olmalı hem de çukur, yetersiz dolgu, porozite ve çatlak gibi kaynak hatalarının olmadığı standart ve estetik kriterleri sağlamalıdır. Nokta direnç kaynağı ile imal edilen parçalarda elektrik akımının geçmesiyle oluşan yüksek ısının ve baskı kuvvetinin etkisiyle çekirdek ve etrafında kaynak izi oluşmaktadır [4].

Bu imalat yöntemine birden çok değişkenin etkisi vardır. Kaynak makinesinde ayarlanan kaynak parametreleri; kaynak akımı, kaynak zamanı ve baskı kuvvetidir. Kullanılan malzemenin kaynak edilebilirliği ve elektrik direnci ise malzemeye bağlı bir değişkenlerdir ve aşağıda verilen (1) numaralı formülle ifade edilebilir [5].

$$Q = I^2 R T \quad (1)$$

Burada; Q: kaynak esnasında açığa çıkan enerjiyi, I: kaynak akımını, R: kaynak bölgesi elektriksel direncini ve T: kaynak zamanını ifade etmektedir. Nokta direnç kaynağı, bu kaynak parametrelerinin doğru kullanılmasıyla elde edilmektedir. Ayrıca bu kaynak parametreleri; sac metalin kalınlığına, yüzey temizliğine ve bilişimine bağlı olarak değişebilir [6]. Literatürde yapılan çalışmalar çoğunlukla direnç nokta kaynağı yönteminde farklı sac kalınlıkları veya kaynak parametrelerinden; akım, zaman ve baskı kuvveti gibi değişkenlerin kaynak kalitesine etkileri üzerinde yoğunluk kazanmıştır.

Bu çalışmada nokta direnç kaynağı kullanarak değişken akım değerlerinin kaynak bölgesine etkileri incelenmiştir. Bu amaçla; nokta direnç kaynağı ile endüstriyel uygulamalarda sıkça birleştirilen

malzemelerden biri olan düşük karbonlu galvaniz kaplı çelik sac kullanılacaktır. Galvaniz kaplı çelikler otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan ve korozyon dayanımı yüksek olan çeliklerdir. Genel olarak, otomotiv endüstrisinde çelik saclar kaynak işleminden önce kaplanmıştır. Optimum kaynak parametreleri sacların kaplanması ile değiştirilebilir. Kaplamasız sacların kaynağı ile karşılaştırıldığında, galvanizli sacların kaynağı, kaynak akımı ve baskı kuvveti gibi kaynak parametrelerinin daha hassas kontrolünü gerektirir. Kaplama kalınlığı arttıkça kaynaklanabilirlik azalır [7]. Kullandığımız sac malzemenin üzerinde bulunan galvaniz kaplama kalınlığı 100 g/mm²’ dir.

II. MATERYAL ve METOT

Deneyisel çalışmada; üst üste bindirilerek nokta direnç kaynağı ile birleştirilmek üzere 1,2 mm kalınlığında galvaniz kaplı DX54D+Z100 düşük karbonlu çelik sac malzeme kullanılmıştır. Sac malzeme “Aydemir Metal” den temin edilmiştir; kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

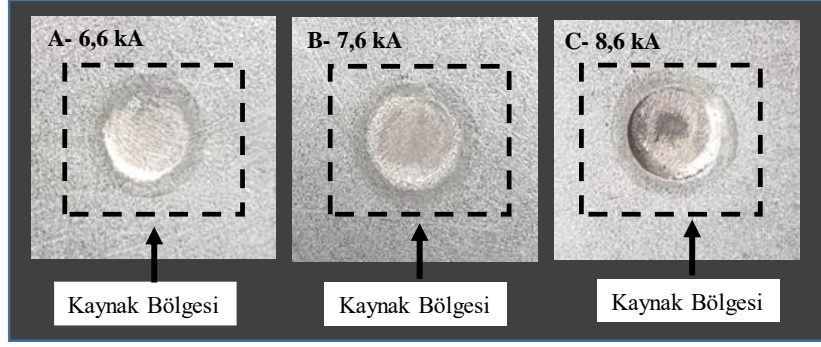
Tablo 1. Deneylerde kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri [8].

DX54D+Z100	Kimyasal Bileşimi(%)					
	C	Si	Mn	P	S	Ti
	0,12	0,50	0,60	0,10	0,05	0,30
Mekanik Özellikler						
Akma Gerilmesi N/mm ²		Kopma Gerilmesi N/mm ²		Uzama Miktarı (%)		
120-220		260-350		36		

Kaynaklar tüm kontrolleri ve ayarlamaları yapılmış 75 kVA kapasiteye sahip robotik Bosh PSQ6000XQR marka nokta direnç kaynak makinesinde gerçekleştirilmiştir. 1,2 mm kalınlığında olan galvaniz kaplı çelik sac malzeme 25 mm × 25 mm ebatlarında kesilmiş ve çentik etkisini önlemek amacıyla çapakları alınmıştır. Birleştirilecek numunelerin yüzeyleri kaynak öncesi, etanol ile temizlenerek kaynağı olumsuz etkileyebilecek kir, pas, yağ vb. maddelerden arındırılmıştır. Birbiri üzerine bindirme yapılan kısmın tam ortasına nokta direnç kaynağı uygulanmıştır.

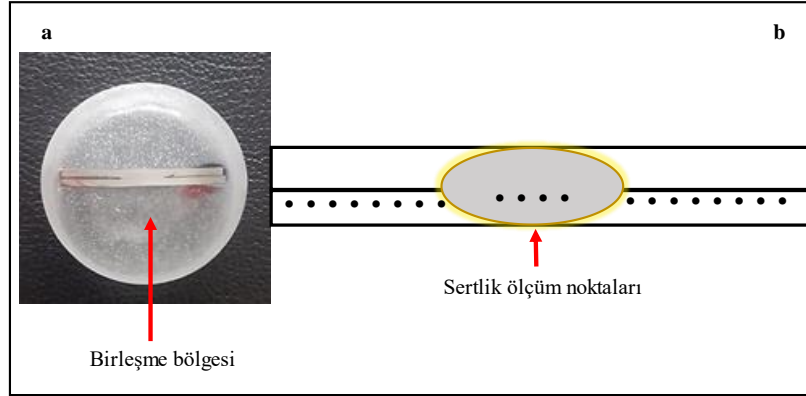
Kaynak parametreleri belirlenirken galvaniz kaplamanın varlığı göz önünde bulundurulmuştur. Sac metal yüzeyinde bulunan çinko, düşük elektrik direncine ve yüksek termal iletkenliğe sahiptir [9]. Bu nedenle, nokta direnç kaynağı işleminde, tatmin edici kaynak çekirdekleri üretmek için kaynak akımı, baskı kuvveti ve kaynak çevrim süresinin uygun bir kombinasyonu seçilmelidir.

Birleştirme işlemlerinde 6 mm çaplı bakır alaşımı elektrot kullanılmıştır. Kaynak parametrelerinden elektrot baskı kuvveti 1 kN olarak sabit tutularak, kaynak akımı 6,6 kA, 7,6 kA, 8,6 kA ve kaynak zamanı her üç numune için 200 ms sabit tutularak çalışmalar yapılmıştır. Numuneler sırasıyla; A, B ve C olacak şekilde isimlendirilmiştir. Şekil 1’ de farklı akım değerlerinde üst üste bindirilerek kaynaklanmış numunelere ait makro görseller sunulmuştur.



Şekil 1. Üst üste bindirilerek farklı akım değerlerinde nokta direnç kaynağı yapılmış numuneler.

Kaynak işlemi bittikten sonra; “Zeiss” marka ışık mikroskobu kullanılarak aydınlık alan görüntü kontrastında numunelerin kaynak bölgesinin mikro yapısı incelenmiştir. Bunun için numuneler; kaynak çekirdeğinin tam ortasından hassas kesme ile kesilerek bakalit kalıba alınmış ve ardından sırasıyla; 320, 600, 1200 ve 2500 SiC zımpara kâğıtları ile zımparalanmış, 3 mikron elmas süspansiyon ile parlatılarak metalografik olarak hazırlanmıştır. Parlatılan numuneler %3’ lük nital çözeltisi ile dağlanmış. İşlemin devamında; numunelerinin mekanik özelliklerinin tespiti amacıyla sertlik testleri yapılmıştır. Kaynak sonrasında numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla çekme- makaslama ve sertlik testleri yapılmıştır. Sertlik ölçümleri “Zwick” marka Vickers sertlik ölçme cihazında 1 kg’lık yük altında Şekil 2’te verilen noktalardan kaynak kesiti boyunca yapılmıştır. Her numunede 2 mm aralıklarla, 20 noktadan sertlik ölçümü alınmıştır.



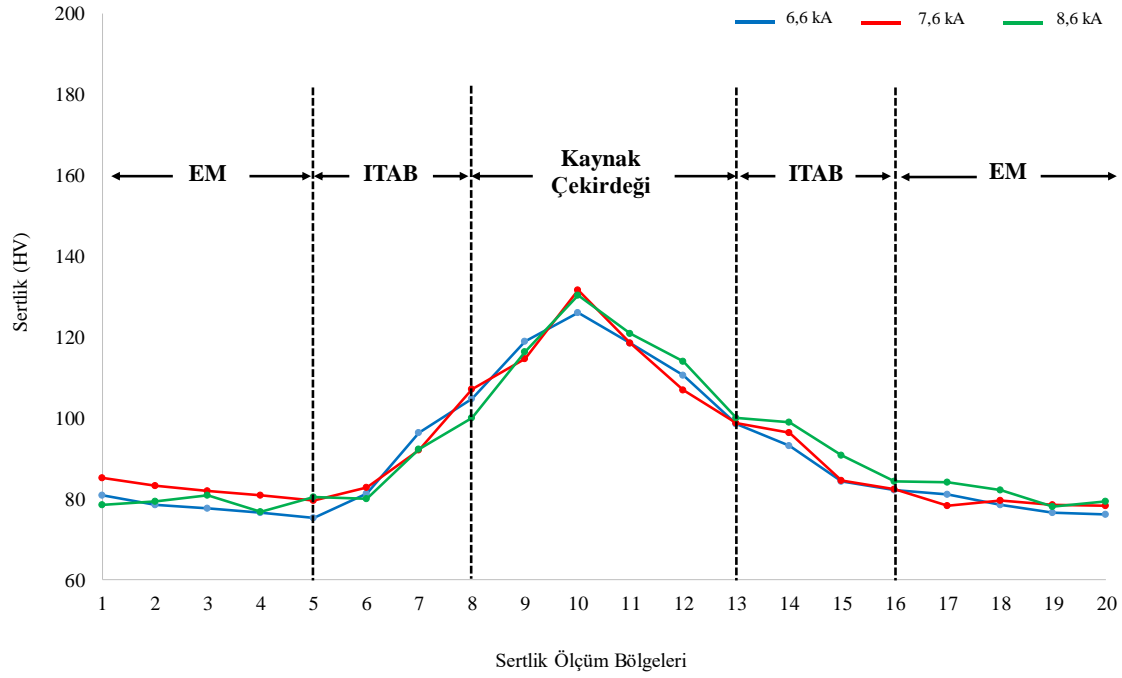
Şekil 2. Numuneye ait; (a) kesit görüntüsü, (b) kesitten Vickers sertlik izi alınan kısımların görüntüsü.

Kaynaklı numuneler farklı kaynak akımlarının kaynak dayanımına etkisini belirlemek için çekme- makaslama testine tabi tutulmuştur. Bu amaçla çekme- makaslama testleri 250 kN yük kapasiteli “Wolpert” marka çekme cihazında oda sıcaklığında yapılmıştır.

Son olarak; kaynaklanan numunelerin kristal faz analizleri “Rigaku SA-HF3” model X ışınları difraksiyonu (XRD) ile incelenmiş, ölçümleri oda sıcaklığında, 30° ile 90° 2 teta (θ) açıları arasında 1°/dk tarama hızında ve 40 kV/ 20 mA’ da yapılmıştır.

III. BULGULAR ve TARTIŞMA

Gerçekleştirilen bu deneysel çalışmada; 6,6 kA, 7,6 kA ve 8,6 kA gibi farklı akım şiddetleri kullanılarak yapılan kaynak birleştirmelerine ait bölgelerin sertlik dağılımı incelenmiştir. Birleştirilen numunelerin artan kaynak akım şiddetine göre sertlik dağılımları belirlenmiş ve Şekil 3’ de verilmiştir.



Şekil 3. Vickers sertlik profillerine ait grafik. (EM: Esas Metal, ITAB: Isı Tesiri Altında Kalan Bölge).

Sertlik değerlerine genel olarak bakıldığında en düşük sertlik değeri esas metal bölgesinde, en yüksek sertlik değeri ise kaynak metali bölgesinde bulunmuştur. Esas metalde sertlik değeri beklenildiği gibi ortalama 80 HV olarak bulunmuştur. Genel olarak kaynak akımı arttıkça sertlikte de bir artış meydana geldiği görülmektedir. Kaynak metali sertliğinin ana malzemeye göre daha yüksek bulunmasının sebebi olarak; hızlı soğuma ve katılma ile ilişkili olduğu düşünülmektedir [10]. Literatürde; Hasanbaşoğlu ve Kaçar (2007); IF 7114 ve AISI 316 L çelikleri nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirmişler ve birleştirmelerin sertlik değerlerini incelediklerinde, en yüksek sertliğin kaynak çekirdeğinde oluştuğunu belirtmişlerdir [11]. Başka bir çalışmada; Vural ve Akkuş (2004); galvanizli kaplı çelik levhalar ile östenitik paslanmaz çelik levhaları nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirmişler ve en büyük sertlik değerlerinin kaynak çekirdeği ortasından elde edildiğini bildirmiştir [12]. Farklı bir çalışmada ise, Baydemir vd. (2011); nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelere uygulanan sertlik testleri sonucunda en yüksek sertlik değerinin kaynak çekirdeğinden ölçüldüğü onu sırasıyla ITAB ve ana malzemenin takip ettiğini belirtmiştir [10]. Düşük karbonlu galvaniz kaplı çelik malzemelerin kaynaklanması sonucu, kaynak kalitesini belirlemede dikkate alınan noktalardan biride kaynak çekirdek boyutudur. Tablo 2’de tüm deney koşullarında elde edilen numunelerinin çekirdek boyutu ölçümleri verilmiştir.

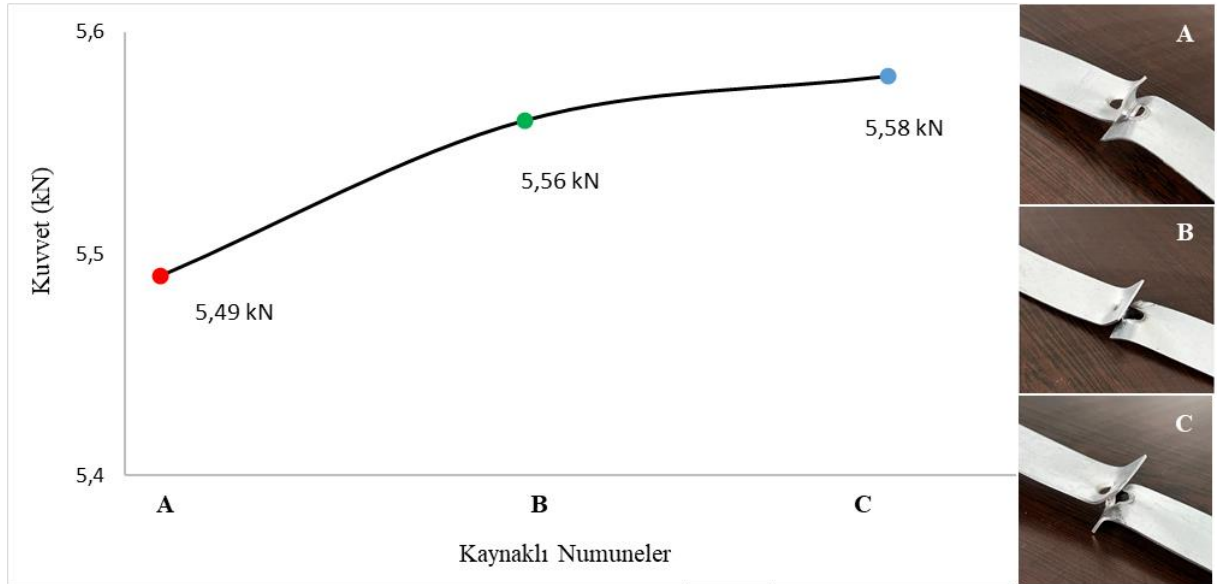
Tablo 2. Kaynaklanmış numunelere ait çekirdek boyut ölçüm sonuçları.

Akım (kA)	Baskı Kuvveti (kN)	Kaynak Süresi (ms)	Kaynak Çekirdeği Çapı (mm)
6,6	1	200	5,76
7,6	1	200	6,81
8,6	1	200	7,92

Kaynak çekirdeğinin, kaynağın yapıldığı sac kalınlığına bağlı olarak boyutu değişmektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda çekirdek çapının minimum sac kalınlığının yaklaşık 3,5-4 katı civarında olması gerektiği belirtilmektedir [13]. Gerçekleştirilen bu çalışmada kullanılan çelik sac malzemenin 1,2 mm kalınlığında olması nedeniyle kaynak çekirdeğinin çapının 4,8 mm’ nin üzerinde olması beklenmektedir.

Çekirdek çapı, kritik değerin altına inmemelidir [14]. Yapılan her farklı kaynakta çekirdek çapının 4,8 mm' nin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte; Şekil 2' de verilen kaynaklanmış numunelerin makro görüntüsü incelendiğinde; 8,6 kA akım uygulanan C numunesinde yüksek akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdeği bölgesinde çökme meydana geldiği gözlemlenmiştir. Literatürde artan ısı girdisine bağlı kaynak bölgesinde çökmelerin meydana geldiği çalışmalar mevcuttur [15]. Bu literatür çalışmaları incelendiğinde; nokta direnç kaynağı uygulamasında kaynak akımının yeterli olmamasının çekirdek çapının küçük olmasına ve kaynak kalitesinin düşük olmasına sebep olduğu, kaynak akım değerinin çok yüksek olmasının ise kaynaklı bölgede aşırı ergimeye ve çatlaklara neden olduğu belirtilmektedir [13, 15]. Shamsul et al. (2007) AISI 304 paslanmaz çeliği direnç punta kaynağı ile birleştirmiş; kaynak çapı ve kaynak akımı arasındaki ilişkiyi değerlendirmiştir. Buna göre; kaynak akımı ile kaynak çapının doğru orantılı olduğunu tespit etmişlerdir [16]. Bir başka çalışmada; Shelly ve Sahota (2017) AISI 316 çeliğine uygulanan direnç nokta kaynağı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda, kaynak akımı arttıkça kaynak bölgesinin boyutunun arttığını gözlemlenmişlerdir [17]. Nokta direnç kaynağının kullanıldığı farklı bir çalışmada ise; Kocabekir vd. (2008); artan kaynak zamanı ile ısı girdisinin arttığını ve buna paralel olarak da çekirdek boyutunda da artış olduğunu belirtmiştir [18].

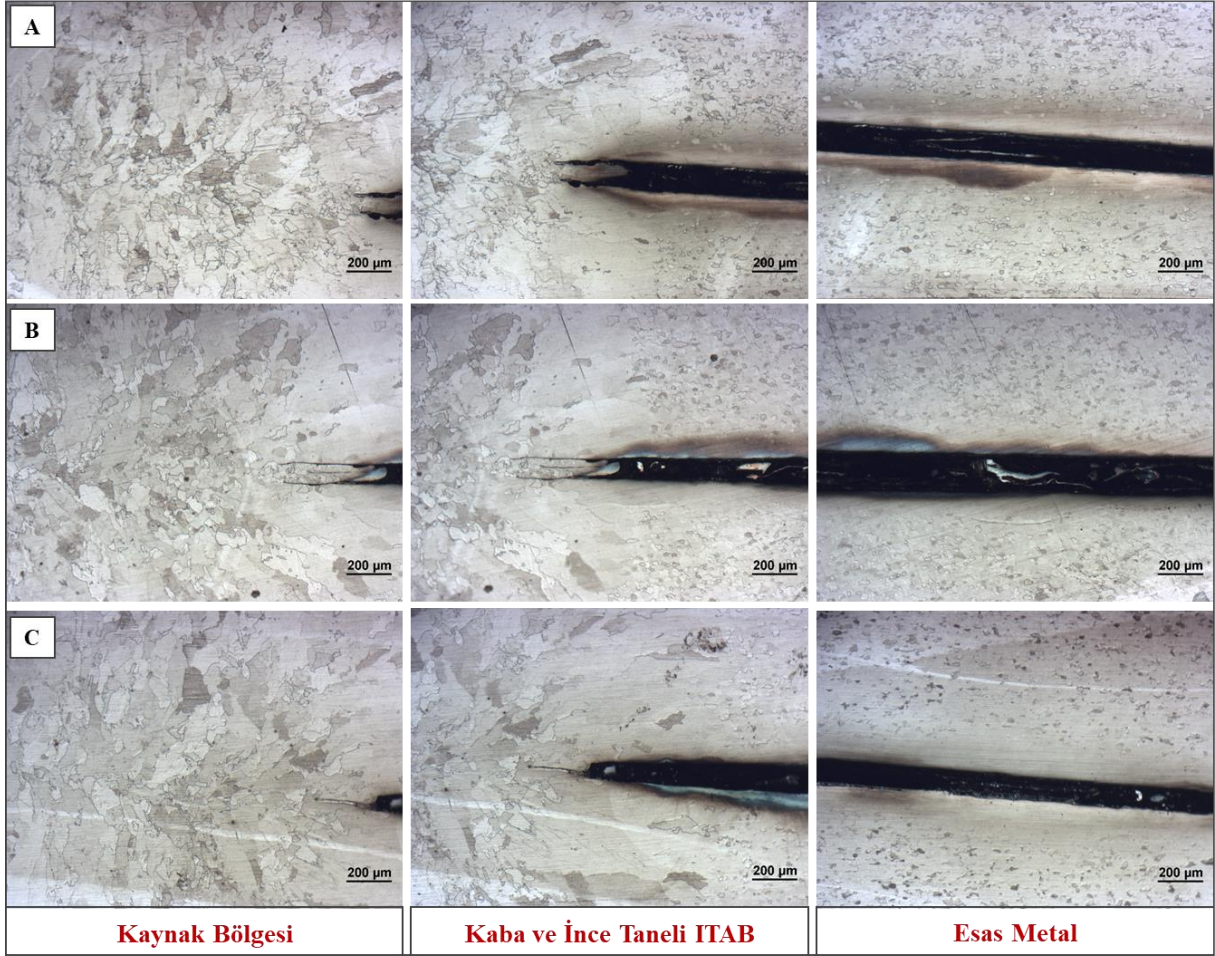
Farklı kaynak akımlarının uygulandığı numunelerin kaynak dayanımına etkisini belirlemek amacıyla yapılan çekme-makaslama testi sonuçları Şekil 4' de verilmiştir.



Şekil 4. DX54Z+Z100 sacının farklı kaynak akımlarında nokta direnç kaynağı ile kaynak edilmesi durumundaki kopma kuvveti sonuçları

Çekme-makaslama testleri incelendiğinde; en yüksek çekme kuvveti 5,58 kN değerinde 8,6 kA kaynak akımında ve en düşük olanı da 5,49 kN değerinde 6,6 kA' da ölçülmüştür. Bu duruma sebep olarak daha önce yapılan çalışmalar göstermektedir ki, uygulanan kaynak akımı arttıkça kaynak bölgesinde oluşan ısı miktarı da artmaktadır. Böylece, kaynak nüfuziyeti de artarak daha fazla temas gerçekleşmekte ve daha büyük kaynak çapı oluşarak kaynak mukavemeti de artmaktadır [12]. Literatürde; Elitas (2021) DP1200 çeliğinin dayanımı üzerinde kaynak parametrelerinin etkisini incelemiş ve kaynak akımının artmasının çekme dayanımını arttırdığını belirtmiştir. [19]. Farklı bir çalışmada ise; Zhang vd. (2018) nokta direnç kaynağı kullanarak CR590T/340YDP galvanizli çift fazlı çeliği kaynaklamış ve çekme sonuçlarına göre artan kaynak akımı ile kaynak dayanımının arttığını belirtmişlerdir [20]. Ayrıca; Çekme- makaslama testi numunelerinin kopma türleri incelenmiştir. Hasar kaynak bölgesindeki çekirdek etrafında meydana gelmiştir ve genel olarak çekirdek bölgesinin sac plakadan yırtılarak ayrılması durumu gözlenmiştir. Kaynaklı numunelerdeki kopmanın ITAB' dan başladığı kaynak ara yüzünde herhangi bir hasarın meydana gelmediği belirlenmiştir.

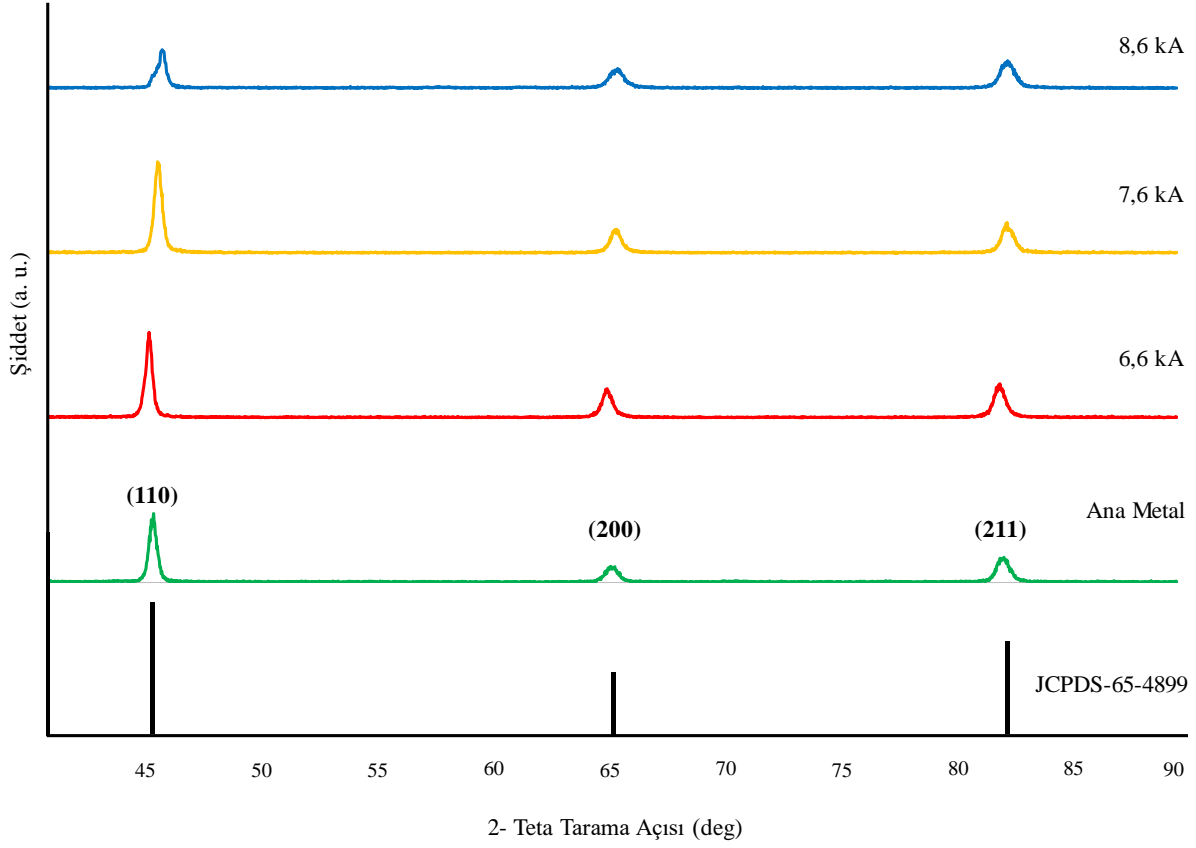
Bu deneysel çalışmada; mikro analiz için numuneler metalografik olarak hazırlanmıştır. Şekil 5’ de dağlanmış bu numunelere ait ışık mikroskobu görüntüleri sunulmuştur.



Şekil 5. Dağlanmış A, B ve C numunelerine ait kaynak bölgesi, iri ve ince taneli ITAB ve esas metal bölgelerinden 5X büyütmede alınmış aydınlık alan ışık mikroskobu görüntüleri.

Işık mikroskobu görüntüleri ele alındığında; numuneler üzerindeki bölgeler; kabaca kaynak bölgesi, kaba ve ince taneli ITAB, esas metal olarak üç bölgeye ayrılmaktadır [21]. Kaynaklı numunelerin ışık mikroskobu görüntülerine göre; artan akım şiddetine bağlı olarak; şiddet arttıkça ısı tesiri altındaki bölgenin genişlediği belirlenmiştir. En geniş ITAB’ ın en yüksek akımın (8,6 kA) uygulandığı C numunesinde olduğu gözlemlenmiştir [15].

Farklı bir faz oluşup oluşmadığını belirlemek amacıyla numuneler XRD analizine tabi tutulmuştur. Kaynak numunelerine ait XRD paterni Şekil 6’ da verilmiştir.



Şekil 6. Düşük karbonlu çeliğin; 6,6 kA, 7,6 kA ve 8,6 kA akım uygulanarak kaynaklanmış bölgelerinden ve ana metal bölgesinden alınmış XRD paterni.

XRD analizinde ITAB ve kaynak metalinde ikinci faz çökeltilerinin oluşumunu ifade eden hiçbir pik tespit edilmemiştir. Şekil 6'da görülen pik pozisyonlarının standartlarda yer alan XRD paterni (JCPDS 65-4899) ile uyum içinde olduğu görülmektedir. XRD grafiğinde; (110),(200) ve (211) indeksli piklerin alfa-demir piklerine ait olduğu belirlenmiştir [22,23].

IV. SONUÇ

Bu çalışmada, nokta direnç kaynağı parametrelerinden farklı akım değerlerinin galvaniz kaplı çelik sac birleştirilmesi üzerindeki sertlik, mikro yapı ve çekirdek çapı etkileri incelenmiştir. Makro ve mikro yapı bakımından yapılan incelemelerde artan ısı girdisinin daha geniş ITAB oluşturduğu ve bu genişliğin de ısı girdisi ile orantılı olduğu görülmüştür. Nokta direnç kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin kaynak bölgelerinden ölçülen sertlik değerlerinin esas metalden daha yüksek olduğu, ayrıca kaynak akım şiddetinin artmasıyla da sertlik değerlerinde bir miktar artış olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, en yüksek sertlik değeri en yüksek akım kullanılan (8,6 kA) numunenin kaynak çekirdeği bölgesinde görülmüş, esas metale doğru sertliğin azaldığı belirlenmiştir. Mikroskop görüntülerine göre; 8,6 kA akım uygulanan numunede ITAB' ın en geniş bölge olduğu belirlenmiştir. Çekme- makaslama testi sonuçlarına göre; akım 6,6 kA' dan 8,6 kA' a artırıldığında; kaynağın kopması için gerekli olan kuvvetinin arttığı görülmüştür. Ayrıca kopma tütünün her üç numune içinde kaynak çekirdeği dışında ITAB bölgesinden yırtılma şeklinde gerçekleştiği belirlenmiştir. Akım değeri %15 arttığında çekme-makaslama değerinin yaklaşık % 2 civarında arttığı görülmüştür. En yüksek akım değeri uygulanan numunede çekirdek çapının diğerlerine göre daha büyük boyutta olduğu tespit edilmiştir. 8,6 kA akım uygulanan numunenin makro görüntüsü ele alındığında kaynak çekirdeğinde yüksek akım değerinden kaynaklanan çökme olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca; çelik sacın üzerinde bulunan galvaniz kaplamanın kaynak bölgesine etkisi görülmemiştir. Kaynaklı birleştirmelerin

tümünde, kaynak akımı artışı ile ısı girdisi artmış ve kaynak çekirdeği genişlemiştir. Bu nedenle kaynak çekirdeğinin sertlik değerinin, tutma zamanı boyunca elektrot baskı kuvvetinin sebep olduğu deformasyon sertleşmesinden dolayı esas metal ve ITAB' dan daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan deneylerde artan akım şiddeti ve dolayısı ile ısı girdisinin malzemenin mekanik ve mikroskobik özelliklerini etkilediği ve standart bir kaynak kalitesi elde etmek için uygun kombinasyonlarda kaynak işleminin yapılmasının gerekli olduğu düşünülmektedir. Malzeme kalınlığının 3,5-4 katı olması gereken kaynak çekirdeği (4,8 mm) ve ITAB göz önüne alındığında; 6,6 kA akım şiddeti uygulanan A numunesinin uygun kaynak kalitesine sahip olduğu belirlenmiştir.

V. KAYNAKLAR

- [1] M. S. Yıldırım, Y. Kaya, R. Çakıroğlu, B. Gülenç, N. Kahraman ve A. Durgutlu “Nokta Direnç Kaynağı ile Birleştirilen Titanyum Levhaların Çekme-Makaslama Dayanımlarının Taguchi Metoduyla Optimizasyonu”, *Politeknik Dergisi*, c. 22, s.2, ss. 567-573, 2019.
- [2] O. Doğan, Ç. Uzay ve M. S. Kamer “Elektrik Direnç Kaynağı Proses Parametrelerinin Çekme Dayanımı Üzerine Etkisinin Nümerik Olarak İncelenmesi”, *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 24, s.4, ss. 319-331, 2021.
- [3] H. Yaşar, K. Çavdar, U. O. Şahin ve F.Y. Çavdar “Değişik Kaynak Elektrotları Kullanılarak Yapılan Direnç Nokta Kaynaklı AISI 304 Paslanmaz Çelik Sacların Kaynak İzi Görüntüsü Ve Kaynak Parametrelerinin Mekanik Özelliklere Etkisi”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, c.24, s.2, ss. 499-516, 2019.
- [4] A.G. Özcan, V. Peşteli ve O. Yöntem “Yüksek Mukavemetli Çelik Sacların Kaynaklanabilirliği ve Direnç Spot Kaynağı Parametrelerinin Taguchi Metoduyla Optimizasyonu”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, c.23, s.2, ss. 333-350, 2018.
- [5] M. Brozek, “Resistance Spot Welding of Steel Sheets of Different Thickness”, *Engineering for Rural Development. Chemosphere*, ss. 72-77, 2015.
- [6] H. Yaşar, “AISI 304 Paslanmaz Çeliğin Direnç Nokta Kaynağı Yöntemi İle İzsiz Kaynak Parametrelerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2017.
- [7] H. Emre, R. Kaçar, “Resistance Spot Weldability of Galvanize Coated and Uncoated TRIP Steels”, *Metals*, c. 299, ss. 1-10, 2016.
- [8] http://www.profermetal.com/kyc_sd.html, Ziyaret Tarihi: 23.11.2022
- [9] H.C. Lin, C.A. Hsu, C.S. Lee , T.Y. Kuo and S.L. Jeng, “Effects Of Zinc Layer Thickness On Resistance Spot Welding of Galvanized Mild Steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, c. 251, ss. 205-213, 2018.
- [10] M. Baydemir, “Östenitik AISI 310-Ferritik AISI 430 Paslanmaz Çeliklerin Elektrik Direnç Nokta Kaynağı İle Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2011.
- [11] A. Hasanbaşoğlu, R. Kaçar “Resistance Spot Weldability Of Dissimilar Materials (AISI 316 L-DIN EN 10130-99 Steels)”, *Materials and Design*, c. 28, s.6, ss. 1794- 1800, 2007.
- [12] M. Vural ve A. Akkuş “On The Resistance Spot Weldability of Galvanized Interstitial Free Steel Sheets with Austenitic Stainless Steel Sheets”, *Journal of Materials Processing Technology*, c. 153, s. 1, ss. 1-6, 2010.

- [13] M. Erik, “Farklı Kalınlıklarda Galvaniz Kaplanmış Çelik Sacların Nokta Direnç Kaynağı İle Kaynaklanabilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010.
- [14] E. Ünlükal, “Otomotiv Sanayinde Kullanılan Direnç Nokta Kaynak Kalitesinin Artırılması”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
- [15] F. Hayat, B. Demir, M. Acarer ve S. Aslanlar “Effect of Weld Time and Weld Current on The Mechanical Properties of Resistance Spot Welded IF (DIN EN 10130–1999) Steel”, *Kovove Materialy*, c. 47, ss. 11–17, 2009.
- [16] S. Jamaludin and M. Hisyam “Study Of Spot Welding Of Austenitic Stainless Steel Type 304”, *Journal of Applied Sciences Research*, c. 3, s. 11, ss. 1494-1499, 2007.
- [17] K. Shelly and D. S. Sahota, “A Review Paper on Resistance Spot Welding of Austenitic Stainless Steel 316”, *International Journal of Engineering Trends and Technology*, c. 47, s. 7, ss. 424-429, 2017.
- [18] B. Kocabekir, R. Kaçar, S. Gündüz, R. Hayat “An Effect Of Heat Input, Weld Atmosphere And Weld Cooling Conditions On The Resistance Spot Weldability Of 316L Austenitic Stainless Steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, c. 195, 327-335, 2008.
- [19] M. Elitaş, “Nokta Direnç Kaynağı ile Birleştirilen DP1200 Çeliğinin Dayanımı Üzerinde Kaynak Parametrelerinin Etkisinin İstatistiksel Analizi”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 9 ss. 242-251, 2021.
- [20] X. Zhang, F. Yao, Z. Ren and H. Yu, “Effect of Welding Current on Weld Formation,, Microstructure, and Mechanical Properties in Resistance Spot Welding of CR590T/340Y Galvanized Dual Phase Steel”, *Materials* c.11, ss. 2310, 2018,
- [21] M. Hıdırlıoğlu, “Nokta Direnç Kaynağı İle Birleştirilen Yüksek Ve Ultra Yüksek Dayanımlı Otomotiv Çeliklerinin Kaynak Kabiliyetinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2022.
- [22] D. Aryanto and T. Sudiro “Correlations between Structural and Hardness of Fe-50%Al Coating Prepared by Mechanical Alloying”. *Journal of Technical Engineering: Piston*, c. 1, s. 2, ss. 1-6, 2017.
- [23] N. Matiazhagan, T. Senthil Kumar, V. Balasubramanian and V.C. Gandhi “Performance Study Of Medium Carbon Steel and Austenitic Stainless Steel Joints: Friction Welding Process”, *Oxidation Communications* c. 38, s. 4A, 2123–2134, 2015.