

DEĞİŞİK KAYNAK ELEKTROTLARI KULLANILARAK YAPILAN DİRENÇ NOKTA KAYNAKLI AISI 304 PASLANMAZ ÇELİK SAÇLARIN KAYNAK İZİ GÖRÜNTÜSÜ VE KAYNAK PARAMETRELERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

*Hüseyin YAŞAR**
*Kadir ÇAVDAR***
*Umut O. ŞAHİN****
*F. Yıldız ÇAVDAR**

Alınma: 30.12.2019 ; düzeltme: 21.04.2019 ; kabul: 22.07.2019

Öz: Bu çalışmada, AISI 304 ostenitik paslanmaz çeliğinden imal edilmiş sac plakaların nokta direnç kaynağı kullanılarak bağlanması işleminde etken parametreler incelenmiştir. En uygun kaynak parametrelerinin seçilmesinin yanı sıra kaynak bağı sonrasında çeliğin yüzeyinde en az kaynak izi kalması amaçlanmıştır. Kaynak sonrası oluşan çekirdek bölgesi renk ölçüm teknikleri kullanılarak analiz edilmiş ve ardından elde edilen sonuçlar uzman bir kaynakçının verdiği puanlar ile karşılaştırılmıştır. Nokta direnç kaynağının dayanımı da kesme testi yardımıyla kontrol edilmiştir.

Bu çalışma, imalat öncesinde uygun estetik görünüm ve dayanım için yapılacak olan ön imalatların planlanmasında ve değerlendirilmesinde kaynak olacaktır. İmalat sonrasında ise ek işçilik gerektirmeden hem estetik hem de yeterli dayanıma sahip kaynak bağlarının gerçekleştirilmesi için sunulan yaklaşımın faydalı olacağı düşünülmektedir. Çalışmanın, kaynak işlemi esnasında bağlantı bölgesi estetik görünümünün objektif değerlendirilmesi amacıyla anlık ölçülmesi ve raporlanması için gelecekteki çalışmalara örnek olması da hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Nokta direnç kaynağı, izsiz kaynak, görüntü işleme, AISI 304, görsel kontrol, kesme testi

Determination of welding mark appearance of welded 304 stainless steel sheets using different welding electrodes and the effect of welding parameters on mechanical properties

Abstract: In this study, the process parameters for the joining of sheet metal plates produced of AISI 304 austenitic stainless steel using resistance spot welding were investigated. By choosing the most suitable process parameters, it is aimed to keep the minimum mark on the surface after spot welding operation. The nugget zone after welding was analysed using image processing techniques and also the obtained results were compared with the scored by an expert. The strength of the spot welding was also checked with a shear testing.

It is thought that the study will be a guide for planning and evaluation the preliminary tests to be carried out for adequate aesthetic view and strength before manufacturing. This approach will be useful for the realization of welding joint with aesthetic and sufficient strength without requiring additional tests after manufacturing, too. It is aimed that the study will be an example for future study in order to instantaneous measure and report on the objective evaluation of the aesthetic view of the joint area during the welding operation.

* FCB ArGe Mühendislik Hizmetleri Ltd. Şti., ULUTEK Teknopark, Z028, 16059, Bursa.

** Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa.

*** A.C.T Otomotiv Müh. Dan. San. Tic. Ltd. Şti., NOSAB Erguvan Cad. No:4/E, 16220, Bursa.

Keywords: Resistance spot welding, unmarked welding, image processing, AISI 304, visual control, shear testing

1. GİRİŞ

Nokta direnç kaynağı özellikle otomotiv ve beyaz eşya sektörü başta olmak üzere pek çok sektörde başlıca imalat yöntemlerindedir. Üretim hızı yüksek bir kaynak yöntemidir ve ilave birleştirme malzemesi gerektirmemektedir. Kaynaklı imalat yöntemlerinde öncelikle sorgulanan özellik kaynağın yapısal karakteristikleri olup, statik ve dinamik yüklemelerde mekanik ve yorulma dayanımının iyi olması beklenmektedir. Bunun yanında korozyon direnci, sızdırmazlık ve estetik özellikleri de ön plana çıkmaktadır (Doruk ve diğ., 2015 ve Sevim, 2015).

Nokta direnç kaynağı işleminden sonra kaynak bölgesinin mekanik ve metalürjik özelliklerinde önemli değişiklikler meydana gelmektedir (Akkuş ve Vural, 2007). Direnç kaynağı yönteminde kaynak izi, işlem sırasında sıcaklığın ve baskı kuvvetinin etkisiyle iş parçasının yüzeyinde meydana gelen çökmelere verilen adlandırma olup kaynak işlemi sonrası istenmeyen bir etkidir (O'Brien ve Guzman, 2007). Bu işlem sırasında iş parçası elektrotlar tarafından sıkıldığında sac kalınlığının %10 veya % 20'sine kadar azaldığı belirtilmiştir. Bununla birlikte boya gereksiniminin olmadığı paslanmaz metallerde bu girintilerin dışında ısının etkisiyle oluşan renk değişimleri de dikkate alınmaktadır (Anonim, 2017).

Kaynak işlemi sonrasında boyama gibi bazı işlemlerden sonra izler çok belirgin olabilir. Bu izlerin tamamen ortadan kaldırılması zordur ancak kaynak yönteminde bazı değişiklikler yaparak izler azaltılabilir. Bu yöntemlerden en yaygını üretilecek ürünün görünecek yüzeyinde kaynak işlemi yapılırken düz yüzlü bir elektrotun kullanılmasıdır. Bu durumda akım düz yüzlü elektrotta göre daha dar olan elektrot yüzeyinden önce iş parçasına sonra da düz yüzlü elektrotta doğru ilerleyerek ısının oluşmasını ve elektrotların uyguladığı baskı kuvvetinin de etkisiyle kaynak işleminin tamamlanmasını sağlar. Burada düz yüzlü elektrot kullanılarak akımın dar bir yüzey alanından daha geniş bir yüzey alanına doğru hareket etmesi ile direnç azaltılırken, daha iyi bir soğutma sağlanmış olur. Elektrot aşınmasının azaltılması için, bu yöntemde kullanılan elektrot sert bir bakır alaşımından üretilmiş olmalıdır. Direnç kaynağı işleminde kullanılan elektrotun yüzey aşınmasının takip edilerek bakım işlemlerinin sıklıkla yapılması önemlidir (O'Brien ve Guzman, 2007). Özetle, nokta direnç kaynağı işleminde kaynak izini en aza indirmek için; öncelikle elektrot temas yüzeylerinin ve iş parçasının iyi hizalanması, görünecek yüzey tarafındaki elektrotun düz ve pürüzsüz yüzeyli olması ve son olarak da iyi soğuma şarttır.

Paslanmaz çeliklerin korozyon direncinin yanında estetik amaçlı olarak kullanıldığı bölgelerde direnç kaynağı sonrasında oluşan çökmeler ve izler istenmeyen bir durumdur. Bu izlerin belirlenmesi uzman bir personel tarafından yapılmaktadır ve muayeneyi yapan kişinin görme şartlarına göre değişebilmektedir. Uzman personel tarafından yapılan görsel kalite kontrolü sonrasında olumsuz olan parçalardaki izleri gidermek için ek işlemlerin yapılması şarttır.

Bu çalışmada; nokta direnç kaynağı ile bağlanan paslanmaz çelik plakalarda izsiz kaynak uygulaması yapılabilmesi için etken parametrelerin belirlenmesi amacı ile bir yöntem önerilmektedir. Bunun yanında görsel kontrolün renk ölçüm metotları ile yapılabilirliği de tartışılmıştır. Görsel kontrol personelin uzmanlığına, görme kabiliyetine ve çevre şartlarına bağlıdır. Bu sebeple kontrollerin objektif bir yöntemle yapılabilirliği kaynak parametrelerinin belirlenmesinde ve üretim sonrası kalite kontrollerinin tutarlı olmasına katkı sunacaktır. Ek olarak kesme testi sonuçları da verilerek kaynak izinin ve dayanımının en iyi olduğu parametre aralığı belirlenmiştir. Çalışmanın, otomatikleşen ve personel ihtiyacı azalan fabrikalar için alternatif bir kalite kontrol yöntemi olacağı düşünülmektedir.

1.1. Gözle Muayene

Tahribatsız muayene (NDT) yöntemleri bir ürünün kalite kontrol aşamasında önemli rol oynamaktadır. Ürünün kontrolü yapıldıktan sonra tahribatlı muayeneden(DT) farklı olarak servise devam eder. Tahribatsız muayene imalatta kullanılacak malzemelerin testinde, imalat işlemlerinde ve nihai ürünün çalışma öncesi kalite kontrolleri gibi tüm aşamalarda kullanılabilir. Başlıca tahribatsız muayene yöntemleri; görsel muayene, sıvı penetrant testi, manyetik parçacık testi, girdap akımı testi, radyografik test ve ultrasonik testtir. Bunların haricinde kullanım alanına göre özelleşmiş pek çok test yöntemi mevcuttur (Anonim, 2018).

Görsel muayene, endüstride kullanılan en yaygın tahribatsız muayene yöntemidir. Çoğu test yöntemi, operatörün incelenmekte olan parçanın yüzeyine bakmasını gerektirdiği için, görsel muayene diğer test yöntemleri için ön muayene olarak yapılır. Adından anlaşılacağı üzere, bir test parçası yüzeyindeki yüzey süreksizliklerini tespit etmek ve değerlendirmek için yüzeyin doğrudan gözle veya yardımcı cihazlar kullanılarak detaylı bir şekilde incelenmesi işlemidir. Görsel muayene çalışmaları, görme yeteneği sayesinde doğrudan görüntüleme veya kamera gibi bir görüntü alma cihazı kullanılarak yapılabilir. Korozyon, parçaların yanlış hizalanması, fiziksel hasar ve çatlaklar, görsel incelemelerde tespit edilebilecek bazı süreksizliklerden sadece bir kaçıdır. Görsel muayene personel eğitimi, görme yeteneğinde keskinlik ve uygun aydınlatma gibi çevre faktörlerinin sağlanmasını gerektirir. Aksi halde muayene sonuçları yanlış değerlendirmelere yol açabilir (Anonim, 2013).

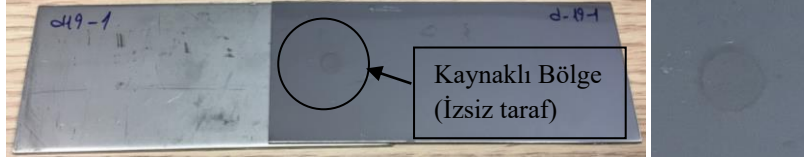
1.2. Renk Ölçümleri

Renk, elektromanyetik spektrumun çeşitli dalga boylarının emilimi ve yansınmasıyla gözde oluşturduğu algılamalara verilen isimdir. Rengin algılanması çevresel ve kişiye bağlı faktörler olmak üzere ikiye ayrılır. Ortamın ışık şartları ve zeminin etkisi çevresel faktörlerdir. Kişinin renk algılama kabiliyeti, renk körlüğü, sağ ve sol göz arasındaki farklılıklar, göz yorgunluğu ve psikolojik etkenler ise kişiye bağlı faktörler olarak sıralanabilir. Bununla birlikte her gözlemcinin öznel değerlendirmesi vardır ve kendi deneyimine ve renk referanslarına dayanarak rengi farklı yorumlar. Rengin algılanması için ışık, nesne ve gözlemci ile üç element arasında bir etkileşim olmasına ihtiyaç vardır. Rengin algılanması kadar diğer kişilere aktarılmasında da pek çok sorunlar yaşanabilmektedir. Rengin sayısal ifadelerle tanımlanması bu sorunun ortadan kaldırılmasını ve renk için standart değerlerin belirlenmesini sağlamıştır. Bu işlemler için geliştirilen renk sistemleri arasında Munsell ve CIE L*a*b* (Commission Internationale de l'Eclairage L*a*b*) en çok kullanılan sistemlerdir. Günümüzde bilgisayar sistemleri ile sayısal görüntülerin işlenmesi, insan gözü tarafından algılanan renk ile benzer mekanizmayı temel alan üç boyutlu renk modelleri, RGB (Red-Green-Blue) gibi renk ölçekleri de renklerin sayısal ifadelerle belirtilmesinde kullanılmaktadır (Turgut ve Bağış, 2012).

Görüntünün elde edilmesini sağlayan en küçük birime piksel denir ve pikseller birleşerek görüntüyü oluştururlar. Bir pikselin rengi, RGB renk ölçeklerinin girdileri olan kırmızı, yeşil ve mavi renklerin değerleri ile ortaya çıkar. Bu değerler 0 ile 255 arasındadır. Eğer bir pikselin rengini belirleyen kırmızı, yeşil ve mavi renk değerleri birbirine eşit olursa gri renk elde edilmektedir. Bir görüntünün gri seviyeye dönüştürülmesi için en çok kullanılan yöntemlerden ilki, renk ölçümü sonucunda elde edilen kırmızı, yeşil ve mavi değerlerinin aritmetik ortalamasının alınmasıdır. İkinci yöntemde ise ölçülen kırmızı, yeşil ve mavi değerlerinin, kırmızı renk değeri için 0,299; yeşil renk değeri için 0,587 ve mavi renk değeri için 0,114 katsayıları ile çarpılarak toplanması sonucu $(0,299.R+0,587.G+0,114.B)$ elde edilen değerdir (Horozoğlu, 2013).

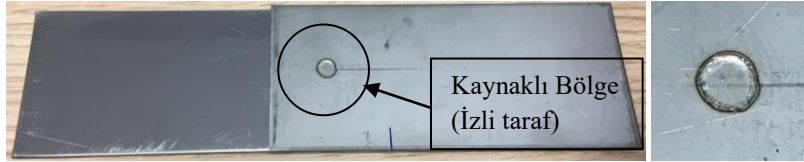
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, öncelikle nokta direnç kaynağı yöntemiyle AISI 304 ostenitik paslanmaz çelik malzemeden elde edilen deney numunelerinin kaynakla birleştirme işlemi yapılmıştır (Şekil 1 ve Şekil 2). İşlem sonunda numunelere kesme testi uygulanmıştır. Bunun yanında kaynaklı bölgenin renk ölçümleri de yapılarak kaynak izi analizleri yapılmıştır.



Şekil 1:

Direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş örnek numune (izsiz yüzey tarafı)



Şekil 2:

Direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş örnek numune (izli yüzey tarafı)

Çalışmanın başında kaynak işlemine etki eden parametrelerin ve elektrot tipinin etkilerini tespit amacıyla ön deneyler gerçekleştirilmiştir. Ön deney çalışması ile elde edilen numuneler değerlendirildikten sonra, çekirdek bölgesinde izin en az olduğu kaynak parametreleri (Tablo 6) ve elektrot tipi subjektif yöntemlerle değerlendirilerek deney çalışması için parametreler belirlenmiş ve uygulaması yapılmıştır. Son aşamada ise deney çalışması sonuçlarının güvenilirliğinin saptanması için doğrulama deneyleri gerçekleştirilmiştir.

2.1. Deney Tasarımı

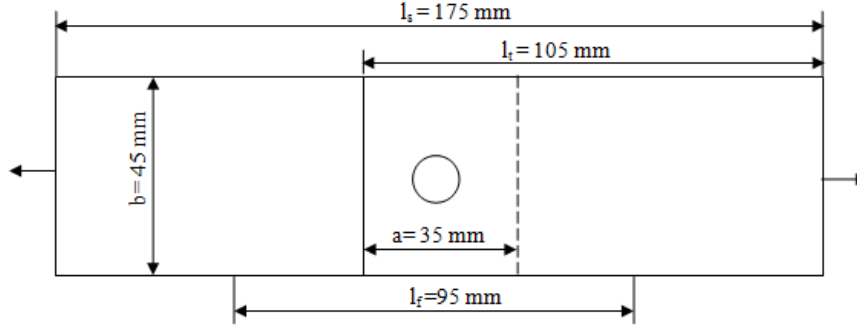
Direnç nokta kaynağı parametrelerinin araştırılmasında, belirli kademelerle değiştirilmesi planlanan parametre değerleri sırasıyla kaynak yapılarak tamamlanmaktadır. Burada direnç kaynağı makinesinde ayarlanabilen değişkenler; kaynak akım değeri, elektrot baskı kuvveti ve kaynak süreleridir. Bunun yanında bazı makine ekipmanlarının değiştirilmesi ile de kaynak işlemine etki edilebilir, fakat bu ekipmanların değiştirilmesi seri imalata uygun olmamasının yanında kaynak prosesinin de değişmesine neden olabilecektir.

Deney çalışmasında, AISI 304 paslanmaz çelik malzemeden elde edilmiş 1 mm ve 2 mm kalınlığında sac deney numuneleri direnç nokta kaynağı yöntemi ile birleştirilmiştir. Uygulamada; kaynak akımı, kaynak periyodu ve elektrot kuvveti olmak üzere üç parametre değerinden bir değer değiştirilirken diğer iki değer sabit tutulmuştur.

Deneylerde kimyasal özellikleri Tablo 1’de verilen AISI 304 ostenitik paslanmaz çelik kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan paslanmaz saclar levhalardan abkant pres ile kesilerek elde edilmiştir. Deney plakalarının boyutları EN ISO 14273: Nokta, dikiş ve projeksiyon kaynaklarının kesme deneyi için numune boyutları ve yöntem başlıklı standardın ilgili bölümünden alınmıştır, Şekil 3.

Tablo 1. AISI 304 kimyasal kompozisyonu (%)

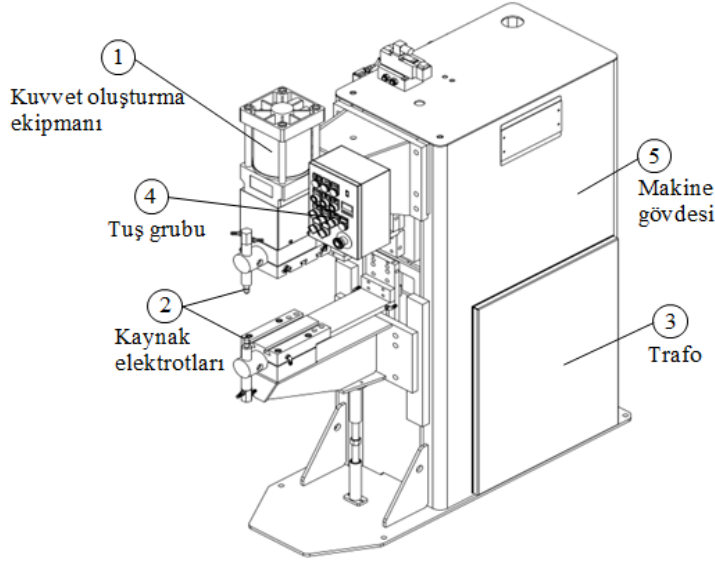
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	N	Fe
0,054	0,39	1,05	0,031	0,004	18,17	8,07	≈ 0	≈ 0	0,038	72,19



Şekil 3:

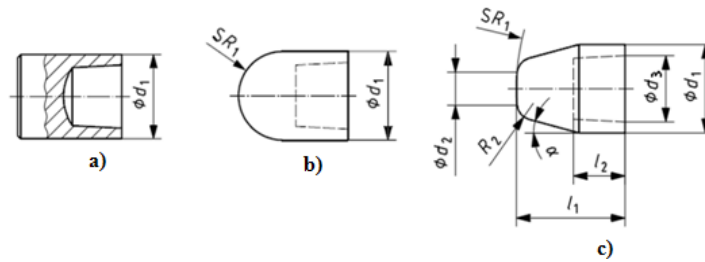
Deney numuneleri birleştirme ölçüleri (EN ISO 14273, 2001)

Deney parçalarının kaynaklı birleştirilmesinde Şekil 4.'te şematik resmi ve Tablo 2'de özellikleri verilen sabit direnç nokta ve projeksiyon kaynak makinesi kullanılmıştır. Kaynaklı birleştirmelerde, ISO 5821:2009 Direnç kaynağı- Nokta kaynağı elektrot başlıkları adlı standarda uygun olarak üretilmiş elektrotlar kullanılarak yapılmıştır. Ön deneylerde üç farklı elektrot başlığı kombinasyonu kullanılmıştır. Bunlar; Tip G0 ile Tip G0, Tip G0 ile Tip C0 ve Tip G0 ile Tip F0 şeklindedir (Şekil 5). Ön deney sonuçları değerlendirildiğinde, izsiz olması istenilen iş parçasına Tip C0 elektrot başlığı, diğer iş parçası tarafında ise Tip G0 elektrot başlığı kullanılarak kaynak işlemleri gerçekleştirilmiştir. Uygulamalarda kullanılan elektrot başlıklarının şekilleri ve ölçüleri Tablo 3'te verilmiştir.



Şekil 4:

Deneylerde kullanılan kaynak makinesi (Firma: Mactera)



Şekil 5:

Deneylerde kullanılan kaynak elektrot kepleri a) Tip C0, b) Tip F0, c) Tip G0 (ISO 5821, 2009)

Tablo 2. Deneylerde kullanılan kaynak makinesinin özellikleri

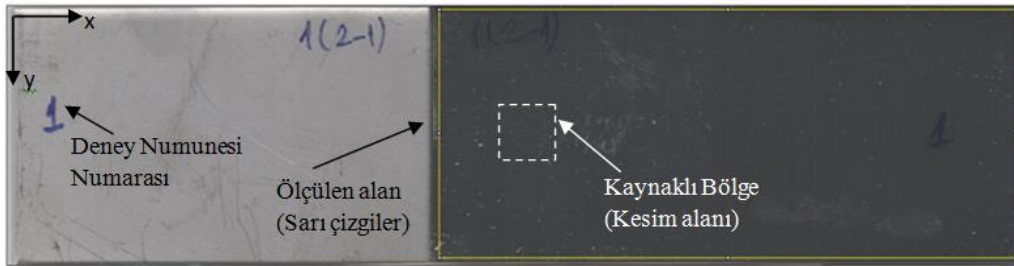
Anma Gücü (% 50)	250 kVA
Çalışma Basıncı	6 bar
Besleme Gerilimi	380 V
Kumanda Gerilimi	24 V
Soğutma Suyu Debisi	20 lt/dak
Kuvvet Oluş. Ekipmanı	Ø 160 mm pnömomatik silindir

Tablo 3. Deneylerde kullanılan elektrot keplerinin ölçüleri (mm) (ISO 5821, 2009)

Tip	d ₁	d ₂	d ₃	l ₁	l ₂	l ₃	e	R ₁	R ₂	α(°)
C0	16	-	12	20	10,5	-	-	-	-	-
F0	16	-	12	20	10,5	-	-	8	-	-
G0	16	6	12	20	10,5	12	-	40	6	15

2.2. Kaynaklı Numunelerin Taranması ve Renk Ölçümleri

Direnç nokta kaynağı ile birleştirilen iş parçaları renk ölçümlerinin yapılabilmesi için dijital tarayıcı ile taratılmıştır. Tarama işlemlerinde Epson marka L550 model yazının tarayıcı özelliği kullanılarak her bir kaynaklı numune 1200 dpi çözünürlükle jpeg fotoğraf formatıyla kaydedilmiştir (Şekil 6). Tarama dosyaları “Gimp 2” adlı resim işleme yazılımında kesilerek boyutlandırıldıktan sonra “Image J” adlı resim değerlendirmelerinde tercih edilen yazılım kullanılarak kaynaklı bölgelerin RGB ölçümleri yapılmıştır. Görüntülerin kesilerek boyutlandırılmasındaki amaç kaynaklı bölgedeki renk değişikliği ölçümleri esnasında işlemi kolaylaştırmasıdır. Orijinal boyutlardaki görüntü, kaynak izinin olması istenmeyen tarafın tüm alanının renk ölçümü için kullanılırken, kesilmiş görüntü ise kaynaklı bölgenin renk ölçümü için kullanılmıştır. “Image J” görüntü işleme programında renk analizleri yapılarak objektif veriler elde edilmiştir. Kaynaklı bölge ölçümünde 340 piksel çapındaki daire içinde kalan alan ölçülürken, dikdörtgen şekil kullanılarak numunenin izsiz olması istenen yüzünün tamamı ölçülmüştür (Şekil 7).



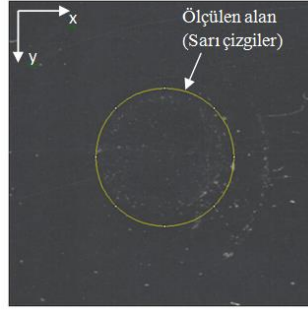
Şekil 6:

Örnek taranmış numune, kaynaklı bölge kesim alanı ve ölçüm çizgileri

Ölçüm işlemlerinden sonra veriler kaydedilerek sonuçlar ile örneği Tablo 4’te görülen özet tablolar oluşturulmuştur. Bu tablolarda, kaynaklı iş parçasının kodu ve kaynak parametrelerinin yanında ölçülen fotoğraf özellikleri ve elde edilen sonuçlar verilmektedir.

Tablo 4. Örnek ölçüm tablosu

Numune 1		Kaynak parametreleri		
		Kaynak akımı	Kaynak süresi	Baskı kuvveti
		9 kA	2 çevrim	400 daN
Fotoğraf boyutu		Ölçülen alan boyutu		Ölçüm koor.
8504x2126 px		4800x2040 px		x 3590 px
				y 30 px
Kesim koor.		Fotoğraf boyutu	Ölç. alan boyutu	Ölç. koordinatları
x	3965 px	750x750 px	340 x340 px	x 212 px
y	665 px			y 214 px
Ölçüm değerleri				
Tüm yüzeyin ölçümü		0,299R+0,587G+0,114B		66,096
Kaynaklı bölgenin ölç.		0,299R+0,587G+0,114B		68,819



Şekil 7:
Örnek taranmış numune, kesilen alan ölçüm bölgesi

2.3. Kaynaklı Numunelerin Kesme Çekme Testi

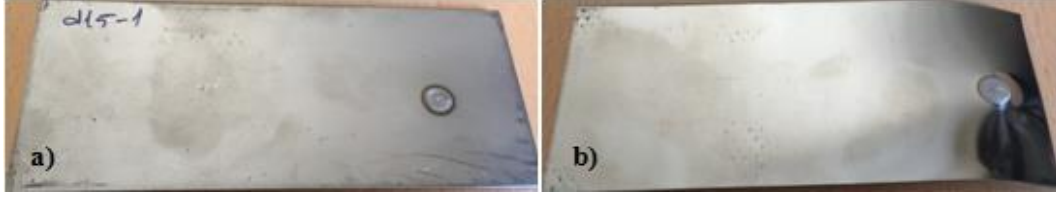
Kaynaklı numunelerin taratılmasından sonraki adım bu parçaların kopma kuvvetinin ölçülmesidir. Kesme testleri 25 ton kapasiteli UTest marka test cihazıyla yapılmıştır (Şekil 8).



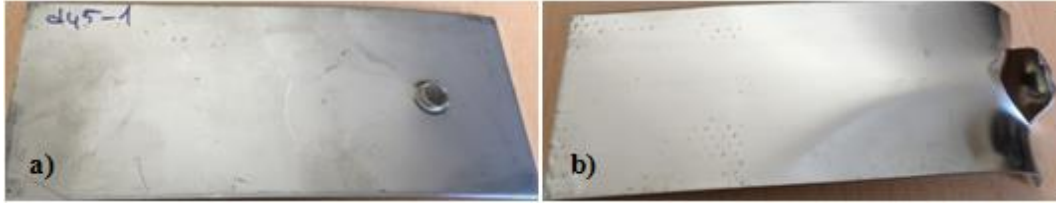
Şekil 8:
Kesme testi uygulaması

Ölçümlerde sadece kopma kuvvet değeri kaydedilmiştir. Kesme testi ile parçalar koparıldıktan sonra farklı hata tipleri görülmektedir. Bunlardan ilki ara yüzey ayrılması olarak

adlandırılan ve kesme sonucunda kaynak çekirdeğinin sac yüzeylerinden kopmasıdır (Şekil 9). Bir diğeri ise kaynak çekirdeğinin saclardan birinde kaldığı kopma şeklidir (Şekil 10).



Şekil 9:
Ara yüzey ayrılması a) izli yüzey tarafı b) izsiz yüzey tarafı



Şekil 10:
Çekirdek çıkması a) izli yüzey tarafı b) izsiz yüzey tarafı

3. BULGULAR

Deney numunelerinin elde edilmesinin ardından birleştirilmiş saclar ilk olarak renk değerlendirmelerinin yapılabilmesi için dijital tarayıcıda taranmıştır. Ardından numuneler kesme test cihazında kopma kuvvetinin bulunması için test edilmiştir. Elde edilen tarama görüntüleri, görüntü işleme programları kullanılarak kaynaklı bölgenin ve izsiz olması istenen yüzeyin tamamının renk değerleri ölçülerek sayısal ifadelerle tespit edilmiştir. Renk değerleri ve kuvvet verilerinin yanında koparma işlemi sonucunda kaynak çekirdek çapları da ölçülmüştür. İşlemler sonucunda tüm veriler değerlendirilerek direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş sac malzemenin birleştirme bölgesi için yüzey kalitesinin ve mukavemetinin değerlendirilmesi yapılmıştır.

3.1. Ön Deneyler ve Bulguları

Ana deney çalışmalarına başlamadan önce parametre aralıklarını belirlemek için ön deneyler yapılmıştır. Deneyler Ön Deney- Tip 1, Ön Deney- Tip 2 ve Ön Deney- Tip 3 adları ile gerçekleştirilmiş olup Tablo 5'te deney ayrıntıları verilmiştir. Ön deneylerde kaynak akımı ve kaynak süresi değiştirilmiş olup elektrot baskı kuvveti sabit uygulanmış ve doğru elektrot başlığı seçimi için 3 farklı başlık denenmiştir. Bütün deneylerde ize izin verilen yüzeylerde G0 tip elektrot başlığı kullanılırken iz istenmeyen yüzeylerde ise sırasıyla G0, F0 ve C0 elektrot başlıkları kullanılmıştır.

Deneyler tamamlandıktan sonra yapılan değerlendirmelerde, ana deneylerde kullanılmak üzere, sacın görünür yüzeyinde iz oluşumunun istenmediği durumlar için en uygun elektrot başlık seçiminin C0-G0 kombinasyonu olduğu sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte daha hızlı sonuçlar alabilmek için iş parçalarına soyma testi yapılmış olup, elde edilen sonuçlara göre kaynak akım değerleri arasından 8 kA değeri çıkarılarak bu değer yerine 11 kA kaynak akımı değeri eklenmiştir. Kaynak süresi parametrelerinde kullanılan değerlere ek olarak 2 ve 6 çevrim değerleri belirlenerek 2-6 çevrim aralığında 1'er çevrim artırılarak kaynak işlemleri yapılmıştır. Son olarak baskı kuvveti değerleri de 400 daN, 500 daN ve 600 daN şeklinde düzenlenerek ana deney parametre değerleri oluşturulmuştur.

Tablo 5. Ön deney kaynak parametreleri

Deney		Ön deney- Tip 1	
Sac kalınlıkları		1 mm (İz istenmeyen yüz) 2 mm (İze müsaade edilen yüz)	
Elektrot başlıkları		G0, F0 ve C0- 16 mm (İz istenmeyen yüz) G0- 16 mm (İze müsaade edilen yüz)	
Numune	Kaynak parametre değerleri		
	Akım (kA)	Zaman (çevrim)	Kuvvet (daN)
1/ 2/ 3	10	3/ 4/ 5	500
4/ 5/ 6	9	3/ 4/ 5	500
7/ 8/ 9	8	3/ 4/ 5	500

3.2. Ana Deneyler ve Bulguları

Ana deneylerde ön deneylerden elde edilmiş sonuçlar değerlendirilerek parametreler belirlenmiştir. G0-C0 elektrot başlıkları kullanılarak ve parametre aralıkları genişletilerek toplamda 45 adet numune hazırlanmıştır. Bu numunelere uygulanacak parametre değerleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Ana deney kaynak parametreleri

Deney		Ana deney	
Sac kalınlıkları		1 mm (iz istenmeyen yüz) 2 mm (ize müsaade edilen yüz)	
Elektrot başlıkları		C0- 16 mm (iz istenmeyen yüz) G0- 16 mm (ize müsaade edilen yüz)	
Sıkma süresi		20 çevrim	
Tutma süresi		10 çevrim	
Kesme testi- Çekme hızı		10 mm/ dak	
Numune	Kaynak parametre değerleri		
	Akım (kA)	Süre (çevrim)	Kuvvet (daN)
1/ 2/ 3	9	2	400/ 500/ 600
4/ 5/ 6	9	3	400/ 500/ 600
7/ 8/ 9	9	4	400/ 500/ 600
10/ 11/ 12	9	5	400/ 500/ 600
13/ 14/ 15	9	6	400/ 500/ 600
16/ 17/ 18	10	2	400/ 500/ 600
19/ 20/ 21	10	3	400/ 500/ 600
22/ 23/ 24	10	4	400/ 500/ 600
25/ 26/ 27	10	5	400/ 500/ 600
28/ 29/ 30	10	6	400/ 500/ 600
31/ 32/ 33	11	2	400/ 500/ 600
34/ 35/ 36	11	3	400/ 500/ 600
37/ 38/ 39	11	4	400/ 500/ 600
40/ 41/ 42	11	5	400/ 500/ 600
43/ 44/ 45	11	6	400/ 500/ 600

Kaynaklı bölge renk ölçümleri yukarıda belirtildiği şekilde yapılmış olup, her bir numuneye ait ölçüm sonuçları belirlenmiştir. Ölçümler "Image J" programında yapılarak sayısal değerler

elde edilmiştir. Bu işlem sonrasında kaynaklı bölge ile tüm yüzeyin renk benzerliği araştırılmıştır. Bununla birlikte ölçümler her bir kaynaklı iş parçası özelinde yapılarak, diğer iş parçalarını kapsamamaktadır. Denklem 1 kullanılarak, yüzdelik dilimde benzerlik oranları tespit edilmiştir.

$$\text{Benzerlik (\%)} = \frac{\text{Tüm yüzeyin ölçüm değeri}}{\text{Kaynaklı bölgenin ölçüm değeri}} \times 100 \quad (1)$$

Renk ölçümlerinden alınan veriler ile benzerlikler hesaplandıktan sonra, aralıklar belirlenerek renk ölçümlerinin yanında subjektif değerlendirmelerin de yapılması gerekmektedir. Bu değerlendirmenin yapılabilmesi için bir kaynak uzmanının puanlamasına ihtiyaç duyulmuştur. Taranmış görüntüler uzman kaynakçıya gösterilerek 1 ile 5 puan aralığında değerlendirme yapılması istenmiştir. Burada; 1 puan verilen kaynaklı numune estetik açıdan en iyi, 5 puan ise estetik açıdan en kötü kaynaklı bölgeye verilmiştir. Çalışmalarda 71 adet numunenin puanlaması yapılmış olup, bu puanlama ana deneyler ve doğrulama deneyleri ile sınırlandırılmıştır. Deney sonucunda ayrıca subjektif ve objektif değerlendirmeler arasındaki farklar da ortaya koyulmuştur.

Yapılan renk ölçümleri ve hesaplamalar sonucunda elde edilen benzerlik oranları için tüm deney sonuçları ele alınarak bir değerlendirme aralığı belirlenmiştir. Tablo 7’de benzerlik oranlarına göre numuneye 1-5 aralığında verilecek puanlar gösterilmiştir.

Tablo 7. Benzerlik aralığı- puan ilişkisi

Benzerlik aralığı (%)	90-95 %	99-92 %	99-89 %	99-86 %	99-...%
Puan	1	2	3	4	5

Renk ölçüm testlerinden sonra numuneler kesme testine tabi tutulmuştur. Tablo 8’de, yapılan testler sonucu elde edilen kopma kuvvetleri, çekirdek çapları ölçülerek ve kesme gerilmesi değeri hesaplanarak verilmiştir. Çekirdek çaplarının ölçüm işleminde çekirdeğin iki ekseninde ölçümleri kumpas ile yapılarak ortalaması alınmıştır [7]. Ayrıca kesme testinde ara yüz ayrılması hata tipinde kopan deney numuneleri de çizelgede belirtilmiştir.

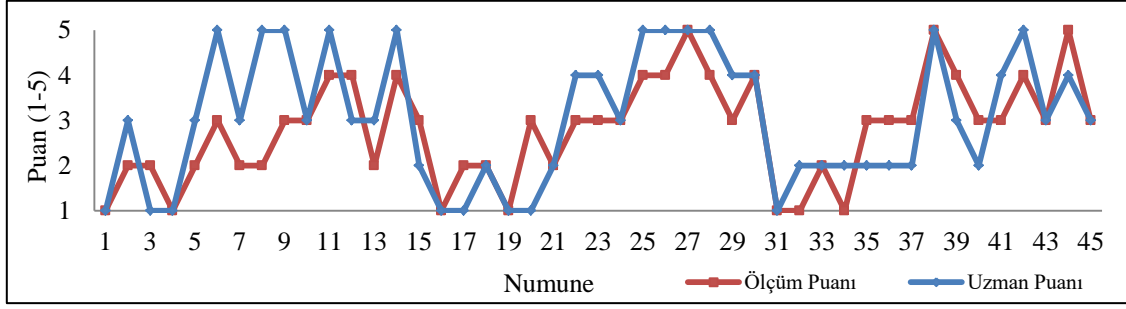
Bunun yanında Denklem 1’de belirtildiği üzere, tüm yüzeyin ölçümünün kaynaklı bölgenin ölçümüne bölünmesi ile elde edilen benzerlik oranı, bazı durumlarda tüm yüzey ölçümünün daha fazla olması sebebiyle 1’den büyük çıkmaktadır. 100 ile genişletilen oran, bu sebeple maksimum değerden fazla çıkabilmektedir. Böyle durumlarda elde edilen oranın 100’den fazla olduğu kısmın iki katı elde edilen sayıdan çıkarılarak değerlendirme Tablo 6’da verilen puanlamaya göre yapılmıştır.

Renk ölçüm işlemleri ve puanlamalardan sonra bu puanlamalar bir grafik oluşturularak uzman puanları ve ölçüm puanları olarak verilmiştir. Şekil 11 incelendiğinde, bazı numuneler dışında uzman puanı ile ölçüm puanı arasında genelde aynı veya puan farkının bir puan olduğu görülmektedir. Puan farkının bir puandan fazla olduğu durumlar 45 adet numuneden 4 tanesidir. Ölçüm puanı ile uzman puanı arasında puan farkının 1 (bir) olduğu numune sayısı 26 adet olup, uzman puanı ile ölçüm puanının aynı olduğu numune sayısı ise 15 adet numunedir. Renk ölçümlerindeki dağılımlar incelendiğinde düşük kaynak zamanlarında ısı tesiri altında kalan bölgenin puanlamaları daha düşüktür. Yani estetik açısından daha iyi sonuçlar kaynak süresinin daha düşük olduğu durumlarda elde edilmektedir. Kaynak süresi azaldıkça birleştirme bölgesinde daha az ısıl yük olacağından daha az belirgin yüzeyler elde edilmiştir.

Tablo 8. Ana deney numuneleri ölçüm puanları ve uzman puanları ve kesme testi değerleri

No	Uzman puanı (1-5)	Tüm yüzeyin ölçümü	Kaynaklı bölge ölçümü	Benzerlik (%)	Ölçüm puanı (1-5)	Çekirdek çapı (mm)	Kopma kuvveti (kN)	Kesme gerilmesi (MPa)
1	1	66,096	68,819	96,043	1	A.Y.A. *	3,6	-
2	3	65,227	68,806	94,798	2	A.Y.A. *	3,33	-
3	1	65,316	68,806	94,928	2	A.Y.A. *	3,03	-
4	1	64,716	66,698	97,028	1	A.Y.A. *	7,01	-
5	3	67,166	70,713	94,984	2	A.Y.A. *	5,3	-
6	5	66,083	72,427	91,241	3	A.Y.A. *	4,56	-
7	3	65,421	69,758	93,783	2	4,625	9,06	539,28
8	5	64,035	68,359	93,675	2	A.Y.A. *	8,44	-
9	5	62,108	67,834	91,559	3	A.Y.A. *	7,15	-
10	3	63,803	71,343	89,431	3	4,6	9,22	554,79
11	5	65,262	73,553	88,728	4	4,525	9,6	596,96
12	3	64,166	72,437	88,582	4	3,975	9,04	728,46
13	3	63,460	68,438	92,726	2	4,825	9,68	529,41
14	5	62,878	72,622	86,583	4	4,7	9,6	553,33
15	2	63,106	70,593	89,394	3	4,65	10,45	615,35
16	1	62,887	64,373	97,692	1	A.Y.A. *	5,75	-
17	1	62,685	66,602	94,119	2	A.Y.A. *	4,46	-
18	2	63,576	68,374	92,983	2	A.Y.A. *	9,76	-
19	1	63,754	66,965	95,205	1	4,375	9,76	649,24
20	1	66,301	72,329	91,666	3	A.Y.A. *	8,94	-
21	2	65,912	69,786	94,449	2	A.Y.A. *	7,05	-
22	4	63,861	69,703	91,619	3	5,675	10,06	397,72
23	4	64,372	70,073	91,864	3	5,1	9,68	473,85
24	3	63,537	69,997	90,771	3	A.Y.A. *	9,89	-
25	5	63,385	72,054	87,969	4	5,275	9,9	453,00
26	5	65,587	74,666	87,841	4	5,4	9,84	429,65
27	5	64,338	76,511	84,090	5	5,125	10,19	493,97
28	5	63,062	72,401	87,101	4	5,8	10,48	396,66
29	4	62,478	69,243	90,230	3	5,3	9,84	446,02
30	4	66,001	75,546	87,365	4	5,35	10,23	455,07
31	1	63,440	65,286	97,172	1	A.Y.A. *	8,02	-
32	2	65,467	67,466	97,037	1	A.Y.A. *	7,03	-
33	2	63,298	68,452	92,471	2	A.Y.A. *	5,58	-
34	2	64,103	67,268	95,295	1	5,525	10,1	421,28
35	2	64,221	71,730	89,532	3	4,85	9,9	535,87
36	2	64,991	71,504	90,891	3	A.Y.A. *	9,82	-
37	2	64,309	71,411	90,055	3	5,45	10,08	432,09
38	5	64,480	75,774	85,095	5	5,55	9,97	412,12
39	3	64,911	73,265	88,598	4	5,75	10,27	395,50
40	2	67,118	73,485	91,336	3	5,725	10,48	407,12
41	4	64,321	71,920	89,434	3	5,95	10,45	375,83
42	5	64,174	73,011	87,896	4	5,15	10,16	487,74
43	3	64,472	71,350	90,360	3	6,075	10,53	363,28
44	4	63,896	74,439	85,837	5	5,65	10,68	425,98
45	3	68,803	76,638	89,777	3	5,575	10,65	436,28

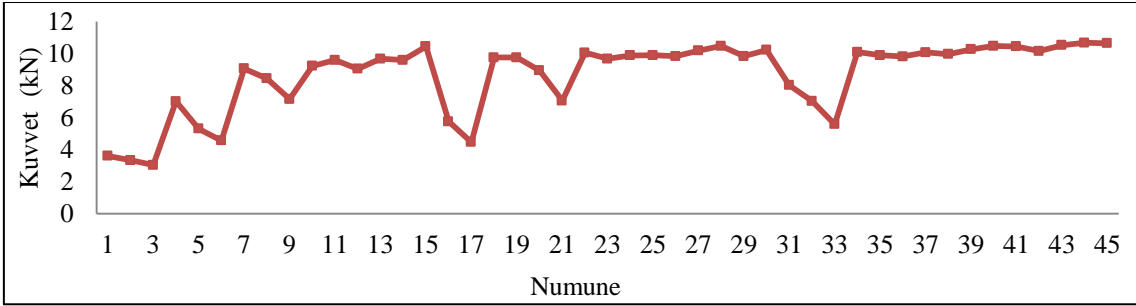
A.Y.A. *: Ara yüz ayrılması



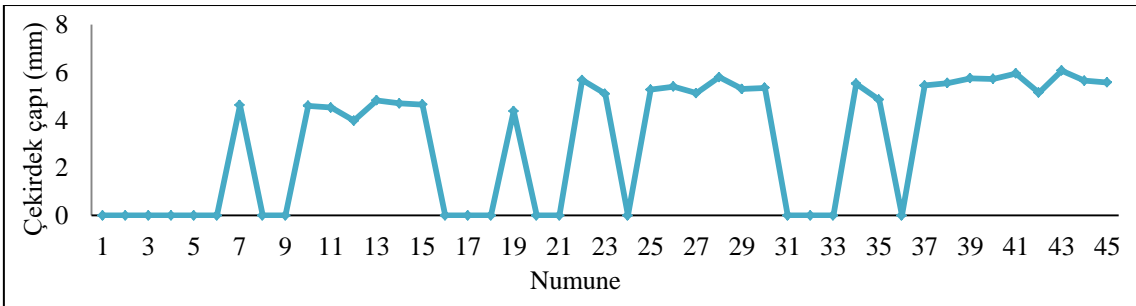
Şekil 11:
Ana deney numuneleri ölçüm puanları ve uzman puanları

Ana deneyler için kesme testi değerleri değerlendirildiğinde kaynak akımının artmasıyla birlikte kopma kuvveti yükselme eğilimindedir (Şekil 12). Ayrıca kaynak akımının 9 kA olduğu 15 adet test numunesinden 8 adeti ara yüzey ayrılması hata tipinde koparken, 10 kA olan kaynak akımında 15 adet test numunesinden 6 adet numune ara yüzey ayrılması hata tipinde kopmuştur. 11 kA kaynak akımında ise 15 adet test numunesinden sadece 4 adet numune ara yüzey ayrılması hata tipinde kopmuştur.

Kaynak süresinin düşük olduğu durumlarda kopma kuvvet değerinin, kaynak süresinin yüksek olduğu durumlara göre daha az olduğu görülmüştür. Fakat kaynak akımı değeri arttıkça, kaynak süresinin artan akım sebebiyle etkisinin azaldığı gözlemlenmiştir. Ön deneylerle belirlenen baskı kuvveti değerleri, birbirine yakın değerler olduğu için bu deneylerde etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır. Kaynak akımının artması ile elde edilen çekirdek çapında da bir artış olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 13). Bunun yanında düşük kaynak periyodu değerlerinde kaynaklı birleştirmelerin kesme testi sonucunda ara yüz ayrılması hata tipinde koptuğu görülmüştür.



Şekil 12:
Ana deney numuneleri kesme testi kuvvet değerleri



Şekil 13:
Ana deney numuneleri kesme testi çekirdek çapı değerleri

3.3. Doğrulama Deneyleri ve Bulguları

Ana deney numunelerinin testleri ardından yapılan değerlendirmeler sonucunda Tablo 8’de ana deneydeki kodları ile verilen test parçaları doğrulama deneyleri için ikişer adet hazırlanmıştır. Bu numunelerde ana deneylerdeki parametre deneyleri kullanılmıştır. Kaynak uzmanının 1, 2 ve 3 puan verdiği ve ara yüzey ayrılması hata tipinde kopmayan yani çekirdek çapları ölçülebilen deney numuneleri seçilerek doğrulama deneyleri gerçekleştirilmiştir.

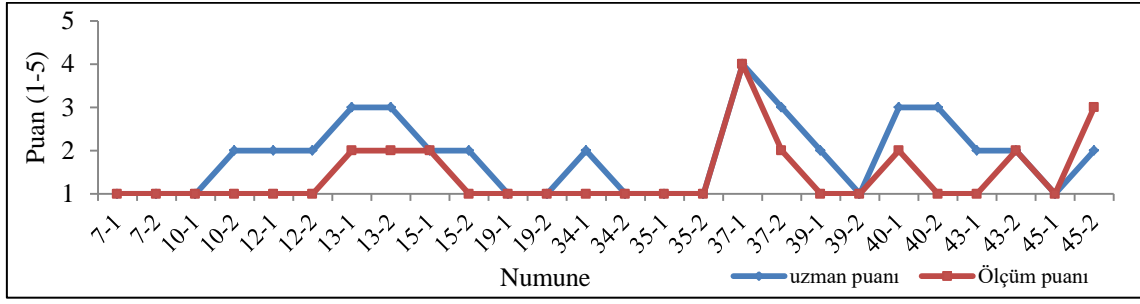
Seçilen doğrulama deney numunelerinin ana deney parametreleri kullanılarak kaynak işlemleri tamamlandıktan sonra renk ölçümleri aynı şartlar ve yazılımlar kullanılarak ölçülmüştür. Tablo 9’da doğrulama deney numunelerinin estetik açıdan uzman kişi tarafından verilen puanlar ve renk ölçümleri ile elde edilen puanlar ile birlikte kesme testi değerleri verilmiştir.

Renk ölçüm işlemleri ve puanlamalardan sonra bu puanlamalar bir grafik oluşturularak uzman puanları ve ölçüm puanları olarak verilmiştir. Şekil 14’e bakıldığında bazı numuneler dışında uzman puanı ile ölçüm puanı arasında genelde benzer veya puan farkının sadece bir puan olduğu görülmektedir. Puan farkının bir puandan fazla olduğu durum, 26 adet doğrulama numunesinden sadece bir tanesidir. Ölçüm puanı ile uzman puanı arasında puan farkının 1 (bir) olduğu numune sayısı 12 adet olup, uzman puanı ile ölçüm puanının aynı olduğu numune sayısı ise 13 adet numunedir. Şekil 15 ve Şekil 16 incelendiğinde ise doğrulama deneyi sonuçları ana deneylerde elde edilen kopma kuvveti ve çekirdek çapları grafikleri ile örtüşmektedir.

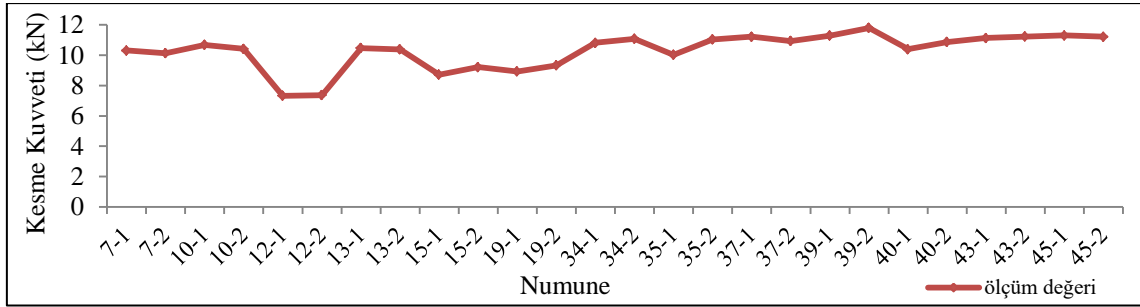
Tablo 9. Doğrulama deneyleri uzman puanları ve ölçüm puanları ve kesme testi değerleri

No	Numune	Uzman puanı (1-5)	Tüm yüzey ölçüm d.	Kaynaklı bölge ölçüm d.	Benzerlik (%)	Ölçüm puanı (1-5)	Çekirdek çapı (mm)	Kopma kuvveti (kN)	Kesme gerilmesi (MPa)
1	7-1	1	41,897	41,646	100,603	1	5,23	10,31	479,92
2	7-2	1	40,519	39,888	101,582	1	4,58	10,13	615,68
3	10-1	1	39,484	41,132	95,993	1	4,8	10,68	590,20
4	10-2	2	39,519	41,122	96,102	1	5,23	10,42	485,04
5	12-1	2	40,367	41,861	96,431	1	A.Y.A. *	7,33	-
6	12-2	2	41,634	40,829	101,972	1	A.Y.A. *	7,37	-
7	13-1	3	39,402	41,775	94,320	2	5,41	10,47	455,47
8	13-2	3	38,563	41,793	92,271	2	5,52	10,39	434,16
9	15-1	2	39,466	41,598	94,875	2	A.Y.A. *	8,72	-
10	15-2	2	42,125	42,316	99,549	1	A.Y.A. *	9,21	-
11	19-1	1	40,105	40,949	97,939	1	A.Y.A. *	8,93	-
12	19-2	1	40,030	41,290	96,948	1	A.Y.A. *	9,33	-
13	34-1	2	42,434	41,801	101,514	1	5,7	10,82	424,02
14	34-2	1	42,126	43,307	97,273	1	5,67	11,08	438,82
15	35-1	1	42,868	43,537	98,463	1	A.Y.A. *	10,03	-
16	35-2	1	41,417	42,281	97,957	1	6,02	11,04	387,87
17	37-1	4	41,448	46,807	88,551	4	5,84	11,22	418,87
18	37-2	3	41,144	43,451	94,691	2	5,69	10,93	429,84
19	39-1	2	43,453	45,012	96,536	1	6,01	11,29	397,97
20	39-2	1	40,619	40,960	99,167	1	6,36	11,8	371,43
21	40-1	3	41,875	44,309	94,507	2	5,51	10,4	436,15
22	40-2	3	40,766	42,401	96,144	1	5,67	10,87	430,50
23	43-1	2	41,379	43,259	95,654	1	5,95	11,14	400,65
24	43-2	2	39,967	42,122	94,884	2	6,01	11,23	395,86
25	45-1	1	40,293	42,058	95,803	1	5,99	11,3	400,99
26	45-2	2	40,589	44,255	91,716	3	5,84	11,22	418,87

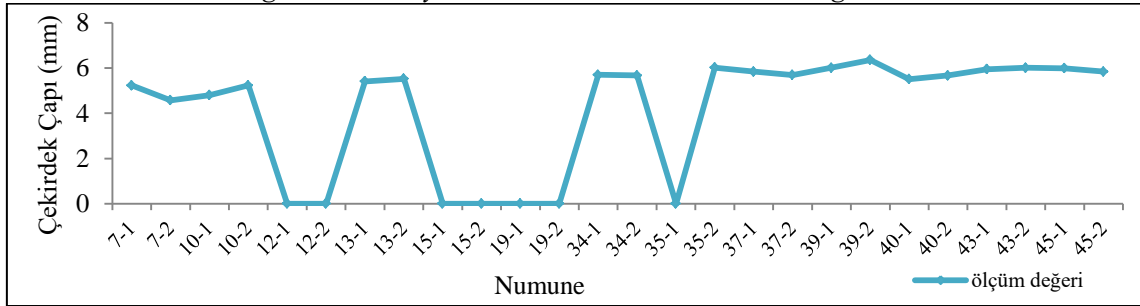
A.Y.A. *: Ara yüz ayrılması



Şekil 14:
Doğrulama deney numuneleri ölçüm puanları ve uzman puanları



Şekil 15:
Doğrulama deney numuneleri kesme testi kuvvet değerleri



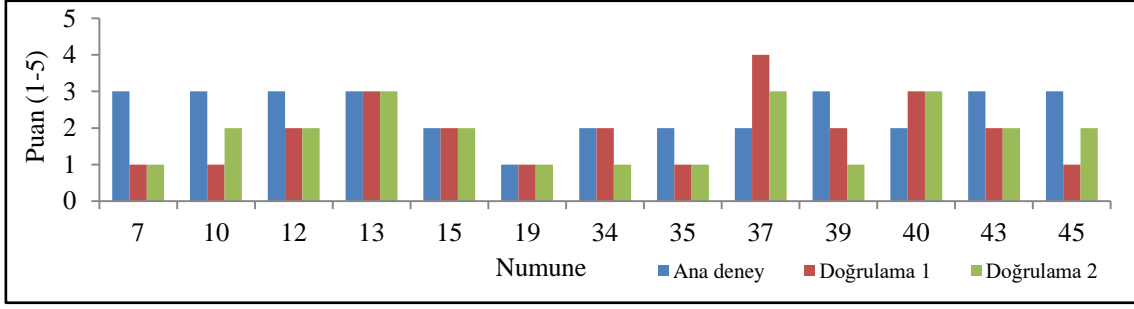
Şekil 16:
Doğrulama deney numuneleri kesme testi çekirdek çapı değerleri

3.4. Ana ve Doğrulama Deney Bulgularının Karşılaştırılması

Ön deneyler sonucunda elde edilen kaynak parametreleri değerlerine göre yapılan ana deneyler sonucunda, kaynaklı numunelerin renk ölçümleri ve kesme testleri yapılmıştır. Bunların içinden seçilen 13 farklı kaynak parametresinin doğrulama deney numuneleri hazırlanarak elde edilen veriler yukarıda verilmiştir. Bu başlık altında ise ana deneyler ile doğrulama deneyleri sonucu elde edilen verilerin karşılaştırılması yapılmıştır.

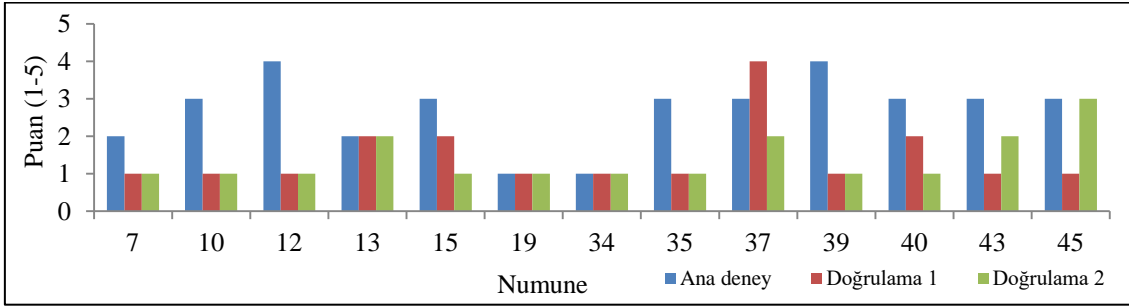
Şekil 17'de verilen grafikte, aynı kaynak parametresi değerlerinde ana deneyler ve doğrulama deneyleri için uzman puanları gösterilmektedir. Bu grafik incelendiğinde puanlar kendi içlerinde tutarlı olduğu görülmektedir. Uzman puanlarındaki bazı değişikliklerin sebebi olarak ise farklı zamanlarda yapılan deneylerin değerlendirilmesinde kişiye bağlı olarak beklenen farklılıklardır.

Şekil 18'de ise aynı kaynak parametresi değerlerinde ana deneyler ve doğrulama deneyleri için ölçüm puanlarının grafiği verilmiştir. Bu grafik incelendiğinde, elde edilen puanların bazılarında farklılıklar olmasına rağmen genelde benzer olduğu kabul edilebilir.

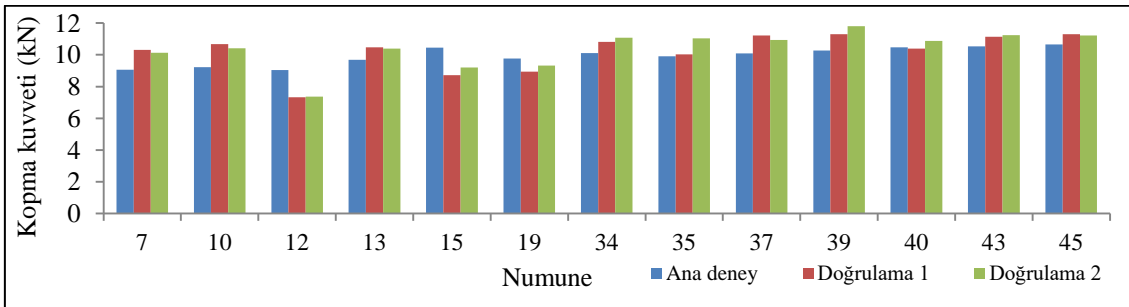


Şekil 17:
Ana deneyler ve doğrulama deneyleri uzman puanları

Bunun yanında, hem uzman puanlamasında hem de ölçüm puanlamasında her bir kaynağın aynı puan almasından ziyade elde edilen sonuçların kabul edilebilir aralıkta olması daha önemlidir. Doğrulama deney numuneleri seçilirken 1- 5 puan aralığında 1, 2 ve 3 puan estetik olarak kabul edilebilir puanlar olarak belirlenmiştir. İlgili grafiklere bakıldığında 13 farklı parametre değeri için, uzman puanlandırmasında 12 adet parametre kabul edilebilir estetik seviyesinde iken, ölçüm puanlandırmasında ise 10 adet parametre kabul edilebilir estetik seviyesindedir. Şekil 19’da verilen kesme kuvveti karşılaştırması grafiğine bakıldığında, doğrulama deney numuneleri değerleri ile ana deney numuneleri değerlerinin benzer olduğu anlaşılmaktadır.



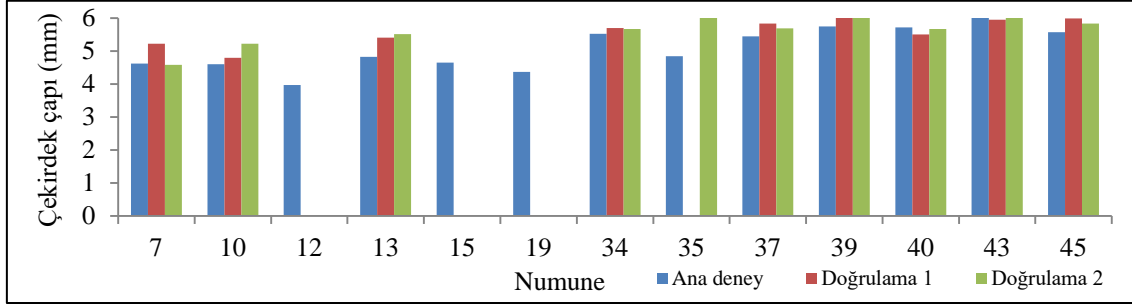
Şekil 18:
Aynı kaynak parametresi değerlerinde ana deney ve doğrulama deneyleri renk ölçüm puanları



Şekil 19:
Aynı kaynak parametresi değerlerinde ana deney ve doğrulama deneyleri kesme kuvveti değerleri

Şekil 20’de verilen çekirdek çapı karşılaştırması grafiği incelendiğinde ise değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Fakat 3 adet numunede ara yüzey ayrılması hata tipinde kopma gerçekleşmiştir. Bunlar 12, 15 ve 19 numaralı deney numuneleri olup, bu numunelerin ana deneylerde çekirdek çapının diğer numunelerden küçük olduğu görülmektedir. Ayrıca

doğrulama deneylerindeki kopma kuvveti değerinin, ana deneylerdeki değere göre düşük olduğu da ayrıca görülmüştür. Buradan anlaşılacağı üzere çekirdek çapının artması ile kopma kuvvet değeri de artmaktadır.



Şekil 20:

Aynı kaynak parametresi değerlerinde ana deney ve doğrulama deneyleri çekirdek çapı değerleri

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş sacların birleştirme bölgesinde kaynak işlemi esnasında estetik açıdan istenmeyen renk değişimleri ve çukurlaşmalar şeklinde kaynak izleri oluşmaktadır. Kaynak izlerinin istenmediği bölgelerde ek bir işlem ile bu izler temizlenmektedir. Bu izlerin değerlendirilmesinde ise görsel yöntemler kullanılarak öznel bir değerlendirme yapılmaktadır. Bu çalışmada; oluşan kaynak izlerinin estetik açıdan tarafsız bir şekilde değerlendirilmesi için yeni bir yöntem üzerine çalışılmıştır. İlk olarak ön deneyler sonucunda elde edilen veriler ile ana deneyler gerçekleştirilmiştir. Ardından ana deneyler içinde hem estetik açıdan hem de dayanım açısından iyi olan kaynak numunelerin parametreleri ile doğrulama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Son olarak deneyler sonucunda öznel ve objektif değerlendirme sonuçları karşılaştırılarak yöntemin tutarlılığı hakkında değerlendirme yapılmıştır. Kaynak işlemi sonrasında uygun bağlantı dayanım değerleri ve estetik açıdan en iyi olarak değerlendirilen parametre aralıkları paylaşılmıştır.

Çalışma sonuçları ve değerlendirmeler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Kaynak izinin tespit edilmesi için sanayide yapılan öznel değerlendirmelerin yerine objektif değerlendirmelerin yapılabilmesi için renk ölçümleri yöntemi oluşturularak bu yöntem test edilmiştir. Renk ölçümleri yöntemi ile değerlendirilen ana deneyler ve doğrulama deneylerinde tutarlı sonuçlar elde edilmiştir. Bu yöntemin izsiz kaynak parametrelerinin elde edilmesi için objektif değerlendirmelerde kullanılabileceği görülmüştür.

2. Deneyler sonucunda izsiz olması istenen kaynaklı üretim parçaları için öncelik elektrot kepleri seçimidir. Bu amaçla çalışmada ön deneyler ile farklı elektrot kepleri denenmiştir. Standart elektrot kepleri içinden, izsiz olması istenen yüzey tarafında en uygun kep olarak C0 tipi standart elektrot kepi belirlenmiştir. Çalışmada ize izin verilen tarafta ise G0 tipi standart elektrot kepi kullanılmıştır. Sonuç olarak, izsiz kaynaklı birleştirme yapılabilmesi için elektrot kepleri ve kaynak parametre değerleri önemlidir. Bu sebeple izsiz direnç nokta kaynağı için en uygun donanım ve parametre değerleri seçilmelidir.

3. Kaynak akımının artırılması ile kopma kuvveti değerleri yükselme eğilimindedir. Ayrıca kaynak akımının artması çekirdek çapının da artmasına neden olmaktadır. Kaynak süresinin düşük tutulduğu 2 çevrim değerinde numuneler ara yüzey ayrılması hata tipinde kopmuştur. Kaynak süresinin 2 çevrimden yüksek olduğu değerlerde ise birkaç numune dışında çekirdek elde edilmiştir. Kaynak süresinin ve akımının artmasının ortaya çıkardığı etki temel ısı girdisi denklemiyle açıklanabilir.

4. Aynı kaynak akım değerinde, kaynak süresinin artmasının görüntü kalitesini olumsuz etkilediği görülmüştür. Fakat çalışmanın amacının bu parametrelerin araştırılması olması ve 45

adet farklı numunenin değerlendirilmesi sebebiyle bu deneylerdeki parametre değerlerinin kaynak izine etkisi tespit edilememiştir.

5. Kaynaklı iş parçasının estetik açıdan objektif değerlendirilmesinde renk ölçümü ve görüntü işleme için oluşturulan bu çalışmadaki yöntemin kullanılabilmesi görülmektedir. Bunun yanında daha gelişmiş görüntü oluşturma araçları ve görüntü işleme yöntemleri kullanılarak bu değerlendirmelerin hassasiyeti artırılabilir.

Çalışmada planlanan ana deneyler ve bunların içinden seçilen doğrulama deneylerine ait sonuçlar değerlendirildiğinde, yapılan doğrulama deneylerinin tutarlı olduğu görülmüştür.

Çalışma sonucunda elde edilen izsiz kaynak parametre değerleri ile yapılan kaynaklı birleştirmelerde, ek temizleme proseslerine ve işçiliğe gerek kalmadan imalatın yapılabileceği anlaşılmıştır.

Kaynaklı iş parçasının değerlendirilmesinde uzman kişilerin subjektif değerlendirmesi ile ölçüm sonucundaki objektif değerlendirmeler karşılaştırıldığında az da olsa farklılıklar çıkabilmektedir. Buradaki farklılıkların ana sebebi insan gözünün ve algısının kişiden kişiye göre değişebilmesidir. Bununla birlikte elde edilen sonuçlar çoğunlukla benzerdir.

Renk ölçümü ile görsel açıdan değerlendirme günümüz üretim ve test şartlarında ve özellikle de teknolojideki gelişmeler ile kullanılabilir hale getirilebilir. Bu yöntem robotlu sistemlere entegre edilerek görüntüler kaynak üzerinden alındıktan sonra değerlendirme kriterleri uygulanabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya destek veren ACT Otomotiv Ltd. Şti.'ne teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

1. Akkuş, A., Vural, M. 2007. Nokta kaynaklı farklı çelik sacların yorulma dayanımlarının deneysel analizi. *İTÜ Dergisi*, 6(1): 37- 46.
2. Anonim, 2013. Training Guidelines in Non-Destructive Testing Techniques: Manual for Visual Testing at Level 2. International Atomic Energy Agency, Vienna, 208 pp.
3. Anonim, 2017. How can I minimise the surface marking on resistance spot welded joints? <http://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-how-can-i-minimise-the-surface-marking-on-resistance-spot-welded-joints/>- (Erişim tarihi: Mart 2017).
4. Anonim, 2018. Visual Testing Examinations. https://www.asnt.org/MajorSiteSections/Certification/ASNT_NDT_Level_III/Examinations/VT.aspx/- (Erişim tarihi: Aralık 2018).
5. Doruk, E., Pakdil, M., Çam, G., Durgun, İ., Kumru, U. 2016. Otomotiv sektöründe direnç nokta kaynağı Tofaş uygulamaları. *Kaynak Teknolojisi IX. Ulusal Kongre ve Sergisi*, 20-21 Kasım 2015, Ankara.
6. EN ISO 14273, 2001. Specimen dimensions and procedure for shear testing resistance spot, seam and embossed projection welds, European Committee for Standardization, Brussels, 8 pp.

7. Horozoğlu, E. 2013. Görüntü işleme ile yüzey pürüzlülüğü ölçümü ve analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elektronik ve Bilgisayar Sistemleri Eğitimi Anabilim Dalı, Konya.
8. ISO 5821, 2009. Resistance welding- Spot welding electrode caps, International Organization for Standardization, Switzerland, 9 pp.
9. O'Brien, A., Guzman, C. 2007. Welding handbook ninth edition, volume 3- welding process, part 2. American Welding Society, Miami, USA, 624 pp.
10. Sevim, I. 2015. Newly revealed features of fracture toughness behavior of spot welded dual phase steel sheets for automotive bodies. *Material Testing* 57(11-12): 960- 967. doi:10.3139/120.110798
11. Turgut, S., Bağış, B. 2012. Diş hekimliğinde renk ve renk ölçüm yöntemleri. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 5: 65- 75.