





PROJEKSİYON KAYNAĞI PROSES PARAMETRELERİNİN S355MC KLEVIS BRAKETİN BAĞLANTI PERFORMANSINA ETKİSİ

*Ali ARI** 
*Kübra KORKMAZ*** 
*Berk MÜHÜR DAR**** 
*Ali BAYRAM***** 

Alınma:19.07.2023; düzeltme:12.12.2023; kabul: 13.12.2023

Öz: Bu çalışma kapsamında, otomotiv sektöründe kullanılan amortisörün bağlantı ekipmanlarından biri olan klevis braketin üretiminde rol oynayan projeksiyon kaynak prosesinin iyileştirilmesi ve projeksiyon kaynak parametrelerinin klevis braketin mekanik performansını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Bu kapsamda, 9 farklı proses kullanılarak numuneler üretilmiş ve bu numunelerin kopma testleri yapılmış ve elde edilen sonuçlara göre ANOVA analizi uygulanmıştır. Analiz sonucunda, en etkili parametrenin %80 oranında kaynak basıncı olduğu ve kaynak sıkma süresinin etkisinin ihmal edilebilecek düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, projeksiyon kaynağıyla yapılan 5 farklı noktanın en kritik 2 noktasının kesitlerinin makro ve mikro yapısı incelenmiştir. Kaynak süresinin artmasıyla birlikte ısı girdinin arttığı ve bunun sonucunda mikro yapıdaki ısı tesirli alanların ve füzyon bölgesinin boyutlarının arttığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, kaynak basıncının artması mikro yapıyı olumsuz yönde etkilemiştir. Ayrıca, kaynak kesitlerinin ortalama sertlik değerlerinin, bu mikro yapıdaki değişimden etkilendiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Projeksiyon Kaynak, Optimizasyon, Çekme-Kayma Testi, Mikroyapı, Sertlik

Effect of Projection Welding Process Parameters on the Joining Performance of S355MC Klevis Brackets

Abstract: In this study, the improvement of the projection welding process was looked into. The projection welding process is used to make the clevis bracket, which is a piece of equipment used in the automotive industry to connect shock absorbers. The study also looked into how the parameters of the projection welding process affect the mechanical performance of the clevis bracket. In this context, samples were produced using nine different processes, rupture tests of these samples were made, and ANOVA analysis was applied according to the results obtained. As a result of the analysis, it was determined that the most influential parameter was 80% welding pressure, and the effect of welding tightening time was negligible. In addition, the macro- and micro-structures of the sections of the two most critical points of five different points made with projection welding were examined. It was observed that the thermal input increased with the welding time, and as a result, the dimensions of the heat-affected zone and fusion zone in the microstructure increased. However, the increase in welding pressure

*OSTİM Teknik Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 06374, Ankara, Türkiye (ali.ari@ostimteknik.edu.tr)

**Step Tasarım Muh.ve Dan. Hiz. Tic. A.Ş. 16230, Bursa, Türkiye, (kubra.korkmaz@step-tr.com)

***OSKİM Otomotiv Sanayi ve Ticaret A.Ş., Ar-Ge Merkezi, 16315, Bursa, Türkiye (berkmuhurdar@oskimautomotive.com)

****Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa, Türkiye (bayram@uludag.edu.tr)

negatively affected the microstructure. In addition, it was observed that the average hardness values of the weld sections were affected by the change in this microstructure.

Keywords: Projection Welding, Optimization, Break Test, Microstructure, Hardness

1. GİRİŞ

Özel üretim alanlarında, genellikle geniş birleşme yüzeylerine sahip iki parçanın birleştirilmesi gerekmektedir. Ancak geleneksel kaynak yöntemleri, bu gereksinimleri karşılamada bazı zorluklarla karşılaşabilir. Bu nedenle, projeksiyon kaynağı alternatif yöntem olarak tercih edilmektedir. Geleneksel kaynak yöntemleri, düşük üretim verimliliği, büyük ekipman yatırımı ve karmaşık proses kontrolü gibi dezavantajlara sahiptir (Bi ve diğ., 2023, Chen ve diğ., 2021). Özellikle geniş birleşme yüzeylerinin kaynaklanması gereken özel üretim alanlarında, bu yöntemlerin yetersiz kalması söz konusu olabilir. Projeksiyon kaynağı, direnç kaynağı teknolojisinin önemli bir türüdür ve özellikle otomotiv ve diğer imalat sanayilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Bi ve diğ., 2023, Nielsen ve diğ., 2015). Bu yöntemde, ana kaynak alanı iki parçanın temas yüzeyindedir. Bu sayede, kaynak işlemi daha konsantre bir şekilde uygulanabilir. Projeksiyon kaynağı, kısa kaynak süresi, düşük maliyet, iş parçasında küçük deformasyon, yüksek verimlilik ve yüksek güvenilirlik gibi avantajlara sahiptir. Bu nedenle, özellikle büyük ve geniş birleşme yüzeyleri olan parçaların kaynaklanması gerektiği durumlarda tercih edilen bir yöntemdir.

Bu kaynak yöntemiyle ilgili az miktarda literatür araştırması bulunmaktadır. Beni ve arkadaşları, farklı kaynak parametrelerinin ve çıkıntı boyutunun füzyon bölgesinin oluşumu ve kaynak kalitesi üzerindeki etkisini incelemişlerdir (Salimi Beni ve diğ., 2019). Paramonov ve arkadaşları, elektrot kullanım süresini artırmak için elektrot ve parçanın temas direncini azaltan çok aşamalı bir kaynak döngüsü yaklaşımını kullanmışlardır (Paramonov, 2021). Han ve arkadaşları, farklı kalınlık ve dayanıklılığa sahip ince levhaların dirençli izdüşüm kaynağı performansını incelemişler ve bir değerlendirme yöntemi geliştirmişlerdir (Han ve diğ., 2021).

Kaynak işlemi sırasında kaplama tabanlı bir yöntem kullanılmaktadır. Bununla birlikte, imalat ihtiyaçlarını karşılamak için farklı endüstriyel uygulama senaryolarına göre direnç projeksiyon kaynağının yapısı tasarlanmalıdır. Çekirdeklenme süreci her zaman aynı olmadığından, özel çekirdeklenme sürecinin incelenmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışma kapsamında; otomotiv sektöründe kullanılan amortisörün bağlantı ekipmanlarından biri olan klevis braket parçalarının projeksiyon kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Kaynak proses parametrelerin klevis braket'in mekanik performansına nasıl etkilediği incelenmiştir. Ayrıca kaynaklar kesitleri alınarak makro ve mikro yapıları analiz edilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Bu çalışmada Oskim Automotive San.Tic.A.Ş. tarafından üretilen amortisörün bağlantı ekipmanlarından Klevis Braket malzemesi, 3 mm kalınlığındaki S355MC'dir. Kullanılan S355MC çeliğinin kimyasal bileşimi Tablo 1'de, mekanik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. S355MC yapı çeliğinin kimyasal bileşimi

Elementler	C	Mn	P	Si	S	Al	Nb	Ti	V	Kalan
Ağırlık oranı %	0,12	1,50	0,025	0,50	0,020	0,02	0,09	0,15	0,20	Fe

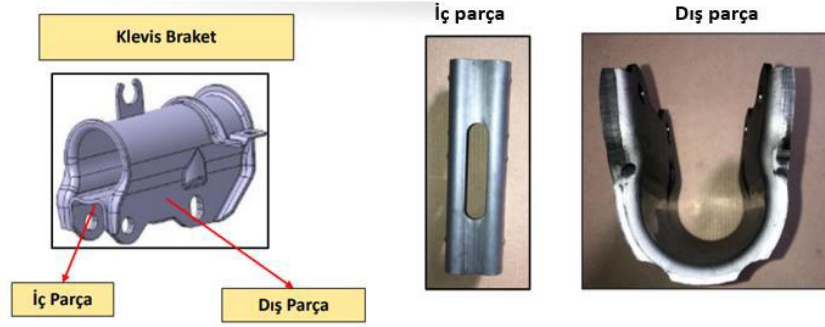
Tablo 2. S355MC yapı çeliğinin mekanik özellikleri

Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)
355	480	22

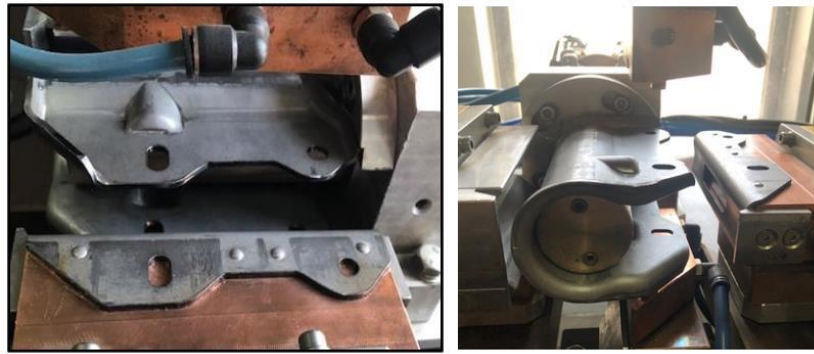
2.2. Metot

Bu çalışma kapsamında amortisör grubunda yer alan Klevis Braket (Şekil 1) numuneleri üretilmiştir. Bu numunelerin iç parçası ile dış parçası 4 farklı noktadan (Şekil 2) projeksiyon kaynağı ile birleştirilmiştir (Şekil 3). Parçanın üzerine gelen enerjiyi sönmleyen bölgenin mukavemet ve ömrü projeksiyon kaynak prosesinin kalitesi belirlemektedir.

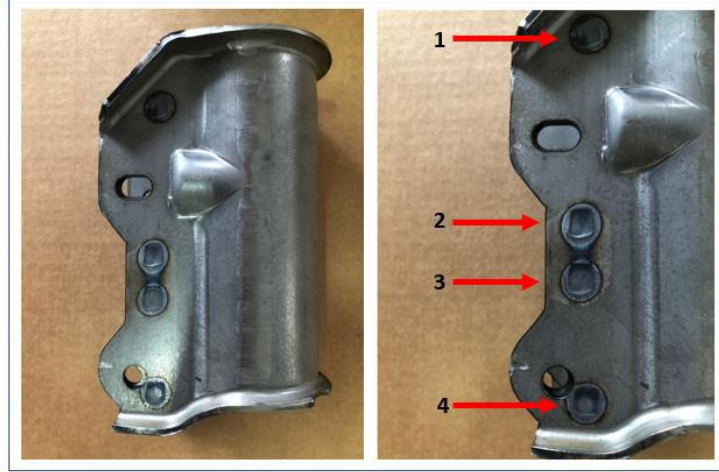
Klevis Braket'in istenilen performansı sergileyebilmesi, kaynak işleminin kalitesiyle doğrudan ilişkilidir. Projeksiyon kaynağın etkin parametrelerinden; basınç 37, 40 ve 43 daN, kaynak süresi 55, 60 ve 65 çevrim ve sıkma zamanı 35, 40 ve 45 çevrim seviyelerinde 9 farklı numune üretilmiştir. Ayrıca kaynak akım değeri 38 kA değerinde ve bekleme süresi 15 çevrim değerlerinde sabit tutulmuştur. Bu projeksiyon kaynağını performansı analiz etmek için bu 9 farklı parametre ile birleştirilmiş numunelerin; çekme-kayma testleri, sertlik değerleri ve mikro yapıları incelenmiştir.



Şekil 1
Amortisör grubunda yer alan Klevis Braket yapısı



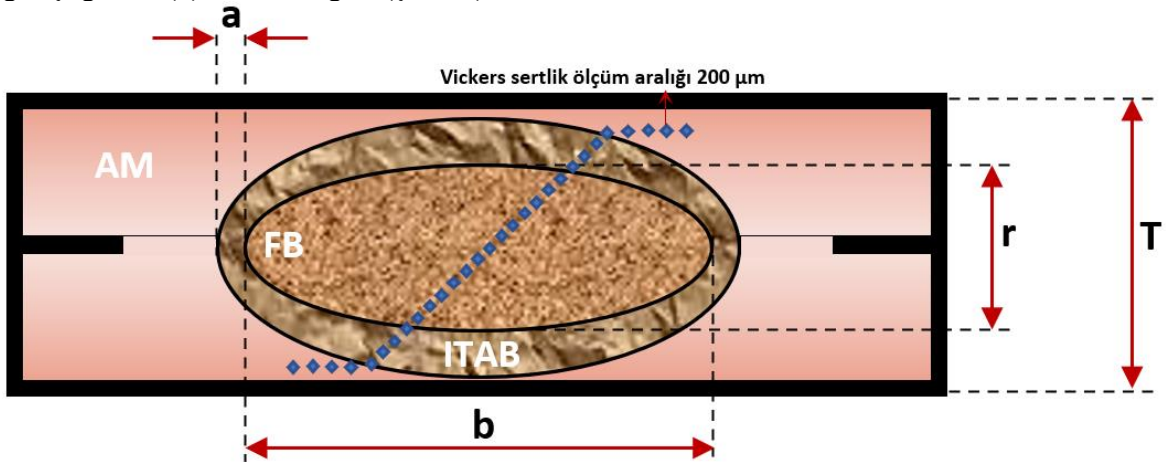
Şekil 2
Klevis braketin kaynak makinesindeki fikstürü



Şekil 3

İç parça ile dış parçanın 4 farklı noktadan projeksiyon kaynağı ile birleştirilmesi

Şekil 3’de numaralandırılmış 2 ve 3 nolu bölgelerdeki ana malzeme (AM) ve projeksiyon kaynaklarının mikro ve makro yapısını incelemek için metalografik testler yapılmıştır. ANSI/AWS/SAE/D8.9M-2012 (Salimi Beni ve diğ., 2019) standardına uygun olarak kaynak numuneleri Tel Elektro Erozyon Makinesi (Electrical Discharge Machining) kullanılarak enine yönünde kesilmiş ardından taşlanmış ve parlatılmıştır. Numuneler 80 ila 2400 grit metalografik kağıtla taşlandı ve ardından 0.05µm parçacık boyutlu alümina tozları içeren bir süspansiyon çözeltisiyle parlatıldı. Kaynakların mikro yapısını incelemek için %2 nital dağlama solüsyonu (98 mL C₂H₆O + 2 mL HNO₃) kullanıldı ve numuneler yaklaşık 10 saniye asitleme solüsyonuna daldırıldı. Daha sonra, optik mikroskop (OM, G40x, Olympus) altında projeksiyon kaynağın kaplama bölgesi (KB), füzyon bölgesi (FB) ve ısı tesiri altındaki bölgelerin (ITAB) makro ve mikro yapıları incelenmiştir. Ayrıca bir Nikon stereografik mikroskop ve görüntü analiz yazılımı (Euromex ImageFocus ALPHA software) kullanılarak kaynak kesiti analiz edilmiş ve geometrik boyutları ölçülmüştür. Bu analizle, nokta kaynaklarının aşağıdaki dört geometrik özelliği ölçülür: (1) FB çapı r, (2) FB uzunluğu b (3) kaynak penetrasyon derinliği r/T, (4) ITAB genişliği a ve (5) sac kalınlığı T (Şekil 4).



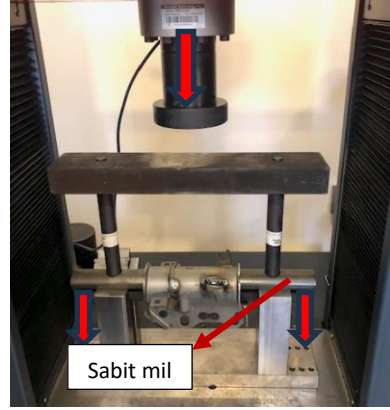
Şekil 4.

Projeksiyon kaynağın geometrik özelliğinin şematik gösterimi

Bu çalışmada Klevis Braket parçasının kaynak parametrelerini optimize ederek en iyi mekanik sonuçları elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda ilgili montaj parçasının kaynak

mukavemetini ölçmek için çekme-kayma testleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 5). Kaynaklı numuneler 21 °C test koşullarında OSKİM Otomotiv Sanayi ve Ticaret A.Ş.'de bulunan bilgisayar kontrollü MG marka universal çekme test cihazı kullanılarak (100 kN) 40 mm/dk çekme hızında çekme-kayma testlerine (tensile-shear test) tabi tutulmuştur. Her bir parametre grubu için en az 3 numune çekme testlerine tabi tutularak kaynaklı numunelerin ortalama kopma yükleri tespit edilmiştir. Çekme-kayma testleri belli bir standarta göre olmayıp firma prosedürlerine göre yapılmaktadır.

Çekme-kayma testi şu şekilde gerçekleştirilir: Projeksiyon kaynak ile birleştirilmiş iç ve dış Braket parçaları boydan boya geçirilmiş 2 shaft ile aparata yerleştirilir. Load cell (basma yükünü ölçülür) in altında yer alan çeliğe Basma yükü uygulanır. Bu çeliğe uygulanan yük yanlarda yer alan miller ile alttaki shafta iletilir. Yandaki sütunlar tarafından sabit tutulan üst shaft çeliği dış braketini sabit tutar. Miller tarafından aşağı yönde hareket eden alt shaft çeliği iç braketini aşağı yönde iter. Test 40 mm/dk hızda gerçekleştirilir ve iç Braket projeksiyon kaynak noktalarının tamamı kopana kadar devam ettirilir.



Şekil 5.

Klevis braketin çekme-kayma testi

Numunelerin sertliği, ANSI/AWS/SAE/D8.9M-2012 standardına göre (OSTİM Teknik Üniversitesi makine laboratuvarı) Vickers mikrosertlik test cihazı ile ölçülmüştür. Mikrosertlik ölçümleri, 21 °C sıcaklıkta, 100 g yük ve 15 saniye yükleme süresinde gerçekleştirilmiştir. Söz konusu standarda göre noktalar arasındaki mesafe girintili alanın çapının 3 katından az olmamalıdır; bu boşluk, standart tarafından önerilen (yaklaşık 200 µm) olarak kabul edildi (Singh Bharaj et al. 2023).

2.3. Deney Tasarımı (DOE) ve ANOVA Analizi

Bu çalışmada Tablo 3'de değişiklik yapılarak yanıt değişkeni üzerindeki etkilerinin yorumlanabilmesi için deneysel faktörlerin ve düzeylerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada Tablo 4'te belirtilen deneysel matris kullanılmıştır.

Araştırmacılar, en az deneysel denemeye önemli teknik verileri toplamak için deneyin tasarımı (DOE) gibi istatistiksel yöntemler kullanırlar. Uygulanabilirliği nedeniyle, Taguchi yöntemi mühendislik uygulamalarında uygulanan bir DOE metodolojisidir. DOE'nin incelediği herhangi bir değişken bir faktördür. Seviyeler, her bir faktöre uygulanması gereken standart seviyelerdir. DOE reaksiyonu, geliştirmek istediğimiz ölçülebilir bir sonuçtur. Deneysel denemeleri azaltmak için Taguchi'nin ortogonal L9 dizisi kullanıldı. Bu çalışmada üç değişken değişti: Basınç, kaynak süresi, sıkma zamanı. Bu çalışmada Tablo 3'de değişiklik yapılarak yanıt değişkeni üzerindeki etkilerinin yorumlanabilmesi için deneysel faktörlerin ve düzeylerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada Tablo 4'te belirtilen deneysel matris kullanılmıştır (Soomro ve diğ., 2021).

Tablo 3. Deney faktörleri ve seviyeleri

Faktörler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
A- Basınç (daN)	37	40	43
B- Kaynak süresi (çevrim)	55	60	65
C- Sıkma süresi (çevrim)	35	40	45

*1 çevrim = 0.02 sn

Tablo 4. Deney matrisi

Deney No	A- Basınç (daN)	B- Kaynak süresi (çevrim)	C- Sıkma zamanı (çevrim)
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Optimizasyon için amaç fonksiyonları olarak, istenen çıktının log fonksiyonları olan S/N oranları, veri analizini ve ideal sonuçların tahminini destekler. Statik sorunların optimizasyonu için, üç tip S/N oranı ortak ilgi alanıdır. 1 daha küçük daha iyi, 2 daha büyük daha iyi ve 3. nominal en iyisi. Mukavemet, birkaç şeyden değişen derecelerde etkilenir. Varyans analizi, çeşitli öğelerin göreceli önemini varyans ayrıştırmasına göre daha iyi anlaşılmasını sağlar (Ari ve diğ., 2022).

Sinyal değeri (S), sistem tarafından verilen ve ölçülmesi amaçlanan gerçek değeri temsil eder. Gürültü faktörü (N), istenmeyen faktörlerin ölçülen değerdeki payını temsil eder. Bu yaklaşıma göre, S/N oranını hesaplamak için aşağıdaki Denklem 1 kullanılır. S/N oranının boyutu sonuç üzerindeki etkisini belirler. S/N değeri arttıkça sonuç üzerindeki etkisinin arttığını göstermektedir. S/N oranı desibel (dB) cinsinden ifade edilir ve değişkenliğe duyarlılık olarak yorumlanır. S/N oranının yanıt parametresinin optimizasyonu için performans kriterleri kategorilerindedir (Ari et al. 2023).

$$S/N = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (1)$$

y ölçüm değeri ve n deney sayısıdır.

Varyans analizi, araştırılan faktörlerin kaliteyi ölçmek için kullanılan çıktı değerini ne kadar etkilediğini ve farklı seviyelerin hangi etkilere sahip olduğunu ortaya çıkarır. Ayrıca, elde edilen sonuçların istatistiksel güvenilirliği incelenir. Bu amaçla öncelikle, Denklem 2'ye göre sinyal/gürültü (S/N) oranının genel değişkenliğini temsil eden SST değeri (toplam kareler toplamı) hesaplanır (Soomro, 2021).

$$SS_T = \sum_{i=1}^n (\eta_i - \eta_m)^2 \quad (2)$$

η_i , ölçülen değer üzerinden hesaplanan sinyal-gürültü oranı, η_m , ölçülen değer üzerinden hesaplanan sinyal-gürültü oranlarının ortalaması ve n, toplam deney sayısıdır.

SST değeri, SS_A (A faktörünün karelerinin toplamı), SS_B (B faktörünün karelerinin toplamı) ve SS_C (C faktörünün karelerinin toplamı) olmak üzere iki faktörün karelerinin

toplamıdır ve SS_E değeri, hata payının karelerinin toplamıdır. Her faktörün karelerinin toplamı Denklem 3 kullanılarak ayrı ayrı hesaplanmıştır (Sun, 2012).

$$SS_j = \sum_{i=1}^{k_j} [n_{ji}x(\eta_{ji} - \eta_m)^2], \quad j = A, B \text{ veya } C \quad (3)$$

burada k_j , A, B ve C faktörünün seviye sayısını temsil eder, η_{ji} , A, B ve C faktörünün i seviyesindeki deney sayısıdır, η_{ji} , A, B ve C faktörünün i seviyesindeki S/N oranını ve η_m ortalama S/N oranı ifade eder. Bir sonraki adımda, her bir deneysel faktörün test sonuçlarını ne kadar etkilediğini ortaya koymak için Denklem 4 ile hesaplanarak F-Testi gerçekleştirilir.

$$F = \frac{SS_j/k - 1}{SS_E/N - k} \quad (4)$$

$k-1$, grup sayısından bir çıkarılarak elde edilen serbestlik derecesi payı, $N-k$, tüm gruptaki gözlem sayısından grup sayısının çıkarılmasıyla belirlenen payda için serbestlik derecesidir (Kurt, 2009).

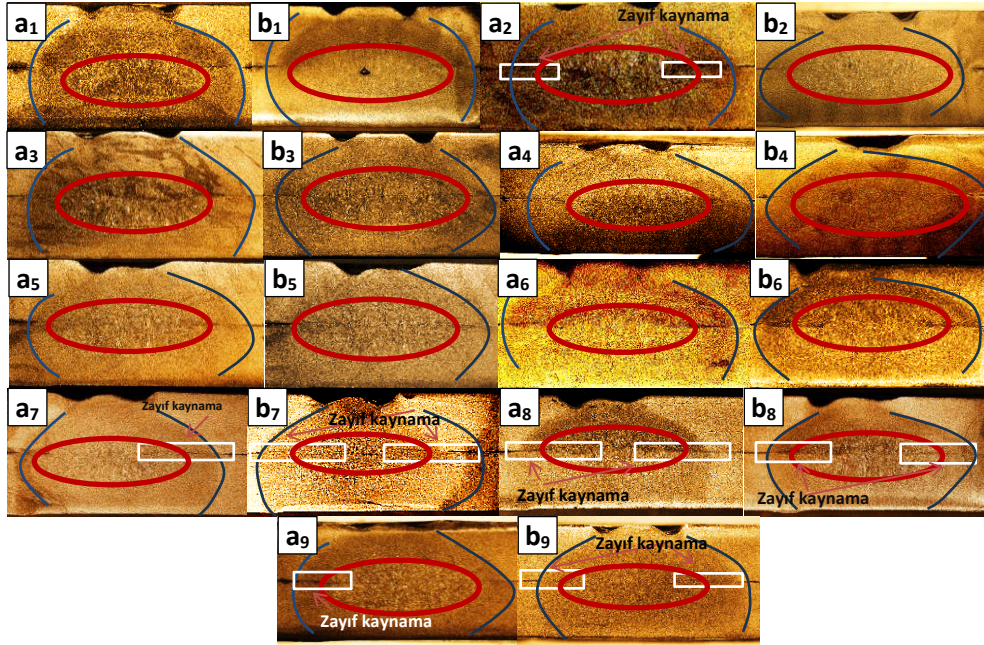
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bir projeksiyon kaynağının mekanik performansı, FB boyutunun yanı sıra FB ve ITAB'ın mikro yapılarından büyük ölçüde etkilenir; bu nedenle kaynaklarının hem makro hem de mikro ölçekte incelenmesi gereklidir (Huin, 2016, Shirmohammadi, 2017). Şekil 9 ve Tablo 4 kaynakları enine kesitinden tipik bir makro ve mikro yapısını sunar.

3.1. Kaynak Bağlantılarının Makro Yapısı

Farklı projeksiyon kaynaklarının makro yapısı bu bölümde incelendi. Şekil 6'daki 9 numunenin makro yapıları incelendiğinde, üç genel kaynak kesit alanı görülmektedir: (1) AM, (2) ITAB ve (3) FB (Şekil 4) (EftekhariMilani ve diğ., 2017). Kaynak sırasında farklı kaynak bölgelerinin maruz kaldığı termal döngü ve maksimum sıcaklık, nihai faz oluşumunu ve kaynak mikro yapısını belirlemiştir (Shirmohammadi ve diğ., 2017, Arı ve diğ., 2023)). Soğutma hızının ayrıca projeksiyon kaynağın mikroyapısal özellikler ve faz oluşumu üzerinde önemli bir katkısı vardır. Projeksiyon kaynağın soğutma hızı, diğer geleneksel kaynak tekniklerinden daha fazladır; bu, mikro yapıyı yorumlarken kritik dikkat gerektiren bir bakış açısıdır (Das ve diğ., 2023).

Şekil 6'da 2 ve 3 nolu kaynak bölümünün makro yapıları gösterilmiştir. Tüm numunelerin 2 ve 3 nolu kaynakları benzer bir yapı göstermiştir. Buradan anlaşıldığı üzere projeksiyon kaynak bu iki bölgeye aynı etkiyi göstermiştir. Bununla birlikte özellikle Şekil 6'da belirtildiği gibi basınç arttıkça (7, 8 ve 9 nolu numuneler) kaynak bağlantılarında eksik kaynak hataları gözükmemektedir. Bunu şu şekilde izah edebiliriz: Basınç arttıkça (37 daN'dan 43 daN'a), malzemenin erime bölgesinden çevresine akışını engeller. Bu durumda, erimiş malzeme nüfuz etmek yerine yüzeyde yayılmıştır ve daha geniş bir alanda dağılmıştır (Yaşar ve diğ., 2019). Bu, kaynak penetrasyonunun azalmasına ve daha sıkı bir kaynak bağlantısına sebep olmuştur. Bir diğer sebep de kaynak sırasında, eriyen malzeme sıvı hâle gelir ve elektrotlar arasında bir bağlantı noktası oluşturur. Yüksek basınç, sıvı metalin düzgün bir şekilde akmasını engeller ve daha dar bir bağlantı oluşmasına neden olmuştur (Li ve diğ., 2022).



Şekil 6.

9 Klevis braket numunelerin 2 ve 3 nolu kaynak kesitlerin makro görüntüleri:
a) 2 nolu kaynak ve b) 3 nolu kaynağın kesit görüntüsü

3.2. Kaynak Bağlantılarının Mikro Yapısı

38 kA sabit kaynak akımında Tablo 3’de belirtilen parametrelerin değiştirilmesiyle 9 numunenin mikroyapısı Tablo 5’de ve FB, ITAB’ın geometrik ölçüleri Tablo 6’de verilmiştir.

Şekil 7’de belirtildiği gibi kaynak bölgesi ITAB ve FB olarak adlandırılan iki ayrı bölgeye ayrılabilir. Kaynak merkez hattına doğru büyüyen yönlü sütun taneciklerinin varlığı, bakır elektrotlar boyunca hızlı ısı batması nedeniyle FB’de gözlemlenmiştir. FB’deki martenzit yapının varlığı, kaynak sırasındaki hızlı soğumadan kaynaklanmaktadır. Ayrıca, kaynak döngüsü termal gradyanı nedeniyle ITAB’da üniform olmayan bir mikro yapı elde edildi.

Şekil 7 incelendiğinde projeksiyon kaynağın mikroyapısını şu şekilde yorumlayabiliriz: ITAB kaynak elektrodundan geçen yüksek akım ve gerilim nedeniyle yoğun bir şekilde ısınan bölgedir. Bu bölgede, malzeme hızla ısınmış ve ergime sıcaklığına yaklaşmıştır. Daha sonra hızla soğumuştur. ITAB’de yeniden kristalleşme nedeniyle ince taneli bir mikroyapı oluşmuştur. Füzyon bölgesindeki mikroyapı, soğuma hızına bağlı olarak değişir. Hızlı soğuma durumundan dolayı ince taneli bir yapı oluşmuştur. FB’de, kaynak işleminin en yoğun ısıya maruz kalan kısmıdır. Burası genellikle malzemenin ergitildiği ve kaynağın gerçekleştiği bölgedir.

Projeksiyon kaynaktaki yüksek soğuma hızı nedeniyle östenit oda sıcaklığına soğuyarak martenzite dönüşür. Bu nedenle, kaynakların nihai mikro yapıları martenzit ve ötektik ferritten oluşur. Martenzit başlangıç sıcaklığı (M_s), malzemenin kimyasal bileşiminin bir fonksiyonudur (Salimi Beni ve diğ., 2019). S355 MC yapı çeliğinin M_s sıcaklığı iyi bilinen bir Denklem 5 ile hesaplanır (Shirmohammadi ve diğ., 2017):

$$M_s(^{\circ}C)=540-(497C+6,3Mn+36,3Ni+10,8Cr+46,6Mo) \quad (5)$$

Burada elementin adı, ilgili elementin ağırlık yüzdesini gösterir. Denklem 5 ve bu çalışmada kullanılan taban saclarının kimyasal bileşimi (Tablo 1) dikkate alındığında, M_s 473 °C olarak hesaplanmıştır. Martenzit son sıcaklığı (M_f) M_s 'nin yaklaşık 100 °C altındadır

(Shirmohammadi ve diğ. 2017). Sonuç olarak, oda sıcaklığında kaynak metalinde östenit yoktur ve tüm östenit martenzite dönüşmüştür.

Şekil 7 incelendiğinde, kaynak süresi kaynak bölgesine yüksek ısı girdisine neden olduğundan dolayı doğrudan kaynak geometrisine etki etmiştir. Açıklandığı üzere kaynak süresi arttığında basınç parametresi sabit tutulması koşuluyla FB'nin geometrisi açık bir şekilde artmıştır. Farklı kaynak süreleri (55, 60 ve 65 çevrim) ile 38 kA kaynak akımında ITAB'ın mikroyapı incelendiğinde; Kaynak süresinin artmasıyla ITAB'nin genişlediği görülmüştür (Tablo 5); ısı girişi miktarı ve sıcaklık artar ve dolayısıyla ITAB kalınlığı artar. Bununla beraber 55 çevrimden 65 çevrim süresine çıkarılmasıyla kaynak akımının daha uzun süre uygulandığı, bunun sonucunda ısı oluşumunda ve dolayısıyla kaynak FB'sinde artış olduğu tespit edilmiştir.

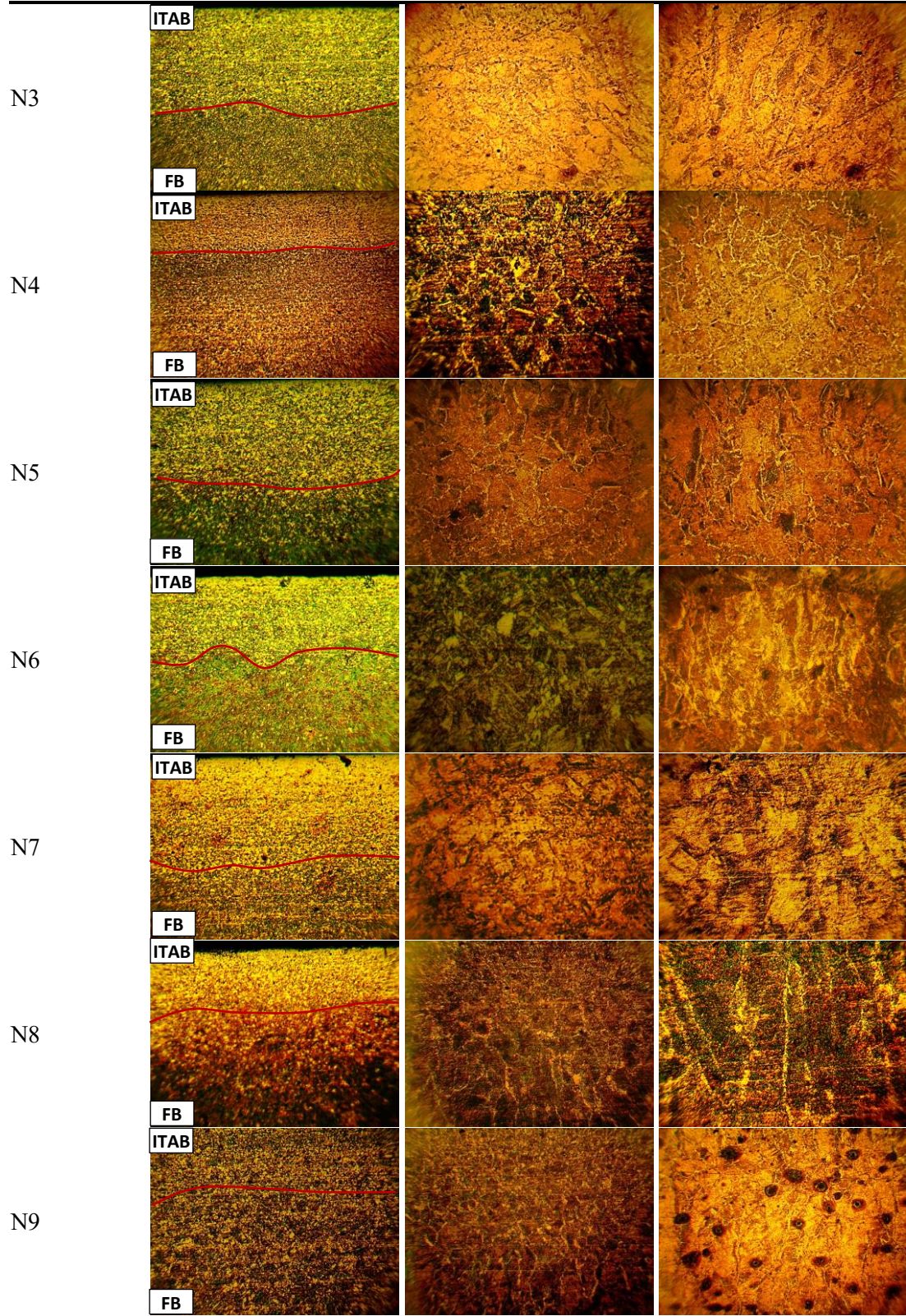
Burada kaynak akımı ve kaynak süresinin etkileri Joule yasasına göre ele alınmıştır. Projeksiyon kaynaktaki ısı Denklem 6'ya göre belirlenir (Salimi Beni ve diğ., 2019, Soomro ve diğ., 2021):

$$Q=KRI^2t \quad (6)$$

Burada Q joule cinsinden kaynak ısı girişi, I amper cinsinden kaynak akımı, R ohm cinsinden toplam devre direnci, t saniye cinsinden kaynak süresi ve K sabit katsayıdır. Bu çalışmada bahsedildiği gibi kaynak akımı 38 kA değerinde sabit kabul edilmiş ve kaynak basıncı ve süresi değiştirilmiştir.

FB boyutu, projeksiyon kaynaklı birleştirmenin mekanik performansını etkileyen en önemli niteliksel özelliklerden biridir (Pouranvari ve diğ., 2010, Yuan ve diğ., 2017). Numuneler FB boyutunu Tablo 6'da gösterilmektedir. FB alanı genişledikçe kaynakların pik yükünü ve kırılma enerjisini iyileştirir (Goodarzi ve diğ., 2009). FB boyutu, kaynak sırasında üretilen ısı miktarına bağlıdır. Joule yasasına göre FB'de üretilen ısı kaynak süresi ile artar. Yüksek ısı girişi koşullarında kaynak süresi boyunca ıyıyı FB'de depolamak, sıcaklığı ortam sıcaklığına soğutmak için daha yüksek bir soğutma kapasitesi gerekir (Das ve diğ., 2023). Bu soğutma kapasitesi, su soğutmalı elektrotların sabit soğutma kapasitesi ile sağlanamaz; bu nedenle, ısı FB ve ITAB'da daha uzun süre kalır (Chakraborty ve diğ., 2014), Tablo 5 ve 6'da görüldüğü gibi bu da ITAB'ın genişliğinin uzamasına ve bu bölgede tavlama ile ilgili fenomenin etkinleştirilmesine neden olmuştur (Sharifitabar ve diğ., 2011). Diğer taraftan ıyıyı, yüksek ısı girişi koşullarında (daha uzun kaynak süresi) ITAB'da depolamak, ıyıyı kaynak havuzu sınırından uzak noktalara aktarmak için iletim mekanizmasını indükler. Bu, ITAB'ın genişliğinde bir artışa neden olmuştur (Salimi Beni ve diğ., 2019).

Numune No	ITAB/FB	FB	FB _{merkez}
N1	ITAB		
	FB		
N2	ITAB		
	FB		



Şekil 7.
9 numunenin ITAB ve FB'nin mikroyapıları

Tablo 5 incelendiğinde sıkma zamanının kaynak kesit geometrisi üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür. 2 ve 3 nolu kaynakların kaynak kesit geometri ölçümleri yaklaşık olarak benzerlik göstermiştir ki buda projeksiyon kaynağın başarılı olduğunu bize gösterir. Bu durumda kaynak basıncı 37 daN'dan 43daN'a çıkmasıyla kaynak FB'nin genişliği b (μm) ve penetrasyon derinliği (r/T μm) düşmüştür (Salimi Beni ve diğ., 2019). Aynı kaynak süreli numuneler referans alındığında penetrasyon derinliği; kaynak süresi 55 çevrim iken (N1-N4-N7) 0,45 μm 'den 0,36 μm 'ye, kaynak süresi 60 çevrim iken (N2-N5-N8) 0,16 μm 'den 0,41 μm 'ye, kaynak süresi 45 çevrim iken (N3-N6-N9) 0,50 μm 'den 0,44 μm 'ye düşmüştür. FB boyutu, projeksiyon kaynaklı birleştirmenin mekanik performansını etkileyen en önemli niteliksel özellik olduğu dikkate alındığında bu numuneler arasında en iyi kaynak performansını N3 numunesi göstermiştir.

Bununla beraber kaynak süresinde kaynak geometrisi üzerinde etkili görülmüştür (Aslanlar ve diğ., 2008). Kaynak süresi 55 çevrimden 65 çevrime arttıkça FB'nin boyutu artmıştır. Fakat bunun yanında kaynak süresinin uzaması daha yüksek ısı girdisine sebep olduğundan kaynaklı olarak ITAB'nin genişliği artmıştır ki Tablo 5'de a (μm) ile gösterilmiştir (Bayraktar, 2007). Daha geniş bir ısı tesiri altındaki bölgenin mikroyapısı daha kaba tanelidir buda kaynak bölgesinin mekanik dayanımını olumsuz yönde etkiler ve genel mukavemetini azaltır. Ayrıca kaynak bölgesinde gerilim yoğunluklarına ve deformasyona neden olur. Bu durum, çatlakların oluşma olasılığını artırabilir. Özellikle kritik uygulamalarda, daha geniş bir ısı tesiri altındaki bölge çatlakların oluşmasına ve yayılmasına yol açabilir, dolayısıyla kaynak performansını olumsuz etkiler.

Tablo 5. 9 numunenin 2 ve 3 nolu kaynakların geometrik ölçümleri

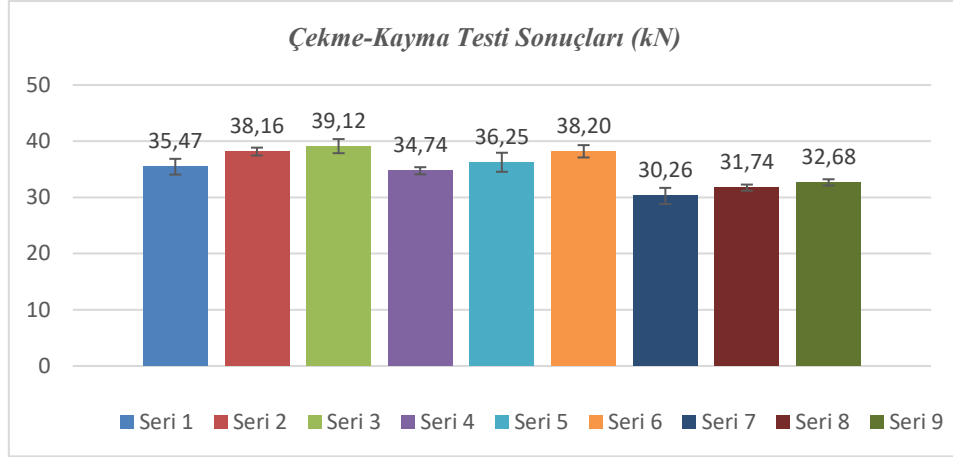
Numune No	r/T (μm)		b (μm)		a (μm)	
	2 numaralı kaynak	3 numaralı kaynak	2 numaralı kaynak	3 numaralı kaynak	2 numaralı kaynak	3 numaralı kaynak
N1	0,45	0,46	6872,50	6985,39	1461,35	1496,49
N2	0,46	0,45	7525,07	7898,56	1537,30	1594,52
N3	0,50	0,52	7713,03	7790,25	1729,88	1796,02
N4	0,43	0,42	6476,74	6529,41	1603,67	1589,54
N5	0,46	0,45	6621,52	6731,17	2067,66	2113,37
N6	0,49	0,47	6919,11	6940,55	2002,38	1984,92
N7	0,36	0,38	5604,63	5610,02	2196,20	2236,71
N8	0,41	0,40	5769,26	5711,13	2149,25	2105,13
N9	0,44	0,44	5857,98	5801,46	2344,43	2396,11

3.3. Klevis Braket'in çekme-kayma testi

Bölüm 3.2'de mikroyapı ve projeksiyon kaynakların kesit geometrileri incelenmiştir. Bu bölümde ilgili parçanın çekme-kayma testi sonuçları yorumlanacak ve önceki bölümle ilişkisi analiz edilecektir.

Şekil 8'da 9 farklı numunenin çekme-kayma testi sonuçları verilmiştir. Her numune için testler 3 defa tekrarlanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde çekme-kayma testi sonuçlarının, Şekil 6 makro görüntüler, Tablo 4 mikro görüntüler ve Şekil 7 kaynak kesit geometriler ile uyum içinde olduğu görülmüştür. En yüksek performansı 39,12 kN ile 3 nolu numune göstermiştir. Önceki bölümlerde bahsedildiği gibi kaynak performansını belirleyen en kritik özellik FB bölgesi ve ITAB bölgesinin genişliği. Bu iki geometrik özellik dikkate alındığında N3 en geniş FB alanına sahip olmakla birlikte bu numune ITAB genişliği olarak diğer numunelere göre daha düşük bir alana sahiptir. Her ne kadar N1 ve N2 daha düşük ITAB alanına sahip olsa da N3 numunesinin FB alanın genişliği ve penetrasyon derinliği daha fazla olmasından dolayı daha üstün performans göstermiştir. Bununla birlikte kopma mukavemeti kaynak süresi arttıkça artmış,

kaynak basıncı arttıkça da azalmıştır ki bunun nedeni Tablo 5 yorumlanırken detaylı olarak açıklanmıştır.

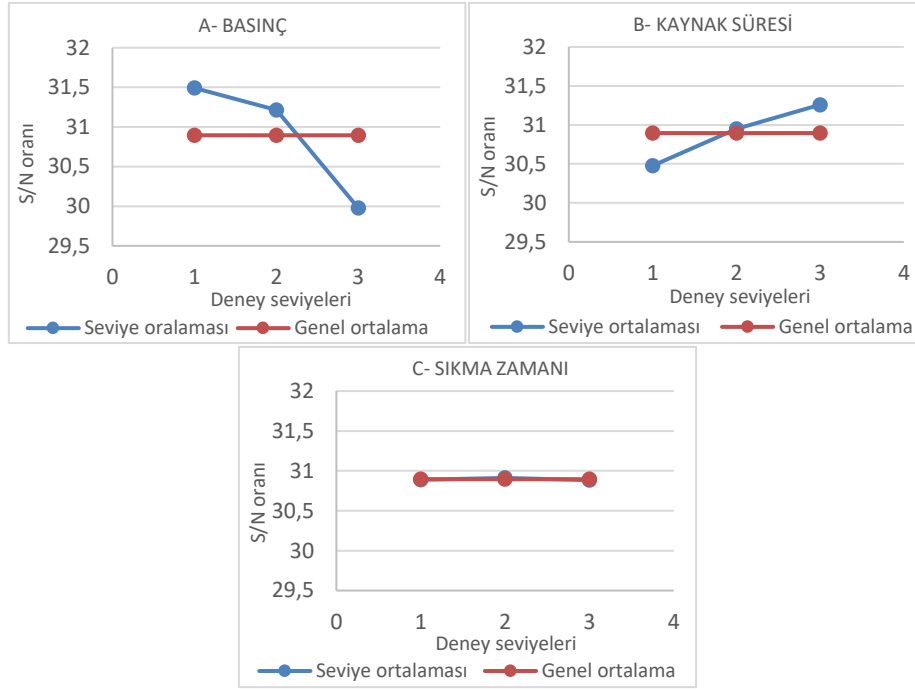


Şekil 8.

Klevis Braket numunelerin çekme-kayma testi sonuçlarının ortalaması

3.4. Çekme-kayma testi sonuçların analizi (ANOVA)

Şekil 9, ANOVA analizi sonucunda üç kaynak parametresinin S/N oranlarına dayalı etki seviyelerini göstermektedir. Deney seviyeleri ile S/N oranındaki değişim, ilgili parametrenin çekme-kayma testi sonucuna nasıl etkilediğini göstermektedir. Bu etki doğrudan kaynakların mikroyapısıyla ilişkilidir. Mukavemet değerlerindeki bu değişimin etkileri doğrudan kaynakların mikroyapısıyla ilişkilidir. Şekil 8’de kaynak süresinin artmasıyla birlikte kopma mukavemetinin arttığı görülmüştür. Önceki bölümlerde tartışıldığı gibi kaynak süresinin artması FB bölgesine daha yüksek ısı girdisine sebep olmuş ve bu FB bölgesinin genişlemesi ile neticelenmiştir. Bunun doğrultusunda kaynak süresinin artması numunelerin kopma mukavemetinin artmasına yardımcı olmuştur. Kaynak basıncının artmasıyla birlikte Klevis Braketin kopma mukavemeti hızla düşmüştür. Bu ise önceki bölümlerde tartışıldığı üzere kaynak basıncının artması kaynak penetrasyonunun azalmasına ve daha sık bir kaynak bağlantısına sebep olmuştur. Bunun neticesi olarak daha düşük kopma dayanımıdır. Bununla birlikte sıkma zamanının ise kopma mukavemeti üzerinde önemli bir değişikliğe sebep olmamıştır.



Şekil 9.

Projeksiyon kaynak parametrelerinin kopma mukavemetine etkisi (S/N oranları)

Tablo 6'da projeksiyon kaynak parametrelerinin kaynak kesit geometrisini nasıl etkilediği sayısal olarak detaylı olarak verilmiştir. Tablo 6 şunları belirtmektedir: Kopma mukavemet etkin faktör %80,23 ile kaynak basıncı olduğu görülmüştür. Onu takiben %19,13 ile kaynak süresidir. Sıkma zamanının kopma mukavemeti üzerinde etkisi olmamıştır.

Tablo 6. Çekme-kayma testi için ANOVA sonuçları

S/N oranı	30,90	Serbestlik derecesi	Ortalama S/N değeri			Kareler toplamı	Varyans	F	Katkı oranı (%)
			Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3				
A- Basınç	2	2	31,49	31,22	29,98	3,90	1,95	130,84	80,23
B- Kaynak Süresi	2	2	30,48	30,95	31,26	0,93	0,47	31,19	19,13
C- Sıkma Zamanı	2	2	30,89	30,91	30,88	0,00	0,00	0,04	0,03
Hata	2	2				0,03	0,01		0,61
Toplam	8	8				4,86	2,43		

3.5. Mikrosertlik testi

Şekil 10'da 38 kA sabit kaynak akımında üretilen 9 numunenin 2 ve 3 nolu kaynakların ITAB ve FB bölgelerinin ortalama mikrosertlik değerleri gösterilmektedir.

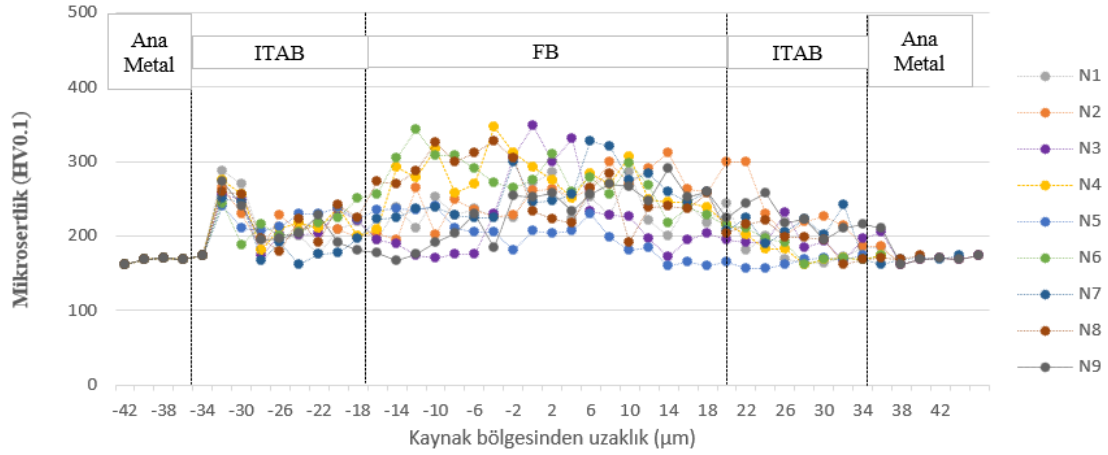
Önceki tartışmaya uygun olarak, tüm kaynaklarda en yüksek ve en düşük sertlik değerlerinin sırasıyla FB ve AM ile ilişkili olduğu görülmektedir. Ana metalin sertlik aralığı, füzyon bölgesinden çok daha az ve yaklaşık 170-190 HV değerlerinde olduğu görülmüştür. Sertlik dağılımı, ana malzemeden FB'ye doğru artmış ve FB'nin merkezinde ise sertlik nispeten tekdüze idi. Tepe sertliği FB'nin merkezinde ortaya çıktı. Bunun nedeni, projeksiyon kaynağı ile oluşturulan FB'nin mikro yapısının martenzit dönüşümüne uğramasıdır (Ramazani ve diğ., 2015).

Martenzit fraksiyonundaki genleşme nedeniyle, kritikler arası ITAB'da sertlik artar. İnce taneli ısıdan etkilenen bölgede martenzitin varlığı, kaba taneli ısıdan etkilenen bölgeye göre daha fazla sertliğe neden olur. Füzyon bölgesi maksimum sertliğe sahiptir. FB'nin ITAB'a kıyasla yüksek sertlik değeri, esas olarak martenzit mikro yapıya rağmen, FB'den ITAB'a daha

fazla soğuma hızı mevcut olduğu için daha yüksek düzensizlik yoğunluğuna atanır (Bi ve diğ., 2023).

Kaynak süresi arttıkça kaynaklı bağlantıların ortalama sertlikte azalma olmuştur. Daha yüksek kaynak sürelerinde, sıcaklık gradyanı büyür ve ısı üretimi daha fazla olur, bu da kaynak çekirdeğinin daha geniş bir eriyik alanına yol açtı. Bu olgu, kaynak süresinin artmasıyla birlikte mikrosertlikte bir azalmaya yol açmıştır (Alizadeh-Sh ve diğ., 2014).

Kaynak basıncının artması ortalama sertlik değerinin azalmasına neden olmuştur. Kaynak kesitlerin geometrisinin tartışıldığı bölümde bahsedildiği üzere kaynak basıncı artması, kaynak penetrasyonunun azalmasına ve daha sığ bir kaynak bağlantısına sebep olmuştur. Bundan kaynaklı olarak ortalama sertlik azalmıştır.



Şekil 10.
Kaynakların mikro sertlik dağılımları

4. SONUÇ

Bu çalışmada projeksiyon kaynağın proses parametrelerinin S355MC klevis braketin bağlantı performansına etkisi incelenmiştir.

3 farklı parametrenin (kaynak basıncı, kaynak süresi ve kaynak sıkma süresi) kopma mukavemeti üzerinde en etki faktör %80 ile kaynak basıncı ve kaynak basıncını artması kopma mukavemetine olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. En yüksek kopma mukavemeti değeri 39,12 kN'dir. Kaynak sıkma süresinin etkisi ihmal edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Kaynak basıncını artmasıyla (45 daN) zayıf kaynak bölgeleri görülmüştür.

Kaynak süresi arttıkça, penetrasyon derinliği ve füzyon bölgesinin genişliği artmıştır. Penetrasyon derinliği ve füzyon bölgesinin en fazla N3 numunesinde olduğu görülmüştür (kaynak basıncı 37 daN, kaynak süresi 65 çevrim ve sıkma süresi 45 çevrim). Kaynak basıncının artması kaynak bölgesinin genişlemesine neden olmuştur.

Kaynak kesitinin sertlik dağılımları incelendiğinde sonuçların mikro yapıyla yakından ilişkili olduğu görülmüştür. Kaynak süresinin artması malzemeye daha yüksek ısıl girişine sebebiyet verdiğinden dolayı daha kaba taneli bir mikro yapı görülmüştür. Ve bu doğrultuda ilgili kaynağın ortalama sertlik değerleri azalmıştır. Ayrıca mikrosertlik sonuçlarıyla kanıtlandığı gibi, martenzit fazının miktarı füzyon sınırından kaynak merkez hattına doğru artmıştır.

Tüm sonuçlar değerlendirildiği en performanslı kaynak parametrelerinin; kaynak basıncı 37 daN, kaynak süresi 65 çevrim ve sıkma süresi 45 çevrim olduğu görülmüştür.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

YAZAR KATKISI

Çalışmanın yazarlarından Ali ARI çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi ve yönetimi, veri analizi ve yorumlama ayrıca eleştirel inceleme ve makale yazımı aşamalarında, Kübra KORMAZ tasarım süreçlerinin belirlenmesi ve yönetimi, veri toplama, veri analiz ve yorumlama, eleştirel inceleme, makale tasarımı ve makale kontrol kısımlarında, Berk MÜHÜR DAR veri toplama, veri analiz ve yorumlama, eleştirel inceleme, makale tasarımı ve makale kontrol kısımlarında, Ali BAYRAM literatür taraması, veri toplama, işleme ve analizinde, eleştirel inceleme, makale tasarımı ve makale kontrol kısımlarında katkı sağlamıştır. Çalışmanın son onay ve tam sorumluluğunu tüm yazarlar üstlenmektedir.

KAYNAKLAR

1. Alizadeh-Sh, M., Marashi, S.P.H. ve Pouranvari, M. (2014) Microstructure-properties relationships in martensitic stainless steel resistance spot welds, *Science and Technology of Welding and Joining*, 19(7), 595–602. doi.org/10.1179/1362171814Y.0000000230
2. Ari, A., Karagöz, T., Arslan, O., Bayram, A. (2023) AISI 1050 çeliği üzerine Inconel 718 lazer dolgu kaynağının morfolojisi, mikroyapısı ve mekanik karakterizasyonu. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 28(2), 613–630. doi.org/10.17482/UUMFD.1228584
3. Ari, A., Bayram, A., Karahan, M. ve Karagöz, S. (2023) Evaluation of the mechanical properties of chopped carbon fibre reinforced polypropylene, polyethylene, polyamide 6, and polyamide 12 composites, *Industria Textila*, 74(2), 175–183. doi.org/10.35530/IT.074.02.202214
4. Ari, A., Bayram, A., Karahan, M. ve Karagöz, S. (2022) Comparison of the mechanical properties of chopped glass, carbon, and aramid fiber reinforced polypropylene, *Polymers and Polymer Composites*, 30, 096739112210985. doi.org/10.1177/09673911221098570
5. Aslanlar, S., Ogur, A., Ozsarac, U. ve Ilhan, E. (2008) Welding time effect on mechanical properties of automotive sheets in electrical resistance spot welding, *Materials and Design*, 29(7), 1427–1431. doi.org/10.1016/j.matdes.2007.09.004
6. Bayraktar, E., Kaplan, D., Devillers, L. ve Chevalier, J.P. (2007) Grain growth mechanism during the welding of interstitial free (IF) steels, *Journal of Materials Processing Technology*, 189(1–3), 114–125. https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.01.012
7. Bi, Y., Dong, J., Yang, Y., Luo, Z., Su, J. ve Zhang, Y. (2023) Microstructure and joint performance during resistance projection welding of sensor support, *Materials Letters*, 335, 133797. doi.org/10.1016/J.MATLET.2022.133797
8. Chakraborty, G., Pal, T.K. ve Shome, M. (2014) Microstructure development in resistance spot welded galvanized IF steel sheet, *Materials Science and Technology*, 27(1), 382–386. doi.org/10.1179/026708310X12701095964603
9. Chen, L., Guo, Z., Zhang, C., Li, Y., Jia, Y. ve Liu, G. (2021) Experiments and numerical simulations on joint formation and material flow during resistance upset welding of WC-10Co and B318 steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 296, 117164. doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2021.117164

10. Das, T., Panda, S.K., Arora, K.S. ve Paul, J. (2023) Investigation of the microstructure and mechanical behaviour of resistance spot-welded CR210 steel joints using graphene as an interlayer, *Materials Chemistry and Physics*, 302(March), 127693. doi.org/10.1016/j.matchemphys.2023.127693
11. Eftekharmilani, P., van der Aa, E.M., Hermans, M.J.M. ve Richardson, I.M. (2017) Microstructural characterisation of double pulse resistance spot welded advanced high strength steel, *Science and Technology of Welding and Joining*, 22(7), 545–554. doi.org/10.1080/13621718.2016.1274848
12. Goodarzi, M., Marashi, S.P.H. ve Pouranvari, M. (2009) Dependence of overload performance on weld attributes for resistance spot welded galvanized low carbon steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 209(9), 4379–4384. doi.org/10.1016/J.JMATPROTEC.2008.11.017
13. Han, G., Ha, S., Marimuthu, K.P., Murugan, S.P., Park, Y. ve Lee, H. (2021) Estimation of shear fracture load in resistance projection welded sheets with dissimilar strength and thickness, *Engineering Failure Analysis*, 120, 105042. doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.105042
14. Huin, T., Dancette, S., Fabrègue, D. ve Dupuy, T. (2016) Investigation of the failure of advanced high strength steels heterogeneous spot welds, *Metals*, 6(5), 111. doi.org/10.3390/met6050111
15. Kurt, M., Bagci, E. ve Kaynak, Y. (2009) Application of Taguchi methods in the optimization of cutting parameters for surface finish and hole diameter accuracy in dry drilling processes, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 40(5–6), 458–469. doi.org/10.1007/S00170-007-1368-2/METRICS
16. Li, M., Tao, W., Zhang, J., Wang, Y. ve Yang, S. (2022) Hybrid resistance-laser spot welding of aluminum to steel dissimilar materials: Microstructure and mechanical properties, *Materials and Design*, 221, 111022. doi.org/10.1016/j.matdes.2022.111022
17. Nielsen, C.V., Zhang, W., Martins, P.A.F. ve Bay, N. (2015) 3D numerical simulation of projection welding of square nuts to sheets, *Journal of Materials Processing Technology*, 215(1), 171–180. doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2014.08.017
18. Paramonov, S.S., Bulychev, V.V., Maksimov, N. N. ve Ponomarev, A.I. (2021) Improvement of zinc coated steel stamped part and steel nut projection welding process, *Materials Today: Proceedings*, 38(4), 1470–1473. doi.org/10.1016/J.MATPR.2020.08.129
19. Pouranvari, M. ve Marashi, S. P. H. (2010) Key factors influencing mechanical performance of dual phase steel resistance spot welds, *Science and Technology of Welding and Joining*, 15(2), 149–155. doi.org/10.1179/136217109X12590746472535
20. Ramazani, A., Mukherjee, K., Abdurakhmanov, A., Abbasi, M. ve Prael, U. (2015) Characterization of microstructure and mechanical properties of resistance spot welded DP600 steel, *Metals*, 5(3), 1704–1716. doi.org/10.3390/MET5031704
21. Salimi Beni, S., Atapour, M., Salmani, M. R. ve Ashiri, R. (2019) Resistance Spot Welding Metallurgy of Thin Sheets of Zinc-Coated Interstitial-Free Steel, *Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science*, 50, 2218–2234. doi.org/10.1007/s11661-019-05146-8
22. Sharifitabar, M., Halvae, A. ve Khorshahian, S. (2011) Microstructure and mechanical properties of resistance upset butt welded 304 austenitic stainless steel joints, *Materials and Design*, 32(7), 3854–3864. doi.org/10.1016/j.matdes.2011.03.007
23. Shirmohammadi, D., Movahedi, M. ve Pouranvari, M. (2017) Resistance spot welding of martensitic stainless steel: Effect of initial base metal microstructure on weld microstructure and mechanical performance, *Materials Science and Engineering: A*, 703, 154–161. doi.org/10.1016/j.msea.2017.07.067
24. Singh Bharaj, A., Kewati, A., Shukla, S., Gedam, S., Kukde, R. ve Verulkar, S. (2023)

- Study of resistant spot welding and its effect on the metallurgical and mechanical properties – a review, *Materials Today: Proceedings*, (xxxx). doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.650
25. Soomro, I.A., Pedapati, S.R. ve Awang, M. (2021) Double pulse resistance spot welding of dual phase steel: Parametric study on microstructure, failure mode and low dynamic tensile shear properties, *Materials*, 14(4), 1–19. doi.org/10.3390/ma14040802
 26. Sun, Y. ve Hao, M. (2012) Statistical analysis and optimization of process parameters in Ti6Al4V laser cladding using Nd:YAG laser, *Optics and Lasers in Engineering*, 50(7), 985–995. doi.org/10.1016/j.optlaseng.2012.01.018
 27. Yaşar, H., Çavdar, K., Şahin, U. O., Çavdar, F. Y. (2019). Değişik kaynak elektrotları kullanılarak yapılan direnç nokta kaynaklı aısı 304 paslanmaz çelik sacların kaynak izi görüntüsü ve kaynak parametrelerinin mekanik özelliklere etkisi, *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 24(2), 499-516. doi.org/10.17482/uumfd.50547
 28. Yuan, X., Li, C., Chen, J., Li, X., Liang, X. ve Pan, X. (2017) Resistance spot welding of dissimilar DP600 and DC54D steels, *Journal of Materials Processing Technology*, 239, 31–41. doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2016.08.012

