

## SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLEN AA6061/AA7075 ÇİFTİNDE KARIŞTIRICI UÇ OMUZ GENİŞLİĞİNİN MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİ

**Furkan SARSILMAZ, Niyazi ÖZDEMİR, Serkan ÖZEL**

Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, 23119/Elazığ

[fsarsilmaz@firat.edu.tr](mailto:fsarsilmaz@firat.edu.tr), [nozdemir@firat.edu.tr](mailto:nozdemir@firat.edu.tr), [sozel@firat.edu.tr](mailto:sozel@firat.edu.tr)

### Özet

Bu çalışmada farklı özelliklere sahip AA6061 ve AA7075 alüminyum alaşım plakaları, alın pozisyonunda sürtünme karıştırma kaynak (SKK) yöntemiyle birleştirilmiştir. Yapılan birleştirmelerde sabit devir ve ilerleme hızları kullanılarak aynı uç geometrisinde, üç farklı omuz genişliklerine sahip (16mm, 20mm, 24mm) özel yapım karıştırıcı uçlar kullanılmıştır. Kaynak esnasında yüzeyde meydana gelen sıcaklık değişimleri lazer pirometre yardımıyla kaydedilmiştir. Kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla numunelere çekme testi ve mikrosertlik testleri uygulanmıştır. Çekme ve mikrosertlik testleri sonunda, 16 mm omuz genişliğine sahip karıştırıcı uç ile yapılan birleştirme işleminde en iyi sonuç alınmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Sürtünme karıştırma kaynağı, Alüminyum alaşımları, Mekanik özellikler.

### THE EFFECT OF STIRRER SHOULDER WIDENESS ON MECHANICAL PROPERTIES OF FRICTION STIR WELDED AA6061/AA7075 COUPLES

### Abstract

In this study, AA6061 and AA7075 aluminum couples having two different properties were welded by using friction stir welding (FSW) process. In this process, special three pin shoulders were used (16mm, 20mm, 24mm dimensions) with the same profile and under constant traverse-rotational speed. The temperature variations on the weld surface were recorded helping by laser pyrometer during the welds. In order to determine mechanical properties of joints, tensile strength and microhardness tests were applied to samples. The end of these tests, the best result was obtained from 16 mm stirrer pin shoulder.

**Keywords:** Friction stir welding, Aluminum alloys, Mechanical properties.

## 1. Giriş

1990 yıllarının başlarında Kaynak Enstitüsü (The Welding Institute-TWI) tarafından bulunan sürtünme karıştırma kaynağı, alüminyum alaşımlarında önemini her geçen gün hissettiren katı hal kaynak yöntemlerinden birisidir [1,2]. Alüminyum alaşımlarının geleneksel ergitme kaynak yöntemleriyle (MIG, TIG, elektrik ark kaynağı) birleştirmelerinde karşılaşılan problemlerin azaltılması amacıyla araştırmacılar, yeni katı hal kaynak yöntemleri üzerindeki çalışmalara yönelmişlerdir [3]. Geleneksel ergitme kaynağı yönteminde ısıl işleme sertleştirme yapılmış alüminyum alaşımlarının ergitme kaynağında yüksek ısı girdisi, bu alaşımların ısıl genleşmelerinin yüksek olması ve katılma sıcaklık aralıklarının geniş olmasından dolayı kaynak dikişinde çatlak oluşumuna neden olabilmektedir [4,5,6]. Bununla birlikte ısıl işlemlenmiş alüminyum alaşımlarında yüksek ısı girdisi sebebiyle kaynaklı bölgede, sertleştirici çökeltilerin çözünmesi ile ısıdan etkilenmiş bölgede (IEB) aşırı yaşlanma sonucu sertlik ve mukavemette kayda değer düşüşler söz konusu olmaktadır [3,4,7]. Sürtünme karıştırma kaynağında, geleneksel ergitmeli kaynak yöntemlerine göre daha düşük ısı girdisiyle çalışılması, malzemedeki çarpılmaları minimize etmektedir. Düşük ısı girdisinin, kaynağın mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilediği bilinmektedir [4]. Bunun sağlanabilmesi için kaynak parametrelerinden olan ilerleme hızının belirli miktarda artırılması ve devir sayısının ise kaynaklamayı olumsuz etkilemeyecek derecede düşürülmesi gerekmektedir. Fakat bu parametrelerin birleşme mekanizması üzerinde önemli etkinliğe sahip olduğu düşünülürse, belirli sınırlar içerisinde bu parametreler değiştirilebilmektedir.

Literatürde, sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmiş alüminyum alaşımlarının uç profilleri üzerine pek çok çalışma mevcuttur [4]. Fakat omuz genişliğinin kaynak kalitesi üzerindeki etkisiyle ilgili araştırmalar sınırlı sayıdadır. Bu konudaki araştırmalarda uç profillerinin dizaynları farklı yönleriyle ele alınmaktadır [4,7]. Bu çalışmada, havacılık, taşımacılık, uzay ve otomotiv endüstrisinde geniş kullanım alanı bulan [8] farklı tip Al alaşımlarından AA6061 ile AA7075, yeni bir katı hal kaynak tekniği olan sürtünme karıştırma kaynağıyla birleştirilmiştir. Ayrıca bu çalışmada ilerleme hızı ve devir sayıları sabit tutularak farklı çaplardaki omuzların mevcut sürtünme sıcaklık değerleri üzerindeki etkileriyle işlem parametrelerin mekanik özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

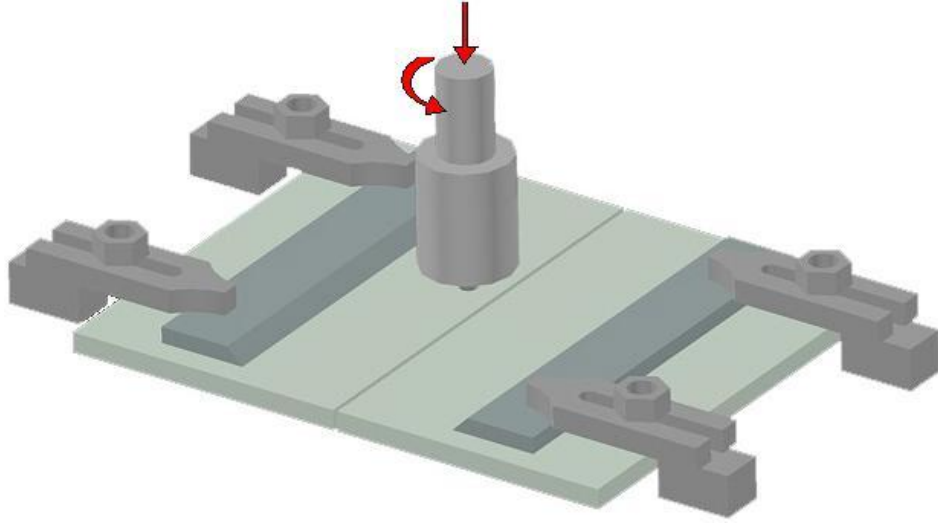
Bu çalışmada, 200 x 100 x 6 mm boyutlarda hazırlanan farklı tipte alüminyum alaşımlarından AA6061/AA7075 ticari olarak piyasadan temin edilmiştir. Bu alaşımlara ait kimyasal içerik Tablo 1’de, mekanik özellikler ise Tablo 2’de verilmiştir. Başlangıç kılavuz delikleri açılan birleştirilecek plakalar Şekil 1 ‘de görüldüğü gibi alın altına getirilerek, arada boşluk kalmayacak şekilde freze tezgâh tablası üzerine sabitlenmiştir.

**Tablo 1.** Deney çalışmalarında kullanılan malzemelerin nominal kimyasal bileşimi

Malzeme	Alaşım Elementleri (% Ağırlık)						
	Cu	Fe	Si	Zn	Mn	Mg	Al
AA6061	0,15	0,6	0,7	0,1	0,1	1,1	Kalan
AA7075	1,3	0,45	0,4	5,6	0,3	2,4	Kalan

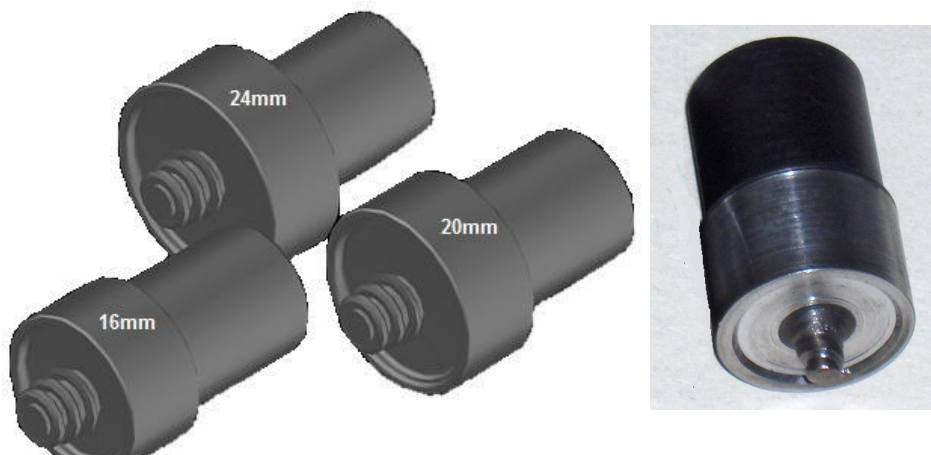
**Tablo 2.** Deney çalışmalarında kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri

	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Elastite modülü (GPa)	Sertlik (HV)
AA6061(T4)	235	140	70	70
AA7075(T6)	570	505	72	150



Şekil 1. SKK yönteminin şematik gösterimi

Kaynaklı bağlantıların gerçekleştirilmesinde, Şekil 2’de görüntüleri verilmiş olan K100 çeliğinden yapılmış vidalı profile sahip üç farklı omuz genişliğindeki karıştırıcı uçlar kullanılmıştır. Karıştırıcı uç, birleştirilecek olan plakalara dik olarak ayarlandıktan sonra, literatüre uygun olarak  $2.5^{\circ}$  başlık eğim açısı verilmiştir [9,10]. Kaynaklar, literatür taraması sonucunda saptanan ve SKK’da mikroyapı ve mekanik davranışları üzerinde önemli etkiye sahip olan sabit devir sayısı ve ilerleme hızlarında üç farklı uç genişliği seçilerek gerçekleştirilmiştir [9,11] (Tablo 3).

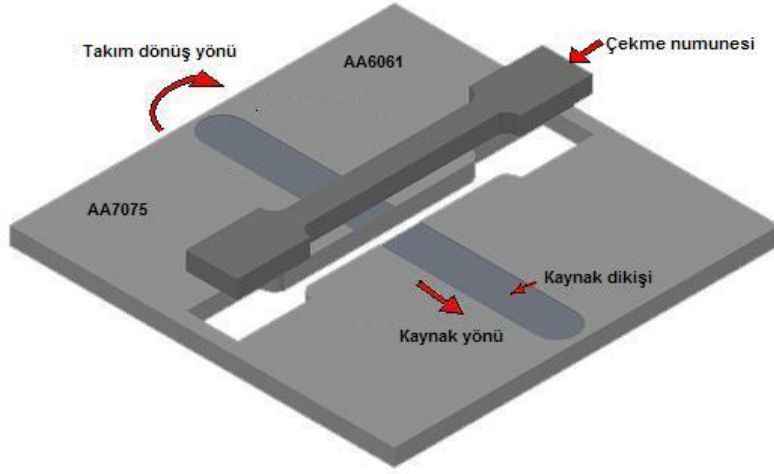


Şekil 2. SKK işleminde kullanılan farklı omuz çaplarına sahip vida profilli uçlar

**Tablo 3.** Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan omuz boyutları ve kaynak parametreleri.

Numune Kod Numarası	Karıştırıcı Uç Profili	Dönme Hızı devir/dakika	İlerleme Hızı mm/dakika	Karıştırıcı Uç Omuz Genişliği (mm)
S1	Vida	1120	250	16
S2				20
S3				24

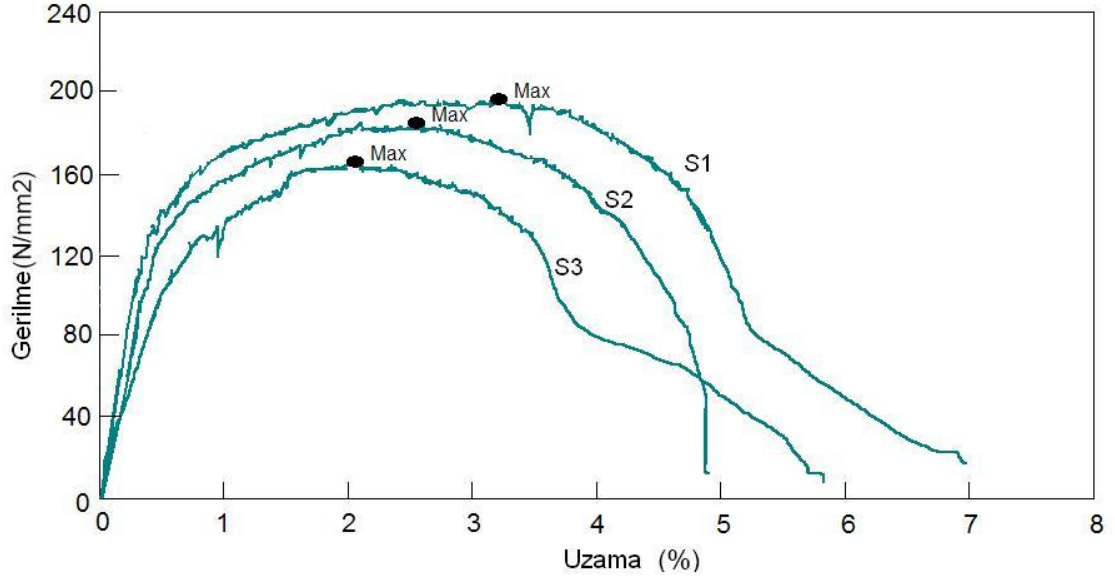
Kaynaklar esnasında oluşan sürtünme sıcaklıkları dikiş hattı boyunca Impac IGA-15 plus marka lazer pirometre ile 0,5 sn aralıklarda alınmıştır. Mekanik davranışları belirlemek için, kaynaklı bağlantılardan DIN 50109 standardına uygun olarak Şekil 3' de görülen birleşme hattına dik doğrultuda çıkarılan numunelere çekme testi uygulanmıştır. Her deney parametresinden üçer adet numune alınmak suretiyle hata payı minimize edilmiştir. Kaynaklı bağlantıların çekme deneyleri Instron marka U-TEST çekme test cihazından alınarak, 2 mm/dak. hızda gerçek gerilme ve uzama eğrileri elde edilmiştir. Ayrıca, numunelerin mikro sertlik ölçümleri Anton Paar MHT-10 marka mikrosertlik cihazında, birleşme bölgesinden 2 mm aralıklarla 100 gr. yük uygulanarak yapılmış ve sertlik profilleri belirlenmiştir.



Şekil 3. Çekme testi için kullanılan numunenin çıkartılış yönü

### 3. Deneysel Sonuçlarının İrdelenmesi

Omuz çaplarının artmasına paralel olarak kaynak sıcaklık profillerinde ulaşılan değerlerin farklılıklar göstermesi malzemenin mekanik özelliklerinin değişmesinde hiç şüphesiz önemli rol oynamaktadır. Yapılan yüzey sıcaklık ölçümlerinde geniş çaptaki omuza sahip malzemenin yüzey sıcaklığını artırdığı tespit edilmiştir. Bunun sebebi geniş omuzdaki sürtünme yüzey alanının diğerlerine göre daha fazla olmasıyla birim zamanda malzemeye giren ısı akışının da bu oranda artmasıdır. Sıcaklık profillerinden görüleceği üzere 24 mm lik omuza sahip S3 numunesinin ulaştığı maksimum sıcaklık değeri 514 °C'dir. Diğer uçlara ait ulaşılan sıcaklık değerleri Tablo 4'de verilmiştir. Bu tablodan S1 ve S2 nolu kaynaklarda omuz genişliğindeki azalmaya paralel olarak ulaşılan sıcaklık değerlerinde de düşüş görülmektedir.



Şekil 4. S1, S2, S3 nolu numunelere ait gerçek gerilme-uzama grafiği

Tablo 4. Kaynak yüzeyinden ölçülen maksimum sıcaklık değerleri °C

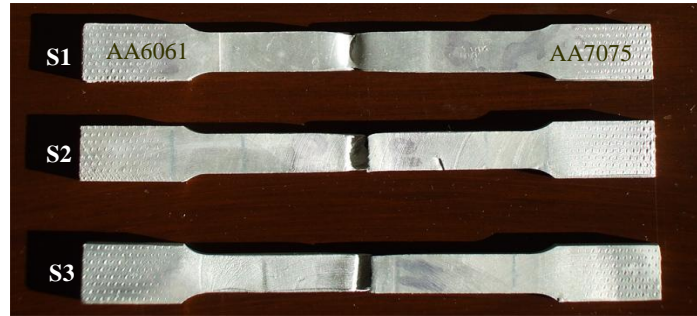
Numune Kodu	Kaynak Merkezi (A) çizgisi boyunca	Omuz Kenar hattı (B)	Omuz Kenar hattı (C)
S1	466	445	439
S2	492	462	452
S3	514	489	476

Sabit devir ve ilerleme hızı (1120 dev/dk ve 250 mm/dk) kullanılarak birleştirilen S1, S2, S3 nolu kaynaklı bağlantılara ait yüzey resimleri Şekil 5'te verilmiştir. Kaynak yüzey resimleri incelendiğinde birleştirmelerde herhangi çatlak veya gözenegin olmadığı, dış yüzey pürüzlülüklerinin her üç birleştirmede de birbirine yakın olduğu rahatlıkla görülmektedir.



Şekil 5. Kaynaklı birleştirmelere ait yüzey resimleri

Kaynaklı bağlantılara uygulanan çekme testleri sonucunda Şekil 4’deki gerçek gerilme ve uzama eğrilerden de görüleceği üzere S1 numunesi en iyi sonucu vermiştir. Bu numunede düşük ısı girdisine bağlı olarak IEB’nin genişliğinin daraltması sebebiyle boyun verme miktarında yaklaşık % 7 lik bir uzamaya karşılık 191 MPa çekme dayanımı elde edilmiştir. Bu durum bağlantının mekanik davranışını olumlu etkileyeceği sonucunu doğurmaktadır. Çekme testlerinden her üç numunede de kırılmaların daha düşük mekanik özelliklere sahip AA 6061 bölgesinde tek taraflı boyun vererek meydana geldiği Şekil 6’da görülmektedir.



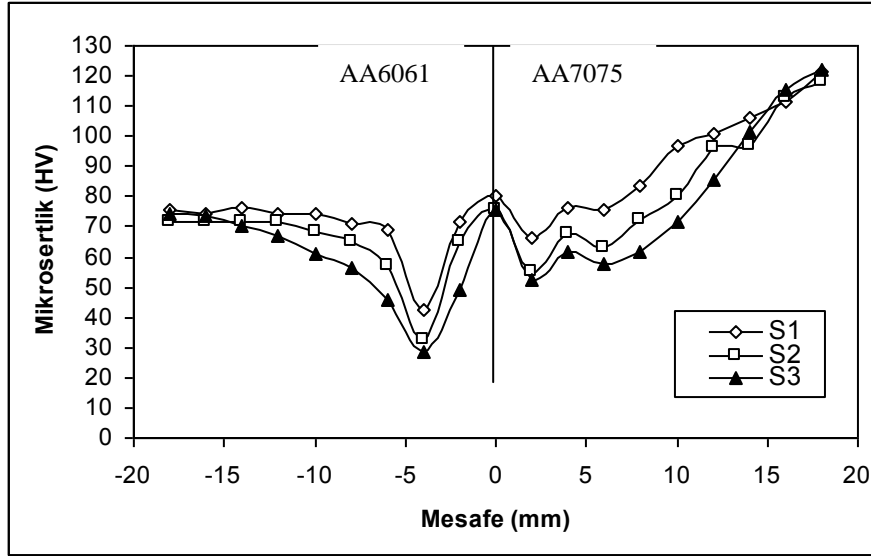
Şekil 6. Çekme sonrası numunelerde oluşan deformasyon

Kaynaklı bağlantılardan elde edilen çekme değerlerinde sıcaklık girdisine paralel olarak birleştirmelerin gerilme ve uzama değerlerinde düşüşler meydana gelmektedir. Çekme gerilmesi değerlerindeki bu düşüş, kullanılan malzemelerin ısıl işlem karakteristikleriyle doğrudan ilişkilidir. Isıl işlemle sertleştirilen AA6061 ve AA7075 alaşımlarına üretim aşamasında mukavemet ve sertlik artışı için çökelme sertleştirilmesi uygulanmaktadır. Çökelme sertleşmesi uygulanan AA 6061 ve AA7075 alüminyum alaşımlarına 530 °C’lerde ısıl işlemi uygulanmaktadır. Malzemelerin kaynaklanmasıyla oluşan sıcaklığın derecesi bu tip çökelme sertleşmeli alüminyum alaşımlarında kaynak bölgesinin mekanik özelliklerini düşürmektedir. Ulaşılan sürtünme sıcaklık değerleri bu sıcaklığa çok yakın olması sebebiyle kaynak bölgesindeki mukavemet kaybı kaçınılmazdır. Literatürde bunun sebebinin maruz kalınan yüksek sıcaklıkla birlikte mevcut dislokasyonların azalması ve mukavemetlendirici çökeltilerin irileşerek sertleştirici etkilerinin azalması olarak belirtilmektedir [10]. Özellikle AA6061 alaşımlarında sertleştirici temel faz  $\beta''$  ( $Mg_5Si_6$ ) fazıdır. 200-250 °C’lerin üzerindeki sıcaklıklarda bu faz kolaylıkla çözünmektedir. Soğuma esnasında bu faz kaynak dikişinin hemen bitişiğindeki ısıdan etkilenen bölgede (IEB),  $\beta'$  ( $Mg_{17}Si$ ) olarak daha az sertleştirici özellikte çökelmektedir. Aynı şekilde kaynak bölgesindeki mikrosertlik değerlerinde sıcaklık



artışıyla beraber sertlik düşüşleri gözlemlenmiştir [12]. Fakat Ericsson ve ark. [13] ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmalar incelendiğinde IEB'deki bu sertlik kayıpları TIG ve MIG kaynaklarıyla karşılaştırıldığı zaman çok daha düşüktür.

S1, S2 ve S3 nolu numunelerin Şekil 7'deki mikrosertlik eğrilerine bakıldığında, üç numunenin de sertlik değerlerinin, malzemelerin birbirinden farklı olan sertlik karakteristiklerine uygun şekilde biçimlendiği görülmektedir. Omuz genişliği dar olan uçla yapılan S1 numunesinin çekme eğrilerinde olduğu gibi yine en yüksek sertlik değerine ulaştığı ve bunu sırasıyla S2 ve S3 nolu numunelerin izlediği sertlik profillerinden görülmektedir. Ayrıca S3 numunesinin omuz genişliğinin yol açtığı sıcaklık nedeniyle kaynak bölgesinden ana malzemeye doğru kaynak bölgesinin genişlediği görülmektedir.



Şekil 7. Kaynaklı bağlantılara ait mikrosertlik eğrileri

#### 4.Sonuçlar

1. AA 6061 ve AA7075 alüminyum alaşımları, alın pozisyonunda sabit devir (1120 dev/dk) ve sabit ilerleme hızında (250 mm/dk) üç farklı omuz genişlikleri kullanılarak başarılı bir şekilde birleştirilmiştir. Üç farklı karıştırıcı uç omuz genişliğinin, kaynaklı bağlantıların mekanik özellikleri üzerinde önemli etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

2. Kaynaklı bağlantıların yüzey sıcaklık ölçümlerinden, en yüksek sıcaklık değeri 24 mm genişlikteki karıştırıcı uçla birleştirilen S3 numunesinden elde edilmiştir.

3. Çekme test deneylerinde en yüksek mukavemet değeri S1 numunesinde, 191 MPa olarak tespit edilmiştir.

4. S3, S2 ve S1 no'lu numuneler, azalan omuz genişliğiyle birlikte mikrosertlik değerlerinde kademeli artış göstermiştir. S1 numunesinde, sıcaklığa bağlı olarak diğer numunelere göre en yüksek mikrosertlik değeri ölçülmüştür.

### Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde FÜBAP-1250 no'lu proje ile destek sağlayan Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler Birimi'ne sonsuz teşekkürlerimizi sunarız.

### Kaynaklar

[1] Thomas W.M., Nicholas E.D. Friction stir welding for the transportation industries, *Materials and Design* 1997; 18 4/6, 269–273.

[2] Backlund J., Norlin A., Andersson A. Friction stir welding—weld properties and manufacturing techniques, 1998; INALCO, Conference Proceedings (CD)

[3] Cabello Muñoz A., Rückert G., Huneau B., Sauvage X. Comparison of TIG welded and friction stir welded Al–4.5Mg–0.26Sc alloy, *J. Mater. Process. Tech.* 2008; 197: 337-343.

[4] Fujii H., Cui L., Maeda M., Nogi K., Effect of tool shape on mechanical properties and microstructure of friction stir welded aluminum alloys, *Mater. Sci. Eng. A* 2006; 419 : 25–31.

[5] Oguz, B. (1990). Demirdışı metaller kaynağı metalurji-uygulama, Oerlikon Yayınları, İstanbul.

[6] Çam, G. (2002). Sürtünme karıştırma kaynağı ve uygulamaları. 9. *Denizli Malzeme Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 450-458.

[7] Elangovan K., Balasubramanian V., Influences of pin profile and rotational speed of the tool on the formation of friction stir processing zone in AA2219 aluminium alloy, *Mater. Sci. Eng. A* 2007; 459 : 7–18.

[8] Elangovan K, Balasubramanian V., Influence of tool pin profile and tool shoulder diameter on the formation of friction stir processing zone in AA 6061 aluminum alloy, *Mater Des*; article in press

[9] Murr L.E., Liu G., McClure J.C., TEM study of precipitation and related microstructures in friction-stir-welded 6061 aluminium, *J. Mater. Sci.* 1998; 33 : 1243–1251.

[10] Özsoy M., Kaluç E., Sürtünen Eleman İle Birleştirme Kaynağının Esasları, *Mühendis ve Makina Dergisi*, Sayı 513, 2002.

[11] Rhodes C.G., Mahoney M.W., Bingel W.H., Spurling R.A. Bampton C.C., Effect of friction stir welding on microstructure of 7075 aluminium, *Scripta Mater.* 1997; 36 : 69–75.

[12] Özarpa C., Al2024-O ve Al5754-H22 alüminyum alaşımlarının sürtünme kaynağı, *Doktora tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bil. Ens.*, 2005.

[13] Ericsson M., Sandström R., Influence of welding speed on the fatigue of friction stir welds, and comparison with MIG and TIG, *International Journal of Fatigue*, 2003; 25: 1379-1387.