



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# 6013-T6 alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma nokta kaynağına takım bekleme süresinin etkisi

## *Effect of tool dwell time on friction stir spot welding of 6013-T6 aluminum alloys*

Yazar(lar) (Author(s)): Ali YÜRÜK

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0001-7160-9962

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Abuşka M., Akgül M. B. ve Altıntaş V., “Yutucu plaka üzerine konik yayların yerleştirildiği güneş enerjili hava kollektörünün bulanık mantık ile modellenmesi”, *Politeknik Dergisi*, \*(\*) : \*, (\*).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.854677

# 6013-T6 Alüminyum Alaşımının Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağına Takım Bekleme Süresinin Etkisi

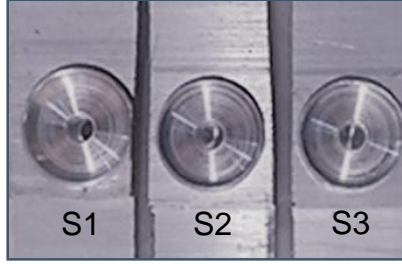
## Effect Of Tool Dwell Time On Friction Stir Spot Welding Of 6013-T6 Aluminum Alloys

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Sürtünme karıştırma nokta kaynak yöntemi, alüminyum gibi hafif ve demir dışı metallerin kaynağında büyük bir avantaj sağlamaktadır./ Friction stir spot welding method provides a great advantage in welding light and non-ferrous metals such as aluminum.
- ❖ Kaynak parametreleri kaynaklı birleştirmelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerini etkilemektedir./ Welding parameters affect the microstructure and mechanical properties of welded joints.

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

6013-T6 alüminyum alaşımı sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile birleştirilmiş ve mekanik ve mikroyapı özellikleri incelenmiştir./ 6013-T6 aluminum alloy was joined by friction stir spot welding and its mechanical and microstructural properties were investigated.



Şekil. Kaynaklı birleştirmelerin görüntüleri / Figure. Images of welded joints.

### Amaç (Aim)

Sürtünme karıştırma nokta kaynak yöntemi ile alüminyum alaşımlarının birleştirilebilirliğinin incelenmesidir./the examination of aluminium alloys joined with friction stir spot welding method.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Kaynaklı birleştirmede farklı takım bekleme süreleri kullanılmıştır. Different tool dwell times were used in welded bonding.

### Özgünlük (Originality)

Takım bekleme süresi birleştirmelerin mekanik özelliklerini etkilemiştir./ Tool dwell time has affected the mechanical properties of joints

### Bulgular (Findings)

Takım bekleme süresi, kaynaklı birleştirmelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerini değiştirmiştir./ Tool dwell time has changed the microstructure and mechanical properties of welded joints.

### Sonuç (Conclusion)

Alüminyum alaşımı başarı bir şekilde sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmiştir./ Aluminum alloys were joined with friction stir spot welding successfully.

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

# 6013-T6 Alüminyum Alaşımlarının Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağına Takım Bekleme Süresinin Etkisi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

Ali YÜRÜK\*

Borsa İstanbul Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, 810000, Düzce, Turkey,

(Geliş/Received: 05.01.2021 ; Kabul/Accepted : 05.02.2021 ; Erken Görünüm/Early View : 12.02.2021)

## ÖZ

Alüminyum ve alaşımları (Al ve alş.) yüksek korozyon direnci ve iyi mekanik özelliklere sahip olmalarının yanında ağırlık olarak da çeliğe göre daha hafif olmaları, sanayi üretiminde tercih edilir hale gelmesine neden olmuştur. Yoğun bir şekilde kullanım alanının artması al ve alş. farklı konum ve şekillerde kaynak ile birleştirilmesini zorunlu hale getirmiştir. Üretimde alüminyum malzemeleri ile üretilen kaynak uygulamalarında alın altına birleştirme ve bindirme şeklindeki birleştirmeler ön plana çıkmaktadır. Ancak alüminyum malzemelerin bindirme biçiminde birleştirilebileceği kaynak yöntemleri lazer ve nokta direnç kaynağı yöntemleri ile sınırlıdır. Belirtilen her iki kaynak yöntemi de ergitmeli kaynak yöntemi olduğundan her zaman kullanılabilirliği mümkün değildir. Bu nedenle, bu çalışmada 6013 al ve alş. sürtünme karıştırma nokta kaynak yöntemi (SKNK) ile 2000 dev/dk devir sayısında ve 30, 45, 60 sn takım bekleme sürelerinde birleştirilmiştir. Daha sonra kaynaklı birleştirmelerin mekanik ve mikroyapı özelliklerinde meydana gelen değişikliklerin belirlenmesi için çekme deneyi, sertlik ölçümleri ve mikroyapı çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sürtünme karıştırma nokta kaynağı, 6013 alüminyum alaşımı, takım bekleme süresi.

## Effect Of Tool Dwell Time On Friction Stir Spot Welding Of 6013-T6 Aluminum Alloys

### ABSTRACT

The high corrosion resistance and good mechanical properties of aluminum alloys as well as being lighter in weight than steel have made it preferable in industrial production. The increase in the area of use has made it necessary to weld aluminum and its alloys in different positions and shapes. In welding applications produced with aluminum materials in production, the joints in the form of butt-to-face and lap joints come to the fore. However, welding methods in which aluminum materials can be joined in overlapping form are limited to laser and spot resistance welding methods. Since both welding methods are melted welding methods, they cannot be used at all times. Therefore, in this study 6013 aluminum alloys are joined with friction stir spot welding method. Welding operations were carried out at 2000 rpm and 30.45.60 sec dwell time. Tensile test, hardness measurements and microstructure studies were performed to determine the changes in mechanical and microstructure properties of welded joints.

**Keywords:** Friction stir spot welding, 6013 aluminium alloys, tool dwell time.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İnsanoğlunun sınır tanımayan tüketimi, çevre kirliliğine ve küresel ısınmanın artmasına neden olmaktadır. Bu da giderek doğal kaynakların azalmasına sebep olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı üretimde çevre kirliliğini ve küresel ısınmayı azaltmak için çeşitli tedbirlerin alınması insanoğlunun varlığını sürdürebilmesi için zorunlu hale gelmiştir. Son zamanlarda kullanım oranları giderek artan ulaşım araçlarının çevre kirliliğine ve küresel ısınmaya olan katkısı tartışılmayacak şekilde büyük boyutlara ulaşmıştır. Bu çevresel sorunları minimize etmek isteyen otomotive ve uçak gibi ulaşım araçlarını üreten sanayi firmaları araçlarını hafifleterek yakıt tüketimini ve eksoz emisyon oranlarını azaltmaya çalışmaktadırlar [1].

Bu nedenle araçlarını hafifleterek yakıt tüketimini azaltmayı hedefleyen bu üreticiler alüminyum alaşımlarını ve magnezyum alaşımlarını ürünlerinde yaygın bir şekilde kullanmaya başlamışlardır [2-4].

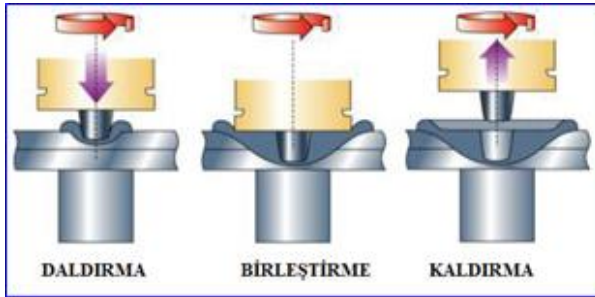
Alüminyum ve alaşımları, yüksek ısı ve elektrik iletkenliklerinin yanında mükemmel korozyon direncine, iyi dayanım özelliklerine sahip ve ayrıca hafif olmaları sebebiyle üretim sanayinde demirden sonra en çok tercih edilen metal konumundadır [5,6]. Alüminyum ve alaşımları sahip oldukları 2,7 gr/cm<sup>3</sup> yoğunlukla, demir ve bakırın yoğunluğunun 1/3'ü kadar bir yoğunluğa sahiptir. Ancak alüminyumun kesit alanı artırılarak dayanımı, demirin dayanımına yükseltilebilmektedir [7,8]. Bütün bu olumlu özellikleri bünyesinde toplayan Alüminyum ve alaşımları kullanıldıkları üretim alanının özelliğine göre farklı konum ve şekillerde birleştirilmesi nihai ürünün istenen özellikleri sağlaması açısından bir

\*Sorumlu Yazar Ali YÜRÜK  
e-posta : alliyuruk@gmail.com

zorunludur. Bu birleştirme yöntemlerinin başında ise kaynak gelmektedir. Alüminyum ve alaşımları MIG, TIG vb. kaynak yöntemleri ile birleştirilebilmektedir. Ancak alüminyum ve alaşımlarının yüksek ısı iletkenliği, hızlı katılma ve yüzeyindeki oksit tabakası gibi özellikleri, MIG ve TIG gibi ergitme kaynakları ile birleştirilmesinde sorunlar yaşanmasına neden olmaktadır [8-11].

Alüminyum ve magnezyum gibi hafif, demir içermeyen metallerin kaynağında yaşanan sorunları ortadan kaldırmak için farklı kaynak yöntemlerinin uygulanması zorunlu hale gelmiştir [9,12,13]. Yeni geliştirilen bu kaynak yöntemlerinin başında sürtünme karıştırma kaynak (SKK) yöntemi gelmektedir. SKNK ise 1991 yılında kaynak enstitüsü TWI tarafından geliştirilen SKK yönteminden yararlanılarak ortaya çıkmış olan bir kaynak uygulamasıdır [9,14]. Özellikle otomotiv sektöründe yaygın bir şekilde kullanılan elektrik direnç kaynağı ile birleştirmesinde sorunlar yaşanan demir dışı metallerin kaynatılmasında, SKNK yöntemi elektrik direnç kaynağının yerine tercih edilmiştir [15].

SKNK üst üste bindirilmiş iki levhaya daldırılan karıştırıcı takımın ve omuzun sürtmesi sonucunda ısının malzemeyi yumuşatması ve birbirine karıştırması prensibine dayanan bir kaynak yöntemidir [15,16]. SKNK yönteminde omuz ve pimden oluşan bir karıştırıcı takım kullanılmaktadır [17]. SKNK yönteminde etkili olan kaynak parametreleri ise dalma derinliği, pim çapı, bekleme süresi ve devir sayısıdır [9]. SKNK yöntemi daldırma, karıştırma ve geri çekilme aşamalarından oluşmaktadır [15]. Şekil 1’de bu üç aşama görülmektedir.



Şekil 1. SKNK yöntemi aşamaları[16] (Steps of FSSW method).

SKNK daldırma ve karıştırma aşamalarında karıştırıcı takım ucu ile omuzun sürtmesi sonucunda meydana gelen ısı malzemelerin yumuşamasına ve karışmasına neden olmaktadır. Bu sırada takım omuzuna uygulanan basınç ile malzemeler birbirine katı halde kaynamaktadır [18]. Son zamanlarda SKNK yöntemi otomotiv, elektronik ve uçak sanayinde alüminyum ve magnezyum gibi hafif metallerin yanı sıra bakır, çelik gibi metallerin de kaynağında yoğun bir şekilde kullanılmaya başlamıştır [9,15,18]. Ayrıca günümüz teknolojisinde yaygın bir şekilde kullanılan polimer malzemelerin birleştirilmesinde de SKNK yöntemi başarı bir biçimde kullanılmaktadır [19-21].

Bu çalışmada, ergitmeli kaynak yöntemleri ile birleştirilmesinde sorunlar yaşanan 6013 al ve alş. SKNK yöntemi ile farklı takım bekleme sürelerinde birleştirilmiştir. Üretilen kaynaklı birleştirmelere çekme ve sertlik testleri yapılırken mikroyapı incelemeleri de gerçekleştirilmiştir. Uygulanan testler sonucunda elde edilen veriler literatür yardımı ile yorumlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Bu çalışmada, 6013 T6 Al alaşımlarından 100×30×5 mm boyutlarında hazırlanan kaynak numuneleri kullanılmıştır. Çizelge 1’de 6013 Al alaşımlarının kimyasal bileşimleri, Çizelge 2’de ise mekanik özellikleri verilmiştir.

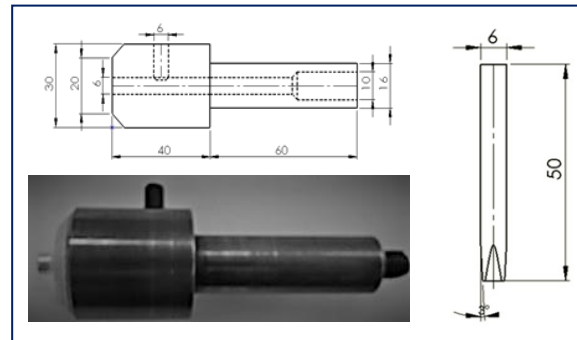
Çizelge 1. 6013-T6 Al alaşımlarının kimyasal bileşimi (Chemical composition of 6013-T6 Al alloys).

Malzeme	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
6013 Al	0,7	0,3	0,9	0,3	0,9	0,03	0,07	0,02	Kalan

Çizelge 2. 6013-T6 Al alaşımlarının mekanik özellikleri (Mechanical properties of 6013-T6 Al alloys).

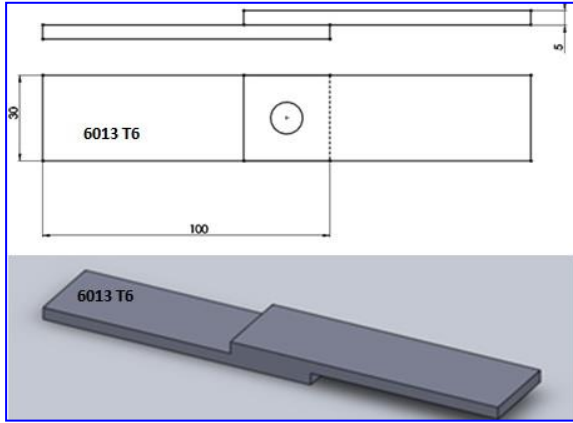
Malzeme	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Sertlik (HB)
6013 Al	415	17,7	130

Kaynaklı birleştirme işlemleri, Arsenal FU251M marka kalıpcı frezesinde gerçekleştirilmiştir. Birleştirme işleminde kullanılacak olan Alüminyum levhalar Şekil 3’deki gibi üst üste bindirilmiştir. Kaynak işleminde Çizelge 3’te verilen kaynak parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 4’te kaynaklı birleştirme sonucunda elde edilen numunelerin görüntüleri verilmiştir.



Şekil 2. Karıştırıcı takım (Stirring toll).

Metagrafik inceleme için kaynak kesitinden alınan örnekler 380, 420, 800, 1200 ve 1500 kum su zımparaları ile parlatıldıktan sonra keller (10 ml hidrofliorik asit; 15 ml klorhidrik asit; 25 ml nitrik asit; 50 ml saf su) dağlayıcısı kullanılarak 80-100 sn arasında dağlanmıştır.

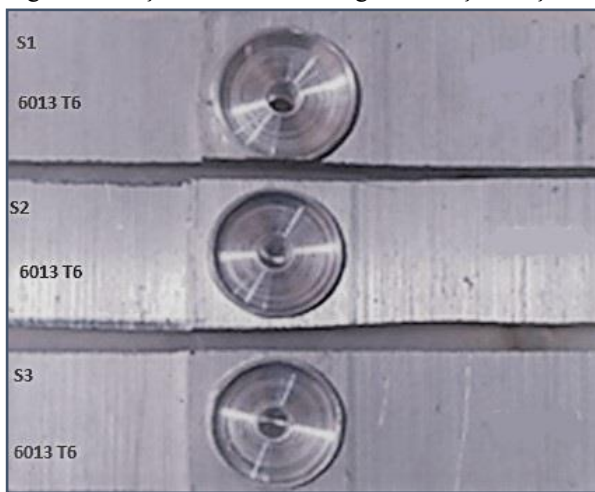


Şekil 3. Kaynaklı numunelerin şematik görüntüsü (Schematic view of welded samples).

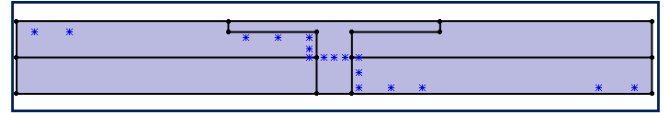
Çizelge 3. Kaynak parametreleri (Welding parameters)

Numune Kodu	Devir Sayısı (dev/ dak)	Dalma Derinliği (mm)	Pim Çapı (mm)	Bekleme Süresi (sn)
S1	2000	8,9	6	30
S2	2000	8,9	6	45
S3	2000	8,9	6	60

Mikroyapı incelemeleri Metkon Inverted Tip Metal Mikroskobu kullanılarak yapılmıştır. Sertlik ölçümleri ise Şekil 5’de görüldüğü gibi gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri Metkon Duroline-M marka mikro vickers sertlik test cihazı kullanılarak 100 g yükün altında 10 sn süre ile bekletilerek yapılmıştır. Sertlik ölçümleri Şekil 5’te görüldüğü üzere 1000 µm aralıklarla toplam 17 noktadan alınmıştır. Çekme deneyleri ise 100 kN kapasiteli Instron model çekme test cihazı kullanılarak 1mm/dak çekme hızında yapılmıştır. Çekme deneyleri sonucunda elde edilen verilerden yararlanılarak bağlantıların çekme- makaslama grafikleri çizilmiştir.



Şekil 4. Kaynaklı birleştirmelerin görüntüleri (Images of welded joints).

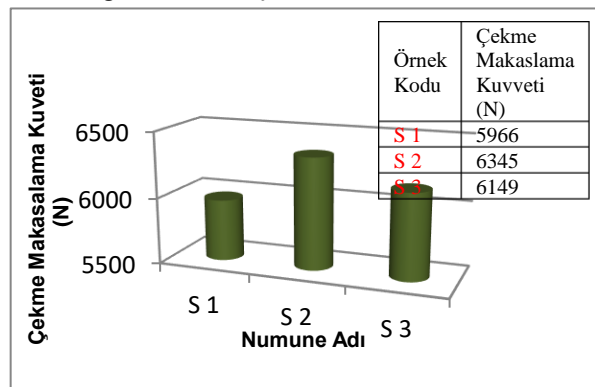


Şekil 5. Sertlik ölçümünün şematik görünümü (Schematic view of hardness measurement).

## 5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

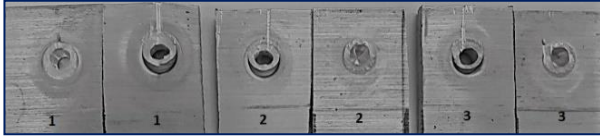
Kaynak parametreleri ve kaynak parametreleri ile değişen ısı girdisinin birleştirmelerin çekme makaslama kuvvetleri üzerine etkilerini gözlemlemek amacıyla uygulanan çekme deneyi sonuçları Şekil 6’da verilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde her üç takım bekleme süresinde elde edilen maksimum çekme kuvvetinin birbirine yakın olduğu görülmekle birlikte en yüksek çekme kuvveti değeri 6345 N ile S2 kodlu örnekte 45 sn takım bekleme süresinde elde edilmiştir. Buna karşın en düşük çekme kuvvetinin ise S1 kodlu örnekte 30 sn takım bekleme süresinde meydana geldiği görülmüştür.

Şekil incelendiğinde dikkat çeken bir diğer nokta ise takım bekleme süresinin artması ile çekme makaslama kuvvetinin artmasıdır. Buna ise sabit dönme sayısında takım bekleme süresinin artması ile artan ısı girdisi sonucunda çekirdek boyutunun artması etkili olmuştur. Literatürde de artan takım bekleme süresinin daha yüksek sürtünme ısıları oluşturduğu ve bunun sonucunda da kaynak çekirdek boyutunu arttırdığı ve artan çekirdek boyutunun da çekme makaslama dayanımının arttığı ifade edilmiştir [18,22]. Aynı şekilde Bozkurt ve arkadaşları [23], yaptıkları bir çalışmada artan takım bekleme süresinin karıştırmanın meydana geldiği kısmın boyutlarını artması nedeniyle çekme makaslama dayanımının arttığını bildirmişlerdir. SKNK yönteminde kaynak çekirdeğinin şekli, kaynaklı birleştirmenin dayanımını ve kırılma tipini belirlemektedir. Bu da bize takım bekleme süresinin kaynağın dayanımı açısından önemli bir parametre olduğunu göstermektedir. Çünkü takım bekleme süresi, kaynak çekirdeği şekli ve boyutunun belirlenmesinde önemli bir etkiye sahip olan parametredir. Bilici ve Yükler [18] yaptıkları bir çalışmada kaynak çekirdek şeklinin kaynaklı birleştirmenin dayanımı ve kırılma morfolojisi belirlediğini ifade etmişlerdir.



Şekil 6. Takım bekleme süresinin çekme-makaslama kuvvetine etkisi (The effect of tool dwelling time on tensile-shear force).

Şekil 7’de çekme deneyi sonucunda malzemelerin kopma görüntüleri verilmiştir. Bindirme şeklinde yapılan SKNK yöntemi ile birleştirilen parçalarda genel olarak arayüzey kırılması (interfacial fracture) ve külçe çıkması (pullout failures) şeklinde iki tip kopma görülmektedir. Literatürde de arayüzey kırığı (interfacial fracture) ve külçe çıkması (pullout failures) şeklinde iki tür kopmanın meydana geldiği bildirilmiştir [24-26]. Arayüzey kırılması şeklindeki kopma düşük kaynak kopma dayanımlarında meydana gelirken, külçe çıkması şeklindeki kopma yüksek kaynak kopma dayanımlarında meydana gelmektedir. [24]. Ancak yapılan bu çalışmada her üç kaynaklı birleştirmede de ara yüzey kırılması şeklinde meydana gelen kopma türü görülmüştür. Karıştırma bölgesinin birleştirmeden ayrılarak üst tabakada kalması ile kendini gösteren kırılma tipi olan arayüzey kırılması, kırılma yerinin arayüzeyden ayrılarak üst tabakaya doğru hareket etmesi ile meydana gelir. Benzer şekilde literatürde arayüzey kırılmasının, kırılma yerinin ara yüzeyden uzaklaşarak üst tabaya doğru kayması ile oluştuğu bildirilmiştir [25].

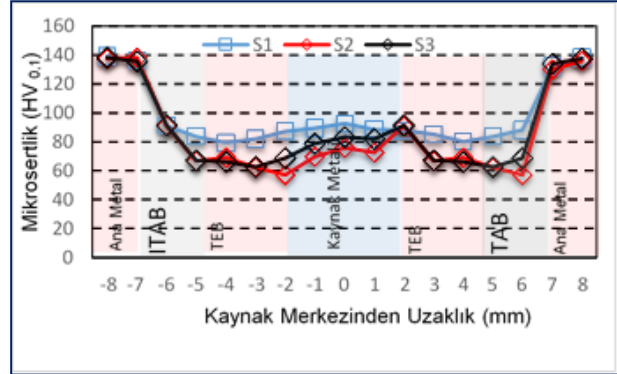


Şekil 7. Kaynaklı birleştirmelerin kopma şekilleri (Fracture types of Welded joints).

Şekil 8’de sürtünme karıştırma nokta kaynağı kullanılarak farklı takım bekleme sürelerinde birleştirilen 6013 T6 alüminyum alaşımının sertlik dağılımı görülmektedir. Mikrosertlik verileri incelendiğinde sertliğin yaklaşık olarak simetrik bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Literatürde sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile alüminyum alaşımlarının birleştirildiği çalışmalarda sertliğin simetrik olarak dağılım gösterdiği ifade edilmiştir [25,27].

Sertlik ölçümleri sonucunda en yüksek sertlik değerleri ana malzemede ölçülürken, sertlik dağılımının W şekline benzer bir dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Zhang ve arkadaşları [1], yaptıkları çalışmada sertlik dağılımın W şeklinde olduğunu ve ölçülen sertlik değerlerinin ana metalin sertliğinden düşük olduğunu rapor etmişlerdir. Ana metalden kaynak metaline doğru giderken sertlikte düşmeler meydana gelirken kaynak metalinin (karıştırma bölgesinin) sertliğinin hem ITAB’ın (ısı tesiri altındaki bölge) hem de TEB’in (termomekanik olarak etkilenen bölgenin) sertliğinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Kaynak metali, kaynak esnasında en yüksek sürtünme ısısına maruz kalmanın yanında sürtünmenin meydana getirdiği deformasyondan da en fazla etkilenen bölgedir. Bu nedenle bu bölgenin mikroyapısı yüksek deformasyon sebebiyle ITAB ve TEB göre daha ince taneli bir yapıya sahiptir. Bu da karıştırma bölgesinin sertliğinin ITAB ve TEB’e göre yüksek olmasına, neden olmaktadır. Benzer şekilde de literatürde karıştırma bölgesinin sertliğinin ince taneler ve çökeltiler sebebiyle yüksek olarak ölçüldüğü rapor edilmiştir [28]. Yine aynı

şekilde Cao ve arkadaşları [29], yaptıkları bir çalışmada TEB’in sertliğinin kaynak bölgesinin sertliğinden daha düşük tespit ettiklerini ve buna tane boyutunun azalmasının yanında doğal yaşlanmanın da katkıda bulunduğunu ifade etmişlerdir.



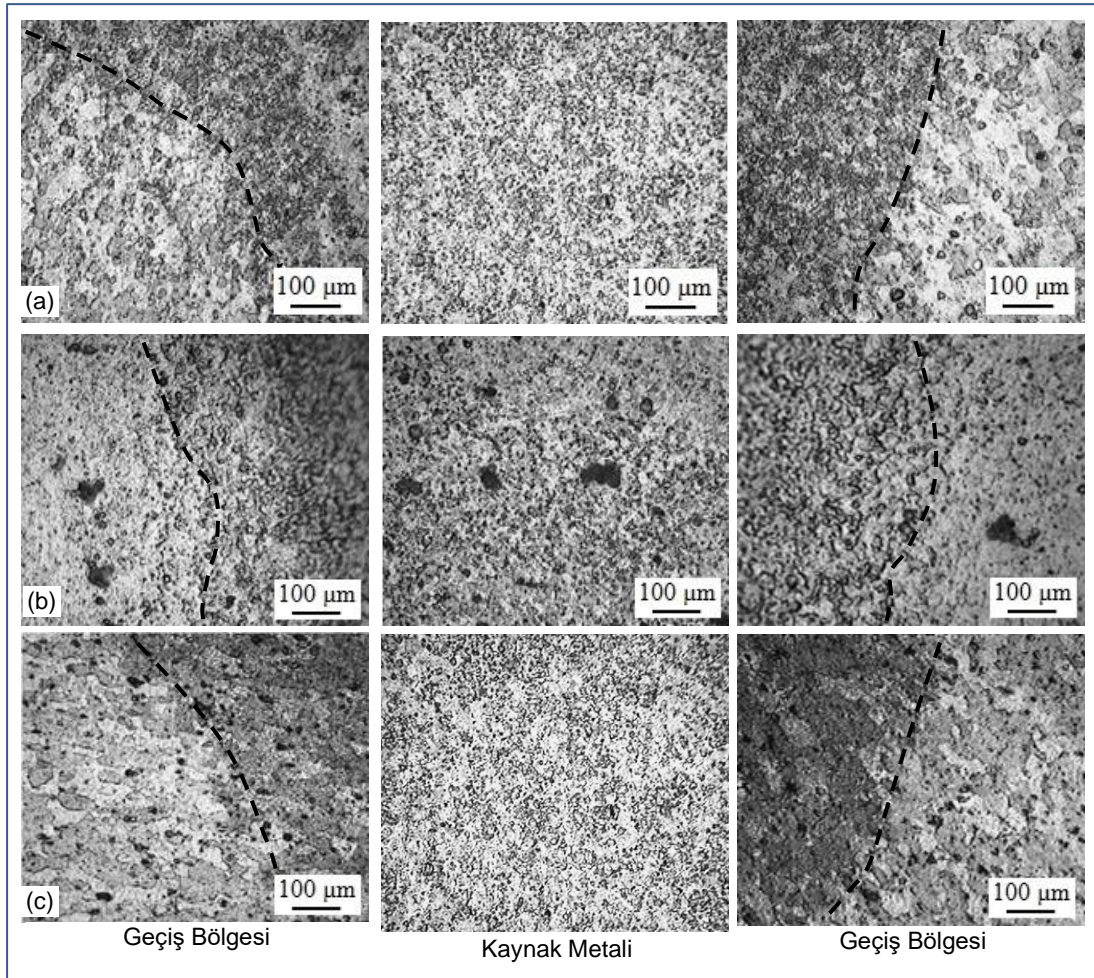
Şekil 8. Sertlik dağılımı (Distribution of hardness).

Ayrıca sertlik çalışmalarında dikkat çeken önemli bir nokta ise takım bekleme süresinin artması ile ITAB, TEB ve kaynak metalinin sertliğinde meydana gelen düşmelerdir. Literatürde takım bekleme zamanının sertliği etkilediği ifade edilmiştir [1]. Takım bekleme zamanının artması ile artan ısı girdisinin metalin tane yapısı ve çökeltiler yapısını değiştirmesi sebebiyle sertlikte düşmelere neden olduğu değerlendirilmektedir. Benzer şekilde literatürde ısı girdisinin artması ile tane yapısının değişmesi nedeni ile sertliğin düştüğü rapor edilmiştir [30].

Mikroyapı çalışmaları sonucunda elde edilen görüntüler Şekil 9’da verilmiştir. Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde ana metalin herhangi bir şekilde ısıdan ve deformasyondan etkilenmemesi nedeni ile eşeksizli tanelerden oluşan bir mikroyapı sergilediği görülürken, TEB’in kaynak sırasında meydana gelen sürtünmenin oluşturduğu ısı ve plastik deformasyondan etkilenmiş tanelerden meydana geldiği görülmektedir. Kaynak metali ise tam anlamı ile karıştırma bölgesi olduğu için hem sürtünmenin yarattığı ısı ve plastik deformasyondan etkilenen hem de karıştırma işleminden etkilenen tanelerden oluşan bir mikroyapı sergilediği gözlenmiştir. ITAB’ın ise sadece kaynak sırasında sürtünme tarafından üretilen ısıdan etkilenmesi sebebi ana metale ve kaynak metaline göre daha kaba tanelerden oluştuğu belirlenmiştir. Literatürde mikroyapının ana metal, termomekanik olarak etkilenen bölge, ITAB ve karıştırma bölgesi olmak üzere dört farklı yapıdan oluştuğu ve ana metalin eşeksizli tanelerden, termomekanik olarak etkilenen bölgenin deforme olmuş tanelerden, karıştırma bölgesinin ise hem ısıdan hem de pim ve karıştırıcı takım tarafından meydana getirilen deformasyondan etkilenmesi sebebiyle eşeksizli ince tanelerden meydana geldiği rapor edilmiştir. Ayrıca ITAB’ın sadece sürtünme ısısından etkilenmesi nedeniyle ana metalden ve kaynak metalinden daha iri tanelere sahip olduğu söylenmiştir [11,28].

Takım bekleme süresinin mikroyapı üzerindeki etkileri incelendiğinde ise takım bekleme süresinin artması ile tanelerinde büyüdüğü tespit edilmiştir. Buna ise kaynak süresinin artması ile kaynak bölgesine nüfuz eden ısı girdisinin artması ve bunun sonucunda da soğuma hızının yavaşlaması ile tane boyutunun değişmesi ve ayrıca çökelti yapısının bozulmasının sebep olmuş olabileceği düşünülmektedir. Literatürde bekleme süresinin artması ile ısı girişinin arttığı belirtilmiştir[11]. Benzer şekilde Sun ve arkadaşları [26], yaptıkları bir çalışmada artan sıcaklığın metalin çözelti yapısını bozduğunu ve taneleri kabalaştırdığını rapor etmişlerdir. Daha önceden yapılmış bir başka çalışmada da kaynak süresinin artması ile sıcaklığın arttığı ifade edilmiştir [31].

SKNK yönteminde ısı girişini etkileyen en önemli iki parametre takım dönme hızı ve takım bekleme süresidir. Kaynak işlemi esnasında takım bekleme süresinin artması ile kaynak bölgesine giren ısı miktarı artmaktadır. Artan ısı ise ana malzemelerin üretim sırasında kazandıkları mikroyapı özelliklerini bozmakta ve tanelerin irileşmesine neden olmaktadır. Mikroyapıda meydana gelen bu değişimde mekanik özelliklerde değişime sebep olmaktadır. Zang ve arkadaşları [1], 5052 alüminyum alaşımını SKNK ile birleştirdikleri çalışmada takım dönme hızının ve takım bekleme süresinin kaynak ısı girdisini etkileyen iki parametre olduğu söylerken kaynak ısı girdisinin artışı ile iri taneli bir mikroyapı meydana geldiğini ifade etmişlerdir.



Şekil. 9. Mikroyapı görüntüleri (Images of microstructure) a) S1 b) S2 c) S3.

#### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

Sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile 6013 Al alaşımı 2000 dev/dk devir sayısında 30,45 ve 60 sn kaynak süreleri kullanılarak birleştirilmiştir. Yapılan mekanik ve metalografik testler sonucu elde edilen verilere göre aşağıdaki sonuçlar söylenebilir;

✓ 6013 Al alaşımı levhalar SKNK kaynak yöntemi ile başarılı bir şekilde birleştirilebilmiştir.

- ✓ Kaynaklı numunelerin çekme makaslama kuvvetleri esas malzeme çekme makaslama kuvvetinden daha düşük olduğu belirlenmiştir.
- ✓ En yüksek çekme makaslama dayanımı 45sn kaynak süresinde yapılan kaynaklı numunedan elde edilmiştir.
- ✓ Kaynak süresinin ısı girdisini etkilemesi nedeniyle sertlik dağılımına etki etmiştir. Kaynak merkezinin sertlik özelliği ana metalin sertliğine göre farklı karakterde olduğu görülmüştür.

SKNK işlemi sırasındaki sürtünmeden kaynaklanan ısı ve plastik deformasyon, kaynak metalinin tane yapısını etkilemesi sebebi ile mekanik özellikler üzerinde etkili olmuştur.

#### ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

#### YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Ali YÜRÜK:** Deneyleri yapmış, sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Zhang Z., Yang X., Zhang J., Zhou G., Xu X., Zou B., "Effect of welding parameters on microstructure and mechanical properties of friction stir spot welded 5052 aluminum alloy A", *Materials and Design*, 32: 4461–4470, (2011).
- [2] Sekhar S. R., Chittaranjandas V., Govardhan D., Karthikeyan R., "Effect Of Tool Rotational Speed On Friction Stir Spot Welded Aa5052 – H38 Aluminum Alloy", *Materials Today: Proceedings*, 5: 5536–5543, (2018).
- [3] Yuan W., Mishra R.S., Webb S., Chen Y.L., Carlson B., Herling D.R., Grant G.J., "Effect of tool design and process parameters on properties of Al alloy 6016 friction stir spot welds", *Journal of Materials Processing Technology*, 211: 972–97, (2011).
- [4] Jeon C.S., Hong S.T., Kwon Y.J., Cho H.H., Han H. N., "Material properties of friction stir spot welded joints of dissimilar aluminum alloys", *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 22: 605–613, (2012).
- [5] Liu A., Tang X., Lu F., "Study on welding process and prosperities of AA5754 Al-alloy welded by double pulsed gas metal arc welding", *Materials and Design*, 50: 149–155, (2013).
- [6] Merzoug M., Mazari M., Berrahal L., Imad A., "Parametric studies of the process of friction spot stir welding of aluminium 6060-T5 alloys", *Materials and Design*, 31: 3023–3028, (2010).
- [7] Smith W. F., "Mühendislik Alaşımının Yapı ve Özellikleri, Demir Dışı Alaşımlar" 2: **Nobel Dağıtım**, (2000).
- [8] Temmar M., Hadji M., T Sahraoui., "Effect of post-weld aging treatment on mechanical properties of tungsten inert gas welded low thickness 7075 aluminium alloy joints", *Materials and Design*, 32: 3532-3536, (2011).
- [9] Külekçi M. K., Er O., "Sürtünme karıştırma nokta kaynaklı EN AW 5005 (AlMg1) alüminyum alaşımı için optimum kaynak parametre seviyelerinin belirlenmesi", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 27 (3): 537-545, (2012).
- [10] Çevik B., Özçatalbaş Y., Gülenç B., "Effect of tool material on microstructure and mechanical properties of friction stir welding", *Materials Testing*, 58: 36-42, (2016).
- [11] Li W.Y., Chu Q., Yang X.W., Shen J.J., Vairis A., Wang W.B., "Microstructure and morphology evolution of probeless friction stir spot welded joints of aluminum alloy", *Journal of Materials Processing Tech.*, 252: 69–80, (2018).
- [12] Çevik B., Özçatalbaş Y., Gülenç B., "Friction stir welding of 7075-T651 aluminium alloy", *Practical Metallography*, 53: 6-23, (2016).
- [13] Bodur D., Oğuzcan C., Ertürk S., Y Bozkurt., "Direnc ve sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile birleştirilen alüminyum levhaların karşılaştırılması", *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 4 (2): 266-273, (2017).
- [14] Mert Ş., Mert S., "Sürtünme karıştırma nokta kaynak yönteminin incelenmesi", *Journal of Advanced Technology Sciences*, 2 (1): 26-35, (2013).
- [15] Kaçar R., Ertek Emre H., Demir H., Gündüz S., "Al-Cu-Al malzeme çiftinin Sürtünme karıştırma nokta kaynak kabiliyeti", *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.*, 26, (2): 349-357, (2011).
- [16] Özer A, Şık A, Çevik B, Özer M, "[The effect of friction stir welding parameters on microstructure and fatigue strength of CuZn37 brass alloys](#)", *Kovove Materialy-Metallic Materials*, 55: 107-114, (2017).
- [17] Bilici M. K., Yükler A. İ., Kurtulmuş M., "Yüksek yoğunluklu polietilen levhaların sürtünme karıştırma nokta kaynağında kaynak ucu geometrisinin kaynak mukavemetine etkisi", *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 23 (3): 111-122, (2011).
- [18] Bilici M. K., Yükler A. İ., "Effects of welding parameters on friction stir spot welding of high density polyethylene sheets", *Materials and Design*, 33: 545–550, (2012).
- [19] Çevik B., "Influence of welding parameters on the fracture of PE300 polyethylene friction stir spot welds", *Materials Testing*, 58: 11-12, (2016).
- [20] Çevik B., "Polimer Malzemelerin Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı", *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2: 271–277, (2014).
- [21] Çevik B., Gülenç B., Durgutlu A., "The effects of critical welding parameters on tensile-shear properties of friction stir spot welded polyethylene", *Politeknik Dergisi*, 20(4): 945-951, (2017).
- [22] Pandey A. K., Mahapatra S. S., "Investigation of Weld Zone obtained by Friction Stir Spot Welding (FSSW) of Aluminium-6061 Alloy", *Materials Today: Proceedings*, 18: 4491–4500, (2019).