



---

**Makale / Research Paper**

---

**Ark Saplama Kaynak Parametrelerinin 6013-T6 Alüminyum Alaşımları Kaynak Bölgesi Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklere Etkileri**

**Necip Fazıl YILMAZ<sup>1</sup>, Halil İbrahim KURT<sup>2</sup>, Murat ODUNCUOĞLU<sup>3</sup>, Musa YILMAZ<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Makina Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gaziantep Üniversitesi, 27310, Gaziantep/Türkiye  
<sup>2,3</sup>Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Gaziantep Üniversitesi, 27310, Gaziantep/Türkiye

<sup>4</sup>Makina Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gaziantep Üniversitesi, 27310, Gaziantep/Türkiye  
[nfyzilmaz@gantep.edu.tr](mailto:nfyzilmaz@gantep.edu.tr), [hiakurt@gmail.com](mailto:hiakurt@gmail.com), [murat@gantep.edu.tr](mailto:murat@gantep.edu.tr), [musayilmaz2@yandex.com](mailto:musayilmaz2@yandex.com)

---

**Özet:** Bu çalışmada, hızlı bir şekilde uygulanabilir ve teknolojik olarak üstün bir kaynak türü olan ark saplama kaynağı kullanılarak 6013-T6 alüminyum alaşım levha üzerine 6 mm çapında aynı alaşımdan yapılmış saplama kaynak edilmiştir. Kaynak sonrası birleştirmelere çekme, sertlik testleri ve mikro yapı incelemeleri yapılmıştır. Bu amaçla kaynak akımı, kalkdırma mesafesi, çıkıntı mesafesi, kaynak süresi ve saplama ucu açısı farklı kaynak parametrelerinin kaynak bölgeleri üzerine etkileri araştırıldı ve en uygun parametreler belirlendi.

**Anahtar kelimeler:** Ark saplama kaynağı, mekanik özellikler, kaynak

---

**Effects of Arc Stud Welding Parameters on Microstructure and Mechanical Properties of 6013-T6 Aluminum Alloy Welding Zones**

---

**Abstract:** In this study, the diameter 6 mm studs made from 6013-T6 aluminum alloys were welded on the sheet made from same alloys by using arc stud welding process. Compared with other welding methods and fastening processes, arc stud welding offers faster assembly with fewer steps. Tensile tests, hardness tests and microstructural investigations have been carried out for welding zones. For this purpose, the most suitable arc stud welding parameters were determined. The effects of welding parameters such as welding current, welding time, stud tip angle, plunge and lift on different welding parameters were investigated.

**Keywords:** Silica fume; pozzolan; mortar; alkali-silica reactivity.

---

## 1. Giriş

Ark saplama kaynağı bağlantı elemanı kaynaklarında sunmuş olduğu ilave metal olmadan kaynaklanabilme, kolay uygulanabilme, ek bilgi ve tecrübe gerektirmeme, seri ve yüksek verim gibi önemli avantajlarından dolayı birçok endüstri dalında tercih edilmektedir. Gelişen teknoloji ile üretimin kaliteli, estetik, güvenli ve ekonomik olması bu kaynak yönteminin önemini arttırmıştır. Geleneksel kaynak tekniklerinde metal ergime noktasına kadar ısıtılmakta olup, soncunda malzemenin mekanik davranışı kötüleşmektedir. Ark saplama kaynak yöntemi ile aynı ve/yada farklı malzemelere özel veya standart kaynak elemanları hızlı (ark zamanı “ms”), düşük ısı girdisi ve mukavemet kaybı görülmeden kaynak edilmektedir. Ark saplama kaynağı (ASW) ile çeşitli

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Yılmaz, N.F., Kurt, H.İ., Oduncuoğlu, M., Yılmaz, M., “Ark Saplama Kaynak Parametrelerinin 6013-T6 Alüminyum Alaşımları Kaynak Bölgesi Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklere Etkileri” El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2017, 4(3): 578-583.

*How to cite this article*

Yılmaz, N.F., Kurt, H.İ., Oduncuoğlu, M., Yılmaz, M., “Effects of Arc Stud Welding Parameters on Microstructure and Mechanical Properties of 6013-T6 Aluminum Alloy Welding Zones” El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2017, 4(3): 578-583.

metal ve alaşımlardan yapılmış saplama veya benzer çubukların esas metale arkın metalleri ergime derecelerinin altında bir sıcaklığa kadar ısıtması özelliğinin kullanıldığı bir kaynak yöntemidir [1]. Bağlantı elemanlarının ana metal üzerine tutturulması kaynatılacak parçalar arasında ark yardımı ile kaynak sıcaklığını oluşturulup yeterli basınç ile parçaların kaynaklanması yöntemidir. Elektrik ark kaynağında sisteme uygulanan gerilimle elektrot üzerinden akım geçişi sağlanır. Elde edilen elektrik enerjisi sayesinde kontrollü bir elektrik arkı başlatarak, saplamanın ucu ile iş parçasının bir bölümünün erimesini sağlar. Saplama kaynağı sistemi güç kaynağı, ark esnasındaki zamanı ve akım şiddetini kontrol sistemi ve kaynak tabancası birimlerinden oluşur. Araştırma için seçilen kaynak parametreleri kaynak akımı, kaynak süresi, kaldırma mesafesi, çıkıntı mesafesi ve saplama ucu açısı olarak belirlenmiştir.

Alüminyum malzemelerin ark saplama kaynağı ile başarılı bir şekilde birleştirilmektedir. Alüminyum ve alüminyum alaşımları ekonomik ve hafif mühendislik malzemeleri olmaları nedeniyle birçok sektörde geniş kullanım alanlarına sahiptir [2, 3]. Alüminyum; oksit, termal, elektrik ve manyetik olmayan özellikleri ile diğer metallerden farklıdır [4]. İmalat sanayinin yanı sıra uzay ve havacılık sanayinde önemli bir yere sahip olan alüminyum alaşımları kullanılmaktadır. Ayrıca yapı teknolojilerinde, otomotiv sektörü ve uygulamalarında daha az yakıt tüketimi ve çevreye daha fazla önem verilmesi nedenleriyle düşük yoğunluklu, hafif, geri dönüştürülebilir, mukavemet değeri, korozyon direnci yüksek alüminyum ve alüminyum alaşımlara ve bu malzemeleri birleştirme teknikleri üzerinde sürekli çalışılan ve geliştirilen bir konudur. Ark saplama kaynağında alüminyum ve alüminyum alaşımların birleştirilmesinde kullanılan güncel yöntemlerden biridir. Bu amaçla alüminyum ana metal ve saplamalara bağlı olarak seçilen kaynak parametrelerinin kaynak güvenilirliği ve kalitesini artırmak amacıyla doğru belirlenmesi gerekir. Bu çalışmada 6013-T6 alüminyum alaşımı farklı ark saplama kaynak parametreleri kullanılarak kaynaklar yapıldı.

## 2. Malzeme ve Metot

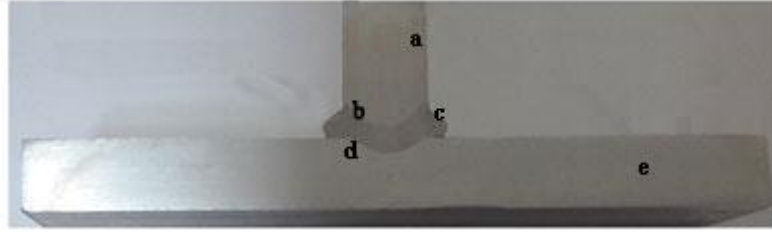
İmalat, otomotiv ve diğer sektörlerdeki Al metaline olan ilgi ve kullanım avantajları bu metalin ark saplama kaynak yöntemi ve parametrelerinin araştırılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Hızla gelişen teknoloji ve yöntemler nedeniyle seçilen ark saplama kaynak parametrelerinin mikro yapı ve mekanik özelliklere etkilerinin araştırılması kaynak kalitesi ve verimliliği açısından önemlidir. Bu çalışmada 50x50x5 mm boyutunda 6013-T6 alüminyum alaşımından yapılan ana metal üzerine 6 mm çapındaki 6013-T6 alüminyum alaşımı saplamalar atmosfer korumalı ortamda kaynak edilmiştir.



Şekil 1. Saplama görünümü (Birim mm).

Kullanılan alüminyum saplamaya ait şematik görünüm Şekil 1’de gösterilmiştir. Kullanılan 6013-T6 alüminyum alaşımının kimyasal kompozisyonu (kütlece içeriği ağırlık %) 0.90 Mg, 0.72 Si, 0.95 Cu, 0.36 Mn, 0.27 Fe, 0.03 Cr, 0.07 Zn, 0.02 Ti ve kalanı Al’den oluşmaktadır. Bununla birlikte ana metalin ve saplama olarak kullanılan bu metali mekanik özellikleri ise 390 Mpa çekme

mukavemeti, %8 uzama ve 110 HV sertlik olarak verilmiştir. Ark saplama kaynağında saplama ana metal yüzeyine dokunur ve arkbaşlar ve akım kararlı hale gelene kadar eder. Birkaç milisaniye sonra ise, kaynak makinası kontrol ünitesi ana kaynak akımının uygular ve kaynak noktasında saplama ve ana metal eriyik halde oluşan kaynak havuzunda bulunur [5].



Şekil 2. Analiz için hazırlanan saplama kaynağı kesiti verilmiştir. (Saplama çapı 6mm'dir.) a. Saplama, b. Saplamanın ısı tesiri altında olan bölge, c. Kaynak metal, d. Ana metal plakanın ısı tesiri altında kalan bölge, e. Ana metal plaka.

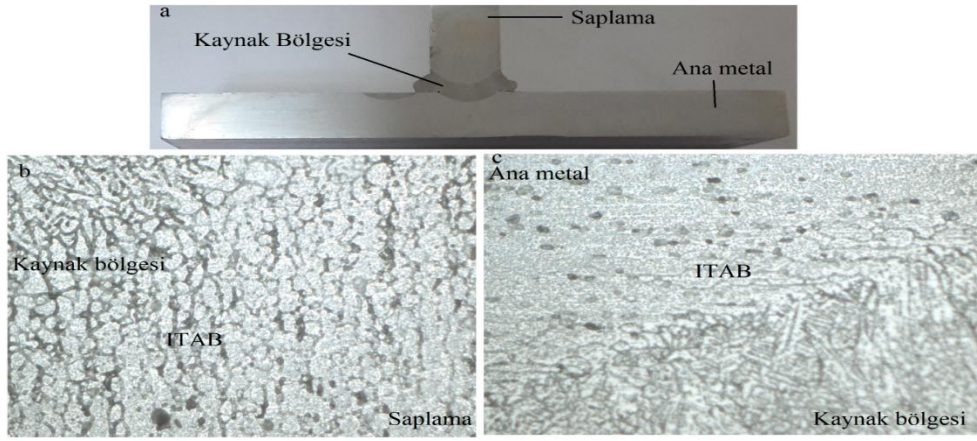
Bu çalışmada ana metal ve saplama, kaynağa zarar verebilecek (oksit, yağ, boya vb) gibi istenmeyen maddelerden kimyasallar yardımıyla temizlendi. Argon (99%) koruyucu gaz olarak kullanıldı. Kaynak için gerekli parametreler kumanda sistemi yardımı ile ayarlanarak ark oluşturuldu. Ark saplama kaynak için seçilen kaynak akımı ve kaynak zamanı değişkenleri ayarlanarak farklı saplama uç açılarında kaynaklara yapıldı. Ayarlanan parametreler ve kaynak ön çalışmalar yapılarak hazırlıklar tamamlandı. Birleştirilen numuneler makro ve mikro incelemeler için tel erozyon yöntemiyle kesildi ve zımparalama ve parlatma işlemi sonrası testlere hazır hale getirildi (Şekil 2). Mikro yapı incelemeleri için dağlama işlemi Keller çözeltisi ile yapıldı ve Nikon MA 100 Optik Mikroskop ile mikro yapı analizleri yapıldı. Kaynak metalin ve saplamanın ısıdan etkilenen bölgeleri belirlendi. Mekanik özellikler için çekme ve sertlik testi kullanılmıştır. Çekme testleri ISO 14555 standartlarına göre ve sertlik testleri 200 gr yük altında ve 10 sn batma zamanında ASTM standartlarına göre yapılmıştır [6, 7].

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

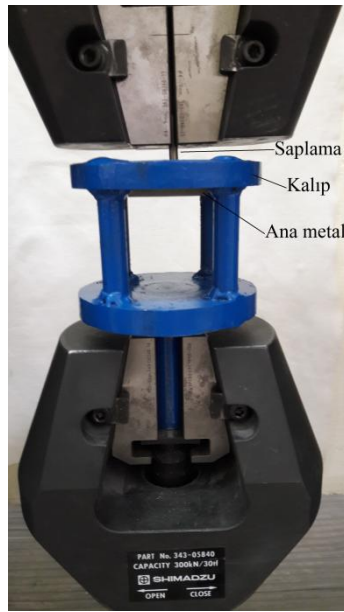
Ark saplama kaynağının sonucunda kaynak kalite kontrol ve denetimleri uluslararası standartlara göre yapılmış ve kaynağın makro incelenmesinde kaynak tutarlılığı ve büyüklüğü belirlenmiştir. Uygun olmayan kaynak parametreleri ve çevresel olumsuz etkiler kaynak bölgesinde uygun olmayan birleştirmelerin meydana gelmesine neden olmaktadır.

Şekil 3a'da kaynaklı birleştirmenin makro ve Şekil 3b'de mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Kaynak yapılmış örnekler birleşme ara yüzeyini gösterecek şekilde saplamanın merkezine teğet olarak tel erozyon yöntemiyle kesildi ve gözenek oluşumu ve düzensiz yaka oluşumu açıkça görüldü. Bu hataların sebepleri, malzemelerin düşük ergime sıcaklığına sahip olması ve birleştirme bölgesindeki basıncın eşit şekilde dağıtılması olabileceği düşünülmektedir. Saplama, ITAB ve kaynak metal mikroyapısı Şekil 4b'de gösterilmiştir. ITAB'dan kaynak metaline doğru dendrit yapısının oluşumu ve kaynak bölgesinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dendrit kolları arasında mesafenin azlığı ve boyunun arttığı açıkça görülebilir. Bu dendritlerin oluşması kaynak bölgesinin yavaş soğuma hızına bağlanabilir [8].

Kaynak geçiş bölgelerinin mikroyapısı ve saplama kaynak mukavemetleri incelendi. Kaynakların makro ve mikro yapı incelemelerinden sonra saplama ile esas malzeme mekanik testler uygulanarak karakterize edildi. Şekil 4'de çekme testi uygulama görüntüsüne yer verilmiştir.



Şekil 3. Kaynaklı birleştirmelerin makro (a) ve mikroyapı görüntüleri (b) ve (c) 350-0,10-3-2-10°



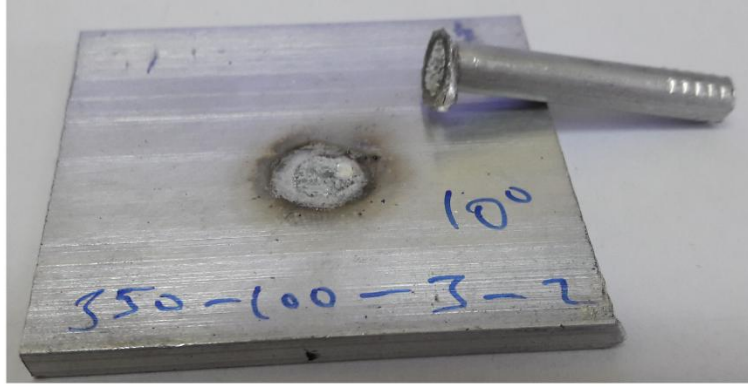
Şekil 4. Çekme testi numunesi

Ark Saplama kaynağı yöntemiyle birleştirilen örneklerin çekme deneyleri ilgili uluslararası standartta belirtilen esaslara göre saplamalar kaynak yerinden veya saplama kesitinden kopana kadar yük uygulanarak yapılmıştır. Tablo'1 de kullanılan birleştirme parametreleri, çekme testi sonucu elde edilen mukavemet ve süneklik değerleri ile numunelerin kırılma bölgeleri gösterilmiştir.

Ark saplama kaynak yöntemi ile birleştirilen ana malzeme ve saplama mukavemet değerleri üzerine etkisi büyüktür. Tablo 1'de ark saplama kaynağı için birçok değişkenin olduğu görülmektedir. Değişkenlerin kaynak verimi ve kalitesini etkilediği açık bir şekilde görüldü. Kaynak parametreleri doğru seçilemezse birleştirme verimliliğini azalmaktadır. En yüksek çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerleri 11 nolu numunede gözlemlendi. Söz konusu parametreler 350 A akım, 0,10 sn zaman, 3 mm kaldırma mesafesi, 2 mm çıkıntı mesafesi ve 10° saplama uç açısı olduğu tespit edildi. Şekil 5'de çekme testi sonrası kırılmaların makro fotoğrafı verildi. Birleştirmelerin görüntüsünde kırılmalar genelde saplama ITAB'ında yada kaynak bölgesinde meydana gelmiştir. Al alaşımları düşük ergime derecesine sahip olduğu iyi bilinir. Kırılmaların ısının etkisi altında bölgede veya kaynak bölgesinde meydana gelmesi birleştirmelerde alüminyum ısıdan çok etkilendiği göstermektedir.

Tablo 1. Birleştirmelerin mekanik özellikleri

Exp. No.	Kaynak Akımı (A)	Kaynak Zamanı (s)	Kaldırma Mesafesi (mm)	Çıkıntı Mesafesi (mm)	Saplama Uç açısı (o)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)	Kırılma Bölgesi
1	300	0,10	3	2	0	102,66	2,68	KB
2	300	0,10	3	2	10	109,04	2,53	KB
3	300	0,10	3	2	20	33,99	08,62	KB
4	300	0,10	3	2	30	32,19	08,01	KB
5	300	0,125	3	2	0	49,05	1,79	KB
6	300	0,125	3	2	10	36,32	1,77	KB
7	300	0,125	3	2	20	44,56	1,87	KB
8	300	0,125	3	2	30	127,34	2,42	KB
9	300	0,15	3	2	0	139,12	3,38	KB
10	350	0,10	3	2	0	66,47	1,82	KB
11	350	0,10	3	2	10	146,64	3,99	KB
12	350	0,10	3	2	30	42,37	2,97	KB



Şekil 5. Çekme testi sonrası kırılma görüntüsü

6013-T6 alaşımının sertliği 110 HV, saplama ITAB'ın sertliği 70 HV, ana metal ITAB'ın sertliği 72 HV ve kaynak metalinin sertliği 80 HV olarak tespit edilmiştir. Birleştirmelerin sertlik analizlerinde ITAB'ın sertliğinin ana metallere göre azaldığı tespit edilmiştir. Değerler incelendiğinde kaynak metalinde ve geçiş bölgelerinde kaynak gerilimin artması ile sertlik değerlerinde azalma görülmüştür. Bu değişimler alüminyum ve alaşımlarının sıcaklığa duyarlı olmasına ve kaynak metalinin sertliğinin ana metal ve ITAB'ların sertliğinden yüksek olması saplamanın yüksek sertlik değerine sahip olmasına bağlanabilir. Yapılan bir çok çalışmada alüminyumların ısıdan yüksek derece etkilendiği ve bundan dolayı sertlik ve mukavemet gibi özelliklerinin azaldığı görülebilir [9-11].

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, ark saplama kaynak parametreleri kullanılarak 6013-T6 saplamalar 6013-T6 alüminyum alaşımı levha üzerine kaynak edilmeye çalışılmıştır. Kullanılan birleştirme yönteminin hızlı ve etkili olduğu görülmüştür. Malzemelerin uygun kaynak parametreleri seçildiği takdirde başarılı bir şekilde birleştirilebileceği görülmüştür. Bu çalışma için en uygun kaynak parametreleri akım 350, saniye 0,10, kaldırma mesafesi 3 mm, çıkıntı mesafesi 2 mm ve saplama uç açısı 10° olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, bu çalışma saplama uç açısında birleştirme mukavemetinin etkileyen bir önemli parametre olduğunu ortaya çıkarmıştır. Her bir parametrenin diğer bütün parametreler üzerinde etkili olduğu tespit edilmiş ve birleştirme mukavemetinin artırılması

amacıyla bütün parametrelerin değiştirilerek daha yüksek mukavemet değerleri elde edilmesi mümkün olabileceği kanaati oluşmuştur. Birleştirmelerde ısıdan etkilenen bölgede sertlik değerlerinde azalma meydana gelmiştir.

## Kaynaklar

- [1] Cary HB. Modern Welding Technology: Prentice Hall; 1998.
- [2] Weman K. Welding processes handbook: Elsevier; 2011.
- [3] Mathers G. The Welding Of Aluminium And Its Alloys(Book). Woodhead Publishing Limited, Abington Hall, Abington, Cambridge, CB 1 6 AH, UK, 2002. 2002.
- [4] Cemil Öz FF, İyibilgin O, Soy U, Kıyan Y, Serttaş S, Ayar K, Uslu S, YaşarY, Geçmişten Günümüze Kaynak Simülatörleri. Metal Dünyası, Şubat 2010;201:108-11.
- [5] Ramasamy S. Drawn arc aluminum stud welding for automotive applications. JOM. 2002;54:44-6.
- [6] Welding-Arc stud welding of metallic materials Switzerland: International Standard; 2006. p. 1-70.
- [7] ASTM E38-11. Standard Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Materials. USA: ASTM; 2012. p. 1-43.
- [8] Winegard WC. An introduction to the solidification of metals: Institute of Metals; 1964.
- [9] Bunaziv I, Akselsen OM, Salminen A, Unt A. Fiber laser-MIG hybrid welding of 5 mm 5083 aluminum alloy. Journal of Materials Processing Technology. 2016;233:107-14.
- [10] Zhang Y, Huang J, Cheng Z, Ye Z, Chi H, Peng L, et al. Study on MIG-TIG double-sided arc welding-brazing of aluminum and stainless steel. Materials Letters. 2016;172:146-8.
- [11] Lotfi B, Rostami M, Sadeghian Z. Effect of silicon content on microstructure of Al-Si/SiCp composite layer cladded on A380 Al alloy by TIG welding process. Transactions of Nonferrous Metals Society of China. 2014;24:2824-30.