

# Gazaltı metal ark kaynak (GMAK) yöntemiyle birleştirilen AA5754 ve AA6013 alüminyum alaşımlarının mikro yapı ve mekanik özellikleri

## Microstructure and mechanical properties of aluminum alloys AA5754 and AA6013 joined by GMAW (Gas metal arc welding) method

Emine MERCAN<sup>1\*</sup>, Yusuf AYAN<sup>2</sup>, Nizamettin KAHRAMAN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Personel Belgelendirme Birimi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.

eminemercan@anadolu.edu.tr

<sup>2,3</sup>İmalat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye.

yusufayan@karabuk.edu.tr, nkahraman@karabuk.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 04.03.2019, Kabul Tarihi/Accepted: 22.07.2019

\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2019.38063

Araştırma Makalesi/Research Article

### Öz

Alüminyum alaşımlarının hafiflik, korozyon direnci gibi öne çıkan özelliklerinin yanı sıra diğer özelliklerinin de iyi olması sebebiyle endüstride kullanımı yaygınlaşmaktadır. Her iki fiziksel veya mekanik özelliklerinin bir arada olması istenilen alüminyum alaşımları kullanılan yapılarda farklı tür alaşım malzemeleri birbirleriyle kaynak edilmiştir. Sunulan bu çalışmada farklı tür alüminyum AA5754 ve AA6013 alaşımları gaz altı metal ark kaynak (GMAK) yöntemi ile farklı kaynak parametrelerinde birleştirilmiştir. Kaynaklı bağlantılara üç nokta eğme ve tokluk özelliklerini belirlemek için de çentik darbe testleri uygulanmıştır. Ayrıca, kaynak bölgesi sertlik testleri ve mikro yapı çalışmaları ile karakterize edilmiştir. Üç nokta eğme testleri sonucunda uygun parametrelerde birleştirilmiş numuneler 180° eğilirken, uygun olmayan parametrelerde ergime sınırından çatlama ve kırılmalar belirlenmiştir. Çentik darbe testleri sonucunda en yüksek tokluk AA5754 ITAB (Isı tesiri altındaki bölge)'dan ölçülmüştür. Birleştirmelerin AA6013 ITAB'ı ile kaynak metallerinden ölçülen tokluk değerlerinin birbirlerine yakın olduğu belirlenmiştir. Yapılan sertlik testleri sonucunda ise en yüksek sertlik değerleri AA6013 ITAB'ında ölçülürken onu sırasıyla kaynak metali ve AA5754 ITAB'ı takip etmiştir. Mikroyapı incelemeleri sonucunda ise tüm kaynak metalinin dentritik yapıya sahip olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** AA5754, AA6013, Alüminyum alaşımları, Gazaltı kaynak

### Abstract

The use of aluminum alloys in industry have been increased in due to their excellent low weight, corrosion resistance also other good features. Different aluminum alloys are joined with together when need of a structure presents different physical or mechanical properties with together. In this study, different aluminum alloys AA5754 and AA6013 joined by GMAW (gas metal arc welding) method under different welding parameters. After that, three-point bending test was carried out and notch impact test was performed to determine toughness behavior of the joints. In addition, the weld zone is characterized with hardness test and microstructure studies. While the welded samples joined with convenient parameters were bended 180°, the cracks and fractures were occurred on the fusion line boundary of some samples due to unsuitable parameters. According to impact toughness test results, the highest toughness value was obtained from the HAZ (Heat affected zone) of AA5754. Besides, toughness values evaluated from the HAZ of AA6013 on the joints and weld metal were nearly same. With respect to hardness test results, the maximum hardness value was measured at the HAZ of AA6013 and this was followed by the weld metal and the HAZ of AA5754 sequentially. From the point of microstructure inspections, structures of all the weld metals were dendritic.

**Keywords:** AA5754, AA6013, Aluminum alloys, GMAW

## 1 Giriş

Alüminyum alaşım tekniğinin gelişmesi ile kullanım alanında artış meydana gelmiştir [1]. Alüminyum ve alüminyum alaşımları mukavemet özellikleri, hafif olmaları, elektrik ve ısı iletkenlikleri olması, korozyona karşı dirençleri sebebi ile geniş kullanım alanlarına sahiptir. Gıda, kimya, otomotiv ve gemi inşaat endüstrileri, taşıt, makina ve cihaz yapımı ile mimari alanda, inşaat, havacılık ve uzay endüstrilerinde ve özgül güce sahip olmalarından dolayı sanayide yaygın olarak kullanılmaktadır [2],[3].

5000 serisi alüminyum alaşımları Al-Mg alaşımlarıdır. Mg, Al matrisinde yüksek bir çözünürlük sınırına ve güçlü bir katı çözücü kuvvetlendirici etkiye sahiptir. Aynı zamanda, mükemmel sünekliğe sahiptir ve korozyon direnci çok iyidir. Deniz taşıtları üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır [4],[5]. Ana alaşım elementi bir diğeri olan Mg ve Si içeren 6000 serisi alüminyum alaşımlarının ekstrüzyon ve hadde kabiliyetlerinin iyi olduğu gibi korozyon dirençlerinin iyi olduğu bilinmektedir. Bu olumlu özelliklere ek olarak 6000 serisi alüminyum alaşımlarının

anodizasyon sonrası yüzeylerinin parlaklığını koruması da ticari olarak kullanım miktarının gün geçtikçe artmasını sağlamaktadır [6].

Kaynaklı birleştirme alüminyum alaşımları uygulamalarında önemli bir tekniktir [7]. Alüminyum alaşımları ergitmeli kaynaklardan TIG (Tungsten Inert Gas), MIG (Metal Inert Gas), plazma ve lazer kaynak gibi yöntemler ile birleştirilebilir. Alüminyum alaşım malzemelerde en çok kullanılan kaynak metodu ergiyen elektrot bir koruyucu gaz veya gaz karışımları altında yapılan MIG kaynak yöntemidir [8]. MIG kaynak yöntemi, iş parçası ile kaynak metali arasında ergiyen elektrodun oluşturduğu direnç ile ısınması yoluyla üretilir. Havanın olumsuz etkilerinden asal gaz ile korunarak uygulanan yöntemdir [9],[10].

Alüminyum alaşımlarının kaynaklı birleştirmeleri ile ilgili birçok farklı çalışmalar yapılmıştır. Ayyaz ve Çetinel kaynak kabiliyeti, mukavemet özellikleri ve ısı işleme uygunluk açısından farklılık gösteren AA5083 ve AA6013 alüminyum alaşımlarını farklı iki elektrot teli kullanılarak birleştirmiş, altı farklı numunedeki mekanik özellikleri, mikrosertlik taramaları, çekme, çentik darbe

ve üç nokta eğme deneyleri ile incelemişlerdir [11]. Çevik, 3 mm kalınlığında AA5754 alaşımlı levhaları robotik MIG kaynağı ile üç farklı kaynak akımında birleştirerek, makro ve mikroyapı ile sertlik dağılımı özelliklerini inceleme çalışması yapmıştır [5]. Nurveren ve Gündüz, AA6082-T6 alüminyum alaşımını beş farklı işlem parametresi seçerek MIG kaynağı ile iki farklı alaşımdan oluşan kaynak teli kullanarak birleştirmiş ardından kaynak işlemi uygulanan numunelere mikroyapı ve çekme-akma dayanımı ile sertlik gibi testler uygulamıştır [12]. Ruan ve diğ. yaptıkları çalışmada, MIG kaynağı esnasında kısmen SiO<sub>2</sub> akısından da yararlanarak AA6082-T6 alaşımlı plakanın mekanik özelliklerini ve sertlikteki değişimini incelemişlerdir [13]. Huang ve diğ. 10 mm kalınlığında 5083 alüminyum alaşımına lazer ve MIG yöntemlerinin beraber kullanıldığı hibrit kaynak işlemi uygulamışlardır. Kaynak işlemi yönünün lazer-MIG ve MIG-lazer sıralarıyla uygulamasının kaynaklı yapının mikroyapısı üzerindeki etkilerini araştırarak bu iki farklı yönelmenin sonuçlarını kıyaslamışlardır [14]. Liu ve diğ. 5083 alüminyum alaşımını TIG ve MIG kaynak yöntemleriyle birleştirmiş, bu iki kaynak yönteminin 5083 malzemesi üzerinde önemli derecede farklı mekanik özellikler sergilediği sonucuna ulaşmışlardır [15]. Jesus ve diğ. öncelikle AA5083 alüminyum alaşımını MIG yöntemiyle T köşe kaynak işlemiyle birleştirmiş ardından kaynak edilmiş parçaya sürtünme karıştırma kaynak işlemi uygulamıştır. Bu işlemle kaynaklı bağlantının yorulma dayanımı önemli derecede arttığını gözlemişlerdir [16]. Farklı iki alüminyum alaşımının kaynak işleminin yapıldığı bir çalışmada; Zhao ve diğ. AA6013 alüminyum alaşımı ve AZ31 magnezyum alaşımını su altında sürtünme karıştırma kaynak yöntemiyle birleştirmişlerdir. Sonucunda bu yöntemle mekanik özellikleri iyi olan kaynaklı bağlantı sağlamışlardır [17].

Ülkemizde imalat sektörlerinde çok geniş kullanım alanına sahip olan AA5754 ve AA6013 seri alüminyum alaşımlarının kaynak ile birleştirildiği göz önüne alındığında, bu malzemelerin kaynaklanabilirlik haritalarının bulunmadığı bir gerçektir. Yapılan kaynak işlemleri tamamen tecrübe ile yapılmakta ve herhangi bir şekilde başkaları ile paylaşılmamaktadır. Sunulan bu çalışmada söz konusu bu iki malzeme otomatik MIG kaynağı ile birleştirilmiştir. Birleştirme işlemlerinde 1.2 mm kalınlığında AA5754-H111 (H: deformasyon ile sertleştirilmiş H111: düşük seviyede gerilim ile sertleştirilmiş) ve AA6013-T6 (T6: çözeltiye alınıp suni yaşlandırılmış) alüminyum alaşımları, A510: ER5356 alaşımlı alüminyum ilave tel ve 12 l/min. gaz hızında argon gazı kullanılmıştır. Kaynak işlemleri 7 farklı parametre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Birleştirme işlemlerinin ardından, kullanılan kaynak parametrelerinin kaynaklı bağlantılar üzerinde meydana getirdiği mekanik ve mikroyapı özellik değişimleri incelenmiştir.

## 2 Malzeme ve yöntem

Kaynaklı birleştirme işlemlerinde kullanılan AA5754 -H111 ve AA6013-T6 alüminyum alaşımlı malzemelerin kimyasal içeriği Tablo 1'de, mekanik özellikleri ise Tablo 2'de verilmiştir.

Kaynak işlemi esnasında ilave kaynak teli olarak 1.2 mm çapında AWS A510: ER5356 dolgu metali kullanılmıştır. İlave telin kimyasal bileşimi Tablo 3'te mekanik özellikleri ise Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 1: AA754 ve AA6013 malzemelerinin kimyasal içeriği (%).

Malzeme	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Al
AA5754	0.4	0.4	0.1	0.5	2.6-3.6	0.2	0.3	0.15	Kalan
AA6013	0.5	0.6-1.0	0.8	0.6	1.0	0.25	0.1	0.1	Kalan

Tablo 2: AA5754-H111 ve AA6013-T6 malzemelerinin mekanik özellikleri.

Malzeme	%0.2 Uzama Sınırı R <sub>p0.2</sub> (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%50)	Sertlik (HB)
AA5754	80-100	190-215	24	50-55
AA6013	350	400	5	130

Tablo 3: Alüminyum alaşımlı ilave tele ait kimyasal özellikler (%).

Mg	Mn	Cr	Ti	Al
4.50-5.50	0.05-0.20	0.05-0.20	0.06-0.15	Kalan

Tablo 4: Alüminyum alaşımlı ilave tele ait mekanik özellikler.

Test Şekli	%0.2 Uzama Sınırı R <sub>p0.2</sub> (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama A5 (%)
Kaynak Sonrası	>110	>235	>17

Kaynak işlemlerinde kullanılacak olan levhalar 250 mm × 100 mm × 5 mm ölçülerinde kesilmiş, her bir alaşım türünden 7 adet olmak üzere toplamda 14 adet levha hazırlanmıştır. Birleştirilecek levhalar aralarında 1 mm boşluk kalacak şekilde puntalanmıştır. Kaynak işlemlerinde 7 farklı parametre kullanılmıştır. Kaynak parametreleri ve buna bağlı olarak hesaplanan ısı girdisi değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

Kaynak işlemleri tek pasoda sola kaynak yöntemi ile yapılmıştır. Kaynak sonrası numuneler açık havada soğumaya bırakılmıştır.

Tablo 5: Kaynak parametreleri.

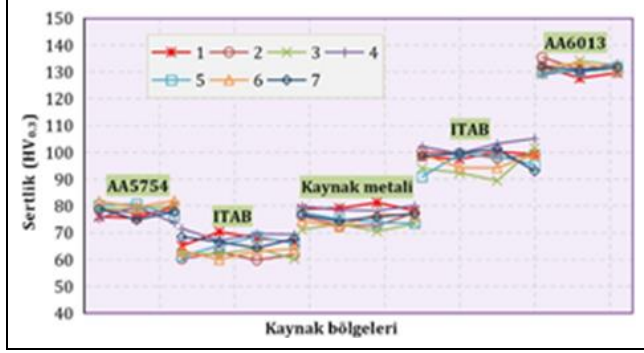
Numune No	Akım (A)	Kaynak Hızı (mm/s)	Gerilim (V)	Tel İlerleme Hızı (mm/min.)	Isı Girdisi (J/mm)
1		2.5			800
2	125	3		3	666.4
3		3.5			571.2
4		2.5	20		896
5	140	3		3.5	746.4
6		3.5			640
7	155	3.5		4	692.8

Kaynaklı numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek için üç nokta eğme deneyi ve çentik darbe deneyi, kaynak bölgesi karakterizasyonu için ise sertlik deneyi ve mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Ayrıca deneysel çalışmalar kapsamında kaynaklı numunelerin statik yükler karşısındaki mekanik özelliklerini belirlemek için çekme testi de yapılmış, ancak bu çalışmada sadece sonuçlar verilerek parametre tayininin belirlenmesine katkı sağlanması amaçlanmıştır. Üç nokta eğme deneyi TS EN ISO 5173 Standardına uygun olarak hazırlanarak numunelere 20 mm mandral çapı seçilmiş ve 5 mm/min. hızında Shimadzu marka test cihazında 180° eğme uygulanmıştır. Çentik Darbe deneyleri ise TS EN ISO 9016 standardına uygun olarak Detvotrans marka 48J deney cihazında Charpy yöntemiyle yapılmıştır. Sertlik ölçümlerinde Mikro Vickers metodu kullanılmış ölçümler 300 g yük altında Shimadzu marka sertlik ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı incelemeleri için standartlar dahilinde numunelere çoklu zımparalama ve ardından parlatma işlemi uygulanmış, dağlama işlemleri 190 ml saf su, 5 ml nitrikasit (HNO<sub>3</sub>), 3 ml hidroklorik asit (HCl) ve 2 ml hidroflorik asit (HF) ile 40 s sürede gerçekleştirilmiştir. Dağlama işleminden sonra numuneler NIKON Epiphot 200 model optik mikroskop ile incelenmiştir.

### 3 Bulgular ve tartışma

#### 3.1 Mikrosertlik

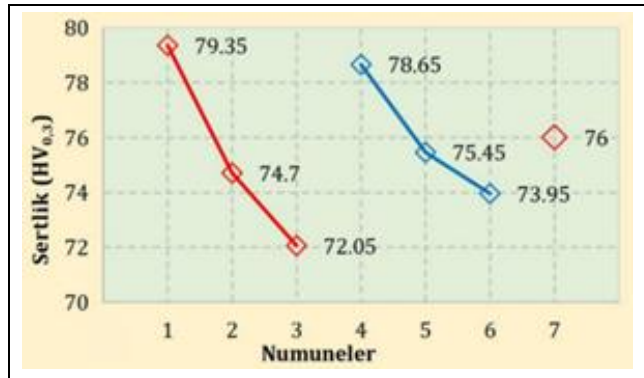
Mikrosertlik testleri; farklı kimyasal bileşime sahip alüminyum malzemeler (AA5754 ve AA6013) ve farklı kaynak parametrelerinde birleştirilmiş kaynaklı malzemelerin kaynak bölgelerindeki değişimleri belirlemek amacıyla uygulanmıştır. Sertlik testleri sonrası hesaplanan değerler grafik olarak Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1: Kaynak bölgesi sertlik değerleri.

Şekil 1’de verilen grafik incelendiğinde; AA6013 esas metalinde sertlik değerinin en yüksek olduğu, kaynak metaline doğru sertlikte bir düşüş seyrettiği, AA5754 ana malzeme ile kaynak metalini arasındaki ITAB’nın ise en düşük sertliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir. Tüm kaynaklı numunelerde ve birleştirmelerin her iki tarafındaki ITAB’larda kaynak esnasındaki ısıl işlem etkisi ile sertliklerde bir düşüş meydana geldiği belirlenmiştir.

Tel ilerleme hızı ve kaynak akımının sabit, kaynak hızının değiştirildiği numunelerin kaynak metalinden ölçülen sertlik değerleri incelendiğinde ısı girdisinin düşmesine bağlı olarak sertlik değerlerinde bir miktar düşme meydana geldiği tespit edilmiştir. Şekil 2’de bu düşüş grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2: Kaynak metalinin ortalama sertlik değerleri.

Şekil 2’de verilen grafik incelendiğinde normal şartlarda ısı girdisinin artmasıyla birlikte sertlikte bir düşüş meydana gelmesi beklenmektedir. Çünkü uygulanan fazla ısı girdisi, kaynak metalinin geç soğumasına dolayısıyla, tane irileşmesine sebep olmaktadır. Bu çalışmada ise bu durum tam tersi ile sonuçlanmış ve artan ısı girdisi sertliğin artmasına neden olmuştur. Kaynak metalini, ana malzeme(ler) ile ilave metalin karışımından meydana gelen ergimiş ve katılaşmış kısım olarak tanımlanmaktadır. Farklı malzemelerin kaynağı düşünüldüğünde, kaynak metalinin oluşumunda birden fazla ana malzeme ile birlikte ilave metalin etkisinin olması beklenmektedir. Bu durumda kaynak esnasında kaynak parametrelerinden tel ilerleme hızı, kaynak akımı ve kaynak hızının değişimi, ilave metal ile ana malzemelerin karışım

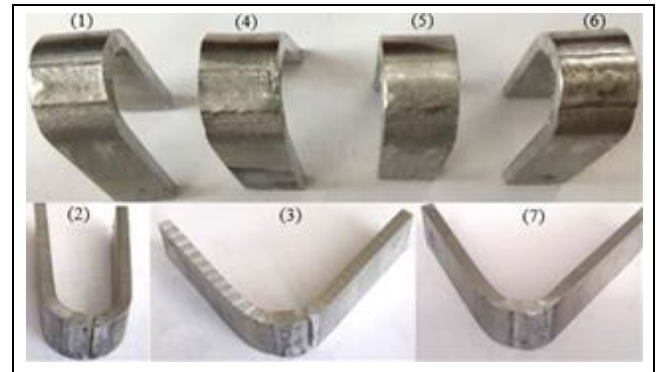
oranlarını değiştirerek bu bölgedeki metalürjik özelliklerin farklılaşmasına neden olmaktadır. Çalışma sonucunda AA5754 ana malzeme ile kaynak metalinden ölçülen sertlik değerlerinin birbirlerine çok yakın oldukları düşünüldüğünde, bu karışımda (kaynak metalini) AA6013 malzemenin sertlik üzerindeki etkisinin fazla olması beklenmektedir. Dolayısıyla kaynak metalindeki bu sertlik değişiminin ısı girdisinden ziyade, kaynak metalini bileşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Lakshminarayanan ve diğ. kaynak bölgesinden elde edilen sertlik değerleri arasındaki farkın önemli olduğunu ve yüksek ısıdan dolayı malzemenin iç yapısındaki dislokasyon hareketleri ve kristal yapıda meydana gelen değişimlerin bu duruma sebep olduğunu rapor etmiştir [18]. Başka bir çalışmada kaynak metalini sertliğinin düşük olmasını ilave malzeme sertliğinin düşük olmasına ve ısı girdisine bağlamışlardır [19].

#### 3.2 Üç nokta eğme deneyi

Farklı parametrede birleştirilmiş numunelere uygulanan 180° üç nokta kaynak kepi eğme deneyinde numunelerin kaynak metalini ve ITAB’ları göz ile yapılan muayene ile değerlendirilmiştir. 1, 4, 5 ve 6 No.lu numunelerde herhangi kırılma ve çatlama tespit edilmezken 2 No.lu numunede 150° civarında çatlak başlangıcı görülmüş ve 180° civarında kırılma gerçekleşmiştir. 3 ve 7 No.lu numunelerde ise eğilme esnasında yaklaşık 110° çatlama ve 120°’de kırılma meydana gelmiştir. Kırılmalar AA5754 ergime sınırında gerçekleşmiştir. Literatürde, kaynak akımının artmasının ya da azalmasının eğme deneyi sonuçlarını değiştirdiği rapor edilmiştir [20].

Eğme sonuçları aynı çalışma kapsamında başka bir çalışmada [21] verilen çekme sonuçlarıyla beraber değerlendirildiğinde 1, 4, 5 ve 6 No.lu numunelerin çekme dayanımlarının (221.17 ile 215.96 N/mm<sup>2</sup> arasında) AA5754 esas malzemeye (242.42 N/mm<sup>2</sup>) yakın olduğu, diğer 2, 3 ve 7 No.lu numunelerin ise ana malzemeye göre yaklaşık % 20-50 arasında düşük dayanım sergiledikleri belirlenmiştir. Dolayısı ile bu çalışmada verilen eğme sonuçlarının bir başka çalışmada [21] verilen çekme sonuçlarıyla uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Şekil 3’te üç nokta eğme sonrası numune görüntüleri verilmiştir.

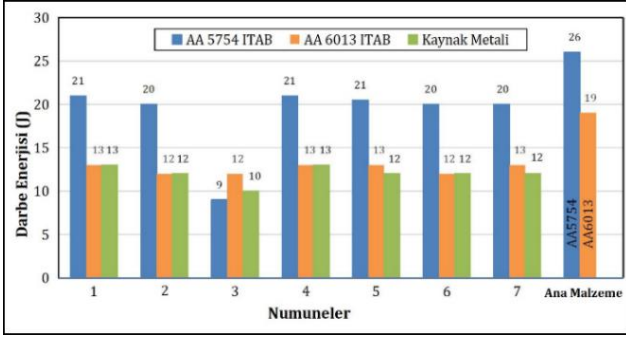


Şekil 3: Üç nokta eğme sonrası numuneler.

#### 3.3 Çentik darbe deneyi

Bu deney kaynak yöntemiyle birleştirilen numunelerin tokluk davranışlarını belirlemek için yapılmıştır. Kaynaklı numunelerin sonuçlarını ana malzemeler ile kıyaslayabilmek için AA5754 ve AA6013 alüminyum alaşımı ana malzemelere de çentik darbe deneyi uygulanmıştır. Çentik darbe deneyi sonuçları Şekil 4’te verilmiştir.





Şekil 4: Çentik darbe deney sonuçları.

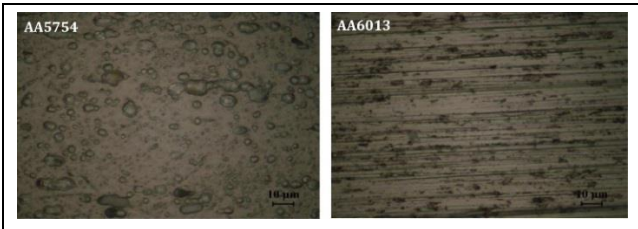
Şekil 4 incelendiğinde en yüksek darbe enerjisinin 26 J ile AA5754 esas metalinde ölçüldüğü, diğer ana malzeme AA6013'ün ise 19 J darbe emme enerjisi sağladığı görülmektedir.

Farklı kaynak parametrelerinde birleştirilmiş kaynaklı numunelerin kaynak metallerinin çentik darbe dayanımlarına bakıldığında, en yüksek değer 21 J ile 1, 4 ve 5 No.lu numunelerin AA 5754 esas metal ile kaynak metali arasındaki ITAB bölgesinden elde edilmiştir. Bu numuneleri 20 J ile 2, 6 ve 7 No.lu numuneler takip etmektedir. Bu bölgeden ölçülen değerler incelendiğinde sonuçların bir numune hariç (3 No.lu numune) birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. 3 No.lu numunenin diğer numunelere göre daha düşük sonuçlar içermesi sebebinin; numunenin ergime sınırında meydana gelen yetersiz ergimeden dolayı gerçekleştiği düşünülmektedir.

Literatürde, tüm numunelerdeki kırılma tiplerinin birbirlerine benzer ve sünek kırılma tipinde olduğu bazı birleştirmelerde ise, yetersiz birleşme bölgesindeki boşluğun, darbe testinde direkt olarak çentik etkisine yol açtığı gösterilmiştir. Tokluğun düşük çıkmasına neden olan kaynak metalinin çentik darbe kırılma enerjisinin ITAB'dan daha yüksek ölçüldüğünü rapor edilmiştir [18].

### 3.4 Mikroyapı çalışmaları

Farklı kaynak parametreleri ile birleştirilen malzemelerde tel ilerleme hızı (kaynak akımı) ve kaynak hızının kaynak mikroyapısı üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla numuneler optik mikroskop yardımı ile incelenmiştir. Ana malzemelerin (AA5754 ve AA6013) mikroyapı görüntüleri Şekil 5'te, farklı parametrelerde birleştirilen kaynaklı numunelere ait mikroyapı görüntüleri Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 5: Ana malzeme mikroyapıları.

Şekil 5'te görüldüğü üzere AA5754'e ait malzemenin ince taneli homojen çökelti dağılımlı bir yapıda olduğu, AA6013 ün ise tanelerin/görünür fazların hadde doğrultusunda paralel uzamış olduğu ve çökelti partikülleri net bir şekilde görülmektedir.

Şekil 6'da kaynaklı birleştirmeler incelendiğinde kaynak metali ve ITAB geçişlerinde tane büyüklükleri hariç yapıların birbirlerine benzedikleri görülmektedir. Burada parametre değişimi sonucu ısı girdisi değişmekte dolayısıyla da ısı girdisinin bir bölgede uzun süre kalması tane büyüklüğünü etkilemektedir.

Birleştirmelerin tamamında her iki ergime sınır hattının da düzenli bir geçiş bölgesinin oluşumu gözlemlenmektedir.

Ara yüzeyden elde edilen görüntülerde ise ana malzemeler ile ilave metalin son derece uyum içerisinde olduğunun bir göstergesi olarak değerlendirilebilir. Ayrıca geçiş bölgesinde gaz boşluğu vb. kaynak hatalarının bulunmaması da kaynak esnasında seçilen gaz debisi, ark boyu ve serbest tel uzunluğunun doğru seçilmesinin bir sonucudur. Görüntülerden çıkarılan bir başka sonuç, birleştirmenin AA6013 tarafında daha belirgin olmak üzere her iki ergime sınırına bitişik ITAB'da meydana gelen tane irileşmesidir. Birleşmenin AA6013 tarafındaki iri taneli bölgenin genişliği ısı girdisine bağlı olarak 250-400 µm aralığında görülmektedir.

Literatürde, kaynak metalinin hem esas metale hem ITAB'a göre daha ince taneli bir yapıya sahip olduğu belirtilmiştir [22]. Kaynak akımının MIG kaynaklı birleştirmelerde kaynak dikiş formunu, nüfuziyeti ve mikroyapısal özellikleri etkilediği, kaynak akımının artması, kaynak metalinin daha iri taneli olmasına neden olduğu rapor edilmiştir [5]. Kaynak birleştirme sonucunda bölgeler arasında mikroyapısal değişimler olduğu ve bu değişimlerin üzerinde kaynak hızı, süresi, parçaların boyutu ve geometrisinin de etken olduğunu belirtilmiştir [23]. Dendritlerin oluşmasının kaynak bölgesinin yavaş soğuma hızına bağlanabileceğine değinilerek [24], mikroyapı incelemesinde, değişik kaynak parametresi kullanıldığında farklı içyapı görüntüsü elde edildiği belirtilmiştir [8].

## 4 Sonuçlar

AA5754 ve AA6013 alaşımli alüminyum malzemelerin farklı kaynak parametrelerinde MIG kaynak yöntemiyle birleştirdiği bu çalışma sonucunda;

Kaynak esnasında uygun ilave metal ve kaynak parametreleri (tel ilerleme hızı ve kaynak hızı) seçildiğinde dayanımı yüksek kaynaklı birleştirmeler elde edilebilir.

Yapılan sertlik sonuçları incelendiğinde; en yüksek sertlik değerinin AA6013 ana malzemede, en düşük sertlik değerinin ise AA5754 ITAB'ında olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, tüm birleştirmelerin her iki tarafındaki ITAB'larda kaynak esnasındaki ısıl işlem etkisi ile sertliklerde bir düşüş meydana geldiği belirlenmiştir. 180° eğme deneyi sonucunda 1, 4, 5 ve 6 No.lu numunelerde herhangi bir kırılma ve çatlama hatası tespit edilmeyenken, 2, 3 ve 7 No.lu numuneler belirli bir eğme açısından sonra hasara uğramışlardır.

Kaynak metallerine uygulanan çentik darbe test sonuçlarına göre tel ilerleme hızı, kaynak akımı ve kaynak hızının artış/azalışına göre tokluk değerlerinde bir artış/azalışa rastlanılmamıştır. Mikroyapı çalışmaları sonucunda, tüm kaynak metali yapılarının dendritik olduğu ve tanelerin ergime sınırından kaynak merkezine doğru sütünsal olarak yönlendikleri görülmüştür. Ayrıca ısı girdisine bağlı olarak tane büyüklüklerinin etkilendiği belirlenmiştir.

## 5 Kaynaklar

- [1] Çetinkaya C, Tekeli S, Kurtuluş O. "Alüminyum alaşımlarının kaynaklanabilirliği ve kaynak parametrelerin mekanik özelliklere ve mikroyapıya etkisi". *Politeknik Dergisi*, 5(4), 321-333, 2002.
- [2] Kara R, Yıldırım G, Çolak F, Tınas M. "TIG ve elektrik ark kaynağı ile birleştirilen alüminyum plakaların mekanik özelliklerinin incelenmesi". *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4(2), 274-281, 2017.



Şekil 6: Birleştirilmiş numunelerin kaynak metali ve geçiş bölgesi mikro yapıları.



- [3] Sevim İ, Hayat F, Kaya Y, Kahraman N, Şahin S. "The study of mig weldability of heat-treated aluminum alloys". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 66, 1825-1834, 2013.
- [4] Jones RH, Baer DR, Danielson MJ, Vetrano JS. "Bir Al-Mg alaşımının gerilme korozyon kırılmasında Mg'nin rolü". *Metall Mater Trans*, 32, 1699-1711, 2001.
- [5] Çevik B. "MIG kaynağı ile birleştirilen 5754 Al alaşımının kaynak bölgesi özelliklerinin incelenmesi". *3rd International Conference on Material Science and Technology in Cappadocia (IMSTEC'18)*, Nevşehir, Turkey, 17-19 September 2018.
- [6] Vargel C. *Corrosion of Aluminium*. 2nd ed. Kidlington, UK. Elsevier, 2004.
- [7] Laiping L, Shanben C, Tao L. "The modeling of welding pool surface reflectance of alüminyum alloy pulse GTAW". *Materials science and Engineering A*, 394, 320-326, 2005.
- [8] Tatlı Z, Köse C. "AA 5754 alüminyum alaşımının robot (MIG) kaynağı ile birleştirilmesi ve mikroyapısının incelenmesi". *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS 11)*, Elazığ, Turkey, 16-18 May 2011.
- [9] Anık S. *Kaynak Tekniği El Kitabı, Yöntemler ve Donanımlar*. İstanbul, Türkiye, Gedik Holding AŞ. Yayınları, 1991.
- [10] Kahraman N, Gülenç B. *Modern Kaynak Teknolojisi, Genişletilmiş*. 3. Baskı. Ankara, Türkiye, Epa-Mat Basım Yayın Ltd. Şti, 2016.
- [11] Ayvaz M, Çetinel H. "Farklı alüminyum alaşımlarının tig kaynak yöntemi ile kaynatılması ve mekanik özelliklerinin incelenmesi". *Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi*, 7(1), 39-46, 2011.
- [12] Nurveren K, Gündüz BB. "6082 alüminyum alaşımının MIG kaynağı sonrası mikro yapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi". *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 909-916, 2018.
- [13] Ruan Y, Qiu XM, Gong WB, Sun DQ, Li YP. "Mechanical properties and microstructures of 6082-t6 joint welded by twin wire metal inert gas arc welding with the SiO<sub>2</sub> flux". *Materials & Design*, 35, 20-24, 2012.
- [14] Huang L, Wu D, Hua X, Liu S, Jiang Z, Li F, Wang H, Shi S. "Effect of the welding direction on the microstructural characterization in fiber laser-GMAW hybrid welding of 5083 aluminum alloy". *Journal of Manufacturing Processes*, 31, 514-522, 2018.
- [15] Liu Y, Wang W, Xie J, Sun S, Wang L, Qian Y, Meng Y, Wei Y. "Microstructure and mechanical properties of aluminum 5083 weldments by gas tungsten arc and gas metal arc welding". *Materials Science and Engineering A*, 549, 7-13, 2013.
- [16] Jesus JS, Costa JM, Loureiro A, Ferreira JM. "Fatigue strength improvement of GMAW T-welds in AA 5083 by friction-stir processing". *International Journal of Fatigue*, 97, 124-134, 2017.
- [17] Zhao Y, Lu Z, Yan K, Huang L. "Microstructural characterizations and mechanical properties in underwater friction stir welding of aluminum and magnesium dissimilar alloys". *Materials and Design*, 65, 675-981, 2015.
- [18] Kaya Y, Kahraman N, Durgutlu A, Gülenç B. "Farklı kaynak parametreleri kullanılarak alüminyum levhaların MIG kaynak yöntemi ile birleştirilebilirliği ve mikroyapı/mekanik özelliklerinin araştırılması". *3. Uluslararası Kaynak Teknolojileri Konferansı ve Sergisi Manisa, Türkiye*, 21-23 Mayıs 2014.
- [19] Lakshminarayanan AK, Balasubramanian V, Elangovan K. "Effect of welding processes on tensile properties of AA6061 aluminium alloy joints". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 40, 286-296, 2009.
- [20] Kırılı S. "Alüminyum Malzemelerin MIG Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Dikiş Geometrisine ve Mekanik Özelliklere Etkisi". Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2011.
- [21] Mercan E. "5XXX-6XXX Alüminyum Alaşımlarının Otomatik MIG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilebilirliğinin Araştırılması". Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2018.
- [22] Yürük A, Kahraman N. "Farklı alüminyum alaşımlarının MIG kayana yöntemi ile kaynak edilebilirliğinin incelenmesi". *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4, 894-901, 2016.
- [23] Yavuz N. "Alüminyum alaşımlarında silisyumun kaynak dikişi mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi". *Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(3), 441-445, 1997.
- [24] Yılmaz NF, Kurt Hİ, Oduncuoğlu M, Yılmaz M. "Ark saplama kaynak parametrelerinin 6013-T6 alüminyum alaşımları kaynak bölgesi mikroyapı ve mekanik özelliklere etkileri". *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 4(3), 578-583, 2017.