

Farklı İlave Metallerin AW 6061 Kaynaklı Bağlantıların Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerine Etkisi

Aybars BAĞLAN^{1,a}, Mustafa TÜMER^{1,b}

¹Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Havacılık Bilimi ve Teknolojileri Anabilim Dalı, Kocaeli

^aORCID: 0009-0001-9765-8874; ^bORCID: 0000-0002-1931-4750

Makale Bilgileri

Geliş : 05.06.2024

Kabul : 23.12.2024

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1605960

Sorumlu Yazar

Aybars BAĞLAN

aybarsbaglan@gmail.com

Anahtar Kelimeler

Alüminyum alaşımları

Mikroyapı

Sertlik

Mekanik özellikler

TIG

Atf şekli: BAĞLAN, A., TÜMER, M., ÖZÇELİK, G., (2024). Farklı İlave Metallerin AW 6061 Kaynaklı Bağlantıların Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerine Etkisi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 39(4), 897-905.

ÖZ

Havacılık endüstrisi, malzeme alanında meydana gelen değişimlere paralel olarak ağırlık azaltımı, mukavemet ve maliyet açısından alüminyum alaşımlarını giderek artan bir kullanım alanında tercih etmektedir. Ancak benzersiz özelliklerine rağmen alüminyum malzemelerin birleştirilmesinin kendine has zorlukları vardır. Kaynak yöntemi, kaynak parametreleri, doğru ilave metal seçimi ve ana malzemenin kapsamlı temizliği için belirli tekniklerin belirlenmesi gerekir. Isıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımlarından AW 6061, uygun işlemler neticesinde sergiledikleri mekanik özellikler ve korozyon dayanımları ile uçak gövde ve yapı elemanlarında tercih edilirler. Havacılık tamir-bakım kaynak işlemlerinde alüminyum alaşımlarında meydana gelen hasarların kaynak prosesleri ile giderilmesi yaygın bir uygulamadır. Bu çalışmada AW 6061'in Tungsten Inert Gas (TIG) kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ve elde edilen kaynak metallerinde ilave metalin yapısal performans etkisini belirlemek amacı ile mekanik ve mikroyapısal karakterizasyon gerçekleştirilmiştir. Birleştirme performansı açısından ER 4190 ilave metal ile elde edilen kaynak metal ER5356'ya göre daha iyi mekanik özellikler elde edilmiştir. Kaynaklı numunelere uygulanan çekme testi sonrasında tüm kopmalar ana malzemede meydana gelmiştir. ER 5356'nın çekme testi ile uyumsuz olarak sertlik açısından daha yüksek değerler elde edilmesinin nedeni geniş bir alanda oluşan kaynak havuzunun ısı etkisi altındaki bölgede intermetalik fazlarda meydana getirdiği çözünmeden kaynaklanmaktadır.

The Effect of Different Filler Metals on Mechanical and Microstructure Properties of AW 6061 Welded Joints

Article Info

Received : 05.06.2024

Accepted : 23.12.2024

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1605960

Corresponding Author

Aybars BAĞLAN

aybarsbaglan@gmail.com

Keywords

Aluminium alloys,

Microstructure,

Hardness,

Mechanical Properties,

TIG

How to cite: BAĞLAN, A., TÜMER, M., ÖZÇELİK, G., (2024). Farklı İlave Metallerin AW 6061 Kaynaklı Bağlantıların Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerine Etkisi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 39(4), 897-905.

ABSTRACT

The aviation industry increasingly prefers aluminum alloys due to their weight reduction, strength, and cost benefits, which are parallel with changes in material science. Despite their unique properties, joining aluminum materials presents its own set of challenges. Specific techniques must be determined for welding methods, welding parameters, proper filler metal selection, and thorough cleaning of the base material. Among aluminum alloys that can be heat treated, AW 6061 is preferred in aircraft fuselage and structural components due to its mechanical properties and corrosion resistance achieved through appropriate processes. In aviation repair and maintenance welding operations, it is common practice to address damage to aluminum alloys through welding processes. This study aimed to characterize the mechanical and microstructural performance of AW 6061 when welded utilizing TIG welding method and to evaluate the impact of filler metal on the structural performance. The welding metal obtained with ER 4190 filler metal demonstrated better mechanical properties than ER 5356. In the tensile test of the welded samples, all fractures occurred in the base material. In contrast to its tensile test performance, the higher hardness values observed with ER 5356 are due to dissolution in intermetallic phases in the heat-affected zone of the wide weld pool.

1. GİRİŞ

Kaynaklı birleştirmeler, hem maliyeti hem de yapısal bütünlüğü artırmak için hem askeri hem de ticari uçaklardaki [1] çeşitli bileşenlerde perçinlerin yerini almaya başlamıştır. Hava araçlarında gerçekleştiren birleştirmeler, uçak bakım maliyetini kontrol etmeye ve uzun arıza sürelerini önlemeye yardımcı olur. Hava araçlarında kullanılan kaynak uygulamaları, parça üretimi yanında bakım faaliyetlerini de içerir. Değiştirilmesi mümkün olmayan uçak bileşenlerinin onarılması bu yöntemle mümkündür. Bu nedenle hava araçlarının yapısal parçalarında çoğunlukla tercih edilmeyen ergitmeli kaynak yöntemleri, tamir-bakım faaliyetlerinde geniş kullanım alanı bulmaktadır.

Alüminyum alaşımlarının kaynak işlemlerinde, parametrelerinin yanı sıra malzemenin ve ilave metallerin kimyasal bileşimi, ısı girdisi, koruyucu gaz ve oksit tabakasının temizliği, birleştirmelerin mukavemeti üzerinde büyük bir etkiye sahiptir [2]. TIG kaynak yöntemi, alüminyum alaşımlarının birleştirilmesi için kullanılan en yaygın kaynak tekniklerinden biridir. İşlem sırasında, oksidasyon ve kirlenmenin oluşmasını önleyen ve ergimeyen tungsten elektrot kullanır. Bu işlem diğer ark kaynak yöntemlerine göre dar alanda daha yoğun bir ısı kaynağına sahiptir; dolayısıyla benzer maliyetle daha az distorsiyona sahip bağlantılar üretebilir. Fakat alüminyum malzemelerin birleştirilmesinde en önemli sorunlardan biri üretim şartları ile elde edilen mukavemet özelliklerinin birleştirme işlemi esnasında uygulanan ısı girdisi ile kaybedilmesidir. Kaynak metalinin özelliklerini iyileştirmek için yapılabilecek çok az şey vardır. Katı çözültü güçlendirmesi yararlı olabilir ve uygun dolgu metalinin seçimi, kaynak metali dayanımına önemli ölçüde katkıda bulunabilir [3]. AW 6061'in ergitme kaynağında iki yaygın problemin, ısıdan etkilenen bölge ve kaynak metalinde yumuşama veya sertleşmeye ilave olarak kaynakların özelliklerini bozabilecek gözeneklilik olduğu iyi bilinmektedir [4].

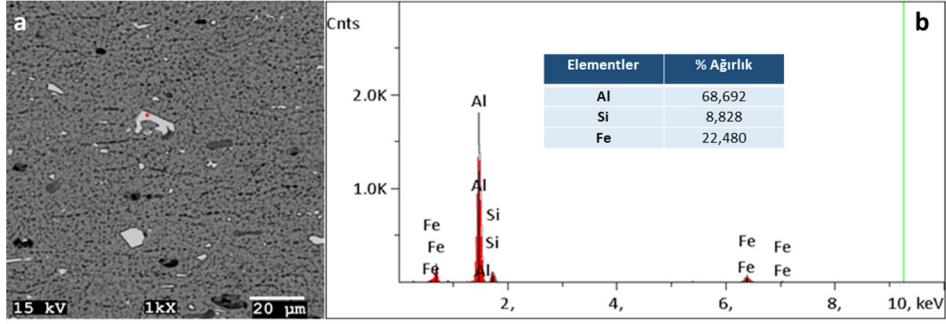
Aracı ve arkadaşları [5] kalın kesitli AW 6061 malzemeyi magnezyumlu ER5356 ve silisyumlu ER4043 ilave metalleri ile 7 pasoda birleştirmiş ve uygulanan çekme testlerinde kopma ana malzemede meydana gelmiştir [5]. Yılmaz ve Fındık [6] yaptıkları çalışmada aynı malzemede koruyucu gazı etkilerini araştırmıştır. Yazarlar çalışmanın sonuçlarında, He gazının yüksek ısı iletkenliği ve iyonlaşma enerjisi nedeniyle koruyucu gaz bileşimindeki He içeriğinin artmasıyla kaynak bağlantısındaki gözeneklilik oranı azaldığını fakat ısı etkisi altındaki bölgenin genişlediğini belirtmişlerdir. CheLah ve Hussin [7] TIG kaynak yöntemi ile birleştirdikleri AA6061 alüminyum alaşımında ilave metallerin etkisini araştırmıştır. Yazarlar, ER 4043 kullanılarak üretilen birleştirmeleri, ER 5356 ile üretilen kaynak metalleri ile karşılaştırdığında birleştirmenin mukavemet değerinde yaklaşık %12 oranında iyileşme elde edildiğini rapor etmiştir. Lakshminarayanan ve arkadaşları [8] AW 6061 alaşımının metal inert gaz (MIG), TIG ve sürtünme karıştırma (FSW) kaynak yöntemleri ile elde edilen birleştirmelerin mekanik özellikleri incelemiştir. Kaynak metali mikroyapısında ince, eş eksenli tanelerin oluşumu ve homojen dağılmış, çok ince mukavemet artırıcı çökeltilerin varlığı tespit edilmiştir. FSW ile elde edilen birleştirmenin TIG ve MIG birleştirmelerine göre daha yüksek çekme özelliklerine sahip olduğu ortaya konmuştur.

Alüminyum alaşımlarının birleştirilmesinde ilave metal seçimi istenilen mukavemet değerlerinin elde edilmesi açısından önemlidir [1]. Bu çalışmada uçağın kanat kaplamalarında, gövde panellerinde ve motorun fan bacası ve thrust reverser bölgelerinde kullanılan AW 6061 alüminyum alaşımı malzeme TIG kaynak yöntemi ile ER 4190 ve ER 5356 ilave metalleri kullanarak birleştirilmiştir. Bu sayede farklı kimyasal kompozisyona sahip ilave metallerin sunduğu mikroyapısal farklılıklar incelenmiş, mikroyapıya bağlı olarak mekanik özelliklerde meydana gelen farklılıklar değerlendirilmiştir.

2. YÖNTEM

2.1. Ana Malzeme

Havacılık malzemesi olarak kullanılan AW 6061 çökelme sertleşmeli alüminyum alaşımı bu çalışmanın ana malzemesidir. Şekil 1'de ana metalin optik ve taramalı elektro mikroskopu ile elde edilmiş mikroyapılarını göstermektedir. $Mn_{12}Si_7Al_5$ veya $(Fe,Mn)_3SiAl_{12}$ ve Mg_2Si gibi ikinci faz parçacıkları alüminyum katı çözültisinde bulunmaktadır[9]. SEM (scanning electron microscope) görüntüsünde görülen beyaz çubuk şeklindeki parçacıklar Şekil 1b'deki EDS (Energy Dispersive Spectrometry) analizi ile metaller arası AlFeSi bileşiklerinin karmaşık formları olarak tanımlanabilir.



Şekil 1. Ana metalin mikroyapısı (a) SEM ve (b) EDS analizi

2.2. Birleştirme İşlemi

AW 6061 alüminyum alaşımının birleştirilmesinde ER5356 (AlMg5Cr) ve ER4190 (AlSi5) ilave metalleri kullanılmıştır. Malzeme kalınlığı 1,3 mm'dir. Bu alaşım AW 6082'ye eşdeğerdir, ancak daha yüksek Cu içeriği nedeniyle korozyon direnci biraz daha düşüktür. Kullanılan ana malzeme ve ilave metallerin kimyasal içerikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Verilen kimyasal değerler Faundry Oxford optik emisyon spektrometre kullanılarak elde edilmiştir. Birleştirme işleminde Miller Syncrowave 350LX TIG kaynak makinası kullanılmıştır. Kaynak ve kök gazı olarak Argon kullanılmıştır. Kaynak esnasında gaz debisi 5 L/dak olarak kullanılırken, kök gazı işleminde bu değer 10 L/dak olarak kullanılmıştır. Kök gazı ile birleştirme işlemi, özel hazırlanmış bir fikstür üzerinde yapılmıştır (Şekil 2). Birleştirme işlemi esnasında kullanılan parametrelerin birbirine yakın olması nedeni ile ısı girdileri hemen hemen birbirine eşittir ve kullanılan parametre değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. 125*80*1.3 mm³ boyutundaki parçaların birleştirilmesi sonucu elde edilen bağlantıların görüntüleri Şekil 3'de verilmiştir.



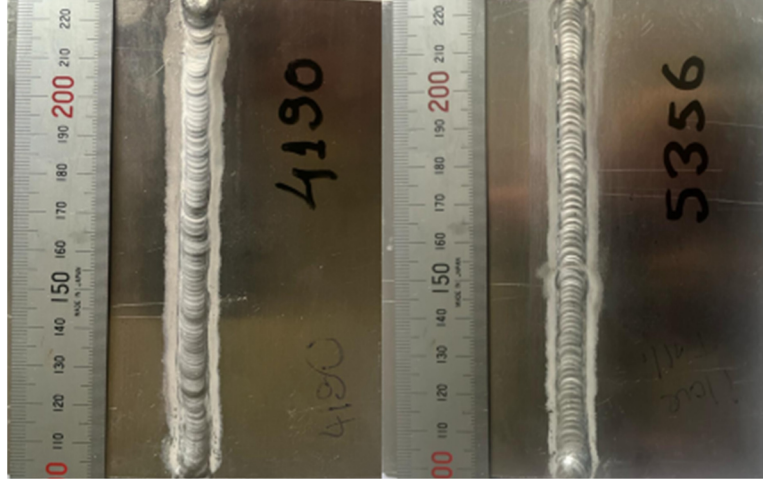
Şekil 2. Kök gazı kullanarak TIG kaynak yöntemi ile AW 6061 malzemenin birleştirme işlemi

Çizelge 1. Ana malzeme ve ilave metallerin elementel içerikleri (% ağırlık), mekanik özellikleri

Element (% ağırlık)	AW 6061	ER 5356	ER4190
Al	96,95	95,77	95,11
Si	0,67	-	4,69
Cu	0,35	-	0,02
Mg	1	4,02	-
Cr	0,12	0,06	-
Mn	0,12	0,15	0,02
Fe	0,470	-	0,16
Akma dayanımı (MPa)	279	120	124
Çekme dayanımı (MPa)	338	270	186
% Uzama	14,6	28	8

Çizelge 2. Birleştirme esnasında kullanılan kaynak parametreleri

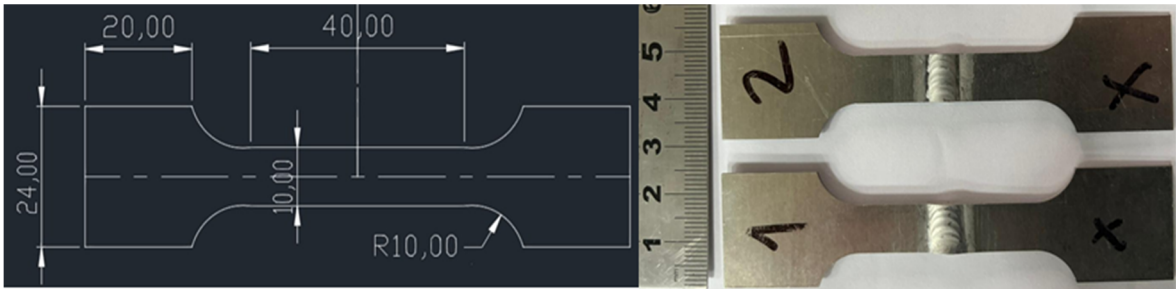
Parametreler	ER 4190	ER5356
Akım (A)	70	70
Gerilim (V)	11,8	11,8
Kutuplama	Alternatif Akım	
Kaynak hızı (mm/s)	1,37	1,33
Isı girdisi (kJ/mm)	0,36	0,37



Şekil 3. Farklı ilave metaller ile birleştirilen AW6061 malzemeler

2.3. Mikroyapısal ve Mekanik Karakterizasyon

Farklı ilave metalleri ile birleştirilen AW 6061 malzemenin kaynak bölgesinin mikroyapı görüntülemeleri, hem Olympus optik mikroskop (Olympus BX41M-LED) hem de taramalı elektron mikroskobu (Jeol JSM – 6060 – IXRF) kullanılarak gerçekleştirildi. Metalografik işlem sürecinde tüm yüzeyler sırasıyla 320, 600, 1000, 2500, 4000 mesh'lik SiC esaslı zımpara kağıtları kullanılarak zımparalanmış, nihai parlatma 3 ve 1 μm 'lik çuha ile elmas solüsyon kullanılarak yapılmıştır. Parlatılmış konumdaki numune Modified Poulton's (30 ml HCl, 40 ml HNO₃, 2,5 ml HF, 12 g Cr₂O₃, 42,5ml H₂O) dağlayıcısı ile 3 saniye boyunca kimyasal olarak dağlanmıştır. Kaynak bölgesinin sertlik dağılımını belirlemek için ana malzeme, ısı etkisi altındaki bölge ve kaynak bölgesini kapsayan vickers mikrosertlik taraması yapıldı. Sertlik ölçümünde 0,5 kgf yük kullanıldı. Birleştirilmiş parçalara çekme testi TS EN ISO 4136 göre iki adet uygulandı. Çekme testi numune ölçüleri ve hazırlanan numunelerin görüntüsü Şekil 4'de gösterilmiştir. Çekme hızı 2 mm/dk olarak seçildi.



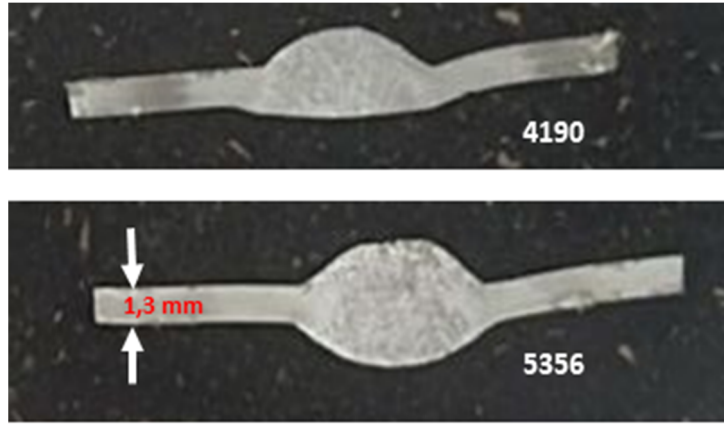
Şekil 4. Çekme test numuneleri

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Gramaj Testi Sonuçları

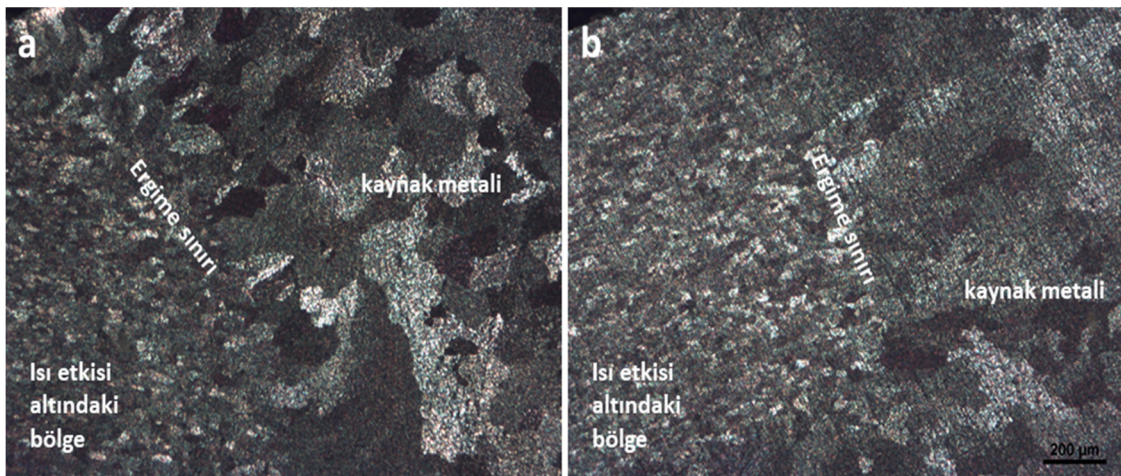
Düşük kalınlıktaki alüminyum alaşımları geleneksel olarak TIG kaynak yöntemi ile alternatif akım kullanılarak birleştirilir. Alüminyum alaşımlarının yüzeyinde oluşan oksit tabakası iyi temizlenmediği

zaman ergime güçlüğü ve kaynak metali içerisinde hacimsel hataların gelişmesine neden olabilir. Bu durum, ergime noksanlığı ve dolayısı ile birleştirme mukavemetinde düşüşe neden olmaktadır[10]. Çökeltme sertleştirilmesi ile mukavemeti artırılan AW 6061 alüminyum alaşımlarında ısı etkisi altındaki bölgede önemli bir güç kaybı olabilir. Si elementi tek başına matris içinde mukavemeti ve sünekliliği arttırırken, magnezyum ile birlikte çökeltme sertleşmesi sağlar. Şekil 5’de elde edilen birleştirmelere ait makrograflar gösterilmiştir. Birleştirmelerin herhangi bir hacimsel kusur veya ergime noksanlığı meydana gelmemiştir. Fakat ER 5356’nın kaynak bölgesinin daha geniş olmasının nedeni, dolgu metallerinin alaşım elementlerinin farklılığından kaynaklanan ısı dağılımı ve akışkanlık oranı etkisinden dolayı kaynaklanmaktadır [11].

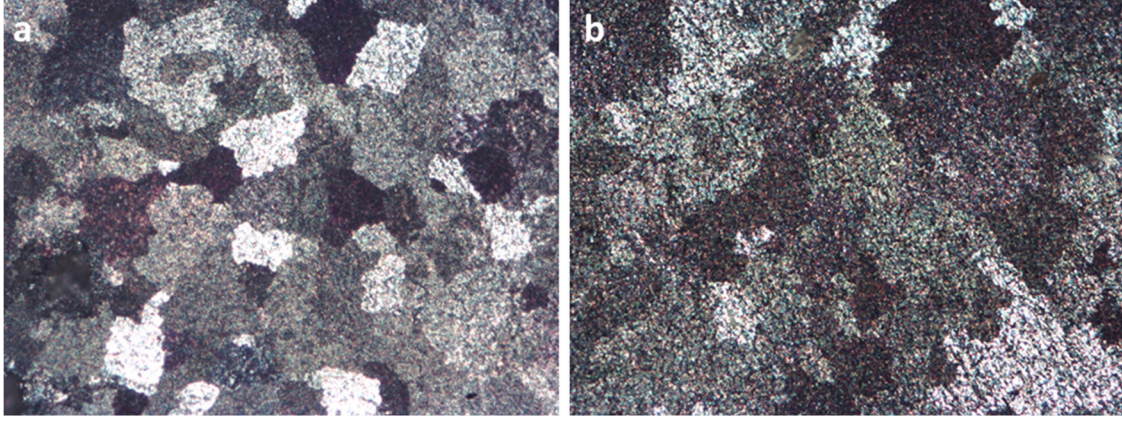


Şekil 5. Kaynak metallerinin makroyapısı a) ER 4190 b)ER 5356

AW 6061 alaşımının mukavemeti α fazında Mg_2Si çökeltilerinin oluşması sonucu oluşur. Bu çökeltiler kaynak sırasında ergime nedeniyle kaynak metalinde tamamen çözünür ve bu da birleştirme yerindeki kaynak metalinde yumuşama etkisine neden olur [12]. ER 4190 ve ER 5356 numunelerini kaynaklı bölge ve ısıdan etkilenen bölgeleri Şekil 6 ve 7’de incelenmiştir. Mikroyapı görüntüleri, kaynak metali ve kaynak metali/ısıdan etkilenmiş bölge arayüzünde belirgin bir katılma çatlağı olmadığını göstermektedir (Şekil 6). Makroyapılarda belirgin bir gözenekliliğin olmadığı mikroyapılarla da desteklenmektedir. Silisyumun hidrojen emilimi magnezyum kadar az olmasa bile gözeneklilik oluşmamıştır. Burada TIG kaynak yönteminin sağladığı sakin ark oluşumunun etkisi vardır [3]. Kaynak metalleri mikroyapısı eş eksenli bir tane dizilimine sahiptir. Silisyumun sağladığı düşük ergime sıcaklığı hızlı katılaşmaya neden olur ve bu durum tanelerin büyümesinde en önemli engellerden biridir [13]. ER 4190 telinin yüksek silisyum içeriği kaynak havuzunun akışkanlığını artırır ve katılma sıcaklığını düşürür. Bu, daha düzgün bir mikroyapı sağlar. ER 5356 numunesindeki dar ve eş eksenli olmayan ER 4190’dan daha kaba tane yapısına sahip olması, katılma hızıyla ilişkilidir ve artan katılma süresi [7] tanelerin büyümesine neden olmuştur (Şekil 7).

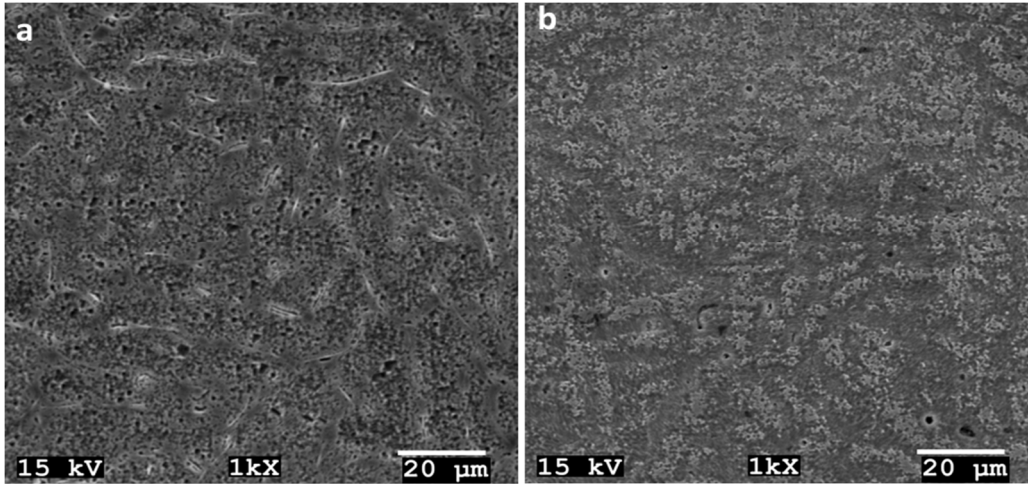


Şekil 6. Ergime sınırı bölgesi mikroyapısı a) ER 4190 b) ER 5356



Şekil 7. Kaynak metali mikroyapısı a) ER 4190 b) ER 5356 (LOM)

Katı çözelti içerisinde dağılmış uzun beyaz parçacıklar, ER4190 ilave metali ile oluşturulan kaynak metalinin tane sınırları boyunca dağılmıştır (Şekil 8a). Silisyumun kimyasal içerikte fazla bulunması, kaynak bölgesinde silisyum elementi bakımından zengin çökeltilerin oluşumuna neden olur. Bu nedenle mikroyapı genel olarak, α -Al, ötektik Si, Mg_2Si , α -Al(FeMn)Si ve β -AlFeSi intermetaliklerinden oluştuğu daha önceki çalışmalarda da ortaya konmuştur [14]. Mg_3Al_2 intermetalik bileşikler, Şekil 8b'de gösterildiği gibi, ER 5356 ilave metali ile oluşturulan kaynak metalinin katı çözeltilisinde uniform bir şekilde dağılım göstermektedir.



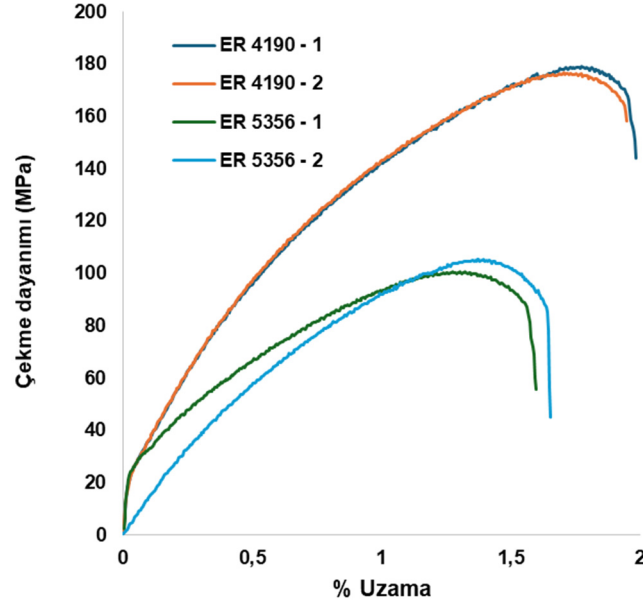
Şekil 8. Kaynak metali mikroyapısı (SEM) a) ER 4190 b) ER 5356

3.2. Mekanik Özellikler

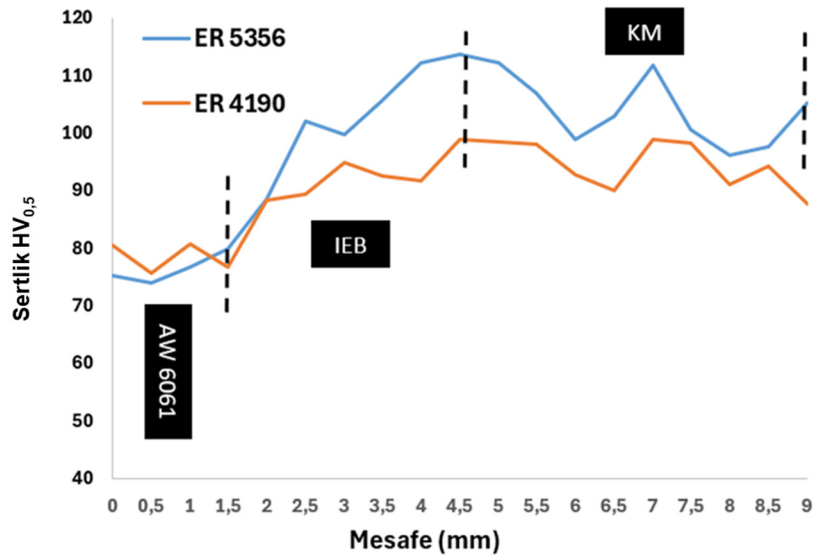
Kullanılan ilave metaller ile elde edilen birleştirmelerden elde edilen numunelere uygulanan enine çekme deneyi sonuçları Şekil 9'da gösterilmiştir. Elde edilen % uzama, çekme ve akma dayanımı ise değer olarak Çizelge 3'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde ER 4190 ile elde edilen birleştirmenin mukavemetinin ER 5356'ya göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca ER 4190, ER 5356'ya kıyasla kısmen daha iyi sünekliğe sahiptir. Dolgu metalinin kimyasal bileşimi ile ana malzemede meydana gelen seyrelme etkisi, yeni kaynak metalinin kimyasal kompozisyonunu etkiler. Ayrıca, mikroyapıda çökelen intermetalik bileşiklerin mekanik özellikler üzerindeki etkisi de yadsınamaz. Yelamasetti ve arkadaşlarının yaptığı iki çalışmada [15,16] bu çalışma ile aynı ilave metaller kullanılarak, TIG ve MIG yöntemlerinin birleştirme üzerindeki etkisini araştırmışlardır. MIG yönteminde, ER4043 dolgu metali ile elde edilen birleştirmeler ER 5356 dolgu metali ile meydana getirilenden daha yüksek çekme mukavemeti sunarken bu durum TIG birleştirme yönteminde tam tersi olduğunu rapor etmiştir. Çekme testi sonucunda kırılmaların hepsi ana malzemede meydana gelmiştir. Fakat düşük et kalınlığı ile ısı girdisinin geniş bir bölgede maruz bıraktığı etki Mg_2Si intermetaliklerinin çözünmesine ve ana malzeme ve kaynak metali arasında düşük mukavemete sahip bir alanın oluşmasına neden olmuştur. Bu durum ana malzemedan daha düşük mukavemet değerlerinin elde edilmesi ile sonuçlanmıştır.

Çizelge 3. ER 4190 ve ER 5356 dolgu metalleri ile birleştirilmiş AW 6061 alaşımının çekme testi sonuçları

	ER 4190	ER5356
Çekme dayanımı R_m (MPa)	$177,9 \pm 0,14$	$102,95 \pm 3,46$
Akma dayanımı $R_{0,2}$ (MPa)	$141,5 \pm 1,69$	$92,2 \pm 4,94$
Uzama %	$1,97 \pm 0,03$	$1,63 \pm 0,03$

**Şekil 9.** ER 4190 ve ER5356 dolgu metalleri kullanılarak elde edilen birleştirimin gerilim-gerinim eğrisi

Kaynak bölgelerinin sertlik grafiği Şekil 10'da gösterilmiştir. Kaynak metalleri (KM) ana malzeme ve ısı etkisi altındaki bölgeden (IEB) daha yüksek sertliğe sahiptir. Sonuçlar, ilave metallerin farklı kimyasal kompozisyonu ile sağladığı katı çözelti ve çökelme sertleşmesi mekanizmalarının birleştirme performansını arttırdığını göstermektedir. Sertlik profilleri incelendiğinde, ER 5356 (105 ± 6 HV_{0,5}), ER 4190 (95 ± 5 HV_{0,5}) kullanılan birleştirmeye kıyasla daha yüksek bir değer göstermiştir. Muhtemelen sertlikteki artış, yüksek sıcaklıklarda ergime işlemi sırasında intermetalik faz oluşumunu teşvik eden dolgu metalindeki (%4,02) Mg elementlerinin miktarı ile ilişkilidir. Metallerarası fazlar iyi bir sertliğe sahiptir ancak bu fazlar metalin sünekliliğine ve mukavemetine zarar vermiştir.

**Şekil 10.** Mikrosertlik sonuçları

4. SONUÇLAR

ER4190 ve ER 5356 ilave metalleri ile TIG yöntemi kullanılarak AW 6061-T6 alüminyum alaşımı malzeme hatasız olarak birleştirilerek mekanik ve mikroyapı karakterizasyonu yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre;

- ER4190 kaynak metali mikroyapısı ER5356 ilave metalinin mikroyapısına göre daha düzenli eşeksizli tanelerden oluşmaktadır.
- Birleştirme bölgesinde meydana gelen yeni intermetalik oluşumlar, mukavemet artışına neden olmuştur. Bu nedenle, çekme testi numunelerinin hepsi çözünen çökeltilerin etkisiyle ana malzemeden kopmuştur
- İki kaynaklı bağlantıdan ER 4190 ilave metali kullanılarak elde edilen birleştirme, ER 5356'ya kıyasla çok daha yüksek mukavemet değerleri elde edilmiştir. Fakat süneklik her iki birleştirmede ciddi oranda düşmüştür.
- ER 5356 ilave metalinin sağlandığı daha yüksek sertliğe rağmen, geniş bir bölgede gerçekleşen ergime bölgesi sonucu meydana gelen dönüşümler nedeni ile istenilen mukavemeti sağlamamıştır.

5. KAYNAKLAR

1. Verma, R.P., Pandey, K.N., Sharma, Y., 2015. Effect of ER4043 and ER5356 filler wire on mechanical properties and microstructure of dissimilar aluminium alloys, 5083-O and 6061-T6 joint, welded by the metal inert gas welding. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 229, 1021-1028.
2. VettumPerumal, S., Suyamburajan, V.A., Chidambaranathan, V.S., Nelson, L., 2023. Characterization of microstructure and mechanical behaviour in activated tungsten inert gas welded dissimilar AA joint of AA 5083 and AA 6061 alloys. Journal of the Institution of Engineers (India): Series D, 105, 1867-1873.
3. Mathers, G., 2000. Welding of aluminum and its alloys. Published in North America by CRC Press LLC, 242.
4. Yadav, A.K., Agrawal, M.K., Saxena, K.K., Yelamasetti, B., 2023. Effect of GTAW process parameters on weld characteristics and microstructural studies of dissimilar welded joints of AA5083 and AA6082: optimization technique. International Journal of Interactive Design and Manufacturing, 18, 1151-1160.
5. Arıcı, R., Köksal, N.S., Ömeroğlu, E., 2015. AA6061 alaşımının iki farklı dolgu teli kullanılarak TIG kaynağında özelliklerin incelenmesi. Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11(2), 233-239.
6. Yılmaz, E., Fındık, F., 2022. Effect of shielding gas on microstructure and mechanical properties in AA6061-T6 alloy MIG welding. Periodical of Engineering and Natural Sciences, 10, 268-277.
7. Che Lah, N.A., Hussin, M.H., 2020. Influence of alloying element in filler metal on mechanical properties of A6061 Al alloy welded joints. International Journal of Engineering and Advanced Technology, 9, 661-666.
8. Lakshminarayanan, A.K., Balasubramanian, V., Elangovan, K., 2009. Effect of welding processes on tensile properties of AA6061 aluminium alloy joints. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 40, 286-296.
9. Naing, T.H., Muangjunburee, P., 2022. Metallurgical and mechanical characterization of MIG welded repair joints for 6082-T6 aluminum alloy with ER 4043 and ER 5356. Transactions of the Indian Institute of Metals, 75, 1583-1593.
10. Dewangan, S., Reddy, A.P., Sunder, S.S.S., 2023. Mechanical property analysis into the welded plates of Al-6061 joined by TIG and FSW techniques. Journal of the Institution of Engineers (India): Series D. 105, 1703-1713.
11. Othman, N.K., Bakar, S.R.S., Jalar, A., Syarif, J., Ahmad, M.Y., 2011. The effect of filler metals on mechanical properties of 6 mm AA 6061-T6 welded joints. Advanced Materials Research, 154-155, 873-876.
12. Gündoğdu İş, E., Atapek, Ş.H., Yılmaz, M., 2023. Effect of welding speed and shielding gas composition on the properties of laser welded EN AW 6061-T6 Al alloy using 5356 filler metal. Journal of Laser Applications, 35(3), 032006, 1-13.

13. Anderson, T., 2010. American welding aluminum: Questions and answers: A practical guide for troubleshooting aluminum welding-related problems. Welding Society, Product Development Committee.
14. Ahmed, M., Javidani, M., Maltais, A., Chen, X.G., 2024. Microstructure and mechanical properties of high-strength AA6011 aluminum alloy welding with novel 4xxx filler metals. *Materials (Basel)*, 17(2), 380.
15. Venkat Ramana, G., Yelamasetti, B., Vishnu Vardhan, T., 2021. Study on weldability and effect of post heat treatment on mechanical and metallurgical properties of dissimilar AA 2025, AA 5083, and AA7075 GTAW weld joints. *Materials Today: Proceedings*, 46, 878-882.
16. Yelamasetti, B., Venkat Ramana, G., Vishnu Vardhan, T., 2021. Weldability and mechanical properties of AA5052 and AA7075 dissimilar joints developed by GTAW process. *Materials Today: Proceedings*, 47, 4162-4166.

