



# Kahramanmaraş Sütçü İmam University

## Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 25.07.2025  
Kabul Tarihi : 03.12.2025

Received Date : 25.07.2025  
Accepted Date : 03.12.2025

### AA5083-H321 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ FARKLI KAYNAK HIZLARINDA MIG KAYNAK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLMESİ VE MEKANİK- MİKROYAPISAL ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ

#### JOINING OF AA5083-H321 ALUMINUM ALLOY BY MIG WELDING AT DIFFERENT WELDING SPEEDS AND INVESTIGATION OF MECHANICAL AND MICROSTRUCTURAL PROPERTIES

İpek KAVASOĞLU<sup>1\*</sup> (ORCID: 0000-0002-4959-7747)

Mehmet ERMURAT<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0002-5661-2108)

Serdal ÖZÇELİK<sup>2</sup> (ORCID: 0009-0004-6648-4412)

Beril ÖZÇELİK<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0002-0702-0106)

<sup>1</sup> Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

<sup>2</sup> Beril Teknik, Kahramanmaraş, Türkiye

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: : İpek KAVASOĞLU, kavasoglu.2112@gmail.com

#### ÖZET

Bu çalışma, AA5083-H321 alüminyum alaşımının Metal Inert Gas (MIG) kaynak yöntemiyle farklı kaynak hızlarında birleştirilmesi sonucunda oluşan mekanik ve mikroyapısal değişimleri incelemeyi amaçlamaktadır. Deneyleerde, 3 mm/s, 4,5 mm/s, 6 mm/s ve 8 mm/s olmak üzere dört farklı kaynak hızı kullanılarak 150 mm x 300 mm x 3 mm boyutlarındaki levhalar alın kaynağı ile birleştirilmiştir. Mekanik özellikler çekme ve eğme testleriyle değerlendirilmiş, mikroyapı ve sertlik değişimleri ise mikrosertlik ölçümleri ve metalografik incelemelerle analiz edilmiştir. Ayrıca, kaynak sırasında oluşan termal etkileri belirlemek amacıyla sekiz noktadan K tipi termokupullarla sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Bulgular, kaynak hızının mikroyapı ve mekanik özellikler üzerinde önemli etkiler yarattığını göstermiştir. Yüksek hızlarda daha ince ve homojen tane yapıları elde edilirken, Isı Tesiri Altındaki Bölge'inde (ITAB) sertlik düşüşü, kaynak metalinde ise artış gözlenmiştir. En yüksek çekme dayanımı (269 MPa) düşük hızlarda, en iyi süneklik ise 6 mm/s hızda elde edilmiştir. Sıcaklık verileri, artan kaynak hızının maksimum sıcaklık ve daha hızlı soğuma sağladığını ortaya koymuştur.

**Anahtar Kelimeler:** AA5083-H321, MIG kaynak, kaynak hızı, mikroyapı, mekanik özellikler

#### ABSTRACT

This study aims to investigate the mechanical and microstructural changes resulting from the joining of AA5083-H321 aluminum alloy using the Metal Inert Gas (MIG) welding method at different welding speeds. In the experiments, butt welding was performed on AA5083-H321 plates with dimensions of 150 mm x 300 mm x 3 mm, utilizing four constant welding speeds: 3 mm/s, 4,5 mm/s, 6 mm/s, and 8 mm/s. Mechanical properties were evaluated through tensile and bending tests, while microstructural and hardness changes were analyzed by means of microhardness measurements and metallographic examinations. Additionally, temperature measurements were taken at eight different points using K-type thermocouples to determine the thermal effects occurring during the welding process. The findings revealed that welding speed significantly affects both the microstructure and mechanical properties. At higher welding speeds, finer and more homogeneous grain structures were obtained, while a decrease in hardness was observed in the Heat-Affected Zone (HAZ) and an increase in the weld metal. The highest tensile strength was achieved at lower welding speeds, whereas the best ductility was obtained at 6 mm/s. Temperature data showed that increasing the welding speed led to lower peak temperatures and faster cooling rates.

**Keywords:** AA5083-H321, MIG welding, welding speed, microstructure, mechanical properties

## GİRİŞ

AA5083-H321 alüminyum-magnezyum alaşımı, yüksek korozyon direnci, mekanik dayanım ve kaynaklanabilirlik gibi özellikleriyle özellikle denizcilik ve yapısal uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (ASTM International, 2015, 2021). Magnezyum, manganez ve az miktarda krom içeren bu alaşım, zorlu çevresel koşullarda, özellikle deniz ortamında, dayanıklılığını korur ve endüstriyel alanlarda yaygın olarak tercih edilir.

MIG kaynak yöntemi, yüksek verimlilik, düşük ısı girdisi ve yüksek kaynak kalitesi gibi avantajlarıyla otomotiv, gemi yapımı, havacılık ve inşaat sektörlerinde yaygın olarak kullanılmakta ve özellikle AA5083-H321 gibi alüminyum alaşımlarının birleştirilmesinde tercih edilmektedir (Anık & Vural, 2011; Yürük vd., 2021). Öte yandan, yöntemin bazı sınırlayıcı yönleri de söz konusudur ve bu nedenle kaynak işlemi sırasında uygun koşulların sağlanması son derece önemlidir. MIG kaynağının olumsuz yönleri arasında, ekipman maliyetlerinin yüksekliği, koruyucu gazın rüzgar gibi çevresel faktörlerden etkilenmesi ve ince malzemelerde aşırı ısı nedeniyle deformasyon riskinin artması sayılabilir. Bu nedenle, kaynak parametrelerinin uygun seçilmesi gerekmektedir. Elde edilen yapının mekanik özellikleri ve kaynak dikişinin kalitesi üzerinde; kaynak hızı, ilave metal türü, kaynak ağzı geometrisi, tel besleme hızı, kaynak gücü ve koruyucu gazın tipi ile debisi gibi işlem parametreleri belirleyici faktörlerdir (Akın, 2015).

MIG kaynak yönteminde, kaynak hızı, birleşim kalitesi, performans ve genel işlevsellik üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Kurt vd., 2004). Kaynak işlemi sırasında belirlenen hız, hem metalin yapısal özelliklerini hem de son ürünün mekanik davranışlarını önemli ölçüde etkiler. Düşük kaynak hızlarında, artan ısı girdisi daha geniş bir erime bölgesi ve daha uzun bir soğuma süresi ile sonuçlanarak iri taneli bir mikro yapı oluşumuna neden olabilir. Buna karşılık, yüksek kaynak hızları daha düşük ısı girdisi ve hızlı soğuma sağlayarak ince taneli ve homojen bir mikro yapı oluşturur ve bu sayede çekme mukavemetini, düşük hızda kaynaklanmış numunelere göre artırabilir (Yürük vd., 2021; Mercan vd., 2020). Ancak, aşırı yüksek kaynak hızları, kaynak bölgesinde gözenekler veya yetersiz nüfuziyet gibi kusurların oluşmasına yol açarak mekanik özelliklerin olumsuz etkilenmesine sebep olabilir.

Kaynak sürecinde ergimiş metalde çözünebilen bazı gazlar, katılaşma evresinde dışarı çıkamazsa kaynak bölgesinde gözenek yapıları meydana getirebilir. Bu duruma genellikle hidrojen, oksijen, azot ve karbon monoksit gibi gazlar neden olur. Alüminyum ve çelik kaynaklarında ise porozitenin başlıca sorumlusu hidrojen gazıdır. Özellikle alüminyum ve alaşımlarının kaynağında, kullanılan kaynak teli ve koruyucu gazın etkisiyle gözeneklilik görülmesi olağandır. Bunun temel nedeni, alüminyumun sıvı halindeyken hidrojen çözünürlüğünün katı haline göre çok daha yüksek olmasıdır. Bu da, kaynak işlemi sırasında alınan hidrojenin, katılaşma sırasında dışarı çıkamayıp gözenekler oluşturmasına yol açar (Türker, 2005). Sonuç olarak, kaynak hızının doğru bir şekilde seçilmesi, malzemenin türüne, kalınlığına ve uygulama gereksinimlerine göre dikkatlice değerlendirilmelidir. Bu, kaynak işleminin istenen mekanik özellikleri sağlanması için kritik bir faktördür.

AA5083-H321 alüminyum alaşımı levhalar üzerinde MIG alın kaynağı yöntemi kullanılarak yapılan bu çalışmada, farklı kaynak hızlarının malzemenin mekanik ve mikroyapısal yapısına etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda, kaynak bölgesinin mekanik mukavemeti, eğilme direnci, mikroyapısal özellikleri ve termal değişimleri, çekme testi, eğme testi, mikrosertlik testi ve metalografik incelemelerle değerlendirilmiştir. Ayrıca, kaynak işlemi sırasında K tipi termokupllar ile farklı noktalardan sıcaklık ölçümleri alınmış ve bu veriler kaynak işleminin termal etkilerinin malzemenin mekanik özelliklerine olan etkilerini anlamak için kullanılmıştır.

## MATERYAL ve METOD

Bu çalışmada, AA5083-H321 alüminyum alaşım levhalarının Metal Inert Gas (MIG) kaynak yöntemiyle dört farklı kaynak ilerleme hızı kullanılarak alın kaynağı yapılması ve bu kaynak işleminin alüminyum alaşımının mekanik ve mikroyapısal özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Kaynak işlemleri sırasında, her ilerleme hızı için kaynak işlemi üç kez tekrarlanmış ve elde edilen kaynaklı numuneler lazer kesim yöntemiyle standartlara uygun deney numuneleri haline getirilmiştir. Bu numunelere, uluslararası standartlar doğrultusunda çekme testi, eğme testi, mikrosertlik testi ve metalografik inceleme uygulanmıştır. Ayrıca, kaynak işlemi esnasında K tipi termokupllar kullanılarak sekiz farklı noktadan sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümler, kaynak bölgesindeki termal değişimlerin ve bu değişimlerin malzemenin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

Bu çalışmada kullanılan AA5083-H321 alüminyum alaşımı, yüksek mukavemet ve yüksek korozyon direnci özelliklerine sahip bir alaşımdır. Özellikle denizcilik ve otomotiv endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (ASTM, 2015). Tablo 1'de AA5083-H321 alüminyum alaşımının mekanik özellikleri, Tablo 2' de ise kimyasal bileşimi verilmiştir.

**Tablo 1.** Alüminyum 5083-H321 Mekanik Özellikler (ASTM B928/B928M-15)

Alüminyum Alaşımı	Kalınlık (mm)	Çekme Dayanımı, (MPa)	Akma Dayanımı (%0,2 ofset), (MPa)	Uzama
				50 mm veya 4x Çap
5083-H321	(3-6)	(305-380)	(215)	%10

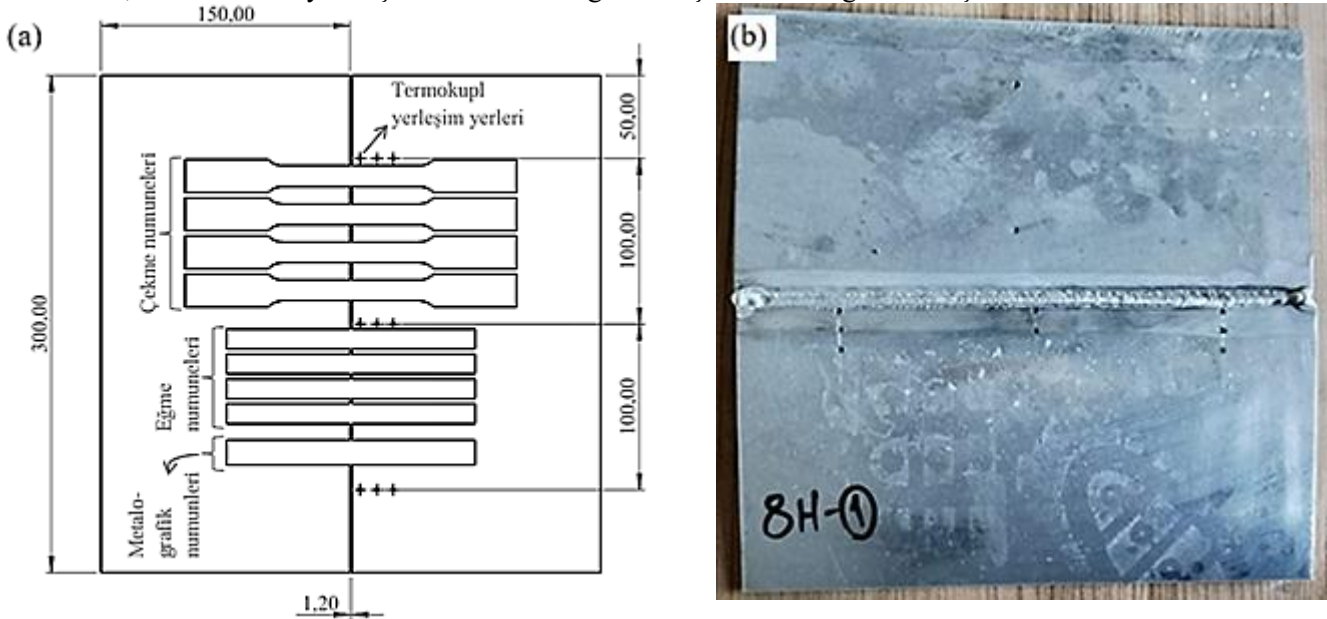
**Tablo 2.** AA5083 Alüminyum Alaşımının Kimyasal Bileşimi (% ağırlıkça) (ASTM B928/B928M-15)

Alaşım	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Diğer elementler		Al
									Her biri	Toplam	
5083	0,40	0,40	0,10	0,40-1,0	4,0-4,9	0,05-0,25	0,25	0,15	0,05	0,115	Kalan

Deneyisel çalışmalarda kullanılan numuneler, her biri 150 mm x 300 mm x 3 mm boyutlarında olan AA5083-H321 alüminyum levhalardan hazırlanmıştır. Bu levhalar, giyotin kesme aleti ile kesilmiş olup, BS EN ISO 9692-3:2001 standardına göre numune kalınlığı 3mm olduğu için kaynak ağı açılmamıştır.

Deneyisel prosedür kapsamında, her bir kaynak hızı için üç çift plaka hazırlanmıştır. Bu uygulama, tekrarlanabilirlik ve güvenilirlik açısından kritik öneme sahiptir. Kaynak işlemine başlamadan önce, levhaların yüzeyleri oksit tabakası ve diğer kirleticilerden arındırılmış, bu temizlik zımparalama ve selülozik tiner ile gerçekleştirilmiş ve kaynak sırasında seramik oluklu kaynak altlığı kullanılmıştır.

Kaynak işlemi tamamlandıktan sonra, TS EN ISO 15614-2 standardına uygun olarak belirlenen numune yerlerinden deney numuneleri lazer kesim yöntemiyle çıkarılmıştır. Bu işlem, mekanik testler ve mikroyapısal incelemeler için numunelerin doğruluğunu ve güvenilirliğini sağlamıştır. Yapılan her kaynak işlemi sonucu elde edilen birleştirilmiş plakalardan eğme ve çekme deneyleri için dörder adet numune, metalografik inceleme için ise birer adet numune hazırlanmıştır. Plakaların boyutları, kaynak için yerleşim planı, kaynak sonrasında numunelerin kesildiği bölgeler Şekil 1-a'da, numunenin kaynak işlemi sonrası fotoğrafı ise Şekil 1-b'de gösterilmiştir.



**Şekil 1.** a) Yapılan Kaynak İşlemine Ait Numune Yerleşim Planı b) Kaynak Sonrası Numune Fotoğrafı

Askaynak marka MasterMig 350 model gaz altı kaynak makinesi ile gerçekleştirilen işlemlerde, 1,20 mm çapında ER5183 kaynak teli kullanılmıştır. Kaynak teline ait mekanik özellikler Tablo 3'te gösterilmiştir (Magmaweld, t.y.).

**Tablo 3. ER5183 Kaynak Teli Mekanik Özellikleri (Magmaweld, t.y.)**

Test şekli	Kalınlık (mm)	Çekme Dayanımı, (Mpa)	Akma Dayanımı (Mpa)	Uzama
Kaynak sonrası	(3-6)	260	130	%17

DeneySEL çalışmada, değişken olan kaynak ilerleme hızları 3 mm/s, 4,5 mm/s, 6 mm/s ve 8 mm/s olarak belirlenmiştir. Koruyucu gaz olarak argon (L50/230/12,06) kullanılmış, gaz debisi 5,5 L/min olarak ayarlanmış ve tüm işlemler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

Yapılan alın kaynaklarında levhalar arasında 1,20 mm'lik boşluk bırakılmış ve kaynak işleminden önce uç kısımlarından çekme olmaması adına puntalama işlemiyle sabitlenmiştir. Kaynak işlemlerinden sonra numuneler oda sıcaklığında kendi halinde soğumaya bırakılmıştır.

### Metaloğrafik Testler

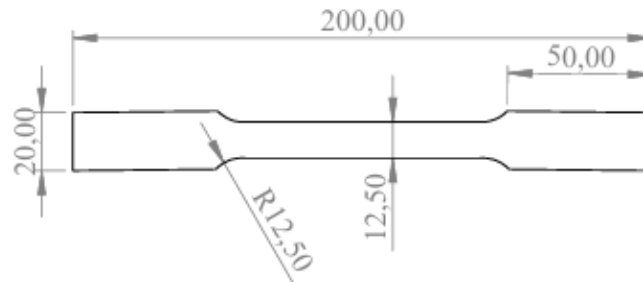
Farklı kaynak ilerleme hızlarında kaynağı yapılan levhalardan, kaynak dikişinin ortada kalacak şekilde ve aynı zamanda ısıdan etkilenmeyen bölgeyi de kapsayacak biçimde, 15 mm x 150 mm boyutlarında numuneler dikkatlice kesilmiştir. Mikroyapısal incelemeler için hazırlanan bu numunelerin yüzeyleri, metalografik analizlerde istenen pürüzsüzlüğü sağlamak amacıyla sırasıyla 600, 800 ve 1200 grit zımparalarla zımparalanmıştır. Yüzeyin homojen ve parlak hale getirilmesi için numuneler, alümina solüsyonu kullanılarak parlatma çuhasında parlatılmış ve böylece mikroyapısal detayların daha net bir şekilde gözlemlenebilmesi sağlanmıştır. Numuneler, mikroyapı incelemelerinden önce, optik mikroskopla daha iyi görüntü elde edebilmek için Keller çözeltisiyle dağlanmış. Bu hazırlık işlemi, kaynak bölgesindeki mikroyapısal değişikliklerin ve kaynak kalitesinin detaylı bir şekilde incelenebilmesi için önemli bir adımdır.

MIG kaynak yöntemiyle farklı hızlarda birleştirilen levhalardan hazırlanan metalografik inceleme numuneleri üzerinde kapsamlı Vickers sertlik testleri gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri, numunelerin üst yüzeyinden 1 mm derinlikte, kaynak ekseninin sağ ve sol tarafında, her bir ölçüm noktası arasında 1 mm'lik aralıklar olacak şekilde, 200 g'lık bir test yükü kullanılarak uygulanmıştır. Bu metodik yaklaşım, kaynak bölgesinin ve ITAB'ın mikro sertlik dağılımının ayrıntılı bir şekilde haritalandırılmasına olanak tanımış, kaynak işlemi sırasında meydana gelen mikro yapısal değişikliklerin mekanik özellikler üzerindeki etkisinin daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır. Bu tür ölçümler, kaynaklı bağlantıların performansının değerlendirilmesinde kritik bir rol oynamaktadır.

### Mekanik Testler

#### Çekme Testi

Çekme testi, kaynaklı birleşimlerin dayanımını analiz etmek açısından önemli olmakla birlikte, genel olarak malzemelerin mekanik özelliklerini değerlendirmede en yaygın başvurulan yöntemlerden biridir (Dieter, 1988). Farklı hızlarda birleştirilen MIG kaynaklı bağlantılardan E8/E8M standardına uygun olarak her bir hız için 4'er numune hazırlanmıştır. Çekme testleri, Zwick/Roell Z100 cihazı kullanılarak 1,5 mm/min çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Test sırasında numunelerin uzama miktarı, ekstansometre ile hassas bir şekilde ölçülmüş ve bu veriler analizlerde kullanılmıştır. Çekme testleri sonucunda, numunelerin akma mukavemeti ve çekme mukavemeti belirlenmiştir. Çekme testi deney numunesi boyutları Şekil 2' de gösterilmiştir. Şekil 3'te çekme testi makinesi ve deney düzeneği gösterilmiştir.

**Şekil 2. Çekme Testi Numune Ölçüleri**



Şekil 3. Çekme Numunesinin Test Cihazında (Zwick/Roell Z100) Test Görüntüsü

### Eğme Testi

Eğme testleri, kaynaklı birleştirmelerde hem kaynak bölgesinin şekil değiştirme yeteneğini hem de kaynak dikişi ile esas metal arasındaki bağlantının sağlamlığını değerlendirmek için kullanılmaktadır (Callister, 1991). Bu testler, özellikle enine yüz eğme sırasında oluşabilecek yan duvar füzyon eksikliği gibi yüzey kusurlarının tespitinde etkilidir. Farklı hızlarda MIG kaynak yöntemiyle birleştirilen levhalardan, TS EN ISO 5173 standardına uygun olarak her bir hız için 12 mm x 150 mm boyutlarında dörder eğme numunesi hazırlanmıştır (ISO, 2009). Hazırlanan bu numuneler, SIOMM üniversal test cihazında 3 noktalı eğme testine tabi tutulmuş ve numunelerin maksimum kuvvet ile maksimum çökme değerleri ölçülerek analiz edilmiştir. Şekil 4'te eğme testi makinesi ve deney düzeneği gösterilmiştir.

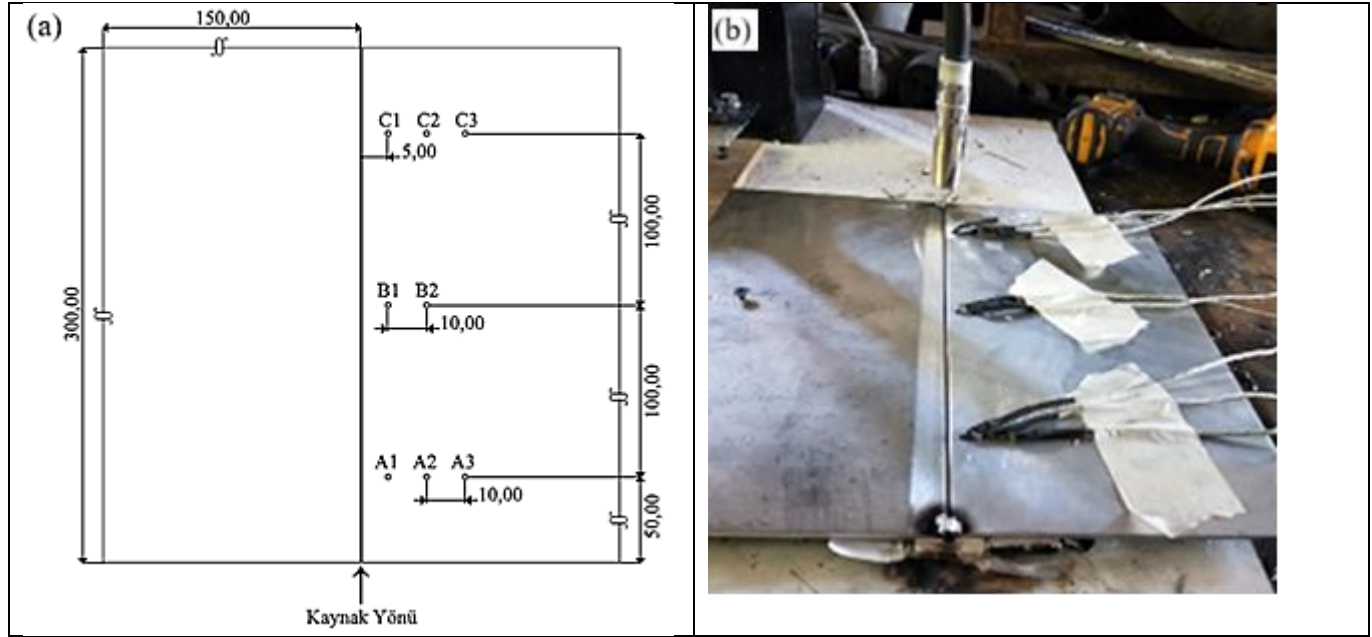


Şekil 4. Eğme Numunesinin Test Cihazında (SIOMM Üniversal Test Cihazı) Test Görüntüsü

### Sıcaklık Ölçümleri

Her bir kaynak parametresi için sekiz farklı noktadan sıcaklık ölçümü alınarak, MIG kaynak işlemi sırasında AA5083-H321 alüminyum alaşım levhaların termal davranışlarının mekanik ve mikroyapısal özelliklere etkisi araştırılmıştır. Ölçümler, yüksek hassasiyetli CEM DT-3891G sıcaklık kayıt cihazı ve K tipi termokupllar kullanılarak alınmıştır. Termokupllar, kaynak hattı boyunca belirlenen ölçüm noktalarına açılan yuvalara

yerleştirilmiş ve yüzeyle tam temas sağlanarak ölçüm doğruluğu artırılmıştır. Kaynak işlemi sırasında sıcaklık ölçümlerinin hassasiyetini artırmak için K tipi termokupların sabitlenmesini ve yüzeyle tam temasını sağlamak için Şekil 5-a'da gösterilen yerleşim bölgelerine açılan küçük yuvalara yerleştirilmiştir. Numune üzerine termokupların yerleştirilmiş ve kaynak için hazır hale getirilmiş fotoğraf ise Şekil 5-b'de gösterilmiştir.



Şekil 5. a) Sıcaklık Ölçümü İçin Termokupl Yerleşim Bölgeleri b) Kaynak Öncesi Numune Üzerine Termokupl Yerleşmiş Fotoğraf Görüntüsü

## BULGULAR

### Metalografik İncelemeler

#### Makroyapı İnceleme

Elde edilen numuneler öncelikle makro düzeyde görsel incelemeye tabi tutulmuştur. Bu incelemelerde, gözle görünür belirgin gözenek oluşumuna rastlanmamış ve kaynak dikişlerinin genel bütünlüğü açısından tatmin edici bir yapıda olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgu, numunelerden beklenen mekanik özelliklerin elde edilmesiyle de tutarlılık göstermektedir.

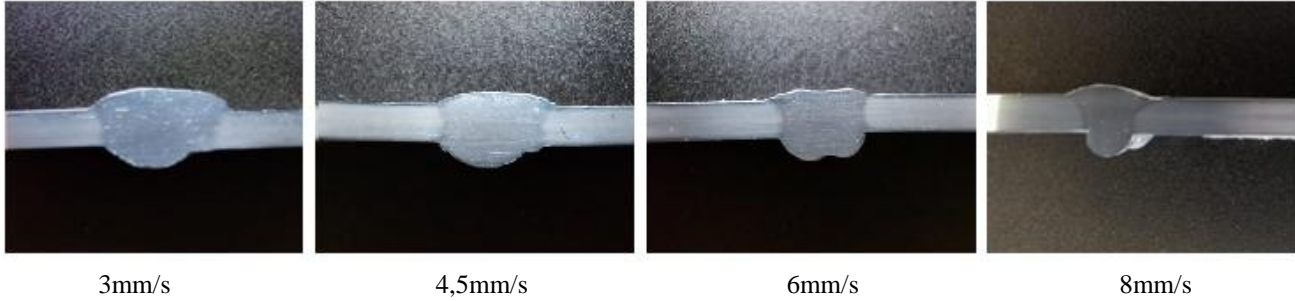
Makro yapı fotoğraflarında Şekil 6'da görüldüğü üzere, kaynaklı numunelerin tamamında tam nüfuziyet sağlanmış olup, yetersiz nüfuziyet hatasına rastlanmamıştır. Bu durum, uygulanan kaynak parametrelerinin optimizasyonunun bir sonucudur. Bu optimizasyon sürecinde, alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kritik rol oynayan argon gazı kullanımı, kaynak arkının stabilitesini ve kontrol edilebilirliğini artırarak, kaynaklı bağlantılardan beklenen mekanik dayanımların elde edilmesine önemli katkı sağlamıştır.

Yapılan makroyapı incelemeleri sonucunda, farklı hızlarda kaynaklanmış numunelerde gözlemlenen önemli bulgular aşağıda özetlenmiştir:

- Tüm numunelerde penetrasyon yetersizliği gözlenmemiştir; bu durum, kaynak işlemi sırasında kullanılan parametrelerin malzemeye yeterli nüfuziyet sağladığını ve kaynak dikişinin bütünlüğünü ortaya koymaktadır.
- Makroyapı incelemelerinde, kaynak işlemi sırasında yanma oluşumu tespit edilmemiştir. Bu durum, kontrol altında bir kaynak süreci gerçekleştirildiğini düşündürmektedir.
- Kaynak hızı arttıkça, birim bölgeye uygulanan ısı girdisi ve beslenen kaynak teli miktarı azaldığından kaynak dikiş genişliğinin azaldığı belirlenmiştir. Bu azalma, 8 mm/s hızındaki numunelerde en belirgin şekilde gözlenmiştir.
- 3 mm/s hızında gerçekleştirilen kaynak işlemlerinde en yüksek porozite oluşumu gözlenmiş, diğer hızlarda ise porozite miktarı kademeli olarak azalmıştır. Bu durum, düşük kaynak hızlarında artan ısı girdisinin,

kaynak metalinin daha uzun süre sıvı kalmasına ve/veya büyük boyutta oluşan kaynak dikişi içerisinde gazların hapsolmesine bağlı olarak gözenekli bir yapının oluşmasıyla açıklanabilir.

- 8 mm/s kaynak hızında gerçekleştirilen işlemlerde, kaynak dikişinin belirli bölgelerinde çatlak oluşumu tespit edilmiştir. Kaynak metalinde gözlemlenen bu tür hataların (porozite ve çatlaklar) tipik görünüşleri Şekil 7'de sunulmaktadır.



Şekil 6. Farklı Hızlarda Kaynak Yapılan Numunelerin Kaynak Kesit Makro Görüntüleri

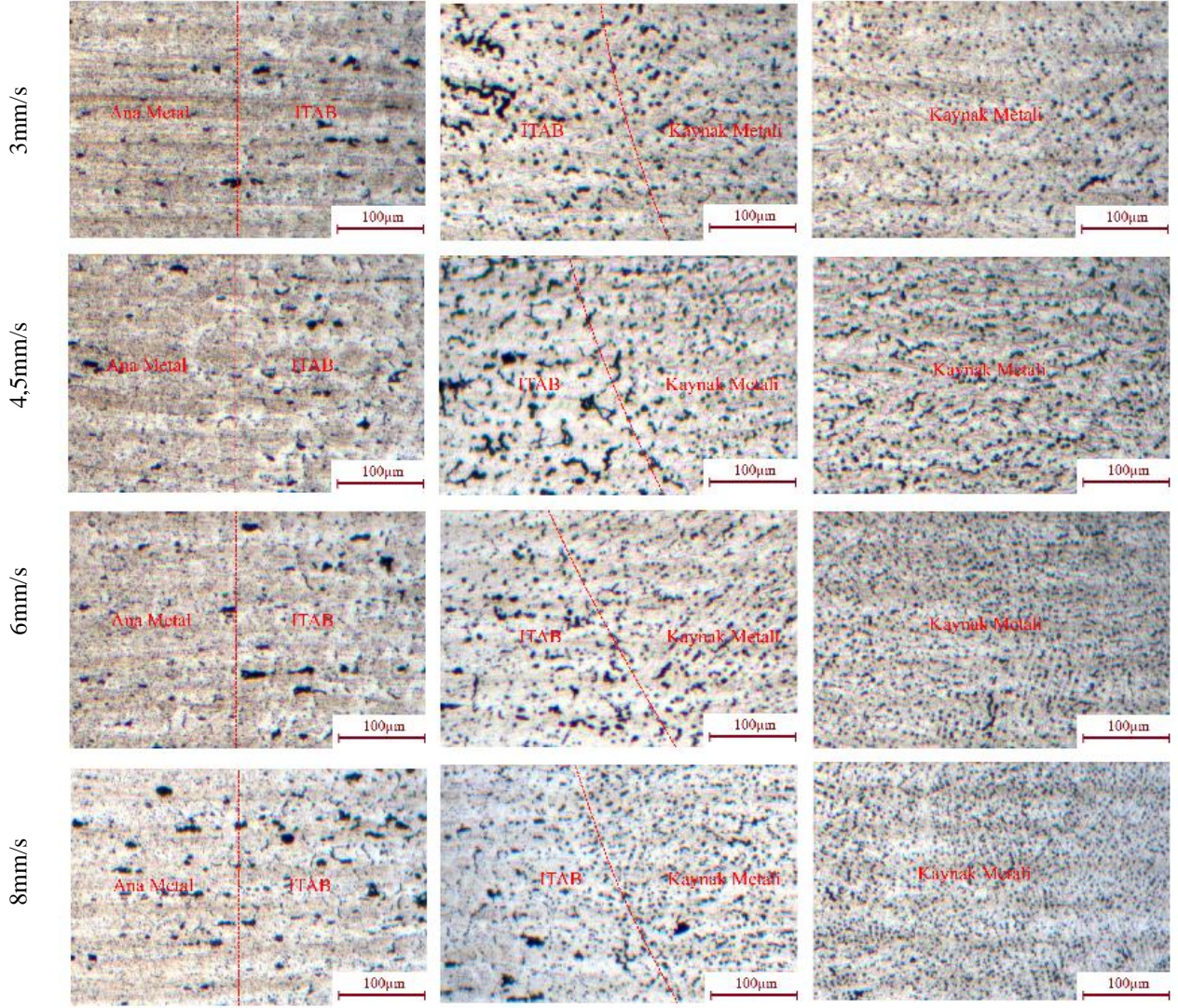
### Mikroyapı İnceleme

Dağlanmış numunelerin mikroyapısal incelemeleri, optik mikroskopta 100x büyütmede gerçekleştirilmiştir. Şekil 7'de sunulan mikroyapısal görüntüler, Mikroyapı incelemeleri, kaynak işlemi sonrasında malzemede önemli yapısal değişikliklerin meydana geldiğini göstermektedir. Ana metal bölgesinde, tanelerin yönlendirilmiş ve yassılaştırmış bir morfoloji sergilediği gözlemlenmiştir. Bu yapı, malzemenin daha önce bir soğuk şekillendirme işlemine tabi tutulduğuna işaret etmektedir. Ancak, kaynak işlemi sırasında uygulanan yüksek sıcaklık etkisiyle, bu yassı ve yönlendirilmiş taneler şekillerini kaybederek daha iri ve düzensiz bir hale dönüşmüştür. Bu değişim, özellikle ITAB'da yeniden kristalleşme ve tane büyümesi gibi ısı etkilerinin varlığını ortaya koymaktadır ki önemli tane büyümesi ve yeniden kristalleşme gözlemlenmiştir (Mercan vd., 2020).

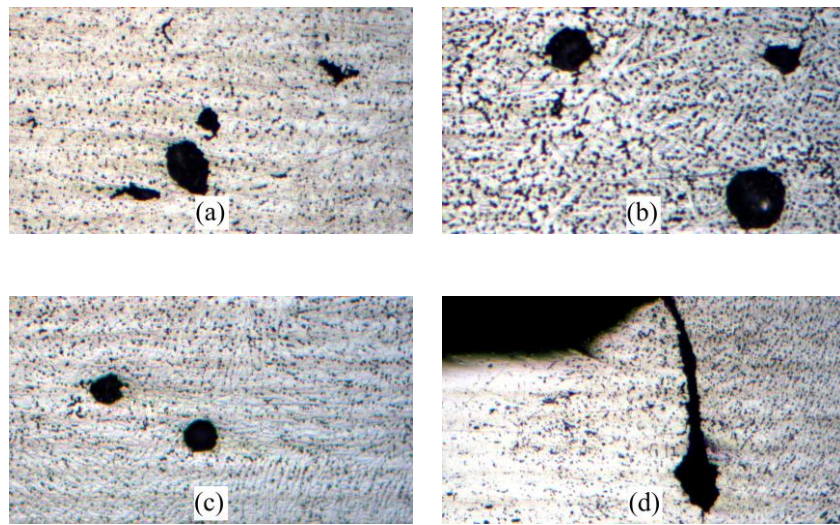
Ek olarak, kaynak işlemi sırasında kullanılan ilave metalin kimyasal bileşimi, alaşım elementlerinin kaynak havuzuna transferini sağlamış ve bu da kaynak bölgesinde çökelti fazlarının daha homojen bir dağılımına yol açmıştır. Bu durum, kaynak metalinin mekanik mukavemetinin artırılmasına katkıda bulunmuştur (Yürük vd., 2021; Harman vd., 2020).

Kaynak hızının artırılmasıyla, daha düşük ısı girdisi ve hızlanan soğuma oranları elde edildiği, bu durumun da daha ince, homojen ve yönlendirilmiş tane yapılarının oluşumunu desteklediği gözlemlenmiştir. Söz konusu bulgu, literatürde bildirilen verilerle örtüşmektedir. (Kurt vd., 2004).

Şekil 8'de numunelerde tespit edilen farklı kaynak kusurları detaylı olarak gösterilmektedir. Şekil 8-a, b ve c'de yoğun olarak porozite oluşumu gözlemlenirken, yalnızca 8 mm/s kaynak hızında üretilen numunede (Şekil 8-d) belirgin bir çatlak oluşumu tespit edilmiştir. Poroziteler genellikle kaynak banyosunda hapsolan gaz kabarcıklarının katılma sırasında dışarı atılmaması sonucunda meydana gelmektedir. Bu durum, hızlı katılma hızlarında eriyik metalin akışkanlığının azalmasıyla daha belirgin hâle gelir. Diğer yandan 8 mm/s kaynak hızında gözlemlenen çatlak, artan termal gradyanlar ve soğuma hızları nedeniyle kaynak bölgesinde biriken termal gerilmelerle de ilişkilidir. Kaynak sırasında eriyik metalin hızlı soğuması, malzeme içinde çekme gerilmeleri oluşturmaktadır ve bu da özellikle tane sınırları boyunca veya kaynak merkez hattında çatlakların gelişmesine yol açabilmektedir. Ayrıca, yüksek termal gradyanlar malzeme içinde mikro yapısal düzensizlikleri artırarak çatlak başlama noktalarının oluşumunu kolaylaştırır. Dolayısıyla hem porozite hem de çatlak oluşumunun kaynak parametreleriyle doğrudan ilişkili olduğu, özellikle yüksek kaynak hızlarında gaz tutulması ve termal gerilmelerin artmasıyla bu tür kusurların oluşma olasılığının belirgin şekilde yükseldiği söylenebilir.



Şekil 7. Kaynaklı Numunelerin Kaynak Metali ve Geçiş Bölgesi Mikroyapısal İncelemesi (100X)



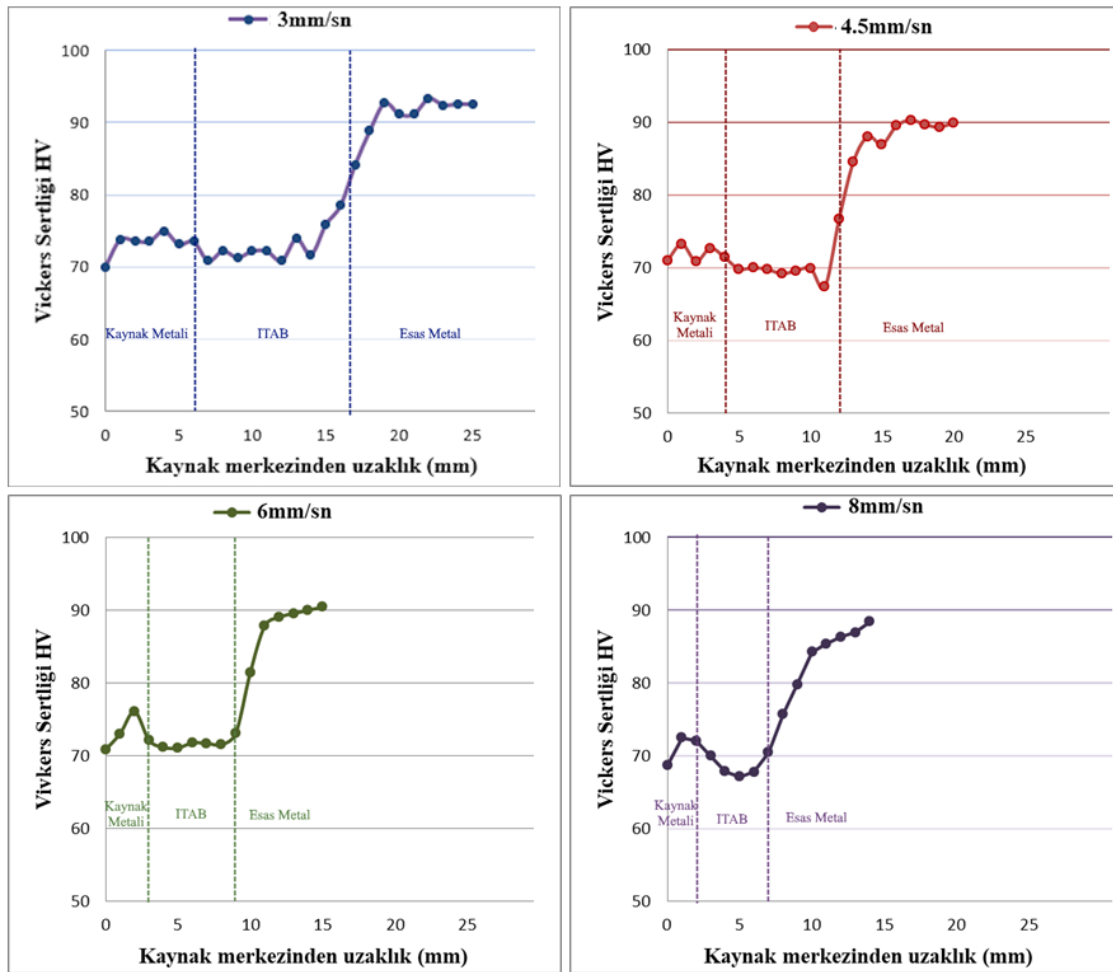
Şekil 8. Farklı Kaynak Hızlarında Kaynak Metalinde Gözlemlenen Kaynak Hataları (100X). (a) 3 mm/s, (b) 4,5 mm/s, (c) 6 mm/s, (d) 8 mm/s

Sonuç olarak, MIG kaynaklı numunelerde gözlemlenen mikroyapısal değişiklikler, uygulanan kaynak parametrelerine doğrudan bağlıdır ve bu değişiklikler, birleşimlerin mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Tane boyutu ve çökelti dağılımı gibi mikroyapısal faktörlerin, uygun kaynak parametreleri —özellikle ısı girdisini azaltarak ve kaynak hızını optimize ederek— etkili bir şekilde kontrol edilebileceği ve bunun da genel kaynak kalitesini artırabileceği değerlendirilmektedir. Örneğin, 5251 alüminyum alaşımı üzerine yapılan çalışmalar, daha yüksek kaynak hızlarının tane boyutunu azalttığını ve mekanik performansını iyileştirdiğini göstermiştir (Gao vd., 2021). Ayrıca, elde edilen mikroyapısal görüntüler, literatürde bildirilen Al-Mg alaşımlarının tipik kaynak yapılarına benzerlik göstermektedir. Örneğin, MIG kaynaklı AA5083 birleşimlerinde, kaynak sonrası çökelti fazlarının tane büyümesini etkilediği ve dolayısıyla mekanik performansı etkilediği bulunmuştur (Smith vd., 2021).

### Mikrosertlik

Vickers mikrosertlik ölçümleri, Şekil 6’da görülen kaynak kesitinden gerçekleştirilmiştir. Ölçümler, numunelerin üst yüzeyinden 1 mm derinlikte, kaynak merkez hattının her iki tarafında, 1 mm aralıklarla ve 200 g test yükü kullanılarak yapılmıştır. Mikrosertlik test sonuçları Şekil 9’da grafik olarak ayrı ayrı sunulmuştur.

Vickers sertlik sonuçlarına göre, ana metal 90,17 HV ile en yüksek ortalama sertliği sergilemiştir. Ölçüm noktaları ITAB’a yaklaştıkça sertlikte bir azalma gözlemlenirken, kaynak metali içerisinde bir artış kaydedilmiştir. Bu tür bir davranış, kaynak sırasında ITAB’da gerçekleşen yüksek sıcaklık etkisiyle meydana gelen yeniden kristalleşme ve tane irileşmesiyle bağlantılıdır (Haigen vd., 2021).



Şekil 9. Kaynak Bölgelerinde Ölçülen Vickers Sertlik Grafikleri.

Kaynak hızı arttıkça, daha düşük ısı girdisi olacağından dolayı daha dar bir ITAB oluşmuştur. Bu eğilim, 3 mm/s > 4,5 mm/s > 6 mm/s > 8 mm/s sırasıyla gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, önceki çalışmalar, yüksek kaynak hızlarının daha ince ve daha homojen tane yapılarının oluşumunu teşvik ettiğini göstermiştir (Borrego vd., 2014). Kaynak

metali özelliklerinin belirlenmesinde, ilave malzeme seçimi önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin, AA5083-H321 alaşımında ER5183 ilave telinin kullanılması, kaynak metalinin mukavemetini artırmaktadır (Mercan vd., 2020).

MIG kaynaklı numunelerde, kaynak metalinin sertliği ITAB'dan daha yüksek değerler elde edilmiş ve bu sonuç literatürde bildirilen verilerle tutarlıdır (Çevik, 2013). 5083-H321 alüminyum alaşımının yeniden kristalleşme sıcaklığı yaklaşık 255°C'dir. Kaynak sırasında termokuplarla alınan sıcaklık ölçümleri, tüm numunelerde bu eşiğin aşıldığını doğrulamıştır. Sonuç olarak, ITAB'da tane büyümesi meydana gelmiş ve malzemenin mekanik özelliklerinde değişikliklere yol açmıştır (Haigen vd., 2021). Önceki çalışmalar da ITAB'daki yeniden kristalleşme ve tane irileşmesinin bu bölgedeki sertlikte gözlemlenen azalmaya katkıda bulunduğunu belirtmektedir (Mercan vd., 2020).

## Mekanik İncelemeler

### Çekme Testi

MIG kaynak yöntemi ile kaynaklanan AA5083 H321 plakaları soğuk şekillendirilerek üretildiği için yüksek çekme mukavemetine sahiptirler. Kaynaklı bağlantıların çekme dayanımının esas malzemenin çekme dayanımından düşük olduğu çekme testi sonuçlarından görülmektedir, Tablo 4. Kaynaklı bağlantıların çekme dayanımında yaşanan bu düşüşün sebebi, kaynak esnasında malzemenin yeniden kristalleşme sıcaklığının üstünde ısınmasıdır. Yeniden kristalleşme sıcaklığının üstünde ısınan malzeme tavlanmakta ve soğuk şekillendirme ile kazandığı mukavemetin bir kısmını kaybetmektedir. Kaynaklı bağlantıların mikrosertlik ölçümlerinde de görülen en düşük sertliğe sahip olan ITAB bölgesinden numuneler kırılmıştır. 3mm/s, 4,5mm/s, 6mm/s, 8mm/s numunelerin çekme mukavemeti sırasıyla, esas malzemenin çekme mukavemetinin %88,4 - % 86,4 - % 87 - % 51,3'tür. 3mm/s hızda yapılan kaynağın en yüksek çekme dayanımına ulaştığı tespit edilmiştir. 3mm/s, 4,5mm/s ve 6mm/s hızında yapılan kaynaklı bağlantılar yeterli kaynak dayanımına sahipken, 8mm/s hızında yapılan kaynaklı bağlantı yetersiz kaynak dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Çıkan sonuçlardan anlaşılacağı üzere en düşük kaynak ilerleme hızında sağlanan değer en yüksek çıkmış olsa da sonuçlar genel anlamda birbirine yakın değerler göstermiştir.

Akma mukavemeti ( $R_{p0,2}$ ) değerleri incelendiğinde, kaynaklı bağlantıların esas metale kıyasla önemli ölçüde düşük akma mukavemetine sahip olduğu görülmüştür. Kaynak hızları arasında, 6 mm/s hızında kaynaklanan numunenin en yüksek akma mukavemetini ( $136 \text{ N/mm}^2$ ) sergilemesi dikkat çekicidir, bu da nihai çekme mukavemeti sıralamasından (3 mm/s en yüksek) farklı bir davranışa işaret etmektedir. Özellikle 8 mm/s kaynak hızında elde edilen çekme mukavemeti ( $156 \text{ N/mm}^2$ ), diğer kaynak hızlarındaki değerlere (ortalama  $\sim 265 \text{ N/mm}^2$ ) kıyasla yaklaşık %41'lik bir düşüşle belirgin şekilde düşüktür. Bu denli büyük bir düşüş, bu hızda oluşan mikroyapısal kusurların ve aşırı tane büyümesinin malzemenin sünekliğini ve dolayısıyla çekme mukavemetini ciddi şekilde etkilediğini göstermektedir.

Endüstriyel uygulamalarda yüksek üretim hızının tercih edilmesi göz önüne alındığında, farklı hızlar arasında belirgin bir fark bulunmaması nedeniyle 6 mm/s ilerleme hızıyla gerçekleştirilen kaynak işlemi uygun bir seçenek olarak değerlendirilebilir.

**Tablo 4.** Esas Metal ve Kaynaklı Bağlantıların Çekme Testi Sonuçları

	3mm/s	4,5mm/s	6mm/s	8mm/s	Esas Metal
$R_{p0,2}(\text{N/mm}^2)$	128	135	136	128	215
$R_m(\text{N/mm}^2)$	269	263	265	156	304
Kopma Yeri	ITAB	ITAB	ITAB	ITAB	Esas Metal

### Eğme Testi

Eğme deneyleri, kaynaklı birleştirmelerde kaynak dikişi ve çevresinin şekil değiştirme kabiliyeti ile kaynak dikişi ve esas metal arasındaki bağın kalitesini tespit etmek için kullanılmaktadır. Özellikle enine yüz eğme testleri, yan duvar füzyon eksikliği gibi yüzeydeki kusurları ve malzemenin süneklik performansını ortaya çıkarmaktadır. Farklı hızlarda MIG kaynak yöntemi ile birleştirilen levhalardan TS EN ISO 5173 standardına göre hazırlanmış eğme numuneleri çıkarılmıştır. Çıkarılan numunelere 3 noktalı yüz eğme testi uygulanmıştır ve numunelerin maksimum kuvvet ile maksimum çökme değerleri Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5'teki eğme testi sonuçları incelendiğinde, kaynak hızının numunelerin eğme performans üzerinde kayda değer bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Maksimum kuvvet değerleri açısından 4,5 mm/s hızıyla kaynaklanan numune en yüksek dayanımı (2211N) sergilerken, 8 mm/s hızında kaynaklanan numune en düşük kuvvet değerine (1758N) sahiptir. Bu durum, 8 mm/s kaynak hızının, daha önce çekme testlerinde ve mikroyapı incelemelerinde tespit edilen yetersiz mekanik özellikler ve mikroyapısal hatalarla (porozite, çatlak) tutarlılık göstermektedir.

Süneklik performansının bir göstergesi olan maksimum çökme değerleri açısından ise, 6 mm/s kaynak hızında kaynaklanan numunenin en yüksek değeri (12,58mm) sergilemesi dikkat çekicidir. Bu bulgu, 6 mm/s kaynak hızının en iyi eğilme kabiliyetini ve dolayısıyla en yüksek sünekliği sağladığını göstermektedir. 3 mm/s hızındaki numunenin maksimum çökme değeri (6,58mm) diğer hızlara göre daha düşüktür. Tüm numunelerin ITAB bölgesinden çatlama, bu bölgenin kaynaklı birleştirmelerdeki en zayıf bölge olduğunu bir kez daha doğrulamakta ve çekme testi sonuçları ile tam bir uyum sergilemektedir.

Bu sonuçlar, 6 mm/s kaynak hızının hem kabul edilebilir çekme mukavemeti hem de üstün süneklik özellikleri açısından optimal bir kaynak parametresi olduğunu desteklemektedir. Endüstriyel uygulamalar için yüksek üretim hızı avantajı da göz önüne alındığında, 6 mm/s hızının genel performans ve kaynak kalitesi açısından en uygun seçenek olduğu yorumlanabilir.

**Tablo 5. Eğme Testi Sonuçları**

Numune	Maksimum kuvvet(N)	Maksimum çökme (mm)	Hasar
3mm/s	2145	6,58	VAR
4,5mm/s	2211	8,54	VAR
6mm/s	1964	12,58	VAR
8mm/s	1758	8,97	VAR

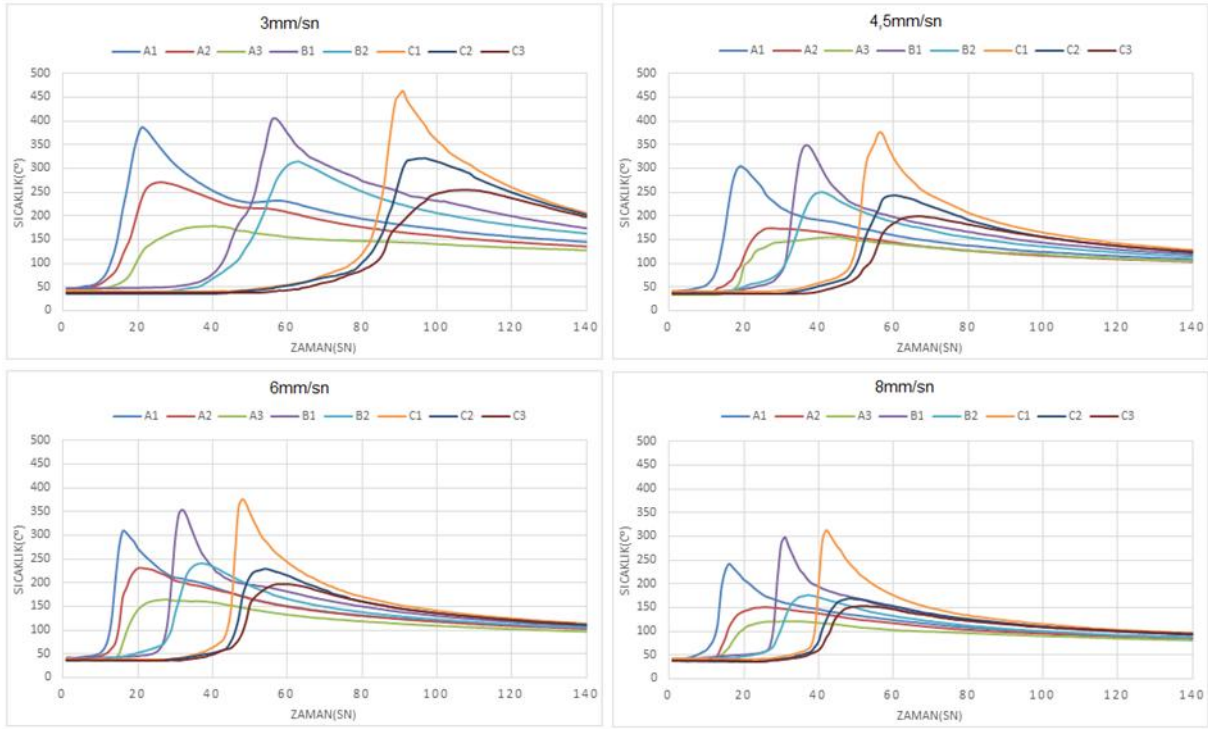
### **Sıcaklık Ölçüm İncelemeleri**

Kaynak işlemi sırasında elde edilen sıcaklık ölçüm sonuçları, Şekil 10'da ayrı ayrı grafiklerde sunulmuştur. Tüm kaynak hızlarında elde edilen sıcaklık profillerinin incelenmesi, kaynak merkez hattından uzaklaştıkça sıcaklıkta kademeli bir düşüş olduğunu ve klasik bir iletim kontrollü ısı dağılım eğrisi oluşturduğunu ortaya koymuştur. Ek olarak, termokupl ölçüm noktaları A1 (kaynağın başlangıcına yakın), B1 (orta bölge) ve C1 (son bölge) kaynak dikişinden eşit uzaklıkta olmasına rağmen, uygulanan termal girdinin etkisi kaynak hızına bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Termal etkideki bu varyasyon, azalan bir ölçüde de olsa, diğer ölçüm noktalarında da gözlemlenmiştir.

Sıcaklık verileri, kaynak hızı ile ısı girdisi arasında doğrudan bir ilişki olduğunu göstermiştir. Kaynak hızı arttıkça, birim alandaki ısı girdisi azalmış, bu da kaynak bölgesinde daha düşük maksimum sıcaklıklara neden olmuştur. Dahası, azalan ısı girdisi nedeniyle daha hızlı soğuma oranları meydana gelmiştir. Bu termal davranış, kaynak bölgesinin mikroyapısal evrimini ve mekanik özelliklerini doğrudan etkilemiştir. Düşük kaynak hızlarında (örn. 3 mm/s), yüksek ısı girdisi yeniden kristalleşme sıcaklığının aşılmasına neden olmuş, bu da ITAB'ın genişlemesine ve uzayan soğuma süreleri nedeniyle tane büyümesine yol açmıştır. Tersine, yüksek kaynak hızlarında (örn. 8 mm/s), yetersiz ısı girdisi kaynak metalinin eksik erimesine ve belirli alanlarda çatlakların gözlemlenmesine neden olmuştur. Özellikle 4,5 mm/s ve 6 mm/s gibi ara hızlar, yeniden kristalleşmeyi sınırlamak ve dar bir ITAB'ı sürdürmek için yeterli ısı girdisi sağlayarak mikroyapısal sürekliliği korumuştur. Bu bulgular, uygun MIG kaynak parametrelerinin belirlenmesinde sıcaklık ölçümlerinin kritik rolünü vurgulamaktadır.

### **SONUÇLAR**

Bu çalışma, AA5083-H321 alüminyum alaşımının MIG kaynak yöntemiyle 3 mm/s, 4,5 mm/s, 6 mm/s ve 8 mm/s olmak üzere farklı kaynak hızlarında birleştirilmesinin mekanik ve mikroyapısal özelliklere etkisini detaylı şekilde incelemiştir. Elde edilen sonuçlar, kaynak hızının kaynaklı birleştirmelerin performansında belirleyici bir faktör olduğunu net bir şekilde göstermektedir.



Şekil 10. Sıcaklık Ölçüm Grafikleri

Yapılan mikroyapısal incelemeler, kaynak hızının artışıyla birlikte kaynak bölgesine iletilen ısı girdisinin azaldığını ve soğuma hızlarının arttığını göstermiştir. Bu durum, daha ince ve homojen tane yapılarının oluşumunu desteklerken, ana metaldeki soğuk işleme kaynaklı ince ve uzamış  $Mg_2Al_3$  çökeltilerinin kaynak ısısının etkisiyle şekillerini kaybederek daha iri formlara dönüştüğünü ortaya koymuştur. ITAB'da belirgin tane büyümesi ve yeniden kristalleşme gözlemlenmiştir. Dolgu metalinin kimyasal bileşimi ise, kaynak metalinde çökelti fazlarının daha homojen dağılımına katkıda bulunarak mekanik dayanımın iyileşmesine yol açmıştır.

Mikrosertlik test sonuçları, ana metalin en yüksek ortalama sertliğe (90,17 HV) sahip olduğunu göstermiştir. ITAB'a yaklaştıkça sertlikte bir düşüş, kaynak metali içerisinde ise bir artış kaydedilmiştir. Bu sertlik düşüşü, ITAB bölgesindeki yeniden kristalleşme ve tane büyümesiyle ilişkilendirilmiştir. Kaynak hızının artmasıyla ısı girdisi azaldığı için ITAB genişliği daralmış ve bu trend, 3 mm/s > 4,5 mm/s > 6 mm/s > 8 mm/s sırasıyla gözlenmiştir. Kaynak metalinin sertliği, literatürdeki bulgularla uyumlu olarak ITAB'dan daha yüksek bulunmuştur. Termokupl ölçümleri, tüm kaynak hızlarında alaşımın yeniden kristalleşme sıcaklığının (yaklaşık 255°C) aşıldığını teyit etmiştir.

Çekme testi sonuçlarına göre, kaynaklı birleştirmelerin akma dayanımı ( $R_{p0,2}$ ) 128-136 MPa, çekme dayanımı ( $R_m$ ) ise 156-269 MPa aralığında seyretmiş; ana metalin değerleri ise sırasıyla 215 MPa ve 304 MPa olarak belirlenmiştir. Tüm kaynak hızlarında kırılmanın ITAB meydana gelmesi, bu bölgenin kaynaklı birleşimin en kritik zayıf noktası olduğunu ve mikroyapısal değişimlerin mekanik özellikleri olumsuz etkilediğini vurgulamıştır. En yüksek çekme dayanımı ve nispeten yüksek akma dayanımı 3 mm/s kaynak hızında elde edilmiştir ( $R_m \approx 269$  MPa,  $R_{p0,2} \approx 128$  MPa). 8 mm/s kaynak hızında ise belirgin bir çekme dayanımı düşüşü ( $R_m \approx 156$  MPa) gözlenmiş, bu durum yüksek hızlarda yetersiz nüfuziyet ve mikro gözeneklilik oluşumu riskine bağlanmıştır. Endüstriyel verimlilik göz önüne alındığında, 6 mm/s kaynak hızının mekanik performans ve üretim kapasitesi açısından uygun bir denge sunduğu değerlendirilmiştir.

Eğme testleri, kaynaklı birleştirmelerin süneklik ve deformasyon kapasitelerini değerlendirmiş, tüm numunelerin ITAB bölgesinde kırıldığı ve plastik deformasyon sonrası hasar sergilediği görülmüştür. En yüksek maksimum çökme değeri ve dolayısıyla en iyi sünek davranış, 6 mm/s kaynak hızında (yaklaşık 12,6 mm) elde edilmiştir. Yüksek kaynak hızlarında yetersiz erime ve bağ oluşumu, mekanik dayanımın azalmasına neden olmuştur.

Kaynak sırasında yapılan sıcaklık ölçümleri, kaynak hızının ısı girdisi ve soğuma hızları üzerindeki doğrudan etkisini net bir şekilde ortaya koymuştur. Düşük kaynak hızlarında yüksek ısı girdisi, ITAB'da tane büyümesine yol açarken, yüksek hızlarda yetersiz ısı girdisi kaynak metalinde eksik erime ve çatlak oluşumuna neden olabilmektedir. Özellikle

4,5 mm/s ve 6 mm/s gibi orta hızlar, yeniden kristalleşmeyi sınırlayarak ve dar bir ITAB sağlayarak mikroyapısal sürekliliği korumak için yeterli ısı girdisi sağlamıştır. Bu bulgular, uygun MIG kaynak parametrelerinin belirlenmesinde termal davranış analizinin kritik önemini vurgulamaktadır.

Sonuç olarak, bu araştırma, AA5083-H321 alüminyum alaşımının MIG kaynağında kaynak hızının hem mikroyapısal evrim hem de mekanik özellikler üzerindeki karmaşık ancak belirleyici etkilerini aydınlatmıştır. Optimal kaynak hızının belirlenmesi, özellikle ITAB bölgesindeki termal döngülerin kontrolü yoluyla, yüksek dayanım ve süneklik değerlerine sahip kusursuz kaynaklı birleştirmelerin elde edilmesinde anahtar bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Elde edilen veriler, denizcilik ve yapısal uygulamalar gibi kritik alanlarda AA5083-H321 alaşımının kaynaklanabilirliğinin geliştirilmesi için değerli bir temel sunmaktadır.

### **Dipnot**

Bu çalışmanın ortaya çıkmasından, kurgusuna ve deneylerinin yapılmasına kadar olan süreçte danışmanlığını ve yürütücülüğünü 6 Şubat 2023 depreminde vefat eden Dr.Öğr.Üyesi Beril ÖZÇELİK gerçekleştirmiştir. Değerli hocamızın yapmış olduğu katkılar için minnettar olduğumuzu belirtmek isteriz.

### **Teşekkür**

Bu proje, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'nin 2022/2-3 YLS numaralı desteğiyle gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, deneyler için kullanılan numunelerin kaynatma işlemlerinde Beril Teknik firmasının altyapı imkanlarından yararlanılmıştır.

### **Yapay Zekâ Katkı Beyanı**

Bu makale tamamen herhangi bir yapay zekâ aracının yardımı olmadan yazılmış, düzenlenmiş, analiz edilmiş ve hazırlanmıştır. Metin, veri analizi ve şekiller dahil tüm içeriğin yalnızca yazarlar tarafından oluşturulduğunu beyan ederim.

### **KAYNAKLAR**

Akın, A. (2015). Gazaltı Kaynak Parametrelerinin Kaynak Mukavemetine Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

American Society for Testing and Materials. (2015). ASTM B928/B928M-15, Standard Specification for High Magnesium Aluminum-Alloy Products for Marine Service and Similar Environments. ASTM International.

Anık, S., & Vural, M. (2011). Gazaltı Ark Kaynağı (TIG MIG MAG). Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü Yayın No: 3.

ASTM. (2015). ASTM B928/B928M - 15 Standard Specification for High Magnesium Aluminum-Alloy Products for Marine Service and Similar Environments. ASTM International.

ASTM. (2021). ASTM B209/B209M - 21 Standard Specification for Aluminum and Aluminum-Alloy Sheet and Plate. ASTM International.

Borrego, L. P., Costa, J. D., Jesus, J. S., Loureiro, A. R., & Ferreira, J. M. (2014). Fatigue life improvement by friction stir processing of 5083 aluminium alloy MIG welds. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 70(1), 68–74. <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2014.02.002>

Callister, W. D. (1991). *Materials Science and Engineering*. Wiley International Edition. [https://doi.org/10.1016/0261-3069\(91\)90101-9](https://doi.org/10.1016/0261-3069(91)90101-9)

Çevik, B. (2013). Örtülü Elektrot Ark Kaynağı Ve MIG Kaynağında Akım Şiddetinin Kaynak Nüfuziyetine Etkisinin İncelenmesi. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 2(2), 22-29.

Dieter, G. E. (1988). *Mechanical Metallurgy*. McGraw-Hill Book Company Limited.

Gao, S., Zhou, L., Sun, G., Zhao, H., Chu, X., Li, G., & Zhao, H. (2021). Influence Of Welding Speed On Microstructure And Mechanical Properties Of 5251 Aluminum Alloy Joints Fabricated By Self-Reacting Friction Stir Welding. *Materials*, 14(20), 6178. <https://doi.org/10.3390/ma14206178>

Haigen, J., Kemou, X., Xiaomei, Y., & Chengji, M. (2021). Effect Of Post-Weld Heat Treatment On Microstructure And Properties Of Al-Mg Alloy Welded Joints. *Metallography, Microstructure, And Analysis*, 10(4), 410-418. <https://doi.org/10.1007/s13632-021-00756-4>

Harman, M., Ada, H., & Çetinkaya, C. (2020). QSTE420TM çeliğinin TIG kaynak yöntemiyle kaynak edilmesinde ilave metal tel çapının metalurjik ve mekanik özelliklere etkisinin belirlenmesi. *Politeknik Dergisi*, 23(3), 829-839. <https://doi.org/10.2339/politeknik.620390>

International Organization for Standardization. (2009). ISO 5173:2009, Destructive tests on welds in metallic materials — Bend tests. ISO.

Kurt, A., Boz, M., & Özdemir, M. (2004). Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kaynak Hızının Birleşebilirliğe Etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(2), 191-197.

Magmaweld. (n.d.). TAL 5183 Kaynak Teli. Magmaweld. <https://www.magmaweld.com/tal-5183-uo>

Mercan, E., Ayan, Y., & Kahraman, N. (2020). Gazaltı metal ark kaynak (GMAK) yöntemiyle birleştirilen AA5754 ve AA6013 alüminyum alaşımlarının mikro yapı ve mekanik özellikleri. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(1), 82-87. <https://doi.org/10.5505/pajes.2019.38063>

Smith, R., Patel, A., & Jones, D. (2021). Effect of heat input and filler composition on microstructural evolution in MIG welded AA5083 Al Mg alloy. *Metallography, Microstructure, and Analysis*, 10(4), 522–530. <https://doi.org/10.1007/s13632-021-00756-4>

Türker, A. (2005). Kaynak Hataları. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yürük, A., Kaya, Y., & Kahraman, N. (2021). Alüminyum alaşımlarının MIG kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliğinin incelenmesi. *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(1), 43-55.