



## AA5754-H22 VE AA2024-T3 LEVHALARIN ZN ARA TABAKA KULLANARAK SÜRTÜNME KARIŞTIRMA EKSTRÜZYON LEHİMLEME YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLMESİ

Neslişah KURNAZ<sup>1\*</sup>, Berna SALVAZLIOĞLU<sup>2</sup>, Yahya BOZKURT<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Marmara Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul,  
ORCID No : 0000-0001-8459-5117

<sup>2</sup> Marmara Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul,  
ORCID No : 0000-0003-2767-9378

<sup>3</sup> Marmara Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul  
ORCID No : 0000-0003-1816-5922

### Anahtar kelimeler

### Öz

Alüminyum, çinko, ekstrüzyon, lehimleme, sürtünme karıştırma ekstrüzyon

Günümüzde savunma, havacılık ve uzay sanayinde, otomobil sanayiinde ve çeşitli endüstriyel alanlarda alüminyum alaşımları imalatı büyük önem kazanmıştır. Üretim aşamasında alüminyum malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan ergitmeli kaynak yöntemleri problemlili ve zordur. Ayrıca, bu alaşımların birbirine benzemeyen metaller ile birleştirilmesinde geleneksel birleştirme yöntemleri katı hal kaynak yöntemleri kadar cevap verememektedir. Alüminyum alaşımlarının düşük yoğunluk, iyi tokluk, kolay şekillendirilebilme, yüksek mekanik özelliklere sahip olması ve hafifliği, işlenebilirliği, yüksek korozyon direnci, yüksek dayanıma sahip olması gibi özelliklerinden dolayı alüminyum alaşımlarının birleştirme tekniklerinde katı hal kaynak yöntemleri önemli bir husustur. Son yıllarda ön planda olan Sürtünme Karıştırma Kaynağı ve Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağının yanı sıra Sürtünme karıştırma ekstrüzyon lehimleme yöntemi güncel kaynak yöntemleri arasına girmiştir.

<sup>1</sup> Sorumlu yazar; e-posta: neslisahkurnazz@hotmail.com  
doi : muhendismakina.1319106

*Bu çalışmada, takım ilerleme hızı sabit tutulup bekleme süresi değiştirilerek AA2024-T3/Zn/AA5754-H22 alüminyum alaşımlı levhalar ve ara katman olarak çinko metalleri kullanılarak SKEL yöntemiyle birleştirme yapılmıştır. SKEL yöntemi ile yapılan birleştirmelerde takım ilerleme hızının, karıştırıcı ucun dönme hızının ve takım bekleme süresinin mekanik davranışlar üzerine olan etkisini tespit etmek amacıyla; çekme testi, mikrosertlik testi ve mikroyapı analizleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda takım bekleme süresinin artmasıyla mekanik özelliklerde artış elde edilmiştir.*

---

## JOINING OF AA5754-H22 AND AA2024-T3 PLATES BY FRICTION STIR EXTRUSION BRAZING METHOD USING ZN INTERLAYER

---

### Keywords

*Aluminum, zinc, extrusion, brazing, friction stir extrusion*

### Abstract

*Today, the production of aluminum alloys has gained great importance in the defense, aviation and space industry, automobile industry and various industrial areas. Fusion welding methods used in joining aluminum materials during production are problematic and difficult. In addition, conventional joining methods are not as successful as solid state welding methods in dissimilar joining these alloys with other metals. Solid state welding methods are an important issue in the joining techniques of aluminum alloys due to their low density, good toughness, easy formability, high mechanical properties and light weight, machinability, high corrosion resistance and high strength. In addition to Friction Stir Welding and Friction Stir Spot Welding, which have been at the forefront in recent years, Friction Stir Extrusion Brazing (FSEB) has become one of the current welding methods. In this study, FSEB method was performed using AA2024-T3/Zn/AA5754-H22 aluminum alloy sheets and zinc metals as interlayer by keeping the tool feed rate constant and changing the waiting time. In order to determine the effect of tool feed speed, rotating speed of the mixer tip and tool waiting time on mechanical behavior in the joints made with the FSEB method; tensile test, microhardness test and microstructure analyzes were performed. As a result of the experimental studies, an increase in the mechanical properties was obtained with the increase of the tool waiting time.*

---

Araştırma Makalesi

Research Article

Başvuru Tarihi : 05.08.2022

Submission Date : 05.08.2022

Kabul Tarihi : 09.11.2022

Accepted Date : 09.11.2022

---

## Extended Abstract

### Introduction

Aluminum and aluminum alloys are used in the aviation and automotive industries due to their lightness. In today's automotive industry, the use of aluminum alloy sheets as a light metal is increasing to increase fuel efficiency and reduce automobile structure weight. TIG and MIG welding methods are the most preferred for joining aluminum and aluminum alloys. However, metallurgical transformations that occur in the heat affected region depending on the internal structure of the material in welded joining of aluminum and its alloys with these welding methods, which are based on melting, cause problems such as porosity, oxide film, hot cracking during the use of welded joints. Due to such problems, friction stir welding (FSW), which is a solid phase welding method, has started to be used, apart from melting-based joining methods. Then, Friction Stir Extrusion Brazing (FSEB) was used to join aluminum alloys. The Friction Stir Extrusion Brazing (FSEB) process is the most interesting solid state welding method. It is a method obtained with the development of friction stir welding. The FSEB process is a process of forming an interlayer between overlapping sheets using the downward dipping motion of a rotating pinless tool (without agitator tip) to form the extrusion of the top plate. The interlayer reduces the reaction between the reactive base metals, prevents the formation of inter-metallic phases, improves the performance of the joined zone, and also during the friction mixing process the relative width of the joint creates a brazed zone by diffusion. Joining using extrusion aids mechanical joining and good combination for durable strength of the joined regions. Friction stir welded joints have several advantages over joints produced by conventional melt welding processes, such as low residual stress, minimal distortion, and high joint strength. In this study, AA2024-T3/Zn/AA5754-H22 was joined with FSEB method using aluminum alloy and interlayer zinc metals. The mechanical and microstructural properties were evaluated by changing the tool waiting time in the joints.

### Material and Methods

In experimental studies, AA5754-H22 aluminum alloy sheet 50x150x1.5 mm pure zinc (Zn) sheet 54x100x0.5 mm and AA2024-T3 aluminum alloy sheet 100x120x1.6 mm used as an intermediate layer were cut with guillotine shears and made ready for joining. The pinless tool (without mixing tip) used in the FSEB process was manufactured from 1.2343 hot work steel and reached a hardness value of 54-56 HRC by quenching. The shoulder diameter of the tool used is 14 mm. The FSEB process was carried out on a numerically controlled milling machine with the AA2024-T3 aluminum alloy plate on top. After placing the Zn plate on the AA5754-H22 aluminum alloy plate in the FSEB mold, the AA2024-T3 aluminum alloy plate was placed on the top and compressed with the pressure shoes. The end position of the part is determined by adjusting the tool axis to the exact center of the joint. The samples that were ready for the FSEB process were manually combined depending on the joining parameters. 2080 rpm tool rotation speed, 45 mm/min tool feed rate and tool waiting times are determined as 10 and 50 s. The joined materials were grinded and etched with Keller's reagent for metallographic examination. Samples prepared for metallographic examination were examined under an optical microscope for microstructure evaluation. In addition, HV microhardness measurements were taken from the joint areas. The HV test was carried out with a load of 200 g and a time of 10 s.

## Findings and Discussion

FSEB made samples was applied to tensile test. As a result of the tensile test, the highest tensile strength value was observed in the sample with a waiting time of 50 seconds. In the literature, it has been observed that increasing the waiting time increases the tensile strength. Another test applied to the samples is the microhardness test. HV microhardness measurements were taken from the joint areas. For the microhardness test, the hardness value was taken from the AA2024-T3, Zn and AA5754-H22 regions of the sample. The highest hardness value was reached in the AA2024-T3 region. This region is the heat affected zone (HAZ). The reason why this region is high is the high mechanical properties of AA2024-T3. The lowest hardness value was observed in the region of the Zn interlayer. Since the heating and cooling times are long, this region is deformed and recrystallization or excessive aging has occurred. AA5754-H22 shows a thermo-mechanically affected (TMAZ) transition zone where the hardness of the aluminum alloy is measured. It has been determined that this region is a value between pure zinc and AA2024-T3 aluminum alloy. As a result of the microstructure test, when the waiting time was taken for 10 s, no coalescence was observed in the region between AA5754-H22/Zn and cracks occurred due to heat input. When the waiting time is increased to 50 s, it has been observed that a well-joined region is formed. It has been observed that the Zn layer used as the intermediate layer acts as a barrier, inhibiting the intermetallic phases, and mechanically durable interlocking has been obtained.

## Conclusions

It has been observed that the waiting time affects the mechanical properties when joining AA2024-T3 and AA5754-H22 aluminum alloy sheets with FSEB using Zn interlayer. AA2024-T3 aluminum alloy sheet was successfully bonded with AA5754-H22 aluminum alloy sheet using Zn interlayer by FSEB method using 2080 rpm tool rotation speed, 45 mm/min tool feed speed and tool waiting time of 10 s to 50 s.

## 1. Giriş

Otomotiv üreticilerinin önemli hedefleri arasında hafif ancak mukavemeti yüksek alaşımların geliştirilmesi oldukça önemlidir. Alüminyum, otomotiv endüstrisinde yakıttan tasarruf etmek için hafif malzeme seçiminde önemli derecede kullanıma sahiptir (Başer, 2012).

AA5754-H22 alaşımlı alüminyum levhalar; düşük yoğunlukları, geri dönüşüm kolaylığı ve korozyon direncinin yüksek olmasının sağladığı avantaj ile otomotiv sektöründe araçlarda çeliğin yerine kullanılan cazip bir malzeme haline gelmiştir. Ayrıca AA5754-H22 alüminyum alaşımı makine imalat sektörü, inşaat sektörü ve gemi inşaat sektöründe kullanılmaktadır (Turbaloğlu). Havacılık ve uzay uygulamalarında düşük özgül ağırlık, yüksek yorulma dayanımı, korozyon direnci gibi özelliklerinden dolayı AA2024-T3 alüminyum alaşımı yoğun olarak kullanılmaktadır. AA2024-T3 alaşımı uçak gibi hava araçlarında kanat ve gövde yüzeylerinde kullanılmaktadır (Günerhan, 2021).

Kaynak kabiliyeti zor olan Al-alaşımı ve Cu-alaşımı gibi malzemelerin birleştirme işleminde 1991 yılında geliştirilen bir katı hal birleştirme işlemi olan Sürtünme Karıştırma Kaynağı (SKK) kullanılmaktadır (Şık, A., Ertürk, İ. ve Önder, M., 2010; American National Standards Institute, 2019). G.İpekoğlu ve arkadaşları, dört farklı kalınlıktaki AA6061-T6 levhalarını uygun karıştırıcı takımlar kullanıp SKK yöntemiyle birleştirmişlerdir ve elde edilen kaynaklı bağlantıların hiçbirinde kaynak hatasına rastlamamaları başarılı bir birleştirme yaptıklarını doğrulamıştır (İpekoğlu, Akçam ve Çam, 2018). Sürtünme karıştırma kaynağı kaynak süresinin kısa olması, minimum yüzey hazırlığı ve otomasyon kolaylığı avantajlarından dolayı son yıllarda kullanımı artmış bir kaynak yöntemidir (Şık ve diğerleri, 2010). Çevik, Özçatalbaş ve Uygur (2012) yapmış oldukları çalışmada 7075-T651 Al alaşımı levhalar sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile sabit devirde ve farklı ilerleme hızları kullanılarak birleştirilmiştir. Birleştirme bölgesinin sertlik ve mikro yapısını incelemişlerdir.

Sarsılmaz ve Özdemir (2008), AA 1050 ve AA6061 alüminyum alaşımları, alın pozisyonunda sabit devir (1120 dev/dk) ve sabit ilerleme hızında (250 mm/dk) üç farklı uç profili kullanılarak başarılı bir şekilde birleştirilmişlerdir. Vidalı karıştırıcı uç geometrisinin, kaynaklı bağlantıların mekanik özellikleri üzerinde önemli etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Boz ve Kurt (2004), Al 1080 alaşımlı levhaları 5 farklı karıştırıcı uç geometrisi kullanarak SKK ile birleştirmişlerdir. Karıştırıcı uç geometrileri 0.85, 1.10, 1.40 ve 2.00 mm diş açıklıklı vida şeklinde ve 5x5 mm kare kesitli şekilde imal edilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, 1.40 ve 2.00 mm diş açıklıklı vida şekilli karıştırıcı uçların kaynak için uygun olmadığı gözlemlenmiştir. 5x5 mm kare kesitli karıştırıcı ucun ise mekanik özelliklerinin düşük çıktığı belirlenirken,

0.85 ve 1.10 mm dış açıklığına sahip karıştırıcı uçların 110 N/mm<sup>2</sup> çekme mukavemeti elde edildiği belirtilmiştir (Boz ve Kurt, 2004).

Bozkurt, Salman ve Çam (2013), 1.6 mm kalınlığında AA2024-T3 ve 1.5 mm kalınlığında AA5754-H22 alüminyum levhalarını SKNK yöntemi ile birleştirmişlerdir. SKNK yönteminde kullanmış oldukları takımın malzemesi sıcak iş takım çeliği olup alüminyum titanyum nitrür (AlTiNi) ile kaplanmış ve 58 HRC sertliğe ulaştırılmıştır. Takımının omuz çapı 14 mm, pim çapı 4 mm ve pim uzunluğu 2.35 mm olarak ayarlanmıştır.

Sürtünme karıştırma ekstrüzyon lehimlemesi (SKEL) yöntemi, üst tabakanın alt tabakadaki öncü deliğe ekstrüzyon yoluyla mekanik olarak kilitlemesini sağlayacak şekilde üst üste binen metal levhalar arasında bir ara tabaka kullanarak yapılmaktadır. Sürtünme karıştırma kaynaklı birleştirmeler, geleneksel ergitme kaynağı işlemleriyle üretilen bağlantılara göre düşük kalıntı gerilme, minimum distorsiyon ve yüksek bağlantı mukavemeti gibi çeşitli avantajlara sahiptir (Doğan, 2006). Birleştirme işleminin ekstrüzyon kullanılarak yapılması, birleştirilen bölgelerin dayanıklı mukavemeti için mekanik birleştirme ve iyi derecede bağlanmayı sağlamaktadır (Paidar, Ashraff Ali, Mohanavel, Mehrez, Ravichandran ve Ojo, 2021). Lehimleme de ise, iki veya daha fazla metalin bir dolgu metalinin bağlantı aralığına akıtılması ile bir araya getirildiği ve iş parçalarının eritilmediği bir birleştirme işlemidir. Lehimleme yöntemini kullanmanın başlıca avantajları katmanlar arası kontrollü atomik difüzyon ve malzemelerin kendiliğinden reaksiyona girmesi olarak sayılabilir (Sınmazışık, 1998).

Ara katman, reaktif olan ana metaller arasındaki reaksiyonu azaltmakta ve intermetalik fazların oluşumunu engellemektedir. Paidar ve diğerleri (2021), SKEL yöntemini kullanarak farklı AA2024-T3 ve bakır (Cu) alaşımlarının, çinko (Zn) ara katman kullanılarak birleştirilmesini incelemişlerdir. SKEL işleminde malzeme akışlı kaynak kusuru gözlenmez iken bu işlem Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağında (SKNK) yapıldığında akış gerilmelerinde eşitsizlik meydana geldiği sonucuna varmışlardır. Haiyan ve Mehta (2020), AA5083 Al alaşımı ve 16 Mn çeliği ince bir Zn sert lehim (ara tabaka) ile birleştirmede çok katmanlı bir sürtünme karıştırmalı lehim tekniğini başarıyla kullanmışlardır. Bu yaklaşımın, güçlü metaller için mekanik bir kaynak yolu ve alüminyum alaşımları için metalurjik bir bağlama yolu oluşturduğunu bildirmişlerdir.

Paidar, Bokov, D., Mehrez, Nasution, Ojo ve Zain (2022), AA2024-T3 ve pirinç alaşımlarını çinko ara katman kullanarak Sürtünme Karıştırma Ekstrüzyon Nokta Birleştirmesi yöntemi ile birleştirmişlerdir. Destek plakası olarak bakır ve çelik kullanılmıştır. Destek plakalarının etkisi ile AA2024/Zn/Pirinç bağlantısının mikroyapı, mekanik ve kırılma davranışları incelenmiştir.

Bu çalışmada, AA2024-T3 ve AA5754-H22 alüminyum alaşımları SKEL yöntemi

miyle Zn ara katman kullanılarak birleştirilmiştir. Birleştirmelerde takım bekleme süresi değiştirilerek mekanik ve mikroyapı özellikleri değerlendirilmiştir.

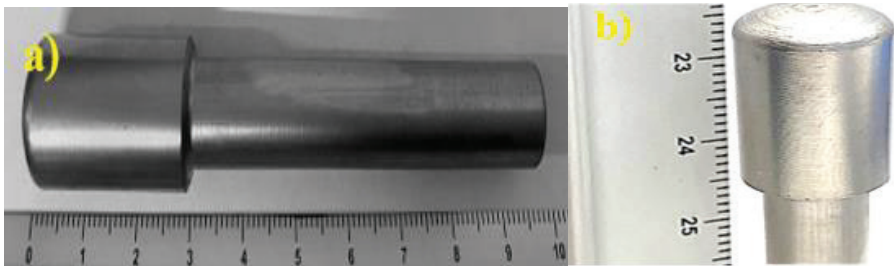
## 2. Materyal ve Yöntem

Deneysel çalışmalarda, AA5754-H22 alüminyum alaşımı levha 50x150x1.5 mm ara katman olarak kullanılan saf çinko (Zn) levha 54x100x0.5 mm ve AA2024-T3 alüminyum alaşımı levha 100x120x1.6 mm ebatlarında giyotin makas ile kesilerek birleştirme için hazır hale getirilmiştir. SKEL için kullanılan alüminyum alaşımı levhaların kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri aşağıda verilen Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. AA2024-T3 Ve AA5754-H22 Levhaların Kimyasal Bileşimi ve Mekanik Özellikleri

Malzeme	Mekanik özellikler		Kimyasal Bileşim (%)								
	Çekme Mukavemeti	Uzama (%)	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr
AA2024-T3	435 MPa	17	93.1	0.07	0.14	4.5	0.65	1.5	0.01	0.02	-
AA5754-H22	245 MPa	14	95.2	0.25	0.31	0.02	0.38	3.2	0.18	0.12	0.23

SKEL işleminde kullanılan probsuz (karıştırıcı uçsuz) takım 1.2343 sıcak iş çeliğinden imal edilmiştir. Daha sonra su verme işlemi ile 54- 56 HRC sertlik değerine ulaştırılmıştır. Kullanılan takımın omuz çapı 14 mm'dir. SKEL için kullanılan probsuz takımın resmi Şekil 1a ve 1b'de gösterilmiştir.



Şekil 1. a) SKEL Takımı b) Takım Omuz Görüntüsü

Kalınlığı 1,6 mm olan AA2024-T3 alüminyum alaşımı levha üstte olacak şekilde SKEL işlemi numerik kontrollü freze tezgahında gerçekleştirilmiştir. SKEL işlemine başlamadan önce literatür taraması yapılmış ve birleştirme parametreleri

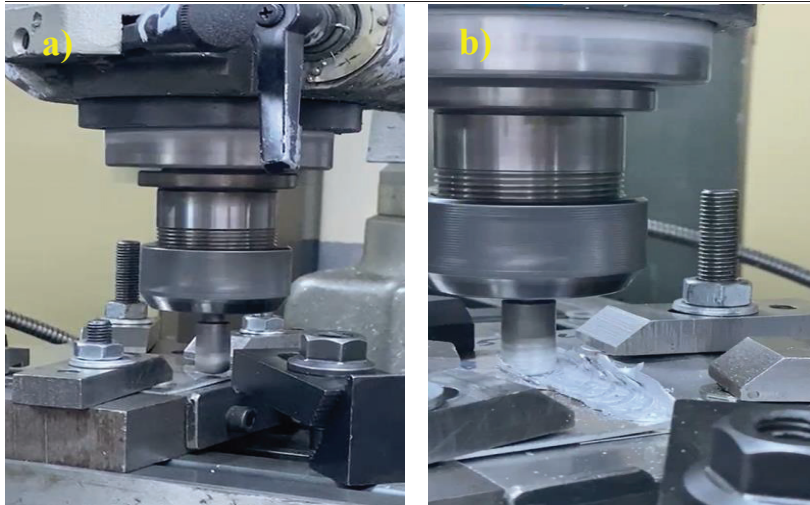


belirlenmiştir. Birleştirme parametrelerinde, bekleme süresinin değiştirilmesi mekanik özelliklere nasıl etki edeceği incelenmiştir. Tablo 2' de birleştirme parametreleri verilmiştir.

Tablo 2. Birleştirme Parametreleri

Birleştirme No	Takım dönme hızı (dev./dk.)	Takım ilerleme hızı (mm/dk.)	Takım dalma derinliği (mm)	Bekleme süresi (s)
1	2080	45	2.6	50
2	2080	45	2.3	10

SKEL kalıbına, AA5754-H22 alüminyum alaşımlı levha üzerine Zn levha yerleştirildikten sonra AA2024-T3 alüminyum alaşımlı levha en üst kısma konarak baskı pabuçları ile sıkıştırılmıştır. Takım eksenini, birleştirmenin tam merkezine gelecek şekilde ayarlanıp parçanın son konumu belirlenmiştir. SKEL işlemine hazır hale gelen numuneler birleştirme parametrelerine bağlı olarak manuel bir şekilde birleştirilmiştir. 45 mm/dak takım ilerleme hızı ve takım bekleme süreleri 10 ve 50 s olarak belirlenmiştir. Birleştirme işleminin yapılmasına ilişkin resim Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 2a'da SKEL' de daldırma işlemi öncesi, şekil 2b'de ise SKEL işlemi sırası gösterilmiştir.



Şekil 2. a) SKEL'de Daldırma İşlemi Öncesi b) SKEL İşlemi Sırası

SKEL işlemi uygulanmış AA2024-T3/Zn/AA5754-H22 alüminyum alaşım ve ara

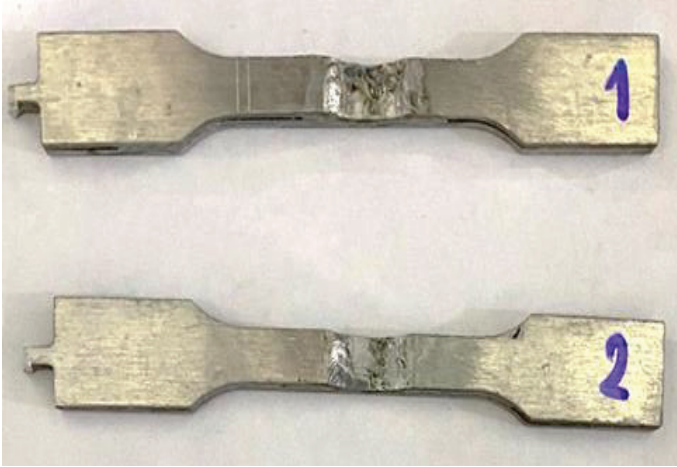


katman çinko metalleri çekme numuneleri hazırlamak için birleştirme bölgelerinden AWS C1.1 standardına (American National Standards Institute, 2019) uygun şekilde su jeti yöntemi ile kesilmiştir. (Şekil 3).



Şekil 3. Su Jeti ile Kesim

Su jeti ile kesildikten sonra çekme testi için hazır hale getirilmiş ve teste tabi tutulmuştur (Şekil 4).



Şekil 4. Çekme Testi Numuneleri

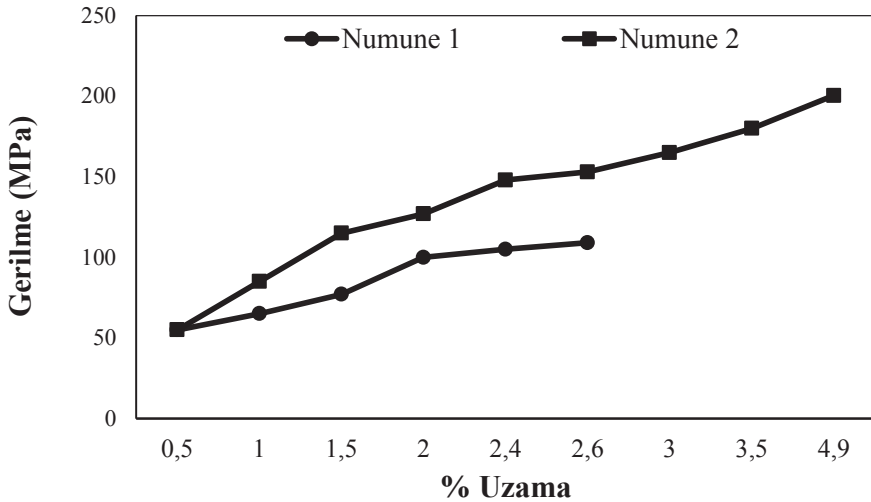
Birleştirilen malzemeler zımparalanmış ve metalografik inceleme için Keller reaktifi ile dağlanmıştır. Metalografik inceleme için hazırlanmış numuneler mikroyapı değerlendirmesi için optik mikroskopta incelenmiştir. Ayrıca, birleşme bölgelerinden HV mikrosertlik ölçümleri alınmıştır. HV deneyi, 200 g yük ve 10 s'lik bir sürede gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1 Çekme Testi

SKEL yapılmış numunelerin gerilme-%uzama grafiği Şekil 6'da verilmiştir. Grafikte bekleme süresi 10 s olduğunda elde edilen sonuçlar numune 1 olarak, bekleme süresi 50 s olduğundaki değerler ise numune 2 olarak gösterilmiştir. 1 numaralı numunenin çekme testi sonucunda 109.1 MPa değerinde en düşük çekme mukavemeti, 2 numaralı numunede 200.4 MPa değerinde en yüksek çekme mukavemeti elde edilmiştir.



Şekil 5. Numunelerin Gerilme-%Uzama Grafiği

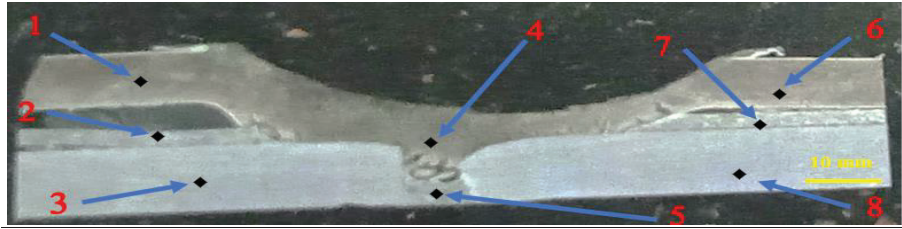
Şekil 5'deki değerlerin birbirinden farklı çıkmasının sebebi bazı bölgelerde yetersiz nüfuz etme, birleştirme bölgesindeki ısı girdisinin düşük olması, karıştırmanın yeterli ve tam olmaması sebebiyle bu bölgelerde çekme testinde farklı değerler elde edilmiştir. Bu olumsuzluklar giderilmesi uygun birleştirme şartları ve uygun takım dönme hızı ve bekleme süresiyle rahatlıkla giderilebileceği düşünülmektedir.

Lathabai, Painter, Cantin ve Tyagi (2006), ekstrüde edilmiş bir Al-Mg-Si alaşımının sürtünme noktası birleştirmesi olan çalışmalarında farklı takım dönme hızı ve bekleme süresi kullanmışlardır. Bunun sonucunda takım bekleme süresinin artışı çekme kuvvetini hep artırma yönünde sonuç verdiğini gözlemlemişlerdir.

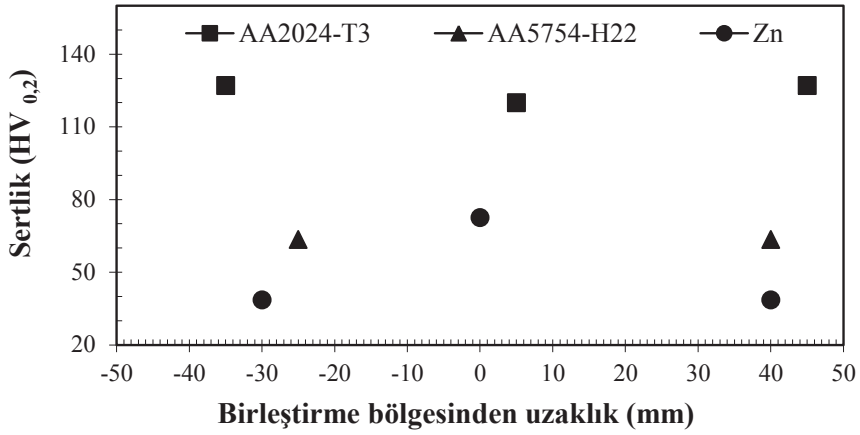
### 3.2 Mikrosertlik Testi

Birleşme bölgelerinden HV mikrosertlik ölçümleri alınmıştır. Şekil 6'da mikrosertlik ölçümü için hazırlanmış numunenin makro görüntüsü ve sertliğin hangi bölgelerden alındığı gösterilmiştir. Şekil 7'de farklı numunelerin mikrosertlik ölçüm sonuçları verilmiştir.

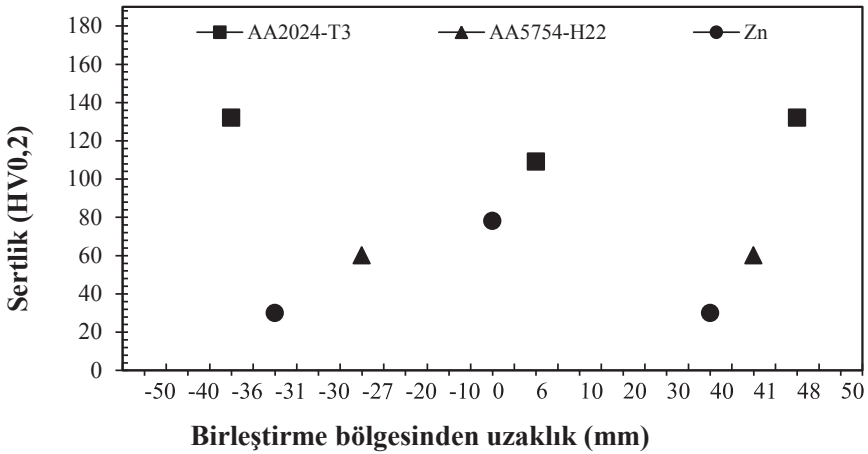
Şekil 6'de 1 ve 6 numaralı bölgeler Şekil 7 ve 8'de kare ile gösterilmekte olup AA2024-T3 alüminyum alaşımının ısıdan etkilenmiş bölgesinin (IEB) sertliğini vermektedir. İki grafikte de bu bölgede en yüksek sertliğe ulaşılmıştır. Bu değer yüksek olmasının sebebi AA2024-T3 alüminyum alaşımının, diğer alüminyum alaşımına göre daha yüksek mekanik özelliklere sahip olmasından dolayıdır. En düşük sertlik değeri ise Şekil 6'da 2 numaralı bölgedir. Şekil 7 ve 8'de daire ile gösterilen saf Zn ara katmanının IEB kısmında meydana gelmiştir. Isıtma ve soğutma süreleri fazla olduğundan dolayı bu bölge deformasyona uğrayıp yeniden kristalleşme veya aşırı yaşlanma meydana gelmiştir. Şekil 6'da 3 ve 8 numaralı bölgeler olarak gösterilen bölgeler Şekil 7 ve 8'de de üçgen olarak gösterilip AA5754-H22 alüminyum alaşımının sertliğinin ölçüldüğü termo-mekanik olarak etkilenmiş (TMEB) bir geçiş bölgesini göstermektedir. Şekil 6'daki 5 numaralı bölge olan birleştirme bölgesinin ise saf çinko ve AA2024-T3 alüminyum alaşımının arasında bir değer olduğu saptanmıştır.



Şekil 6. Mikrosertlik Ölçümü İçin Hazırlanmış Numunenin Makro Görüntüsü Ve Sertlik Bölgeleri



Şekil 7. Bekleme Süresinin 10 s Olduğu Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları



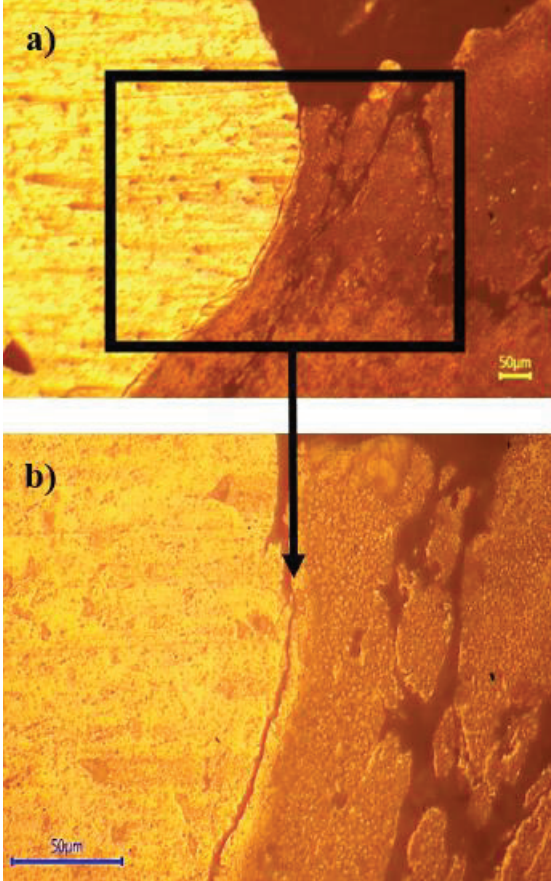
Şekil 8. Bekleme Süresinin 50 s Olduğu Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları

### 3.3 Mikroyapı Sonuçları

SKEL yapılmış numunelerin mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Şekil 9' da takım bekleme süresinin değişime bağlı olarak mikroyapı görüntüsü verilmiştir. Bekleme süresi 10 s alındığında AA5754-H22/Zn arasındaki bölgede bir birleşme görülmemiştir ve ısı girdisinden dolayı çatlak meydana gelmiştir (Şekil 9).

Isı girdisinin düşürülmesi malzemelerin iyi karıştırılamaması, kaynak bölgesinde boşlukların ve çatlakların görülmesi gibi nedenlerden dolayı olumsuz sonuçlar vermektedir. Ayrıca, takım dönme hızının (devir sayısının) düşürülmesi ısı girdisinin düşürülmesi için yapılan bir işlemdir. Bu işlem, intermetalik bileşiklerle-

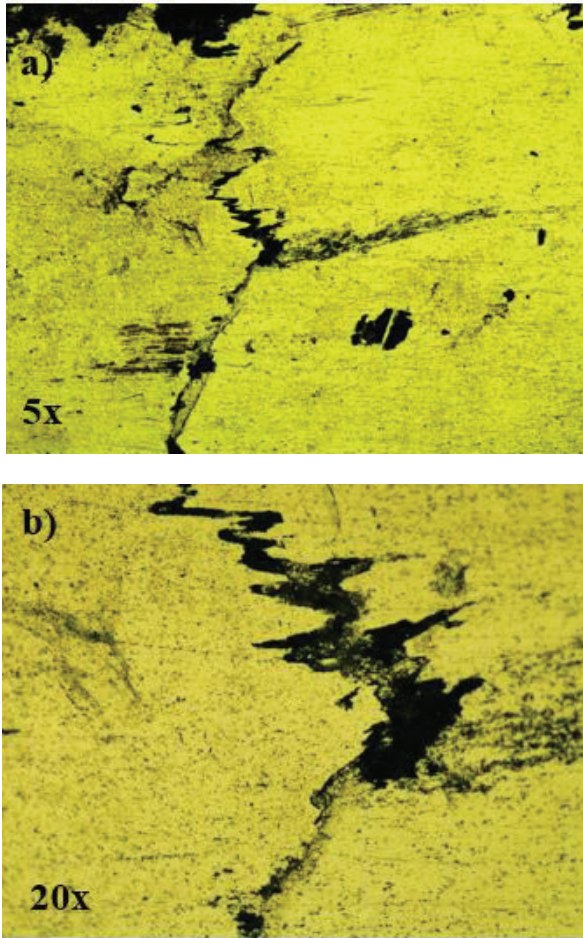
rin kötü bir şekilde dağılımına neden olarak mukavemeti de düşürmektedir (Bilgin, Karabulut ve Özdemir, 2017).



Şekil 9. Bekleme Süresi 10 s Olan a) AA5754-H22/Zn Mikroyapısı (100x) b) AA5754-H22/Zn Mikroyapısı (500x)

Bekleme süresi 50 s'ye çıkarıldığında ise düzgün birleşimli bir bölge oluştuğu gözlemlenmiştir. Ara katman olarak kullanılan Zn tabakasının bir bariyer görevi gördüğü, intermetalik fazları engellediği gözlenmiş ve mekanik dayanıklı kilitlenme elde edilmiştir (Şekil 10). Şekil 10 a' da AA5754-H22/Zn mikroyapısının 5x'de alınmış görüntüsüdür. Şekil 10 b' de ise AA5754-H22/Zn mikroyapısının 20x'de alınmış görüntüsü olup Zn'nin AA2024-T3 ve AA5754-H22 alüminyum alaşımlarının birbirlerine karışmasını engellediği görülmektedir. Zn, alüminyum alaşımları arasındaki difüzyon olayını engelleyip mekanik kilitlenme meydana getirmiştir.

Paidar ve diğerleri (2021), AA2024-T3 ve bakır alaşımlarının, çinko ara katman kullanılarak birleştirilmesini incelemişlerdir. Zn ara tabakasının bir bariyer görevi gördüğünü ve aslında Cu' nun Al' ye difüzyonunun ya da tam tersinin Zn ara tabakası tarafından sınırlandırıldığını belirtmişlerdir. Bu sonuç, birleştirme işlemi sırasında Al ve Cu reaksiyonunu sınırlamıştır.



Şekil 10. Bekleme Süresi 50 s Olan a) AA5754-H22/Zn Mikroyapısı (5x) b) AA5754-H22/Zn Mikroyapısı (20x)

#### 4. Sonuçlar

AA2024-T3 ve AA5754-H22 alüminyum alaşımı levhaların Zn ara katman kullanılarak SKEL ile birleştirilmesinde bekleme süresinin mekanik özellikleri nasıl etkilediği aşağıdaki sonuçlarda belirtilmiştir.



1. Takım bekleme süresinin kaynak çekme kuvveti üzerinde en etkin parametrelere biri olduğu tespit edilmiştir. Bekleme süresi arttırıldığında çekme testi sonuçlarında olumlu artış elde edilmiştir.
2. Ara katman olarak kullanılan Zn tabakasının bir bariyer görevi gördüğü, intermetalik fazların oluşumunu engellediği gözlenmiş ve mekanik dayanıklı kilitlenme elde etmiştir.
3. Takım bekleme süresi arttıkça sertlik azalmıştır. Bunun nedeni, malzemeye aktarılan ısı girdisinin artması ve artan ısı girdisinin malzeme sertliğini azaltıcı etkisinin sebep olduğu düşünülmektedir.
4. 2080 dev/ dk takım dönme hızı, 45 mm/ dk takım ilerleme hızı ve takım bekleme süresi 10 s ile 50 s kullanılarak SKEL yöntemi ile AA2024-T3 alüminyum alaşımlı levha Zn ara tabaka kullanılarak AA5754-H22 alüminyum alaşımlı levha ile başarılı bir şekilde birleştirilmiştir.

### Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı tarafından 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir. Bu kapsamda, TÜBİTAK Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığına teşekkür ederiz.

### Semboller ve Kısaltmalar

°C	Santigrat Derece
$\mu m$	Mikrometre
s	Süre
YMK	Yüzey Merkezli Kübik
SKK	Sürtünme Karıştırma Kaynağı
SKNK	Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı
SKEL	Sürtünme Karıştırma Ekstrüzyon Lehimlemesi
IEB	Isıdan Etkilenmiş Bölge
TMEB	Termo Mekanik Olarak Etkilenen Bölge
dev/dak	devir/dakika
cal/g°C	kalori/gram.santigrat derece
N/mm <sup>2</sup>	newton/milimetrekare
kPa/mm <sup>2</sup>	Mukavemet
mm/dak	milimetre/dakika
gr/mol	gram/mol
HV	Vickers



## Kaynakça

- American National Standards Institute (2019), *AWS C1.1M /C.1:2019 An American National Standard American Welding Society*, Baskı:6.
- Başer, T. A. (2012), Alüminyum Alaşımaları ve Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı, *Mühendis ve Makina*, 53 (635), 51-58.
- Bilgin, M., Karabulut, Ş. Ve Özdemir, A. (2017), Alüminyum Magnezyum Alaşımalarının Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Kaynak Edilebilirliğinin Değerlendirilmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, GU J Sci, Part C, 5 (2), 191-209.
- Bozkurt, Y., Salman, S. Ve Çam, G. (2013), Effect of welding parameters on lap shear tensile properties of dissimilar friction stir spot welded AA 5754-H22/2024-T3 joints, *Sci. Technol. Weld. Join.*, 18(4), 337-345. Doi: <https://doi.org/10.1179/1362171813Y.0000000111>
- Boz, M. Ve Kurt, A. (2004), The Influence of Stirrer Geometry on Bonding and Mechanical Properties in Friction Stir Welding Process, *Materials and Design*, 25, 343-347. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2003.11.005>
- Çevik, B., Özçatalbaş, Y. Ve Uygur, İ., (2012), 7075 Alüminyum Alaşımının Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilmesi, *International Conference on Welding Technologies and Exhibition 23-25 May 2012*, Ankara, Turkey.
- Doğan, S. (2006), AA 5754-H22 Alüminyum Alaşımının Sürtünme Karıştırma Kaynağında İşlem Parametrelerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, *Osmanğazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı*, Eskişehir.
- Günerhan, A. (2021), Havacılıkta Kullanılan AA2024-T3 Alüminyum Alaşımının Lazer İle Yüzey Özelliklerinin Değiştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Havacılık Bilimi ve Teknolojileri Anabilim Dalı*, Kocaeli.
- Haiyan, Z. & Mehta, K.P. (2020), Effect Of Materials Positioning On Dissimilar Modified Friction Stir Clinching Between Aluminum 5754-O And 2024-T3 Sheets, *Vacuum*, 178, 109445. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2020.109445>
- İpekoğlu G., Akçam Ö., ve Çam G., (2018), Farklı kalınlıktaki AA6061-T6 levhaların sürtünme karıştırma kaynağı için uygun kaynak parametrelerinin belirlenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(1), 324-335.
- Lathabai, S., Painter, M. J., Cantin, G. M. D., & Tyagi, V. K., (2006), Friction spot

joining of an extruded Al-Mg-Si alloy, *Scripta Materialia*, 55, 899-902. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2006.07.046>

Paidar, M., Ashraff Ali, K.S., Mohanavel, V., Mehrez S., Ravichandran M. & Ojo O.O. (2021), Weldability And Mechanical Properties Of AA5083-H112 Aluminum Alloy And Pure Copper Dissimilar Friction Spot Extrusion Welding-Brazing, *Vacuum*, 187, 110080. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2021.110080>

Paidar, M., Bokov, D., Mehrez, S., Nasution, M.K.M., Ojo, O.O. & Zain, A.M. (2022), The influence of the backing plate materials on microstructure and mechanical properties of friction spot extrusion brazing of AA2024-T3 aluminum alloy and Brass sheets, *Journal of Manufacturing Processes*, 74, 28-39. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.12.002>

Sarsılmaz, F. Ve Özdemir, N. (2008), AA1050/AA6061 Alüminyum Alaşım Çiftinin Sürtünme Karıştırma Kaynağında Karıştırıcı Uç Profillerinin Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*.

Sınmazışık G. (1998), Metal Alaşımalarının Örtülü Lehim Yöntemi İle Birleştirilmesinde Kullanılan Değişik Revetmanların Lehim Hassasiyetine Etkileri Üzerine Araştırmalar, Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, İstanbul.

Şık, A., Ertürk, İ. ve Önder, M. (2010), AA2024 Alüminyum Alaşımının Sürtünme Karıştırma Kaynağında Farklı Parametrelerin Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16 (2), 139-147.

Turbaloğlu, K., İkiz Merdaneli Sürekli Döküm Tekniği ile AA5754 Malzeme Üretimi, *Teknik Alüminyum San. A.Ş., İstanbul*.