



**Makale / Research Paper**

**Sürtünme Karıştırma Kaynak Tekniği ile Birleştirilen  
Pirinç (CuZn63) Levhaların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi**

Zarif CATALGÖL<sup>1a\*</sup>, İnan GEÇMEN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul/TÜRKİYE

<sup>2</sup>Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Bölümü, İstanbul/TÜRKİYE  
[zcatalgol@marmara.edu.tr](mailto:zcatalgol@marmara.edu.tr)

**Received/Geliş:** 20.10.2020

**Accepted/Kabul:** 13.12.2020

**Öz:** Bu çalışmada pirinç levhalar farklı kaynak parametreleri kullanılarak sürtünme karıştırma kaynak tekniği ile birleştirilmiştir. Kaynak takımı H13 sıcak iş takım çeliğinden imal edilmiştir. Yapılan birleştirmelerin mekanik özellikleri çekme deneyi ve mikro sertlik deneyleriyle belirlenmiştir. Kaynak yapılan numunelerden alınan alın kesit üzerinde ana metal bölgesi, termomekanik olarak etkilenen bölge (TMEB), ısıdan etkilenen bölge (HAZ) ve karıştırma bölgeleri elde edilmiştir. Mikroyapı karakterizasyonu için EDS analizi ve SEM görüntüleri alınmıştır. Kaynak esnasındaki takım dönme hızı ve kaynak ilerleme hızlarına bağlı olarak kaynak bölgesindeki değişken ısı miktarı, malzeme akışının değişkenlik gösterdiğinden dolayı mekanik özelliklerinde değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sürtünme karıştırma kaynağı, pirinç malzeme, mekanik özellikler, EDS analiz.

**Investigation of Mechanical Properties of Brass (CuZn63) Plates  
Joined by Friction Stir Welding Technique**

**Abstract:** In this study, friction stir welding at different welding parameters was applied to brass plates. The welding tool is made of H13 hot work tool steel. The mechanical properties of the combined materials were determined by the tensile test and micro hardness tests. The main metal zone, thermo-mechanically affected zone (TMAZ), heat affected zone (HAZ) and mixing zones were obtained in the front section of the weld sample. EDS analysis and SEM images were taken for microstructure characterization. Tool rotation speed and feed rate were selected as variable parameters during welding. As a result of the variability of the parameters during welding, it has been determined that the variable heat amount and material flow in the stirring zone vary in the mechanical properties of the welded material.

**Keywords:** Friction stir welding, brass material, mechanical properties, EDS analysis.

**1. Giriş**

Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) 1990'lı yılların başında İngiltere Kaynak Enstitüsü'nde (TWI-The Welding Institute) geliştirilen ve patentlenen bir kaynak yöntemidir. Katı hal kaynak tekniği olan bu yöntem ile özellikle ergitme kaynağı güç olan veya mümkün olmayan metalik malzemelerin kaynak işlemleri yapılabilmektedir [1]. SKK yöntemi ilk olarak alüminyum alaşımlarına uygulanmıştır [2]. Son yıllarda magnezyum, titanyum, bakır [3-5], düşük karbonlu çelikler, paslanmaz çelikler, pirinçler, kompozitler ve termoplastik malzemelerin [6-10] birleştirilmesinde kullanılmaktadır. Son zamanlarda, alüminyum-çelik, alüminyum-magnezyum, alüminyumun-bakır, alüminyumun-gümüş ve magnezyum-çelik gibi farklı metallerin kaynağında da bu kaynak tekniği kullanılmaya başlanmıştır [11-13].

*Bu makaleye atf yapmak için*

Catalgöl, Z., Geçmen, İ., "Sürtünme Karıştırma Kaynak Tekniği ile Birleştirilen Pirinç (CuZn63) Levhaların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2021, 8(1); 533-543.

*How to cite this article*

Catalgöl, Z., Geçmen, İ., "Investigation of Mechanical Properties of Brass (CuZn30) Plates Joined by Friction Stir Welding Technique" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2021, 8(1); 533-543.

ORCID ID: \*0000-0001-9427-1036

Pirinç, yüzyıllardan beri mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bir malzemedir. Günümüzde pirinç malzemeler eşsiz kombinasyon özellikleriyle birçok parçanın imalatında kullanılırlar. Pirinçler, saf bakırdan daha yüksek şekillendirilebilirlik, dayanım, sertlik, çok iyi olan korozyon davranışı, iyi olan mukavemet, süneklik, yüksek elektrik ve ısı iletkenliğinden dolayı vazgeçilmez bir malzeme olarak ortaya çıkmaktadır [14]. Bu özelliklerin yanısıra güzel görünüşün ve kolay işlenebilirliğinin gerekli olduğu birçok endüstriyel ürünlerde geniş kullanım alanına sahiptir [15].

Pirinç malzemelerin klasik ergitme kaynak yöntemi ile birleştirilmesi sınırlıdır. Kaynak esnasında çinkonun düşük buharlaşma sıcaklığına bağlı olarak ( $907^{\circ}\text{C}$ ) çinko kaybı meydana gelmektedir. Çinko kaybı kaynağın başarısızlıkla sonuçlanmasına neden olmaktadır [16]. Ayrıca alaşımdaki çinko miktarının azalmasına bağlı olarak pirinç malzeme normalde sahip olduğu özelliklerini kaybetmektedir [17]. Aynı zamanda ergitme kaynak yöntemi kullanıldığında malzemede çarpılma, çatlak, gözenek, kaynak yüzeyinde düzensizlikler, oksidasyondan dolayı renkte değişim, yetersiz nüfuziyet ve yüksek distorsiyon gibi kaynak hataları ile karşılaşmaktadır [18,19]. Katı hal birleşme tekniği olan sürtünme tekniği ile ergitme kaynak tekniklerinde karşılaşılabilecek problemlerin önüne geçmek amacıyla bakır-çinko alaşımlarının birleştirilmesinde bu teknikten yararlanmak kaçınılmaz olmuştur [11,20]. SKK tekniğinde, birleştirilecek malzemeye kendi ekseninde dönen kaynak takımının omuz kısmının malzemenin üst kısmına temas edinceye kadar daldırılması ile başlar. Burada gerekli ısının üretilmesi için dönen kaynak takımı biraz bekletilir ve kaynak yapılacak malzemelerin bağlı olduğu tabla belirli ilerleme hızında kaynak yönünde hareket ettirilir. Isınan malzeme plastik deformasyona uğrar ve birleşme meydana gelir.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde pirinç malzemelerin sürtünme karıştırma kaynağı ile birçok çalışma yapılmıştır. Fakat CuZn63 malzemesine ait sürtünme karıştırma kaynağına rastlanmamıştır. Bu çalışmada, kaynak ilerleme hızları ve takım dönme hızlarının etkileri araştırılmış ve uygulanan tahribatlı-tahribatsız testler ile uygun ve tekrarlanabilir parametreler belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca XRD ve mikroyapı analizleri ile malzeme iç yapısının çok fazla değişmediği desteklenmiştir. Bu sayede korozyon dayanımı, şekillendirilebilirlik ve iyi mukavemet özellikleri ile sanayide değişik kullanım alanları bulan pirinç malzemelerin problemsiz bir şekilde birleştirilebilirliğinin ortaya konulması hedeflenmiştir.

Srirangarajulu ve ark. [20] pirinç plakaların SKK' da kaynak parametrelerin etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada, 6 mm kalınlığındaki 60/40 pirinç malzemeye SKK uygulamışlardır. Çekme mukavemeti ve mikrosertlik sonuçları ile kaynak parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Barlas, [21] Cu/CuZn30 pirinç malzemesine SKK uygulamış ve birleştirmelerinin mikroyapı, mekanik özelliklerini incelemiştir. 1.3344 sıcak iş takım çeliğinden yapılmış takım kullanarak SKK ile alına birleştirmiştir. Çam ve ark. [22] 63/37 pirinç malzemeye SKK uygulamışlardır. Bu çalışmada CuZn37 pirinç levhaları alına alına birleştirmişlerdir. Farklı kaynak parametreleri ile yapılan birleştirmelerin mikroyapı analizleri ve mekanik özelliklerinin değişimi üzerine araştırmalar yapılmışlardır. Srinivas, [23] C 46400 pirinç malzemelerin SKK kaynağında parametrelerin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerine etkisini incelemiştir. Ayrıca SKK esnasında farklı kaynak parametrelerinde kaynak ilerleme yönünde oluşan yük değişimini ölçmüşlerdir. Meran, [24] SKK ile pirinç malzemesini sıcak iş çeliğinden imal edilmiş takım kullanarak birleştirmiş ve mekanik özelliklerini incelemiştir.

Çatalgöl ve ark. [8] pirinç (CuZn63) plakalarına kaynak takım uç profili vidalı ve vida açılmadan elde edilen kaynak takımları ile SKK birleştirmeleri gerçekleştirilmiştir. Farklı iki takımın, farklı farklı kaynak parametrelerindeki kaynak karıştırma bölgesindeki sertlik değişimi, çekme mukavemeti, mikrosertlik ve radyografi fotoğrafları ile değerlendirmeler yapılmıştır. Vidalı uç ile yapılan birleştirmelerde ana metale çok yakın çekme mukavemeti değerleri elde edilmiştir.

Çatalgöl ve ark. [25] C27000 pirinç alaşımının sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirmeleri gerçekleştirilmiştir. Kaynak parametrelerinin mekanik özellikler üzerindeki etkileri incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

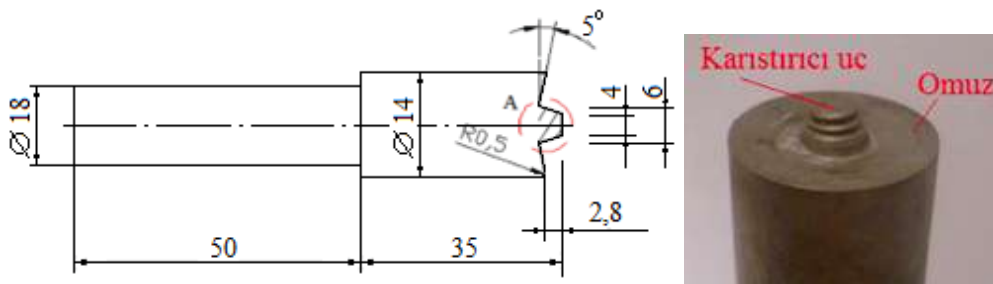
### 2.1. Materyal

Sürtünme karıştırma kaynak tekniği ile birleştirme işlemi için 3 mm kalınlığında MS 63 (Cu63Zn37) pirinç levha kullanılmıştır. MS 63 malzeme 3x500x1500 mm ölçülerinde temin edildikten sonra 3x50x130 mm ölçülerinde giyotin makas ile kesilmiştir. Kesilen levhalar, kaynak yapılacak yüzeylerin birbiri ile tam temasını sağlamak ve bağlama kalıbına sıkı bir şekilde yerleşmesi için alın yüzeylerinden taramalı freze çakısı ile kalıba tam yerleşecek şekilde talaş kaldırılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan Cu63Zn37 (MS 63) pirinç malzeme 327 MPa akma mukavemeti, 380 MPa çekme mukavemeti, % 35 uzama ve 120 HV5 sertlik değerine sahiptir. Ayrıca kimyasal bileşimi Tablo 1’ de verilmiştir.

**Tablo 1.** Cu63Zn37 malzemesinin kimyasal bileşimi.

Malzeme	Kimyasal içerik % kütleli							
	Cu	Zn	Ni	Pb	Fe	Sn	Al	Diğer
<b>Cu63Zn37</b>	62-65,5	Kalan	< 0,30	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,05	< 0,1

Sürtünme karıştırma kaynağı ile MS63 malzemesinin birleştirilmesi için konik dişli uç tasarlanmıştır. SKK esnasında oluşacak yüksek sıcaklıktan dolayı karıştırıcı ucun sertliğini kaybetmemesi ve düşük aşınma direncine sahip olması gerekmektedir [26]. Bu özellikler göz önünde bulundurularak H13(BÖHLER W302-1.2344) sıcak iş takım çeliği kullanılmıştır. Kaynak takımlarına su verme ısıl işlemi uygulanarak sertliğinin 60 HRC değerine ulaşması sağlanmıştır. SKK işleminde kullanılan takıma ait genel görünüm ve ölçüleri Şekil 1’de verilmiştir. Sürtünme karıştırma kaynak işlemleri, 3 yönlü tabla hareketi, 600-3000 dev/dak aralığında çalışan First marka universal dikey freze tezgâhında gerçekleştirilmiştir.



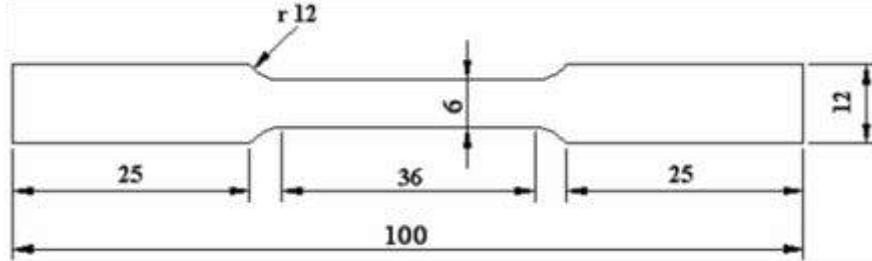
**Şekil 1.** Sürtünme karıştırma kaynak işleminin gerçekleştirildiği konik dişli takım

### 2.2. Metot

Kaynak takımı, belirlenen devirde döndürülerek, takım omuzu malzeme yüzeyine temas edince, burada 5 sn bekletilmek suretiyle kaynak için gerekli ısının oluşması sağlanmıştır. Sürtünme sonucu meydana gelen ısı sayesinde plastik deformasyona uğrayan ve hamurumsu hale gelen MS63 malzemelerin kaynak hattı boyunca birleşmesini sağlamak için belirlenen ilerleme hızında freze tezgahı tablası hareket ettirilmiştir. Kaynak işlemi sonunda tablanın ilerlemesi durdurulmuş ve dönen kaynak takımı malzemedan yukarı doğru çıkartılmıştır. Sürtünme karıştırma kaynağı ile yapılan birleştirme işlemlerinde iki kaynak parametresi (takım dönme hızı ve takım ilerleme hızı) değişken olarak kullanılmıştır. Takım dönme hızı (1040,1500,2080 dev/dak) ve tabla ilerleme hızı (30,45,75,113 mm/dak) şartlarında gerçekleştirilmiştir. İki kaynak parametresine bağlı olarak farklı

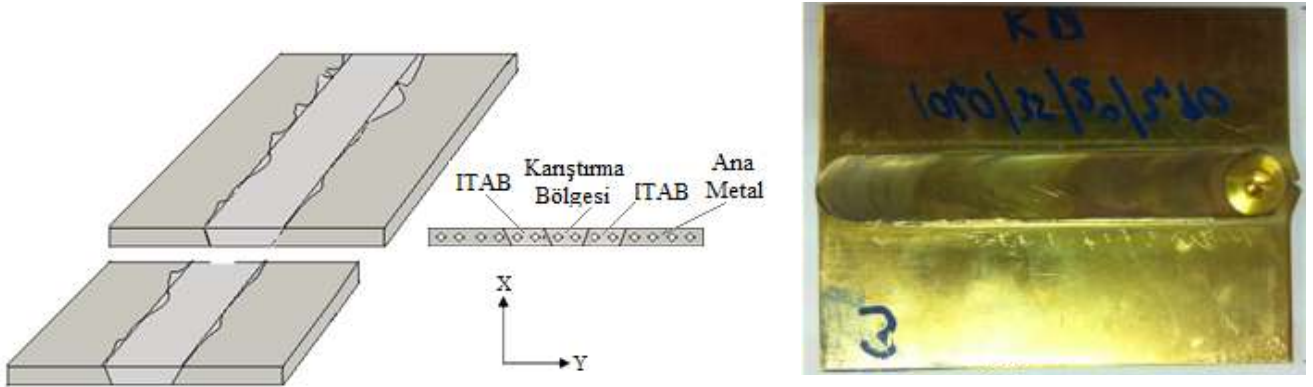
kombinasyonlarda yapılan birleştirmeler neticesinde elde edilen mekanik özellikler, mikroyapıdaki değişimler, kimyasal özellikler ve mikro sertlik değerleri incelenmiştir.

Sürtünme karıştırma tekniği ile başarılı şekilde birleştirilen MS 63 levhalardan kaynak yönüne dik olarak ASTM Designation: E8/E8M-09 standardına göre Şekil 2’de ölçüleri verilen çekme deney numuneleri çıkartılmıştır [27]. Çekme deneyleri Instron marka çekme cihazında 4 mm/dak çekme hızında yapılmıştır. Her deney için 3adet numune kullanılarak, elde edilen sonuçların ortalamaları alınmıştır.



Şekil 2. Çekme deney numunesinin geometrik şekli ve boyutları [27].

Mikrosertlik deneyleri, Şekil 3’te gösterildiği gibi kaynak kesitinden alınan numunelerin orta kısmından x yönünde ana malzeme, ısıdan etkilenen bölge ve karıştırma bölgesinden olmak üzere her bölgeden 3’er adet sertlik alınarak gerçekleştirilmiştir. Mikrosertlik ölçümü öncesinde numuneler metalografik olarak hazırlanıp dağlanmış ve akabinde EN 6507 standardına uygun olarak sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir [28]. Mikrosertlik ölçümleri HIGHWOOD marka Vickers sertlik ölçüm cihazında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. SKK yapılan MS 63 malzemenin mikrosertlik hattı ve kaynak üst görüntüsü

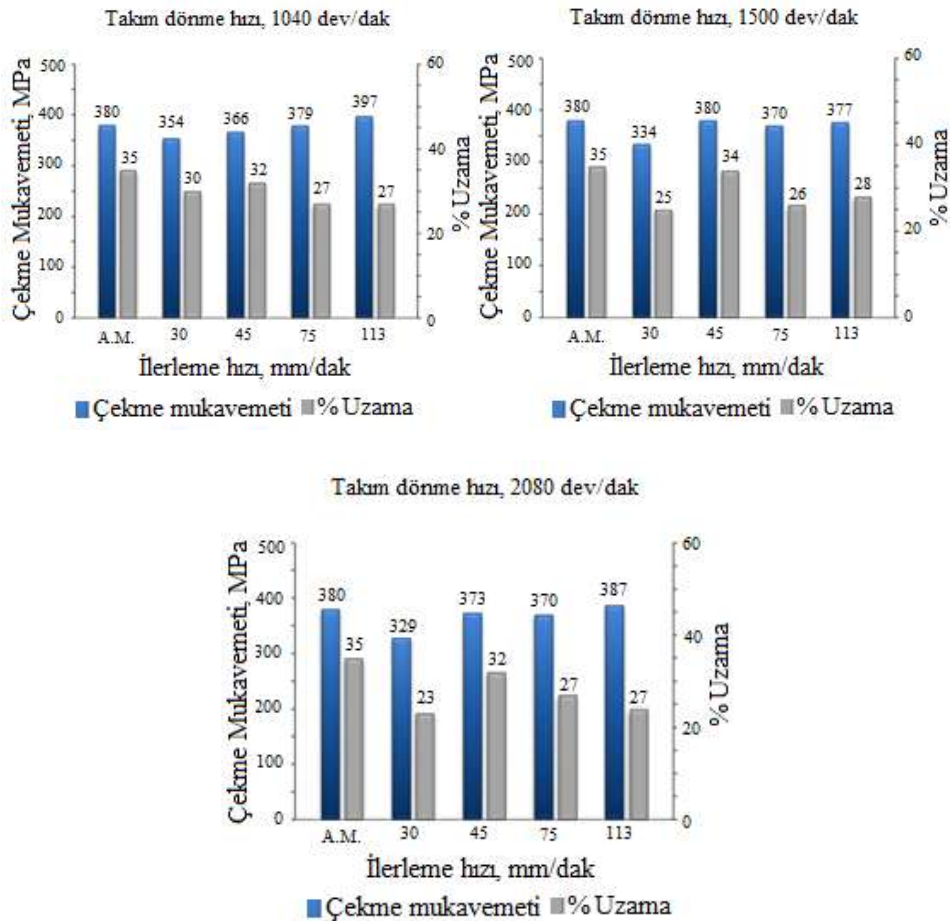
Farklı parametrelerde birleştirilen numunelerin XRD analizleri RIGAKU marka X-Ray Diffractometre cihaz ile çekilmiştir. SKK bölgesinin faz yapısında herhangi bir değişikliğin olup olmadığını ve malzemenin kimyasal bileşimini tespit etmek için  $20^\circ < 2\theta < 80^\circ$  aralığında  $2^\circ$  lik açı ile tarama yapılarak analizi gerçekleştirilmiştir.

Taramalı Elektron mikroskobu (SEM), alan derinliği sağlaması ve morfolojiyi tanımlamasından dolayı kaynak yüzeylerinden görüntüler alınmıştır. Farklı parametrelerde birleştirilen numunelerin mekanik sonuçlarına göre bazı SEM görüntüleri FEI SIRION marka cihaz kullanılarak yapılmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

SKK yöntemi ile konik dişli kaynak takımı ile birleştirilen MS63 malzemelerin mekanik özelliklerini ve kaynak performansını tespit etmek amacı ile çekme deneyi uygulanmıştır. Çekme

deneyi sonucunda elde edilen mekanik değerler Şekil 4'te görülmektedir. Farklı kaynak parametrelerinde birleştirmeler yapıldığı için birbirinden farklı mekanik ve % uzama değerleri elde edilmiştir. Grafiklerde çekme mukavemeti ve % uzama değerlerinin her ikisi de göz önüne alındığında, ana malzemeye en yakın performansın 1500 dev/dak takım dönme hızında ve 45 mm/dak kaynak ilerleme hızında elde edildiği görülmektedir. Makale içerisinde parametrelerde kısaltmalar kullanılmıştır. Örneğin en yüksek çekme mukavemeti 1040 dev/dak takım dönme hızı ve 113 mm/dak kaynak ilerleme hızında 397 MPa değeri elde edilmiştir. Bu kaynak şartı 1040/113 olarak yazılmıştır. En düşük performans ise 2080/30 deney şartlarında 329 MPa elde edilmiştir. Çekme deney sonuçları incelendiğinde, sabit takım dönme hızlarında artan takım ilerleme hızına bağlı olarak çekme mukavemetlerinde artış meydana gelmiştir. Genel olarak artan kaynak takım ilerleme hızına bağlı olarak % uzama değerlerinin azaldığı görülmektedir. % uzamadaki azalmanın artan takım ilerleme hızına bağlı olarak tanelerin küçülmesinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Kaynak ilerleme hızları incelendiğinde ise, sabit ilerleme hızlarında artan takım dönme hızı ile genel olarak çekme mukavemeti düşmektedir. Burada ısı iletkenliği yüksek olan pirinç malzemenin hemen ısındığı, ısıyı hızlı ve homojen bir şekilde kaynak hattı boyunca yayılmasını sağlamak gereklidir. Düşük kaynak ilerleme hızlarında ısı iletim katsayısı fazla olan pirinç malzemede yüksek çekme mukavemeti elde etmek mümkün değildir. Ancak ilerleme hızı arttırıldığında yüksek çekme mukavemeti elde edilebileceği sonuçlardan açıkça görülmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Çekme deneyi sonucunda elde edilen mekanik değerler

Ana malzemenin çekme mukavemeti 380 Mpa elde edilmiştir. Yapılan SKK birleştirmelerinde elde edilen çekme mukavemeti ana malzemenin % 86 ile %104 aralığında değiştiği görülmüştür. Literatürdeki sonuçlar ile karşılaştırıldığında elde edilen sonuçların benzerlik gösterdiği ve kaynak verimliliğinin benzer olduğu tespit edilmiştir. Fakat literatürde ana malzemenin en fazla %97 oranında çekme mukavemeti elde edilmiştir. Bu çalışmada 1040 dev/dak takım dönme hızı ve 113

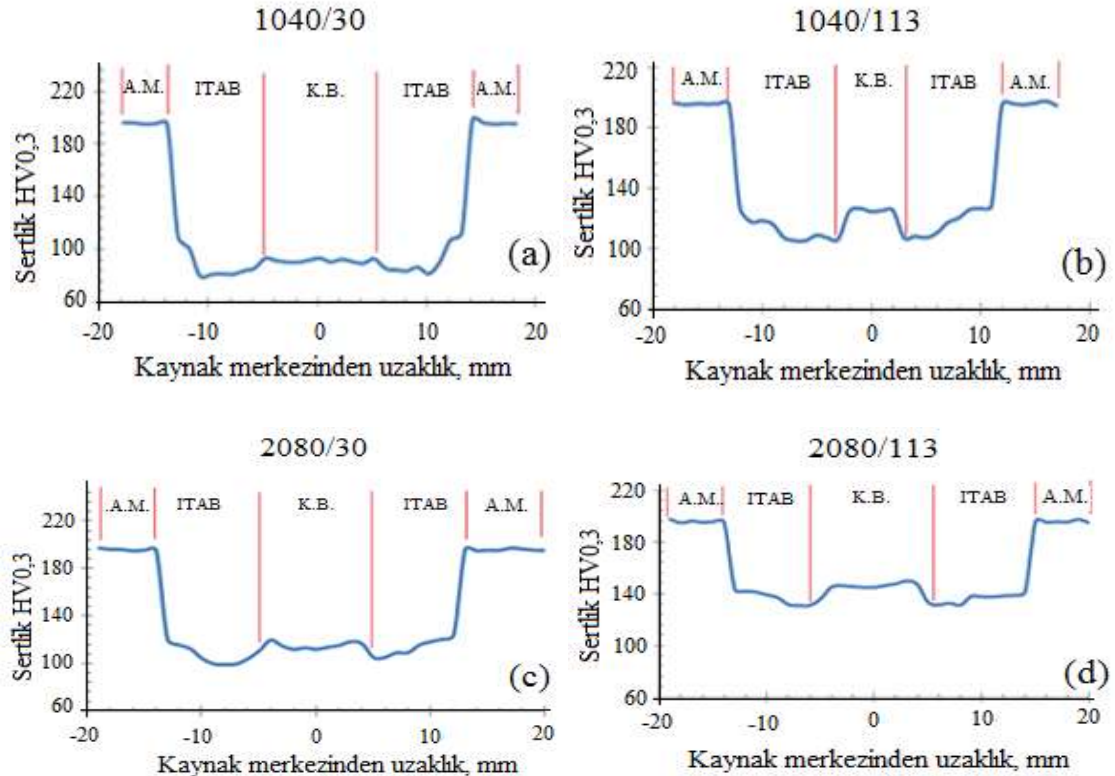
mm/dak kaynak ilerleme hızında 397 MPa değerine ulaşılmıştır. Bu değer ana malzemeye göre % 104 oranındadır. Bunun sebebi olarak çinko oranının yaklaşık %35 civarına düştüğü ve bu değerde mukavemet ve süneklik kombinasyonunun en iyi olduğu değere ulaştığı düşünülmektedir.

Yapılan kaynaklara ait çekme deney numunelerinin kopma bölgesi ve kırılma tipi Şekil 5'te görülmektedir. Bütün parametrelerdeki birleştirmelerdeki çekme deneyi sonucunda kopmalar, birkaç numune hariç ITAB'tan meydana gelmiş ve sünek kırılma şeklinde gerçekleşmiştir. Çekme deney sonuçlarında elde edilen verilere bağlı olarak geniş bir aralıkta çekme mukavemeti değerleri elde edilmesine rağmen malzemelerin büyük çoğunluğunun karıştırma bölgesinden kopmaması kaynakların başarılı bir şekilde yapıldığını ve ideal kaynak şartlarının sağlandığını açıkça göstermektedir. Kopma türü ile karıştırma bölgesinin homojen bir şekilde karıştığı ve kaynaklarda ideal bir birleşme sağlandığı anlaşılmaktadır.



Şekil 5. MS 63 Pirinç ana levhanın çekme deneyi sonrası görünümü

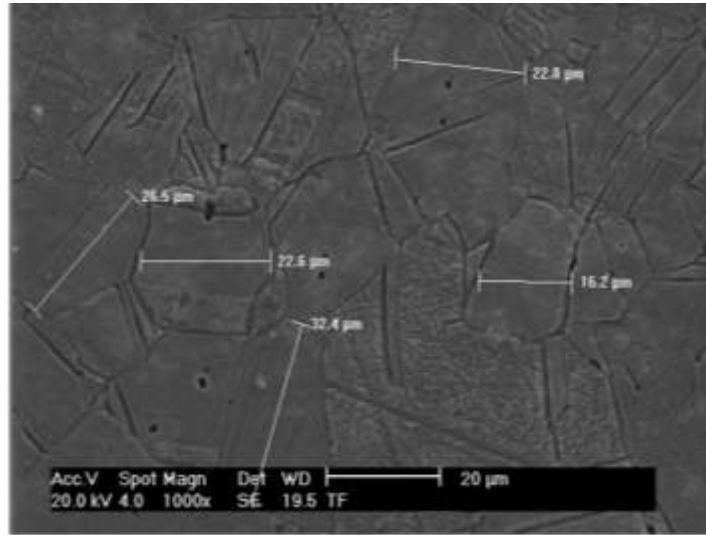
Farklı takım dönme hızları ve kaynak ilerleme hızlarında yapılan birleştirmelerin mikro sertlik dağılımına tesirini belirlemek amacı ile çekme deneylerinde en yüksek ve en düşük elde edilen sonuçlarda yapılan kaynaklar üzerinde Vickers sertlik taraması yapılmıştır. En yüksek çekme mukavemetleri 1040/113 ve 2080/113 kaynak şartlarında elde edilmiştir. En yüksek çekme mukavemeti elde edilen takım dönme hızlarında en düşük çekme mukavemeti değerlerine göre diğer şartlardaki 1040/30 ve 2080/30 mikrosertlik değerleri ölçülmüştür. Bu sayede mikro sertlik ile çekme mukavemeti arasındaki ilişki irdelenmiştir. Numunelerin kaynak merkezi boyunca ana metal, ITAB ve karışım bölgesinden sertlik değerleri ölçülmüştür.



Şekil 6. Kaynaklı numunelerin kaynak merkezi boyunca mikrosertlik grafikleri

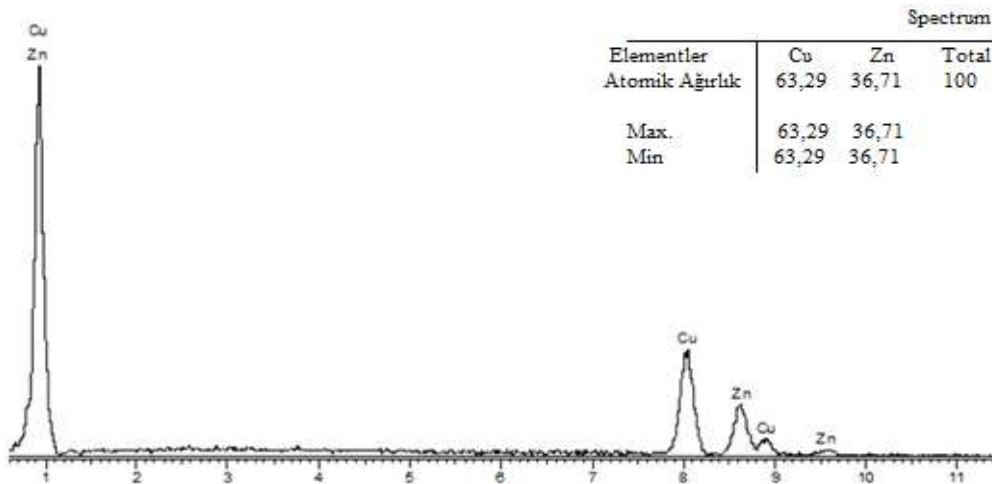
Şekil 6'da sertlik dağılımına ait grafikler ve Şekil 3'te sertlik değerlerinin elde edildiği bölgeler görülmektedir. Yapılan bütün birleştirmelerde karıştırma bölgesi (KB) ve ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) bölgesinde ana malzemeye kıyasla sertlikte düşüş meydana gelmiştir. Ayrıca artan takım ilerleme hızına bağlı olarak karışım bölgesindeki mesafe daralmaktadır. Şekil 6.a ve Şekil 6.b kıyaslandığında artan ilerleme hızına bağlı olarak karışım bölgesinde ve ITAB bölgesindeki sertliğin artış gösterdiği görülmektedir. 1040/30 parametresinde karışım bölgesinin sertliği yaklaşık olarak 90 HV civarında iken, 1040/113 parametresinde bu değer yaklaşık olarak 125 HV'ye çıkmaktadır.

Şekil 6.c ve Şekil 6.d kıyaslandığında aynı durum geçerlidir. 2080/30 parametresinde karışım bölgesindeki sertlik yaklaşık olarak 115 HV iken 2080/113 parametresinde 145 HV değerine çıktığı görülmektedir. 1040 ve 2080 dev/dak takım dönme hızlarının her ikisinde de artan takım ilerleme hızına bağlı olarak karışım bölgesinde sertlik artış göstermektedir. Karıştırma bölgesinde sıcaklık ile oluşan plastik deformasyon ile tane küçülmesi meydana gelmiştir. Tane küçülmesinden dolayı sertlikte artış görülmüştür.



Şekil 7. Ana malzemeye (Cu63Zn37) ait SEM görüntüsü

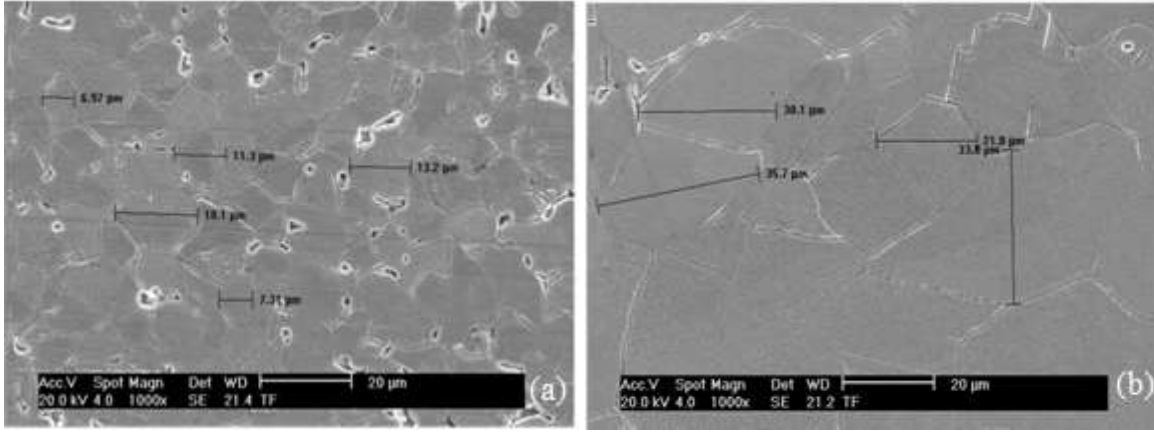
Şekil 7' de ana malzemeye ait SEM görüntüsü ve tane çapları, Şekil 8'de ise ana malzemeye ait EDS analiz sonucu görülmektedir.



Şekil 8. Şekil 7. Ana malzemeye (Cu63Zn37) ait EDS analiz sonuçları

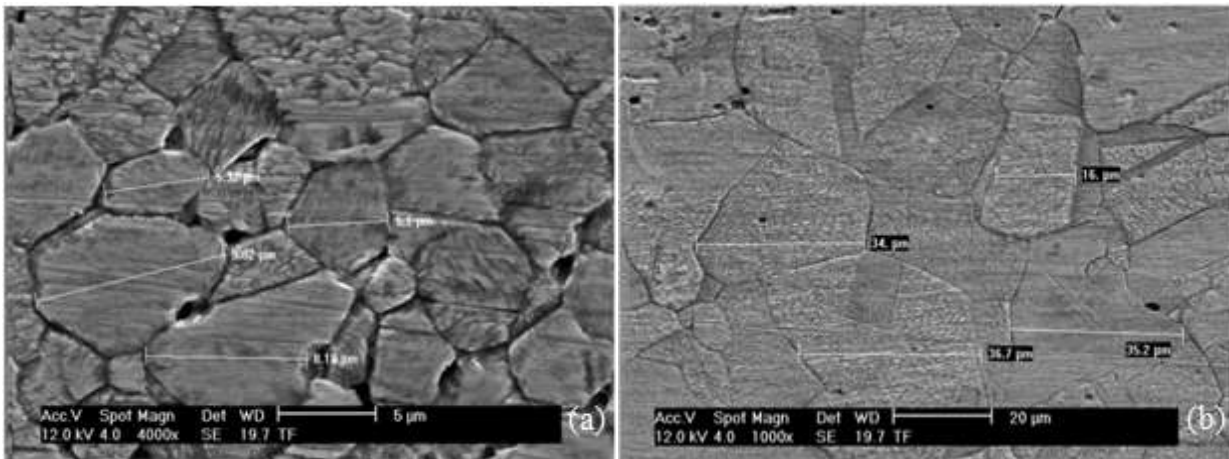
EDS analiz sonucundanda görüleceği gibi ana malzeme Cu63Zn37 kimyasal bileşimine sahip MS63 bakır çinko alaşımı malzeme olduğu teyit edilmiştir. Analiz sonucunda malzemede 63,27 Cu ve 36,71 Zn bulunduğu görülmektedir. Ana malzemede minimum tane boyutu 16,2 mikron iken maksimum tane boyutu 32,4 mikron ölçülmüştür.

Şekil 9’da 1040/30 parametresinde birleştirilen levhaların SEM görüntüleri, tane çapları ve karışım bölgesine ait sonuçlar görülmektedir. Karışım bölgesinde minimum tane boyutu 6,97 ve maksimum tane boyutu 18,1 olarak ölçülmüştür. ITAB bölgesinde ise ana metal ve karıştırma bölgesine kıyasla tane çaplarında büyüme meydana gelmiştir.



Şekil 9. 1040/30 numunesinin SEM görüntüleri a) karışım bölgesi, b) ITAB

Şekil 10’ da 1040/113 parametresine ait mikroyapı görüntüsü görülmektedir. Karışım bölgesindeki minimum tane boyutu 5,32 ve maksimum tane boyutu 9,82 olarak ölçülmüştür. Kaynak merkezinde ölçülen tane çapları 1040/30 parametresi ile kıyaslandığında 1040/113 parametresinde artan takım ilerleme hızına bağlı olarak tanelerde incelme olduğu görülmektedir. Isı tesiri altında kalan bölgede ise kaynak merkezine kıyasla biraz daha iri taneler mevcuttur. En yüksek çekme mukavemeti elde edilen bu mikroyapıda tane büyüklüklerinin diğer şartlarda elde edilen değerlerden oldukça küçük olduğu görülmektedir. Tane büyüklüklerinin çekme mukavemeti değerlerine etkili olduğu anlaşılmaktadır.

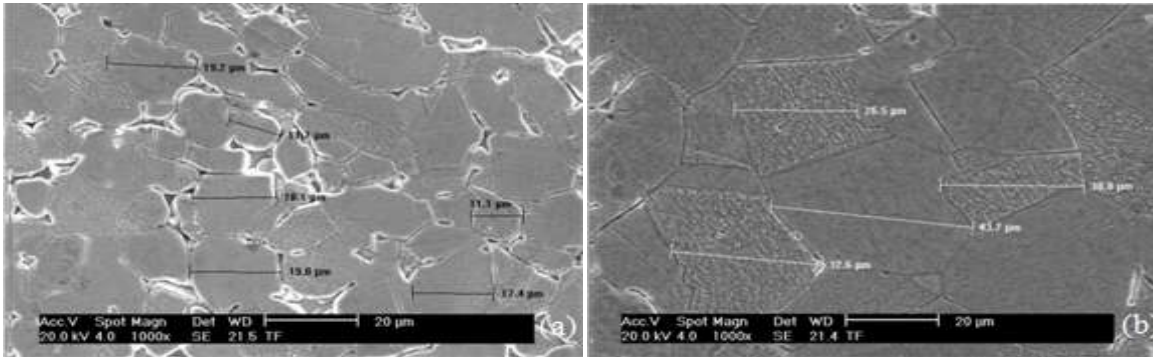


Şekil 10. 1040/113 numunesinin SEM görüntüleri a) karışım bölgesi, b) ITAB

Şekil 11’ de 2080/30 parametresine ait mikroyapı görüntüsü görülmektedir. Karışım bölgesinde minimum tane boyutu 11,1 ve maksimum tane boyutu 19,8 olarak ölçülmüştür. Kaynak merkezinde ölçülen tane çapları 1040/30 parametresi ile kıyaslandığında 2080/30 parametresinde artan takım

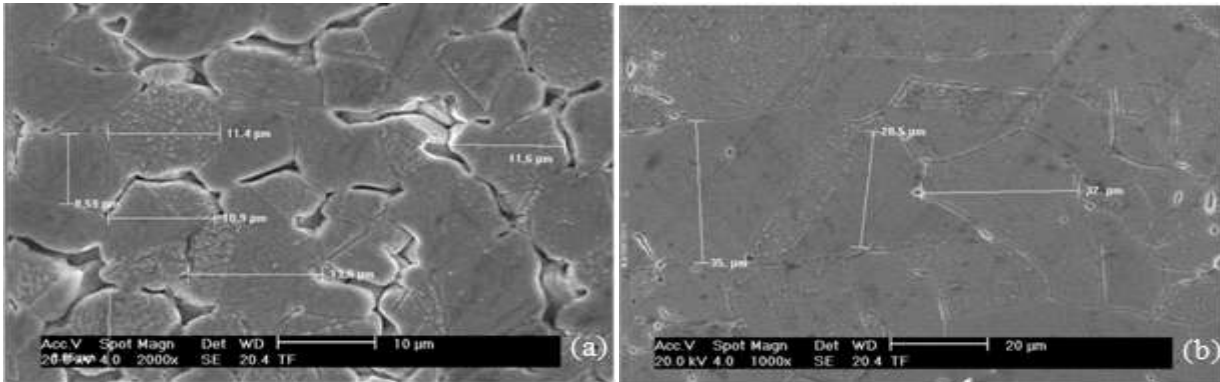


dönme hızına bağlı olarak büyüme olduğu görülmektedir. Isı tesiri altında kalan bölgede ise diğer parametrelerde olduğu gibi tane irileşmesi mevcuttur. Bu kaynak şartlarında yapılan bütün birleştirmelerde elde edilen en düşük çekme mukavemeti elde edilmiştir.



Şekil 11. 2080/30 numunesinin SEM görüntüleri a) karışım bölgesi, b) ITAB

Şekil 12’ de 2080/113 parametresine ait mikroyapı görüntüsü görülmektedir. Karışım bölgesinde minimum tane boyutu 8,59 ve maksimum tane boyutu 13,8 olarak ölçülmüştür. Kaynak merkezinde ölçülen tane çapları 2080/30 parametresi ile kıyaslandığında 2080/113 parametresinde artan takım dönme hızına bağlı olarak küçülme olduğu görülmektedir. 1040/113 parametresine göre artan takım dönme hızına bağlı olarak tane büyüklüklerinde artış meydana gelmiştir. Termo-mekanik olarak etkilenen bölgede ise kaynak merkezine yakın tane büyüklükleri elde edilmiştir. HAZ bölgesinde ise diğer parametrelerde olduğu gibi tane irileşmesi mevcuttur.



Şekil 12. 2080/113 numunesinin SEM görüntüleri a) karışım bölgesi, b) ITAB

Elde edilen mikro sertlik sonuçları irdelendiğinde en yüksek çekme mukavemeti elde edilen şartlarda karışım bölgesi ve ısı tesiri altında kalan bölgeler arasında tane büyüklükleri birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. En düşük çekme mukavemeti elde edilen şartlardaki mikro sertlik değerlerine bakıldığında ise taneler arasındaki farkların fazla olduğu tespit edilmiştir. Karışım bölgesi ve ısı tesiri altında kalan bölge arasındaki tane büyüklüklerinin farklılık göstermesi hem çekme mukavemeti hemde mikrosertlik sonuçlarına etkisi olduğu tespit edilmiştir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

3 mm kalınlığında CuZn37 pirinç levhalar küt alın şeklinde, konik dişli takım kullanılarak sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile başarılı bir şekilde birleştirilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Çekme mukavemeti sonuçları incelendiğinde en yüksek performansın 1040/113 parametresinde elde edildiği görülmüştür. Hem çekme mukavemeti hemde % uzama açısında değerlendirildiğinde ise en yüksek performansın 380MPa çekme mukavemeti ve % 34 uzama

ile 1500/45 parametresinde tespit edilmiştir.

- Sabit takım dönme hızında artan ilerleme hızına bağlı olarak çekme mukavemetinin artış gösterdiği görülmüştür. Genel olarak çekme mukavemetindeki bu farklılıklar, farklı takım dönme hızı ve kaynak ilerleme hızlarına bağlı olarak tane çaplarında meydana gelen küçülme veya büyümenin sebep olduğu SEM görüntülerinden tespit edilmiştir. En fazla ve sürekli artışın 1040/113 parametresinde elde edildiği görülmüştür.
- Ana metal dahil olmak üzere yapılan tüm çekme deneylerinde numunelerin genel olarak boyun vererek sünek kırılma şeklinde koptukları görülmüştür.
- Yapılan birleştirmelerin kaynak bölgesi optik mikroskop ile incelendiğinde, kaynak hattının, karışım bölgesi, termo-mekanik olarak etkilenen bölge (TMEB), ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) ve ana metal olmak üzere dört farklı bölgeden oluştuğu görülmüştür.
- 1040/30, 1040/113, 2080/30 ve 2080/113 parametrelerinde elde edilen birleşimlerin kaynak kesiti boyunca mikro sertlik ölçümleri alınmıştır. Mikrosertlik ölçümü sonucunda sabit takım dönme hızında artan takım ilerleme hızına bağlı olarak karışım bölgesi ve ısının tesiri altında kalan bölgede sertliğin artış gösterdiği görülmüştür. Bunun ilerleme hızına bağlı olarak karışım bölgesinde meydana gelen tane boyutu küçülmesine bağlı olduğu tespit edilmiştir.
- SEM incelemelerinde Cu63Zn37 levhanın minimum tane boyutu 16,2 maksimum tane boyutu 32,4 olarak ölçülmüştür. 1040/30, 1040/113, 2080/30 ve 2080/113 parametrelerinin kaynak bölgesi incelendiğinde tane çaplarının farklılık arz ettiği ve ana malzemeye kıyasla tane çaplarında incelmeye olduğu görülmüştür. Sabit takım ilerleme hızında artan takım dönme hızına bağlı olarak tane çaplarının arttığı tespit edilmiştir. En ince tane boyutu 1040/113 parametresinde elde edilmiştir. Buna bağlı olarak da en yüksek çekme mukavemeti değerinin bu parametrede elde edildiği görülmüştür.
- Yapılan kaynaklarda ısı tesiri altında kalan bölgesinin birleştirme esnasındaki mekanik deformasyondan etkilenmediği görülmüştür.

## Teşekkür

Yapılan araştırma çalışması Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FEN-C-DRP-030114-0013 nolu proje ile desteklenmiştir. Bu çalışmanın ortaya çıkmasında verdiği destekten ötürü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

- [1]. Thomas, W.M., Nicholas, E.D., Friction Stir Welding for the Transportation Industries, Materials Design, 1997, 18, 269-289.
- [2]. Cavaliere, P., Nobile, R., Panella, F.W., Squillace, A., Mechanical and Microstructural Behaviour of Aluminium alloy Sheets Joined by Friction Stir Welding, International Journal Machine Tools Manufacture, 2006, 46, 588-594.
- [3]. Dorbane, A., Ayoub, G., Imad, A., Mansoor, B., Friction Stir Welding of AZ31B Magnesium Alloy with 6061-T6 aluminum Alloy: Influence of Processing Parameters on Microstructure and Mechanical Properties, Friction stir welding and Processing, 2015, 7, 259-266.
- [4]. Lauro, A., Friction Stir Welding of Titanium Alloys, Journal Welding International, 2012, 26, 8-21.
- [5]. Nakata, K., Friction stir welding of copper and copper alloys, Journal Welding International, 2005, 19 (12), 929-933.
- [6]. Al-Moussawi, M., Smith, A.J., Defects in Friction Stir Welding of Steel, Metallography, Microstructure and Analysis, 2018, 7, 194-202.
- [7]. Khan, Z., Friction Stir Welding of Austenitic Stainless Steel: A Study on Microstructure and Effect of Parameters on Tensile Strength, Materials Today Proceedings, 2015, 2, 1388-1397.

- [8]. Geçmen, İ., Çatalgöl, Z., Bilici, M.K., Effect of welding parameters on mechanical properties and microstructure of friction stir welded brass joints, *Matériaux & Techniques*, 2018, 106, 606-617.
- [9]. Bilici, M.K., Kurt, B., Kurt, H., Friction Stir Welded of High Density Polyethylene Sheets, *Journal of Scientific and Engineering Research*, 2017, 4 (9), 363-370.
- [10]. Karagöz, İ., Öksüz, M., Termoplastiklerin Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilmesinde Kaynak Bölgesinde Meydana Gelen Mikroyapılar, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2018, 33 (2), 503-516.
- [11]. Barlas, Z., Uzun, H., Microstructure and Mechanical Properties of Friction Stir Butt welded Dissimilar Cu/CuZn30 sheets, *Journal Achieve Materials Manufacture Engineering*, 2008, 30, 182-189.
- [12]. Abdollah, Z.A., Saeid, T., Sazgari, B., Microstructural and Mechanical Properties of Friction Stir Welded Aluminum/ Copper Lap Joints, *Journal Alloy Composite*, 2008, 460 (1-2) 535-538.
- [13]. Wu, P., Deng, Y., Fan, S., Ji, H., Zhang, X., A study on Dissimilar Friction Stir Welded between the Al-Li-Cu and the Al-Zn-Mg-Cu alloys, *Materials*, 2018, 11 (7), 1132-1145.
- [14]. Meran, C. Pirinç Malzemelerin Kaynak Edilebilirliği ve Uygun Kaynak Parametrelerinin Tespiti. Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001.
- [15]. Meran, C., Yüksel, M., Köny, R., CuZn37 Pirinç Malzemesinin Kaynak Edilebilirliği, *Kaynak Teknolojileri II. Ulusal Kongresi*, 1999, 199-203.
- [16]. Serindağ, H.T., Pirinç Levhaların Sürtünme Karıştırma Kaynağı Yöntemiyle Alın Kaynağı ve Mekanik Özelliklerin İncelenmesi. Yüksek Lisan Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [17]. Şentürk, B.S., Pirinç Alaşımlarının Ekstrüzyonunda Meydana Gelen Üretim Hatalarının Tespiti, Nedenleri ve Çözüm Yolları. Yüksek Lisans Tezi, 2007.
- [18]. Meran, C., Yüksel, M., Gülsöz, A., Şekercioğlu, T., Welding problems with thin brass plates and tungsten inert gas pulse welding, *Science and Technology of Welding &Joining* 2004, 9(2):131-137.
- [19]. Xie, G.M., Ma, Z.Y., Geng, L., Effects of Friction Stir Welding Parameters on Microstructures and Mechanical Properties of Brass Joints, *Materials Transactions*, 2008, 49, 7, 1698-1701.
- [20]. Srirangarajulu, N., Rajadaraj, A., Hardness and Tensile Behaviour, of Friction Stir Welded Cu-40wt%Zn Brass, *Indian Journal of Engineering Materials Science*, 2017, 24, 63-68.
- [21]. Barlas, Z., Effect of friction stir spot weld parameters on Cu/CuZn30 bimetal joints, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2015, 80, 161-170.
- [22]. Çam, G., Mistikoğlu, S., Pakdil, M., Microstructural and Mechanical Characterization of Friction Stir Butt Joint Welded 63%Cu-37%Zn Brass Plate, 2009, 88 (11) 225-232.
- [23]. Srinivas, P.S., Effect of Friction Stir Welding (FSW) on Mechanical Properties and Microstructure of Naval Brass C46400, *Journal of Xidian University*, 2020, 14 (5) 3921-3947.
- [24]. Meran, C., The Joint Properties of Brass Plates by Friction Stir Welding, *Materials and Design*, 2006, 27, 719-726.
- [25]. Geçmen, İ., Bilici, M.K., Yükler, A.İ., Kurtulmuş, M., Kaynak Parametrelerinin C27000 Pirinç Alaşımı Sürtünme Karıştırma Kaynağı Üzerindeki Tesirleri, 1st International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences Proceeding Book, 2016, 1221-1224.
- [26]. Adesina, A.Y., Badour, F.A.i Gasem, Z.M., Wear resistance performance of AlCrN and TiAlN coated H13 tools during friction stir welding of A2124/SiC composite, *Journal of Manufacturing Processes*, 2018, 33, 111-125.
- [27]. ASTM E8 / E8M-09 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2009.
- [28]. TS EN ISO 6507-1 Metalik malzemeler - Vickers sertlik deneyi - Bölüm 1: Deney metodu. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2007.