

AKÜ FEMÜBİD 22 (2022) 065701 (1434-1442)  
DOI: 10.35414/akufemubid.1144707

AKU J. Sci. Eng. 22 (2022) 065701 (1434-1442)

### Araştırma Makalesi / Research Article

## T/M Yöntemi ile Üretilen Al-15Zn Alaşımının Sinterleme Sonrası Isıl İşlem Süreçlerinin İncelenmesi

Uğur AVCI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Makine Bölümü, Kahramanmaraş

Sorumlu yazar e-posta: ogrtmugav@gmail.com ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0260-9824>

Geliş Tarihi: 17.07.2022

Kabul Tarihi: 27.10.2022

### Öz

Bu çalışmada, hafif metaller grubunun bir üyesi olan Al-Zn alaşımı toz metalürjisi yöntemi ile üretilmiş olup, sinterleme uygulaması sonrasında çözeltiye alma ve yaşlandırma ısıl işlemleri tatbik edilerek mikro yapı ve mekanik özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Çalışmada %99 saflıkta 44 µm boyutundaki Al tozları ile ağırlıkça %15 oranında aynı özelliklere sahip Zn tozları mekanik olarak karıştırılmıştır. Bu işlem sonrasında elde edilen homojen dağılımlı toz karışımı sıkıştırılarak ham şekillendirilmiş numune haline getirilmiştir. Elde edilen numunelerin boyutsal değişiminin kontrol altına alınabilmesi için, sinterleme işlemi kalıp içerisinde yapılmıştır. Sinterleme kalıbına yerleştirilen ham numuneler 600 °C sıcaklıkta 45 dakika sinterlenmiş ve sonrasında kalıp içerisinde sıkıştırılarak havada soğutulmuştur. Üretim süreci tamamlandıktan sonra çözeltiye alma, su verme ve yaşlandırma işlemi olarak üç ana başlık altında gerçekleştirilen ısıl işlem sürecine geçilmiştir. Çözeltiye alma işlemi için, üretilen numuneler ayrı ayrı 470, 480 ve 490 °C sıcaklıklarda 90 dk. tavlama fırınında tutulmuştur. Bu işlem sonrasında fırından çıkartılan numuneler hiç bekletilmeden oda sıcaklığındaki suya daldırılarak su verme işlemi gerçekleştirilmiştir. Ani soğutma işlemine maruz kalan numuneler 100 °C sıcaklıkta 2880 dk. bekletilerek ısıl işlemin son aşaması olan suni yaşlandırma süreci tamamlanmıştır. Yapılan ısıl işlemler sonunda numunelerin tane boyutu mikro sertlik ve aşınma özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. İncelemelerde 480 °C sıcaklıkta çözeltiye alınan numunenin yaşlanma süreci sonrası sertlik ve aşınma dayanımının diğer numunelere göre yüksek, tane boyutunun ise düşük olduğu belirlenmiştir.

### Anahtar kelimeler

Toz metalürjisi yöntemi; Sinterleme işlemi; Al-Zn alaşımları; Isıl işlem süreçleri

## Investigation of Post-Sintering Heat Treatment Processes of Al-15Zn Alloy Produced by T/M Method

### Abstract

In this study, Al-Zn alloy was produced by powder metallurgy method, and the changes in microstructure and mechanical properties were investigated by applying solution and aging heat treatments after sintering. Al powders of 44 µm size with 99% purity and wt.15% Zn powders with the same properties were mixed mechanically. A green compact was formed by compacting the homogeneous powder mixture. In order to control the dimensional change of the samples, the sintering process was carried out in the die. The samples were taken into the sintering die and sintered at 600 °C for 45 mins, and after the sintering process, they were compressed in the die and cooled in air. The heat treatment process, which was carried out under three main headings as solution, quenching and aging, was started. For solution treatment, the produced samples were kept separately in the annealing furnace at 470, 480 and 490 °C temperatures for 90 mins. The samples taken out of the furnace were immersed in room temperature water without waiting. The artificial aging process was completed by keeping the samples exposed to the sudden cooling process at 100 °C for 2880 minutes. The changes in the grain size, microhardness and wear properties of the samples after the processes were examined, compared with each other. In the examinations, it was determined that the hardness and abrasion resistance of the sample, which was taken into the solution at 480 °C, after the aging process was higher than the other samples, and the grain size was lower.

### Keywords

Powder metallurgy method; Sintering process; Al-Zn alloys, Heat treatment processes

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Toz metalürjisi (T/M), metal imalat yöntemleri arasında yer alan ve üretimin yüksek kalitesi ve çok karmaşık parçaların ekonomik olarak üretilebilmesinden dolayı oldukça yaygın kullanım alanına sahip bir yöntemdir. Dolayısıyla böyle bir yöntemle çeşitli malzemelerin üretimi zamanla artmakta ve geleneksel metal işleme yöntemlerinin yerini almaktadır (Akkaş ve Boushiha 2021, Özçatalbaş ve Köse 2021). Bu yöntem genel olarak metal tozlarının bir kalıpta sıkıştırılmasının ardından ergime sıcaklığının altında sinterlenmesi esasına dayanır (Bardi *et al.* 2003, Gökçe 2017). Bu teknikle üretilen parçaların performansını arttırmanın en iyi yolunun yoğunluğu arttırmak, yoğunluğu arttırmamanın en iyi yolunun ise sinterleme yöntemi olduğu bilinmektedir (Awotunde *et al.* 2019). Çoğu zaman T/M yöntemi ile üretilen malzemeler sinterleme işleminden sonra herhangi bir işleme tabi tutulmadan kullanılabilme özelliğine sahiptirler. Fakat arzu edilen özelliklere ulaşılabilmesi için elde edilen numuneler tekrar sıkıştırma ve ısıl işlem gibi süreçlerden geçirilebilmektedir. Bu doğrultuda, sunulan çalışmada sinterleme sonrası sıkıştırma (Post Sintering Compaction) yöntemi ile üretilen Al-Zn alaşımının üretim sonrası ısıl işlem sürecinin etkileri araştırılmıştır.

Alüminyum ve alüminyum alaşım tozlarının düşük basınç ile şekillendirilebilirliği, yüksek mukavemet – ağırlık oranları, yüksek elektrik ve ısı iletkenliklerinin yanı sıra iyi korozyon direncine sahip olmaları sayesinde T/M yöntemi ile üretiminde önemli bir yol kat edilmiştir (Qiu *et al.* 2020, Yehia 2019). Otomotiv, ulaşım ve savunma uygulamalarında hafif, yüksek performanslı mühendislik malzemelerine duyulan ihtiyaç, Al bazlı parçalarının geliştirilmesini sağlamıştır (Tang *et al.* 2002). Ancak, saf Al malzemelerin PM yöntemi ile üretilmesi üzerinde yapılan çalışmalar incelendiğinde, yeterli mekanik özelliklerin elde edilemediği belirlenmiştir (Avcı ve Güleç 2021). Bu nedenle alüminyumun alaşımlandırılması günümüz teknolojik gelişmelerini karşılayan malzeme ihtiyaçlarının temininde büyük önem arz etmektedir.

Alüminyum yüzey merkezli kübik (YMK) bir yapıya sahiptir ve hafif anizotropiktir, çinko ise hegzagonal bir yapıya sahiptir ve kuvvetli anizotropiktir. Bu farklı

anizotropik yapılar, ara yüzey enerjisini değiştiren morfolojilerin ve dendritik büyümenin yönlerinin bir varyasyonunu içerir. Bu konu üzerine yapılan çalışmalarda Al-Zn alaşımlarında Zn içeriğinin değiştirilmesi ile farklı kristalografik ve dentritik yapıların oluştuğu gözlemlenmiştir (Lamrous *et al.* 2013, Shin *et al.* 2017). Genellikle döküm yöntemi kullanılarak üretilen Al-Zn alaşımları ile yapılan çalışmalar incelendiğinde, Zn içeriğinin artması ile çekme dayanımında artış, çekme uzamasında ise bir azalış olduğu tespit edilmiştir (Chen *et al.* 2020). Döküm yöntemi ile yapılan bir diğer çalışmada, üretilen Al-(5-50) Zn alaşımlarında artan çinko oranı ile yoğunluk ve sertlik değerlerinin artmakta olduğu, çekme ve basma dayanımı değerlerinin ise %30 çinko oranına kadar artmakta, bu orandan sonra ise azalmakta olduğu tespit edilmiştir (Hekimoğlu ve Turan 2019). Bu bilgiler doğrultusunda sunulan çalışmanın etkilerinin net olarak gözlemlenebilmesi adına Al-15Zn alaşımının üretimi süreçleri üzerinde durulacaktır.

Al kafesi geniş bir sıcaklık aralığında yüksek sayıda Zn atomunu çözebilecek kapasiteye sahiptir. Bu durum, Al-Zn alaşımında ciddi kafes çarpılmasına neden olarak, alaşımın katı çözelti dayanımına yol açabilmektedir. Böylelikle Al-Zn alaşımının ana güçlendirme mekanizması katı çözelti dayanımı olarak belirlendiğinden, bu alaşımın ısıl işlem prosedürü için sadece katı çözelti ısıl işlemi kullanılabilir (Zhou *et al.* 2017). Bu işlem temel olarak üç aşamadan meydana gelmektedir. İlk aşamada üretilen alaşım çözeltiye alınarak (belirlenen sıcaklıkta bekletilerek) aşırı doymuş bir katı çözelti elde edilmektedir. İkinci aşamada, aşırı doymuş katı çözeltiye aniden su verilerek (bekletilen sıcaklıktan aniden soğutma) katı çözeltinin bulunduğu yapıda kalmasını sağlanmaktadır. Son aşamada ise, malzeme oda sıcaklığında bekletilerek (doğal yaşlandırma) ya da düşük sıcaklıktaki bir fırında bekletilerek (yapay yaşlandırma) aşırı doymuş katı çözelti içerisinde çözünen elementin çökmesine olanak sağlanmaktadır. Çökme sonucu oluşan yeni faz yapısı, malzemenin kimyasal içeriğine bağlı olarak önceki yapıdan daha sert bir değere ulaşmaktadır. Bu nedenle yapılan işlem literatürde çökme sertleşmesi adıyla da

anılmaktadır. Bu çerçevede T/M yöntemi ile üretilen Al-15Zn alaşımının sinterleme işlemi sonrası ısıl işlem süreçlerinin incelenmesinin, Al ve Zn içeriğine sahip çoklu alaşımların üretim süreçlerinin temel yapısını belirlemede büyük bir rol oynayacağı düşünülmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1 T/M yöntemi ile Al-15Zn alaşımının üretilmesi

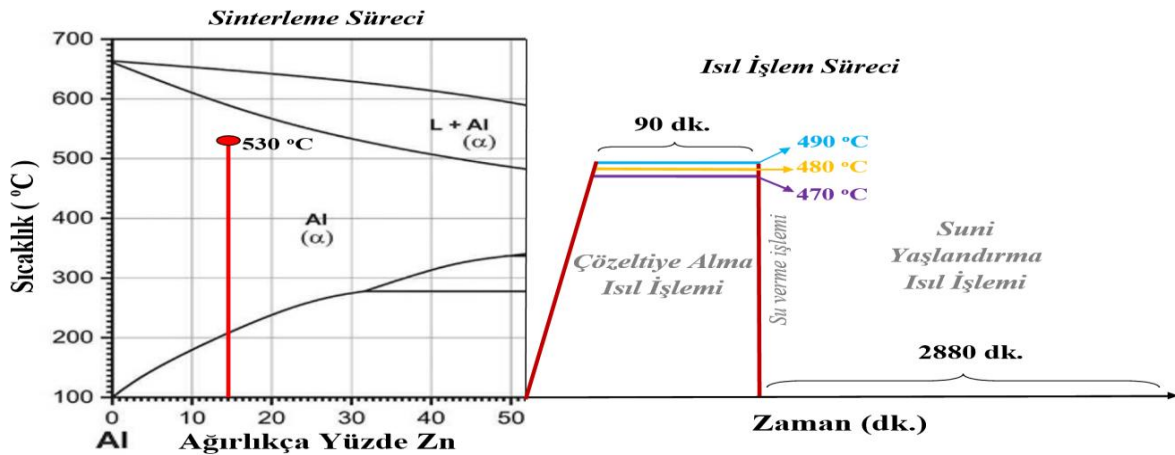
Sunulan çalışmada, ticari olarak elde edilen (Nanokar LTD. ŞTİ.) %99 saflığa sahip 44  $\mu\text{m}$  boyutlarındaki Al ve Zn tozları ağırlıkça %15 Zn oranında hazırlanmış ve homojen toz dağılımının sağlanabilmesi adına mekanik olarak karıştırılmıştır. Karıştırma işleminde mekanik alaşımlamanın gerçekleşmemesi için plastik hazne tercih edilmiş olup, hazne içine 200 gr toz karışımı ve tozların topaklanmasını engelleyen çelik bilyeler yerleştirilmiştir. Plastik hazne eksantrik olarak tek eksenli dönme hareketi yapan karıştırıcıya yerleştirilerek 270 dev/dk. dönme hızında 15 dk. boyunca karıştırılmıştır. Elde edilen homojen dağılımlı Al-15Zn tozları 300 °C sıcaklıktaki fırında 30 dk. bekletilmiştir. Böylelikle karışım tozlarının neminin giderilmesi ve daha akışkan hale gelmesi planlanmıştır (Donnell and Looney 2001). Yapılan ısıtma işlemi sonrasında iç yüzeyleri çinko stearat ile yağlanmış üç parçalı konik biçimde tasarlanmış soğuk sıkıştırma kalıbına yerleştirilen karışım tozları, UTEST marka basma cihazında 600 MPa basınç değerinde sıkıştırılmış ve  $\varnothing 20\text{mm} \times 85\text{mm}$

boyutlarında çubuk numuneler elde edilmiştir. Elde edilen ham şekillendirilmiş numuneler özel olarak tasarlanmış sinterleme kalıbına yerleştirilerek, Şekil 1’ de gösterilen Al-Zn ikili faz diyagramında belirtilen bölgede kalıpla birlikte 530 °C sıcaklıkta 45 dk. sinterlenmiştir. Sinterleme işleminden sonra fırından çıkartılan numunelere yaklaşık 5MPa basınç uygulanarak sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Sinterleme sonrası basınç uygulaması (Post Sintering Compaction) ismi ile adlandırılan bu yöntem sayesinde üretilen numunenin gözenek oranının minimuma inmesi ve yoğunluk değerinin maksimuma çıkması planlanmıştır (Avcı 2022). Sinterleme sonrası sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra numuneler kalıptan çıkartılarak havada soğutulmuştur.

### 2.2 Sinterleme Sonrası Al-15Zn Alaşımının Isıl İşlem Süreçleri

T/M yöntemi ile üretimi tamamlanan Al-15Zn alaşımının sinterleme sonrası ısıl işlem süreçlerinin incelenmesi için Şekil 1’ de belirtilen süreçler uygulanmıştır. Bu çerçevede, sinterleme işlemi tamamlanan alaşım numuneleri atmosfer kontrolü olmayan oda sıcaklığındaki ısıl işlem fırınına yerleştirilerek, çözeltiye alma işlemi için ayrı ayrı 470, 480 ve 490 °C sıcaklıklarda 90 dk. bekletilerek su verme işlemine tabi tutulmuşlardır. Böylelikle, Zn elementinin Al içerisinde tamamen çözünmesi için gerekli olan ideal sıcaklık değerinin tespit edilmesi planlanmıştır.



Şekil 1. Al-15Zn alaşımının sinterleme ve ısıl işlem süreçleri diyagramı

Yapılan işlemler neticesinde T/M yöntemi ile üretilen Al-15Zn alaşımının sinterleme ve ısıl işlem süreçleri tamamlanmış olup, işlemlerin her aşamasında numunelerin mikro sertlik ve mikro yapı değişimleri incelenmiştir. Mikro yapı incelemelerinde Nikon marka optik mikroskopu ve FEI marka taramalı elektron mikroskopu (SEM) kullanılmıştır. Üretimi tamamlanan numuneler zımparalama ve parlatma işlemleri sonrasında Keller kimyasalında dağlanarak her bir süreçteki genel değişim bölgelerinin görüntüleri alınmıştır. Elde edilen görüntülerden  $1.10^{-1} \text{ mm}^2$  alan içerisinde belirlenen tanelerin en ve boyunun ortalaması alınarak tane boyutları hesaplanmıştır. Mikro sertlik ölçümleri ise Wellmess WM-MCV-1A cihazında 100gf yük altında en az 6 kez tekrarlanan ölçümlerin ortalaması alınarak gerçekleştirilmiştir. Bunun yanı sıra, aşınma deneyi için 20mm çapında ve 10mm kalınlığındaki numunelere ASTM G 99 standartlarına uygun olarak 10N yük altında 200, 400 ve 600 metre mesafede, 6 mm çapında aşındırıcı bilyeler kullanılarak 200 d/dk dönme hızında aşınma deneyi uygulanmıştır.

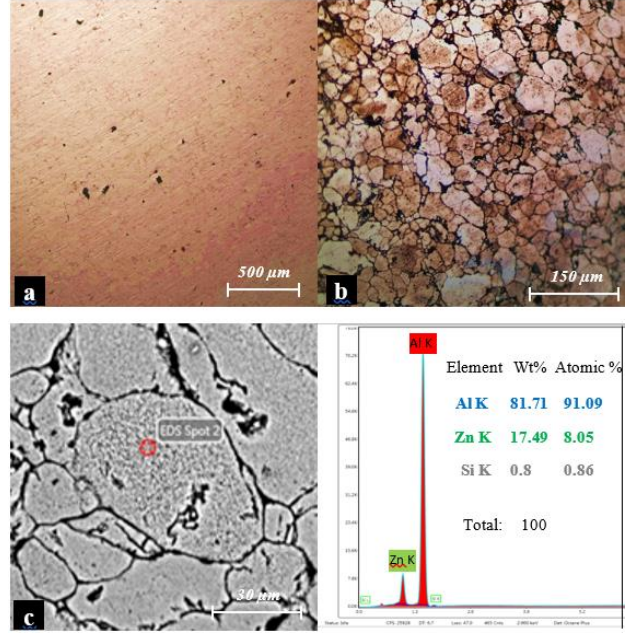
### 3. Bulgular

#### 3.1 T/M Yöntemi ile Üretilen Al-15Zn Alaşımının Mikro Yapı İncelemesi

Al ve Zn arasındaki kimyasal etkileşimin oldukça zayıf olmasından dolayı bu ikili alaşımda intermetalik bileşik gözlemlenmez. Aynı zamanda düşük Zn miktarı yüksek sıcaklık nedeniyle Al içerisinde çözünerek dengeli bir katı çözelti oluşturur. Al ( $\alpha$ ) fazı oda sıcaklığına kadar belirli bir hızda soğutulduğunda Al ( $\alpha$ ) + Zn ( $\beta$ ) fazına dönüşerek Zn ( $\beta$ ) çöktürmelerini oluşturduğu bilinmektedir (Berg *et al.* 2001).

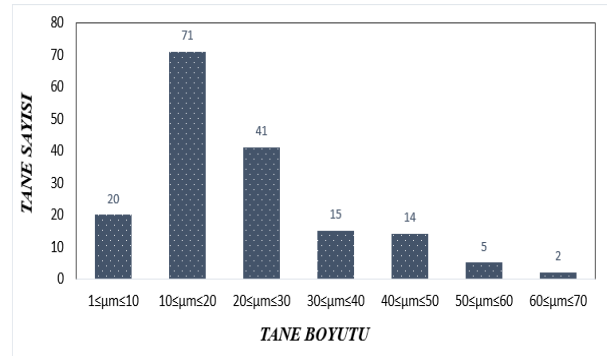
Bu nedenler doğrultusunda Şekil 2a ve 2b' de dağlanmış ve dağlanmamış numunelerin optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde, Zn elementinin Al içerisinde çözünerek mikro yapı içerisinde koyu kahverengi bölgeleri oluşturduğu tahmin edilmektedir. Buna bağlı olarak Şekil 2b' de Zn çözümlerinin yoğun olduğu koyu kahverengi bölgelerde tane boyutunun küçüldüğü de dikkat çekmektedir. Şekil 2c' de sergilenen SEM

görüntüsünde, belirlenen noktadan alınan EDS analizi sonuçlarının üretilmek istenen malzemenin kimyasal içeriği ile örtüştüğü tespit edilmiş olup, tane içerisindeki kısmi çökelmelerin oluşumu gözlemlenmiştir.



Şekil 2. Al-15Zn alaşımının sinterleme ve ısıl işlem süreçleri diyagramı.

Elde edilen mikro yapı görüntüsünden yaklaşık  $1.10^{-1} \text{ mm}^2$  içeren bir alan işaretlenerek bu alan içerisinde yaklaşık 168 adet tane oluşumunun gerçekleştiği tespit edilmiştir. Oluşan bu taneler üzerinde yapılan ölçümler sonucunda ortalama tane boyutunun yaklaşık olarak 22,5  $\mu\text{m}$  olduğu belirlenmiştir. Şekil 3'de belirlenen alan içerisinde tespit edilen tane boyut-sayı dağılımını gösteren grafik sergilenmektedir. Sergilenen grafik incelendiğinde yapı içerisinde çoğunlukla 10-30  $\mu\text{m}$  boyut aralığında tanelerin bulunduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3. Al-15Zn alaşımının  $1.10^{-1} \text{ mm}^2$  içerisindeki tane boyut – sayı dağılımını gösteren grafik.

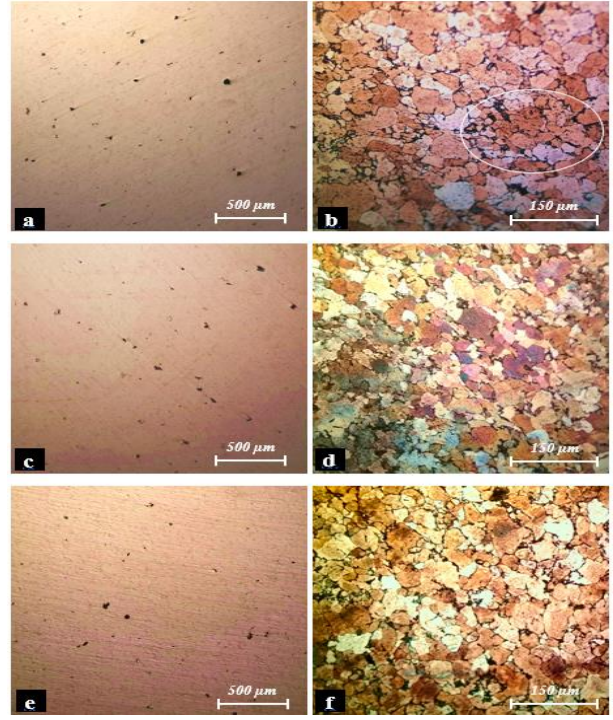


Çözeltiye alma işlemi tamamlandıktan sonra suni yaşlandırma sürecine geçilmiş olup, numuneler 100 °C sıcaklıktaki fırında 48 saat bekletilmiştir. Bu sayede aşırı doymuş katı çözelti durumundaki iç yapının, çökeltiler oluşturarak Al-15Zn alaşımının dayanım mekanizmasına etkilerinin incelenmesi düşünülmüştür.

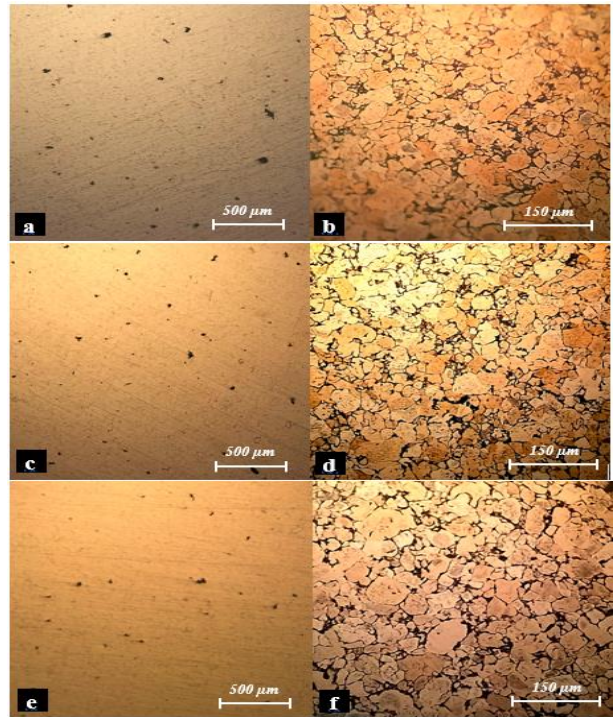
### 3.2 T/M Yöntemi ile Üretilen Al-15Zn Alaşımının Mikro Yapı İncelemesi

Şekil 4a-f'de sinterleme işlemi sonrası farklı sıcaklıklarda çözeltiye alındıktan sonra su verme işlemine tabi tutulan numunelerin dağlanmış ve dağlanmamış mikro yapı görüntüleri verilmektedir. Şekil 4a-b'de 470 °C sıcaklıkta çözeltiye alınan numunenin mikro yapı görüntüsü incelendiğinde, Al içerisinde Zn çözünümünün tamamen oluşmadığı, Şekil 4b'de daire içerisinde gösterildiği gibi tane içerisinde noktalar halinde bölgesel kalıntıların meydana geldiği gözlemlenmiştir. Şekil 4c-d'de 480 °C sıcaklıkta çözeltiye alınan numunenin mikro yapı görüntüleri incelendiğinde, yapı içerisinde aşırı doymuş bir çözelti oluşumunun meydana geldiği ve tane içerisinde çok küçük muhtelif kalıntıların olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4e-f'de sergilenen mikro yapı görüntüsünde 490 °C sıcaklıkta çözeltiye alınan numunede tane irileşmesinin meydana geldiği ve bu durumun çözeltiye alma sıcaklığının yüksek olmasından kaynaklandığı bilinmektedir.

Şekil 5a-f'de farklı sıcaklıklarda çözeltiye alınan numunelerin 100 °C sıcaklıkta 48 saat yaşlandırılması sonucu elde edilen dağlanmış ve dağlanmamış mikro yapı görüntüleri sergilenmektedir. Şekil 5a-b'de verilen görüntülerde (470 °C/90dk. + su verme + 100 °C/2880dk.) taneler içerisinde noktasal çökeltilerin olduğu belirlenmiştir. Fakat Şekil 5c-d'de elde edilen görüntüde (480 °C/90dk. + su verme + 100 °C/2880dk.) bu çökeltilerin varlığında bir artış olduğu belirlenmiştir. Son olarak şekil 5e-f'de sergilenen görüntülerde ise (490 °C/90dk. + su verme + 100 °C/2880dk.) iri taneli yapı içerisinde çökelmiş yapıların varlığı tahmin edilmektedir.

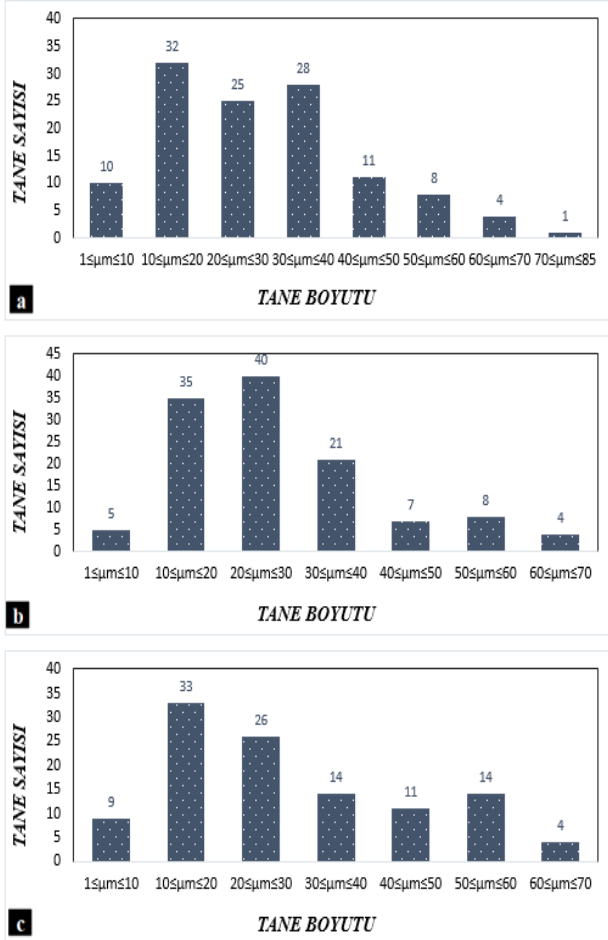


Şekil 4. Farklı sıcaklıklarda çözeltiye alındıktan sonra su verme işlemine tabi tutulan numunelerin sırasıyla önce dağlanmamış sonra dağlanmış mikro yapı görüntüleri a-b) 470 °C/90 dk. + su verme, c-d) 480 °C/90 dk. + su verme, e-f) 490 °C/90 dk. + su verme



Şekil 5. Yaşlandırma işlemine tabi tutulan numunelerin sırasıyla önce dağlanmamış sonra dağlanmış mikro yapı görüntüleri a-b) 470 °C/90 dk. + su verme + 100 °C/2880dk., c-d) 480 °C/90 dk. + su verme + 100 °C/2880dk., e-f) 490 °C/90 dk. + su verme + 100 °C/2880dk.

Şekil 6 a-c'de farklı sıcaklıklarda uygulanan ısıl işlemler sonucunda  $1.10^{-1}$  mm<sup>2</sup> alan içerisinde yapılan tane boyut – sayı analiz sonuçları grafik halinde sergilenmiştir. Şekil 6a'da 470 °C sıcaklıkta başlayan ısıl işlem süreçleri sonrasında, belirlenen alan içerisinde yaklaşık 120 adet tane tespit edilmiş ve bu tanelerin çoğunluğu 10-40 µm aralığında yoğunlaştığı gözlemlenmiştir.



**Şekil 6.** Yaşlandırma işlemine tabi tutulan numunelerin tane boyut – sayı analiz grafikleri a) 470 °C/90 dk. + su verme + 100 °C/2880dk., b) 480 °C/90 dk. + su verme + 100 °C/2880dk., c) 490 °C/90 dk. + su verme + 100 °C/2880dk.

Belirlenen tanelerin ortalama boyutu 28,40 µm olarak belirlenmiş olup, bu değer ısı işlem görmemiş Al-15Zn alaşımından yaklaşık %26 daha fazla olduğu görülmektedir. Şekil 6b'de çözelti sıcaklığının artması ile tane boyutunda ve tane sayısında çok büyük değişikliklerin oluşmadığı gözlemlenmiştir. Belirlenen alan içerisinde yaklaşık 124 adet tane bulunmuş olup bu tanelerin ortalama boyutu yaklaşık 28,06 µm olduğu belirlenmiştir.

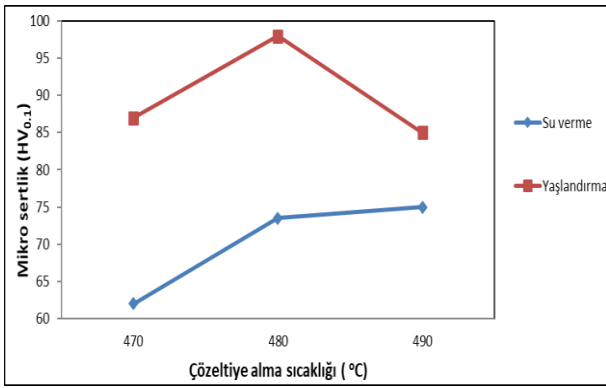
Yapılan incelemeler ışığında tane boyutunda bir miktar düşüşün olduğu ve tanelerin yine 10-40 µm aralığında yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Son olarak çözeltiye alma sıcaklığının 490 °C sıcaklığa çıkarılması ile elde edilen tane boyut – sayı analiz değerleri Şekil 6c'de verilmektedir. Yapılan analiz sonucunda tane sayısı 111'e düşmüş ve buna bağlı olarak ortalama tane boyutu da 29,04 µm değerine yükselmiştir.

### 3.3 Isıl İşlem Uygulamaları Sonrası Al-15Zn Alaşımının Mikro Sertlik İncelemeleri

T/M yöntemi ile üretimi tamamlanan Al-15Zn alaşımının, sinterleme işlemi sonrası mikro sertlik değeri 78 HV olarak ölçülmüştür. Elde edilen mikro yapı görüntülerinde, homojen olmayan çökeltilerin yapı içerisine dağıldığı belirlenmiştir. Belirlenen farklı sıcaklıklarda uygulanan çözeltiye alma ve su verme işlemleri sayesinde, Al içerisinde Zn'nin çözünmesi ile ideal katı çözelti oluşum sıcaklığının belirlenmesi düşünülmüştür. Bu işlem sonrasında numunelerin sertlik değerinin ısıl işlem görmemiş Al-15Zn alaşımının sertlik değerinden daha düşük olması beklenilmektedir. Şekil 7'de Al-15Zn alaşımına uygulanan ısıl işlem süreçleri neticesinde elde edilen sertlik değerleri grafik olarak sergilenmektedir. Su verme işleminden hemen sonra yapılan ölçümler neticesinde 470 °C sıcaklıkta çözeltiye alma işlemi sonrasında sertlik değerinin 62 HV olduğu gözlemlenirken, 480 °C sıcaklıkta ise sertlik değeri 73.5 HV değerine ulaşmıştır. Artan sıcaklık sonrası uygulanan su verme işleminin sertlik değerinde artışa neden olduğu belirlenmiş olup, bu bağlamda 490 °C sıcaklıkta yapılan işlem sonrası sertlik değerinin 75 HV olduğu tespit edilmiştir. Bu tespite rağmen 480 ve 490 °C yapılan işlemler sonrasında sertlik değerinde büyük bir artışın olmadığı fakat tane boyutunda değişikliklere neden olduğu söylenebilmektedir. Bu sonuçlar neticesinde, ısıl işlem evresini tamamlayan yaşlandırma işlemi sonrasında elde edilecek değerler önem kazanmaktadır.

Su verme işlemi sonrasında aynı sıcaklık ve sürede (100 °C /2880dk.) yapılan suni yaşlandırma işlemi sonrasında, 470 °C sıcaklıkta çözeltiye alınan numunenin yaşlandırma işlemi sonrası sertliğinin 87

HV değerine ulaştığı belirlenmiştir. 480 °C sıcaklıkta çözeltiliye alındıktan sonra yaşlandırılan numunenin sertlik değeri ise 98 HV ölçülmüştür. Elde edilen bu sertlik değeri, sinterleme sonrası Al-15Zn alaşımının sertlik değerinin yaklaşık %26 fazlası olarak belirlenmiştir. 490 °C sıcaklıkta çözeltiliye alma işleminden sonra yaşlandırılan numunenin sertlik değeri önceki sıcaklık değerinde elde edilen sonuca göre düşüş sergilemiş ve 85 HV değerine gerilemiştir. Yaşlandırma işlemi sonucunda elde edilen numunelerin tamamının sertlik değeri, ısıl işlem görmemiş numuneden daha üstün çıkmıştır (Erdoğan, 2012).



Şekil 7. Isıl işlem uygulamaları sonrası Al-15Zn alaşımının mikro sertlik grafiği

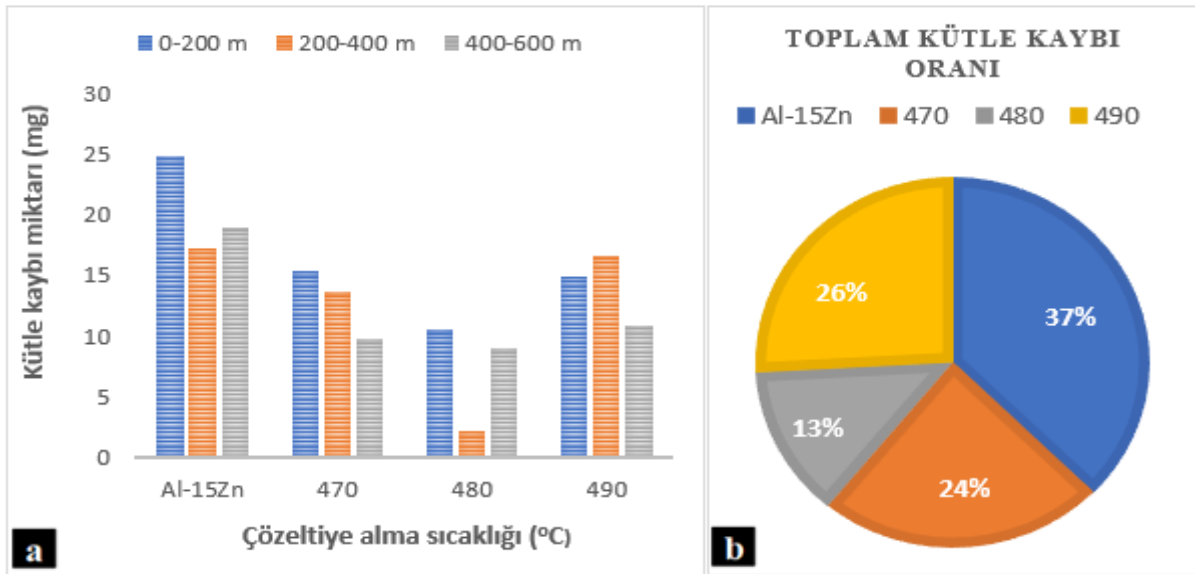
Elde edilen numunelerin tane boyut ve mikro sertlik değerleri Hall-Petch eşitliği ile ilişkilendirilebilir. Eşitlik 1' de verilen denklem incelendiğinde H malzemenin sertliği, H<sub>0</sub> alaşımda bulunan yapısal

fazların içsel sertliği, K<sub>H</sub> Hall-Petch katsayısı, d ise tane boyutunu simgelemektedir. Eşitlikten de anlaşılacağı gibi tane boyutu küçüldükçe sertlikte bir artışın olduğu görülmektedir. Bu durum, ince taneli yapılarda kaba taneli yapılara göre daha fazla tane sınırının oluşması ve bunun sonucunda deformasyon sırasında dislokasyon hareketinin tane sınırları tarafından engellenmesi ile gerçekleşmektedir. Böylelikle ince taneli malzemeler daha sert ve mukavim olmaktadır.

$$H = H_0 + K_H \cdot d^{-1/2} \quad (1)$$

### 3.4 Isıl İşlem Uygulamaları Sonrası Al-15Zn Alaşımının Aşınma Analizi

Sertlik değerleri belirlenen numunelere farklı mesafelerde uygulanan aşınma testi sonrası elde edilen kütle kaybı değerler grafikleri Şekil 8a-b'de sergilenmektedir. Şekil 8a incelendiğinde, elde edilen numuneler arasında en yüksek sertlik değerine sahip olan 480 °C sıcaklıkta çözeltiliye alınan ve yaşlandırılan numunenin aşınma dayanımının diğer numunelere göre daha üstün olduğu belirlenmiştir. Üretilen numunelerin sertlik değerleri göz önüne alındığında, aşınma sonrası kütle kaybı oranları sıralaması ile eşleştiği belirlenmiştir. Şekil 8b'de toplam kütle kayıpları ile oluşturulan genel oransal grafikte bu sıralama net olarak ortaya konulmuştur.



Şekil 8. Isıl işlem görmüş Al-15Zn alaşımının aşınma testi sonrası kütle kayıpları, a) 200-400-600 m kayma mesafesinde elde edilen kütle kayıpları, b) 600 m kayma mesafesinde elde edilen kütle kaybı oranları.

T/M Yöntemi ile üretilen Al-15Zn üzerinde yapılan çalışmaların sonucunda elde edilen veriler Tablo 1' de sergilenmektedir. Yapılan incelemeler ışığında, ısıl işlem öncesi malzemenin tane boyutunun küçük olduğu aynı zamanda sertliğinin ısıl işlem görmüş malzemelere göre düşük olduğu belirlenmiştir. Bu durum, çökelti oluşumunun sertlik üzerinde meydana getirdiği etkinin, tane boyutu özelliklerinin sertliğe olan etkisinden daha çok ön planda olduğunu ortaya koymaktadır. Bunun yanı sıra ısıl işlem süreçlerinin tamamlanması ile aynı kategoriye sahip malzemeler arasında tane boyut – sertlik değerleri arasında bir oran olduğu tespit edilmiştir.

**Çizelge 1.** T/M yöntemi ile üretilen Al-15Zn alaşımının farklı ısıl işlemler sonucunda elde edilen değerleri

	Ortalama Tane Boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Mikro Sertlik Değeri (HV <sub>0,1</sub> )	Aşınma Testi Sonucu Toplam Kütle Kaybı (mg)
Al-15Zn	22,5	78	61,2
470 °C/90 dk.+su verme+100°C/2880dk	28,4	87	38,7
480 °C/90 dk.+su verme+100°C/2880dk	28,06	98	21,6
490 °C/90 dk.+su verme+100°C/2880dk	29,04	85	42,4

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Sunulan çalışmada, T/M üretim yöntemi kullanılarak Al-15Zn alaşımı üretilmiştir. Üretimi tamamlanan alaşımlar farklı sıcaklıklarda su verme işlemine tabi tutulmuş ve suni yaşlandırma uygulaması ile ısıl işlem süreçleri tamamlanmıştır. Böylelikle T/M yöntemi ile üretilen Al-15Zn alaşımının ısıl işlem süreçlerindeki mekanik ve mikro yapısal değişimler incelenerek aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Yapılan incelemeler sonucunda, T/M yöntemi ile üretimi tamamlanan Al-15Zn alaşımının ortalama tane boyutunun 22,5  $\mu\text{m}$  ve mikro sertlik değerinin 78 HV olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra farklı sıcaklıklarda çözeltiye alma ve su verme işlemi sonrasında sertlik değerinin düştüğü ve tane irileşmesinin olduğu

gözlemlenmiştir. 470-480-490 °C/90 dk. uygulanan çözeltiye alma ve su verme işlemi sonrasında, kendi aralarında sırasıyla düşük oranlarda artan sertlik değerleri ile karşılaşmıştır.

2. Isıl işlem prosedürünün son aşaması olan suni yaşlandırma süreci sonrasında alaşımın mikro sertlik değeri, ısıl işlem parametrelerine bakılmaksızın ham malzemeye göre üstünlük göstermiştir. Bu üstünlük 480 °C 'de çözeltiye alınıp yaşlandırılan malzemede daha belirgin değere ulaşmıştır. Belirlenen parametrelerle elde edilen değerler ışığında Al-15Zn alaşımının sertliği ısıl işlem sonrası yaklaşık %26 artış göstermiştir.
3. Tamamlanan ısıl işlem süreçleri sonrasında numunelerin tane boyutu ham Al-15Zn alaşımına göre yaklaşık %26 irileşmiştir. Buna rağmen ısıl işlem görmüş numuneler arasında en düşük tane boyutuna 480 °C' de çözeltiye alınıp yaşlandırılan malzemede rastlanılmıştır. Bu kapsamda, malzemenin sertliğini artırmak için uygulanan mekanizmalar incelendiğinde, düzenli çökelti oluşumunun tane boyutunu artırdığı, bunun yanı sıra sertlik değerini de yükselttiği belirlenmiştir.

#### Teşekkür

Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje birimi tarafından desteklenmiştir (2021/1-37 M).

#### 5. Kaynaklar

- Akkaş, M., Boushiha, K. F. I., 2021. Investigation of wc reinforced cunisi composites produced by mechanical alloying method. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, **8(2)**, 592–603.
- Avcı, U., 2022. The analysis of microstructure and mechanical properties in B4C reinforced Al–Zn alloy matrix composites manufactured using a new sintering approach. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*, **63(3)**, 344–359.



- Avcı, U., Güleç, A., 2021. Effect of different sintering temperatures on microstructure and mechanical properties for pure Al material produced by powder metallurgy. *El-Cezerî Journal of Science and Engineering*, **2021(1)**, 462–470.
- Bardi, F., Cabibbo, M., Evangelista, E., Spigarelli, S., Vukčević, M., 2003. An analysis of hot deformation of an Al-Cu-Mg alloy produced by powder metallurgy. *Materials Science and Engineering A*, **339(1–2)**, 43–52.
- Berg, L. K., Gjøønnes, J., Hansen, V., Li, X. Z., Knutson-Wedel, M., Waterloo, G., Schryvers, D., Wallenberg, L. R., 2001. GP-zones in Al-Zn-Mg alloys and their role in artificial aging. *Acta Materialia*, **49(17)**, 3443–3451.
- Chen, Y., Liu, C. Y., Zhang, B., Qin, F. C., Hou, Y. F., 2020. Precipitation behavior and mechanical properties of Al-Zn-Mg alloy with high Zn concentration. *Journal of Alloys and Compounds*, **825**, 1–7.
- Donnell, G. O., Looney, L., 2001. Production of aluminium matrix composite components using conventional PM technology. *Materials Science & Engineering A*, **303**, 292–301.
- Erdoğan, M., 2012. Suni yaşlandırılmış Al-Cu-Mg-(Li) alaşım sistemlerinde oluşan faz bölgelerinin DTA/DTK ile analizi ve korozyon davranışı. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, **12**, 1–12.
- Gökçe, A., 2017. Alüminyum ve alaşımlarının toz metalurjisi işlemleri. *Mühendis ve Makine* **58(686)**, 21–46.
- Hekimoğlu, A. P., Turan, Y. E., 2019. Çinko oranının Al-(5–50)Zn alaşımlarının yapısal ve mekanik özelliklerine etkisi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **9**, 16–25.
- Lamrous, D., Debili, M. Y., Boehm-Courjault, E., 2013. Microstructure and phase composition of Al-Zn alloys. *Journal of Advanced Microscopy Research*, **8(4)**, 266–269.
- Özçatalbaş, Y., Köse, D., 2021. AA6061-B4C MMKp malzemelerin özelliklerine süper katı üzeri sıvı faz sinterleme işlemlerinin etkisi. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, **21(3)**, 696–709.
- Qiu, T., Wu, M., Du, Z., Chen, G., Zhang, L., Qu, X., 2020. Microstructure evolution and densification behaviour of powder metallurgy Al-Cu-Mg-Si alloy. *Powder Metallurgy*, **63(1)**, 54–63.
- Shin, S. S., Lim, K. M., Park, I. M., 2017. Effects of high Zn content on the microstructure and mechanical properties of Al-Zn-Cu gravity-cast alloys. *Materials Science and Engineering A*, **679**, 340–349.
- Awotunde, M. A., Adegbenjo, A. O., Obadele, B. A., Okoro, M., Shongwe, B. M., Olubambi, P. A., 2019. Influence of sintering methods on the mechanical properties of aluminium nanocomposites reinforced with carbonaceous compounds : A review. *Journal of Materials Research and Technology*, **8(2)**, 2432–2449.
- Tang, F., Anderson, I. E., Biner, S. B., 2002. Solid state sintering and consolidation of Al powders and Al matrix composites. *Journal of Light Metals*, **2(4)**, 201–214.
- Yehia, H. M., 2019. Electrochemical surface modification of aluminum sheets prepared by powder metallurgy and casting techniques for printed circuit applications. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, **72(1)**, 85–92.
- Zhou, W. B., Teng, G. B., Liu, C. Y., Qi, H. Q., Huang, H. F., Chen, Y., Jiang, H. J., 2017. Microstructures and mechanical properties of binary Al-Zn alloys fabricated by casting and heat treatment. *Journal of Materials Engineering and Performance*, **26(8)**, 3977–3982.