



FARKLI Zn ve Mg İÇERİĞİNE SAHİP YAŞLANDIRILABİLİR TİCARİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

¹Yusuf KAPLAN , ²Sercan TAŞAR , ³Mehmet YILDIRIM 

^{1,3} Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
Bölümü, Konya, TÜRKİYE

² RMT Metalurji ve San. ve Tic. Ltd. Şti, Konya, TÜRKİYE

¹yusufkaplanmmm@gmail.com, ²rmt@rmtmetal.com, ³myildirim@ktun.edu.tr

(Geliş/Received: 04.09.2020; Kabul/Accepted in Revised Form: 28.10.2020)

ÖZ: Bu çalışma kapsamında, farklı oranlarda Zn ve Mg içeren 5 adet ticari Al döküm alaşımının mikroyapısal özellikleri ve sertlik değerleri incelenmiştir. Alaşımlara üretildikten sonra 500°C sıcaklıkta 1 saat süre ile çözeltiyeye alma işlemi uygulanmış sonrasında 200°C sıcaklıkta 1, 4 ve 16 saat boyunca yaşlandırma ısıl işlemine maruz bırakılmıştır. Mevcut fazların miktarı, dağılımı, büyüklüğü ve morfolojisi gibi mikroyapısal özellikler alaşımların bileşimine ve yaşlandırma işlemi süresine göre pek fazla değişmemiştir. Sadece 16 saat yaşlandırma sonucu mikroyapıda aşırı yaşlandırmaya bağlı irileşme gözlemlenmiştir. İncelenen tüm alaşımların sertlik değerleri yaşlandırma sonucu önemli ölçüde artmış olup tüm alaşımlar pik (en yüksek) sertlik değerlerine 4 saat yaşlandırma süresinde ulaşmışlardır.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum alaşımları, Mikroyapı, Yaşlandırma, Sertlik

Investigation of the Structural Properties of Age-Hardenable Commercial Aluminum Alloys with Various Zn and Mg Contents

ABSTRACT: In this study, the microstructural properties and hardness of five different commercial aluminum alloys containing various amount of Zn and Mg have been investigated. After production, the alloys were solutionized at 500°C for 1 hour and subsequently aged at 200°C for 1, 4 and 16 hours. Microstructural properties such as size, amount, distribution and morphology of constituent phases were not much changed with respect to aging condition or Zn and Mg content. However, certain amount of coarsening was observed in the microstructures of 16 h aged all specimens due to overaging. After aging treatment, the hardness values of all investigated compositions increased significantly. For all compositions, the peak hardness was observed for 4 h aged specimens.

Key Words: Aluminum alloys, Microstructure, Aging, Hardness

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Alüminyum alaşımları dökme demir ve çelik esaslı malzemelerden sonra yapısal mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan ikinci metal olup demir-çelik esaslı malzemelere göre oldukça hafiftirler (yaklaşık üçte biri) (Kaufman ve Rooy, 2004; Rooy, 1992; Mistri ve Joshi, 2017). En önemli özellikleri hafif olmalarından kaynaklı yüksek özgül dayanıma (dayanım/ağırlık) sahiptirler (Singh, 2008; Rooy, 1992). Dolayısıyla parça ağırlığının hafifletilmesi gibi çok yüksek bir avantaja sahip olmalarından ötürü enerji tüketiminin/verimliliğin çok önemli olduğu havacılık ve otomotiv uygulamalarında çok sıklıkla tercih edilmektedir (Davis, 2001; Davis, 1993; Ejiöfor ve Reddy, 1997; Gül, 2014; Mohamed ve diğ.,

2009). Bununla birlikte Al alaşımları yüksek elektrik ve termal iletkenliğe, yüksek korozyon direncine, kolay dökülebilirlik kabiliyetine ve sünek olmalarından ötürü kolay haddelenebilirliğe sahiptirler (Mistri ve Joshi, 2017).

Döküm ile üretilen Al alaşımlarının yapısal uygulamalarda kullanılabilmesi için bileşimlerinde silisyum, bakır, magnezyum ve çinko gibi çeşitli alaşım elementleri içermeli ve gerektiğinde de ısı işlemi uygulanabilmelidir (Çetin, 2017; Rana ve diğ., 2012; Kalhapure ve Digpe, 2015). Al-Si alaşımları döküm ile üretilen Al alaşımları arasında en yüksek üretim ve kullanım oranına sahip olan alaşımlar olup diğer Al esaslı alaşımlara kıyasla nispeten daha düşük dayanım değerlerine sahiptir (Çetin, 2017). Bu yüzden Al-Si alaşımlarının düşük mekanik özellikleri mikroyapı modifikasyonu, tane inceltme, yaşlandırma ısı işlemi ve üçüncü/dördüncü alaşım elementi ilavesi ile iyileştirilmektedir. Al-Si alaşımlarına belli oranları geçmemek kaydı ile Cu, Mg ve Zn birlikte ilave edilebilmektedir (Easton ve John, 1999; Easton ve John, 1999; Li ve diğ., 1989). Cu ilavesi Al alaşımlarının akıcılığını/dökülebilirliğini arttırmakta aynı zamanda dayanım ve sertliğini de iyileştirmektedir. Mg ise Si ile birlikte kullanıldığında alaşımların yaşlandırma kabiliyetini arttırmakta dolayısıyla da dayanım ve sertlik değerleri de yükselmektedir. Bunun yanında Zn alüminyum içerisinde en yüksek katı çözünürlüğe sahip alaşım elementi olup katı çözelti güçlendirmesine sebep olmaktadır (Mistri ve Joshi, 2017; ; Ji ve diğ., 2012).

Bu çalışmada otomotiv parçalarının üretiminde yaygın olarak kullanılan yaklaşık % 7-8 Si oranına sahip ve farklı oranlarda Zn ve Mg içeren beş farklı ticari Al-Si esaslı döküm alaşımlarının yaşlandırma ısı işlemi öncesi ve sonrası mikroyapı ve sertlikleri incelenmiştir.

MALZEME VE METOT (MATERIALS and METHOD)

Numunelerin Üretimi (Production of the Samples)

Çalışma kapsamında farklı kimyasal bileşimlere sahip (Çizelge 1) 5 değişik ticari alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Alaşımların üretimi Konya Konsan Sanayi Sitesi'nde bulunan RMT Metalurji tesislerinde ortalama ağırlığı 6-7 kg civarında külçelere dökülerek gerçekleştirilmiştir. Ergitme işleminde 8 ton kapasiteli Erdem Makina marka alüminyum ergitme fırını kullanılmıştır. Ocağa şarj olarak alüminyum hurdası ve çeşitli alaşım elementleri yüklenmiştir. Ergitilen alüminyum alaşımlarına gaz giderme işlemi uygulanmıştır. Daha sonra sıvı alüminyum kokil kalıplara dökülerek soğutulmaya bırakılmıştır. Numunelerin kimyasal analizi Oxford Instruments Foundry Master model optik emisyon spektrometresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan Ticari Al-alaşımlarına ait kimyasal analiz değerleri.

Table 1. Chemical composition of investigated commercial Al-alloys

Numune	Al	Si	Zn	Mg	Cu	Fe	Pb	Mn	Ni	Ti	Cr
Numune1	85,5	7,92	2,75	0,161	2,12	0,878	0,107	0,193	0,130	0,030	0,020
Numune2	84,9	8,13	2,94	0,278	2,08	0,902	0,198	0,206	0,111	0,031	0,027
Numune3	84,9	7,76	3,24	0,325	2,07	0,928	0,210	0,237	0,115	0,028	0,028
Numune4	84,5	7,77	3,45	0,226	2,29	1,00	0,191	0,208	0,132	0,030	0,030
Numune5	84,7	6,85	4,03	0,414	2,10	1,25	0,179	0,159	0,090	0,034	0,037

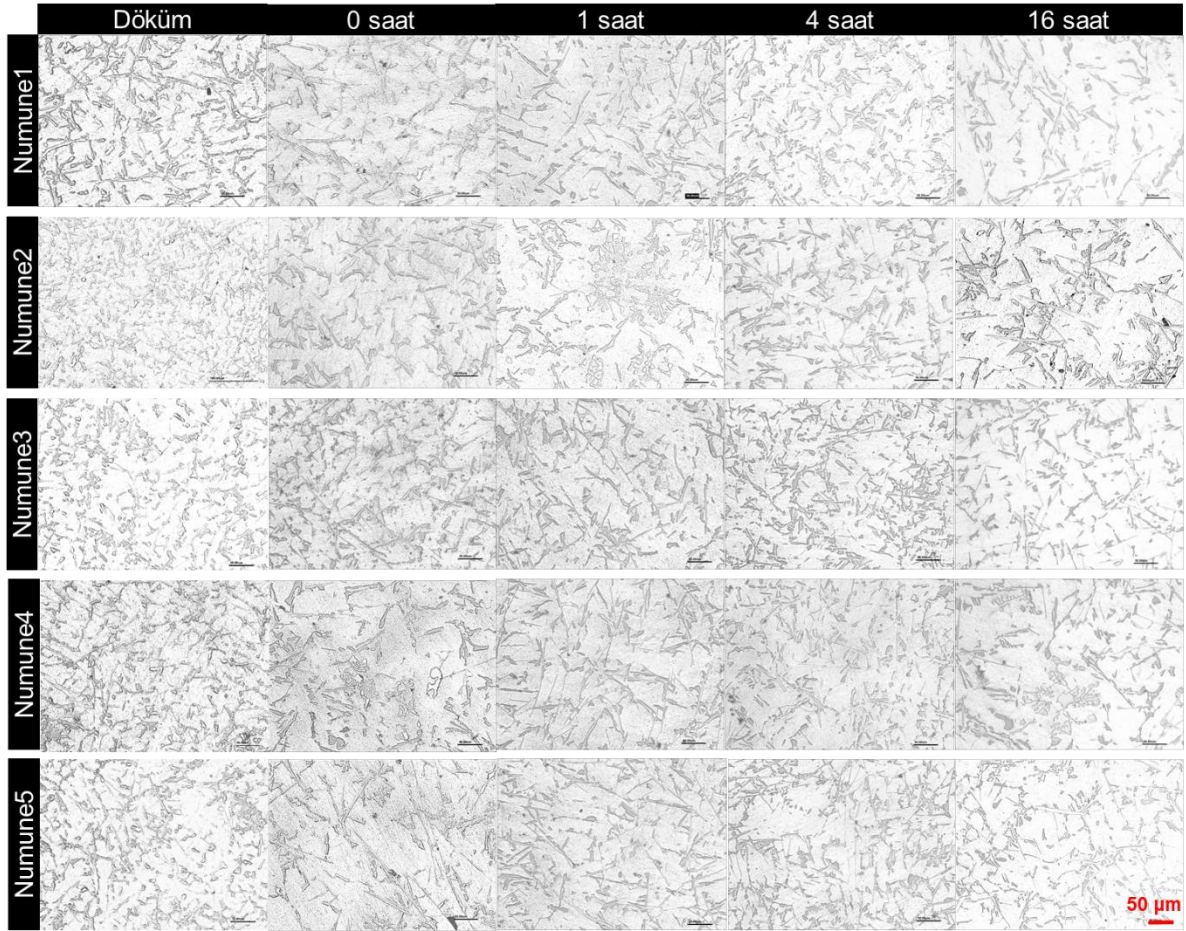
Isıl İşlem (Heat-Treatment)

Üretimi tamamlanan ticari alüminyum alaşımlarının ısı işlemi Konya Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Metalografi Laboratuvarında bulunan Protherm PLF 130/9 model kamara tipi fırında gerçekleştirilmiştir. Öncelikle numunelere 500°C sıcaklıkta 1 saat süre ile çözeltiye alma işlemi uygulanmıştır. Daha sonra numunelere oda sıcaklığında su verilmiştir. Son olarak numunelere 200°C sıcaklıkta 1, 4 ve 16 saat boyunca yaşlandırma ısı işlemi uygulanıp sonrasında fırında soğutulmaya bırakılmışlardır.

Karakterizasyon (Characterization)

Numuneler içyapı incelemesi için standart metalografik numune hazırlama işlemleri kullanılarak hazırlanmıştır. Bu işlem kapsamında numuneler önce zımparalanmış (120-1200 grit SiC zımpara kâğıdı) sonra 1 μm Al_2O_3 çözeltisi kullanılarak parlatılmış ve sonunda da Kellar çözeltisi ile dağlanmıştır. Numunelerin ısıl işlem öncesi ve sonrası mikroyapı incelemesi Metkon IMM 901 model ters metal mikroskobu kullanılarak yapılmıştır. Alaşımların faz analizi Bruker D8 Advance model X-ışını kırınım cihazı (XRD) kullanılarak yapılmıştır. Ölçümler, tarama hızı $2^\circ/\text{dk}$ ile $2\theta=20-90^\circ$ aralığında ve dalga boyu 1.5406 Å olan Cu-K α ışınması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numunelerin yaşlandırma öncesi ve sonrası Brinell sertlik değerleri EMCO Test DuraVision 300 model sertlik ölçme cihazı kullanılarak 62,5 kgf yük altında ve 2,5 mm bilya ile yapılmıştır. Numunelerden en az 5 farklı ölçüm alınarak ortalama sertlik değerleri hesap edilmiştir.

BULGULAR (RESULTS)

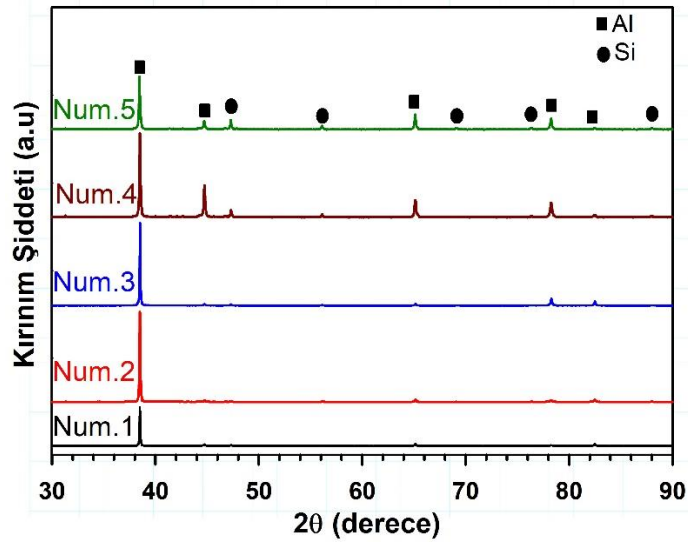


Şekil 1. Dökülmüş, çözeltiye alınmış (0 saat) ve yaşlandırılmış alüminyum alaşımlarına ait mikroyapı fotoğrafları (200X büyütme).

Figure 1. Optical micrographs of as-cast, solutionized (0 hour) and aged aluminum alloys (200X magnification).

Çalışma kapsamında kullanılan ticari Al-alaşımlarının dökülmüş, çözeltiye alınmış ve farklı sürelerde yaşlandırılmış numunelerine ait mikroyapı resimleri Şekil 1’te verilmektedir. Isıl işlem öncesi ve sonrası tüm numunelerin mikroyapıları birincil katılaştan α -Al dendritlerden (açık renkli faz) ve dendritler arası bölgede bulunan kaba, düzlemsel ve keskin köşeli ötektik Si fazından (koyu renkli faz) meydana gelmektedir. Numunelerin mikroyapıları dikkatli incelendiğinde kompozisyona ve yaşlandırma süresine bağlı olarak Al ve Si fazlarının miktarlarında, morfolojilerinde ve büyüklüklerinde önemli bir değişiklik

görülmemiştir. Bununla birlikte sadece 16 saat yaşlandırma uygulanan numunelerin mikroyapılarında Si fazının belli oranda aşırı yaşlandırmaya bağlı irileştiği gözlemlenmiştir (Wagner ve diğ., 2001).



Şekil 2. Çalışmada kullanılan alüminyum alaşımlarına ait X-ışınları kırınım eğrisi.

Figure 2. XRD patterns of investigated aluminum alloys.

Çalışma kapsamında kullanılan dökülmüş haldeki ticari Al-alaşımlarının faz analizleri X-ışını kırınımı (Şekil 2) yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 2'den de anlaşılacağı üzere araştırılan numunelerde sadece Al ve Si fazlarına ait kırınım piklerine rastlanmış olup herhangi bir ikili veya üçlü intermetalik (metallerarası bileşik) fazlarına ait piklere rastlanmamıştır. Mikroyapı incelemesi ve faz analizi sonuçları birlikte irdelediğinde çalışma kapsamında kullanılan alaşımların belli oranda Zn ve Mg içermelerine rağmen Al ve Si fazlarından başka herhangi bir faz içermedikleri açıkça görülmektedir. Bunun sebebi ise Zn ve Mg metallerinin YMK kristal yapıya sahip Al içerisinde çözünürlüğe sahip olmalarıdır. Hatta Zn alaşım elementleri içerisinde Al içerisinde en yüksek katı çözünürlüğe (atomik % 66,4) sahip olan elementtir (Mistri ve Joshi, 2017).

Çizelge 2. Isıl işlem görmemiş (dökülmüş haldeki) alaşımlarda Alüminyum ve Silisyumun fazlarının hesap edilmiş kafes parametresi.

Table 2. Calculated lattice parameters of Aluminum and Silicon phases in as-cast alloys.

Numune	Alüminyum Kafes Parametresi (Å)	Silisyum Kafes Parametresi (Å)
Numune1	4,0471	5,4295
Numune2	4,0488	5,4329
Numune3	4,0472	5,4303
Numune4	4,0462	5,4281
Numune5	4,0466	5,4308

Ayrıca Çizelge 2' de listelenen Al fazına ait ve Bragg Kanunu kullanılarak hesap edilen kafes parametreleri incelendiğinde Mg ve Zn elementlerinin Al ile birlikte katı çözelti oluşturdukları açıkça görülmektedir. Saf Al elementinin kafes parametresi 4,0495 Å olup çalışma kapsamında kullanılan alaşımlardaki Al kafes parametreleri tüm numuneler için bu değerden belli oranda düşüktür. Bu durum şu şekilde açıklanmaktadır. Saf Mg ve Zn' un kafes parametreleri sırasıyla 3,2094 Å ve 2,6649 Å olup saf Al' un kafes parametresine kıyasla oldukça düşüktür. Daha düşük kafes parametresine sahip Zn ve Mg' un Al içerisinde çözünmesiyle Al' un sahip olduğu YMK kristal kafes küçülmektedir ve dolayısıyla Al alaşımları saf Al'a kıyasla daha düşük kafes parametresine sahip olmaktadır. Bununla birlikte alaşımlardaki Zn ve Mg miktarına göre hesap edilen kafes parametrelerinde herhangi bir artış ya da

azalma eğilimi gözlemlenmemiştir. Bunun sebebi ise alaşımların çok bileşenli olmasına ve kırınım analizlerinin bulk (hacimli) numunelerden yapılmasına bağlanmaktadır.

Çalışma kapsamında kullanılan dökülmüş haldeki ve ısı işlem görmüş Al alaşımlarının oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri Brinell sertlik testleri ile belirlenmiş ve önemli bulgular elde edilmiştir. Her bir numuneden rastgele en az 5 farklı Brinell sertlik ölçümü yapılmış, döküm veya katılaşma kaynaklı kusurlardan ortaya çıkan çok yüksek/düşük sertlik değerleri hesaba katılmamıştır. Çizelge 3'te çalışma kapsamında kullanılan numunelere ait hesap edilmiş ortalama sertlik değerleri verilmiştir. Elde edilen sertlik değerlerine göre, dökülmüş haldeki alaşımların en düşük sertlik değerlerine sahip olduğu ve yaşlandırma ısı işlemi neticesinde tüm numunelerin sertlik değerlerinde önemli artış olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, en yüksek (pik) sertlik değerlerine 4 saat yaşlandırma sonucu ulaşıldığı sürenin 16 saate çıkması ile birlikte sertlik değerlerinin % 10-12 oranında azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum temel nedeni ise mikroyapı analizlerinde gözlemlendiği üzere 16 saat yaşlandırılan numunelerde aşırı (fazla) yaşlandırmaya bağlı olarak fazlarda ortaya çıkan irileşmedir.

Çizelge 3. Dökülmüş, çözeltiye alınmış (0 saat) ve yaşlandırılmış alüminyum alaşımlarına ait Brinell sertlik değerleri.

Table 3. Brinell hardness values of as-cast, solutionized (0 hour) and aged aluminum alloys.

Numune	Ortalama Sertlik Değeri				
	Döküm	Çözeltiye alınmış	1 saat	4 saat	16 saat
Numune1	76	91	85	109	99
Numune2	75	99	94	122	108
Numune3	80	107	91	127	118
Numune4	79	101	89	124	107
Numune5	75	104	90	123	107

Çözeltiye alınmış numunelerin sertlik değerlerinin dökülmüş (ham) haldeki numunelerin sertlik değerlerine kıyasla daha yüksek olmasının sebebi çözeltiye alma ısı işlemi ile nispeten yüksek sıcaklıkta ve nispeten yüksek difüzyon hızında aşırı doymuş katı çözelti meydana gelmesidir. Bu da katı çözelti sertleşmesine sebep olmaktadır. Bununla birlikte 1 saat yaşlandırma neticesinde sertlik değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Nispeten yüksek sıcaklıkta uygulanan çözeltiye alma işlemi atom boşluğu konsantrasyonunu arttırmış ve takiben su verme işlemi ile de fazla miktarda atom boşluğuna sahip aşırı doymuş katı çözelti elde edilmiştir. Daha sonrasında çözeltiye alma işlemine kıyasla daha düşük sıcaklıkta uygulanan yaşlandırma neticesinde atom boşluğu sayısı azalmış ve dolayısıyla alaşımlarda bir miktar yumuşama gözlemlenmiştir. Pogaster ve diğerleri (Pogaster ve diğ., 2011) tarafından yapılan çalışmada yaşlandırma sıcaklığı ve atom boşluğu arasındaki ilişkinin yapay yaşlandırmayı kontrol eden mekanizmaya etkisi araştırılmış ve 170-180°C yerine daha yüksek sıcaklıklarda (200-210°C) yapılan yaşlandırmada atom boşluklarının kaybolmasının diğer bir deyişle konsantrasyonlarının azalmasının aşırı doymuş katı çözeltiye kıyasla baskın mekanizma olduğunu bildirmişlerdir.

Çalışmada kapsamında kullanılan numunelerin Brinell sertlik sonuçları dikkatlice incelendiğinde en az oranda (% 0,116) Mg içeren Numune1'in çözeltiye alma ve tüm yaşlandırma koşullarında diğer numunelere kıyasla daha düşük sertlik değerine sahip olduğu görülmektedir. Bunun sebebi olarak içerdiği düşük Mg miktarı düşünülmektedir. Mg, Al-alaşımlarının en temel alaşım elementlerinden birisi olup alaşımların yaşlandırılabilirliğini arttırdığı bilinmektedir (Mistri ve Joshi, 2017). Bu sebeple incelenen 5 farklı bileşimin dökülmüş haldeki sertlik değerleri birbirine yakın iken, ısı işlem sonrasında Numune1'in sertlik değerleri diğer dört numunenin sertlik değerlerine kıyasla düşüktür. Yaşlandırma ısı işlemi Numune1'in sertliğinde % 43 artış sağlarken, diğer dört numunenin sertlik artışı bileşime bağlı olarak % 57-64 arasında ölçülmüştür.

Öte yandan Zn miktarının çalışma kapsamında kullanılan Al-alaşımlarının sertlik değerlerine etkisi incelendiğinde Zn miktarına bağlı olarak değişen belirgin bir sertlik artış ya da azalma eğilimi gözlemlenmemiştir. Zn, Al içerisinde en yüksek çözünürlüğe sahip element olup (Van Horn 1968) katı çözelti güçlendirmesine sebep olmaktadır. Fakat çalışma kapsamında kullanılan alaşımlar ticari alaşımlar

olup Si, Mg ve Zn'nun dışında farklı ve fazla sayıda safsızlık bulunmaktadır. Bu yüzden numunelerde Zn miktarına bağlı belirgin bir sertlik artışı veya azalma eğilimi gözlemlenmemiştir.

Bununla birlikte bu çalışma kapsamında araştırılan numunelerin sertlik değerleri önceki çalışmamızda kullanılan (Çevirir ve diğ., 2018) benzer Si içeren (% 7,29) ve çok az oranda Mg, Zn ve Cu içeren Al-alaşımının sertlik değerleri ile kıyaslandığında her koşul için yaklaşık 1,5 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir. Mg, Zn ve Cu içermeyen alaşımın dökülmüş haldeki ve pik sertlik değeri sırasıyla 46 ve 86 Brinell sertlik değeri olarak ölçülmüşken şimdiki çalışmada bu değerler önemli ölçüde artmıştır. Elde edilen bu sonuç gösteriyor ki Mg, Zn ve Cu ilavesi ile Al alaşımlarının oda sıcaklığındaki mekanik özelliklerine çok önemli ölçüde katkı sağlamaktadır.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA (CONCLUSION)

Bu çalışma kapsamında farklı oranlarda Zn ve Mg içeren 5 farklı ticari Al alaşımının yaşlandırma öncesi ve sonrası mikroyapısal özellikleri ve sertliği incelenmiştir ve elde edilen sonuçlar aşağıda listelenmiştir:

- Yaşlandırma öncesi ve sonrası Zn ve Mg miktarına bağlı olarak mikroyapısal özelliklerde önemli değişiklikler gözlemlenmemiştir.
- 16 saat yaşlandırma sonucunda Si fazında aşırı yaşlandırmadan kaynaklı belli oranda irileşme meydana gelmiştir.
- Tüm numunelerin sertliği yaşlandırma sonrası önemli ölçüde artmış ve pik (en yüksek) sertlik 4 saat yaşlandırma sonucu ortaya çıkmıştır.
- Diğer numunelere göre daha az Mg içeren Numune1'in yaşlandırılabilirlik kabiliyeti zayıftır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Konya Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü mezunlarından Yusuf Kaplan'ın lisans bitirme projesi kapsamında hazırlanmıştır. Yazarlar numunelerin üretimi ve temini için RMT Metalurji firmasına, numune hazırlanmasında emeklerini esirgemeyen Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü emekli teknisyeni Ali Özdoğan'a teşekkürlerini sunmaktadır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Çetin, A., 2017, "Alüminyum Döküm Alaşımları", *Dökümcünün El Kitabı Serisi-04, Dökümhane Akademi Projesi*.
- Çevirir, Y., Necip, S., Yıldırım, M., 2018, "Isıl İşlem Süresinin Ötektik-Altı Al-Si Alaşımlarının Mekanik Özelliklerine Etkisi", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt. 18, ss. 1036-1042.
- Davis, J. R., 1993, "Introduction to Aluminum & its alloys", *ASM International*. ss. 30-32.
- Davis, J. R., 2001 "Aluminum and Aluminum Alloys", *ASM International*.
- Easton, M., John, D., 1999, "Grain Refinement of Aluminum Alloys: Part I. The Nucleant and Solute Paradigms—A Review of the Literature", *Metallurgical and Materials Transactions A*, Cilt. 30, ss. 1613-1623.
- Easton, M., John, D., 1999, "Grain Refinement of Aluminum Alloys: Part II. Confirmation of, and a Mechanism for, the Solute Paradigm", *Metallurgical and Materials Transactions A*, Cilt. 30, ss. 1625-1633.
- Ejiofor, J.U., Reddy R.G., 1997, "Developments in the Processing and Properties of Particulate Al-Si Alloy Composites", *JOM Journal of the Minerals, Metals and Materials*, Cilt. 49, ss. 31-37.
- Gül, F., 2014, "AlSi10Mg Döküm Alaşımlarının Bazı Mekanik Özellikleri Üzerine İkincil Yaşlandırma İşleminin Etkisi", *Suleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Science*, Cilt. 18, ss. 30-37.

- Ji, S., Watson, D., Fan., Z., White, M., 2012, "Development of a Super Ductile Die-Cast Al-Mg-Si Alloy. *Mater. Sci. Eng. A. Cilt.* 556, ss. 824-833.
- Kalhapure, M.G., Dighe, M.P., 2015, "Impact of Silicon Content on Mechanical Properties of Aluminum Alloys", *International Journal of Science and Research*, Cilt. 4, ss. 38-40.
- Kaufman, J. G., Rooy, E. L., 2004, "Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes and Applications", *ASM International*.
- Li, H. J., Shivkumar, S., Luos, X. J., Apelian, D., 1989, "Influence of Modification on the Solution Heat Treatment Response of Cast Al-Si-Mg Alloys", *Cast Metals Cilt.* 1, ss. 227-234.
- Mistry, V.A., Joshi, M.J, 2017, "Development of Aluminum-Zinc Alloy by Adding Zn Solid and Zn Powder", *International Journal of Science Technology & Engineering*, Cilt. 4(1), ss. 165-167.
- Mohamed, A.M.A., Samuel, A.M. Samuel, F.H., Doty, H.W., 2009, "Influence of Additives on the Microstructure and Tensile Properties of Near-Eutectic Al-10.8%Si Cast Alloy", *Materials and Design*, Cilt. 30, ss. 3943-3957.
- Murray, J.L., 1982, "The Al-Mg (Aluminum-Magnesium) System", *Bulletin of Alloy Phase Diagrams*, Cilt. 3(1), ss. 60-74.
- Pogatscher, S., Antrekowitsch, H., Leitner, H., Ebner, T., Uggowitzner, P. J., 2011, "Mechanisms controlling the artificial aging of Al-Mg-Si Alloys", *Acta Materilia*, Cilt. 59 (9), ss. 3352-3363.
- Rana, R. S., Purohit, R., Das, S., 2012, "Review on the Influence of Alloying Elements on the Microstructure and Mechanical Properties of Aluminum Alloys", *International Journal of Scientific and Research Publication*, Cilt. 2, ss. 1-7.
- Rooy, E.L., 1992, "ASM Metal Handbook Properties and Selection: Non- Ferrous Materials and Special Purpose Alloys", *ASM International*, Cilt. 02, ss. 17-44.
- Singh, V., 2008, "Physical Metallurgy", *Standard Publication Delhi*, 1st Edition, ss. 679-688.
- Van Horn K. R., 1968, "Aluminum Vol.I Properties, Physical Metallurgy and Phase Diagrams", ASM.
- Wagner, R., Kampmann, R., Voorhees, P.W., 2001, "Homogeneous Second Phase Precipitation, in Phase Transformations in Materials", *Wiley-VCH*, ss. 309-407.