

# Al-Cu Alaşımlarında Porozite ve Mikroyapının Yaşlandırma Üzerine Etkisi

<sup>1</sup>Muhammet ULUDAĞ, <sup>1</sup>Muhammed Raşit ERYILMAZ, <sup>1</sup>Serdar ÇELEBİ ve <sup>\*2</sup>Derya DIŞPINAR  
<sup>1</sup>Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Konya, Türkiye  
<sup>\*2</sup>İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, İstanbul, Türkiye

## Özet

Bu çalışmada, alüminyum bakır alaşımlarından AlCu4Ti kullanılmıştır. Isıl işlem olarak T6 yapılmıştır. Isıl işlem yapılan numuneler döküm yöntemiyle üretilmiştir. Dökümlerde döküm sıcaklığı 700 °C ve kalıp olarak da kokil ve kum kalıp kullanılmıştır. Kum tane boyutunun porozite, mikroyapı ve yaşlandırma üzerine etkisini incelemek üzere 60-65 ve 40-45 AFS boyutlarındaki farklı silis kumlarından yapılmış kum kalıplar tercih edilmiştir. Porozite ölçümü, bifilm indeksi ve hacimsel ölçüm (arşimet) incelemeler ile belirlenmiştir. İki farklı kum kalıp ve kokil kalıp dökümlerinde oluşan mikroyapı farkları incelenmiştir. 537 °C çözeltiye alma ve 195 °C yaşlandırma sürelerinde ısıl işlem uygulanmıştır. Elde edilen porozite ve mikroyapı inceleme sonuçlarının yaşlandırma sonuçları ile nasıl bir ilişkide olduğu araştırılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Döküm, T6 ısıl işlemi, Al-Cu alaşımı, Porozite, Mikroyapı

## Abstract

AlCu4Ti alloy was used to investigate the T6 heat treatment efficiency with regard to cooling rate. Thus, samples were cast at 700 °C into a die, and two sand moulds prepared by 40-45 and 60-65 AFS sands. Microstructural analysis were carried out. In addition, melt quality was measured by using reduced pressure test and bifilm index. Samples were solutinated at 537 °C and artificially aged at 195 °C.

**Keywords:** Casting, T6 heat treatment, Al-Cu alloy, Porosity, Microstructure

## 1. Giriş

Alüminyum alaşımları düşük yoğunluk, iyi mekanik özellikleri nedeniyle havacılık ve otomobil endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır [1, 2]. Bakır alüminyum alaşımında sertlik artırıcı rol oynar. Alaşımda %5 e kadar bakır bulunması doğal veya yapay yaşlandırma ile sertliği ve tokluğu artırır [3, 4]. Endüstride yaygın olarak kullanılmaya başlanan 2xxx serisi alüminyum alaşımları çökelti oluşturabilecek malzemelerdir. Al-Cu alaşımları üzerinde farklı ısıl işlem koşulları farklı mekanik özelliklerin ortaya çıkmasına neden olduğu bilinmektedir [5-7].

Alüminyum alaşımları üzerinde mekanik özelliklerin artırılması için uygulanan çökeltme sertleşmesi türlerinden T6 ısıl işlemi üç basamaktan oluşur. Bu basamaklar çözeltiye alma işlemi, ani olarak su verme işlemi ve yapay yaşlandırma işlemidir. Bu aşamalardaki hedef, ötektik noktanın altında tek bir faz bölgesi elde edip ikincil fazların tek bir bölgede çözdürülmesinin sağlanmasıdır. Bu çözdürülen ikincil fazlar homojen ve ufak yapıya sahip olup mukavemet artışı sağlar.

\*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering Selcuk University, 42075, Konya TURKEY. E-mail address: uludag@selcuk.edu.tr, Phone: +903322232027

Çözeltiye alma işlemi alaşımdaki Cu oranına göre ergime sıcaklığının altında farklı sıcaklıklarda ve farklı sürelerde gerçekleştirilir. Bileşiminde ağırlıkça %96 Alüminyum ve %4 bakır bulunan bir alüminyum alaşımı göz önüne alındığında, denge halindeki  $\theta$  fazının çökeltme serleşmesi işlemindeki çeşitli değişimler olur. Alaşımın mekanik özelliklerini bu geçişler sırasındaki değişimler etkiler. Bazı döküm alaşımları mukavemet ve sertliklerini oda sıcaklığında bekledikleri süre içerisinde kazanır. Bu süreç haftalarca sürebilir ancak sıcaklığın artırılmasıyla bu durumun hızlandırılması mümkündür. Çözeltiye alma işlemi alaşımdaki Cu oranına göre ergime sıcaklığının altında farklı sıcaklıklarda ve farklı sürelerde gerçekleştirilir [8].

Bu çalışmada farklı döküm kalitelerinde elde edilmiş olan AlCu4Ti alaşımı üzerinden T6 ısıl işlemi zaman ve sıcaklık parametreleri belirlenip, yaşlandırma üzerine porozite miktarları ile mikroyapı incelenmiş ve birbirleriyle ilişkilendirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metod

Çalışmamızda kullanılan ETİAL 221 alaşımı birincil olarak elde edilmiş olup kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de verilmiştir.

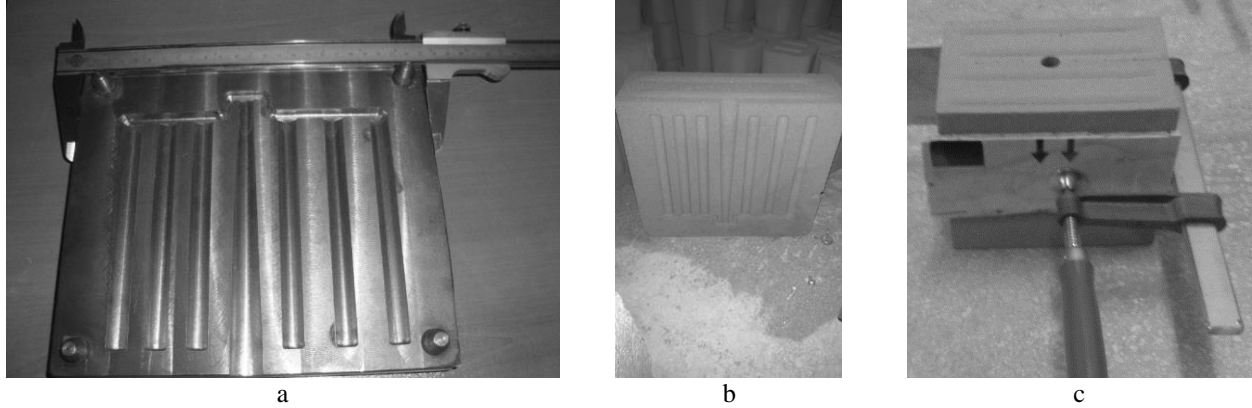
**Tablo 1.** Kullanılan ETİAL 221 alaşımının kimyasal bileşimi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Ni	Pb	Al
0,30	0,30	4,00-5,00	0,10	0,05	0,10	0,15-0,30	0,10	0,05	Kalan

DeneySEL çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak ön çalışma yapılmış ve deney alaşımımız olan ETİAL 221 için optimum çözeltiye alma ve yaşlandırma süreleri belirlenmiştir. Ön çalışmamız da kendi içinde iki aşamada yapılmıştır. Önce kül fırınında grafit potada ergitilen sıvı gerçek çalışmada kullanacağımız kum kalıba dökülmüştür. Dökümden elde edilen parçadan yaklaşık 15 mm yüksekliğinde ve 13 mm çapında 9 adet silindirik numuneler çözeltiye alınmak üzere hazırlanmıştır. Çözeltiye alma sıcaklığı belirlenirken solvüs eğrisine en yakın fakat ötektik sıcaklıktan düşük olan 537 °C alınmıştır. Bu sıcaklıkta 9 adet numune çözeltiye alınmış ve her 15 dakikada bir numune fırından alınıp suda su verilmiştir. 15. dakikadan 135. dakikaya kadar çözeltiye aldığımız bu numunelerin mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Bu çalışma ile optimum çözeltiye alma süresi belirlendikten sonra aynı döküm parçasından 16 adet numune alınmış ve çözeltiye alma işleminden sonra 195 °C yaşlandırma sıcaklığında yaşlandırılarak her saat başı fırından alınan numunelerin sertlik değerleri ölçülmüştür. Bu sertlik ölçümü 48 saat ara ile iki defa daha tekrarlanmıştır. Elde edilen değerlerden optimum yaşlandırma süresi belirlenmiştir. Hem çözeltiye alma hem de yaşlandırma için optimum süreler belirlendikten sonra ikinci aşamaya yani gerçek çalışmaya geçilmiştir.

İkinci aşamada ergitme işlemi için yaklaşık 4kW gücünde elektrikli ocak ve SiC pota kullanılmıştır. Kalıp olarak, farklı AFS'lere sahip kumlardan yapılmış kum kalıp ve aynı modelin

kokil kalıbı kullanılmıştır. Döküm kalıplarında kum olarak 40-45 ve 60-65 AFS kumlar kullanılmıştır. Aynı kumlardan RPT (Reduced Pressure Test) kum kalıpları da üretilerek sıvı metalden azaltılmış basınç test numuneleri alınmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan kokil kalıp, kum kalıplar ve RPT kalıbı Şekil 1’de verilmiştir.



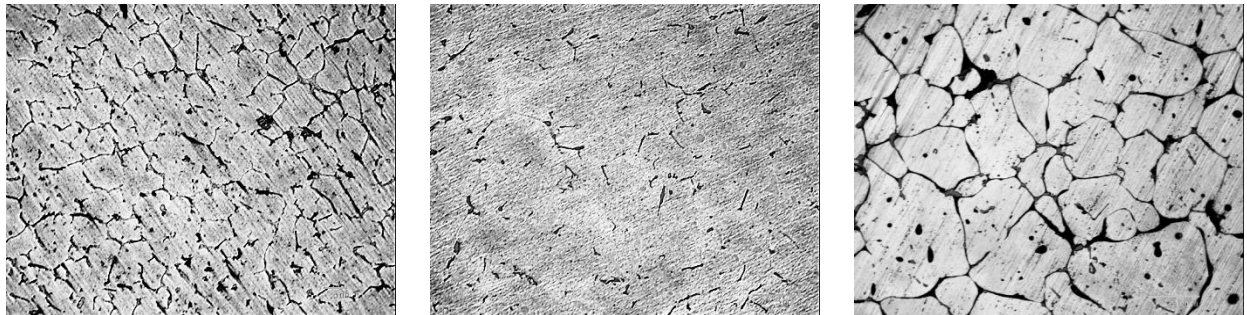
Şekil 1. Deneysel çalışmada kullanılan kalıplar. a) Kokil kalıp, b) 40-45 AFS kum kalıp, c) 60-65 AFS kum kalıp,

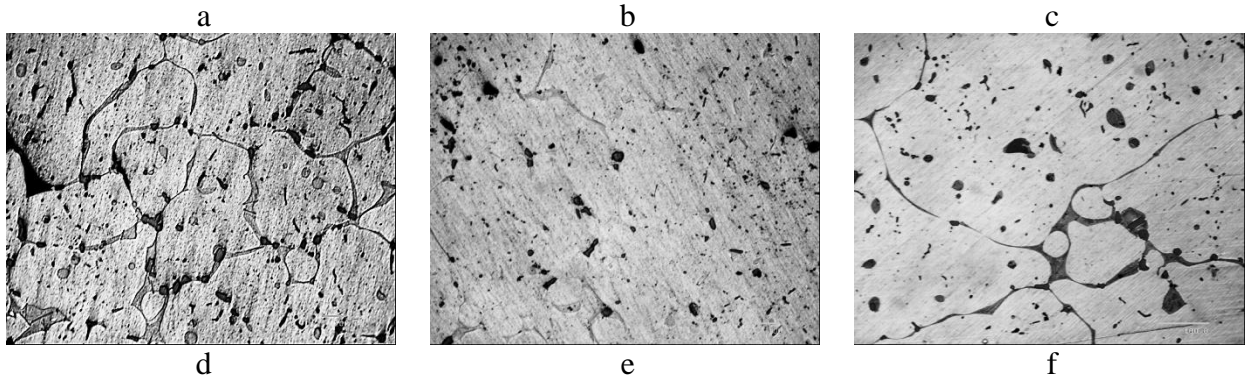
Farklı kalıplara dökülmüş parçalardan T6 ısıl işlemi sonrasında sertlik, mikroyapı ve hacimsel porozite ölçümleri için numuneler elde edilmiştir. Sertlik numunelerinden Brinell sertlik değerleri, Mikroyapı analizlerinde optik mikroskop ve görüntü analiz programı yardımıyla mikroyapı görüntüleri ve Arşimet prensibine göre hazırlanmış hassas terazi ile de hacimsel porozite ölçümleri gerçekleştirilmiştir. RPT cihazından aldığımız numuneler de makro içleme için hazırlanarak görüntüleri alınmış ve yine CLEMEX marka görüntü analiz programı ile bifilm indeksleri hesaplanmıştır.

### 3. Bulgular

#### 3.1. Ön Çalışma

Ön çalışmada gerçekleştirilen optimum çözeltiye alma süresi belirlemede kullanılan mikroyapı görüntüleri Şekil 2’de verilmiştir.

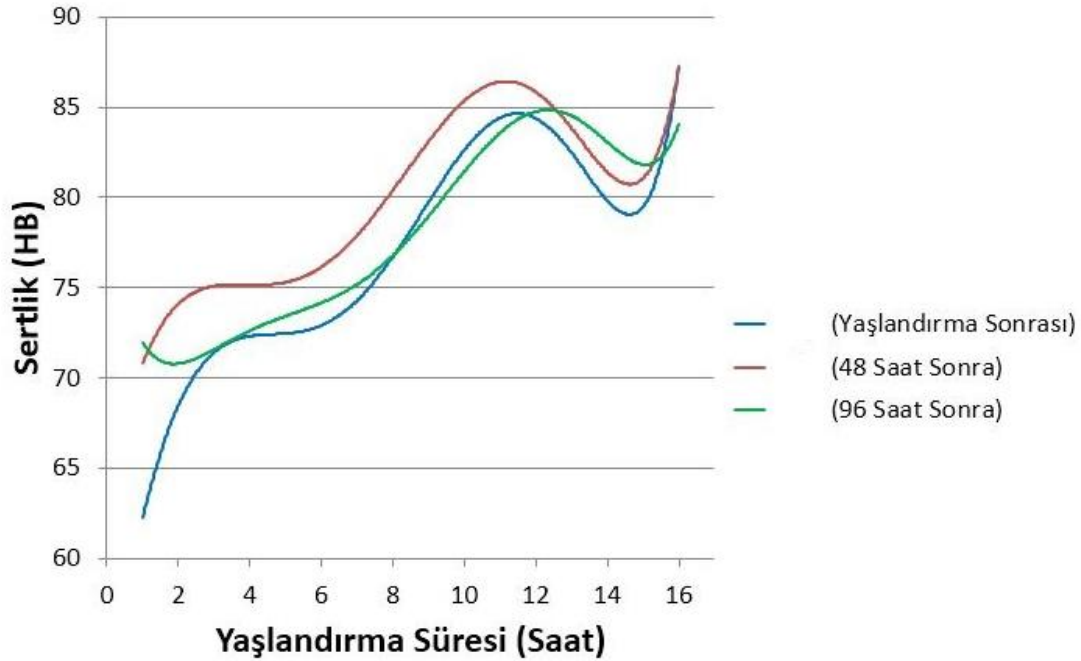




**Şekil 2.** Ön çalışmanın çözeltiye alma sonrası mikroyapıları.  
a) 15 Dakika, b) 30 Dakika, c) 45 Dakika, d) 60 Dakika, e) 75 Dakika, f) 90 Dakika

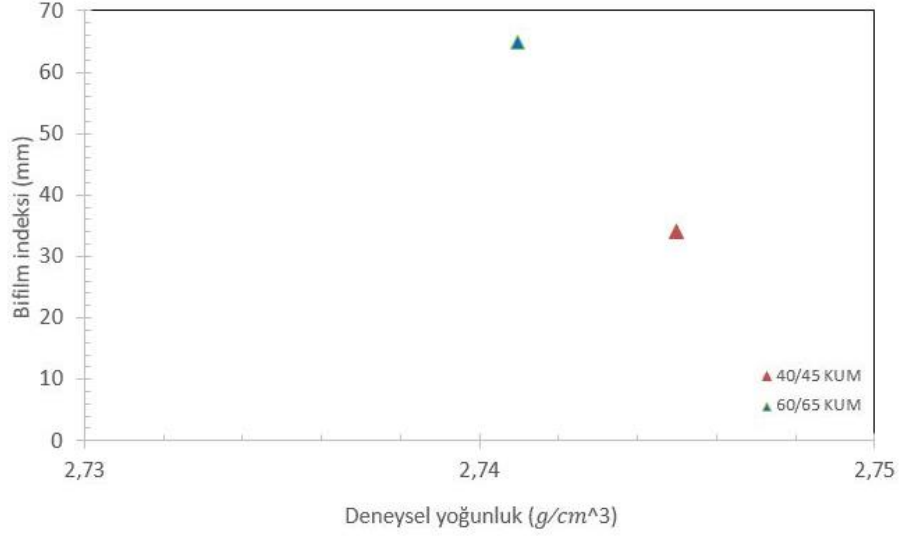
Çözeltiye alma işleminde kullanılan şekil 2'deki mikroyapıları incelendiğinde alüminyum matrisi içinde bulunan ikinci fazların çözeltiye geçmesi b resminde de görüldüğü gibi 30 dk. Olarak tespit edilmiştir.

İkinci aşamada belirlediğimiz optimum yaşlandırma süresi için elde ettiğimiz sertlik değerleri Şekil 3'de verilmiştir.

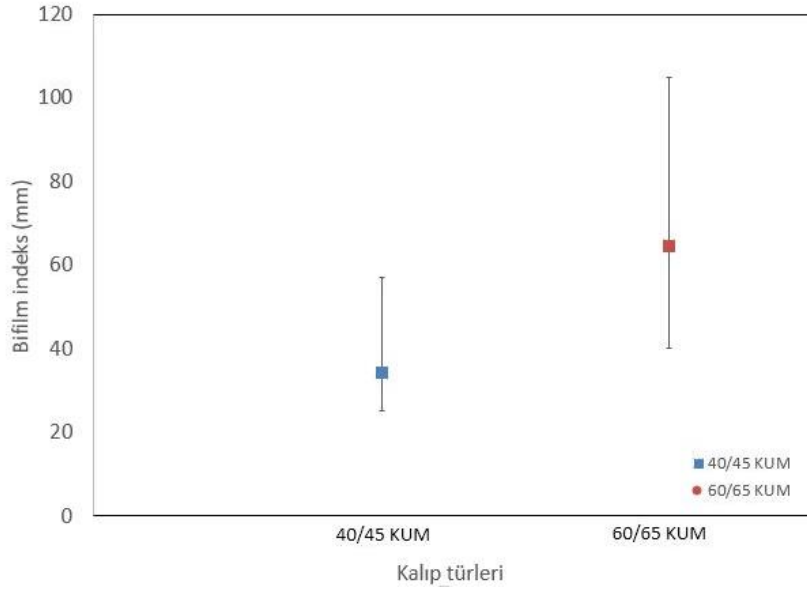


**Şekil 3.** Ön çalışmada yaşlandırma işlemi sonrası alınan sertlik değerleri

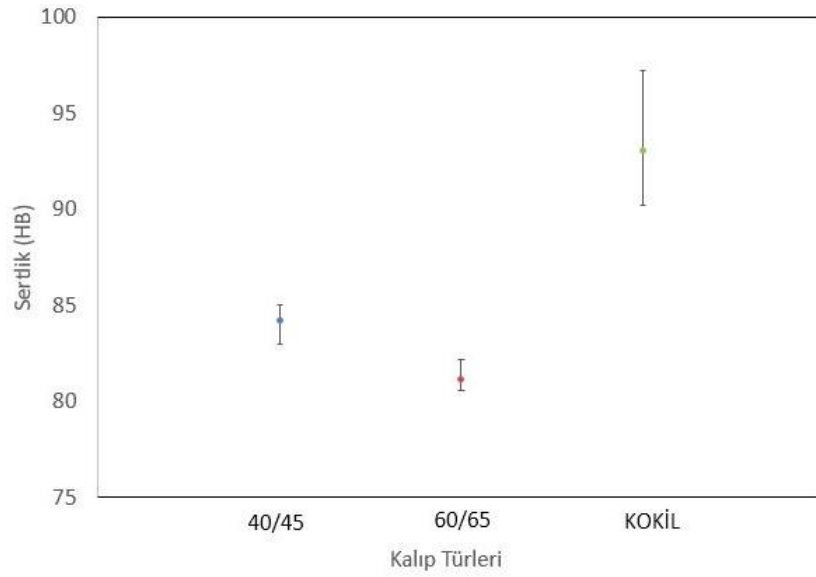
### 3.2. Deneysel Çalışma



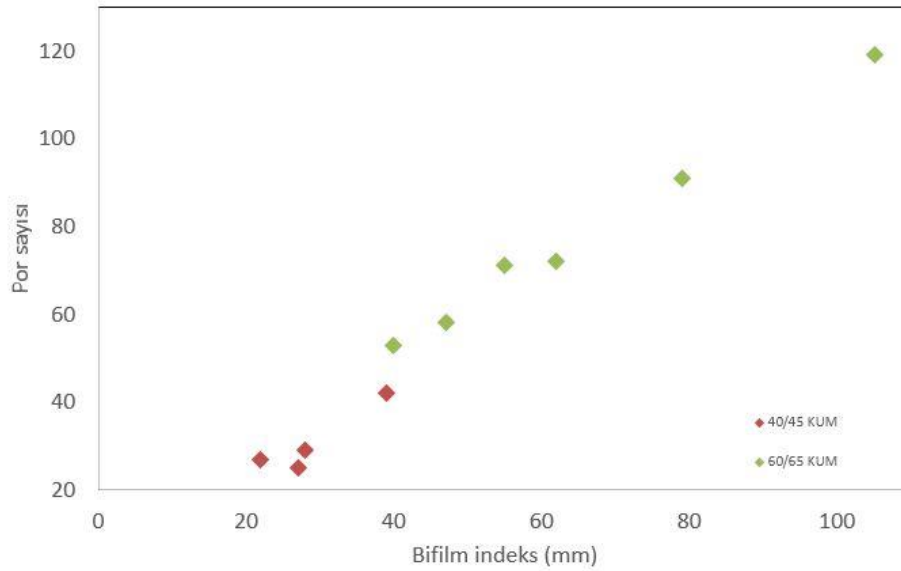
Şekil 4. Bifilm indeksi ile deneysel yoğunluk ölçümleri arası ilişki



Şekil 5. Bifilm indeksi ile kalıp türleri arası ilişki



Şekil 6. Kalıp türleri ile sertlik ölçümleri arası ilişki



Şekil 7. Bifilm indeks ile por sayısı arası ilişki

#### 4. Tartışma

Şekil 5 ve Şekil 7’de gösterilen bulgulara göre kalıplama için kullanılan kalıp kumunun bifilm indeksi ve por sayısına etkisi olduğu gözlenmiştir. Bu değişimin aynı zamanda yaşlandırma sonrası elde edilen sertlik değerlerine etkisi olduğu görülmektedir. Şekil 6 bu durumu göstermektedir.

En yüksek porozite, 60-65 kumunda gözlemlenmiştir. Bu numuneler aynı zamanda en yüksek bifilm indekse sahiptir. Dolayısıyla T6 işlemi sonrasında en düşük sertlik değerini vermişlerdir. İnce kumdan yapılmış kalıplara yapılan dökümlerde porozite sayısı daha fazla oluşmuştur. Farklı AFS boyutlarındaki kum ile kalıplanmış numunelerden elde edilen veriler sertlik bakımından farklı olsa da birbirlerine oldukça yakın değerler vardır. Ancak kokil kalıptan elde edilen veriler ise yüksek sertlik değerleri vermektedir.

## Sonuçlar

Elde verilen göre kalıp malzemesinin bifilm indeksi ve por sayısına etkili olduğu görülmektedir. Bu değişim yaşlandırma sonrası sertlik değerlerinde farklılıklar vermektedir.

## Teşekkür

Çalışmamıza yapmış olduğu desteklerinden dolayı ALTUN DÖKÜM SANAYİ A.Ş.'ne teşekkür ederiz.

## Referanslar

- [1] Bakavos, D., et al., *The effect of silver on microstructural evolution in two 2xxx series Al-alloys with a high Cu:Mg ratio during ageing to a T8 temper*. Materials Science and Engineering: A, 2008. **491**(1-2): p. 214-223.
- [2] Sofyan, B.T., K. Raviprasad, and S.P. Ringer, *Effects of microalloying with Cd and Ag on the precipitation process of Al-4Cu-0.3Mg (wt%) alloy at 200°C*. Micron, 2001. **32**(8): p. 851-856.
- [3] Eddahbi, M., J.A. Jiménez, and O.A. Ruano, *Microstructure and creep behaviour of an Osprey processed and extruded Al-Cu-Mg-Ti-Ag alloy*. Journal of Alloys and Compounds, 2007. **433**(1-2): p. 97-107.
- [4] Lumley, R.N. and I.J. Polmear, *The effect of long term creep exposure on the microstructure and properties of an underaged Al-Cu-Mg-Ag alloy*. Scripta Materialia, 2004. **50**(9): p. 1227-1231.
- [5] Ferragut, R., et al., *Vacancy-solute interactions during multiple-step ageing of an Al-Cu-Mg-Ag alloy*. Scripta Materialia, 2009. **60**(3): p. 137-140.
- [6] Ünlü, N., et al., *The effect of cold work on the precipitation of  $\Omega$  and  $\vartheta$  in a ternary Al-Cu-Mg alloy*. Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science, 2003. **34**(12): p. 2757-2769.
- [7] Wang, J., et al., *Influence of deformation ageing treatment on microstructure and properties of aluminum alloy 2618*. Materials Characterization, 2008. **59**(7): p. 965-968.
- [8] Callister, W.D. and D.G. Rethwisch, *Materials Science and Engineering: An Introduction, 9th Edition: Ninth Edition*. 2013.