

Al-Mg-Si ALAŞIMININ MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE SOĞUMA HIZININ ETKİSİ

THE EFFECT OF COOLING RATE ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF Al-Mg-Si (6063) ALLOY

Mustafa TÜRKMEN^{1*}, Oğuzhan AKDEMİR², Yusuf TAŞPINAR², Murat YILDIZ², Süleyman GÜNDÜZ²

¹Metalurji Programı, Hereke Meslek Yüksekokulu, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye.
mustafa.turkmen@kocaeli.edu.tr

²İmalat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye.
oguzhan.akdemir@hotmail.com, yusuf.taspinar@hotmail.com, murat-yildiz-@hotmail.com.tr, sgunduz@karabuk.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 29.12.2013, Kabul Tarihi/Accepted: 15.01.2014
* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2014.30075
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada, soğuma hızının Al-Mg-Si (6063) alaşımından elde edilen numunelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Farklı soğuma hızı elde edebilmek için numuneler 520 °C'de 2 saat solüsyona alındıktan sonra fırın, kum, hava, yağ ve su ortamlarında soğutulmuşlardır. Soğuma hızının düşmesi tane ve çökeltilerin büyümesine neden olarak Al-Mg-Si alaşımının dayanımını düşürmüştür. Çalışma sonucunda soğuma şartlarına bağlı olarak Al-Mg-Si alaşımının dayanım ve şekillenebilme özelliklerinde belirgin bir değişim olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Alüminyum alaşımı, Soğuma hızı, Mekanik özellikler

Abstract

In this study, the effect of cooling rate on microstructure and mechanical properties of Al-Mg-Si (6063) alloys was investigated. In order to obtain different cooling rate, samples heat treated at 520 °C for 2 h and then cooled in furnace, sand, air, oil and water environments. A decrease in the cooling rate caused the growth of grains and precipitates as the strength of Al-Mg-Si alloys reduced. As a result, Al-Mg-Si alloy was found to change significantly the properties of strength and forming depending on the cooling conditions.

Keywords: Aluminium alloy, Cooling rate, Mechanical properties

1 Giriş

Alüminyum ve alaşımları düşük yoğunluk, yüksek dayanım, kolay işlenebilirlik, yüksek ısı ve elektrik iletkenliği gibi özellikleri sebebiyle gerek endüstriyel alanda gerekse günlük hayatımızda artan oranlarda kullanılmaktadır [1]-[4]. Alüminyumun istenilen düzeyde olmayan döküm veya mekanik özelliklerinde magnezyum ve silisyum ilavesi ile iyileştirme sağlanabilmektedir.

Alüminyum-Magnezyum-Silisyum (Al-Mg-Si) alaşımları olarak bilinen alaşımlar alüminyum ekstrüzyon endüstrisinde en sık kullanılan alaşımlar olup, AA 6000 serisi alaşımlar olarak sınıflandırılırlar. Yaşlandırılabilir alüminyum alaşımlarından olan 6000 serisi alaşımları iyi ekstrüzyon yapılabirlikleri, yüksek korozyon dayanımları, iyi kaynak edilebilirlikleri, sıcak şekillendirilmeden sonra temiz yüzey ve orta derecede dayanım elde edilmek için uygulanan süreçlerin düşük maliyetli olması ile tanınırlar. Ekstrüzyon ile üretilen alüminyum ürünlerin %80'inden fazlasını 6000 serisi alaşımlar, %70'ini de bu alaşımlardan AA 6063 alaşımı oluşturmaktadır [5],[6].

Yaşlanabilen alüminyum alaşımlarından olan AA 6063 alüminyum alaşımı son yıllarda kullanım alanı gittikçe artan alüminyum alaşımlarındandır. Bu alaşımların şekillendirilme kabiliyeti yüksek, kaplanabilme özelliği ve ısı işlemi ile mekanik değerleri önemli ölçüde iyidir. AA 6063 malzemesinin kullanım alanları, inşaat/mimari (cephe kaplama, pencereler, kapılar, dekorasyon, mobilya), otomotiv (iç ve dış gövde panelleri tampon takviyeleri, koltuk kızakları), elektrik/elektronik ve makine imalat sektörleridir [7]-[9].

Bu çalışmada, AA 6063 alüminyum alaşımının mekanik özelliklerine soğuma hızının etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla farklı soğuma hızı elde edebilmek için numuneler 520 °C'de 2 saat solüsyona alındıktan sonra fırın, kum, hava, yağ ve su ortamlarında soğutulmuşlardır. Daha sonra bu numunelerin çekme ve sertlik testleri yapılmıştır. Mekanik testlere tabi tutulan numunelerin optik mikroskop incelemeleri yapılarak soğuma hızının mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir.

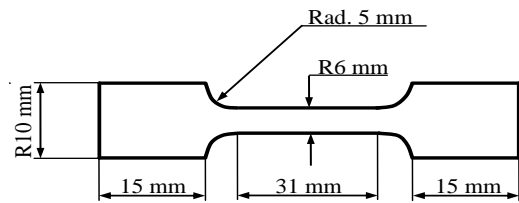
2 Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmalarda, T6 ısı işlemi uygulanmış AA 6063 kalite 10 mm çapında çubuk malzeme kullanılmıştır. Malzemenin kimyasal bileşim % ağırlık olarak Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: AA 6063 Al alaşımının kimyasal analiz sonucu (% ağırlık).

AA	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al
6063	0.5	0.15	0.05	0.1	0.6	0.05	0.06	Kalan

AA 6063 kalite çubuk malzemenin TS EN ISO 6892 standardına göre çekme deney numunesi hazırlanmıştır. Şekil 1 çekme deney numunesinin boyutlarını göstermektedir.



Şekil 1: Çekme deney numunesinin boyutları.

Çekme test numuneleri, 520 °C'de Protherm marka ve Plf 120/27 model fırında 2 saat bekletilerek solüsyona alma ısıl işlemine tabi tutulmuştur. Numuneler, 2 saatin sonunda fırın, kum, hava, yağ ve su ortamlarında soğutulmuşlardır.

Ana malzeme, solüsyona alındıktan sonra fırın, kum, hava, yağ ve su ortamlarında soğutulan numuneler Shimadzu AG-IS marka 50 kN kapasiteli çekme test cihazında 2 mm/min çekme hızında çekilerek koparılmışlardır. Deney sonrası numunelerin, gerilme-uzama diyagramları, çekme dayanımı, akma dayanımı ve % uzama değerleri Trapezium programından otomatik olarak elde edilmiştir.

Numuneler sırasıyla 200, 400, 600, 800, 1000, 1200 meshlik su zımparasıyla yüzeydeki pürüzler yok edilinceye kadar zımparalanmıştır. Bu yüzeyler sırayla 6 µm, 3 µm elmas pastalar ardından ve 1 µm alümina ile parlatılarak dağlamaya hazır hale getirilmiştir. Hazırlanan numuneler 95 ml saf su içine 1.5 ml HNO₃, 1.5 ml HCL, 1 ml HF asitleri kullanılarak oluşan Keller çözeltisi ile 2 dakika dağlanmıştır.

Mikro yapı incelemeleri Nikon Eclipse L150 marka optik mikroskop kullanılarak yapılmıştır. Her numunenin değişik bölgelerinden farklı büyüklüklerde görüntüler alınarak bu görüntülerin bütün mikro yapıyı temsil edebilir nitelikte olmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca numunelerin tane ebadı, uygun büyütmede Clemex Vision Lite marka mikroyapı analiz sistemi kullanılarak ölçülmüştür.

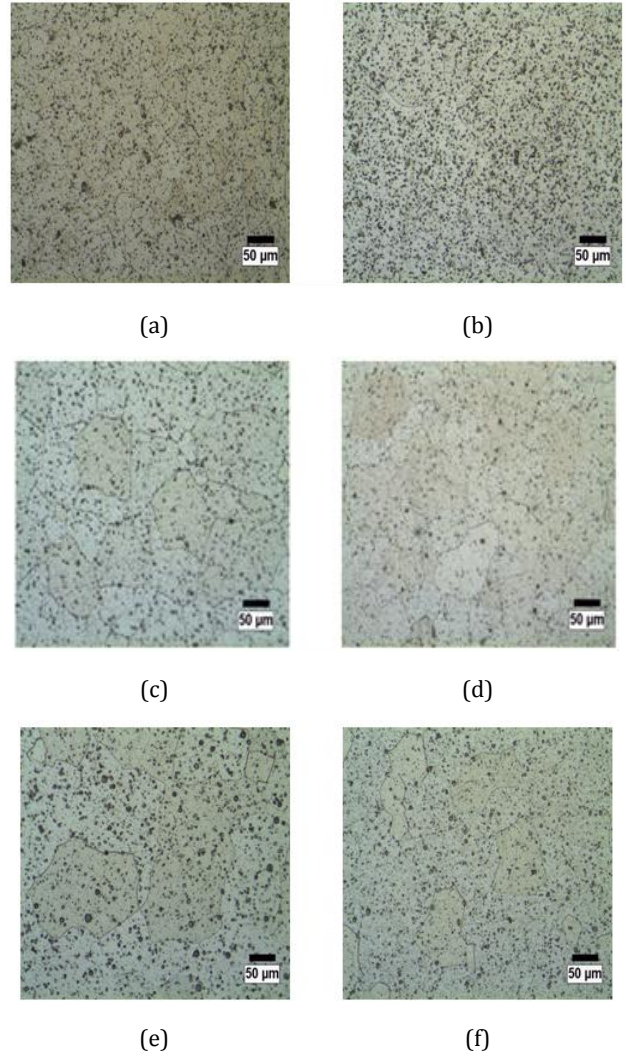
Mikro sertlik ölçümleri Buehler Micromet 5103 marka Sertlik Ölçüm Cihazında yapılmıştır. Mikro sertlik ölçümleri HV0.5 (500 g) yük uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Bütün numunelerden 10'ar adet ölçüm yapılmış ve ortalaması alınmıştır.

3 Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Çalışmada ana malzeme, solüsyona alınıp fırın, kum, hava, yağ ve su ortamlarında soğutulan 6063 alüminyum alaşımı numunelerin mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Şekil 2a ana malzeme, b, c, d, e ve f ise 520 °C'de 2 saat solüsyona alındıktan sonra farklı ortamlarda soğutulan 6063 alüminyum alaşımının mikroyapı resimlerini göstermektedir. Mikroyapı resimleri incelendiğinde numunelerin soğuma hızına bağlı olarak farklı tane ebadına sahip olduğu gözlenmektedir. Tablo 2, soğuma ortamlarına bağlı olarak hesaplanan tane ebatlarını vermektedir. Solüsyona alındıktan sonra farklı ortamlarda soğutulan numuneler ana malzemenin tane ebadından daha büyük tane ebadı sergilemiştir. En büyük tane ebadını 98 µm ile fırında soğutulan numune göstermiştir. Ana malzeme T6 ısıl işlemi uygulandığı için en düşük tane ebadını göstermiş ve tane ebadı 32 µm olarak ölçülmüştür (Tablo 2).

Soğuma ortamının kum, hava, yağ ve su olarak değişmesi ile soğuma hızı artmış ve buna bağlı olarak numunelerin tane ebatlarında azalma meydana gelmiştir. Tablo 2'de görüldüğü gibi fırında soğutulan numunelerin tane ebadı 98 µm iken kum ve havada soğutma neticesinde sırası ile 87 ve 65 µm'ye düşmüştür. Yağda ve suda soğutulan numunelerin tane

ebatları ise sırası ile 52 ve 48 µm olarak ölçülmüştür. Bu durum soğuma ortamına bağlı olarak soğuma hızının değişmesi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Çünkü soğuma hızının artması çekirdekleşme hızını artırmakta buda tanelerin küçülmesine neden olmaktadır [10]. Ayrıca, Şekil 2'den görüldüğü gibi soğuma hızının artması ile numunelerin çökelti miktarlarında genel olarak bir azalma meydana gelmiştir. Bu durum soğuma hızının farklılaşmasının bir sonucudur. Çünkü hızlı soğuma neticesinde 6063 Al alaşımında oluşan Mg₂Si gibi çökeltiye çökecek yeterli zamanı bulamadıkları için miktarlarında bir azalma olması veya mikroskopta görülemeyecek kadar küçük olması beklenen bir sonuçtur.



Şekil 2: 520 °C'de 2 saat solüsyona alındıktan sonra
a) Ana malzeme, b) Fırında, c) Kumda, d) Havada,
e) Yağda ve f) Suda soğutulan numunelerin mikroyapı resimleri.

Tablo 2: Ana malzeme ve farklı ortamlarda soğutulan numunelerin tane boyutu değerleri.

Soğutma Ortamları	Ana Malzeme	Fırında Soğutulan	Kumda Soğutulan	Havada Soğutulan	Yağda Soğutulan	Suda Soğutulan
Tane Boyutu (µm)	32	98	87	65	52	48

Ana malzeme ve ısıl işlem uygulanıp ardından farklı ortamlarda soğutulan numunelerin mekanik özelliklerini incelemek amacıyla çekme deneyi uygulanarak gerilim uzama diyagramı elde edilmiştir (Şekil 3). Gerilim-uzama eğrilerinden yararlanarak soğuma hızının maksimum çekme, %0.2 akma dayanımı, % kopma uzamasına etkisi araştırılmış ve sonuçlar sırasıyla Tablo 3'te gösterilmiştir. Tablo 3 ve Şekil 3'ten görüldüğü gibi ana malzemenin %0.2 akma dayanımı 108 MPa, çekme dayanımı 147 MPa ve toplam uzama %17 olarak bulunmuştur. 520 °C'de 2 saat solüsyona alındıktan sonra fırında soğutulan numunelerin %0.2 akma dayanımı 51 MPa'ya, çekme dayanımı ise 90 MPa'ya düşerken, toplam uzama %30'a çıkmıştır. Bu durum solüsyona alınan numunelerin, ana malzemeye göre akma ve çekme dayanımlarının düştüğünü, fakat % toplam uzama değerinin ise arttığını açıkça göstermektedir.

Tablo 3: 520 °C'de 2 saat solüsyona alındıktan sonra farklı ortamlarda soğutulan numunelerin çekme test sonuçları.

Numune	Mak. Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması (%)	Akma Sınırı (MPa)
Ana Malzeme	147	17	108
Fırında Soğutulan	90	30	51
Kumda Soğutulan	165	24	83
Havada Soğutulan	172	23	97
Yağda Soğutulan	177	31	84
Suda Soğutulan	182	29	88

Ana malzemeye göre fırında soğutulan numunelerin çekme dayanımının düşmesinin nedeni ana malzemenin piyasadan T6 ısıl işlemi ile sertleştirilmiş şekilde temin edilmesinden dolayıdır. 520 °C'de 2 saat solüsyona alındıktan sonra kumda, havada ve yağda soğutulan numunelerin dayanımları kademeli olarak artarken suda soğutulan numuneler en yüksek çekme dayanımına (182 MPa) ve akma dayanımına (88 MPa) sahip olmuşlardır. Suda soğutulan numunelerin toplam uzama değeri ise %29 olarak elde edilmiştir.

Yapılan çalışma neticesinde soğuma hızının artması ile AA6063 Al alaşımının akma ve çekme dayanımları artarken

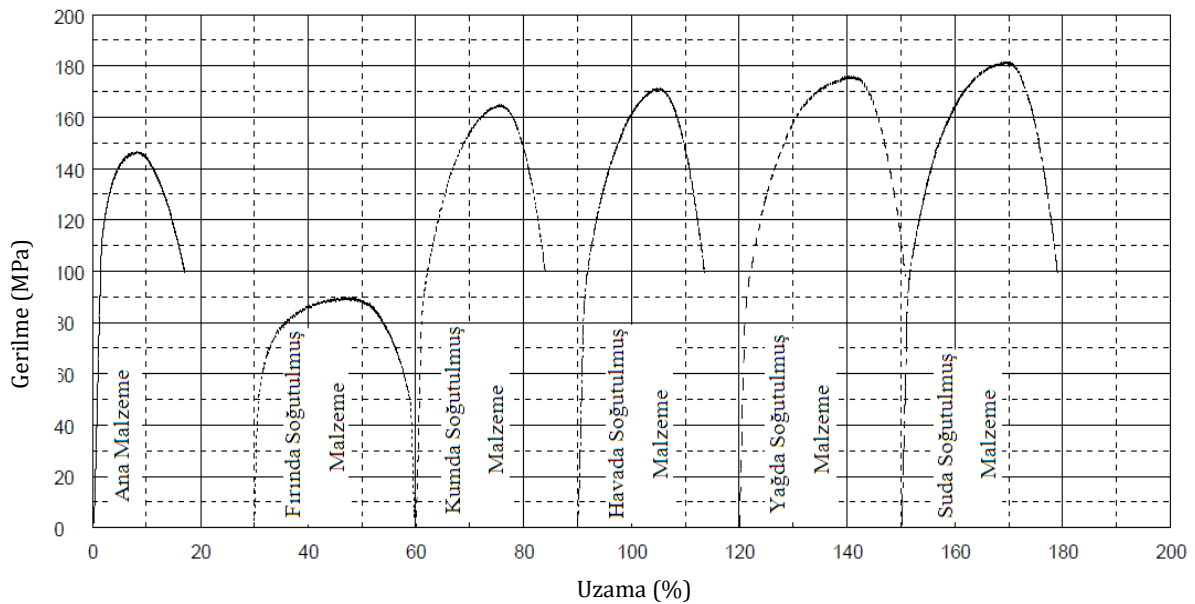
% toplam uzama değerlerinde genel olarak düşme meydana gelmiştir. Bu durum soğuma hızının artması ile tane ebatlarının küçülmesi ve daha küçük çökeltilerin oluşması veya katı eriyik içerisinde daha fazla serbest halde Mg ve Si atomunun bulunmasının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Elde edilen bu sonuçlar Gündüz ve Kaçar'ın [11] yapmış olduğu çalışma ile benzerlik göstermektedirler.

Tablo 4 ana malzeme ve 520 °C'de 2 saat solüsyona alındıktan sonra farklı ortamlarda soğutulan numunelerin sertlik değerlerini göstermektedir. Tablo 4'te gösterildiği gibi ana malzemenin ticari haliyle T6 ısıl işlemi görmesinden dolayı sertliği 51 HV0.5 olarak ölçülmüştür. Solüsyona alındıktan sonra fırında soğutulan numunenin sertliği 35 HV0.5 olarak ölçülmüştür. Kaçar ve Gülyüz [12] yaptığı çalışmada sertliğin düşme nedeninin T6 ısıl işlem durumunun giderilmesi olarak rapor etmişlerdir. Kumda, Havada ve yağda soğutulan numunelerin sertlik değerlerinde kademeli olarak artış gözlenirken en yüksek sertlik değeri suda soğutulan numunelerde 61 HV0.5 olarak ölçülmüştür. Numunelerin sertlik değerleri, çekme dayanımları ile paralellik göstermektedir.

AA6063 alaşımının solüsyona alma işlemi sonrası farklı soğuma hızlarında soğutulduktan sonra dayanım ve süneklik özelliklerinde önemli değişiklikler görülmüştür. 520 °C'de 2 saat solüsyona alınmış ve su ortamında soğutulmuş numunenin mekanik özelliklerinde optimum sonuçlar elde edilmiştir. Bundan dolayı, farklı soğuma hızları ile bu tür malzemelerin mekanik özelliklerinin geliştirilebileceği tespit edilmiştir.

Tablo 4: 520 °C'de 2 saat solüsyona alındıktan sonra farklı ortamlarda soğutulan numunelerin sertlik değerleri (HV0.5).

Soğutma Ortamları	Sertlik Değeri (HV0.5)
Ana Malzeme	51
Fırında Soğutulan	35
Kumda Soğutulan	40
Havada Soğutulan	55
Yağda Soğutulan	60
Suda Soğutulan	61



Şekil 3: 520 °C'de 2 saat solüsyona alındıktan sonra farklı ortamlarda soğutulan numunelerin gerilim - % uzama diyagramı.

4 Sonuçlar

AA6063 alüminyum alaşımının 520 °C'de 2 saat solüsyona alındıktan sonra farklı soğuma hızlarında soğutulması sonrası aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. T6 ısıtma işlemi görmüş şekilde temin edilen AA6063 alaşımının 520 °C'de 2 saat solüsyona alındıktan sonra fırında soğutma ısıtma işlemi ile çekme dayanımı, akma dayanımı ve sertliğinde azalma tespit edilmiştir. Bu durum Mg₂Si gibi çökeltilerinin yavaş soğuma neticesinde kabalaştığının bir göstergesidir. T6 ısıtma işleminin sağladığı mukavemet artışı kaybolmuştur.
2. 520 °C'de 2 saat solüsyona alınmış ve farklı ortamlarda soğutulmuş 6063 alüminyum alaşımının soğuma hızının artması ile tane boyutlarında düşme görülürken çökelti miktarlarında bir azalma meydana gelmiştir. 520 °C'de 2 saat solüsyona alınmış ve fırın ortamında soğutulmuş numunelerin diğer ortamlarda soğutulmuş numunelere göre en yüksek tane boyutuna sahip olduğu görülmüştür.
3. 520 °C'de 2 saat solüsyona alınmış 6063 alüminyum alaşımının soğuma hızının artması ile numunelerin akma sınırı ve çekme dayanımları artarken % toplam kopma uzaması değerlerinde genel olarak azalma meydana gelmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda su ortamında soğutulan 6063 alüminyum alaşımının diğer ortamlarda soğutulan numunelere göre en yüksek çekme dayanımına sahip olduğu belirlenmiştir.

5 Kaynaklar

- [1] Altenpohl DG. Aluminum Technology, Applications and Environment, A Profile of a Modern Metal. 6th ed. NYS, USA, Wiley, 1998.
- [2] Troeger LP, Starke EA. "Microstructural and Mechanical Characterization of a Superplastic 6xxx Aluminum Alloy". *Materials Science and Engineering: A*, 277(1-2), 102-113, 2000.

- [3] Helby M. "Aluminium Extrusion". *A Flexible Approach Construction Mater World*. 1, 101-102, 1993.
- [4] Sun Y. Wear Behavior of Heat Treatable Aluminium Alloys. MSc Thesis, İstanbul Technical University, İstanbul, Turkey, 1998.
- [5] Şendeniz M. Seçilen Bir Al-Mg-Si Alaşımının (AlMgSi0.5: ETİAL 60) Isıl İşlemlerle Özellik Değişimlerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 2006.
- [6] Siddiqui RA, Abdullah HA. "Influence of aging Parametres on the Mechanical Properties of 6063 Aluminium Alloy". *Journal of Materials Processing Technology*, 102, 234-240, 2000.
- [7] Gavgalı M, Totik Y, Sadeler R. "The Effect of Artificial Aging on Wear Properties of AA 6063 Alloy". *Materials Letters*, 57(24-25), 3713-3721, 2003.
- [8] Rafiq AS, Hussein AA, Khamis RA. "Influence of Aging Parameters on the Mechanical Properties of 6063 Aluminium Alloy". *Journal of Materials Processing Technology*, 102, 234-240, 2000.
- [9] Meyveci A. Yaşlandırılmış 2XXX ve 6XXX Serisi Alüminyum Alaşımlarının Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2007.
- [10] Gündüz S. "Kimyasal Bileşim ve Soğuma Hızının Arayer Atomu İçermeyen Mikroalaşım Çeliklerinin Mekanik Özelliklerine Etkisi". *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 16(1), 171-178, 2003.
- [11] Gündüz G, Kaçar R. "Strengthening of 6063 Aluminium Alloy by Strain Ageing". *Kovove Materialy*, 46(6), 345-350, 2008.
- [12] Güteryüz K, Kaçar R. "Deformasyon Yaşlanmasının AA7075 Alüminyum Alaşımının Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi". *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, Türkiye, 16-18 May 2011.