



## Kum Kalıba Dökülen Farklı Alüminyum Alaşımlarının Dökümünde AL<sub>5</sub>Ti<sub>1</sub>B ve AL<sub>10</sub>Sr İlavesinin Mikroyapı Özelliklere Etkisinin İncelenmesi

\*<sup>1</sup>İbrahim Arslan, <sup>2</sup>Esmâ Gavgalı, <sup>3</sup>Murat Çolak

<sup>1</sup>Bayburt Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Bayburt, Türkiye, [ibrahimarslan@bayburt.edu.tr](mailto:ibrahimarslan@bayburt.edu.tr), 

<sup>2</sup>Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bayburt, Türkiye, [esmagavgalı@bayburt.edu.tr](mailto:esmagavgalı@bayburt.edu.tr), 

<sup>3</sup>Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bayburt, Türkiye, [mcolak@bayburt.edu.tr](mailto:mcolak@bayburt.edu.tr), 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 18.05.2018

Kabul Tarihi: 16.11.2018

### Öz

Alüminyum alaşımları ağırlıkça hafif olması, yüksek korozyon dayanımı ve alaşımlandırılarak yapı çeliklerinden bile daha fazla mukavemet değerleri kazandırılabilmesi gibi özelliklerinden dolayı birçok sektörde kullanım alanı bulmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte artan ihtiyaç ve kalite beklentileri doğrultusunda çalışmalar yapılması gerekmektedir. Alüminyum dökümlerinde nihai ürün kalitesini artırmaya yönelik Ti-B ile tane inceltme, modifikasyon çalışmaları dökümhaneler arasında oldukça yaygın uygulamalardır. Ancak farklı kimyasal bileşimlere sahip Alüminyum alaşımlarının tane inceltme ve modifikasyon işlemlerine tepkileri değişkenlik göstermektedir. Bu çalışmada Etial standardı 110, 140, 160, 177 alüminyum alaşımlarının ilavesiz olarak, Al<sub>5</sub>Ti<sub>1</sub>B tane inceltici ilaveli ve Al<sub>10</sub>Sr modifiye edici ilaveli kum kalıba dökümünde mikroyapı özellikler üzerindeki değişim incelenmiştir. Çalışmada spektrometro ile kimyasal bileşim belirleme, mikro yapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlarda tane inceltici ilavesi ile alaşımlarda tane yapısının daha da incelendiği ve kaba dentirik yapısının bozunduğu tespit edilmiştir. Ayrıca modifiye edicinin etkisinin yapı içerisindeki Ötektik Si içeriğine bağlı olarak olumlu yönde değiştiği anlaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** alüminyum döküm, kum kalıba döküm, tane inceltme, modifikasyon.

## Investigation of The Effect of Adding AL<sub>5</sub>Ti<sub>1</sub>B and AL<sub>10</sub>Sr on Mechanical Properties for Casting Of Different Aluminum Alloys Used in Sand Molding

\*<sup>1</sup>İbrahim Arslan, <sup>2</sup>Esmâ Gavgalı, <sup>3</sup>Murat Çolak

<sup>1</sup>Bayburt University, Technical Sciences Vocational School, Bayburt, Turkey, [ibrahimarslan@bayburt.edu.tr](mailto:ibrahimarslan@bayburt.edu.tr)

<sup>2</sup>Bayburt University, Faculty of Engineering, Bayburt, Turkey, [esmagavgalı@bayburt.edu.tr](mailto:esmagavgalı@bayburt.edu.tr)

<sup>3</sup>Bayburt University, Faculty of Engineering, Bayburt, Turkey, [mcolak@bayburt.edu.tr](mailto:mcolak@bayburt.edu.tr)

### Abstract

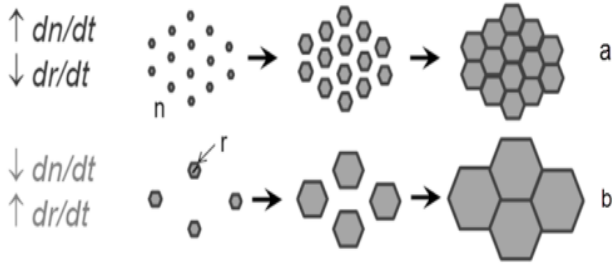
Since they are light in weight, have high corrosion resistance and can be alloyed to give strength values even higher than structural steels, aluminum alloys are used in many sectors. With the developing technology, it is necessary to work in line with the increasing quality expectations. In aluminum castings, modification studies are common practice such as grain refining with Ti-B among foundries to improve the final product quality. However, the reactivity to grain refinement and modification processes in Aluminum alloys with different chemical components varies. In this study, the change in mechanical properties of the Al<sub>5</sub>Ti<sub>1</sub>B sintered addition and Al<sub>10</sub>Sr modifying additive sand mold casting was investigated without the addition of the aluminum alloys 110, 140, 160, 177 of the Etial standard. In the study, chemical composition determination by spectrometer, microstructure studies were examined. As a result of the experiments, it was determined that when grain refiner was added, the particle structure was further thinner and the coarse dendritic structure disappeared. It is also clearly seen that the effect of the modifier varies positively depending on the content of the eutectic Si in the structure.

**Keywords:** aluminum casting, sand casting, grain refinement, modification.

## 1. GİRİŞ

Alüminyum döküm alaşımları, yüksek mukavemet, korozyon dayanımı, yüksek termal iletkenlik, iyi işlenebilirlik, süneklik ve hafiflik gibi üstün özelliklere sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı başta otomotiv olmak üzere birçok endüstriyel alanda kullanılmakta ve kullanımı her geçen gün daha da artmaktadır. Alüminyum alaşımlarına duyulan ilgi ile birlikte kalite beklentileri de artmakta, maliyetlerinin düşmesi beklenmektedir. Bu amaçla alüminyum alaşımlarının mikro yapı ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesi gerekmektedir [1].

Dökümlerin nihai özelliklerindeki en önemli aşama katılaşma aşamasıdır. Dökümlerin katılaşması çekirdeklenme ile başlayıp büyüme ile devam etmektedir. Bu sebeple nihai döküm iç yapısında ince taneli bir yapı elde etmek için katılaşma esnasında yüksek bir çekirdeklenme hızı ve sonrasında çekirdeklenen tanelerin yavaş büyüme gerektirir. Çekirdeklenme kalıp duvarlarından başlayabileceği gibi alaşıma bilinçli olarak katılan heterojen çekirdeklerle de sağlanabilir [2]. Şekil 1'de yüksek çekirdeklenme ve yavaş soğuma sonucu oluşan tane yapısı ile düşük çekirdeklenme ve hızlı büyüme sonucu oluşan tane yapıları şematik olarak verilerek karşılaştırmaları yapılmıştır.



**Şekil 1.** a) Yüksek çekirdeklenme ve yavaş büyüme sonucu oluşan ince taneli, b) düşük çekirdeklenme ve hızlı büyüme sonucu oluşan kaba taneli yapı görüntüsü ( $dn/dt =$  zamana bağlı olarak değişen çekirdek çapı değişimi) [3]

Alüminyumda tane inceltme uygulamaları, sıvı metale bir miktar titanyum ve bor ilavesi ile gerçekleştirilir. Böylece döküm tane yapısında önemli ölçüde küçülme sağlanarak, alaşımların dökülebilirliği, mukavemeti, sızdırmazlık ve döküm kalitesi artırılabilir [3-7]. Tane inceltici olarak kabul gören titanyum (Ti) ve bor (B) elementleri az miktarlarda bile alüminyuma ilave edildiğinde hızlı bir şekilde ve önemli derecede tane inceltme etkisi göstermektedir [4-9].

Tane inceltme özellikle, ikinci faz partiküllerinin dağılımını değiştirdiğinden döküm parçaların mekanik özellikleri üzerinde önemli etkiye sahiptir. Tane inceltme sayesinde ince ve eş eksenli tanelerden oluşan, homojen bir döküm yapısı elde edilir. Tane inceltilmemiş yapıda uzun kanat şeklinde alüminyum tanelerinin oluştuğu görülmektedir. Sıvı

metalde bulunan veya katılaşma sırasında oluşan gevrek intermetalik bileşikler ve porozite bu iri tanelerin aralarına dizilerek bu tanelere dik gelen uzama kabiliyetini zayıflatacaktır. Diğer yandan küçük, düzenli ve eş eksenli bir tane yapısına sahip olan tane inceltilmiş bir alaşımda mekanik özellikler daha izotropiktir ve alaşım daha mukavemettir [10-13]. Dökümhane pratikleri arasında tane inceltme işleminin yanı sıra ve modifikasyon çalışmaları da yaygınca uygulama alanı bulmaktadır.

Al-Si alaşımlarına çeşitli alkali metallerin (Na, Sr, K vb.) ilavesi ile yapı içerisindeki ötektik silisyum tanelerinin boyut ve dağılımlarının değişmesine modifikasyon denir. Modifikasyon işlemi element ilavesi ile olabileceği gibi, hızlı katılaşma, katılaşma esnasında uygulanan vibrasyon, yüksek basınç etkisiyle ve ısı işlem ile küreleştirme sonucu da olabilmektedir. Döküm yapısının modifiye edilmesi ötektik Si yapısının lamelli yapıdan fiberimsi yapıya dönüşmüş olmasıdır [14-17].

Modifiye işlemi için en pratik ve yaygın uygulama, element ilavesi ile modifikasyon işlemidir ve en etkili modifikasyon Na, Sr ve Sb ile yapılabilmektedir [14,16]. Na ve Sr başlangıç etkileri çok iyidir, ancak sodyumun oksidasyon ve buhar basıncı kayıplarından dolayı etkileri geçicidir. Ayrıca stronsiyumla modifiye edilen alaşımların yüzde uzama değeri ve dökülebilirlikleri sodyum ile modifiye edilen alaşımlardan daha yüksektir [16]. Yapılan bir çalışmada; Sr ilavesinin sadece Si kristallerinin ötektik dönüşüme etkileri dışında  $\alpha$ -Al dentritlerinin yapısını da olumlu yönde değiştirdiği ve artan soğuma hızlarında etkinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir [18]. Stronsiyum ilavesi genelde %10 Sr içeren Al10Sr mastır alaşımları şeklinde sıvı alüminyuma katılmaktadır.

Al-Si yapılarında kaba şekilde bulunan ve kırılmayı kolaylaştıran silisyum plakaları, modifiye işlemi ile birlikte daha ince taneli ve yuvarlak hale gelir. Bu durum, alaşımların mekanik özelliklerini, özellikle kopma uzamasını geliştirmektedir [14,19]. Örnek olarak T6 ısı işlemi uygulanmış A356 alüminyum alaşımı, 179MPa akma dayanımı, 226 MPa çekme dayanımı ve %4,8 uzamaya sahip iken, Sr ile modifikasyon sonucu alaşıma ait akma dayanımı 207 MPa, çekme dayanımı 297 MPa ve uzaması da % 8 değerine ulaşmıştır [15].

Bu çalışmada silindirik şekilde hazırlanan kum kalıp içerisinde Etial standardı 110, 140, 160, 177 alüminyum alaşımlarının dökümü gerçekleştirilmiştir. Dökümlerde alaşımlar ilavesiz olarak, Al5Ti1B tane inceltici ilaveli ve Al10Sr Modifiye edici ilaveli olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Döküm sonrası farklı alaşımların tane inceltici ve modifiye edicinin etkisi ile mekanik ve mikroyapı özellikleri üzerindeki değişim incelenmiştir. Çalışmada spektrometre ile kimyasal bileşim belirleme, mikro yapı incelemeleri, çekme dayanımı testleri yapılmıştır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1. Alaşım Seçimi ve Deney Tasarımı

Deneylerde kullanılacak alaşım seçimi yapılırken kimyasal bileşim esas alınmıştır. Kimyasal bileşimlerdeki farklılıklar katılaşmayı doğrudan etkilediğinden çalışmalarda döküm sektöründe yaygın kullanılan tüm alüminyum döküm alaşımları hakkında bilgi sahibi olunabilmesi için gerekli ve yeterli alaşım seçimi yapılmaya çalışılmıştır. Böylelikle yapılan çalışmalar sonucunda genel olarak Alüminyum alaşımları hakkında fikir sahibi olunması amaçlanmıştır. Deneylerde kullanılması planlanan Alüminyum döküm alaşımları ve kimyasal bileşim içerikleri Tablo 1'de verilmiştir.

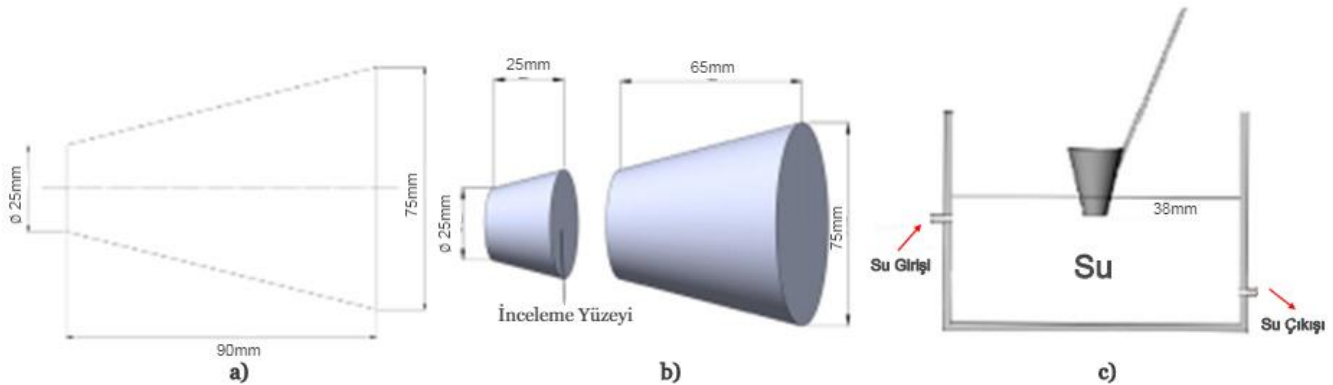
**Tablo 1.** Deneylerde kullanılan alaşımların Etinorm standardına göre kimyasal bileşimleri (% A.ğ.) [20]

Alaşım	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Sn
<b>Etial 110</b>	0,70	4,00 - 6,00	2,00 - 4,00	0,20-0,60	0,15	0,20	0,20	0,05
<b>Etial 140</b>	0,60	11,50 - 13,50	0,10	0,40	0,10	0,10	0,15	0,05
<b>Etial 160</b>	1,00	7,50 - 9,00	3,00 - 4,00	0,50	0,30	1,00	0,20	0,10
<b>Etial 177</b>	0,20	6,60 - 7,40	0,02	0,03	0,30 - 0,45	0,04	0,08 - 0,14	0,05

Döküm deney parametreleri, Tablo 2.de verilmiştir. Dökümhane uygulamalarında tane inceltici katılmaksızın modifiye edici ilavesinin kullanımı çok yaygın olmadığından deney şartları buna uygun olarak belirlenmiştir. Tablo 3.de yapılan dökümler 3'er adet yapılarak elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır.

**Tablo 2.** Deney parametreleri

Alaşım Çeşidi				Mastr Alaşımı İlavesi İşlemleri
Etial 110	Etial 140	Etial 160	Etial 177	İlave yok
				AlTiB ilaveli
				AlTiB ve AlSr ilaveli



**Şekil 2.** a) ALCAN tane inceltme test numunesi ölçüleri, b) İnceleme yüzeyi, c) Soğutma düzeneği [11]

**Tablo 3.** Deney parametrelerine uygun yapılması gereken döküm deneyleri

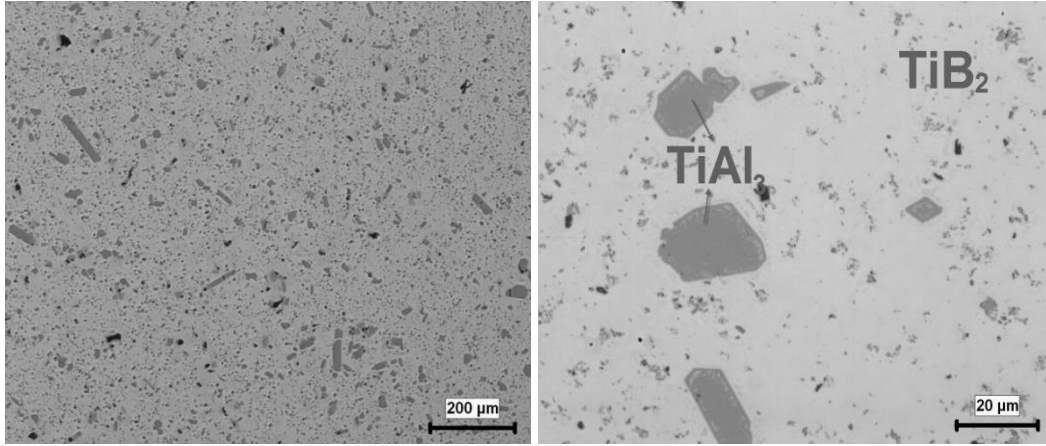
	Alaşım Çeşidi	Tane İlavesi	İnceltici	Modifiye İlavesi	Edici
1	Etial 110	İlave yok		İlave yok	
2	Etial 110	% 0,2 Ti ilaveli (AlTiB)		İlave yok	
3	Etial 110	% 0,2 Ti ilaveli (AlTiB)		% 0,1 Sr ilaveli (AlSr)	
4	Etial 140	İlave yok		İlave yok	
5	Etial 140	% 0,2 Ti ilaveli (AlTiB)		İlave yok	
6	Etial 140	% 0,2 Ti ilaveli (AlTiB)		% 0,1 Sr ilaveli (AlSr)	
7	Etial 160	İlave yok		İlave yok	
8	Etial 160	% 0,2 Ti ilaveli (AlTiB)		İlave yok	
9	Etial 160	% 0,2 Ti ilaveli (AlTiB)		% 0,1 Sr ilaveli (AlSr)	
10	Etial 177	İlave yok		İlave yok	
11	Etial 177	% 0,2 Ti ilaveli (AlTiB)		İlave yok	
12	Etial 177	% 0,2 Ti ilaveli (AlTiB)		% 0,1 Sr ilaveli (AlSr)	

### 2.2. Tane İnceltme Testlerinin Yapılması

Dökümlerde tane inceltme işleminin kontrolü ve prosesin uygunluğunun tespit edilebilmesi için ALCAN [21] standart tane inceltme testleri yapılmıştır. Böylece kullanılan tane inceltici mastır alaşımı, ilave miktarı ve bekletme süresinin uygunluğu test edilmiştir. Bunun için ilk olarak tane inceltici ilavesiz alaşımda tane boyutunu belirlemek için Şekil 2'de ölçüleri verilen konik çelik pota içerisine 700 °C'de döküm yapılmıştır. Döküm yapılan kalıp Şekil 2.b'de şematik görünümü verilen sabit su yüksekliğinde soğutma işlemine tabi tutulmuştur. Bu şekilde tane inceltici ilavesiz döküm numunesi elde edilmiştir.

Tane inceltici olarak %5 Ti ve %1 B içeren Al5Ti1B mastır alaşımı kullanılmıştır. Tane inceltici olarak kullanılan Al5Ti1B mastır alaşımı içerisinde Ti ve B esaslı partikülleri içermekte ve bunların mikroyapıdaki boyut ve dağılımları

tane inceltme etkisi açısından önem taşımaktadır. Bu sebeple mastır alaşımının mikro yapısı incelenmiştir. Şekil 3'de 50X ve 500X büyütmelerde çekilen Al5Ti1B alaşımı mikro yapı resimleri verilmiştir.

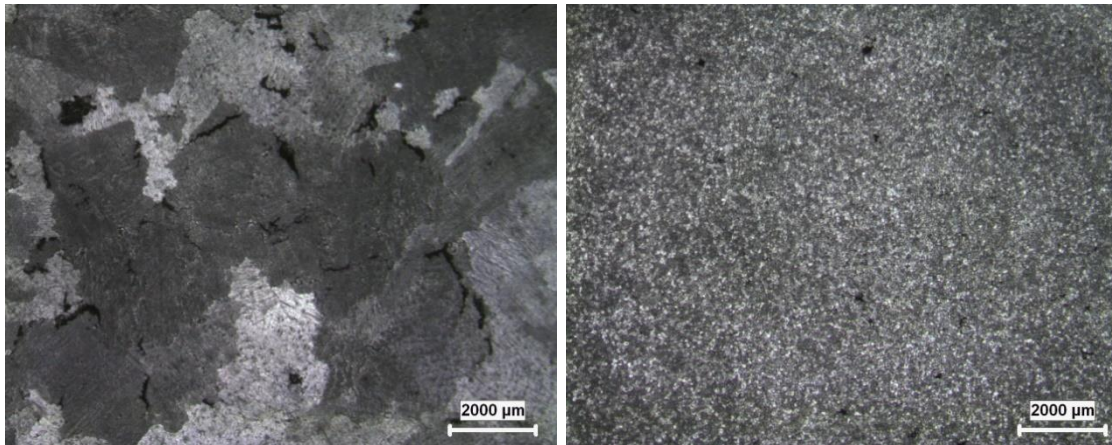


Şekil 3. Al5Ti1B mastır alaşımı mikro yapı resimleri

Şekil 3'de görüldüğü gibi yapı içerisinde  $TiB_2$  ve  $TiAl_3$  oldukları literatürde rapor edilen partiküller [5, 22] homojen bir şekilde dağılım sergilemektedir.  $TiB_2$  partiküllerinin boyutu  $1 \mu m$  civarında iken,  $TiAl_3$  partiküllerinin ortalama boyları  $20 \mu m$  seviyelerindedir. Bu partiküllerin yapı içerisinde kümeleşmeden homojen bir şekilde dağılım sergilemesi, boyutları etkili bir tane inceltme ve döküm yüzey kalitesini geliştirmek için önemlidir.

Ergiyik alaşıma ağırlıkça %0,2 Ti etki edecek şekilde Al5Ti1B tane inceltici mastır alaşımı ilave edilerek sıcaklığı  $720 \text{ }^\circ\text{C}$  olan sıvı metalin içerisine sıvı metal miktarına uygun

tartılan Al5Ti1B mastır alaşımının daldırılması şeklinde yapılmıştır. Tane inceltici ilavesini takiben literatürde en etkili süre olduğu tespit edilen 15-25 dakika sonrasında koni kalıba döküm yapılmıştır [23]. Tane inceltme deney kalıbı Şekil 3.c'de görüldüğü gibi soğutulmuş numune elde edilmiştir. İncelenmek üzere kesilen numuneler metalografik olarak zımparalama ve parlatma işlemleri sonrası dağlama Paulton çözeltisi (%60 HCl, %30 HNO<sub>3</sub>, %5HF, %5H<sub>2</sub>O) ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 4'de tane inceltici ilavesiz ve tane inceltici ilavesinden 20 dakika sonra dökülen alüminyum alaşımı makro yapı görüntüleri mevcuttur.



Şekil 4. a) İlavesiz, b) Al5Ti1B mastır alaşımı ilave edilmiş alüminyum alaşımının ALCAN testi ile elde edilen makro yapıları

Şekil 4'de görüldüğü gibi tane inceltici ilave etmeden yapılan koni dökümünde oluşan taneler iri ve uzunlamasına büyüme gösterirken, tane inceltici ilavesi ile yapılan dökümlerde Al5Ti1B alaşımı etkisini göstererek tane

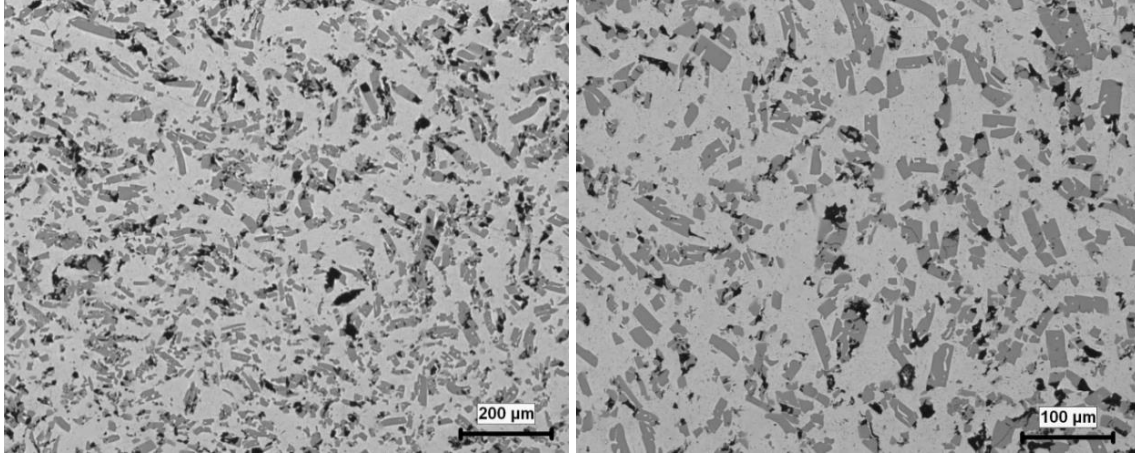
boyutlarının küçüldüğü ve tanelerin eş eksenli biçimde ortaya çıktığı gözlenmektedir. Tane inceltme deneylerinde yeterli bir tane inceltme görülmesi bu çalışmada kullanılan mastır alaşımının etkili olduğunu göstermiştir.



### 2.3. Al-Si Alaşımlarında Ötektik Silisyumun Modifikasyonu

Döküm deneylerinde modifiye işleminin uygunluğunun tespit edilebilmesi için test dökümleri yapılmıştır. Modifiye edici olarak ağırlıkça %10 Sr içeren Al10Sr mastır alaşımı kullanılmıştır. Kullanılan alaşımın içyapısı ve yapı

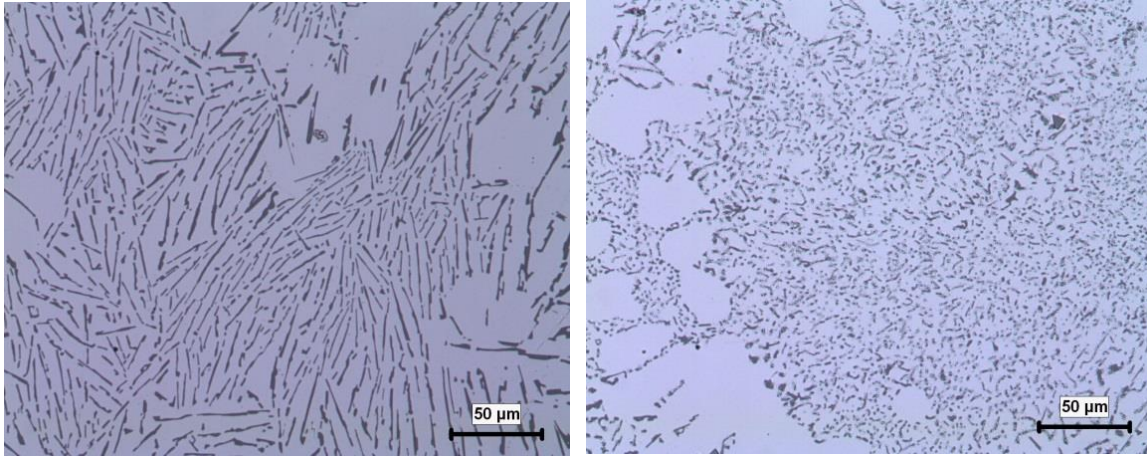
içerisindeki partiküllerin boyutları proses kontrolü açısından önemli olduğundan, alınan numune üzerinden incelemeler yapılmıştır. Şekil 5'te Al10Sr mastır alaşımının mikroyapı resimleri verilmiştir. Al10Sr mikroyapısı içerisindeki partiküllerin kümelenme olmadan homojen bir şekilde dağılım gösterdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 5. Al10Sr mastır alaşımı mikroyapı resmi

Modifiye işleminin etkinliğinin kontrolü için ilk olarak modifiye edici ilavesiz olarak sonrasında %0,1 Sr etki edecek şekilde Al10Sr master alaşımı ilave edilmiştir. İlaveden sonra alaşımın tam olarak ergimesi için yaklaşık 10 dakika beklendikten sonra dökümler yapılmıştır. İlavesiz ve

Al10Sr ilaveli olarak yapılan döküm numuneler metalografik hazırlık ve dağlama işlemi sonrası mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Şekil 6'da modifiye edici ilavesiz ve Al10Sr ilaveli ötektik Etial 140 alaşımı dökümlerinden elde edilen numunelerin mikro yapısı görülmektedir.



Şekil 6. a) Modifiye edici ilave edilmemiş, b) Al10Sr ilave edilmiş Etial 140 alaşımı mikroyapı görüntüleri

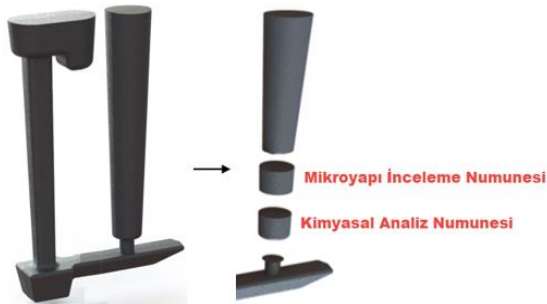
Modifiye işlemi öncesi yapı içerisindeki ötektik silisyum kristallerinin Sr etkisiyle lamelli yapıdan fiberimsi yapıya dönüştükleri tespit edilmiştir.

Modifiye deneylerinde Şekil 6'da görüldüğü ötektik Si kristallerinin lamelli yapıdan fiberimsi yapıya geçtiğinden deneylerde kullanılan master alaşımının etkin bir modifikasyon sağladığı tespit edilmiştir.

### 2.4. Kalıpların Hazırlanması ve Döküm Çalışmaları

Kum kalıba döküm yönteminde kalıp hazırlanması için model plakası imal edilmiştir. Model plakası çift taraflı olarak açma derece içerisinde kalıplanabilecek şekilde derece içerisinde hazırlanmıştır. Şekil 7'de model plakası görüntüsü ve inceleme için numune alına bölgeler gösterilmiştir. Ergitme işlemleri 10 kW gücünde, 8 kg.

alüminyum ergitme kapasitesine sahip çan tipi bir elektrik direnç ocağı ve SiC pota kullanımı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7. Kalıplama tasarımı ve incelenmek üzere numune alınan bölgeler görüntüsü

## 2.5. Dökümlerin İncelenmesi

Deneylerde alaşımın belirtilen standarda uygunluğunun kontrolü ve katılan alaşım element içeriklerinin uygunluğunun kontrolü için dökümlerden Şekil 7'de belirtilen yerlerden alınan numunelerden spektrometre cihazı ile kimyasal analiz testi yapılmıştır. Ayrıca dökümlerden mikroyapı ve çekme testi için numuneler alınmıştır.

Deneylerde kullanılan alaşım farklarının, döküm yöntemlerinin, alaşım ilavelerinin dökümlerin içyapı üzerinde etkilerinin incelenmesi için alınan numuneler 180-400-800-1200-2500 gritlik zımpara ile kaba ve ince

zımparalamanın ardından sırasıyla 3µm, 1µm alümina süspansiyonu ile parlatılmış ve nihai olarak 0,05 µm' lik colloidal silika ile parlatılmıştır. Parlatma sonrası numuneler Keller çözeltisi[24] (95 ml saf su, 2,5 ml HNO<sub>3</sub>, 1,5 ml HCl, 1,0 ml HF) ile dağlanarak mikroyapı incelemelerine tabi tutulmuştur.

Dağlama sonrası numuneler optik mikroskop incelemelerinde kullanılmıştır. Optik mikroskop incelemeleri, Nikon Eclipse L 150 A tip mikroskobunda yapılmıştır. Fotoğraf çekimleri bu mikroskoba bağlı çalışan bir Clemex dijital kamera ile alınan görüntüler üzerinden Clemex Vision Lite görüntü analiz yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

## 3. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

### 3.1. Kimyasal Bileşim Uygunluğunun Kontrolü

Döküm deneylerinde kullanılan alaşımlar ve katılan ilave mastır alaşım seviyelerinin uygunluğunun kontrolü için alınan numunelere ait kimyasal bileşim analiz sonuçları Tablo 4'de verilmiştir. Tablo 4.deki kimyasal bileşim değerleri incelendiğinde alaşımların standart bileşim aralığında olduğu anlaşılmaktadır. Tane inceltici ve modifiye edici ilaveli deneylerde Ti ve Sr hedef oranlarının külçe alaşımdaki değerlere göre yükseldiği ve uygun olduğu görülmüştür.

Tablo 4. Kum kalıba döküm deneyleri kimyasal bileşim sonuçları (% Ağ.)

D.No	Alaşım	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	B	Sr	Al
1	E110	5,030	0,363	2,790	0,374	0,012	0,014	0,009	0,001	0,001	Kalan
2	E110-TiB	4,980	0,328	2,710	0,346	0,009	0,015	0,178	0,007	0,001	Kalan
3	E110-TiB+Sr	4,820	0,309	2,640	0,339	0,009	0,015	0,179	0,008	0,181	Kalan
4	E140	11,85	0,371	0,024	0,002	0,004	0,009	0,008	0,001	0,002	Kalan
5	E140-TiB	12,36	0,415	0,009	0,001	0,003	0,009	0,182	0,006	0,001	Kalan
6	E140-TiB+Sr	11,94	0,461	0,008	0,002	0,004	0,011	0,194	0,005	0,166	Kalan
7	E160	8,480	0,248	3,370	0,112	0,198	0,013	0,011	0,001	0,004	Kalan
8	E160-TiB	8,600	0,221	3,130	0,105	0,188	0,015	0,194	0,009	0,003	Kalan
9	E160-TiB+Sr	8,370	0,249	3,460	0,113	0,206	0,016	0,175	0,002	0,192	Kalan
10	E177	7,020	0,171	0,004	0,003	0,377	0,014	0,010	0,002	0,003	Kalan
11	E177-TiB	6,730	0,172	0,003	0,003	0,370	0,016	0,182	0,010	0,004	Kalan
12	E177-TiB+Sr	6,840	0,160	0,004	0,003	0,360	0,016	0,208	0,009	0,205	Kalan

Tane inceltme amacıyla Ti ilavesinin %0,2 oranında katılması hedeflenmişti, yapılan incelemelerde Ti ilavesinde kritik eşik değeri %0,15 Ti miktarı olduğundan bu oranın bütün deneylerde sağlanmış olduğu tespit edilmiştir.

Benzer şekilde ötektik silisyumun modifiye edilmesi amacıyla ilave edilen Al10Sr alaşımı ile alaşımlarda minimum %0,1 Sr hedeflenmişti, deneylerde Sr miktarının beklenen değere yakın çıktığı gözlenmiştir.

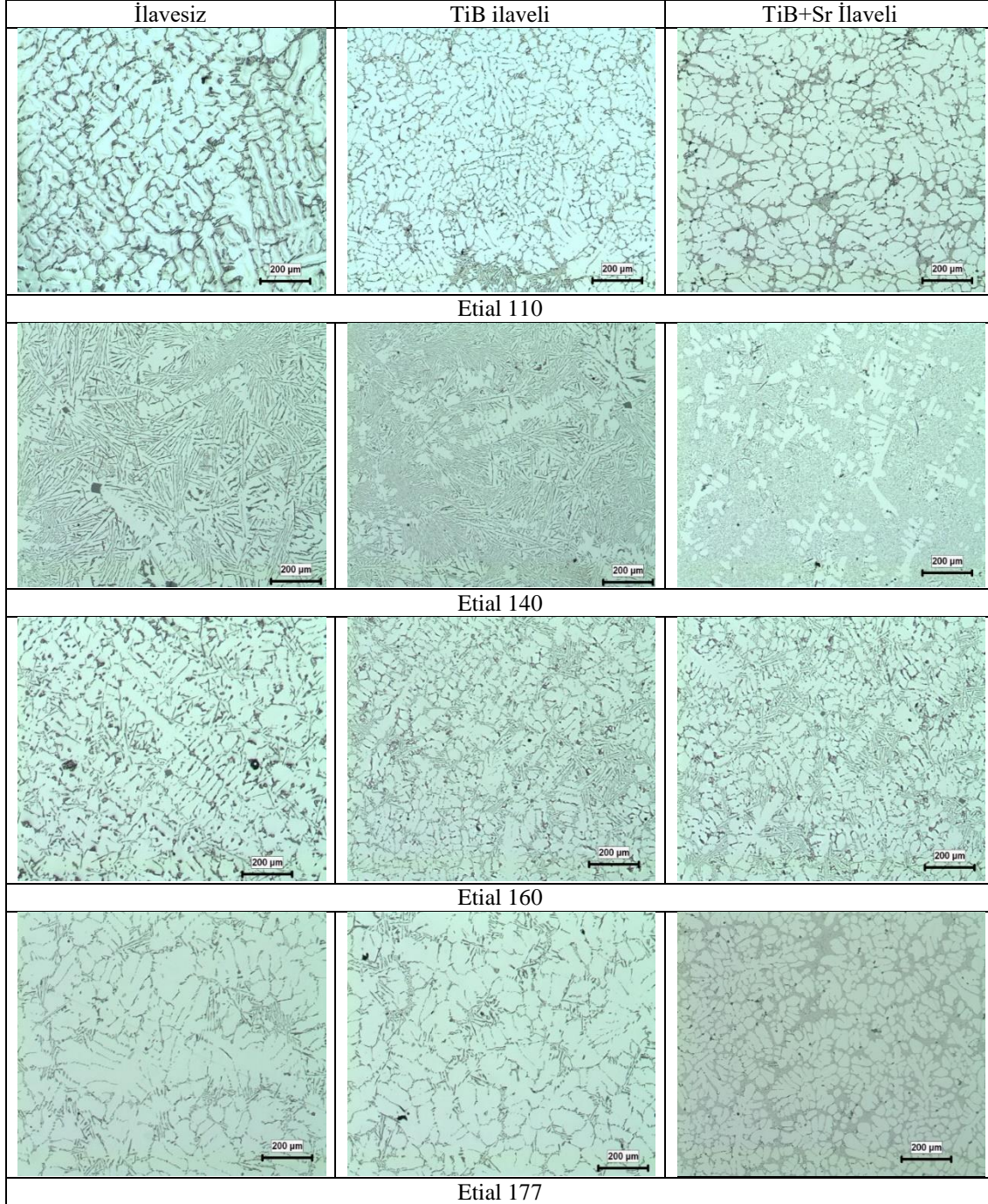
### 3.2. Mikroyapı İnceleme Sonuçları

Döküm numunelerden, farklı alaşım ve alaşım elementi ilavesine bağlı olarak değişen içyapı sonuçları Şekil 8'de verilmiştir. Mikroyapı resimleri 50 X büyütmede çekilmiştir. Şekil 8'de de görüldüğü gibi farklı alaşımlara ait döküm numunelerin içyapıları kimyasal bileşime bağlı olarak çeşitli şekilde katılma sergilemiştir. Bileşiminde Si içeren alaşımlar ötektik öncesi  $\alpha$  ve ötektik  $\alpha + Si$  yapısı



içermektedir. %12 Si içeriğine sahip olan Etial 140 alaşımında ise ötektik yapı  $\alpha + \text{Si}$  şeklindedir. Ayrıca şekilden tane inceltici ilavesi ile döküm yapısında ortaya çıkan dentritik ve kaba yapının kısmen incelendiği anlaşılmaktadır. Numune alındığı yer bakımından katılaşma zamanı çok kısa olduğundan ve yapı arasındaki fark çok bariz bir şekilde ortaya çıkmamıştır. Ayrıca modifiye edici ilavesi ise döküm içyapısında oluşan Si kristallerinin biçim

ve boyutlarında değişikliğe sebep olmuştur. Bu durum özellikle ötektik Etial 140 alaşımının mikro yapı resminde bariz bir şekilde belli olmaktadır. Uzun ve keskin köşeli Si kristalleri Al10Sr alaşım elementi ilavesi ile modifiye olmuş ve yapıda ince ve homojen bir şekilde dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. Bu durum Si içeriği ötektik bileşime yakın olan Etial 177 alaşımlarında da fark edilmektedir.



Şekil 8. Döküm numunelerine ait mikroyapı resimleri

#### 4. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada, Etial 110, Etial 140, Etial 160 ve Etial 177 standardı alüminyum döküm alaşımlarının ilavesiz, tane

inceltici ve Modifiye edici ilaveli döküm koşullarında mikroyapı üzerinde değişiklikler incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen genel sonuçları aşağıdaki gibi maddeler halinde sıralamak mümkündür;

- Dökümlerde tane inceltme işleminin etkisinin kontrolü ve uygunluğunun tespit edilebilmesi için ALCAN standart tane inceltme testleri uygulanmıştır. Test sonuçları en iyi tane inceltme etkisinin alaşımlara ağırlıkça % 0,2 Ti ilavesi ve 20 dk. bekletme süresi ile elde edilebildiğini göstermiştir.
- Döküm deneylerinde modifiye edici olarak ağırlıkça %10 Sr içeren Al10Sr mastır alaşımı kullanılmıştır. Ötektik silisyum içeren döküm alaşımlarında en iyi sonucun alaşımlara ağırlıkça % 0,1 Sr ilavesi ile elde edildiği tespit edilmiştir.
- Alüminyum alaşımları kimyasal bileşimlerine bağlı olarak çeşitli şekilde katılaşma sergilemiştir. Bileşiminde Si içeren alaşımlar ötektik öncesi  $\alpha$  ve ötektik  $\alpha + \text{Si}$  yapısı içerdiği anlaşılmıştır.
- Ötektik (%12 Si içeriğine sahip olan) Etial 140 alaşımının katılaşması sonucu içyapıda ötektik yapı  $\alpha + \text{Si}$  şeklinde olduğu gözlenmiştir.
- Alaşımların her birinde tane inceltici ilavesi ile döküm yapısında ortaya çıkan dentritik ve kaba yapının bozunarak daha ince taneli bir yapı ortaya çıktığı tespit edilmiştir.
- Al10Sr modifiye edici ilavesi ise döküm içyapısında oluşan Si kristallerinin biçim ve boyutlarında değişikliğe sebep olduğu lamel şeklinde yapısının fiberimsi yapıya döndüğü gözlenmiştir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Birol, Y., Çakır, O. ve Alageyik, F. "Elektromanyetik Karıştırma İle Tiksotropik Alüminyum Biyet Üretimi", 13. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı, İstanbul, s. 1704-1712, 2006.
- [2] Birol, Y., "Grain refining aluminium foundry alloys", Proc. IIAC, p. 1-12, 2012.
- [3] Birol, Y., "Alüminyum Alaşımlarında Tane İnceltme", 6.Uluslararası Döküm Kongresi, İstanbul, 13 Eylül 2012.
- [4] Sigworth, G.K., Kuhn, T.A., "Refinement of Aluminium Casting Alloys", AFS Transactions, Vol.115, pp.1-12, 2007.
- [5] Fan, Z., Wang, Y., Zhang, Y., Qin, T., Zhou, X.R., Thompson, G.E., Pennycook, T., Hashimoto, T., "Grain refining mechanism in the Al/Al-Ti-B system", Acta Materialia 84, 292-304, 2015.
- [6] Wang, X., Liu, Z., Dai, W., Han, Q., "On the Understanding of Aluminum Grain Refinement by Al-Ti-B Type Master Alloys, Metallurgical and Materials Transactions B", DOI: 10.1007/s11663-014-0252-3, 2014.
- [7] Ibarra, D.G., "Control of Grain Refinement of Aluminum-Silicon Alloys by Thermal Analysis", Department of Mining and Metallurgical Engineering McGill University, Montreal Canada 1-38, 1999.
- [8] London & Scandinavian Metallurgical Co., "Recent Advances in Understanding the Mechanism of Alluminium Grain Refinement by TiBAl Master Alloys", 1996.
- [9] London & Scandinavian Metallurgical Co., "Grain Refinement of Aluminium - Silicon Foundry Alloys", 1998.
- [10] Cibula, A., "The Mechanism of Grain Refinement of Sand Castings in Aluminum Alloys", J. Inst. Met. Vol. 76, p. 321-360, 1949.
- [11] Murty, B.S., Kori, S.A., Chakraborty, M., "Grain refinement of aluminium and its alloys by heterogeneous nucleation and alloying", Int. Mater. Rev. 47, 3-29, 2002.
- [12] McCartney, D.G., "Grain refining of aluminium and its alloys", Int. Mater. Rev. Vol. 34, p. 247-260, 1989.
- [13] Hardman, A., Hayes, F.H., "Al-Ti-B Grain refining alloys from Al, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and TiO<sub>2</sub>", Mater. Sci. Forum Vol. 217-222, p. 247, 1996.
- [14] Kim, J., Choi, J., Lee, C., Yoon, E., "A Study on The Variation of Solidification of A356 Aluminum Alloys with Sr Addition", Kluwer Academic Publishers, Pp 1395-1397, 2000.
- [15] Kaufmann, J.G., Rooy, E.L., "Aluminum Alloy Castings, Properties, Processes, and Applications", ASM International, American Foundry Society, USA, 2005.
- [16] Sigworth, G.K., "Theoretical and partical aspects of the modification of aluminium-silicon alloys", A.F.S. Transactions 66, 1983.
- [17] Kanani, N., Abbaschian, G.R., Gainesville, F.L., "Modification of -aluminium silicon alloys", Aluminium, 8, 505, 1984.
- [18] Nogita K., McDonald S.D., Dahle A.K., "Aluminium phosphide as a eutectic grain nucleus in hypoeutectic Al-Si alloys", Mater. Trans. 45, 323-326. 2004.
- [19] Chen, Z., Zhang, R., "Effect of strontium on Primary Dentrite and Eutectic Temperature of A357 Aluminium Alloy", China Foundry Vol 7 No:2,149-152, 2010.
- [20] <http://www.etialuminyum.com/>, Erişim Tarihi: 18.06.2017.
- [21] Aluminum Association, "Standard Test Procedure for Aluminum Alloy Grain Refiners: TP-1", (The Aluminium Association, Washington DC). (1987)
- [22] Birol, Y., "The effect of holding conditions in the conventional halide salt process on the performance of Al-Ti-B grain refiner alloys". Journal of Alloys and Compounds, 427(1-2), 142-147. doi:10.1016/j.jallcom.2006.03.002. (2007).
- [23] Çolak, M., Kayıkcı, R., "AlTiB Mastır Alaşımı İlavesinin Etial160 Döküm Alaşımı Üzerinde Tane İnceltme Etkisinin İncelenmesi", 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009.
- [24] Lia, R.X., Lia, R.D., Zhaob, Y.H., Hec, L.Z., Lia, C.X., Guanc, H.R., Hu, Z.Q., "Age-hardening behavior of cast Al-Si base alloy", Materials Letters, 58, 2096-2101, 2004.