

# Yönlendirilerek Dökülmüş Al-Si Alaşımlarında Tane İncelticilerin Porozite Oluşumu Üzerindeki Rolü

<sup>1</sup>Muhammet Uludağ

<sup>1</sup>Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Müh., Selçuk Üniversitesi, Türkiye, uludag@selcuk.edu.tr

## Özet

Alüminyum alaşımlarında, mikroyapı özelliklerini modifiye edici alaşım elementlerinin ilavesiyle mekanik özellikler geliştirilebilir. Tane inceltme poroziteyi azaltan metodlardan birisidir. Titanyum genellikle AlTi5B1 master alaşımı formunda tercih edilir. Titanyumun dezavantajı ise sedimentasyonda dolayı oluşan toplanmadır. Ayrıca, alternatif olarak titanyum içermeyen Al-B tane incelticileri de kullanılmaktadır. Bu çalışmada, A356, A380.1 ve A413 alaşımları ve porozite dağılımını incelemek amacıyla yönlendirerek katılaştırma aparatı çalışılmıştır. AlTi5B1 ve Al3B tane incelticileri kullanılmıştır. Döküm parçasının yatay kesitlerinden elde edilen numuneler analiz edilmiştir. Porozite boyutu, por sayısı ve ortalama por uzunluğu istatistiksel olarak ölçülmüştür. Her üç alaşımda da Al3B ilave edildiği durumlarda porozitenin azaldığı bulunmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Al-Si alloys, Yönlendirilerek katılaştırma, Döküm, Tane inceltme, Porozite

## Abstract

Mechanical properties of aluminum alloys can be improved by alloying element addition where the microstructure is modified to enhance properties. Grain refinement is one of the methods to decrease porosity. Titanium is generally preferred in the form of AlTi5B1 master alloy. Disadvantage of Ti grain refinement is the fading effect due to sedimentation. Alternatively, Ti-free Al-B grain refiners are also used. In this work, A356, A380 and A413 alloys were used and directional solidification apparatus was established in order to investigate porosity distribution. AlTi5B1 and Al3B grain refiners were used. Sampling was made along the cast part and horizontal sections were analyzed. Pore size, number of pores and average pore length were statistically measured. It was found that porosity was decreased in all three Al-Si alloys when Al3B grain refiners were used.

**Key words:** Al-Si alloys, Directional solidification, Casting, Grain refinement, Porosity

## 1. Giriş

Alüminyum alaşımları dökülebilirlik, mukavemet ve korozyon direnci gibi özelliklerden dolayı otomotiv endüstrisi tarafından tercih edilmektedirler. Bu özellikler ısı ve kütle şartları altında oluşan mikroyapıdan etkilenir. Ayrıca, katı/sıvı arayüzey büyümesi de aynı zamanda mikroyapıyı etkiler [1, 2]. Mikroyapı modifikasyonu tane yapısını değiştirmekten ziyade poroziteyi azaltmak amacıyla yapılmaktadır [3, 4]. Poroziteyi azaltmaya yardımcı olan ve mikroyapıyı değiştiren yöntemlerden birisi de yönlendirerek katılaştırmadır. Tane inceltme ise poroziteyi azaltan sürecin bir parçasıdır [5, 6].

Tane inceltici olan master alaşımları daha ince taneler elde etmek amacıyla bir sıvı metale ilave edilirler. Tane incelticiler taneleri inceltip sayısını artırırken aynı zamanda tane sınırları da artmaktadır. Artan tane sınırı mekanik özelliklerde bir artışa ve empürüte seviyesinde de azalışa sebep olmaktadır [5]. Al-Ti-B master alaşımının, ötektik silisyum morfolojisinde herhangi bir değişiklik yapmadan kaba a-Al yapısını ince denritik morfolojiye dönüştürmek suretiyle mikroyapı değiştirmek amacıyla alaşımlara ilave edildiği bilinmektedir [6]. Titanyum tane incelticilerine alternative olarak titanyum içermeyen Al3B master alaşımları da ayrıca tane inceltme amacı ile kullanılmaktadır. Bu master alaşımları B, AlB<sub>2</sub>, ve AlB<sub>12</sub> psrtikülleri içermektedir. AlB<sub>12</sub> sıvı içerisindeki B miktarına bağlı olarak kararsız davranabilmekte ve Al ile peritektik reaksiyona girerek AlB<sub>2</sub> formuna dönüşmektedir [7, 8].

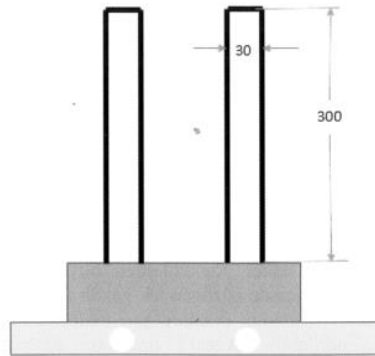
Bu çalışmada, farklı katılaşma morfolojilerine sahip üç alaşıma titanyum içeren AlTi5B1 ve titanyum içermeyen Al3B master alaşımları olmak üzere iki farklı tane inceltici ilave edilerek yönlendirilmiş katılaşma dökümleri çalışılmıştır. A356, A413 ve A380.1 alaşımlarında tane inceltme işlemi ve/veya tane incelticiler ile porozite oluşmu arasında bir ilişki olup olmadığı araştırılmıştır.

## 2. Deneysel çalışmalar

Çalışmada kullanılan A356, A413 ve A380.1 alaşımlarının kimyasal kompozisyonları Tablo 1’de verilmiştir. A356 ve A413 alaşımları birincil olarak ETIAL (Konya, Türkiye) firmasından sağlanmıştır. A380.1 alaşımı ise ikincil olarak alınmış ve deneylerde kullanılmıştır. Yönlendirerek katılaştırma kalıbında, katılaştırmayı yönlendirmek amacıyla kalıbın alt kısmında bulunan bakır plakalar içinden sürekli oda sıcaklığında su geçirilmiştir. Kalıp, silindirik çelik malzemedan üretilmiş ve aynı zamanda 30 mm çapında ve 300 mm uzunluğunda döküm parçası elde edecek şekilde tasarlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan kalıp resmi Şekil 1’de sunulmuştur.

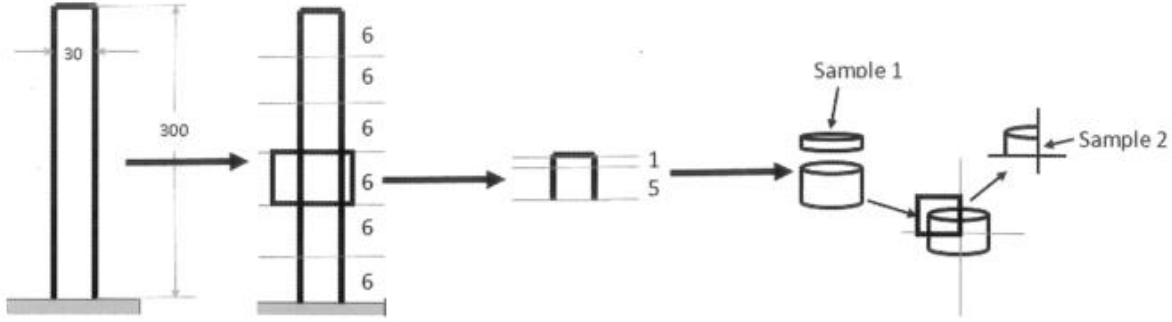
**Tablo 1.** Çalışmada kullanılan alaşımların ağırlıkça kimyasal kompozisyonları

Alaşımlar	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al
A356	6,80	0,19	0,003	0,001	0,30	0,011	0,108	Kalan.
A413	11,77	0,19	0,006	0,001	0,005	0,016	0,006	Kalan.
A380.1	8.14	0.64	3.12	0.44	0.22	0.49	0.02	Kalan.



**Şekil 1.** Deneysel çalışmalarda kullanılan yönlendirerek katılaştırma aparatı

A356 ve A380.1 alaşımlarına ait dökümler 740 °C gibi bir döküm sıcaklığında gerçekleştirilirken A413 alaşımına ait dökümler de 670 °C döküm sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. AlTi5B ve Al3B tane incelticilerin ilave edilmesinden sonra 5 dakika beklenilmiş ve sonra dökümlere geçilmiştir. Elde edilen döküm parçaları 30 mm çap ve 60 mm yüksekliğe sahip ölçülerde 5 eşit parçaya kesilmiştir. Her parçanın üst kısmında 10 mm yüksekliğinde küçük paraçalar elde edilmiştir. Elde edilen bu numunelerin şematik gösterimi Şekil 2’de verilmiştir. döküm parçalarının en üst kısmında meydana gelen dış çekmeler hacimsel olarak hesaplanmıştır.



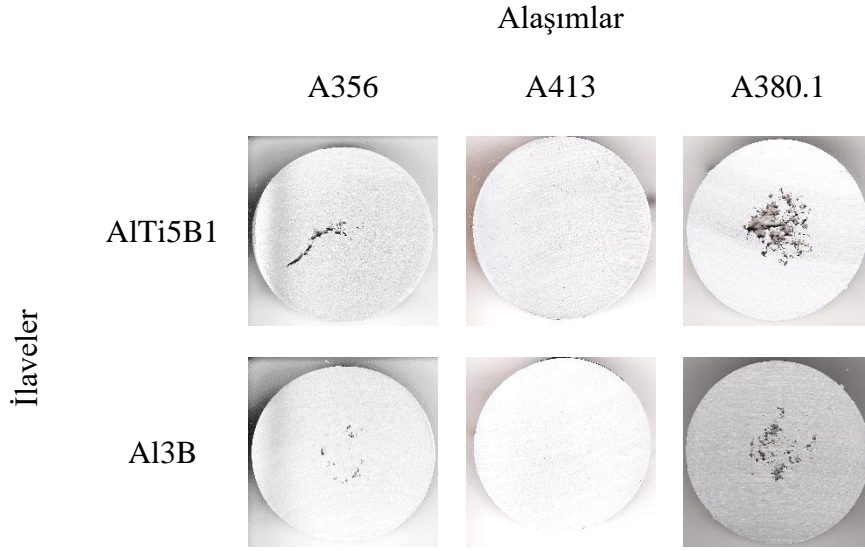
Şekil 2. İnceleme için döküm parçasında numune eldesinin şematik gösterimi

Şekil 2’de verilen şematik gösterimdeki 1 nolu numune, yönlendirilerek katılaştırma boyunca porozite oluşumunu incelemek için kullanılmıştır. 5 eş parçaya bölünen döküm parçasının yukarıdan ikinci parçasına ait 10 mm yüksekliğindeki parçalar inceleme için seçilmiştir. İlk olarak, bu numuneler üzerinde görsel inceleme yapılmış ve ardından bu yüzeyler taranarak bilgisayar ortamına atılmıştır. Bu görüntüler üzerinde de SigmaScan görüntü analiz programı yardımıyla porozite ölçüm işlemleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen porozite sonuçları istatistiksel olarak incelenmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada kullanılan üç farklı alaşım farklı katılma morfolojilerine sahiptir. A356 alaşımının dendritik ve Si ötektiği morfolojisine, A413 alaşımının sadece ötektik morfolojiye ve A380.1 alaşımının da dendritik, Si ötektiği ve Cu ötektiği morfolojilerine sahip olduğu bilinmektedir. Bu alaşımların microyapıları arasındaki farklar tüm döküm özelliklerini etkilemektedir. Bir dökümdeki porozite miktarı döküm kalitesi için çok önemli bir parametredir. Hafif alaşımlarla üretim yapan firmaların ve bu alanda çalışan bilim adamlarının porozite oluşumunun gerçek mekanizmasını bilmeye ihtiyaçları vardır. Mevcut çalışmada, bu mekanizmayı anlamak amacı ile üç farklı alaşımın yönlendirilerek dökümleri gerçekleştirilmiştir. Tane inceltme işleminin porozite oluşumuna etkisini incelemek için de AlTi5B1 ve Al3B master alaşımları ilave edilmiştir. Her üç alaşıma ait numuneler görsel incelenmiş ve bu incelemeye ait görüntüler de Şekil 3’de sunulmuştur. Resimlerden de görülebildiği gibi, porozite oluşumu açısından alaşımlarda çok ciddi farklılıklar mevcuttur. Bu makro görüntüler farklı dökümlerin aynı bölgelerinden elde edilmiştir. AlTi5B1 ve Al3B master alaşımlarının porozite oluşumu ve dağılımı üzerinde tamamıyla farklı etkilere sahip olduğu açıkça görülmektedir. Bu etkiler, A356 ve A380.1 alaşımlara ait görüntülere çok net bir

şekilde görülebilmektedir. A413 alaşımının ötektik morfolojiye sahip olduğu ve tek bir sıcaklık katılaştığı göz önüne alındığında, bu alaşımda tane inceltme işleminin porozite oluşumu üzerinde etkisinin görülmemesi normaldir. Fakat, ötektik katılaşmanın poroziteleri katılaşma yönünde iterek porozite oluşumunu etkilediği bilinmektedir. Bu yüzden, bu alaşıma ait sonuçlarda porozitelerin beslemenin ve katılaşmanın en son olduğu bölgelerde tek bir nokta yada bölgede yoğunlaştığını görmek mümkün olmaktadır. Diğer taraftan, katılaşma aralığının porozite oluşumu özellikle dağılımı için farklı bir sebep olduğunu da söylemek gerekmektedir.



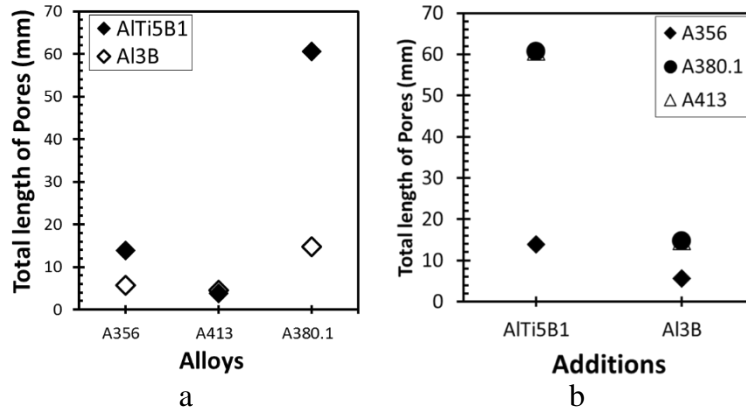
Şekil 3. Yönlendirerek katılaştırılan dökümlerde oluşan porozitelere ait makro görüntüler

Görüntü analizlerinden elde edilen datalar, alaşımlarda ve ilavelerde porozite oluşmalarını görmek amacı ile incelenmiştir. Bu sebeple, bütün sonuçlar için elde edilen grafikler iki farklı şekilde sunulmuştur. Porozitelerin toplam uzunluğundaki değişimlere ait sonuçlar Şekil 4’de ve toplam alanlardaki değişimlere ait sonuçlar da Şekil 5’de verilmiştir. Şekil 4 ve 5 birlikte incelendiğinde, toplam uzunluk ve toplam alan değişimleri porozite oluşumlarındaki değişimler açısından hemen hemen aynı eğilimi gösterdiği anlaşılmaktadır. A413 ötektik alaşımını her iki grafikte de en düşük sonuçlara ait grafik alaşım olarak karşımıza çıkmaktadır. Diğer taraftan, tane incelticilerin etkisi de açıkça görülebilmektedir. Al3B tane incelticisi porozite miktarını AlTi5B1 tane incelticisinden daha fazla etkilemektedir. Bu bulgu, katılaşma morfolojilerinden dolayı A356 ve A380.1 alaşımlarına ait sonuçlarda açık bir şekilde görülebilmektedir. Tane inceltme işlemi katılaşma sırasında dendritik büyüme üzerinde etkilidir. Tane incelticilerin farklı alaşımlarda denritik büyüme üzerinde farklı etki gösterdiği düşünüldüğünde, porozite oluşumunun da tane incelticiler tarafından farklı bir şekilde etkileneceği söylenebilir. Diğer taraftan, tane incelticiler por çapları üzerinde önemli bir role sahiptir (Şekil 6). Şekil 6’da sıvıya ilave edilen Al3B tane incelticilerin porların büyümesi üzerinde AlTi5B1 tane incelticisinden daha büyük bir etkisinin olduğu görülmektedir. Her alaşımın kendine ait spesifik porozite büyümelerini sergilediği söylenebilmektedir. Tüm alaşımların farklı tane inceltmesine bağlı olarak farklı çaplarda porozitelere sahip olduğu görülebilmektedir. En büyük porozite çapı A380.1 alaşımına ait sonuçlarda görülmüştür. Alaşımlara ait ortalama porozite çaplarının ( $\bar{d}$ ) büyükten küçüğe şu şekilde

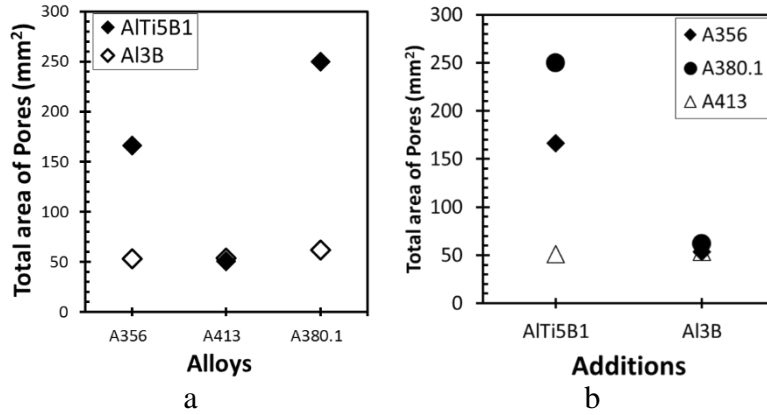
sıralayabiliriz;

$$\bar{d}_{A380.1} > \bar{d}_{A413} > \bar{d}_{A356}$$

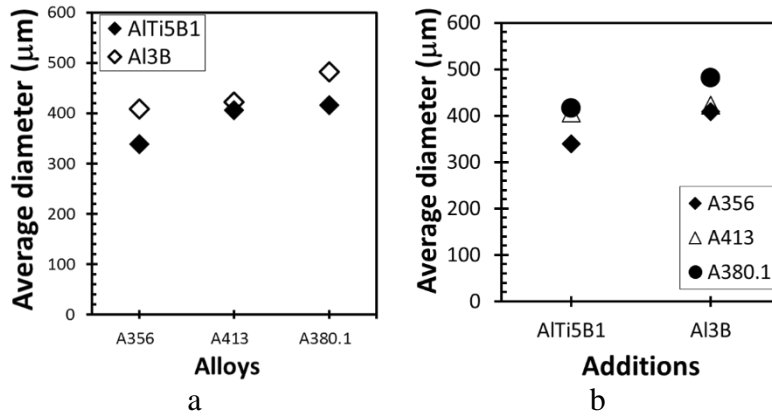
A413 alaşımına ait ortalama por çaplarının tane inceltme işlemlerinden önmeli ölçüde etkilenmediğini belirtmekte yarar olacaktır.



Şekil 4. Porozitelerin toplam alanları ile deney parametreleri arasındaki ilişki

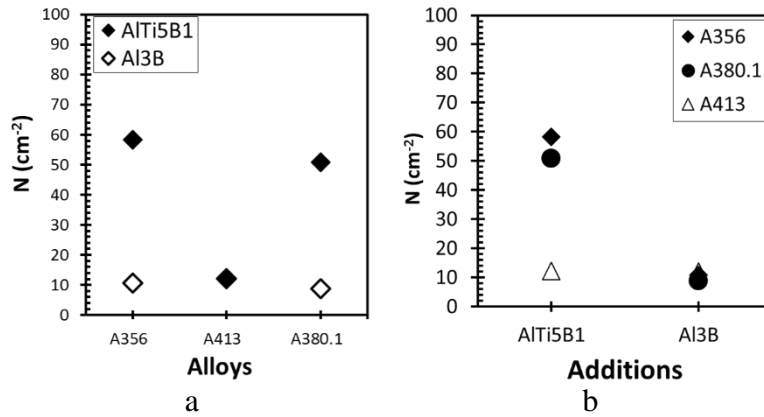


Şekil 5. Porozitelerin toplam uzunları ile deney parametreleri arasındaki ilişki

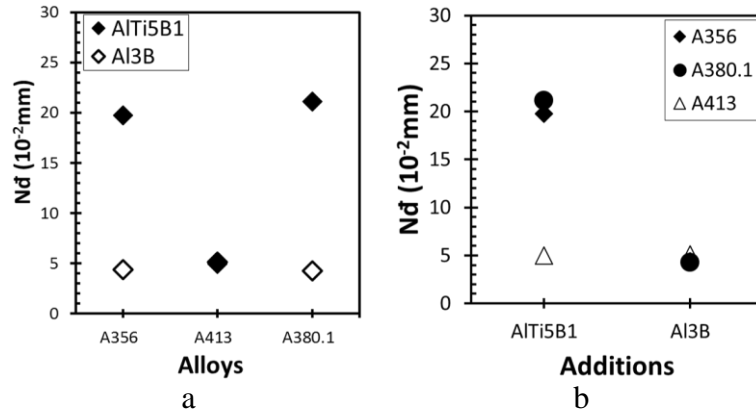


Şekil 6. Ortalama porozite alanları ile deney parametreleri arasındaki ilişki

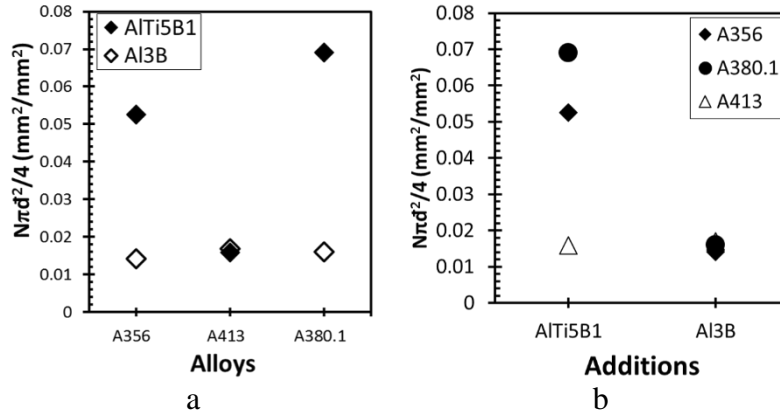
Porozite oluşumunun nasıl değiştiğini görmek amacıyla porozitelerin sayısı yoğunluğu ( $N$ ), toplam porozite uzunluğu ( $N\bar{d}$ ), toplam porozite alanı ( $N\pi\bar{d}^2/4$ ) ve toplam porozite hacmi ( $N\pi\bar{d}^3/6$ ) değerleri istatistiksel olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalardan elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil 7, 8, 9 ve 10'da verilmiştir. porozitelerin tüm istatistiksel analiz sonuçları hemen hemen benzerdir. Al3B tane incelticisinin porozite miktarını azaltıcı yönde porozite oluşumu üzerindeki etkisi açıkça görülmektedir.



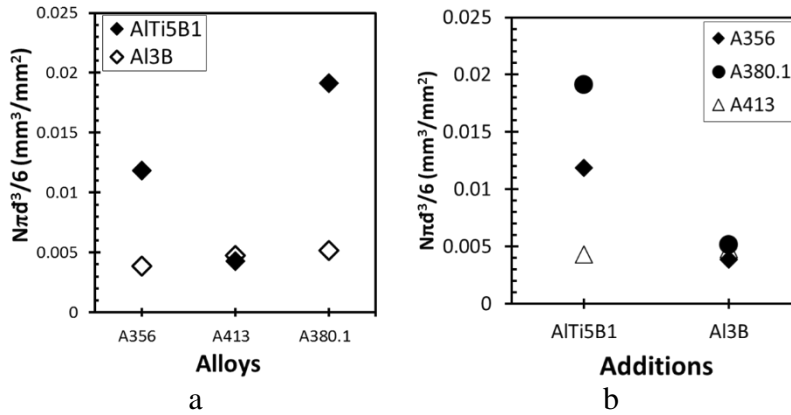
Şekil 7. Porozitelerin sayısı yoğunluğu ile deney parametreleri arasındaki ilişki



Şekil 8. Porozitelerin toplam uzunluğu ile deney parametreleri arasındaki ilişki



Şekil 9. Porozitelerin toplam alanı ile deney parametreleri arasındaki değişim.



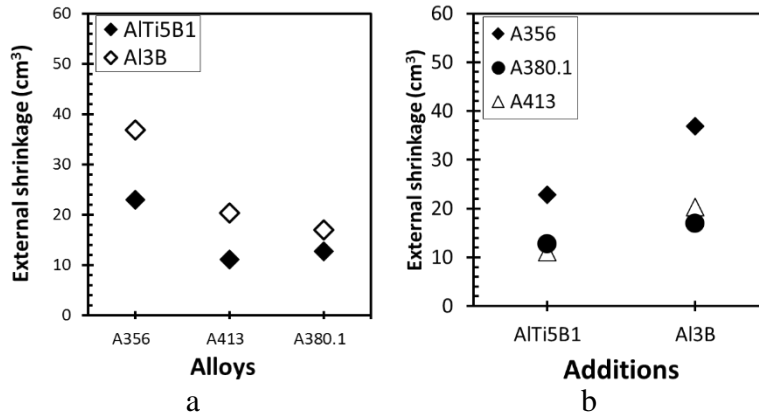
Şekil 10. Porozitelerin toplam hacmi ile deney parametreleri arasındaki ilişki

Diğer taraftan istatistiksel inceleme sonuçlarında Al3B tane inceltisinde alaşımlar üzerinde herhangi bir değişiklik göstermediği söylenebilir. Ancak, AITi5B1 istatistiksel inceleme

sonuçlarında A356 ve A380.1 alaşımları için farklı sonuçlar karşımıza çıkmıştır. Bu sonuçlar, AlTi5B1 master alaşımının porozite oluşumu üzerinde Al3B kadar istatkrli bir etkis olmadığını göstermektedir. Dökümlerin en son katılaşılan bölgeleri olan en üst kısımlardan dış çekme incelemeleri yapılmış ve hacimsel olarak ölçülmüştür. Alaşımlara ve ilave parametrelerine ait dış çekme sonuçlarını Şekil 11’de verilmiştir. AlTi5B1 ve Al3B tane incelticili dökümlerin dış çekme sonuçlarında önemli farklar olduğu söylenebilir. Al3B tane incelticili dökümlere ait dış çekmeler AlTi5B1 tane incelticili dökümlerden fazla olduğu görülmektedir. Dış çekme miktarlarının alaşımlara göre sıralanması poroziteler için yapılan sıralama ile uyumludur. Fakat, dış çekme sonuçları ile porozite sonuçları arasında ters bir ilişki mevcuttur. Dış çekme (ES) sonuçları şu şekilde sıralanabilir.

$$ES_{A356} > ES_{A413} > ES_{A380.1}$$

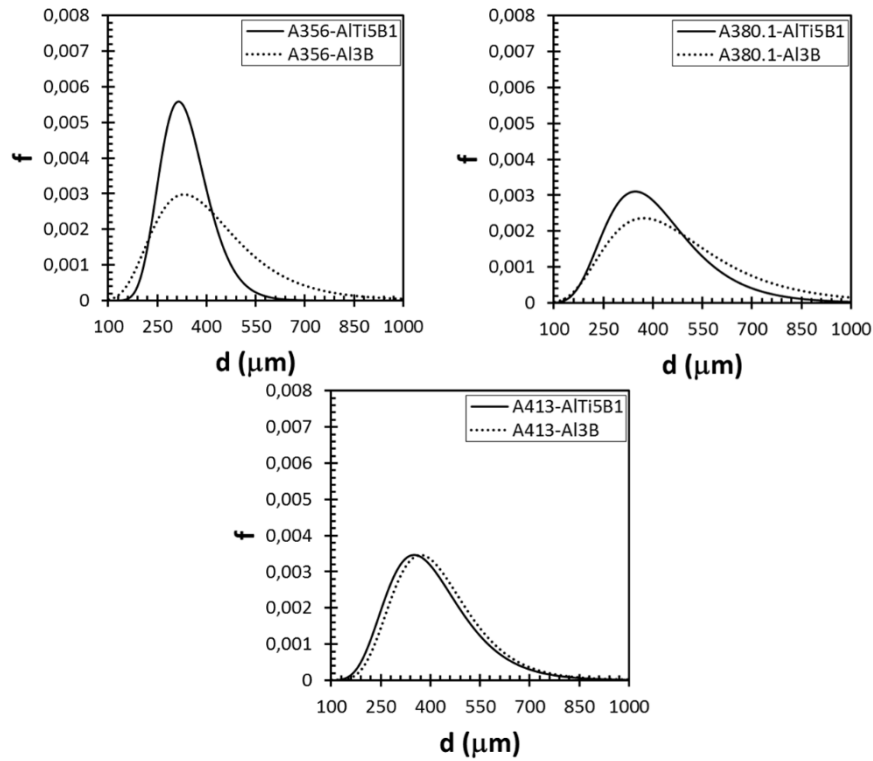
Dış çekme sıralaması ile ortalama porozite çaplarına ait sıralamalar birlikte incelendiğinde bu iki sonuç arasında ters orantı olduğu görülmektedir. Bunun da anlamı, dış çekme ne kadar artarsa ortalama por çapı o derece azalır.



Şekil 11. Döküm parçalarında meydana gelen dış çekmeler ile deney parametreleri arası ilişki

Porozite çaplarının dağılımı lognormal dağılım ile incelenmiştir. Her üç alaşım ve iki ilave parametresine ait sonuçlar Şekil 12’de sunulmuştur. A356 ve A380.1 alaşımlarının çap dağılım sonuçları ilave parametrelerine göre ilginç bir değişim göstermiştir. AlTi5B1 ilaveli dökümlere ait çap dağılımları sabit ve istikrarlı iken Al3B ilaveli dökümlere ait çap dağılımları da çok değişkenlik göstermektedir. Al3B tane incelticisi AlTi5B1 tane incelticisinden daha büyük porozite oluşturabilir. Bu sonuç sadece katılma morfolojisi ile açıklanabilmektedir. AlTi5B1 ilaveli dökümlerde dendritik morfoloji ince, kolonsal ve uzun şekillenirken, Al3B ilave dökümlerde eş eksenli ve kısa şekilli olarak karşımıza çıkmaktadır. Poroziteler AlTi5B1 tane incelticisi etkisi ile küçük boyutlarda ve çok sayıda oluşabilir. Al3B tane incelticisi için ise bunun tam tersi söylenebilmektedir.





Şekil 12. Porozite çaplarının lognormal dağılımları

## Sonuçlar

Al3B tane incelticisi özellikle boyut, sayı ve dağılım başta olmak üzere porozite oluşumunu olumlu yönde AlTi5B1 tane inceltisinden daha fazla etkilemektedir. Bunun da sebebi olarak; A356 ve A380.1 alaşımlarında meydana getirdiği mikroyapısal değişiklikler gösterilebilir. Fakat, A413 alaşımında ötektik katılma morfolojisine sahip olmasından dolayı herhangi etkis görülmemektedir.

Dış çekme ile porozitelerin boyut ve sayıları arasında çok güçlü bir ilişki bulunmaktadır. Dış çekme arttıkça porozite boyut ve sayısı azalmaktadır. Döküm özellikler bu ilişki kullanılarak geliştirilebilir.

AlTi5B1 tane incelticili dökümler de oluşan porozite dağılımları Al3B tane incelticili dökümlerde oluşan porozite dağılımlarına göre sabit ve istikrarlıdır.

## Referanslar

- [1] Dold, P. and K.W. Benz, *Rotating magnetic fields: Fluid flow and crystal growth applications*. Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials, 1999. **38**(1): p. 7-38.
- [2] Zimmermann, G., L. Sturz, M. Walterfang, and J. Dagner, *Effect of melt flow on dendritic growth in AlSi7-based alloys during directional solidification*. International Journal of Cast Metals Research, 2009. **22**(1-4): p. 335-338.

- [3] Emadi, D., J.E. Gruzleski, and J.M. Toguri, *The effect of na and Sr modification on surface tension and volumetric shrinkage of A356 alloy and their influence on porosity formation*. Metallurgical Transactions B, 1993. **24**(6): p. 1055-1063.
- [4] Samuel, A., A. Pennors, C. Villeneuve, F. Samuel, H. Doty, and S. Valtierra, *Effect of cooling rate and Sr-modification on porosity and Fe-intermetallics formation in Al-6.5% Si-3.5% Cu-Fe alloys*. International Journal of Cast Metals Research, 2000. **13**(4): p. 231-253.
- [5] Campbell, J., *Castings : [the new metallurgy of cast metals]*. 2003, Butterworth Heinemann.
- [6] Kori, S.A., B.S. Murty, and M. Chakraborty, *Development of an efficient grain refiner for Al-7Si alloy and its modification with strontium*. Materials Science and Engineering: A, 2000. **283**(1-2): p. 94-104.
- [7] SIGWORTH, G. and G. MM, *Grain refinement of hypoeutectic Al-Si alloy [J]*. AFS Transaction, 1985. **93**: p. 907-912.
- [8] WANG, X., *The formation of AlB<sub>2</sub> in an Al-B master alloy [J]*. Journal of Alloys and Compounds, 2005. **403**: p. 283-287.