

Kokil Kalıba Dökülen Al-4,3cu Alaşımının Kritik Katı Oranı Faktörünün Kalıp Sıcaklığı Ve Tane Boyutuna Bağlı Olarak Modellenmesi

Neşet AKAR*, Ramazan KAYIKCI**, ve Akif Kemal KISAOĞLU***

* Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, Beşevler-ANKARA

** Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, Serdivan-SAKARYA

*** İsdemir, İskenderun-HATAY

ÖZET

Döküm simülasyonunda gerçeğe yakın sonuçlar elde etmek için fiziksel ve termo-fiziksel faktörlerin simülasyon programlarında nümerik olarak tanımlanması gerekir. Alaşımın döküm sıcaklığı, hacimsel çekme oranı, sıvı metalin kalıba doldurma süresi, döküm kalıbı malzemesi, katı-sıvı aralığında beslemenin devam edebileceği kritik katı oran(KKO) değeri bu faktörlerden bazılarıdır. Döküm simülasyon üzerine önemli etkiye sahip bir parametre olan KKO değeri üzerine çok az araştırma olmakla birlikte henüz tam olarak tanımlanamamıştır.

Bu çalışmada, kokil kalıba dökülen Al-%4,3 Cu alaşımının KKO değerleri kalıp sıcaklığı ve tane boyutu parametrelerine bağlı olarak incelenmiştir. Al-%4.3 Cu alaşımı yetersiz beslemeye bağlı çekme boşluğu hatası oluşturmak üzere özel bir geometride tasarlanmış kokil kalıba üç farklı ön ısıtma sıcaklığında (100°C, 155°C, 210°C) tane inceltmeli ve tane inceltmesiz olarak dökülmüştür. Soğuyan ve katılaştıran dökümlerin içerisinde oluşan çekme boşluklarının hacmi Arşimet prensibi ile hesaplanmıştır. Üç boyutlu (3B) SOLIDCast döküm simülasyon yazılımı ile gerçek koşullarda yapılan dökümler bire bir modellenmiştir. Modellemelerde farklı KKO değerleri sınır şartı olarak girilmiş ve elde edilen sonuçlar üzerinde oluşan çekinti boşluğu hacmi ölçülerek gerçek döküm şartlarından elde edilen boşluk hacimleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, kalıp ön ısıtma sıcaklığının ve tane boyutunun kokil kalıba dökülen Al-%4.3 Cu alaşımının KKO değerleri üzerinde önemli derece etkili olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kritik Katı Oranı, Döküm Simülasyonu, Döküm Tasarımı

Modelling of Critical Solid Fraction Factor Depending on Mold Temperature and Grain Size of Al-4,3cu Alloy Poured Into Permanent Mold

ABSTRACT

In order to achieve more realistic results from casting simulations, physical and thermo-physical factors should be numerically defined in simulation programs. Some of these factors are the pouring temperature, volumetric shrinkage ratio, mould filling time, type of mould material and the critical fraction of solid (CFS) ratio up to which the feeding liquid can flow. Limited work has been carried on CFS, which is an important factor on casting simulation, and it has also not been fully defined.

In this study, the CFS values of Al-4.3% Cu permanent mould (PM) casting depending on the mould pre-heating temperatures and the grain size have been investigated. Non-grain refined and grain refined Al-%4.3 Cu alloys were poured into the permanent mould having pre-heated to three different temperatures (100°C, 155°C, 210°C) which is specially designed to produce shrinkage defects due to inadequate feeding. After cooling and solidification, volume of the shrinkage voids within each casting was calculated using Archimedes principle. Castings obtained in real conditions have been modelled using 3D SOLIDCast casting simulation software. During modelling, different CFS values have been used as a boundary condition in simulation, and the volumes of the shrinkage voids were compared as a function of real castings and simulation. Results showed that the mould pre-heating temperature and grain size of the castings have significant influence on the CFS value.

Key Words: Critical Fraction of Solid, Casting Simulation, Casting Design

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Döküm simülasyon programları deneme yanılma yöntemi ile gereksiz vehatalı döküm üretmeye gerek kalmadan bilgisayar ortamında tasarım ile ilk defada

sağlam döküm üretimine olanak sağlayan yazılımlardır. Bu nedenle, dökümhanelerde simülasyon programı kullanımı ile yüksek performans, yüksek verim ve düşük maliyetli parça üretimi her geçen gün yaygınlaşmaktadır.

Döküm simülasyonunda başarılı sonuçlar elde etmek için gerçek döküm şartlarının simülasyon

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: nakar@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2014.17.2 83-89

programında doğru tanımlanması şarttır. Alaşımın döküm sıcaklığı, çekme oranı, sıvı metalin kalıbı doldurma süresi, katı-sıvı aralığında beslemenin devam edebileceği kritik katı oranı (KKO) değeri bu parametrelerden bazıları olarak sayılabilir. Simülasyon sonuçlarında önemli etkilere sahip bir parametre olan KKO değeri üzerine yapılan araştırmalar sınırlı olmakla birlikte henüz tam olarak tanımlanamamıştır. Literatürde özellikle alüminyum alaşımları dökümlerinin modellenmesinde KKO değerinin tane boyutuna bağlı olarak değiştiği rapor edilmiştir [1, 2].

Alüminyum alaşımlarının dökümünde, döküm parça yüksek ısı iletkenlik değerinden dolayı neredeyse katılaştırmanın sonuna kadar sıvı ve sıvı içerisinde oluşmuş olan katı dendritlerin bir arada bulunduğu yarı-katı durumunda katılaştırmaktadır. Bu gibi alaşımlarda porozite ve yüzey çökmesi gibi hataların oluşmaması için sıvının beslenmesi tamamen bu yarı-katı ortamda dendritler arasından sağlanmak zorundadır [3]. Belirli bir sıcaklık gradyanı ile katılaştıran saf alüminyum katı-

Çizelge 1. Al-Cu döküm alaşımının kimyasal kompozisyonu

Alaşım elementi	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Al
Ağırlıkça (%)	0,029	0,087	4,310	0,144	0,106	0,071	Kalan

sıvı ara yüzeyi düzlemsel bir şekilde ilerleyerek katılaştırmaktadır. Bu gibi bir katılaşmada katı-sıvı ara yüzündeki sıvı direkt besleme ile beslenebilir. Buna karşılık alüminyuma alaşım elementi ilave edildiğinde bu katılaşma belirli bir aralıkta gerçekleşmekte ve katı-sıvı ara yüzeyi dendritik karakteristiğe bürünmektedir. Dendritik karakterli katı-sıvı ara yüzeyi genişlemekte ve neredeyse bazen dökümün tamamını kaplayabilmektedir [4]. Geniş katılaşma aralığına sahip alaşımlarda sıkça görülen karakteristik besleme mekanizmaları sıvı besleme, kütle besleme, dendritler arası besleme, zor besleme ve katı besleme olarak tanımlanmaktadır [5].

Tane inceltmiş dökümlerde yarı-katı bölge boyunca beslenebilirliğin arttığı bilinmektedir [3]. Çai ve arkadaşları yavaş hızda dönerek soğuyan silindirik bir dökümün içine yerleştirdiği kanat ile katılaşma sürecinde büyüyen dendritlerin kanata uyguladığı yükteki değişimi ölçmüşlerdir. Tane inceltmemiş bir dökümde dendrit blokajı yaklaşık %25 katı oranı seviyesinde iken %0,20 oranında tane inceltici ilave edilmiş dökümde bu oran %50 seviyesine çıkmıştır [8, 7]. Kim [6] doktora çalışmasında geniş katılaşma aralığına sahip Al-8Si ve Al-20Cu alaşımları için tane inceltme işlemi sonucunda dendritler arası boşluk hacminin 1/3 oranında azaldığını tespit etmiştir.

Döküm katılaştıkça sıvı faz kademeli olarak katı faza dönüşür. Dökümde çekme porozitesi oluşumunun engellenmesi yada meydana gelen çekmenin beslenmesi sıvı besleme metalinin akışına bağlıdır. Katılaşma ilerledikçe sıvı metal hiç akamayacağı bir noktaya ulaşır. Sıvının ulaştığı bu nokta KKO olarak adlandırılır. Genellikle bu durum tamamen katılaşma yüzdesi olarak

açıklanır [9]. Döküm parçaların katılaşmasında besleme üzerine en önemli etkenlerden birisi de KKO'dur. KKO bir katı-sıvı aralığında büyüyen dendritlerin belirli bir hacme ulaşması ile sıvı akışını bloke ederek beslemenin durmasına neden olduğu noktadır. KKO tane büyüklüğüne duyarlıdır ancak tane inceltme işlemi ile bu oranın ne derece yükseltilebileceği tam olarak bilinmemektedir. Bu çalışma, farklı tane boyutlarına sahip döküm parça oluşturmak üzere hem tane inceltmiş hem de tane inceltilmemiş dökümlerin katılaşmasında önemli rol oynayan KKO'nun kalıp sıcaklığına bağlı olarak gerçek döküm şartlarında belirlenmesi ve bilgisayar programındaki KKO'nun gerçeğe en yakın şekilde verilmesi amacıyla yapılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

Deneysel çalışmalarda kimyasal kompozisyonu Çizelge 1'de verilen Al-% 4,3Cu döküm alaşımı kullanılmıştır.

Döküm alaşımının ergitme işlemi elektrik rezistanslı ergitme ocağında silisyum karbür pota içerisinde gerçekleştirilmiştir. Sıvı metalin atmosferden gaz almasını önlemek için Fosco-Coveral 90 yüzey koruyucu kullanılmıştır.

Deneysel çalışmalarda tane inceltici uygulanmamış ve tane inceltici uygulanmış olmak üzere iki farklı döküm işlemi yapılmıştır.

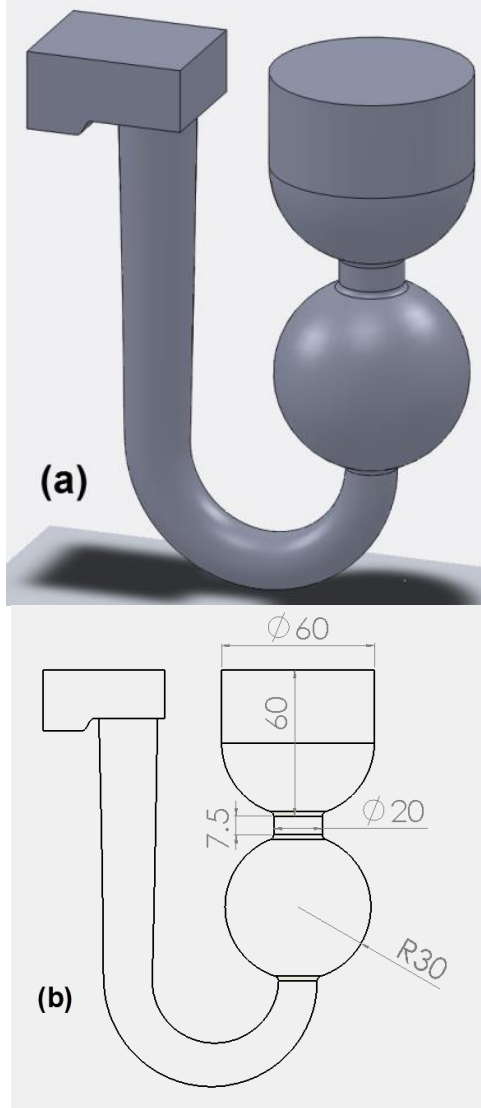
Tane inceltme işlemi uygulanmamış durumda; 730°C sıcaklığa sahip ergimiş sıvı metale (ağırlıkça %0,2 oranında) Fosco-Nitral C19 gaz giderici tablet ile gaz giderme işlemi uygulanmıştır. Gaz giderme işleminin ardından sıvı metal ergitme potasından döküm potasına alınmış ve 710°C sıcaklığında dökülmüştür.

Tane inceltme işlemi uygulanmış durumda; 730°C sıcaklığa sahip ergimiş sıvı metale Ti:B oranı 11:1 olan Fosco-Nucleant 70SS tablet şeklinde ağırlıkça%0,27 ilave edilmiştir. Belirli bir süre bekletilen sıvı metale (ağırlıkça %0,2 oranında) Fosco-Nitral C19 gaz giderici tablet ile gaz giderme işlemi uygulanmıştır. 12,5 dakika bekleme süresinden sonra sıvı metal ergitme potasından döküm potasına alınmış ve 710°C sıcaklığında dökülmüştür. Tane inceltme deneyleri ALCAN tane inceltme deney standartlarına göre yapılmıştır [10].

Dökümün yapılacağı kalıp 1040 imalat çeliğinden üretilmiştir. Kalıp dökümden önce kalıbın dışına yerleştirilen rezistans ısıtıcılar yardımı ile 100°C, 155°C ve 210°C olmak üzere üç farklı sıcaklığa ısıtılmıştır.

Seçilen döküm parça geometrisi ve ölçüleri Şekil 1'de verilmiştir. Döküm geometrisi özellikle içte makro çekme boşluğu oluşacak şekilde tasarlanmıştır.

Deneylerden elde edilen numunelerin yoğunluk ölçümleri Arşimet prensibine göre çalışan yoğunluk ölçüm cihazında gerçekleştirilmiştir.

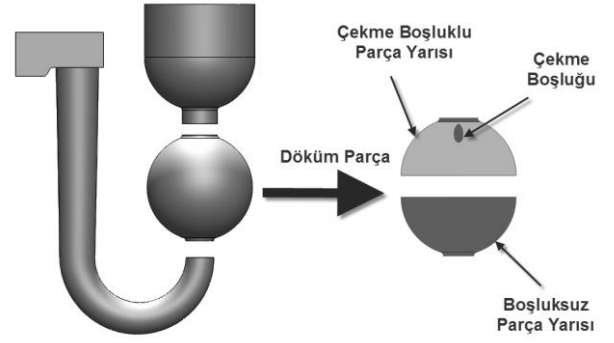


Şekil 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan döküm parça geometrisi

Parçada oluşan çekinti boşluğunu belirleyebilmek için küre şeklindeki döküm parça Şekil 2'de gösterildiği gibi önce ikiye ayrılmıştır. Daha sonra döküm parçada boşluk oluşmayan bölgeden parçanın gerçek yoğunluğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde makro çekme boşluğunun oluştuğu bölgenin de yoğunluğu ve hacmi ölçülmüştür. Aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak parçada meydana gelen boşluk miktarı belirlenmiştir.

$$V_{BH} = \frac{(V_{BP} \cdot \rho) - m_{BP}}{\rho}$$

Burada ρ boşluksuz metal yoğunluğu (kg/m^3), m_{BP} boşluklu parçanın kütlesi (kg), V_{BP} boşluklu parçanın hacmi (m^3) ve V_{BH} çekinti boşluğu hacmidir (m^3).



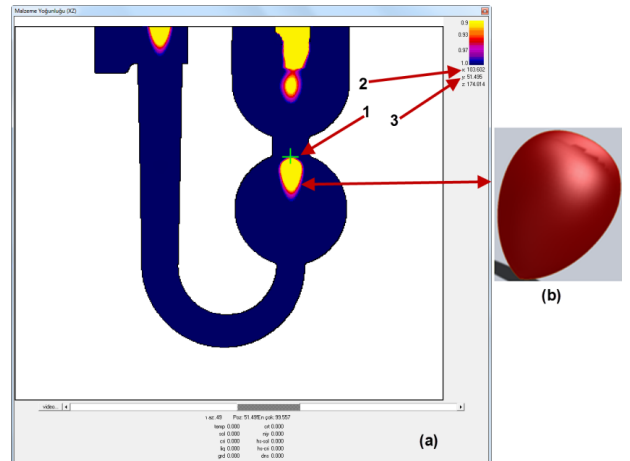
Şekil 2. Döküm parçanın boşluk hacmi ve yoğunluk ölçüm bölgeleri

Döküm alaşımı ve kalıp malzemesi için simülasyon programında kullanılan katsayılar ve kullanılan döküm parametreleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Simülasyonda kullanılan katsayılar ve döküm parametreleri

	Kalıp	Döküm parça	
Malzeme	St-1040	Al-%4,3Cu	
Isıl iletkenlik (W/m-K)	53,618	190 [11]	
Özgül ısı (J/kg-k)	464,424	1070 [11]	
Yoğunluk (kg/m^3)	7842,413	2750 [11]	
Başlangıç Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	100-155-210	710	
Liküdüs Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	-	644	
Solidüs Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	-	Tane inceltmeli	Tane inceltmesiz
		568	572
Dolum Zamanı (s)	-	5	
Meş Boyutu (mm)	1	1	

Simülasyondan elde edilen makro boşluk hacimlerini belirlemek için önce Şekil 3.a'da görüldüğü gibi XZ düzleminde döküm parçayı tam merkezinden kesecek şekilde kesit yüzeyinden koordinatlar belirlenmiştir.



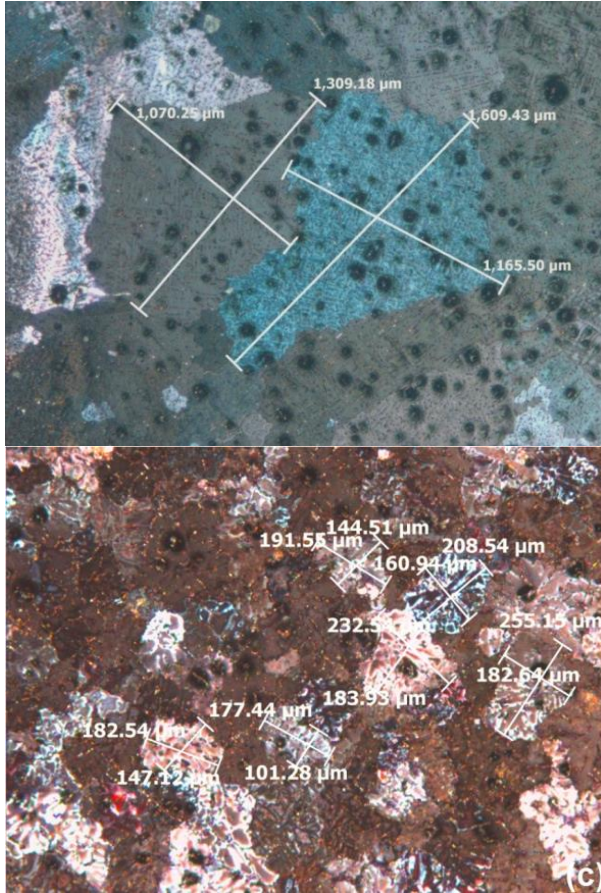
Şekil 3. a) SOLIDCast programında makro boşluk koordinatlarının belirlenmesi ve b) Katı model programında çizilen boşluk geometrisi

SOLIDCast programında boşluk koordinatları belirlendikten sonra katı model programında boşluk

koordinatları yardımı ile boşluğun bire bir katı modeli oluşturulmuştur (Şekil 3.b). Katı model programının “kütle özellikleri” aracılığı ile boşluğun hacmi belirlenmiştir. Gerçek döküm şartlarında elde edilen boşluk hacmi simülasyon programında elde edilene kadar CFS değeri değiştirilmiştir. Gerçek döküm şartlarında elde edilen boşluk değeri simülasyonda elde edildiğinde o döküm şartları için CFS değeri kabul edilmiş ve belirlenmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Tane inceltme işlemi uygulanmamış ve % 0,03 Ti ilave edilmiş Al-%4,3Cu alaşımının tane yapısı Şekil 4’de verilmiştir.

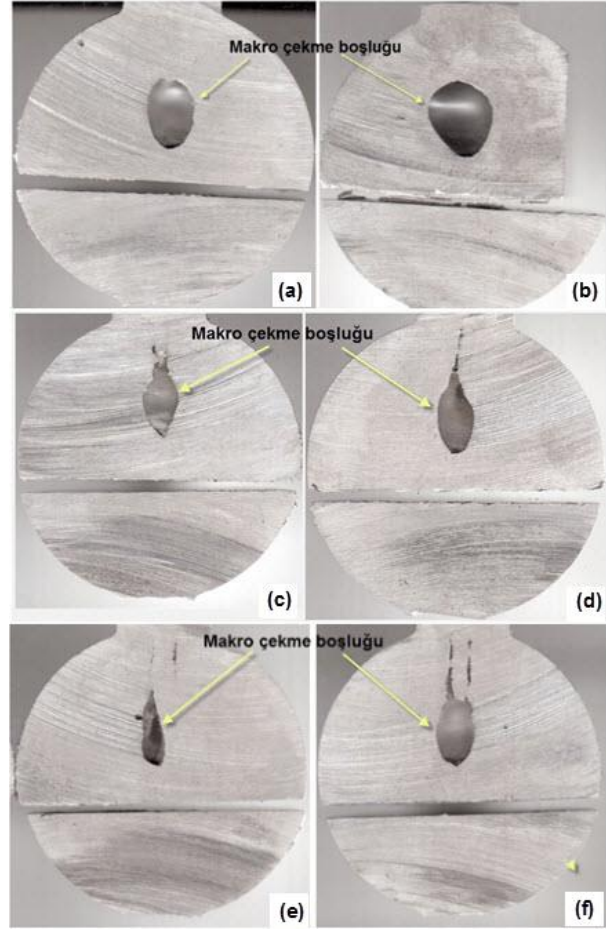


Şekil 4. a) Tane inceltmesiz ve b) % 0,03 Ti ilave edilmiş Al-%4,3Cu alaşımının tane görüntüleri

Tane inceltme işlemi uygulanmamış Al-%4,3Cu alaşımının ortalama tane boyutu 1142 µm, tane inceltme işlemi uygulanmış Al-%4,3Cu alaşımının ortalama tane boyutu 177 µm olarak hesaplanmıştır. Literatürde [10, 12] tane inceltme sonrası kabul edilebilir tane boyutunun 220 µm olduğu bildirilmiştir. Al-%4,3Cu alaşımına %0,03 Ti oranlarında yapılan ilave sonucunda tane boyutunun kabul edilebilir seviyenin (220 µm) altında olduğu tespit edilmiş ve tane inceltme işleminin KKO değerine etkisini belirleyebilmek amacıyla bu değerler döküm şartlarında uygulanmıştır.

Tane inceltme işlemi uygulanmış ve tane inceltme işlemi uygulanmamış döküm parçada oluşan

makro çekme boşlukları Şekil 5’de verilmiştir. Şekil 5’den görüldüğü gibi aynı kalıp sıcaklığı için tane inceltme işlemi uygulanmış döküm parçalarda daha küçük makro çekme boşluğu oluşmuştur.



Şekil 5. Döküm parçada meydana gelen makro çekme boşluklarının görünümü; a) 100°C kalıp sıcaklığında tane inceltme işlemi uygulanmış, b) 100°C kalıp sıcaklığında tane inceltme işlemi uygulanmamış, c) 155°C kalıp sıcaklığında tane inceltme işlemi uygulanmış, d) 155°C kalıp sıcaklığında tane inceltme işlemi uygulanmamış, e) 210°C kalıp sıcaklığında tane inceltme işlemi uygulanmış ve f) 210°C kalıp sıcaklığında tane inceltme işlemi uygulanmamış.

Çizelge 3’de görüldüğü üzere belirlenen boşluk hacimleri incelendiğinde tane inceltmeli ve tane inceltmesiz durumda kalıp sıcaklığının artmasıyla hacimlerde azalma meydana gelmiştir. Aynı zamanda üç farklı kalıp sıcaklığında metalin yoğunluğu tane inceltmeli durumda 2,80 gr/cm³ ve tane inceltmesiz durumda 2,79 gr/cm³ olarak ölçülmüştür.

155°C ve 210°C kalıp sıcaklıklarından farklı olarak 100°C kalıp sıcaklığında oluşan makro çekme boşlukları üst bölgeden (besleyici boğazı) bağımsız ve küresel şekilde oluşmuştur (Şekil 5.a ve b). 155°C ve 210°C kalıp sıcaklıklarının her ikisinde de makro çekme boşlukları besleyici boğazına doğru yaklaşmış ve besleyici boğazının hemen altına kadar gittikçe daralan geometride meydana gelmiştir.

Çizelge 3. Döküm parça çekme boşluğu hacimleri ve yoğunlukları

Kalıp Sıcaklığı (°C)	Tane inceltmesiz			Tane inceltmeli		
	Parça Yoğunluğu (gr/cm ³)	Boşluk hacmi		Parça Yoğunluğu (gr/cm ³)	Boşluk hacmi	
		cm ³	%		cm ³	%
100	2,79	2,30	2	2,80	1,70	1,5
155	2,79	1,46	1,3	2,80	1,25	1,1
210	2,79	1,16	1	2,80	0,94	0,8

Bu sonuçlar çok açık olarak 100°C kalıp sıcaklığında besleyici boğazının çok erken katılaştığını göstermektedir. Besleyici boğazı erken katılaştığı için döküm parça besleyiciden çok fazla besleme metali ile beslenememiştir. Ayrıca döküm kalıbı çelik olduğu için (kum kalıplara göre çok daha yüksek ısı iletkenliğe sahiptir) katılaştırmanın kalıp duvarından başlayarak merkeze doğru ilerlediği düşünülmektedir. Bu durumda döküm parçanın dış yüzeyinden başlayan kalıtlaşma merkeze doğru yönlendirilerek tamamlanmıştır. Çekme boşlukları, basit geometriler için en son katılaştırmanın olduğu yerde meydana gelir [13]. 100°C kalıp sıcaklığında makro çekme boşluklarının küresel şekilde oluşum nedeninin besleyici boğazının katılaştırmanın çok erken safhalarında katılaştırmasına ve kalıbın ısı iletkenliğinin çok yüksek olmasına bağlı olduğu düşünülmektedir.

155°C ve 210°C kalıp sıcaklıklarında besleyici boğazından 100°C sıcaklığa sahip kalıba göre daha uzun süre besleme metalinin parçaya doğru aktığı söylenebilir (Şekil 5.c-f). Ayrıca Çizelge 3'de verilen boşluk hacimlerinden de görüleceği üzere bu kalıp sıcaklıklarında elde edilen hacim değerleri de 100°C sıcaklığa sahip kalıptan elde edilen hacim değerlerinden oldukça düşüktür.

Literatürde tane inceltmenin besleme üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmalarda tane inceltme ile beslenebilirliğin arttığı belirlenmiştir[6,8]. Kim [6] doktora çalışmasında geniş katılaştırma aralığına sahip Al-8Si ve Al-20Cu alaşımları için tane inceltme işlemi sonucunda dendritler arası boşluk hacminin 1/3 oranında azaldığını tespit etmiştir. Bu da tane inceltme ile dendritlerin küçüldüğünü ve dendritler arasında kalan sıvının tane inceltmesiz duruma göre daha çok beslendiğini göstermektedir.

Bu çalışmada kullanılan döküm simülasyon programı üç boyutlu döküm kalıp geometrisini kübik meşer yardımı ile verilen sınır şartlarına göre sonlu farklar yöntemi ile çözümleyen bir yazılım olan SOLIDCast'dır. Yazılım soğuma modellemesini ısı ve kütle transfer formülleri yardımı ile gerçekleştirmektedir. Bu çalışmada kullanılan Al-%4,3Cu ve döküm geometrisi için Kritik Katı Oranı, KKO (Critical Fraction of Solid, CFS) dışındaki tüm başlangıç ve sınır şartları (Tablo 2) her bir döküm için sabit alınmıştır.

Simülasyon sonuçları üzerinden koordinat belirleme ve katı modelleme yöntemleriyle yapılan ölçümler neticesinde elde edilen boşluk hacmi değerleri ile gerçek dökümler üzerinden Arşimet prensibi ile ölçülmüş boşluk hacmi değerleri eşleştirilmiştir. Bu işlem yapılırken tane inceltmeli ve tane inceltmesiz dökümler için KKO değeri %30'dan başlanarak %1'lik artışlarla %65 değerine kadar değişen oranlarda girilmiştir.

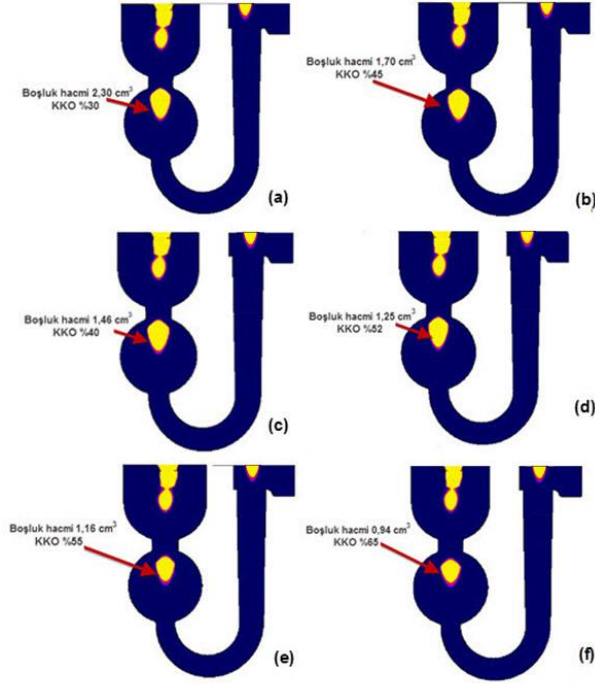
Eşleştirmeler sonucunda kalıp sıcaklığına (100°C, 155°C ve 210°C) bağlı olarak KKO değerleri ve boşluk hacimleri Çizelge 4'de verilmiştir.

Simülasyon sonucunda KKO değerine bağlı olarak oluşan boşluk görüntüleri Şekil 6'de verilmiştir. Al-%4,3Cu alaşımında tane inceltme işlemi uygulanmış dökümlerde tane inceltme işlemi uygulanmamış dökümlere göre kaplamasız çelik kalıplar için 100°C, 155°C ve 210°C kalıp sıcaklıklarında sırası ile %15, %12 ve %10 daha yüksek katı oranlarında besleme sağlanabildiğini göstermiştir.

Çizelge 4. Kalıp sıcaklığına ve tane inceltme işlemine bağlı olarak KKO değerinin değişimi

Kalıp Sıcaklığı (°C)	Tane inceltmesiz		Tane inceltmeli	
	Boşluk hacmi (cm ³)	KKO (%)	Boşluk hacmi (cm ³)	KKO (%)
100	2,30	30	1,70	45
155	1,46	40	1,25	52
210	1,16	55	0,94	65

Yurtseven [14] ve Karayazı [15] kum kalıba döküm şartlarında sırasıyla Etial-177 ve Etial-110 alaşımları için KKO değeri üzerine çalışmışlardır. Etial-177 için KKO değeri tane inceltmesiz durumda yaklaşık %35, tane inceltmeli durumda ise yaklaşık %58, Etial-110 için ise tane inceltmesiz durumda yaklaşık %33, tane inceltmeli durumda ise yaklaşık %57 olarak belirlenmişlerdir. Kum kalıba dökümlerde kalıp malzemesinin düşük ısı iletkenliğe sahip olmasından dolayı katılaştırma daha yavaş olmaktadır. Buna karşın metalik kalıpların ısı iletkenlikleri daha yüksek olduğu için katılaştırma daha hızlı gerçekleşmektedir. Hızlı katılaştırma çekirdeklenme için daha büyük itici güç sağlar [16,17]. Dolayısıyla metalik kalıplarda alaşıma tane inceltme işlemi uygulanmasa bile kum döküme göre daha küçük taneler meydana gelir. Bu da dendritler



Şekil 6.SOLIDCast programında değişik CFS değerlerinde elde edilen a) ve b) 100°C kalıp sıcaklığında çekme boşluğu hacmi, c ve d) 155°C kalıp sıcaklığında çekme boşluğu hacmi ve e) ve f) 210°C kalıp sıcaklığında çekme boşluğu hacmi

arası besleme bölgesindeki sıvı akışını kolaylaştırır veya daha kısa dendritik örgü oluşmasından dolayı dendritler arasında sıvı akış mesafesini kısaltır. Diğer araştırmacılar [14,15] tane inceltmeli ve tane inceltmesiz durumda yaklaşık olarak %24'lük bir CFS farkı belirlemişlerdir. Bu çalışmada ise yaklaşık olarak CFS farkı %12'dir. Bunun sebebinin kalıbın ısı iletim özelliklerinden ve hızlı katılaşma sonucu daha küçük tanelerin oluşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

- Tane inceltme işlemi uygulanmamış Al-%4,3Cu alaşımının tane boyutu 1142 μm , tane inceltme işlemi uygulanmış (%0,03Ti) Al-%4,3Cu alaşımının tane boyutu 177 μm olarak hesaplanmıştır. Al-%4,3Cu alaşımına %0,03 Ti oranlarında yapılan ilave sonucunda tane boyutunun kabul edilebilir seviyenin (220 μm) altında olduğu tespit edilmiştir.
- Üç farklı kalıp sıcaklığında (100°C, 155°C ve 210°C) metalin yoğunluğu tane inceltmeli durumda 2,80 gr/cm^3 ve tane inceltmesiz durumda 2,79 gr/cm^3 olarak ölçülmüştür.
- Üç farklı kalıp sıcaklığında (100°C, 155°C ve 210°C) parçada oluşan makro çekme boşluklarının yüzde miktarları tane inceltmeli durumda sırası ile %1,5, %1,1 ve %0,8 ve tane inceltmesiz durumda %2, %1,46 ve %1 olarak ölçülmüştür.
- Al-%4,3Cu alaşımında tane inceltme işlemi uygulanmış dökümlerde 100°C, 155°C ve 210°C kalıp sıcaklıklarında KKO değerleri

sırası ile %45, %52 ve %65 ve tane inceltme işlemi uygulanmamış 100°C, 155°C ve 210°C kalıp sıcaklıkları için ise KKO değerleri sırasıyla %30, %40 ve %55 olarak belirlenmiştir.

- Al-%4,3Cu alaşımında tane inceltme işlemi yapılmış dökümlerde tane inceltme işlemi uygulanmamış dökümlere göre kaplamasız çelik kalıplarda 100°C, 155°C ve 210°C kalıp sıcaklıkları için sırasıyla %15, %12 ve %10 daha yüksek katı oranlarında besleme sağlanabildiğini göstermiştir.

5. TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmaya maddi destek sağlayan Gazi Üniversitesine (BAP Proje No:07/2010-34) ve Tubitak'a (Proje No: 112M422) teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Kayıkcı, R., "Comparison of Classical and Computer Aided Engineering Techniques Used in Casting a Large Steel Part", J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ., 23(2): 257-265 (2008).
2. Hsu, F. Y., Jolly, M. R. and Campbell, J., "Vortex-gate design for gravity casting", International Journal of Cast Metals Research, 19(1): 38-46 (2006).
3. ASM Handbook, Vol 15 (Casting), Edited by Stefanescu, D.M., ASM International, Metals Park, OH,(1989).
4. Dash, M. and Makhlof, M., "Effect of key alloying elements on the feeding characteristics of aluminium-silicon casting alloys", Journal of Light Metals; 1: 251-265 (2001).
5. Campbell, J., "Castings", *Heinemann*, Great Britain (1999).
6. Kim, J., "Effect of Solidification Mechanism on The Porosity Formation in Aluminum-Silicon Alloys", PhD, University of Wisconsin-Madison, 63-109 (1996).
7. Kim, T. G. And Lee, Z. H., "Time-varying heat transfer coefficients between tube-shaped casting and metal mold", Int. J. Heat Mass Transfer, 40(15): 3513-3525 (1997).
8. Chai, G., Backerud, L., Rolland, L. and Arnberg, L., "Dendrite coherency during equiaxed solidification in binary aluminium alloys", Metallurgica and Materials Transactions A, (4): 965-970 (1995).
9. Kayıkcı R., Akar N., "SOLIDcast ile Bilgisayar destekli döküm tasarımı", DTS, Sakarya, 31-35 (2010).
10. Murty, B. S., Kori, S. A. and Chakraborty, M., "Grain refinement of aluminium and its alloys by heterogeneous nucleation and alloying", International Materials Reviews, 47(1): 3-29 (2002).
11. Kayıkcı, R., "Metal-Mould Contact and Heat Transfer During Casting Solidification", PhD, University of Manchester, UMIST (1999).
12. Murty, B. S., Kori, S. A., Venkateswarlu, K., Bhat, R. R., Chakraborty, M., "Manufacture of Al-Ti-B master alloys by the reaction of complex halide salts with molten aluminium", Journal of Materials Process Technology, 89-90:152-158 (1999).
13. Ravi, B., "Metal Casting: Computer aided design and analysis", PHI, India (2005)

14. Karayazı, A., "Etial 110 alaşımının dökümünde makro ve mikro porozite oluşumunun modellenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 72-83 (2009).
15. Yurtseven, Y., "Etial177 Alaşımının Dökümünde Makro ve Mikro Porozite Oluşumunun Modellenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 67-74 (2009).
16. Kurz, W., and Fisher, D. J., "Fundamentals of solidification", Trans Tech Publications, Third edition, Switzerland-Germany-UK-USA3 (1989).
17. Porter. D. A., and Easterling, K. E., "Phase transformations in metals and alloys", Chapman and Hall, UK(1990).