



Araştırma Makalesi/Research Article

## A384 Alüminyum alaşımının basınçlı dökümde farklı kalıp tasarımı için döküm simülasyonu

Emre Acar <sup>1</sup>, Murat Koru <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı , 32200, Isparta

<sup>2</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 32200, Isparta

### Anahtar Kelimeler

Basınçlı döküm  
Sonlu Elemanlar Metodu  
(FEM)  
Flow 3D  
A384 Alüminyum Alaşımı,  
Sonlu Farklar Metodu (FDM)

### Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 27.02.2024  
Kabul Tarihi: 23.10.2024

**Öz:** Sonlu farklar metodu (FDM) ve sonlu elemanlar yöntemi (FEM) kullanılarak bilgisayar programı yardımıyla döküm prosesi benzer şartları oluşturulmaktadır. Döküm simülasyonu yöntemi ile döküm prosesinde karşılaşılabilecek muhtemel sonuçlar hesaplanarak simülasyon ortamında görsel olarak gösterilmektedir. Piyasada bu amaçlar için geliştirilmiş çeşitli programlar mevcuttur. Bu çalışmada Flow-3D simülasyon programı kullanılmıştır. A384 Al. alaşımının yüksek basınçlı döküm prosesinde çekme numunesi için optimum kalıp tasarımının belirlenmesi amaçlanmıştır. Çekme numunesinin halihazırda bulunan kalıp tasarımı ile yapılan simülasyonlar ile; dolun süresi(s) , katılma süresi(s), max dolun hızı(m/s) ve micro-porozite(%) sonuçları incelenmiştir. Yapılan bu inceleme sonucunda micro-porozite(%) sonuçlarının düşürülmesine yönelik olarak 5 farklı yolluk tasarımı için Kalıp Sıcaklığı 413 (K), Döküm Sıcaklığı 900 (K), İkinci Faz Hızı 1 (m/s) seçilerek belirlenen simülasyon giriş parametreleri ile simülasyon işlemleri yapılmıştır. Son olarak elde edilen simülasyon sonuçları değerlendirilerek optimum ürün elde edilebilecek kalıp tasarımı belirtilmiştir.

### Atıf için/To Cite:

Acar, E. Koru, M. A384 Alüminyum alaşımının basınçlı dökümde farklı kalıp tasarımı için döküm simülasyonu. Ululararasi Teknolojik Bilimler Dergisi, 16(1), 11-19, 2024.

## Casting simulation for different mold design in pressure casting of A384 Aluminum alloy

### Keywords

Die casting  
Finite Element Method (FEM)  
Flow 3D  
A384 Aluminum Alloy,  
Finite Difference Method  
(FDM)

### Article history:

Received: 27.02.2024  
Accepted: 23.10.2024

**Abstract:** Finite Difference Method (FDM) and Finite Element Method (FEM) are used to create similar conditions of the casting process using a computer program. The casting simulation method calculates the possible results of the casting process and displays them visually in the simulation environment. There are several programs developed for this purpose on the market. The Flow-3D simulation program was used in this study. The aim is to determine the optimum mold design for the tensile test specimen in the high-pressure casting process of A384 Al alloy. The results of filling time (s), solidification time (s), maximum filling speed (m/s) and micro-porosity (%) were examined with the simulations made with the existing mold design of the drawing sample. As a result of this investigation, simulation processes were carried out with the simulation input parameters determined by selecting mold temperature 413 (K), casting temperature 900 (K), second phase speed 1 (m/s) for 5 different runner designs in order to reduce the microporosity (%) results. Finally, the simulation results obtained were evaluated and the mold design that can obtain the optimum product was determined.

## 1. Giriş

Teknolojinin her geçen gün ilerlediği günümüzde imalat sektörü de bundan payını almaktadır. Basınçlı döküm ile imalat yapılan sektörlerde enjeksiyon kalıbının üretim maliyetinin yüksek olduğu bilinmektedir. Geleneksel döküm sürecinde tasarım aşamasında optimum

koşulların sağlanması mümkün olmamakta iken günümüz teknolojisinde bilgisayar ortamında yapılan tasarım ve simülasyon programları sayesinde optimum koşulların sağlanması tasarım aşamasında oluşturulabilmektedir [1-2]. Simülasyon çalışmalarına örnek olarak literatürde Jin ve Kang tarafından yapılan bir çalışmada Ansys Flatron-CFD kullanılarak döküm

\* İlgili yazar/Corresponding author: acar.emre.10@gmail.com

prosesinin dolun adımını simüle etmeye çalışmışlardır. Başka bir çalışmada ise yüksek basınçlı döküm yöntemiyle yakıt hücresi plakasının üretimi sırasında hem proses parametrelerinin hem de vakum uygulamasının parçadaki porozite oluşumuna olan etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada A380 alüminyum alaşımı için 923,973,1003 K döküm sıcaklığı ve farklı enjeksiyon hızlarını enjeksiyon parametreleri olarak belirlemişer ve deneysel çalışmanın öncesinde aynı parametrelerle Magma Soft programını kullanarak simülasyon çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Yapmış oldukları simülasyon çalışmalarından alınan sonuçlar ile deneysel çalışmalardan alınan sonuçların paralellik gösterdiğini çalışmalarında ifade etmişlerdir [3-4, 5].



Şekil 1. Genel akış diyagramı [6]

Bu ve benzer durum senaryolarının tasarımını önceden sağlamak üzere günümüzde çeşitli simülasyon programları kullanılmaktadır. Endüstriyel olarak da bu tarz simülasyon programları günümüz imalat sanayisinde günden güne değeri artmaktadır.

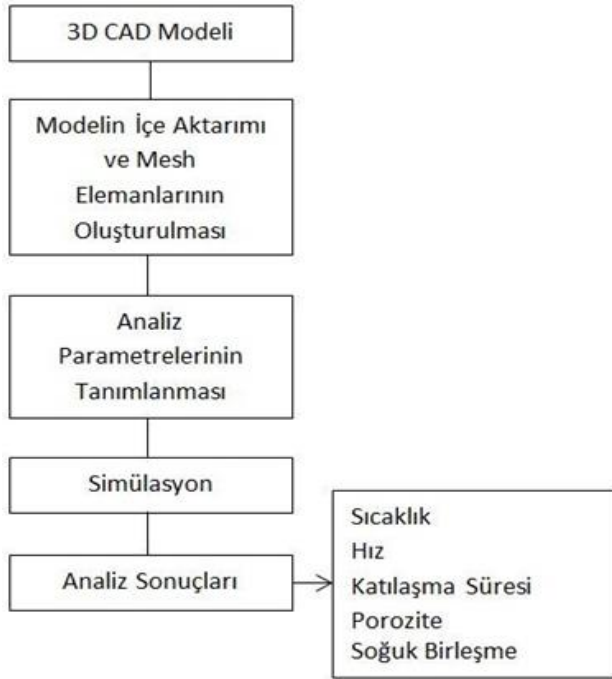
Döküm simülasyonunda ise döküm için bilgisayar yardımıyla bir program tarafından benzer şartlar oluşturularak döküm işlemi simüle edilmektedir. Döküm simülasyon programları hesaplama yaparken sonlu farklar metodu (FDM) ve sonlu elemanlar yöntemini (FEM) kullanmaktadır. Çok sayıda simülasyon programının mevcut olması, farklı ihtiyaçlara uygun çözümler sunmaları açısından oldukça önemli. "Flow-3D", akışkanlar dinamiği simülasyonları için kullanılırken, "ProCast" ve "NovaCast" döküm simülasyonları için öne çıkıyor. "MagmaSoft" döküm işlemlerinin optimize edilmesinde kullanılırken, "Vulcan", "SolidCast" dökümhane süreçlerini simüle etmek için tercih edilir. Şekil 1'de yukarıda bahse konu programlar için genel akış diyagramı görülmektedir.

Döküm simülasyon programları ile döküm esnasında oluşabilecek hataların önceden tespitinin yapılması amaçlanmaktadır. Çünkü basınçlı döküm yönteminde yapılacak küçük hataların üretim kalitesi ve ürün maliyeti açısından negatif sonuçları olabilmektedir. Ülkemizde alüminyum tüketimi Şekil 2'de görüldüğü gibi gün geçtikçe daha fazla artmaktadır. Bu tüketimin temek hammadde girdisinin %93'ü 2021 verileri itibariyle ithalat yoluyla gerçekleştirildiği 2022 yılında ise hammadde girdilerinde düşüş olduğu görülmektedir [7]. Parça kalitesi üzerinde doğrudan etkisi olan birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar arasında kalıp sıcaklıkları, döküm sıcaklıkları, enjeksiyon basıncı, dolun hızları, kalıp tasarımı (örneğin, yolluk ve hava cepleri gibi), ve vakum uygulaması önemli rol oynar [8-11]. Karmaşık yapılar sahip olan ürün imalatında bilhassa kalıp tasarımı iyi bir mühendislik becerisi ve bilgi gerektirmektedir [12-16]. Tüm bu hususlar dikkate alındığında döküm süreci simüle edilerek belirlenen tasarım ve parametreler ile dolun/katılma süreci ve süreleri, son hava, mikro porozite, çekme boşlukları gibi döküm hatalarının tesbiti mümkün olmaktadır. Bu sayede döküm hatalarını henüz tasarım aşamasında görebilmek ve gerekli revizyonların tasarım aşamasındayken yapılması olanağı oluşmaktadır [17-19].



Şekil 2. Türkiye İşlenmemiş Alüminyum Tüketimi [7]

Şekil 3'de bulunan akış diyagramında, döküm simülasyon programlarının uygulama adımları görülmektedir.



Şekil 3. İş akış diyagramı [6]

Döküm simülasyon programı ile program içeriğinde bulunan tüm kalıplar için (kabuk kalıba döküm, kum kalıba döküm, alçak ve yüksek basınçlı döküm vb.) döküm simülasyonu gerçekleştirilebilmektedir.

Bahse konu döküm simülasyon programları ile gerçekleştirilen simülasyonlardan çeşitli veriler elde edilebilmektedir. Bu programların en faydalı ve doğru bir şekilde çalışabilmeleri için veri girişlerinin titizlikle gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Simülasyondan elde edilen verileri aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz;

- Ergimiş metalin dolum esnasındaki hızı ve sıcaklığı,
- Muhtemel soğuk birleşme noktaları,
- Dolum süreleri,
- Muhtemel kalıp aşınma noktaları,
- Ergimiş metalin dolum ve katılma sırasındaki sıcaklık değişimleri,
- Katılma süreleri,
- Dolum sonucu oluşan hava sıkışma noktaları,
- Porozite miktarları,

- Muhtemel çekme boşluğu oluşabilecek noktalar.

Yapılan bu çalışma ile diğer simülasyon çalışmalarından farklı olarak, hali hazırda bulunan bir kalıbın hem optimum döküm parametrelerinin belirlenmesi ve yeni yolluk tasarımı ile mekanik özelliklerin nasıl arttırılabileceği simülasyon yöntemi kullanılarak araştırılmıştır.

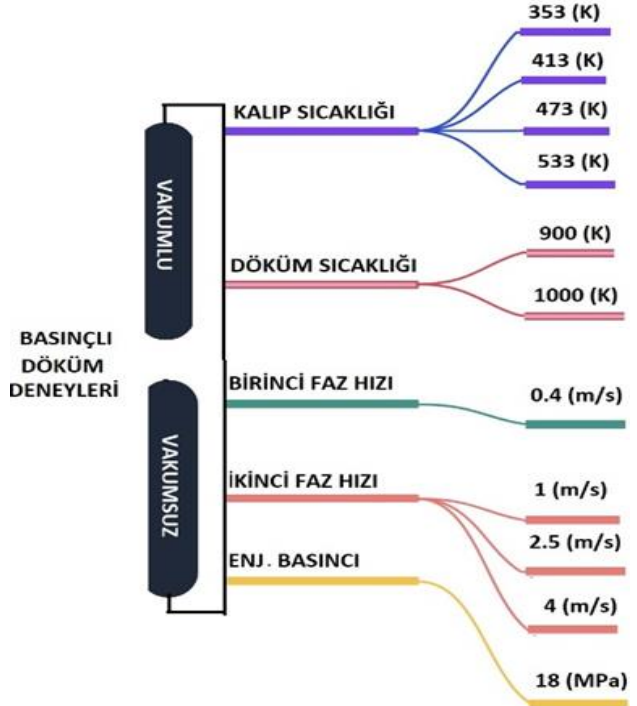
## 2. Materyal ve Metot

Flow-3D simülasyon programı ile dolum, katılma, son hava, soğuk birleşme, kalıp aşınması ve porozite gibi sonuçlar alınabilmektedir. Simülasyon işlemi gerçekleştirildikten ve bu sonuçlar elde edildikten sonra yorumlanması ve buna göre gerek duyulan yerlerde düzeltme yapılarak optimum döküm parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada ise farklı olarak altı farklı yolluk dizaynı yapılmış ve bunun sayesinde doğru yolluk dizaynının ne kadar önemli olduğunun gösterilmesi amaçlanmıştır.

### 2.1. Dolum Simülasyonu

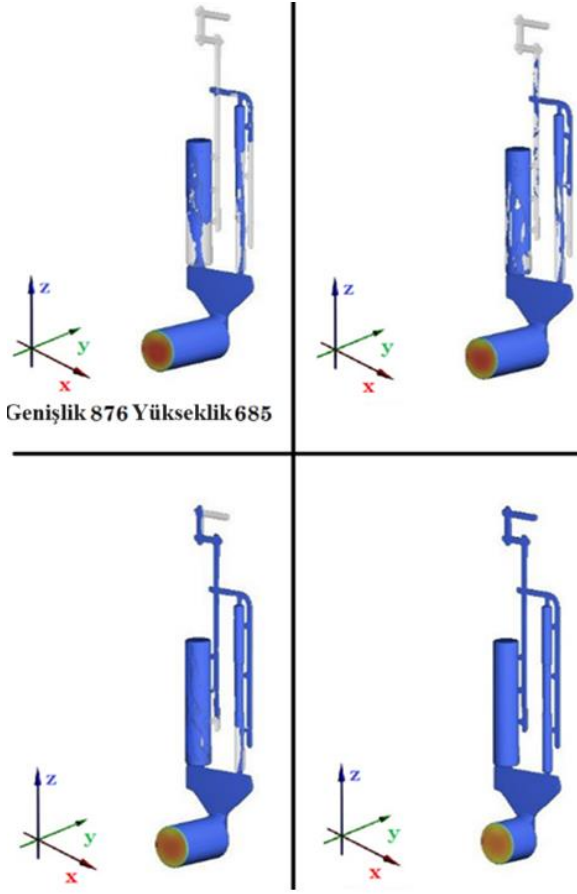
Flow-3D ile zamana bağlı olarak döküm simülasyonu yapılabilmektedir. Simülasyon sonuçları isteğe bağlı olarak veri, resim, video şeklinde alınabilmektedir.

Yapılan çalışmada Flow-3D programı ile halihazırda bulunan kalıp modeli referans alınarak Şekil 4.'de belirtilmiş olan döküm parametreleri kullanılarak toplamda 48 farklı dolum simülasyonu oluşturulmuştur.



Şekil 4. Simülasyon Parametreleri

Şekil 5'de ise halihazırda bulunan kalıp tasarımı üzerinden yapılan dolum simülasyonu sonuçları görülmektedir.



Şekil 5. Dolum Simülasyonu

Flow-3D programı ile yapılan dolum simülasyonlarında daha önce yapılan çalışmalarda dikkate alınarak ikinci fazın başlama noktasını dolum ağzı olarak belirlenmiştir.

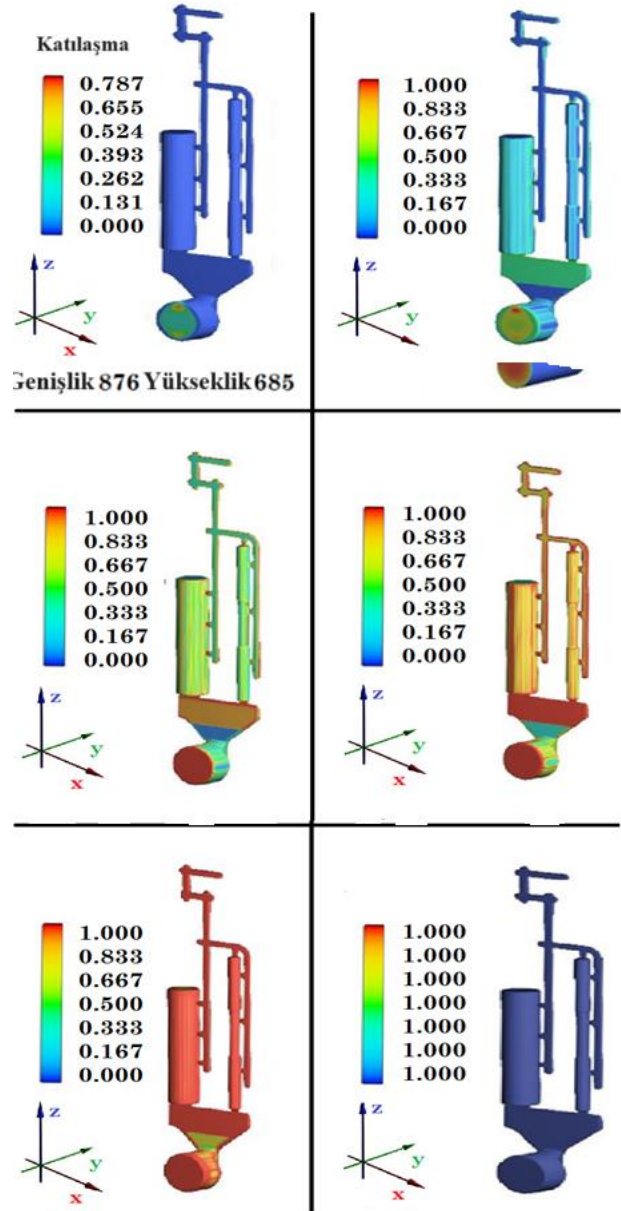
Flow-3D programı ile yapılan dolum simülasyonlarında daha önce yapılan çalışmalarda dikkate alınarak ikinci fazın başlama noktasını dolum ağzı olarak belirlenmiştir[20].

Simülasyon incelendiğinde sıvı metal dolum nozulundan en yüksek hız seviyesine ulaşarak önce kalıbın üst kısmına çarpmakta ve daha sonra türbülans oluşturarak kalıbın diğer kısımlarını doldurmaktadır.

Flow3D programından elde edilen bu sonuçlar literatürde incelendiğinde, Frommer tarafından 1932 yılında önerilen kalıp dolmu teorisi ile uyumlu olduğu görülmektedir. Bu teoriye göre, kalıp dolumu sırasında erimiş sıvı metal, dolum nozulundan en yüksek hız seviyesine ulaşarak önce kalıbın üst kısmına çarpar ve daha sonra türbülans ve girdaplar oluşturarak yukarıdan aşağıya doğru kalıbın diğer kısımlarını doldurur[21-22, 23].

## 2.2. Katılaşma Simülasyonu

Katılaşma simülasyonu, parçanın katılaşma süresini, ilk ve son katılaşan kısımlarını gösteren bir simülasyon sonucudur. Bu simülasyon sonucuna bakılarak, katılaşması gereğinden fazla uzun süren kısımlar belirlenerek bu kısımlara gerekli şekilde soğutucu uygulaması yapılabilir. Böylelikle döküm sürecinin toplam süresi kısaltılarak zamandan tasarruf edilmesinin yanı sıra, doğru bir katılaşma sağlanarak yüksek kaliteli parçalar üretilmesi sağlanabilir.

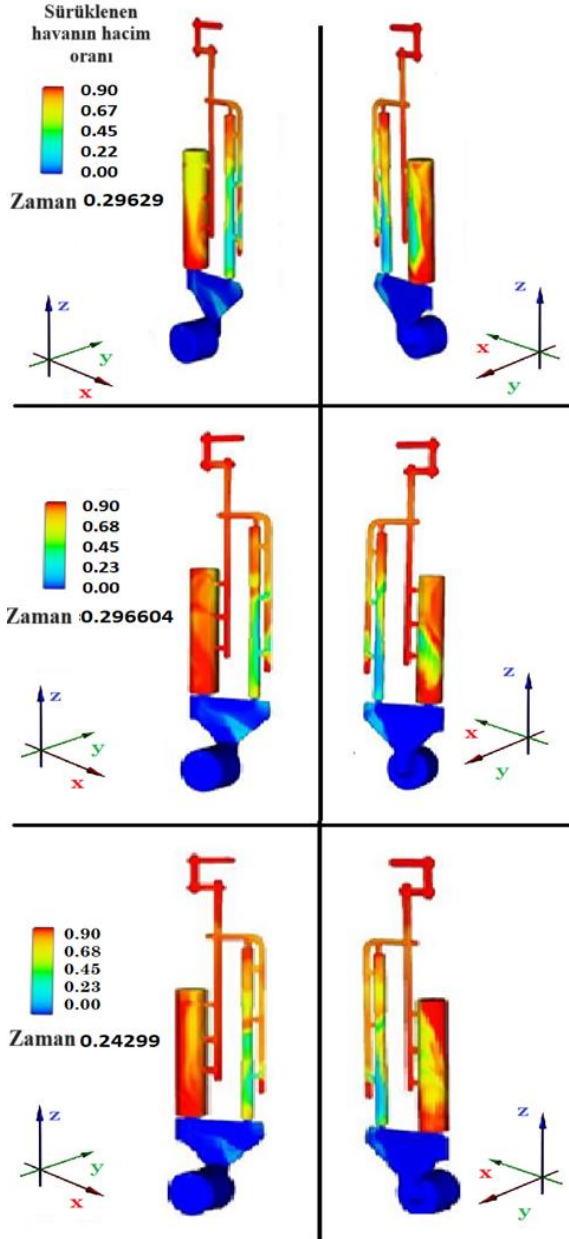


Şekil 6. Katılaşma Simülasyonu

Şekil 6'da birinci yolluk tasarımı için vakumsuz katılaşma simülasyonu sonuçları görülmektedir.

### 2.3. Son Hava Simülasyonu

Son hava simülasyonu, dolum anında kalıp boşluğunda bulunan havanın dolum sonucunda parçanın hangi bölgelerinde sıkışacağını gösteren simülasyondur. Böylelikle gerekli önlemler alınarak modele ek hava cepleri eklenebilir ve sıkışan hava sonucu oluşacak porozite ve hava boşluklarının önüne geçilmiş olunur. Şekil 7’de son hava simülasyonu sonuçları görülmektedir.



Şekil 7. Son Hava Simülasyonu

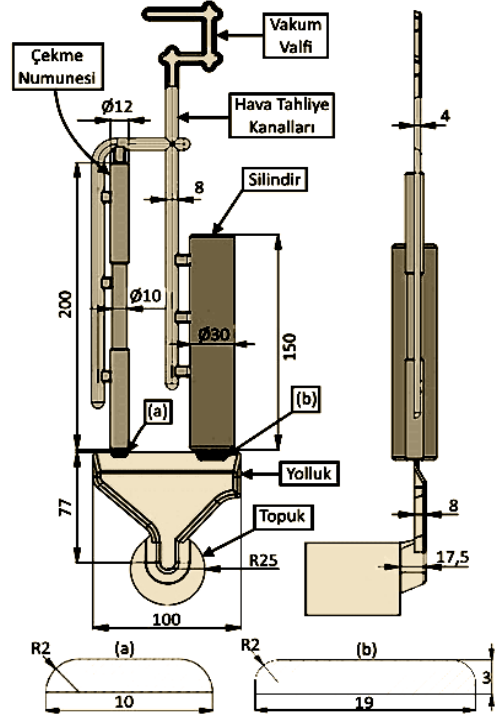
### 3. Bulgular

Yapılan simülasyon sonuçları bir bütün olarak incelendiğinde elde edilen sonuçlar Tablo 1 de

gösterildiği şekildedir. Basınç 18(MPa), kalıp sıcaklığı olarak 353,413,473 ve 533 (K), döküm sıcaklığı olarak 900 ve 1000(K) ve son olarak giriş parametrelerimizden olan ikinci faz hızları olarak 1, 2.5 ve 4 (m/s) seçilerek simülasyon işlemleri Model 1.1 için başlatılmıştır. Sonuç parametreleri olarak dolum süreleri, katılma süreleri, dolum ağızında oluşan max dolum hızı ve mikro-porozite sonuçları belirlenmiştir. Yapılan çalışma açısından en önemli parametrenin mikro-porozite sonuçları olduğu ve yolluk tasarımının bu sonuçlara olumlu şekilde etki edecek şekilde yapılması gerektiği bilinmelidir.

#### 3.1. Farklı Yolluk Tasarımları

Hali hazırdaki Model 1 isimli kalıp yolluk tasarımı (Şekil 8.) ile A384 alüminyum malzemesi kullanılarak yapılan simülasyonlara alternatif olması açısından toplamda beş farklı yolluk tasarımı yapılarak sabit bir kalıp sıcaklığı, sabit bir döküm sıcaklığı, sabit bir basınç alınarak ikinci faz hızının da tek bir değerde olduğu simülasyon çalışması yapılarak sonuçlar incelenmiştir. Tablo 2’de Döküm Sıcaklığı 900 (K), Kalıp Sıcaklığı 413 (K), İkinci Faz Hızı 1 (m/s) seçilerek belirlenen simülasyon giriş parametreleri ile model numaraları verilen farklı yolluk tasarımları için yapılan sonuçlar verilmektedir.



Şekil 8. Model 1 Kalıp Yolluk Tasarımı

Tablo 1. Model 1 İçin Yapılan Simülasyon Parametre ve Sonuçları

Basınç (Mpa)		18								
Döküm Sıcaklığı (K)		900				1000				
Kalıp Sıcaklığı (K)		353	413	473	533	353	413	473	533	
<b>Dolum Süreleri (s)</b>										
İkinci Faz Hızı (m/s)	1	Vakumlu	0.294	0.294	0.295	0.294	0.295	0.295	0.295	0.295
		Vakumsuz	0.296	0.296	0.295	0.295	0.296	0.296	0.295	0.294
	2.5	Vakumlu	0.249	0.241	0.249	0.249	0.25	0.249	0.25	0.25
		Vakumsuz	0.244	0.243	0.243	0.243	0.252	0.243	0.242	0.242
	4	Vakumlu	0.238	0.229	0.238	0.238	0.238	0.238	0.238	0.238
		Vakumsuz	0.231	0.231	0.231	0.23	0.24	0.23	0.23	0.23
<b>Katılma Süreleri (s)</b>										
İkinci Faz Hızı (m/s)	1	Vakumlu	8.35	9.86	11.98	15.31	9.67	11.48	14	17.97
		Vakumsuz	4.39	5.27	6.4	7.94	8	9.83	12.26	15.93
	2.5	Vakumlu	8.28	9.78	11.88	15.22	9.61	11.38	13.97	17.9
		Vakumsuz	4.77	5.65	6.72	10.2	4.61	10.22	12.9	16.44
	4	Vakumlu	8.31	9.74	11.90	15.22	9.57	11.34	13.94	17.89
		Vakumsuz	4.89	5.76	8.12	11.79	8.63	10.38	12.91	16.58
<b>Max Dolum Hızı (m/s)</b>										
İkinci Faz Hızı (m/s)	1	Vakumlu	54.1	49.1	48.7	51.4	47.7	48	48.6	49.3
		Vakumsuz	61.9	50.9	46.5	53.1	55.9	47.8	48.7	63.3
	2.5	Vakumlu	129.1	124.9	127.8	126.9	127.2	123.6	133.2	125.2
		Vakumsuz	144.3	145.8	127.8	130.7	121.2	123.6	127.5	129.3
	4	Vakumlu	210.9	207	202.6	202.9	201.5	208.3	205	215.4
		Vakumsuz	251.7	244.4	248.3	208.3	232.1	216.4	208.2	214.2
<b>Micro-Porozite (%)</b>										
İkinci Faz Hızı (m/s)	1	Vakumlu	1.14	0.92	0.75	0.73	0.91	0.78	0.73	0.7
		Vakumsuz	1.26	1.15	0.96	0.81	0.78	0.76	0.76	0.71
	2.5	Vakumlu	1.29	0.9	0.81	0.7	0.84	0.75	0.77	0.74
		Vakumsuz	0.81	0.83	0.75	0.68	1.2	0.81	0.77	0.71
	4	Vakumlu	1.02	0.97	0.76	0.73	0.95	0.75	0.76	0.69
		Vakumsuz	1.15	1.08	0.71	0.89	0.96	0.85	0.79	0.7

Tablo 2. Farklı Yolluk Tasarımı Simülasyon Sonuçları

Basınç (Mpa)		18					
Döküm Sıcaklığı (K)		900					
Kalıp Sıcaklığı (K)		413					
Yolluk Tasarım Modelleri		1	2	3	4	5	6
Dolum Süreleri	Vakumlu	0.294	0.251	0.25	0.25	0.251	0.251
	Vakumsuz	0.296	0.252	0.251	0.251	0.252	0.25
Katılma Süreleri	Vakumlu	9.86	9.76	9.74	9.74	9.7	9.75
	Vakumsuz	5.27	9.75	9.77	9.73	9.77	9.7
Max Dolum Hızı	Vakumlu	49.1	30.6	36.6	39.3	31.3	41.6
	Vakumsuz	50.9	36.7	33.3	34.2	30.2	37.9
Micro-Porozite	Vakumlu	0.92	0.9	0.81	0.85	0.85	0.9
	Vakumsuz	1.15	0.84	0.93	0.87	0.9	0.89

Tablo 2’de Döküm Sıcaklığı 900 (K), Kalıp Sıcaklığı 413 (K), İkinci Faz Hızı 1 (m/s) seçilerek belirlenen simülasyon giriş parametreleri ile model numaraları verilen farklı yolluk tasarımları için yapılan sonuçlar verilmektedir.

Simülasyon sonuçları dolun ve katılşma süreleri açısından kayda değer bir değışiklik göstermemektedir. Literatür incelendiğinde; yapılan yolluk ve hava tahliye kanalları revizyon çalışmaları tüm tasarımlarımız için kabul edilebilir değerlerdedir. [4-5,15-16, 24]

Çalışmamız açısından en önemli faktörün mikro-porozite olması sebebiyle yapılan farklı yolluk sistemlerinin mikro-poroziteye etkisi incelemek maksadıyla katılşma sonrası modellerin görselleri Flow 3D ‘den alınmıştır.

Literatürde farklı basınçlı döküm parametrelerinde gerçekleştirilen çalışmalarda enjeksiyon ve vakum uygulamasına bağı olarak porozite oranları % 1-11 arasında olduğu tespit edilmiştir.[4-5, 25]

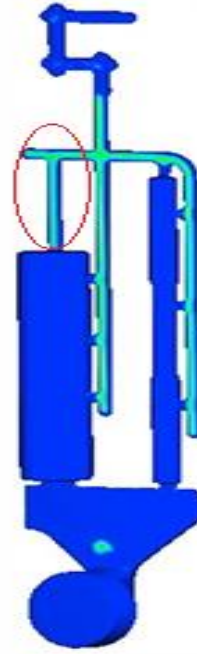
Yapılan çalışma ile farklı kalıp tasarımları ile üretimi yapılan malzemenin mekanik özelliklerine etkisi incelenmiş ve porozitenin % 1 ‘in altında değerler ile optimum parça imalatı için kalıp tasarımda yapılabilecek revizyonlar incelenmiştir.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

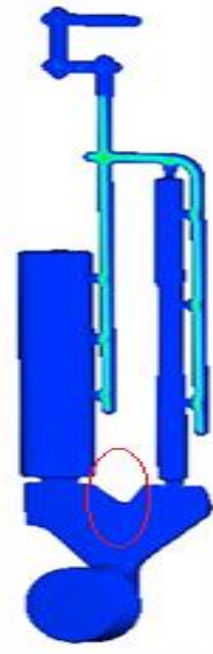
Yapılan simülasyon sonuçları incelendiğinde halihazırda bulunan kalıp yolluk tasarımının revize edilmesi gerekliliğı görülmektedir. 48 adet farklı parametrelerde yapılan dolun simülasyon sonuçları incelendiğinde sağ ve sol olmak üzere iki kolda dolun yapılmakta olduğu ve bu iki koldaki dolunun aynı oranda oluşmadığı ve bunun sonucu olarak hızlı dolun gerçekleşen taraftan diğer tarafa geri besleme oluştuğı, bununda sonuçları olumsuz yönde etkileyeceğı bilinmektedir.

Halihazırda ki yolluk tasarımında ki sorunların çözümü üzerine yapılan yeni yolluk tasarımları, sabit bir parametre kullanılarak yapılan simülasyonlar ile karşılaştırılmıştır.

Simülasyon sonuçları incelendiğinde mikro-porozitenin vakumlu simülasyon sonucunda en düşük Model 3’te çıktığı vakumsuz simülasyon sonucunda ise Model 2’de en düşük değer gözükmektedir.

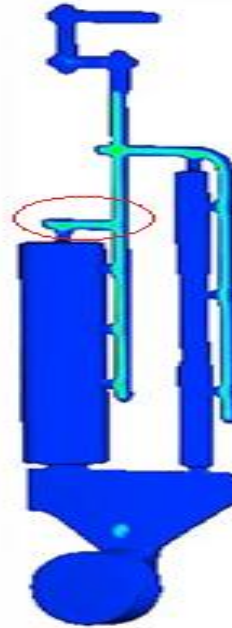


Şekil 9. Model 2

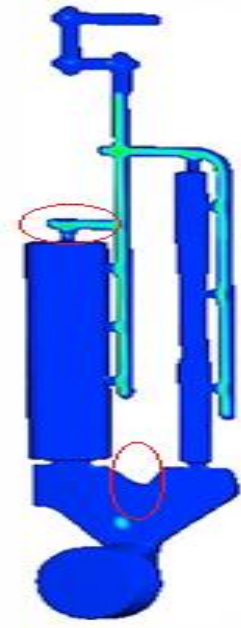


Şekil 10. Model 3

Vakumlu ve vakumsuz olarak tüm sonuçlara bakıldığında Model 2 ve Model 6’da mikro-porozite sonuçları vakumlu uygulamada düşük çıkması beklenirken vakumsuz simülasyon sonuçları düşük olarak ortaya çıkmıştır. Bu iki tasarımda ki ortak noktaya bakıldığında silindir parçası üzerinde eklemeye yapılan hava tahliye kanalları olduğu görülmektedir.



Şekil 11. Model 4

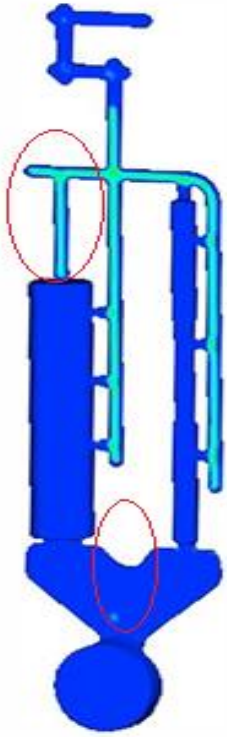


Şekil 12. Model 5

Model 4 ve Model 5 arasında kıyaslama yapıldığında vakumlu simülasyon sonucu aynı olmakla birlikte vakumsuz simülasyon sonucu olarak ise yolluk revizesi yapılan Model 5'de mikro-porozite yüksek çıktığı gözlenmiştir.

Micro-porozitesi en düşük model olan Model 3 incelendiğinde orjinal tasarımımız olan Model 1'den farklı olarak sadece yolluk revizesi bulunmaktadır.

Model 3 tasarımına ek olarak hava tahliye kanalları eklenen Model 5 ve Model 6'da vakumlu simülasyon sonuçları mikro-porozite sonuçlarını Model 1'e göre düşük mikro-porozite değerleri vermekle birlikte Model 3'e göre yüksek mikro-porozite değerleri gözükmemektedir.



Şekil 13. Model 6

Yapılan simülasyon sonuçları kalıp maliyeti, imalat süreci ve incelendiğinde; parça imalat sürecinin vakum uygulaması ile yapılması durumunda Şekil 10. 'da görülen Model 3 referans alınarak gerekli kalıp tasarımının yapılmasının uygun olacağı, imalat sürecinin vakum uygulaması olmadan yapılması durumunda ise Şekil 11. 'de görülen Model 4 referans alınarak gerekli kalıp tasarımının yapılmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir.

#### Kaynaklar

[1] Arda İ., Kayıkcı, R. (2006). Döküm simülasyonu nedir? Ne değildir? Metal Dünyası, 154, 144-148.

- [2] Kim, E.S., Lee, K.H., Moon, Y.H., (2000) A feasibility study of the partial squeeze and vacuum die casting process. Journal of Materials Processing Technology. 105, 42-48.
- [3] Aksoylu, B., Ensari, M.C. (2005). Basınçlı (Enjeksiyon) dökümde vakum uygulaması. Metal Dünyası, 148, 143-147.
- [4] Jin, C.K., Kang, C.G. (2011). Fabrication process analysis and experimental verification for aluminum bipolar plates in fuel cells by vacuum die-casting. Journal of Power Source, 196, 8241-8249.
- [5] Jin, C.K., Kang, C.G. (2012). Fabrication by vacuum die casting and simulation of aluminum bipolar plates with micro-channels on both sides for proton exchange membrane (PEM) fuel cells. International Journal of Hydrogen Energy. 32, 1661-1676.
- [6] Marques, M.J. (2006). CAE Techniques for casting optimization. Instituto de Engenharia Mecânica e Gestao Industrial.
- [7] Anonim, 2023. TALSAD Dünyada ve Türkiyede Alüminyum Sektör Raporu 2022 -Özet DİE yayını, 15s., Ankara.
- [8] Imwinkelried, T., Homberger, H. (2001). Mould fill simulation to improve the quality of a component. Magnesium Industry, 39-43.
- [9] Çolak, M., Kayıkcı, R. (2005). Döküm simülasyon programları üzerine bir değerlendirme. Metal Dünyası, 189, 2-4.
- [10] Arda, İ., Kayıkcı, R. (2006). Döküm simülasyonu nedir? Ne değildir? Metal Dünyası, 154, 144-148.
- [11] Savaş, Ö., Kayıkcı, R., Cüceloğlu, E. (2005). Alüminyum-Silisyum alaşımlarının dökümünde mikro porozite probleminin incelenmesi. Metal Dünyası, 144, 119-123.
- [12] Boydak, Ö., (2007). An Experimental and a numerical investigation of a high pressure die casting aluminium alloy. Boğaziçi Ü., Graduate program in mechanical engineering, Degree of Master, 121 s., İstanbul.
- [13] Gözen A., (2007). Basınçlı döküm kalıplarında yolluk sistemlerinin tasarımı ve simülasyonunun incelenmesi. Yıldız teknik Üniversitesi, Fen bilimleri enstitüsü, makine müh. Anabilim dalı, 107 s., İstanbul.
- [14] Uludağ, A., (2007) Basınçlı döküm yönteminde kalıp sistem tasarımı ve simülasyon analizi, Yıldız teknik Üniversitesi, Fen bilimleri enstitüsü, makine müh. Anabilim dalı, 91 s., İstanbul.
- [15] Seo, P.K., Kim, D.U., Kang, C.G., 2007a. The effect of the gate shape on the micro structural characteristic of the grain size of Al-Si alloy in the semi-solid die casting process. Materials Science and Engineering, A445-446, 20-30.
- [16] Seo, P.K., Kim, H.C., Kang, C.G., 2007b. Numerical integration design process to development of suspension parts by semi-solid die casting process.



- Journal of Materials Processing Technology, 183, 18-32.
- [17] Yan, H., Zhuang, W., Hu, Y., Zhang, Q., Jin, H. (2007). Numerical simulation of AZ91D alloy automobile plug in pressure die casting process. Journal of Materials Processing Technology, 187-188, 349-353.
- [18] Flender, E., Hartmann, G. (2008). Modeling and simulation in high pressure die casting. Metalworld, 10-17.
- [19] Yüksel, S., Göloğlu C. (2009). Metal enjeksiyon kalıplamada yolluk tasarımı sistematığı. 5. Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük Üniversitesi, Karabük.
- [20] Koru, M. & Serçe, O. (2015). Yüksek Basınçlı Döküm Prosesinde Enjeksiyon Parametrelerine Bağlı Olarak Döküm Simülasyon . Cumhuriyet Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi , 36 (5) , 10-23 . DOI: 10.17776/csj.51962
- [21] Çiğdemoğlu, M., 1972. Basınçlı Döküm Cilt 1. Makine Mühendisleri Odası Yayınları No:77, 142s İstanbul.
- [22] Doehler, H.H. (1974). Basınçlı Döküm. Çeviren, Bayvas, M.Ş., Mesleki ve Teknik Öğretim Kitapları, Etüd Ve Programlama Dairesi Yayınları No:80, Erkek Teknik Yüksek Öğretmen Okulu Matbaası, 514s, Ankara.
- [23] Vinarçık, J.E. (2003). High Integrity Die Casting Processes. John Wiley&Sons, 223p, New York.
- [24] Papia, J.P. (1994). Contact heat transfer coefficient in aluminum alloy die casting: an experimental and numerical investigation. Ph.D. Thesis, The Ohio State University, 285p.
- [25] Huang, Y. J., Hu, B. H., Pinwill, I., Zhou, W., Taplin, D.M.R., 2000. Effect of process settings on the porosity levels of AM60B magnesium die castings. Materials and Manufacturing Process, Vol. 15, No:1, pp 97-105.