

**T.C.  
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA ALÇAK BASINÇLI DÖKÜM SİMÜLASYONU**

**Salih KALYONCU**

**Danışman  
Doç. Dr. Osman ÇULHA**



**MANİSA-2020**

Salih  
KALYONCU

ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA ALÇAK BASINÇLI DÖKÜM SİMÜLASYONU

2020

## TEZ ONAYI

**Salih KALYONCU** tarafından hazırlanan "**Alüminyum Alaşımlarında Alçak Basıncılı Döküm Simülasyonu**" adlı tez çalışması 31/01/2020 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

**Danışman**

**Doç. Dr. Osman ÇULHA**  
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

**Jüri Üyesi**

**Doç. Dr. Hülya DURMUŞ**  
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

**Jüri Üyesi**

**Doç. Dr. Mustafa EROL**  
Dokuz Eylül Üniversitesi

## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Salih KALYONCU**



# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER .....	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	III
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IV
TABLO DİZİNİ .....	V
TEŞEKKÜR.....	VI
ÖZET.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
1 GİRİŞ.....	1
2 GENEL BİLGİLER .....	3
2.1 Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması.....	3
2.1.1 Alüminyum Döküm Alaşımlarının Sınıflandırılması .....	4
2.1.2 Alüminyum Döküm Alaşımlarının Özellikleri .....	5
2.1.3 Alüminyum Döküm Alaşımlarında Alaşım Elementlerinin Alüminyuma Etkisi .....	6
2.1.3.1 Alüminyum- Bakır .....	6
2.1.3.2 Alüminyum – Silisyum .....	6
2.1.3.3 Alüminyum- Magnezyum .....	7
2.1.3.4 Alüminyum- Silisyum- Bakır .....	7
2.1.3.5 Alüminyum-Silisyum-Magnezyum.....	8
2.1.3.6 Alüminyum-Çinko-Magnezyum .....	8
2.1.3.7 Alüminyum- Manganez.....	8
2.1.3.8 Alüminyum- Çinko.....	9
2.1.3.9 Alüminyum- Titanyum.....	9
2.1.3.10 Alüminyum- Demir.....	9
2.1.3.11 Alüminyum-Kalay .....	9
2.2 Alüminyum Alaşımlarda Alçak Basınç Yöntemiyle Döküm.....	10
2.3 Alüminyum Alaşımlarında Mekanik Özelliklere Etki Eden Faktörler .....	13
2.3.1 Alüminyum Alaşımlarının Dökümünde Tane İnceltme Uygulamaları	13
2.3.2 Alüminyum Alaşımlarının Modifikasyonu .....	15
2.3.3 Alüminyum Alaşımlarının Dökümünde Gözeneklilik Ve Çekinti Oluşumu.....	15
2.4 Döküm Simülasyon Programları .....	16
3 DENEYSEL KISIM (MATERYAL VE YÖNTEMLER).....	18
3.1 Materyal.....	18
3.2 Yöntem .....	19

3.2.1	Döküm Yöntemi.....	19
3.2.2	Simülasyon Yöntemi.....	20
4	ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	21
4.1	1 Nolu Jant Ve Prosesi .....	21
4.1.1	Oluşan Hatalar Ve Karşılaştırılması .....	27
4.2	2 Nolu Jant Ve Prosesi .....	32
4.2.1	Oluşan Hatalar Ve Karşılaştırılması .....	39
5	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	46
	KAYNAKLAR .....	47
	ÖZGEÇMİŞ .....	48



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>AA</b>	Amerikan Alüminyum Birliği
<b>Al</b>	Alüminyum
<b>Si</b>	Silisyum
<b>B</b>	Bor
<b>Be</b>	Berilyum
<b>Cr</b>	Krom
<b>Cu</b>	Bakır
<b>Ti</b>	Titanyum
<b>Zn</b>	Çinko
<b>Mn</b>	Mangan
<b>Mg</b>	Magnezyum
<b>Sn</b>	Kalay
<b>sn</b>	Saniye
<b>dk</b>	Dakika
<b>mbar</b>	Milibar
<b>MPA</b>	Mega Pascal
<b>μ</b>	Mikron
<b>μm</b>	Mikrometre
<b>LPDC</b>	Alçak Basınçlı Kalıp Dökümü

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1 Al-Si faz diyagramı.....	7
Şekil 2.2 Alçak basınç tezgahının en basit haliyle şematik görünümü .....	11
Şekil 2.3 Alçak basınç tezgahının detaylı görünümü .....	12
Şekil 2.4 a) Yüksek çekirdeklenme ve yavaş büyüme sonucu oluşan ince taneli yapı, b) düşük çekirdeklenme ve hızlı büyüme sonucu oluşan kaba taneli yapı ( $dn / dt =$ zamana bağlı olarak değişen çekirdek çapı değişimi).....	13
Şekil 2.5 a) Tane inceltilmemiş, (b) $Al_5Ti_1B$ mastır alaşımı ilaveli alüminyum alaşımının tane yapıları .....	14
Şekil 2.6 Hall – Petch bağıntısına göre malzeme mekanik özelliklerinin tane büyüklüğüne bağlı olarak değişimi .....	14
Şekil 2.7 a) Modifiye edilmemiş, b)Sr ile modifiye edilmiş, c) Sb ile modifiye edilmiş mikroyapı resimleri .....	15
Şekil 2.8 Bazı simülasyon uygulamaları .....	17
Şekil 3.1 1. Simülasyondaki jantların görselleri .....	18
Şekil 3.2 2. Simülasyondaki jantların görselleri .....	19
Şekil 3.3 Örnek bir alçak basınçlı döküm tezgah görseli.....	19
Şekil 3.4 1. Simülasyonda kullanılan prototip jantların simülasyon görselleri .....	20
Şekil 3.5 2. Simülasyonda kullanılan prototip jantların simülasyon görselleri .....	20
Şekil 4.1 Prototip jantın arka kısmı.....	25
Şekil 4.2 Prototip jantın ön yüzeyi kısmı .....	25
Şekil 4.3 Prototip jantın lastik kısmı .....	26
Şekil 4.4 Dolumun başladığı andaki gösterimi .....	26
Şekil 4.5 Dolumun bittiği andaki gösterimi .....	27
Şekil 4.6 Besleme sırasında oluşan kesme görseli .....	27
Şekil 4.7 Besleme sırasında oluşan kesme görseli .....	28
Şekil 4.8 Besleme sırasında oluşan kesme görseli .....	28
Şekil 4.9 Makro düzeydeki poroziteler .....	29
Şekil 4.10 Mikro düzeydeki poroziteler.....	30
Şekil 4.11 Mikro düzeydeki poroziteler.....	30
Şekil 4.12 Besleme sırasında oluşan kesmelerin karşılaştırılması.....	31
Şekil 4.13 Besleme sırasında oluşan kesmelerin karşılaştırılması.....	31
Şekil 4.14 Makro düzeydeki hataların karşılaştırılması.....	32
Şekil 4.15 Örnek kalıp gösterimi .....	33
Şekil 4.16 Prototip jantın arka kısmı.....	37
Şekil 4.17 Prototip jantın ön yüzey kısmı .....	37
Şekil 4.18 Prototip jantın lastik kısmı .....	38
Şekil 4.19 Dolumun başladığı andaki gösterimi .....	38
Şekil 4.20 Dolumun bittiği andaki gösterimi .....	39
Şekil 4.21 Besleme sırasında oluşan kesme görseli .....	40
Şekil 4.22 Besleme sırasında oluşan kesme görseli .....	41
Şekil 4.23 Besleme sırasında oluşan kesme görseli .....	42
Şekil 4.24 Makro düzeydeki poroziteler .....	43
Şekil 4.25 Mikro düzeydeki poroziteler.....	43
Şekil 4.26 Makro düzeydeki hataların karşılaştırılması.....	44
Şekil 4.27 Mikro düzeydeki hataların karşılaştırılması.....	44



## TABLO DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 2.1 Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması .....	4
Tablo 2.2 Alüminyum döküm alaşımlarının ticari olarak sınıflandırılması.....	4
Tablo 3.1 A356 alaşımının kimyasal kompozisyonu.....	18
Tablo 4.1 İşlem yapılmadan önceki veriler.....	23
Tablo 4.2 İşlem yapıldıktan sonraki veriler .....	24
Tablo 4.3 Makro ve mikro hata değerleri.....	29
Tablo 4.4 İşlem yapılmadan önceki veriler.....	35
Tablo 4.5 İşlem yapıldıktan sonraki veriler .....	36
Tablo 4.6 Makro ve mikro hata değerleri.....	42



## TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gsteren, lisansüstü öğrenim hayatımın tüm zorlu aşamalarında maddi manevi her yönden yardımcı olan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Osman ÇULHA' ya, çalışmalarım sırasında yardım ve manevi desteklerini her zaman hissettiğim değerli Sayın Musa Mert ÖZDEMİR ve Sayın Ezgi SEVGİ' ye ve öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan aileme yürekten teşekkür ederim.

Salih KALYONCU  
Manisa, 2020



# ÖZET

## Yüksek Lisans Tezi

### Alüminyum Alaşımlarında Alçak Basıncı Döküm Simülasyonu

Salih KALYONCU

Manisa Celal Bayar Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Osman ÇULHA

Alüminyum, dünyada yer kabuğunda en çok bulunan ikinci metaldir. Ömrünü tamamlamış, kullanılamaz haldeki herhangi bir alüminyum alaşımı son derece ekonomik bir değer taşımaktadır. Alüminyum alaşımları geri dönüşümle tekrar kazanılmaktadır ve geri dönüşümü oldukça yaygındır. Günümüz endüstrisinde çelikten sonra en fazla kullanılan alüminyum ve alüminyum alaşımlarıdır. Saf haldeki alüminyumun korozyon direnci oldukça yüksektir. Alüminyum, çeliğe göre yaklaşık üç kat daha hafiftir ve bu da en önemli özelliklerinden birisidir. Otomotiv sektöründe alüminyum alaşımlarına her geçen gün daha fazla oranda ihtiyaç duyulmaktadır ve bu oran giderek artmaktadır. Alüminyum alaşımlarının üretiminde döküm ve dövme en çok kullanılan iki tip üretim yöntemidir.

Yüksek mukavemet, hafiflik ve korozyon direnci gibi özelliklerinden dolayı çok geniş kullanım alanı olan alüminyum metali, alaşım elementleri ilaveleriyle birlikte çok farklı özellikler kazanabilmektedir. Alüminyum alaşımları, otomobil ve havacılık endüstrisinde oldukça fazla tercih edilmektedir. Bu doğrultuda A356 alüminyum alaşımı en önemli ve en çok kullanılan alaşımların başında gelmektedir. Mekanik ve fiziksel özellikleri iyi olan A356 alüminyum alaşımı döküm sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Arabaların jantları dahil olmak üzere bir çok parçasında kullanılan bu alaşım, kazandırdığı hafiflik sayesinde uzun vadede tasarruf sağlamaktadır ve egzoz salınımının azaltılmasına katkı sağlayarak çevre kirliliğinin önlenmesine rol oynamaktadır.

Döküm oldukça maliyet gerektiren bir işlemdir. Dökümde hata olduğu takdirde kalıp maliyeti, alaşım maliyeti gibi bir çok durum söz konusudur. Bu çalışmada 2 farklı prototip jant modelinin dökümünü yapılmadan önce simülasyon ortamında dökümünü gerçekleştirerek analizler yapılmıştır. Daha sonra simülasyonda görünen bütün hatalar ortadan kalkana kadar birçok deneme ve yineleme yapılmıştır. Sonuç olarak hatalar tamamıyla giderdikten sonra işlem gerçek döküme hazır hale getirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Alüminyum, Alaşım, Alçak Basıncı Kalıba Döküm, Simülasyon, AlSi<sub>7</sub>Mg

2020, 48 sayfa

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

**Low Pressure Casting Simulation in Aluminum Alloys**

**Salih KALYONCU**

**Manisa Celal Bayar University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Department of Metallurgical and Materials Engineering**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Osman ÇULHA**

Aluminum is the second most common metal in the Earth's crust. Any aluminium alloy that has completed its life and is unusable has an extremely economical value. Aluminum alloys are reclaimed by recycling and recycling is quite common. Aluminium and aluminium alloys are the most widely used after steel in today's industry. The corrosion resistance of pure aluminium is quite high. Aluminum is about three times lighter than steel, which is one of its most important features. Aluminum alloys are increasingly needed in the automotive sector. Casting and forging are the two most widely used production methods in the production of aluminum alloys.

Thanks to its properties such as high strength, lightness and corrosion resistance, aluminum metal with a wide range of uses can gain very different properties with the addition of alloying elements. Aluminum alloys are highly preferred in the automobile and Aerospace Industries. In this way, the A356 aluminum alloy is one of the most important and most used alloys. The A356 aluminum alloy, which has good mechanical and physical properties, is widely used in the casting industry. This alloy used in many automobile components including the wheels of cars saves money in the long run due to the lightness it imparts to the cars and is also playing role in preventing environmental pollution by contributing to the reduction of exhaust emissions.

Casting is a costly process. If there is an error in casting, there are many cases such as mold cost, alloy cost. In this study, 2 different prototype rim models were simulated analyzed before casting them. Afterward, many trials and modifications were performed until all the errors that appeared in the simulation were eliminated. After fixing the errors, the process was made ready for the actual casting.

**Keywords:** Aluminum, Alloy, Low Pressure Die Casting, Simulation, AlSi<sub>7</sub>Mg

**2020, 48 pages**

# 1 GİRİŞ

Dünyanın gelişmesi bilim ve teknolojiyle mümkün olmaktadır. Teknolojinin gelişmesindeki en önemli etmenler hız, performans, ekonomiklik ve dayanıklılığa bağlıdır. Bunun en önemli nedeni yaşam için gerekli olan doğal kaynakların, insan nüfusuyla ters oranda değişmesidir. Otomobil sanayi, hava sanayi, savunma sanayisi gibi pek çok alanda CO<sub>2</sub> emisyonunu en aza indirmek için çalışmalar yapmaktadır. [1]

Alüminyum, dünyada yer kabuğunda en çok bulunan ikinci metaldir. Alüminyumun geri dönüşümü tekrar kazanılmaktadır ve geri dönüşümü oldukça yaygındır. Günümüz endüstrisinde çelikten sonra en fazla kullanılan alüminyum ve alüminyum alaşımlarıdır. Hafif olmaları, korozyona karşı dirençli olmaları, iyi ısı ve elektrik iletkenlikleri, ısı işlemler sonrası yüksek mekanik dayanıma ulaşmaları, son derece iyi mukavemet özellikleri nedeniyle tasarımcılar ve mühendisler için tarafından günümüzde çok tercih edilmektedirler. Özellikle son dönemlerde, enerji tasarrufuna dönük çalışmalar nedeniyle, paketlenme, otomotiv, inşaat, havacılık ve uzay endüstrilerinde, trenlerde, hava taşıtları, deniz taşıtları yapımında öncelikli olarak tercih edilen malzemeler olmuştur. Alüminyum, çeliğe göre yaklaşık üç kat daha hafiftir. Bu da en önemli özelliklerinden birisidir. Önceleri ayrıştırılması maliyetli olduğu için pahalı bir metal olan alüminyum, gelişen teknoloji ve üretim maliyetlerinin düşmesiyle günümüzde demir dışı metaller arasında üretimi en fazla yapılan metal durumundadır. [2,3]

Otomotiv endüstrisi genişlemeye doğru ilerledikçe alüminyum alaşımlarının kullanımı artmıştır. Kuzey amerikadaki yeni arabaların %50'sinden fazlasında alüminyum alaşımlı jantlar kullanılmaktadır. [4]

Ömrünü tamamlamış, kullanılamaz haldeki herhangi bir alüminyum alaşımı son derece ekonomik bir değer taşımaktadır. Alüminyumlardaki geri dönüşüm olayı yaygın ve basit bir yöntemdir. Geri dönüşüm yöntemiyle birlikte konserve kutuları, kola kutuları, kaportaların, uçak gövdelerinin, araba jantları, v.b. değişik kullanım alanlarına sahip alüminyum alaşımlarının geri kazanılabilmesi ve tekrardan üretilmesi sağlanmaktadır. Bu noktada ikincil alüminyum büyük önem taşımaktadır. [5]

Alüminyum alaşımı parçalarının üretiminde en çok kullanılan iki tip yöntem vardır. Birincisi malzeme sıvı haldeyken yapılan döküm yöntemi ve malzeme katı haldeyken yapılan dövme yöntemleridir. İki yönteminde kendine göre artıları ve eksileri vardır. Döküm yöntemi ile çeşitli boyut ve kesitlerde, karmaşık geometriye sahip ürünler üretilebilir; ancak döküm yönteminin en önemli dezavantajları porozite ve malzeme özelliklerinin homojenliğinin sağlanamamasıdır. Dövme yöntemi ile yüksek mekanik özelliklere sahip parçalar üretilebilmektedir; ancak yöntemin, karmaşık geometriler ve ince kesitler ile üretimin mümkün olmaması, yüksek basınca ihtiyaç duyulması ve yüksek kalıp maliyeti gibi dezavantajları vardır. [3]

Bu çalışmada alüminyum alaşımların üretiminde alçak basınçlı üretim yöntemini kullanacağız. Bu alaşımların incelemesini ProCast simülasyon programı ile yapacağız. Bu simülasyon programları tüm dünyada kullanılan gelişmiş bir döküm süreci aracıdır. Programlardaki sonuçların bizim verilerimizle paralel gitmesi hedeflenmektedir. Hazırlamış olduğumuz alaşımların kalitesini ve maliyetini etkileyen tüm parametreleri eş zamanlı olarak inceleyeceğiz. Buradan sağlanacak veriler neticesinde kalıp dolum, soğuma ve katılaşma gibi değişken değerlerini kontrol edebilir ve olası iç gerilmeler, poroziteler, çekintiler ve çatlakların önüne geçilebilmektedir. Ayrıca normal döküm gerçekleştirmeden önce simülasyonlarının yapılması malzeme kaybının önüne geçmektedir. Aksi durumlarda gerekli müdahaleler yapıp tekrar sorun ortadan kalkıncaya kadar simülasyon yapılır. Sorun olmadığı takdirde gerçek döküm yapılır. Somut veriler neticesinde baştan sona kadar tüm döküm prosesinin incelenip değerlendirileceği bir çalışma olacaktır.

## 2 GENEL BİLGİLER

### 2.1 Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

Alüminyum alaşımları ürüne şekil verme yöntemlerine göre ikiye ayrılmaktadır. Bunlar dövme alüminyum alaşımları ve döküm alüminyum alaşımları olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Bu iki grup içerisindeki alaşımlar ısı işlem uygulanabilen ve ısı işlem uygulanamayan alaşımlar şeklinde de kendi içinde ayrılmaktadır. Isıl işlem uygulanabilen alaşımlara 'yaşlanma sertleşmesi' ısıl işlemi uygulanmaktadır. Isıl işlem uygulanamayan alaşımlara ise katı eriyik, deformasyon ve dağılım sertleşmesi yöntemleri uygulanarak mekanik özelliklerinde iyileştirilme yapılmaktadır. [6]

Alüminyum alaşımlarının mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri alaşım elementlerine ve mikro yapısına bağlı olarak değişir. Alüminyuma katılan en önemli alaşım elementleri silisyum, magnezyum, bakır, çinko ve mangandır.

Alüminyum alaşımları döküm ve dövme alaşımları olarak ikiye ayrılır. Dövme alaşımları genellikle kütük halinde dökülür ve daha sonra plastik deformasyona maruz bırakılarak istenilen nihai şekli verilir. Döküm alaşımları ise ergitme işlemi sonrası üretilecek parça şekline sahip kalıba dökülür ve katılaştırılarak son şekli verilir.

Dövme yöntemi ile üretilen ürünlerde döküm yöntemi ile üretilenlere göre daha kararlı bir içyapı mevcuttur. Çünkü plastik deformasyon sonucu içyapıda bulunan süreksizlikler giderilmektedir. Döküm yöntemi ile yapılan üretimlerde ise içyapıda bulunan süreksizlikleri gidermek ve istenilen yapının elde etmek için bazı işlemler yapılmaktadır. Döküm alaşımlarının bazılarında ısı işlem uygulanarak mekanik özelliklerinde iyileştirme yapılır. [7]

**Tablo 2.1** Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması

	Dövme Alüminyum Alaşımları	Döküm Alüminyum Alaşımları
1xx.x	Saf	Saf
2xx.x	Cu	Cu
3xx.x	Mn	Si-Cu-Mg
4xx.x	Si	Si
5xx.x	Mg	Mg
6xx.x	Mg-Si	-
7xx.x	Zn	Zn
8xx.x	Li	Sn

### 2.1.1 Alüminyum Döküm Alaşımlarının Sınıflandırılması

Döküm alaşımlarının sınıflandırılması ve adlandırılması kimyasal kompozisyonlarına göre yapılmakla birlikte, alüminyum alaşımların sınıflandırılmasında uluslararası olarak kabul edilen adlandırma U.S. Aluminium Association tarafından 2 yöntemde kullanılarak yapılmaktadır. Döküme göre adlandırma, 3 tane rakam ve virgülden sonra 1 tane daha rakamla, işlenecek alüminyum külçesi için de 4 haneli rakam sistemi kullanılarak nümerik dizilim ile yapılmaktadır. Bu dizilime göre görülebileceği üzere ilk rakam grup içerisindeki ana alaşımlandırma elementini göstermektedir. Örnek olarak A356.0 3. seride demektir.

**Tablo 2.2** Alüminyum döküm alaşımlarının ticari olarak sınıflandırılması [8]

Sınıflandırma	Temel Alaşım Elementi
1xx.x	Alaşımlandırılmamış Alüminyum (% 99,0 veya daha yüksek safiyet)
2xx.x	Bakır
3xx.x	Silis ile Magnezyum ve/veya Bakır
4xx.x	Silisyum
5xx.x	Magnezyum
6xx.x	Kullanılmayan seri
7xx.x	Çinko
8xx.x	Kalay
9xx.x	Diğer elementler

2xx.x, 3xx.x, 4xx.x ve 7xx.x serilerine ısıtıl işlem uygulanabilmektedir. Sınıflandırma sisteminde 1xx.x grubunda noktanın solundaki iki rakam alaşım içerisindeki en az alüminyum içeriğini belirtmektedir. 2xx.x'den 9xx.x grubuna



kadar olan aralıkta noktanın solundaki iki rakam sadece grup içerisindeki alaşımları ayırt etmek için kullanılır. Örnek olarak 190.x dizilimi %99.90 saflığındaki alüminyumunu ifade etmektedir. Aynı grupta noktadan sonraki hane ürün şeklini nitelendirmektedir. Bu dizilimde 0 dökümler için 1.ve 2. külçeler için kullanılmaktadır. [8]

### 2.1.2 Alüminyum Döküm Alaşımlarının Özellikleri

Alüminyum metali gümüş renkte olup sünek bir metaldir. Alüminyum genel özellikleri itibariyle iyi işlenebilirlik, iyi yüzey kalitesi, düşük özgül ağırlık, iyi dökünebilirlik, düşük gaz çözünürlüğüne sahiptir. Alüminyumların dökümü sırasında % 3,5 ile % 8,5 arasında hacimsel çekme oranı söz konusudur. Alüminyum döküm alaşımları dövme alaşımlarına göre daha iyi mekanik özelliklere sahiptir ve grup içerisindeki bazılarında ısıl işlem uygulanarak mekanik özellikleri daha iyi hale getirilmektedir. [6]

Alüminyum alaşımlarının dökülebilir olup olmadığı;

- Akışkanlık,
- Sıcak yırtılma eğilimi,
- Hacimsel çekme özelliklerinin değerlendirilebildiği özel numune kalıpları kullanılarak belirlenmektedir.

Döküm alaşımlarının mekanik özellikleri;

- Ergitme ve döküm pratiklerinin sıkı kontrolü,
- Empürite seviyesinin kontrolü,
- Tane boyutu kontrolü –tane inceltme,
- Ötektik modifikasyon ile çok daha iyi karakterize edilmektedir.

Kullanım alanlarına göre Döküm parçalarındaki alaşım seçimi;

- İşlenebilirlik,
- Korozyon direnci,
- Sertlik,
- Mekanik özellikler gibi karakteristiklere göre yapılmaktadır. [7]

Mekanik özellikler ise, genellikle en iyi ısıtım işlem uygulanabilen ötektik kompozisyonları içeren alaşımlarda bulunmaktadır. Ayrıca döküm alaşımlarının mekanik özellikleri dökümün iyi analiz edilmesi, empürite seviyesinin kontrolü, tane boyutunun kontrolü, modifikasyonlar gibi etkiler ile daha iyi sonuçlar elde edilmektedir. [6]

### **2.1.3 Alüminyum Döküm Alaşımlarında Alaşım Elementlerinin Alüminyuma Etkisi**

Bu bölümde sık kullanılan alaşım elementlerinin alaşıma etkileri açıklanmaktadır.

#### **2.1.3.1 Alüminyum- Bakır**

Alüminyumlarda kullanılan ilk alaşım elementi olan bakır alaşıma sertlik özelliği kazandıran en önemli metaldir.

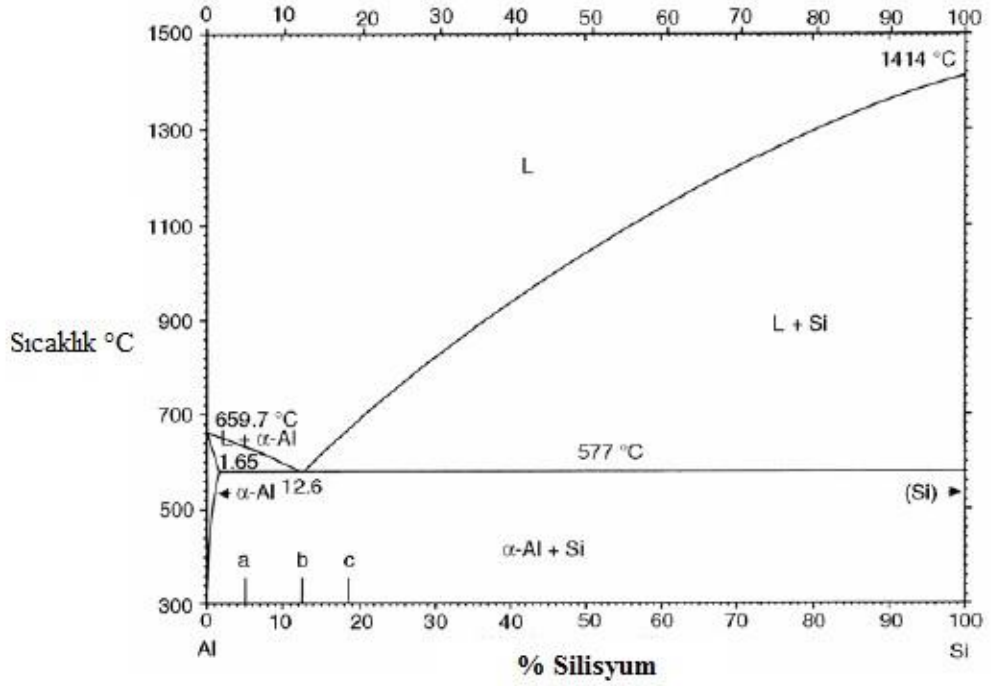
Bakır döküm alaşımlarında en fazla % 12 oranında kullanılmaktadır. Bu oran eğer artarsa fazlasında yapıda gevreklik ortaya çıkar. Bakır dövme alaşımlarında ise % 3 ile % 5 oranında kullanılmaktadır. % 5'ten fazla kullanıldığı takdirde mekanik işleme gücünü artırır ve elektrik iletkenliği ve korozyon direncini de düşürür. Bakırın alüminyum içindeki çözünürlüğü sıcaklığa bağlı olarak artmaktadır ve bu nedenle bakır içeren alüminyum alaşımlarının ısıtım işlemle çökeltme sertleşmesi ile sertleştirmek mümkün olabilmektedir. Çökeltme için gerekli zaman, alaşımın bileşimi ve sıcaklık ile doğrudan ilişkilidir. Çökeltmenin mekanik özelliklere yapacağı etki, çökeltme faz miktarına, boyutlarına ve dağılımına bağlı olmaktadır.

#### **2.1.3.2 Alüminyum – Silisyum**

Silisyum, bakırdan sonraki en önemli alaşım elementidir ve alüminyum alaşımlarında en fazla % 13 oranında bulunmalıdır. Bu oran attığı takdirde alaşımın işlenmesi zorlaşmaktadır. Özellikle bakır, nikel ve magnezyum ile birlikte ilave edilirse ısıtım işlem görebilen alaşım elde edilir. Bu alaşımların çekme mukavemetleri çok yüksek değildir ve mukavemetin artması için silisyumu arttırmak gerekmez.

Silisyum ilavesi ile akışkanlık ciddi oranda iyi seviyeye gelmektedir. Ayrıca silisyum ilavesiyle birlikte korozyon direnci, kaynaklanabilme kabiliyeti artmaktadır.

Tane küçültme ve modifikasyon işlemleriyle birlikte iyi işlenebilirlik özelliği sağlanmaktadır. Ayrıca alüminyumun sıcak çatlama eğilimini azaltır. Mekanik özellikler alaşımın bileşiminden çok silisyum içeren fazın şekil ve dağılımına bağlıdır. Küçük ve primer faz yüksek mukavemet verir. İğne şeklindeki silisyumlu faz çekme mukavemetini arttırmakla beraber süneklik, darbe ve yorulma mukavemetini düşürmektedir. [6]



Şekil 2.1 Al-Si faz diyagramı [7]

### 2.1.3.3 Alüminyum- Magnezyum

Magnezyum elementi alaşıma yüksek mukavemet ve süneklik, iyi korozyon direnci kazandırır. % 8'den fazla Mg içeren Al-Mg alaşımlarına ısıl işlem uygulanabilir ve mekanik özellikleri bu şekilde geliştirilebilir. Dövme alaşımlarda % 1 ile % 6 Mg ilavesi şekil verme kolaylığı sağlamak için kullanılmaktadır. Genel olarak Mg ilavesi mukavemeti ve işlenebilirliği arttırmaktadır. [6]

### 2.1.3.4 Alüminyum- Silisyum- Bakır

Alüminyuma silisyum ve bakır ilavesiyle yapılan bu alaşımlar ilavelerin oranlarıyla değişiklikler göstermektedir. Bakırın bu alaşımlardaki etkisi mukavemet ve işlenebilirliği iyileştirme yönünde etkisini gösterirken silisyum dökme özelliğini

geliştirir ve sıcak gevrekliği azaltır. Karmaşık dökümler, kalıcı kalıp ve basınçlı döküm işlemleri için yüksek ötektikaltı silisyum konsantrasyonlarını içeren alaşımlar kullanılmaktadır.

İçindeki bakır oranı %5,6'dan daha az olan alüminyum-silisyum-bakır alaşımı ısıtılarak daha iyi sonuçlar elde edilir. [9,10]

### **2.1.3.5 Alüminyum-Silisyum-Magnezyum**

Alüminyum ve silisyum alaşımına magnezyum ilavesiyle yapılan bu alaşımlar alaşımların en önemlilerinin başında gelmektedir. Bu alaşımlar ısıtılarak sonrasında mükemmel özellik gösterir ve mükemmel döküm özelliklerine sahiptirler. Korozyona karşı gösterdikleri direnç son derece iyidir. Düşük termal genleşme seviyesi korunur. Son derece yüksek mukavemeti olan Al-Si-Cu alaşımları kadar yüksek mukavemeti olmasada, birçok Al-Si-Mg alaşımı, üstün dayanım seviyesinde mekanik özellikler göstermektedir.

Alaşıma ilave edilen berilyum ile demir içeren intermetaliklerin morfolojisini ve kimyasını etkileyerek mukavemeti ve sünekliği geliştirmektedir. Ötektik modifikasyon kalıntıları, mukavemetin artırılması, uzamanın artması ve döküm sonuçlarının iyileştirilmesi için önemlidir.

### **2.1.3.6 Alüminyum-Çinko-Magnezyum**

Al-Zn-Mg alaşımlarının doğal olarak yaşlandırılması yapılarak, dökümden sonra oda sıcaklığında 20-30 gün içinde tam mukavemet elde edilmektedir. Bu alaşımların ergime sıcaklığı yüksektir ve bu lehmlenecek dökümlerde avantajdır. İşlenebilirlik, korozyon direnci ve çekme özellikleri iyidir.

Al-Zn-Mg alaşımlarının döküm yeteneği zayıftır ve sıcak yırtılma ve büzülme kusurlarını en aza indirmek için dökümün iyi yapılması gerekmektedir. [9,10]

### **2.1.3.7 Alüminyum- Manganez**

Alaşımlardaki dökülebilirliği arttırmak için demirle birlikte kullanılmaktadır. Aynı zamanda metaller arası bileşiklerin özelliklerini değiştirir. Alaşımların süneklik ve tokluk özelliklerini artırır ve işlenebilirliği kolaylaştırır. [6]

### **2.1.3.8 Alüminyum- Çinko**

Alüminyum alaşımlara çinko ilavesiyle birlikte yüksek mukavemete sahip Al-Zn alaşımları elde edilir.

Alüminyum alaşımlarının kopma mukavemeti de bu şekilde artar ve haddelenebilme kabiliyeti artar. Çinko, sıcak yırtılmaya sebep olmasına rağmen diğer alaşım elementlerinden olan bakırın ilave edilmesiyle yetersiz olan bazı özellikler giderilmiş olur.

Genellikle magnezyumla birlikte karıştırılarak ilave edildiğinde haddeleme kabiliyetini artırır ve yüksek çekme ve darbe mukavemetinin de kazanılmasını sağlar. Al-Zn alaşımlarında % 20'e kadar çinko bulunabilmektedir. Bu alaşımlar genellikle hava taşıtlarında kullanılan Al-Mg-Zn alaşımları olmakla birlikte Zn ve Mg oranı % 1'den fazladır.

### **2.1.3.9 Alüminyum- Titanyum**

Alüminyum alaşımlardaki en önemli elementlerden birisi olan titanyumun en önemli özelliği tane küçültücü etkisinin olmasıdır. Titanyum, mekanik özelliklerin iyileştirilmesini ve artmasını sağlamaktadır. Alüminyuma ilave edilme miktarı en fazla % 20'dir. En iyi etkisi bor ile kullanıldığı zaman görülmektedir. Titanyum, çekme mukavemetini ve sünekliliği artırır ve ısı iletkenliği düşürmektedir.

### **2.1.3.10 Alüminyum- Demir**

Demir, alüminyum cevheri içerisinde doğal olarak bulunur. Bazı alaşımların sertlik ve dayanımlarını az da olsa arttırmaktadır. Döküm alaşımların sıcak çatlama eğilimini azaltıcı yönde etki etmektedir. [6]

### **2.1.3.11 Alüminyum-Kalay**

Kalay, rulman uygulamalarında kullanılan bir elementtir. Kalay, serbest işleme özellikleri sağlamak için kurşun, bizmut ve kadmiyum ile düşük konsantrasyonlarda da kullanılmaktadır. Kalayın hafifliği, karşıt uygulamalarda yükleri en aza indirir ve ısı dağılımını rulman ömrünü arttırmaya yardımcı olmaktadır.

Cu, Mg ve Ni ilaveleri ile sertliğe ve mukavemete katkıda bulunur ve silisyum döküm kabiliyetini artırmak, sıcak gevrekliği azaltmak ve basınç dayanımı artırmak için ilave edilmektedir.

Düşük sürtünme, basınç dayanımı, yorulma dayanımı ve korozyona direncinin önemli olduğu rulman ve burçlarda %5-7 Sn içeren alaşımlar yaygın olarak kullanılmaktadır. [9,10]

## 2.2 Alüminyum Alaşımlarda Alçak Basınç Yöntemiyle Döküm

Döküm, metal veya alaşımların ergitilerek şeklini almasını istenilen kalıba doldurulması işlemine denir. Bir parçanın dökümü ergimiş durumdaki metalin istenen geometride boşluğa sahip olan bir kalıp içine dökülmesi ve burada katılaştırılmasıyla gerçekleşir. Bu üretim yöntemi sayesinde en karmaşık parçaların dahi üretimi mümkün olmaktadır. Seri imalata uygun olan bu yöntemle kısa sürelerde çok sayıda parça üretilmektedir. Üretilen parçalar basit veya karmaşık şekilli olabilir ya da birkaç milimetreden birkaç metreye kadar değişebilmektedir. Bu gibi avantajlarından dolayı dökümün üretim yöntemleri arasında önemli bir yeri vardır. [11,19]

Metal kalıpları veya kokil kalıpları kullanan metal döküm işlemlerine basınçlı döküm işlemi denmektedir. Basınçlı döküm işlemi üç ana alt işleme sahiptir. Bunlar;

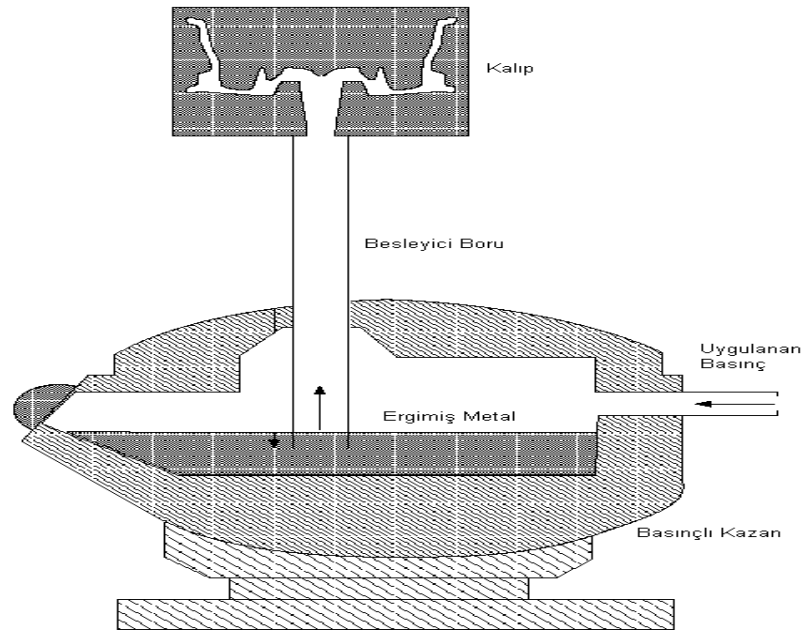
- 1-Kokil döküm, (gravite döküm)
- 2-Alçak basınçlı döküm,
- 3-Yüksek basınçlı dökümdür. [12]

Kokil döküm, ergimiş metalin yer çekimiyle kalıp boşluğunu doldurması işlemine denir. Yer çekimi kuvvetinin etkisiyle atmosferik basınç altında katılma sağlanır. Alçak basınçlı dökümde ise farklı olarak atmosferik basıncın üstünde 1 MPa' dan daha az hava basıncıyla ergimiş metalin akışı kalıba zorlanarak sağlanır. Yüksek basınçlı döküm işlemi, ergimiş metalin 7 MPa' nın üzerindeki hidrolik basınçlara zorlanmasıyla gerçekleşir. Metal üzerindeki bu basınç arttıkça, ergimiş metalin kalıbı doldurması için gereken süre düşer.

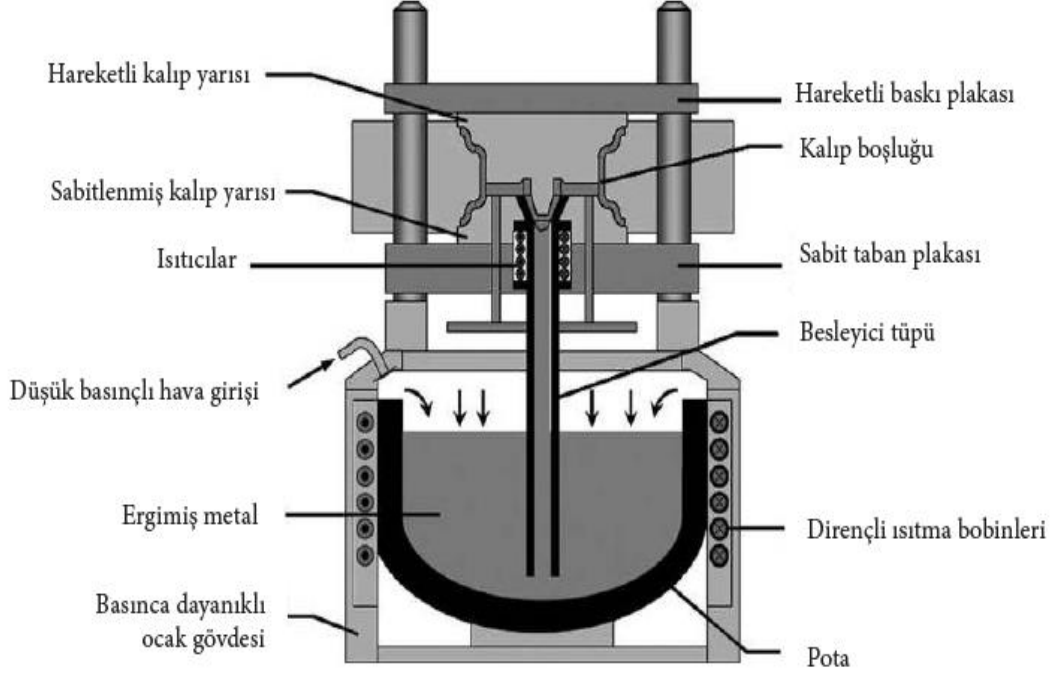
Döküm işlemi, ergimiş metalin, dökme demir veya sertleştirilmiş çelik gibi dayanıklı malzemeden yapılmış bir kalıba dökülmesi veya enjekte edilmesini içerir ve ergimiş metal istenilen şekilde katılaşır. Kum kalıp gibi yapılan dökümlerde işlem sonunda kum kalıp dağıtılarak yok edilir. Tüm döküm işlemlerinde, kalıplar döküm sıcaklığına dayanabilir ve katılaşmış dökümün kolayca çıkarılmasını sağlayan hareket edebilen kesitlerle yapılır. Böylelikle hem çıkan parça hem kalıp zarar görmemiş olur. Bu kalıplar binlerce, hatta milyonlarca döküm üretmek için yeniden kullanılabilir. Dökümün avantajları arasında yüksek üretim hızları, tekrarlanabilirlik, düşük parça maliyeti ve daha az talaşlı imalat bulunmaktadır. Dezavantajları, yüksek kalıp maliyeti, kalıp yapımında ve döküm tasarım değişikliğinden kaynaklanan sıkıntılarda kalıpta yapılacak değişikliklerde kalıp tedarikinin uzun zaman almasıdır.

Alçak basınçlı dökümlerde, döküm yapmak için metal kalıplar kullanılır, ancak ergimiş metal, kalıbın daha hızlı dolmasını ve daha iyi kontrol edilmesini sağlamak için basınçlandırılır. Prosesde, özel ürünler için 7 MPa' ya kadar basınç kullanılır, fakat genellikle kullanılan basınç 0.5 MPa' nın altındadır. [12]

Alçak basınç döküm yöntemi, otomotiv endüstrisinde en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Jant ve motor bloğu vb. imalatında tercih edilmektedir. Alçak basınç döküm tezgahı Şekil 2.2'de şematik olarak en basit haliyle görülmektedir. [8]



Şekil 2.2 Alçak basınç döküm tezgahının en basit haliyle şematik görünümü [8]



**Şekil 2.3** Alçak basınç tezgahının detaylı görünümü [12]

Alçak basınçlı döküm yönteminde kalıp kitlendikten sonra, sıvı metal, metal sıcaklığına ısıtılmış veya soğuk bir pompa haznesine dökülmektedir. Pompa sıvı metali hızlıca besleme bölümünden geçirmektedir ve bu sırada kalıp içerisindeki hava kaçma boşluklarında dışarı atılır. Kalıp boşluğu tamamı ile dolduktan sonra basınç, döküm soğuyana kadar uygulanır. Daha sonra kalıp açılır ve ardından döküm malzemesi dışarı çıkarılır. Kalıp açık şekilde iken içerisi temizlenip ve yağlandıktan sonra kapatılarak önceki işlem tekrar tekrar uygulanır. [13]

Alçak basınçlı dökümün avantajları, özellikle kalın cidarlı kesitlerde döküm kalitesinin çok iyi olması ve yüksek basınçlı döküme göre çok daha fazla alaşım seçimine izin verilmesine olanak sağlamaktadır. Döküm verimi, % 90– 95 gibi yüksek oranlardadır.

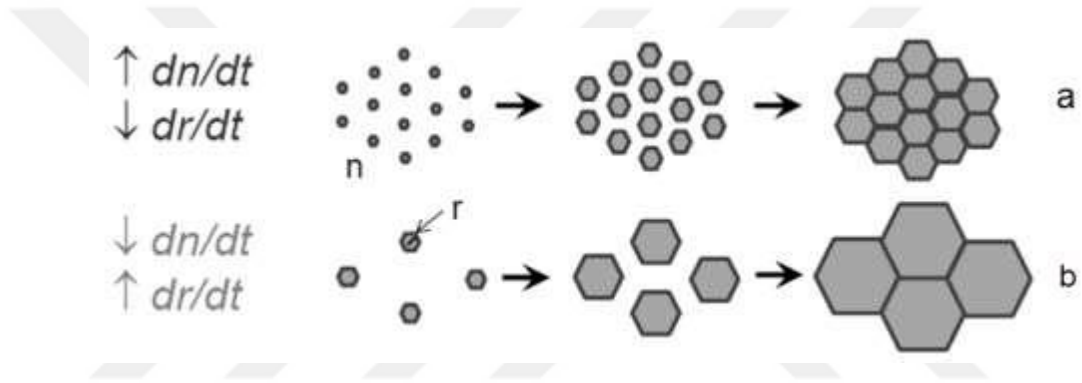
Alçak basınçlı dökümün dezavantajları, yüksek basınçlı döküme göre daha uzun sürelerde üretimin olmasıdır ve küçük parçaların dökülmesi için uygun olmamasıdır. Kokil dökümden daha küçük olmasına rağmen minimum cidar kalınlığı, yüksek basınçlı kalıp dökümden daha büyüktür. [12]



## 2.3 Alüminyum Alaşımlarında Mekanik Özelliklere Etki Eden Faktörler

### 2.3.1 Alüminyum Alaşımlarının Dökümünde Tane İnceltme Uygulamaları

Dökümlerdeki katılaşma çekirdeklenme ile başlayıp büyüme ile devam eder. İç yapıda ince taneli bir yapıya ulaşmak için katılaşmanın yüksek bir çekirdeklenme hızı ve sonrasında çekirdeklenen tanelerin yavaş büyümesi sağlanmalıdır. Genellikle kalıp duvarlarında başlayan çekirdeklenme işlemi alaşıma katılan heterojen çekirdeklerle de sağlanmaktadır. Şekil 2.4’de bir çekirdeklenme karşılaştırılması verilmiştir.



**Şekil 2.4** a) Yüksek çekirdeklenme ve yavaş büyüme sonucu oluşan ince taneli yapı, b) düşük çekirdeklenme ve hızlı büyüme sonucu oluşan kaba taneli yapı ( $dn / dt =$  zamana bağlı olarak değişen çekirdek çapı değişimi) [11]

Tane inceltme mekanizmalarındaki çekirdekleyiciler, sıvı metal içinde çözünmeden katı halde kararlı bir şekilde kalarak heterojen bir faz oluştururlar. Alüminyum alaşımlarda tane inceltme uygulamaları, sıvı metale bir miktar Ti ve B ilavesi ile gerçekleştirilir. Ti ve B elementleri sadece %0,01 gibi az miktarlarda ilavesiyle alüminyuma hızlı bir şekilde ve önemli derecelerde tane inceltme etkisi göstermektedir. Tane yapısında önemli derece küçülme sağlanarak alaşımın dökülebilirliği, mukavemeti ve döküm kalitesi artırılabilir. [11]



**Şekil 2.5** a) Tane inceltilmemiş, (b)  $Al_5Ti_1B$  mastır alaşımı ilaveli alüminyum alaşımının tane yapıları [11]

Hall – Petch bağıntısına göre malzemelerdeki mukavemet tane boyutuyla bağlantılıdır.

$$\sigma_a = \sigma_0 + kd^{-1/2} \text{ burada;}$$

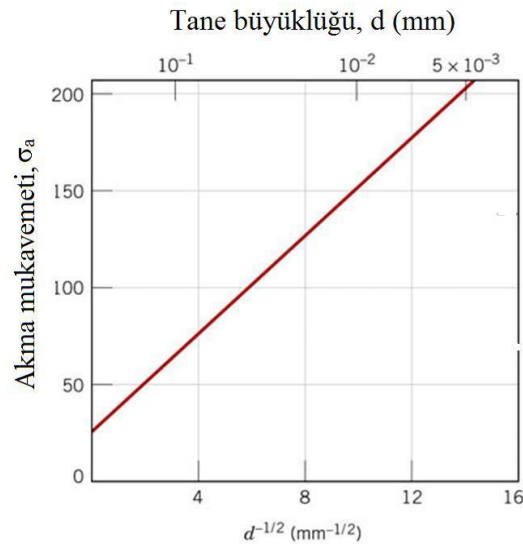
$\sigma_a$  = akma mukavemeti,

$\sigma_0$  = iç sürtünme gerilmesi

k = malzeme sabiti

d = ortalama tane büyüklüğüdür [7].

Hall - Petch bağıntısından elde edilen çıkarımlar Şekil 2.6'da tane boyutunun küçülmesiyle akma mukavemetindeki artışı göstermiştir. [7]

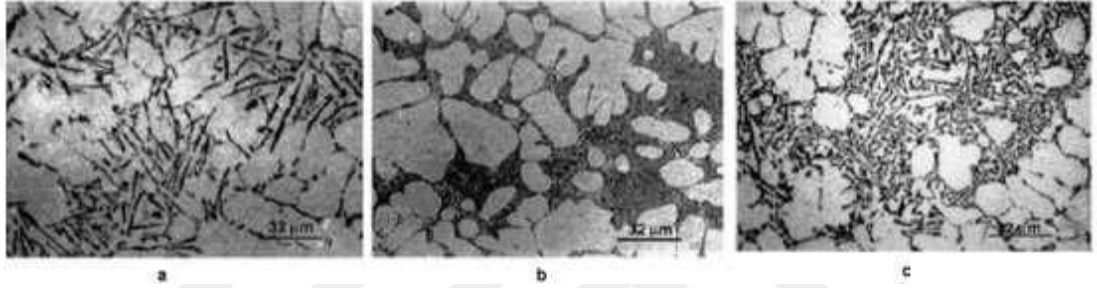


**Şekil 2.6** Hall – Petch bağıntısına göre malzeme mekanik özelliklerinin tane büyüklüğüne bağlı olarak değişimi [7]

### 2.3.2 Alüminyum Alaşımlarının Modifikasyonu

Al-Si alaşımlarına Na, Sr, K, Rb, Cs, Li, Ca, Ba, Mg, La, P, Bi, Cd, Mn, Ni, Pb gibi alkali metallerin ilavesi ile yapıdaki iğnesel haldeki silisyum fazının küresel hale dönüştürülmesi işlemidir.

Modifikasyon işlemi alüminyum alaşımların mekanik özelliklerini geliştirmek için yapılmaktadır. En etkili modifikasyon Na, Sr ve Sb ile yapılabilmektedir. Örneğin; A356 alaşımlarında sodyum (~ %0,01) veya stronsiyum (~%0,02) mekanik özellikleri artırıcı modifikasyon elementleri olarak kullanılmaktadır. [11,7]



**Şekil 2.7** a) Modifiye edilmemiş, b) Sr ile modifiye edilmiş, c) Sb ile modifiye edilmiş mikroyapı resimleri. [11]

### 2.3.3 Alüminyum Alaşımlarının Dökümünde Gözeneklilik Ve Çekinti Oluşumu

Bütün alaşımlarda olduğu gibi Alüminyum alaşımlarda da yapı içerisindeki gazlar ciddi sıkıntılara yol açmaktadır. Çünkü gazlar sıvı fazdakine oranla katı faza dönüşüm sırasında gaz çözünürlüğü ciddi oranlarda azalmaktadır. Bu da gözeneklerin oluşmasına neden olur. Oksijen, azot ve bazı diğer gazlar sıvı metal yüzeyinde bileşikler oluştururlar. Fakat en önemli gaz hidrojen gazıdır. Alüminyum eriyiğinde birçok hidrojen kaynağı bulunabilmektedir. Bunlar; pota, yanan gazlar, atmosfer ve kirli alüminyum hurdasıdır. Atmosfer buradaki en önemli kaynaktır. [13]

Çekinti boşlukları genellikle yolluk, besleyici bölgeleri, aşırı kalın ve ince bölgelerinde görülen döküm hatalarıdır. Sebebi de katılaştıran bölgenin etrafının tamamen katılaşmış olması ve bu nedenle katılaşma esnasında oluşan çekintiyi besleyecek sıvı metal geçişi olmamasıdır. Bu nedenle alüminyum dökümlerinde katılaşmayı beslemeyi kesmeyecek şekilde ayarlamak gerekmektedir. Çünkü

katılma gerçektikten sonra oluŖan çekintileri besleyerek doldurmak imkânsızdır.  
[7]

#### **2.4 Döküm Simülasyon Programları**

Üretim sürecinden kaliteli ürün elde edilebilmesi için günümüzde yüksek işlem hızına sahip bilgisayarlar ve simülasyon programları kullanılmaktadır. Döküm simülasyon programları, kalıp tasarımını kolaylaştıran, ekonomik ve doğru yapabilmeye olanak sağlayan deneme ve yanılma maliyetini ortadan kaldıran, ilk andan son ana kadar yüksek oranda başarı ve verim elde edilebilen bir seçenek olarak görülmektedir. Bu programların amacı, döküm esnasında sıvı metalin yolluk boyunca ilerleme şekli, kalıbı doldurma biçimi ve döküm sonunda parça bünyesinde oluşacak hataları, kalıp tasarım eksikliklerini tümüyle simüle etmektir. Simülasyon programları ile katılma, dolum, ürün ve kalıp sıcaklık dağılımı, soğuk birleşme noktaları, malzeme akış hızları, mikro porozite, makro porozite çekinti ve boşluklar vb. simülasyonlar yapılabilmektedir. Böylece tek seferde başarılı üretim ve döküm hatalarını henüz tasarım aşamasında görebilmek mümkün olmaktadır. [14]

Genellikle karmaşık geometri ve farklı kesitlere sahip döküm parçaların yolluk besleyici tasarımı oldukça zordur ve yoğun mühendislik bilgi, beceri ve tecrübe gerektirmektedir. Ancak, bilgisayar teknolojilerindeki hızlı ilerlemelerle birlikte geliştirilen döküm simülasyon programları kullanılarak döküm proseslerinin modellenmesi, döküm mikro ve makro yapılarının tahmini daha kolay gerçekleştirilebilmektedir. Döküm simülasyon programları; dökümhanelerde kullanımı hızla yaygınlaşan bir teknolojidir. [15]

Bütün tasarım ve analizlerin bilgisayar ortamında yapılmasıyla birlikte gereksiz hurda döküm üretmeyi ortadan kaldırmaktadır. Simülasyon kullanarak 3 boyutlu katı model üzerinde, ne kadar ve hangi boyutta besleyicinin gerekli olduğunu ve nerelere yerleştirileceği belirlenerek, yolluk-besleyici tasarımı bilgisayar üzerinde simülasyonla yapılabilir. Hatalı durumlarda gerekiyorsa tasarımda mümkün olan en iyi ve en ekonomik döküm için revizyon yapılabilir. Tüm bunların hepsi çok kısa zamanda yapılabilmektedir. Bu sebeple model, kalıp ve ilk döküm yapıldığında yüksek oranda başarı ve yüksek oranda verim elde edilir. Bu şekilde; zaman tasarrufu, tek seferde başarılı üretim ve döküm parça servis süresince yüksek kalite

ve daha düşük maliyet sağlanabilir. Literatürde döküm simülasyon programlarıyla tasarımı yapılarak başarılı sonuçlar alınmış çalışmalar mevcut olup, simülasyon programlarından daha başarılı sonuçlar almak için araştırmalar devam etmektedir.

Döküm proses modellemesi için işlem basamaklarını; malzeme ve özelliklerinin seçimi, döküm ve kalıp modeli oluşturma, modelin tanelere ayrılması ve simülasyon yapılması ve sonuçların değerlendirilmesi şeklinde sıralamak mümkündür. Sonuçları inceledikten sonra isteğe bağlı olarak veya gerekiyorsa revizyon ve tekrar simülasyon yapılır. Simülasyon, tekrar tekrar yapılabilen bir işlem olduğundan dolayı istediğimiz herhangi bir parametreyi değiştirerek simülasyona devam edilir ve en iyi tasarım kısa zamanda masrafsızca belirlenir. [11]

Sonlu Elemanlar teknolojisine dayanan ProCAST, temellere ek olarak, deformasyonları ve artık gerilmeleri de öngörebilir ve ayrıca yatırım dökümü, yarı katı modelleme, çekirdek üfleme, merkezkaç döküm, kayıp köpük ve sürekli döküm gibi daha spesifik işlemlere de hitap edebilir. süreci. Tüm döküm alaşımları için faydalı olan metal döküm simülasyon yazılımı, kusur tespiti, artık gerilmeler, parça bozulması, mikro yapı ve mekanik özelliklerin tahmin edilmesine yardımcı olur. [16]



**Şekil 2.8** Bazı simülasyon uygulamaları [16]

### 3 DENEYSEL KISIM (MATERYAL VE YÖNTEMLER)

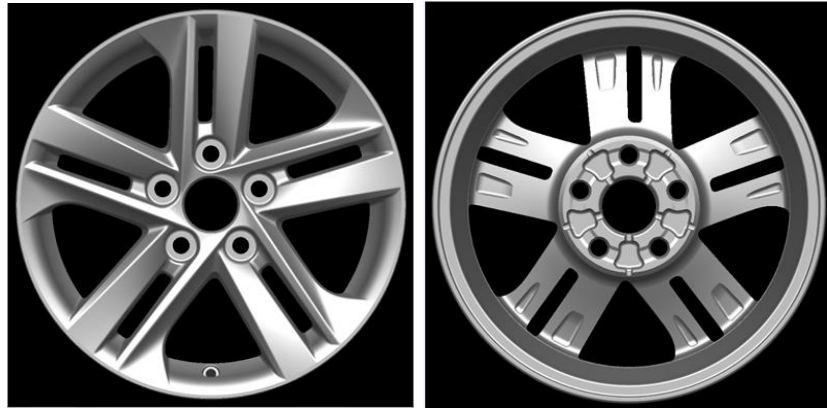
#### 3.1 Materyal

Çalışmada A356 alaşımı olan AlSi<sub>7</sub>Mg'un 2 farklı jant modelinde alçak basınç yöntemiyle dökümü simülasyonu yapılmıştır.

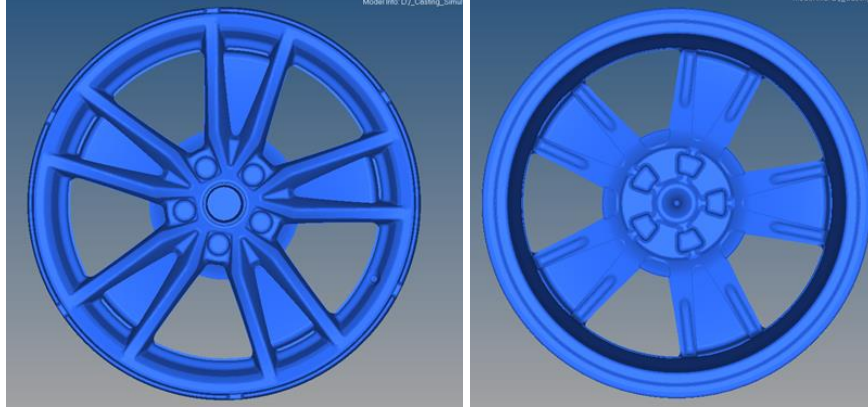
A356 alaşımları 3xx.x alaşımları sınıfında yer alan bir alüminyum döküm alaşımıdır. Ana alaşım elementi silisyumdur ve alaşımın akışkanlığı ile mukavemetini artırır. Alaşım içerisinde silisyumun yanında magnezyum bulunur. Alaşım içerisindeki magnezyum silisyum ile Mg<sub>2</sub>Si çökeltisi oluşturur ve ısıtım sonrası mukavimleşme mekanizmasında rol oynar. Alaşımın kimyasal kompozisyonu Tablo 3.1' de görülmektedir.

**Tablo 3.1** A356 alaşımının kimyasal kompozisyonu. [17]

Element	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Zn (%)	Ti (%)	Geri Kalan (%)	Al (%)
A356	6,5-7,5	0,2	0,2	0,1	0,25-0,45	0,1	0,2	0,2	Geri Kalan



**Şekil 3.1** 1. Simülasyondaki jantların görselleri



**Şekil 3.2 2.** Simülasyondaki jantların görselleri

## **3.2 Yöntem**

### **3.2.1 Döküm Yöntemi**

A356 alaşımı olan  $AlSi_7Mg$ 'un alçak basınçlı döküm yöntemi kullanılarak dökümleri gerçekleştirilmiştir.

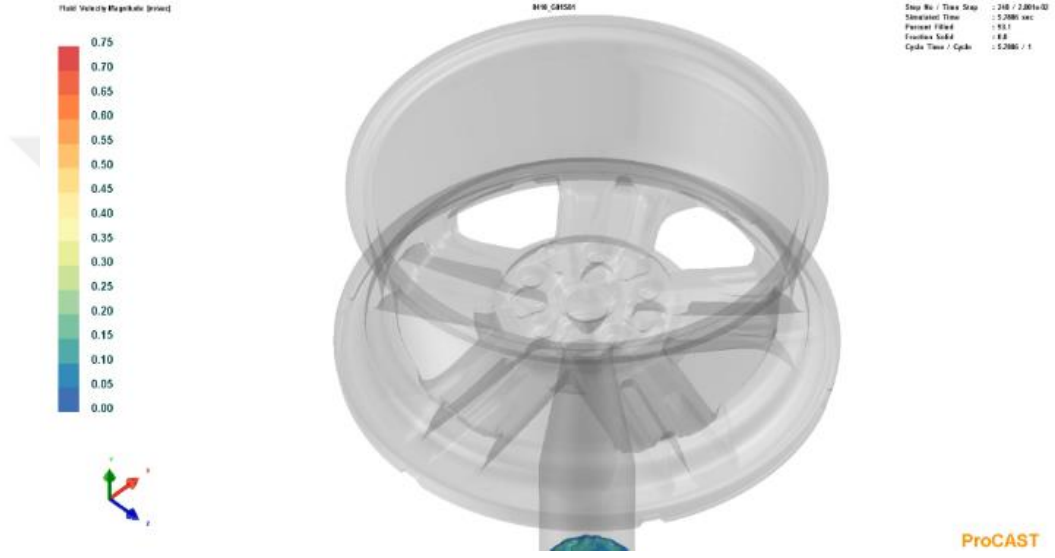


**Şekil 3.3** Örnek bir alçak basınçlı döküm tezgah görseli [8]

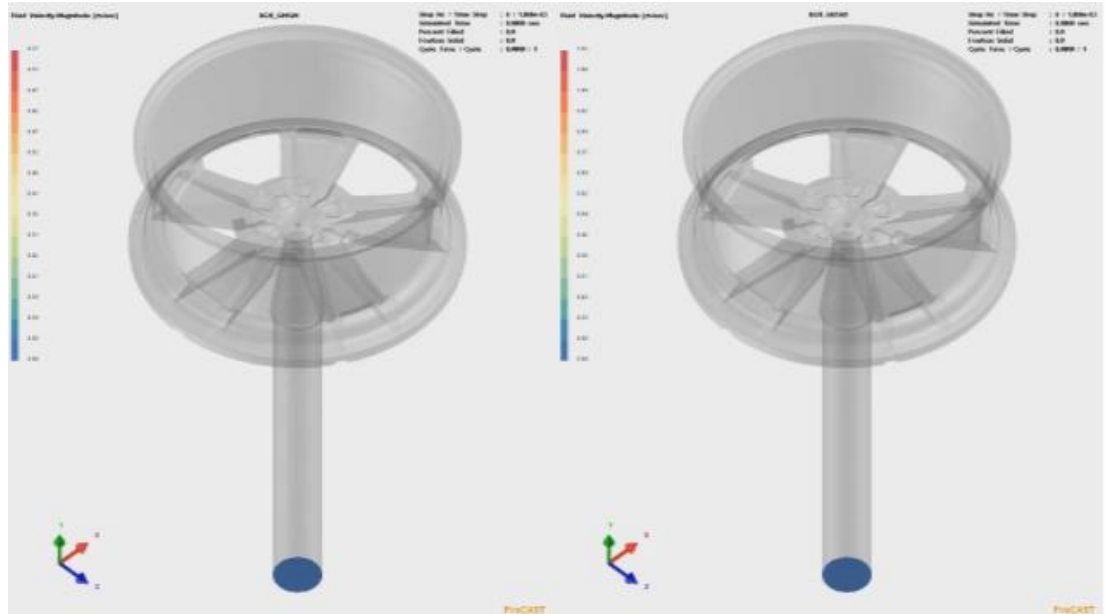
### 3.2.2 Simülasyon Yöntemi

Bu çalışmada çizimler Unigraphics NX programıyla çizilmiştir. Ardından bu çizimler Hypermesh programında mesh edilmiş olup ProCast programına import edilmiştir.

ProCast programı kullanılarak 2 farklı kesit tasarımı ve geometriye sahip prototiplere döküm simülasyonu uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te prototiplerin örnek görselleri gösterilmektedir.



Şekil 3.4 1. Simülasyonda kullanılan prototip jantların simülasyon görselleri



Şekil 3.5 2. Simülasyonda kullanılan prototip jantların simülasyon görselleri



## 4 ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

2 farklı kesit tasarımı ve geometriye sahip jant prototiplerine döküm simülasyon uygulamaları yürütülmüştür.

### 4.1 1 Nolu Jant Ve Prosesi

1. simülasyonda göbek bölgesindeki olan hatalar giderilmiştir. Bu simülasyonda göbek bölgesinde oluşan çekintilerden dolayı hatalar oluşmaktadır. Göbek soğutma süresini 20 sn geciktirerek göbekten bijona beslemeyi devam ettirilmiş ve buradaki besleme mekanizmasında iyileştirmeleri gerçekleştirilmiştir. Bu sayede çekinti hataları ortadan kaldırmıştır. Kalıplar 350 derece dolaylarında olmaktadır. Max uygulanan basınç 1000 mbar seviyelerindedir.

Sırasıyla şu işlemleri uygulanmaktadır;

25 sn de basıncın 0 mbar dan 350 mbar a yükseltilerek sıvı metal yüzeyine basınç uygulanmış, bu süreçte ise tezgah haznesinden riser tüpe sıvı metalin yönlenmesinin ardından 25 sn sonunda kalıbın tam dolmasının sağlanması hedeflenmiştir.

25. sn den 30. sn. ye kadar basınç doğrusal olarak artırılarak katılma sürecinin başlangıcında beslemenin tam olarak sağlanabilmesi amacı ile basınç 850 mbar değerine yükseltilmiştir.

165 sn boyunca 850 basınç uygulanarak besleme mekanizmasının yanı sıra katılma sürecinin de basınç altında gerçekleştirilmesi amacı ile basınç 850 mbar değerinde sabit tutulmuştur.

25±10 sn boyunca basınç uygulamadan soğutmaya devam edilmiştir.

Soğutma işlemleri öncelikli olarak lastik yüzeyi bölgesinden başlamaktadır. Üst bijonun olduğu yerde kalın kesit olduğu için soğutma orada daha erken başlamaktadır. Soğutma borularının çapı 8 cm ve hepsi standart aynıdır.

Döküm işlemi normal şartlar altında 25 sn içerisinde tamamlanmaktadır. Fakat diğer bekletme ve soğutma işlemlerinden dolayı süre daha uzun sürmektedir. Soğutma işleminin en son yapıldığı yer her zaman beslemenin yapıldığı kısımdır.

Besleme ünitesi tezgahın alt kısmında bulunmaktadır. Tezgahın sol tarafında bulunan kapaktan alarım dolumu yapılmaktadır. Kapağın hemen yanındaki kısımdan basınç uygulanarak döküm başlanmaktadır. 0 mbar basınç ile başlayan işlem 850 mbar ile sonlanmaktadır. Genellikle çapı 50 cm olan filtreler kullanılmaktadır.

Kalıplara uygulanan diğer işlemler tablo 4.1 ve tablo 4.2’de gösterilmiştir.



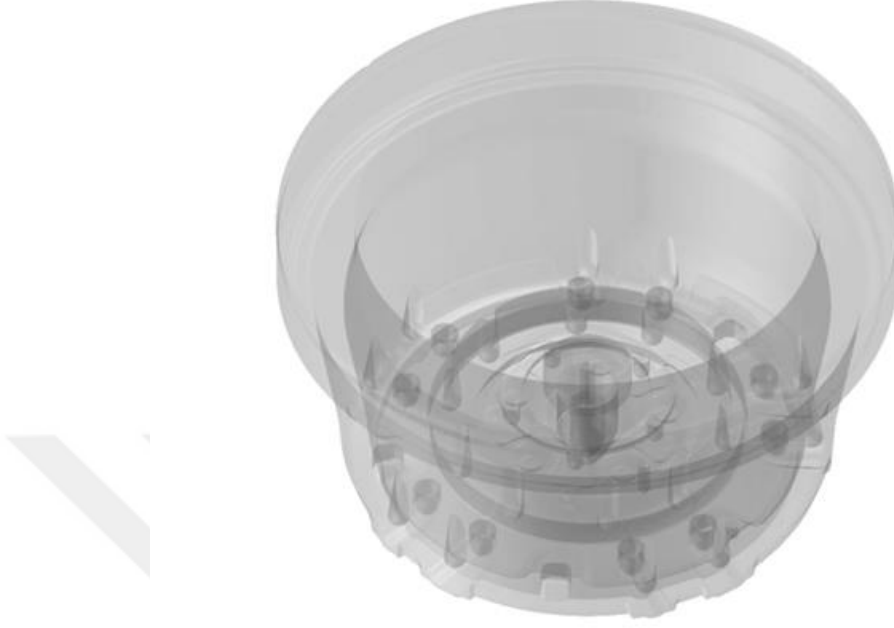
**Tablo 4.1** İşlem yapılmadan önceki veriler

	Soğutma Grubu	Soğutma 1	Soğutma 2	Soğutma 3	Soğutma 1	Soğutma 2	Soğutma 3	Soğutma 3	Soğutma 4	Soğutma 4	
	Bölge	Alt Bijon	Alt Göbek	Alt Feder Çevre	Üst Bijon	Üst Göbek	Üst Feder Çevre	Üst Feder Çevre	Üst Feder Orta	Üst Feder Orta	Yan Blok Su
	Bekleme Süresi	80	110	100	80	150	110	110	100	100	60
Sn ±20	Soğutma Süresi	120	105	80	140	60	80	80	80	80	40
±5	Su Debi (Lt/Dk)										16
±150	Hava Su Debisi (L/Dk)	800	1200	800	1500	1200	800	800	600	600	

**Tablo 4.2** İşlem yapıldıktan sonraki veriler

	Soğutma Grubu	Soğutma 1	Soğutma 2	Soğutma 3	Soğutma 1	Soğutma 2	Soğutma 3	Soğutma 3	Soğutma 4	Soğutma 4	
	Bölge	Alt Bijon	Alt Göbek	Alt Feder Çevre	Üst Bijon	Üst Göbek	Üst Feder Çevre	Üst Feder Çevre	Üst Feder Orta	Üst Feder Orta	Yan Blok Su
	Bekleme Süresi	80	110	100	80	<b>170</b>	110	110	100	100	60
Sn ±20	Soğutma Süresi	120	105	80	140	<b>50</b>	80	80	80	80	40
±5	Su Debi (Lt/Dk)										16
±150	Hava Su Debisi (L/Dk)	800	1200	800	1500	1200	800	800	600	600	

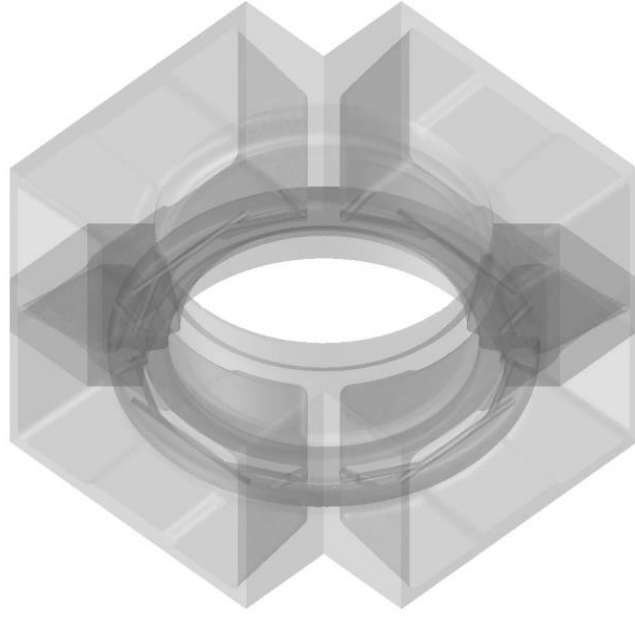
Kalıpların görüntüsü aşağıdaki gibidir;



Şekil 4.1 Prototip jantın arka kısmı



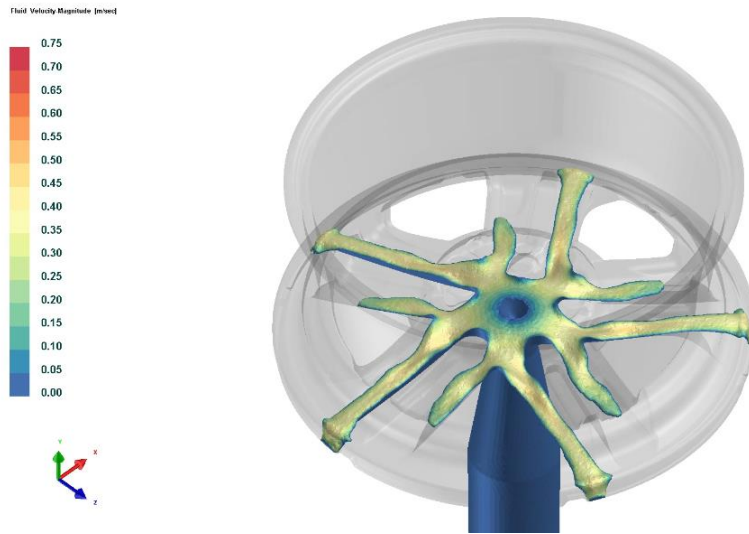
Şekil 4.2 Prototip jantın ön yüzeyi kısmı



**Şekil 4.3** Prototip jantın lastik kısmı

Dolum analizi ;

Burada jantın dolumu ile ilgili sıkıntı olup olmadığı değerlendirilmiştir. Yapılan dolum analizinde herhangi bir sıkıntı görülmemiştir. Grafik incelendiğinde kritik hız olan 0.5 m/s'yi geçmeyerek dolum parametrelerinin doğru olduğu görülmüştür. Doldurma esnasındaki hız max 0.45'e kadar çıkmaktadır.



**Şekil 4.4** Dolumun başladığı andaki gösterimi

Doldurma esnasındaki hız max 0.45'e kadar çıkmaktadır. Şekil 4.4'te gösterilmektedir.

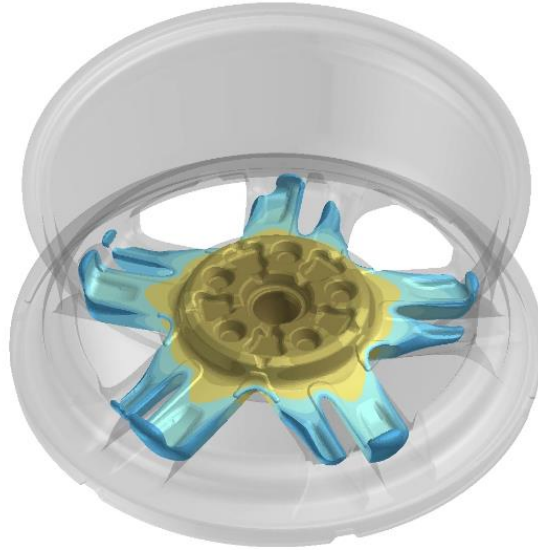


Şekil 4.5 Dolumun bittiği andaki gösterimi

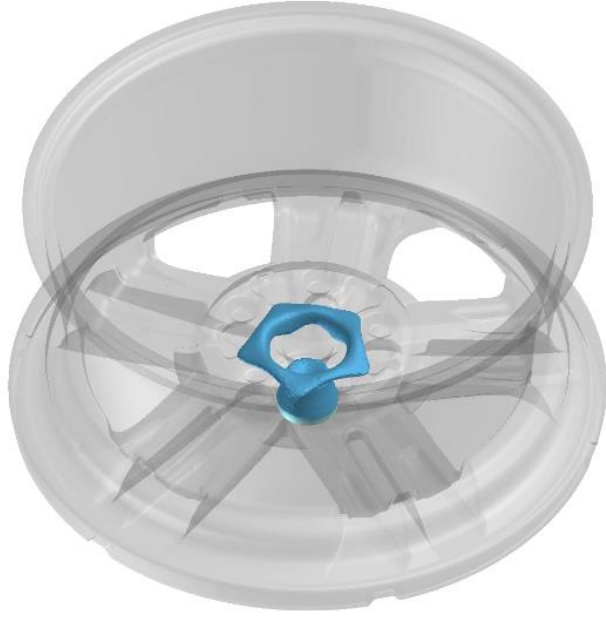
Dolumun bittiği an olan 25. saniyedeki görünümü Şekil 4.5'te gösterilmektedir.

#### 4.1.1 Oluşan Hatalar Ve Karşılaştırılması

Besleme sırasında oluşan kesmelerin makroskopik düzeyde görünümü aşağıdaki gibidir;

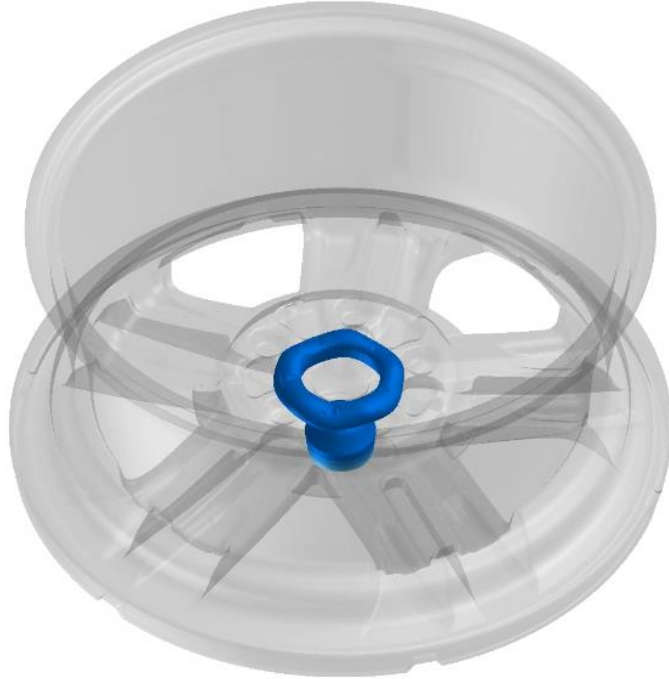


Şekil 4.6 Besleme sırasında oluşan kesme görseli



**Şekil 4.7** Besleme sırasında oluşan kesme görseli

Besleme sırasında oluşan kesmelerin mikroskopik düzeyde görünümü aşağıdaki gibidir;



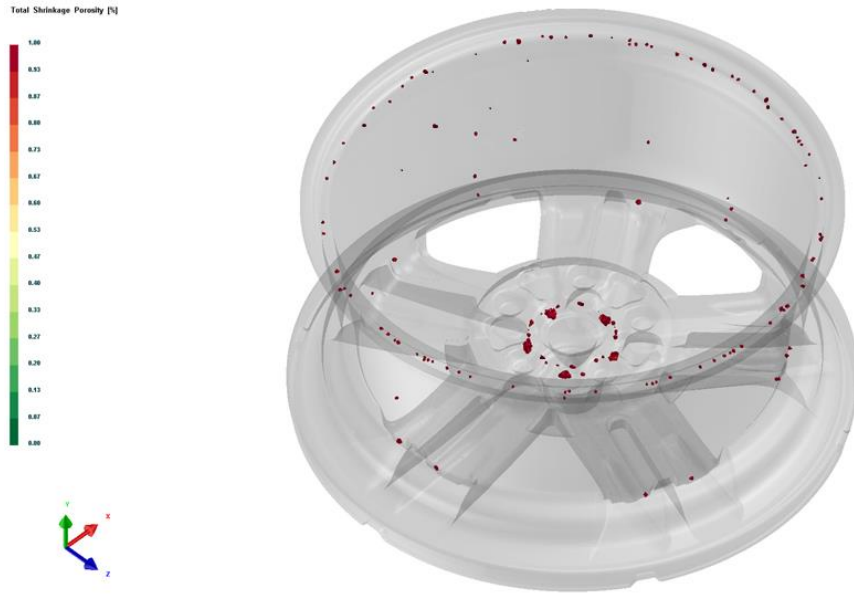
**Şekil 4.8** Besleme sırasında oluşan kesme görseli



**Tablo 4.3** Makro ve mikro hata değerleri

Porozite Derecesi	Yazılım Eşik Değeri	Açıklama	Şiddet	Beklenen Porozite Boyutu
Makro Porozite	> % 1	X-Işımı İle Tespit Edilebilir	Yüksek	Mm
Mikro Porozite	% 0,25	Optik Mikroskop	Orta	µm
Mikro Porozite	% 0,1	Optik Mikroskop	Düşük	µm

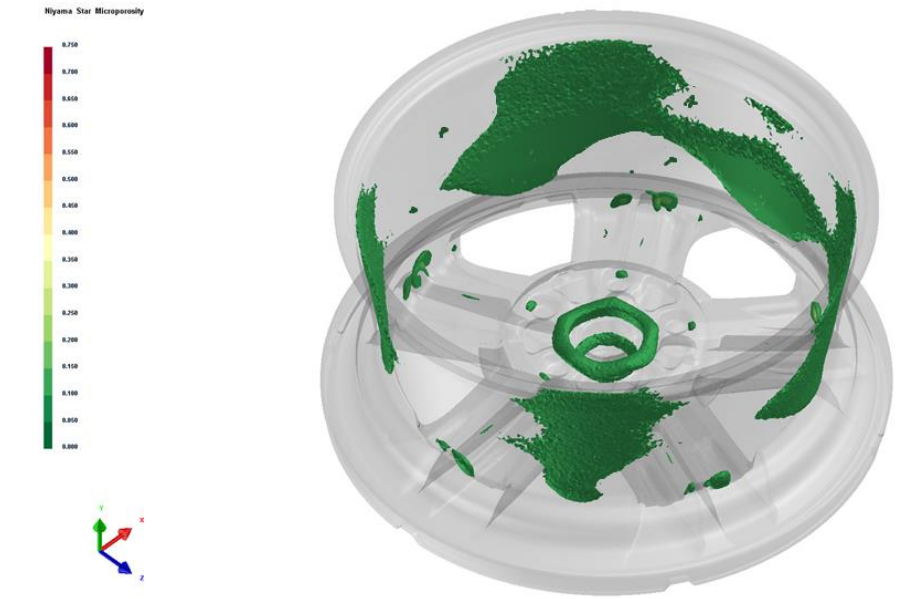
Makro ve mikro hataların görünümü aşağıdaki gibidir;



**Şekil 4.9** Makro düzeydeki poroziteler

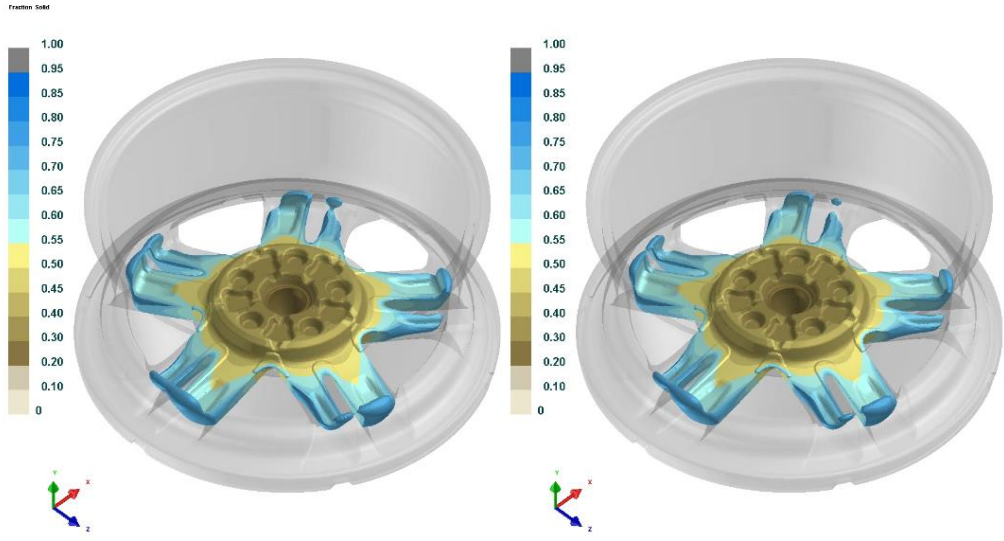


Şekil 4.10 Mikro düzeydeki poroziteler

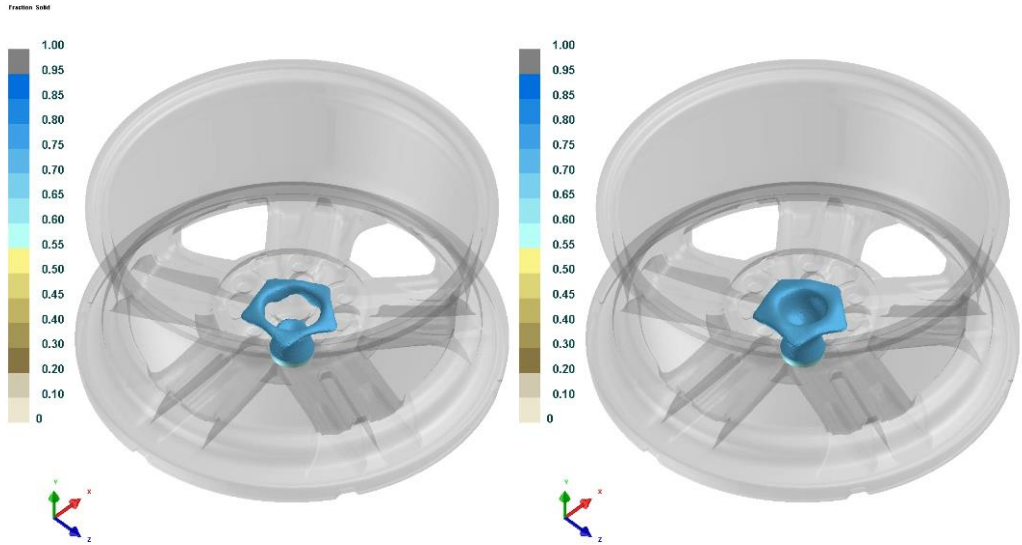


Şekil 4.11 Mikro düzeydeki poroziteler

Yapılan işlemler sonucunda simülasyonların karşılaştırılması aşağıdaki gibidir;

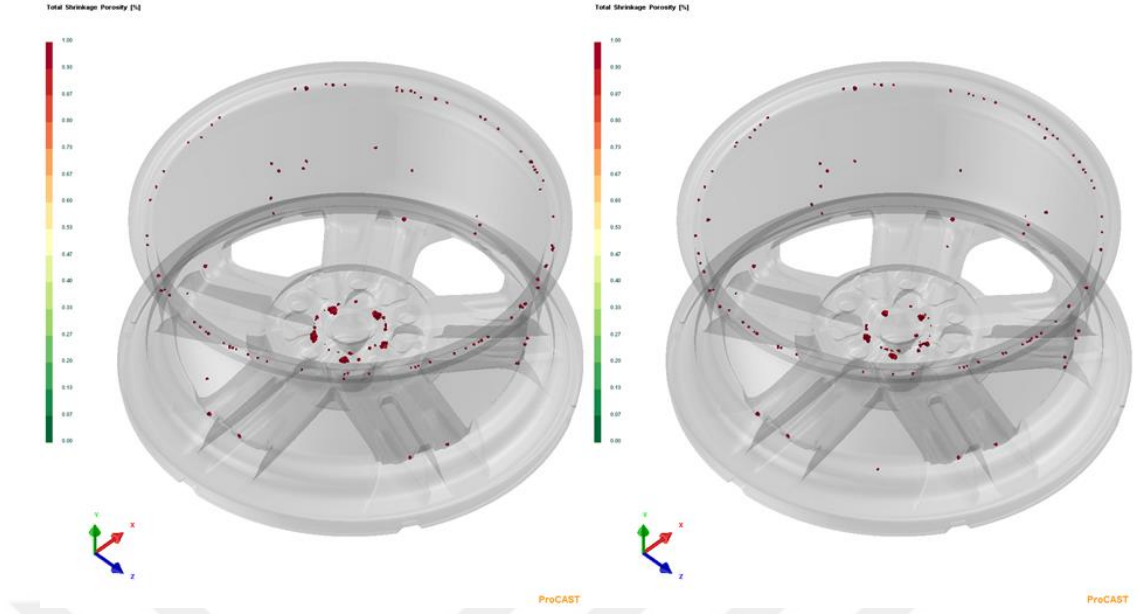


Şekil 4.12 Besleme sırasında oluşan kesmelerin karşılaştırılması



Şekil 4.13 Besleme sırasında oluşan kesmelerin karşılaştırılması

Şekil 4.12 ve 4.13'te görüldüğü gibi içerde oluşan kesmeler ortadan kaldırılmıştır.

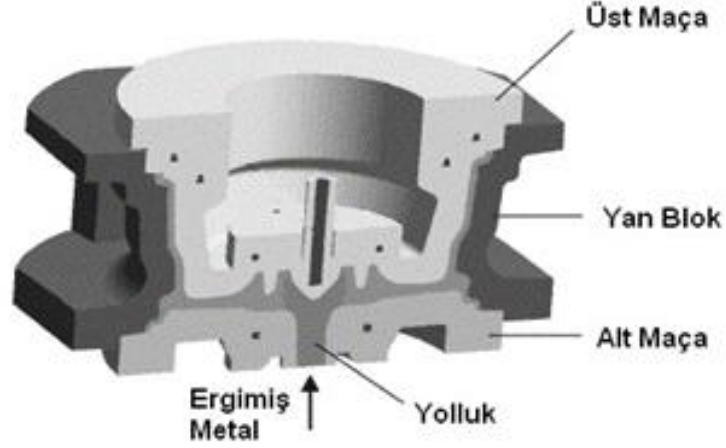


**Şekil 4.14** Makro düzeydeki hataların karşılaştırılması

Xray’de görünen %1’den büyük hatalar olan makro hatalar büyük oranda giderilmiştir. Şekil 4.14’de gösterilmektedir.

## 4.2 2 Nolu Jant Ve Prosesi

2. simülasyonda jantın lastik bölgesindeki olan hataların düzeltilmiştir. Bu simülasyonda lastik bölgesinde oluşan porozitelerden dolayı hatalar oluşmaktadır. Jantın yan kısmı yani lastik kısmında poroziteler oldukça fazladır. Yan maçayı 25 cm’den 15 cm’ye çekerek ve üst maça bölgesine boşaltma kanalları ekleyerek, bu hatalar minimuma indirilmiştir. Kalıplar 350 derece civarındadır. Max 1000 mbar uygulanmaktadır.



Şekil 4.15 Örnek kalıp gösterimi [8]

Sırasıyla şu işlemler uygulanmaktadır;

40 sn de basıncın 0 mbar dan 350 mbar a yükseltilek sıvı metal yüzeyine basınç uygulanmış, bu süreçte ise tezgah haznesinden riser tüpe sıvı metalin yönlenmesinin ardından 40 sn sonunda kalıbın tam dolmasının sağlanması hedeflenmiştir.

40. sn'den 47. sn'ye kadar basınç doğrusal olarak artırılarak katılaşma sürecinin başlangıcında beslemenin tam olarak sağlanabilmesi amacı ile basınç 850 mbar değerine yükseltilmiştir.

165 sn boyunca 850 basınç uygulanarak besleme mekanizmasının yanı sıra katılaşma sürecinin de basınç altında gerçekleştirilmesi amacı ile basınç 850 mbar değerinde sabit tutulmuştur.

30±10 sn boyunca basınç uygulamadan soğutmaya devam edilmiştir.

Bu işlemlerden sonra simülasyonda gördüğümüz hatalar nedeniyle yapılan işlemlerde değişikliğe gidilerek aşağıdaki işlemler uygulanmıştır;

30 sn de basıncın 0 mbar dan 350 mbar a yükseltilek sıvı metal yüzeyine basınç uygulanmış, bu süreçte ise tezgah haznesinden riser tüpe sıvı metalin yönlenmesinin ardından 30 sn sonunda kalıbın tam dolmasının sağlanması hedeflenmiştir.

30. sn'den 37. sn'ye kadar basınç doğrusal olarak artırılarak katılaşma sürecinin başlangıcında beslemenin tam olarak sağlanabilmesi amacı ile basınç 850 mbar değerine yükseltilmiştir.

180 sn boyunca 850 basınç uygulanarak besleme mekanizmasının yanı sıra katılaşma sürecinin de basınç altında gerçekleştirilmesi amacı ile basınç 850 mbar değerinde sabit tutulmuştur.

35±10 sn boyunca basınç uygulamadan soğutmaya devam edilmiştir.

Soğutma işlemleri öncelikli olarak lastik yüzeyi bölgesinden başlamaktadır. Üst bijonun olduğu yerde kalın kesit olduğu için soğutma orada daha erken başlamaktadır. Soğutma borularının çapı 8 cm ve hepsi standart aynıdır.

Döküm işlemi normal şartlar altında 30 sn içerisinde tamamlanmaktadır. Fakat diğer bekletme ve soğutma işlemlerinden dolayı süre daha uzun sürmektedir. Soğutma işleminin en son yapıldığı yer her zaman beslemenin yapıldığı kısımdır.

Besleme ünitesi tezgahın alt kısmında bulunmaktadır. Tezgahın sol tarafında bulunan kapaktan alaşım dolumu yapılmaktadır. Kapağın hemen yanındaki kısımdan basınç uygulanarak döküm başlamaktadır. 0 mbar basınç ile başlayan işlem 850 mbar ile sonlanmaktadır. Genellikle çapı 50 cm olan filtreler kullanılmaktadır. .

Kalıplara uygulanan diğer işlemler tablo 4.4 ve tablo 4.5'te gösterilmiştir.

**Tablo 4.4** İşlem yapılmadan önceki veriler

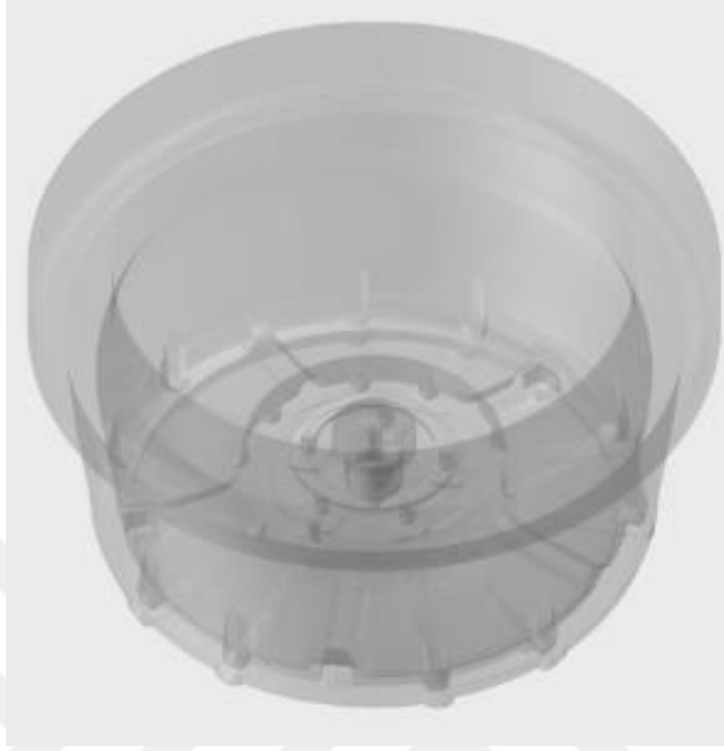
	Soğutma Grubu	Soğutma (S)												
		S 1	S 2	S 3	S 3	S 3	S 4	S 5	S 6	S 6	S 7	S 7		S 7
	Bölge	Alt Bijon	Alt Göbek	Alt Feder Orta	Alt Feder Orta	Alt Feder Orta	Üst Bijon	Üst Dağıtıcı	Üst Feder Çevre	Üst Feder Çevre	Üst Feder Orta	Üst Feder Orta	Üst Feder Orta	Yan Blok Su
	Bekleme Süresi	100	100	110	90	90	120	150	110	110	100	100	90	50
Sn ±20	Soğutma Süresi	100	110	60	80	80	120	60	60	60	80	80	60	60
±5	Su Debi (Lt/Dk)													10
±150	Hava Su Debisi (L/Dk)	800	1200	500	800	800	800	800	600	600	600	600	1200	

**Tablo 4.5** İşlem yapıldıktan sonraki veriler

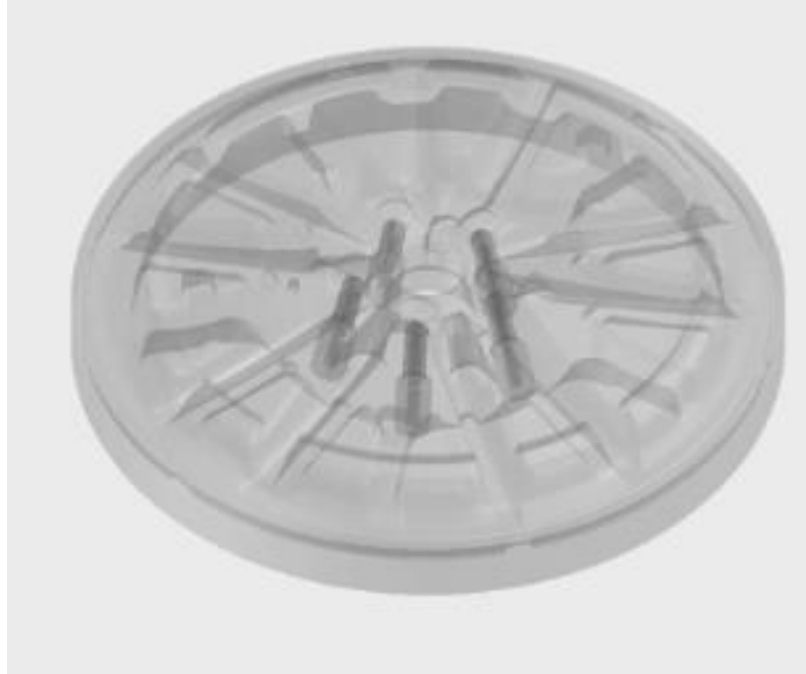
	Soğutma Grubu	Soğutma (S)												
		S 1	S 2	S 3	S 3	S 3	S 4	S 5	S 6	S 6	S 7	S 7		S 7
	Bölge	Alt Bijon	Alt Göbek	Alt Feder Orta	Alt Feder Orta	Alt Feder Orta	Üst Bijon	Üst Meme	Üst Feder Çevre	Üst Feder Çevre	Üst Feder Orta	Üst Feder Orta	Üst Feder Orta	Yan Blok Su
	Bekleme Süresi	120	100	110	110	25	100	170	110		110	110	100	60
Sn ±20	Soğutma Süresi	100	110	60	45	80	120	60	60		60	60	40	20
±5	Su Debi (Lt/Dk)													10
±150	Hava Su Debisi (L/Dk)	800	1200	500	1200	3000	800	800	800		600	600	600	



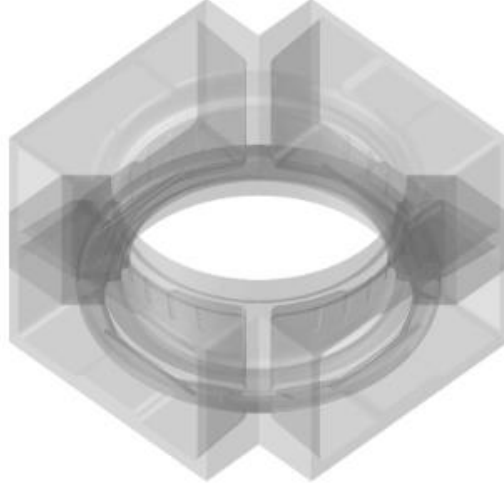
Kalıpların görüntüsü aşağıdaki gibidir;



**Şekil 4.16** Prototip jantın arka kısmı



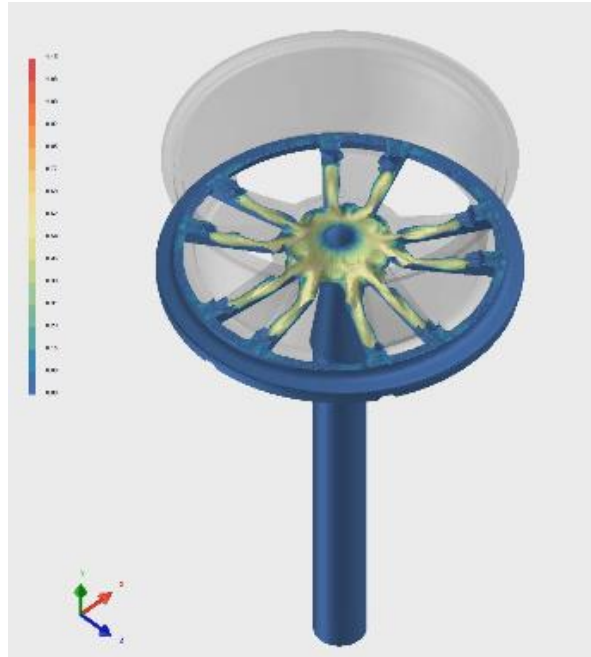
**Şekil 4.17** Prototip jantın ön yüzey kısmı



**Şekil 4.18** Prototip jantın lastik kısmı

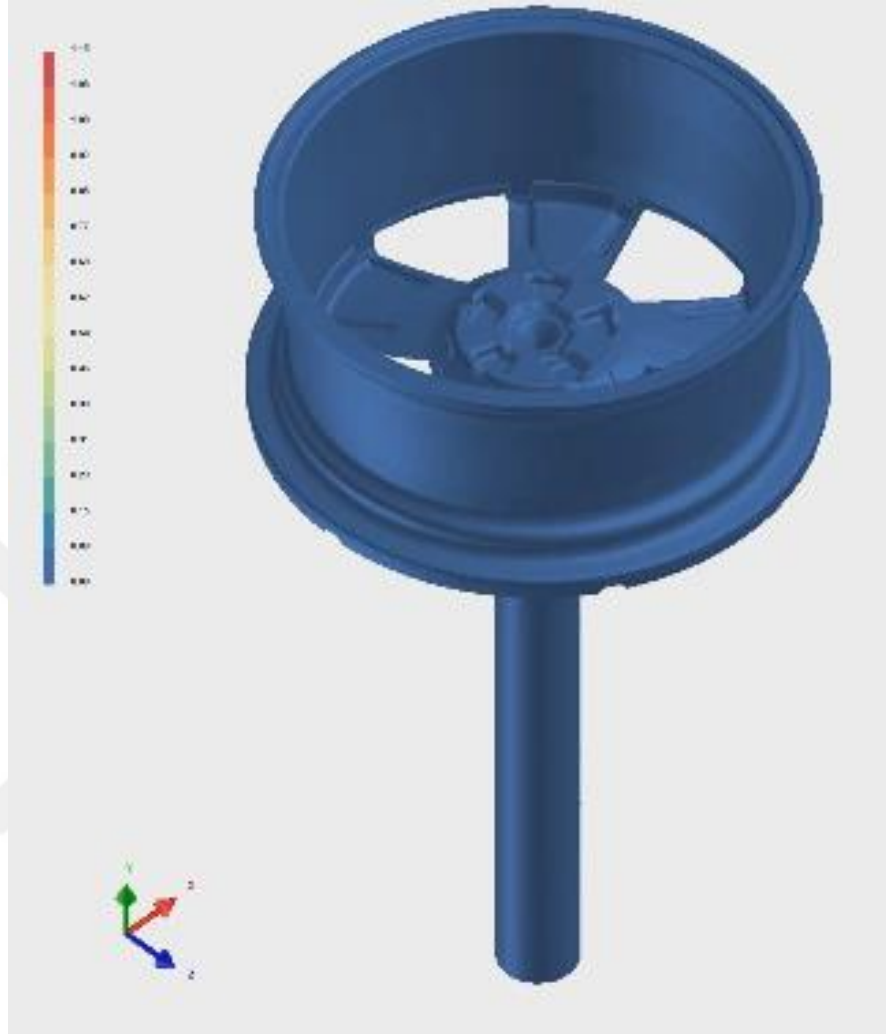
Dolum analizi ;

Burada jantın dolumu ile ilgili sıkıntı olup olmadığı değerlendirilmiştir. Yapılan dolum analizinde herhangi bir sıkıntı görülmemiştir. Grafik incelendiğinde kritik hız olan 0.5 m/s'yi geçmeyerek dolum parametrelerinin doğru olduğu görülmüştür. Doldurma esnasındaki hız max 0.40'a kadar çıkmaktadır.



**Şekil 4.19** Dolumun başladığı andaki gösterimi

Doldurma esnasındaki hız max 0.40'a kadar çıkmaktadır. Şekil 4.19'da gösterilmektedir.

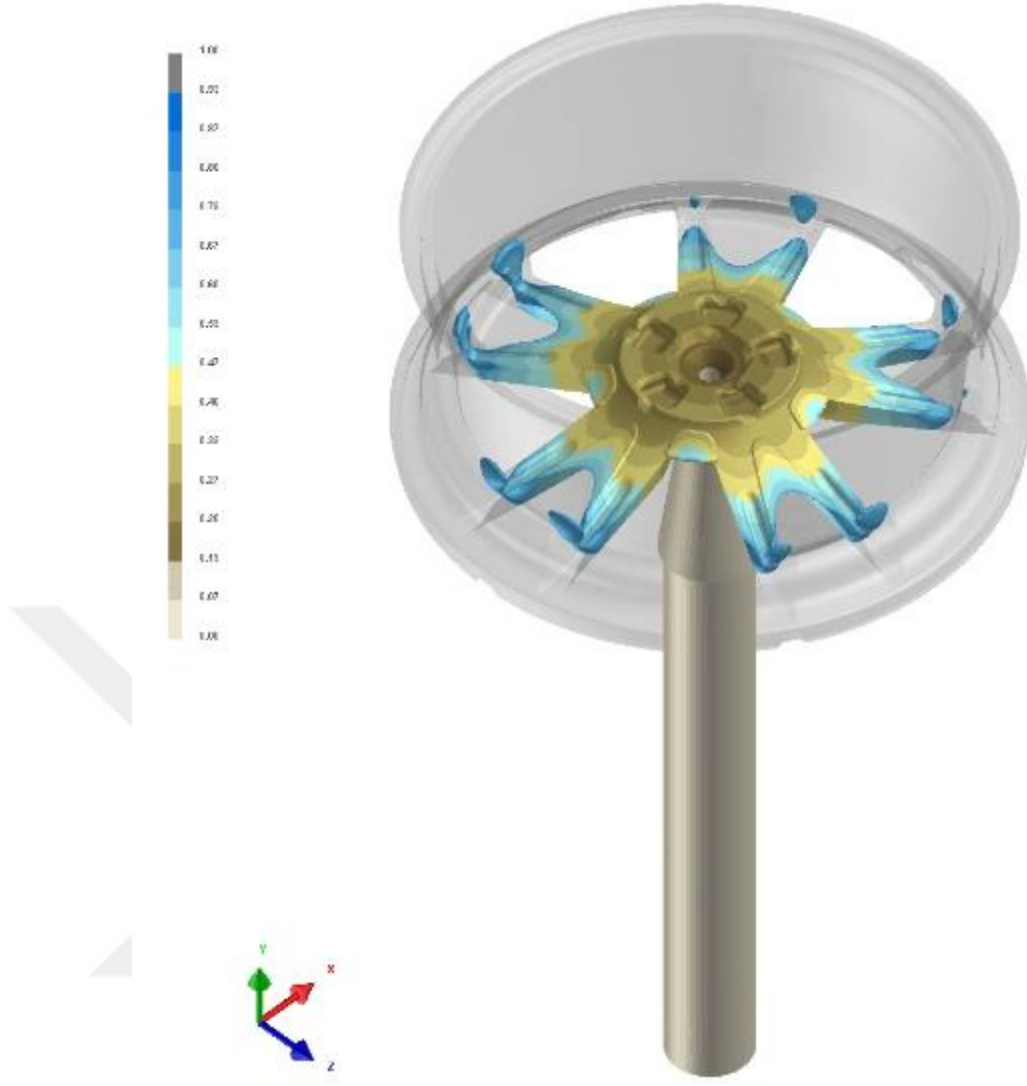


**Şekil 4.20** Dolumun bittiği andaki gösterimi

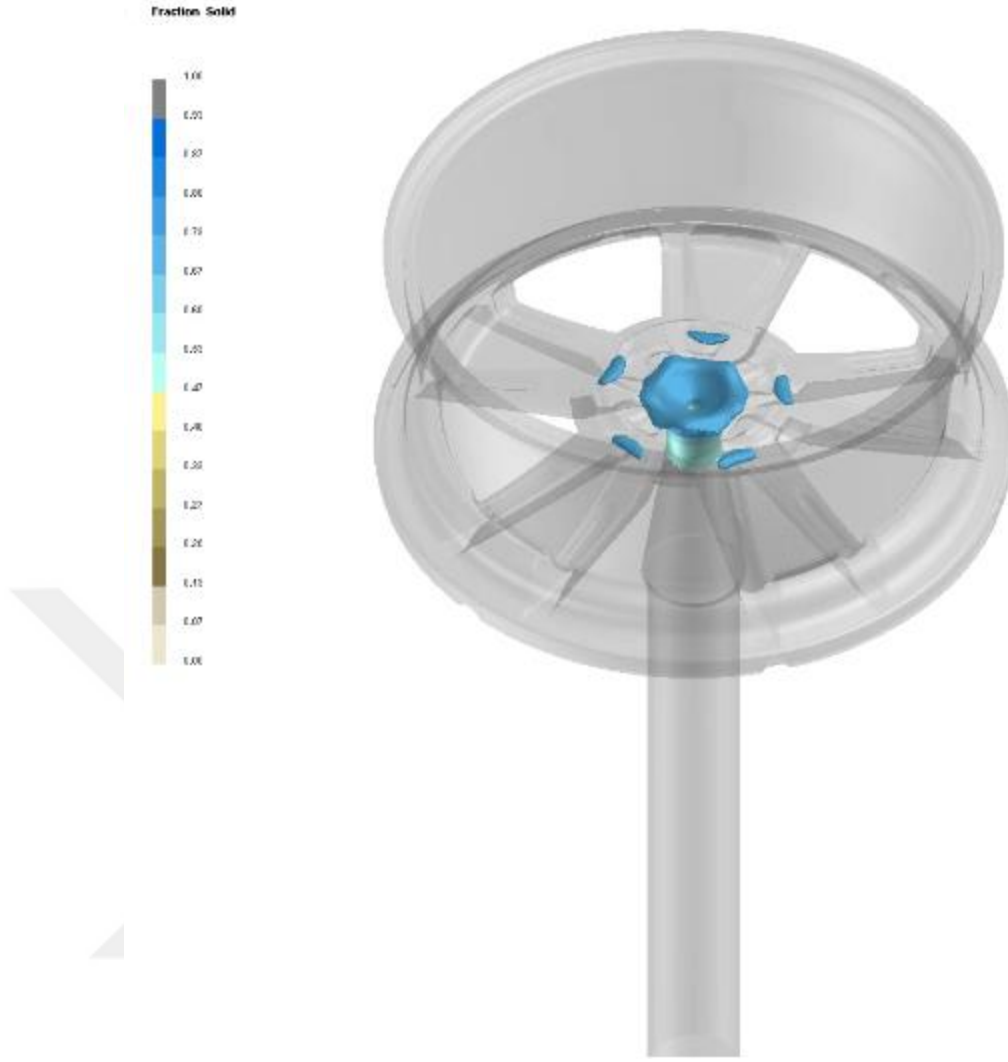
Dolumun bittiği an olan 40. saniyedeki görünümü Şekil 4.20'de gösterilmektedir.

#### **4.2.1 Oluşan Hatalar Ve Karşılaştırılması**

Besleme sırasında oluşan kesmelerin makroskopik düzeyde görünümü aşağıdaki gibidir;

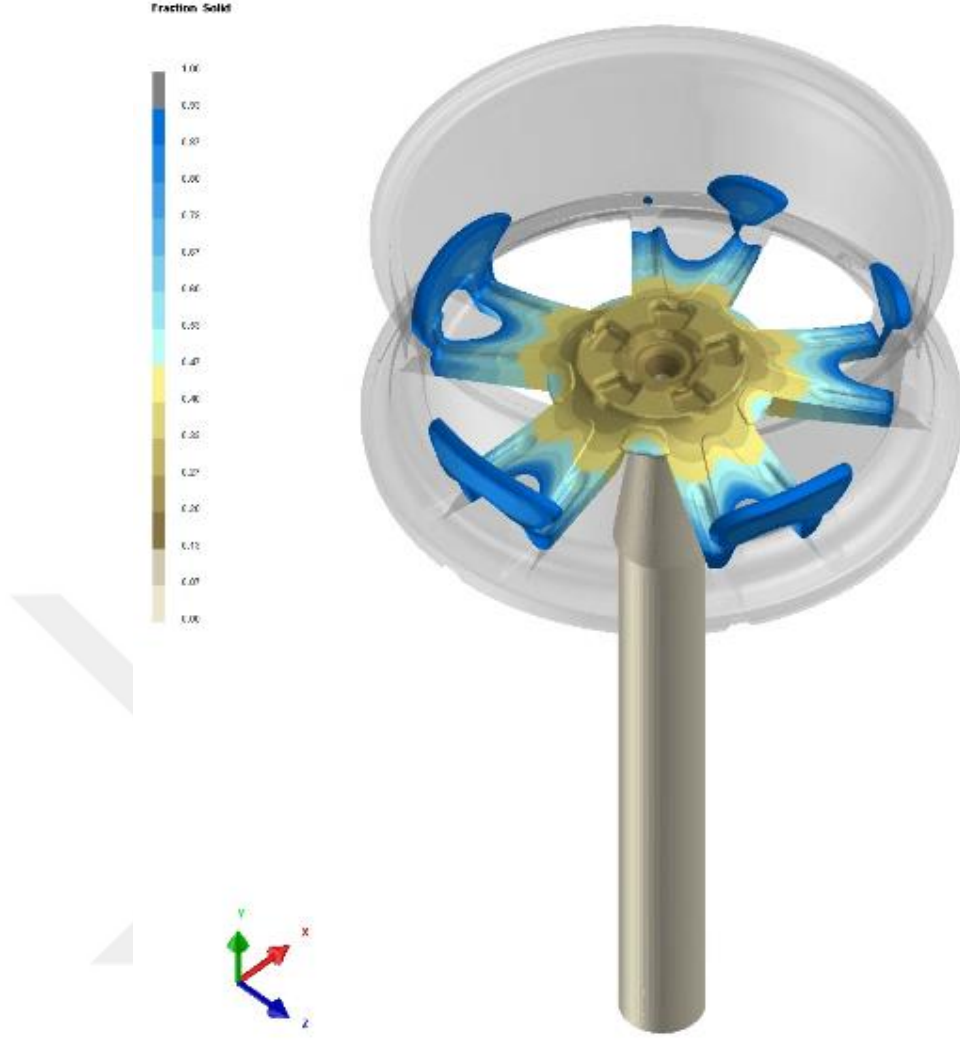


Şekil 4.21 Besleme sırasında oluşan kesme görseli



**Şekil 4.22** Besleme sırasında oluşan kesme görseli

Besleme sırasında oluşan kesmelerin mikroskopik düzeyde görünümü aşağıdaki gibidir;

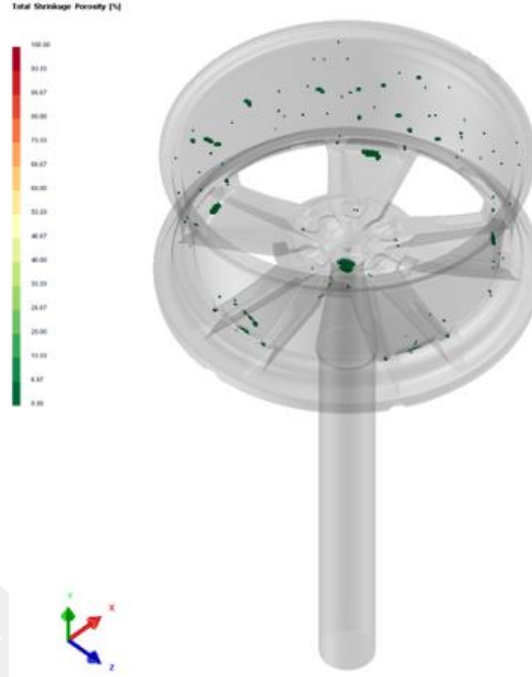


**Şekil 4.23** Besleme sırasında oluşan kesme görseli

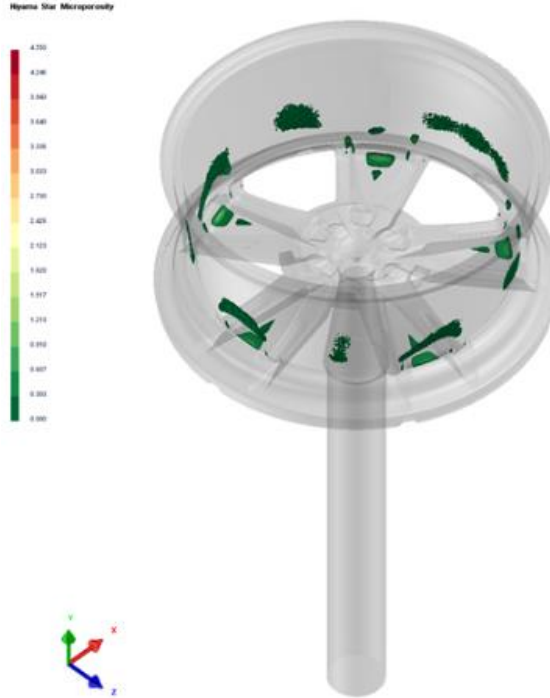
**Tablo 4.6** Makro ve mikro hata değerleri

Porozite Derecesi	Yazılım Eşik Değeri	Açıklama	Şiddet	Beklenen Porozite Boyutu
Makro Porozite	> % 1	X-Işını İle Tespit Edilebilir	Yüksek	Mm
Mikro Porozite	% 0,25	Optik Mikroskop	Orta	$\mu\text{m}$
Mikro Porozite	% 0,1	Optik Mikroskop	Düşük	$\mu\text{m}$

Makro ve mikro hataların görünümü aşağıdaki gibidir;

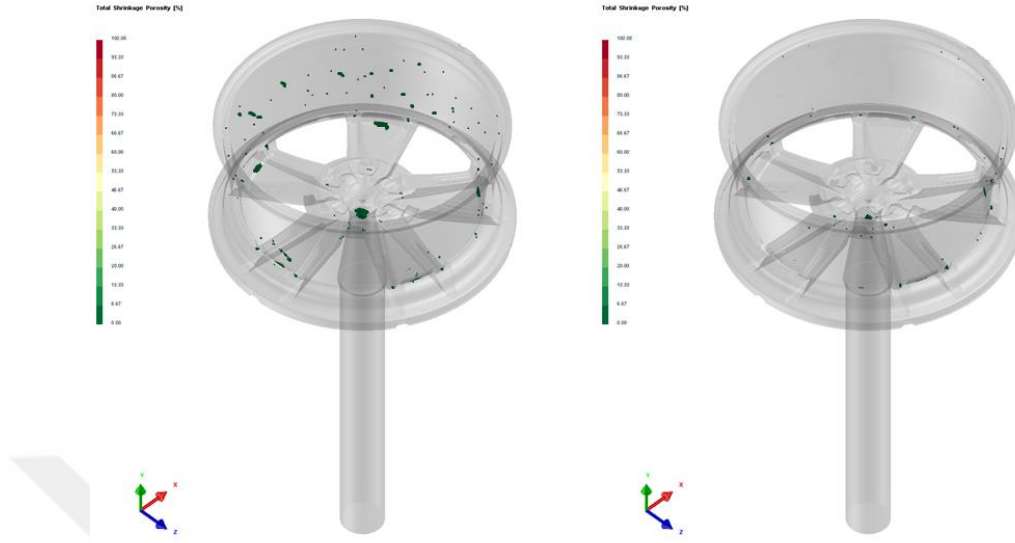


Şekil 4.24 Makro düzeydeki poroziteler

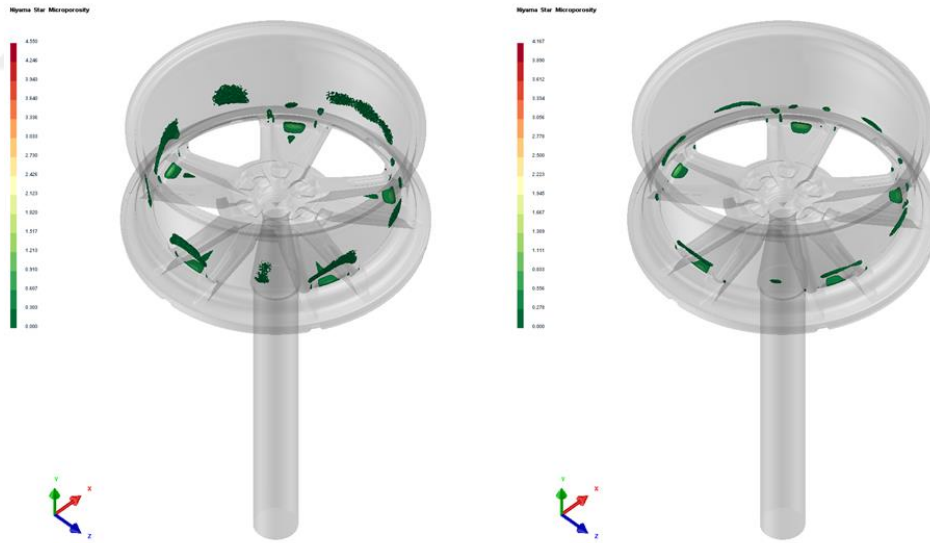


Şekil 4.25 Mikro düzeydeki poroziteler

Yapılan işlemler sonucunda simülasyonların karşılaştırılması aşağıdaki gibidir;



Şekil 4.26 Makro düzeydeki hataların karşılaştırılması



Şekil 4.27 Mikro düzeydeki hataların karşılaştırılması

Makro ve mikro hatalar minimum seviyeleri indirilmiştir ve Şekil 4.26 ve 4.27’de gösterilmektedir.



Murat olak ‘Alüminyum Döküm Alaşımının Katılaşması Sırasında Yarı-Katı Bölge Sıvı Geçirgenliğinin Modellenmesi’ çalışmasını gerçekleştirmiştir. Burada kokil kalıba döküm, kum kalıba döküm ve alçak basınçlı döküm arasındaki farkları gerçek ve simülasyon ortamında karşılaştırmıştır. Burada kullandığı simülasyon programı Solid Cast döküm simülasyon programıdır. Gerçek döküm ve simülasyonu karşılaştırdığında aynı doğrultuda sonuçlar bulmuştur. [11]

Mi Guofa ve arkadaşları ‘Numerical Simulation Of Low Pressure Die-Casting Aluminum Wheel’ çalışmasını gerçekleştirmiştir. Burada bir alüminyum jantın alçak basınçlı kalıp dökümünü (LPDC) simüle etmek için, FDM sayısal simülasyon yazılımı ve ViewCast sistemi kullanılmıştır. Bu proseste sıvı fraksiyon dağılımı, sıcaklık alanı ve dökümlerin katılaşma şekli incelenmiştir. Büzülme kusurlarının jant birleşme noktalarında olduğu belirlenerek kalıptaki soğutma sistemi değişiklikleri yapılarak hatalardan ortadan kaldırılmıştır. Hatalar önceden simülasyonla saptanarak giderilmiştir. [4]

Mattia Merlin ve arkadaşları ‘Impact behaviour of A356 alloy for low-pressure die casting automotive wheels’ çalışmasını gerçekleştirmiştir. Burada bir alüminyum jantın alçak basınçlı kalıp dökümünü simüle etmek için Magmasoft yazılımı kullanılmıştır. Bu proseste son mikroyapı, büzülme, poroziteler, doldurma ve katılaşma oluşumunu incelemek için sayısal simülasyonlar yapılmıştır. Bu çalışmada mikro yapı ve kusurların etkileri ve özellikleri incelenmiştir. [18]

## 5 SONUÇ VE ÖNERİLER

Bizde yapmış olduğumuz çalışmalarda 2 farklı jant prototipinin simülasyonunu gerçekleştirdik. Birinci simülasyonumuzda bekleme ve soğutma sürelerinin iyileştirilmesiyle hatalarımızı giderdik. İkinci simülasyonumuzda kalıbımızda birtakım işlemler yaparak hatalarımızı giderdik.

Buradaki amaç daha jant dökülmeden herhangi bir gerçek döküm gerçekleşmeden önceden hataları görüp düzeltip sorun çıkmayana kadar simülasyonu gerçekleştirmektir. Tam anlamıyla sorun çıkmayana kadar tekrar tekrar çeşitli yollar deneyerek simülasyonlarımızı gerçekleştirdik. Bu sayede hem zamandan hem de maliyetten tasarruf ederek kazanç sağlanmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] Germen Tutaş Gülşah. Magnezyum-Alüminyum Alaşımlarının Kontrollü Atmosferde Gravity Döküm Yöntemi İle Üretilmesi Ve Alaşım Elementlerinin Özelliklere Etkisinin İncelenmesi. Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, 2016. (Yüksek Lisans Tezi).
- [2] Başer T. Alüminyum Alaşımları Ve Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı. Mühendis Ve Makina, 2012,53(635) , 51-58.
- [3] Güner Ali Tekin. Yarı-Katı Halde Şekil Verilmiş Alüminyum Alaşımlarının Mekanik Özelliklerine Su Verme Sıcaklığının Etkisi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2013. (Yüksek Lisans Tezi).
- [4] Guofan M. , Xiangyu L., Kuangfei L., Hengzhi F. Numerical Simulation Of Low Pressure Die-Casting Aluminum Wheel. China Foundry. 2009. 6(1), 48-52.
- [5] Doğan Ergin. 1050 Ve 8006 Alüminyum Alaşımlarının Deformasyon Ve Yeniden Kristalleşme Davranışı. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006. (Yüksek Lisans Tezi).
- [6] Ak Meltem. AA206 Alüminyum Döküm Alaşımında Empürite Demirin Mekanik Özelliklere Etkilerinin İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012. (Yüksek Lisans Tezi).
- [7] Eken Cenk. A356 Alüminyum Döküm Alaşımında Mekanik Özelliklerin Geliştirilmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2016. (Yüksek Lisans Tezi).
- [8] Demir Esin. Alüminyum Alaşımlarda Isıl İşlem Etkilerinin İncelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2008. (Yüksek Lisans Tezi).
- [9] Özkan Gazican. Alüminyum Dökümünde, Kokil Döküm Yöntemiyle Üretilen Parçaların Alçak Basınç Döküm Yöntemiyle Üretilmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2018. (Yüksek Lisans Tezi).
- [10] Kaufman J.G. and Rooy E.L. Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes, and Applications. ASM International ,2004.
- [11] Çolak Murat. Alüminyum Döküm Alaşımlarının Katılaşması Sırasında Yarı-Katı Bölge Sıvı Geçirgenliğinin Modellenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2015. (Doktora Tezi).
- [12] Metal Dünyası Ders Notları.
- [13] Sezgin Yaşa. Alüminyum A356 Alaşımının Titreşimli Dökümü. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2018. (Yüksek Lisans Tezi).
- [14] Kuru M., Serçe O. Yüksek Basıncılı Döküm Prosesinde, Farklı Yolluk Tipi Ve Vakum Uygulamasının Simülasyonu. Sdu International Technologic Science. 2014, 6(3), 1-13.
- [15] Çolak M., Arslan İ., Gavgalı. Gri Dökme Demirlerin Katılaşma Modellemesi Ve Gerçek Dökümler İle Karşılaştırması. Engineering Sciences. 2018, 13(4), 280-290.
- [16] ProCast Ders Notları.
- [17] Chen, C.J. Optimization of mechanical properties in A356 via simulation and permanent mold test-bars., Department of Materials Science and Engineering - Case Western Reserve University, Cleveland, Ohio,(2014). (Doktora Tezi).
- [18] Merlina M. , Timelli G. , Bonollo F. , Garagnani G. Impact Behaviour Of A356 Alloy For Low-Pressure Die Casting Automotive Wheels. Journal Of Materials Processing Technology. 2009, 209, 1060–1073.
- [19] Callister, W. Rethwisch, D. Materials Science And Engineering. Ed: Kenan Genel, 2013.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Salih KALYONCU

Doğum Yeri ve Yılı : İzmir, 1993

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : salihkalyoncu35@gmail.com

### Eğitim Durumu

Lise : Kipa 10. Yıl Lisesi, 2010

Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 2016

### Mesleki Deneyim

Ege Seramik-Arge Mühendisi 2018-...(halen)