

T.C.
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

**ALÜMİNYUM ALAŞIMI İLE ÜRETİLECEK
KÜLBÜTÖR KAPAĞININ YÜKSEK BASINÇLI DÖKÜM
VE KUM KALIBA DÖKÜM SİMÜLASYONU
YAPILARAK KARŞILAŞTIRILMASI VE YOLLUK
TASARIMI**

Yüksek Lisans Tezi

Tezi Hazırlayan

Yuşa HAKTANIR

İstanbul, 2021

T.C.
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

**ALÜMİNYUM ALAŞIMI İLE ÜRETİLECEK
KÜLBÜTÖR KAPAĞININ YÜKSEK BASINÇLI DÖKÜM
VE KUM KALIBA DÖKÜM SİMÜLASYONU
YAPILARAK KARŞILAŞTIRILMASI VE YOLLUK
TASARIMI**

Yüksek Lisans Tezi

Tezi Hazırlayan

Yuşa HAKTANIR

Öğrenci No:

1908093008

Orcid Id: 0000-0002-4808-7390

Danışman:

Dr. Öğr. Üyesi Alen Murat KUYUMCU

İstanbul, 2021

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “**Alüminyum Alaşımı İle Üretilen Külbütör Kapağının Yüksek Basıncı Döküm ve Kum Kalıba Döküm Simülasyonu Yapılarak Karşılaştırılması ve Yolluk Tasarımı**” başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere uygun şekilde tarafımdan yazıldığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, yararlandığım eserlerin tamamının kaynaklarda gösterildiğini ve çalışmamın içinde kullandıkları her yerde bunlara atıf yapıldığını, patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını belirtir ve bunu onurumla doğrularım. 20/05/2021

Yuşa HAKTANIR

T.C.
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
TEZLİ YÜKSEK LİSANS SINAV TUTANAĞI

20.05.2021

Enstitümüz *Makine Mühendisliği* Anabilim Dalı *Makine Mühendisliği* Programı yüksek lisans öğrencilerinden **1908093008** numaralı **Yuşa HAKTANIR**'ın "Beykent Üniversitesi Eğitim-Öğretim Yönetmeliği"nin ilgili maddesine göre hazırlayarak Enstitümüze teslim ettiği "**Yüksek Basıncılı Döküm ve Kum Kalıba Döküm Simülasyonları Yapılarak Karşılaştırma Yapılması Ve Yolluk Tasarımı**" konulu tezini, Yönetim Kurulumuzun 27/04/2021 tarih ve 2021/14 sayılı toplantısında seçilen ve On-line toplanan biz jüri üyeleri huzurunda, Beykent Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 29. maddesinin 3. fıkrası gereğince 45 dakika süre ile Microsoft Teams programı aracılığıyla on-line olarak aday tarafından savunulmuş ve sonuçta adayın tezi hakkında "**OYBİRLİĞİ**" ile "**KABUL**" kararı verilmiştir.

İşbu tutanak, 2 nüsha olarak hazırlanmış ve Enstitü Müdürlüğü'ne sunulmak üzere tarafımızdan düzenlenmiştir.

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi A*** M*** K***
(Beykent Üniversitesi)

ÜYE
Dr. Öğr. Üyesi M*** E***
(Beykent Üniversitesi)

ÜYE
Doç. Dr. A*** A***
(Yıldız Teknik Üniversitesi)

Adı ve Soyadı : Yuşa HAKTANIR
Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Alen Murat KUYUMCU
Türü ve Tarihi : Yüksek Lisans, 2021
Alanı : Makine Mühendisliği
Anahtar Kelimeler : Yüksek basınçlı döküm, Kum kalıba döküm, Döküm simülasyonu, Yolluk tasarımı, Alüminyum Alaşımı

ÖZ

ALÜMİNYUM ALAŞIMI İLE ÜRETİLECEK KÜLBÜTÖR KAPAĞININ YÜKSEK BASINÇLI DÖKÜM VE KUM KALIBA DÖKÜM SİMÜLASYONU YAPILARAK KARŞILAŞTIRILMASI VE YOLLUK TASARIMI

Her geçen gün alüminyum alaşımlarının günümüzdeki kullanımı artmaktadır. Otomotiv sanayinde kullanılan döküm parçaların birçoğu alüminyum alaşımıdır. Bunun sebebi de alüminyum döküm parçaların hafifliğidir. Malzemesi fark etmeksizin döküm parçaların üretimi yapılmadan döküm simülasyonu programları kullanılmaktadır. Bunun sebebi ise döküm süreçleri zaman alıcı ve maliyetli üretim yöntemleri olmasıdır. Zamanı ve maliyetleri minimize etmek için döküm simülasyonlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Yolluk tasarımları döküm kalitesini direkt olarak etkilemektedir. Doğru tasarım yapılan yolluk sistemleri ile döküm parçasında herhangi bir problemle karşılaşılmayacaktır. Yapılan çalışmada yolluk tasarımı yolluk hesapları ışığında modellenmiştir. Döküm simülasyonu sonuçları, yapılan yolluk tasarımı hesaplamaları ile doğrulanmıştır. Yüksek basınçlı döküm ve kum kalıba döküm için ayrı ayrı yolluk hesapları yapılmış, modellenmiş ve simüle edilmiştir. Yapılan çalışmada alüminyum alaşımlı külbütör kapağının yüksek basınçlı döküm ve kum kalıba döküm simülasyonlarının karşılaştırılması yapılmış ve en uygun döküm yöntemi seçilmiştir. Seçilen döküm yöntemine göre döküm parçası üretimi yapılmıştır.

Name and Surname : Yuşa HAKTANIR
Supervisor : Asst. Prof. Alen Murat KUYUMCU
Degree and Date : Master, 2021
Major : Mechanical Engineering
Key Words : High pressure casting, Sand casting, Casting simulation,
Runner design, Aluminum alloy

ABSTRACT

COMPARISON OF VALVE COVER TO BE PRODUCED WITH ALUMINUM ALLOY BY SIMULATING HIGH PRESSURE CASTING AND SAND CASTING AND RUNNER DESIGN

Current use of aluminum alloys is increasing every day. Most of the die-casting parts used in the automotive industry are aluminum alloy. This is because of the lightness of aluminum die-casting parts. Casting simulation programs are used without producing casting parts independently of the material. This is because casting processes are time-consuming and expensive production methods. Casting simulations are required to minimize time and costs. Runner designs directly affect casting quality. With the correct design of Runner systems, there will be no problems with the casting part. In this study, the runner's design was modeled in light of the calculations. The results of the casting simulation were confirmed by runner design calculations. Separate runner calculations were made, modeled and simulated for high pressure casting and sand casting. Additionally, high pressure casting and sand casting simulations of aluminum alloy valve cover were compared and more appropriate casting method was selected. Casting part production was made according to the selected casting method.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No.

ÖZ

ABSTRACT

TABLolar LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
SİMGE LİSTESİ.....	x
KISALTMALAR	xii
SÖZLÜK.....	xiii
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

DÖKÜM YÖNTEMLERİNE GENEL BAKIŞ

1.1. Döküm Yöntemleri.....	4
1.2. Atılabilir Kalıp Döküm	5
1.2.1. Kum Kalıba Döküm	5
1.2.1.1 Maçalar ve Modeller.....	9
1.2.1.2. Kalıplama.....	10
1.2.1.3. Kalıp Kumu Özellikleri	11
1.2.1.4. Kum Dökümünde Kalıplama Yöntemleri.....	11
1.2.1.5. Yaş Kum Kalıplama	12
1.2.1.6. Kuru Kum Kalıplama	13
1.2.1.7. Çukur Kalıplama.....	14
.....	14
1.2.1.8. Karbondioksit Kalıplama.....	14
.....	15
1.2.1.9. Kabuk Kalıplama	16
1.2.1.10. Çimentolu Kalıplama.....	18
1.2.2. Alçı Kalıp Dökümü	18
1.2.3. Hassas Kalıplama Döküm (Mum Döküm).....	19
1.2.4. Dolu Kalıba Döküm	21
1.3. Kalıcı Kalıp Döküm	25

1.3.1. Kokil Kalıp Döküm	26
1.3.2. Alçak Basıncılı Döküm	28
1.3.3. Vakumlu Kalıba Döküm	29
1.3.4. Boşaltma döküm.....	29
1.3.5. Yüksek Basıncılı Döküm.....	30
1.3.5.1. Sıcak Hazneli Basıncılı Döküm.....	32
1.3.5.2. Soğuk Hazneli Basıncılı Döküm	33
1.3.6. Savurma (Santrifüj) Döküm	35
1.3.6.1. Gerçek Savurma Döküm	36
1.3.6.2. Yarı Savurma Döküm	37
1.3.6.3. Savurmalı Döküm.....	37

İKİNCİ BÖLÜM

YOLLUK VE BESLEYİCİ SİSTEMİ

2.1. Yolluk Sistemi.....	38
2.2. Yolluk Tasarımı Hesaplamaları	42
2.3. Kritik Hız	42
2.4. Kritik Kesit.....	44
2.5. Kalıp Dolum Zamanı	44
2.6. Besleyici Hesabı Ve Etkin Döküm Yüksekliği	47
2.7. Döküm Parçasının Alttan Yolluk Beslemesi	48
2.8. Yolluk Sistemlerinde Düşey Ve Yatay Yolluk Oranları.....	50
2.9. Daimi Akışlı Yolluk Sistemi.....	50
2.10. Yüksek Basıncılı Dökümde Meme Kısmı Ve Yolluk Kanalı Tipleri	51
2.11. Yüksek Basıncılı Dökümde Yolluk Kesiti Ve Akış Hızı.....	53

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA SINIFLANDIRMA VE SİMÜLASYONDA KULLANILAN ALÜMİNYUM ALAŞIMI ÖZELLİKLERİ

3.1. Alüminyum Döküm Alaşımları.....	55
3.2. Alüminyum Alaşımlarında Sınıflandırma.....	56
3.3 Alüminyum Döküm Alaşımlarına Uygulanan Temperleme Uygulamaları	58

3.4. Alüminyum-Silisyum Döküm Alaşımları	59
3.5. EN AC-46000 (G-Al Si9Cu3) Alaşımının Özellikleri.....	62
3.6. EN AC-43000 (Al-Si10Mg) Alaşımının Özellikleri.....	65

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

DÖKÜM SİMÜLASYONU VE DÖKÜM PARÇASI TASARIM SİSTEMATİĞİ

4.1. Döküm Simülasyonu Ve Tasarım Sistematiği	69
4.2. Döküm Simülasyonu Programı ve Arayüzü	69
4.3. Döküm Parçası Tasarım Değişkenleri.....	70
4.4. Simülasyon Programından Alınan Çıktılar	72

BEŞİNCİ BÖLÜM

DÖKÜM SİMÜLASYONLARI VE ÇIKTILARI

5.1. Döküm Simülasyonlarında Kullanılacak Külbütör Kapağının Özellikleri	73
5.2. Yüksek Basıncılı Dökümde Yolluk Hesaplamaları Ve Simülasyonlar.....	74
5.2.1. Yüksek Basıncılı Döküm Simülasyon Parametreleri	74
5.2.2. Yüksek Basıncılı Döküm Simülasyonunda Yolluk Sistemi Tasarımı I ..	80
5.2.3. Yüksek Basıncılı Döküm Simülasyonunda Yolluk Sistemi Tasarımı II.	82
5.2.4. Yüksek Basıncılı Döküm Simülasyonunda Kalıp Ve Parça Sıcaklık Dağılımları Karşılaştırması	84
5.2.5. Yüksek Basıncılı Döküm Simülasyonunda Sıvı Metal Akış Hızları Karşılaştırması.....	89
5.2.6. Yüksek Basıncılı Döküm Simülasyonunda Soğuk Birleşme Karşılaştırması.....	90
5.2.7. Yüksek Basıncılı Döküm Simülasyonunda Son Hava Miktarı Karşılaştırması.....	92
5.2.8. Yüksek Basıncılı Döküm Simülasyonunda Porozite Miktarı Karşılaştırması.....	93
5.3. Kum Kalıba Dökümde Yolluk Hesaplamaları Ve Simülasyonlar	96
5.3.1. Kum Kalıba Döküm Simülasyon Parametreleri	96
5.3.2. Kum Kalıba Döküm Simülasyonunda Yolluk Sistemi Tasarımı I.....	100
5.3.3. Kum Kalıba Döküm Simülasyonunda Yolluk Sistemi Tasarımı II.....	102

5.3.4. Kum Kalıba Döküm Simülasyonunda Kalıp Ve Parça Sıcaklık Dağılımları Karşılaştırması	106
5.3.5. Kum Kalıba Döküm Simülasyonunda Sıvı Metal Akış Hızları Karşılaştırması.....	111
5.3.6. Kum Kalıba Döküm Simülasyonunda Soğuk Birleşme Karşılaştırması	112
5.3.7. Kum Kalıba Döküm Simülasyonunda Son Hava Miktarı Karşılaştırması	114
5.3.8. Kum Kalıba Döküm Simülasyonunda Porozite Miktarı Karşılaştırması	115
5.4. Yüksek Basınçlı Döküm Ve Kum Kalıba Döküm Simülasyonu Çıktıları...	118
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	123
KAYNAKÇA.....	125
EKLER	130
Ek-1: Külbütör Kapağı Kalıbı.....	130
Ek-2: Yüksek Basınçlı Döküm Prosesi İle Döküm İşlemi Tamamlanmış Külbütör Kapağı	131
Ek-3: Traktör Motorunda Yüksek Basınçlı Döküm İle Üretilmiş Külbütör Kapağı	132
Ek-4: Külbütör Kapağının Traktör Motoru Üzerindeki Görüntüsü	133

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No.

Tablo 1. Alüminyum Alaşımlarında Sınıflandırma	57
Tablo 2. Alüminyum Alaşımlarında Temperleme Yöntemleri	58
Tablo 3. EN AC-46000 (G-Al Si9Cu3) Alüminyum Döküm Alaşımının	63
Tablo 4. EN AC-46000 (G-Al Si9Cu3) Alüminyum Döküm Alaşımının Fiziksel Özellikleri	64
Tablo 5. EN AC-46000 (G-Al Si9Cu3) Alüminyum Döküm Alaşımının Mekanik Özellikleri	65
Tablo 6. EN AC-43000 (Al-Si10Mg) Alüminyum Döküm Alaşımının Mekanik Özellikleri	66
Tablo 7. EN AC-43000 (Al-Si10Mg) Alüminyum Döküm Alaşımının Kompozisyonu	67
Tablo 8. EN AC-43000 (Al-Si10Mg) Alüminyum Döküm Alaşımının Fiziksel Özellikleri	68
Tablo 9. Yüksek Basınçlı Döküm Simülasyonunda Kullanılacak Külbütör Kapağı Özellikleri	73
Tablo 10. Kum Kalıba Döküm Simülasyonunda Kullanılacak Külbütör Kapağı Özellikleri	73
Tablo 11. Malzemelere Göre Giriş Kesiti Kalınlıkları.....	78
Tablo 12. Yüksek Basınçlı Döküm Ve Kum Kalıba Döküm İçin Birim Maliyetler Ve Amortisman Adetleri.....	122

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No.

Şekil 1. Ergimiş Alüminyum Metali	6
Şekil 2. Kum Döküm Üretim Prosesi	6
Şekil 3. Kum Kalıpta Döküm.....	7
Şekil 4. Döküm Malzemelerin Çekme Payları.....	8
Şekil 5. Döküme Hazır Kum Kalıbın Kesit Görünüşü.....	8
Şekil 6. Kum Döküm Yönteminde Maça Düzeneği.....	9
Şekil 7. Yaş Kalıba Döküm Yöntemi.....	12
Şekil 8. Kuru Kum Kalıba Döküm.....	13
Şekil 9. Çukur Kalıplama.....	14
Şekil 10. Karbondioksit Yöntemi İle Kalıplama.....	15
Şekil 11. Kabuk Kalıba Döküm Prosesi.....	17
Şekil 12. Alçı Kalıp.....	19
Şekil 13. Hassas Döküm İşlem Prosesi.....	21
Şekil 14. Daldırarak Refrakter Kaplama.....	23
Şekil 15. Püskürterek Refrakter Kaplama.....	23
Şekil 16. Dolu Kalıba Döküm.....	25
Şekil 17. Kokil döküm Kalıplarda Kimyasal Bileşim Oranları.....	26
Şekil 18. Kokil Kalıba Döküm.....	27
Şekil 19. Alçak Basınç Döküm.....	28
Şekil 20. Vakum Kalıba Döküm Prosesi.....	29
Şekil 21. Basınçlı dökümde üretilmiş bazı alüminyum parçalar.....	32
Şekil 22. Sıcak Hazneli Basınçlı Döküm.....	33
Şekil 23. Otomotivde kullanılan alüminyum alaşımlarından üretilmiş döküm örnekleri.....	34
Şekil 24. Soğuk Hazneli Basınçlı Döküm.....	35
Şekil 25. Dikey Savurma Döküm.....	36
Şekil 26. Düşey Savurma Döküm.....	37
Şekil 27. Doğal Akış İle Kalıba Doldurulan Sıvı Metal Hareketi.....	38
Şekil 28. Düşey Yolluk Tasarımları.....	39
Şekil 29. Farklı Tasarımlara Ait Ofset Döküm Ağızları.....	40
Şekil 30. Efektif Olarak Kullanılan Yolluk Sistemi.....	41

Şekil 31. Damlacık Modeli.....	44
Şekil 32. Akışkanın Enerji Noktaları.....	45
Şekil 33. Döküm Parçasının Dolum Süresi.....	47
Şekil 34. Alttan Besleme Tasarımı Yapılan Yolluk Bölümleri.....	49
Şekil 35. Yolluk Kanalı Tipleri.....	52
Şekil 36. Al-Si Denge Diyagramı.....	60
Şekil 37. Ötektik altı (hipoötektik) Al-Si Alaşımının Mikroyapısı.....	61
Şekil 38. Ötektik üstü bir Al-Si Alaşımının Mikroyapısı.....	61
Şekil 39. Inspire Cast 2019.4 Arayüz Görüntüsü.....	70
Şekil 40. Döküm Parçasının Tasarım Sistematiği.....	71
Şekil 41. Yüksek Basınçlı Dökümde I. Yolluk Tasarımı Teknik Resmi Ön Görünüş..	80
Şekil 42. Yüksek Basınçlı Dökümde I. Yolluk Tasarımı Teknik Resmi Yardımcı Görünüş.....	81
Şekil 43. Tasarım I. Yüksek Basınçlı Döküm Prosesi Bölümleri.....	81
Şekil 44. Yüksek Basınçlı Dökümde II. Yolluk Tasarımı Teknik Resmi Ön Görünüş.....	82
Şekil 45. Yüksek Basınçlı Dökümde II. Yolluk Tasarımı Teknik Resmi Yardımcı Görünüş.....	83
Şekil 46. Tasarım II. Yüksek Basınçlı Döküm Prosesi Bölümleri.....	83
Şekil 47. I. Tasarıma Ait Belirlenmiş Yüksek Basınçlı Döküm Sonu Sıcaklıkları.....	85
Şekil 48. II. Tasarıma Ait Belirlenmiş Yüksek Basınçlı Döküm Sonu Sıcaklıkları...	85
Şekil 49. I. Tasarıma Ait Belirlenmiş Noktalardaki 2.Saniye Katılma Sıcaklıkları..	86
Şekil 50. II. Tasarıma Ait Belirlenmiş Noktalardaki 2.Saniye Katılma Sıcaklıkları.....	86
Şekil 51. I. Tasarıma Ait Belirlenmiş Noktalardaki 30.Saniye Katılma Sıcaklıkları.....	87
Şekil 52. II. Tasarıma Ait Belirlenmiş Noktalardaki 30.Saniye Katılma Sıcaklıkları.....	87
Şekil 53. I. Tasarıma Ait Belirlenmiş Noktalardaki Dolum Sonu Sıcaklıkları Grafiği.....	88
Şekil 54. II. Tasarıma Ait Belirlenmiş Noktalardaki Dolum Sonu Sıcaklıkları Grafiği.....	88
Şekil 55. I. Tasarıma Ait Meme Kesitindeki Sıvı Metal Hızları.....	89
Şekil 56. II. Tasarıma Ait Meme Kesitindeki Sıvı Metal Hızları.....	90
Şekil 57. I. Tasarıma Ait Soğuk Birleşme Noktaları.....	91
Şekil 58. II. Tasarıma Ait Soğuk Birleşme Noktaları.....	91

Şekil 59. I. Tasarıma Ait Son Hava Miktarı.....	92
Şekil 60. II. Tasarıma Ait Son Hava Miktarı.....	93
Şekil 61. I. Tasarıma Ait Makro Porozite.....	94
Şekil 62. II. Tasarıma Ait Makro Porozite.....	94
Şekil 63. I. Tasarıma Ait Mikro Porozite.....	95
Şekil 64. II. Tasarıma Ait Mikro Porozite.....	95
Şekil 65. Besleyici Modülü Grafiği.....	99
Şekil 66. Kum Kalıba Dökümde I. Yolluk Tasarımı Teknik Resmi Ön Görünüş.....	101
Şekil 67. Kum Kalıba Dökümde I. Yolluk Tasarımı Teknik Resmi Kesit Görünüşler.....	101
Şekil 68. Tasarım I. Kum Kalıba Döküm Prosesi Bölümleri.....	102
Şekil 69. Kum Kalıba Dökümde II. Yolluk Tasarımı Teknik Resmi Ön Görünüş.....	103
Şekil 70. Kum Kalıba Dökümde II. Yolluk Tasarımı Teknik Resmi Üst Görünüş.....	103
Şekil 71. Kum Kalıba Dökümde II. Yolluk Tasarımı Teknik Resmi Sağ Görünüş.....	104
Şekil 72. Tasarım II. Kum Kalıba Döküm Prosesi Bölümleri.....	105
Şekil 73. I. Tasarıma Ait Belirlenmiş Kum Kalıba Döküm Sonu Sıcaklıkları.....	107
Şekil 74. II. Tasarıma Ait Belirlenmiş Kum Kalıba Döküm Sonu Sıcaklıkları.....	107
Şekil 75. I. Tasarıma Ait Belirlenmiş Noktalardaki 15.Saniye Katılaşma Sıcaklıkları.....	108
Şekil 76. II. Tasarıma Ait Belirlenmiş Noktalardaki 15.Saniye Katılaşma Sıcaklıkları.....	108
Şekil 77. I. Tasarıma Ait Belirlenmiş Noktalardaki 30.Saniye Katılaşma Sıcaklıkları.....	109
Şekil 78. II. Tasarıma Ait Belirlenmiş Noktalardaki 30.Saniye Katılaşma Sıcaklıkları.....	109
Şekil 79. I. Tasarıma Ait Belirlenmiş Noktalardaki Dolum Sonu Sıcaklıkları Grafiği.....	110
Şekil 80. II. Tasarıma Ait Belirlenmiş Noktalardaki Dolum Sonu Sıcaklıkları Grafiği.....	110
Şekil 81. I. Tasarıma Ait Meme Kesitindeki Sıvı Metal Hızları.....	111
Şekil 82. II. Tasarıma Ait Meme Kesitindeki Sıvı Metal Hızları.....	112
Şekil 83. I. Tasarıma Ait Soğuk Birleşme Noktaları.....	113
Şekil 84. II. Tasarıma Ait Soğuk Birleşme Noktaları.....	113
Şekil 85. I. Tasarıma Ait Son Hava Miktarı.....	114
Şekil 86. II. Tasarıma Ait Son Hava Miktarı.....	115
Şekil 87. I. Tasarıma Ait Makro Porozite.....	116

Şekil 88. II. Tasarıma Ait Makro Porozite.....	116
Şekil 89. I. Tasarıma Ait Mikro Porozite.....	117
Şekil 90. II. Tasarıma Ait Mikro Porozite.....	117
Şekil 91. 30.Saniyedeki Katılma Sıcaklıklarının Karşılaştırması.....	118
Şekil 92. Soğuk Birleşme Noktalarının Değerlerinin Karşılaştırması.....	119
Şekil 93. Mikro Porozite Sonuçlarının Karşılaştırması.....	120
Şekil 94. Katılma Sürelerinin Karşılaştırması.....	120
Şekil 95. Maliyet Analizi.....	121



SİMGE LİSTESİ

γ	Yüzey gerilimi
g	Yer çekimi ivmesi
ρ	Yoğunluk
W	Döküm ağırlığı
C	Püskürtme ucu katsayısı
d	Sıvı metalin yoğunluğu
t	Döküm zamanı
H	Sıvı metalin döküm yüksekliği
C_a	Kritik Kesit
T	Kalıp dolum zamanı (s)
V	kalıp boşluk hacmi (m^3)
A_g	yolluk kesit alanı (m^2)
V_g	sıvı metalin hızı (m/s)
H_E	Etkin Döküm Yüksekliği (cm)
c	Parça Yüksekliği (cm)
h_Y	üst derece yüksekliği (cm)
h_m	Kalıpta metal yüksekliği,
A_G	Giriş yolluğunun kesit alanı
A_K	Kalıp yatay kesit alanı
$\emptyset$	Çap
π	Pi sayısı
k	Ampirik olarak türetilmiş sabiti
T_i	Kalıba girerken erimiş metalin sıcaklığı
T_f	Metalin minimum akış sıcaklığı

S	Katı fraksiyon yüzdesi
Z	Birim dönüştürme faktörü
T _k	Döküm parçası duvar kalınlığı
T _d	Kalıp sıcaklığı
V _C	Komponent hacmi
M _c	Parça Modülü
M _f	Besleyici Modülü
S _s	Çekinti yüzdesi
C _C	Besleyiciden temin edilen besleme oranı
A _C	Parça projeksiyon alanı
P _i	Spesifik enjeksiyon basıncı
A _F	Güvenlik Faktörü
%	Yüzde
m	Kütle
P	Basınç
z	Yükseklik
°C	Sıcaklık (Celcius)
M _c , M _n , M _f	Besleyici modülü

KISALTMALAR

μm	: Mikrometre
Al	: Alüminyum
CAD	: Bilgisayar destekli tasarım
cm	: Santimetre
Cu	: Bakır
GPa	: Gigapaskal
gr	: Gram
HB	: Brinell
K	: Kelvin
kg	: Kilogram
m	: Metre
M.Ö	: Milattan önce
Max	: Maksimum
Mg	: Magnezyum
Min	: Minimum
mm	: Milimetre
MPa	: Mega paskal
ms-1	: Milisaniye
N	: Newton
Si	: Silisyum
Sn	: Saniye
T	: Ton

SÖZLÜK

Kum Kalıba Döküm: Sıvı metalin kum döküm kalıbı içerisine boşaltılması ardından kalıp içerisindeki sıvı metalin soğuması ve dökülen parçanın çıkartılarak kalıbın bozulması işlemidir.

Yüksek Basınçlı Döküm: Ergimiş metalin yüksek basınç altında metal kalıba döküm işlemidir.

Yolluk: Daimi ve türbülanssız bir akış döküm parametrelerinin olmazsa olmazıdır ve bunu sağlayan döküm komponentine yolluk denir.

Alüminyum Alaşımı: Ana metali alüminyum esaslı olan demir dışı alaşımlara alüminyum alaşımları denilmektedir.

Döküm Simülasyonu: Metal kalıp, plak modeller ve yeri geldiğinde ahşap kalıplama tasarımları yapıldıktan sonra dökümde olası hataları minimize etmek amacı ile kullanılan paket programlarıdır.

GİRİŞ

Döküm yöntemi günümüzde birçok sektörde kullanılmakla birlikte, karmaşık yapıdaki ve yüksek sayıda benzerlik yakalanması gerekli proseslerde kullanılmaktadır. Bu şekilde dıştan ve içten karmaşık yapıdaki parçaların üretimi talaş kaldırma yöntemi olmaksızın üretim yapılabilir. Üretimi yapılan parçalar seri üretime ve tekrarlanabilirliğe uygun olarak elde edilir. Üretilen büyük ve karmaşık yapıdaki parça ve komponentler döküm yöntemi ile ekonomik olarak üretilirken başka bir imalat prosesi ile üretimi mümkün değildir.

Enjeksiyon yöntemi ise malzemenin yüksek sıcaklıklarda eritilerek ve kalıplanarak kompleks parçaların üretimini kolay ve hızlı bir şekilde gerçekleştirme sağlayan üretim yöntemidir. Diğer üretim yöntemlerinden enjeksiyon ile üretim yöntemini ayıran en önemli fark enjeksiyon ile üretim gerçekleştirilen parçaların son işleme ihtiyaç duyulmamasıdır, son işlem olsa bile bu çok nadir olarak gerçekleşir. Enjeksiyon yöntemi ile üretilen parçalar günümüzde en küçük parçalar olduğu kadar büyük parçaların üretilmesi de mümkündür.

Piyasada kullanılan “enjeksiyon” ile üretim, metal enjeksiyon ya da plastik enjeksiyon için kullanılmaktadır. Bu iki üretim yöntemi birbirleri ile karıştırılmamalıdır. Tasarımı yapılmış bir parça hem metal enjeksiyon ile üretilirken hem de plastik enjeksiyon ile de üretilir. Parça geometrisi aynı kalırken malzemesi farklı olacaktır. Metal enjeksiyon yöntemi üretim mantığı olarak plastik enjeksiyon mantığına benzemektedir. Plastik enjeksiyon ile hangi parçaların üretildiği ve hangi yıllarda ortaya çıktığını açıklamak gerekir ise, bu yöntem ile en küçük ve kompakt parçalardan, ev eşyalarına kadar çok farklı boyut ve geometrilerde plastik parçaların üretimi mümkündür. En fazla kullanılan üretim yöntemlerinden biridir. Bu parçaların üretiminin yapıldığı makineye plastik enjeksiyon makinesi denir. Kullanılan ilk plastik enjeksiyon makinesi 1930'lu yıllarda kullanılmaya başlanmıştır.

Günümüzde kullanılan birçok döküm yöntemi vardır. Bu yöntemler üretilen parça ağırlığına, yüzey kalitesine, üretim adetlerine, maliyetlere vs. gibi birçok parametreye bağlı olarak seçilmektedir. Günümüzde prototip aşamasındaki döküm parçaların üretiminde genellikle kum kalıba döküm yöntemi kullanılırken, seri üretim parçaların döküm ile üretilmesinde diğer döküm yöntemleri uygulanmaktadır.

Literatür Taraması

Teze konu olan alüminyum alaşımlı külbütör kapağının yüksek basınçlı döküm ve kum kalıba döküm olmak üzere iki farklı döküm yöntemi simüle edilmiştir. Daimi ve türbülanssız bir akış döküm parametrelerinin olmazsa olmazıdır ve bunu sağlayan döküm komponentlerinin başında yolluk sistemleri gelmektedir. Doğru tasarlanmış yolluk döküm parçasını doğrudan etkilemektedir.

“Demir döküm yöntemlerinin M.Ö. 300’lerde Çin’de geliştirildiği tahmin edilmektedir. Çin’de M.Ö. 200 ile M.S. 200 yılları arasında Khan hanedanı döneminde 1400 (°C)’ın üzerinde sıcaklıklara kadar çıkabilen büyük demir maden ocaklarında ergimiş demir ergimiş demir kalıplara dökülerek biçimlendirmede başarılı olduğu tahmin edilmektedir.” (Akar 2018, 2)

S. Dubey ve S.R. Swaim yapmış olduğu çalışmada, döküm teknolojisini öngörebilmek adına iyi bir döküm simülasyonu kullanılması gerektiğini ve simülasyon programlarının maliyeti düşürdüğünü belirtmiştir. (Dubey ve Swain 2019)

K. Zhenk ve arkadaşları, bakır alaşımlı su sayacını kum kalıba döküm yöntemi ile simüle etmiş ve optimize bir dökümün farklı yolluk tasarımları yaparak neden farklı yolluk tasarımı yapılması gerektiğini ve optimize tasarım üzerine durmuştur. (Zheng, Lin ve Chen 2020)

M. Kuru ve O. Serçe yapmış olduğu çalışmada, farklı yolluk tipleri ile yüksek basınçlı döküm simülasyonu yapmış ve çıktısı alınan parametrelerin karşılaştırmasını yapmıştır. (Kuru ve Serçe 2014)

C. Göloğlu ve S. Yüksel yapmış olduğu çalışmada, iki farklı metal enjeksiyon yolluk tasarımı yaparak karşılaştırmasını yapmış ve hatalı sayılabilecek yolluk tasarımı optimize edilmiştir. (Yüksel ve Göloğlu 2009)

B. V. Ramnath ve arkadaşları yapmış olduğu çalışmada, yüksek basınçlı dökümde yolluk tasarımı hesaplamaları yapmış ve hesaplamaları döküm simülasyonu ile doğrulamıştır. (Ramnath, ve diğerleri 2014)

Ü. Kirenci yapmış olduğu tez çalışmada, kum kalıba döküm simülasyonunun yanında yolluk tasarımı yapmıştır. Döküm parçasının hafifletme

alışmalarının yanında yolluk tasarımı ve hesaplamaları da çalışmasında yer almaktadır. (Kirenci 2019)

L. Aksel yapmış olduğu tez çalışmasında, metal enjeksiyon kalıplarında yolluk tasarımı ve hesaplamalarından bahsetmiştir. Bu hesaplamalar ışığında simölasyon yapmış ve doğrulamıştır. (Aksel 2008)

Metal enjeksiyon ile üretimin yanında günümüzde yaygın olarak kullanılan plastik enjeksiyon üretim yöntemi ile termoplastikler, termosetler ve bazı elastomerler kullanılarak imalat yapılabilmektedir. 1995 yılından beri plastik enjeksiyona uygun malzemelerin sayısı gün geçtikçe artmıştır ve günümüzde yaklaşık olarak 18,000 malzemenin bu yöntemle imal edilmesi mümkün olmuştur. (Eker 2013)

Tezin Amacı

Gelişen döküm sektörü ile birlikte farklı döküm simölasyonu programları geliştirilmiştir. Döküm simölasyonu programları, yapılan dökümün ne kadar doğru ve kaliteli olduğunu bilgisayar ortamında bizlere göstermektedir. Tez çalışmasına konu olan külbütör kapağının döküm simölasyonları ile döküm parametrelerinin irdelemesi yapılacaktır. Yolluk tasarımlarının hangi sonuçlara etki edeceğinin karşılaştırılması yapılacaktır. Seçilecek döküm yöntemi ile hafifletilmiş döküm parçası seçimini de yapmak mümkün olacaktır.

Hipotez

Yapılacak olan çalışmada alüminyum alaşımlı malzeme seçilerek, kum kalıba döküm yüksek basınçlı döküm simölasyonları yapılacak aynı zamanda bu döküm yöntemlerine ait yolluk tasarımı hesapları yapılacaktır. Teze konu olan külbütör kapağı ve döküm prosesi parçası olan yolluk CAD ortamında tasarımı yapılacaktır. Tasarımı yapılan yolluklar ve döküm parçası döküm simölasyonunda simüle edilecektir. Yolluk tasarımları, yolluk hesaplamaları ışığında gerçekleştirilecek ve döküm simölasyonu ile doğruluğunun irdelemesi yapılacaktır. Yüksek basınçlı döküm ve kum kalıba döküm yöntemleri için parça genel duvar kalınlıkları farklı olarak tasarımı yapılacaktır. Simölasyon sonuçlarına göre alüminyum alaşımlı külbütör kapağı için uygun olan döküm yöntemi seçilecektir. Seçilecek yöntem diğer yöntemle göre hafiflik, zaman, döküm kalitesi, maliyet, ıskarta oranı gibi parametrelerin karşılaştırılması yapılacaktır.

BİRİNCİ BÖLÜM

DÖKÜM YÖNTEMLERİNE GENEL BAKIŞ

1.1. Döküm Yöntemleri

Üretim, doğadaki maddeleri istenilen biçimde değiştirip dönüştürerek rafineri ürün haline getirilmesi olarak tanımlanabilir. Günümüzde kullanılan üretim yöntemleri, üretilmek istenen parçalara göre değişiklik göstermektedir. Bu bölümde incelenecek olan üretim yöntemi dökümdür. Döküm için üretim yöntemleri aşağıda gösterilmiştir.

Üretim yöntemleri;

- I. Talaşlı imalat
- II. Kaynak yöntemleri
- III. Döküm
- IV. Plastik şekil verme yöntemleri olarak ayrılmaktadır.

Döküm prosesleri kullanılan kalıp malzemesine göre atılabilir kalıba ve kalıcı kalıba döküm yöntemleri olarak iki ana gruba ayrılır. Atılabilir kalıp ifadesi, katılaşma görüldükten sonra döküm parçasını kalıptan çıkarmak için kalıbın dağıtılmasını (bozulmasını) ifade eder. Atılabilir kalıba döküm yöntemlerinde en fazla kullanılan yöntem, kum kalıba dökümdür. Bu yöntemle karmaşık geometrili ve ağır parçaların dökümü yapılabilmektedir. Kalıcı kalıp ise seri üretime uygun fazla sayıda döküm parçası üretmek için tekrarlı kullanılabilen bir kalıptır. Kalıcı kalıplar, yüksek sıcaklıklara karşı aşınma göstermeyen metallerden veya refrakter bir seramikten imal edilir.

Döküm yöntemleri 2 ana başlıkta ayrılır;

- I. Atılabilir Kalıp Döküm
- II. Kalıcı Kalıp Döküm

1.2. Atılabilir Kalıp Döküm

Atılabilir kalıplar; hassas, kum, plastik alçı kalıplama yöntemleri kapsayan üst sınıflandırmadır. Bu döküm yöntemleri tek kullanımlık ve tekrarlı kullanımı olmayan kalıplama yöntemidir.

Atılabilir kalıplar;

- I. Kum kalıba döküm
- II. Alçı kalıp döküm
- III. Hassas kalıplama döküm
- IV. Dolu kalıba döküm

1.2.1. Kum Kalıba Döküm

Kum dökümü; sıvı metalin kum döküm kalıbı içerisine boşaltılması ardından kalıp içerisindeki sıvı metalin soğuması ve dökülen parçanın çıkartılarak kalıbın bozulması işlemlerini içermektedir. Ardından döküm parçasına gerekli temizlik yapıldıktan sonra kalıplama aşamasında işleme payı bırakılan kısımlar talaşlı imalat yapıldıktan sonra kontrol edilirler. Talaşlı imalat gören döküm parça, yapısal ve mekanik özelliklerin iyileştirilmesi isteniyor ise ısıtım işlemi görür. Kalıba doldurmaya hazır ergimiş alüminyum sıvı metali şekil 1.' de gösterilmiştir.

Kum dökümü genel itibari ile yaş kum ve kuru kum dökümü olmak üzere ikiye ayrılırlar. Yaş kum dökümü ve kuru kum dökümü arasındaki en temel fark kuru kum dökümünün 150⁰C-350⁰C arasında fırınlanarak mukavemetinin ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi gerçekleştirilir.

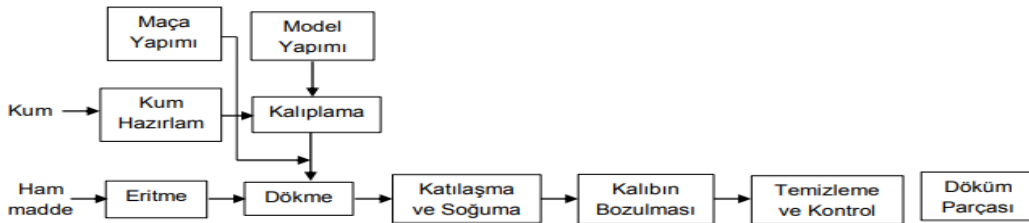
Kum kalıplama yapılabilmesi için kalıp üretimi yapılması gerekmektedir ve kalıplar takribi bire bir ölçekli olarak üretimi gerçekleştirilir ve bu kalıplar kum döküm için model olarak adlandırılırlar. Kalıp iki parçaya ayrılarak model oluşturulur ve şayet döküm parça içerisinde hacimsel boşaltmalar ve içi boş ve kompleks yüzeyler var ise maça da oluşturmak gerekmektedir. Kum kalıba döküm prosesi kesiti şekil 5.' de gösterilmiştir.

Döküm işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için önce metal tamamen sıvı faza geçtiği ergime sıcaklığına çıkartılır. Daha sonra sıvı metal kalıp boşluğuna dökülür ve yolluk ile en doğru ve lineer akış ile dolum gerçekleştirilir. Açık kalıpta sıvı metal, kalıp boşluğunu dolduruncaya kadar kalıba döküm işlemi devam eder. Kum kalıba döküm prosesi adımları şekil 2.' gösterilmiş olup kum kalıba döküm şekil 3.' de gösterilmiştir. Kapalı kalıpta ise sıvı metal, bir yolluk sistemi adı verilen sıvı iletim kanalları vasıtasıyla kalıp boşluğuna nakledilir.



Şekil 1. Ergimiş Alüminyum Metali

Kaynak: Kerton, Robert. Molten metal. <https://www.scienceimage.csiro.au>. Molten metal prior to casting. (1986).



Şekil 2. Kum Döküm Üretim Prosesi

Kaynak: Şenel, Mahmut Can. <https://avys.omu.edu.tr>. [https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/mahmutcan.senel/71544/2\)%20Döküm%20Yöntemleri-2.pdf](https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/mahmutcan.senel/71544/2)%20Döküm%20Yöntemleri-2.pdf) (E.T: 17.10.2020)

Kum döküm yönteminin avantajları;

- I. Daha karmaşık geometrili parça üretimi yapılır
- II. En ucuz kalıplama yöntemidir
- III. Optimum şartlar sağlanır ise su ve diğer ilave akışkanların yenilenmesi halinde yeterli sayıda tekrarı yapılabilir
- IV. En kolay kalıplama yöntemidir
- V. Sadece demir dökümü için değil farklı metallerin dökümü içinde uygundur



Şekil 3. Kum Kalıpta Döküm

Kaynak: <https://tr.wikipedia.org>, 01.01.2004.

<https://tr.wikipedia.org/wiki/Döküm#/media/Dosya:Casting.jpg> (E.T: 17.102020).

Kum kalıp yönteminde en çok zaman ve işçilik harcanan kısım kalıp hazırlık aşamasıdır. Kalıpların oluşturulması ile seri üretim halinde döküm işlemi gerçekleştirilir. Kum dökümü yönteminde model geometrilerinde çekme paylarına dikkat edilmelidir. Döküm malzemelerine göre çekme payları şekil 4.' de gösterilmiştir.

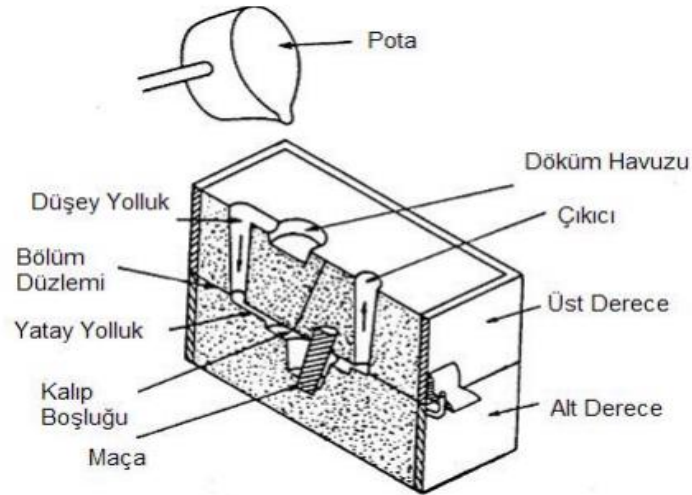
Modelde çekme payı göz önüne alınarak tasarlanmalıdır. Köşe kavis ve radyüsler dökümü gerçekleştirilecek parçanın et kalınlığına göre seçilmelidir ve

döküm parça üzerinde kesinlikle keskin köşe kalmamalıdır. Keskin köşeler mekanik gerilmelerin en büyük olduğu lokal bölgelerdir, bu bölgelerin oluşması istenmez.

DÖKÜM MALZEMESİ	ÇEKME PAYI (MM/M)
Kır dökme demir	10
Beyaz dökme demir	20
Temper dökme demir	15
Basit karbonlu çelik	23
Mangan çeliği	30
Aluminyum alaşımları	15
Bakır alaşımları	17
Magnezyum alaşımları	15
Kurşun	26
Çinko	14

Şekil 4. Döküm Malzemelerin Çekme Payları

Kaynak: Aran, Ahmet. Metal ve Döküm Teknolojisi, 43. İstanbul: İTÜ Makina Fakültesi, (2007).



Şekil 5. Döküme Hazır Kum Kalıbın Kesit Görünüşü

Kaynak: Aran, Ahmet. Metal ve Döküm Teknolojisi, 34. İstanbul: İTÜ Makina Fakültesi, (2007).

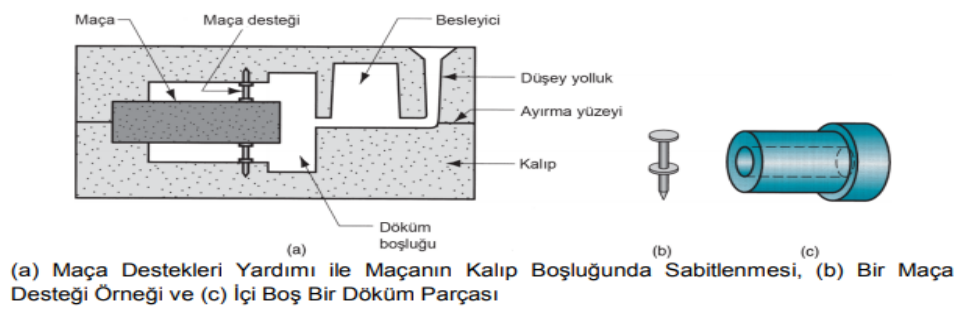
1.2.1.1 Maçalar ve Modeller

Modeller kum döküm parçanın dış hattını belirlerken maçalar kum döküm parçaların iç hattını belirler. Modeller; levhalı modeller, serbest modeller, özel model ve model tertibatları olmak üzere 3'e ayrılırlar. Model malzemeleri seçimi için birçok parametreyi göz önüne almak gerekir. Bunlar;

- I. Geometri ve boyut isterleri
- II. Uygulanacak kalıplama yöntemi
- III. Döküm yapılacak parça biçimi
- IV. Model üzerinde değişiklik yapılıp yapılmayacağı gereksinimi

Modellerin korozyon ve aşınma etkisinden koruyabilmek amacı ile boyanması gerekmektedir. Modellerin boyanması dökümden sonra işlenecek yüzeylerin belirlenmesinde yardımcı olur ve her bir kalıp yüzeyini tanımlar.

Dökümü gerçekleştirilecek parçada iç yapı bulunuyorsa maçada gereklidir. Maçalar kumdan yapılır ve istenilen formda sıkıştırılırlar. Metal dökülmeden önce maça kalıp içine pozisyonlanarak sıvı metal kalıp içine dökülür ve bu şekilde döküm parçanın iç ve dış yüzeyleri oluşur. Kum dökümünde maça düzeneği, şekil 6.' da gösterilmiştir.



Şekil 6. Kum Döküm Yönteminde Maça Düzeneği

Kaynak: Şenel, Mahmut Can. <https://avys.omu.edu.tr>.

[https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/mahmutcan.senel/71544/2\)%20Döküm%20Yöntemleri-2.pdf](https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/mahmutcan.senel/71544/2)%20Döküm%20Yöntemleri-2.pdf) (E.T: 17.10.2020).

Maça yüzmesi; Maçalar fazlaca bağlayıcı ile fırınlandığından kalıp malzemesine göre daha dayanıklıdır. Farklı uygulamalarda ve gerekli görüldüğü durumlarda maçıyı sabitlemek ve maça yüzmesini engellemek amacı ile maça desteği kullanılır. Maçanın yüzmesini sağlayan sıvı metalin kaldırma kuvvetidir. $F_b = W_m - W_c$ ' dir. F_b , kaldırma (yüzdürme) kuvveti; W_m , yer değiştiren sıvı metalin ağırlığı ve W_c ise maçanın ağırlığıdır.

Maça malzemeleri metal, metal dışı alaşım, seramik gibi malzemeler olabileceği gibi en çok kullanılan maça malzemesi kum esaslı malzemelerdir.

Maçadan istenilen özellikleri şu şekilde sıralanmıştır:

- I. Maçalara, genellikle tümüyle sıvı metal içinde kaldığından yüksek sıcaklık dayanımları ve metal erozyonuna karşı dayanıklılıkları yeterli düzeyde olmalıdır.
- II. Döküm sonrası kolay dağılmalıdır. Bu özellik döküm sonrası temizleme işlemlerinin kolay ve ekonomik yapılabilmesi için gereklidir.
- III. Döküm sonrası soğuyan parçanın serbestçe büzülebilmesi ve sıcak yırtılmanın olmaması için maçaların sıkıştırılabilir veya dağılabilir olması gereklidir.
- IV. Gaz geçirgenliği yeterli olmalı ve döküm sırasında mümkün olduğu kadar az gaz oluşturmalıdır,
- V. Çabuk pişmeli ve bu sırada biçimleri bozulmamalıdır,
- VI. Yüzeyleri düzgün olmalıdır,
- VII. Depolama sırasında özellikleri değişmemelidir. (Aran 2007, 46)

1.2.1.2. Kalıplama

Maça ve modeller ile birlikte ergitilen metal kalıp içerisine dökülerek boşlukların oluşmasına kalıplama denir. Kalıplama yapılırken maça ve modellerin haricinde yolluk, çıkıcı ve besleyicilerden faydalanılmaktadır. Kalıplamada kullanılacak kumun özellikleri; Ateşe dayanıklılık, Plastisite, Döküm sonrası kullanılabilme, Ucuz maliyet gibi özellikler göz önüne alınmalıdır.

“Kalıplamada kullanılan tabii kum, tabiatta bulunduğu şekilde kullanılan kumdur. Kimyasal olarak SiO₂ olarak bilinen tabii kum, kuvars tanelerinin kil, kireç ve diğer oksitler tarafından çevrilmesiyle oluşur. Tabii kumun ateşe dayanımı düşüktür ve sistemde mevcut oksitler düşük sıcaklıkta ergir ve kumun parçaya yapışmasına neden olur. Tabii kum dökme demir ve demir dışı metallerin dökümünde kullanılır. Kalıplamada kullanılan sentetik kum, bir yıkama sonucu elde edilmiş saf kuvars kumuna arzu edilen miktar ve özellikte kil ve diğer yardımcı maddelerin ilavesi ile elde edilen bir karışımdır. Yardımcı madde olarak bentonit, silis tozu, pülverize kömür, odun talaşı gibi maddeler kullanılır. Yıkamış kuvars kumu tane büyüklüğüne göre sınıflandırıldıktan sonra, %3-5 oranında bentonit ile karıştırılır. Bentonit çok iyi özelliğe sahip bir kildir ve ergime sıcaklığı yüksektir.” (Pürçek 2008, 47)

1.2.1.3. Kalıp Kumı Özellikleri

Kalıp kumları başlıca; kum, kil ve sudan oluşmaktadır. Diğer ilave maddeler ise; öğütülmüş zift, mısır unu, kömür tozu, talaş, silis tozu ve demir oksittir. Bu maddeler belirli oranlarda karışmakla beraber kalıp kumları birçok yapışa özelliği bir arada barındırmalıdır. Bunlar; Yaş mukavemet, kuru mukavemet, geçirgenlik, nem miktarı, kil miktarı, tane inceliği ve dağılımı’ dır.

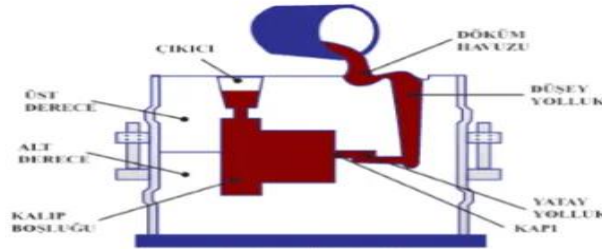
1.2.1.4. Kum Dökümünde Kalıplama Yöntemleri

- I. Yaş kum kalıplama
- II. Kuru kum kalıplama
- III. Çukur kalıplama
- IV. CO₂ kalıplama
- V. Kabuk kalıplama
- VI. Çimentolu kalıplama olmak üzere 6’ ya ayrılırlar.

1.2.1.5. Yaş Kum Kalıplama

Yaş kum kalıplama, döküm yöntemleri arasında en yaygın yöntemlerden biridir. Ergimiş metal sıkıştırılmış kum kalıba dökülür ve katılaşma gerçekleşinceye kadar kalıp içerisinde bekletilir. Kalıp içerisindeki katılaşmış döküm parça kalıp bozularak çıkartılır. Bu yöntemde demir ve demir dışı alaşımlar dökülebilirken aynı zamanda döküm yöntemleri içerisindeki en ekonomik döküm yöntemidir. Yaş kum kalıba döküm yönteminde, döküm parçanın yüzey pürüzlülüğü kaba tanelidir ve 6-25 µm arasındadır. Yaş kum kalıplama, şekil 7.' de gösterilmiştir. Yaş kum kalıba döküm yönteminin avantaj ve dezavantajları şu şekilde sıralanmıştır;

- I. Ucuzdur ve tekrar tekrar kullanılabilir,
- II. Yöntem basittir ve gerekli görüldüğü durumlarda otomasyon ile yapılabilir,
- III. Farklı metallerin döküm prosesleri için kullanılabilir,
- IV. İnce, uzun karmaşık geometrili ve hacimli parçaların dökümünde kalıp malzemesinin dayanımı yetersiz kalır,
- V. Kalıp tasarım ve denemeler sırasında dağılabilir,
- VI. Nemli kalıpta oluşan buhar döküm hatalarına neden olabilir,
- VII. Boyut hassasiyeti düşük olup, yüzey özellikleri birçok döküm yöntemine göre zayıftır,
- VIII. Optimum dayanım için nem oranına çok dikkat edilmesi gerekmektedir (Pürçek 2008, 55)

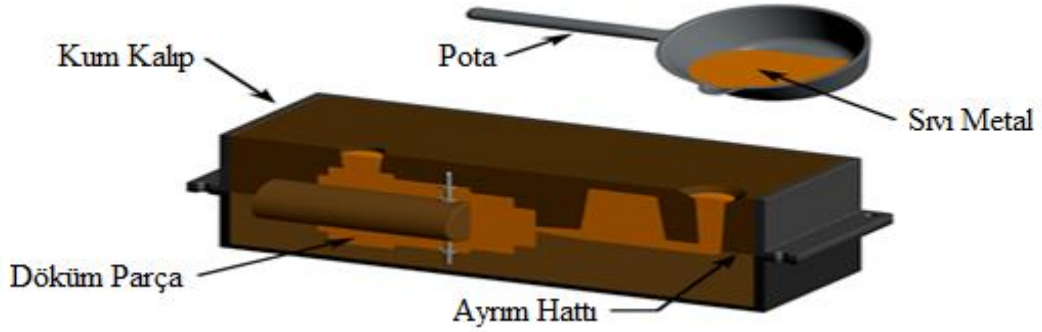


Şekil 7. Yaş Kalıba Döküm Yöntemi

Kaynak: Cihanay Döküm LTD. ŞTİ. <https://www.cihanaydokum.com>.
<https://www.cihanaydokum.com/kum-dokum/> (E.T: 18.10.2020).

1.2.1.6. Kuru Kum Kalıplama

Kuru kum kalıplar ve yaş kum kalıpların hazırlık aşamaları benzerlik gösterir ve ikisi arasındaki en büyük fark kuru kum kalıpları 150°C - 350°C arasında fırında kurutulmasıdır. Kuru kum kalıplamada kullanılan kil maddesi içerisindeki tüm suyun kaybolması istenmediğinden fırınlama sıcaklıkları 400°C geçmemelidir. Kuru kum kalıplamada fırınlama sürelerinin uzamasından dolayı maliyetleri daha fazladır. Kuru kum kalıplarda havalandırma sorunu yaş kum kalıplamaya göre çok azdır. Kuru kum kalıplamada yüzey kalitesini arttırmak için daha düşük geçirgenliğe sahip kum kullanılmalıdır. Kuru kum kalıplarda ergimiş metal kalıp içerisine dökülmeden önce bir müddet bekletildiğinden gevrekleşme problemi olmamaktadır. Şekil 8.' de kuru kum kalıplama modeli gösterilmiştir.



Şekil 8. Kuru Kum Kalıba Döküm

Kaynak: CustomPartNet. <https://www.custompartnet.com>.

<https://www.custompartnet.com/wu/images/sand-casting/sand-casting-mold.png> (E.T: 18.10.2020).

1.2.1.7. Çukur Kalıplama

Çukur kalıplama işlemleri, çok büyük geometrili ve çok ağır döküm parçaların üretimi için kullanılan kalıplama yöntemidir. Ağırlıkları 1 Ton ile 100 Ton arasında olan döküm parçalar için kullanılmaktadır. Bu kalıplama yöntemi için sürekli kullanımda bulunan beton döküm çukurları bulunmaktadır ve bu çukurlar içeresine sıvı metal dökülür ardından sıkıştırılarak kalıplama işlemi gerçekleştirilir. Çukur kalıplamada üretilen döküm parçaların boyutları büyük olduğundan soğutma işlemi için günlerce beklenilebilmektedir. Şekil 16.' da çukur kalıplama gösterilmiştir.



Şekil 9. Çukur Kalıplama

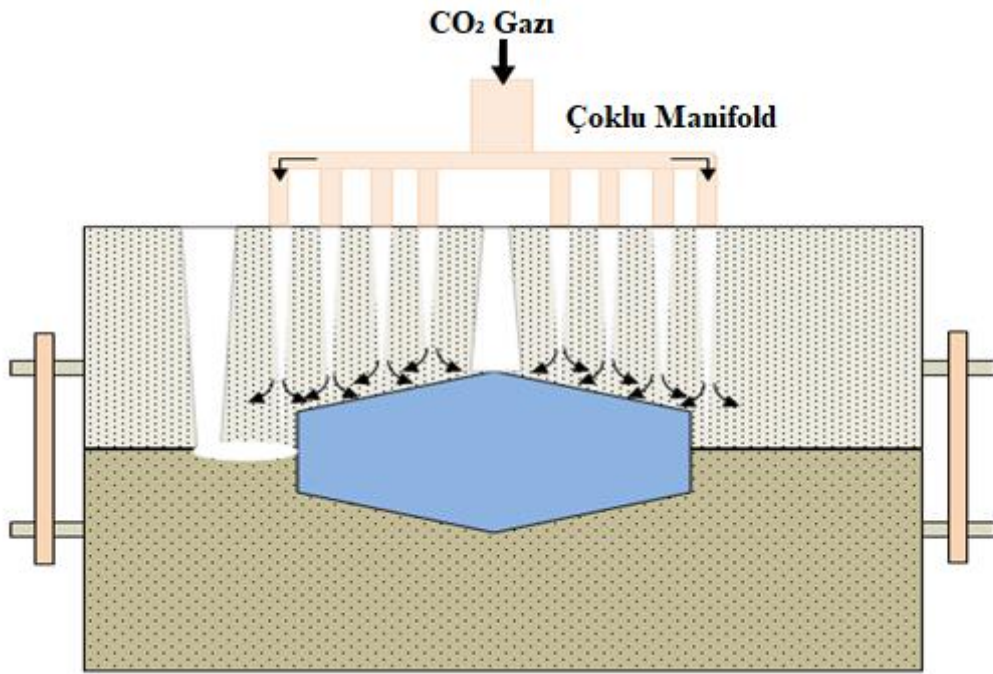
Kaynak: Ataelik Dökümhanesi, <http://www.atacelik.com/>.
<http://www.atacelik.com/images/0002.jpg> (E.T: 08.04. 2021).

1.2.1.8. Karbondioksit Kalıplama

Maça ve kalıpların CO₂ ile sertleştirme yapıldığı kalıplama yöntemidir. Bu yöntem mekanizasyona uygun aynı zamanda ustalık gerektirmeyen kalıplama yöntemidir. Karmaşık geometrili parça üretimleri için uygundur, kurutma işlemi gerektirmez ve maça üretimlerinde bu kalıplama yöntemi ile gerçekleştirilebilir. Kalıbın sertleşmesi sonrasında döküm parçayı kalıptan çıkartmak oldukça zahmetlidir.

“Yöntemin prensibi, kalıplamada kuma %3 – 5 sodyum silikat (cam suyu) karıştırmak ve kalıp sıkıştırılarak biçimlendirildikten sonra, gaz geçirgenliği olan kum kalıp malzemesi içinden kısa bir süre için CO₂ gaz, geçirmektir. CO₂ gazı sodyum silikat, silikajele dönüştürür ve kum tanecikleri bağlanır: Na₂O . (x)SiO₂ . (y)H₂O + CO₂ ⇒ Na₂CO₃ + (x)SiO₂ . (y)H₂

Bu yöntem için özel kalıplama ve maça üfleme makinalar, geliştirilmiş olup, bu makinalarda kalıplama ve gaz verme işlemleri peş peşe yapılabilmektedir. CO₂ yöntemi maça üretiminde de kullanılabilir.” (Aran 2007, 52) Karbondioksit kalıplama şekil 18.’ de gösterilmiştir.



Şekil 10. Karbondioksit Yöntemi İle Kalıplama

Kaynak: Sunderdeep Group Of Institutions. <https://sunderdeep.ac.in>. <https://sunderdeep.ac.in/wp-content/uploads/2017/11/co25.png> (E.T: 18.10.2020).

1.2.1.9. Kabuk Kalıplama

“II. Dünya Savaşı, sırasında Alman Johannes Croning tarafından bulunan kabuk kalıba döküm yöntemi, Croning veya C-yöntemi olarak da adlandırılır.” şeklinde ifade etmiştir. (Aran 2007, 53)

Kabuk kalıp malzemesi, ince taneli kum ile yüksek sıcaklıktaki termoset reçinenin birleştirilmesi ile oluşur. Kullanılan bu bağlayıcı sayesinde kalıplar çok yüksek dayanım ve mukavemet değerlerine ulaşmaktadır. Kabuk kalıplama yönteminde kullanılan refrakter malzeme silis kumdur. Bağlayıcı olarak fenol formaldehit reçineleridir aynı zamanda aktivatör olarak kullanılan en yaygın malzeme heksametilentetramindir.

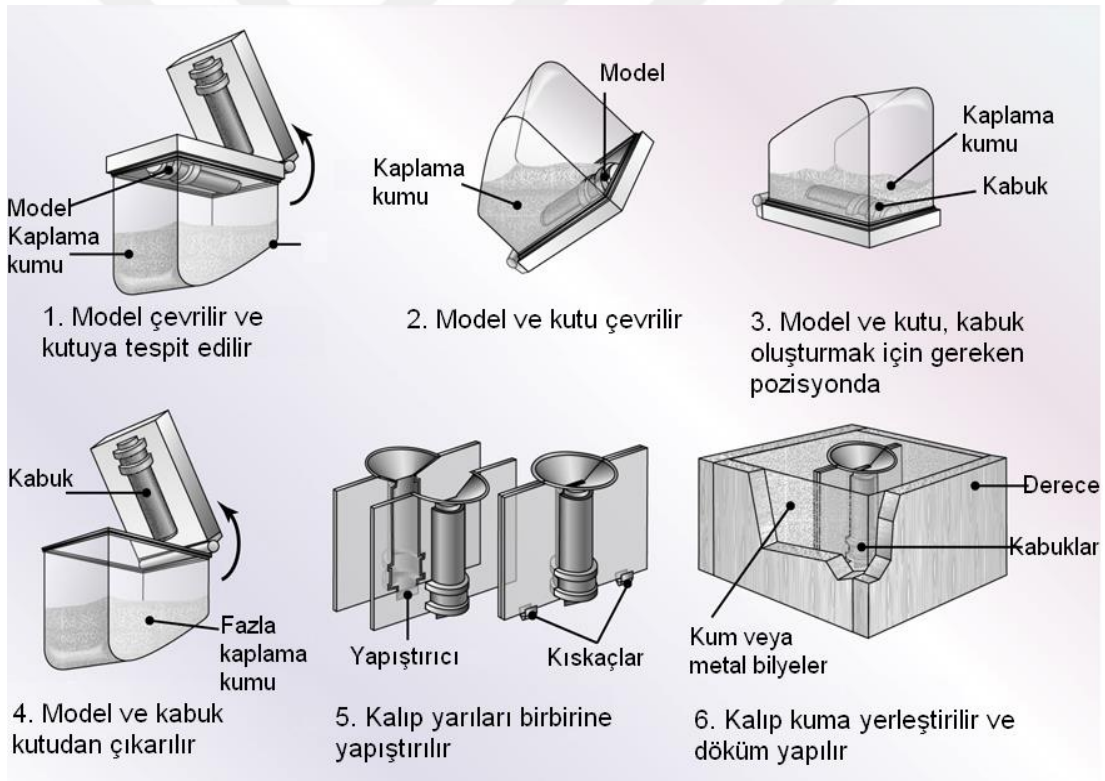
Kabuk kalıplama yapılacak olan model, sıvı metalin soğuması sonrasında kalıptan kolayca ayrılması için kalıplama işlemi öncesinde özel bir sıvı sürülmesi gerekmektedir. Sıvı püskürtülmesi sonrasında kalıplama işlemi yapılması modelin kalıptan kolayca ayrılmasına neden olacaktır. Kum, istenile yüzey kalitesine göre seçilmelidir. Kum seçimindeki en önemli parametre kumun tane büyüklüğü ve inceliğidir.

Kalıp malzemesi yaklaşık 200°C’ ye ısıtılır ve model yüzeyine kaplaması gerçekleştirilir. Model üzerindeki kabuk istenilen et kalınlığına (5 mm-12 mm) ulaştığında model yüzeyine bağlanmamış kum dökülür. Kalıplar 2 veya daha fazla olmak üzere parçalı olarak üretilirler ve yapıştırma işlemleri gerçekleştirilir. Sıvı metalin dökümü esnasında kalıpta herhangi bir form değişiminin olmasını önlemek için etrafı dolgu malzemesi ile kaplanır. Kabuk kalıplama ile maça üretimi de yapmak mümkündür. Bu kalıplama yönteminde elde edilen maçaların yüzey kaliteleri diğer döküm yöntemlerine göre oldukça iyidir. Kabuk kalıplama prosesi şekil 11.’ de gösterilmiştir.

Kabuk kalıpların klasik kum kalıplara göre avantaj ve dezavantajlarını aşağıdaki maddelerde vermiştir;

- I. Hassas toleranslarla parça üretimleri mümkündür,
- II. İnce taneli kum ile üretilen döküm parçaların yüzey kalitesi yüksektir,
- III. Makinelerle üretildiğinden otomasyona elverişli ve deneyim gerektirmez,

- IV. Düşük sıcaklıklarda, daha ince duvar kalınlıklarında dökülebilir,
- V. Kalıplar hafiftir ve saklanabilir,
- VI. Metal malzeme ile üretilen modeller maliyetli olduğundan yöntem ancak seri üretime uygun olup prototip döküm parçalarına uygun değildir,
- VII. Bu döküm yöntemine ait makineler çok yüksek yatırım maliyeti gerektirmektedir,
- VIII. Döküm yapılan parçanın ebatları ve ağırlıkları sınırlıdır,
- IX. Reçine kullanıldığından, kalıp malzemesi maliyeti yüksektir. (Pürçek 2008, 57)



Şekil 11. Kabuk Kalıba Döküm Prosesi

Kaynak: <https://nasiluretilir.files.wordpress.com>.

<https://nasiluretilir.files.wordpress.com/2010/01/kabuk-kaliplama.jpg> (E.T: 27.10.2020).

1.2.1.10. Çimentolu Kalıplama

Çimentolu kalıplama metodu diğer kum kalıp yöntemlerine benzer şekilde gerçekleşir. Model çıkarılmadan önce kalıbın yeterli bir sertlik değerine ulaşması istenir. Bu döküm yöntemi büyük geometriye ve hacme sahip aynı zamanda geometrik hassasiyete ve düşük yüzey pürüzlülüğünün istendiği yerlerde kullanılır. Kalıp ve maçanın bozulma özellikleri oldukça kötüdür ve uğraştırıcı işçilik gerektirmektedir. Alçı kalıp şekil 12.' de gösterilmiştir.

1.2.2. Alçı Kalıp Dökümü

“Alçı kalıplar, iki veya daha çok parçalı yapılırlar ve kum kalıplar gibi bir bölüm yüzeyi içerirler. Kalıp malzemesi, 100 ölçü alçı ile 160 ölçü suyun krem kıvamına ulaşana kadar karıştırılmasıyla hazırlanır. Değişik katkıları kullanılır, örneğin kalıbın çatlamasını önlemek için %20 oranında talk, katılaşma süresini uzatmak için ise kaolin ve magnezyum oksit gibi katkıları kullanılır. Bunların dışında dayanım, genleşme gibi değişik özellikleri kontrol etmek için kireç, çimento, asbest elyaf, silis unu gibi maddeler ilave edilebilir. Karıştırma hızının uygun seçilmesi önemlidir; çok hızlı karıştırılırsa harcın bünyesine hava gireceğinden gözenekler oluşabilir; çok yavaş karıştırmada ise harcın katılaşması söz konusudur.” (Aran 2007, 71)

Metal dışı alaşımların kalıplama yönteminde kullanılan dökümdür. Alçı kalıp dökümü yönteminde geometrik hassasiyet ve yüzey pürüzlülüğü çok iyidir. Bu döküm yönteminde kompleks ve diğer döküm yöntemlerine göre ince cidarlı şekillendirme yapılabilir. Alçının ısı iletim katsayısı yüksek olduğundan ısı kaçışı yavaş olur ve soğuma uniform bir şekilde gerçekleşir.

Alçı malzemesinin mukavemet ve dayanım değerleri düşük olduğundan 9-10 kg' dan hafif parçaların üretilmesi mümkün olmaktadır. Genellikle alüminyum ve alaşımlarının dökümünde kullanılmaktadır.



Şekil 12. Alçı Kalıp

Kaynak: Komut, Gökhan Emre. <https://www.ceyrekmuhendis.com>. 02.05.2020.
<https://www.ceyrekmuhendis.com/alci-kaliba-dokum/> (E.T: 27.10.2020).

1.2.3. Hassas Kalıplama Döküm (Mum Döküm)

“L.B. Hunt hassas dökümün uzun tarihiyle ilgili araştırmalar yapmıştır. Metallerin ergitilerek kalıplara dökülmesi ilk insanların uygarlaşma yolunda attıkları en önemli adımlardan biridir. MÖ 4000 yılından önce farklı bölgelerde bağımsız olarak renkli mineraller malakit ve azurit ile yapılan denemeler sonucunda bakır tasfiyesi başlamıştır. Bu metalürjideki ilk adımın kesin tarihi ve yeri bilinmemesine rağmen aynı zamanlarda Anadolu, İran, Suriye, Filistin ve Taylan’ da başladığını gösteren kanıtlar bulunmuştur.” (Güler 2012, 5)

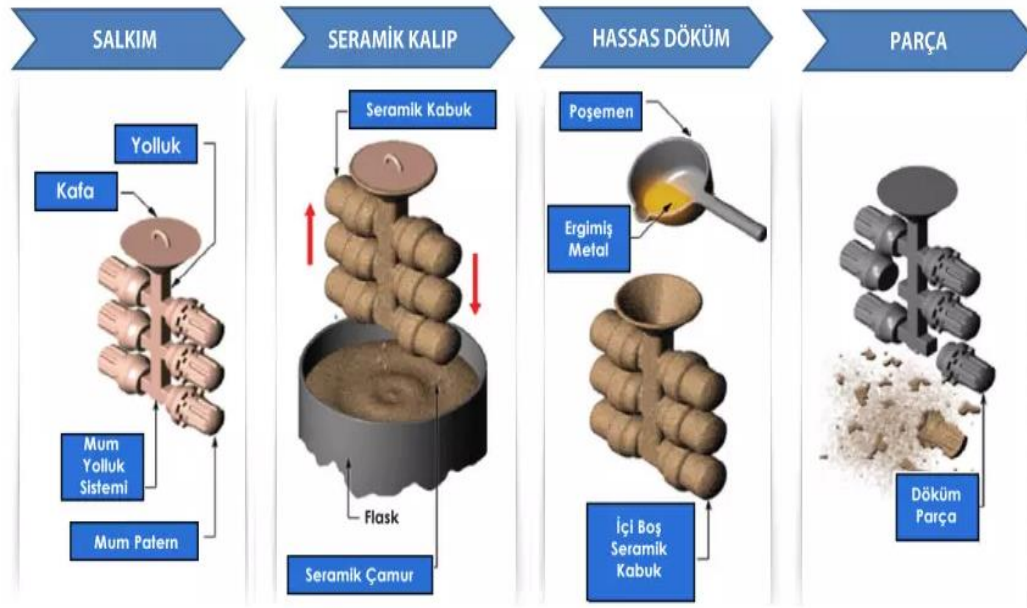
Hassas döküm işlemi yüzyıllardır uygulanan bir döküm yöntemi olup, mum veya seramik eritilerek metallere plastik şekil verme yöntemlerinden biridir. Kalıp üretimi yapılırken üç boyutlu bir kalıba ihtiyaç duyulduğu gibi döküm sonrası büzülme ve işleme payları da düşünülerek kalıp tasarımı yapılmalıdır. Genellikle bu döküm yöntemi, talaşlı imalat ile üretilmesi çok zor ince et kalınlığına sahip tasarımların üretiminde kullanılmaktadır. Kalıplar genellikle alüminyum veya çelikten üretilirler. Farklı sanayi alanlarında prototip ve ön seri çalışmalarının hızlı bir şekilde yapılmasını sağlayan döküm yöntemidir. Genellikle küçük döküm parçalar için kullanılırken, çok büyük parçaların döküm yapılması da mümkündür.

Hassas döküm, mum veya seramik bazlı maddelerden model çıkartılarak başlanır. Çıkartılan modeller bir salkım ile birbirlerine tutturulur ve ardından sıvı seramik banyosuna sokulur ve kaplama gerçekleştirilir. Dışı seramik kaplı modelin içi mum doludur. İçinin mumdaki temizlenmesi için fırınlama işlemine tabi tutulur. Seramik yüksek sıcaklıklarda bozulmamasına rağmen mum eriyecektir ve bu şekilde kabuk temizlenmiş olur. Seramik kabuk içerisine sıvı metal dökümü gerçekleştirilir. Sıvı metalin katılaşması sonrasında titreşim tezgahları sayesinde seramik kabuk kırılıp döküm parça üretilmiş olacaktır. Üretilen döküm parçanın yollukları kesildikten sonra zımpara işlemini tabi tutulur. Döküm parça üzerinde işleme payı bırakılan kısımlar talaşlı imalat ile işlendikten sonra parça kalite kontrol sürecinden geçer ve nihai ürün haline gelmiş olacaktır. Hassas döküm işlemi prosesi şekil 13.' de gösterilmiştir.

Hassas dökümün avantajları;

- I. Klasik döküm yöntemleri ve makineyle işleme yolundan konstrüksiyonu zor veya bazen imkânsız olan kompleks geometrili döküm parçaların kitle üretimi bu yöntemle mümkün olmaktadır.
- II. Diğer döküm yöntemlerine nazaran daha yüksek boyutsal kararlılık, daha düzgün yüzey ve parça üzerindeki detay kısımların daha rafineri bir şekilde elde edilmesine imkân verir.
- III. Ergitilip dökülebilen tüm metallere uygulanabilir.

- IV. 25 kg ağırlığa kadar döküm parçalar ve bazen de (nadir olarak) 400 kg'a kadar parçalar bu yöntemle üretilir.
- V. Hassas döküm yönteminde tek parça kalıp kullanıldığından ayırma yüzeyi veya “kalıp ayırma hattı” yoktur ve parça üzerinde, diğer döküm yöntemlerinin ürünlerinde olduğu gibi bu yüzeyin izi bulunmaz. (Güler 2012, 22)



Şekil 13. Hassas Döküm İşlem Prosesi

Kaynak: Çevik Teknik Metalurji. <http://www.cevikmetal.com>. <http://www.cevikmetal.com/hassas-dokum-prosesleri/> (E.T: 28.10.2020).

1.2.4. Dolu Kalıba Döküm

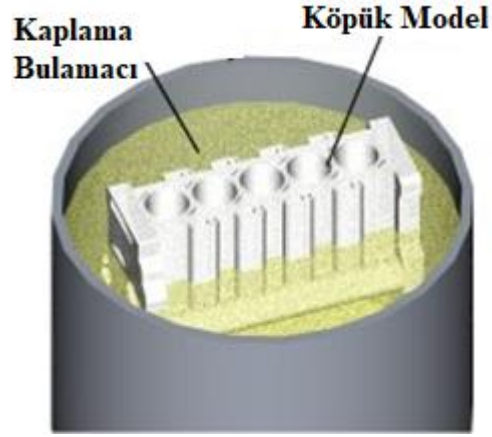
Dolu kalıba döküm yöntemini diğer döküm yöntemlerinden ayıran en önemli özelliği yanarak gaz fazına geçen köpük modellerinin kullanıldığı döküm yöntemidir. Bu döküm yöntemi gemi sanayi, havacılık, imalat gibi sektörlerde hizmet etmektedir. Temel prensibi; köpük modeller bağlayıcı özelliği bulunmayan kum içerisine yerleştirilerek döküm parça üretimi gerçekleştirilir. Genellikle polistiren köpükten yapılan çakıcı, model, maça, yolluk gibi kalıp boşluklarını barındır ve kum içerisinde

kalıplanırlar. Her yeni model için yeni kalıp gerektirir fakat seri üretimde hızlı bir kalıplama yöntemidir. Bu döküm yönteminde karmaşık geometrili parçaların üretimi mümkündür. Model kalıptan çıkartılmadığı için kalıp ayırım hattına gerek olmadığı gibi kalıbında iki parça halinde yapılmasına gerek yoktur.

“Kalıp gerekli olan yani köpük modelin boyutlarında dizayn edilmelidir. Karmaşık parçalar çeşitli köpük kesitlerine ihtiyaç duyduğundan; dizaynın, döküm mühendisi ve köpük modelci köpüğün hangi yerlerden ayrılacağı üzerinde anlaşmalıdır. Köpük modelin üretimi için; CAD yardımıyla arzu edilen parça çıkartılır. Ayırma çizgileri, çekme arkaları ve köpük kesitleri daha sonra dizayn edilir. Her bir köpük kesitin master modelleri imal edilip, incelenir. Kalıp kesitleri 2 mm toleransa kadar işlenir. 2 saat boyunca, boyutlarının kararlı hale gelmesi için 200 °C’ye ısıtılır. Kararlaştırma sonunda kalıplar önce 0,5 mm daha sonra 0,05 mm kadar toleransla işlenir. Hava delikleri açılır ve kanallar içine yerleştirilir. Besleme tabancası yeri ayrıca delinir. Son olarak kalıp boşluğu ve içindekiler elle bitirilir ve en iyi boyut performansı için parlatılır. 37 38 Normal olarak ½ dereceli konik eğim ve çekmeler kalıptan köpüğün çıkartılmasını basitleştirir. Kalıplama çevriminde kullanılacak olan kalıplarda çekici veya iticiye gerek duyulmaz Kalıplar bir kalıp makinesinde hareketli ve sabit kesimle çalışır.” (Uluç 2006, 37) Dolu kalıba döküm şekil 16.’ da gösterilmiştir.

Köpük modeller birçok parçadan meydana gelmesi sebebi ile yapıştırıcılardan faydalanılır. Köpük yapıştırıcıların aynı şekilde stabilite, devamlılık ve boyutsal hassasiyet yakalanabilmesi için otomasyondan faydalanılmaktadır. Yapıştırma işlemi sayesinde köpük salkımı elde edilmiş olur.

Köpük döküm modeller üzerine refrakter bir kaplama yapılmaktadır. Refrakter kaplama, ergimiş metalin kuma nüfuz etmesini engeller ve polimerlerin pirolizi esnasında ortaya çıkan sıvı ve gazların uzaklaştırılmasına yardımcı olur. Kaplamalar sıvı ve toz olarak kullanılabilirler. İki çeşit kaplama çeşidi mevcuttur; püskürterek kaplama ve daldırarak kaplamadır. Bu kaplama türleri şekil 14. ve şekil 15.’ de gösterilmiştir.



Şekil 14. Daldırarak Refrakter Kaplama

Kaynak: Steel Founders' Society of America (SFSA). <https://sfsa.org/tutorials>. tarih yok.
https://sfsa.org/tutorials/eng_block/GMBlock_17.htm (E.T: 28.10.2020).



Şekil 15. Püskürterek Refrakter Kaplama

Kaynak: Steel Founders' Society of America (SFSA). <https://sfsa.org/tutorials>. tarih yok.
https://sfsa.org/tutorials/eng_block/GMBlock_17.htm (E.T: 28.10.2020).

Dolu kalıba döküm işlem sırası;

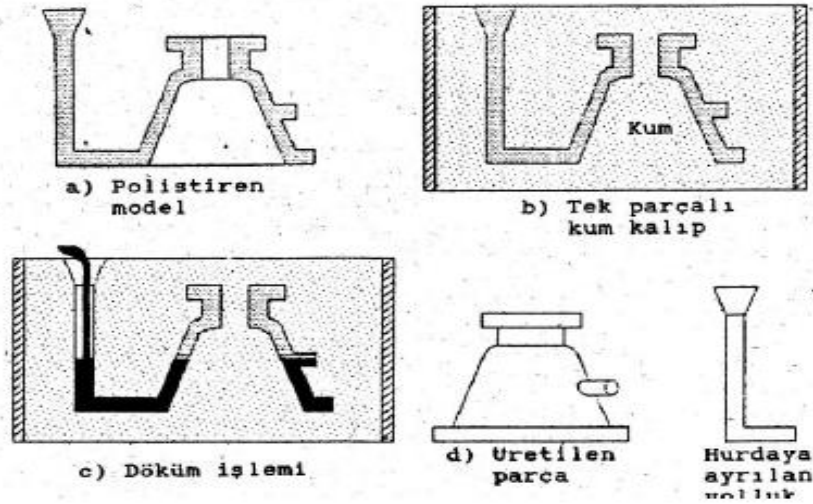
- I. Model tasarımı ve üretimi,

- II. Modellerin yapıştırılması,
- III. Modellerin refrakter kaplama işlemi,
- IV. Kumun yüksek frekanslı titreşim ile sıkıştırılarak doldurulması,
- V. Döküm,
- VI. Kalıbı bozma ve temizleme işlemidir.

Dolu kalıba döküm ve klasik döküm yöntemleri arasındaki farklar;

- I. Dolu kalıba döküm teknolojisi genellikle karmaşık olmayan parça geometrilerine uygulama sistemine sahiptir,
- II. Ayırma çizgisi sınırlaması tamamen ortadan kalkmıştır,
- III. Maça kullanımı yoktur,
- IV. Dolu kalıba dökümde maça kullanımı olmadığından yüzey kalitesindeki olumsuzluklar ve birçok döküm hataları bu yöntemin kullanımı ile yok edilmiştir.
- V. Kullanılan kum bağlayıcı içermediğinden kumun hazırlanması basit hale gelmiştir.
- VI. Genel döküm işlemindeki kum harcama miktarı oldukça azalmıştır,
- VII. Döküm işleminden sonra parçanın temizlenmesinde sadece ince refrakter tabakasının uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu sayede parça temizleme maliyetlerinde % 80'e varan tasarruflar elde edilmektedir,
- VIII. Dolu kalıba döküm teknolojisi işçilik maliyetleri diğer döküm yöntemlerine göre çok düşüktür, sistem bir bütün olarak otomatikleşmiş üretim akış hattına sahiptir,
- IX. Dolu kalıba döküm teknolojisi ile çalışan dökümhaneler hızla farklı şekildeki parçaların dökümünü yapabilmektedir ki bu müşteri taleplerin en kısa sürede karşılanması için büyük avantaj sağlamaktadır,

- X. Tasarım mühendisi bu yöntem ile esnek bir şekilde çalışabilmektedir. Özellikle ürün araştırma geliştirme safhası sonrasında en önemli kısmı olan protip çalışmaları zaman harcanmadan uygulanabilmektedir.
- XI. Dolu kalıba döküm teknolojisini kullanılması ile çok hassas toleranslarda ki parça üretimi yapılabilmektedir,
- XII. Üretimi yapılan parçaların yüzey kalitesi hemen hemen hassas döküm yöntemi ile aynı kalitededir.
- XIII. Genel yatırım ve işletme maliyetleri diğer klasik döküm yöntemlerine nazaran çok düşük seviyede kalmaktadır. (Saridikmen ve Kuşkonmaz 2002, 7)



Kaynak: Pürçek, Gençaga. Döküm (Ders Notları). Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi, (2008).

Şekil 16. Dolu Kalıba Döküm

1.3. Kalıcı Kalıp Döküm

Kalıcı kalıp döküm; kalıbın her üretim süreci bitiminden sonra atılmadan tekrar kullanıldığı, atılabilir kalıp döküm yöntemlerinden farklı olarak gerçekleşir. Bu döküm yönteminde daha keskin hat ve biçimler oluşurken aynı zamanda tekrarlanabilirliği daha stabil hale getirmektedir.

Kalıcı kalıp döküm çeşitleri;

- I. Kokil kalıp döküm
- II. Alçak basınçlı döküm
- III. Vakumlu kalıba döküm
- IV. Boşaltma döküm
- V. Yüksek Basınçlı döküm
- VI. Savurma döküm

1.3.1. Kokil Kalıp Döküm

Birden çok kullanılabilen ve kalıbın bozulmasına gerek olmayan kalıplara kokil kalıp denilmektedir. Kompleks yapıdaki ve geometrik tolerans ve boyutlandırma değerleri çok dar döküm parçaların üretilmesinde kullanılırlar. Genellikle kalıp malzemeleri; dökme demir veya çelikten imal edilirler. Kokil kalıplar alüminyum esaslı olarak üretilirler fakat maliyetleri daha pahalı ve daha uzun sürede üretilmesi mümkündür çünkü demir esaslı kokil kalıplardan yaklaşık 10 kat daha fazla parça dökülerek üretilmesi mümkündür. Kokil döküm kalıpların kimyasal kompozisyonu şekil 17.' de gösterilmiştir. Kokil kalıpların katılaşma süreleri kum kalıba döküm yöntemlerinden daha hızlı gerçekleştiği gibi iç yapıları da buna paralel olarak daha inel yapılı olmaktadır. Kokil kalıpların daha uzun süreli kullanılabilmesi için refrakter malzeme ile kaplanması gerekmektedir.

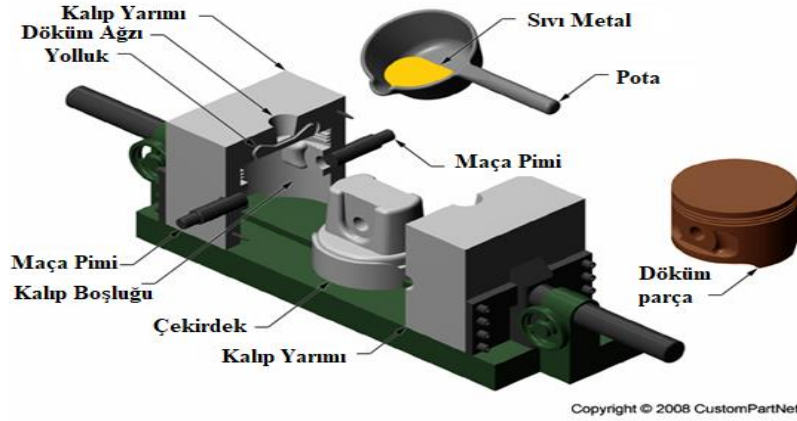
C (Karbon)	Si (Silisyum)	Mn(Manganez)	P (Fosfor)	S (Kükürt)
3,30	1,20	0,60	En çok 0,10	En çok 0,05
3,50-3,70	2,20	0,80	0,25	0,12

Şekil 17. Kokil döküm Kalıplarda Kimyasal Bileşim Oranları

Kaynak: T.C. Milli Eğitim Bakanlığı. Kokil Kalıp. Metalurji, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 4. Ankara: T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, (2011).

“Boyut hassasiyeti $\pm 0,25$ mm olup, parça yüzeyleri temizleme işlemi gerektirmeyecek kadar yüksek kalitelidir. Metal kalplarda kullanılan maçalar metal, kum veya alçıdan yapılabilir. Maçaların metal malzemeden, yani kalıbın bir parçası, olması, durumunda, bunların biçimi parçanın soğuyarak büzülmesi sonrasında çıkarılmasını zorlaştırmayacak şekilde olmalıdır. Bu mümkün değil ise, metal olmayan maçalar da (kum) kullanılır ve yöntem, kalıcı, kalıba döküm olarak adlandırılır. Kalıp ömrünü arttırmak için kalıp bölümü döküm öncesi refrakter malzemelerle kaplanır ve bu sayede parçanın kalıptan çıkarılması da kolaylaşır.” (Aran 2007, 74)

Pahalı kalıp maliyetleri nedeni ile yüksek üretim adetlerine ihtiyaç vardır. Yüksek üretim adetlerini gerçekleştirmek amacı ile otomasyon sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Kokil kalıba döküm şekil 18.’ de gösterilmiştir. Kokil kalıp ile dökülebilen parçalar; biyel kolu, fren diskleri, alüminyum mutfak malzemeleri, pompalar, otomotiv pistonları örnek olarak verilebilir. Kokil kalıpların döküm işlemi; kalıp önce ısıtılır ve dökülen metal kalıptan çıkartılması için refrakter malzeme kaplanır ya da yağlama yapılması gerekmektedir. Kalıp içi boşluklar var ise maça yerleştirilir ve kalıp kapatılır, ardından ergimiş metal dökülür ve dökülen ergimiş metalin katılaşması ile birlikte kokil kalıba döküm işlemi gerçekleştirilmiş olur.



Şekil 18. Kokil Kalıba Döküm

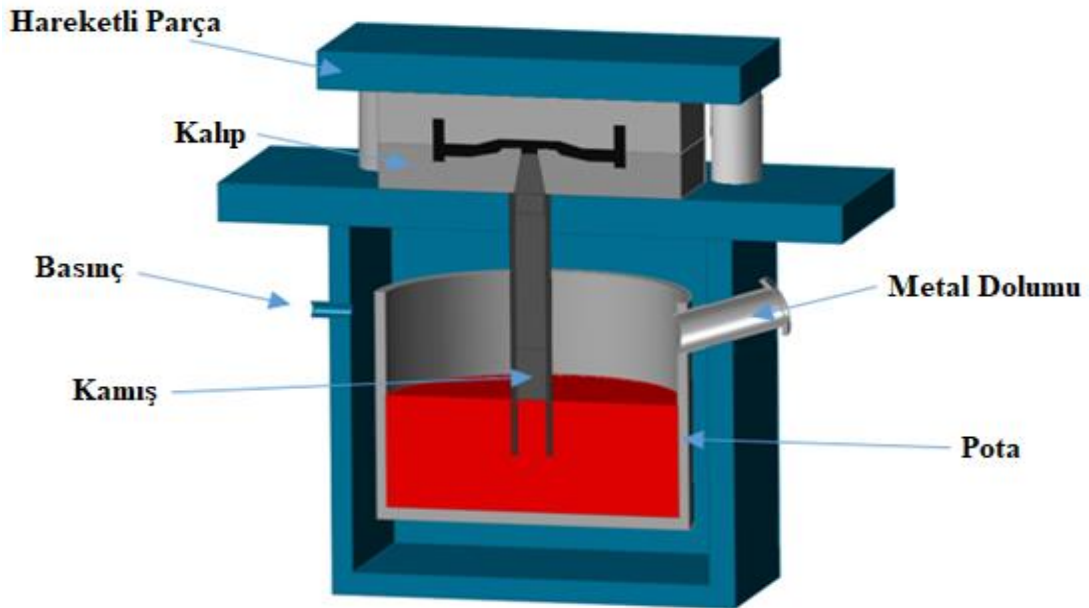
Kaynak: (CustomPartNet, www.custompartnet.com, 04 08, 2021, <https://www.custompartnet.com/wu/images/permanent-mold-casting/permanent-mold-casting.png>, E.T: 08.04.2020)

Kalıcı kalıba döküm prosesleri farklı varyasyonlara sahiptir, bunlar;

- I. Alçak basınçlı döküm
- II. Vakumlu kalıba döküm
- III. Boşaltma döküm

1.3.2. Alçak Basınçlı Döküm

Ergimiş metal yer çekimi ivmesi etkisiyle dökülmesi yerine 1bar' dan küçük bir basınçla kalıba dökülmesi sağlanır. Basınç itkisiyle kalıplanan ergimiş metalin soğuma sırasında büzülme ve çekmeleri de azaltır. Bu kalıplama yönteminde daha keskin detaylar ve ince cidarlı parçaların dökümünü yapmak mümkündür. Şekil 19.' da alçak basınçlı döküm gösterilmiştir.



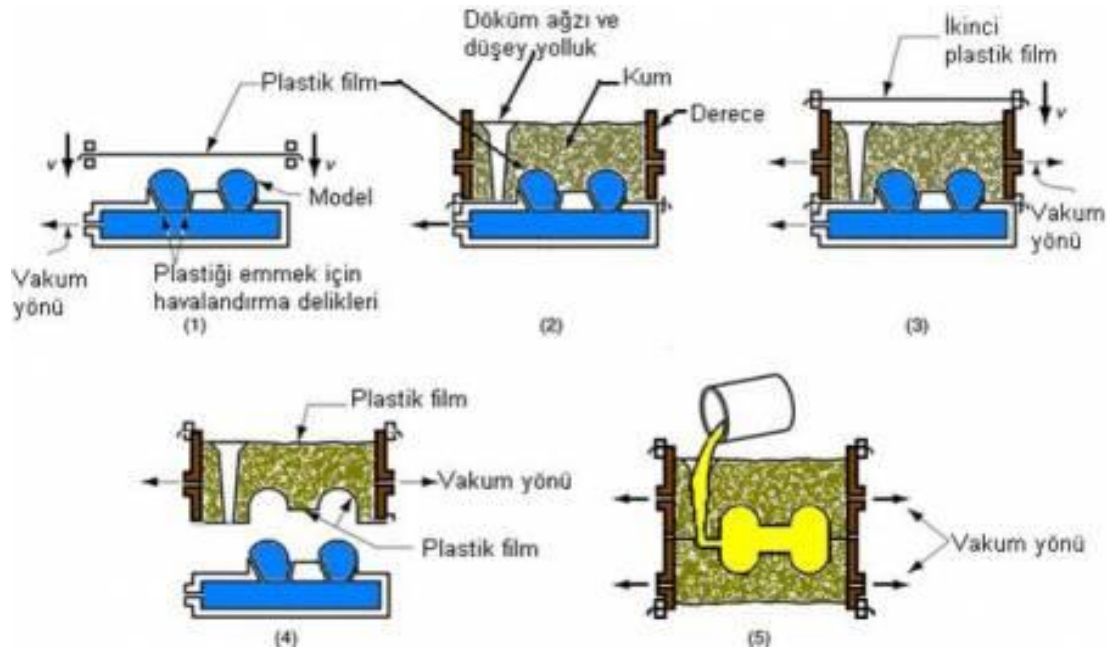
Şekil 19. Alçak Basınçlı Döküm

Kaynak: Altair Engineering, Inc. <https://solidthinking.com>.

https://solidthinking.com/help/2019.3/cast/en_us/topics/cast/process_params/low_pressure_process_c.htm (E.T: 30.10.2020).

1.3.3. Vakumlu Kalıba Döküm

Alçak basınçlı döküm yöntemine benzer fakat burada uygulanan basınç, kalıp boşluğuna uygulanarak vakum etkisi oluşturulur. Vakum uygulanarak hava ve ergimiş metal içerisindeki gazın uzaklaştırılmasına etki ettiği gibi aynı zamanda döküm parçanın da mekanik özellikleri iyileştirilmiş olur. Şekil 20.' de vakumlu kalıba döküm prosesi gösterilmiştir.



Şekil 20. Vakum Kalıba Döküm Prosesi

Kaynak: <https://nasiluretilir.files.wordpress.com.13.01.2010>.

<https://nasiluretilir.files.wordpress.com/2010/01/vakumlu-dokum.jpg> (E.T: 30.10.2020).

1.3.4. Boşaltma döküm

Kokil kalıp dökümde olduğu gibi ergimiş metal kalıp içerisine dökülür ve ergimiş metal katılaşmaya başlar ve duvarlarda istenilen et kalınlığı değerine ulaşıldığında tam katılaşmamış metal kalıptan dökülür. Bu şekilde maça kullanılmadan içi boş döküm parça üretilmesi mümkündür.

1.3.5. Yüksek Basınçlı Döküm

Ergimiş metalin yüksek basınç altında metal kalıba döküm yöntemidir. Yüksek basınç sayesinde ergimiş metal hızlı bir şekilde kalıba doldurulur ve katılaşma gerçekleşinceye kadar ergimiş metale basınç uygulanmaya devam edilir. İtici çubuklar sayesinde kalıplanan parçanın çıkartılması işlemi tamamlanmış olur.

Genelde ergimiş metale uygulanan basınç değeri 5 – 150 Mpa arasında değişmektedir. Ergimiş metali kalıp boşluklarına basınç ile zorlanması ince kesitlerin tam olarak dolmasına sebep olur. Üretim adeti fazla olacak parçaların kalıplamaları için uygundur aksi halde kalıp maliyetleri çok yüksektir. Kalıplama malzemesi olarak demir dışı veya demir esaslı metallerin kullanılması uygundur. Kalıpların soğuma işleminin homojen bir şekilde gerçekleşmesi için genelde su ile soğutma yapılır, bu şekilde katılaşma esnasında da hızlı bir şekilde soğuma gerçekleştirilir. Kalıplar genellikle kokil kalıpta olduğu gibi iki parça olarak üretilirler. Yüksek basınçlı dökümde üretilmiş bazı alüminyum alaşımları şekil 21.' de gösterilmiştir.

Yüksek basınçlı döküm yönteminde üretilen parçaların et kalınlıkları 2-4 mm arasında ve üretimi yapılacak parça üzerinde 1-1,5 arasında köşe kavisleri olmalıdır. Talaşlı imalat için ise 1mm işleme payı olması gerekmekte ve kum kalıba dökümde ise bu değer daha fazladır. Alüminyum alaşımlarının yüksek basınçlı dökümde maden sıcaklığı 680°C ile 700 °C arasında olmalıdır. Yüksek basınçlı döküm kalıpları şartlandırıcı ısıtılmaktadır. Şartlandırıcılar kalıpları belli bir sıcaklıkta tutmakta kullanılan cihazlardır. Dökülecek parçanın hangi makinede üretilmesi gerektiği; parçanın projeksiyon alanı ve parçanın döküm ağırlığı olmak üzere başlıca 2 ana parametre belirlemektedir. Basınçlı döküm yöntemi ile üretilmiş ince cidarlı parçalarda çekinti payı 0,005 kadar olmakta fakat kokil veya kum kalıba döküm yöntemlerinde bu çekinti payı 0,007 ile 0,1 arasında değişmektedir.

Basınçlı döküm makinaları, sıcak ve soğuk hazneli olmak üzere ikiye ayrılır. Çinko, kalay ve kurşun alaşımları, gibi düşük sıcaklıkta ergime özelliği gösteren metallerin döküm işleminde sıcak hazneli makinalar kullanılır. Pota içerisindeki sıvı metal hazneye doldurulur, piston vasıtası ile kalıp boşluğuna basılır. Sıcak hazneli makinaların kullanımı ergime sıcaklığı düşük olan malzemeler ile sınırlıdır. Yüksek sıcaklıklarda eriyen ve bu nedenle döküm makinasının çalışan parçaları ile sürekli

temasta olması sakıncalı olan alaşımlar ise (bakır, alüminyum ve magnezyum alaşımlar) soğuk hazneli makinalarda döküm işlemi gerçekleştirilir. Ergimiş metal, döküm işleminden hemen önce kepçe ile gerekli miktarda makine haznesine doldurulur ve bir piston yardımıyla kalıp boşluğuna basılır. (Aran 2007, 77)

Basınçlı döküm yöntemlerinin avantajlarını ve sınırlarını aşağıdaki maddeler ifade etmiştir;

- I. Kompleks geometrili küçük parçaların dökümüne uygundur.
- II. Duvar kalınlığı ince parçalarda kalıbın tam olarak dolması sağlanır.
- III. Üretim hızları yüksek olduğundan parça çıkış adetleri yüksektir.
- IV. Yüzey kalitesi ve boyut hassasiyeti çok yüksek olduğu için bitirme işlemlerine gerek duyulmaz.
- V. Hızlı soğuma olması sebebi ile ince taneli iç yapının dayanım değerleri yüksektir.

Yöntemin Sınırları;

- I. Küçük parçaların üretimleri mümkünken büyük parçaların üretimleri yapılamaz.
- II. Kalıplar metal olduğundan üretim ve tasarımları güçtür.
- III. Makine yatırım maliyetleri yüksektir.
- IV. Kalıp maliyetleri yüksek olduğundan yüksek adetli ve seri üretim parçalar için uygundur.
- V. Yüksek sıcaklıkta eriyen dökme demir gibi malzemelerin dökümü mümkün değildir. (Aran 2007, 77-78)



Şekil 21. Basınçlı dökümde üretilmiş bazı alüminyum parçalar

Kaynak: Came s.p.a. <https://came-italy.com>. <https://came-italy.com/wp-content/uploads/2018/11/Came-Die-casting-proprietary.jpg> (E.T: 21.11.2020).

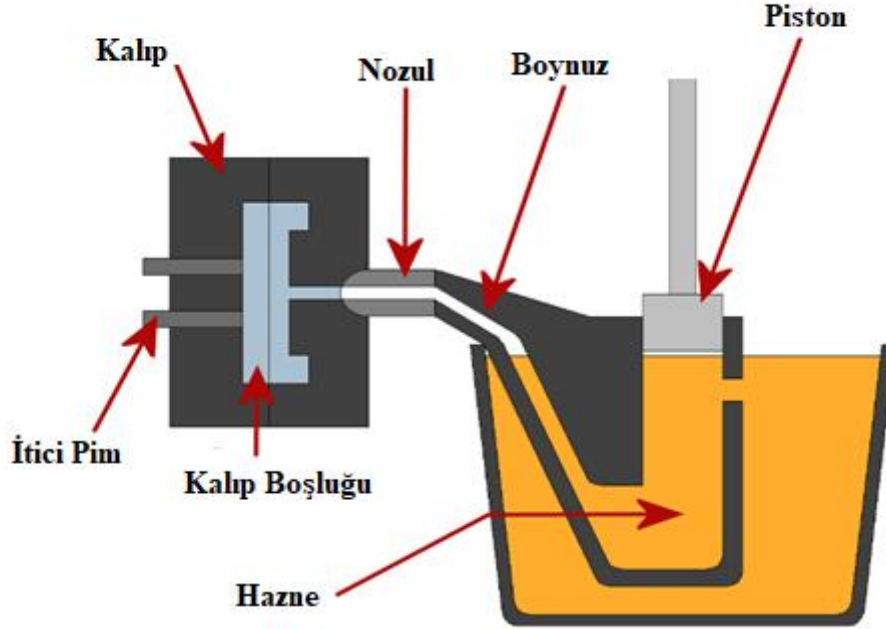
Yüksek Basınçlı döküm makinaları;

- I. Sıcak Hazneli döküm
- II. Soğuk hazneli döküm olmak üzere 2' ye ayrılırlar.

1.3.5.1. Sıcak Hazneli Basınçlı Döküm

Düşük sıcaklıklarda ergime özelliği gösteren metallerin dökümü için kullanılan döküm yöntemidir. Bu döküm yönteminde genellikle kalay, kurşun, çinko gibi benzer özellikler gösteren metallerin dökümü gerçekleştirilir. Şekil 22.' de sıcak hazneli döküm gösterilmiştir. Yüksek üretim adetleri ve hızlarına ulaşılabilir. Kalıp kapalıyken ve piston yukarıdayken ergimiş metal hazneye doğru akar ardından zımba sayesinde ergimiş metal kalıbın içerisine zorlanır ve döküm yöntemi bu şekilde

gerçekleşir. Katılaşma gerçekleşinceye kadar basınç devam ettirilir ve döküm işlemi bitiminde itici çubuklar sayesinde parça kalıptan çıkartılır.



Şekil 22. Sıcak Hazneli Basınçlı Döküm

Kaynak: EngineerStudent.co.uk. http://www.engineerstudent.co.uk/die_casting.html. tarih yok.
http://www.engineerstudent.co.uk/Images/die_casting_diagram_large.png (E.T: 21.11.2020).

1.3.5.2. Soğuk Hazneli Basınçlı Döküm

Yüksek sıcaklıklarda ergime özelliği gösteren metallerin dökümü için bu yöntem kullanılır. Alüminyum, bakır, pirinç, magnezyum alaşımları gibi yüksek sıcaklarda ergime özelliği gösteren metaller için uygulanan döküm yöntemidir. Ocakta ergitilen metal istenilen miktarda potadan kepçe yardımıyla alınarak piston düzeneği bulunan haznenin içerisine konulur. Hazne içerisine konan ergimiş metal piston yardımıyla kalıbın içerisine girmeye zorlanılır. Piston, katılaşma ve soğuma oluşuncaya kadar basıncı kontrol eder. Üretim hızları ve adetleri sıcak döküme göre daha azdır. Üretim döngüsü genellikle 30sn ile 80 sn. arasında sürmektedir.

Otomotivde kullanılan alüminyum alaşımı parçaların örnekleri şekil 23.' de gösterilmiştir.

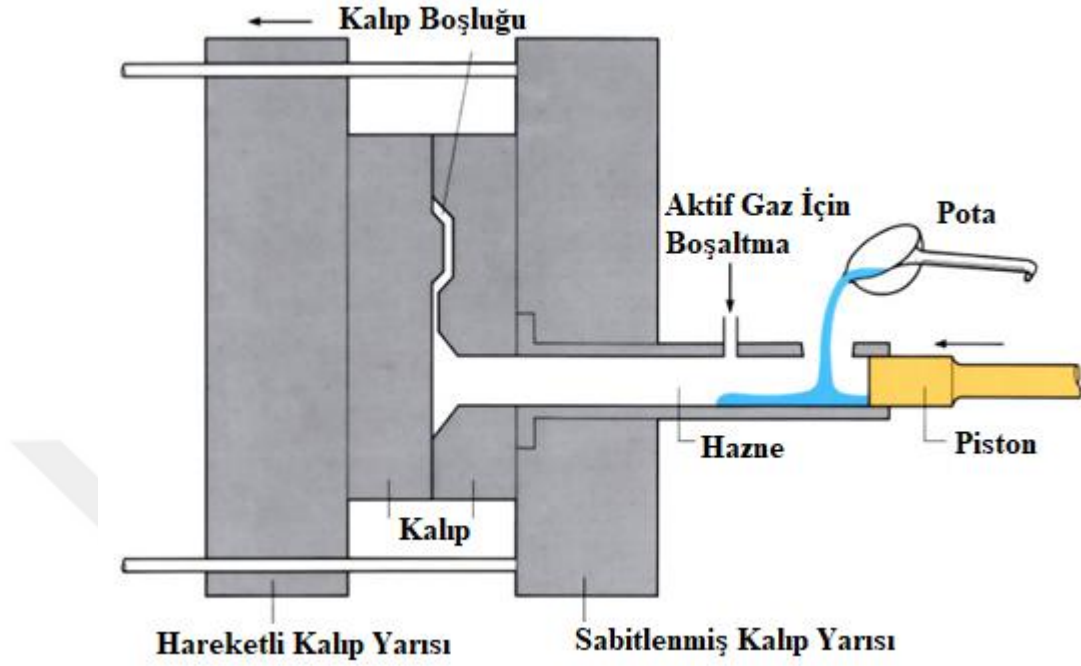


Şekil 23. Otomotivde kullanılan alüminyum alaşımlarından üretilmiş döküm örnekleri

Kaynak: HTE Endüstriyel Kontrol Sistemleri San. Tic. Ltd. Şti. <https://htecontrol.com>. 11 04 2021. <https://htecontrol.com/wp-content/uploads/2020/07/aluminyum-enjeksiyon-kalip.jpg> (E.T: 04.12.2021).

“İlk aşamada, ergimiş metal kovani doldurur; Hava, pistonun önünde, oluşan bir ergimiş metal dalgası tarafından zorlanır. Kovandaki türbülansı azaltmak için optimum bir piston hızı çok yüksek olmamalıdır ($0,25-0,35 \text{ ms}^{-1}$). İkinci faza geçiş, metal kalıp yolluğundayken meydana gelir; yolluğun daha dar olan kısmı karşı basınca neden olur, bu nedenle kalıbın hızlı bir şekilde dolmasını sağlamak için daha yüksek bir piston hızı gereklidir. Son olarak, üçüncü aşama, ergimiş metal kalıp boşluğunu tamamen doldurduğunda ve aşırı yüksek basınç uygulandığında başlar.” (W.A. Butler

ve diğerleri 2019, s. 5-6) Şekil 24.' de soğuk hazneli basınçlı döküm prosesi gösterilmiştir.



Şekil 24. Soğuk Hazneli Basınçlı Döküm

Kaynak: The Open University. <https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/engineering-technology/manupedia/pore-free-die-casting-active-atmosphere-casting>. 03. 11.2017. https://www.open.edu/openlearn/sites/www.open.edu.openlearn/files/ole_images/h14-1_800.jpg (E.T: 21.11.2020).

1.3.6. Savurma (Santrifüj) Döküm

Ergimiş metalin, x/y/z eksenlerinden biri etrafında döndürülerek ve merkez kaç kuvvetinden faydalanılarak yapılan döküm yöntemidir. Ergimiş metal kalıp içerisinde döndürülerek kalıbın bütün profiline homojen olarak dağıtılmak istenir. Kalıplama esnasında oluşan gazlar ve cürufur merkez kaç kuvveti sayesinde döndürme eksenine merkezine doğru sürüklenmesi sebebi ile gözeneksiz bir yapı elde edilmiş olur. Kalıp eksenini düşey veya yatak olabilmektedir. Bu yöntemde maçıya gerek duyulmaması kalıplama sürelerini hızlandırır ve kalıplamayı basitleştirmektedir. Savurma döküm

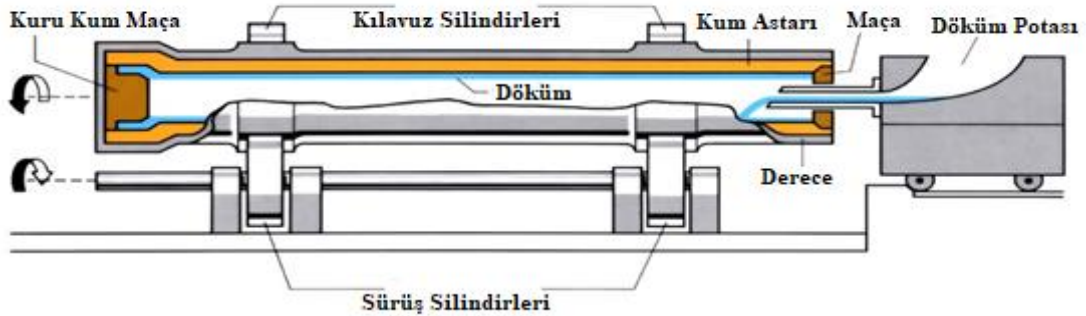
yönteminde döndürme hızları ve ilerlemesi ayarlanabilmektedir bu sayede kalıp içerisinde boşlukların dolumu da sağlanmış olur.

Savurma (Santrifüj) döküm yöntemi;

- I. Gerçek savurma döküm
- II. Yarı savurma döküm
- III. Savurmalı döküm olmak üzere 3' e ayrılmaktadır.

1.3.6.1. Gerçek Savurma Döküm

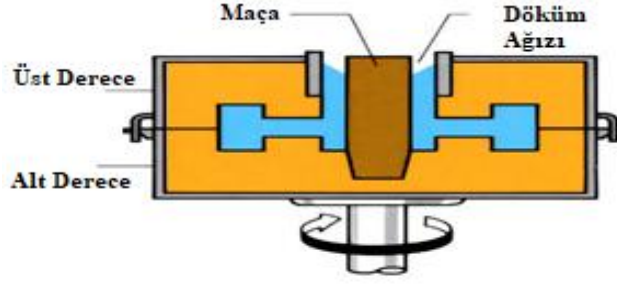
Silindirik simetri parçaların üretiminde kullanılır ve aynı zamanda maça kullanılmadan parça üretimi yapmak mümkündür. Dönme eksenı yatay veya düşey olabilir. Eksenel dönme sayesinde kalıp boşlukları doldurulurken aynı zamanda istenilen et kalınlığı değeri de sağlanabilir. Eğer üretilecek ürünün yarıçapı yüksekliğine göre büyük ise düşey eksenli savurmalı döküm kullanılmalıdır. Katılaşma kum kalıplardan hızlı olup soğutma için su soğutma kullanılmaktadır. Şekil 25. ve şekil 26.' da sırasıyla düşey ve dikey savurama döküm gösterilmiştir.



Şekil 25. Dikey Savurma Döküm

Kaynak: The Open University. <https://www.open.edu>. 20.11.2017.

https://www.open.edu/openlearn/sites/www.open.edu.openlearn/files/ole_images/h25-1_1.jpg (E.T: 21.11.2020).



Şekil 26. Düşey Savurma Döküm

Kaynak: The Open University. <https://www.open.edu>. 20.11.2017.

https://www.open.edu/openlearn/sites/www.open.edu.openlearn/files/ole_images/h25-2_400.jpg (E.T: 21.11.2020).

1.3.6.2. Yarı Savurma Döküm

“ Dönel simetriye sahip, ancak iç boşluk içermeyen tekerlek ve dişli taslakları gibi parçaların daha kaliteli dökümü için kullanılır, Sıvı metal içinde düşük yoğunluklu bileşenler merkeze doğru ötelenerek uzaklaştırıldığından, gözeneksiz ve temiz bir içyapı elde edilir. Genellikle düşey olan dönme eksenini aynı zamanda parçaların dönel simetri eksenini olduğundan, kalıplar birkaç parçanın üst üste dökülebileceği şekilde düzenlenebilir. Kalıplar yaş kum, kuru kum, metal veya diğer uygun malzemelerden yapılabilir.” (Aran 2007, 80-81)

1.3.6.3. Savurmalı Döküm

Üretilen parçanın, kalıp boşluklarının kalıbın dönme çizgisi dışına konumlandırılması savurmalı döküm özelliğidir. Metal, hem dönme çizgisi ile olan düşey yolluktan takviye edilerek ve yatay yolluktan akış oluşturmaları ile kalıp boşluklarına ulaşması sağlanmaktadır.

İKİNCİ BÖLÜM

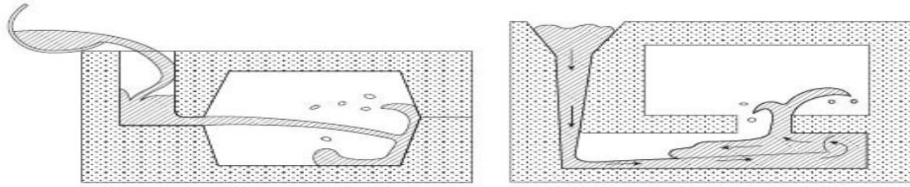
YOLLUK VE BESLEYİCİ SİSTEMİ

2.1. Yolluk Sistemi

Döküm proseslerinde yolluk sistemi ve tasarımı çok önemli bir yere sahiptir, çünkü madenin kalıp içerisine yürümesi sağlayan son ürün parçasının en önemli özelliklerini belirleyen parametreler arasındadır. Yolluk tasarımını en rafineri ve en optimize hale getirmek, döküm parçasının sorunsuz bir şekilde üretimine neden olan parametredir. Yolluk tasarımında göz önüne alınan en önemli parametre parça geometrisine göre tasarlanan yolluk tasarımlarıdır.

Sıvı metali doğal hali ile kalıp içerisine döktüğümüz zaman aşırı derece türbülanslar, çalkantılar ve sıçramalar meydana gelecektir. Her bir çarpma ve sıçrama esnasında maden hava kapacak ve döküm parça üzerinde öküm boşlukları veya poroziteye sebep olacaktır. Şekil 27.' de doğal akış ile doldurulan kalıpta sıvı metal hareketi gösterilmiştir.

Geleneksel olarak kullandığımız yolluk tasarımlarında genellikle dikey yolluklar ve yatay yolluklar kullanılmaktadır. Dikey yolluklarda farklı konik ağız ve daha sonra düz bir şekilde ilerleyen madenin aşağıya doğru indiği tasarımlar görülmektedir. Konik ağızlar genellikle madenin kolay bir şekilde kalıba dolmasını sağlayan geniş ve yayvan bir dolum ağızından yapılmaktadır. Daha sonrasında dikey bir yolluk vasıtası ile madeni kalıp içerisine gönderilir.

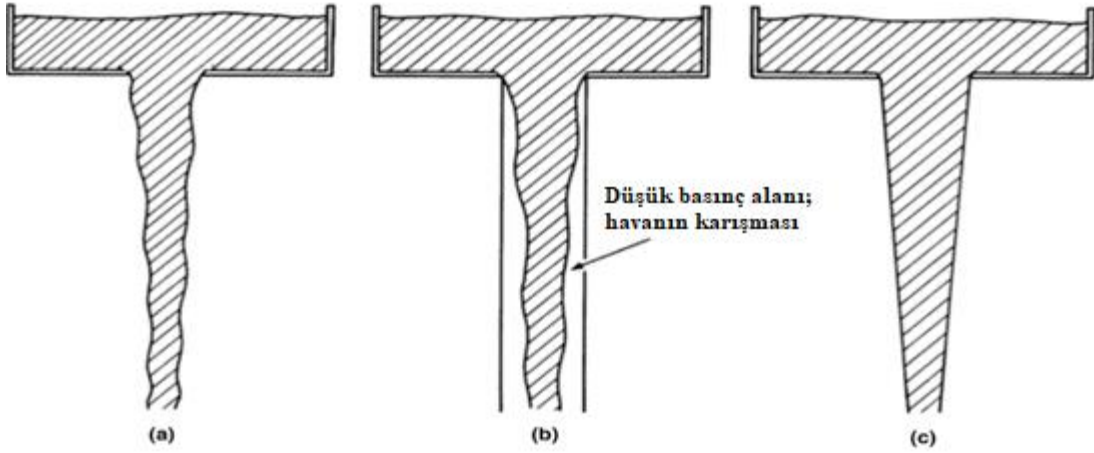


Şekil 27. Doğal Akış İle Kalıba Doldurulan Sıvı Metal Hareketi

Kaynak: Yüksel, Çağlar. Duyurular & Dokümanlar. <https://avesis.atauni.edu.tr/>. 19.12.2017.
<https://avesis.atauni.edu.tr/cyuksel/dokumanlar> (E.T: 01.04.2021).

Fakat sıvı metalin herhangi bir pota veya kepçe ile yer çekimi ivmesine bağlı olarak aşağı doğru yürüdüğü her şekilde, daralan geometrik bir şekil almaya başlanmaktadır. Dolayısı ile yolluk tasarımı yapacak tasarımcı ilk olarak sıvının bu doğal yapısı ve geometrisini bozmadan doğru bir şekilde daralan bir dikey yolluk tasarımı tercih etmelidir. Birçok döküm yönteminde olduğu gibi kokil de veya kum da olduğu gibi genişleyen bir yolluk tasarımı tercih edilmelidir. Kum kalıplama veya basınçlı dökümde olduğu gibi parçanın kalıptan kolayca ayrılması için parçaya verilen kalıp çıkma açısının yolluğa da verilmesi gerekmektedir. Nitekim parça kalıptan çıkartılana kadar yolluk, parçanın kendisi gibi davranacaktır. Farklı tasarımlara ait düşey yolluk tasarımları şekil 28.' de gösterilmiştir.

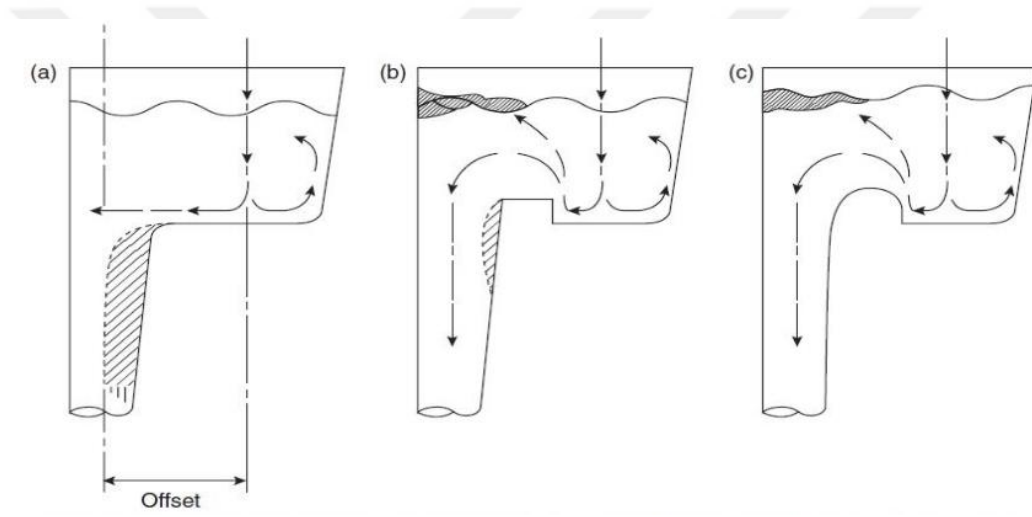
Farklı geometrilerde genişleyen yolluk sistemleri bulunmaktadır. Fakat daha öncede bahsedildiği gibi sıvı metal kalıp içerisine ilerlerken daralma eğilimi gösterdiğinden eğer o daralma hareketine nazaran geniş bir yolluk tercih edilir ise porozite veya döküm boşluklarının oluşması gayet muhtemeldir. Dikey yolluklarda, genişleyen yolluklar değil daralan yolluk tasarımları tercih edilmelidir.



Şekil 28. Düşey Yolluk Tasarımları

Kaynak: Yüksel, Çağlar. Duyurular & Dokümanlar. <https://avesis.atauni.edu.tr/>. 19.12.2017.
<https://avesis.atauni.edu.tr/cyuksel/dokumanlar> (E.T: 01.04.2021).

Yolluklarda sıkça kullanılan basamaklı basamaklı (offset) döküm ağızları bulunmaktadır. Şekil 29.' da basamaklı döküm ağızları gösterilmiştir. Bu sistemlerdeki ana amaç, madenin direkt olarak aşağıya doğru inmesini önlemek olacak bu şekilde türbülans ve çalkalanmaların önüne geçilecektir. Sıvı metal bu döküm ağızlarına çarpıp, yuvarlanıp bu şekilde bir lineer hareket yaratılmaya çalışılmaktadır. Bu sayede dikey daralan yolluklarda oluşan türbülansları da önlenmiş olmaktadır. Şekilde gösterilen ofset döküm ağızları arasında olması gereken döküm ağızı c şikkı olmalıdır. A ve b şıklarında görüldüğü üzere dolum ağızları yumuşak bir geçişe sahip olmamakla beraber türbülans ve çalkantı oluşturmaya müsait ofset döküm ağızlarıdır.



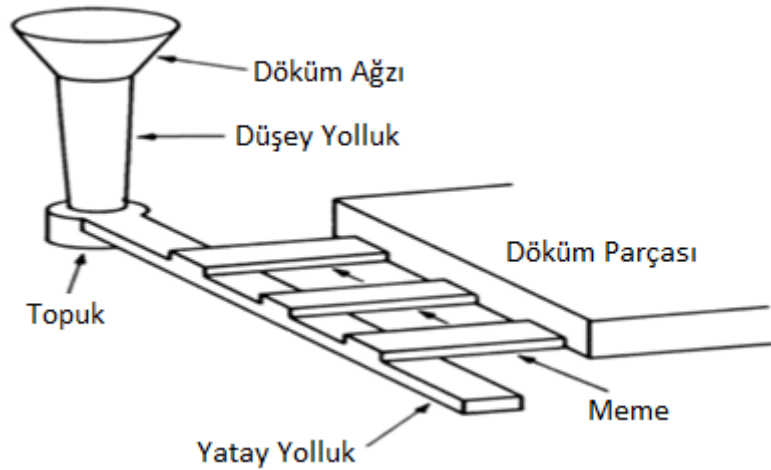
Şekil 29. Farklı Tasarımlara Ait Ofset Döküm Ağızları

Kaynak: Yüksel, Çağlar. Duyurular & Dokümanlar. <https://avesis.atauni.edu.tr/>. 19.12.2017.

<https://avesis.atauni.edu.tr/cyuksel/dokumanlar> (E.T: 01.04.2021).

Bazı geometrilere bağlı olarak döküm sistemini kontrollü bir şekilde yönlendirebilmek için “stopper” denilen durdurucu konulabilir. Maden, döküm ağızına doldurulduktan sonra stopper çekilir ve bu şekilde hava kapmaktan ve döküm boşlukları oluşmadan sıvı metal kalıp içerisine yürüme başlayacaktır. Dolayısı ile en temel noktalardan biri, ofset döküm ağızını optimum şekilde tasarlamak ve daha sonrasında daralan bir dikey yolluk tasarımı yapmaktır.

Yatay yolluklarda genellikle tercih edilen sistemlerin arasında hangi çapta ve geometride nasıl kalıp içerisine yürüyor ise yatay yollukta aynı geometri ve kesit alanı devam ettirilmelidir. Dikey yolluktan gelen kesit alanını koruyarak ve iki tarafa da aynı radyüsler verilerek sıvı metalin yatay yolluğa yönlendirilmesi gerekmektedir. Efektif olarak kullanılan yolluk sistemi şekil 30.' da gösterilmiştir. Her bir 90° lik dönüşlerde kendi hızıyla ilerleyen sıvı metal çarpmalar ve türbülanslara maruz kalacağından bu dönüşler ne kadar yumuşak bir geçişe sahip olursa türbülanslar ve porozite sorunları o kadar azalacaktır. Sıvı metal keskin dönüşlerde yolluk içerisinde büzülme oluşturur buna "Vena Kontrakta" denir. Bernoulli prensibi bu noktada önem arz etmektedir. $A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2$ süreklilik denkleminde de görüldüğü üzere kesit alanı genişledikçe hız azalmaktadır. Eğer dikey yolluk mesafesi yüksek ise sıvı metal yatay yolluğa gelene kadar hızlanacak ve yatay yollukta bu hızı kesmek gerekecektir aksi halde türbülans ile karşılaşılması muhtemeldir. Bu hızı kesmek amacı ile ara yolluklar kullanabilir fakat tavsiye edilmemektedir bunun yerine yolluk tasarımındaki diğer parametreleri düzenlemek daha doğru olacaktır.



Şekil 30. Efektif Olarak Kullanılan Yolluk Sistemi

Kaynak: Yüksel, Çağlar. Duyurular & Dokümanlar. <https://avesis.atauni.edu.tr/>. 19.12.2017.
<https://avesis.atauni.edu.tr/cyuksel/dokumanlar> (E.T: 01.04.2021).

İdeal bir yolluk sistemi fonksiyonlarını maddelerde belirtmiştir;

- I. Fazlaca sıcak metale ihtiyaç olmadan kalıp boşluğunu hızlı bir şekilde doldurmalıdır.
- II. Cüruf, pislik, kum taneciklerinin, vesairenin kalıp boşluğuna doldurmayacak şekilde tasarım gerçekleştirilmelidir.
- III. Hava veya kalıp gazlarının kalıp boşluğunu dolduran sıvı metal içerisine girişi kesinlikle önlenmelidir aksi halde döküm hatalarına neden olur. (aspirasyonu önlemelidir).
- IV. Maça veya kalıptaki aşınmaların önüne geçebilmelidir.
- V. Katılma için faydalı termal gradyanı temin etmeli ve döküm parçasındaki distorsiyonu minimuma indirmelidir.
- VI. Sıvı metal hedeflenen süre içerisinde kalıbı dolduracak şekilde yolluk tasarlanmalıdır.
- VII. Kolay ve lineer bir akış ile dökülebilmeyi sağlamalıdır. (Ülker 2006, 43)

2.2. Yolluk Tasarımı Hesaplamaları

Yolluk tasarımı hesaplamaları belirli parametrelere bağlıdır. Parametrelerin belirlenmesi ile yolluk tasarımı hesaplamaları yapıldıktan sonra, yolluk tasarımının yapılması gerekmektedir. Optimize edilmemiş bir yolluk tasarımı hesabı, efektif olmayan bir yolluk tasarımına sebebiyet verecektir ve sıvı metalin kalıp içerisinde türbülans ve çalkantı oluşturmalarının yanı sıra poroziteye sebep olacaktır.

2.3. Kritik Hız

Bu hesaplamaları yapmadan önce ilk olarak kritik hız kavramına bakılması gerekmektedir. Sıvı metalin çalkantı ve türbülans oluşturmaması için kritik hız kavramının açıklanması gerekmektedir. Eğer sıvı metalin hızı gereğinden fazla ise türbülans, çalkantı ve hatta sıçramalara yol açacaktır. Bu durumun oluşmaması için gerekli bir hıza ihtiyaç duyulmaktadır.

Kritik hız, sıvı metalin aşağıdan yukarı doğru dolması ile hesaplanmaktadır. Serbest düşüş ile sıvı metalin hızını kontrol altına almak imkansızdır. Yerçekimi ivmesi ile sıvı metal her zaman hızlanma eğiliminde olacaktır. Yolluk tasarımında bahsedildiği üzere sıvı metalin ilerlemesini kontrol altına alınması hedeflenmelidir ki bütün kalıplar genellikle aşağıdan yukarıya doğru doldurulmalıdır.

Damlacık modelinde de gösterildiği gibi sıvı metalin bir yüksekliği ve genişliği vardır. Sıvı metal damlacığının yollukta ilerlerken oluşturmuş olduğu bir yüzey gerilimi oluşturmaktadır. Damlacık modeli şekil 31.' de gösterilmiştir. Yüzey gerilimi damlacık modelinde de görüldüğü üzere üstte ve yandan bir yüzey gerilimi oluşturmaktadır. γ ile gösterilen yüzey gerilimi ve L boyunda bir damlacık olduğunu varsayarsak formülüne edilmiş ifadeler;

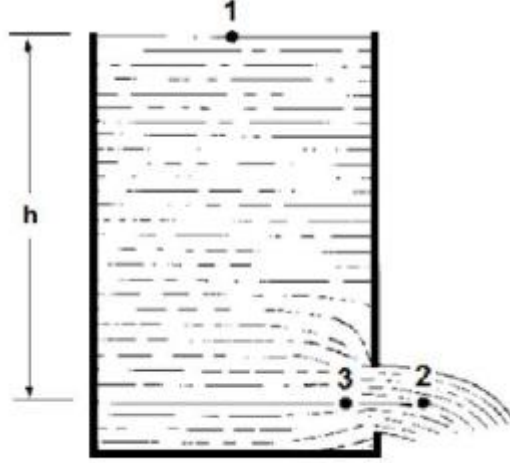
$$2 \cdot L \cdot \gamma = \frac{\rho \cdot g \cdot h^2 \cdot L}{2} ;$$

$$h = 2\sqrt{\gamma/\rho g}$$

$$V = \sqrt{2gh} \quad (\text{zamansız hız formülü})$$

$$V_{\text{kritik}} = 2^4 \sqrt{\gamma g / \rho} \quad (\text{Campbell 2003, 32})$$

Kuvvet dengelerini bütün sıvı metalin yerine koyacak olursak, farklı elementler kritik hızlar ortaya çıkmaktadır. Bütün elementler için ortalama kritik hız değerleri 0,5 m/s değerinde olduğunu göstermektedir. Kritik hızın altında kalıba doldurulan bütün sıvılar türbülansız ve çalkantısız bir şekilde döküm parçasının içerisine doldurulacaktır. Yolluk tasarımlarında yapılan 90°' lik her dönüşte sıvı metal enerjisinin yaklaşık %50' sini kaybederek ilerleyecektir.



Şekil 32. Akışkanın Enerji Noktaları

Kaynak: Yüksel, Çağlar. Duyurular & Dokümanlar. <https://avesis.atauni.edu.tr/>. 19.12.2017.
<https://avesis.atauni.edu.tr/cyuksel/dokumanlar> (E.T: 01.04.2021).

Yukarıdaki şekilde görüldüğü üzere 1. ve 2. Noktalardaki akışkanın enerjileri eşittir fakat 1. noktadan 2.noktaya akış gerçekleşirken kayıplar oluşacağından;

$$\dot{E}_{giren} = \dot{E}_{çıkan} + \dot{E}_{kayıp} \text{ olacaktır.}$$

Bernoulli denklemi; basınç, hız ve yükseklik arasındaki ilişkiyi temsil eden denklemdir. Sürtünme kuvvetlerinin ihmal edilmesi ile daimi, sıkıştırılamaz akış bölgelerinde geçerlilik göstermektedir. Bernoulli denkleminin türetilmesinde başlıca kabul edilen parametreler; viskoz etkilerin, atalet, yerçekimi ve basınç etkilerine oranla ihmal edilebilir derecede küçük olduğudur. Bir başka deyişle, akışkanın viskozitesi ne kadar ihmal edilebilir seviyede olursa olsun, Bernoulli denklemi akışın gerçekleştiği her noktada uygulanamaz. Bernoulli denkleminin türetilmesi newton'un ikinci yasası ile birlikte oluşmuştur.

Bernoulli denkleminin türetilmesi ;

$$\sum F_s = m \cdot a_s ;$$

$$P \cdot dA - (P + dP) \cdot dA - W \cdot \sin\beta = mV \frac{dV}{ds} ;$$

$$-dP \cdot dA - \rho \cdot g \cdot dA \cdot ds \frac{dz}{ds} = \rho \cdot dA \cdot ds \cdot V \cdot \frac{dV}{ds} ;$$

$$-dP - \rho \cdot g \cdot dz = \rho \cdot V \cdot dV ;$$

$$\frac{dP}{\rho} + \frac{1}{2}d(V^2) + g \cdot dz = 0 ;$$

$$\text{daimi akış : } \int \frac{dP}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz = \text{sbt. ;}$$

$$\text{daimi sıkıştırılmaz akış: } \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2$$

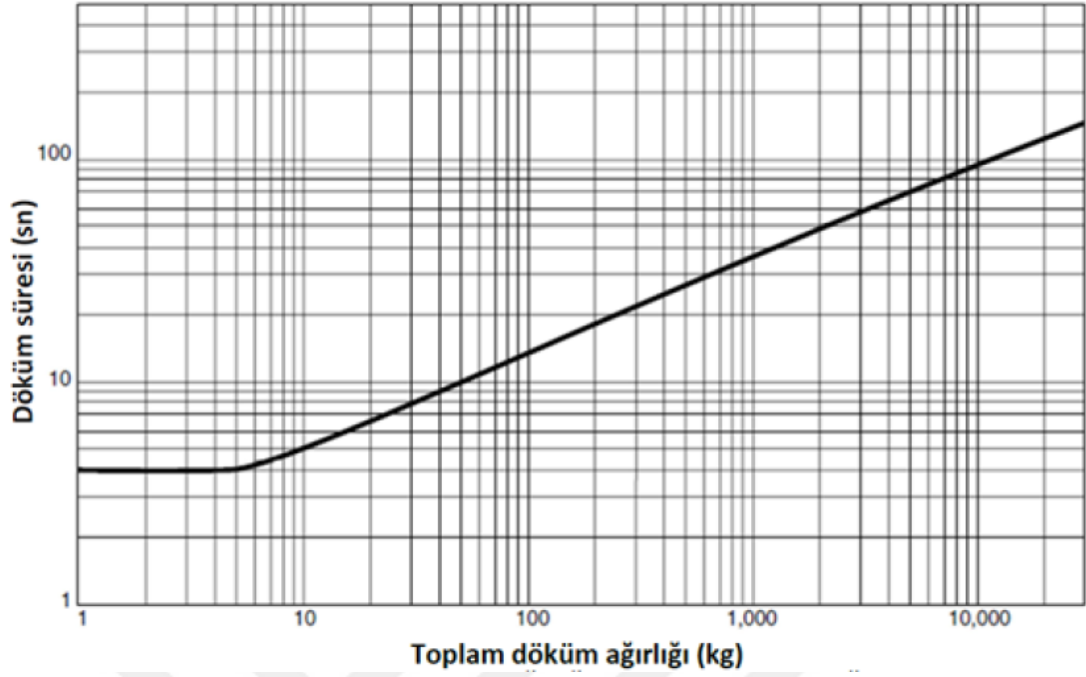
Şekilde gösterilen 1. ve 2. noktalar ele alındığında ve Bernoulli eşitliği yazılır
ise $\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2$ denklemi oluşacaktır.

Başlangıç hızı 0 olması ve sistemin atmosferik basınç altında olduğu düşünülür
ise ($P_1 = P_2$) ;

$v_g = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$ çıkarımı yapılabilmektedir.

Kalıbın doldurulma zamanı ;

$$t = \frac{V}{A_g \cdot v_g}$$



Şekil 33. Döküm Parçasının Dolum Süresi

Kaynak: Kirenci, Ümit. Ağır Hizmet Sektöründeki Dizel Motor Bloklarına Yönelik Hafifletme Çalışmaları. İstanbul: T.C. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2019).

2.6. Besleyici Hesabı Ve Etkin Döküm Yüksekliği

Parçanın üst derecede olması durumunda etkin döküm yüksekliği,

$$H_E = h_Y - c/2$$

Besleyici modülü hesabı;

$$M_{\text{besleyici}} = M_{\text{parça}} \times 1,2 \times \frac{\sqrt{S_t}}{100}$$

Besleyici kütlesinin hesabı için;

$$W_{\text{döküm}} = F_b \times \frac{W_{\text{besleyici}} \times 100}{s}$$

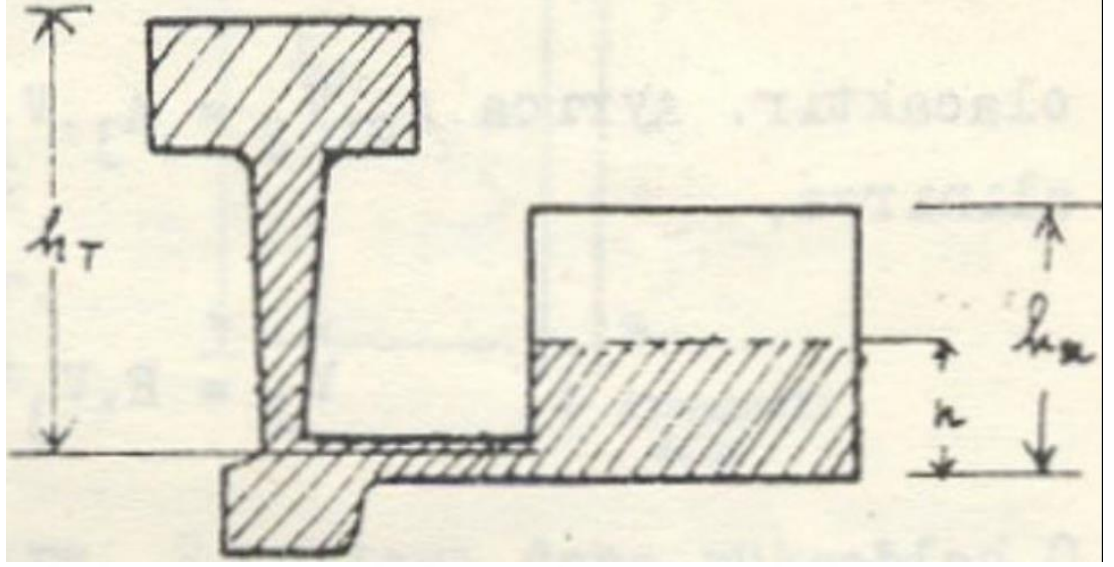
S, kalıp genişlemesi, genellikle yaş kum kalıplamada %2 olarak kabul edilmektedir.

$W_{\text{döküm}}$, Döküm ağırlığı

F_b , Besleyicinin kendi hacminin beleyebildiği hacme oranı, %16 ile 33 arasında kullanılan besleyici özelliğine göre değişmektedir. ‘’ olarak belirtmiştir. (Kirenci 2019, 86-87)

2.7. Döküm Parçasının Altan Yolluk Beslemesi

Genellikle döküm uygulamalarında aşağıdan yukarı sıvı metal doldurulması tavsiye edilmektedir. Yukarıdan aşağıya doldurulan sıvı metal türbülans ve çalkantılara neden olacaktır. Reynolds sayısı akış hızı ile doğrudan orantılı olduğundan, yukarıdan aşağıya yapılan bir akış daha büyük bir değere sahip olacaktır. Reynold sayısının artması akışın türbülanslı olacağına işaret edecek ve dökümde sıvı metalin akışı laminar istenmektedir. Bundan sebeptir ki sıvı metal genellikle döküm parçasına tavsiye edilen şekli ile aşağıdan yukarı dolumu gerçekleştirilir.



Şekil 34. Alttan Besleme Tasarımı Yapılan Yolluk Bölümleri

Kaynak: Yüksel, Çağlar. Duyurular & Dokümanlar. <https://avesis.atauni.edu.tr/>. 19.12.2017.
<https://avesis.atauni.edu.tr/cyüksel/dokumanlar> (E.T: 01.04.2021).

“Belirli bir (d_t) zaman aralığında kalıpta, metal (d_h) kadar yükselir ve metal hacmi ($A_K.d_h$) kadar artar. d_t zamanında giriş yolluğundan geçen metal miktarı, cm^3 , ($A_G.V.d_t$) olacaktır. Kalıpta yükselen metal ile yolluktan giren metal (d_t zaman aralığında) eşittir:

$$A_K.d_h = \sqrt{2g(h_t - h)} d_t$$

$$\frac{d_h}{\sqrt{2g(h_t - h)}} = \frac{A_G}{A_K} . d_t$$

Eğer dökümün dolması için gerekli toplam zaman t_f ise ve döküm yüksekliği $de\ h_m$ ise, $t=0 - t=t_f$ ve $h=0 - h=h_m$ arasında integral olarak zaman belirlenir.

$$\frac{1}{\sqrt{2g}} \int_0^{h_m} \frac{d_h}{\sqrt{h_t - h}} = \frac{A_G}{A_K} \int_0^{t_f} dt$$

$$\frac{2}{2g} \sqrt{h_T} - \sqrt{h_T - h_m} = t_f \cdot \frac{A_G}{A_K}$$

$$t_f = \frac{2A_K}{A_G \sqrt{2g}} (\sqrt{h_T} - \sqrt{h_T - h_m})$$

Altan besleme ile sıvı metalin döküm parça içerisine daha uzun sürede dolacağı belirlenmiş olmaktadır.” (Ç. Yüksel 2017)

2.8. Yolluk Sistemlerinde Düşey Ve Yatay Yolluk Oranları

Ne kadar fazla şekilde yolluk tasarımları yapılmış olursa olsun temelde 4 adet yolluk çeşidi mevcuttur.

- I. Açılı, levha şekilli ve büyük yüzeyli yatay kalıplama olacak şekilde dökülen parçalar için yolluk tasarımı
- II. Karmaşık geometrili dökümler (çok maçalı parçalar) alttan, üstten veya yandan besleme
- III. Yığın kalıplama yolluk
- IV. Cüruf tutucu sistemli yolluk

2.9. Daimi Akışlı Yolluk Sistemi

Yolluk tasarımı hesaplamaları ile döküm tamamlanmış olur. Buradaki en önemli parametre dökülecek sıvı metal veya sıvı metal alaşımının sıcaklığıdır.

Sıvı metal özellikleri arasında;

- I. Eğer sıvı metal düşük sıcaklıklarda döküm gerçekleşirse yolluk sisteminde katılaşma başlar ve daha döküm parçasına sıvı metal girişi başlamadan hatalara yol açabilir

- II. Eğer sıvı metal yüksek sıcaklıklarda döküm işlemi gerçekleşirse kalıp içerisindeki kum malzeme ciddi tahribat görür. Bunun sonucunda döküm parça üzerinde pürüzler ve porozite görülebilmektedir.

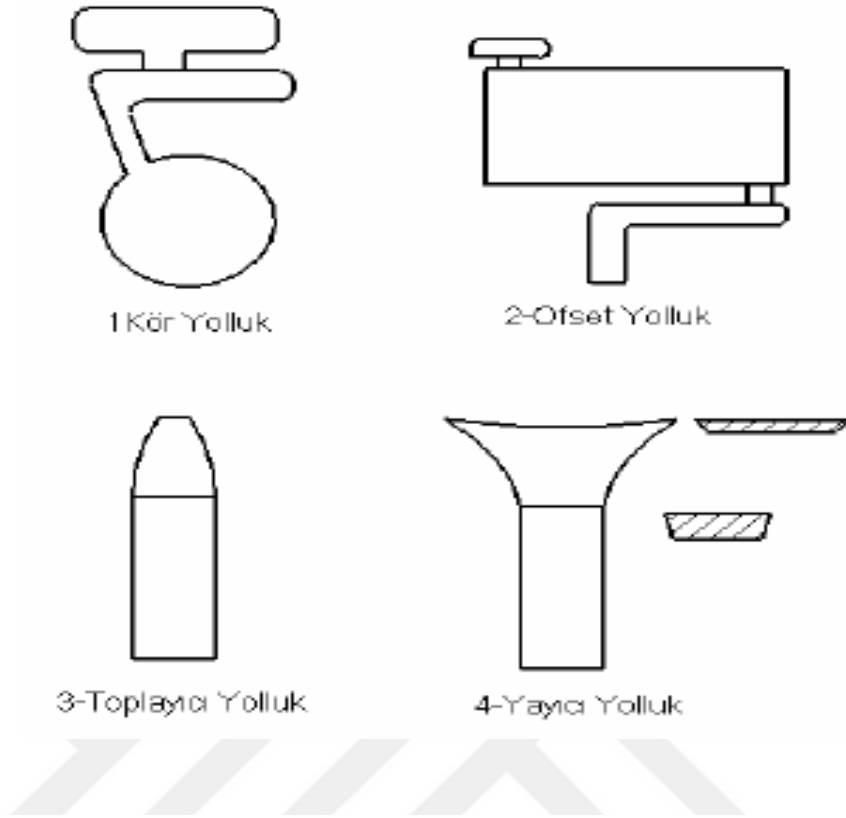
Döküm sıcaklığı, yukarıda anlatılan döküm hatalarını giderecek şekilde seçilmelidir. Birçok döküm parçası aynı potadan beslendiği düşünülürse, optimum olan döküm sıcaklığını seçmek gerekmektedir. En dar sıcaklık aralığı seçilmelidir. Bunun sebebi ise yüzey kalitesi ve döküm mukavemeti en iyi biçimde elde edilmiş olacaktır. Sıvı metalin kalıp içine daimi akışı önem arz etmektedir. Sıvı metal potadan çıktığı andan itibaren sıcaklığını kaybetmeye başlayacak ve aynı zamanda katılaşma olacağından mikro yapıyı etkileyecektir. Akıcılığı daimi bir şekilde gerçekleştirilebilmek için sıvı metal hızını arttırmak gerekir ki buda türbülans oluşturma ihtimali oluşturacaktır. Sıvı metalin hızını arttırırken türbülansı en düşük seviyede tutacak yolluk tasarımları yapılması gerekmektedir. Akıcılığı etkileyen en önemli parametreler; sıvı metal hızı, döküm sıcaklığı ve katılaşmanın ne zamana kadar gerçekleşeceğidir. Akıcılığın ölçü değerini belirlemek için;

- I. Kum kalıba dökülmüş spiral
- II. Emme-tüp metodu' dur.

2.10. Yüksek Basıncılı Dökümde Meme Kısmı Ve Yolluk Kanalı Tipleri

Yüksek basınçlı dökümde yolluk kanalı tipleri;

- I. Kör yolluk
- II. Ofset yolluk
- III. Toplayıcı yolluk
- IV. Yayıcı yolluk



Şekil 35. Yolluk Kanalı Tipleri

Kaynak: Aksel, Levent. Metal Enjeksiyon Kalıplarında Yolluk Tasarımı. Konya: T.C Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2008).

“Kör yolluk; Aslında amacın kalıp boşluğu doldurmak değil kalıptaki ısı dengeyi kurmak için kullanılan yolluk tipidir. Isının ulaştırılmak istendiği bölgelerden geçirilir ve şekil çok da önemli değildir. Ofset yolluk; Enjeksiyon pistonunun dengeli basınç yapmasının sağlanması için genellikle piston eksenine ve doğal olarak yolluk başlangıcı kalıbın geometrik merkezine yakın tutulur. Fakat iyi bir dolumun sağlanması için iş parçasının bir başka noktasından giriş yapılması durumunda ofset yolluk kullanılır. Toplayıcı yolluk; Metal jetinin doğrusallaştırılıp şiddetinin artırıldığı yolluk tipidir. Genellikle ince kesitli, hızlı dolum gerektiren parçalarda tercih edilirler. Yüksek basınçtan ziyade yüksek hızın önemli olduğu kalıplarda kullanılırlar. Yayıcı yolluk; Toplayıcı yolluğun aksine hızın azaltılıp basıncın artırılarak dolumun gerçekleştirildiği kalın kesitli parçalarda tercih edilirler Meme kısmının derinliği akış

karakteristiği, döküm sonrası budama ve son bitirme işlemlerinin başarılı olarak gerçekleştirilmesi için uygun değerler içerisinde olmalıdır. Meme kısmının minimum ölçü değeri aşağıda belirtilen denklemle elde edilebilir;

$$J = \rho \times G_V^{1.74} \times G_d$$

G_d = Girişin derinliği (mm)

G_v = Girişin hızı (mm/sn)

J = Alaşım için deney sabiti ($\frac{gr}{mm^2}$) ‘’ (Aksel 2008, 27-28)

Yapılacak olan simülasyonlarda bu formülasyon kullanılacaktır. Çıkacak değerler doğrultusunda yolluk tasarımları yapılacak olup ilerleyen bölümde döküm simülasyonu yapılacak olan döküm parçasının bölümleri gösterilecektir.

2.11. Yüksek Basıncılı Dökümde Yolluk Kesiti Ve Akış Hızı

Döküm yöntemlerinin her birinde olduğu gibi yüksek basınçlı dökümde de yolluk kesiti ve sıvı metalin akış hızı önem arz etmektedir. Bu parametreler döküm parçasının dolum süresini, yüzey kalitesi, dökümde ki boşluklar gibi parametreleri belirlemektedir.

‘‘Yolluğun parça girişini referans aldığımız zaman kalıbın iç ve dış kısmına Bernolli denklemini uygulayabiliriz. Gerekli sadeleştirmeler yapıldıktan sonra yolluktaki akış hızı;

$$v = (2gP/\gamma)^{0.5} \text{ olarak elde edilir.}$$

Buradaki P basıncı dolum esnasında sürekli değişkendir. Doğal olarak hesaplamalarda doğrudan sabit bir P basınç değeri girilerek akış hızının tayin edilmesi söz konusu değildir. Piston harekete başladıktan sonra kalıp tamamen dolana kadar, yani akış hızı sıfıra düşene kadar geçen süre tayin edilmelidir(t). Bu durumda akış hızı;

$$v = \int_0^t (2gP/\gamma)^{0.5} \cdot dp \text{ şeklinde hesaplanabilir.}$$

g = yerçekimi ivmesi

P = döküm basıncı

γ = sıvı metalin özgül ağırlığını ifade eder.” (Aksel 2008, 28)

Yolluk kesiti tayini yapılırken döküm sonrası parçadan kolayca ayrılabilmelidir, eğer gereğinden fazla bu kesit kalınlaştırılırsa döküm parçası üzerinden kopartılamaz ve parça üzerinde hasar bırakabilmektedir.

“Yolluk boyunca hareket eden sıvı metalin geçtiği giriş kesitinin(s) tayininde kütleli debi eşitliğini göz önüne alarak;

$$s \cdot v \text{ (cm}^2 \cdot \text{cm/s)} = V/t \text{ (cm}^3/\text{s)}$$

$$s = V/(t \cdot v)$$

$v = (2gP/\gamma)^{0.5}$ akış hızı yukarıdaki denklemde yerine konduğunda

$$s = V/[t \cdot (2gP/\gamma)^{0.5}] \text{ olarak bulunur.}$$

Metal enjeksiyon kalıplarında metal jetlerinin akışını inceleyen Frommer’in teorisine göre yolluk giriş kesitini şu şekilde hesaplayabiliriz;

$$b = G/(t \cdot v \cdot h \cdot \gamma)$$

b , giriş kesiti genişliği mm

G , baskısı gerçekleştirilen parça ağırlığı g

T , kalıp dolum süresi s

v , metal jetinin parça girişindeki hızı cm/s

h , giriş kesiti kalınlığı mm

γ , özgül ağırlık g/cm³” (Aksel 2008, 30)

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA SINIFLANDIRMA VE SİMÜLASYONDA KULLANILAN ALÜMİNYUM ALAŞIMI ÖZELLİKLERİ

3.1. Alüminyum Döküm Alaşımları

Ana metali alüminyum esaslı olan demir dışı alaşımlara alüminyum alaşımları denilmektedir. Alüminyum alaşımları dövme ve döküm alaşımlar olmak üzere 2' ye ayrılmaktadır. Burada alüminyum döküm alaşımları anlatılacak olup dövme alaşımlar anlatılmayacaktır fakat alüminyum dövme alaşımlarının en büyük özelliği plastik deformasyon eğilimleri yüksek ve ısıl işlem yapılabilme özelliklerine sahiptir diyebiliriz.

Mühendislik çalışmalarının çoğunda demir esaslı alaşımlar kullanılmasına rağmen çoğu tasarım ve mühendislik teknolojilerinde kaçınılmaz malzemeler arasındadır. Alüminyum alaşımlarının en büyük özelliği düşük yoğunluğun yanında korozyon dirençleri yüksek malzeme olarak bilinirler. Tasarımların vazgeçilmez malzemelerinden olmasının sebebi tasarlanan parçanın hafifletme çalışmalarında kullanılırlar. Ayrıca alüminyum malzemelerin en önemli özelliklerden biride elektrik iletkenliğinin iyi olması ve görünümü bu noktada alüminyum alaşımlarının kullanılmasında belirleyici özellik taşımaktadır. Alüminyum alaşımlarına eklenen en önemli alaşım elementleri; magnezyum, çinko, silisyum, bakır ve mangandır.

“Amerikan otomobilinin kütlesi 1,705 kg'dan 1,438 kg'a %16 düşüş göstermiştir. Bu büyük ölçüde geleneksel çelik kullanımının %29 oranında azalması (941 kg'dan 667 kg'a) ve alüminyum alaşımları kullanımının %63 oranında (29 kg'dan 63 kg'a) artması ve polimer ve kompozitlerin kullanımının eşzamanlı olarak %33 oranında (74 kg'dan 98 kg'a) artmasının bir sonucudur. Amerikan otomobillerinde alüminyum alaşımlarının artışı 1990 yıllarında %102 artış göstermiştir.” (Shackelford 2018, 356-357)

3.2. Alüminyum Alaşımlarında Sınıflandırma

“Alüminyum – Çinko – Bakır – Silisyum alaşımları ısıl işlem uygulanamayan Alüminyum alaşımlarıdır. Bu alaşımlar, dökümde küçük çatlaklar oluşturur. Alüminyum dökümde %10 oranına kadar katılır. İkili alüminyum- Çinko alaşımları ucuzdur; ancak sıcak gevreklik özelliğinden ötürü fazla kullanılmazlar. Alüminyum Döküm işleminde; Alüminyum – Bakır alaşımlarına da ısıl işlem uygulanamamaktadır. Alüminyum – Bakır alaşımlarının ise hazırlanmaları ve dökümleri kolaydır. Yeterli bir ısı iletkenliği ve iyi ısı dayanımı vardır. İşlenebilirlik özelliği iyi akışkanlıkları silisyumlu alaşımlardan daha azdır. Alaşım daha çok kuma 2. alaşım ise hem kuma hem de kokil kalıba dökülür Alüminyum – Silisyum Alaşımları ise diğer bir ısıl işlem uygulanamayan alaşımdır. Bu alaşımlar Alüminyum Döküm işleminde kullanılan en önemli alüminyum alaşımlarıdır. Silisyum’ un özgül ağırlığı Alüminyumdan düşük olduğu için Alüminyum - Silisyum alaşımlarının özgül ağırlığı düşüktür, akıcılığı iyidir. Soğukta dayanımı iyi, sıcakta düşüktür. Silisyum Alüminyum’ un genleşme katsayısını düşürür ve sertliğini artırır. Alüminyum – Magnezyum Alaşımları da bu grupta yer alır. Magnezyum %3-12 oranında katılır. Isıl işlem uygulanmadan kullanılırlar. Korozyon dayanımları yüksek olduğundan gemilerde boru bağlantı parçaları olarak kullanılır. Çabuk oksitlendiği için döküm işlemi oldukça zordur. Alüminyum Döküm İşleminde ısıl işlem uygulanan alüminyum alaşımlarında ise doku kaba ve homojen değildir. Bu nedenle homojenliği sağlamak ve dokuyu inceltmek için ısıl işlem uygulanır. Bu alaşımlar temelde Al-Cu-Mg alaşımlarıdır. Ancak bu alaşımlar 150 °C sıcaklığın üzerinde dayanımlarını yitirirler. Bundan dolayı yeni alaşım geliştirilerek %4 bakır-%1,5 magnezyuma ilave olarak %2 nikel kullanılmıştır. Bu alaşımın özelliği, yüksek sıcaklıklarda dayanımının fazla olmasıdır.” (Şirvanlı A.Ş., E.T: 12/12/2020) Alüminyum alaşım elementi özellikleri tablo 1.’ de gösterilmiştir.

Tablo 1. Alüminyum Alaşımlarında Sınıflandırma

Sayılar	Alüminyum Alaşımlarında Sınıflandırma
1XXX	Saf alüminyum içeren genellikle elektrik ve kimya endüstrisinde kullanılan alaşımlardır. ($\geq$ %99.00 Al)
2XXX	Alüminyum/bakır alaşımlarıdır, Esas alaşım elementi bakırdır. Yüksek mukavemet istenilen proseslerde kullanılırlar.
3XXX	Alüminyum / mangan alaşımlarıdır. Genel amaçlı kullanımlarda ve mimaride kullanılan alüminyum alaşımıdır.
4XXX	Ana alaşım elementi silisyumdur. Termal genleşme katsayısı düşük, korozyon direnci yüksek olması gereken proseslerde kullanıma uygundur. Otomobil parçalarında kullanılır.
5XXX	Alüminyum / magnezyum alaşımlardır. Ana alaşım elementi magnezyum olup mukavemeti artırıcı özelliği bulunmasına karşın sünekliliği azaltmaktadır. Korozyon karşı dayanımın olması gereken proseslerde kullanılmaktadır.
6XXX	Alüminyum / silisyum / magnezyum alaşımlardır. Ekstürizyon ile parçaların üretiminde kullanılmaktadır.
7XXX	Alüminyum / zirkonyum / magnezyum / krom alaşımlarıdır. Buradaki ana alaşım elementi bakırdır. Alüminyum serisi alaşımlar içerisinde en yüksek mukavemete sahip seridir. Uçak parçalarında kullanılmaktadır.
8XXX	Alüminyum / lityum alaşımlardır. Yorulma direnci ve yüksek tokluk istenen parçaların üretiminde kullanılmaktadır. Genellikle uçak ve uzay sanayinde kullanılmaktadır.

3.3 Alüminyum Döküm Alaşımlarına Uygulanan Temperleme Uygulamaları

1XXX,3XXX,4XXX,5XXX serisi alüminyum alaşımları şekil değiştirme yöntemi ile sertleştirilebilirler.

2XXX,6XXX,7XXX,8XXX serisi alüminyum alaşımları ise ısıtılma işlemi ile sertleştirilebilirler.

Tablo 2.' de alüminyum alaşımlarında temperleme tanımları gösterilmiştir.

Bu sayıların sonlarına eklenen rakamlar şunları ifade etmektedir;

- I. XXX.0; Döküm parça
- II. XXX.1; Dökümde kullanılacak ingot
- III. XXX.2; Dökümde kullanılacak fakat daha ağır kompozisyona sahip ingotlar için kullanılmaktadır.

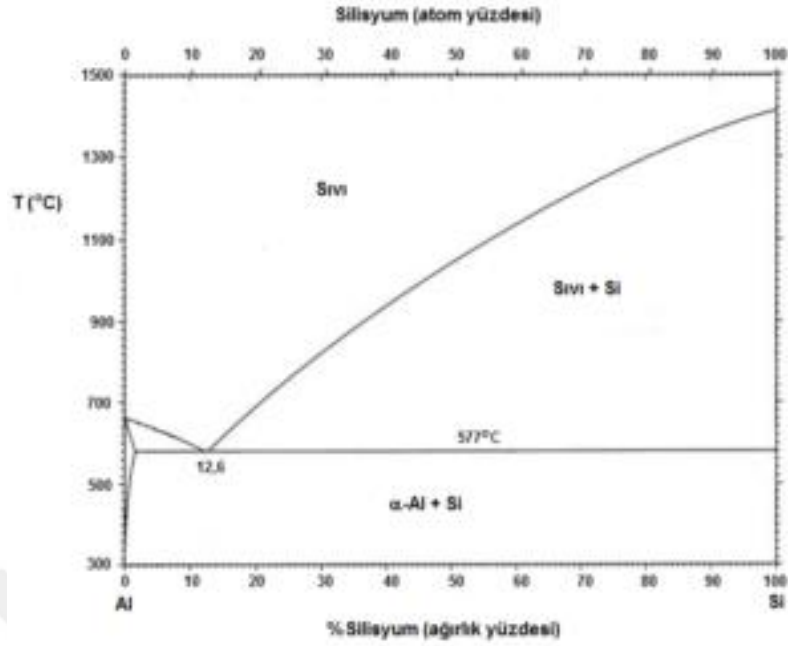
Tablo 2. Alüminyum Alaşımlarında Temperleme Yöntemleri

Temper	Tanım
F	Üretildiği halde
O	Tavlanmış
H1	Sadece deformasyonla sertleştirilmiş
H2	Deformasyonla sertleştirilmiş ve kısmen tavlanmış
H3	Deformasyon ile sertleştirilmiş ve stabilize edilmiş
T1	Yüksek sıcaklık altında şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş ve doğal yaşlandırılmış
T2	Yüksek sıcaklık altında şekillendirilmiş soğutulmuş ve soğuk işlem uygulanmış
T3	Çözeltiye alma ısıtılma işlemi uygulanmış ve soğuk işlem uygulanmış

T4	Çözeltiye alma ısıtma işlemi uygulanmış ve doğal yaşlandırılmış
T5	Yüksek sıcaklıkla şekillendirilmiş ve yapay yaşlandırılmış
T6	Çözeltiye alma ısıtma işlemi uygulanmış ve yapay yaşlandırılmış
T7	Çözeltiye alma ısıtma işlemi uygulanmış ve stabilize edilmiş
T8	Çözeltiye alma ısıtma işlemi uygulanmış ve soğuk işlem uygulanmış
T9	Çözeltiye alma ısıtma işlemi uygulanmış, yapay yaşlandırma ve soğuk işlem uygulanmış
T10	Yüksek sıcaklık altında şekillendirildikten sonra soğutulmuş ve soğuk işlem uygulanmış

3.4. Alüminyum-Silisyum Döküm Alaşımları

Alüminyum ve silisyum esaslı alaşımlar döküm sanayisinde kullanılan ana alüminyum döküm alaşım sınıfıdır. Bu alaşımlar diğer alüminyum alaşımlarının kullanımına nazaran %90 oranındadır. Alüminyum döküm alaşımlarının başlıca özelliği silisyum alaşımına kattığı yüksek akışkanlık özelliğidir. Bu sayede karmaşık ve kompleks aynı zamanda ince kesitli parçaların üretiminde kullanılmaktadır. Mukavemet özelliği gerektirmeyen fakat korozyon direnci yüksek olması istenen parçaların alaşımlarında bakır ilavesi yapılmaktadır. Aynı zamanda silisyum elementinin alaşımdaki özelliği döküm sonrası çekintileri azaltmaktadır. Al-Si diyagramı şekil 36.' da gösterilmiştir. Al-Si alaşımlarında bulunması istenmeyen elementlerin başında demir bulunmaktadır. İntermetalik bileşikler oluşturan demir alaşım sürekliliğini olumsuz etkilemektedir. Yüksek basınçlı dökümde, demir %3' e kadar tolere edilebilmektedir. Demirin gösterdiği bu etkileri minimize etmek için alaşım içerisine mangan ve kobalt eklenebilmektedir. Şekil 37. ve şekil 38.' de ötektik altı ve ötektik üstü alüminyum alaşımının mikro yapısı gösterilmiştir.

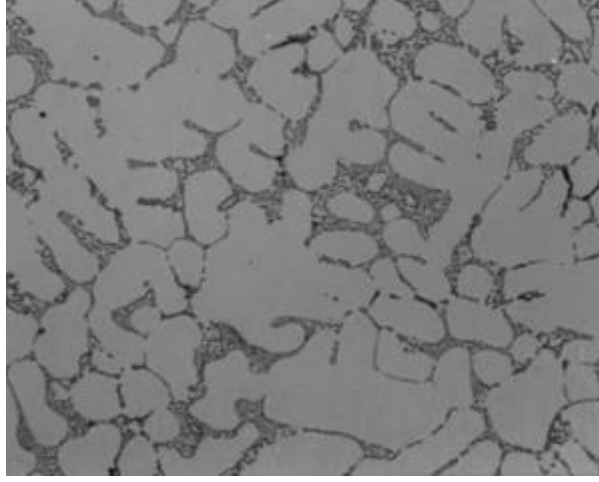


Şekil 36. Al-Si Denge Diyagramı

Kaynak: Çetin, Arda. <https://dokumhane.net>. 16.12.2018.

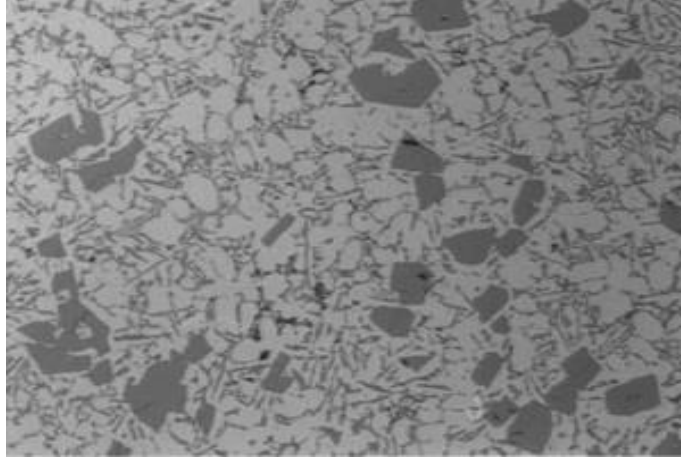
<https://dokumhane.net/kutuphane/aluminyum-silisyum-dokum-alasimlarina-genel-bir-bakis/> (E.T: 12.12.2020).

“Alüminyum-silisyum faz diyagramında ötektik nokta %12,6 Si’ye denk geldiği için, alüminyum dendritlerinin yapıda bulunduğu ve yüksek çekme dayanımına sahip alaşımlar üretebilmek için silisyum miktarını bu ötektik değerin altında tutmak gerekmektedir. A356 gibi yaygın kullanılan alüminyum döküm alaşımlarına baktığımızda, silisyum miktarının %7 civarında olduğunu bilmekteyiz. Silisyum parçacıklarının verdiği yüksek aşınma direncinin istendiği durumlarda ise, silisyum miktarının ötektik nokta (%12,6 Si) üzerine çıkartılması gerekmektedir. Döküm yöntemiyle üretilen parçalarda görülen en yüksek silisyum değerleri %24 civarında olurken, toz metalürjisi yönteminde bu oran %50 değerine kadar çıkartılabilmektedir.” (Çetin 2018)



Şekil 37. Ötektik altı (hipoötektik) Al-Si Alaşımının Mikroyapısı

Kaynak: Çetin, Arda. <https://dokumhane.net>. 16.12.2018.
<https://dokumhane.net/kutuphane/aluminyum-silisyum-dokum-alasimlarina-genel-bir-bakis/> (E.T: 12.12.2020).



Şekil 38. Ötektik üstü bir Al-Si Alaşımının Mikroyapısı

Kaynak: Çetin, Arda. <https://dokumhane.net>. 16.12.2018.
<https://dokumhane.net/kutuphane/aluminyum-silisyum-dokum-alasimlarina-genel-bir-bakis/> (E.T: 12.12.2020).

3.5. EN AC-46000 (G-Al Si9Cu3) Alaşımının Özellikleri

Yapılacak olan yüksek basınçlı döküm simülasyonunda malzeme EN AC-46000 (G-AlSi9Cu3) alüminyum döküm alaşımı seçilmiştir. Bu kısımda bahsedilen malzemenin kimyasal, mekanik, fiziksel özelliklerinin yanında genel kullanım alanlarından bahsedilecektir.

Alüminyum döküm alaşımları; otomobil parçaları, içten yanmalı motor üretimi, elektrik motoru üretimi, transmisyon gövde üretimi gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. EN AC-46000 (G-Al Si9Cu3) alaşımlı alüminyum yüksek basınçlı döküm yöntemine uygun malzemedir. İyi dökülebilirliğe ve iyi yüzey pürüzlülük değerine sahiptir. İyi bir işlenebilirlik vermesinin yanı sıra karmaşık geometrili ve ince cidarlı parçaların üretimi için tasarlanan parçaların üretiminde kullanılır. Geniş bir uygulama yelpazesinin yanı sıra yüksek gerilim altında çalışmaya uygundur. Korozyon direnci düşüktür. Tablo 3.' de EN AC-46000 alüminyum alaşımına ait kimyasal kompozisyon, tablo 4.' de fiziksel özellikleri ve tablo 5.' de mekanik özellikleri gösterilmiştir. Genellikle ısıt işlemleri uygulanmaz, pratikte sadece korozyon direncinin iyi olduğu durumlarda ETIAL 140 malzeme tercih edilmektedir.

**Tablo 3. EN AC-46000 (G-Al Si9Cu3) Alüminyum Döküm Alaşımının
Kompozisyonu**

KOMPOZİSYON EN AC-46000 (G-Al Si9Cu3)	%
Alüminyum	Geriye kalan yüzdelik dilim
Bakır	2.0 - 4.0
Magnezyum	0.05 – 0.55
Demir (max.)	1.3
Kurşun (max)	0.35
Kalay (max.)	0.15
Nikel (max.)	0.55
Çinko	1.2
Manganez	0.55
Silisyum	8.0 – 11.0
Diğer-Metaller	0.25
Titanyum	0.25
Krom	0.15

Kaynak: Dynacast. <https://www.dynacast.com>. <https://www.dynacast.com/en-gb/resources/material-information/die-cast-metals/aluminium/46000> (E.T: 30.01.2021).

Tablo 4. EN AC-46000 (G-Al Si9Cu3) Alüminyum Döküm Alaşımının Fiziksel Özellikleri

	Fiziksel Özellikler (Metrik)
Malzeme	Alüminyum
Alaşım	EN AC-46000 (G-Al Si9Cu3)
Yoğunluk (gr / cm ³)	2.650
Erime Noktası (°C)	650
Isıl iletkenlik katsayısı (µm/m°K)	21
Isıl İletkenlik (W / m K)	120
Elektrik İletkenliği (% IACS)	17
Proses	Yüksek Basınçlı Döküm
Döküm Sıcaklığı (°C)	680-700

Kaynak: Dynacast. <https://www.dynacast.com>. <https://www.dynacast.com/en-gb/resources/material-information/die-cast-metals/aluminium/46000> (E.T: 30.01.2021).

Tablo 5. EN AC-46000 (G-Al Si9Cu3) Alüminyum Döküm Alaşımının Mekanik Özellikleri

	Mekanik Özellikler (Metrik)
Malzeme	Alüminyum
Alaşım	EN AC-46000 (G-Al Si9Cu3)
Çekme Mukavemeti (MPa)	240
Uzama (% in 50mm)	1
Sertlik (HB)	80
Young Modülü (GPa)	70
Akma Mukavemeti (MPa)	140
Yorulma Mukavemeti (MPa)	90
Proses	Yüksek Basıncılı Döküm

Kaynak: Dynacast. <https://www.dynacast.com>. <https://www.dynacast.com/en-gb/resources/material-information/die-cast-metals/aluminium/46000> (E.T: 30.01.2021).

3.6. EN AC-43000 (Al-Si10Mg) Alaşımının Özellikleri

Yapılacak olan kum kalıba döküm simülasyonunda malzeme EN AC-43000 (Al-Si10Mg) alüminyum döküm alaşımı seçilmiştir. Bu kısımda bahsedilen malzemenin kimyasal, mekanik, fiziksel özelliklerinin yanında genel kullanım alanlarından bahsedilecektir.

“Bu alaşıma yakın bileşime sahip alaşımlar farklı standartlarda A360, 360.0, EN AC43000, L-2560, Etial171 şeklinde adlandırılmaktadır. Ana alaşım elementi olarak içerisinde %9- 10,5 oranında silisyum bulunduran bu alaşım otomotiv ve havacılık endüstrisinde özellikle ince cidar ve karmaşık geometriye sahip parçaların üretilmesinde kullanılmaktadır.” (Vatansever, Karabay ve Ertürk 2018, 799-800)

Tablo 6. EN AC-43000 (Al-Si10Mg) Alüminyum Döküm Alaşımının Mekanik Özellikleri

Mekanik Özellikler	Test Metodu	Kendi Hali	Sıcaklık Altında
Çekme Mukavemeti	ISO 6892-1:2009(B) Annex D	460 ± 20 MPa	350 ± 10 MPa
Akma Mukavemeti	ISO 6892-1:2009(B) Annex D	260 ± 20 MPa	230 ± 15 MPa
Kopma Uzaması	ISO 6892-1:2009(B) Annex D	6 ± 2%	6 ± 2%
Young Modülü	-	75 ± 10 GPa	75 ± 10 GPa
Sertlik	DIN EN ISO 6506-1	120 ± 5 HBW	120 ± 5 HBW

Kaynak: Zare S.r.l. <https://www.zare.it>. <https://www.zare.it/en/materials/aluminium-alsi10mg> (E.T: 30.01.2021).

**Tablo 7. EN AC-43000 (Al-Si10Mg) Alüminyum Döküm Alaşımının
Kompozisyonu**

KOMPOZİSYON EN AC-43000 (Al-Si10Mg)	%
Alüminyum	GERİYE KALAN YÜZDELİK DİLİM
Bakır	0 - 0,1
Magnezyum	0,20 - 0,45
Demir (max.)	0 - 0,055
Kurşun (max)	0 - 0,05
Kalay (max.)	0 - 0,05
Nikel (max.)	0 - 0,05
Çinko	0 - 0,10
Manganez	0 - 0,45
Silisyum	9 - 11
Diğer-Metaller	0.25
Titanyum	0 - 0,15
Krom	0.15

Kaynak: Zare S.r.l. <https://www.zare.it>. <https://www.zare.it/en/materials/aluminium-alsi10mg> (E.T: 30.01.2021).

Tablo 8. EN AC-43000 (Al-Si10Mg) Alüminyum Döküm Alaşımının Fiziksel Özellikleri

	Fiziksel Özellikler (Metrik)
Malzeme	Alüminyum
Alaşım	EN AC-43000 (Al-Si10Mg)
Yoğunluk (gr / cm ³)	2,67
Erime Noktası (°C)	540-595
Isıl iletkenlik katsayısı (µm/m°K)	23
Proses	Kum Kalıba Döküm
Korozyon Dayanımı	Çok İyi
Dökülebilirlik	Mükemmel
İşlenebilme	Orta
Döküm Sıcaklığı (°C)	680 – 750
Çekinti (%)	3,4

Kaynak: Zare S.r.l. <https://www.zare.it>. <https://www.zare.it/en/materials/aluminium-alsi10mg> (E.T: 30.01.2021).

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

DÖKÜM SİMÜLASYONU VE DÖKÜM PARÇASI TASARIM SİSTEMATİĞİ

4.1. Döküm Simülasyonu Ve Tasarım Sistematiği

Bu bölümde çalışmanın konusu olan alüminyum alaşımı ile modellenmiş olan külbütör kapağının modelleme çalışmaları, simülasyon çalışmasında kullanılan yolluk tasarımı, kum kalıba döküm ve yüksek basınçlı döküm yöntemlerinin simülasyonu yapılarak karşılaştırılma yapılacaktır.

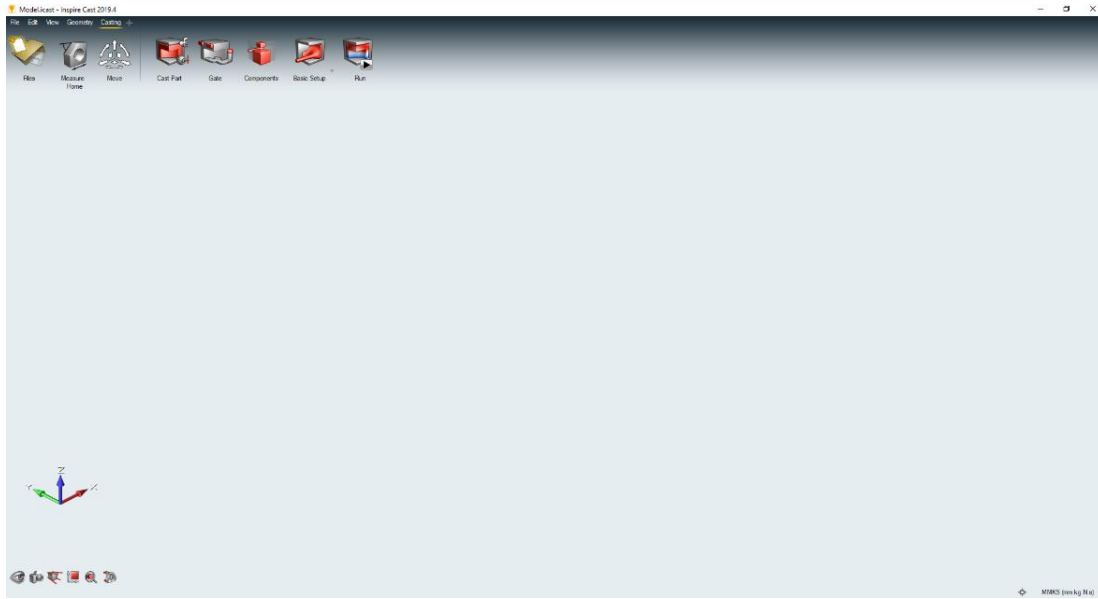
4.2. Döküm Simülasyonu Programı ve Arayüzü

Metal kalıp, plak modeller ve yeri geldiğinde ahşap kalıplama tasarımları yapıldıktan sonra dökümde olası hataları minimize etmek amacı ile döküm simülasyonu paket programları kullanılmaktadır. Döküm simülasyonları, know-how çalışmalarını bilgisayar destekli simülasyon yapılarak ekonomik ve en kısa sürede tamamlanmasını sağlar. Simülasyon programları döküm esnasında olması gereken malzeme sıcaklığının yanında kalıp sıcaklığı, yolluk optimizasyonu ve besleyicilerin konumu konusunda optimizasyonlar yapılarak döküm uygulaması tamamlanmaktadır.

Dökümhanelerde parça üretiminin kaliteli ve en optimum şekilde üretilmesinin sağlanması amacıyla döküm simülasyonları gün geçtikçe yaygın hale gelmektedir. Karmaşık geometrili, büyük hacimli ve üretim kalitesinin yüksek olmasını sağlamak amacı ile döküm simülasyonlarının kullanılması büyük avantajlar sağlamaktadır. Eğer döküm simülasyonları kullanılmadan döküm parça üretimi yapılacak olursa parçanın hurdaya çıkma olasılığı artacaktır. Parçaların ıskartaya çıkmaması için büyük hacimli ve karmaşık geometrili parçaların döküm simülasyonları kesinlikle yapılmalıdır. Bu şekilde dökümhane için işçilik maliyetleri ve zaman kazancı optimize edilecektir

Döküm simülasyonundan gerçeğe yakın değerler almak için daha önceden tecrübe edilmiş ve araştırılmış bilgiler doğrultusunda özelleştirilmiş tüm parametreler simülasyon programına girilmelidir. Yapılacak prosesin kendine özgü bütün şartları simülasyon girdisi olarak tanımlanır ise gerçeğe yakın değerleri görmek kesinlikle mümkündür.

Döküm simülasyonları, döküme ait olan özelliklerin çıktılarının yanında tasarım aşamasındaki parçaların iyileştirilmesi içinde kullanılmaktadır. Kullanılacak olan döküm yöntemi yapılan parça tasarımına göre uygun olmaması halinde tasarım döküm yöntemine göre revize edilmelidir. Örneğin döküm parça üzerinde çekinti boşluğu ve porozite gibi sonuçların görülebilmeye riski olan yerlerde parçanın teknik resmi üzerinde not yazılmalıdır. Şekil 39.'da Inspire Cast 2019.4' de ait arayüz görülmektedir.

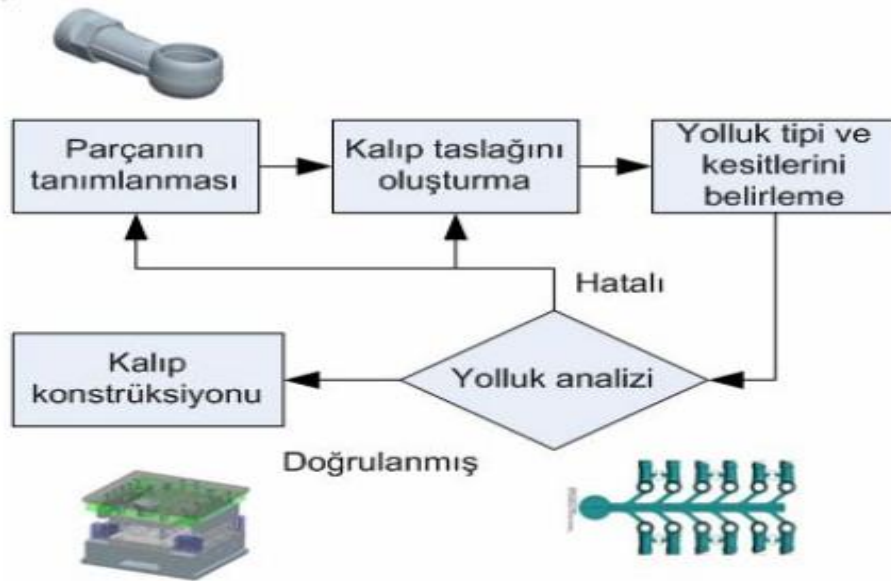


Şekil 39. Inspire Cast 2019.4 Arayüz Görüntüsü

4.3. Döküm Parçası Tasarım Değişkenleri

Parçanın temel tasarımı yapılır ve ardından rafineri tasarımı yapılmalıdır. Parçanın yapısal analizleri tamamlanması ardından CAD dizayn tamamlanmış olur ve ardından döküm simülasyonları ve yolluk tasarımları gibi döküme ait olan komponent tasarımları döküm simülasyonu neticesinde optimum hale getirilir. Parça tasarımı yapıldıktan sonra kesinlikle kalıptan çıkma açıları kontrol edilmelidir, genellikle döküm parçaların kalıptan çıkma açıları 2 derecedir. Şekil 40.'ta döküm parçasının tasarım sistematığı gösterilmiştir.

Kalıp tasarımı üretilecek parçanın tanımlaması ile başlar ve üretilmek istenen parçanın kullanım yerine göre fiziki ve kimyasal şartlara uyum sağlayabilecek malzeme seçimi yapılır. Seçilen alaşıma göre sıcak kamaralı ya da soğuk kamaralı döküm yöntemi belirlenir ardından makine seçimi yapılır. Alaşımın seçilmesi ile birlikte kalıp yarımlarının oluşması için kalıp taslağının belirlenmesi gerekir. Bu süreçten sonra üretimi yapılacak parça her iki kalıp yarımından çıkabilmesi için gerekli tasarımlar yapılır ve parça üzerinde verilecek kalıptan çıkma açısı, malzeme özelliğine göre verilecek çekme payları, üretilmek istenen ürün adedine göre kalıpta oluşturulacak kalıp boşluğu sayılarının tespiti, kalıp yarımlarının oluşturulmasında kalıp ayırım hattının belirlenmesi gibi basamaklar gerçekleştirilir. Sonraki aşamada yolluk geometrisi kararlaştırılarak döküm parçasının en optimum dolumun gerçekleşmesi için sıvı metalin kalıp boşluğuna girişini sağlayacak giriş kanalın yeri belirlenir. (Yüksel ve Göloğlu 2009, 1)



Şekil 40. Döküm Parçasının Tasarım Sistematığı

Kaynak: Yüksel, Servet, ve Cevdet Göloğlu. Metal Enjeksiyon Kalıplamada Yolluk Tasarım Sistematığı. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Mayıs (2009): 1.

4.4. Simülasyon Programından Alınan Çıktılar

Döküm simülasyonu, döküm parçasının kalite kontrol yapılabilmesi için bütün parametreleri vermektedir. Döküm parçası için yapılan ilk simülasyon sonuçları incelenir ve sonuçlar daha sonrasında yapılacak optimize simülasyon için referans alınır. Referans alınan simülasyona göre ikinci kalibre edilmiş olur. Simülasyon optimize edilinceye kadar devam ettirilmelidir. Bu şekilde gerçeğe en yakın değerlere sahip döküm simülasyonu yapılmış olur. Döküm simülasyonu ile kum kalıba döküm, yüksek basınçlı döküm, alçak basınçlı döküm ve kokil kalıba döküm yapılabilmektedir. Döküm simülasyonu paket programlarının çıktı özellikleri;

- Döküm parçasının ağırlık, kütle merkezi ve hacmi
- Dolum ve dolumdan sonraki katılaşma
- Döküm-kalıp sıcaklık dağılımı
- Sıvı metalin akış hızları
- Mikro ve makro porozite
- Soğuk birleşme
- Dolum süresi
- Parça modülü
- Dolum süresince gerçekleşen sıcaklık değeri
- Döküm boşlukları
- Uzun süre sıcak kalan noktalar (Hot Spot)

Döküm simülasyonundan alınan bu çıktılar ışığında döküm hataları minimize edilerek tek seferde kusursuz döküm işleminin gerçekleşmesi sağlanmaktadır.

BEŞİNCİ BÖLÜM

DÖKÜM SİMÜLASYONLARI VE ÇIKTILARI

5.1. Döküm Simülasyonlarında Kullanılacak Külbütör Kapağının Özellikleri

Çalışmanın konusu olan külbütör kapağı için iki farklı tasarım yapılmıştır. Bu tasarımlardan biri yüksek basınçlı döküm yöntemine uygun diğeri ise kum kalıba döküm yöntemine uygundur. Bu iki tasarımın özellikleri ayrı ayrı ele alınacak ve aynı zamanda yolluk tasarımlarında da farklılıklar olacaktır.

Külbütör kapağı, motoru korumak için genellikle döküm, sac metal veya termoplastikten üretilirler. Aracın ve motorun silindir sayısına göre farklılık göstermektedir. Aynı zamanda motorun alt komponentlerini tozlardan korur. Ses yalıtımının yanında motor yağının buharlaşması ile yağın yoğunlaştırılması içinde kullanılabilir. Yüksek basınçlı döküm simülasyonunda kullanılacak külbütör kapağı özellikleri tablo 9.' da kum kalıba döküm simülasyonunda kullanılacak külbütör kapağı özellikleri tablo 10.' da gösterilmiştir.

Tablo 9. Yüksek Basınçlı Döküm Simülasyonunda Kullanılacak Külbütör Kapağı Özellikleri

Külbütör Kapağı Tipi	4 silindir
Döküm Parçası Ağırlığı	2,300 kg
Külbütör Kapağı Hacmi	8,9e-004m ³
En x Boy x Yükseklik	~190 x ~513 x ~121
Malzeme	EN AC-46000 (G-Al Si9Cu3)
Yolluk Beslemesi	Altan Besleme

Tablo 10. Kum Kalıba Döküm Simülasyonunda Kullanılacak Külbütör Kapağı Özellikleri

Külbütör Kapağı Tipi	4 silindir
Döküm Parçası Ağırlığı	3,475 kg
Külbütör Kapağı Hacmi	0,001 m ³
En x Boy x Yükseklik	~190 x ~513 x ~121
Malzeme	EN AC-43000 (Al-Si10Mg)
Yolluk Beslemesi	Altan Besleme

5.2. Yüksek Basıncılı Dökümde Yolluk Hesaplamaları Ve Simülasyonlar

Yapılacak olan döküm simülasyonları iki farklı yolluk tasarımı ile simüle edilmiş ve çıkan sonuç parametreleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda döküm parçasına en uygun olan yolluk tasarımı seçilecektir. Döküm simülasyonunda optimize edilmiş yolluk tasarımı hesaplamaları 4. Bölümde anlatılan formülizasyonlar ışığında gerçekleştirilmiştir. Yolluk tasarımları hesaplamaları kesin ve net bir şekilde yapılamaz. Değiştirilen herhangi bir parametre diğer bir parametreyi etkileyebilir. Bu hesaplamalar bizlere tasarımı yapılan yolluk için bir referans kaynağıdır. Yapılan yolluk tasarımlarının %50 teoride, %50 ise tecrübe ve tasarımcının birikimine bağlıdır. Yapılan yolluk tasarımı bu hesaplamalar neticesinde şekillenmektedir. Bu çalışmada öncelikle CAD tasarım yapılmış olup ardından simülasyon incelenmiştir. Çıkan simülasyon sonuçlarına göre yeni bir tasarım ile simülasyon yapılmış ve analiz sonuçları incelenmiştir. “İstenilen sonuçların elde edildi mi ?” sorusu sorulmuştur. Simülasyon işlemi için yaklaşık 1,63 milyon mesh elemanı atılmıştır. Simülasyonda kullanılan malzeme özellikleri bölüm 3.4’ te detaylı olarak belirtilmiştir. Döküm simülasyonuna girilen parametreler; döküm malzemesi tipi, kalıp sıcaklığı, yer çekimi ivmesi yönü, mesafeye bağlı enjeksiyon hızları, 1. ve 2. faz hızlarıdır. Simülasyon sonuçlarından elde edilen; Sıvı metalin meme girişindeki akış hızları, katılma süreleri, porozite, soğuk birleşme noktaları, son hava miktarı vb. parametrelerdir.

5.2.1. Yüksek Basıncılı Döküm Simülasyon Parametreleri

Döküm simülasyonu bölüm 5.1.’ de belirtilmiş olan Altair Inspire Cast döküm simülasyonunda yapılmıştır. Kalıp sıcaklığı 160°C, döküm sıcaklığı 690°C, piston hızı; 1.faz hızı 25cm/s, 2.faz hızı 375 cm/s olarak tanımlanmıştır. Teze konu olan külbütör kapağının dökümü 550 tonluk soğuk kamaralı enjeksiyon makinesinde yapılacağı düşünülmüş olup, piston çapı Ø80, strok boyu 480 mm olarak seçilmiştir. Toplam döküm ağırlığı birinci tasarımda 3,80 kg iken ikinci tasarımda 4,1 kg’ dır. Enjeksiyon haznesi %100 doluluk oranında 6,5 kg hacme sahiptir. Normal şartlarda enjeksiyon makinesi hazne dolum oranı ince cidarlı parçalar için %30 civarında olması ve 2. faz vuruş mesafesinin kısa olması tercih sebebidir.

Bir ürünün hangi kapasitede ki enjeksiyon makinesinde döküleceğine parçanın projeksiyon alanı, döküm ağırlığı ve kalıp ebatı göz önüne alarak belirlenir. Dökülecek ürünün projeksiyon alanı, hacmi ve ebatı gibi değişkenlere göre enjeksiyon makinesinin de belli bir mengene kapama kuvveti ve vuruş gücü (2. Faz) olmalıdır. Külbütör kapağı ürününde parça + yolluk ve hava ceplerinin projeksiyon alanı (Chillvent havalandırma ve piston alanı dikkate alınmadığında) 1225 cm² kadardır. 550 Ton soğuk kamaralı enjeksiyon makinesinin max. döküm alanı kapasitesi ise 1375 cm² dir. Sıvı metal ağırlığı, parça-yolluk-taşma cepleri-chillvent havalandırma hacmi ve “biscuit” kısımlarının toplamı kadardır. Külbütör kapak ürünü 2,4 kg kadar iken diğer unsurlar ile birlikte hazne içine her çevrim için toplam 1.tasarımda 3,80 kg 2.tasarımda 4,1 kg kadar sıvı metal aktarılır. Parça genel et kalınlığı 3mm olarak tasarlanmıştır.

Kalıp içerisinde sadece soğutmaya dayalı değil şartlandırmaya dayalı akışkan kanalları gerekiyorsa kullanılabilir. Yani kalıbı hem soğutmak hem de ısıtmak için kullanılır. Simülasyon sonuçlarına göre şartlandırmaya ihtiyaç olan kalıplarda gerekiyorsa kullanıyoruz. Şartlandırıcı harici bir makine kalıp çekirdeği içerisinde ki kanallardan ısı transfer yağı dolaşımı sağlayıp kalıbın belli bir ısıda tutulmasını sağlar. Kalıp fazla ısınıyorsa ısıyı düşürmeye çalışır. Kalıp ısısı düşükse ısıyı yükseltmeye çalışır. Genelde kalıp rejime geldikten sonra şartlandırmaya ihtiyaç duymuyoruz. Rejimde çalışan kalıp sıcaklığı ortalama 150-200°C civarındadır ve her çevrimde ısıl şoklar nedeniyle 150-200°C arasında değişim gösterir. Parça kalıptan çıktıktan sonra parça geometrisi ve cidar kalınlıklarına göre farklı bölgelerde 70-250° arası ısı farklılıkları olabilir. Bu simülasyonda ihtiyaç duyulmadığından şartlandırıcı kullanılmamıştır.

Kalıp malzemeleri kullanılacağı yere göre birkaç farklı malzemeden seçilebilir. Sıvı metalin temas ettiği kalıp çekirdekleri, maçalar, cehennemlik gibi parçalar sıcak iş çeliklerinden seçilir. Kalıp baskı adedi, maliyet gibi unsurlara göre 1.2343, 1.2344, unimax, qr90 (uddeholm) gibi malzemeler tercih edilir. Kalıp hamilleri, dış zarf gibi parçalarda da yine dayanım ve maliyete bağlı olarak 1.1040 veya daha üstü ile 1.2312 gibi çelikler tercih edilir. Simülasyonda 1.2343 sıcak iş takım çeliği seçilmiştir.

Yapılan simülasyon için toplam çevrim süresi net olarak kalıp rejime girdikten sonra ortaya çıktığı düşünülmektedir. Fakat benzer parçalar için 50-55 saniye arasında olduğu piyasa araştırmaları neticesinde ortaya çıkmıştır. Çevrim süresi kalıbın otomatik veya manuel çalışması durumuna göre değişiklik göstermektedir.

Yapılacak olan ilk hesaplama makine kapasitesini tayin etmek olacaktır, bu yüzden makine tonaj hesaplaması yapmak gerekir. Tonaj hesaplaması için;

Taşma ve besleme sistemi dahil öngörülen projeksiyon alanı (P_s) = $A_C \times A_F$

Kilitleme için toplam tonaj = $P_s \times P_i \times \text{Güvenlik Katsayısı}$ (Ramnath, ve diğerleri 2014, 1318)

Bu bilgi doğrultusunda;

$$\text{Toplam tonaj} = 122500 \text{ mm}^2 \times 320 \text{ bar} \times 10^{-2} \times 1.05 \approx 412T \quad (1)$$

Kilitleme için gereken tonaj, toplam tonajın yaklaşık 1,2 katıdır.

$$\text{Kilitleme için gereken toplam tonaj} = 412T \times 1,2 \approx 495T \quad (2)$$

Çıkan sonuca göre seçimi yapılan soğuk kamaralı 550T metal enjeksiyon tezgahı seçilebilir.

$$\begin{aligned} \text{Vuruş ağırlığı; } V_c + V_{of} (\text{Biscuit Hacmi Hariç}) &= 890.000 \text{ mm}^3 \times 1,4 \\ &= 1.246.000 \text{ mm}^3 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{Gerçek vuruş hacmi } (V_s) = 1.246.000 \text{ mm}^3 + \pi d^2 h / 4 \text{ mm}^3$$

550T soğuk kamaralı enjeksiyon makinesi için strok boyu : 480 mm

$$\text{Efektif strok boyu} = 480 - \text{Biscuit kalınlığı}$$

$$\text{Efektif strok boyu} = 480 - 15 = 465 \text{ mm} \quad (4)$$

Dolum oranı 0,50 olarak varsayılır ise;

Enjeksiyon makinesi tarafından sunulan hacim; $= \pi d^2 \times (465/4) \times 0.5$

$$1246000 + \pi d^2 \times (465/4) \times 0.5 = \pi d^2 \times (465/4)$$

$$58\pi d^2 = 1246000$$

$$d^2 \approx 6841,65$$

$$d \approx 82 \text{ mm} \quad (5)$$

Seçilen enjeksiyon makinesine ait olan piston çapları 75,80,85 içerisinde 80 mm tercih edilmiştir.

“ Dolum oranı, metal hacminin enjeksiyon kovani hacmine oranıdır. Dolum oranı için bu işlem kabul edilmektedir. Metal Hacmi / Vuruş Mesafesi Hacmi’ dir. “
(Ramnath, ve diğerleri 2014, 1318-1319)

Verilen bu bilgi doğrultusunda;

$$\text{Metal Hacmi} / \text{Vuruş Mesafesi Hacmi}; 1246000 = \pi (80)^2 \times (465/4)$$

$\approx 0,53$ bu sonuç dolum oranı için kabul edilebilir.

Dolum oranı zamanı şu şekilde formülize edilmiştir;

$$\text{Dolum Süresi} = k [T_i - T_f + s \cdot z] T_k / [T_f - T_d] \quad (\text{Ramnath, ve diğerleri 2014, 1319})$$

$$t = \frac{\{0.0346[675 - 570 + 25 \times 3.8] \times 3\}}{[570 - 160]}$$

$$t \approx 0,05 \text{ sn} \quad (6)$$

Dolum hızı; Meme Girişindeki Sıvı Metal Hacmi / Dolum Zamanı

$$\text{Dolum hızı} = 1246000 / 0,05 \approx 24920000 \text{ mm}^3/\text{sn} \quad (7)$$

Toplam Meme Alanı = Dolum hızı / Meme girişindeki sıvı metal hızı

$$= 24920000 \text{ mm}^3/\text{sn} / 50.000 \text{ mm/s (ortalama sıvı giriş hızı)}$$

$$\text{Toplam Meme Alanı} \approx 498 \text{ mm}^2 / 5 \approx 100 \text{ mm}^2 \quad (8)$$

Meme kesiti kalınlığı çeşitli malzemelere göre farklılıklar göstermektedir. Malzemelere göre değişen giriş kesiti kalınlıklarını tablo 11.' de göstermiştir.

Tablo 11. Malzemelere Göre Giriş Kesiti Kalınlıkları

Malzeme	Meme Kesiti Kalınlığı (mm)
Al Si – alaşım	1-1.4
Al Si Cu – alaşım	1.2-2.5
Zn Al ₄ – alaşım	0.35-0.8
Zn Al ₄ Cu alaşım	0.5-1.2
Mg Al ₂	0.6-2
58-60 Pirinç	1.5-3

Kaynak: Ramnath, B. Vijaya, ve diğerleri. Analysis and Optimization of Gating System for Commutator End Bracket. 3rd International Conference on Materials Processing and Characterisation (ICMPC 2014). Hyderabad, India: ScienceDirect, (2014). 1318-1320.

Yapılan optimize yolluk tasarımında yolluk girişi kesiti kalınlığı 1,25 olarak alınmıştır.

$$\text{Toplam Meme Genişliği; Meme Alanı} / \text{Meme Kesiti Kalınlığı}$$

$$= 498 \text{ mm}^2 / 1,25 \text{ mm}$$

$$\text{Toplam Meme Genişliği} \approx 395 \text{ mm} / 5 = 79 \text{ mm} \quad (9)$$

Yolluk Alanı = 2 x Meme Alanı

$$\begin{aligned} & 2 \times 498 \text{ mm}^2 \\ & \approx 996 \text{ mm}^2 / 5 \approx 200 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \text{Yolluk genişliği} &= (2 \times \text{yolluk alanı}) \\ &= \sqrt{2 \times 200 \text{ mm}^2} \\ &\approx 20 \text{ mm} \end{aligned} \quad (11)$$

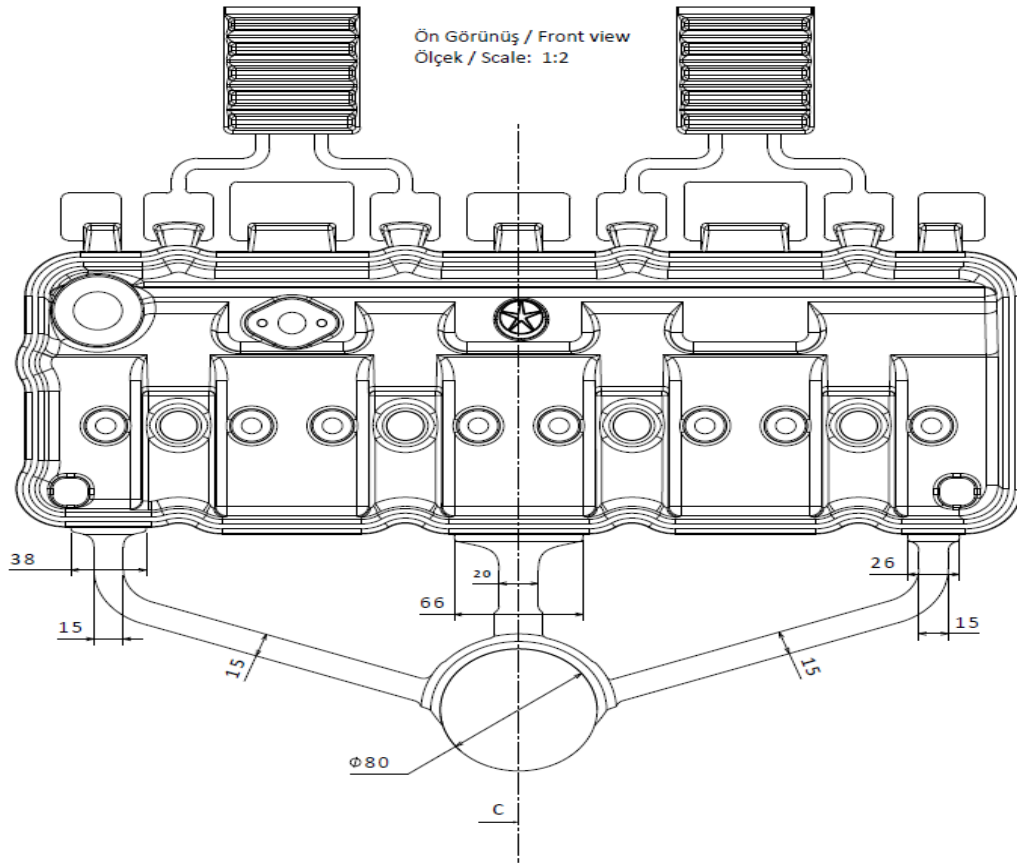
$$\text{Yolluk kalınlığı} = \text{Yolluk Genişliği} / 2$$

$$\text{Yolluk kalınlığı} = 20 \text{ mm} / 2 = 10 \text{ mm} \quad (12)$$

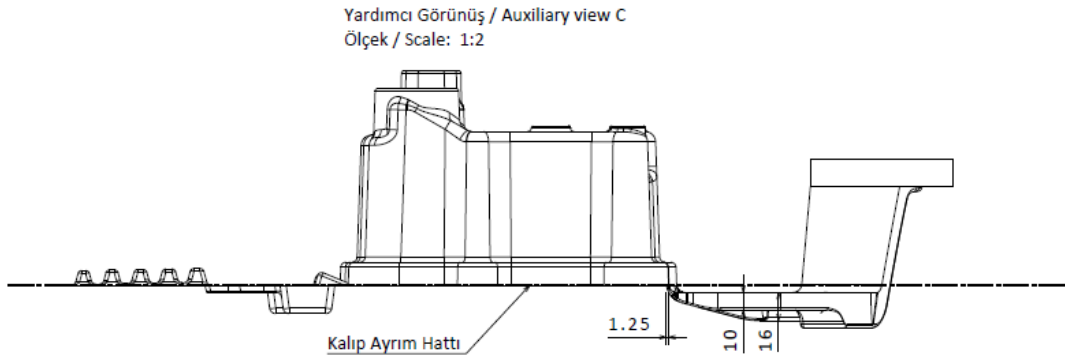
Tasarımı yapılan optimum yolluk hesaplamasında bulunan meme genişliği, meme alanı kullanılan kaç adet meme var ise o kadar meme adetine bölünmelidir. Yapılan optimum yolluk tasarımında 5 adet meme kullanılmıştır, buna göre; $395 / 5 = 79 \text{ mm}$ olarak bulunur. Meme kesiti kalınlığı yolluk tasarımında 1,25mm olarak alınmıştır. Yolluk genişliği min.20 mm, max. 25 mm, kalınlık ise min. 10 mm, max. 16 mm olarak tasarım yapılmıştır. Bu hesaplamalar yapılan yolluk tasarımına ışık tutmuştur, unutulmamalıdır ki meme ve yolluk genişliğinin yanında aynı zamanda kalınlıklar yapılan hesaplamaların yanında konstrüksiyon ve parça geometrisinin izin verdiği çerçevede tasarım yapılmalıdır. Simülasyonu yapılan parça geometrisi 79 mm meme genişliği ile yolluk tasarımı yapıldığında külbütör kapağının kavisli kısımları ile girişim oluşmuştur. Bu yüzden meme genişliği max. 71 mm olarak tasarım yapılmıştır. Bu yüzden ki yapılan hesaplamalar ile birlikte simülasyon sonuçlarına da bakılarak tasarımda değişiklikler yapılabilir. Yapılan değişiklikler hesaplanan sonuçlardan gereğinden fazlaca farklı olmamalıdır ki gereğinden fazla farklı olarak alınır ise simülasyon sonucu parametrelerine etkisi görülecektir. Bu yüzden farklı tasarımlar yapılarak simüle edilmelidir ki optimize yolluk tasarımı bu şekilde bulunmalıdır.

5.2.2. Yüksek Basıncılı Döküm Simülasyonunda Yolluk Sistemi Tasarımı I

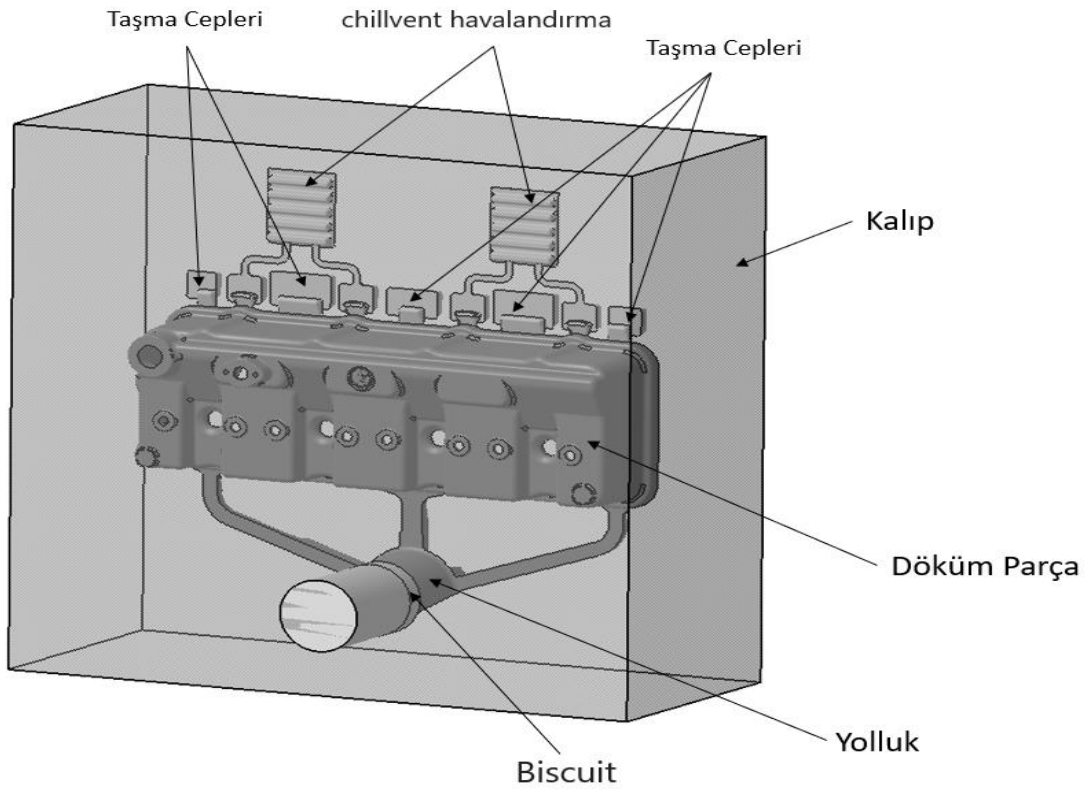
Birinci tasarımda döküm parça 3 adet meme ile beslemesi yapılmış olup chillvent havalandırma ve taşma cepleri mevcuttur. Yolluk tasarımı yapılırken keskin köşelerden kaçınılmış yuvarlatılmış hatlara sahip bir yolluk tasarımı yapılmıştır. Buradaki amaç sıvı metalin lineer akışını bozmadan sıvı metalin döküm parça içerisine dolmasını sağlamaktır. Yolluk kalınlığı en geniş 16mm, en dar kısım 10 mm olup dolum ağzı kalınlığı 1,25mm’ dir. I. tasarıma ait yolluk ölçüleri şekil 41. ve 42.’ de döküm prosesi parçaları ise şekil 43.’ de gösterilmiştir.



Şekil 41. Yüksek Basıncılı Dökümde I. Yolluk Tasarımı Teknik Resmi Ön Görünüş



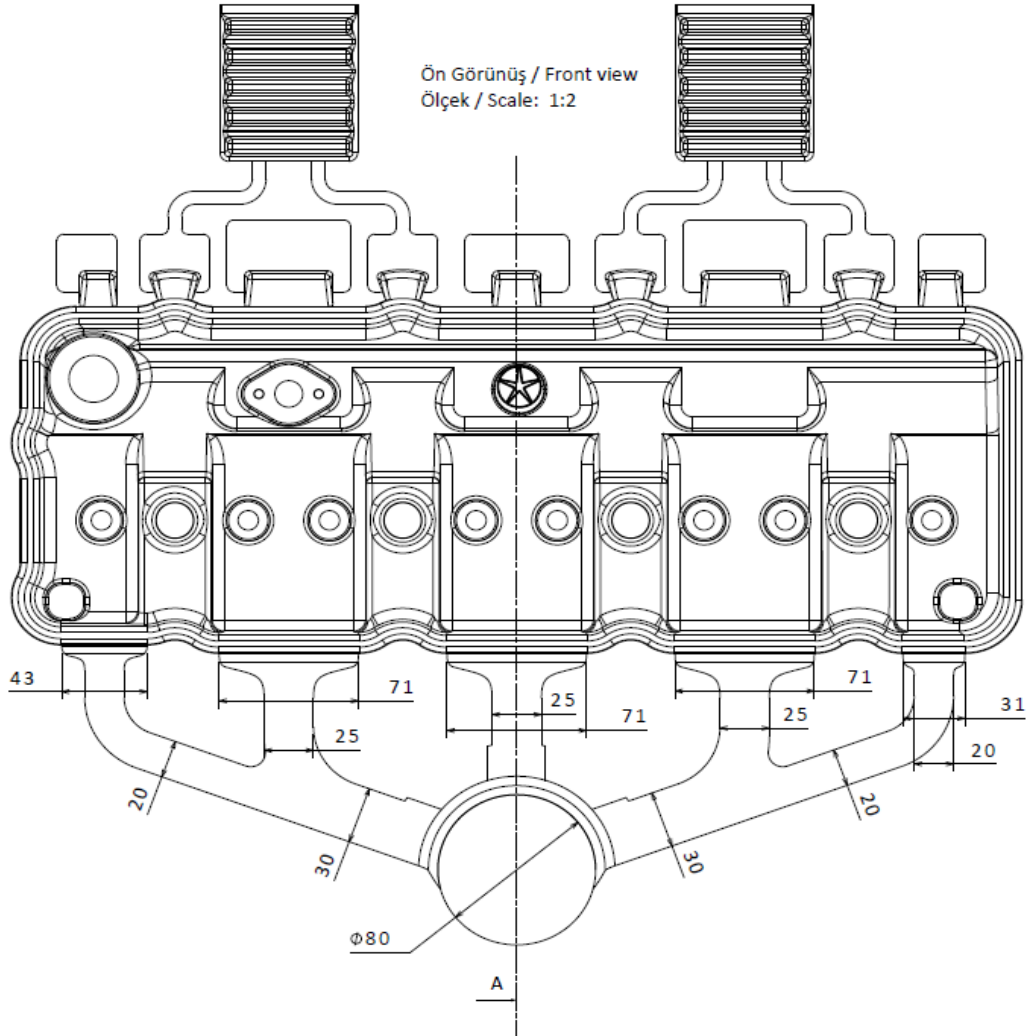
Şekil 42. Yüksek Basıncılı Dökümde I. Yolluk Tasarımı Teknik Resmi
Yardımcı Görünüş



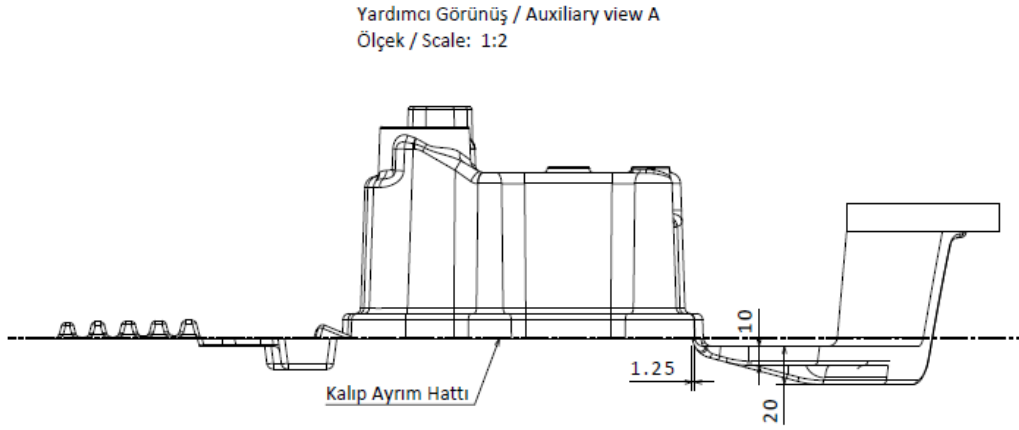
Şekil 43. Tasarım I. Yüksek Basıncılı Döküm Prosesi Bölümleri

5.2.3. Yüksek Basıncılı Döküm Simülasyonunda Yolluk Sistemi Tasarımı II

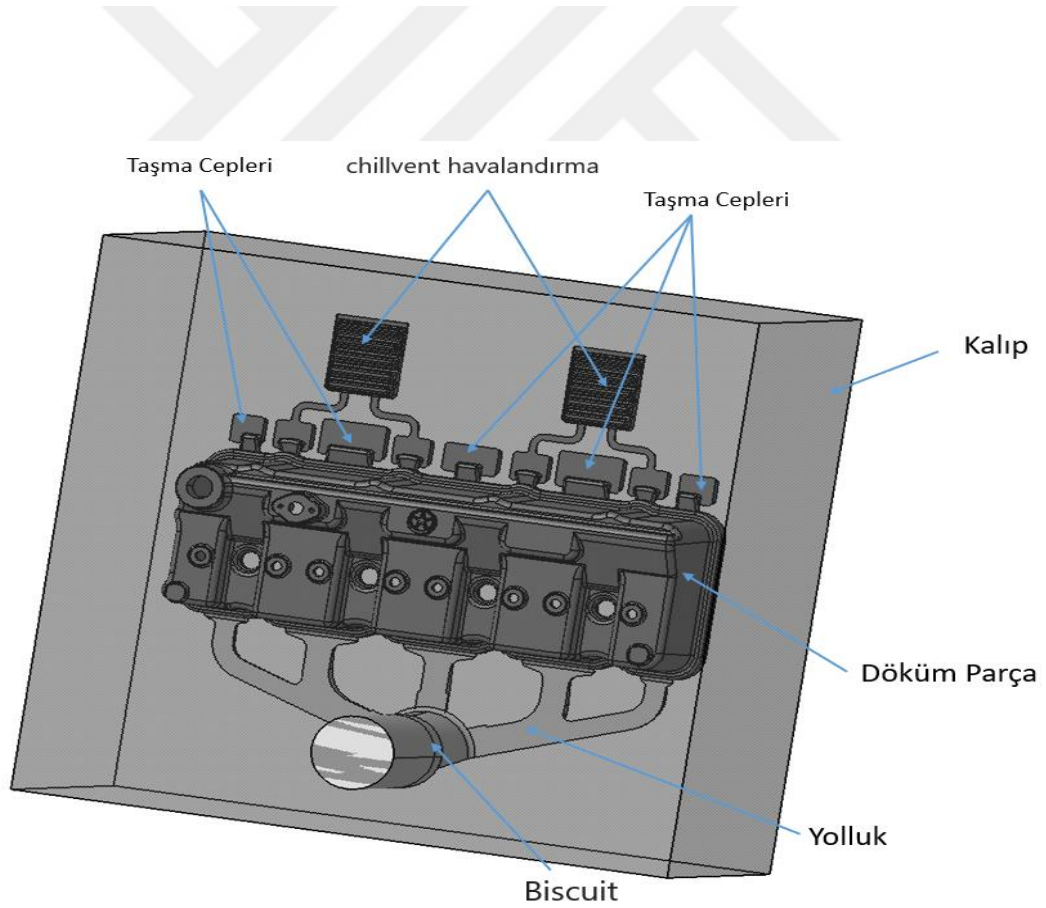
İkinci yolluk tasarımı, döküm parça 5 adet meme ile beslemesi yapılmış olup chillvent havalandırma ve taşma cepleri mevcuttur. II. Yolluk tasarımında olduğunca keskin köşelerden kaçınılmış yuvarlatılmış hatlara sahip yolluk tasarlanmıştır. Yolluk ağzı genişliği ilk yolluğun yaklaşık 1.5 katına çıkarılmıştır. Yolluk kalınlığı en geniş 20 mm, en dar kısım 10 mm olup dolum ağzı kalınlığı 1,25mm' dir. II. tasarıma ait yolluk ölçüleri şekil 44. ve şekil 45.'de, döküm prosesi bölümleri şekil 46.' da gösterilmiştir.



Şekil 44. Yüksek Basıncılı Dökümde II. Yolluk Tasarımı Teknik Resmi
Ön Görünüş



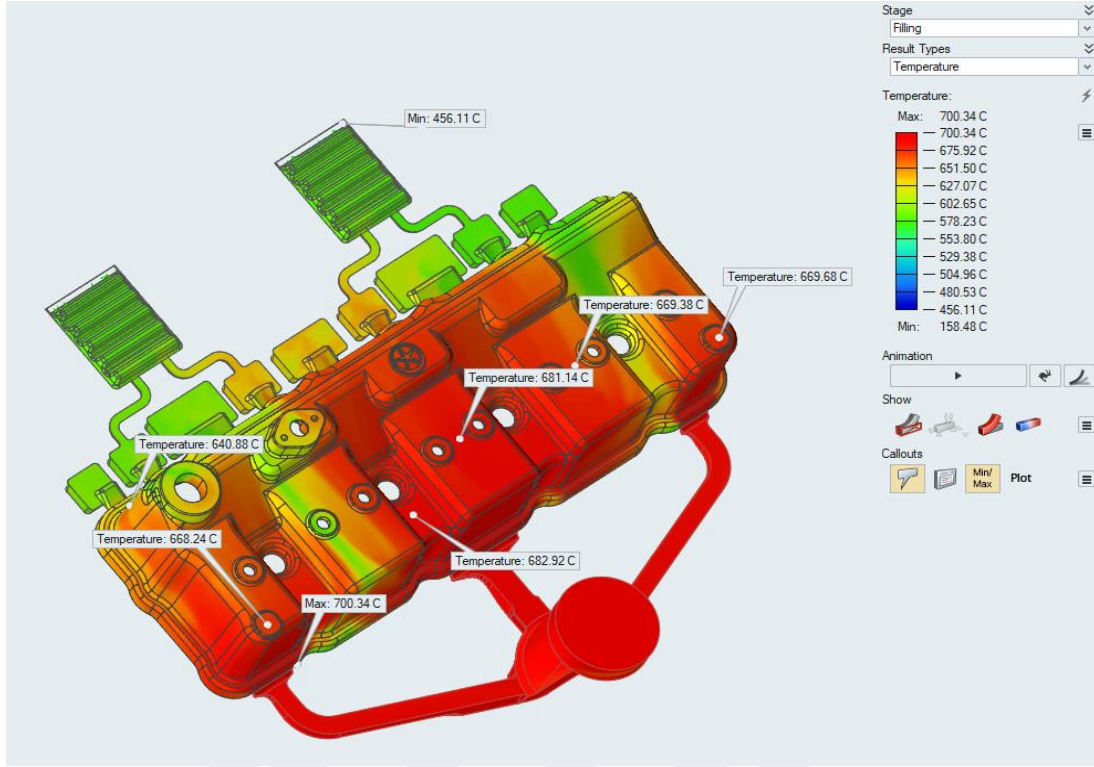
Şekil 45. Yüksek Basıncılı Dökümde II. Yolluk Tasarımı Teknik Resmi
Yardımcı Görünüş



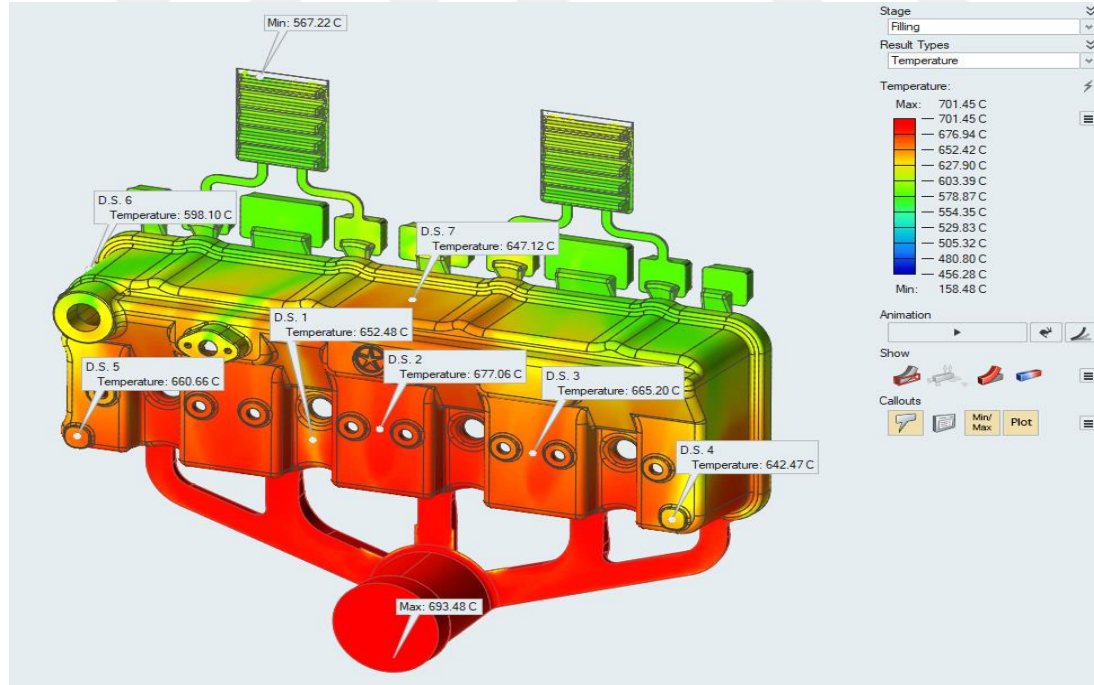
Şekil 46. Tasarım II. Yüksek Basıncılı Döküm Prosesi Bölümleri

5.2.4. Yüksek Basıncılı Döküm Simülasyonunda Kalıp Ve Parça Sıcaklık Dağılımları Karşılaştırması

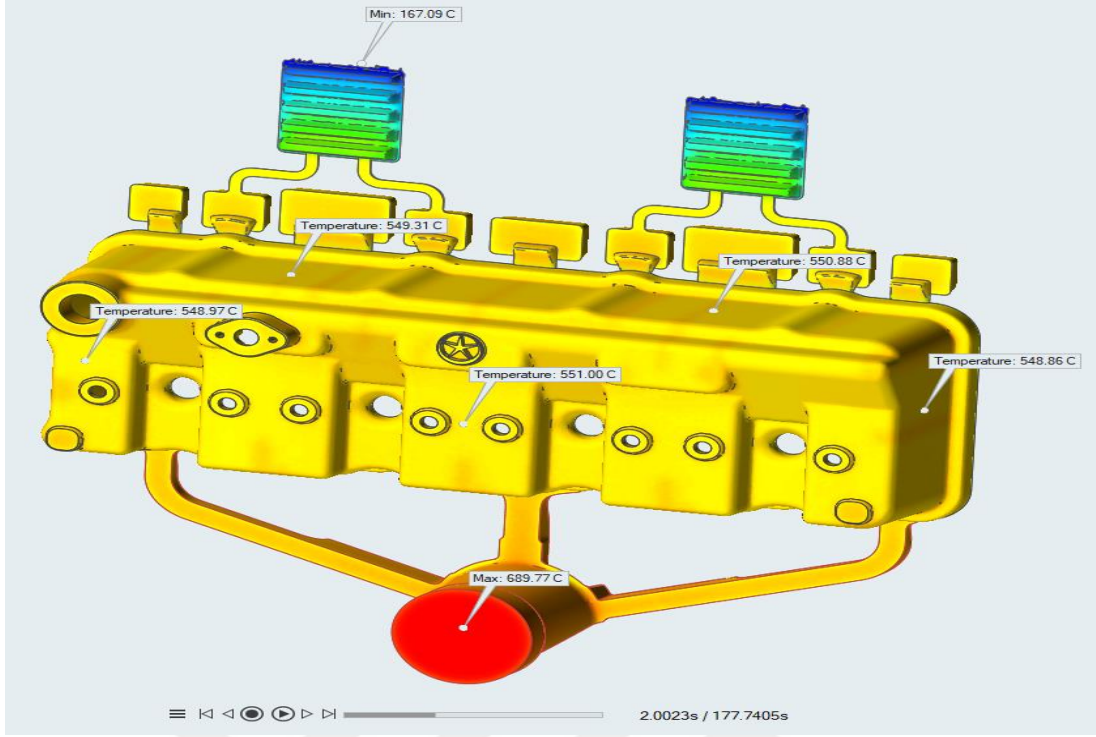
Alüminyum alaşımlarında hızlı soğuma döküm parçasının dayanımını arttırdığı bilinmektedir. Literatürde bu dayanım etkisinin en büyük sebebi, alüminyum alaşımlarının soğuma esnasında oluşturduğu dendrit yapısıdır. Dayanımdaki artışları sadece hızlı soğumadan dolayı oluşan dendrit yapıya bağlamak doğru değildir, hızlı soğuma ile birlikte birçok parametrede değişmektedir. Literatürde bu dayanım dendritlere bağlansa da diğer değişkenleri de incelemek gerekmektedir. Alüminyum alaşımları yaklaşık 555°C ötektik kompozisyona girmekte bu değişkende dayanıma etki etmektedir. Alüminyum döküm alaşımlarında sabit sıcaklık yerine sıcaklık aralıkları şeklinde katılaşma görülmelidir. Şekil 47. 'de gösterilen I. tasarım, Şekil 48. 'de gösterilen II. tasarıma ait döküm simülasyonundan alınan döküm sonu sıcaklıkları gösterilmiştir. I. tasarım ait katılaşma başlangıcından 2 saniye sonraki sıcaklık şekil 49. 'da, II. tasarım için şekil 50.' de gösterilmiştir. Katılaşmanın başlamasından itibaren 30. Saniyelerdeki katılaşma sıcaklıkları I. ve II. tasarımlar için sırasıyla şekil 51. ve şekil 52.' de gösterilmiştir. I. tasarımdaki maksimum kalıp sıcaklığı 447,79°C, II. tasarımda maksimum kalıp sıcaklığı 439°C olarak görülmüştür. Kalıp sıcaklığının düşük olması termal gerilmeleri azaltmakta ve kalıp aşınmasını azaltmaktadır. Bu sıcaklıklar ile karşılaştırılma yapıldığında II. tasarım' da katılaşma bir sıcaklık aralığı şeklinde gerçekleştiği şekil 54.' de gösterilmiştir. Şekil 53.' de I. tasarıma ait döküm sonu sıcaklık grafiği gösterilmiştir. Tasarım kıyaslandığında II. tasarım I. tasarıma göre katılaşmanın daha hızlı bir şekilde gerçekleştiği görülmektedir.



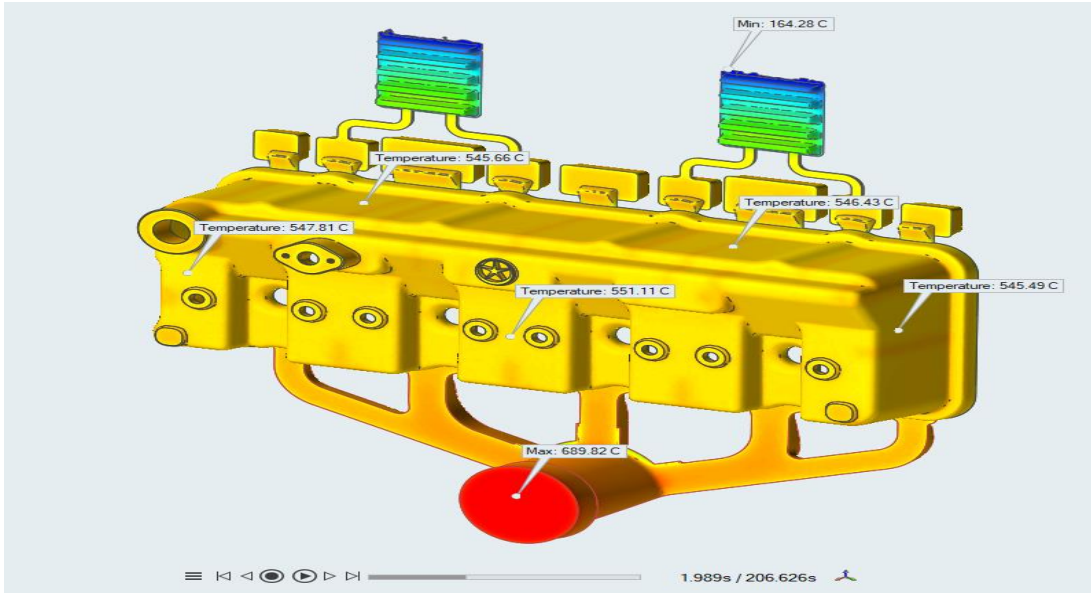
Şekil 47. I. Tasarıma Ait Belirlenmiş Yüksek Basıncılı Döküm Sonu Sıcaklıkları



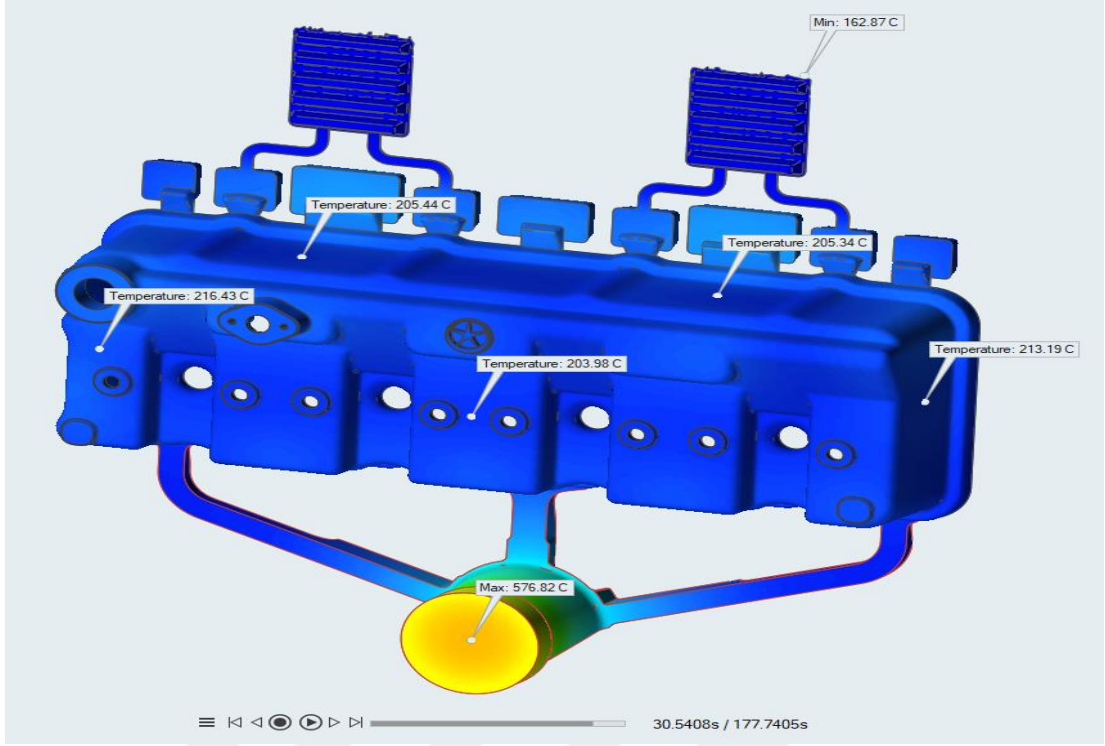
Şekil 48. II. Tasarıma Ait Belirlenmiş Yüksek Basıncılı Döküm Sonu Sıcaklıkları



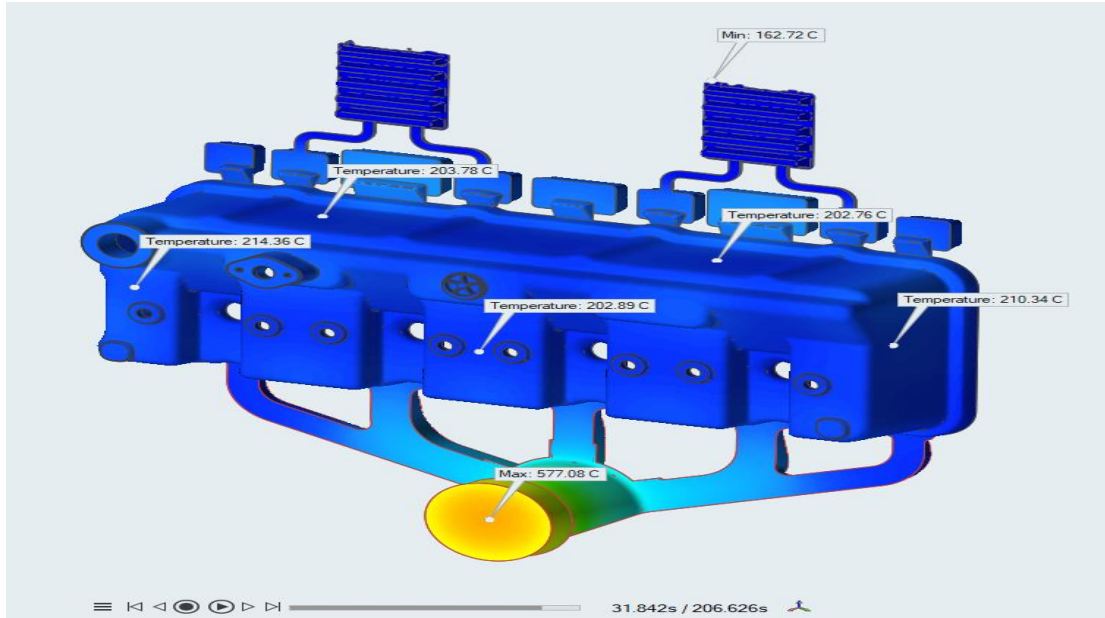
Şekil 49. I. Tasarıma Ait Belirlenmiş Noktalardaki 2.Saniye Katılaşma Sıcaklıkları



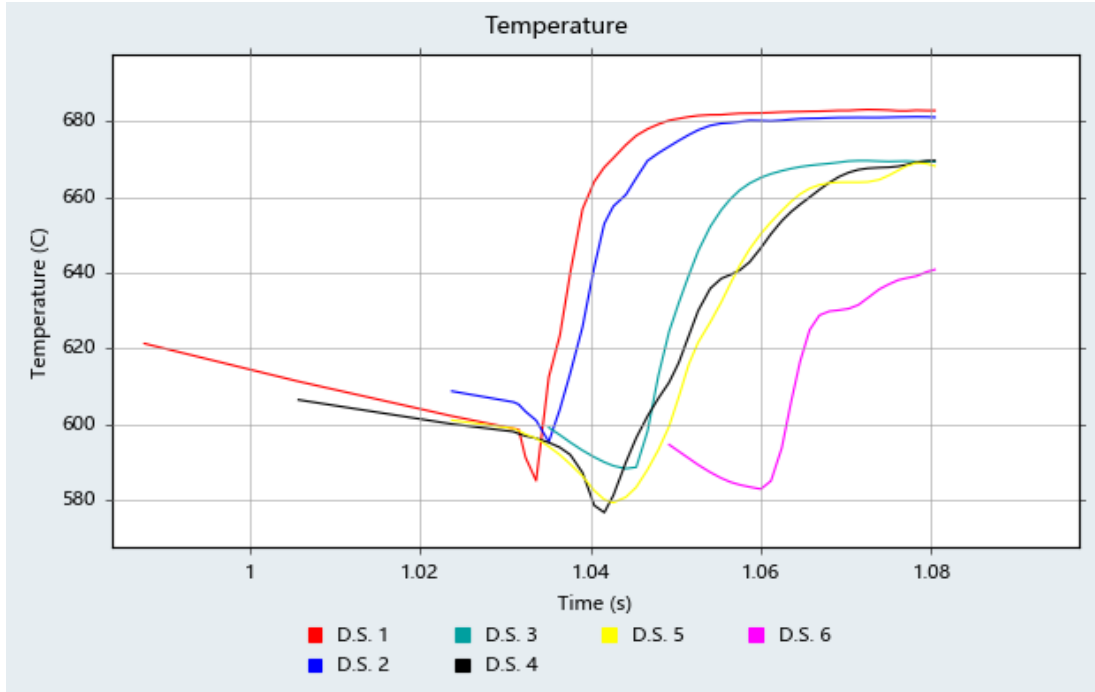
Şekil 50. II. Tasarıma Ait Belirlenmiş Noktalardaki 2.Saniye Katılaşma Sıcaklıkları



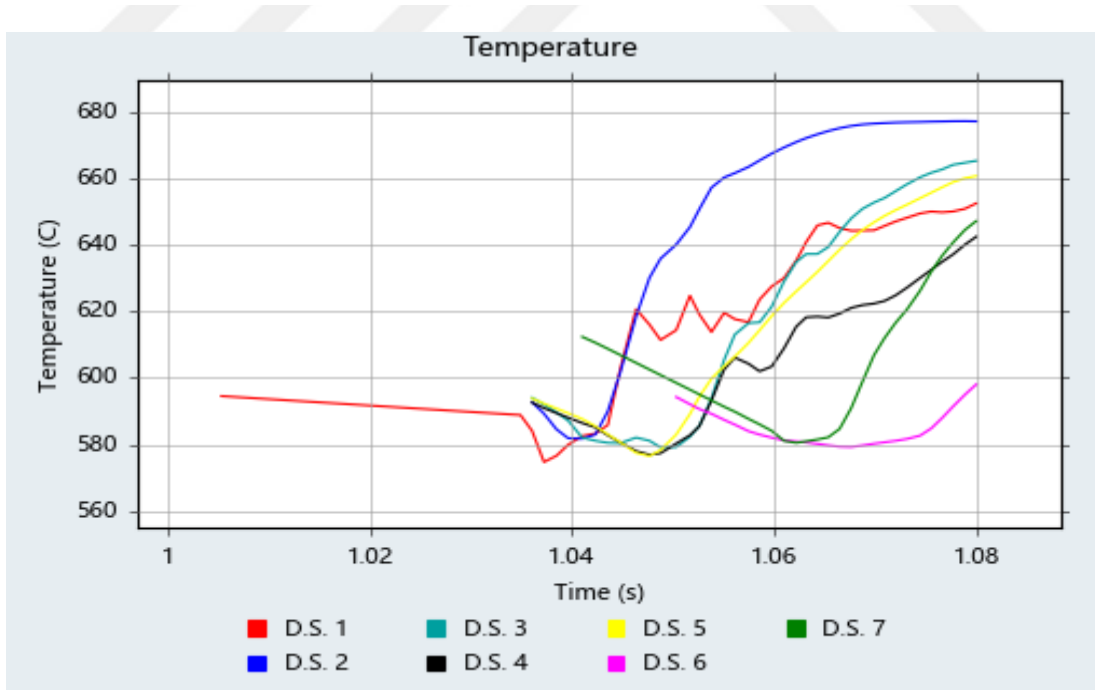
Şekil 51. I. Tasarıma Ait Belirlenmiş Noktalardaki 30.Saniye Katılaşma Sıcaklıkları



Şekil 52. II. Tasarıma Ait Belirlenmiş Noktalardaki 30.Saniye Katılaşma Sıcaklıkları



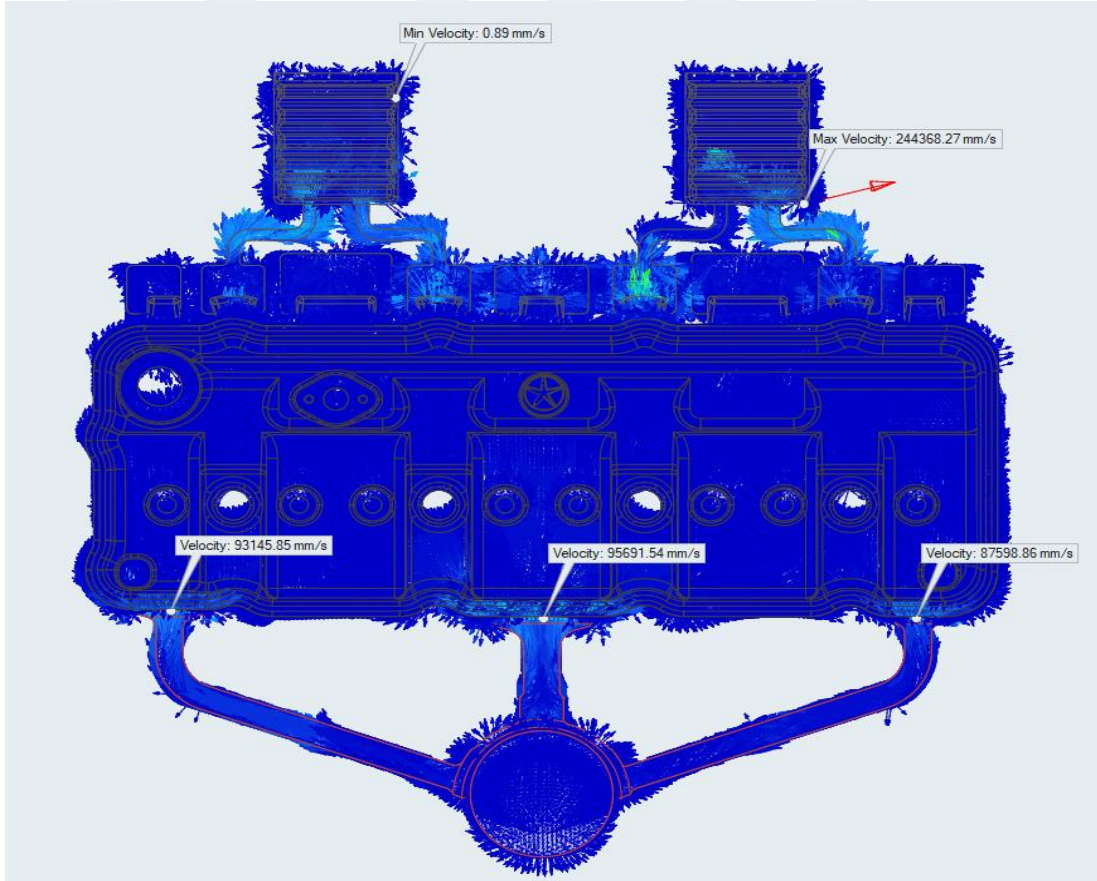
Şekil 53. I. Tasarıma Ait Belirlenmiş Noktalardaki Dolum Sonu Sıcaklıkları Grafiği



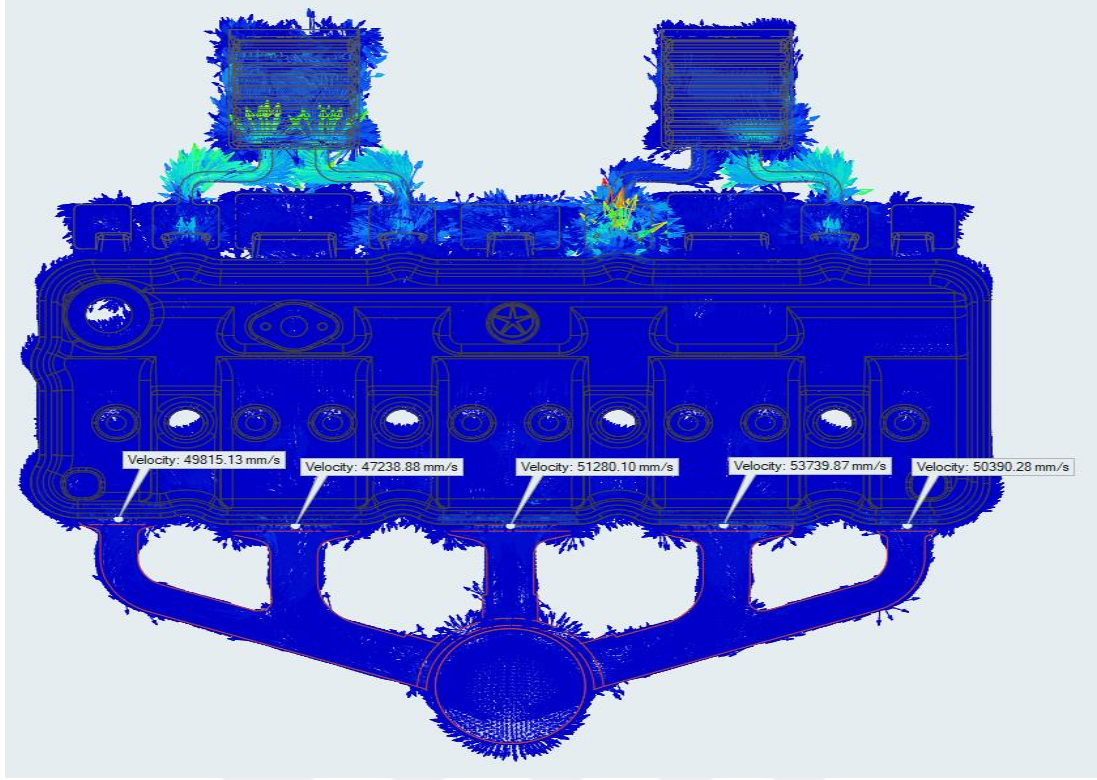
Şekil 54. II. Tasarıma Ait Belirlenmiş Noktalardaki Dolum Sonu Sıcaklıkları Grafiği

5.2.5. Yüksek Basıncılı Döküm Simülasyonunda Sıvı Metal Akış Hızları Karşılaştırması

I. ve II. tasarımları için sıvı metal akış hızı simülasyonları yapılmıştır. Her iki tasarım içinde meme kesiti kalınlığı 1,25mm olarak yolluk tasarımı yapılmıştır. Sıvı metal akışının en hızlı olduğu bölge yolluğun parçaya patladığı meme kesitindedir. I. tasarıma ait sıvı metal hızları şekil 55.' de, II. tasarıma ait sıvı metal hızları şekil 56.' da gösterilmiştir. Literatür incelendiğinde meme kısmındaki ergiyik alüminyum alaşımları için sıvı metal hızları 30m/s ile 60m/s ile arasında olmasının uygun olduğu sınırlar içerisinde (Papia, 1994; Seo, vd., 2007a, 2007b; Jin ve Kang, 2011, 2012) II. tasarımın metal akışı için uygun olduğunu söylemek mümkündür.



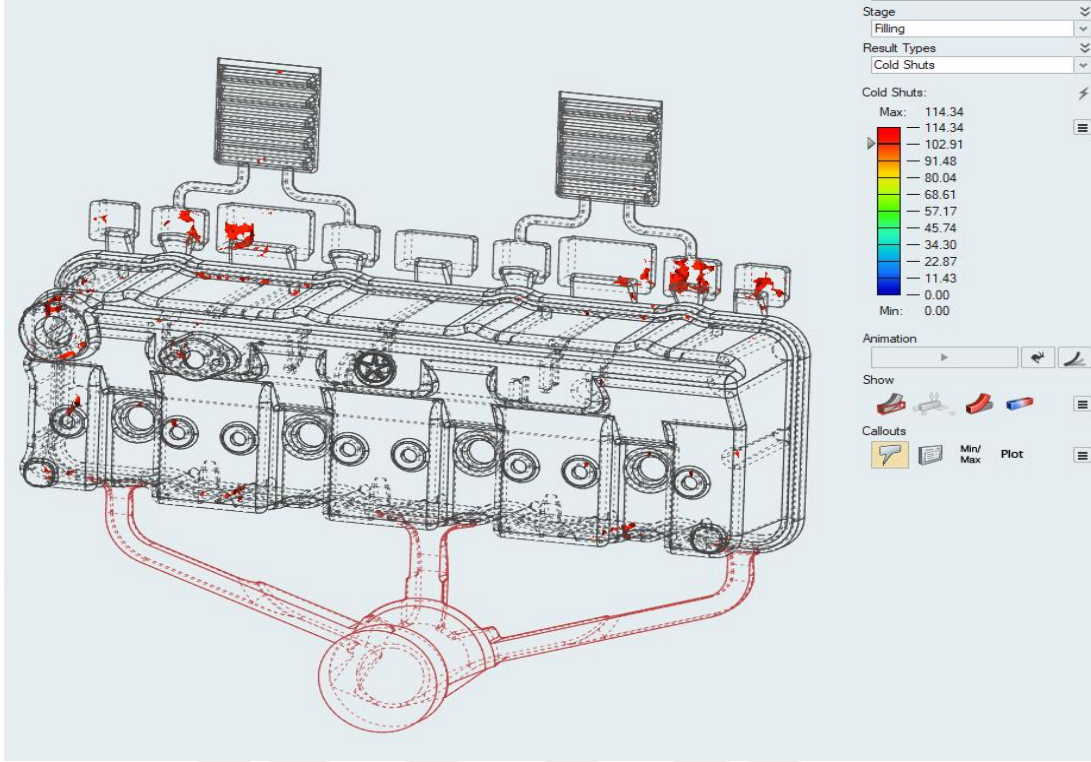
Şekil 55. I. Tasarıma Ait Meme Kesitindeki Sıvı Metal Hızları



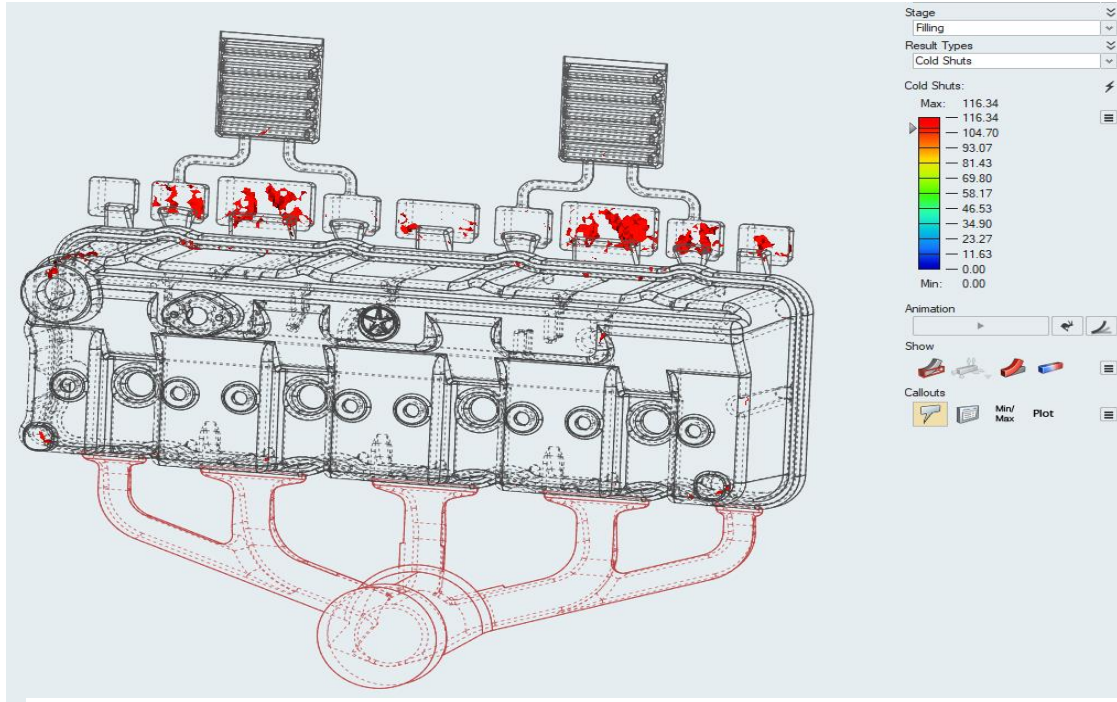
Şekil 56. II. Tasarıma Ait Meme Kesitindeki Sıvı Metal Hızları

5.2.6. Yüksek Basıncılı Döküm Simülasyonunda Soğuk Birleşme Karşılaştırması

Sıvı metalin iki ayrı kanaldan kalıp boşluğunu doldururken erken katılaşma olması sebebi ile birleşme olmaması durumudur. Döküm hızının artırılması ile soğuk birleşme yüzeylerinde daha iyi sonuçların elde edileceği simülasyon sonuçlarıyla elde edilmiştir. I. dolum süresi 1,084 s, II. tasarımın dolum süresi 1,080s' dir. Bu sonuçlar doğrultusunda II. tasarımın soğuk birleşme yüzeyleri I. tasarıma nispeten daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Şekil 57' de I. tasarıma ait soğuk birleşme, şekil 58.' de II. tasarımın soğuk birleşme noktaları gösterilmiştir.



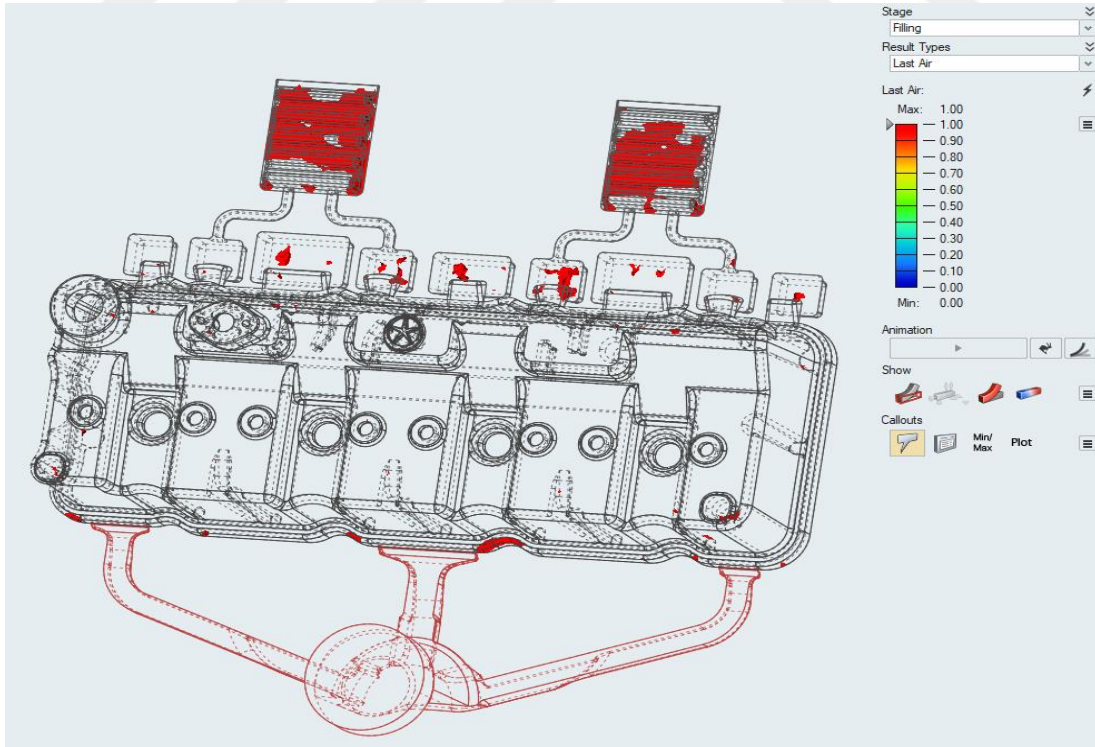
Şekil 57. I. Tasarıma Ait Soğuk Birleşme Noktaları



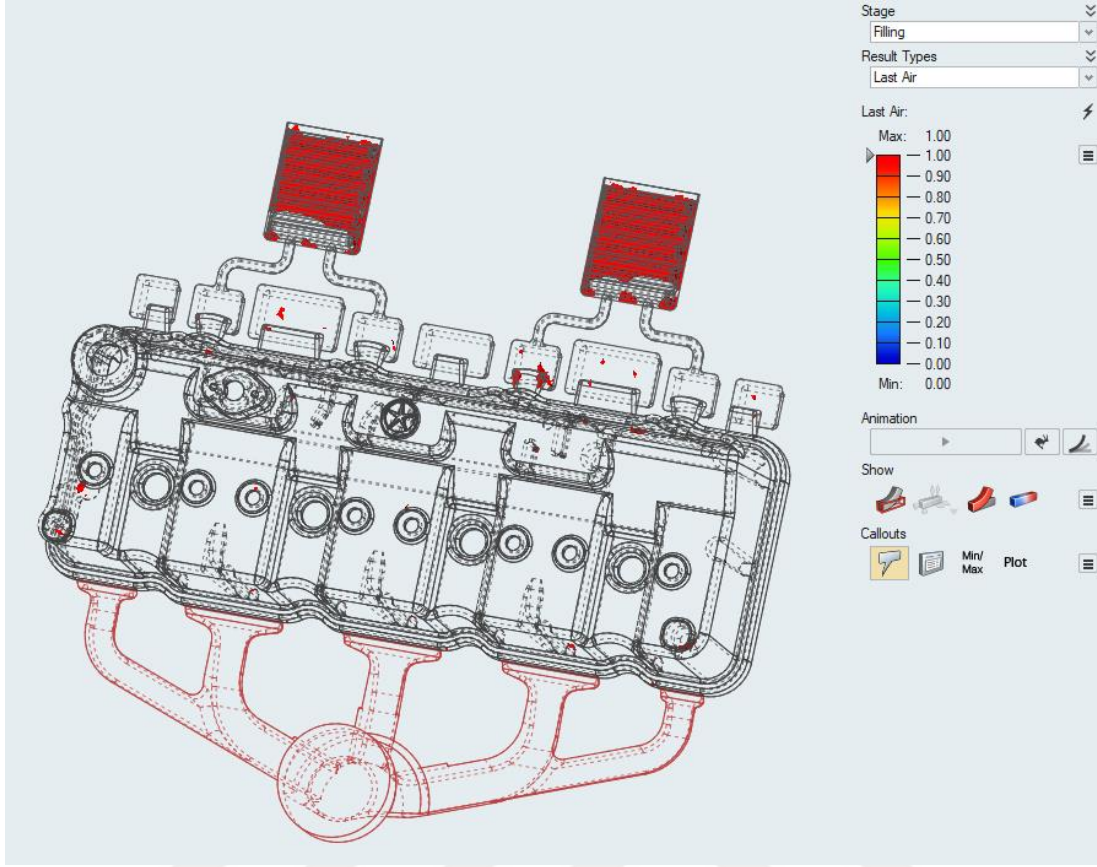
Şekil 58. II. Tasarıma Ait Soğuk Birleşme Noktaları

5.2.7. Yüksek Basıncılı Döküm Simülasyonunda Son Hava Miktarı Karşılaştırması

Yüksek basınçlı döküm prosesinde dolum çok kısa sürelerde gerçekleştiğinden kalıp boşluğunu doldurmuş olan hava sıvı metal içerisine sıkışmaktadır. Havanın hapsediği sıvı metali döküm parçasından uzaklaştırmak için tasarımda chillvent havalandırma cepleri kullanılmıştır. Hava cepleri kullanılmadan simülasyon yapıldığında döküm parçasının içerisinde oksit miktarının çok fazla olduğu görülmüştür. Bu yüzden iki farklı yolluk tasarımında da hava cepleri kullanılmıştır. Döküm parçasının içeresine sıkışan hava poroziteye neden olmaktadır. Son hava miktarını gösteren simülasyon parametresi bize havanın nerede sıkışıp hapsedeceğini göstermektedir. I. yolluk tasarımında havanın hapsediği sıvı metal havalandırma ceplerine gitmeden katılaşma olmuş ve sıvı metalin içerisine hapseden havanın II. tasarıma kıyasla daha kötü sonuçlar verdiği görülmüştür. Şekil 59.' da I. yolluk tasarıma ait son hava miktarı, şekil 60.' da II. tasarıma ait olan son hava miktarı görülmektedir.



Şekil 59. I. Tasarıma Ait Son Hava Miktarı

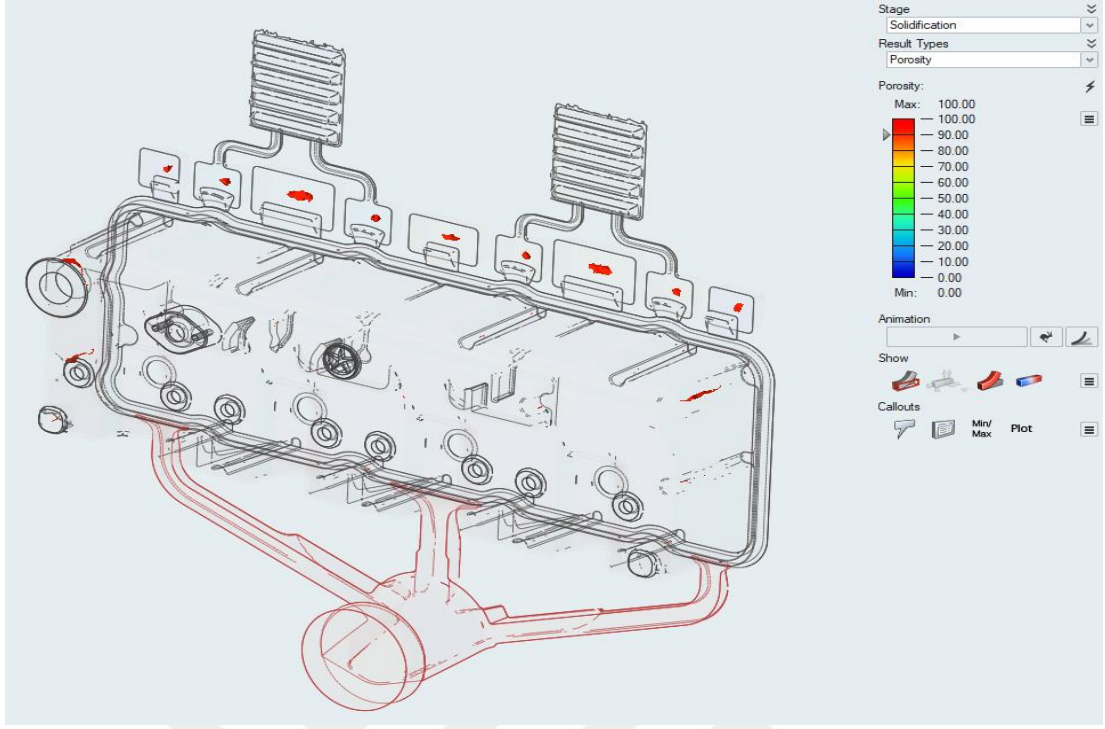


Şekil 60. II. Tasarıma Ait Son Hava Miktarı

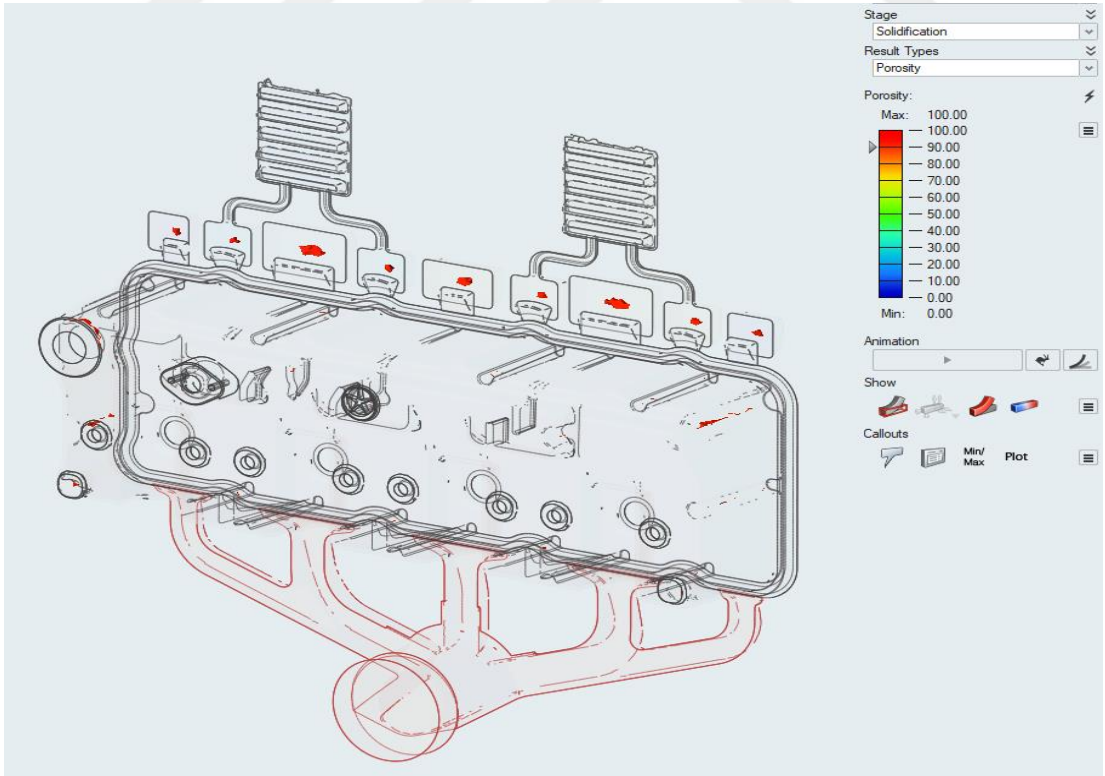
5.2.8. Yüksek Basıncılı Döküm Simülasyonunda Porozite Miktarı

Karşılaştırması

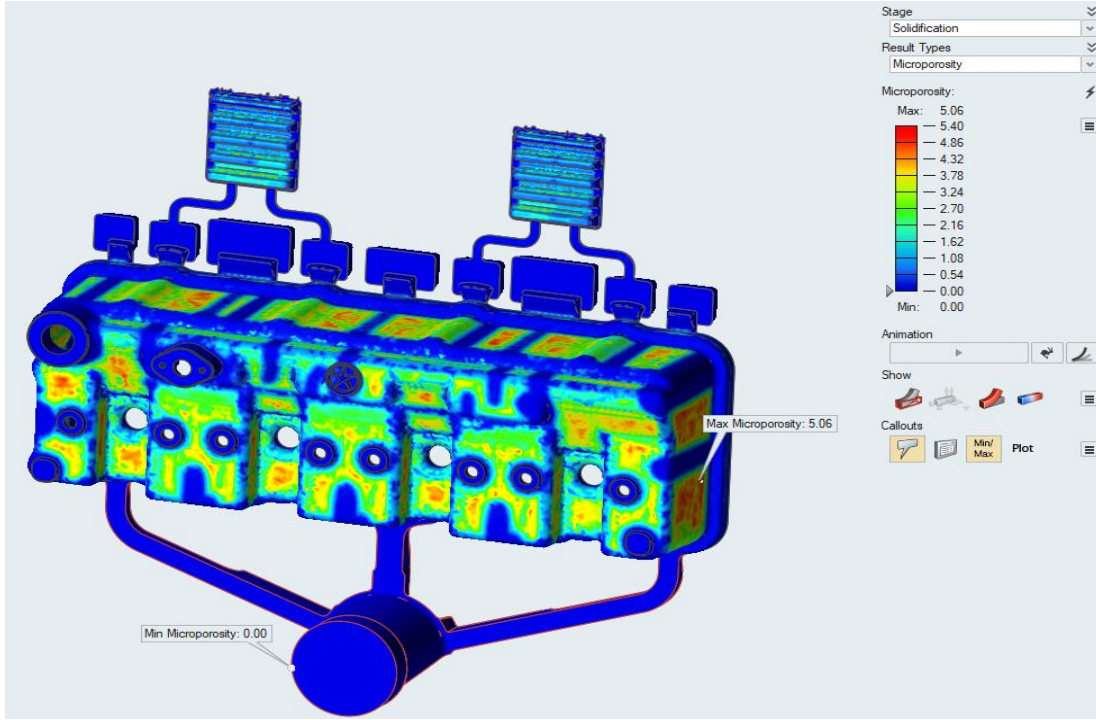
Mikro porozite katılma esnasında gazların oluşturduğu boşluklar olup, makro porozite ise katılma esnasında malzemenin çekintisinden dolayı kaynaklanan boşluklarıdır. İki tasarımda da makro porozitenin gerçekleştiği noktalar hemen hemen birbirine yakınken mikro porozite değerleri karşılaştırıldığında II. tasarımın I. tasarıma kıyasla daha iyi olduğu görülmektedir. I. tasarıma ait makro porozite miktarı şekil 61.' de, şekil 62.' de II. tasarıma ait makro poroziteler verilmiştir. I. tasarıma ait mikro porozite miktarı şekil 63.' de, şekil 64.' de II. tasarıma ait mikro poroziteler gösterilmiştir.



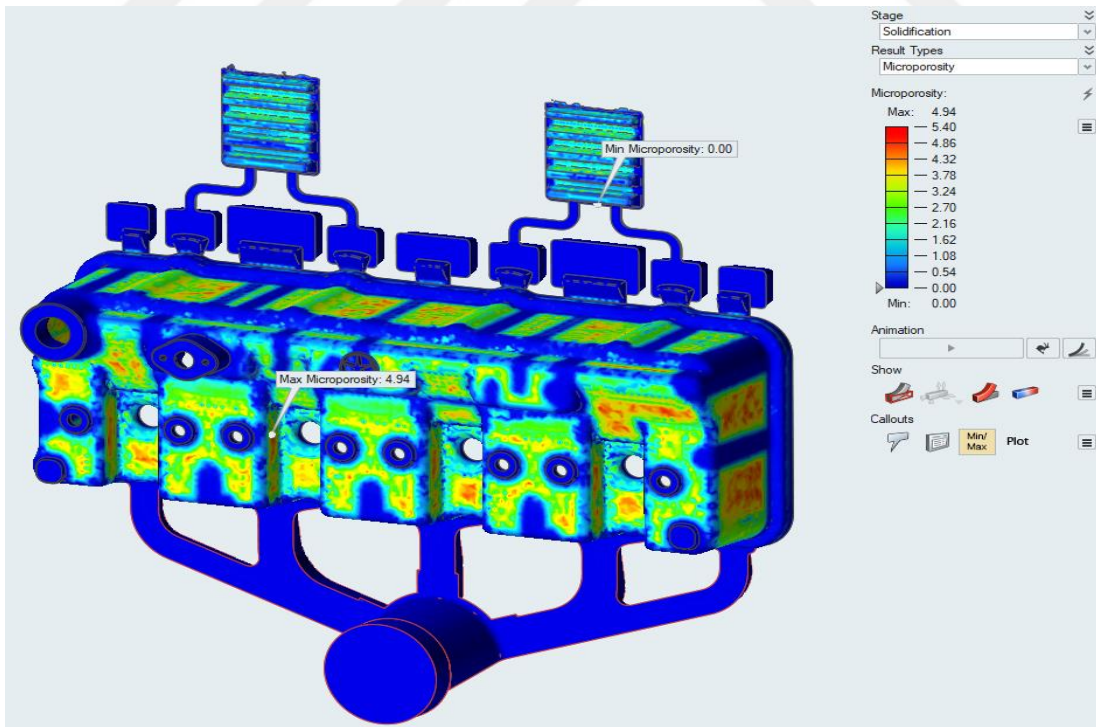
Şekil 61. I. Tasarıma Ait Makro Porozite



Şekil 62. II. Tasarıma Ait Makro Porozite



Şekil 63. I. Tasarıma Ait Mikro Porozite



Şekil 64. II. Tasarıma Ait Mikro Porozite

5.3. Kum Kalıba Dökümde Yolluk Hesaplamaları Ve Simülasyonlar

Yapılacak olan döküm simülasyonları iki farklı yolluk tasarımı ile simüle edilmiş ve çıkan sonuç parametreleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda döküm parçasına en uygun olan yolluk tasarımı seçilecektir. Döküm simülasyonunda optimize edilmiş yolluk tasarımı hesaplamaları 4. Bölümde anlatılan formülizasyonlar ışığında gerçekleştirilmiştir. Yapılan ilk tasarım baz modeli ifade ederken, ikinci tasarım ilk tasarımın sonuçlarına bakılarak yolluk tasarımı hesaplamaları ışığında iyileştirilmeler yapılarak simülasyon sonuçları karşılaştırılacaktır. Yolluk tasarımlarından uygun olan kum kalıba döküm simülasyonu için seçilecektir.

5.3.1. Kum Kalıba Döküm Simülasyon Parametreleri

Kum kalıba döküm simülasyonu için öncelikle CAD ortamında tasarımı yapılan yolluktan sonra simülasyon incelenmiştir. Çıkan simülasyon sonuçlarına göre yeni bir tasarım ile simülasyon yapılmış ve analiz sonuçları incelenmiştir. ‘İstenilen sonuçların elde edildi mi?’ sorusu sorulmuştur. Bu soruların cevapları bize yolluk tasarımını optimize edip etmeyeceğimiz konusunda karar vermemizi sağlamaktadır. Mesh elemanlarının boyutu 3 mm olarak seçilmiştir. Simülasyonda kullanılan malzeme özellikleri bölüm 3.5’ te detaylı olarak belirtilmiştir. Döküm simülasyonuna girilen parametreler; döküm malzemesi tipi, kalıp sıcaklığı, yer çekimi ivmesi yönü, döküm ağırlığına bağlı olarak döküm süresi, besleyici modülüdür. Simülasyon sonuçlarından elde edilen; Sıvı metalin meme girişindeki akış hızları, katılaşma süreleri, porozite, soğuk birleşme noktaları, son hava miktarı v.b. parametreler incelenecektir.

Döküm simülasyonu bölüm 5.1.’ de belirtilmiş olan Altair InspireCast döküm simülasyonunda yapılmıştır. Kalıp sıcaklığı 40°C, döküm sıcaklığı 750°C, döküm süresi döküm ağırlığına bağlı olarak I. tasarımda 4,5 saniye, II. tasarımda 5 saniye olarak tanımlanmıştır. Teze konu olan külbütör kapağının kum kalıba dökümü, yaş kum kalıplama olarak tanıtılmıştır. Toplam döküm ağırlığı birinci tasarımda 5,50 kg iken ikinci tasarımda 6,8 kg’ dır. Parça genel et kalınlığı 5 mm olarak tasarlanmış olup genel çıkma açıları minimum 3 derecedir.

Yapılan simülasyonda parça sadece üst derecede olduğundan bölüm 4.1.5.' te bahsedilen etkin döküm yüksekliği bulunmalı ardından, kritik kesit hesaplanmalıdır. İlk yapılan tasarım simüle edilmeli ve ardından gerekiyorsa belirlenmiş noktalara besleyici konulmalıdır. Döküm ile üretilmiş parçaların işleme yüzeylerine besleyici veya çıkıcı koymak talaşlı imalat sonrasında parçanın daha temiz bir yüzey ile bitirilmiş olacaktır. Besleyici modülü belirlendikten sonra simülasyon programına girilecek ve simülasyon programı besleyici çapını oluşturacaktır. Besleyici yüksekliği son hava miktarını içine almalı, erken soğuyan bölgeleri yeteri kadar sıcak tutacak yükseklikte olmalıdır.

Üst derece yüksekliği 32cm olarak seçilmiş ve parça yüksekliği 125 mm' dir.

Etkin döküm yüksekliği;

$$H_E = h - c/2$$

$$H_E = 19 \text{ cm} - 12,50 \text{ cm} / 2$$

$$H_E = 12,75 \text{ cm}$$

(1)

Kritik kesit (C_a) ;

$$\frac{22,6 \times W}{\rho \times \varepsilon \times t \times \sqrt{H_E}}$$

W: Toplam Döküm Ağırlığı (kg)

ρ = Sıvı Metal Yoğunluğu (gr / cm³)

ε = Sürtünme Katsayısı

t = Döküm Süresi (sn)

H_E = Etkin Döküm Yüksekliği (cm)

$$= \frac{22,6 \times 6,8}{2,67 \times 0,4 \times 5 \times \sqrt{12,75}}$$

$$C_a \approx 8 \text{ cm}^2 \quad (2)$$

$$= 800 \text{ mm}^2$$

$$C_{a,kolon} = r^2 \cdot \pi$$

$$800 \text{ mm}^2 = r^2 \cdot 3,14$$

$$r \approx 16 \text{ mm}$$

$$\varnothing = 32 \text{ mm} \quad (3)$$

Yatay Yolluk Kesiti ;

$$YYA = C_a \times 1 \approx 800 \text{ mm}^2 \quad (4)$$

Yatay yolluk kesiti yamuk profilinde olduğundan ;

$$800 \text{ mm}^2 = (a+2a) \times 2a / 2 = 3a^2 \Rightarrow a \approx 16 \text{ mm} \quad (5)$$

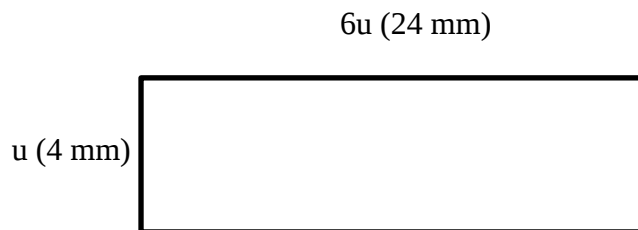
Meme Kesiti ; $C_a \times (1,1) \approx 800 \times 1,1$

$$\approx 880 \text{ mm}^2 \quad (6)$$

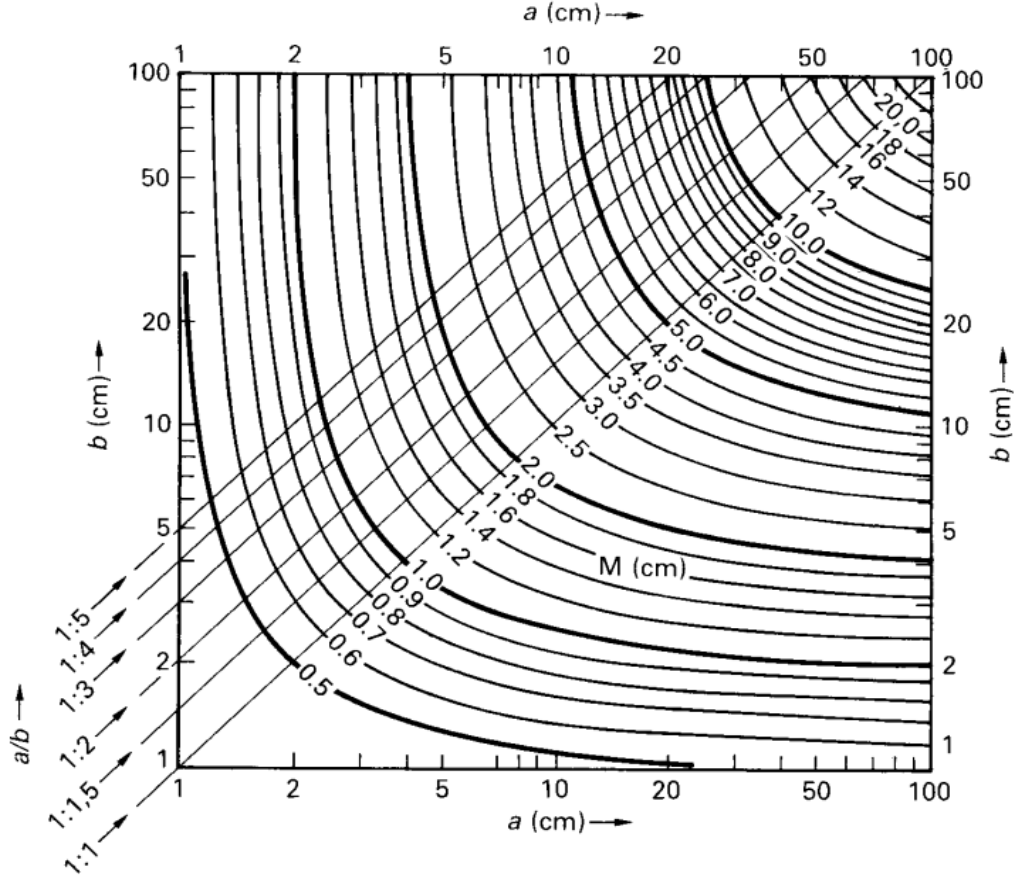
Besleyici meme sayısı 10 adet olduğundan ;

$$880 \text{ mm}^2 / 10 = 88 \text{ mm}^2 \quad (7)$$

Genellikle Meme Kesiti ölçüleri u-4u veya u-6u şeklinde deneyimlenmiştir.
Simülasyondan meme giriş kesiti u-6u olarak alınacaktır.



Besleyici boynu modülü için şekil 65. kullanılabilir;



Şekil 65. Besleyici Boynu Modülü Grafiği

Kaynak: Brown, John R. Foseco Non-Ferrous Foundryman's Handbook. 11. London: Butterworth-Heinemann, (1999).

Parça üstünde besleme kullanılacak ise besleyici boynu hesaplanmasına gerek yoktur. Yandan besleyici kullanılacak ise $M_C:M_N:M_F = 1.0: 1.1: 1.2$ oranları kullanılarak elde edilir. (Brown 1999, 259) Simülasyonu yapılacak külbütör kapağında parça üstünden besleyici kullanılacağından besleyici boynu hesaplanmamıştır.

Besleyici modülünü hesaplamak için öncelikle parça modülü hesaplanmalıdır.

$$M_c = V_c / A_c \text{ (Brown 1999, 259)}$$

$$M_c = 1000 \text{ cm}^3 / 4398,9 \text{ cm}^2 \approx 0,22 \quad (8)$$

$$M_F = 1,2 \times M_c \text{ (Brown 1999, 259)}$$

Besleyici modülü hesaplanması için verilen formülde 1,2 sayısı bir güvenlik faktörüdür ve tasarımı yapılan besleyicilerde güvenlik katsayısı 1,8 olarak tercih edilmiştir. Bu oran 0.8, 0.6, 1.2 gibi katsayılarla da kullanılmaktadır. Bunun sebebi çekinti göz önünde bulundurulduğunda yeterince büyük gelmeyen besleyicilerin kapasitelerini arttırmak içindir. Böyle durumlarda daha büyük hacimli besleyiciler kullanılmalıdır. $M_F = 1,8 \times 0,22 \approx 0,4$ olarak bulunmuş olup simülasyon programına modül değeri girildiğinde besleyici modülü çapı 24 mm olarak tasarım yapılmıştır.

$$\text{Besleyici ağırlığı; } W_F = W_T \times 100/C_c \times S_s/100 \text{ (Brown 1999, 263)}$$

C_c için en uygun besleme metali oranları; Foseco kılıf kullanılıyorsa %33, canlı doğal besleyici yani sıvı metal döküm boşluğuna ulaşmadan önce besleyici kullanılıyor ise %16, diğer doğal besleyiciler için %10-14' dir. (Brown 1999, 263)

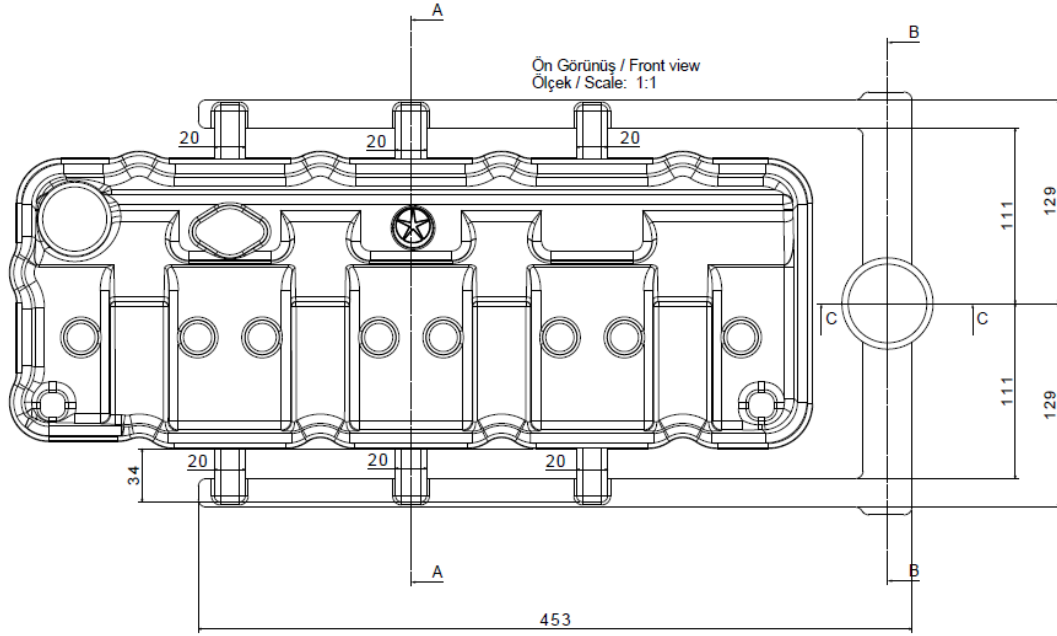
$$W_F = 3,475 \text{ kg} \times 100/14 \times 3,4/100 \approx 0,8 \text{ kg} \quad (9)$$

Tasarımı yapılan II. yolluk yukarıda belirtilen hesaplamalar ve formülizasyonlar ışığında yapılmış ve simüle edilmiştir. I. yolluk tasarımı yolluk tasarımı hesaplamaları yapılmadan simüle edilmiş ve çıktısı alınan simülasyon parametrelerine göre II. tasarım da aksiyon alınmıştır.

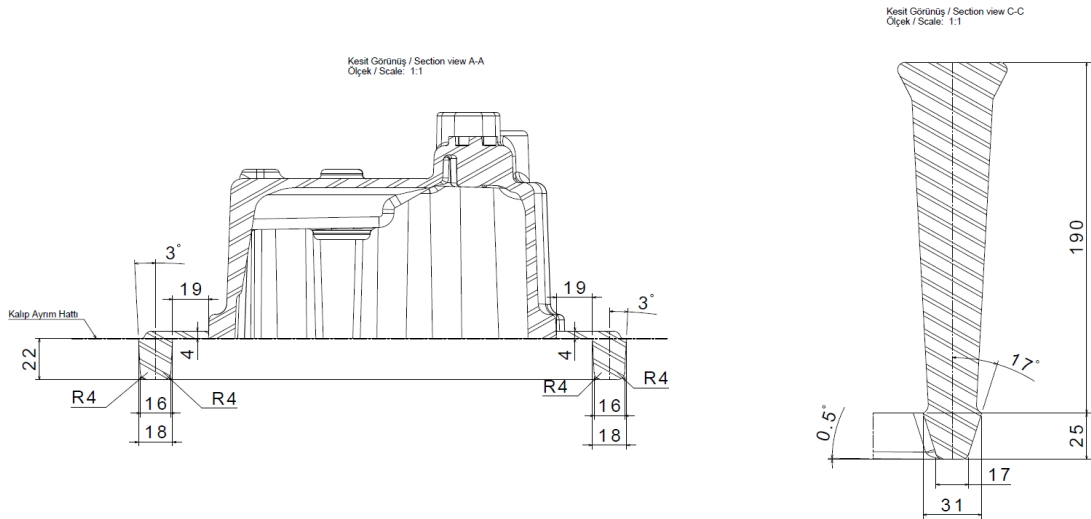
5.3.2. Kum Kalıba Döküm Simülasyonunda Yolluk Sistemi Tasarımı I

Birinci tasarımda döküm parça toplam 6 adet meme ile beslemesi yapılmış olup besleyici ve çıkıcı bulunmamaktadır. Yolluk tasarımı yapılırken keskin köşelerden kaçınılmış yuvarlatılmış hatlara sahip bir yolluk tasarımı yapılmıştır. Ofset döküm ağzı bu tasarımda kullanılmamış çıkan simülasyon sonuçlarına göre kullanılması değerlendirilebilir. Yuvarlatılmış hatlar kullanılmış olup sıvı metalin kalıp içerisine dolarken herhangi bir dirence maruz kalmaması sağlanmıştır. Yolluk kalınlığı en geniş 31 mm, en dar kısım 16 mm olup dolum ağzı kalınlığı 4 mm' dir. Şekil 66. ve şekil

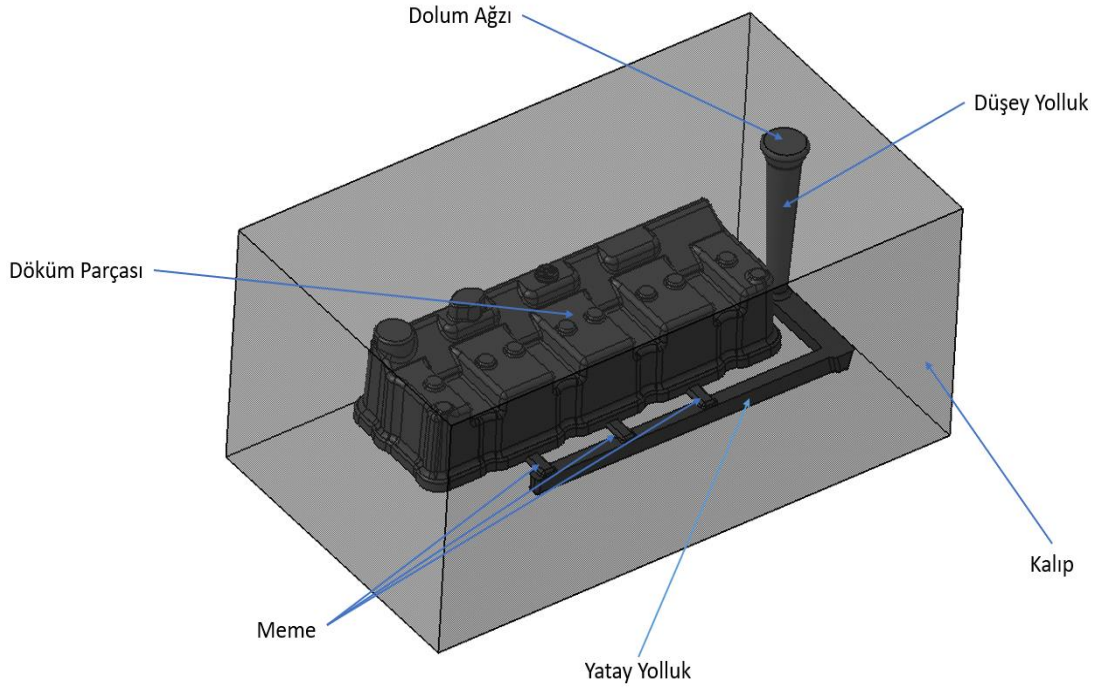
67.' de I. tasarıma ait yolluk ölçüleri ve şekil 68.' de döküm prosesi bölümleri gösterilmiştir.



Şekil 66. Kum Kalıba Dökümde I. Yolluk Tasarımı Teknik Resmi Ön Görünüş



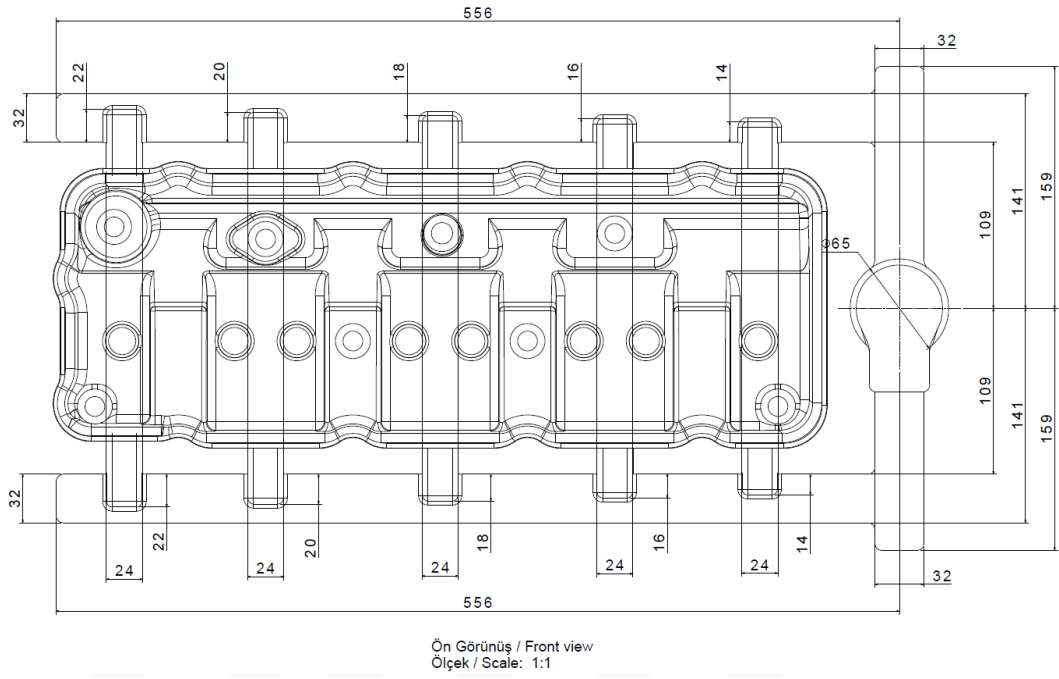
Şekil 67. Kum Kalıba Dökümde I. Yolluk Tasarımı Teknik Resmi Kesit Görünüşler



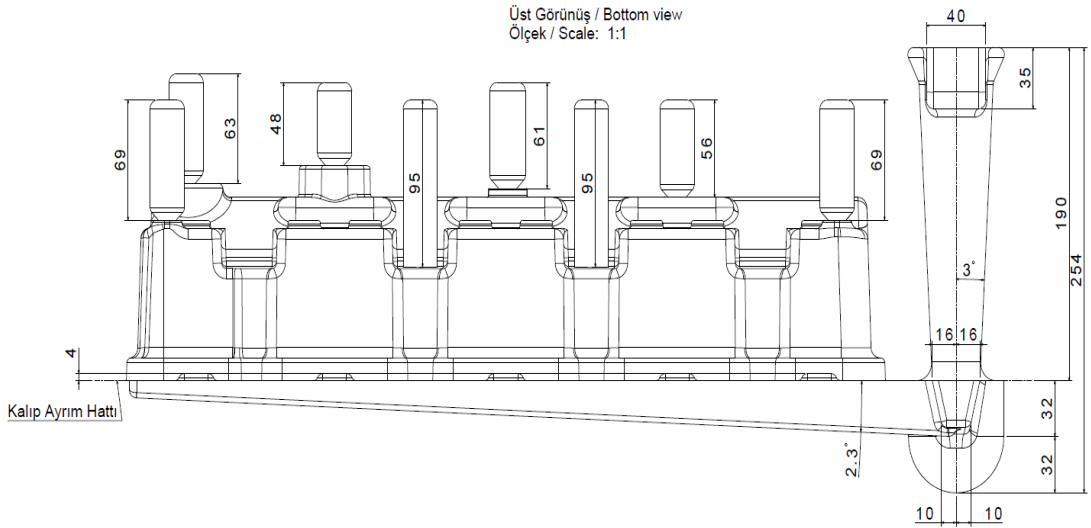
Şekil 68. Tasarım I. Kum Kalıba Döküm Prosesi Bölümleri

5.3.3. Kum Kalıba Döküm Simülasyonunda Yolluk Sistemi Tasarımı II

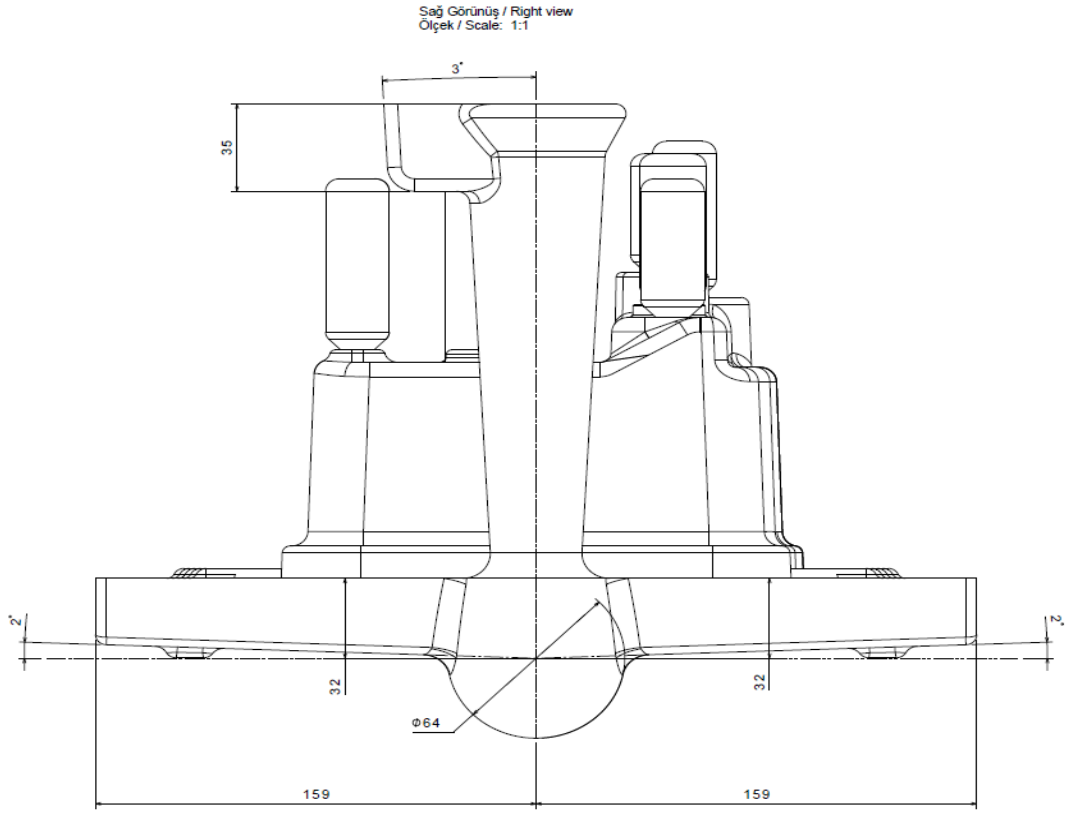
İkinci tasarımda döküm parça toplam 10 adet meme ile beslemesi yapılmış olup besleyici ve çıkıcı bulunmaktadır. Yolluk tasarımı yapılırken keskin köşelerden kaçınılmış yuvarlatılmış hatlara sahip bir yolluk tasarımı yapılmıştır. Ofset döküm ağzı bu tasarımda kullanılmış olup sıvı metal türbülansının azalması ön görülmüştür. Yuvarlatılmış hatlar kullanılmış olup sıvı metalin kalıp içerisine dolarken herhangi bir dirence maruz kalmaması sağlanmıştır. II. yolluk tasarımı, hesaplaması yapılan ölçülere göre dizayn edilmiştir. Kritik kesit çapı 32 mm, dolum ağzı kalınlığı 4 mm, dolum ağzı genişliği 24 mm olarak yolluk tasarımı yapılmıştır. Sıvı metal parçaya patlayan son memede hız kaybetmemesi için daralan bir yolluk tasarımı yapılmıştır. Besleyici ve çıkıcı modülü 0,4 cm olarak seçilmiştir. Çıkıcı ve besleyici boyları değişkenlik göstermekte olup, ihtiyaç duyulduğu kadar besleyici ve çıkıcı boyu uzatılmalıdır. Şekil 69. , şekil 70. ve şekil 71.' de II. tasarıma ait yolluk, çıkıcı ve besleyici ölçüleri gösterilmiş olup şekil 72.' de döküm prosesi bölümleri gösterilmiştir.



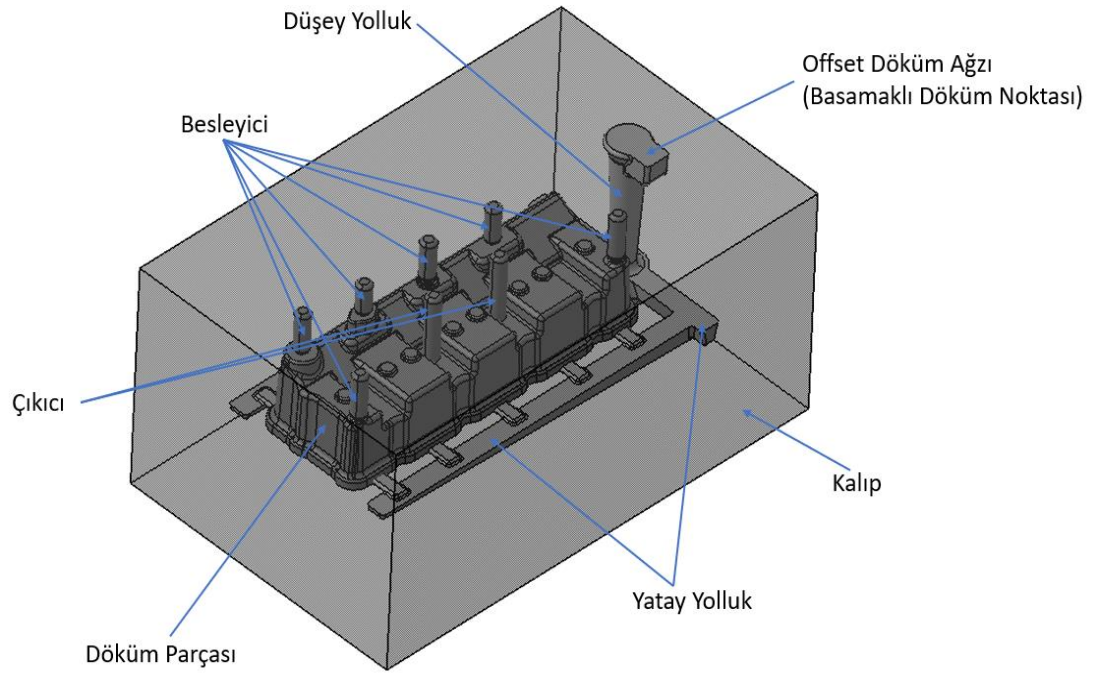
Şekil 69. Kum Kalıba Dökümde II. Yolluk Tasarımı Teknik Resmi Ön Görünüş



Şekil 70. Kum Kalıba Dökümde II. Yolluk Tasarımı Teknik Resmi Üst Görünüş



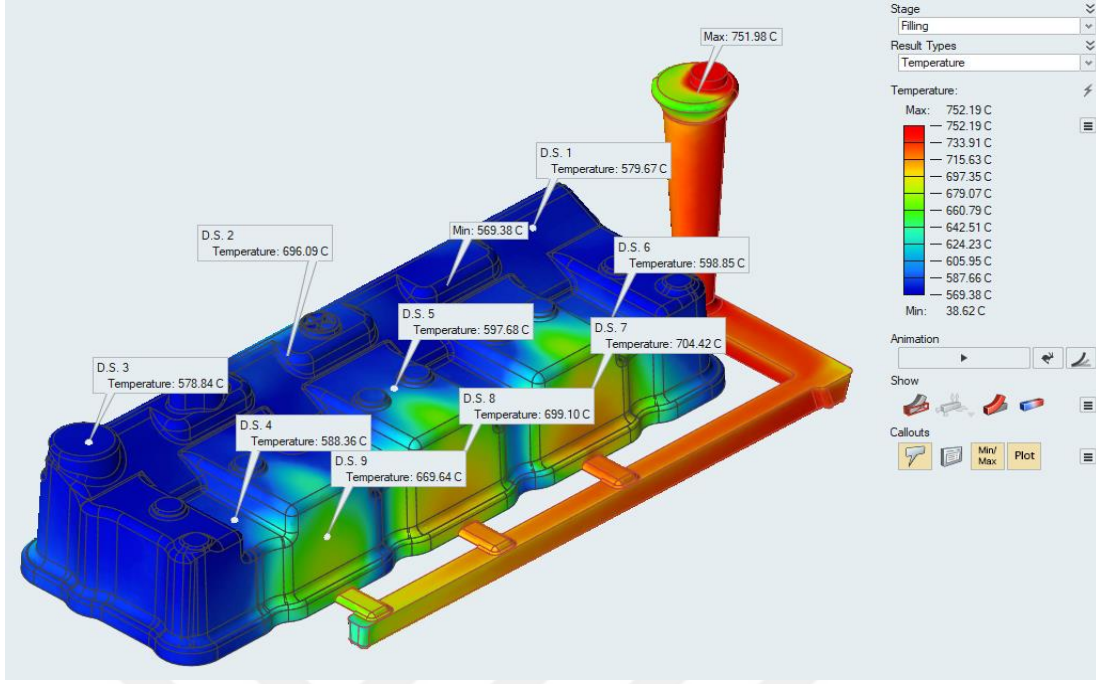
Şekil 71. Kum Kalıba Dökümde II. Yolluk Tasarımı Teknik Resmi Sağ Görünüş



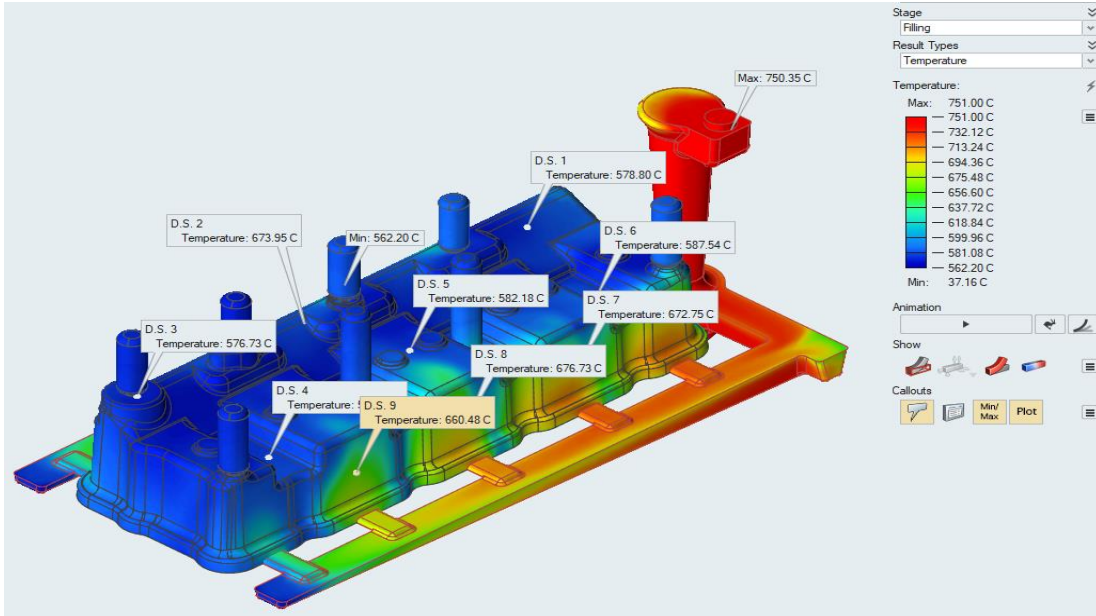
Şekil 72. Tasarım II. Kum Kalıba Döküm Prosesi Bölümleri

5.3.4. Kum Kalıba Döküm Simülasyonunda Kalıp Ve Parça Sıcaklık Dağılımları Karşılaştırması

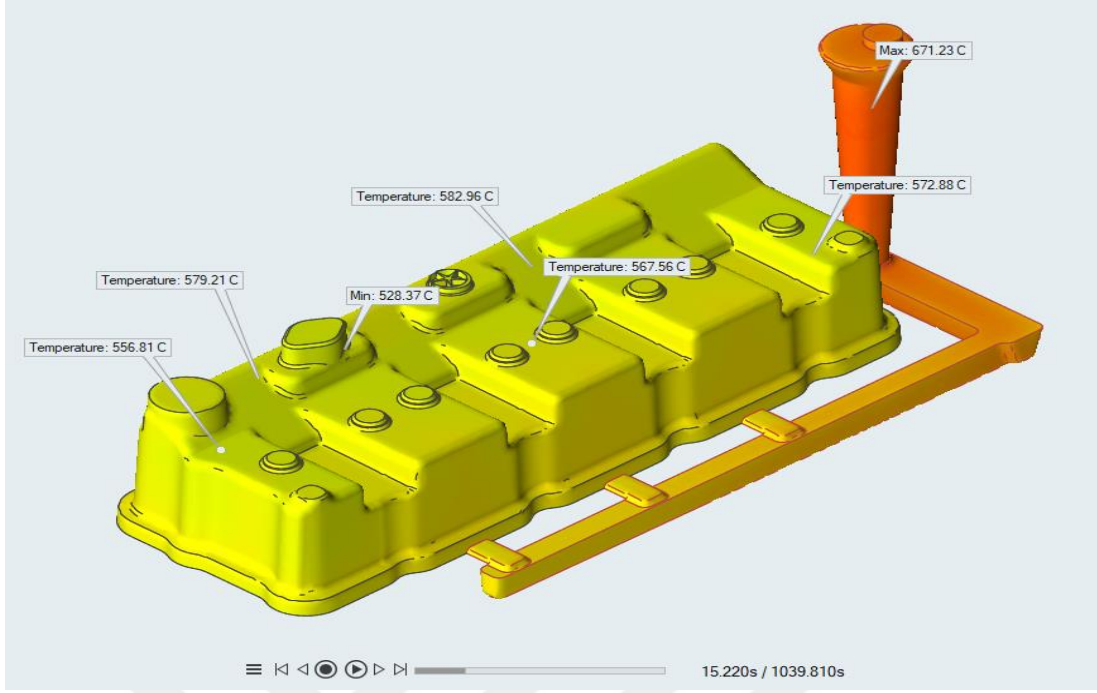
Alüminyum alaşımlarında hızlı soğuma döküm parçasının dayanımını arttırdığı bilinmektedir. Literatürde bu dayanım etkisinin en büyük sebebi, alüminyum alaşımlarının soğuma esnasında oluşturduğu dendrit yapısıdır. Dayanımdaki artışları sadece hızlı soğumadan dolayı oluşan dendrit yapısına bağlamak doğru değildir, hızlı soğuma ile birlikte birçok parametrede değişmektedir. Literatürde bu dayanım dendritlere bağlansa da diğer değişkenleri de incelemek gerekmektedir. Alüminyum alaşımları yaklaşık 555°C ötektik kompozisyona girmekte bu değişkende dayanıma etki etmektedir. Alüminyum döküm alaşımlarında sabit sıcaklık yerine sıcaklık aralıkları şeklinde katılaşma görülmelidir. Şekil 73. 'de gösterilen I. tasarım, Şekil 74. 'de gösterilen II. tasarıma ait döküm simülasyonundan alınan döküm sonu sıcaklıkları gösterilmiştir. Şekil 75.' de I. tasarım, şekil 76.' de II. tasarım için katılaşmanın başlamasından itibaren 15.saniyedeki sıcaklıklar gösterilmiştir. Şekil 77. ve şekil 78.' de sırasıyla I. ve II. tasarıma ait katılaşmanın başlangıcından itibaren 30.saniyeyi göstermektedir. İki tasarımda da maksimum kalıp aşınmasının görüldüğü noktalar sıvı metalin döküm ağzından aşağıya doğru indiği ve hızla çarptığı topuk noktalarıdır. I. tasarımda yatay yolluk açısı yeterli olmadığından sıvı metal kalıp içerisine aynı anda patlamamakta buda sıcaklıklara etki etmektedir. Topuk kısmındaki kalıp sıcaklıklarına bakıldığında, I. tasarımdaki maksimum kalıp sıcaklığı topuk noktasında 600°C - 550°C arasında değişmektedir. II. tasarımda ise 500°C ile 545°C arasında değişmektedir. Kalıp sıcaklığı arttıkça kalıp aşınması artmaktadır, bunun sebebi ise termal gerilmelerdir. Şekil 79.' de I. tasarıma ait döküm sonu sıcaklık grafiği ve şekil 80.' da II. tasarıma ait döküm sonu sıcaklık grafiği gösterilmiştir.



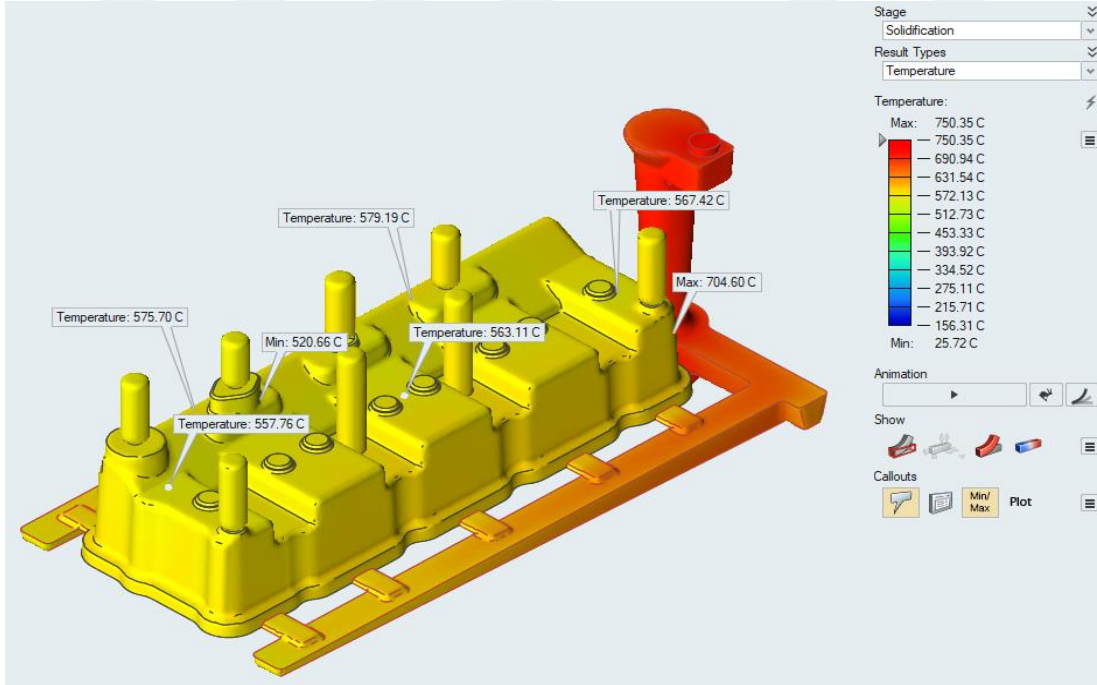
Şekil 73. I. Tasarıma Ait Belirlenmiş Kum Kalıba Döküm Sonu Sıcaklıkları



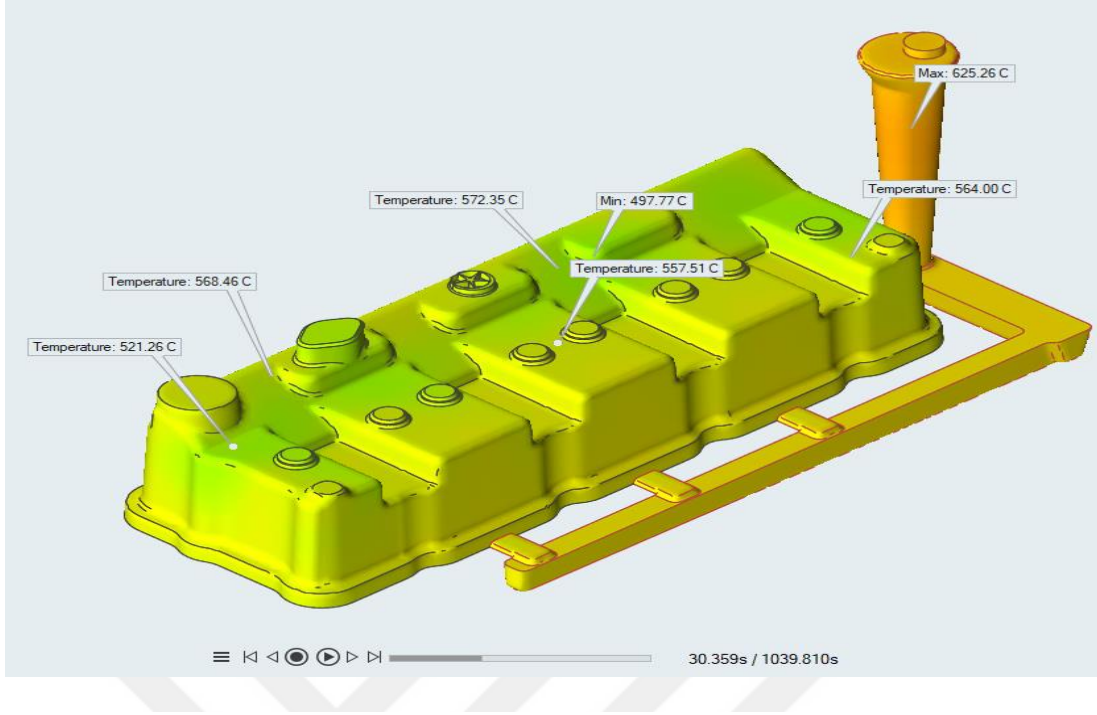
Şekil 74. II. Tasarıma Ait Belirlenmiş Kum Kalıba Döküm Sonu Sıcaklıkları



Şekil 75. I. Tasarıma Ait Belirlenmiş Noktalardaki 15.Saniye Katılaşma Sıcaklıkları



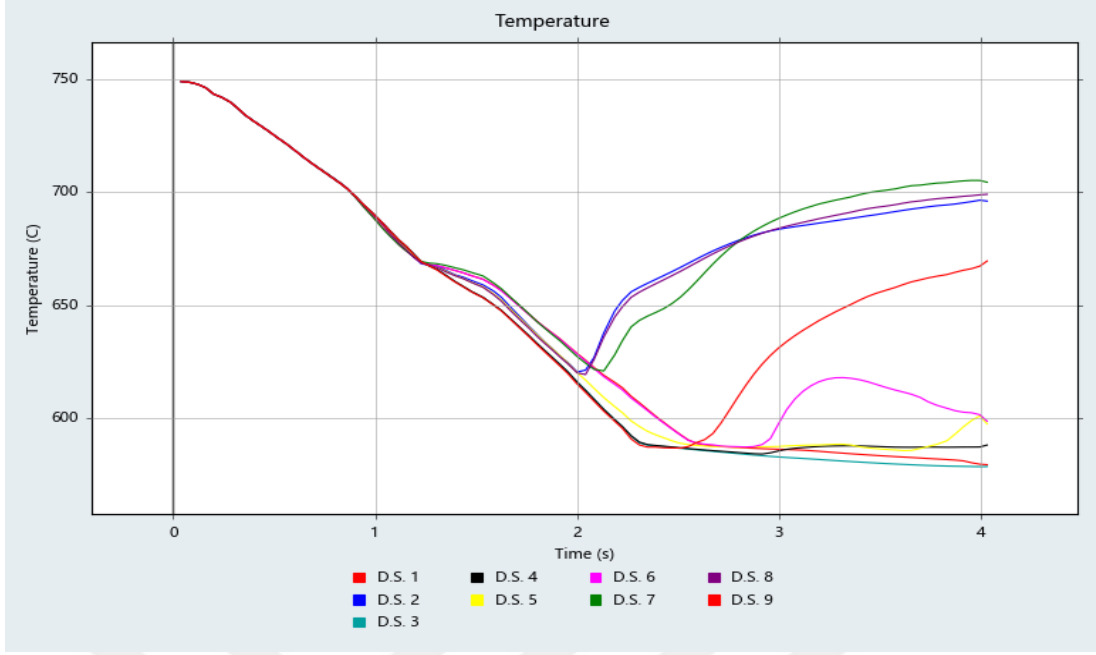
Şekil 76. II. Tasarıma Ait Belirlenmiş Noktalardaki 15.Saniye Katılaşma Sıcaklıkları



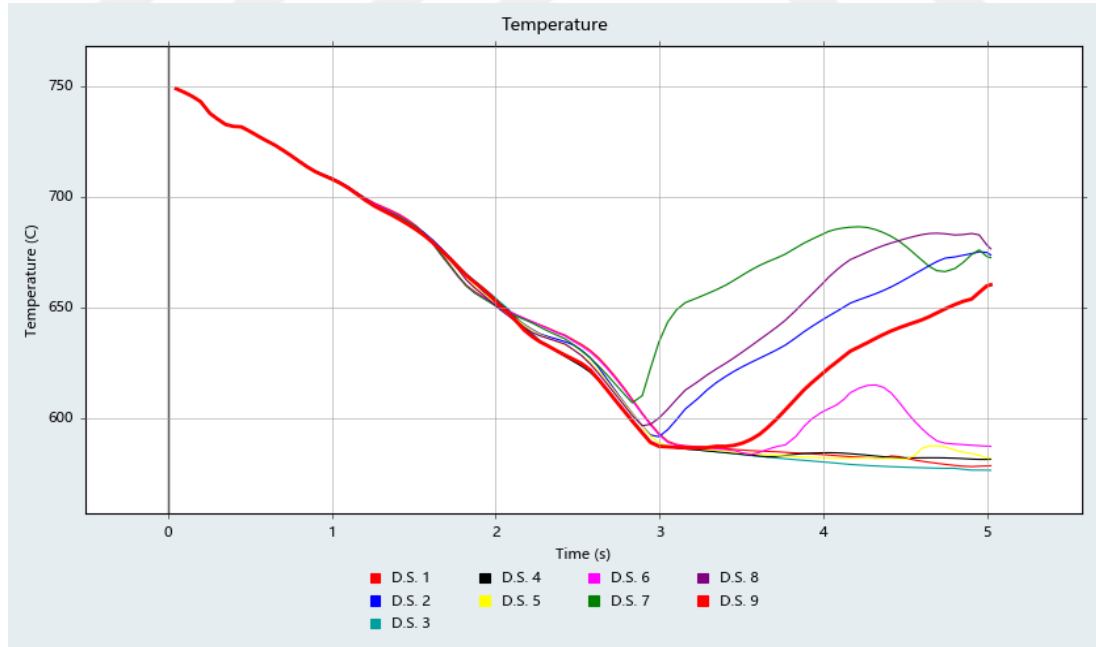
Şekil 77. I. Tasarıma Ait Belirlenmiş Noktalardaki 30.Saniye Katılaşma Sıcaklıkları



Şekil 78. II. Tasarıma Ait Belirlenmiş Noktalardaki 30.Saniye Katılaşma Sıcaklıkları



Şekil 79. I. Tasarıma Ait Belirlenmiş Noktalardaki Dolum Sonu Sıcaklıkları Grafiği



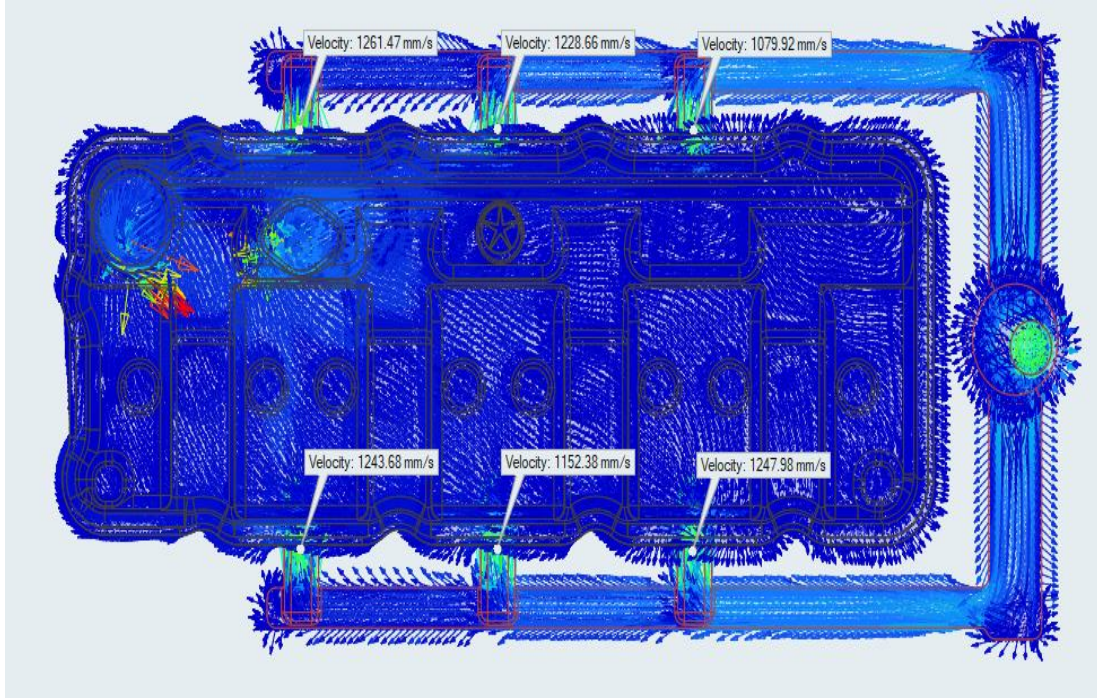
Şekil 80. II. Tasarıma Ait Belirlenmiş Noktalardaki Dolum Sonu Sıcaklıkları Grafiği

5.3.5. Kum Kalıba Döküm Simülasyonunda Sıvı Metal Akış Hızları Karşılaştırması

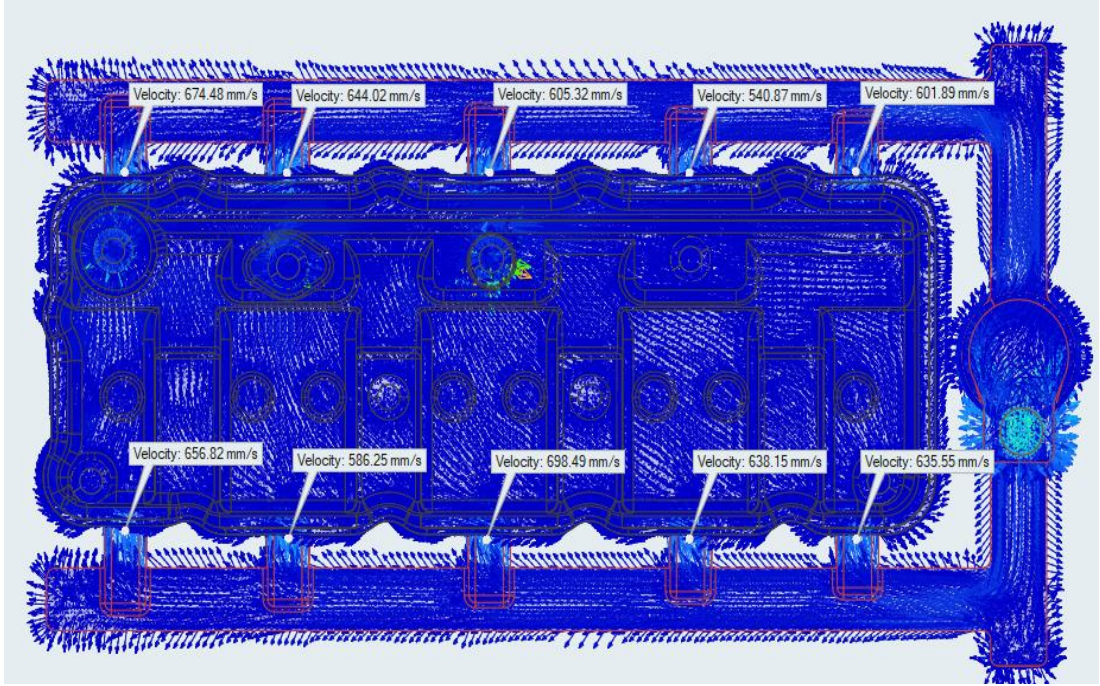
I. ve II. tasarımları için sıvı metal akış hızı simülasyonları yapılmıştır. Her iki tasarım içinde meme kesiti kalınlığı 4 mm olarak yolluk tasarımı yapılmıştır. Sıvı metal akışının en hızlı olduğu bölge yolluğun parçaya patladığı meme kesitindedir. I. tasarıma ait sıvı metal hızları şekil 81.' de, II. tasarıma ait sıvı metal hızları şekil 82.' de gösterilmiştir. Literatür incelendiğinde alüminyum alaşımları için sıvı metal hızları kum kalıba döküm için yaklaşık 0,5 m/s olmasının uygun olduğunu söylemek mümkündür. (Campbell 2003, 32) Nitekim kritik hız hesaplandığında;

$$V_{\text{kritik}} = 2^4 \sqrt{\gamma g / \rho}; 2 \times 4 \sqrt{0,914 \frac{\text{N}}{\text{m}} \times 9,81 \text{ m/s}^2 / 2670 \text{ kg/m}^3} = 0,48 \text{ m/s}$$

elde edildiğini görmek mümkündür. Alüminyum için yüzey gerilimi $0,914 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ olarak alınmıştır. (Campbell 2003, 32) Bu şekilde II. tasarımın metal akışı için uygun olduğunu söylemek mümkün olacaktır.



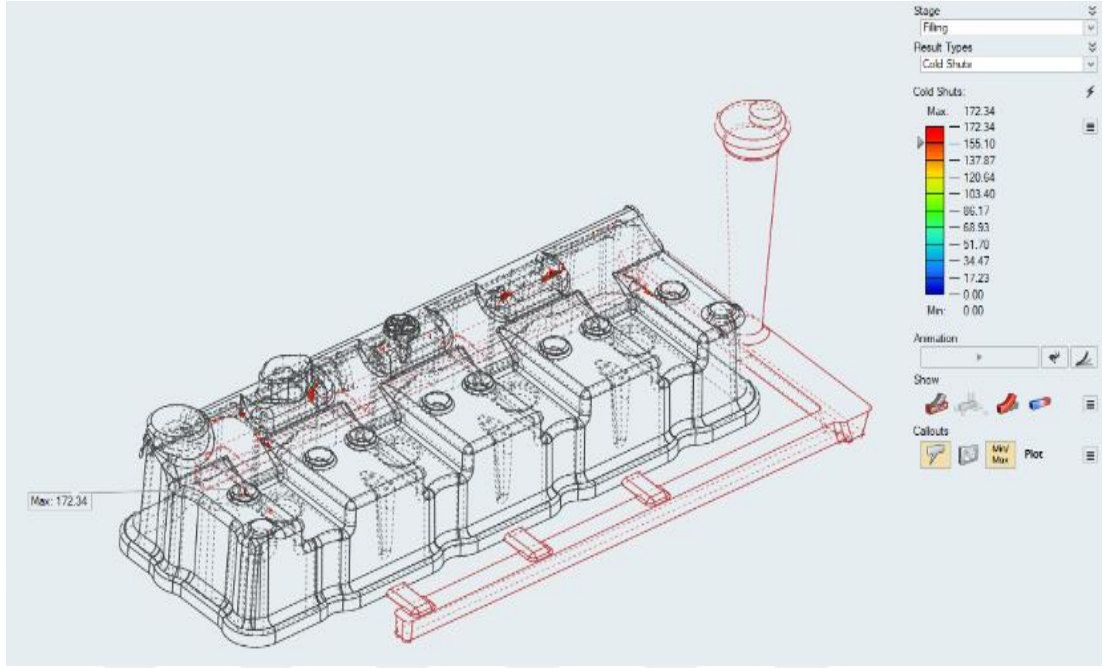
Şekil 81. I. Tasarıma Ait Meme Kesitindeki Sıvı Metal Hızları



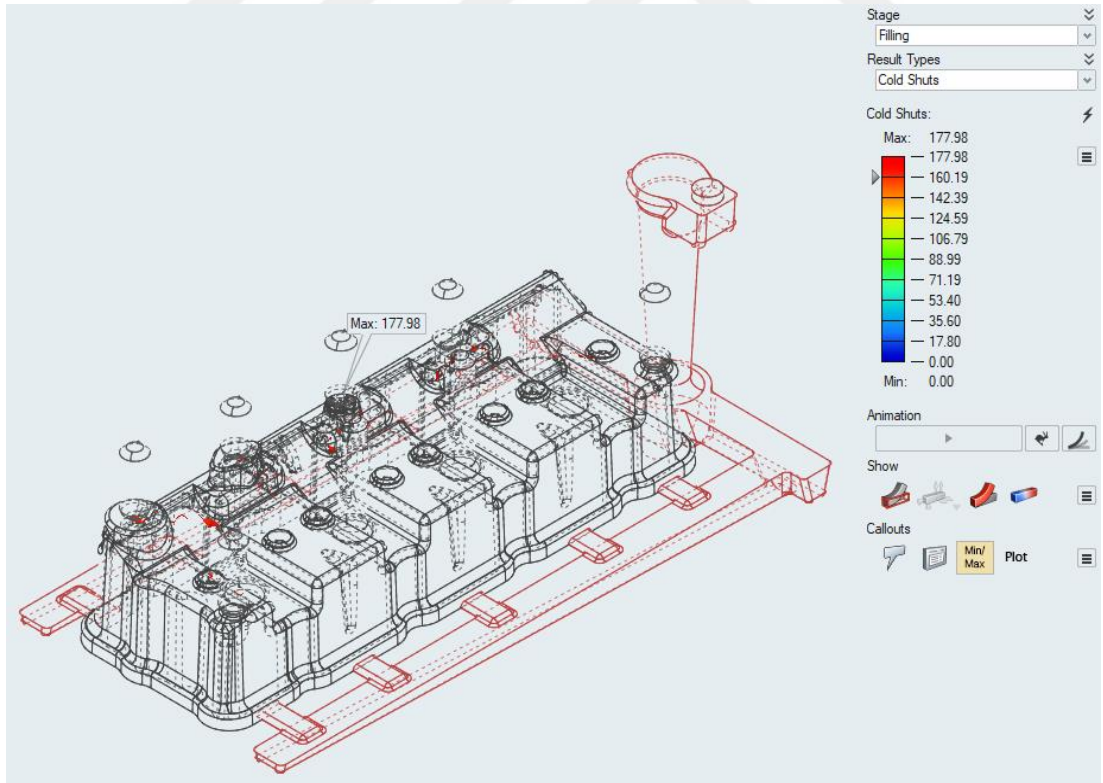
Şekil 82. II. Tasarıma Ait Meme Kesitindeki Sıvı Metal Hızları

5.3.6. Kum Kalıba Döküm Simülasyonunda Soğuk Birleşme Karşılaştırması

Sıvı metalin iki ayrı kanaldan kalıp boşluğunu doldururken erken katılaşma olması sebebi ile birleşme olmaması durumudur. I. dolum süresi brüt döküm ağırlığına bağlı olarak 4sn, II. tasarımın dolum süresi 5sn' dir. II. tasarımda 10 koldan parçanın beslenmesi ile daha lineer bir dolum sağlanmış aynı zamanda besleyici ve çıkıcılar ile erken katılaşma önlenmeye çalışılmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda II. tasarımın soğuk birleşme yüzeyleri I. tasarıma nispeten daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Şekil 83' de I. tasarıma ait soğuk birleşme, şekil 84.' de II. tasarımın soğuk birleşme noktaları gösterilmiştir.



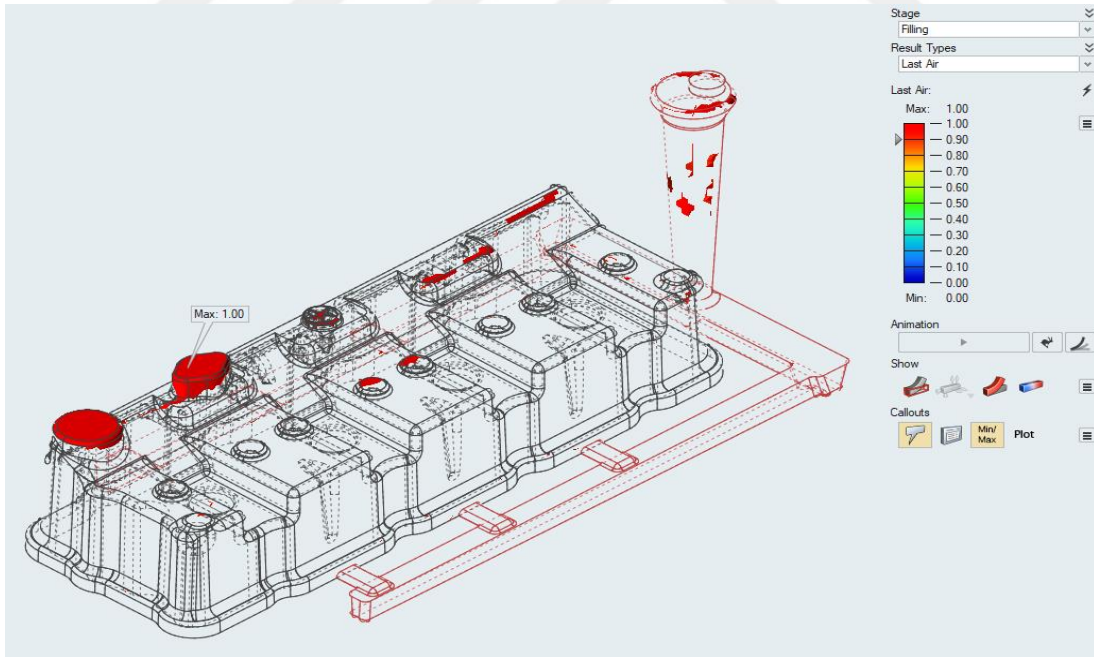
Şekil 83. I. Tasarıma Ait Soğuk Birleşme Noktaları



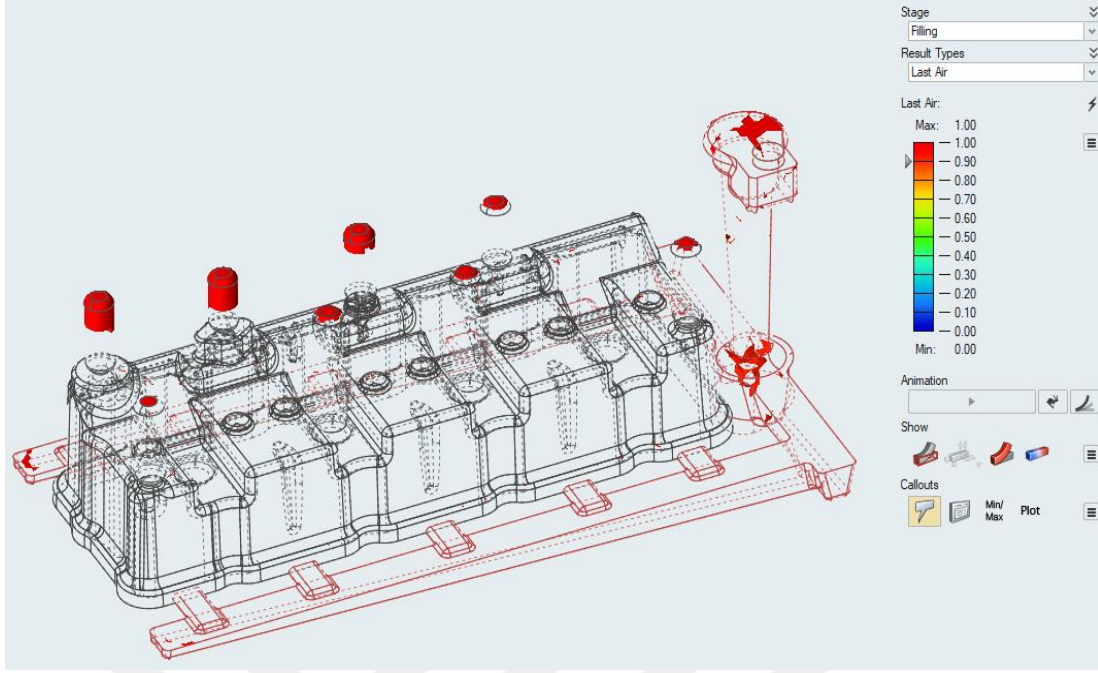
Şekil 84 II. Tasarıma Ait Soğuk Birleşme Noktaları

5.3.7. Kum Kalıba Döküm Simülasyonunda Son Hava Miktarı Karşılaştırması

Kum kalıba döküm prosesinde dolum döküm ağırlığına bağlı olarak gerçekleştiğinden kalıp boşluğunu doldurmuş olan hava sıvı metal içerisine sıkışarak döküm parçasının üst kısımlarına çıkmaktadır. Havanın hapsediği sıvı metali döküm parçasından uzaklaştırmak için tasarımda besleyici ve çıkıcılar kullanılmıştır. Kullanılan besleyici ve çıkıcılar parçayı hem soğuk birleşme hatalarından uzak tutacak aynı zamanda son havayı da besleyicinin içerisine hapsedecektir. Besleyici ve çıkıcılar kullanılmadan simülasyon yapıldığında döküm parçasının içerisinde oksit miktarının çok fazla olduğu görülmüştür. Döküm parçasının içeresine sıkışan hava poroziteye neden olmaktadır. Son hava miktarını gösteren simülasyon parametresi bize havanın nerede sıkışıp hapsolacağını göstermektedir. I. yolluk tasarımında havanın hapsediği sıvı metal kalıbı terk etmeden döküm parçasının üst kısımlarına çıktığı ve II. tasarıma kıyasla daha kötü sonuçlar verdiği görülmüştür. Şekil 85.' de I. yolluk tasarımına ait son hava miktarı, şekil 86.' de II. tasarıma ait olan son hava miktarı görülmektedir.



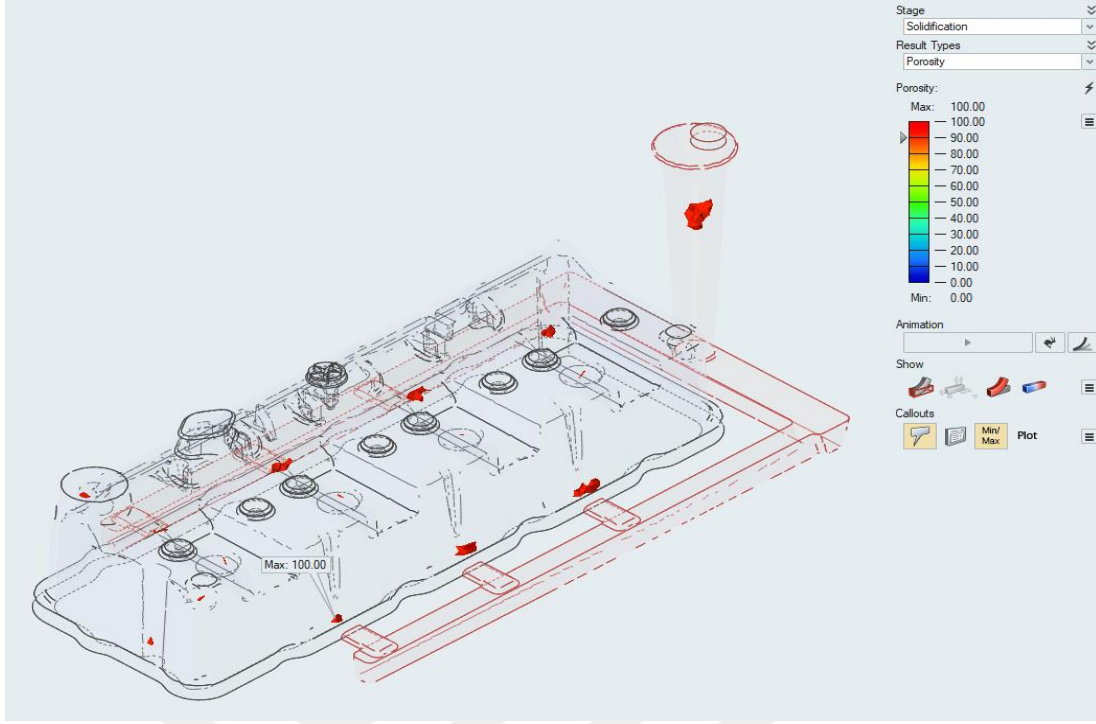
Şekil 85. I. Tasarıma Ait Son Hava Miktarı



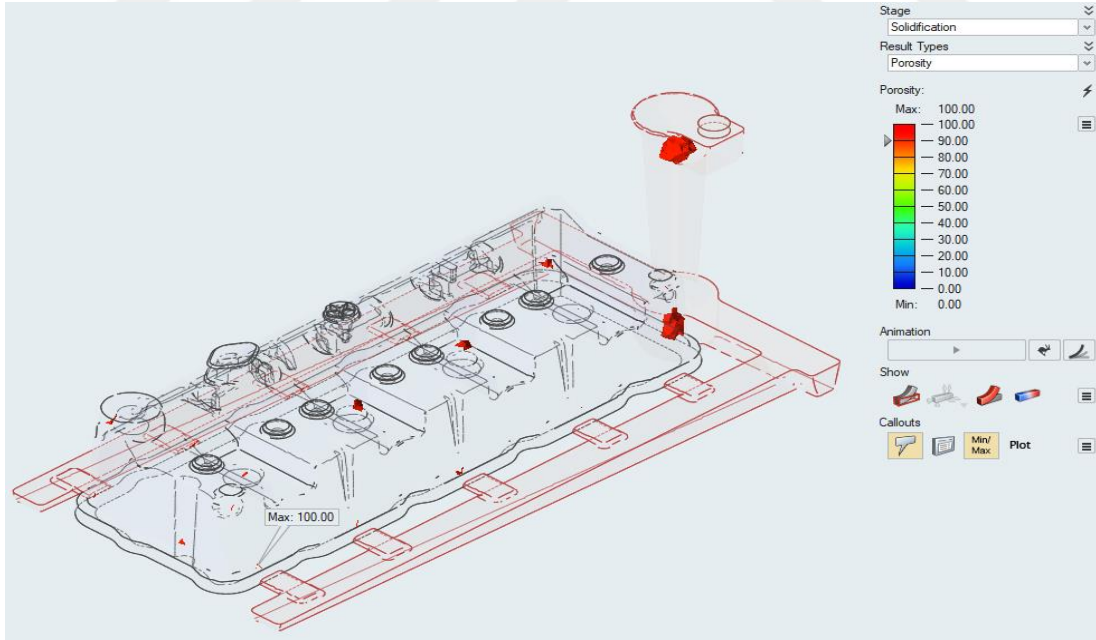
Şekil 86. II. Tasarıma Ait Son Hava Miktarı

5.3.8. Kum Kalıba Döküm Simülasyonunda Porozite Miktarı Karşılaştırması

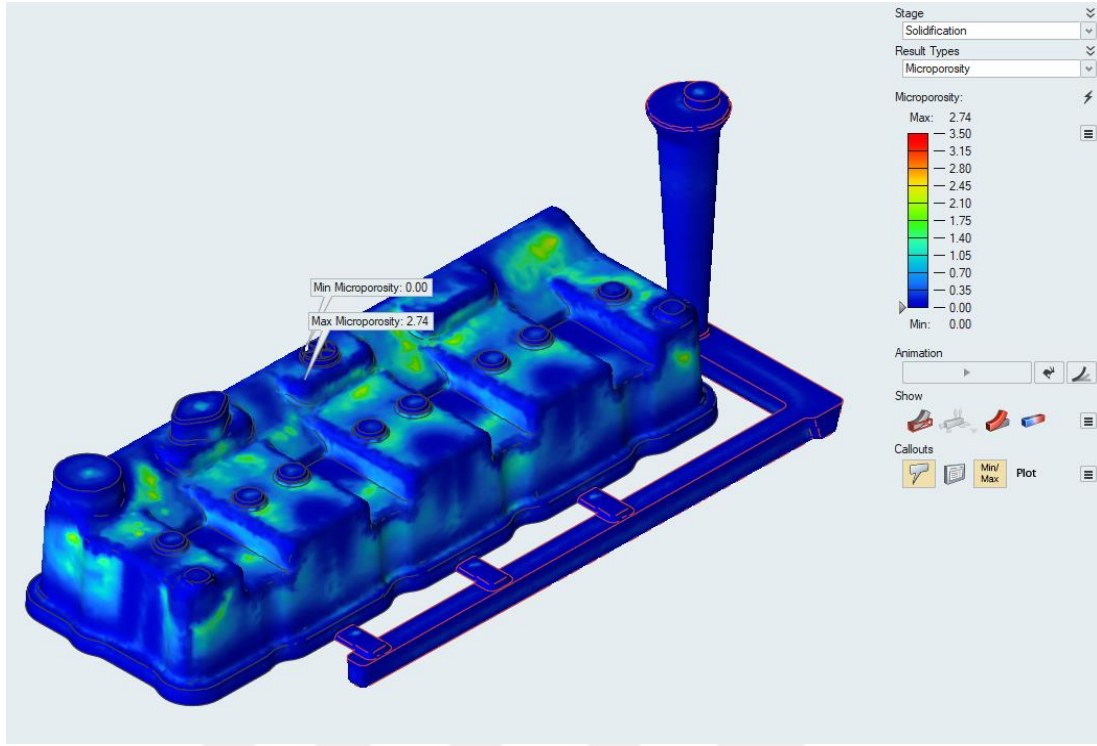
Mikro porozite katılma esnasında gazların oluşturduğu boşluklar olup, makro porozite ise katılma esnasında malzemenin çekintisinden dolayı kaynaklanan boşluklarıdır. I. tasarımda da makro porozitenin gerçekleştiği noktalar sıvı metalin parçaya patladığı noktalara yakın çıkmakta ve yetersiz beslemeden kaynaklandığı görülmektedir. II. tasarımda ise makro porozite besleyici ve çıkıcıların iç kısımlarında kalmış döküm parçasında katılmasından dolayı çekinti yok denecek kadar azdır. Mikro porozite değerleri karşılaştırıldığında II. tasarımın I. tasarıma kıyasla daha iyi olduğu görülmektedir. I. tasarıma ait makro porozite miktarı şekil 87.' de, şekil 88.' de II. tasarıma ait makro poroziteler verilmiştir. I. tasarıma ait mikro porozite miktarı şekil 89.' de, şekil 90' da II. tasarıma ait mikro poroziteler gösterilmiştir.



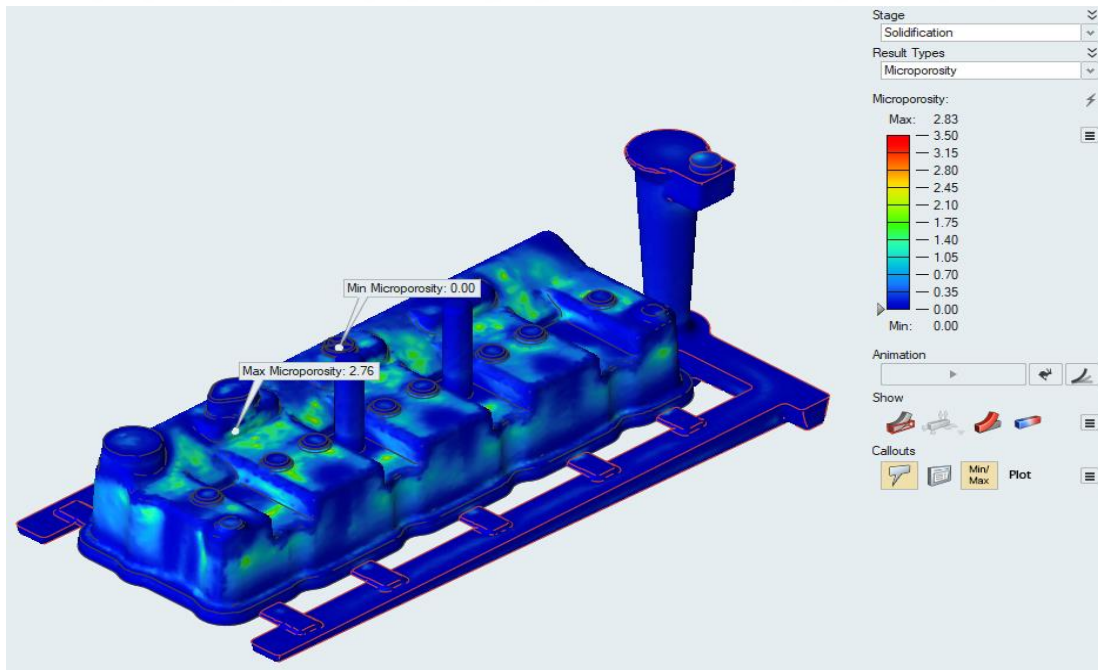
Şekil 87. I. Tasarıma Ait Makro Porozite



Şekil 88. II. Tasarıma Ait Makro Porozite



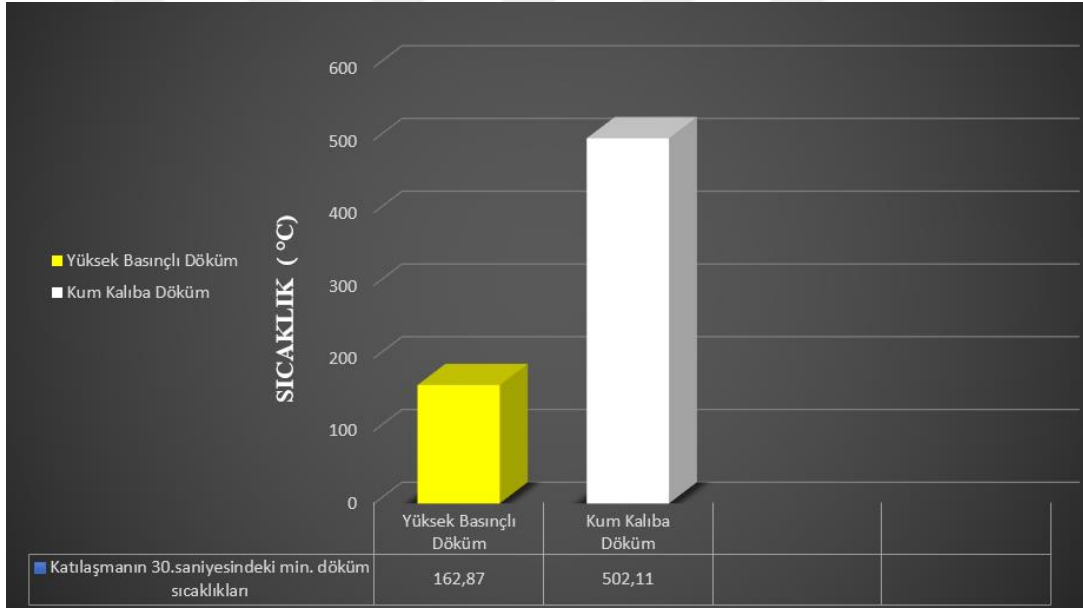
Şekil 89. I. Tasarıma Ait Mikro Porozite



Şekil 90. II. Tasarıma Ait Mikro Porozite

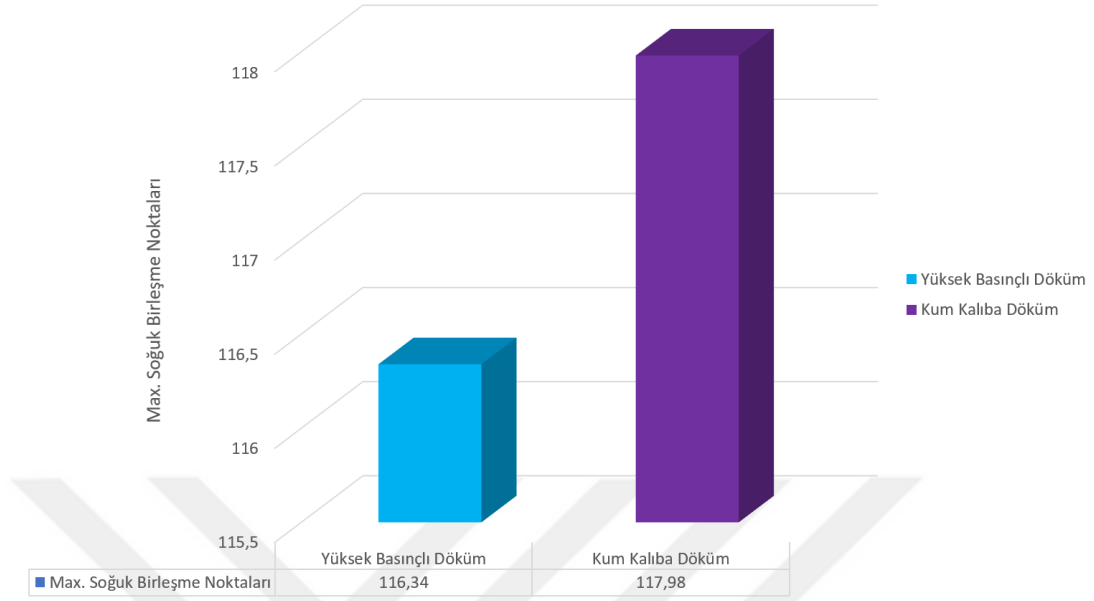
5.4. Yüksek Basıncılı Döküm Ve Kum Kalıba Döküm Simülasyonu Çıktıları

Yapılan simülasyonlar neticesinde kum kalıba döküm ve yüksek basınçlı döküm için yapılan II. tasarım yolluklar I. tasarım yolluklara göre çok daha iyi sonuçlar verdiği ayrıntılı olarak irdelenmiştir. Bu iki döküm yönteminin kendine has avantajları ve dezavantajları vardır fakat bu kısımda alüminyum alaşımı ile simüle edilmiş külbütör kapağı nezdinde irdeleme yapılacaktır. Parça ve sıcaklık dağılımları karşılaştırıldığında, yüksek basınçlı dökümün kum kalıba döküm yöntemine göre çok daha hızlı bir şekilde katılaşma görülmektedir. Alüminyum alaşımı içerisindeki dendritik yapılardan dolayı dayanımın yüksek basınçlı döküm yönteminde daha fazla olduğu saptanmaktadır. Şekil 91.' da II. tasarımlara ait katılaşmanın 30.saniyesine ait simülasyon sonucu değerleri gösterilmiştir.



Şekil 91. 30.Saniyedeki Katılaşma Sıcaklıklarının Karşılaştırması

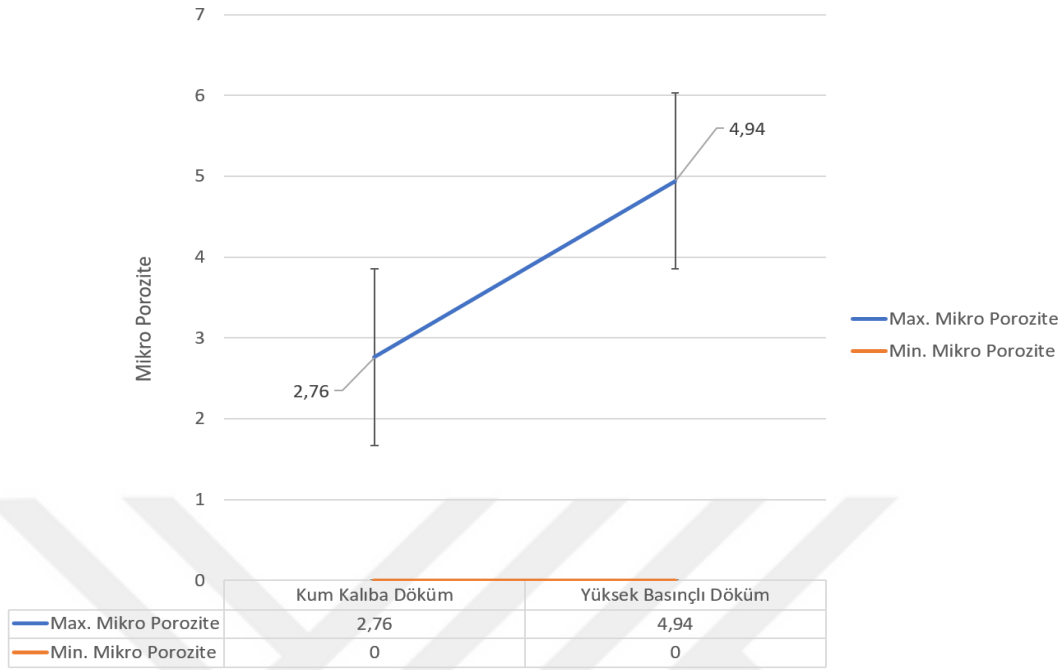
Sıvı metal hızlarına bakıldığında; yüksek basınçlı döküm için kabul edilebilir sınırlarda olduğunu aynı şekilde kum kalıba döküm yöntemi içinde kabul edilebilir aralıklarda olduğu görülmektedir. Soğuk birleşme noktaları ise; yüksek basınçlı döküm yönteminin kum kalıba döküm yöntemine göre çok daha az olduğu görülmektedir. Şekil 92.' de II. tasarımlara ait soğuk birleşme sonuçları grafikte gösterilmiştir.



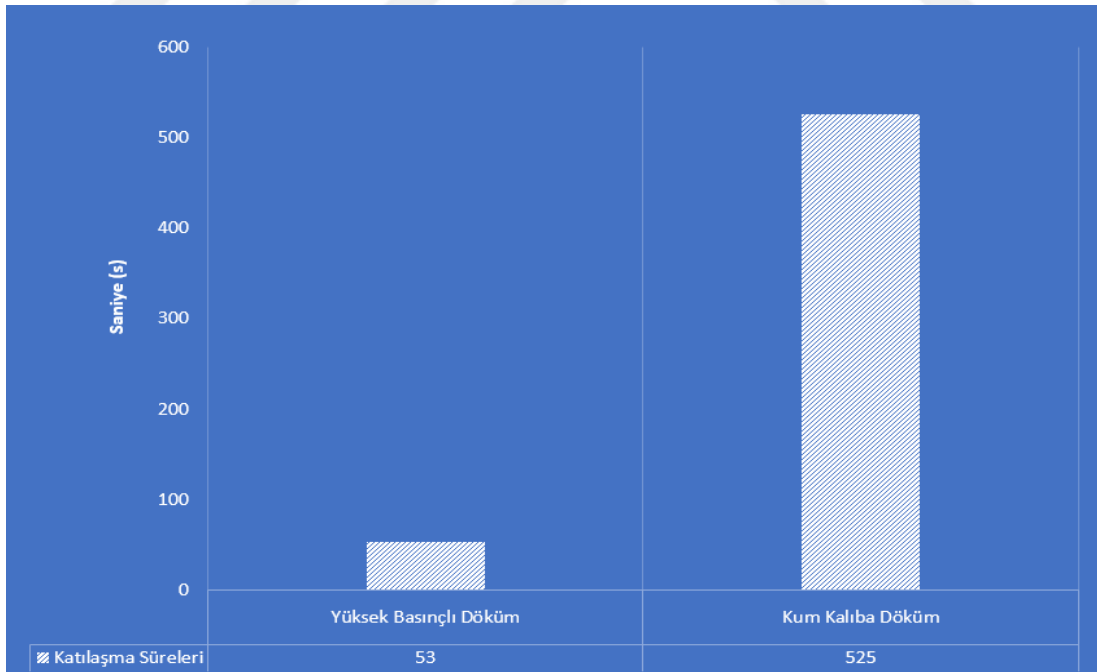
Şekil 92. Soğuk Birleşme Noktalarının Değerlerinin Karşılaştırması

Son hava miktarlarına bakıldığında, yüksek basınçlı dökümde havalandırma ceplerine oksitlen karıştığı sıvı metalin iletilmesi halinde kum kalıba döküm yöntemine göre çok daha iyi sonuçlar vermektedir. Makro porozite için; kum kalıba döküm yönteminde makro porozite değerini düşürmek için besleyiciler kullanılmış olduğundan döküm ağırlığı artmıştır. Yüksek basınçlı dökümde daha az ıskarta oranı kullanılarak birbirlerine çok yakın makro porozite değerlerinin elde edildiği görülmüştür.

Mikro porozite oranlarının kum kalıba döküm yönteminde daha iyi sonuçlarının verdiğini fakat literatür taraması ve piyasa araştırması yapıldığında mikro porozite indeksi, 0-1 arasında ise mükemmel, 1-2 arasında ise iyi, 2-5 arasında ise orta, 5 ve üzerinde ise kötü olduğu bilinmektedir. Yapılan iki farklı döküm yöntemi simülasyonunda da mikro porozite değerleri 2-5 arasında olduğundan orta kalitede olduğunu söylemek mümkündür. Şekil 93.' de II. tasarımlara ait mikro porozite değerlerinin gösterildiği grafik verilmiştir.

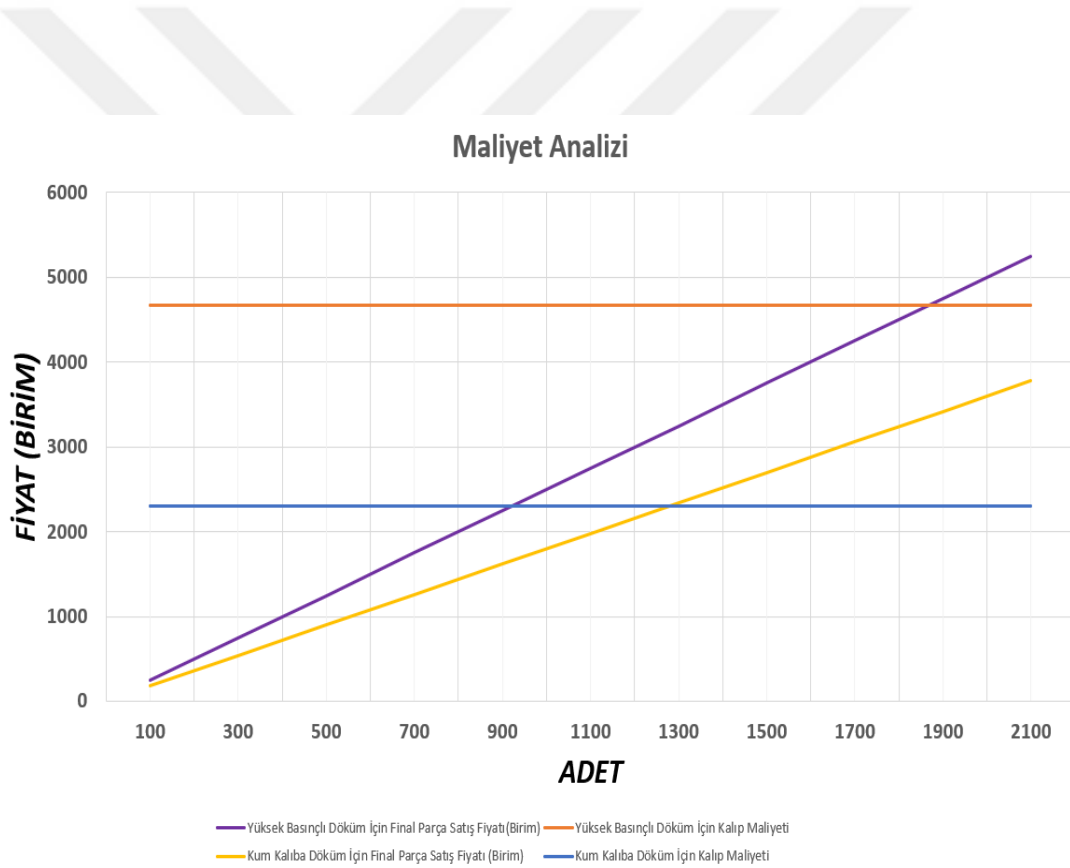


Şekil 93. Mikro Porozite Sonuçlarının Karşılaştırması



Şekil 94. Katılma Sürelerinin Karşılaştırması

Iskarta oranı toplam yolluk ağırlığı ve diğer döküm prosesi bölümlerinin ağırlıkları toplamının, brüt döküm ağırlığına bölümü ile bulunmuştur. Kum kalıba döküm yönteminde ıskarta oranı %48,9 olarak bulunmuş olup bu oran yüksek basınçlı dökümde %43,9 olarak bulunmuştur. Maliyetler açısından; yüksek basınçlı dökümde metal kalıp kullandığından maliyetlerin kum kalıba göre çok daha yüksek olduğu bilinmektedir. Eğer adetler yüksekse ve seri üretime uygun olarak tasarım yapılmışsa ürünler için yüksek basınçlı döküm daha avantajlıdır. Kalıp maliyetinin değişmediğini şekil 95.' de görmek mümkün olacaktır ki bu da döküm ile üretimin adetli parçalarda uygulanmasının makul olduğunu göstermektedir. II. tasarımlara ait katılma süreleri şekil 94.' de, maliyet analizi şekil 95.' de gösterilmiştir.



Şekil 95. Maliyet Analizi

Kum kalıba döküm ise prototip aşamasındaki ürünlerde uygulanması maliyet açısından daha olumlu sonuçlar verecektir. Ayrıca kum kalıba döküm hacim boşlukları bulunan karmaşık parçalar için uygunken, hacim boşlukları basit ve kalıptan çıkartılabilecek geometrili parçalar için yüksek basınçlı döküm uygundur. Bu iki döküm yönteminin hangisinin seçileceği konusu parça genel et kalınlığı ve parçanın brüt ağırlığıdır. Teze konu olan alüminyum alaşımlı külbütör kapağının yüksek basınçlı döküm ile üretiminin yapılması hem seri üretim açısından uygun olacaktır. Mühendislik tasarımlarında en büyük problemlerden biride ağırlık olduğundan döküm parçası da hafifletilmiş olacaktır. Yüksek basınçlı döküm ve kum kalıba döküm için; kalıp maliyeti, parça maliyeti ve amortisman adeti tablo 12.' de gösterilmiştir.

Tablo 12. Yüksek Basınçlı Döküm Ve Kum Kalıba Döküm İçin Birim Maliyetler Ve Amortisman Adetleri

Yüksek Basınçlı Döküm		Kum Kalıba Döküm	
Kalıp Maliyeti (Birim)	4666	Kalıp Maliyeti (Birim)	2300
Parça Maliyeti (Birim)	2,5	Parça Maliyeti (Birim)	1,8
Amortisman Adeti	1866	Amortisman Adeti	1277

Tablo 12.' de gösterilen değerler birim bazda verilmiştir, para birimi değildir. Verilmiş olan değerler oran olarak gerçeği yansıtmaktadır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Gelişen döküm sektörü ile birlikte birçok döküm simülasyon programları da geliştirilmiştir. Döküm yöntemleri birçok üretim yöntemine kıyasla maliyetli ve bir o kadarda dikkatle sürdürülmesi gereken bir üretim sürecine sahiptir. Üretilmesi hedeflenen bir parça deneme yanılmalar yapılarak üretimi çok zordur ve maliyetli olacaktır. Bunun yerine döküm simülasyonlarında döküm parçaları simüle edilerek optimum döküm prosesi tasarımı yapılmaktadır. Bu şekilde maliyetler minimum düzeylere indirilmektedir. “AFS 53. Dünya döküm üretimi istatistiklerine göre Türkiye, Dünyada 11. ve Avrupa da 3. Sırada yer almaktadır.” (Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği 2020) Gelişen döküm sektörü ile birlikte Türkiye’ nin de döküm sektörüne katkısının ilerleyen yıllarda artması hedeflenmektedir.

Çalışmada, traktör motorunda kullanılan külbütör kapağının yüksek basınçlı döküm ve kum kalıba döküm yöntemleri ile döküm simülasyonu analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan simülasyonlara göre seri üretimde kullanılacak alüminyum alaşımlı külbütör kapağının optimize döküm yönteminin seçimi yapılmıştır. İlk yapılan yolluk tasarımlarında çıkan problemleri ortadan kaldırabilmek amacı ile yolluk tasarımı hesaplamaları ışığında optimize ikinci yolluk tasarımları yapılmıştır. Yüksek basınçlı döküm simülasyonlarında yolluk tasarımının önemini saptayabilmek için döküm yöntemine ait olan döküm sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, faz hızları gibi parametreler değiştirilmeden simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Aynı şekilde kum kalıba döküm içinde yolluk tasarımlarının önemini anlayabilmek adına kalıp sıcaklığı, kum özelliği, kalıp malzemesi, besleme yönü gibi parametreler değiştirilmemiştir. Bu şekilde yapılan simülasyonlarda yolluk tasarımlarının döküm parçasına ne şekilde ve nasıl etki edeceği net bir şekilde ortaya çıkmıştır. Yüksek basınçlı döküm simülasyonu için yapılan meme kesiti değişikliği, meme sayısı, yolluk genişliği ve derinliği ile istenilen sonuçların elde edildiği görülmüştür. Bu kapsamda yeniden tasarımı yapılan ikinci yolluğun işe yaradığı açıktır. Aynı şekilde kum kalıba döküm simülasyonunda görülen soğuk birleşme noktaları, son hava miktarı ve erken katılaşma gibi problemlerin önüne geçmek adına ikinci tasarımda besleyici, çıkıcı, meme sayısı değişikliği, meme kesiti kalınlığı, yolluk tasarımındaki ölçüsel değişikliklerin işe yaradığı açıktır. Simülasyon sonucundaki değerler yapılan yolluk tasarımı hesaplamalarını doğrulamakta olduğundan simülasyonun doğru şekilde

çalıştığını söylemek mümkündür. Yüksek basınçlı döküm simülasyonu için külbütör kapağının genel et kalınlığı 3 mm olarak tasarım yapılmış olup, kum kalıba döküm yöntemi için 5 mm olarak tasarım yapılmıştır. Simülasyonlar külbütör kapağı için yüksek basınçlı döküm ile üretilmesinin daha avantajlı olacağını göstermektedir. Bu şekilde toplam döküm ağırlığı kum kalıba göre %39,7' lik hafifleme göstermektedir. Ayrıca belirlenen karşılaştırma parametreleri de ayrıntılı olarak incelenmiştir.

İki döküm yöntemi külbütör kapağı nezdinde karşılaştırılmış ve yüksek basınçlı döküm yöntemi ile külbütör kapağı üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen külbütör kapağı firma içi kalite kontrol sürecine tabi tutulmuştur. Döküm yöntemlerine göre farklı yolluk tasarımları yapılmış ve yapılan yüksek basınçlı döküm simülasyonlarına ek olarak şartlandırıcı ve vakum uygulaması kullanıldığında daha iyi sonuçların elde edileceği düşünülmektedir. Kum kalıba dökümde ise yaş kum kalıplama yerine kuru kum kalıplama yapıldığında kalıp sıcaklığı yükseleceğinden soğuk birleşme noktaları ve kalıp aşınması değerlerinin daha iyi sonuçlar vereceği düşünülmektedir. Yapılacak prosese göre iyi bir şekilde kalibre edilmiş döküm simülasyonu kullandığında kabaca tasarımı yapılmış birinci yolluk tasarımlarındaki hatalar ortaya çıkacak ve kalıp malzemesi, işçilik, sıvı metal maliyetleri gibi kayıpların önüne geçmek mümkün olacaktır. Ayrıca yapılan simülasyonlar ile mevcut ürünlerdeki döküm hataları iyileştirilebilir veya ürün geliştirilmesi amacıyla da simülasyon parametreleri çıktıları da incelenebilmektedir.

KAYNAKÇA

- Akar, Mustafa. Döküm Hataları Ve Önlenmesi İçin Tasarım Yöntemleri. Denizli: T.C. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, (2018).
- Aksel, Levent. Metal Enjeksiyon Kalıplarında Yolluk Tasarımı. Konya: T.C Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2008).
- Altair Engineering, Inc. <https://solidthinking.com>.
https://solidthinking.com/help/2019.3/cast/en_us/topics/cast/process_params/how_pressure_process_c.htm (E.T: 30.10.2020).
- Aran, Ahmet. Metal ve Döküm Teknolojisi, 34, 43,46, 52-53, 71, 74, 77-78, 80-81. İstanbul: İTÜ Makina Fakültesi, (2007).
- Ataçelik Dökümhanesi, <http://www.atacelik.com/>.
<http://www.atacelik.com/images/0002.jpg> (E.T: 08.04. 2021).
- Brown, John R. Foseco Non-Ferrous Foundryman's Handbook. 11. London: Butterworth-Heinemann, (1999).
- Came s.p.a. <https://came-italy.com>. <https://came-italy.com/wp-content/uploads/2018/11/Came-Die-casting-proprietary.jpg> (E.T: 21.11.2020).
- Campbell, John. The New Metallurgy Of Cast Metals Castings., 32. England: Elsevier Science Ltd., (2003).
- Cihanay Döküm LTD. ŞTİ. <https://www.cihanaydokum.com>.
<https://www.cihanaydokum.com/kum-dokum/> (E.T: 18.10.2020).
- CustomPartNet. <https://www.custompartnet.com>.
<https://www.custompartnet.com/wu/images/sand-casting/sand-casting-mold.png> (E.T: 18.10.2020).
- www.custompartnet.com. <https://www.custompartnet.com/wu/images/permanent-mold-casting/permanent-mold-casting.png> (E.T: 08.04.2021).

Çetin, Arda. <https://dokumhane.net>. 16.12.2018.
<https://dokumhane.net/kutuphane/aluminyum-silisyum-dokum-alasimlarina-genel-bir-bakis/> (E.T: 12.12.2020).

Çevik Teknik Metalurji. <http://www.cevikmetal.com>.
<http://www.cevikmetal.com/hassas-dokum-prosesleri/> (E.T: 28.10.2020).

Dubey, Shashank , ve Smruti Rekha Swain. Numerical investigation on solidification in casting using ProCAST. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. India: IOPscience, (2019).

Dynacast. <https://www.dynacast.com>. <https://www.dynacast.com/en-gb/resources/material-information/die-cast-metals/aluminium/46000> (E.T: 30.01.2021).

Eker, Ayşegül AKDOĞAN. <http://www.yildiz.edu.tr>. 20 04 2013.
http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/plastikmalzeme/Plastiklerin_Sekillendirme_Yontemleri_Son.pdf (E.T: 10.03.2019).

EngineerStudent.co.uk. http://www.engineerstudent.co.uk/die_casting.html.
http://www.engineerstudent.co.uk/Images/die_casting_diagram_large.png (E.T: 21.11.2020).

Erdin, Muhammed Emin. <http://web.hitit.edu.tr>.
<http://web.hitit.edu.tr/dosyalar/materyaller/eminerdin@hititedutr150320180L7W9G0I.pdf> (E.T: 28.03.2021).

Güler, Kerem Altuğ. Hassas Dökümde Boyutsal Hassasiyete Ve Yüzey Kalitesine Etki Eden Unsurlar. İstanbul: T.C. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2012).

HTE Endüstriyel Kontrol Sistemleri San. Tic. Ltd. Şti. <https://htecontrol.com>. 11 04 2021. <https://htecontrol.com/wp-content/uploads/2020/07/aluminyum-enjeksiyon-kalip.jpg> (E.T: 04.12.2021).

<https://nasiluretilir.files.wordpress.com>.
<https://nasiluretilir.files.wordpress.com/2010/01/kabuk-kaliplama.jpg> (E.T: 27.10.2020).

- <https://nasiluretilir.files.wordpress.com>. 13.01.2010.
<https://nasiluretilir.files.wordpress.com/2010/01/vakumlu-dokum.jpg> (E.T: 30.10.2020).
- <https://tr.wikipedia.org>. 01.01.2004.
[https://tr.wikipedia.org/wiki/Döküm#/media/Dosya:Casting.jpg](https://tr.wikipedia.org/wiki/D%C3%B6k%C3%BCm#/media/Dosya:Casting.jpg) (E.T: 17.10.2020).
- Kerton, Robert. **MOLTEN METAL**. <https://www.scienceimage.csiro.au>. Molten metal prior to casting. (1986).
- Kirenci, Ümit. Ağır Hizmet Sektöründeki Dizel Motor Bloklarına Yönelik Hafifletme Çalışmaları. İstanbul: T.C. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2019).
- Komut, Gökhan Emre. <https://www.ceyrekmuhendis.com>. 02.05.2020.
<https://www.ceyrekmuhendis.com/alci-kaliba-dokum/> (E.T: 27.10.2020).
- Koru, Murat, ve Orhan Serçe. Yüksek Basıncılı Döküm Prosesinde, Farklı Yolluk Tipi Ve Vakum Uygulamasının Simülasyonu. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi (Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi) 6, no. 3 (2014).
- Papia, J.P. Contact heat transfer coefficient in aluminum alloy die casting: an experimental and numerical investigation., 285 Ph.D. Thesis, The Ohio State University, (1994)
- Pürçek, Genççağ. Döküm (Ders Notları). Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi, (2008).
- Ramnath, B. Vijaya, ve diğerleri. Analysis and Optimization of Gating System for Commutator End Bracket. 3rd International Conference on Materials Processing and Characterisation (ICMPC 2014). Hyderabad, India: ScienceDirect, (2014). 1318-1320.
- Sarıdikmen, Habib, ve Nilgün Kuşkonmaz. Dolu Kalıba Döküm Yöntemiyle Klasik Döküm Yöntemlerinin Teknolojik Ve Ekonomik İncelenmesi. Metalurji Dergisi, no. 130 (2002): 7.

- Shackelford, James F. Mühendisler İçin Malzeme Bilimine Giriş. Düzenleyen: Murat Baydoğdu. Çeviren Murat Baydoğan, Nuri Solak, Kürşat Kazmanlı Burak Özkal. Kaliforniya, İstanbul / Avcılar: Literatür Yayınları, (2018).
- Steel Founders' Society of America (SFSA). <https://sfsa.org/tutorials>. tarih yok.
https://sfsa.org/tutorials/eng_block/GMBlock_17.htm (E.T: 28.10.2020).
- Sunderdeep Group Of Institutions. <https://sunderdeep.ac.in>.
<https://sunderdeep.ac.in/wp-content/uploads/2017/11/co25.png> (E.T: 18.10.2020).
- Şenel, Mahmut Can. <https://avys.omu.edu.tr>.
[https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/mahmutcan.senel/71544/2\)%20Döküm%20Yöntemleri-2.pdf](https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/mahmutcan.senel/71544/2)%20Döküm%20Yöntemleri-2.pdf) (E.T: 17.10.2020).
- Şirvanlı A.Ş. <https://www.sirvanli.com/tr>. <https://www.sirvanli.com/tr/aluminyum-dokum-alasimlari> (E.T: 12.12.2020).
- T.C. Milli Eğitim Bakanlığı. Kokil Kalıp. Metalurji, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 4. Ankara: T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, (2011).
- The Open University. <https://www.open.edu>. 20.11.2017.
https://www.open.edu/openlearn/sites/www.open.edu.openlearn/files/ole_images/h25-1_1.jpg (E.T: 21.11.2020).
- The Open University. <https://www.open.edu>. 20.11.2017.
https://www.open.edu/openlearn/sites/www.open.edu.openlearn/files/ole_images/h25-2_400.jpg (E.T: 21.11.2020).
- The Open University. <https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/engineering-technology/manupedia/pore-free-die-casting-active-atmosphere-casting>. 03 11 2017.
https://www.open.edu/openlearn/sites/www.open.edu.openlearn/files/ole_images/h14-1_800.jpg (E.T: 21.11.2020).
- Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği. <http://tudoksad.org.tr>. 01 07 2020.
<http://tudoksad.org.tr/afs-53-dunya-dokum-uretimi-istatistikleri-yayinlandi> (E.T:27.03.2021).

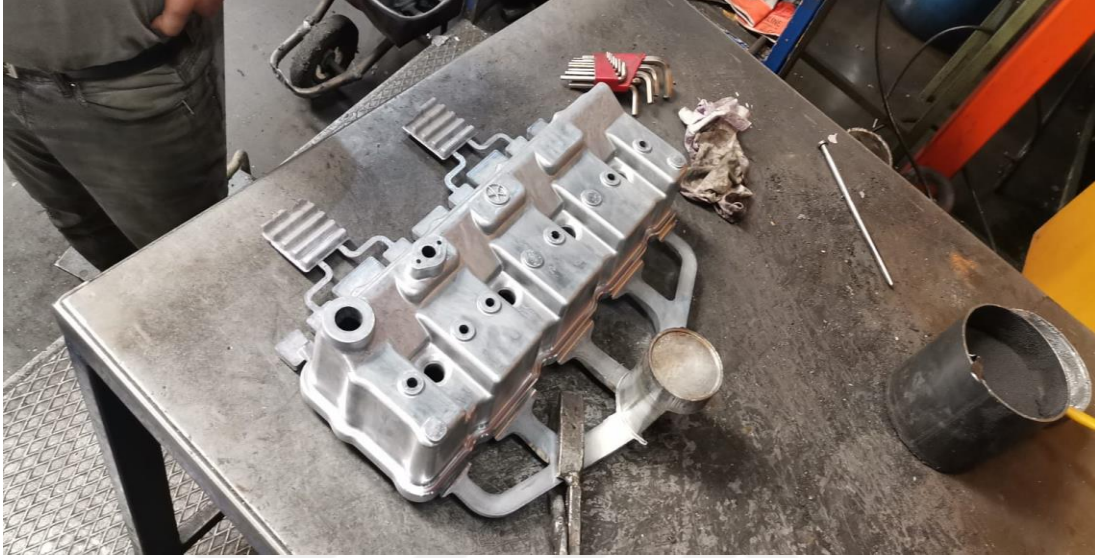
- Uluç, Cem. Dolu Kalıba Döküm Teknolojisi Ve Uygulanması. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2006).
- Ülker, Aytuğ. Yolluk Sistemi. Kum Kalıba Dökümde Farklı Yolluk, Besleyici Tasarım Yöntemlerinin Kıyaslanması, 43. Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2006).
- Vatansever, Fahri, Sedat Karabay, ve Alpay Tamer Ertürk. Alüminyum-Silisyum Alaşımlarının Mikroyapısal ve Mekanik. Dokuz Eylül Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi, (2018): 799-800.
- W.A. Butler, G. Timelli, E. Battaglia, F. Bonollo. Die Casting (Permanent Mold). Reference Module in Materials Science and Materials Engineering, 5-6. (2019).
- Yüksel, Çağlar. Duyurular & Dokümanlar. <https://avesis.atauni.edu.tr/>. 19.12.2017. <https://avesis.atauni.edu.tr/cyuksel/dokumanlar> (E.T: 01.04.2021).
- Yüksel, Servet, ve Cevdet Göloğlu. Metal Enjeksiyon Kalıplamada Yolluk Tasarım Sistematiği. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Mayıs (2009): 1.
- Zare S.r.l. <https://www.zare.it>. <https://www.zare.it/en/materials/aluminium-alsi10mg> (E.T: 30.01.2021).
- Zheng, Kaikui , Youxi Lin, ve Weiping Chen. Numerical simulation and optimization of casting process of copper alloy water-meter shell. SAGE, (2020).

EKLER

Ek-1: Külbütör Kapağı Kalıbı



**Ek-2: Yüksek Basıncılı Döküm Prosesi İle Döküm İşlemi Tamamlanmış
Külbütör Kapağı**



Ek-3: Traktör Motorunda Yüksek Basıncılı Döküm İle Üretilmiş Külbütör Kapağı



Ek-4: Külbütör Kapağının Traktör Motoru Üzerindeki Görüntüsü



