T.C
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÖKME DEMİRLERİN KUM KALIBA DÖKÜM TEKNİĞİNDE YOLLUK SİSTEMLERİNİN DİZAYNI VE SİMÜLASYON SONUÇLARININ İNCELENMESİ

ATAHAN ERBUL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İMAL USULLERİ PROGRAMI

DANIŞMAN
PROF. DR. HÜSEYİN SÖNMEZ

İSTANBUL, 2017

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÖKME DEMİRLERİN KUM KALIBA DÖKÜM TEKNİĞİNDE YOLLUK SİSTEMLERİNİN DİZAYNI VE SİMÜLASYON SONUÇLARININ İNCELENMESİ

Atahan ERBUL tarafından hazırlanan tez çalışması 10.07.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Hüseyin Sönmez

Yıldız Teknik Üniversitesi

Eş Danışman

Dr. Ali Serdar VANLI

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Hüseyin Sönmez

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN EKER

İstanbul Üniversitesi _____

Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENOĞLU

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, dökme demirlerin kum kalıba dökümünde yolluk sistemi dizaynı, dizaynın dayandığı matematiksel unsurlar ve parametreler irdelenmiş, elde edilen veriler kullanılarak örnek parçalar üzerinde simülasyon çalışması yapılmıştır.

Tez süreci boyunca destekleri için danışmanım Prof. Dr. Hüseyin Sönmez ve eş danışmanım Arş. Gör. Dr. Ali Serdar Vanlı'ya, bilgi ve tecrübe paylaşımı, döküm ve simülasyon çalışmasındaki yardımlarından ötürü COMPONENTA Mühendislik ve AR-GE Departmanları'na, beni iyi bir insan olmanın en büyük başarı olduğunu öğreterek yetiştiren aileme ve dünyayı daha yaşanılabilir bir yer yapmak için çabalayan var olmuş tüm güzel insanlara teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Ocak, 2017

Atahan ERBUL

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vi

KISALTMA LİSTESİ viii

ŞEKİL LİSTESİ ix

ÇİZELGE LİSTESİ xiii

ÖZET xiv

ABSTRACT xvi

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 1
1.3 Hipotez 1

BÖLÜM 2

KUM KALIBA DÖKÜM YÖNTEMİ 2

2.1 Model 2
2.1.1 Model Malzemeleri ve Özellikleri 2
2.1.1.1 Ahşap Model 2
2.1.1.2 Metal Model 3
2.1.1.3 Plastik Model 4
2.1.1.4 Köpük Model 4
2.1.1.5 Mum Model 4
2.1.2 Model Dizaynı Yapılırken Dikkat Edilmesi Gerekenler 5
2.1.2.1 Koniklik ve Ters Açıda Kalan Yüzeyler 5
2.1.2.2 Çekme Payı 7
2.1.2.3 İşleme Payı 7
2.1.2.4 Model Malzemesi 8
2.1.2.5 Maçalı Parçaların Modeli 8

2.2 Maça, Maça Sandıkları ve Maça Aparatları 9
2.2.1 Maça 9
2.2.2 Maça Sandığı 11
2.2.2.1 Hot Box Yöntemi 11
2.2.2.2 Cold Box Yöntemi 12
2.2.3 Maça Aparatları 21
2.3 Kum 24
2.3.1 Döküm Kumunun Genel Özellikleri 24
2.3.2 Kum Çeşitleri 26
2.3.2.1 Silis Kumu 26
2.3.2.2 Zirkon Kumu 27
2.3.2.3 Olivin Kumu 27
2.3.2.4 Kromit Kumu 27
2.3.3 Döküm Kumundan Beklenen Özellikler 27
2.3.3.1 Yaş Mukavemet 27
2.3.3.2 Gaz Geçirgenliği 31
2.3.3.3 Tane İriliği-İnceliği 33
2.3.3.4 Tane Şekli 34
2.3.3.5 Kuru Kukavemet 35
2.3.3.6 Sıcak Mukavemet 35
2.3.3.7 Isıl Genleşme 35
2.3.3.8 Akıcılık 36
2.3.4 Bağlayıcılar 36
2.3.5 Kömür Tozu 38
2.4 Yolluk Sistemi 39
2.4.1 İdeal Bir Yolluk Sisteminden Beklenen Özellikler 40
2.4.2 Yolluk Sisteminin Kısımları 42
2.5 Besleyiciler 45
2.5.1 İdeal Bir Besleyiciden Beklenen Özellikler 51
2.5.2 Simülasyon Yardımı İle Besleyici Tayini Örneği 52
2.6 Soğutucular 56

BÖLÜM 3

DÖKME DEMİRLER 58

3.1 Dökme Demirlerin Sınıflandırılması 58
3.1.1 Gri Dökme Demir 58
3.1.2 Küresel Grafitli Dökme Demir 59
3.1.3 Beyaz Dökme Demir 59
3.1.4 Temper Dökme Demir 60
3.1.5 Benekli Dökme Demir 60
3.1.6 Çil Uygulanmış Dökme Demir 60
3.2 Dökme Demirlerin Katılaşma Evresi 65
3.3 Dökme Demirlerin Fazları 67
3.3.1 Grafit 67
3.3.2 Sementit 67
3.3.3 Ferrit 67
3.3.4 Perlit 67

3.3.5 Steadit 68
3.3.6 Östenit 68

BÖLÜM 4

DÖKÜM HATALARI 69

4.1 Cüruf ve Kum Boşlukları 69
4.2 Gaz Boşlukları 70
4.3 Eksik Döküm ve Katmer 72
4.4 Çekinti Boşlukları ve Çöküntüler 73

BÖLÜM 5

YOLLUK SİSTEMİ TASARIMI 74

5.1 Yolluk Sistemi Dizaynı 74
5.2 Yolluk Hesabı Uygulaması 83
5.3 Simülasyon Sonuçlarının Yorumlanması 88
5.3.1 Meme Girişlerindeki Hızların Karşılaştırılması 89

BÖLÜM 6

PROJE YOLLUK TASARIMI VE SİMÜLASYONU 97

6.1 Proje Parçasının Tanıtımı 97
6.2 Proje Parçasının Yolluk Hesabı 99
6.3 Proje Parçasının Maçaları 109
6.4 Proje Parçasının Simülasyonu 110
6.5 Proje Parçası Modelinin Tarama Raporu 115
6.6 Proje Parçasının Dökümü Ardından Sakat Analizi 117
6.7 Proje Parçasının İyileştirme Çalışması 127

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER 136

KAYNAKLAR 138

ÖZGEÇMİŞ 140

SİMGE LİSTESİ

A	Akışkanın o anda geçtiği kesit alanı
A_{filtre}	Filtre kesit alanı
a_{MG}	Meme girişi kenar ölçüsü
$A_{parça}$	Parça yüzey alanı
a_{YY}	Yatay yolluk kenar ölçüsü
C_A	Kritik kesit alanı
CE	Carbon eşleniği
D	Akışkanın aktığı kanalın çapı
d_f	Hesaplanan besleyici çapı
F	Sürtünme kaybı
F_b	Besleyicinin kendi hacminin parçayı besleyebildiği oran
FD	Besleme mesafesi faktörü
f_k	Filtrasyon kapasitesi
g	Yer çekim ivmesi
H	Etkin döküm yüksekliği
k	Sabit
L	Beslenecek bölgenin uzunluğu
m	Kütle
$M_{besleyici}$	Besleyici modülü
M_{GA}	Meme girişi kesit alanı
$M_{GA,1}$	Birinci meme girişi kesit alanı
$M_{GA,2}$	İkinci meme girişi kesit alanı
$M_{parça}$	Parça modülü
n	Sistemdeki filtreleme sayısı
nf	Besleyici sayısı
N_R	Reynold sayısı
Q	Akışkanın debisi
P	Akışkanın seçilen noktadaki statik basıncı
r_{kolon}	Kolon yarıçapı
ST	Çekme zamanı yüzdesi
S	Çekme değerinin son hali
T	Beslenen bölgedeki en ince kesit ölçüsü
t	Döküm süresi
V	Akışkanın seçilen noktadaki hızı
v	Akışkanın özgül hacmi
$V_{parça}$	Parça hacmi

W	Kalıba dökülecek toplam metal ağırlığı
w	Akışkanın toplam ağırlığı
$W_{döküm}$	Döküm parka ağırlığı
$W_{besleyici}$	Besleyici ağırlığı
YYA	Yatay yolluk kesit alanı
Z	Sıvının mevcut konumunun referans yüzeyi ile arasındaki yükseklik farkı
μ	Akışkanın dinamik viskozitesi
ξ	Sürtünme faktörü
π	Pi sayısı
ρ	Yoğunluk
Ø	Çap

KISALTMA LİSTESİ

B.D.D.	Beyaz dökme demir
F	Ferrit
G.D.D.	Gri dökme demir
K.G.D.D.	Küresel grafitli dökme demir
M	Martenzit
mg	Meme girişi
Ö	Östenit
P	Perlit
ppi	Pores per inch
T.D.D.	Temper dökme demir
yy	Yatay yolluk

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Koniklik verilmemiş model ile kalıplama 6
Şekil 2.2 Ters açıda kalan yüzeylerin olduğu model ile kalıplama 6
Şekil 2.3 Ters açıda kalan yüzeylerin olduğu model ile kalıplama 6
Şekil 2.4 Doğru dizayn edilmiş model ile yapılan kalıplama 7
Şekil 2.5 Parçanın maça başı ile derece içerisindeki görünümü 8
Şekil 2.6 Üst model 9
Şekil 2.7 Alt model 9
Şekil 2.8 Maça örnekleri 9
Şekil 2.9 Maça sandığı dış görünüm 13
Şekil 2.10 Maça ve nozullar ile gösterilen ayrıntılı maça sandığı görünümü 13
Şekil 2.11 Üfleme ve filtre alanlarının gösterildiği ayrıntılı maça sandığı görünümü .. 14
Şekil 2.12 Maça dolum simülasyonu 1 14
Şekil 2.13 Maça dolum simülasyonu 2 15
Şekil 2.14 Maça dolum simülasyonu 3 15
Şekil 2.15 Maça dolum simülasyonu 4 16
Şekil 2.16 Maça dolum simülasyonu 5 16
Şekil 2.17 Maça dolum simülasyonu 6 17
Şekil 2.18 Maça simülasyonu sonucu sıkışmama riski teşkil eden bölge 17
Şekil 2.19 Maça kürleme simülasyonu 1 18
Şekil 2.20 Maça kürleme simülasyonu 2 19
Şekil 2.21 Maça kürleme simülasyonu 3 19
Şekil 2.22 Maça kürleme simülasyonu 4 20
Şekil 2.23 Maça kürleme simülasyonu sonucu risk teşkil eden bölge 20
Şekil 2.24 Kartal ayak maça aparatı 22
Şekil 2.25 Kartal ayak bölgelerinin gösterildiği maça dizaynı 22
Şekil 2.26 Gripper maça aparatı 23
Şekil 2.27 Maçadaki gripper yuvası 23
Şekil 2.28 Merkezlemeli aparat 24
Şekil 2.29 Tane İnceliği – Yaş Mukavemet grafiği [6] 29
Şekil 2.30 Farklı tane inceliklerine göre yaş mukavemet değişimi [6] 29
Şekil 2.31 Değişen bentonit miktarlarının nem oranına göre yaş mukavemet üzerindeki etkisi [6] 30
Şekil 2.32 Kum Şekli – Yaş Mukavemet grafiği [6] 30
Şekil 2.33 Kum tane inceliği, nem oranı ve gaz geçirgenliği arasındaki ilişkinin grafik üzerinde gösterimi [6] 32

Şekil 2.34 Kum şekli ve geçirgenlik arasındaki ilişkinin gösterildiği grafik [6] 32
Şekil 2.35 Bentonit oranı, nem ve geçirgenlik arasındaki ilişkinin grafiği [6] 33
Şekil 2.36 İri taneli kum [7] 34
Şekil 2.37 İnce taneli kum [7] 34
Şekil 2.38 Oval taneli kum [7] 34
Şekil 2.39 Köşeli taneli kum [7] 34
Şekil 2.40 Kum tanelerinin ayrıntılı sınıflandırılmış şekli [8] 35
Şekil 2.41 Montmorillonit [9] 36
Şekil 2.42 Karıştırılmış Ca ve Na bentonitlelerinin oranlarına göre kuru mukavemet üzerindeki etkisi [2] 37
Şekil 2.43 Karıştırılmış Ca ve Na bentonitlerinin oranlarına göre sıcak mukavemet üzerindeki etkisi [2] 38
Şekil 2.44 Yolluk sisteminin unsurları 42
Şekil 2.45 10 ppi [11] 44
Şekil 2.46 20 ppi [11] 44
Şekil 2.47 30 ppi [11] 44
Şekil 2.48 Köpük filtrenin yolluk sistemi içerisindeki görünümü[10] 44
Şekil 2.49 Seramik filtrenin yolluk sistemi içerisindeki görünümü[10] 44
Şekil 2.50 Parça kesitinde gözlemlenen çekinti örneği 45
Şekil 2.51 Besleyici boyun örneği 47
Şekil 2.52 Besleyici boyun ölçüleri 47
Şekil 2.53 Besleyici etkin mesafesinin hesaplanması. (a) Levha, genişlik : kalınlık > 5 : 1; (b) Çubuk, genişlik : kalınlık < 5 : 1 [11] 49
Şekil 2.54 Besleyici modülünün hesaplanması için kullanılan tablolar[12,13] 50
Şekil 2.55 Parçanın sıcak bölgelerinin belirlenmesi 53
Şekil 2.56 Sıcak bölgelerin modülünün belirlenmesi 53
Şekil 2.57 Belirlenen modüllere göre besleyici seçimi 54
Şekil 2.58 Besleyiciler ile sıcak bölgelerin belirlenmesi 55
Şekil 2.59 Çekinti (shrinkage porosity) riskinin olduğu bölgelerin belirlenmesi 55
Şekil 3.1 Gri dökme demirlerin grafit türleri [27] 59
Şekil 3.2 Grafit şekilleri [27] 59
Şekil 3.3 Dökme demirler ve temel mikroyapılarının gösterimi [17,18] 61
Şekil 3.4 Dökme demirler [17,18] 63
Şekil 3.5 Farklı dökme demirlerin ve çeliklerin C ve Si oranları [20] 64
Şekil 3.6 Dökme demirlerde katılaşmanın ve grafit oluşumunun sıcaklık aralığının yaklaşık olarak gösterimi [6] 66
Şekil 4.1 Kum boşluğu [21,22] 70
Şekil 4.2 Cüruf sakatı [23] 70
Şekil 4.3 Gaz sakatı örneği [21,22] 71
Şekil 4.4 Karınca (pinhole) sakatı [23] 71
Şekil 4.5 Bir dişin olmadığı eksik döküm örneği [21,22] 72
Şekil 4.6 Katmer sakatı [21,22] 72
Şekil 4.7 Çekinti örnekleri 73
Şekil 5.1 Basınçlı ve basınçsız yolluk örneği [24] 75
Şekil 5.2 Parçanın hem alt hem de üst derecede olduğu durum 78
Şekil 5.3 Parçanın tümüyle alt derecede olduğu durum 79
Şekil 5.4 Parçanın tümüyle üst derecede olduğu durum 79

Şekil 5.5 Toplam döküm ağırlığı – Döküm süresi grafiği [24] 80
Şekil 5.6 Yatay yolluk kesidi örneği 81
Şekil 5.7 Meme giriş kesidi örneği 82
Şekil 5.8 Topuk ölçüsü değerleri 82
Şekil 5.9 Yolluk hesabı yapılacak uygulama parçası 83
Şekil 5.10 Uygulama parçası ayrım yüzeyi 83
Şekil 5.11 Örnek parçanın derece içerisindeki konumu ölçüleri 85
Şekil 5.12 Hesaplanan kesit alanları ile yapılan dizaynda okunan meme girişi hızları 89
Şekil 5.13 Toplam meme giriş kesit alanının 1,5 kat arttırılması sonucu okunan hız değerleri 90
Şekil 5.14 Toplam meme giriş kesit alanının 2 kat arttırılması sonucu okunan hız değerleri 91
Şekil 5.15 Hesaplanan kesit alanları ile yapılan dizayn (Ø30) 92
Şekil 5.16 Yolluk kesit alanı daraltılmış olan dizayn (Ø25) 93
Şekil 5.17 Yolluk kesit alanı daraltılmış olan dizayn (Ø20) 94
Şekil 5.18 Ø30 mm – 8,9 sn dolum süresi sıcaklık dağılımı 94
Şekil 5.19 Ø25 mm – 13,3 sn dolum süresi sıcaklık dağılımı 95
Şekil 5.20 Ø20 mm – 20,1 sn dolum süresi sıcaklık dağılımı 95
Şekil 5.21 Kritik kesit kolon çapının dolum süresi üzerine etkisi 96
Şekil 5.22 Meme girişi kesit alanının hıza etkisi 96
Şekil 5.23 Meme girişi kesit alanının dolum süresine etkisi 96
Şekil 6.1 Döküm parça 98
Şekil 6.2 İşleme Parça 98
Şekil 6.3 Parçanın Hat-3 üzerine yaklaşık yerleşimi 99
Şekil 6.4 Sırasıyla Componenta için Hat-7, Hat-6, Hat-3, Hat-2 havşaları 99
Şekil 6.5 Yolluk taslağı 100
Şekil 6.6 Hat-3 havşası ile tahmini kolonun kesişimi 100
Şekil 6.7 Yaklaşık brüt ağırlığın data üzerinden hesabı 101
Şekil 6.8 Parçanın ayrım yüzeyi 101
Şekil 6.9 Model datası kolon kritik kesit alanı 103
Şekil 6.10 Kolon kritik yarıçapı data ölçümü 104
Şekil 6.11 Yatay yolluk kesit alanı 104
Şekil 6.12 Yatay yolluk kesit tavan ölçüsü 105
Şekil 6.13 Yatay yolluk kesit taban ölçüsü 105
Şekil 6.14 Yatay yolluk kesit yükseklik ölçüsü 106
Şekil 6.15 Meme girişleri kesit alanları toplamı 106
Şekil 6.16 Meme girişi kesit en ölçüsü 107
Şekil 6.17 Meme girişi kesit boy ölçüsü 107
Şekil 6.18 Filtre en ebadı 108
Şekil 6.19 Filtre boy ebadı 108
Şekil 6.20 Gövde maça 109
Şekil 6.21 Kol maçalar 109
Şekil 6.22 Maçaların beraber görünümü 109
Şekil 6.23 Parça ve maçaların beraber görünümü 110
Şekil 6.24 Proje parçası dolum simülasyonu 111
Şekil 6.25 Proje parçası sıcaklık dağılımı 112
Şekil 6.26 Proje parçası hava basıncı 113

Şekil 6.27 Proje parçasının hava sıkışması 114
Şekil 6.28 Proje parçasının iç boşluk riski 115
Şekil 6.29 Üst model ölçüsel tarama raporu 116
Şekil 6.30 Alt model ölçüsel tasarım raporu 116
Şekil 6.31 Döküm sonrası yolluklu proje parçası 117
Şekil 6.32 Askılı temizlemeden çıkan parçalar 117
Şekil 6.33 Proje parçasında gözlemlenen katmer sakatı 118
Şekil 6.34 Proje parçasında gözlemlenen katmer sakatı 118
Şekil 6.35 X-ray görüntüsü ve çekinti 119
Şekil 6.36 X-ray görüntüsü ve çekinti 119
Şekil 6.37 X-ray görüntüsü ve çekinti 120
Şekil 6.38 X-ray görüntüsü ve çekinti 120
Şekil 6.39 X-ray görüntüsü ve çekinti 121
Şekil 6.40 X-ray görüntüsü ve çekinti 121
Şekil 6.41 X-ray sonucunda tespit edilen çekinti bölgeleri 122
Şekil 6.42 X-ray sonucunda tespit edilen çekinti bölgeleri 122
Şekil 6.43 Parçanın kesit görüntüsü ve çekinti 123
Şekil 6.44 Parçanın kesit görüntüsü ve çekinti 123
Şekil 6.45 Parçanın kesit görüntüsü ve çekinti 124
Şekil 6.46 Parçanın kesit görüntüsü ve çekinti 124
Şekil 6.47 Parçanın kesit görüntüsü ve çekinti 125
Şekil 6.48 Parçanın kesit görüntüsü ve çekinti 125
Şekil 6.49 Parçanın kesit görüntüsü ve çekinti 126
Şekil 6.50 Parçanın kesit görüntüsü ve çekinti 126
Şekil 6.51 Modifikasyon çalışması 127
Şekil 6.52 Modifikasyon çalışması 127
Şekil 6.53 Yeni dizayn ile sıcaklık dağılımı 128
Şekil 6.54 Yeni dizayn ile iç boşluk riski 128
Şekil 6.55 Eski ve yeni sıcaklık dağılımı simülasyon sonuçlarının karşılaştırması 129
Şekil 6.56 Eski ve yeni çekinti riskinin gösterildiği simülasyon sonuçlarının karşılaştırması 129
Şekil 6.57 Yeni yolluk dizaynı ile yolluklu proje parçası 130
Şekil 6.58 Yeni yolluk ile dökülen parçalarda katmer sakatı gözlemi 130
Şekil 6.59 Yeni yolluk ile dökülen parçalarda katmer sakatı gözlemi 131
Şekil 6.60 Yeni yolluk ile dökülen parçanın x-ray kontrolleri 131
Şekil 6.61 Yeni yolluk ile dökülen parçanın x-ray kontrolleri 132
Şekil 6.62 Yeni yolluk ile dökülen parçanın x-ray kontrolleri 132
Şekil 6.63 Yeni yolluk ile dökülen parçanın x-ray kontrolleri 133
Şekil 6.64 Yeni yolluk ile dökülen parçanın x-ray kontrolleri 133
Şekil 6.65 Yeni yolluk ile dökülen parçanın dilimlenmesi 134
Şekil 6.66 Yeni yolluk ile dökülen parçanın kesit görüntüsü 134
Şekil 6.67 Yeni yolluk ile dökülen parçanın kesit görüntüsü 135
Şekil 6.68 Yeni yolluk ile dökülen parçanın kesit görüntüsü 135
Şekil 6.69 Yeni yolluk ile dökülen parçanın kesit görüntüsü 135

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Model malzemelerinin karşılaştırması [2] 5
Çizelge 2.2 Kaliteli maçadan beklenen özellikler 10
Çizelge 2.2 Kaliteli maçadan beklenen özellikler (devamı) 11
Çizelge 2.3 Kalıp malzemesi olarak kumun avantaj ve dezavantajları 25
Çizelge 2.3 Kalıp malzemesi olarak kumun avantaj ve dezavantajları (devamı) 26
Çizelge 2.4 Basınçlı yolluk sisteminin avantaj ve dezavantajları [1] 39
Çizelge 2.5 Basınçsız yolluk sisteminin avantaj ve dezavantajları [1] 39
Çizelge 2.5 Basınçsız yolluk sisteminin avantaj ve dezavantajları [1] (devamı) 40
Çizelge 2.6 İdeal bir yolluk sisteminden beklentiler ve bu beklentilerin karşılanmaması durumunda ortaya çıkabilecek sorunlar 40
Çizelge 2.6 İdeal bir yolluk sisteminden beklentiler ve bu beklentilerin karşılanmaması durumunda ortaya çıkabilecek sorunlar (devamı) 41
Çizelge 2.7 Sfero malzemeler için FD değerleri [11] 48
Çizelge 2.8 Gri malzemeler için FD değerleri [11] 48
Çizelge 2.9 Besleme mesafesi hesaplamaları [11] 49
Çizelge 2.10 İdeal bir besleyiciden beklenen özellikler[12,13] 51
Çizelge 2.10 İdeal bir besleyiciden beklenen özellikler[12,13] (devamı) 52
Çizelge 2.11 İdeal bir soğutucudan beklenen özellikler [16] 56
Çizelge 3.1 Dökme demirlerin piyasa adları ve mikroyapıları [17,18] 62
Çizelge 3.2 Dökme demir ve % 0,3 C'li çeliğin özelliklerinin karşılaştırılması [20] 64
Çizelge 3.2 Dökme demir ve 0,3 C'li çeliğin özelliklerinin karşılaştırılması [20] (devamı) 65
Çizelge 5.1 Basınçlı yolluk sistemi için bazı kolon-yy-mg oranları [1] 75
Çizelge 5.2 Basınçsız yolluk sistemi için bazı kolon-yy-mg oranları [1] 76
Çizelge 5.3 Filtrelerin malzeme çeşidine göre filtrasyon kapasitesi [11] 87
Çizelge 5.4 Sedex filtre boyutları ve malzemelere göre özellikleri 88
Çizelge 6.1 Parça özellikleri 97
Çizelge 6.2 Proje parçasının üretimi ile ilgili bilgiler 117

ÖZET

DÖKME DEMİRLERİN KUM KALIBA DÖKÜM TEKNİĞİNDE YOLLUK SİSTEMLERİNİN DİZAYNI VE SİMÜLASYON SONUÇLARININ İNCELENMESİ

Atahan ERBUL

Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Hüseyin SÖNMEZ

Eş Danışman: Arş. Gör. Dr. Ali Serdar VANLI

En eski imalat yöntemlerinden biri olan döküm, sağladığı avantajlar sayesinde sektördeki önemini günümüzde hala korumaktadır. Faz değişimi esasıyla gerçekleştirilen, dolayısıyla karmaşık geometriye sahip parçaların imalatında kolaylıklar sağlayan dökümün, spesifik olarak birçok alt yöntemi mevcut olup bunlardan en çok tercih edilenlerinden biri kum kalıba döküm prosesidir. Tez çalışmasında, dökümün yapılması ve en doğru şekilde gerçekleşmesi için kum kalıba döküm prosesinin temel unsurlarından olan yolluk sistemi dizaynı, matematiksel formüllere dayandırılarak yapılmaya çalışılmıştır.

Günümüz piyasasında rekabet her alanda olduğu gibi imalat sektöründe de artmış durumdadır. Kuruluşlar, kendi sektörlerinde var olabilmek adına en iyiyi, en makul ücretlere sunmak zorundadırlar. Simülasyonun ehemmiyeti, bu noktada ortaya çıkmaktadır. Simülasyon, en basit haliyle, proses süresince oluşabilecek olumsuz koşulları önceden görüp uygun önlemleri alarak kaliteli proses çıktıları vermek için geliştirilmiş faydalı bir yöntemdir ve maliyet üzerinde olumlu etkiler yaratmaktadır. Bu sayede kuruluşlara kendi sektörlerinde daha rekabetçi olma imkanı sunar.

Döküm, çok parametreli bir imalat yöntemi olup simülasyon ile istenen parametre değerleri girilerek sonuçlar kontrol edilebilir. Besleyici konfigürasyonu, yolluk dizaynı vb. gibi sonuca doğrudan etki edecek unsurlardaki eksiklikler, sanal ortamda henüz döküm gerçekleşmeden fark edilerek gerekli konularda iyileştirme yapılabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kum kalıba döküm, dökme demir, yolluk sistemleri, simülasyon

ABSTRACT

GATING SYSTEM DESIGN IN SAND CASTING OF CAST IRON AND INVESTIGATING THE SIMULATION RESULTS

Atahan Erbul

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Hüseyin SÖNMEZ

Co-Advisor: R. A. Dr. Ali Serdar VANLI

Casting, the one of the oldest manufacturing technique, is still maintaining its importance in sector due to advantages that can be provided by it. Casting is based on basis of phase changing therefore it makes production of parts that have more complicated geometry easier. There are different types of casting techniques and sand casting is the one of the most preferred. According to this study, designing of gating system which is need to get best casting quality is based on mathematical formulas.

Today, competition is increased for manufacturing sector as the others. For gaining a place in the market, companies should serve the best at the cheapest cost. That point makes simulation significant. Basically, simulation is an useful way for getting better output under favour of capability of estimating possible issues and creating opportunity to take precaution and it effects on production cost positively.

Casting has many parameters and these parameters can be adjusted to desired values on simulation programs for checking results. The problems that effect results directly as feeder configuration, runner design etc. can be improved in virtual platform before casting.

Keywords: Sand casting, cast iron, gating system, simulation

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Kum kalıba döküm yönteminde, ergiyik metalin kalıp boşluğuna dolmasını sağlayan yolluk sisteminin, kaliteli bir döküm gerçekleştirebilmek adına doğru dizayn edilmesi hususu önem taşımaktadır. Parçanın özelliklerine göre değişebilecek olan yolluk sistemleri, en iyi verimi alabilmek için her parçaya özel olarak hesaplanmalıdır. Simülasyon, dizaynı gerçekleştirilen yolluk sisteminin dökümden önce gözlemlenmesi konusunda yardımcı olmaktadır. Sanal ortamda, riskli bölgeleri analiz etme ve gerekirse dizaynda iyileştirme çalışması yapma imkanı sunup hatalı bir üretim gerçekleşmeden müdahalede bulunma şansı sunmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada, parçaların kendine has özelliklerine bağlı olarak değişen yolluk sistemleri dizaynının nasıl yapılması gerektiği konusunda teorik ve uygulamalarla desteklenmiş pratik bilgi verilmek istenmiştir. Ayrıca yapılan yolluk çalışması ile kurulan simülasyon sonuçları ve bu dizayn ile gerçekleştirilen üretim bulgularının karşılaştırılması yapılarak doğrulamak amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Farklı özelliklere sahip parçaların dökümünde daha kaliteli sonuçlar almak adına ayrı ayrı yolluk sistemleri dizaynının hesaplanmasının gerekliliğinin ve simülasyon yardımı ile hatalı üretimler yapılmadan risklerin önceden tespit edilip doğru müdahalelerle sakat oranının azaltılabileceğinin fikri savunulmuştur.

BÖLÜM 2

KUM KALIBA DÖKÜM YÖNTEMİ

Döküm, günümüzde sektörün farklı ihtiyaçlarına, yüksek kalitede imal edilebilen parçalar ile cevap vermektedir. Karmaşık parçaların imalatı, sıvının içerisinde bulunduğu kabın şeklini alabilme özelliğinden dolayı diğer imal usullerine nazaran döküm ile daha kolaydır. Yaklaşık 1 kg.'den tonlara kadar varabilen geniş döküm parça ağırlığı skalası, kalıp malzemesinin ekonomik olarak uygunluğu, doğada bolca bulunması gibi özellikler, kum kalıba döküm yöntemini en çok tercih edilen tekniklerden biri haline getirmektedir.

2.1 Model

Model, kalıplama malzemesinin etrafında (çoğunlukla kum) kalıp içerisindeki döküm boşluğunu oluşturmaya yarayan, ahşap, metal, plastik ya da kompozit malzeme formudur [2]. Çoğu model, kalıbı oluşturduktan sonra ayrılır ve yeni kalıplar oluşturmak için tekrar tekrar kullanılır [2]. Mumdan ya da polistirenden yapılmış modeller ise belirli miktarlarda yapılıp bir kereye mahsus özel kalıplar gerçekleştirmek için kullanılırlar [2].

2.1.1 Model Malzemeleri ve Özellikleri

Modeller, müşteri talebi, parçanın yıllık adedi, parça boyutu gibi durumlar düşünülerek, tüm bu durumlara hitap edebilecek özelliklere sahip malzeme seçimi ile imal edilmelidir.

2.1.1.1 Ahşap Model

Ahşap, ana model ve üretim modeli olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Çünkü şekil vermesi kolay ve maliyet olarak uygundur [3].

Ahşap model, daha çok, az sayıdaki ve hacim olarak büyük parçaların üretiminde tercih edilmektedir. Metal modellere göre daha az mukavim olmasından dolayı, kalıplama sayısı metal modellere göre daha azdır. Fazla kalıplama sonucu aşınabilir ya da kırılabilir. Bu da geometrik olarak özelliğini kaybettiğinden kullanılamaz duruma gelmesine sebep olur.

Ayrıca ahşap modeller, değişken atmosferik koşullardan dolayı şişmeye, eğilmeye ve bükülmeye yatkındır [2].

2.1.1.2 Metal Model

Metal modeller, ahşap model ile karşılaştırıldığında, daha pahalı olmasına karşın, daha mukavim, aşınma direnci daha yüksek ve neme karşın ölçüsel olarak stabil kalmakta daha iyidir [2].

Metal modellerin dayanımı iyi olduğundan ve dolayısı ile model ömrü fazla olduğundan yüksek sayıda üretim için uygundurlar. Seri imalat yapan işletmeler tarafından metal model tercih edilmektedir. Otomasyon sistemine entegrasyonunun da kolay olması, yine bu tarz çok sayıda üretimler için tercih sebebidir.

Metal model imalat maliyeti, ahşap modele oranla daha yüksek olduğundan, az sayıdaki üretimler için kârlı olmayacaktır.

Metal modellerin imalat sürecinde, kaba şekli ortaya koymak adına ahşaptan veya köpükten kaba bir model yapılır. Bu model, döküldükten sonra gerekirse ısıl işleme tabi tutulur. Bu işlem modelin mekanik özelliklerini arttırmaya yönelik gerçekleştirilir. Mevcut kaba model tezgahta talaşlı işleme ile son haline getirilir ve döküme hazır olur. Ayrıca metal malzeme doğrudan metal blok olarak da dökülüp işleme yaparak da son şekil verilebilir. Bu da başka bir yöntemdir. Yalnız her iki yöntemde de modelin döküm esnasında iyi beslenmesi gerekmektedir. Aksi takdirde işlenen yüzeylerinde döküm boşlukları çıkabilir ve bu da ilave işçilik ve dolayısı ile maliyet gerektirebilir. Ayrıca zaman kaybı da yaşanacağından projede gecikmelere sebep verebilir.

2.1.1.3 Plastik Model

Plastik modeller, öncelikle, küçük-orta çaplı model yapımında kullanılmaktadır [2]. Plastik modeller, ahşap ile karşılaştırıldığında, daha sağlam olsa da maliyet olarak ahşaba oranla genelde daha pahalıdır [2]. Plastik modellerin kalıptan sıyrılmaları daha kolaydır ve üretim aşamasında oluşabilecek etkenler karşısında aşınma ve çizilmeye karşı dayanıklıdırlar [4]. Ayrıca herhangi bir sebepten hasara uğradıklarında tamir edilmesi, bozulan, aşınan bölgelerin düzeltilmesi kolaydır [4]. Plastik modellerin yüzey kaliteleri çok iyidir. Kullanım sırasında çabuk aşınan bölgelerin metal parçacıklar ile takviye edilmesi de mümkündür [4].

Plastik modellerin diğer model malzemelerine göre üstünlükleri arasında korozyon direnci ve kimyasal etkileşim direnci sayılabilir. Örnek olarak metal modellerde karşılaşılabilecek korozyon sorununa, plastik modellerde rastlanmaz çünkü plastik modelin hava ile etkileşiminde yüzeyde oksit tabakası oluşturacak kimyasal bir yapısı yoktur.

2.1.1.4 Köpük Model

Modelin kalıplandıktan sonra kalıp kumu içerisinden çıkarılmadan, kalıp içerisinde bırakılarak dökümün gerçekleşmesi tekniğine dolu kalıba döküm yöntemi denmektedir. Köpükten yapılan model, sıvı metal ile temas ettiğinde gaz haline geçer ve kalıbın dışarısına çıkıcılar yardımıyla atılır. Köpüğün yok olmasıyla kalıp içerisindeki boşluğa metal dolarak gerekli şekli alır ve döküm gerçekleşir.

Bu model şekliyle, model kaybolduğu için, tek sefer döküm yapılabilir. Dolayısı ile seri imalata uygun değildir. Az adet, çoğunlukla tek, parçaların üretiminde hızlıca sonuç alabilmek adına kullanılabilir.

2.1.1.5 Mum Model

Mum, hassas döküm yönteminde karşımıza çıkan bir model malzemesidir. Hazırlanan mum model, yolluk ve çıkıcılar üzerine ilave edildikten sonra, etrafında bir kabuk tabaka oluşacak şekilde seramik çamura batırılır. Dışarısındaki kabuk oluştuktan sonra ısıtılarak, mum model ergitilir ve dışarı alınır. Böylelikle mum, model yapılmak üzere tekrar tekrar kullanılabilir. Mumun ergitilerek dışarı alınmasının ardından kabuğun

içerisindeki boşluğa ergiyik metal dökülerek döküm gerçekleştirilir. Ardından seramik kalıp kırılarak parça elde edilir.

Çizelge 2.1 Model malzemelerinin karşılaştırması [2]

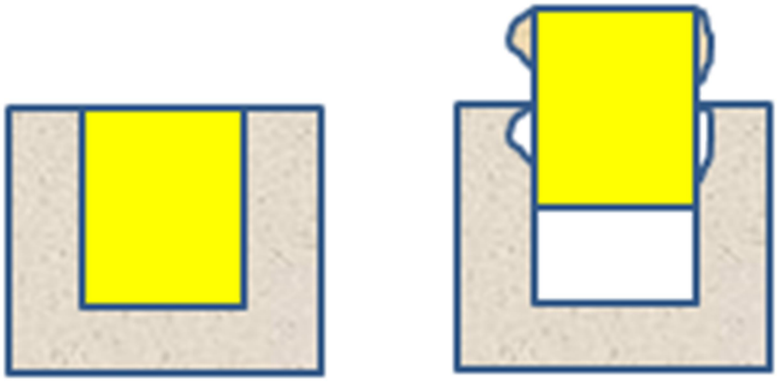
Karakteristik	**Model Malzemesi**			
	Ahşap	**Alüminyum**	**Dökme Demir**	**Poliüretan**
İşlenebilirlik	Çok İyi	İyi	Orta	İyi
Aşınma Direnci	Kötü	İyi	Çok İyi	Çok İyi
Mukavemet	Kötü	İyi	Çok İyi	Orta
Tamir Edilebilirlik	Çok İyi	Orta	İyi	Çok İyi
Korozyon Direnci	Çok İyi	Çok İyi	Kötü	Çok İyi

2.1.2 Model Dizaynı Yapılırken Dikkat Edilmesi Gerekenler

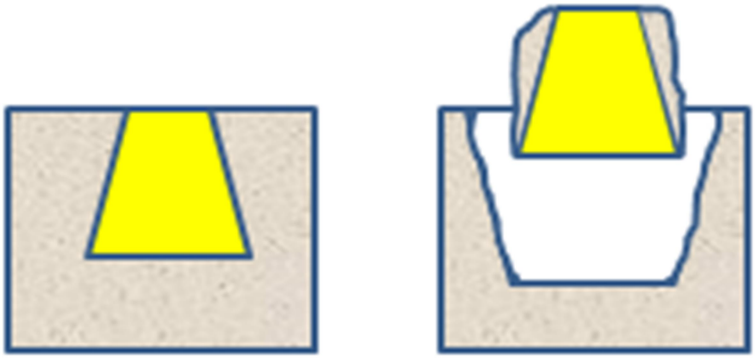
Döküm takımları tasarımında sağlam parça elde edebilecek üretimi gerçekleştirmek adına dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Yapılan modelin dizaynı aşamasında, kalıplama esnasında ya da parça kalıptan alındıktan sonra ölçüsel bazda problemli olmaması için öngörülmesi gerekenlerden alt başlıklarda bahsedilmiştir.

2.1.2.1 Koniklik ve Ters Açıda Kalan Yüzeyler

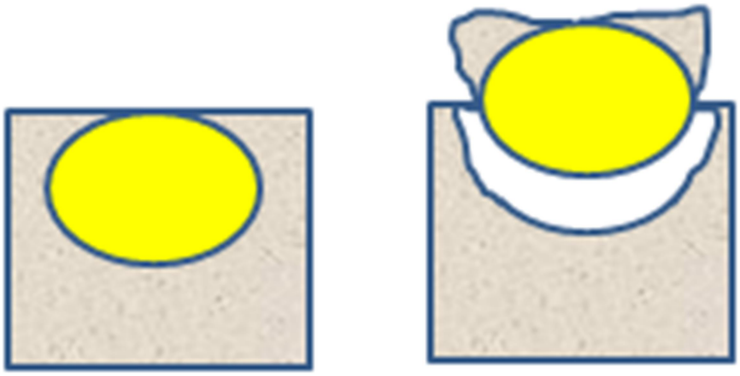
Modelin rahatlıkla kalıplama yapabilmesi, iyi bir modelden beklenen özelliklerin başında gelir. Modelin kalıplandıktan sonra kum kopartmaması, sürterek yüzeyleri bozmaması gerekmektedir. Bunları önlemek adına model dizaynı yapılırken terse giren açıların giderilmesi, model kalıptan sıyrılırken yine kalıbın zarar görmemesi için gerekli konikliklerin verilmesi önemlidir. Modellerin kalıptan sıyrılan tüm yüzeylerine aynı açı verilmemelidir. Sıyrılacak yüzeyin yüksekliği arttıkça bu açı küçülürken, daha az yüksekliğe sahip yüzeylerde eğim açısı daha fazla verilmelidir.



Şekil 2.1 Koniklik verilmemiş model ile kalıplama



Şekil 2.2 Ters açıda kalan yüzeylerin olduğu model ile kalıplama



Şekil 2.3 Ters açıda kalan yüzeylerin olduğu model ile kalıplama



Şekil 2.4 Doğru dizayn edilmiş model ile yapılan kalıplama

2.1.2.2 Çekme Payı

Sıvı metal, döküm sıcaklığında kalıp içerisine dökülür ve kalıp içerisinde oda sıcaklığına erişinceye dek soğumaya başlar. Bu süreç sonunda katılaşan sıvı metal, hacimce küçülür. Bu sebeple model dizaynı yapılırken, model ölçüleri çekme payı kadar büyük yapılmalıdır. Çekme payı verilmemiş modeller ile yapılan dökümlerin ardından üretilen parçaların boyutlarında, küçük gelmesi nedeniyle hatalar gözlemlenebilir. Müşterinin ölçüsel talimatları dahilinde, tolerans dışı kalan ölçüler, parçayı sakata ayırır.

Çekme payı her malzeme için sabit değildir. Nihai parçanın malzemesine göre model boyutlandırmasında kullanılacak çekme payı oranı, doğru şekilde göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin lamel grafitli dökme demir için çekme payı %1 oranında alınırken, sfero dökme demirler için bu oran % 0,7 olarak alınır. Bu oranların seçiminde malzeme ile birlikte parça geometrisi de göz önünde bulundurulmalıdır.

2.1.2.3 İşleme Payı

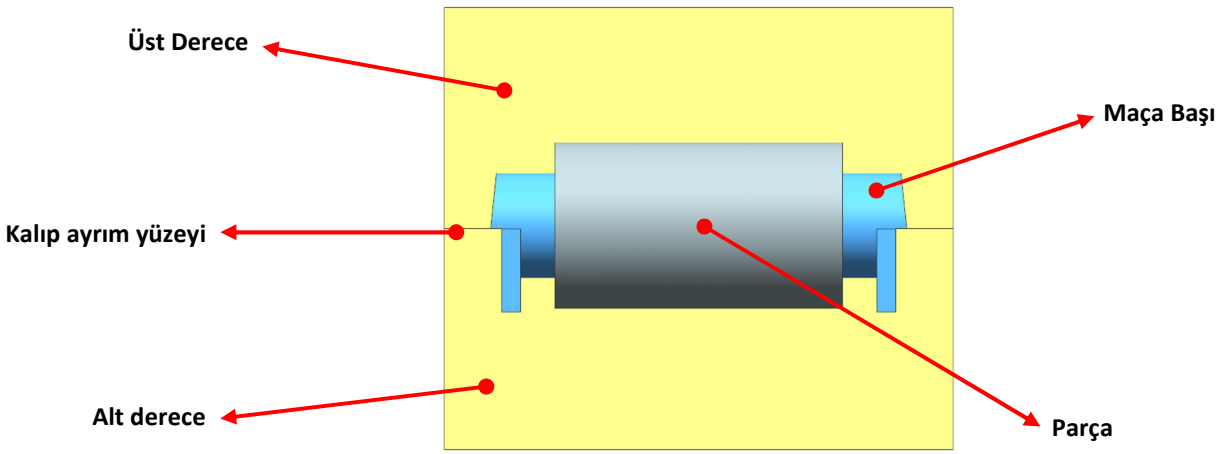
Bazı projelerde, parça döküm ile üretildikten sonra talaşlı işleme ile son şeklini almaktadır. Model dizaynında, parçanın teknik resminde gösterilen işleme yüzeylerine, teknik resimde belirtilen değerlerde işleme payları ilave edilmelidir. Eksik verilmiş işleme payı, ölçüsel olarak sorun yaratacağı gibi fazla verilen işleme payı da maliyeti arttırmaktadır.

2.1.2.4 Model Malzemesi

Model malzemesi, üretilecek parçanın yıllık adedi ile doğrudan ilişkilidir. Üretilecek parça adedinin fazla olması, doğru malzeme seçilmediği takdirde, modelde aşınmalara, geometrik bozulmalara sebep olabilmektedir. Bunun sonucunda kalıp boşluğu oluşurken meydana gelen hatalı geometri, doğrudan parçanın şekline etki edeceğinden parçanın toleranslar dışında kalıp sakata ayrılmasına sebep olabilir. Örneğin ahşap model ile daha az sayıda kalıplama yapılabilirken, metal model ile kalıplama ömrü çok daha fazla sayılara ulaşmaktadır. Ayrıca mum ya da polistiren gibi model malzemeleri de tek seferlik kalıplamalar için günümüzde kullanılmaktadır.

2.1.2.5 Maçalı Parçaların Modeli

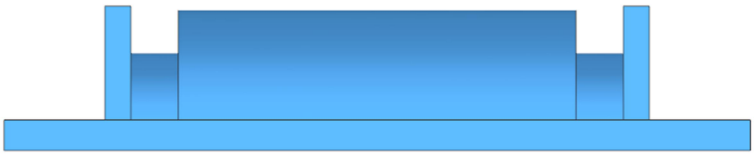
Dökümde, parçaların geometrisine bağlı olarak, tek seferde verilemeyen şekiller mevcuttur. Kalıplama yönüne göre terse girecek olan bölgelerin kalıptan çıkabilmesi için maça adı verilen döküm elemanı kullanılmaktadır. Eğer parça maçalıysa, maçanın kalıp içerisinde pozisyonunu sağlam bir şekilde koruyabilmesi adına, maçalara maça başı konulur. Bu sayede maça, kalıp içerisinde konumunu koruyarak geometrik olarak isteneni verir. Maçanın sıvı metal ile temasının ardından pozisyonunu koruyamaması, kalıp içerisinde yüzmesi gibi durumlar sonucunda et kalınlıklarında tolerans dışına çıkan farklılıklar ya da geometride bozulmalar meydana gelebilir. Kalıplama esnasında maçanın kalıba sağlam bir şekilde konması için modelde maça başının olması gerekmektedir.



Şekil 2.5 Parçanın maça başı ile derece içerisindeki görünümü



Şekil 2.6 Üst model



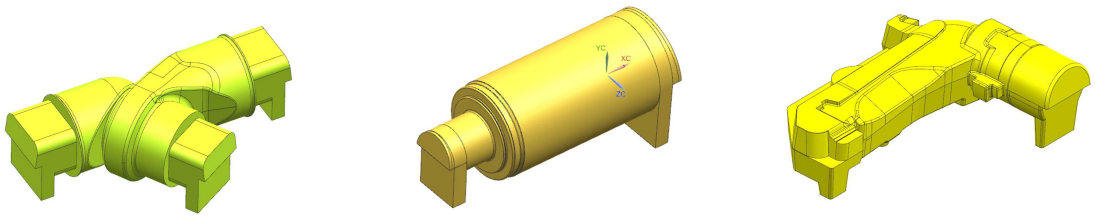
Şekil 2.7 Alt model

2.2 Maça, Maça Sandıkları ve Maça Aparatları

2.2.1 Maça

Kum kalıba döküm yönteminde parçaların geometrilerinden dolayı bazı bölgeler doğrudan model ile üretilemez. Kumun bu bölgelerde iç veya dış boşlukları oluşturabilecek şekilde kalıplanamaması durumundan dolayı maça adı verilen yardımcı döküm elemanı kullanılmaktadır. Maçalar, maça sandıklarında üretilen sıkıştırılmış kumlardır.

3D programlar ile parçaların dataları üzerine çalışılırken, parçada açı analizi yapılarak terse giren yerler tespit edilir. Böylelikle modelden çıkamayacak olan bu bölgelere maça öngörülmelidir. Dolayısı ile parça maliyetine maça sandığı ve maça prosesindeki kum, işçilik, enerji, reçine vs. gibi işletmeden işletmeye değişebilecek ekstralar da ilave edilmelidir.



Şekil 2.8 Maça örnekleri

Çizelge 2.2 Kaliteli maçadan beklenen özellikler

Maçadan Beklenen Özellikler	**Bu Özellikler Sağlanamadığı Takdirde Yaşanabilecek Problemler**
Maçalar, maça başlarından kalıp içerisine yerleştirildikten sonra ergiyik metalin kalıp boşluğuna gönderilmesi ile sürekli sıcak sıvı metal ile temas halinde olacağından, yüksek sıcaklıklara mukavim olmalıdır.	Yüksek sıcaklıklarda mukavim olamayan maçalar, döküm esnasında kalıp içerisinde kırılıp çatlayarak parçanın ıskarta üretilmesine neden olur.
Maçaların yüzeyleri, maça başları haricinde, doğrudan parçanın iş yüzeyini oluşturacağından yüzey kaliteleri yüksek olmalıdır. Sandıktan alındıktan sonra boyanması ve gerekiyorsa tesviyesinin yapılması gerekmektedir.	Sandığın iyi dizayn edilmemesi (yeterli filtre ve nozulun olmaması ya da yerlerinin doğru olmayışı), boya ve tesviye işlemlerinin iyi gerçekleştirilmemesi sonucu oluşacak maçadaki pürüzlü yüzeyler, iş parçasının da yüzeyini oluşturacağından iş parçasının yüzey kalitesi düşük olacaktır.
Maçaların gaz geçirgenliği iyi olmalıdır. Gerekiyorsa maça başındaki şiş bölgelerine denk gelen kısımlar, gaz atışını daha iyi sağlayabilmek adına matkap ile delinmelidir.	Gaz geçirgenliği az olan maçalar, parçalarda gaz sakatına sebep olabilir. Maça içerisindeki bağlayıcıların vs. gibi diğer malzemelerin yüksek sıcaklıklarda oluşturduğu gazın dışarı tahliye edilememesi sonucu, gaz yükselerek üst derece tarafına geçme eğilimi göstermektedir. Sonrasında parçanın üst derece tarafında kalan bölgelerinde genelde oval şekilde beliren sakatlara neden olabilmektedir.
Maçalar, üretildikten sonra üretimde kullanılana dek bekletildikleri bölgelerde neme maruz kalmamalıdırlar. Eğer maça üretim zamanı ile parçanın üretiminin yapılacağı zamana kadar maçanın nem tutma ihtimali varsa üretimden önce maçaların kurutulması gerekebilir.	Maçaların nem almaları sonucu, döküm esnasında oluşacak gaz, parçada sakata sebep olabilir. Örneğin eğer maça amin gazı katalizörü ile sertleşiyorsa gaz sakatı gözlemlenen bölge analiz edildiğinde N elementine rastlanacaktır. Böylece yapılan sakat analizi göz önünde bulundurularak önlem alınmalıdır.

Çizelge 2.2 Kaliteli maçadan beklenen özellikler (devamı)

Maçadan Beklenen Özellikler	Bu Özellikler Sağlanamadığı Takdirde Yaşanabilecek Problemler
Maçalar, shake out[1] esnasında parçadan kolaylıkla ayrılmalıdır.	Maçanın parçadan ayrılmaması sonucu ekstra işçilik gerekecek ve bu da maliyete negatif yönde yansıyacaktır.
Döküm sonrasında parçalarda sıcak yırtılmalar meydana gelmemesi için maçanın sıkışabilirliğinin olması gerekmektedir [1].	Maçanın sıkışabilirliği az ise parçanın bilhassa 'L' şekline benzer bölgelerinde sıcak yırtılmalara rastlanabilir.

2.2.2 Maça Sandığı

Maçalar, parça içindeki veya dışındaki model ile çıkarılamayacak boşlukların geometrisini oluşturabilmek adına maça sandıklarında üretilirler. Maçanın ayrım yüzeyinin üst tarafında kalan figürün olduğu bölüm üst maça sandığı ve alt figürün olduğu bölüm alt maça sandığı olarak adlandırılır.

Maça üretimi, birçok metot ve malzeme varyasyonu olmasına karşın, genel olarak bağlayıcı ve pişirme yöntemine göre gruplandırılır [2].

Maça üretimi el ile, yarı otomatik veya otomatik şekilde yapılabilir. Seri üretim yapan işletmelerde otomatik sistemler kullanılmaktadır.

Otomatik çalışan makineler, hot box, cold box gibi farklı prensiplerle çalışırlar [1].

Maça sandıklarına nozullar yardımıyla kumun tahliyesi basınçlı hava ile gerçekleştirilir. Basınçlı havanın sandığı en iyi şekilde doldurması ve içerideki havanın dışarı tahliyesini sağlamak adına, sandıkta filtreler olmalıdır.

2.2.2.1 Hot Box Yöntemi

Reçine ile hazırlanan kum, ısıtılmış sandığa üstten üflenerek maça geometrisini oluşturacak boşluğu doldurur ve bir süre maçanın pişmesi için beklenir. Maça piştikten sonra sandıklarda bulunan itici pimlerin yardımıyla maça çıkar ve kullanılmak üzere sandıktan alınır. Hot Box yönteminde hazırlanan kumun sandığa girişinden önce sandığın 175-290 C^o ısıtılması gerekmektedir [2].

[1] Kalıp bozma işlemi.

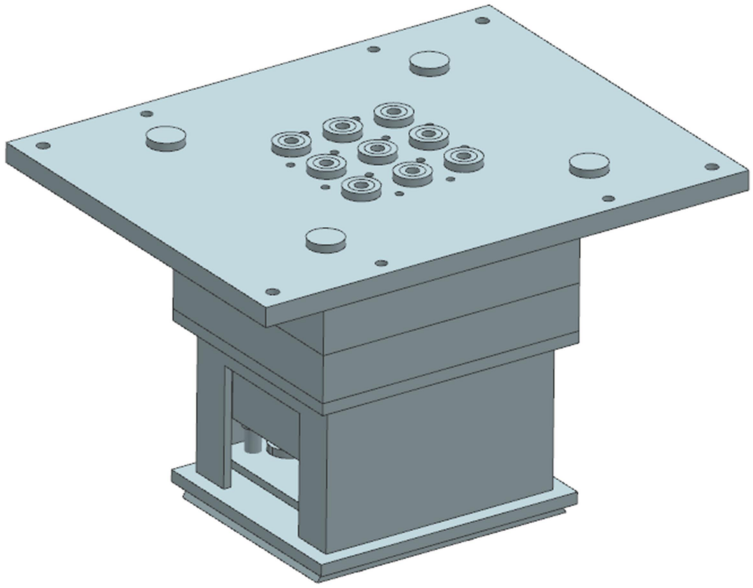
2.2.2.2 Cold Box Yöntemi

Kum hazırlayıcıda reçine ile karıştırılarak imalata uygun hale getirilmiş kum, maça makinesinin üst kısmında bulunan kum haznesinden üst maça sandığında bulunan nozullar yardımı ile sandık içerisine hava basıncı ile üflenir. Sandığın içindeki boşluğu dolduran kumun içerisinden sertleşmesi için, katalizör görevi gören, amin gazı geçirilir. Maçanın sertleşmesi, maçanın geometrisine göre 2-100 sn. sürebilir [1].

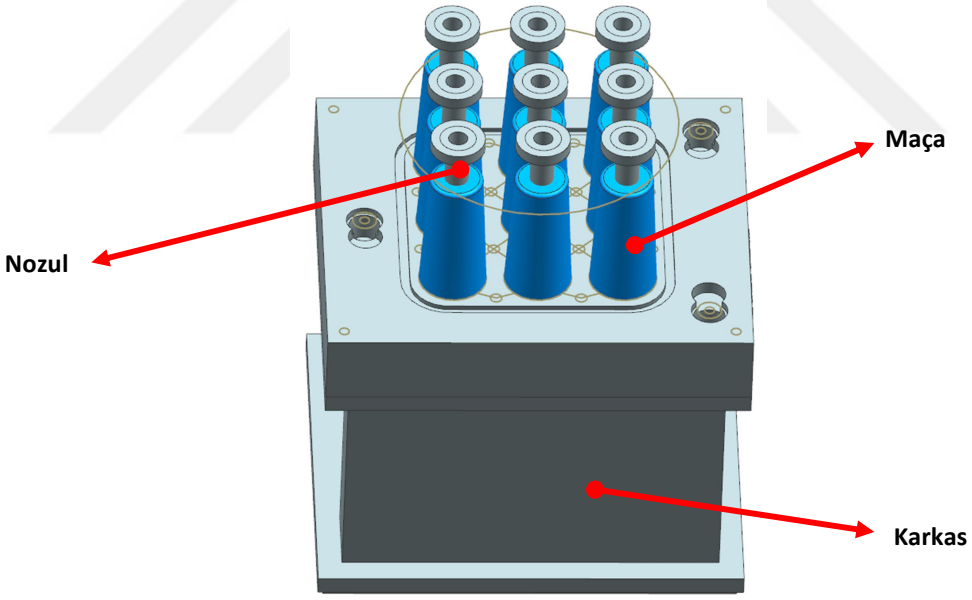
Kumun sandığa gönderilmesi aşamasında kullanılan hava basıncının değeri önemlidir. Alçak basınçla yapılan üretimlerde istenen sıkılık sağlanamayacağı gibi, yüksek basınçlı imalatlarda da kumun sandığa çarpmasından dolayı sandıkta aşınma gözlemlenebilir. Bilhassa kumun sandığa gönderildiği nozulların karşısında bulunan bölgelerde daha çok aşınma oluşur. Aşınan sandık, geometrik olarak maçayı bozacağından üretimde istenmeyen ölçü farklılıklarına sebep olabilir. Bunun sonucunda sandığın tamir edilmesi, aşınan yüzeylerin onarılması gerekebilir. Bu da ekstra işçilik, dolayısı ile maliyet artışına sebep olacaktır. Bu nedenle sandıklarda ideal üretim basıncı 2-4 Bar arasında bir değerde olmalıdır [1].

Sandıklarda hava tahliyesinin gerçekleşebilmesi için filtreler bulunmaktadır. Basınçlı hava bu filtreler yardımıyla sandıktan uzaklaştırılır. Filtrelerin sandıktaki lokasyonu önemlidir. Mümkün olduğunca şeklin uzak, dar ve yüksek bölgelerine yakın ve olabilecek en büyük çaplı filtreler kullanılmalıdır. Filtrelerin uzak bölgelerde olması, nozullardan gelen kumun maçanın her bölgesine doğru bir şekilde ulaşmasını sağlayacaktır. Aynı şekilde zor kesitli bölgelerde de kum paketini daha sağlam yaparak pürüzlü yüzeylerin ya da zayıf kısımların kalmamasına yardımcı olacaktır.

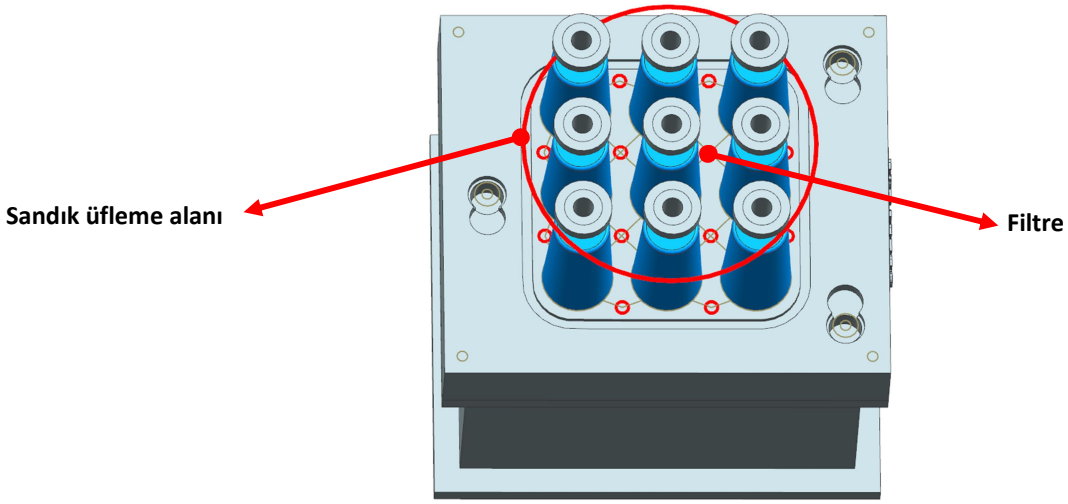
Sandıkta yer alan ve yukarıda da bahsedildiği gibi hava tahliyesini gerçekleştiren filtre kesit alanlarının toplamı, sandığın gaz üfleme kesit alanından asgari %20-40 değerlerinde daha küçük olmalıdır [1]. Bu fark ile sandık içerisinde oluşacak basınç, maça kumunun iyi sıkışmasına ve uzak bölgelere dahi sağlıklı şekilde erişimine yardımcı olacaktır. Aksi halde hava yeterli basıncı oluşturamadan tahliye olacağından, maçanın uzak bölgelerinde pürüzlü yapı hatta şekilde eksiklik gözlemlenecektir.



Şekil 2.9 Maça sandığı dış görünüm

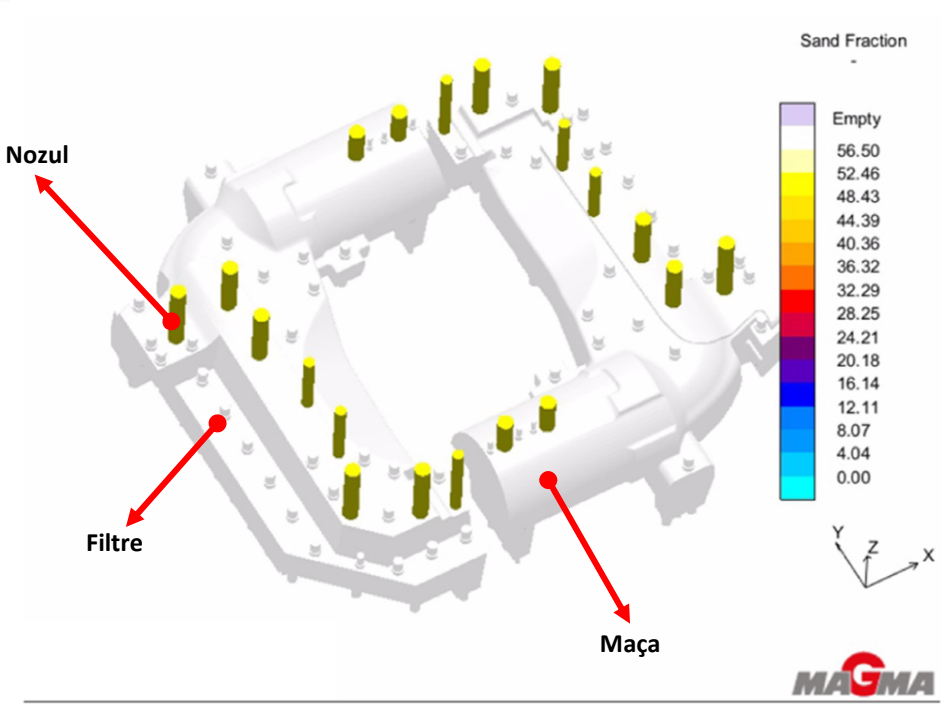


Şekil 2.10 Maça ve nozullar ile gösterilen ayrıntılı maça sandığı görünümü

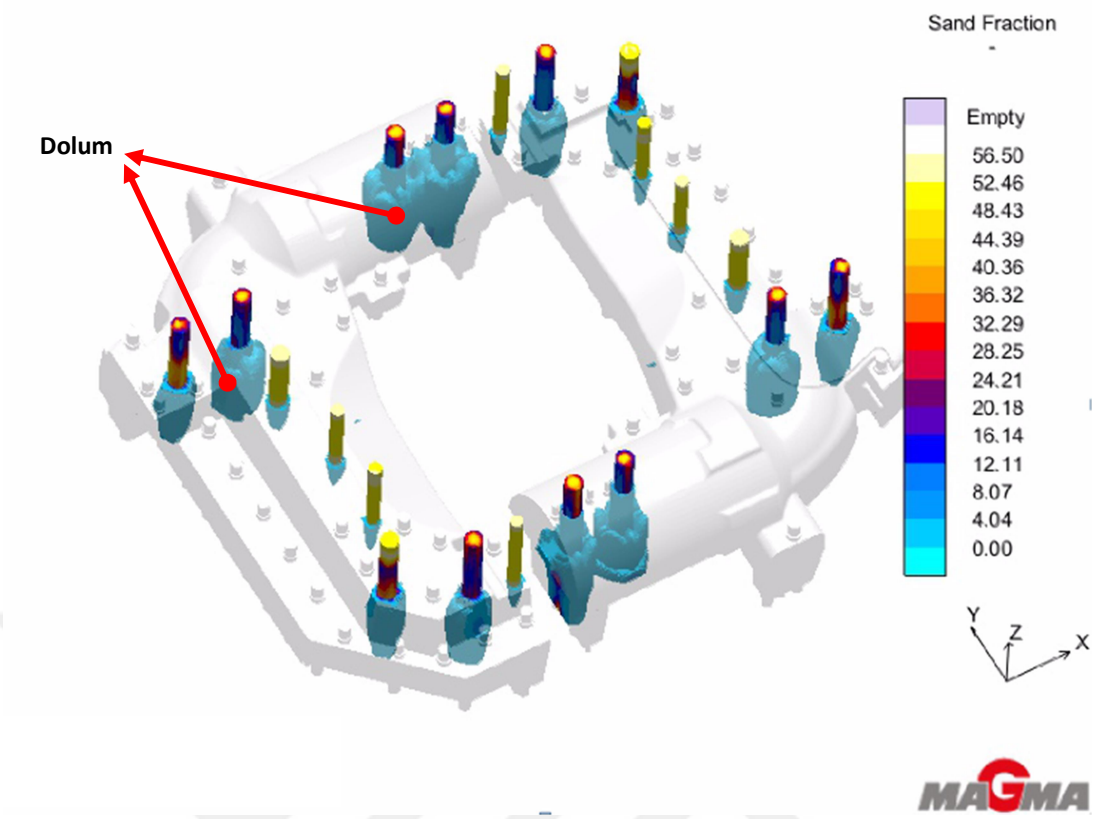


Şekil 2.11 Üfleme ve filtre alanlarının gösterildiği ayrıntılı maça sandığı görünümü

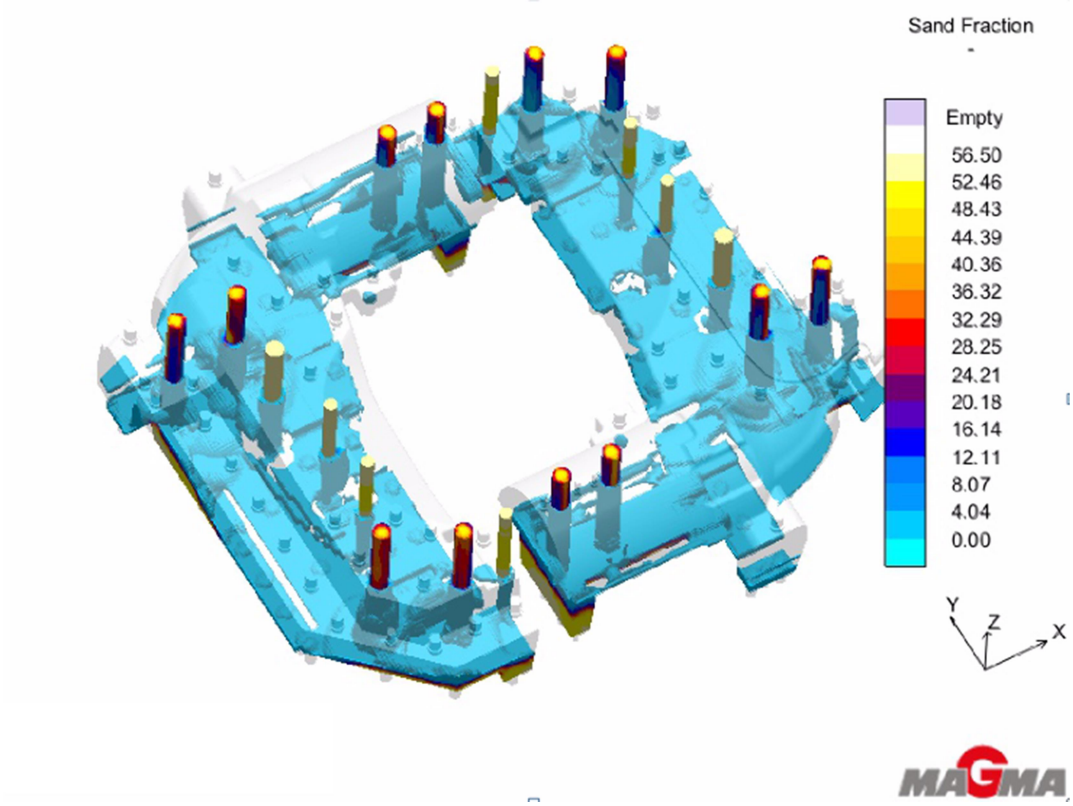
Şekil 2.11'de görüldüğü üzere, bazı maçaların geometrileri, sandığın üfleme alanına bağlı olarak, birkaç figürün aynı anda üretilmesine uygun olabilir. Böyle durumlarda sandığa mümkün olan figür sayısı işlenir ve tek üretimde birden çok maça elde edilir. Bu durum, maçanın sakat üretilme durumunda yedeğinin olması ve dolayısıyla hızlı üretimi desteklemesi nedeniyle dizayn aşamasında düşünülebilir. Örnek olarak Şekil 2.11'de maça sandığı, dokuz figürlü olarak imal edilmiştir.



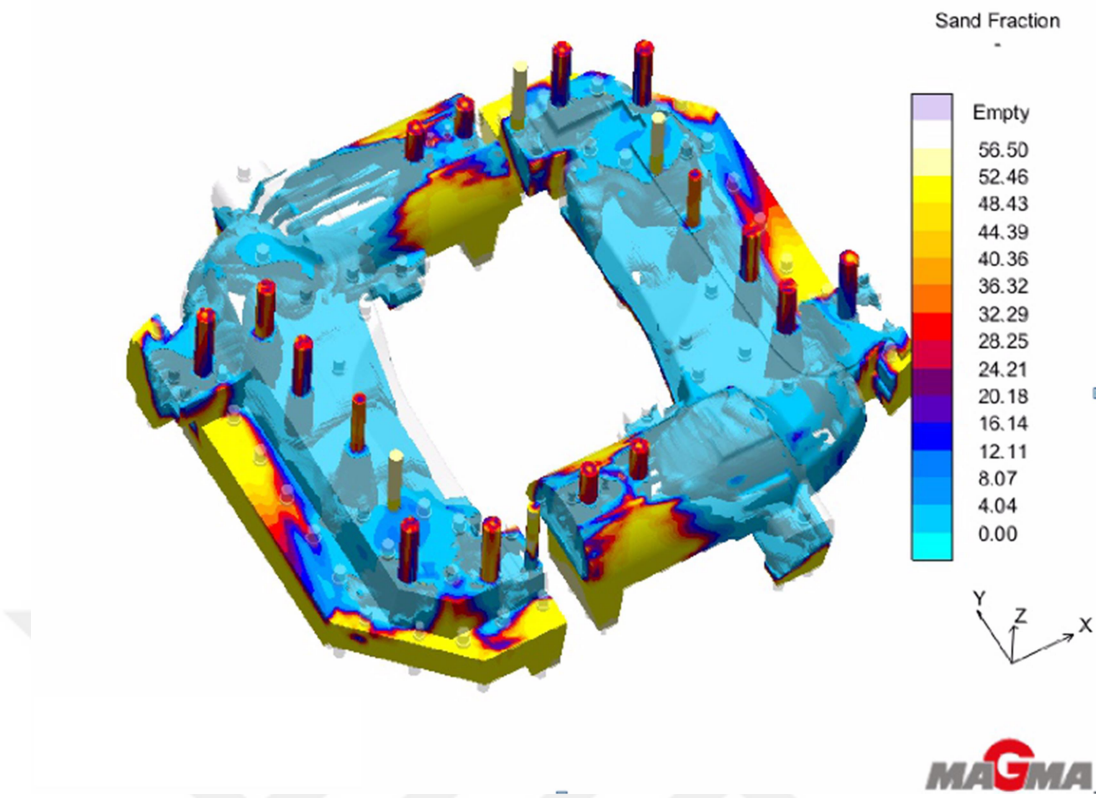
Şekil 2.12 Maça dolum simülasyonu 1



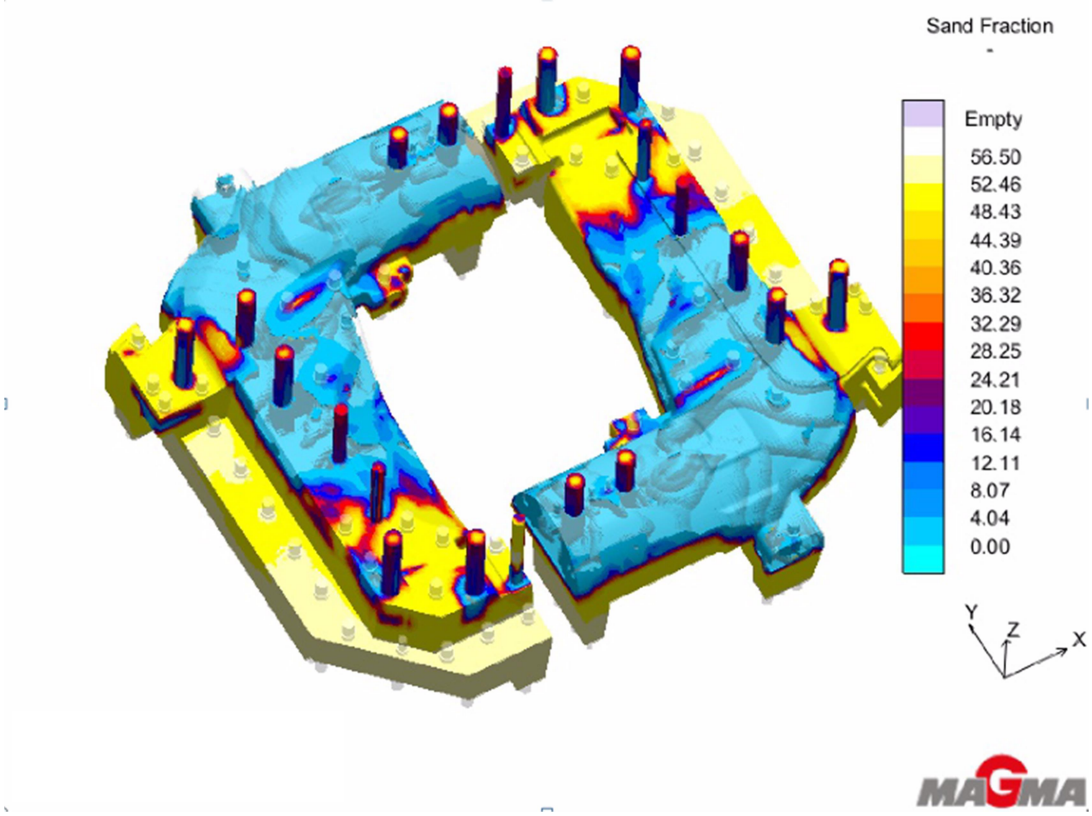
Şekil 2.13 Maça dolum simülasyonu 2



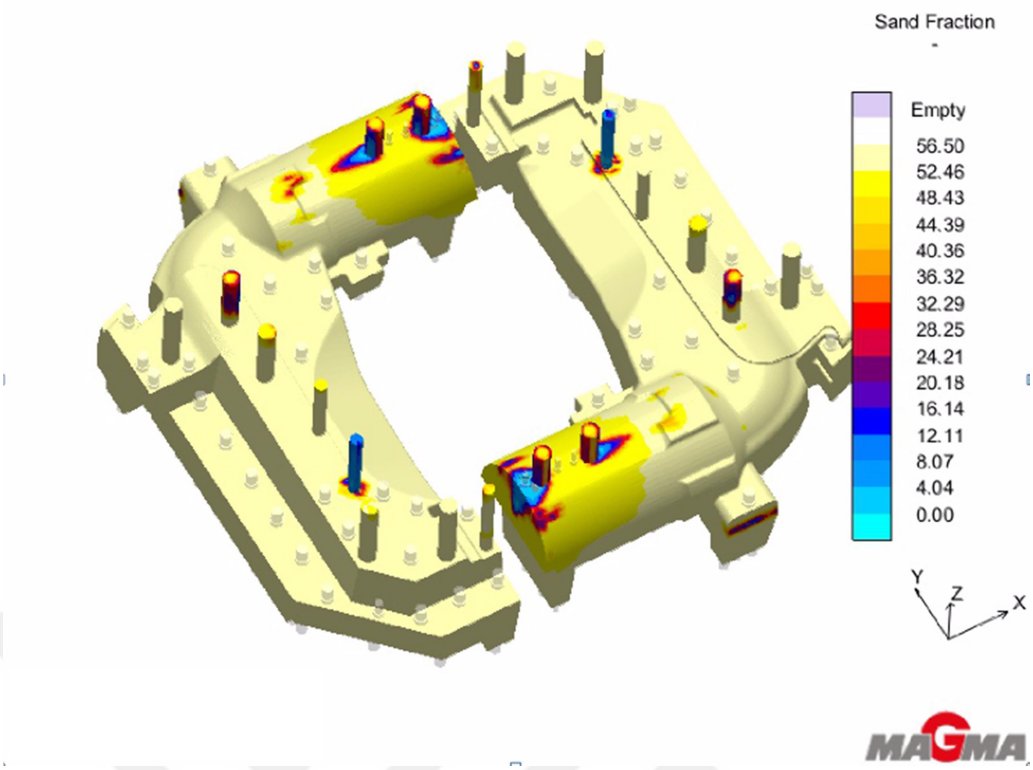
Şekil 2.14 Maça dolum simülasyonu 3



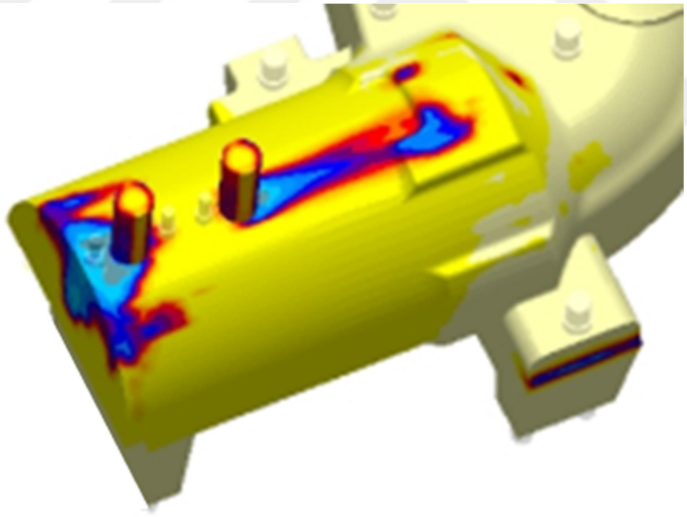
Şekil 2.15 Maça dolum simülasyonu 4



Şekil 2.16 Maça dolum simülasyonu 5



Şekil 2.17 Maça dolum simülasyonu 6



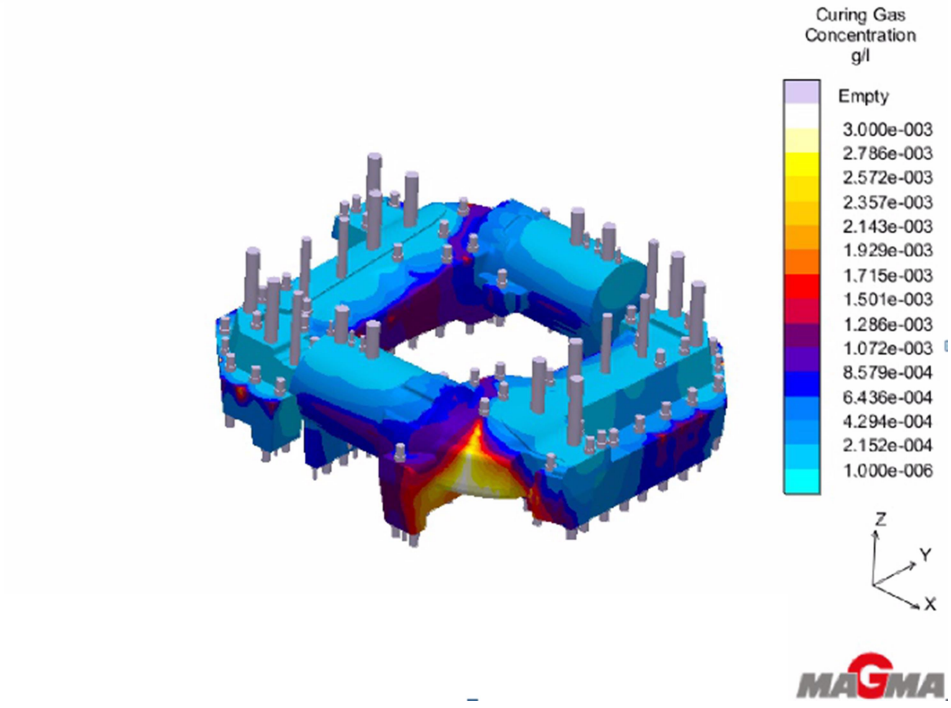
Şekil 2.18 Maça simülasyonu sonucu sıkışmama riski teşkil eden bölge

Maça dolum simülasyonu adım adım izlendiğinde nozullardan giren maça kumu ile, Şekil 2.13'te de görüldüğü haliyle, dolum başlamaktadır. Simülasyon ekranının sağ tarafındaki skalada mavi renk kumun az sıkıştığını ve sarı renk ise kumun iyi sıkıştığını ifade etmektedir. İlk başta mavi olarak gözüken kum, proses ilerledikçe sarı renge doğru dönmeye başlar. Yani renk skalasından da anlaşılacağı gibi kum, sandığın içine doldukça sıkışmaktadır. Dolum simülasyonu sonucu, maçanın büyük bir alanı Şekil

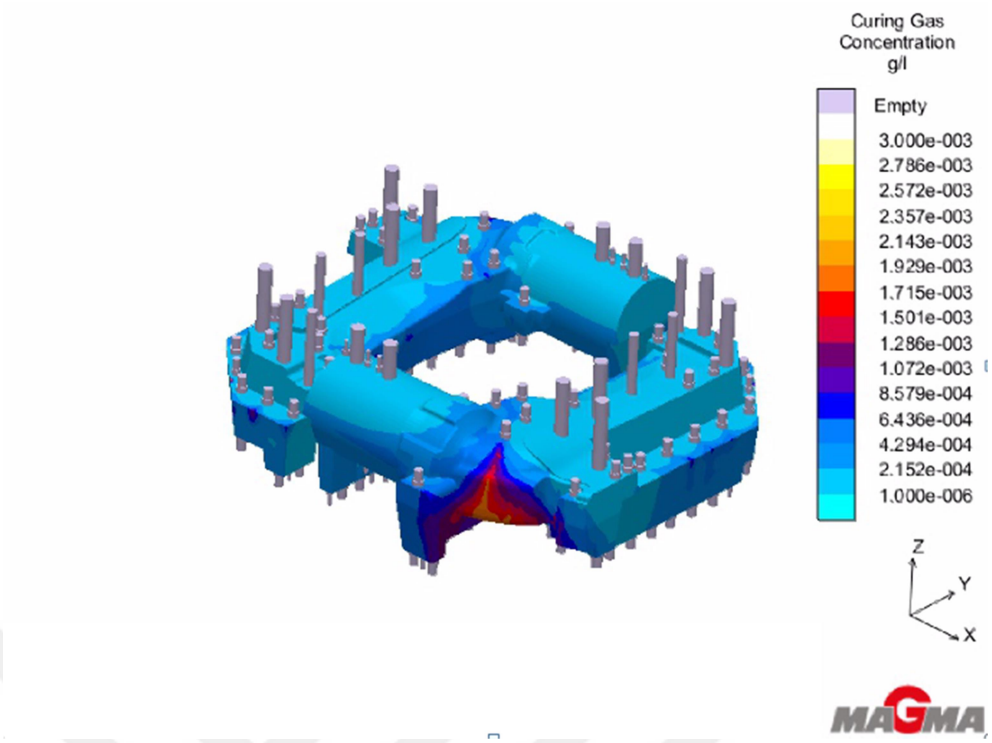
2.17’de de görüldüğü üzere sıkışmış olmasına karşın, Şekil 2.18’de gözüken mavi bölgeler için risk mevcuttur. Proses tamamlanıp sandıktan maça alındıktan sonra bu bölgede iyi sıkışmamış kumun dağılma ihtimali vardır. Bu simülasyon sayesinde maça prosesinde riskli bölgelerin tespiti yapılıp henüz üretim gerçekleşmeden önlem almak mümkündür.

Alt sandık bölgesinde yerçekiminin de yardımıyla dolum yapmak daha kolayken üst sandık bölgesinde bu durum daha zordur. Bu problem için alınabilecek önlem, doğru bölgeye ilave nozul ve havayı yönlü tahliye etmek amacıyla doğru yerleştirilmiş filtreler ile olabilir. Yalnız maça başının dışında, parçanın iş yüzeyi bölgesinde de bu tarz sorunlarla karşılaşılabilir. İş yüzeyine nozul gelmesi genelde istenmez. Çünkü maça üretimi gerçekleştikten sonra nozulların olduğu bölgelerde fazlalık, iz vs. gibi parçanın yüzeyini bozabilecek kalıntılar olabilir. Bu sebeple öncelikle maça başlarına nozul konması, tercih edilir.

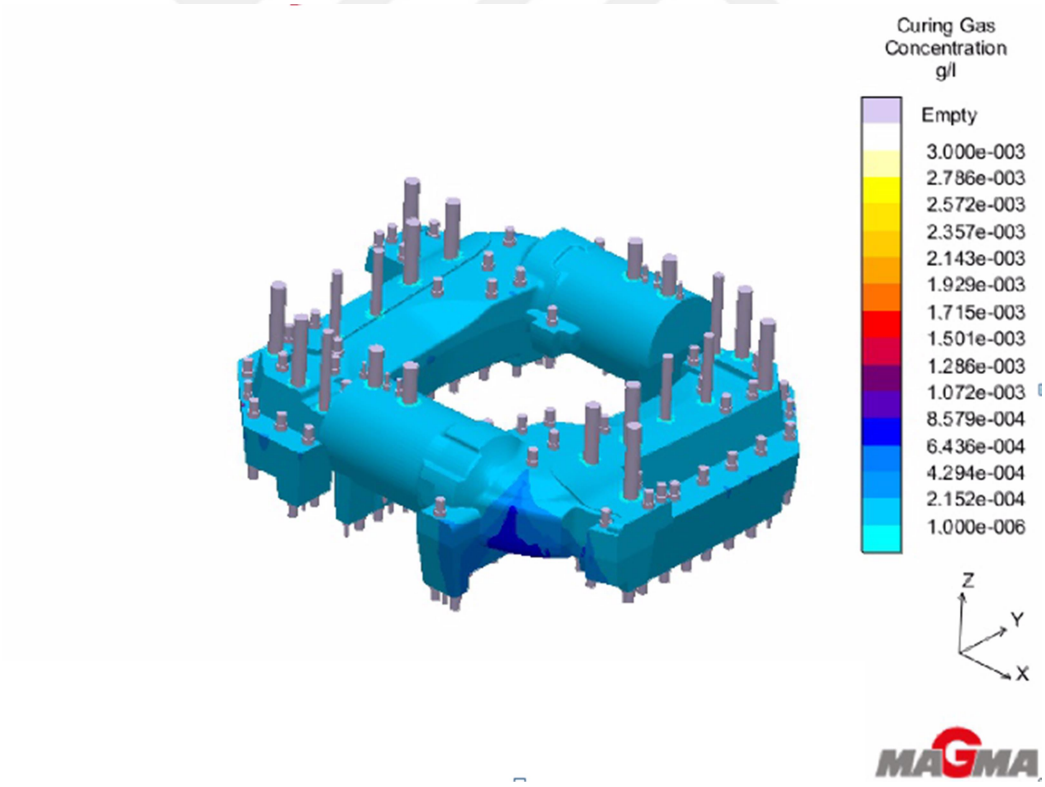
Bu simülasyonda basınç 2,5 bar olarak alınmıştır. Bu değer, maça üretim cihazının normal şartlar altındaki çalışma standartları dahilinde seçilmiştir. Dolum süresi de 1,5 saniye olarak belirlenmiştir.



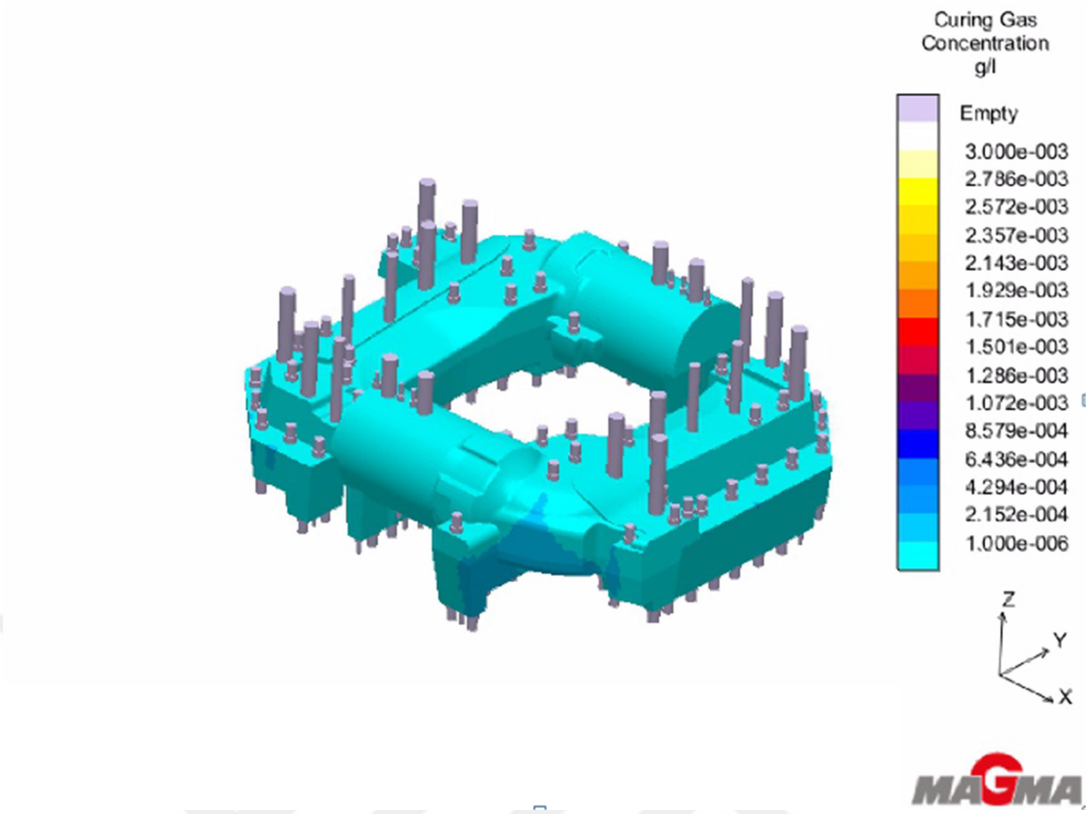
Şekil 2.19 Maça kürleme simülasyonu 1



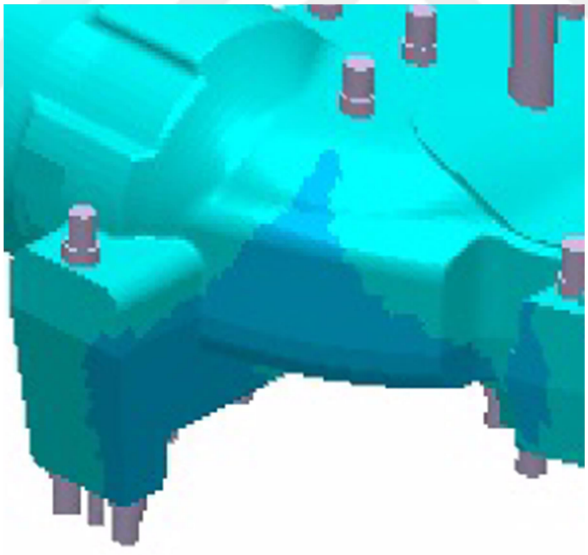
Şekil 2.20 Maça kürleme simülasyonu 2



Şekil 2.21 Maça kürleme simülasyonu 3



Şekil 2.22 Maça kürleme simülasyonu 4



Şekil 2.23 Maça kürleme simülasyonu sonucu risk teşkil eden bölge

Maçanın içine amin gazı, kumu sertleştirici olarak katalizör göreviyle verildikten sonra, dışarı tahliye edilmelidir. Şekil 2.23'te riskli bölge, değerler çok az da olsa gözükmektedir.

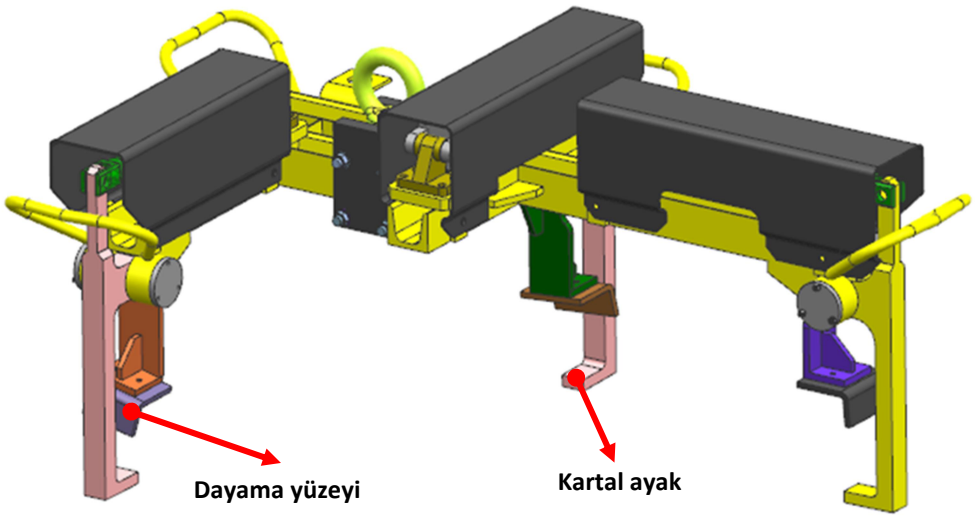
2.2.3 Maça Aparatları

Maçalar, üretilecek parçanın geometrisine göre farklı boyutlarda olabilirler. 0,5 kg ağırlığındaki maçalardan yüzlerce kilo ağırlıkta olan maçalara kadar geniş bir skala vardır. Yüksek ağırlıklı maçaların insan ile taşınması tehlikeli ve zor olduğundan maçaların taşınmasında, boyanmasında, fırından alınmasında, kalıba konmasında aparatlardan faydalanılır. Yaklaşık 20 kg. ve üzeri ağırlıklardaki maçalar için aparat kullanılması faydalıdır. Ağır bir maçanın taşınması sırasında düşmesi vs. gibi sorunlarla karşılaşıldığında yaralanmalar meydana gelebilir. Öncelikle iş güvenliği, insan sağlığı için belirli limitlerin üzerindeki maçalar için aparat kullanımı önemlidir.

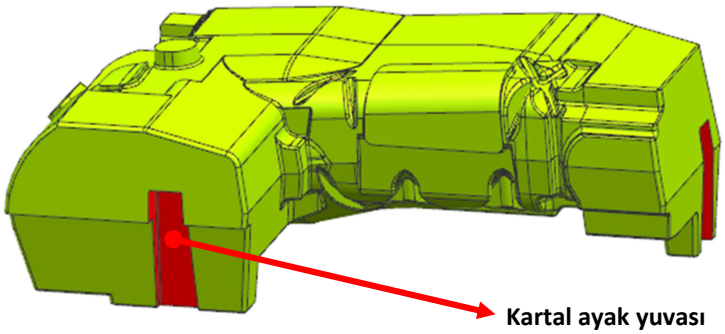
Proses açısından da aparatların önemi büyüktür. Büyük kütleli maçaların üretildikten sonra sandıktan alınması, boyanması, fırından alınması gibi süreçler eğer aparatlar yoksa zordur. Maçalar ağır olduğundan yine işlem sırasında oluşabilecek çarpma, düşme gibi sorunlar maçanın geometrisini bozar ve maçayı ıskartaya ayırabilir. Bu da ekstra maliyet olarak yansıyacaktır.

Aynı şekilde maçanın kalıba konarkenki pozisyonu, sağlam bir şekilde yerleştirilmesi de önemlidir. Maça başlarının olduğu bölgelere yerleştirilecek maçalar, eğer hassas bir şekilde kalıba konmazsa çarparak kalıbı bozabilir, kum kopartabilir. Bu durum geometride farklılıklara veya düşen kumun, metalin akış yönüyle ilgili olarak, sürüklenerek parçanın değişik kısımlarında kum sakatına neden olabilir.

Maça aparatlarının genel olarak kullanılan modellerinden biri kartal ayaktır. Kartal ayak modeli, Şekil 2.24'te de görüldüğü gibi ayakların kapanmasıyla Şekil 2.25'te de gösterilen maçada aparat için tasarlanmış yuvalara geçerek maçayı tutar ve taşınmasına yardımcı olur. Pnömatik olarak çalışan aparatlar, hava basıncının yer değiştirerek pistonlara verdiği hareket ile kapanır. Ayrıca aparat üzerinde, maçanın pozisyonunu koruması için eklenmiş dayama yüzeyleri de Şekil 2.24'te gösterilmiştir.

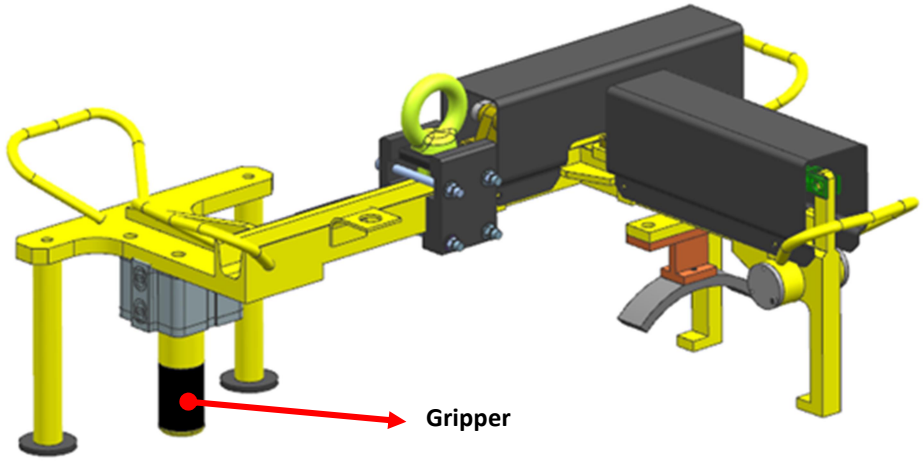


Şekil 2.24 Kartal ayak maça aparatı

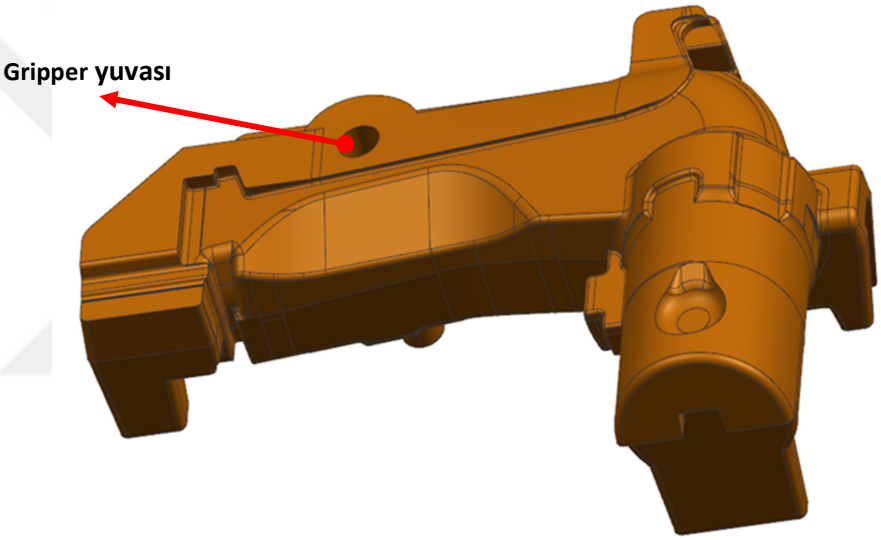


Şekil 2.25 Kartal ayak bölgelerinin gösterildiği maça dizaynı

Bir diğer aparat ise tutucudur (gripper). Şekil 2.26'da gösterilen silindirik kısım, Şekil 2.27'de gösterilen maçadaki yuvaya girer ve girdikten sonra yine pnömatik sistem yardımı ile şişer. Şiştiği zaman yuvanın çeperine tutunur ve maçanın taşınması sağlanır.

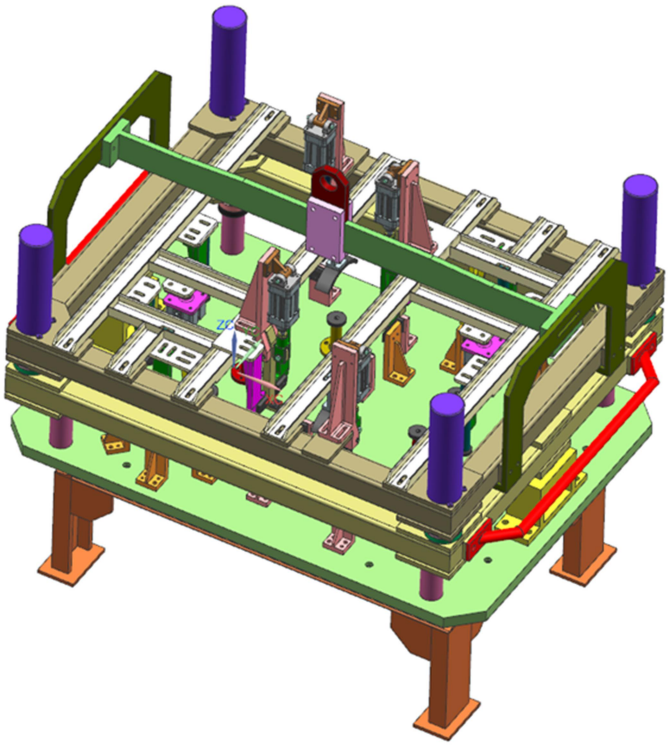


Şekil 2.26 Gripper maça aparatı



Şekil 2.27 Maçadaki gripper yuvası

Maçalar kalıba konarken dikkat edilmesi gerekmektedir. Aksi halde yukarıda da bahsedildiği şekliyle kalıbı bozabilir ve beraberinde çeşitli sakatlara ortam hazırlayabilir. Hassas şekilde kalıba yerleşmesi gereken bilhassa ağır maçaların yerleştirilmesi sırasında merkezlemeli aparat kullanılır. Merkezlemeli aparat, dayama yüzeyleri ile maçayı aynı kalıbın içindeki pozisyonundaymış gibi tutar ve maçaların kalıba aynı şekilde aktarımını sağlar.



Şekil 2.28 Merkezlemeli aparat

2.3 Kum

2.3.1 Döküm Kumunun Genel Özellikleri

Kum kalıba döküm yöntemi, adını kalıp malzemesinden almıştır. Model yardımıyla elde edilecek parçanın negatifi, kum kalıbın içinde oluşur.

Kum, birçok yönden diğer kalıp malzemelerine göre daha avantajlı bir kalıp malzemesidir. Doğada fazla miktarda bulunması, kumu kolay ulaşılır ve ekonomik yapar. Bu da döküm ile imalat yönteminde kumun en çok tercih edilmesi sebepleri arasında başta gelir.

Döküm için kullanılan kalıp kumları, bazen doğadan yeterli kil oranıyla elde edilir. Kil kumda bağlayıcı görevi görmektedir. Bu karışıma su ilavesi de yapılarak kil aktifleştirilir ve kumdan istenen mekanik özellikler elde edilir. Dolayısı ile kum, kalıplamada bu haliyle kullanılabilir. Bu kumlar, doğal kum olarak sınıflandırılır. Doğal kalıp kumu, nem miktarını uzun süre muhafaza etmesine karşın özellikleri değişkenlik gösterdiğinden sürekli istenen değerlerde tutması zordur [6]. Sentetik kumlar ise kumun içerisindeki yetersiz orandaki kili ve diğer istenmeyen maddeleri temizlemek için yıkanıp istenen

boyutlarda sınıflandırılır [2]. Sonrasında istenen mekanik özelliklerin sağlanabilmesi adına bağlayıcılar ve bazı ilave malzemeler eklenerek kalıplamaya uygun hale getirilir. Sentetik kumlar ise doğal kumlara göre tane boyutu bakımından daha homojen olup refrakter özellikleri daha iyidir [6]. Ayrıca istenen özellikleri elde etmek adına ilave edilmesi gereken su ve bağlayıcı miktarı daha azdır [6].

Çizelge 2.3 Kalıp malzemesi olarak kumun avantaj ve dezavantajları

<table>
<tr><th>Avantajları</th><th>Dezavantajları</th></tr>
<tr><td>Doğada çok fazla bulunmasından ötürü erişimi kolay ve maliyeti uygundur.</td><td rowspan="3">Kum parametreleri birçok değişkene bağlı olduğu için, bu parametreleri proses dahilinde sabit tutmak zordur. Örneğin kompaktibilite[1] değeri, proseste daha önce belirlenen optimum değerlerde ölçülmüş kum ile yapılan üretim ve yine aynı parçanın başka bir dökümünde değişkenlik gösteren kompaktibilite değeri ile yapılan dökümü arasında fark olabilir. Çok fazla sıkıştırılmış kalıpta geçirgenlik azalacağından, bu durum, bir önceki dökümde gözlenmemiş olmasına karşın, gaz sakatına sebep olabilir.</td></tr>
<tr><td>Kalıp ve maçalar dökümün ardından bozulduktan sonra, kalıbı ve maçayı oluşturan bu kumlar, rejenerasyon[2] sisteminde işlemden geçerek tekrar tekrar kullanmaya hazır hale getirilir.</td></tr>
<tr><td>Kumun refrakter[3] özelliği, döküm sırasında yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalıp kumunun, bu sıcaklıklar karşısında mukavim kalmasını sağlar.</td></tr>
<tr><td>Kumun kolayca şekillendirilebilmesi, ideal bir kalıp malzemesi olarak düşünülmesinde en önemli özelliklerden biridir. Model yardımıyla kalıpta istenen boşluk, kumun bu özelliği ile kolayca elde edilir.</td><td>Yüzey kalitesi çok iyi değildir. Örneğin metal kalıba döküm ile imal edilmiş bir parçanın yüzey kalitesi ile kum kalıptan imal edilmiş bir parçanın yüzey kalitesi karşılaştırıldığında aralarında fark olduğu gözlemlenecektir.</td></tr>
<tr><td>Otomasyona uygun olması, yüksek sayıdaki seri üretimler için kum kalıbı önemli kılar.</td><td>Kum kalıp ile dökümde boyut hassasiyeti çok fazla olmadığından bilhassa ince cidarlı parçaların üretiminde problem yaşanabilmektedir.</td></tr>
</table>

[1] Sıkıştırılabilirlik.
[2] Yenileme.
[3] Yüksek sıcaklığa karşı dayanıklılık.

Çizelge 2.3 Kalıp malzemesi olarak kumun avantaj ve dezavantajları (devamı)

Avantajları	Dezavantajları
Geniş aralıkta yer alan ağırlık ve boyuttaki parçaların dökümü kum kalıp ile gerçekleştirilebilir. Yaklaşık 0,5 kg. ağırlıktan tonlara varan ağırlıktaki parçalar dökülebildiği gibi yine boyut olarak geniş bir yelpazede üretim yapılabilir.	Kalıp, döküm esnasında erozyona uğrayabilir. Meme girişlerinden kalıp boşluğuna dolmaya başlayan metal, kalıba çarptığı yüzeyde kumu sürükleyebilir. Bu gibi durumlarda parça gözlemlendiğinde kumun erozyona uğradığı yerde, erozyona uğrayan kum kadar bir fazlalık bölge gözlemlenecektir. Sürüklenen kum, parçanın kalıp boşluğundaki herhangi bir yüzeyinde artı bölge oluşturacağından, döküm sonucu kalıpta artı bölgelerin karşılığı olarak boşluklar meydana getirip sakata neden olabilir. Döküm sonrası parça, yollukları kırılmadan incelenirse kopan kumun yolluktan mı yoksa parçadan mı geldiğini tespit etmek daha kolay olacak, daha sağlıklı önlemler alınacaktır.
Kum kalıbın gaz geçirgenliği yüksektir. Bu sayede döküm esnasında kalıp içerisinde oluşan gazların kalıp dışına tahliyesi konusunda bu özellik, bir avantajdır.	Kalıptaki nemden dolayı, sakat riski mevcuttur [1].

2.3.2 Kum Çeşitleri

Kum, 0,05-2 mm ebatlarındaki mineral tanesi olarak tanımlanabilir [6]. Çoğu yaş kum kalıplar, içerisinde bentonit, kömür tozu, su ile birlikte silis kumları ile harç edilerek oluşturulmaktadır [2]. Silis kumlarının yanında kalıplamada kullanılan başlıca diğer kum çeşitleri olivin, zirkon, kromit olarak sınıflandırılabilir.

2.3.2.1 Silis Kumu

Dökümde en çok tercih edilen kum, silis (SiO_2) kumudur. Silis kumunun tercih edilmesindeki en önemli özelliklerin başında maliyet olarak uygunluğu, kolay elde edilebilirliği ve yüksek refrakter özelliği gelmektedir.

2.3.2.2 Zirkon Kumu

Zirkon kumunun kimyasal bileşimi $ZrSiO_4$'tür. Zirkon kumu yüksek refrakter özelliklere ve çok iyi dökümhane karakteristiklerine sahiptir [2,5]. Zirkon kumunun öncelikli avantajları arasında, çok az ısıl genleşme, yüksek ısıl iletkenlik ve ergiyik metal ile reaksiyona girme özelliğinin düşük olması sayılabilir [2]. Zirkon kumu, oval şekilli yapıya sahiptir [2].

2.3.2.3 Olivin Kumu

Olivin kumu, Mg_2SiO_4 ve Fe_2SiO_4 katı karışımı şeklindedir [2]. Bu kum çeşidi, ısıl genleşme bakımından silis kumuna kıyasla çok daha iyidir [2]. Bu sebeple, çelik dökümlerinde kalıbın ölçüsel kontrolünü sağlamak adına tercih edilmektedir [2]. Olivin kumu, köşeli yapıya sahip bir kum çeşididir [2].

2.3.2.4 Kromit Kumu

Kromit ($FeCr_2O_4$), siyah ve köşeli yapıya sahip olan bir kum çeşididir [2]. Ayrıca yüksek ölçüde refrakter olup kimyasal tepkimeye girme eğilimi düşük, ısıl kararlılığı yüksek ve çok iyi soğuma özelliklerine sahiptir [2].

2.3.3 Döküm Kumundan Beklenen Özellikler

Kum hazırlandıktan sonra, döküme uygunluğunun sağlanması için bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu özellikler yaş mukavemet, gaz geçirgenliği, sıcaklığa dayanım, kuru mukavemet, akıcılık, genleşme şeklinde sınıflandırılabilir ve kumun şekline, inceliğine, bağlayıcı türü ve kullanılma miktarına, nemlilik oranına göre değişkenlik göstermektedir.

2.3.3.1 Yaş Mukavemet

Kalıp kumu, silis, bağlayıcı, su, kömür tozu ve bazı diğer malzemelerin harç edilmesiyle birlikte hazırlanmaktadır. Kum, kalıp haline geldikten sonra üretimde yüksek sıcaklıklardaki ergiyik metal ile temas halinde, katılaşma gerçekleşene kadar kalmaktadır. Kalıp hazırlanırken ve ergiyik metal kalıp boşluğuna girdiği anda, doğru sonuçlar elde edilecek bir üretim yapabilmek adına kalıbın şeklini koruması

gerekmektedir. Bu dayanımı sağlayan da yaş mukavemettir. Yaş mukavemet, kalıp kumu hazırlanırken temper suyu[1] ilavesinin ardından ölçülen dayanım değeri olarak da tanımlanabilir [6]. Yaş mukavemet değerinin ilişkili olduğu bazı parametreler vardır. Bu parametreler, tane inceliği, tane şekli, bağlayıcı cinsi ve miktarı, nem miktarı olarak sınıflandırılabilir [6].

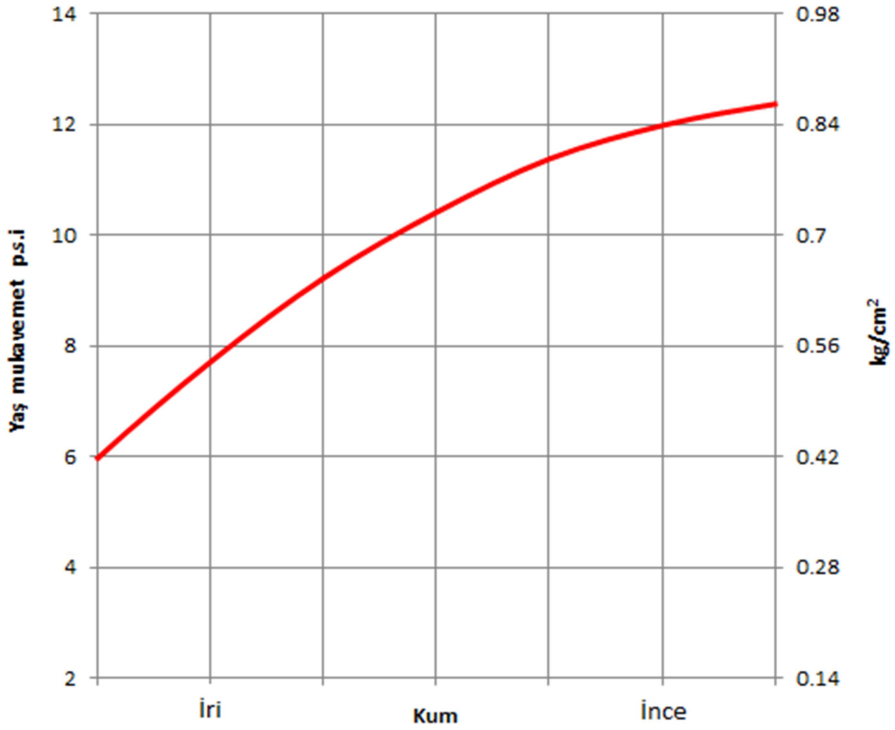
Kum taneleri inceldikçe, yaş mukavemeti olumlu yönde etkileyecektir. Aksi şekilde düşünüldüğünde, tane inceliği azaldığında, yani kum taneleri irileştiğinde, yaş mukavemet de, diğer parametreler sabit kaldığı takdirde, azalacaktır.

Kum taneleri oval ve köşeli olmakla birlikte, oval yüzeyli kumların temas yüzeyi, köşeli yapılı kum tanelerine göre daha azdır.

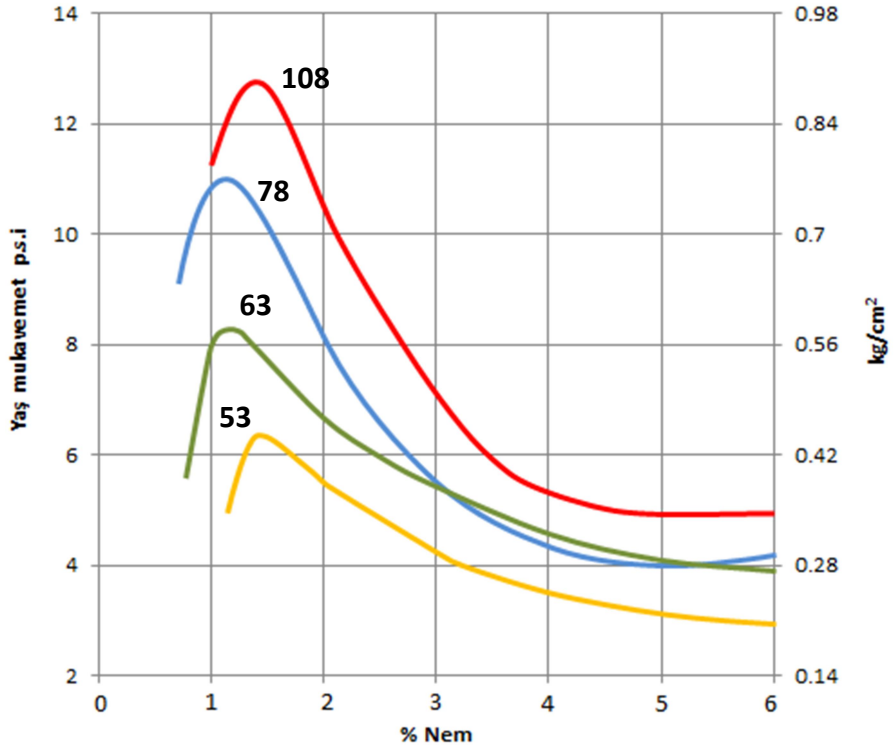
Dökümde kullanılacak kum içerisine, kalıptan istenen mekanik özellikleri sağlayabilmesi için bazı malzemeler ilave edilir. Bunlardan biri de bağlayıcıdır. Bağlayıcı miktarı arttıkça kumun yaş mukavemeti de artacaktır. Yalnız bağlayıcı miktarının fazla arttırılması kalıbın gaz geçirgenliğini azaltacağından proseste belirlenmiş optimum seviyede ilave edilmesi gerekmektedir. Ayrıca bağlayıcı çeşidinin değişmesiyle de yaş mukavemet değeri etkilenecektir.

Su, kalıp kumu hazırlanırken ilave edilen malzemelerden biridir. Kumun içerisindeki kili, bağlayıcıları aktifleştiren su, uygun seviyede kullanıldığında yaş mukavemet artacaktır.

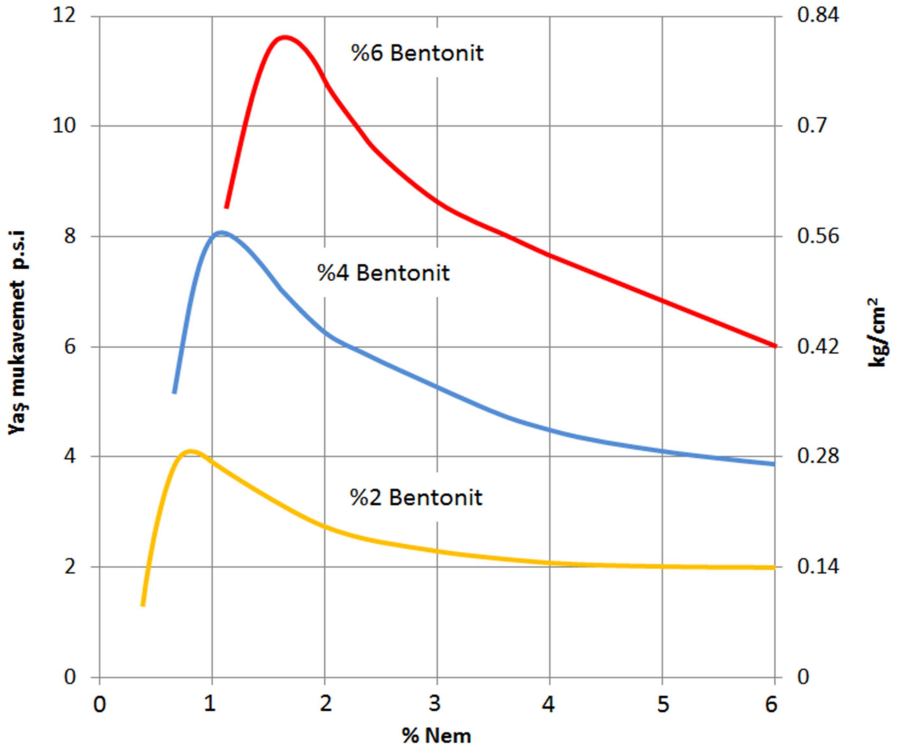
[1] Kilin bağlayıcılık özelliğini aktifleştirmek için ilave edilen su [2].



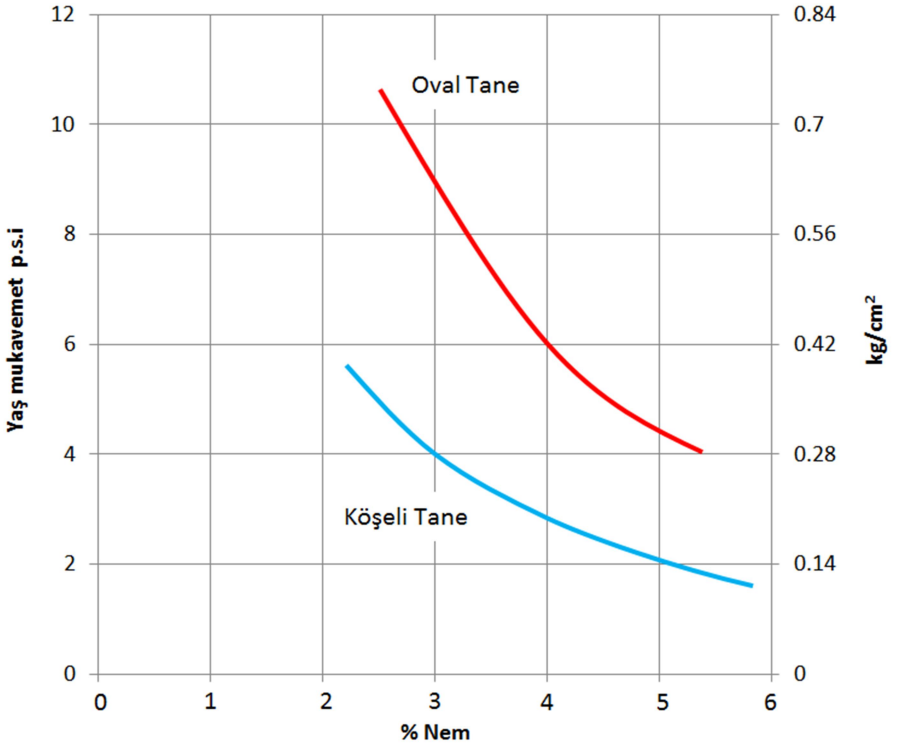
Şekil 2.29 Tane İnceliği – Yaş Mukavemet grafiği [6]



Şekil 2.30 Farklı tane inceliklerine göre yaş mukavemet değişimi [6]



Şekil 2.31 Değişen bentonit miktarlarının nem oranına göre yaş mukavemet üzerindeki etkisi [6]



Şekil 2.32 Kum Şekli – Yaş Mukavemet grafiği [6]

2.3.3.2 Gaz Geçirgenliği

Kalıp içerisinde döküm esnasında oluşacak gazların dışarı atılması, kalıbın geçirgenliğiyle doğrudan ilişkilidir. Kalıbın geçirgenliği yeteri kadar iyi değilse gaz kalıptan dışarı tahliye edilemez ve parçada gaz sakatları gözlemlenebilir.

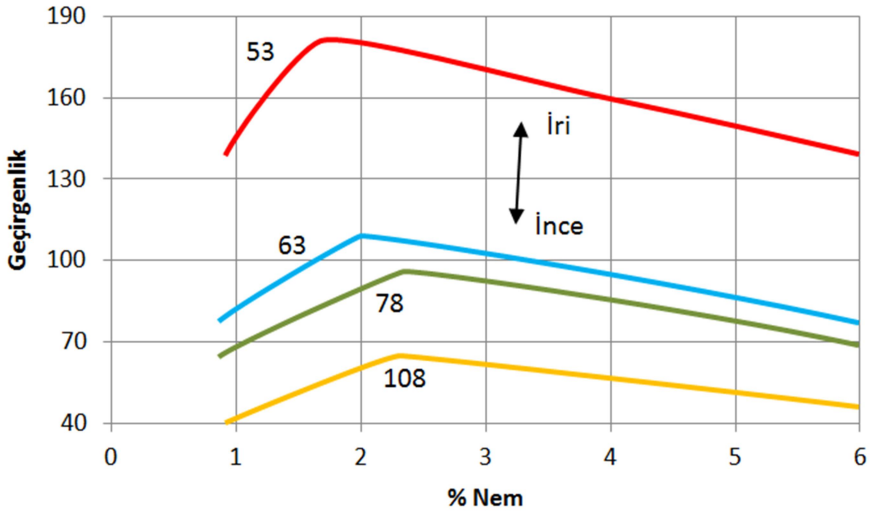
Kum tanelerinin inceliği, gaz geçirgenliğini etkileyen faktörlerden biridir. Kum taneleri ne kadar ince olursa birbirine sıkışması o kadar kolay olur. Kalıpta gaz geçirgenliği, kum taneleri arasındaki boşluktan kaynaklandığı için bu durum geçirgenliği azaltacaktır.

Yine aynı şekilde kum tanelerinin şekli de geçirgenlik üzerinde etkili bir parametredir. İncelik ve irilik ile olan ilişkiyle aynı prensibe dayanarak, oval şekilli kum taneleri birbiri ile daha sıkı bir araya gelir ve bu durum yine kum taneleri arasındaki boşluğu azaltacağından geçirgenlik üzerinde negatif etki yaratacaktır. Köşeli yapılı kum taneleri ise oval şekilli kum taneleri kadar iyi sıkışamayacağından gaz geçirgenliği açısından daha iyidir. Yalnız köşeli taneli kum da temas yüzeyinin fazla olmasından kaynaklı olarak daha fazla bağlayıcı ihtiyacı doğuracağından bu da geçirgenliği negatif yönde etkileyecektir.

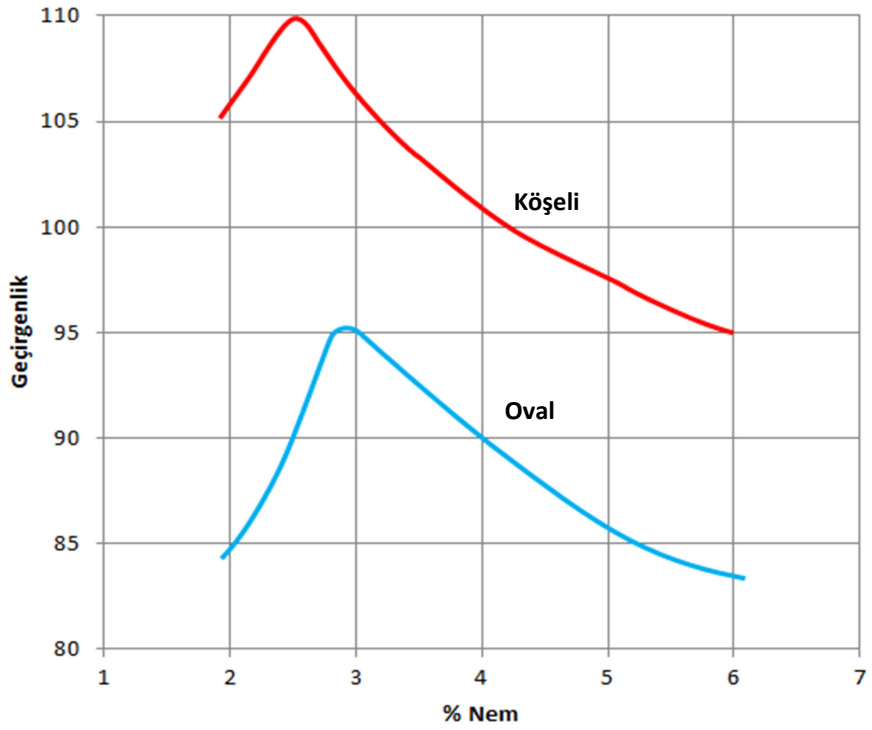
Bağlayıcıların gaz geçirgenliği üzerindeki etkisi de diğer parametreler ile benzerdir. Bağlayıcı miktarı, optimum seviyelerin üzerinde ise kum taneleri arasındaki boşlukları dolduracağından geçirgenliği azaltacaktır. Bağlayıcı ilavesi yapılırken, elbette ki kalıbın mukavemeti de düşünülmelidir. Sadece geçirgenlik değil, aynı zamanda mukavemetin de istenen değerlerde olduğu ideal oranda bağlayıcı kullanılmalıdır. Çünkü dökümdeki kalite, tüm bu birbirine bağlı parametrelerin uygun değerlerde olmasıyla elde edilmektedir.

Nem miktarı, geçirgenlik üzerine etki eden bir başka değişkendir. Az nem ile kum tanecikleri arasındaki alanı azaltan kuru kil, geçirgenliği azaltacaktır [6]. Yeterli nem oranı sağlandığında ise mevcut kil aglomere[1] olacak ve geçirgenlik artacaktır [6]. Nem miktarının gereğinden fazla olmasıyla yine diğer etkenler gibi kum taneleri arasındaki boşluk azalacak ve dolayısıyla geçirgenlik de azalacaktır [6].

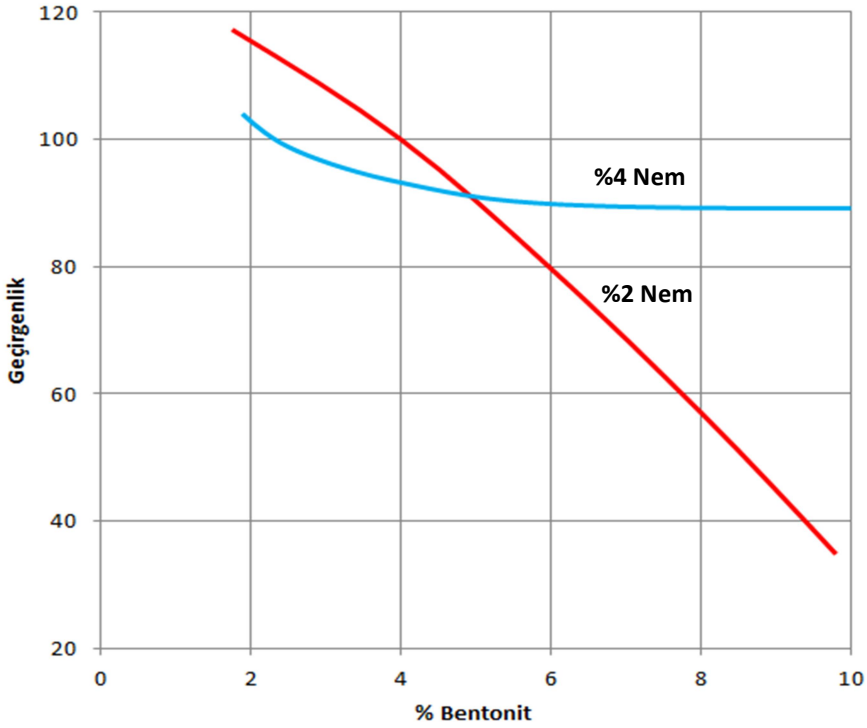
[1] Yığınlaşmak, topaklaşmak.



Şekil 2.33 Kum tane inceliği, nem oranı ve gaz geçirgenliği arasındaki ilişkinin grafik üzerinde gösterimi [6]



Şekil 2.34 Kum şekli ve geçirgenlik arasındaki ilişkinin gösterildiği grafik [6]



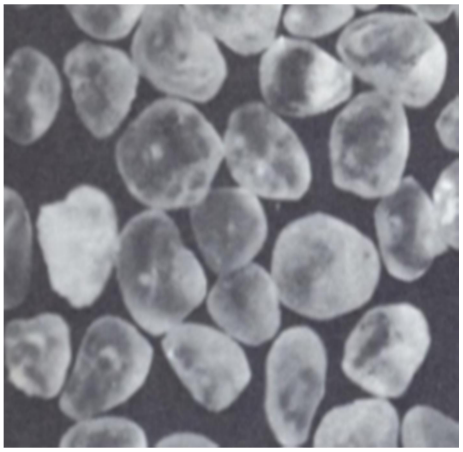
Şekil 2.35 Bentonit oranı, nem ve geçirgenlik arasındaki ilişkinin grafiği [6]

2.3.3.3 Tane İriliği-İnceliği

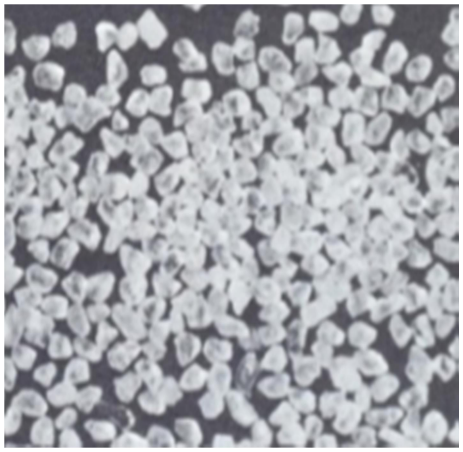
Kum taneleri, çeşitli ebatlarda bulunabilirler. Bu kumlar, boyutsal olarak homojenlik sağlanması için eleklerden geçirilerek sınıflandırılırlar. Tane büyüklüğü, AFS olarak ölçülür. Örneğin tane boyutu 108 AFS olan kum, tane boyutu 53 AFS olan kumdan daha ince yapıdadır.

Kum taneleri ne kadar ince olursa birbirine doğru yanaşması o kadar fazla olacaktır. Bu durum iyi bir döküm yüzeyi, mukavemeti iyi seviyedeki kalıp kumu elde etmeye yardımcı olsa da kumlar arası boşluk azalacağından Şekil 2.33'te görüldüğü üzere geçirgenliği de aynı zamanda olumsuz yönde etkileyecektir.

Kum taneleri inceldikçe yüzey alanları da küçüleceğinden iri taneli kumlara göre daha az bağlayıcı ihtiyacı doğacaktır.



Şekil 2.36 İri taneli kum [7]

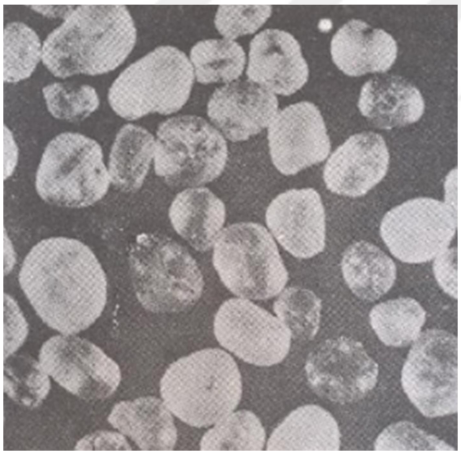


Şekil 2.37 İnce taneli kum [7]

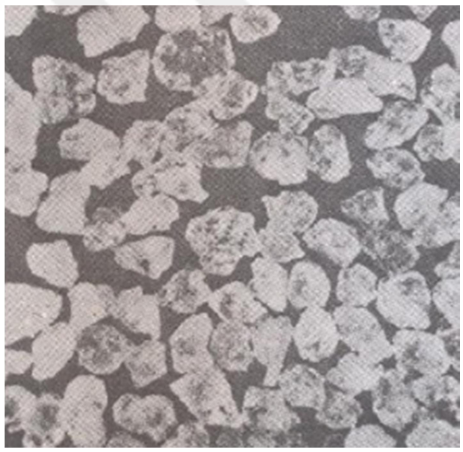
2.3.3.4 Tane Şekli

Kum tanelerinin geometrik şekli genel haliyle oval ve köşeli olarak sınıflandırılabilir. Bu geometriler, kumlara farklı özellikler kazandırmaktadır.

Yuvarlak taneli kumlar düşük yüzey alanına sahiptir. Bu sebeple bağlayıcı gibi ilave malzemelerin kullanımı, köşeli yapıdaki kumlara göre daha azdır.

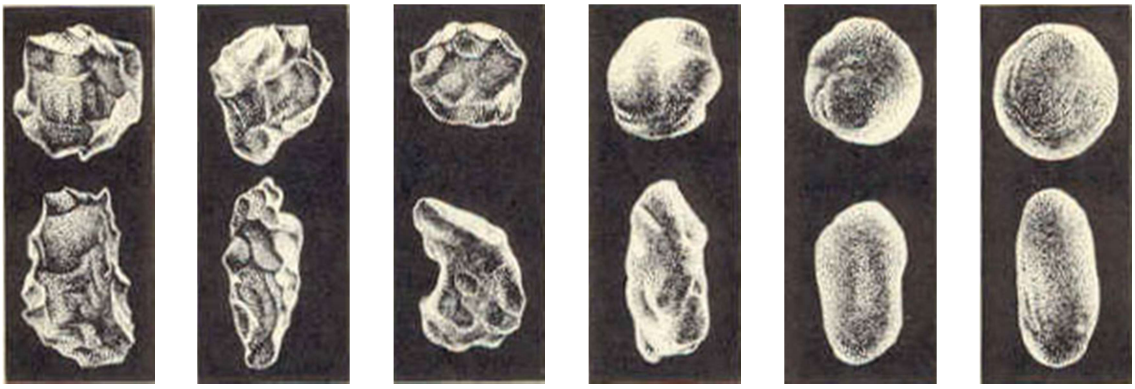


Şekil 2.38 Oval taneli kum [7]



Şekil 2.39 Köşeli taneli kum [7]

Köşeli taneli kumlar, oval taneli kumlara göre çok daha fazla yüzey alanına sahiptirler. Bu kumlarda kullanılan bağlayıcı miktarı, oval köşeli parçalara göre çok daha fazladır.



Şekil 2.40 Kum tanelerinin ayrıntılı sınıflandırılmış şekli [8]

2.3.3.5 Kuru Kukavemet

Kalıp boşluğunun içine sıcak metal döküldüğünde, kalıbın içindeki nem buharlaşmaya başlar. Bu süreçte kum, kalıptan kopup erozyona uğramamalıdır. Kalıbın kuru mukavemeti ne kadar yüksekse kalıbın erozyona direnci o kadar iyi olur. Kuru mukavemet değeri, yaş mukavemet ile benzer parametrelerden, benzer şekillerde etkilenmesine karşın bağlayıcı türlerine göre farklılık göstermektedir [6]. Na - bentonitleri, Ca - bentonitlerine göre daha iyi kuru mukavemet sağlamaktadır [6].

2.3.3.6 Sıcak Mukavemet

Kalıp boşluğuna ergiyik metal döküldükten sonra katılaşma gerçekleşene kadar kalıp bu sıcaklığa maruz kalacaktır. Bu durum karşısında kalıbın, sağlıklı bir üretim gerçekleştirilebilmesi adına, şeklini koruması gerekmektedir. Na - bentonitleri, kalıplara yüksek sıcak mukavemet sağlamaktadır [6].

2.3.3.7 Isıl Genleşme

Kalıp kumu, sıcaklığa maruz kaldığı zaman genleşmeye uğrayacaktır. Bu genleşme miktarı fazla olursa kalıp boşluğunun ölçüleri de değişeceğinden parçanın ölçüsel sorunlarına ortam hazırlayacaktır. Örneğin kum cinsi olarak silis kumu, ısıl genleşme bakımından zirkon ve olivin kumuna göre daha başarısızdır.

2.3.3.8 Akıcılık

Dökümün doğru bir şekilde gerçekleşmesi adına modelin, kalıp içerisinde negatifi doğru şekilde oluşturması gerekmektedir. Kum ne kadar akıcı olursa model, kum tarafından o kadar iyi sarılır ve kalıp boşluğu o kadar doğru şekilde oluşur.

2.3.4 Bağlayıcılar

Kalıp kumu ve maçalar hazırlanırken gerekli sağlamlığın elde edilebilmesi adına bağlayıcılar kullanılmaktadır. Mikserlerde kum, su ve bağlayıcılar belirli oranlarda karıştırılarak kalıp kumları ve maça kumları hazırlanmaktadır. Bu bağlayıcılar, organik ve inorganik olmak üzere iki grupta incelenebilir.

Kalıp kumu hazırlanırken en çok tercih edilen inorganik bağlayıcı killer olup killerin arasında da bentonitlerdir [6].

Bentonitler, iyon değiştirme özelliğine sahip, % 85-90 oranlarında montmorillonit[1] minerallerini içeren kildir [6].

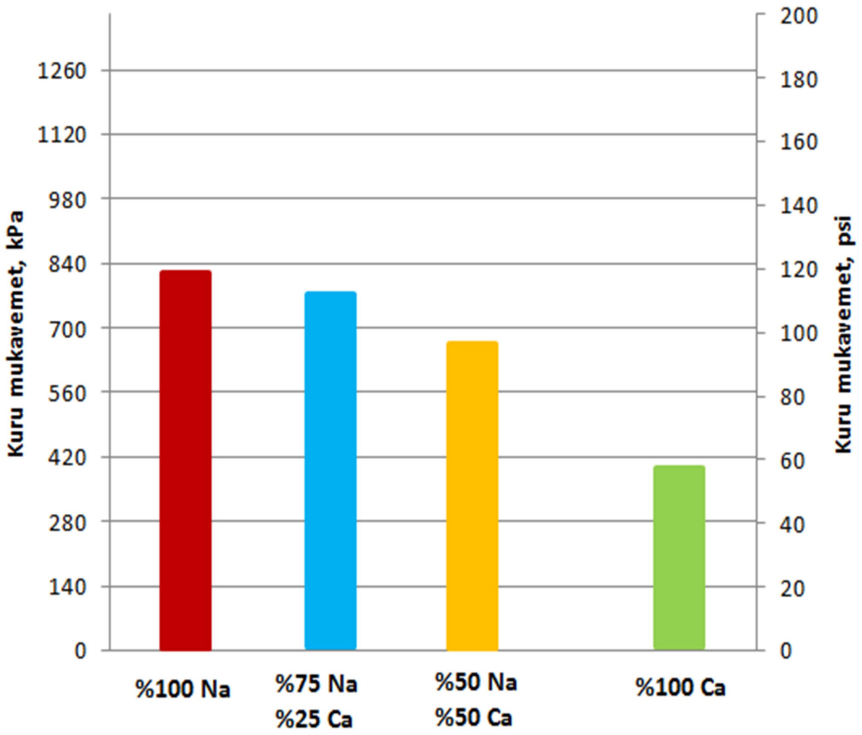


Şekil 2.41 Montmorillonit [9]

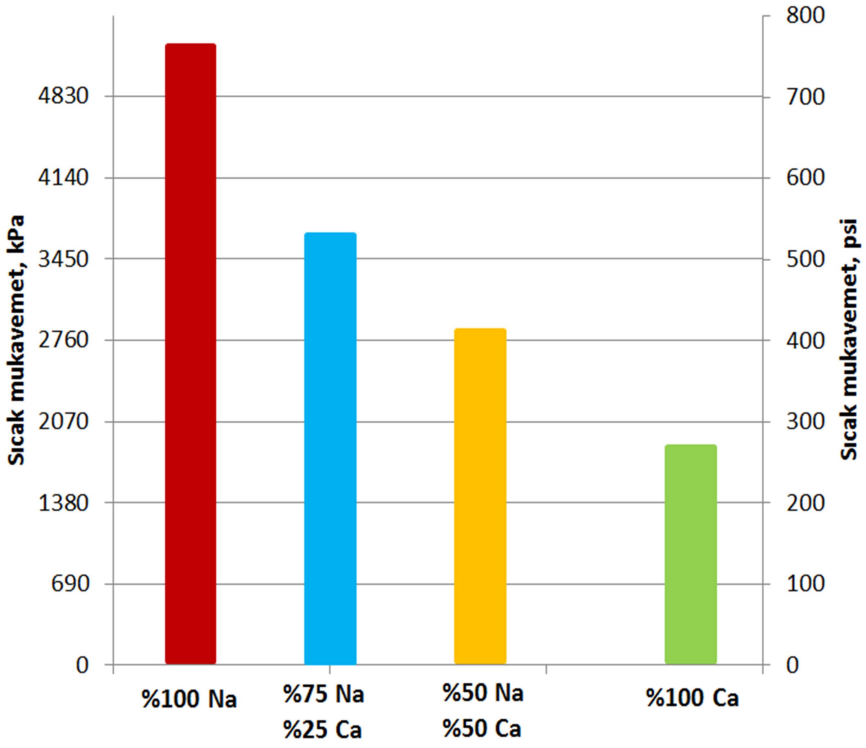
[1] $(OH)_4Al_4Si_8O_{20}.nH_2O$ formülünde 3 katmanlı kil mineral çeşididir [6].

Bentonitler, dökümcülükte değişebilen iyon çeşitlerine göre iki grupta sınıflandırılabilirler ve bunlar Na - bentoniti ve Ca - bentonitidir [6]. Bu iki tip bentonitin kalıp kumuna kazandırdığı mekanik özellikler farklılık göstermektedir. Örneğin Na-bentonitleri, Ca - bentonitlerine göre daha iyi kuru ve sıcak mukavemet sağlamalarının yanında su ile orjinal hacmine göre daha iyi şişerek kum taneleri arasında iyi bir bağlayıcı görevi görür [2,6].

Ca - bentonitleri, Na - bentonitleri ile kıyaslandığında ise daha az şişmektedir [6]. Ayrıca daha az harman süresiyle daha iyi yaş mukavemet sağlar ve bu kumlar daha fazla akıcılığa sahiptir [2].



Şekil 2.42 Karıştırılmış Ca ve Na bentonitlelerinin oranlarına göre kuru mukavemet üzerindeki etkisi [2]



Şekil 2.43 Karıştırılmış Ca ve Na bentonitlerinin oranlarına göre sıcak mukavemet üzerindeki etkisi [2]

Bağlayıcı sınıflandırmasındaki bir diğer grup olan organik bağlayıcıların en çok tercih edileni reçinelerdir. Reçineler, bağlayıcı olarak daha çok maçalarda tercih edilmektedir ve reçine ile hazırlanmış kumlar, çok sert yüzeye sahip olmak ile birlikte en büyük problemlerinden biri nem çekmesidir [6]. Ayrıca reçine bağlayıcılar genel olarak maliyet açısından daha pahalı malzemelerdir.

2.3.5 Kömür Tozu

Kömür tozu, kum içerisine bağlayıcı ve su haricinde ilave edilen ve kalıbın bazı fiziksel özelliklerini iyileştirmeye yarayan bir başka malzemedir. Kalıp kumu, ergimiş sıcak metale temas ettiğinde kalıp içerisindeki kömür tozu yanar. Böylece kalıbın iş yüzeyi, ince bir karbon tabaka ile kaplanarak kaliteli yüzey verir ve aynı zamanda yanma reaksiyonunun ardından kalıp içerisinde hacim boşaltır. Bu durum, kalıbın gaz geçirgenliğini arttırır. Daha önce de bahsedildiği gibi, gaz geçirgenliği artan kalıp, döküm esnasında oluşan gazların tahliyesini daha iyi şekilde gerçekleştirecek ve gaz sakatlarının görülme riskini azaltacaktır. Aynı zamanda kalıba esneyebilmesi için alan oluşacağından, sıcaklık etkisiyle genleşme sırasında kalıpta oluşması muhtemel çatlamaların vb. problemlerin önlenmesinde yardımcı olur.

2.4 Yolluk Sistemi

Yolluk, ergitilmiş metalin sağlıklı bir şekilde kalıp boşluğuna iletilmesini sağlayan döküm elemanıdır. Metal ergitildikten sonra taşındığı pota yardımıyla, otomatik veya elle, havşadan içeri akıtılır. İçeri akan ergiyik metal, kolondan geçerek topuğa ulaşır. Topuktan da ilerleyerek yatay yolluk ve meme girişleri vasıtasıyla kalıp boşluğuna dolar.

Yolluklar, basınçlı yolluklar ve basınçsız yolluklar olmak üzere iki şekilde gruplandırılmaktadır. Kesit alanlarının kolondan meme girişlerine kadar daralarak dizayn edildiği sistemler basınçlı yolluk olarak adlandırılmaktadır. Tam tersi yaklaşımla, kesit alanlarının meme girişlerine doğru arttığı dizaynlar ise basınçsız yolluklar olarak adlandırılır.

Çizelge 2.4 Basınçlı yolluk sisteminin avantaj ve dezavantajları [1]

Basınçlı Yolluk Sisteminin Avantajları	**Basınçlı Yolluk Sisteminin Dezavantajları**
Düşey ve yatay yolluk sürekli dolu olarak akacağından ergiyik metal içerisine hava nüfuz etmesi zordur.	Metal akış hızı basınçsız yolluğa göre daha yüksektir.
Kesitlerin geometrisi küçük olacağından tamamlama prosesi süresince yolluğun kırılması, taşlanması daha kolay olacaktır.	Yüksek hız, kalıp içerisinde kum erozyonu riskini, dolayısı ile kum sakatı görülme riskini arttırmaktadır.
Basınçlı yollukla dökülen parçaların, basınçsız yollukla dökülen parçaya göre döküm verimi daha fazladır.	Türbülans oluşma ihtimali yüksektir ve basınçsız yolluğa göre ergiyik metal, kalıp içerisine daha fazla hava alır.

Çizelge 2.5 Basınçsız yolluk sisteminin avantaj ve dezavantajları [1]

Basınçsız Yolluk Sisteminin Avantajları	**Basınçsız Yolluk Sisteminin Dezavantajları**
Kesitlerin giderek artması sonucu, metal akış hızı basınçlı yolluk sistemine göre daha düşüktür.	Basınçlı yolluk sistemine göre daha büyük dizayn edilen basınçsız yollukların kalıp verimi daha düşüktür.

Çizelge 2.5 Basınçsız yolluk sisteminin avantaj ve dezavantajları [1] (devamı)

Basınçsız Yolluk Sisteminin Avantajları	Basınçsız Yolluk Sisteminin Dezavantajları
Metal akış hızı daha düşük olduğu için kum erozyon riski basınçlı yolluk sistemine göre daha azdır.	Tamamlama bakımından, kalın meme kesit alanlarından dolayı, basınçlı yolluk sistemine göre daha çok işçilik gerektirir. Ayrıca döküm verimi daha düşüktür.
Türbülans riski basınçlı yolluğa göre daha minimize edilmiştir.	Yolluğu sürekli dolu tutma gereksinimi doğacaktır. Döküm esnasında bunun sağlanması zordur. Bu sebeple kalıba gaz, hava alma riski mevcuttur.

Yolluk sistemi, dökümde en önemli unsurlardan biridir. Dizaynı, matematiksel temeller üzerine oturtulmalıdır. Her parçanın geometrisi kendine has olduğu için yolluk da parçaya özeldir. Her model imalatı sırasında, model dizaynı yapılırken yolluk dizaynı da o parçanın geometrisine, hattaki yerleşimine vs. gibi farklılık gösterebilecek parametrelere dikkat edilerek yapılmalıdır.

2.4.1 İdeal Bir Yolluk Sisteminden Beklenen Özellikler

Dökümü sağlıklı şekilde gerçekleştirebilmek adına yolluk dizaynının doğru yapılmış olması gerekmektedir. Yanlış dizaynlar sonucu, sıvı metalin türbülanslı akması, metal akış hızının hesaplanandan yüksek veya az olması, kalıp erozyonu, cürufun kalıp boşluğuna geçmesi gibi sorunlar ve doğuracakları sonuçlar ile karşılaşılabilir.

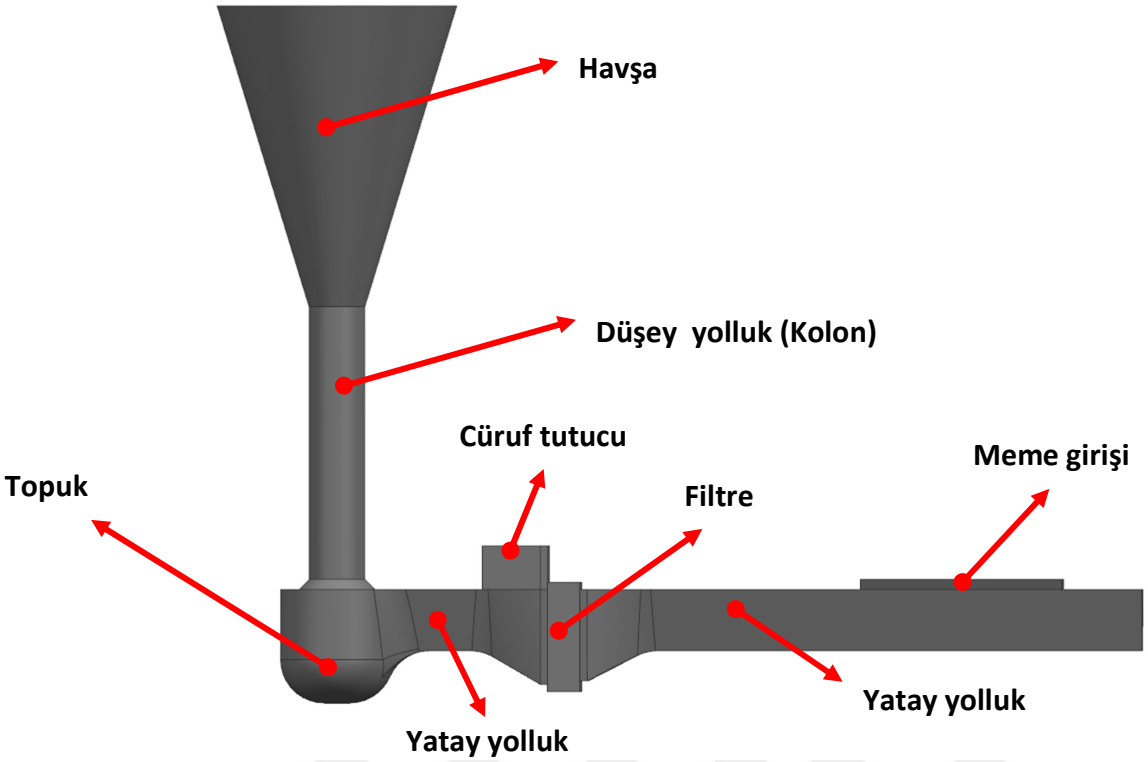
Çizelge 2.6 İdeal bir yolluk sisteminden beklentiler ve bu beklentilerin karşılanmaması durumunda ortaya çıkabilecek sorunlar

İdeal Yolluk Sisteminden Beklenenler	Beklentilerin Karşılanmaması Durumunda Oluşabilecek Problemler
Kalıp boşluğunu sıvı metal ile en ince ve uzak kesitlere kadar doldurmalıdır.	Ergiyik metal, kalıp boşluğuna ulaşamazsa ya da kalıbın her bölgesine erişemezse döküm, temel prensipte doğru bir şekilde gerçekleşemez.

Çizelge 2.6 İdeal bir yolluk sisteminden beklentiler ve bu beklentilerin karşılanmaması durumunda ortaya çıkabilecek sorunlar (devamı)

İdeal Yolluk Sisteminden Beklenenler	**Beklentilerin Karşılanmaması Durumunda Oluşabilecek Problemler**
Döküm hızı, ideal büyüklüklerde olmalıdır.	Dökümün çok hızlı gerçekleşmesi, türbülansa, kum erozyonuna sebep olabilecekken yavaş gerçekleşmesi ise henüz daha kalıp dolmadan katılaşmanın başlaması riskini doğurur.
Yolluk ebatları optimum seviyede tutulmalıdır. Çünkü döküm gerçekleştikten sonra ergiyik metal, parçanın yanında yolluk sistemini de doldurarak katılaştığı için, olması gereken hacimden fazla bir yolluk sistemi, metal sarfiyatını arttıracaktır.	Yanlış dizayn ile gerekenden daha hacimli tasarlanan yolluk sistemi, metal sarfiyatını arttırarak maliyete olumsuz yönde yansıyacaktır. Ayrıca tamamlama bakımından da kalın, kırılması, temizlenmesi zor yolluklar, ekstra işçilik maliyeti oluşturacaktır.
Yolluk sistemi, döküm esnasında metal dışı olan partiküllerin, cürufun döküm boşluğuna girmemesini sağlamalıdır.	Erozyon ile gelen kum veya cüruf kalıp boşluğuna girdiği takdirde parçayı ıskartaya ayırabilmektedir. Bu da üretimin sakat oranına bakılarak verimliliğini düşürecek ve yine maliyete olumsuz yönde yansıyacaktır.
Yolluk sistemi, ergiyik metalin kalıp boşluğuna doluşu sırasında türbülans oluşturmamalıdır.	Türbülanslı bir akış esnasında sıvı metal gaz alabilir, metalin atmosfer ile temas süresi artacağından oksitlenme ihtimali ortaya çıkacaktır ve kalıp erozyonu meydana gelebileceğinden parçanın sakat dökülme riski oluşacaktır.
Yolluk, döküm gerçekleştikten sonra en son katılaşmaya uğrayacak bölge olmalıdır.	Yolluk, kalıp boşluğundan önce katılaşırsa metal akışı kalıbın içine olması gerektiği gibi gerçekleşmeyecektir.

2.4.2 Yolluk Sisteminin Kısımları



Şekil 2.44 Yolluk sisteminin unsurları

Havşa, sıvı metalin kalıba ilk girdiği bölgedir. Sıvı metali kolona ileterek, kalıp boşluğunun dolmasında yardımcı olur.

Düşey yolluk, havşadan gelen sıvı metalin topuk kısmına ve akabinde yatay yolluğa iletilmesinde rol oynar. Kolon dizaynının ideal olarak kesit alanı topuğa doğru daraltılarak ve dolayısı ile kolona hava kaçması önlenecek şekilde yapılması daha doğru olsa da otomatik kalıplamalarda kolonların kalıbı bozmadan sıyrılabilmesi için buna uygun dizayn edilmesi gerekmektedir.

Topuk, düşey yolluktan gelen sıvı metalin kalıba çarparak yatay yolluğa aktarıldığı kısımdır. Topuk bölgesinin mümkün olduğunca sıvı metalin türbülans eğilimini azaltması ve sıvı metale sakin bir akış sağlayarak kalıbın erozyona uğramasını engellemesi gerekmektedir.

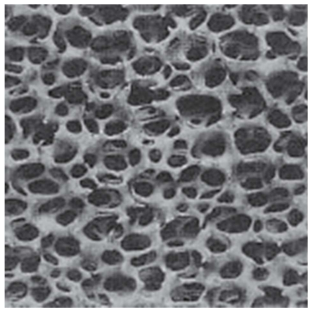
Sıvı metal döküldükten sonra sahip olduğu hızla, yatay yolluklar doğrultusunda akar ve kalıbı doldurmak üzere meme girişlerine ulaşır. Yatay yollukların da geometrisi, tıpkı kolon, meme girişleri gibi, sıvı metalin hızının ayarlanabilmesi ve istenen değerlerde

tutulabilmesi için matematiksel olarak hesaplanarak oluşturulmalıdır. Konumlandırması ise kalıptaki yerleşim göz önünde bulundurularak yapılmalıdır.

Cüruf tutucu, döküm esnasında oluşan cürufun kalıp boşluğuna geçmesini engellemek için dizayn edilir. Cüruf, özkütlesi ergiyik metalden daha küçük olduğu için yüzeye çıkacaktır ve bu sayede cüruf tutucu ile kalıp boşluğuna geçmeden ayrılacaktır.

Filtreler, kalıbın içerisine cüruf vb. metalik olmayan diğer maddelerin kalıp boşluğuna girişini önlemek için ve ergiyik metalin gözeneklerden geçtikten sonra düzgün bir akış yapmasını sağlayarak türbülans riskini azaltmak amacıyla kullanılır. Genel olarak kullanılan filtre tipleri, seramik ve köpük filtrelerdir. Yapılan yolluk dizaynında filtre alanı, filtrenin daha verimli çalışabilmesi adına, mümkün olduğunca çok kullanılacak şekilde yapılmalıdır. Ayrıca döküm yapılırken kalıplama sırasında filtre, kalıptaki yuvasına üzerine macun konularak yerleştirilip kontrol edilir. Kalıp kapandıktan sonra macun ne kadar sıkışmışsa filtre yuvasına o kadar boşluksuz yerleşmiştir. Eğer macun sıkışmazsa, filtrenin üzerinde boşluk kaldığı anlaşılır ve döküm esnasında filtrenin üst kısmından kalıp boşluğuna doğru cüruf kaçma riski oluşur. Model üzerindeki filtre yuvası ölçülerine müdahale edilerek bu durumun önüne geçilebilir. Son zamanlarda köpük filtreler seramik filtrelere oranla daha çok tercih edilmektedir. Çünkü seramik filtreler düzgün gözenekli olduğu için cüruf veya metal dışı diğer maddelerin gözeneklerden geçmesi daha kolaydır. Köpük filtrelerin gözenekleri ise karmaşık yerleşim şeklindedir. Bu sebeple metal dışı maddeler, karmaşık iç yapıya sahip köpük filtreler içerisinde daha iyi tutulur. Büyük partiküller filtrenin dışında süzülürken, daha küçük partiküller filtrenin içinde süzülür. Filtre alanı da dikkat edilmesi gereken bir başka husustur. Eğer gereğinden küçük kesit alanlı filtre kullanılırsa filtre erken tıkanarak metalin kalıp boşluğuna akışını engeller. Bunun yanında gözeneklilik oranı da filtrelerde belirtilir. Örneğin gri dökme demirler ile yapılan dökümdeki filtre ile sfero dökme demirlerin dökümünde kullanılan filtrenin gözeneklilik oranı farklılık göstermektedir. Sfero dökme demirlerin akışkanlığı, gri dökme demirlere göre daha kötü olduğu için sfero dökme demirlerin dökümünde 10 ppi[1] olan filtre kullanılırken gri dökme demirlerde 20 ppi tercih edilir.

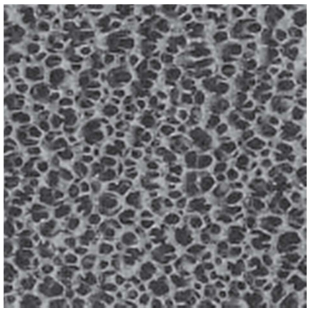
[1] Pores per inch



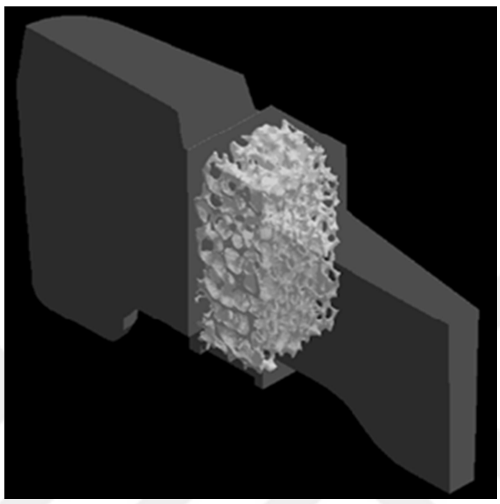
Şekil 2.45 10 ppi [11]



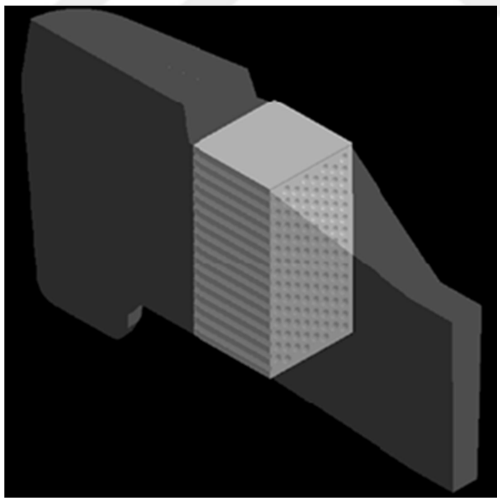
Şekil 2.46 20 ppi [11]



Şekil 2.47 30 ppi [11]



Şekil 2.48 Köpük filtrenin yolluk sistemi içerisindeki görünümü[10]



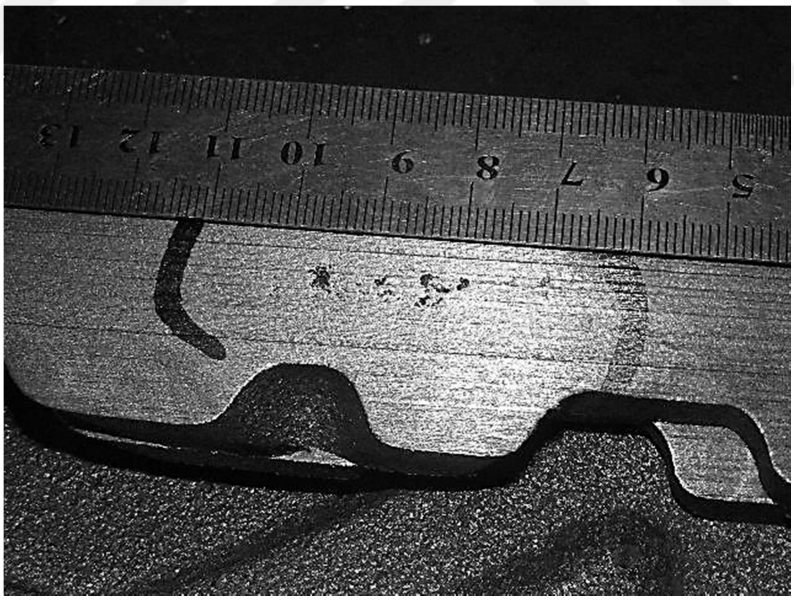
Şekil 2.49 Seramik filtrenin yolluk sistemi içerisindeki görünümü[10]

Meme girişi, ergiyik metalin kalıp boşluğuna giriş yaptığı kısımlardır. Meme girişlerinin kesit alanı önemlidir. Kesit alanı daraldıkça sıvı metal kalıp boşluğuna daha hızlı şekilde girecek ve aksi durumda hız daha yavaş olacaktır. Ayrıca meme girişlerinin konumları da önemlidir. Döküm esnasında sıcak tutulmak istenen bölgelere meme girişi verilebilir. Örneğin geç katılaşmasını sağlamak için besleyici içinden meme girişi dizaynı

düşünülebilir. İlaveten meme girişlerinin konumlarının, kalıpta ve maçada penetrasyonu en aza indirecek bölgeler olarak belirlenmesi faydalı olacaktır. Parçanın geometrisine göre birden fazla meme girişi, her birinde metalin hızının kritik değerden az olması şartıyla, dizayn edilebilir.

2.5 Besleyiciler

Döküm, temelde, ergiyik metalin kalıp boşluğuna doldurulduktan sonra katılaşmanın gerçekleşmesiyle parçanın elde edilmesi prensibine dayanmaktadır. Ergiyik metal katılaşırken hacimce çekerek küçülür. Bu durum sonucu parçanın, bilhassa et kalınlığı fazla olan bölgelerinde, Şekil 2.50'de de görüldüğü şekliyle iç boşluklar meydana gelir. Bu iç boşluklar parça içerisinde çentik etkisi yaratacağından, parçanın mekanik dayanımı düşebilir. Dolayısı ile stres altındaki parçalar o bölgelerden kırılma yaşayabilir. Bu nedenlerden dolayı parça içerisindeki bu çekintiler istenmez. Bu sorunu engellemek için parça katılaşırken oluşacak boşluklar kadar parçaya ilave metal sağlamak gerekmektedir[12]. Bu görevi üstlenen döküm elemanı, besleyicidir.



Şekil 2.50 Parça kesitinde gözlemlenen çekinti örneği

Besleyici hesabı için öncelikle parçanın modülünün hesaplanması gerekmektedir. Modül, (2.1) eşitliğindeki gibi bulunmaktadır. Burada '$M_{parça}$', parçanın modülü; '$V_{parça}$', parçanın hacmi; '$A_{parça}$' ise parçanın yüzey alanıdır[12,13].

$$M_{parça}(cm) = V_{parça}(cm^3) / A_{parça}(cm^2) \quad (2.1)$$

Parça modülü hesaplandıktan sonra, besleyicinin modülünün hesaplanması gerekmektedir. Besleyici modülünün hesaplanmasında Şekil 2.54'teki tablolardan faydalanılır.

Elimizdeki parçanın kimyasal kompozisyonuna göre 1 numaralı grafikten % C oranı ve % (Si + P) oranı değerleri kesiştirilerek bir 'A' noktası elde edilmelidir[12,13].

'A' noktasından 2 numaralı grafiğe bir dikme çıkılarak parçanın modülüne denk gelen eğri ile çakıştığı yerde bir 'B' noktası bulunur. Ve bu 'B' noktasından 3 ve 4 numaralı grafiklere geçilir[12,13].

Belli olan döküm sıcaklığı eğrisi ile 2 numaralı grafikten gelen dik kesiştirilerek, 3 numaralı grafikte 'D' noktası elde edilir. 'D' noktasından grafiğin alt kısmına doğru çekilecek dik ile çekme zamanı yüzdesi, 'ST[1] (%)', değeri elde edilir[12,13].

Besleyicinin modülü, (2.2) eşitliğindeki gibi hesaplanmaktadır.

$$M_{besleyici}=M_{parça} \cdot 1{,}2 \cdot \sqrt{\frac{ST}{100}} \qquad (2.2)$$

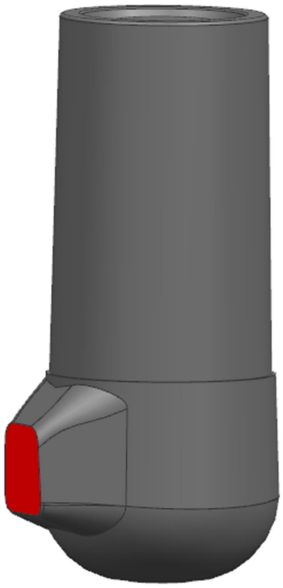
Bir sonraki adım olarak beslenebilir parça ağırlığının hesaplanması gerekmektedir. Bunun için farklı besleyici türlerine göre değişebilen besleyicinin kendi hacminin ne kadarı ile parçayı besleyebileceğinin değeri olan yüzdenin bilinmesi gerekmektedir. Bu oran gömlekli besleyicilerde % 33'leri bulurken, kum besleyicilerde % 16 civarındadır. Ayrıca kalıbın genişlemesi faktörü de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu değer, yaş kum kalıp için % 2 oranında alınabilir. Şekil 2.54'teki 4. grafikte bulunan 'C' noktasından aşağı doğru inilen dik ile okunan çekme/genleşme değerine yaş kum kalıbın genleşme oranı da ilave edilerek, çekme değerinin son hali hesaplanır. Bu değer sıfır veya pozitif değerliyse besleme ihtiyacı yoktur. Beslenebilir parça ağırlığı (2.3) eşitliği ile hesaplanmaktadır. Burada beslenebilir döküm parçanın ağırlığı '$W_{döküm}$'; besleyicinin ağırlığı '$W_{besleyici}$'; çekme değerinin son hali 'S' ve besleyicinin kendi hacminin parçayı besleyebildiği oran 'F_b' değeridir[12,13].

$$W_{döküm}=\frac{F_b}{100} \cdot \frac{W_{besleyici}.100}{S} \qquad (2.3)$$

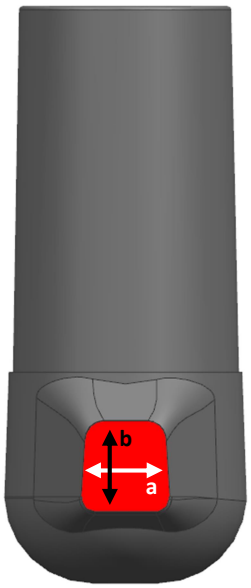
[1] Shrinkage time.

Besleyicilerin parçaya bağlandığı kısımlara besleyici boynu denmektedir. Besleyici hesabı yapılırken besleyici boynunun da modül hesabının yapılması gerekmektedir. Besleyicinin boyunlarının modül hesabı (2.4) eşitliğindeki şekliyle bulunabilir. Parçanın üzerinde bulunan üst besleyiciler için boyun hesabı gerekmez iken yan besleyiciler için bu hesap yapılmalıdır. Aynı şekilde besleyici boynunun geometrisine uygun olarak boyun ölçüleri ile de modül hesaplanabilir[12,13].

$$M_{döküm}:M_{boyun}:M_{besleyici}=1:1\,.\,\sqrt{\frac{ST}{100}}:1{,}2\,.\,\sqrt{\frac{ST}{100}} \qquad (2.4)$$



Şekil 2.51 Besleyici boyun örneği



Şekil 2.52 Besleyici boyun ölçüleri

$$M_{boyun}=\frac{a\,.b}{2\,.\,(a+b)} \qquad (2.5)$$

Besleyici adedinin belirlenmesi döküm için önemli bir husustur. Uygun maliyetle döküm yapabilmek adına minimum seviyede besleyici kullanılması, dökülen parçanın verimini daha yüksek tutacaktır. Çünkü sıvı metal ile dolan ve tamamlama işlemleri sonunda kırılarak parçadan ayrılan besleyiciler, net parçadan ayrı yapılar oldukları için ilave masraftır. Besleyici konması gereken bölgeler için olması gereken besleyici sayısı (2.6) eşitliği ile hesaplanmaktadır[12,13].

$$n_f=\frac{L(mm)}{d_f(mm)+FD\,.\,T(mm)} \qquad (2.6)$$

Burada 'n_f', besleyici sayısı; 'L' beslenecek bölgenin uzunluğu; 'd_f', hesaplanan besleyici çapı; 'FD' besleme mesafesi faktörü; 'T' ise beslenen bölgedeki en ince kesit ölçüsüdür[12,13].

Çizelge 2.7 Sfero malzemeler için FD değerleri [11]

Sfero Malzemeler İçin CE'ye Göre FD Değerleri	
CE[1]	**FD**
4,1	6
4,2	6,5
4,4	7
4,6	9

Çizelge 2.8 Gri malzemeler için FD değerleri [11]

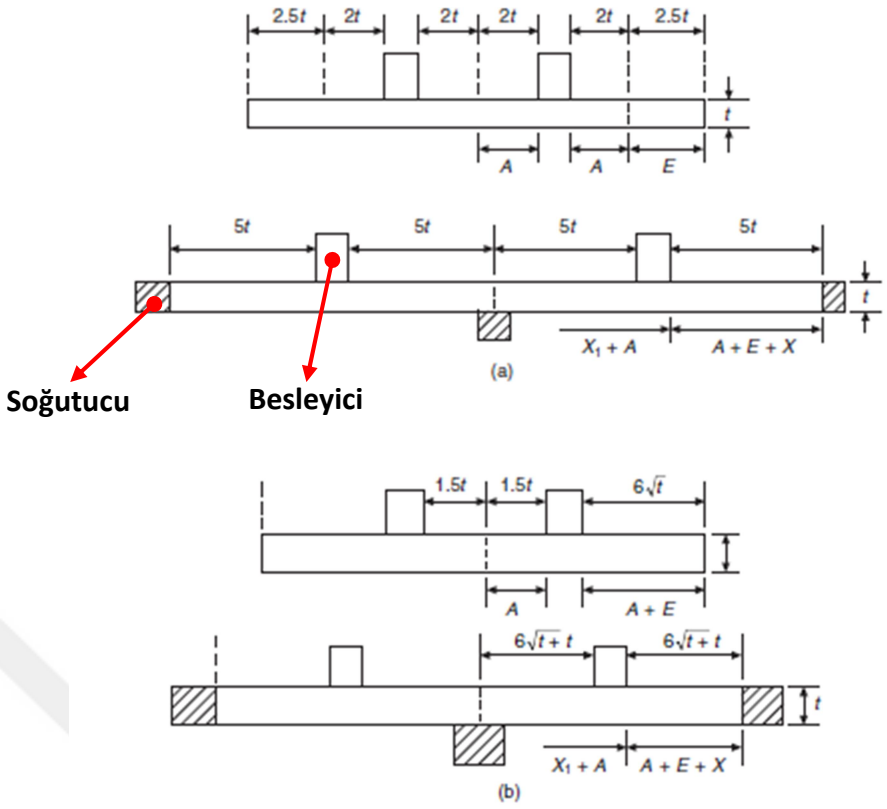
Gri Malzemeler İçin CE'ye Göre FD Değerleri	
CE	FD
3	6,8
3,4	7,7
3,9	8,8
4,3	10

Parçalar için CE değeri, (2.7) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$$CE=\%\ C+\ \frac{1}{3}(\%\ Si+\%\ P) \qquad (2.7)$$

Besleyicinin efektif olduğu uzaklık, Şekil 2.50'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

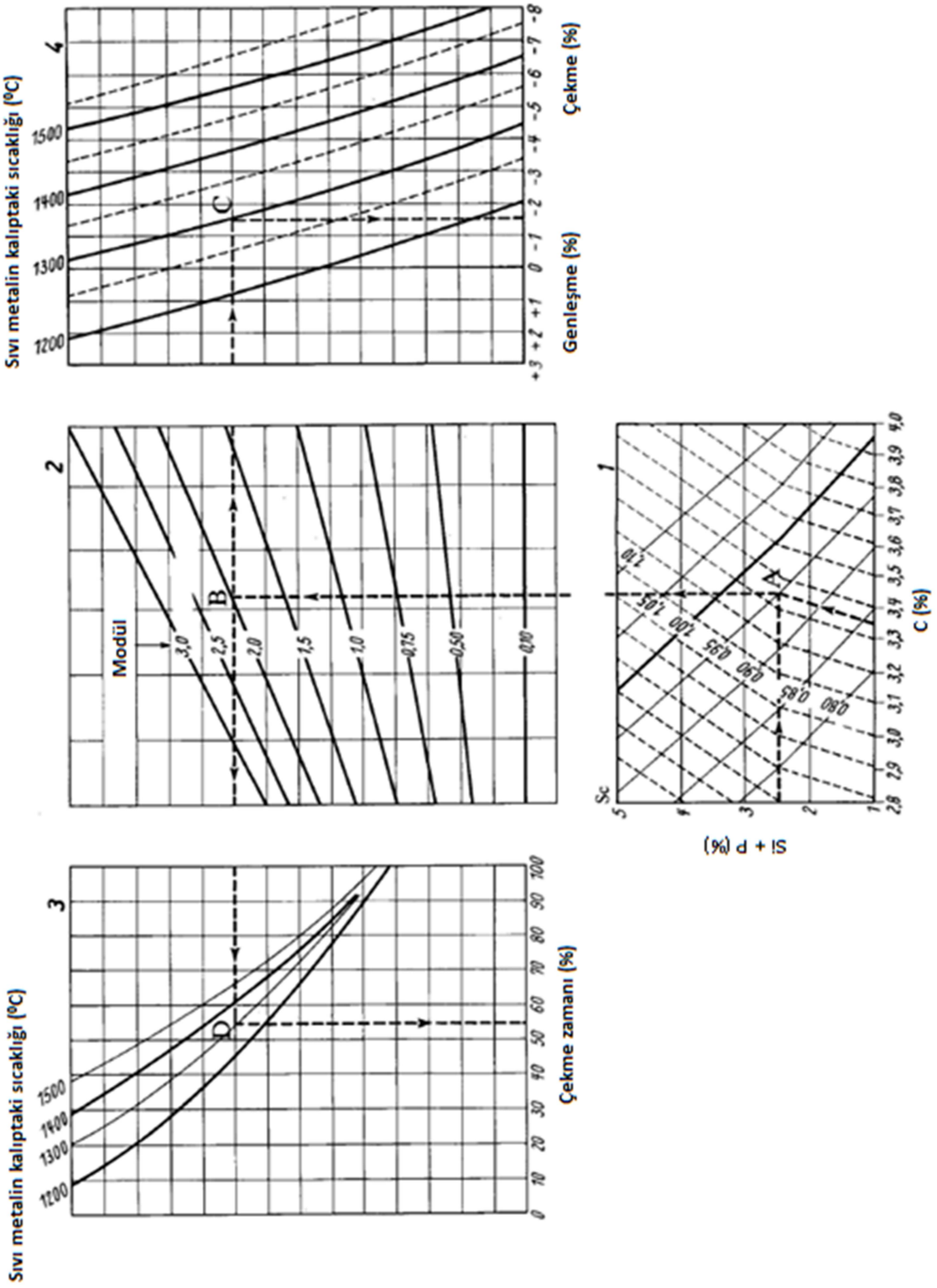
[1] Carbon eşleniği değeri.



Şekil 2.53 Besleyici etkin mesafesinin hesaplanması. (a) Levha, genişlik : kalınlık > 5 : 1; (b) Çubuk, genişlik : kalınlık < 5 : 1 [11]

Çizelge 2.9 Besleme mesafesi hesaplamaları [11]

	Çubuk	**Levha**
A	$1{,}5t\ x\ FD$	$2t\ x\ FD$
E	$\left(6\sqrt{t} - 1{,}5t\right)\ x\ FD$	2,5t FD
X	$t\ x\ FD$	$0{,}5t\ x\ FD$
X_1	$\left(6\sqrt{t} - 0{,}5t\right)\ x\ FD$	$3t\ x\ FD$



Şekil 2.54 Besleyici modülünün hesaplanması için kullanılan tablolar[12,13]

2.5.1 İdeal Bir Besleyiciden Beklenen Özellikler

İdeal bir besleyiciden beklenen özellikler ve bu özelliklere sahip olmayan besleyicilerin dökümde ne gibi sorunlara sebebiyet verebileceğine dair bilgiler Çizelge 2.10'da belirtilmiştir.

Çizelge 2.10 İdeal bir besleyiciden beklenen özellikler[12,13]

İdeal Bir Besleyiciden Beklenen Özellikler	**Beklentilerin Karşılanmaması Durumunda Oluşabilecek Problemler**
Besleyicinin, sağlıklı bir besleme yapabilmesi için parçadan geç katılaşması gerekmektedir. Dolayısı ile besleyicinin modülünün beslediği parçanın modülünden daha fazla olması gerekmektedir.	Besleyici modülü, parça modülünden küçük olursa besleyici görevini yapamaz ve parçayı olması gerektiği şekliyle besleyemez. Bu da parçada iç çekintilerin oluşmasına sebep olur.
Besleyicilerin kapasitesi, parçanın beslenmesi aşamasında önemlidir. Besleyicinin sıvı metal hacmi, parçanın çekmesini karşılayacak miktarda olmalıdır.	Besleyicinin gereken kapasiteye sahip olmaması durumunda, besleyici parçayı olması gerektiği gibi besleyemez ve iç çekinti problemleri baş gösterir.
Tüm sektörlerde olduğu gibi dökümde de maliyet önemlidir. Besleyiciler, net parça haricinde olduğundan, mümkün olduğunca minimum sayıda ve hacimlerde olmalıdırlar.	Besleyici tasarımının ve konfigürasyonunun uygun şekilde yapılmaması, döküm parçanın maliyetini çok fazla arttıracaktır. Ayrıca tamamlama operasyonlarında da süreler fazlalaşacaktır.

Çizelge 2.10 İdeal bir besleyiciden beklenen özellikler[12,13] (devamı)

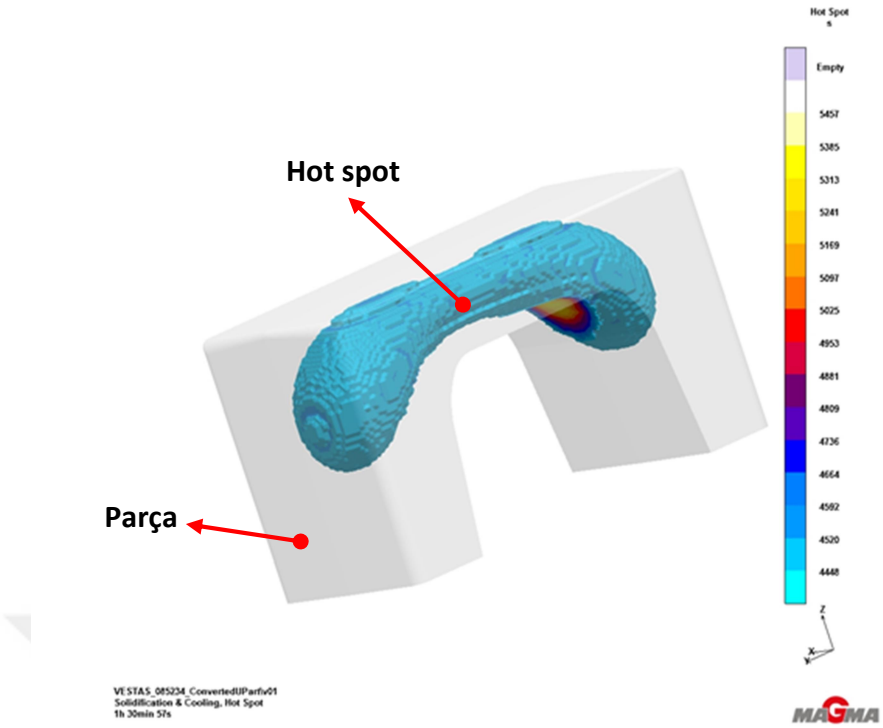
İdeal Bir Besleyiciden Beklenen Özellikler	**Beklentilerin Karşılanmaması Durumunda Oluşabilecek Problemler**
Besleyicilerin besleme mesafesi formülüyle hesaplanarak ve yönlü katılaşmayı sağlayabilecek şekilde dizayn edilmesi gerekmektedir.	Besleyicilerin besleme mesafesinin doğru hesaplanamaması, konduğu bölgeden çekintiyi önlemesi gerekirken, etkinliğinin o menzilde yeterli olamayışından ideal şekilde görevini yerine getirememesine sebep olur.

2.5.2 Simülasyon Yardımı İle Besleyici Tayini Örneği

Bu tez çalışmasında kullanılmış olan simülasyon programı MAGMA 5.2, parçanın simülasyonunu termal modül hesabı yaklaşımı ile gerçekleştirmektedir. Termal modül, geometrik modülden farklı olup hacmin ısı yükü ve hacmi çevreleyen yüzeyin soğuma kapasitesi arasındaki ilişkiyi açıklar [15]. Simülasyon sonuçlarına göre sıcak bölgeler (hot spot) belirlenir ve o sıcak bölgelerin termal modülüne göre besleyici tayini yapılır. Tayin edilen termal modülü kapsayan bölgeyi beslemek için, daha büyük modüllü bir besleyici tercih edilmelidir [15].

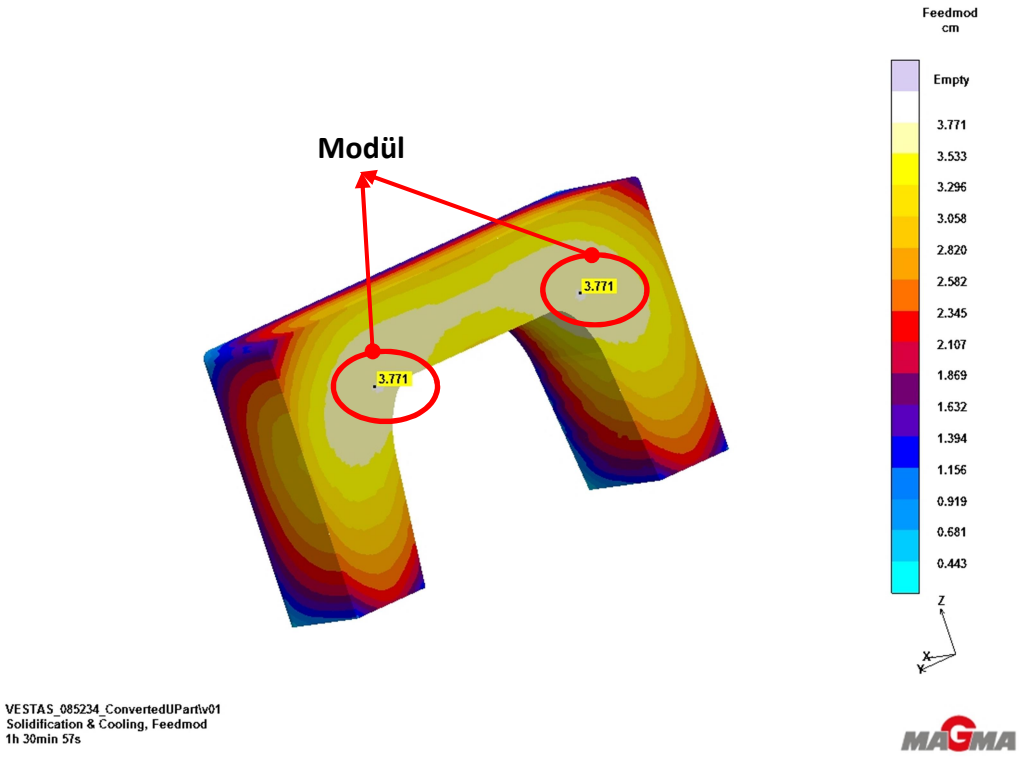
Geometrik modül, ilgili olan bölgenin farklı yüzey kesitlerine olan mesafesine dayanırken, termal modül, farklı yüzey bölümlerinin ısı kaybı oranlarına dayanır [14].

Şekil 2.55'te görülen örnekte simülasyon çalışması sonucu, mevcut parçanın sıcak bölgeleri (hot spot) belirlenmiştir.

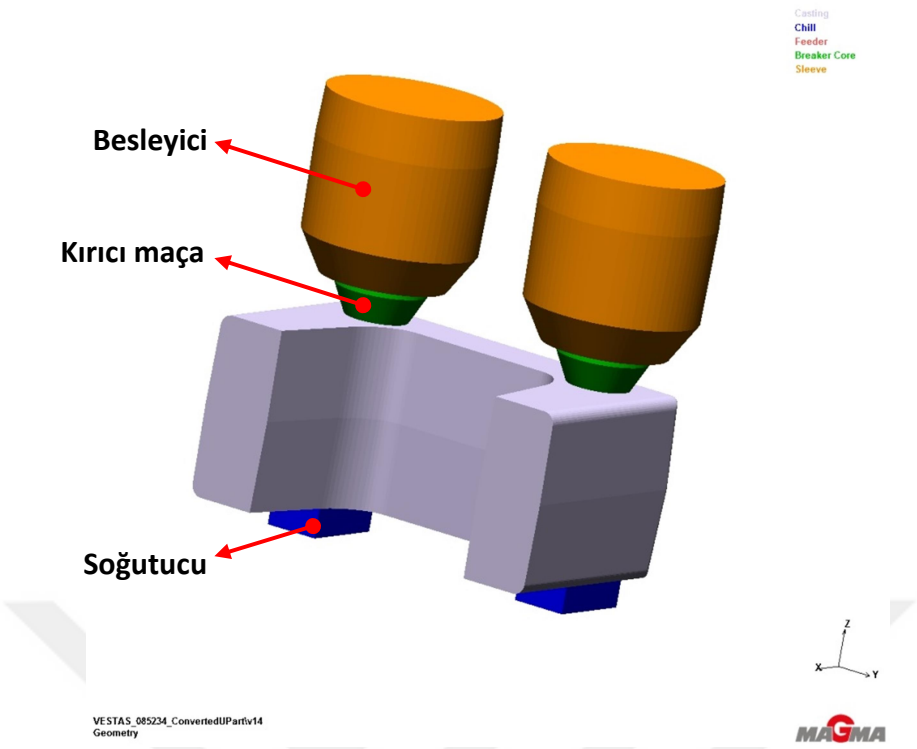


Şekil 2.55 Parçanın sıcak bölgelerinin belirlenmesi

Şekil 2.56'da görüldüğü gibi parçanın simülasyon programı yardımıyla belirlenmiş sıcak bölgelerinin modülü tespit edilmiştir ve Şekil 2.57'de besleyici seçimi yapılmıştır.



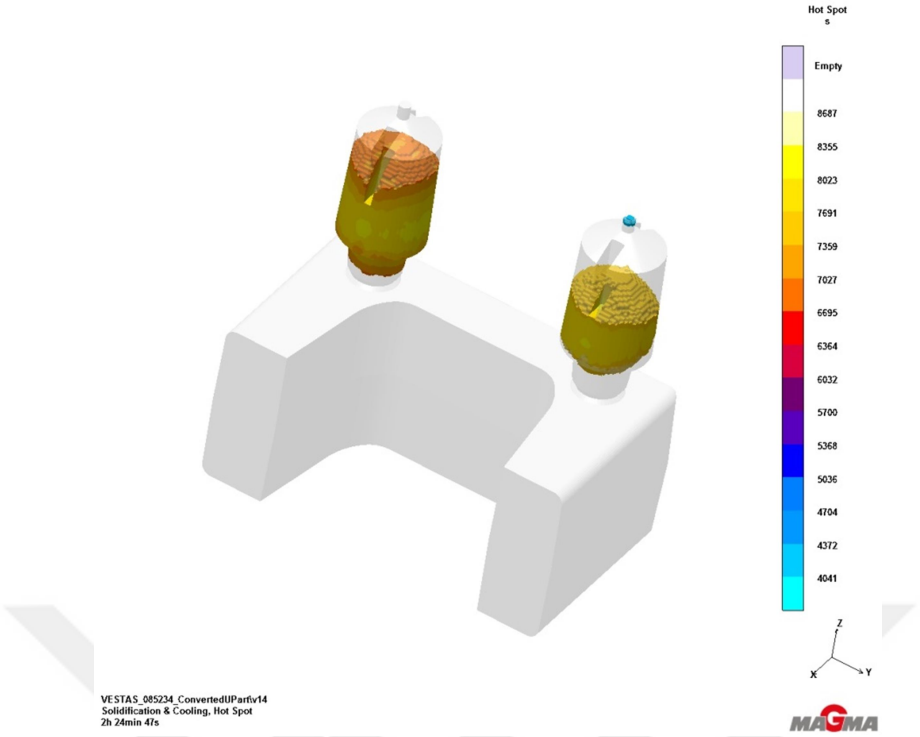
Şekil 2.56 sıcak bölgelerin modülünün belirlenmesi



Şekil 2.57 Belirlenen modüllere göre besleyici seçimi

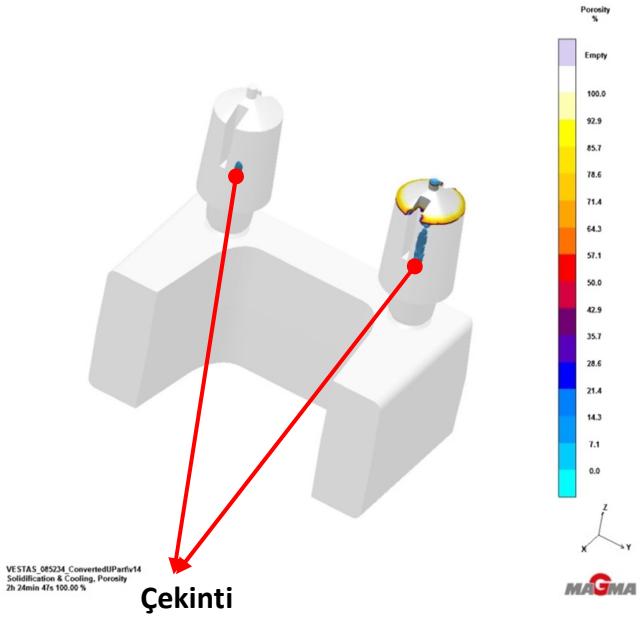
Modüllere göre belirlenen besleyicilerle simülasyon tekrar yapıldığında sonuç Şekil 2.58'de görülmektedir. Parçadaki sıcak kalan bölgeler, yani çekinti riski olan kısımlar, besleyici içinde kalmıştır. Ayrıca Şekil 2.57'de belirtildiği gibi simülasyon çalışmasında besleyicilerin yanında konduğu bölgeyi daha hızlı soğutup yönlü katılaşmaya yardımcı olması adına soğutucular da kullanılmıştır. Ayrıca besleyicilerin altında, döküm gerçekleştikten sonra besleyicilerin kolay kırılması ve tamamlama süresini azaltmak için kullanılmış kırıcı maça[1] bulunmaktadır.

[1] Literatürde 'breaker core' olarak da geçen, iç geometrisi dolayısıyla üst besleyici boynunda çentik oluşturup besleyicinin parçadan kolay kırılarak ayrılmasını sağlayan eleman.



Şekil 2.58 Besleyiciler ile sıcak bölgelerin belirlenmesi

Sıcak bölgelerin belirlenmesinin ardından parçadaki oluşabilecek çekinti risklerinin program tarafından tespiti Şekil 2.59'da gösterilmiştir. Görüldüğü üzere çekinti riskinin tespit edildiği bölgelerin tümü, besleyicilerin içinde kalmaktadır. Parçanın iç bölgelerinde çekinti riski tespit edilmemiştir. Sonuç olarak çalışılan parçanın üretimi için mevcut besleyici konfigürasyonu, bu haliyle çekinti açısından uygundur.



Şekil 2.59 Çekinti (shrinkage porosity) riskinin olduğu bölgelerin belirlenmesi

2.6 Soğutucular

Soğutucular, döküm esnasında yerleştirildiği bölgenin daha hızlı katılaşmasını sağlayan döküm elemanlarıdır. Soğutucular genelde iki tipte kullanılmakta olup iç soğutucular ve dış soğutucular olarak adlandırılırlar. Dış soğutucular, kalıp veya maçaya yerleştirilerek, yüzeyleri döküm parçanın daha hızlı soğuması istenen bölgedeki yüzeyine temas edecek şekilde kullanılırlar. İç soğutucular ise kalıp boşluğuna konarak dökümün gerçekleşmesi ile birlikte döküm parçanın içine dahil olur.

Çizelge 2.11 İdeal bir soğutucudan beklenen özellikler [16]

İdeal bir soğutucudan beklenen özellikler	**Beklentilerin Karşılanmaması Durumunda Oluşabilecek Problemler**
Isı yükünün fazla olduğu bölgelerde çekinti riski de oluşacağından, bu bölgelere konan soğutucular, bahsi geçen bölgenin daha hızlı soğumasına yardımcı olarak çekinti riskini azaltır.	Soğutucunun gerekli etkiyi yapmadığı bölgelerde, çekinti problemi giderilmez ve kontroller sonucu parça içinde çekinti boşlukları saptanır.
Döküm parçalarda gözlemlenen sıcak yırtılma riskini, yüzeyin daha hızlı ve bütün şekilde katılaşmasını sağlayarak engeller.	Parçanın geometrik olarak riskli kısımlarında sıcak yırtılma problemi gözlemlenebilir.
Daha iyi bir şekilde yönlü katılaşma sağlayacağı için besleyicilerin etkinlik mesafesini arttıracaktır.	Soğutucu kullanılmamış veya soğutucunun görevini doğru şekilde yerine getiremediği bölgelerde, besleyici ulaşması gereken mesafeye erişemez ve dolayısıyla erişemediği bölgelerde çekinti problemi gözlemlenebilir.
Sağladığı yönlü ve hızlı katılaşma sayesinde normal yollarla beslenmesi güç olan bölgelerin çekinti açısından daha iyi sonuçlar vermesine yardımcı olur.	Beslenmesi zor olan bölgelerin, doğru veya etkin beslenememesi durumunda parça içerisinde çekinti boşlukları gözlemlenecektir.

Şekil 2.53’te soğutucuların besleyici etkinlik mesafesini arttırışı gözlemlenebilirken, Şekil 2.57’de parçanın alt yüzeyine denk gelecek şekilde eklenmiş iki adet dış soğutucu örneği mevcuttur.

BÖLÜM 3

DÖKME DEMİRLER

Döküm sektöründeki en yüksek tonaja sahip malzemelerden biri de dökme demirlerdir. Demirli alaşımların geniş bir kısmını oluşturan dökme demirler, avantajlı fiziksel özellikleri ve üretiminin maliyet açısından uygunluğu sebebiyle fazlaca tercih edilmektedir. Dökme demirler, ötektik olarak katılaşıp çeşitli bileşenleri içeren demir alaşımlarıdırlar. Bu bileşenler esas olarak demir, karbon, silisyum, grafit yapısının kontrolünde kullanılan aşılayıcılar Mg, Ce, Ti (< % 0,1) ve matriks yapısının kontrolünde kullanılan Mo, Cr, Ni, Cu, Sn gibi alaşım elementleri (> % 0,1) içerirler [6,17,18,19].

3.1 Dökme Demirlerin Sınıflandırılması

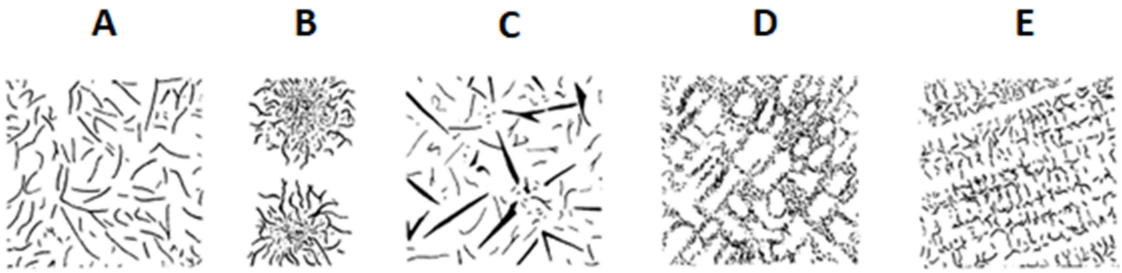
Dökme demirler çeşitli sınıflandırmalara göre ayrılabilirler. Bunlardan bir tanesi matris yapısına göre sınıflandırmadır. Matris yapısına göre sınıflandırılmış dökme demirler, ferritik, perlitik, östenitik, martenzitik ve beynitik şeklindedir [17].

Bir başka sınıflandırma ise beyaz demir, küresel grafitli dökme demir, lamel grafitli dökme demir ve temper demir olarak yapılabilir [17].

Bunların yanında dökme demirlerin diğer formları da çil uygulanmış dökme demir, temper dökme demir, benekli dökme demir, kompakt grafit dökme demir ve yüksek alaşımlı grafitik dökme demir şeklinde adlandırılırlar [17].

3.1.1 Gri Dökme Demir

Gri dökme demirlerde katılaşma evresi sonrası, kompozisyonundaki karbon elementinin büyük bir bölümü grafit lamelleri şeklinde bulunmaktadır. Gri dökme demirlerin kırık yüzeyleri incelendiğinde isli gri rengi gözlemlenecektir [6,17].



Şekil 3.1 Gri dökme demirlerin grafit türleri [27]

Şekil 3.1'de görülen A tipi grafit, homojen dağılımı, rastgele yönelimi; B tipi grafit türü, rozet şeklinde dağılımı, rastgele yönelimi; C tipi grafit türü, kiş grafiti, rastgele dağılımı; D ve E tipi grafit türleri, dentritik bölgeler arası birikimi, D'de rastgele yönelimi, E'de ise belirli bir doğrultuda yönelimi sergilemektedir [27].

3.1.2 Küresel Grafitli Dökme Demir

Küresel dökme demirlerin farklı adlandırmaları mevcuttur. Bunlar, nodüler, sfero veya düktil olarak sıralanabilir. Küresel grafitli dökme demirler, adından da anlaşılacağı gibi, grafitin lamel yapıdan küresel yapıya dönüştürülmesi ile oluşturulur. Bu işlem, ergiyik metalin içine Mg veya Ce alaşım elementlerinin ilavesi ile gerçekleştirilir. Küresel grafit yapı, malzemeye çekme testinde, gri veya beyaz dökme demirin aksine, daha iyi süneklik kazandırır. [6,17]



Şekil 3.2 Grafit şekilleri [27]

Şekil 3.2'de görülen 1 numara, küresel grafiti; 2 numara, hatalı biçimlenmiş küresel grafiti; 3 numara, temper grafiti; 4 numara, kompakt grafiti; 5 numara, yengeç şekilli grafiti; 6 numara, patlamış küresel grafiti ve 7 numara ise lamel grafiti sergilemektedir.

3.1.3 Beyaz Dökme Demir

Katılaşmanın ardından içeriğindeki karbon, karbür şeklinde birleşme gerçekleştirmiş olan dökme demir türüdür. Beyaz dökme demir kırılıp incelendiğinde yüzeyin beyaz ve kristalik olduğu gözlemlenir. Yapısında önemli miktarda sementit (Fe_3C) içermesi, bu malzemeyi gevrek ve aşınma direnci yüksek hale getirir [6,17].

3.1.4 Temper Dökme Demir

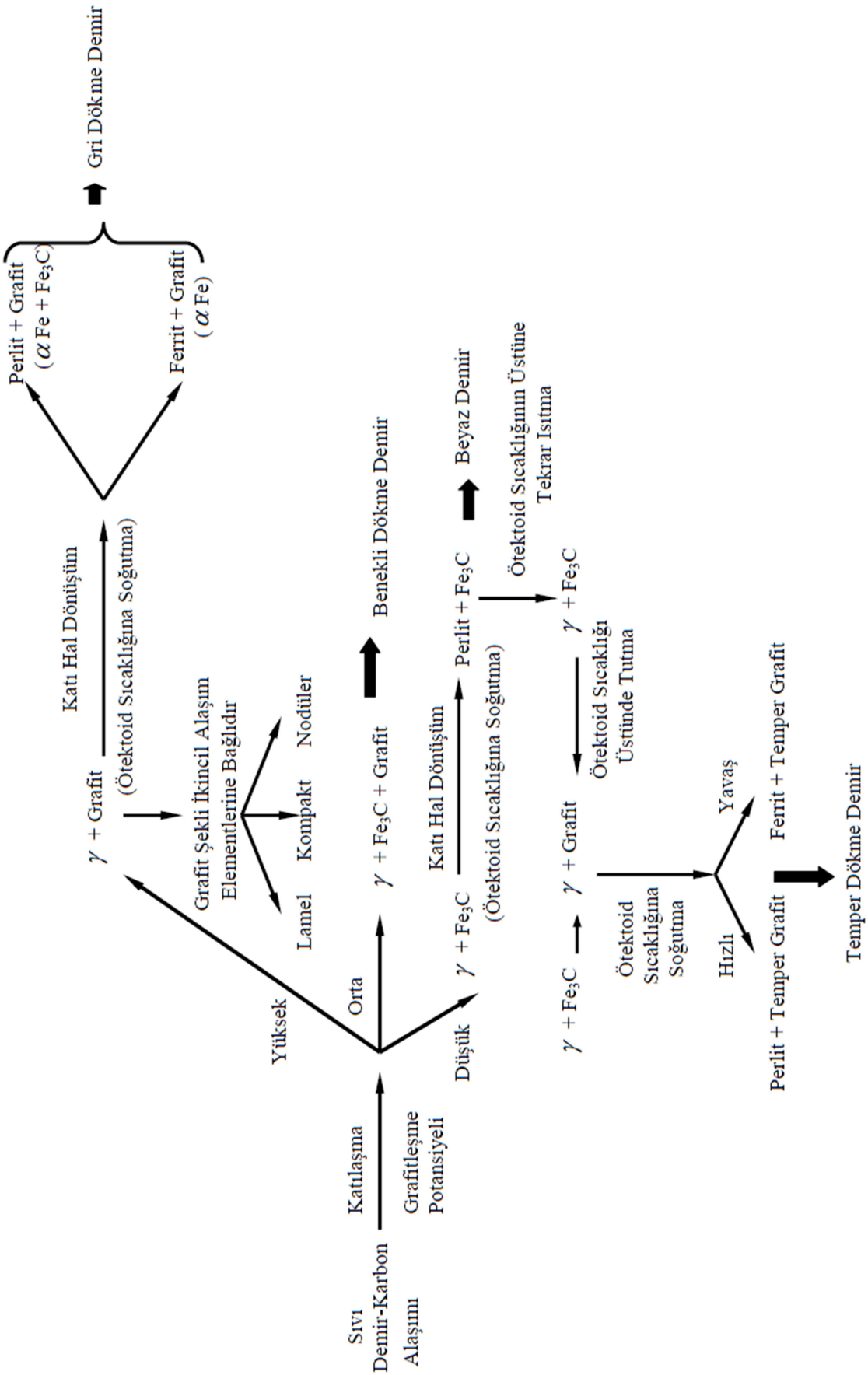
Temper dökme demirler, beyaz dökme demirlerin temperlenme işleminin (yaklaşık 900 ^{o}C civarında) ardından daha sünek yapı kazandırılmış halleridir. Temper dökme demirlerde karbon, rozete benzer şekillerde grafit birikmesi yapmaktadır [6,17].

3.1.5 Benekli Dökme Demir

Normal soğuma şartlarında katılaşacak ve kısmen gri, kısmen de beyaz dökme demir halinde olacak bir ara bileşime sahip dökme demirlerdir [6,17].

3.1.6 Çil Uygulanmış Dökme Demir

Gri dökme demir şeklinde katılaşacak olan malzemenin bazı bölgeleri beyaz dökme demire dönecek şekilde hızlı katılaştırılmış dökme demirlerdir [6].

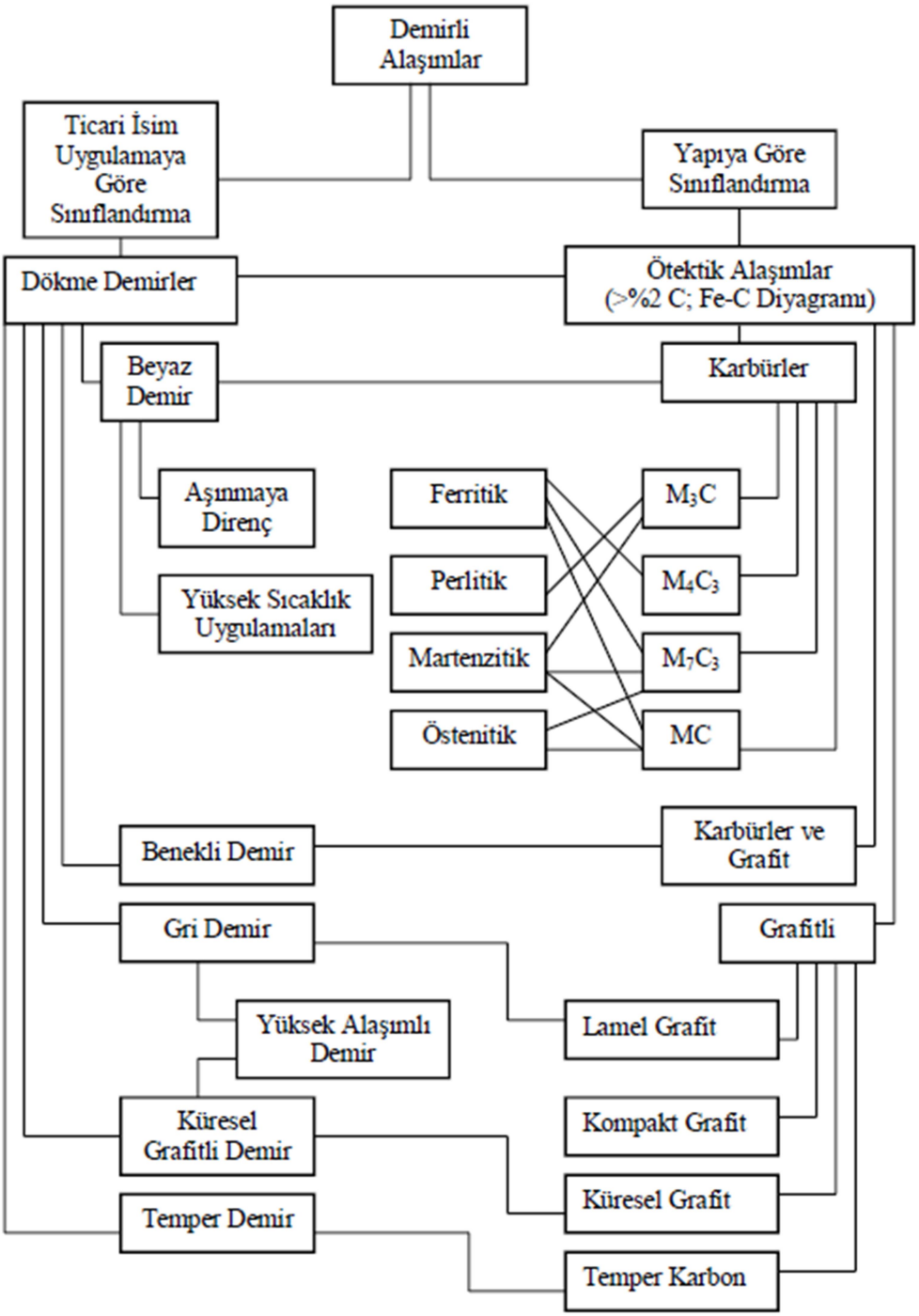


Şekil 3.3 Dökme demirler ve temel mikroyapılarının gösterimi [17,18]

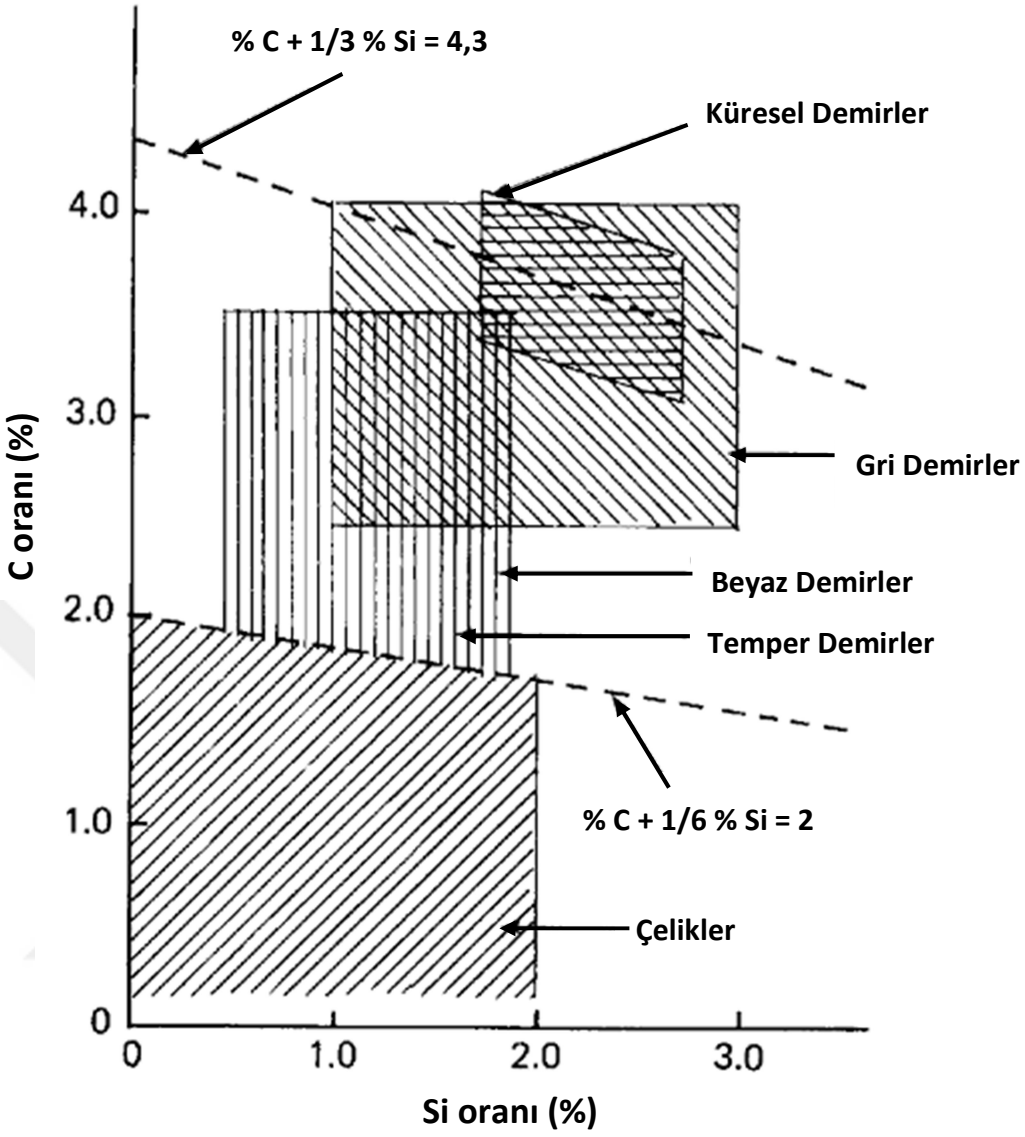
Çizelge 3.1 Dökme demirlerin piyasa adları ve mikroyapıları [17,18]

Piyasa Adı	**Karbonca Zengin Faz**	**Matriks**	**Kırık Yüzey**	**Uygulanan Son İşlem**
Gri Demir	Lamelli grafit	P	Gri	Katılaşma
Küresel Demir	Küresel grafit	F, P, Ö	Gümüş-Gri	Katılaşma Isıl işlem
Kompakt Grafit Demir	Kompakt grafit	F, P	Gri	Katılaşma
Beyaz Demir	Fe_3C	P, M	Beyaz	Katılaşma Isıl işlem(a)
Benekli Demir	Lamelli grafit + Fe_3C	P	Benekli	Katılaşma
Temper Demir	Temper grafit	F, P	Gümüş-Gri	Isıl işlem
Östemper Küresel Demir	Küresel grafit	Beynit	Gümüş-Gri	Isıl işlem

Çizelge 3.1'de P, perlit; F, ferrit; Ö, östenit; M, martenzit anlamına gelip beyaz demirlerin uygulanan son işleminde (a) ile gösterilen ısıl işlem, gerilim giderme ve östenit dönüşümü dışında genel olarak uygulanmaz.



Şekil 3.4 Dökme demirler [17,18]



Şekil 3.5 Farklı dökme demirlerin ve çeliklerin C ve Si oranları [20]

Çizelge 3.2 Dökme demir ve % 0,3 C'li çeliğin özelliklerinin karşılaştırılması [20]

Özellikler	K.G.D.D.	T.D.D.	G.D.D.	0,3 C'li Çelik	B.D.D.
Dökülebilirlik	1	2	1	4	3
İşlenebilirlik	2	2	1	3	-
Titreşim sönümleme	2	2	1	4	4

Çizelge 3.2 Dökme demir ve 0,3 C'li çeliğin özelliklerinin karşılaştırılması [20] (devamı)

Özellikler	K.G.D.D.	T.D.D.	G.D.D.	0,3 C'li Çelik	B.D.D.
Elastikiyet modülü	1	2	3	1	-
Darbe dayanımı	2	3	5	1	-
Aşınma direnci	2	4	3	5	1
Korozyon direnci	1	2	1	4	2
Dayanım/Ağırlık oranı	1	4	5	3	-
Üretim maliyeti	2	3	1	4	3

Çizelge 3.2'de belirtilen K.G.D.D., küresel grafitli dökme demiri; T.D.D., temper dökme demiri; G.D.D., gri dökme demiri; B.D.D., beyaz dökme demiri ve ayrıca derecelendirme olarak '1' çok iyi seviyesini '5' ise çok kötü seviyesini ifade etmektedir.

3.2 Dökme Demirlerin Katılaşma Evresi

Dökme demirlerin katılaşması süreci, temel olarak Fe-C-Si denge sistemine bağlı şekilde gerçekleşir. Şekil 3.6'daki diyagramda, % 3,8 C oranına sahip bir dökme demirin katılaşması ve soğuması gösterilmiştir [6].

a. Sıvı metal, (1) noktasında katılaşma süreci başlayıncaya kadar soğumaktadır. (1) noktasında katı östenit dentritleri oluşmaya başlayıp bu durum sıcaklığın azalarak (2) noktasına düşmesine kadar devam eder [6].

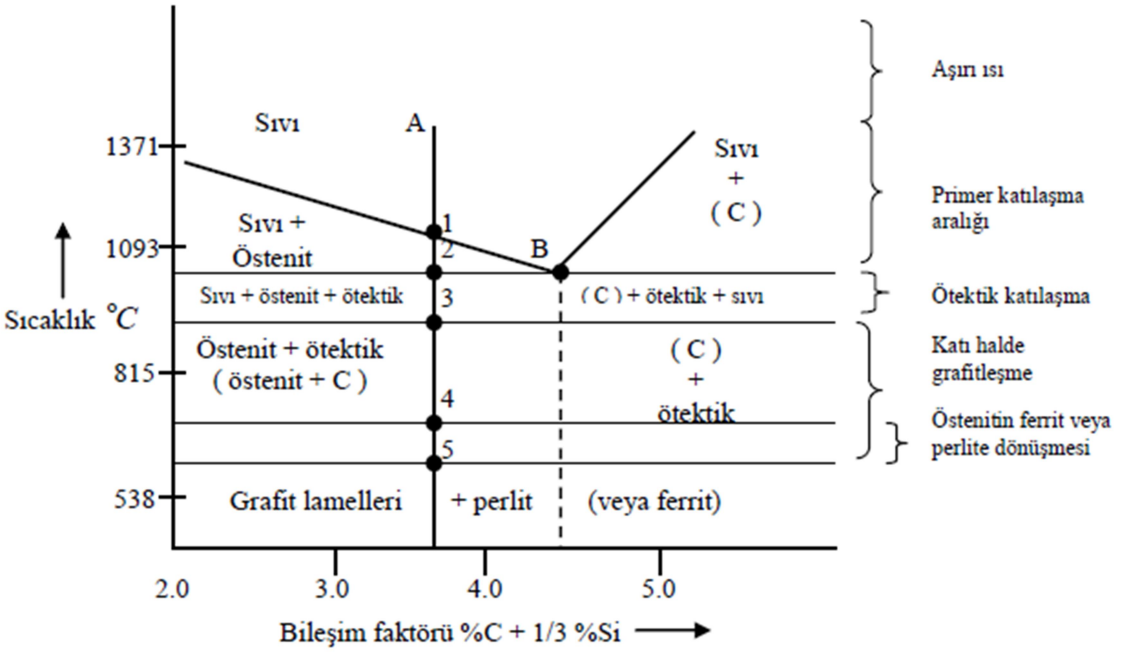
b. Ötektik katılaşma süreci, sıcaklığın azalarak (2) noktasındaki bölgeye geçiş yapıldığında başlamaktadır. Oluşan ötektik katısı (östenit + karbür) veya (östenit + grafit) şeklinde olup dökme demir, (östenit + karbür) halinde beyaz, (östenit + grafit) halinde ise gri olarak katılaşacaktır. Grafit oluşumunun gerçekleşebilmesi için yavaş soğuma ve silisyum gibi grafitleştirme özelliği taşıyan elementlerin etkin olması gerekmektedir. Sıcaklığın (3) noktasına düşmesi ile katılaşma süreci tamamlanmaktadır [6].

c. Katılaşma gerçekleştikten sonra meydana gelecek yapı, a ve b safhalarındaki oluşmuş katılardır. Gri dökme demirde bunlar östenit ve karbür iken, beyaz dökme demirlerde östenit ve karbür olacaktır [6].

d. (3) ve (4) noktaları arasında kalan bölgede gerçekleşen soğuma esnasında mevcut östenitten karbon çökelmesi meydana gelecektir. Bunun sebebi, katılaşmanın sonunda % 2 C içerebilen östenit, (4) noktasında sahip olacağı sıcaklıkta sadece % 0,6 – 0,8 C içerebilmektedir. Östenitteki bu fazla karbon miktarı, gri dökme demirlerde grafit halinde çökecekken, beyaz dökme demirlerde karbür olarak çökecektir [6].

e. Son katı hal değişiminin gerçekleşmesi (4) ve (5) noktaları arasındaki soğuma esnasında gerçekleşmektedir. Bu sıcaklık aralığında östenit, kompleks bir dönüşüme uğrar. En uygun grafitleşme koşullarında yalnız ferrit oluşurken, nispeten daha zayıf grafitleştirici koşullarda ferrit ve perlit veya sadece perlit oluşmaktadır [6].

f. (5) noktası ile oda sıcaklığına varıncaya kadarki soğuma aşamasında dökme demirin yapısında çok az bir değişim oluşmaktadır [6].



Şekil 3.6 Dökme demirlerde katılaşmanın ve grafit oluşumunun sıcaklık aralığının yaklaşık olarak gösterimi [6]

3.3 Dökme Demirlerin Fazları

Kimyasal kompozisyonun dışında, soğuma hızı, katılaşma mekanizması, dökümhanenin proses şartları gibi parametrelerden etkilenen mikroyapı, metalin özellikleri üzerinde doğrudan etkilidir [6].

3.3.1 Grafit

Dökme demirlerde karbon elementi bileşik halde veya serbest şekilde olabilir. Gri dökme demirlerde katılaşmayla beraber bu karbon atomları grafit lamellerini meydana getirir. Bu grafitler lamel şeklinde, rozet şeklinde veya Mg ya da Ce ilavesi ile küresel şekilde oluşabilmektedir. Bu yapıların malzemenin özellikleriyle doğrudan ilgisi vardır. Örneğin lamel grafitli yapıya sahip olan gri dökme demirlerde süneklik özelliği yokken küre şekilli grafit yapısına sfero dökme demirlerde süneklik daha iyi seviyededir [6].

3.3.2 Sementit

Dökme demirlerdeki karbon atomu, Fe_3C (sementit) halinde bileşik oluşturabilir. Bu süreç katılaşma esnasında meydana gelir. Sementit, metalin ana bileşenini meydana getiriyorsa çok sert ve kırılgan olma özelliğini doğrudan malzemeye de yansıtacaktır [6].

3.3.3 Ferrit

Oda sıcaklığında kübik hacim merkezli yapıda bulunan ferrit, belirli oranda yumuşak, sünek ve orta seviyede mukavimlik özelliklerine sahiptir. Dökme demirlerde Si içeren bu fazda, Si, ferriti daha sert yaparak mukavemet değerlerini iyileştirir. Yapısal bakımdan ferrit serbest halde oluşabildiği gibi perlit içerisinde de oluşabilmektedir [6].

3.3.4 Perlit

Ferrit ve sementit katmanlarının yan yana sıralanarak oluşturduğu iki faz karışımıdır. Dökme demirler için perlit; mukavim, orta seviyede sert olan ve belirli miktarda sünekliğe sahiptir [6].

3.3.5 Steadit

Dökme demirlerde, bilhassa gri dökme demirlerde, fosfor düşük ergime seviyeli bir demir – demir fosfür ötektiği (steadit) halinde bulunmaktadır. Steadit, % 10,2 oranında P içermekte olup çok sert ve kırılgan bir yapıya sahiptir [6].

3.3.6 Östenit

Östenit, demirin yüksek sıcaklıklardaki allotropik şekli olan kübik yüzey merkezli demir ile karbondan meydana gelen, katılaşma esnasında oluşan ve yavaş soğuma ile perlit, ferrit veya ikisinin karışımına dönüşen bir katı ergiyiktir. Oda sıcaklığında mikroyapı gözlemlendiğinde görülmesi, yalnız dökme demirin, özel olarak, bu sıcaklıkta stabil hale getiren Ni ile alaşımlandırılmasıyla mümkündür [6].

BÖLÜM 4

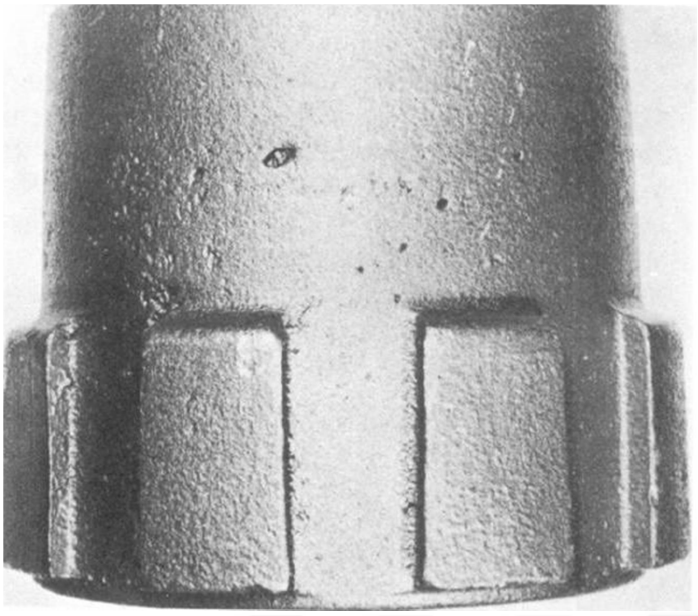
DÖKÜM HATALARI

Döküm prosesi gerçekleştikten sonra kontrol edilen parçalarda müşteri talimatlarının dışına çıkan ve parçaları ıskartaya ayırabilen hatalar gözlemlenebilmektedir. Bu hataların türleri ve nedenleri çeşitlilik göstermekle birlikte bu bölümde en yaygın döküm hataları, nedenleri, örnekleri hakkında fikir vermek amaçlanmıştır.

4.1 Cüruf ve Kum Boşlukları

Döküm esnasında sürüklenen kumların kalıp boşluğuna girmesi, yüzeylerde erkek bölgeler yaratacağından parçalar döküldükten sonra kum boşlukları gözlemlenebilir. Aynı şekilde cüruf adı verilen istenmeyen başka malzemelerin yine döküm boşluğuna girerek parçada sakata sebep olması da gerekli ve yeterli önlemler alınmadığı takdirde ihtimaller dahilindedir.

Kum sakatının farklı sebepleri olabilir. Kalıplama esnasında yüzeylerin sürtünmesi, maçanın kalıpta yeterli boşluğunun olmaması, çok yüksek veya çok yavaş döküm hızları, modelde yeteri kadar verilmemiş sıyırma açıları, şişlerin çekildikten sonra derecenin kapatılmasıyla zayıflayan kumun kalıp boşluğuna düşmesi, kalıp kumunun yeterli sıkılığa ulaşamaması, geometrik açıdan dar ve yüksek bölgelerin modelde iyi filtrelenememesi sonucu kum pakedinin zayıf kalması gibi çok çeşitli nedenler bu duruma ortam hazırlayabilir. Keza cüruf da ergitilen metalin saf olmayışı, filtrenin kalitesinin yetersizliği, modeldeki filtre yuvası ile filtrenin ebatlarının uygunsuzluğundan doğan, filtrenin küçük gelmesiyle cüruf kaçırma durumu, yolluk, açık besleyici vs. gibi bölgelerden kalıp boşluğuna giren yabancı maddelerden kaynaklanan sebeplerden ötürü sakata sebebiyet verebilir [21,22].



Şekil 4.1 Kum boşluğu [21,22]

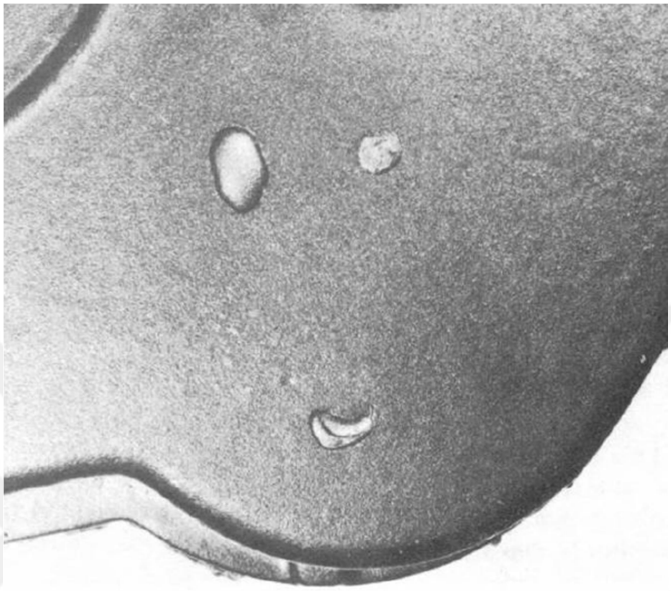


Şekil 4.2 Cüruf sakatı [23]

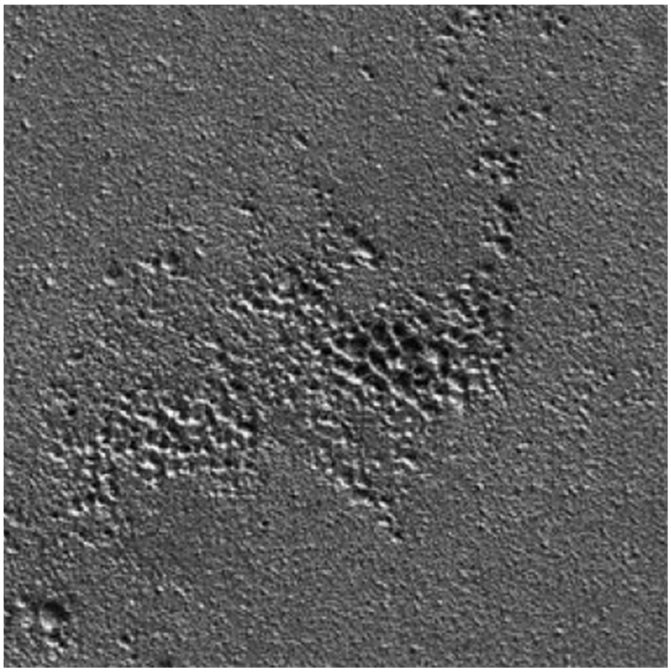
4.2 Gaz Boşlukları

Döküm esnasında tahliye edilemeyen gaz kabarcıklarının katılaşma sonrası parçanın sakata ayrılmasına neden olabilecek şekilde parçada boşluklar oluşturması gaz sakatına sebep olur. Gaz sakatı genelde çekintiye benzemesine karşın çekinti daha dentritik bir yapı oluştururken, gaz sakatının daha oval ve daha düz yüzeyli boşluklar oluşturduğu gözlemlenmiştir. Gazın yükselme eğilimi de mevcut olduğundan daha çok parçanın üst derecede kalan bölümlerinde rastlanmaktadır [21,22].

Gaz sakatlarının karınca sakatı gibi farklı türleri de mevcut olup bunların oluşmasına sebep olan birçok farklı neden vardır. Bunlardan bazıları, kalıpta ve maçada yeterli şiş bulunmaması, yolluk dizaynının türbülansa neden olacak şekilde doğru dizayn edilmeyişi, kalıp kumunun geçirgenliğinin az olması ve/veya çok nemli olması, optimum değerlerden çok daha fazla bağlayıcı kullanılması şeklinde sıralanabilir [21,22].



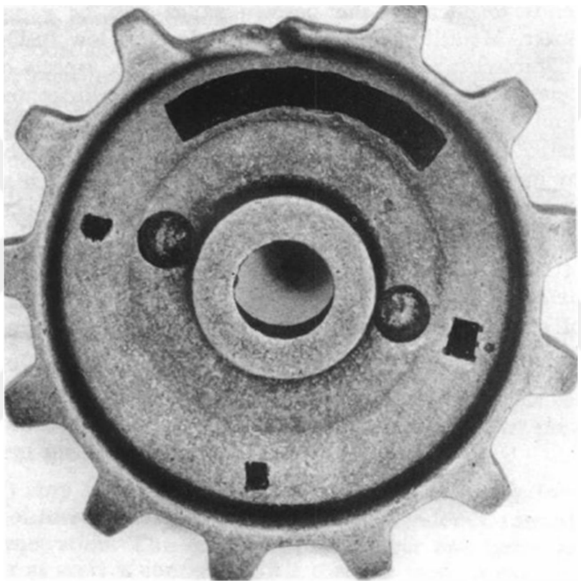
Şekil 4.3 Gaz sakatı örneği [21,22]



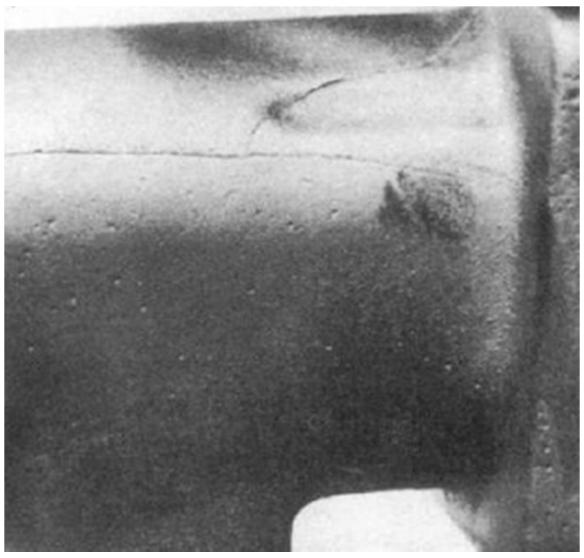
Şekil 4.4 Karınca (pinhole) sakatı [23]

4.3 Eksik Döküm ve Katmer

Eksik döküm, kalıp boşluğunun tamamiyle dolmamasından kaynaklanan parçanın geometrisinde eksik figürlerin olması şeklinde gözlemlenen sakat çeşididir. Bunun yanında katmer sakatı ise sıvı metalin kalıp boşluğunu doldururken yetersiz şekilde kaynayıp arada bir yüzey oluşturması ile meydana gelen bir sakat çeşididir [21,22]. Uygun ölçülerde dizayn edilmemiş meme girişleri, havşa, yatay yolluklar, meme girişlerinin, yollukların parçadan önce katılaşması ve kalıp boşluğuna sıvı metali aktaramaması, veya çok düşük sıcaklıklarda döküm yapmak gibi sebepler bu sakatlara neden olabilmektedir.



Şekil 4.5 Bir dişin olmadığı eksik döküm örneği [21,22]

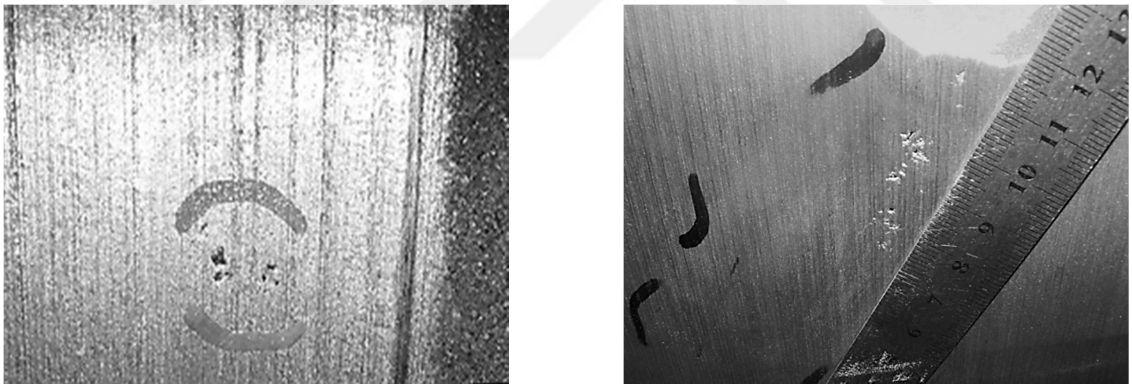


Şekil 4.6 Katmer sakatı [21,22]

4.4 Çekinti Boşlukları ve Çöküntüler

Çekinti, genelde parçanın en kalın kesitli bölgelerinde meydana gelen ve metalin katılaşırken kendini çekmesi sonucu yeteri kadar beslenememesinden kaynaklanan dentritik yapılı veya süngerimsi şekilde olan iç boşluklardır [21,22].. Bu durum, parçanın mekanik özelliklerinde azalmaya sebebiyet vereceğinden müşteri talimatlarında belirlenen seviyelerde tutulmalıdır. Yalnız örneğin emniyet parçalarındaki gibi kritik olanlarda çekinti hiç istenmez. Döküm parçaların olması gereken yüzey seviyesinden çekilen metallerin oluşturduğu yüzeydeki boşluklar da çöküntülere sebebiyet vermektedir.

Çekintiler, parçanın kalın kesitli bölgelerinin yanlış besleyici seçimi veya dizaynıyla ilgili olarak yeteri kadar beslenememesi, yönlü katılaşmanın sağlanamaması, kalıp kumunun yumuşak sıkıştırılması ve kalıp duvar hareketinin fazla olmasıyla artan kesit ölçüleri, besleyicilerin aktif olabilmesini engelleyecek derecede soğuk döküm veya yine kalıp duvar hareketini fazlaca tetikleyecek ölçüde yüksek sıcaklıklarda döküm gibi sebeplerden parçada görülebilir [21,22].



Şekil 4.7 Çekinti örnekleri

BÖLÜM 5

YOLLUK SİSTEMİ TASARIMI

Yolluk sistemi, sıvı metalin, içinde akarak kalıp boşluğuna sorunsuz şekilde dolmasını sağlayan sistemin tümüne verilen addır. Dökümcülükte, sağlıklı bir döküm yapabilmek adına yolluk dizaynı önemli bir yere sahiptir. Yolluk sistemi içerisindeki kesitlerin matematiksel formüllere dayanarak dizayn edilmesi, sağlam parça elde etmekte büyük faydalar sağlar.

5.1 Yolluk Sistemi Dizaynı

Yolluk sistemi dizaynı, öncelikle modelin, model plakası üzerindeki konumu göz önüne alınarak başlar. Modelin, plaka üzerindeki konumuna göre uygun yerlere en ekonomik ve etkili olan yolluk yerleştirilmeye çalışılır. Bu yapılmaz ise model, maça başı, besleyiciler gibi plaka üzerinde diğer yer kaplayan unsurlardan dolayı yolluk tasarımının konumlandırılması yapılamaz ve tekrardan yeni bir dizayn çalışması gerekir. Bu da ilave zaman ve maliyettir.

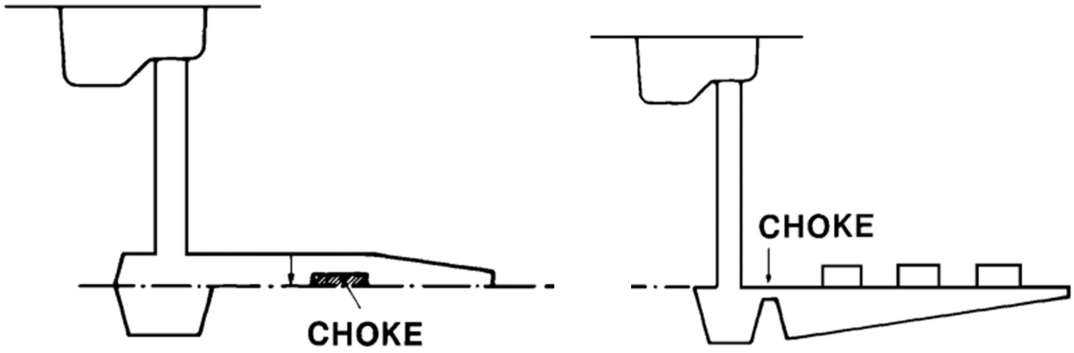
Yolluk sistemleri basınçlı ve basınçsız olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bölüm 2.4'te ayrıntılarından bahsedilen bu sistemlerden basınçlı yolluğun en belirgin özelliği, sistemin en dar kesidinin memelerde olmasıdır. Genelde, kolondan başlayarak yatay yolluk ve meme kesitleri aynı sırayı takip ederek azalır. Basınçsız yolluk sisteminde ise metal akışı, kolondaki en dar kesit ile veya topuktan sonraki kısma bölgesi ile kontrol edilir [1].

Basınçlı yolluklarda daralan kesit dolayısı ile meme girişlerinde metal hızı en yüksek değeri alırken, basınçsız yolluklarda bu, tam tersi şekilde gerçekleşir. Meme girişlerindeki yüksek hız, kum erozyonuna neden olabileceğinden ve bu durum doğrudan parça kalitesine etki edeceğinden risklidir.

Basınçlı yolluklarda yüksek hız nedeniyle türbülans ihtimali daha yüksektir. Laminer olmayan bir akış, çalkalanma sırasında içerisine hapsettiği hava kabarcıkları nedeniyle parça kalitesine doğrudan etki eder. Basınçsız yolluk sistemleri bu nedenle daha avantajlıdır.

Basınçlı yolluk sistemleri, daralan bir kesit içerisinde metal akışını sağladığından sistem, dolu olarak tutulur. Basınçsız yolluk sistemlerinde ise yolluk sistemini dolu tutabilmek için doğru bir yolluk sistemi tasarımı gerekmektedir.

Tüm bunların yanında döküm verimi, basınçlı yolluk sistemlerinde daha az metal sarfiyatı yapıldığından daha yüksektir.



Şekil 5.1 Basınçlı ve basınçsız yolluk örneği [24]

Şekil 5.1'de görüldüğü gibi soldaki şekilde choke[1], meme girişinde gösterilmiştir. Bu basınçlı bir yolluk örneğidir. Sağ taraftaki şekle bakıldığında ise choke, topuktan sonra gelen bölgede yer almıştır. Bu da basınçsız bir yolluk sistemi örneğidir.

Çizelge 5.1 Basınçlı yolluk sistemi için bazı kolon-yy-mg oranları [1]

	Kolon	**Yatay Yolluk**	**Meme**
1	1	0,8	0,6
2	1	0,9	0,8
3	1,2	1,1	1

[1] Yolluk sistemindeki dolum zamanını belirleyen en dar kesit, kısma bölgesi.

Çizelge 5.2 Basınçsız yolluk sistemi için bazı kolon-yy-mg oranları [1]

	Kolon	**Yatay Yolluk**	**Meme**
1	1	2	4
2	1	1,5	2
3	1	1,1	1,2

Döküm esnasında gerçekleşen metal akışını temelde yükseklik, basınç ve hıza bağlı olan Bernoulli Teoremi ile bağdaştırabiliriz. Bu teorem, kapalı bir sistemde, herhangi bir noktadaki ölçülen kinetik enerji, potansiyel enerji, basınç enerjisi ve sürtünme enerjisinin toplamının bir sabite eşitliğini ifade eder [2].

$$w.Pv+\frac{w.V^2}{2g}+w.Z+w.F=k \qquad (5.1)$$

(5.1) denklemindeki değişkenler:

- w: Akışkanın toplam ağırlığı (N)
- P: Akışkanın seçilen noktadaki statik basıncı (Pa)
- v: Akışkanın özgül hacmi (m^3/kg)
- g: Yer çekim ivmesi (m/s^2)
- V: Akışkanın seçilen noktadaki hızı (m/s)
- F: Sürtünme kaybı
- Z: Sıvının mevcut konumunun referans yüzeyi ile arasındaki yükseklik farkı (m)
- k: Sabit

Ayrıca yolluk hesaplarında 'Süreklilik Yasası' da önemlidir. Sızdırmanın olmadığı bir sistemde sıkıştırılamayan bir akışkanın debisi, seçilen herhangi bir noktada ölçüldüğünde aynı olmalıdır [2].

$$Q=A_1V_1=A_2V_2 \qquad (5.2)$$

(5.2) denklemindeki değişkenler:

- Q: Akışkanın debisi (m^3/s)
- A: Akışkanın o anda geçtiği kesit alanı (m^2)
- V: Akışkanın o andaki hızı (m/s)

Tüm bunların yanında kalıp boşluğuna giren metalin akışının, türbülanssız, yani laminer şekilde olması istenir. Akışın laminer olduğu ise, N_R, yani Reynold sayısı ile bulunur. Eğer $N_R < 2000$ ise akış laminer olarak karakterize edilir. $2000 < N_R < 20000$ ise hafif türbülans ve çalkalanmalar meydana gelebilir yalnız kalıp yüzeyine hasar vermediği müddetçe göz ardı edilebilir. Çoğu dökümhanede bu tarz bir akış gözlemlenmektedir. Eğer $N_R > 20000$ ise akış fazlasıyla türbülanslı olup kalıp yüzeyinde hasara yol açacaktır [2].

$$N_R = \frac{v d \rho}{\mu} \tag{5.3}$$

(5.3) denklemindeki değişkenler:

- N_R: Reynold sayısı (birimsiz)
- v: Akışkanın hızı (m/s)
- d: Akışkanın aktığı kanalın çapı (m)
- ρ: Akışkanın yoğunluğu (kg/m^3)
- μ: Akışkanın dinamik viskozitesi ($kg.m^{-1}.s^{-1}$)

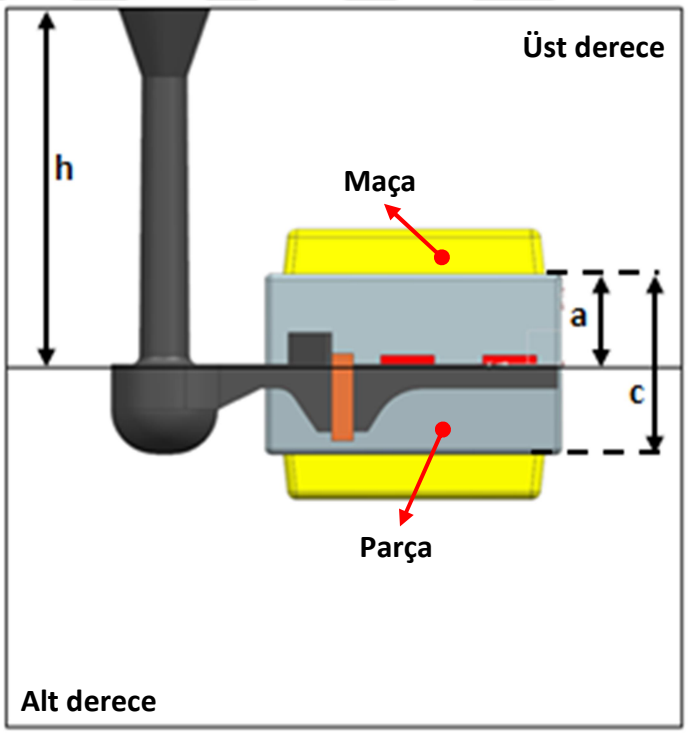
Yolluk dizaynında kritik kesidin hesaplanması, (5.4) denkleminde gösterildiği şekliyle yapılmaktadır.

$$C_A = \frac{22{,}6 \times W}{\rho \times \xi \times t \times \sqrt{H}} \tag{5.4}$$

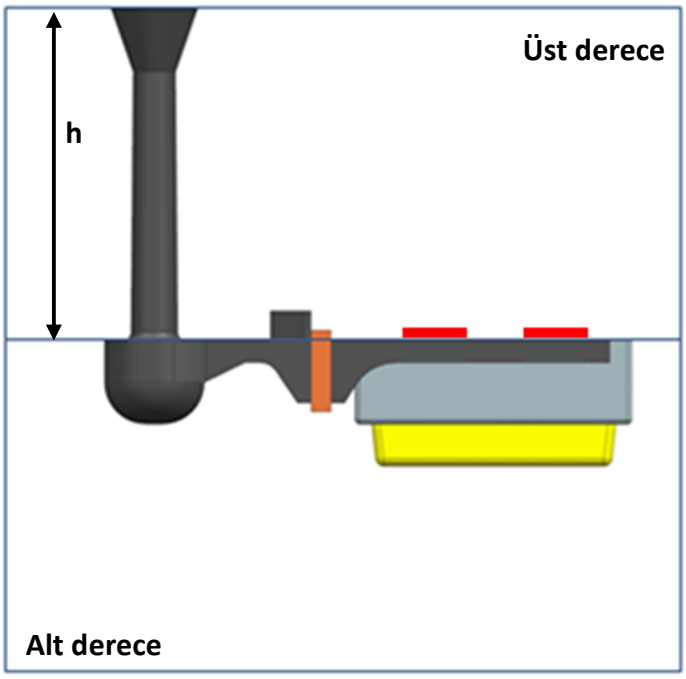
(5.4) denklemindeki değişkenler:

- C_A : Kritik kesit alanı (cm^2)
- W: Kalıba dökülecek toplam metal ağırlığı (kg)
- ρ: Metalin özkütlesi (gr/cm^3)
- ξ: Sürtünme faktörü (birimsiz)
- t: Döküm süresi (sn)
- H: Etkin döküm yüksekliği (cm)

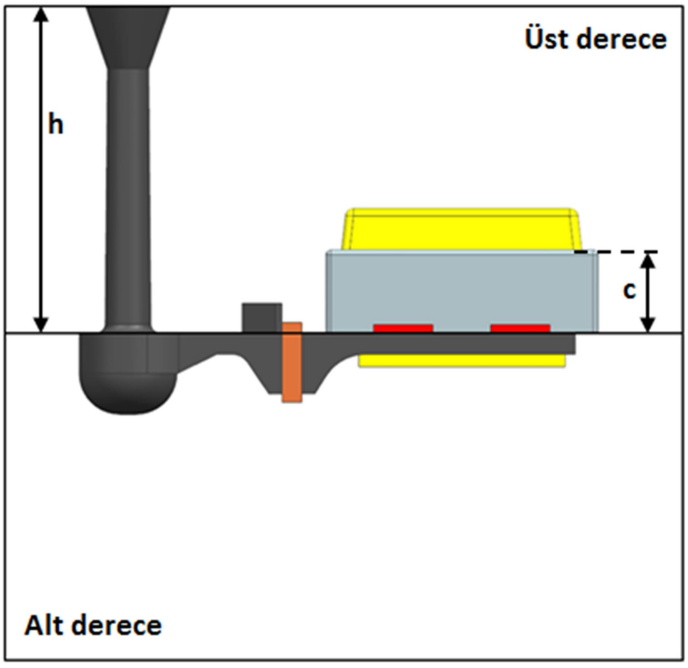
(5.4) eşitliğinde etkin döküm yüksekliğinin hesabı, parçanın dereceler içerisindeki konumuna göre değişkenlik gösterir.



Şekil 5.2 Parçanın hem alt hem de üst derecede olduğu durum



Şekil 5.3 Parçanın tümüyle alt derecede olduğu durum



Şekil 5.4 Parçanın tümüyle üst derecede olduğu durum

Şekil 5.2'de gösterildiği gibi parçanın iki derecede de bulunduğu durumlarda etkin döküm yüksekliğinin hesaplanması (5.5) denklemindeki gibidir.

$$H=h-\frac{a^2}{2c} \tag{5.5}$$

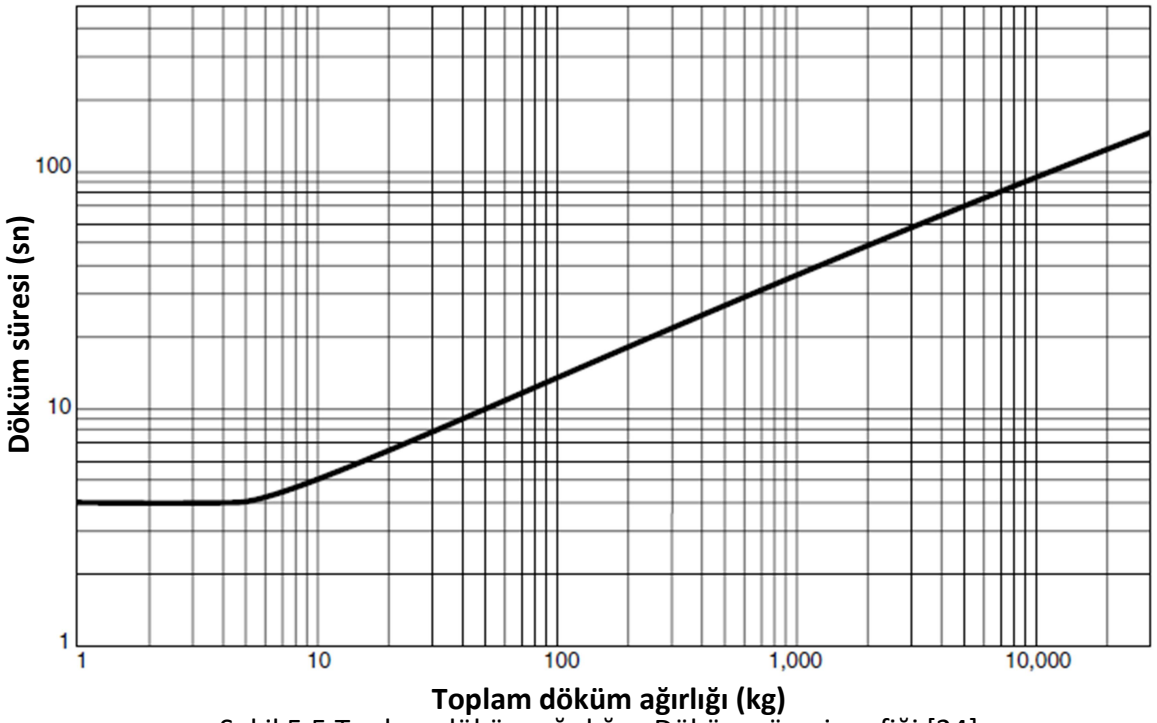
Şekil 5.3'te gösterildiği gibi parçanın sadece alt derecede bulunduğu durumlarda etkin döküm yüksekliğinin hesaplanması (5.6) denklemindeki gibidir.

$$H=h \tag{5.6}$$

Şekil 5.4'te gösterildiği gibi parçanın sadece üst derecede bulunduğu durumlarda etkin döküm yüksekliğinin hesaplanması (5.7) denklemindeki gibidir.

$$H=h-\frac{c}{2} \tag{5.7}$$

Denklemdeki bir başka parametre olan döküm süresi (t), Şekil 5.5'teki grafikten parça ağırlığı baz alınarak yaklaşık bir değer olarak seçilebilir.



Şekil 5.5 Toplam döküm ağırlığı – Döküm süresi grafiği [24]

Sürtünme faktörü (ξ), kalıp geometrisine ve metal cinsine göre değişkenlik gösterebilmektedir [11]. Genelde 0,2-0,6 arasında alınan bu değer için 0,4 kabul edilebilir bir ortalama değerdir.

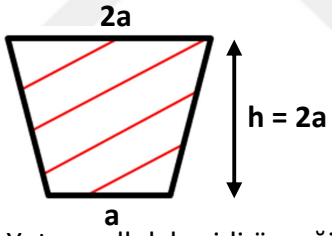
Tüm bu değerler, yardımcı grafikler ve formüller yardımıyla yerine yazıldığında bize kritik kesidin alanını verecektir. Yalnız burada dikkat edilmesi gereken bazı hususlar mevcuttur. Bunlardan bir tanesi birim kontrolüdür. Birimler, belirtildiği şekliyle denklemde yerine yazıldığında kritik kesit alanı (cm^2) cinsinden bulunacaktır. Ayrıca (5.4) denklemindeki 22,6 sabit değer, formülün açık halinde çarpım olarak yer alan

$'\frac{1}{\sqrt{2g}}'$den ve (5.6)'daki birim çevirileri sırasında sadeleştirmeler sonucu meydana gelen 100 değerlerinin çarpımından gelmektedir. Yine (5.6)'daki birim analizinde yer alan $'\sqrt{\frac{m}{s^2}}'$ bahsi geçen yerçekim ivmesinin birimidir.

$$cm^2=\frac{kg}{\frac{gr}{cm^3}.sn.\sqrt{cm}.\sqrt{\frac{m}{s^2}}}=\frac{1000gr}{\frac{gr}{cm^3}.sn.\sqrt{cm}.\frac{10.\sqrt{cm}}{sn}}=cm^2 \qquad (5.8)$$

Veriler ışığında kritik kesit hesaplandıktan sonra sıra yolluk dizaynının diğer elemanları olan yatay yolluk ve meme girişlerinin hesabına gelmektedir. Bunun için öncelikle yolluk sisteminin basınçlı ya da basınçsız oluşuna göre Çizelge 5.1 veya Çizelge 5.2'den tasarım için kullanılacak oranı seçmemiz gerekmektedir. Belirlenecek bu orana göre hesaplanan kritik kesit alanı baz alınarak, yatay yolluk kesit alanları toplamı ve meme girişlerinin kesit alanları toplamı bulunacaktır.

Toplam alanlar bulunduktan sonra meme girişlerinin ve yatay yollukların ölçülendirmesi yapılır. Farklı yatay yolluk ölçülendirme oranları mevcut olup Şekil 5.6'daki kenar oranları, en sık kullanılanlardan biridir.



Şekil 5.6 Yatay yolluk kesidi örneği

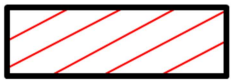
Örneğin basınçsız bir yolluk dizaynı düşünüldüğünde, (5.9)'daki yatay yolluk alanını veren eşitlik ile kenar ölçüleri bulunabilir. Burada önemli olan nokta, kritik kesit alanının çarpıldığı katsayı, daha önceden tasarımcı tarafından belirlenmiş yolluk dizayn oranına göre değişiklik göstermektedir.

$$YY_A=\frac{(a+2a).h}{2}=C_A.1,1 \qquad (5.9)$$

Yatay yolluk hesabına benzer şekilde meme kesitlerinin toplam alanı ve ölçüleri de bulunmaktadır. Burada da yine kritik kesit alanının çarpıldığı katsayının, önceden belirlenen oran baz alınarak denkleme eklendiği unutulmamalıdır. Daha önceki

a

tecrübelerden elde edilen deneyim ile en ideal meme girişi ölçülerinden bazıları, a-4a veya a-6a şeklindedir.



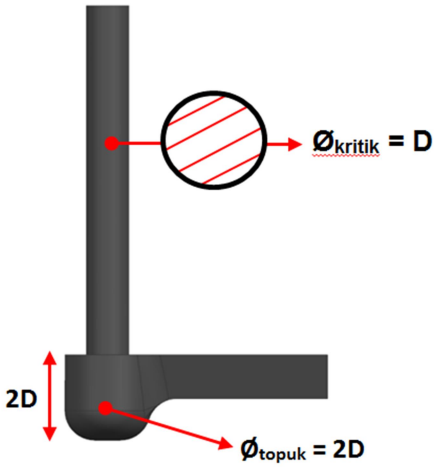
Şekil 5.7 Meme giriş kesidi örneği

$$MG_A = axb = C_A.1,2 \quad (5.10)$$

Düşey yolluktan kalıp boşluğuna giren ergiyik metalin yatay yolluğa geçerkenki hızı (5.11) eşitliğindeki Torricelli Yasası yardımıyla hesaplanmaktadır. Kritik kesit alanı ile filtre öncesi yatay yolluk kesit alanları yaklaşık olarak aynı olduğundan, yatay yolluğun filtre sonrasındaki bölümü ve meme girişlerindeki hızı da kesitler arası oran göz önünde bulundurularak yaklaşık olarak hesaplanabilir [1].

$$v_{kolon} = \xi.\sqrt{2gh} \quad (5.11)$$

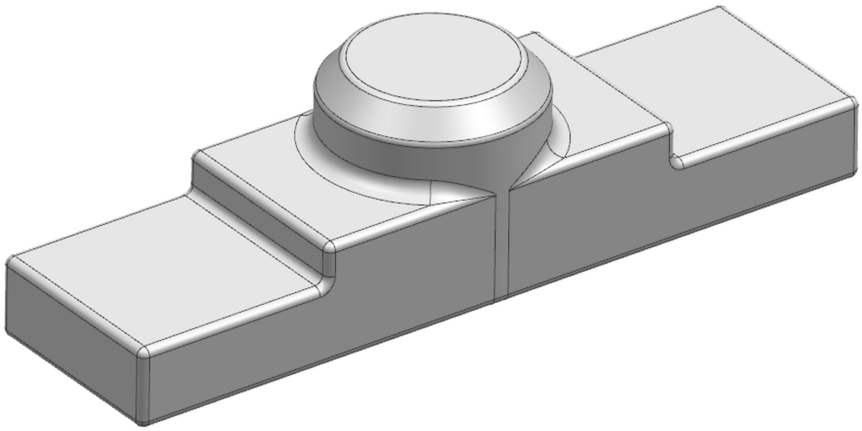
Topuk, düşey yolluktan gelen sıvı metalin yatay yolluğa geçmeden önce döküldüğü yerdir ve bu esnada topuğa dökülen sıvı metalin sıçrama yapmaması, türbülans oluşturmaması için topuk dizaynının Şekil 5.8'deki ölçülerle yapılması önerilir. $Ø_{kritik}$, yolluğun basınçlı veya basınçsız olmasına göre konum olarak farklılık gösterir. Örneğin basınçsız yollukta en dar kesit, havşa ile düşey yolluğun birleştiği en üst bölgedir.



Şekil 5.8 Topuk ölçüsü değerleri

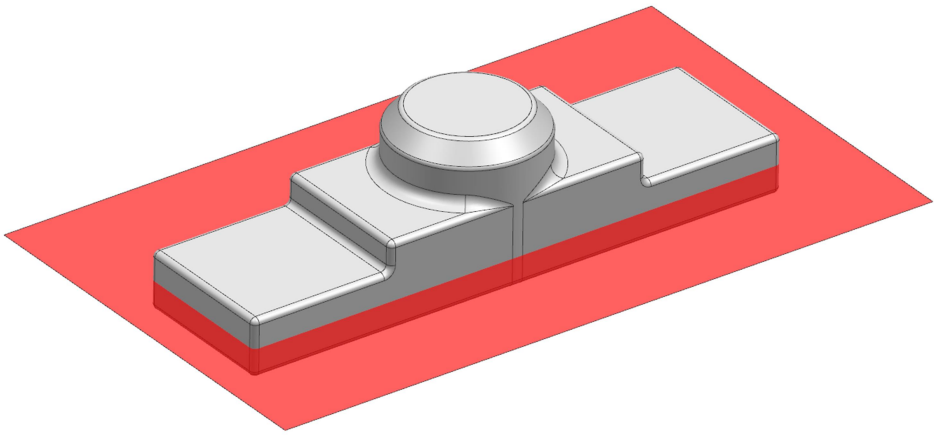
5.2 Yolluk Hesabı Uygulaması

Mevcut bilgilerin ışığında yolluk hesabı uygulaması aşağıdaki şekliyle örnek üzerinden anlatılmaya çalışılmıştır.



Şekil 5.9 Yolluk hesabı yapılacak uygulama parçası

Şekil 5.9'da görünen parçanın ayrım yüzeyi Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Buradan parçanın derece içerisindeki konumunun hem alt derecede hem de üst derecede olacağı ve bununla birlikte, kritik kesit alanı hesabındaki etkin döküm yüksekliğinin hesaplanma şekli belirlenir.



Şekil 5.10 Uygulama parçası ayrım yüzeyi

Bu bilgiler ile (5.4) denklemi yazıldığında teker teker parametreler belirlenmeye başlar. Parçanın malzemesi, parçanın kullanım alanına, altında kalacağı yüklere göre tasarımcı tarafından belirlenir. Ayrıca parçaya ait döküm teknik resminde de antet dahilinde malzeme belirtilir. Bu sayede parçanın özkütlesine dair bilgi de edinilmiş olacağından, parça ölçülerinden kütle hesabı (5.12) denklemindeki gibi yapılır. Ayrıca CAD

programları, parçanın malzemesi seçildiğinde ya da özkütlesi girildiğinde, datanın ağırlığını hesaplayabilmektedir.

$$\rho = \frac{m}{v} \tag{5.12}$$

(5.12) denklemindeki değişkenler:

- ρ: Özkütle (gr/cm^3)
- m: Kütle (gr)
- v: Hacim (cm^3)

Parça ağırlığına, (5.4) denklemindeki brüt ağırlığı bulmak için, yolluk sisteminin ve varsa besleyicilerin de ağırlıklarının ilave edilmesi gerekmektedir. Besleyiciler ile ilgili gerekli bilgiler ve dolayısı ile ağırlıklar firmaların kataloglarında veya besleyici datalarından bulunurken, yolluk sisteminin ağırlığı, hesaplamanın ilk başında daha önceki tecrübelerden, benzer parçaların yolluk sistemlerinden yola çıkarak ve data üzerinde yaklaşık bir çalışma ile çıkan değer alınır.

Sürtünme faktörü, yolluğun geometrisi, metal cinsi gibi parametrelere bağlıdır. Bu parça için 0,40 değeri, sürtünme faktörü belirlemek adına iyi bir ortalama değerdir.

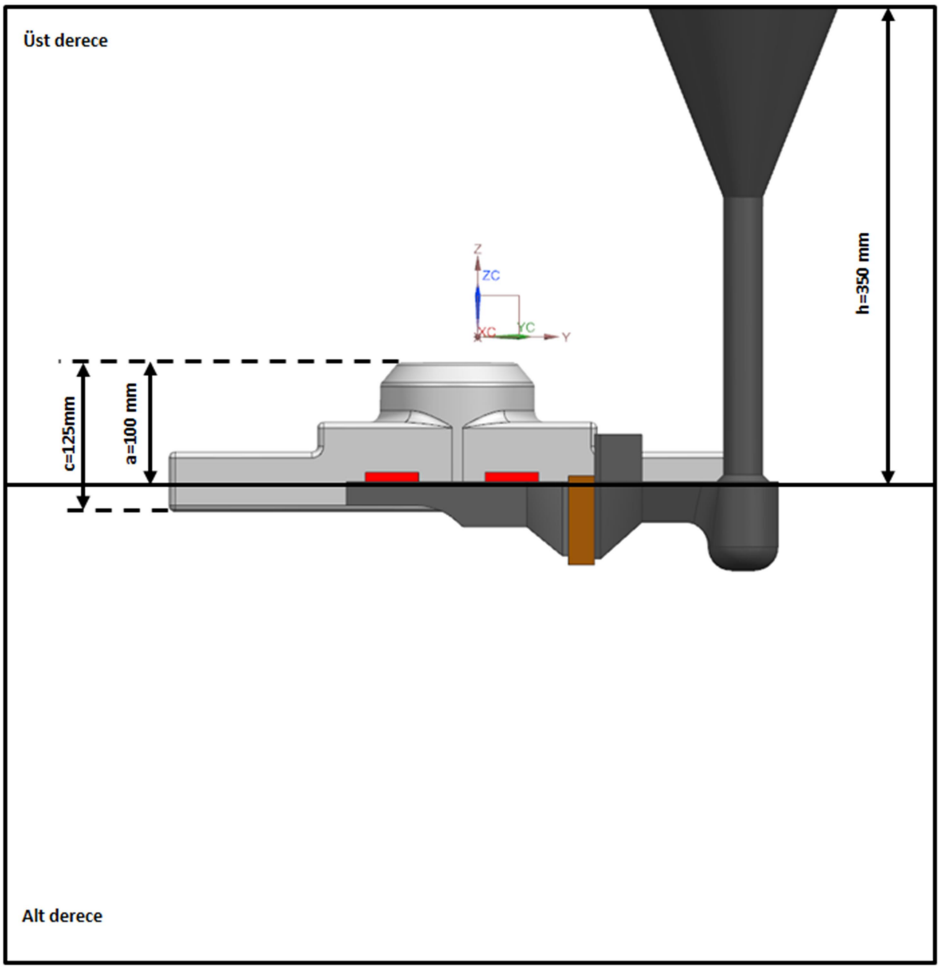
Döküm süresi, yaklaşık olarak, Şekil 5.5'teki grafik yardımıyla bulunarak denkleme ilave edilebilir. Burada dökülecek brüt ağırlıktan dik çıkarak eğri kesilir ve kestiği noktada döküm süresi, grafiğin y ekseninden okunur.

Etkin döküm yüksekliği ise parçanın derece içerisindeki konumuna göre gerekli işlemler yapılarak hesaplanır.

Bu örnekte parça malzemesi EN-GJS-600-3'tür [28] . Parça geometrisine göre ve daha önceki tecrübelere dayanarak yaklaşık bir yolluk çizilerek brüt ağırlık hesaplanmıştır. Hesaplanan bu brüt ağırlık yardımı ile döküm süresi, Şekil 5.5'teki ilgili grafikten belirlenmiştir. Sürtünme faktörü değeri 0,40 olarak alınabilir. Etkin döküm yüksekliğini bulmak için ise gerekli yükseklikler Şekil 5.11'de verilmiştir.

- ρ= 7,2 gr/cm^3

- W= 50 kg
- ξ= 0,40
- t= 10 sn



Şekil 5.11 Örnek parçanın derece içerisindeki konumu ölçüleri

$$H=h-\frac{a^2}{2c}=350-\frac{100^2}{2.125}=310\ mm=31\ cm \quad (5.13)$$

$$\sqrt{H}=\sqrt{31\ cm}=5,5677\ cm \quad (5.14)$$

$$C_A=\frac{22,6\ x\ W}{\rho\ x\ \xi\ x\ t\ x\ \sqrt{H}}=\frac{22,6\ x\ 50}{7,2\ x\ 0,4\ x\ 10\ x\ 5,5677}=7,04cm^2=704\ mm^2 \quad (5.15)$$

$$C_A=r_{kolon}^2\ x\ \pi \quad (5.16)$$

$$704=r_{kolon}^2\ x\ \pi \quad (5.17)$$

r_{kolon}=14,96 mm (5.18)

$YY_A=C_A.1,1=704\ .\ 1,1=774,4\ mm^2$ (5.19)

$$774,4=\frac{(a+2a).2a}{2}=3a^2 \quad (5.20)$$

$a_{YY}\approx$16 mm (5.21)

Yatay yolluk ölçüleri bu durumda 16:32:32 şeklinde dizayn edilebilir.

$MG_A=C_A.1,2=704\ .\ 1,2=884,8\ mm^2$ (5.22)

Bu yolluk dizaynında iki meme girişi mevcut olduğu için, meme giriş ölçüleri verilirken (5.22)'de bulunan toplam alan ikiye bölünerek hesaplama yapılmalıdır.

$$MG_{A,1}=MG_{A,2}=\frac{884,8}{2}=442,4\ mm^2 \quad (5.23)$$

Meme girişi ölçüleri, a-4a olarak düşünülürse dizayn için kenar ölçüleri de belirlenmiş olacaktır. Bu ölçüler parçanın geometrisine, hattaki yerleşimine, tamamlama işlemlerini kolaylaştırmak için farklılık gösterebilir. Örneğin, dar bir bölgeye meme girişi yapılacak ise boy biraz daha yüksek tutulup en biraz daha azaltılabilir. Yalnız bu ölçüleri, tamamlama açısından da yolluğun en kolay kırılabileceği şekliyle değerlendirmek gerekmektedir.

$442,4=axb=ax4a=4a^2$ (5.24)

$a_{MG}\approx$10,5 mm (5.25)

Yolluk sisteminin bir başka hesaplanması gereken bölgesi filtredir. Ergiyik metalin içerisindeki cürufları süzmeye ve daha düzgün bir akış sağlamaya yarayan filtrelerin ölçüsü, dökülen metalin brüt ağırlığına ve filtrenin süzme kapasitesine bağlıdır. Filtrenin süzme kapasitesi, üretici firmaların ilgili kataloglarında belirtilmektedir. Yalnız bu değerlerin proses parametrelerinden de etkilenebileceği ve sadece rehber olarak kullanılması gerektiğini unutmamak gerekmektedir. Örneğin Foseco Sedex seramik filtreler için bazı bilgiler, Çizelge 5.3'te gösterilmiştir [11].

Çizelge 5.3 Filtrelerin malzeme çeşidine göre filtrasyon kapasitesi [11]

Malzeme	Ppi	Filtrasyon kapasitesi (kg/cm^2)
Sfero	10 (geniş)	1,5
Gri	20 (orta)	4
Temper	30 (ince)	4
Kompakt Grafit	10 (geniş)	2

$$A_{filtre} = \frac{W}{n.fk} \tag{5.26}$$

(5.26) denklemindeki değişkenler:

- A_{filtre}: Filtre kesit alanı (cm^2)
- W: Brüt ağırlık (kg)
- n: Sistemdeki filtreleme sayısı (birimsiz)
- fk: Filtrasyon kapasitesi (kg/cm^2)

Bu örnekte, parçanın malzemesi sfero dökme demir olarak belirlenmiştir. Çizelge 5. 3'ten faydalanarak filtrasyon kapasitesi 1,5 olarak seçilebilir. Ayrıca örnekteki yolluk sisteminde tek filtreleme yapılan bölge mevcuttur.

$$A_{filtre} = \frac{50}{1.1,5} \approx 34 \text{ cm}^2 \tag{5.27}$$

Filtre alanı belirlendikten sonra, uygun filtre kataloglardan seçilir. Her firmanın farklı özelliklerde ve boyutlarda filtreleri olabilmektedir. Örnek olarak Çizelge 5.4'te bazı Sedex filtre boyutları ve malzemelere göre özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.4 Sedex filtre boyutları ve malzemelere göre özellikleri

	Alan (cm^2)	**Gri D.D. (maks. kg)**	**Sfero D.D. (maks. kg)**
Filtrasyon kapasitesi (kg/cm^2)		4	1,5
40x40	16	64	24
50x50	25	100	38
50x75	37,5	150	56
50x100	50	200	75
75x75	56,25	225	84
75x100	75	300	113
100x100	100	400	150
100x150	150	600	225

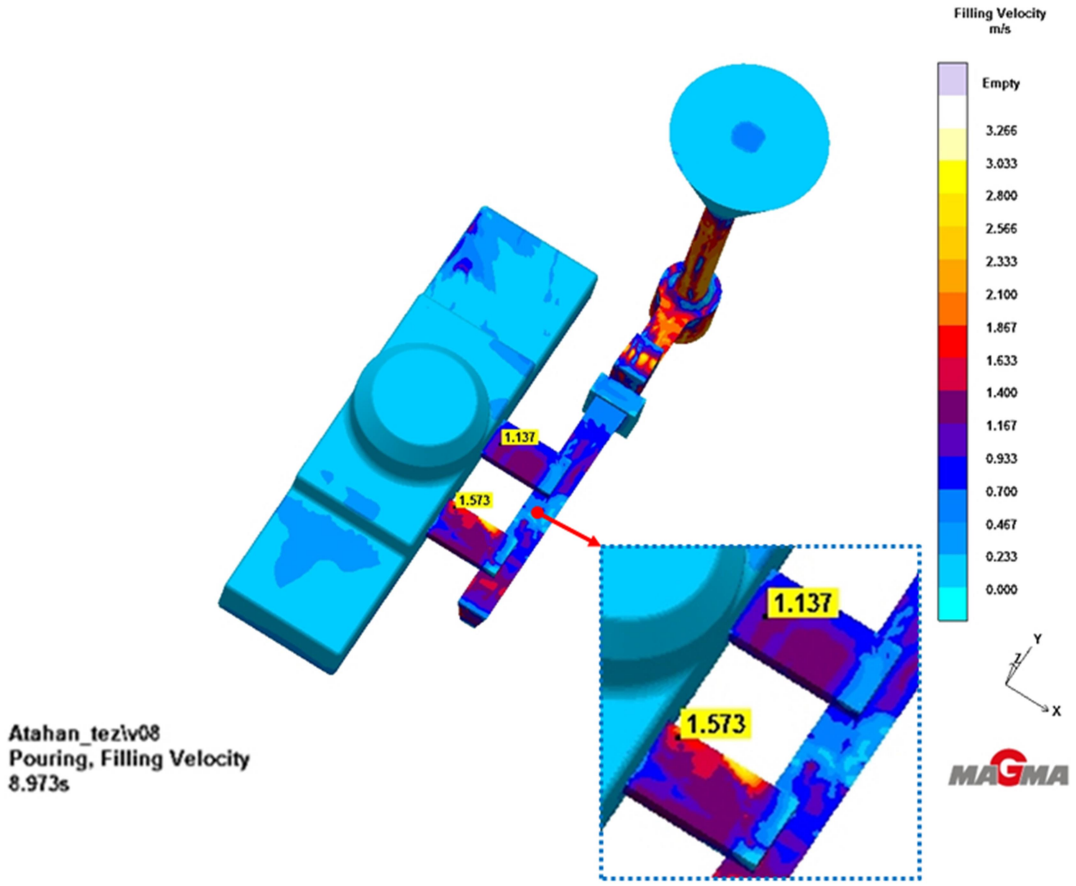
(5.27) eşitliğinden de görüleceği gibi hesaplanan kesit alanını süzebilecek ideal ölçülerdeki filtre, Çizelge 5.4'ten bakıldığında 50x50 boyutlarındaki olandır.

5.3 Simülasyon Sonuçlarının Yorumlanması

Parçanın simülasyonu, kontrollü deney grubu oluşturmak adına, yapılan hesaplarla dizayn edilen yolluk tasarımı sabit tutulup gözlem yapılacak setlerde sadece kritik kesit alanı değiştirilerek çalıştırılmıştır. Benzer kurgu, bir de sadece toplam meme girişi kesit alanı değiştirilerek tekrarlanmış ve simülasyon kurulmuştur.

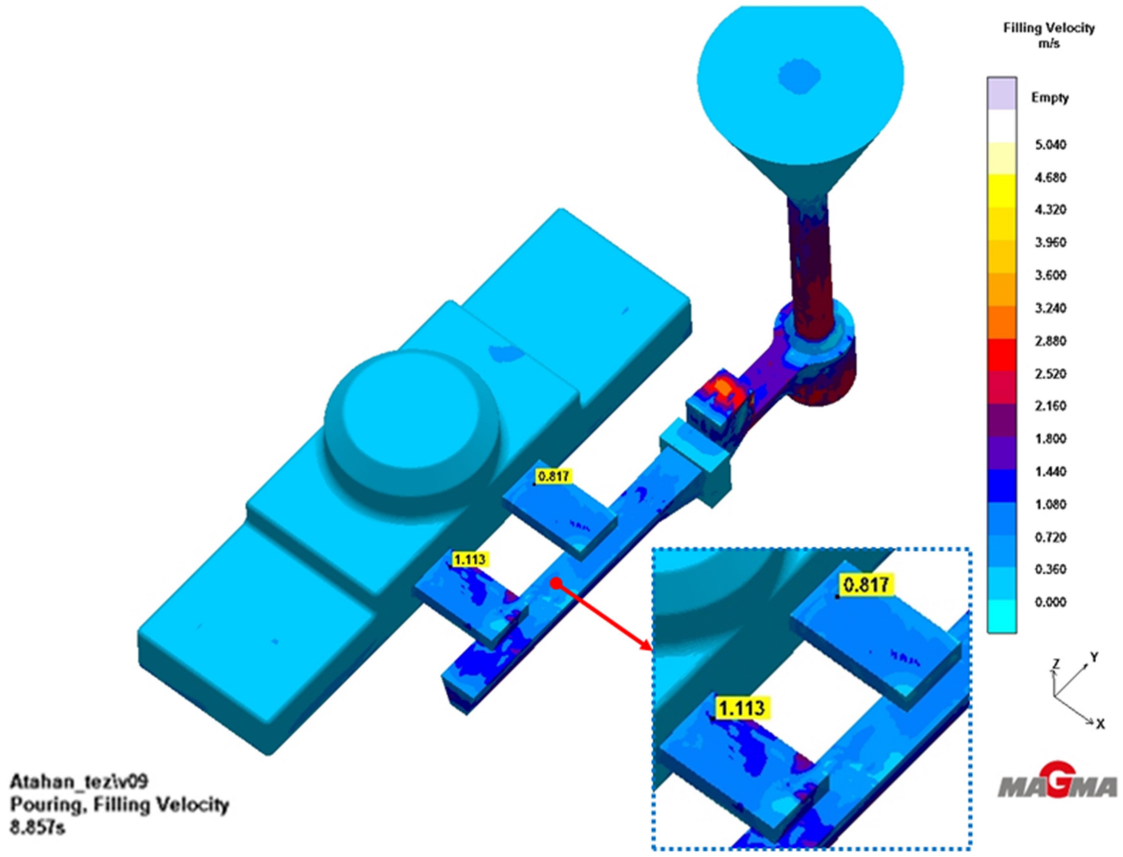
5.3.1 Meme Girişlerindeki Hızların Karşılaştırılması

Meme girişlerindeki hızları kontrol etmek için, hesaplanarak dizayn edilmiş model ile meme giriş kesit alanları kademeli olarak arttırılmış iki model ve yolluk kesit alanları kademeli olarak daraltılmış iki model karşılaştırılmıştır.



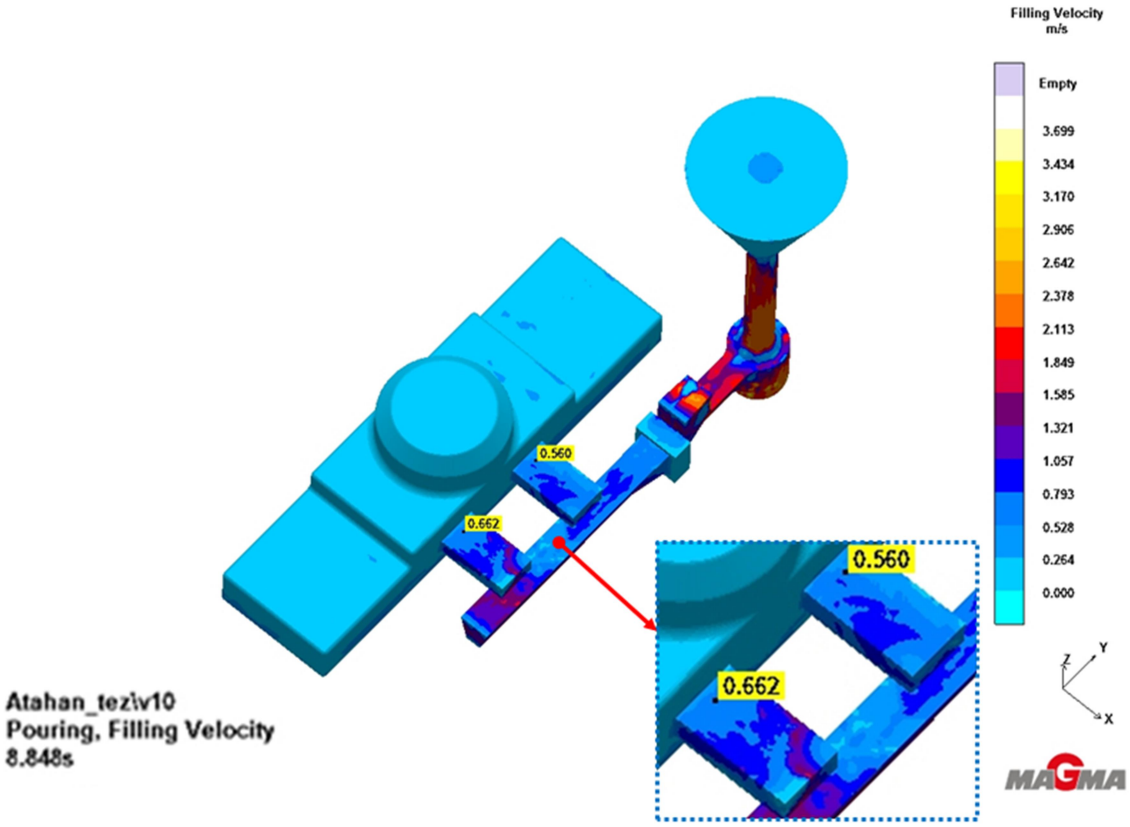
Şekil 5.12 Hesaplanan kesit alanları ile yapılan dizaynda okunan meme girişi hızları

Şekil 5.12'den de görülebileceği gibi mevcut dizayn ile yapılan simülasyon çalışması sonucu meme kesitlerindeki hızlar 1,573 m/s ve 1,137 m/s şeklinde ölçülmüştür. Döküm, sol alt köşede belirtildiği gibi 8,973 saniyede gerçekleşmiştir.



Şekil 5.13 Toplam meme giriş kesit alanının 1,5 kat arttırılması sonucu okunan hız değerleri

Şekilde 5.13'te sistem aynı kalarak toplam meme giriş alanının 1,5 kat arttırılması sonucu çalıştırılan simülasyonda ölçülen meme girişi kesitlerindeki hızlar, yaklaşık olarak 1,1 m/s ve 0,8 m/s şeklindedir. Meme girişi kesidinin artmasıyla hızlarda belirli bir düşüş gerçekleşmiştir. Dolum süresi, 8,857 saniye olarak ölçülmüştür.



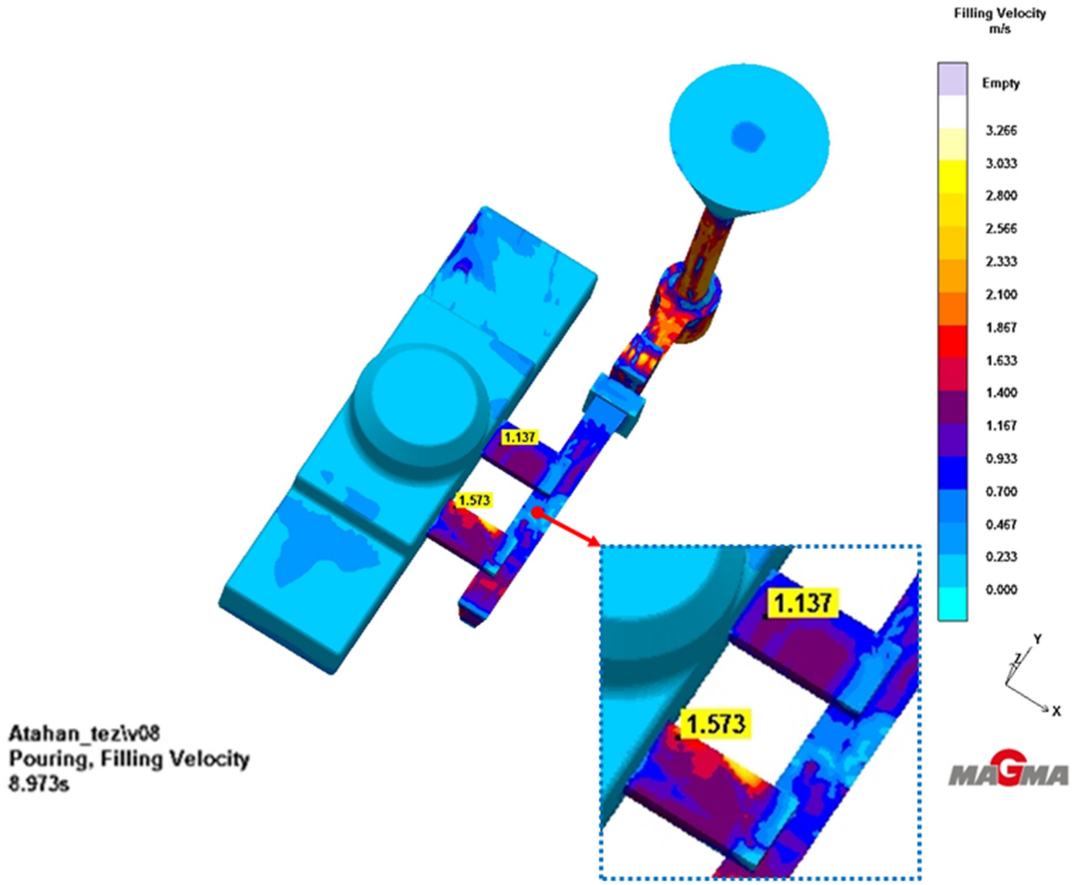
Şekil 5.14 Toplam meme giriş kesit alanının 2 kat arttırılması sonucu okunan hız değerleri

Şekil 5.14'te toplam meme kesidi alanı, 2 kat arttırılmıştır ve hızlar gözlemlenmiştir. Dolum süresi 8,848 saniye olan dökümde hızlar, 0,66 m/s ve 0,56 m/s olarak ölçülmüştür.

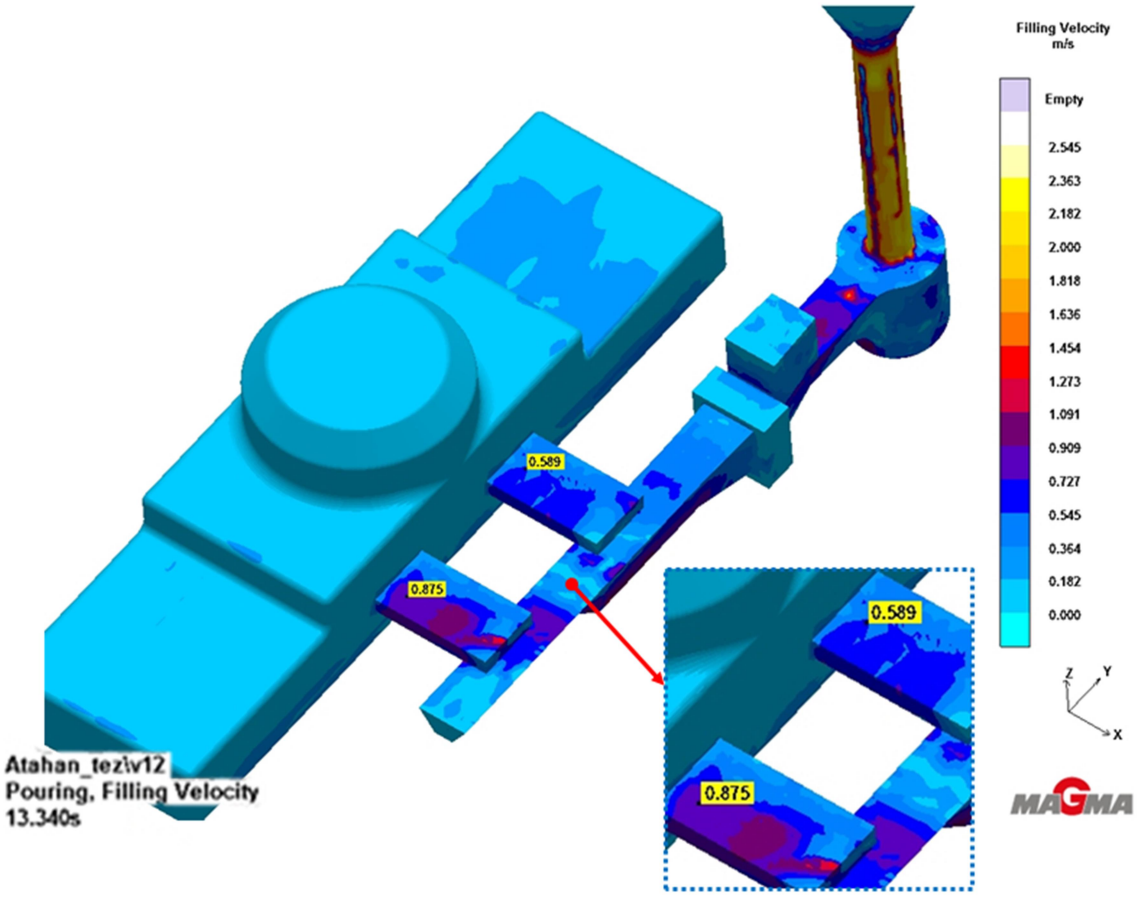
Simülasyon sonuçlarına bakarak, meme girişlerindeki kesit alanının artmasıyla bu bölgedeki hızın düşürülebileceği gözlemlenmiştir. Her dökümhanenin kumunun mekanik özellikleri farklı olduğundan, erozyon riskinin oluşabileceği azami hız değeri de farklılık gösterebilmektedir. Teorik olarak hesaplanan ve bununla oluşturulan ilk taslak yolluk sistemi üzerinden yapılan simülasyon sonucu, hız bakımından riskli görülen kesitlerin optimum seviyelerde genişletilmesi, o bölgelerdeki hızı düşürmenin bir yoludur. Yalnız bunlar yapılırken tamamlama prosesinin ve brüt ağırlığın göz önünde bulundurulması gerekmektedir ve bu çok önemlidir. Örneğin optimum değerlerden çok daha fazla genişletilmiş bir meme girişi, metal sarfiyatını arttıracağı gibi tamamlama prosesinde de zorluklar yaratabilir.

Dolum süresi, yolluk sistemindeki kritik kesit alanına bağlı olduğundan, basınçsız bir yolluk sisteminde meme girişlerinin genişletilmesi, döküm sürelerini ihmal edilebilir büyüklükler haricinde değiştirmemiştir. Çalıştırılan üç simülasyonda da döküm süreleri, yaklaşık olarak 9 saniye olarak ölçülmüştür.

Şekil 5.15 tekrardan referans alınarak Şekil 5.16 incelendiğinde, kolon çapı 25 mm olan dizaynın döküm süresindeki artış görülmektedir. 13,34 saniyede gerçekleşen döküm, müdahale edilmemiş dizayna oranla yaklaşık 4 saniye kadar daha geç gerçekleşmektedir. Bununla birlikte meme girişlerindeki hızlardaki düşüş de rahatça gözlemlenebilmektedir.



Şekil 5.15 Hesaplanan kesit alanları ile yapılan dizayn (Ø30)

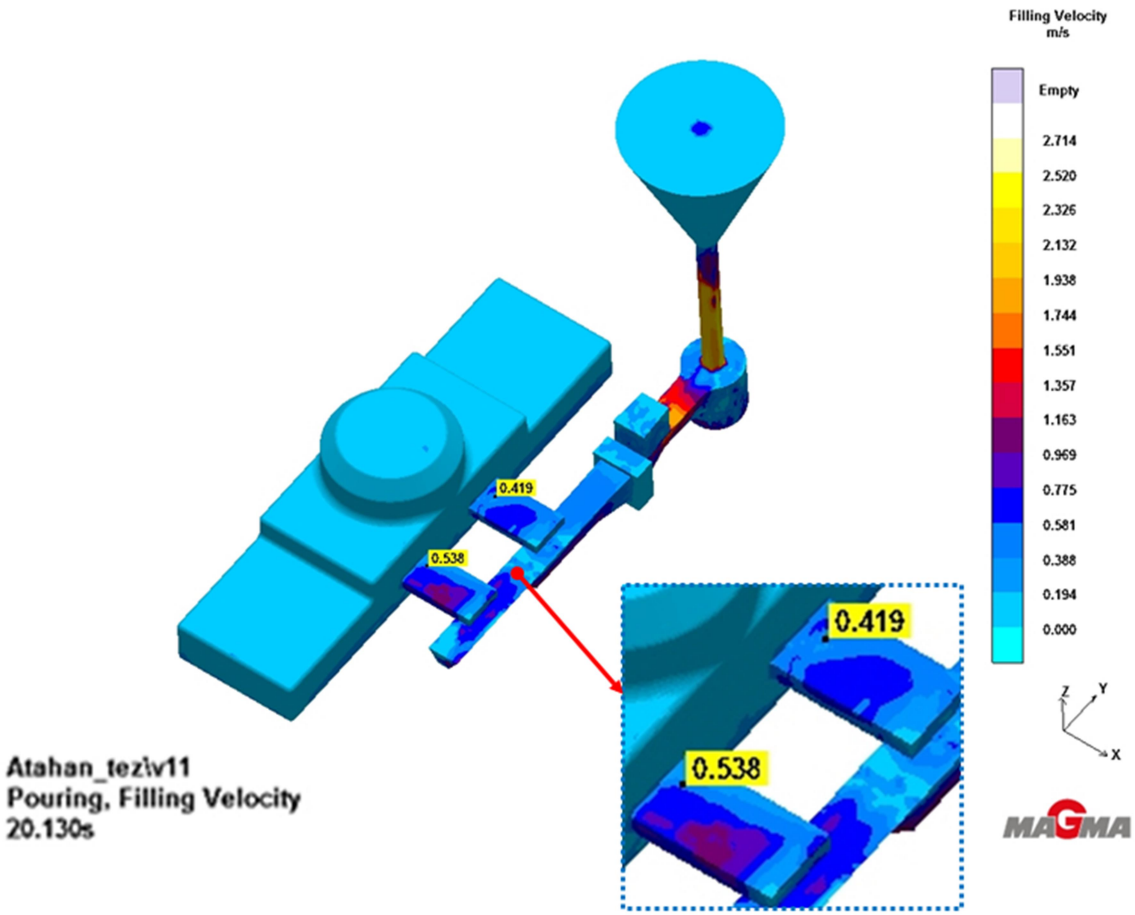


Şekil 5.16 Yolluk kesit alanı daraltılmış olan dizayn (Ø25)

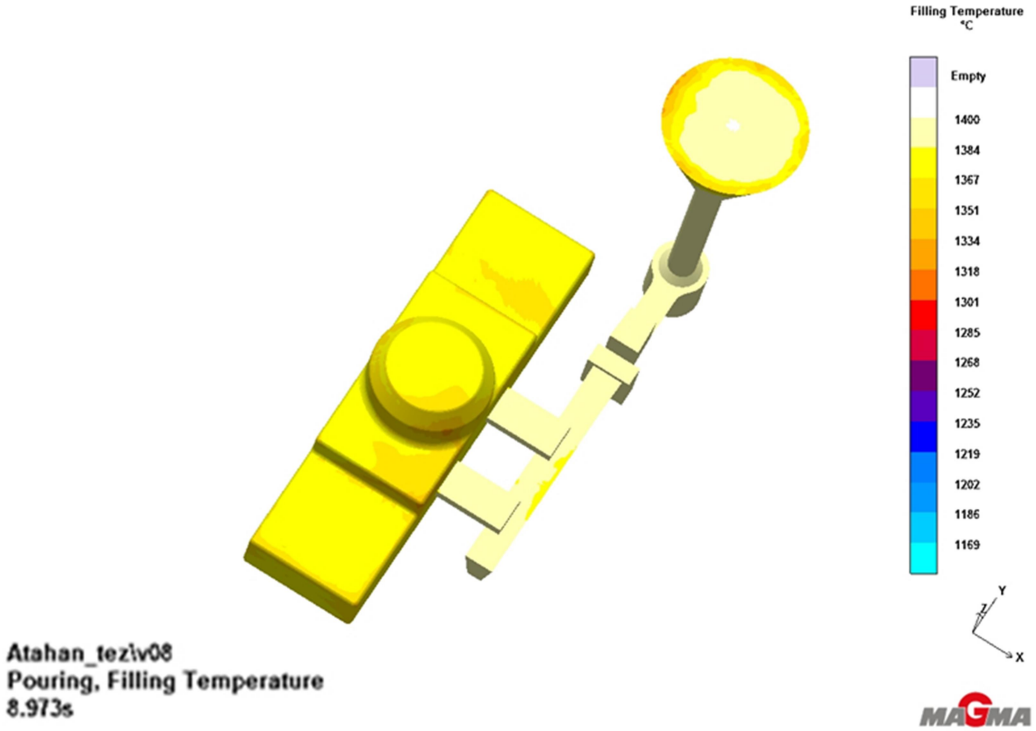
Kolon çapının 20 mm ölçüsüne düşürülmesiyle birlikte döküm süresindeki artış yaklaşık 11 saniyeyi bulmaktadır. Bununla beraber ortalama olarak meme girişlerindeki hız da yine paralel olarak azalma göstermektedir.

Kolon çapının kısılması, basınçsız yolluklarda kritik hız değerlerinin üzerinde kalan alanlar olduğunda madeni yavaşlatmak adına uygulanabilecek bir yöntemdir. Yalnız bununla birlikte döküm süresindeki farklılıklar da muhakkak göz önünde bulundurulmalıdır. Döküm sürelerindeki bu artış, madenin soğuk dökülmesine ve buna bağlı olarak parçalarda katmer sakatı, gaz sakatı gibi problemlerin oluşmasına neden olabilmektedir. Ayrıca hat hızına da olumsuz yönde etki edecektir.

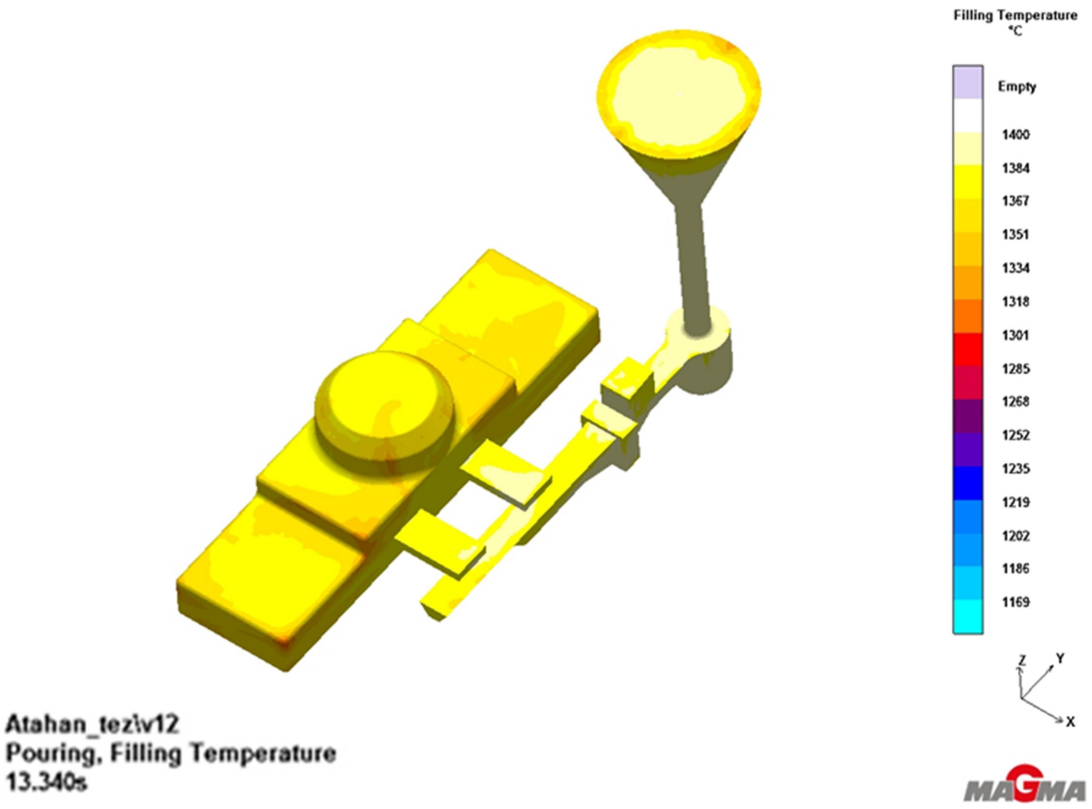
Parçaların döküm süreleri ile sıcaklık dağılımlarının değişiminin gösterildiği simülasyon sonuçları incelendiğinde, parçanın geometrisinin çok büyük veya karmaşık olmamasının da etkisiyle, bazı bölgelerde sıcaklığın bir miktar daha azaldığı gözlemlenmektedir.



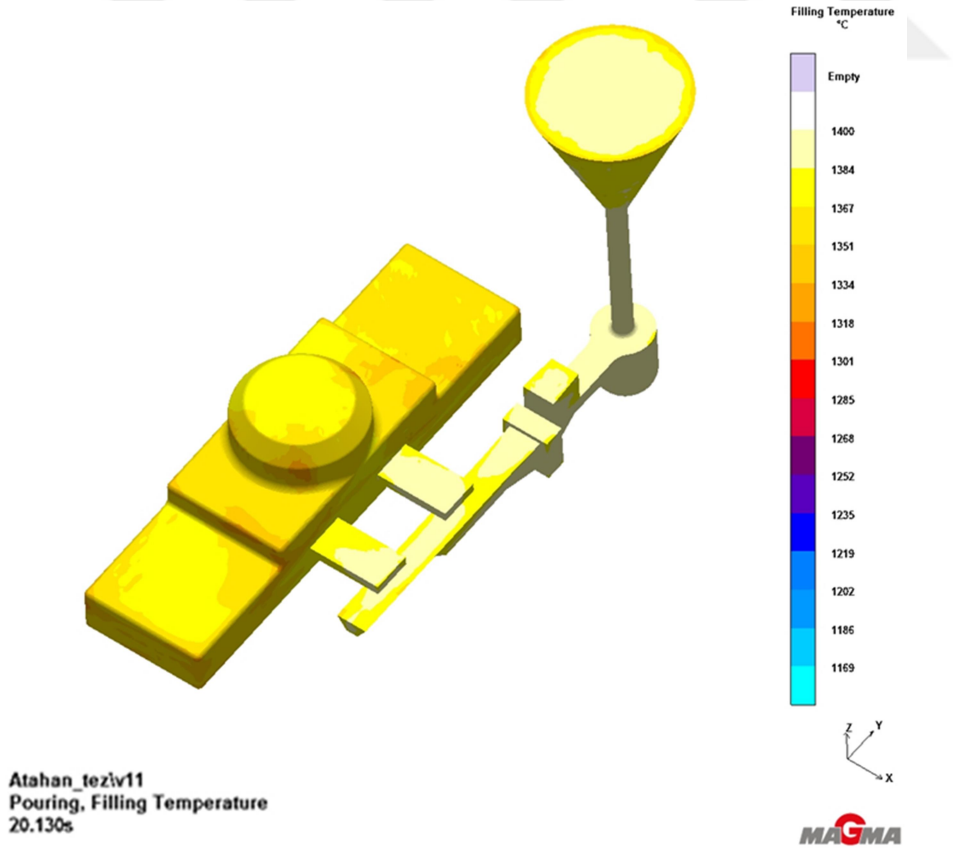
Şekil 5.17 Yolluk kesit alanı daraltılmış olan dizayn (Ø20)



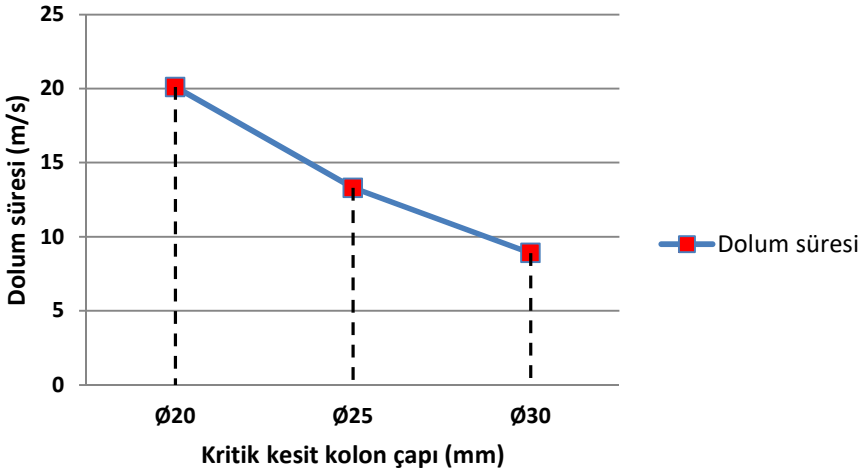
Şekil 5.18 Ø30 mm – 8,9 sn dolum süresi sıcaklık dağılımı



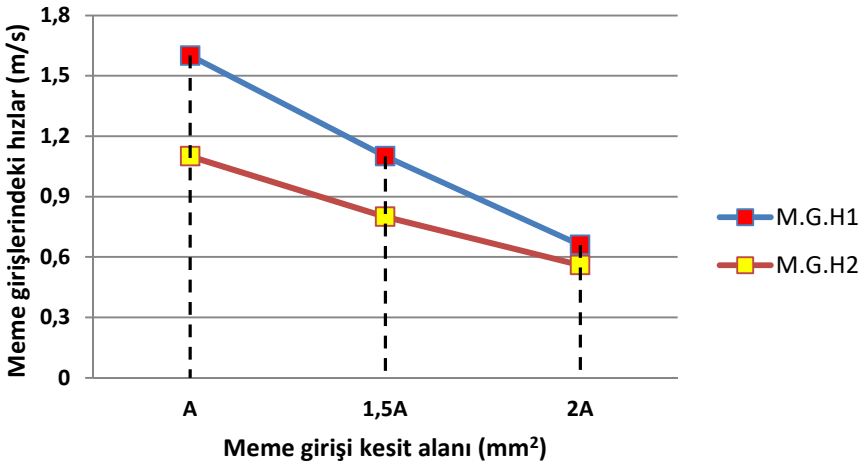
Şekil 5.19 Ø25 mm – 13,3 sn dolum süresi sıcaklık dağılımı



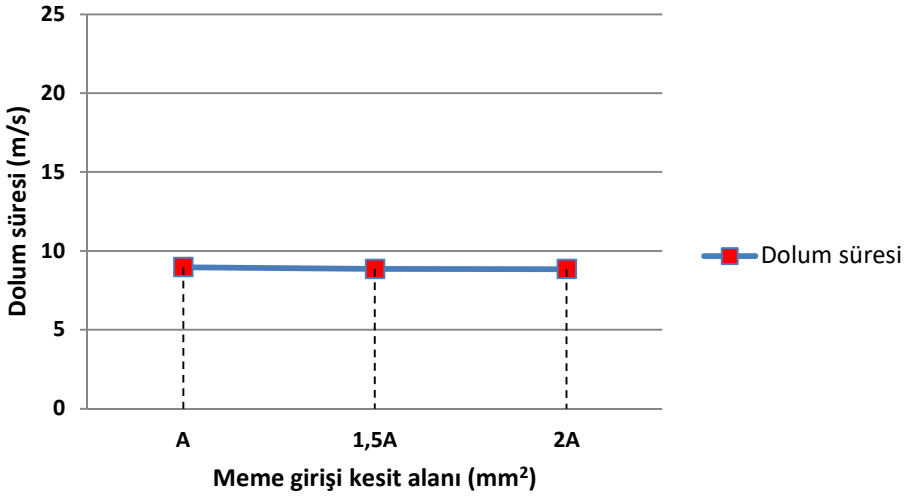
Şekil 5.20 Ø20 mm – 20,1 sn dolum süresi sıcaklık dağılımı



Şekil 5.21 Kritik kesit kolon çapının dolum süresi üzerine etkisi



Şekil 5.22 Meme girişi kesit alanının hıza etkisi



Şekil 5.23 Meme girişi kesit alanının dolum süresine etkisi

BÖLÜM 6

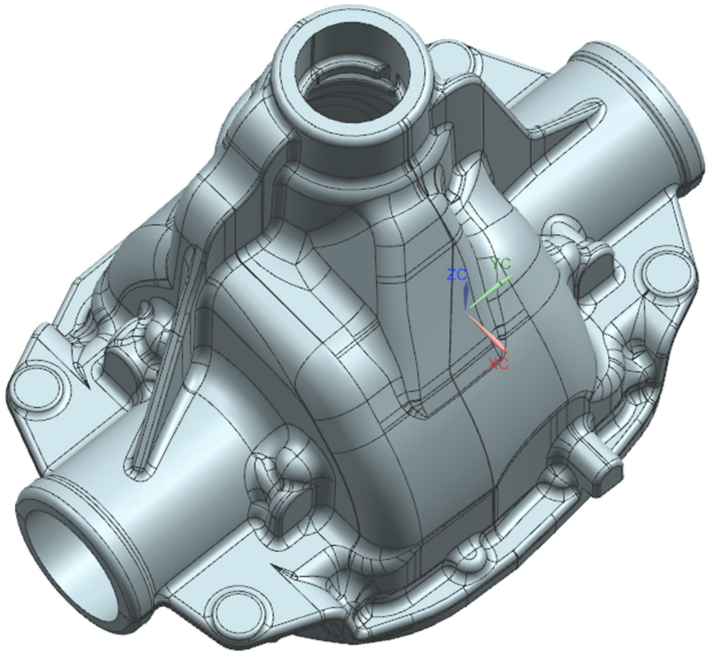
PROJE YOLLUK TASARIMI VE SİMÜLASYONU

Bu bölümde ürün geliştirme projesi kapsamında deneme dökümleri yapılan ve farklı yolluk sistemleri ile dökülmüş parçanın yolluk tasarımı ve simülasyonu incelenmiştir. Simülasyon sonuçları ve döküm sonrası yapılan muayeneler karşılaştırılıp sonuçlara göre düzeltmeler ile optimum sistem dizaynı bulunmaya çalışılmıştır.

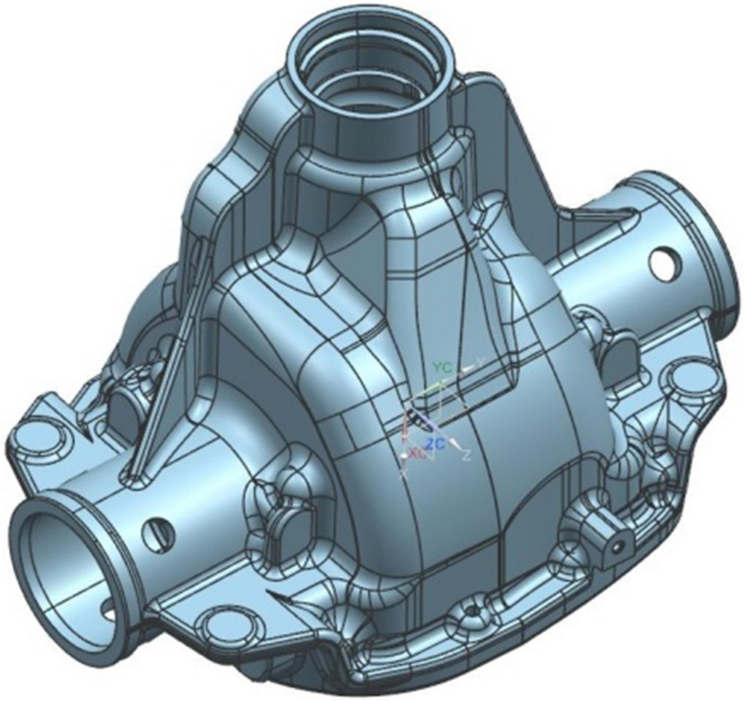
6.1 Proje Parçasının Tanıtımı

Çizelge 6.1 Parça özellikleri

Parça Adı	Diferansiyel Taşıyıcı
Parça Orjinal Adı	Differantial Carrier
Parça Ağırlığı (Data)	23 kg.
Parça Malzemesi	EN-GJS-450-10 [28]
Döküm Hattı	Hat-3 (900 x 700 x 360)
Mikroyapı	Ferrit
Sertlik	156-217 HB (Müşteri şartnamesi)
Çekme Mukavemeti	450 N/mm^2 (Müşteri şartnamesi)
Akma Mukavemeti	310 N/mm^2 (Müşteri şartnamesi)
Uzama	12 % (Müşteri şartnamesi)



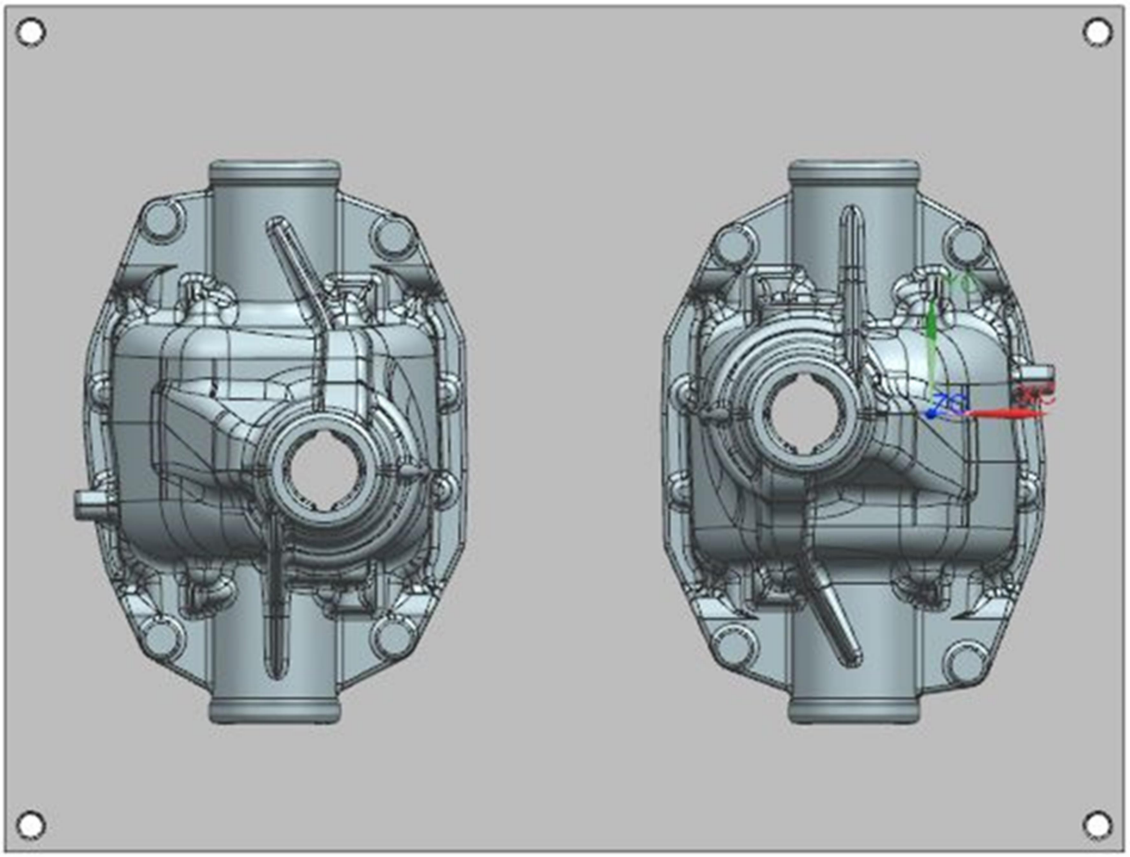
Şekil 6.1 Döküm parça



Şekil 6.2 İşleme Parça

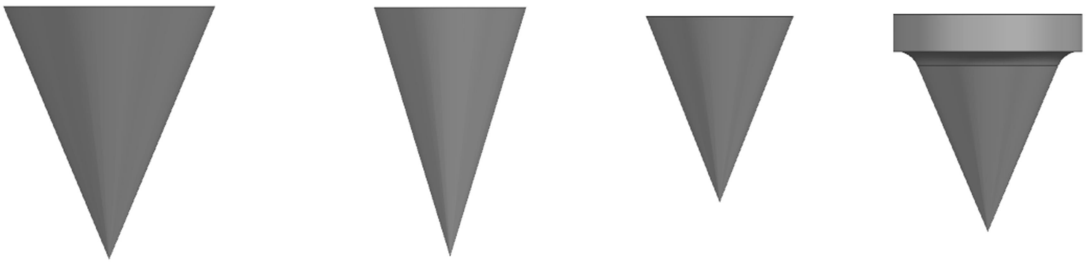
6.2 Proje Parçasının Yolluk Hesabı

Projenin başlangıcında parçanın teklifi, Componenta dahilinde Hat-3'te 2 figürlü olacak şekilde çalışılmıştır. Bu da net parça ağırlığını 46 kg. yapmaktadır.



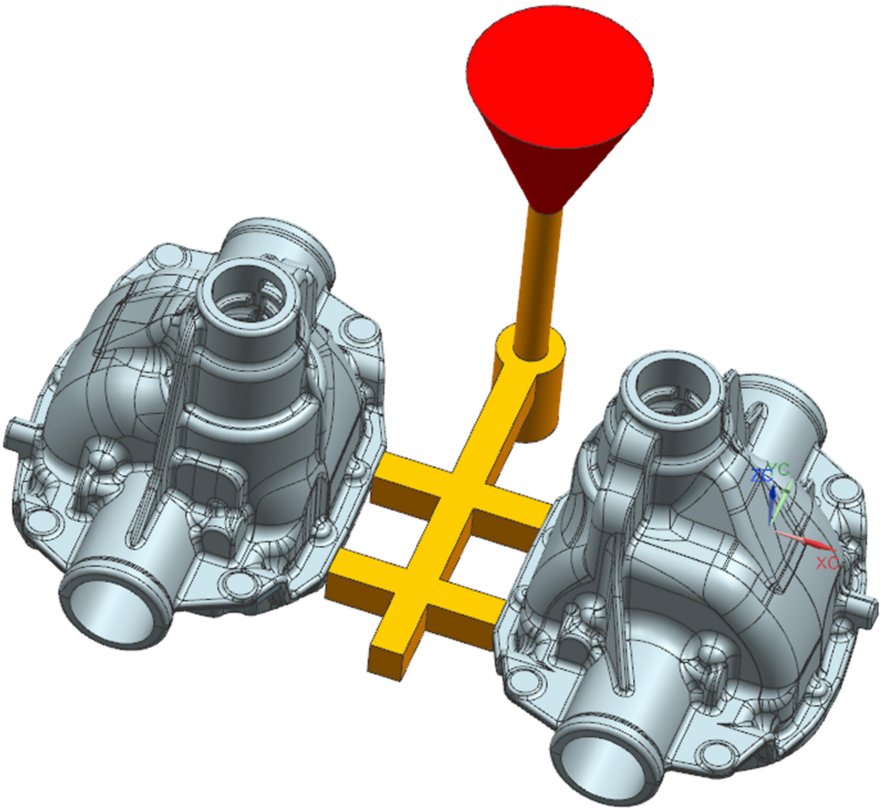
Şekil 6.3 Parçanın Hat-3 üzerine yaklaşık yerleşimi

Parçanın şekline ve kaç figürlü olduğuna göre tahmini bir yolluk sistemi çizilerek brüt ağırlık hesaplanır. Daha önceki benzer parçaların projeleri de fikir oluşturmak konusunda yardımcı olabilir. Ayrıca otomatik sistemler ile çalışan işletmelerde, derecedeki havşalar, bıçaklar ile standart ölçülerde açılır.

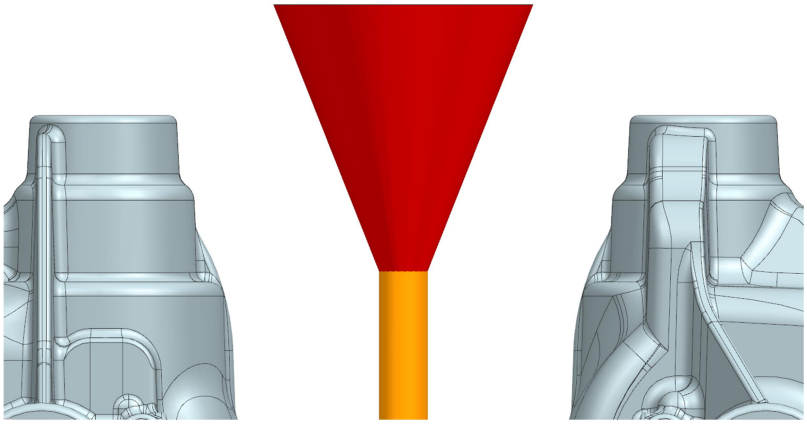


Şekil 6.4 Sırasıyla Componenta için Hat-7, Hat-6, Hat-3, Hat-2 havşaları

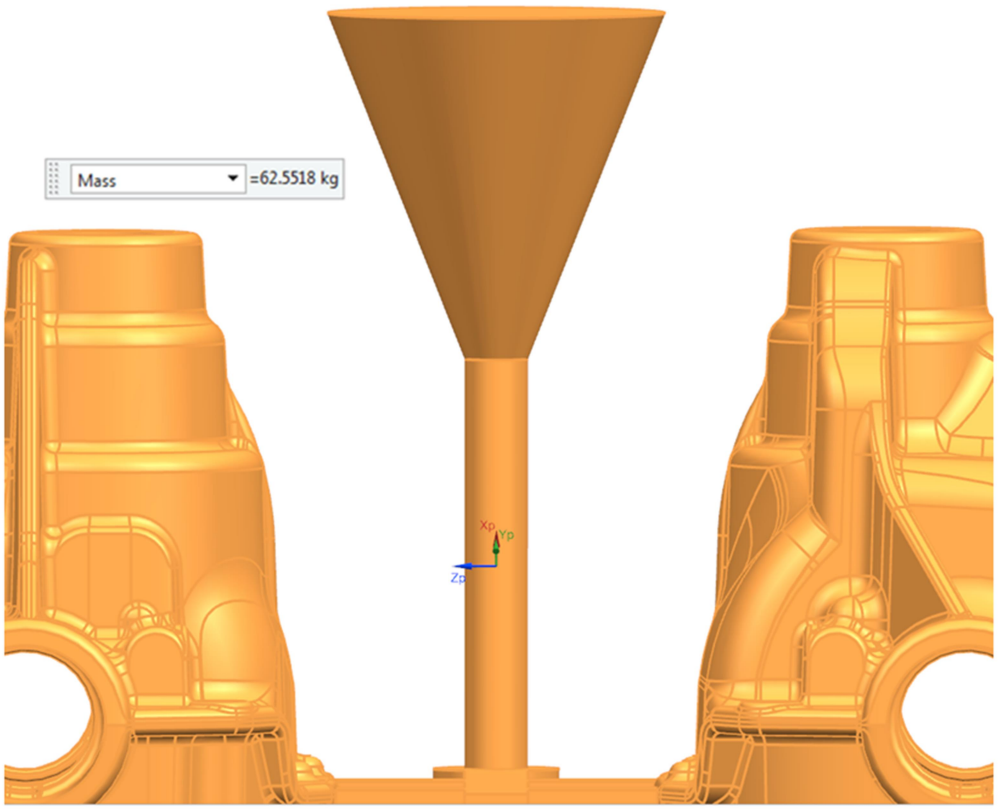
Brüt ağırlık öngörüsünde bulunabilmek için Şekil 6.5'te görüleceği gibi yaklaşık olarak bir yolluk sistemi oluşturulmuştur. Kolon çapı 30 mm olacak şekilde yatay yolluk ve meme girişleri de oluşturulup Hat-3 havşası kolon ile kesiştirilerek yolluk taslağı meydana getirilmiştir.



Şekil 6.5 Yolluk taslağı

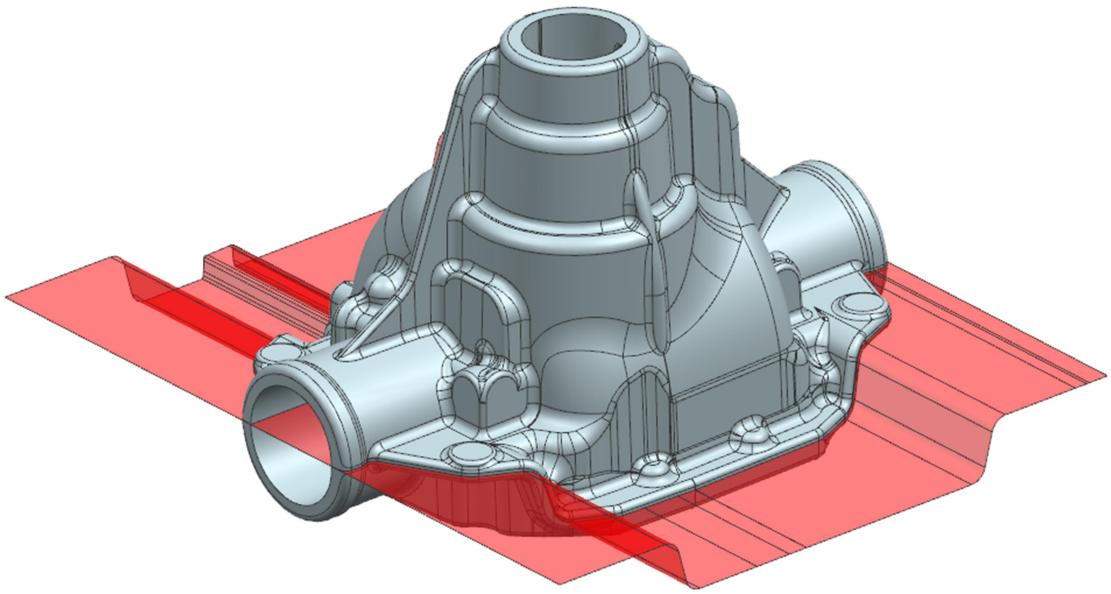


Şekil 6.6 Hat-3 havşası ile tahmini kolonun kesişimi



Şekil 6.7 Yaklaşık brüt ağırlığın data üzerinden hesabı

Parçanın brüt ağırlığı, dizayn edilen taslak yolluk tasarımına göre Şekil 6.7'den de görüleceği gibi 62,5 kg ölçülmüştür.



Şekil 6.8 Parçanın ayrım yüzeyi

Parçanın brüt ağırlığı belirlendikten sonra denklemdeki diğer değişkenlerin belirlenmesine sıra gelmektedir.

İlk olarak etkin döküm yüksekliği, Şekil 6.8'den görüleceği gibi, parçanın kalıp içerisindeki yerleşimi hem alt derecede hem de üst derecede olduğundan, (5.5) denkleminden faydalanılarak hesaplanacaktır. Ayrıca Çizelge 6.1'de de belirtildiği gibi Hat-3'ün derece yükseklikleri 360 mm'dir.

$$H=h-\frac{a^2}{2c}=360-\frac{265^2}{2x279}=234\ mm=23,4\ cm \quad (6.1)$$

$$\sqrt{H}=\sqrt{23,4\ cm}=4,83\ cm \quad (6.2)$$

Etkin döküm yüksekliği de hesaplandıktan sonra bir başka değişken, yaklaşık döküm süresinin tespiti yapılacaktır. Bunun için brüt ağırlık ve Şekil 5.5'ten faydalanılırsa 11 sn, yaklaşık döküm süresi olarak alınabilir.

Bu parçanın dökümü sırasında oluşacak kayıplar için $\xi = 0,40$ değeri, uygundur.

EN-GJS-450-10 [28] malzemesinin özkütlesi, 7,1 gr/cm^3'tür.

Tüm parametrelerin yerine yazılmasıyla birlikte (6.3) eşitliğinden kritik alan hesaplaması yapılmıştır.

$$C_A=\frac{22,6\ x\ W}{\rho\ x\ \xi\ x\ t\ x\ \sqrt{H}}=\frac{22,6\ x\ 62,5}{7,1\ x\ 0,4\ x\ 11\ x\ 4,83}=9,36\ cm^2=936\ mm^2 \quad (6.3)$$

$$936=r_{kolon}^2\ x\ \pi \quad (6.4)$$

$$r_{kolon}=17,26\ mm\approx 17\ mm \quad (6.5)$$

Bu çalışmada yolluk sistemi oranı 1:1,2:1,6 şeklinde alınmıştır ve dizayn buna göre yapılmıştır.

$$C_{A,model}=r_{kolon,model}^2\ x\ \pi \quad (6.6)$$

$$C_{A,model}=17^2\ x\ \pi=907,9\ mm^2 \quad (6.7)$$

$$YY_A=C_{A,model}.1,2=907,9\ .\ 1,2\approx 1089,4\ mm^2 \quad (6.8)$$

$$1089,4=\frac{(a+2a).2a}{2}=3a^2 \quad (6.9)$$

$$a_{YY}\approx 19\ mm \quad (6.10)$$

Yatay yolluk ölçüleri bu durumda 19:38:38 şeklinde dizayn edilebilir.

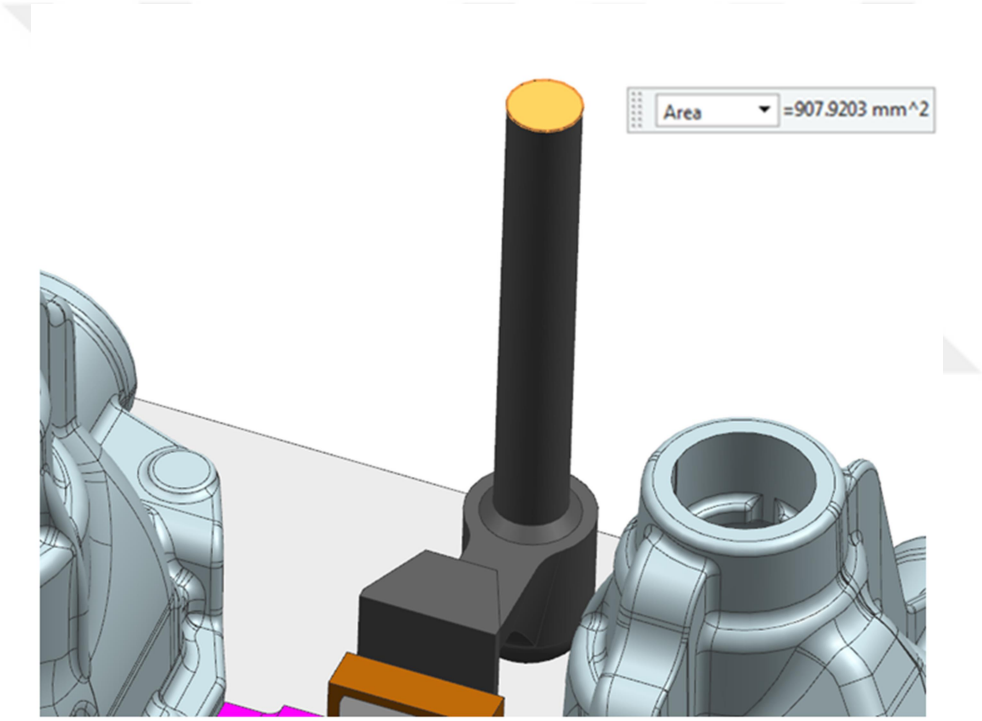
$$MG_A = C_{A,model}.1,6 = 907,9 \,.\, 1,6 = 1452,6 \text{ mm}^2 \quad (6.11)$$

Bu yolluk dizaynında dört meme girişi düşünüldüğü için, meme giriş ölçüleri verilirken (6.11)'de bulunan toplam alan, dörde bölünerek hesaplama yapılmalıdır.

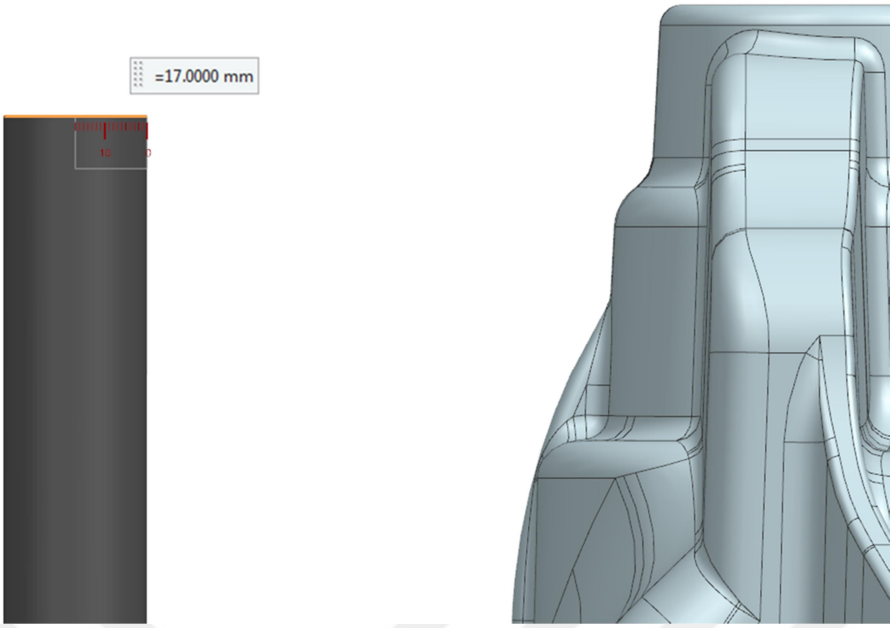
$$MG_{A,1} = MG_{A,2} = MG_{A,3} = MG_{A,4} = \frac{1452,6}{4} = 363,1 \text{ mm}^2 \quad (6.12)$$

Meme giriş ölçüleri, 8 mm boy ve 45 mm en olacak şekilde yaklaşık alana tekabül edecek değerler alınarak dizayn edilmiştir.

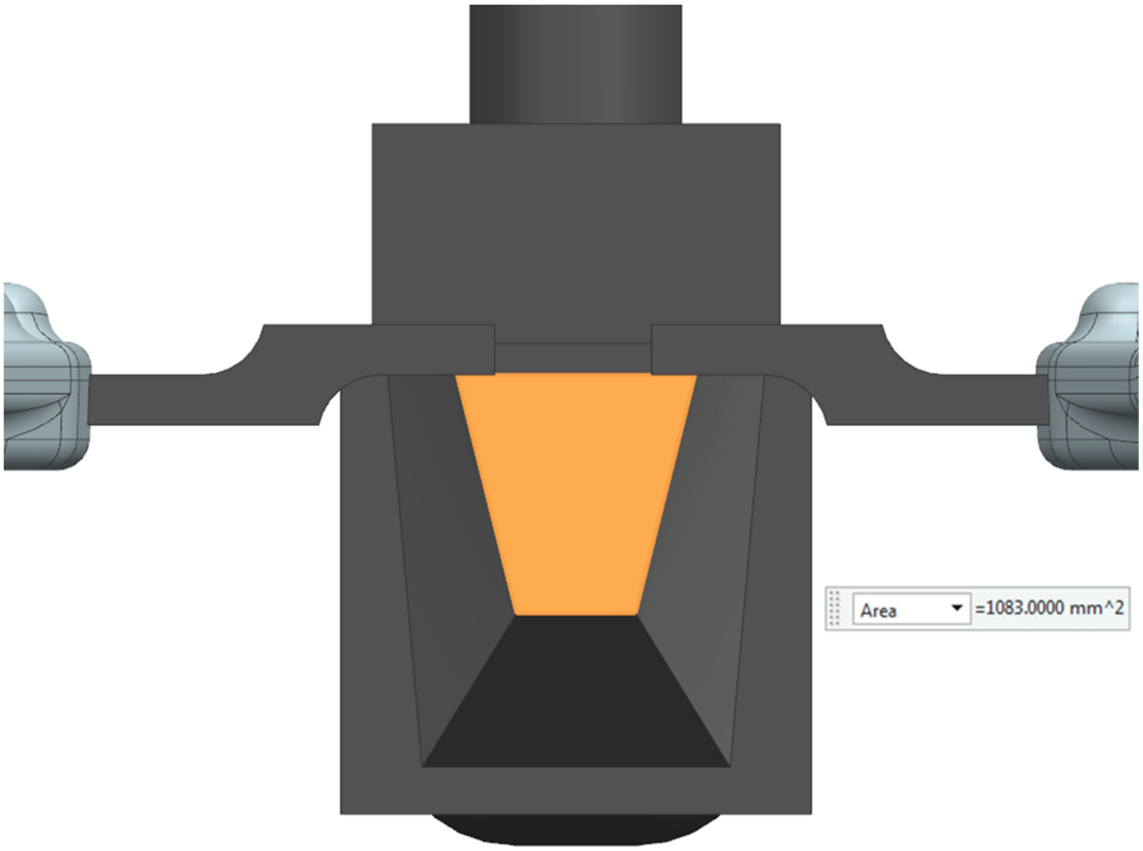
Bulunan model üzerindeki kritik kolon çapına göre yapılan dizayn ve ortaya çıkan yüzey alanları, datalardan ölçülerek belirtilmiştir.



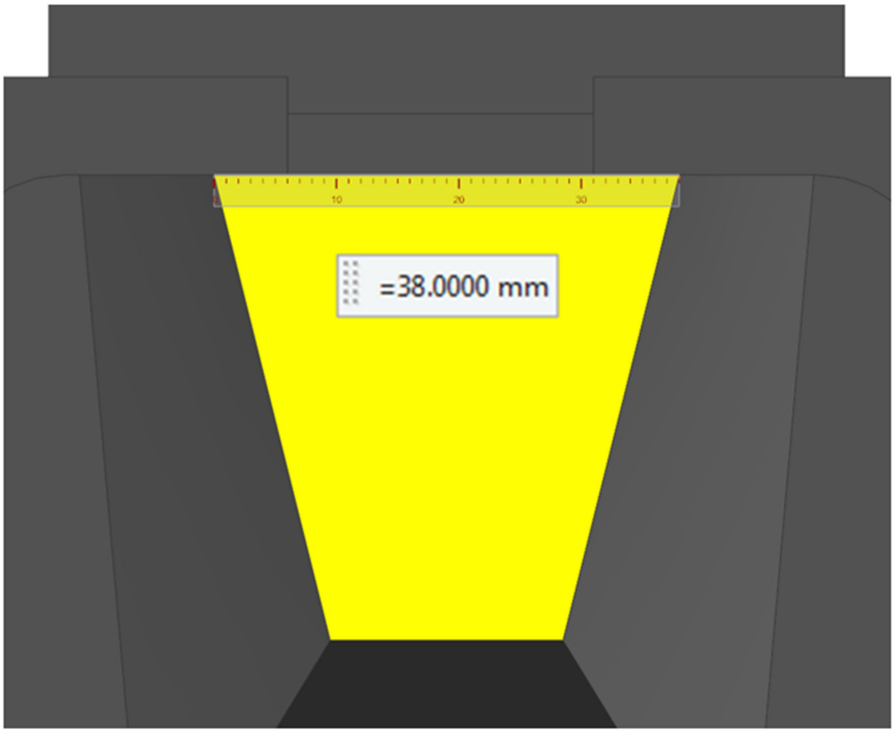
Şekil 6.9 Model datası kolon kritik kesit alanı



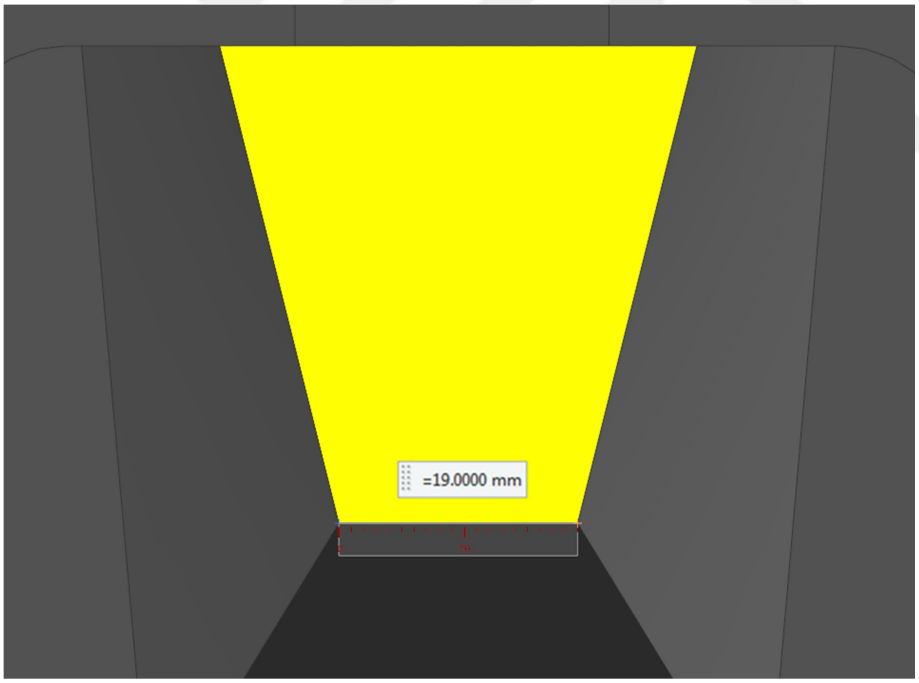
Şekil 6.10 Kolon kritik yarıçapı data ölçümü



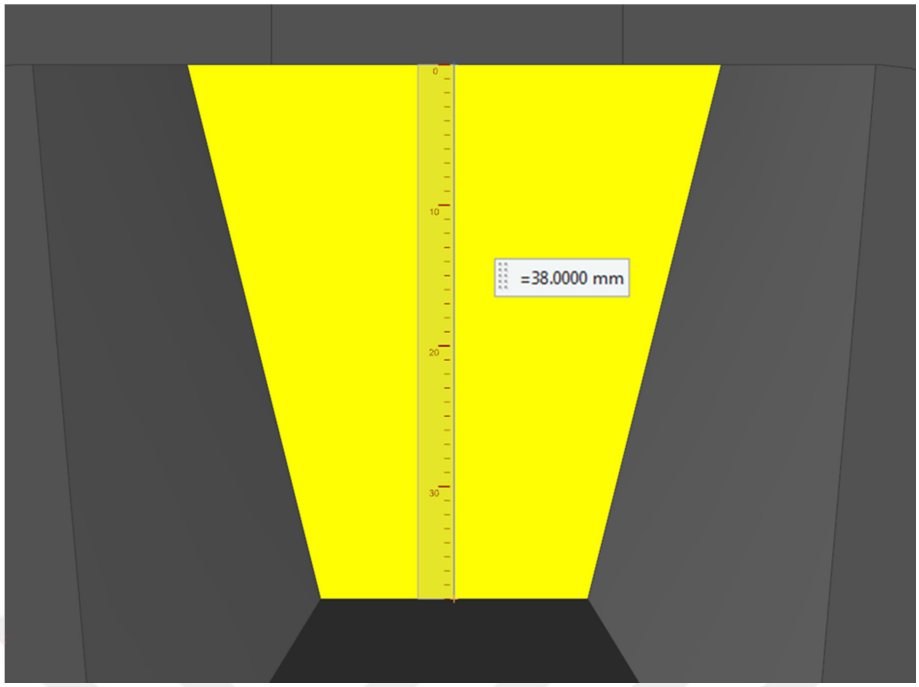
Şekil 6.11 Yatay yolluk kesit alanı



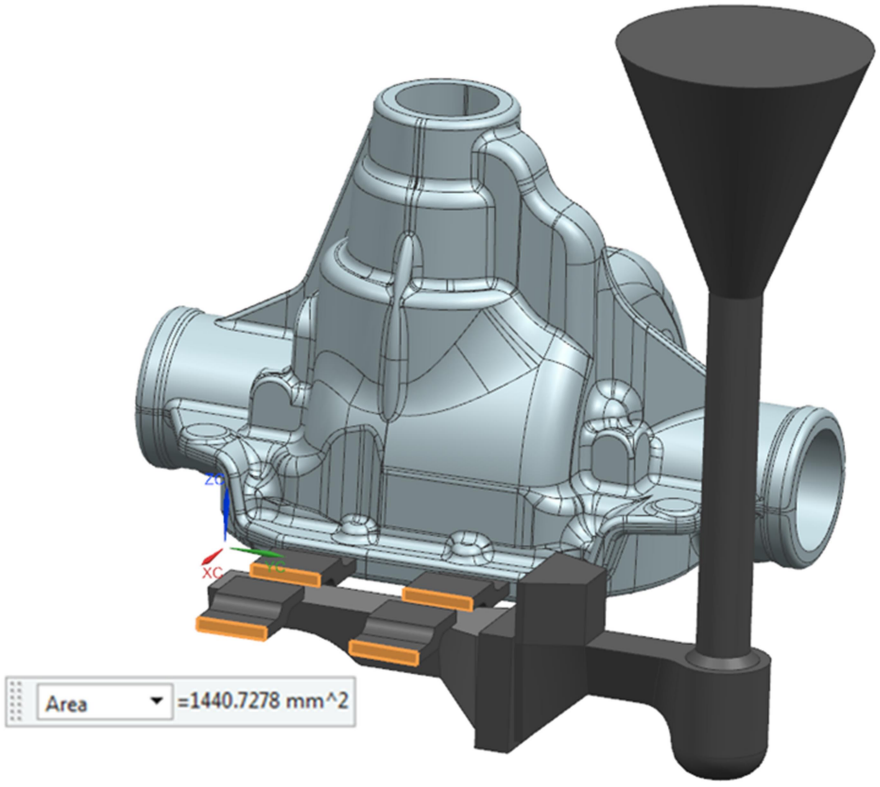
Şekil 6.12 Yatay yolluk kesit tavan ölçüsü



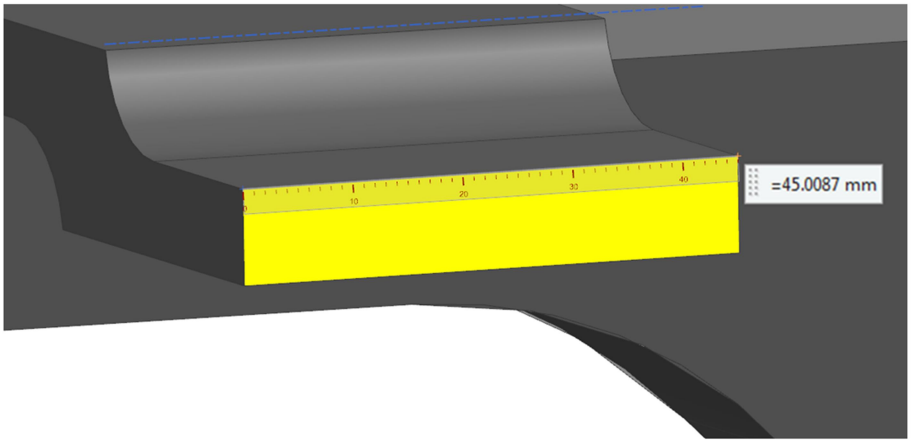
Şekil 6.13 Yatay yolluk kesit taban ölçüsü



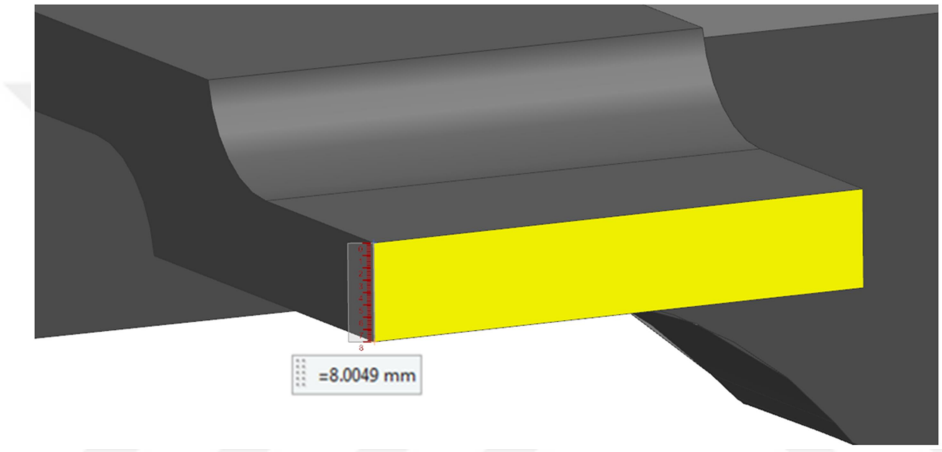
Şekil 6.14 Yatay yolluk kesit yükseklik ölçüsü



Şekil 6.15 Meme girişleri kesit alanları toplamı



Şekil 6.16 Meme girişi kesit en ölçüsü

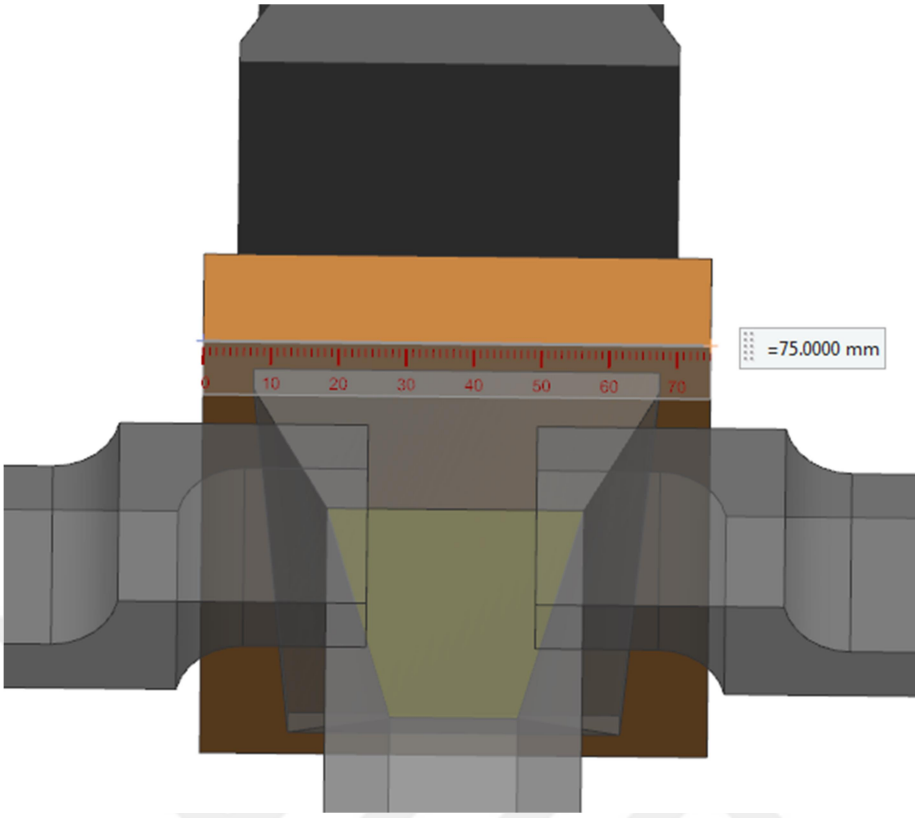


Şekil 6.17 Meme girişi kesit boy ölçüsü

Tüm bu hesapların yanında yolluk sistemindeki bir başka eleman olan filtrenin de hesaplanıp sisteme ilave edilmesi gerekmektedir.

$$A_{filtre} = \frac{62,5}{1.1,5} \approx 41,6\ cm^2 \qquad (6.13)$$

Çizelge 5.4'ten bakıldığında, bu parça için 50x100 veya 75x75 filtreler, minimum seviyede olmak kaydıyla uygun gözükmektedir. 50x100 teorikte ilk tercih gibi gözükse de bazen yolluk sisteminin modeldeki konumu ve dolayısı ile ebatları ya da madendeki cüruf ihtimali dolayısı ile hesaplanandan bir boy büyük filtre daha iyi süzme ve yerleşim açısından daha rahat olması adına tercih edilebilir. Bu çalışmada filtre, 75x75 olarak seçilmiştir.



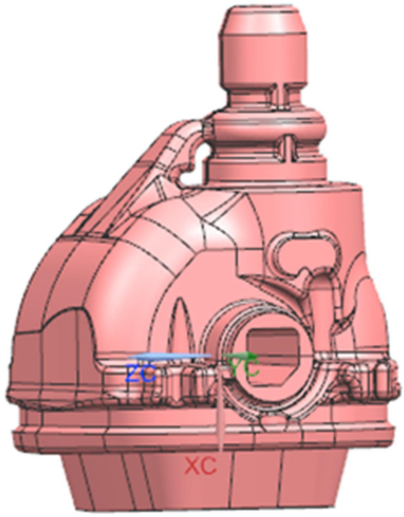
Şekil 6.18 Filtre en ebadı



Şekil 6.19 Filtre boy ebadı

6.3 Proje Parçasının Maçaları

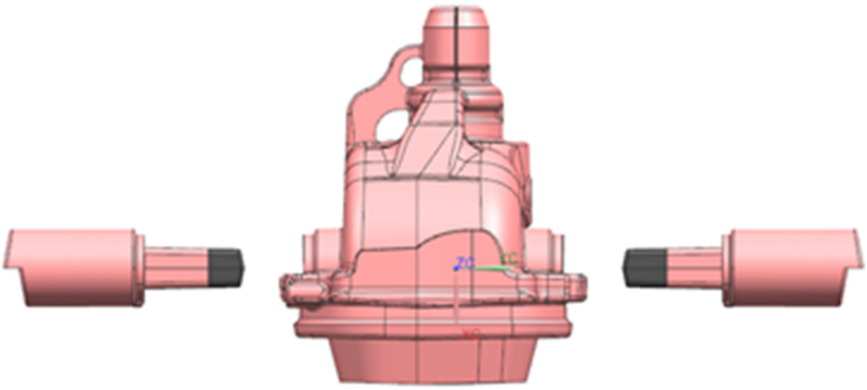
Parçanın maça tasarımında bir adet gövde maça ve yandan iki adet montajlanacak kol maçalar düşünülmüştür.



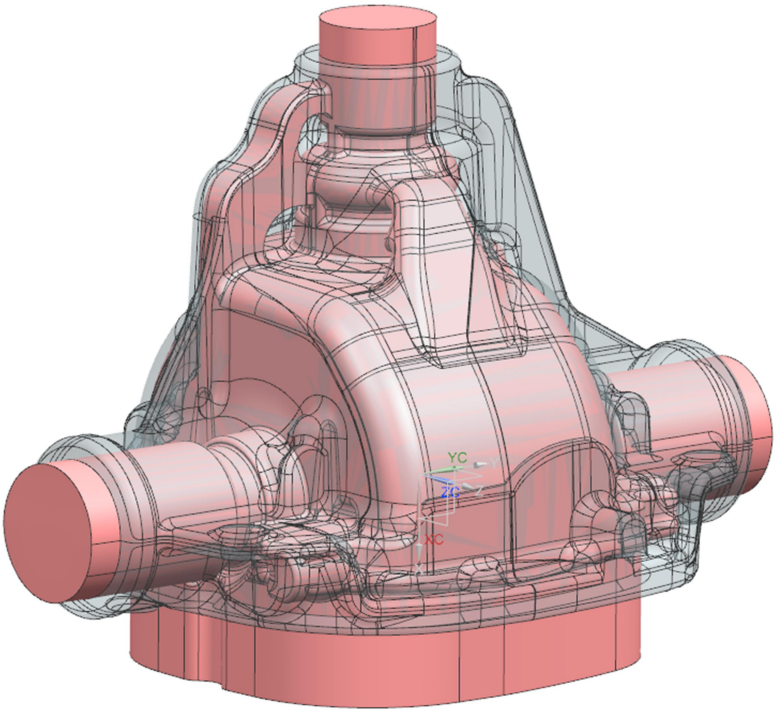
Şekil 6.20 Gövde maça



Şekil 6.21 Kol maçalar



Şekil 6.22 Maçaların beraber görünümü



Şekil 6.23 Parça ve maçaların beraber görünümü

6.4 Proje Parçasının Simülasyonu

Parça, yolluk sistemi ile simülasyon programına konulduktan sonra MAGMA 5.2'de ilgili parametreler programda seçilir. Bu parametrelerin bir kısmı, örneğin malzeme veya döküm sıcaklığı, parça bazlı olarak değişiklik gösterirken bazıları proses kalibrasyonu ile belirlenen sabit değişkenlerdir. Proses parametrelerinin belirlenmesi için ayrıntılı bir çalışma gerekmektedir. Yapılan analizler sonucu elde edilen veriler, programın proses şartlarına en iyi şekilde kalibre edilmesi için kullanılır. Ne kadar iyi bir kalibrasyon, o kadar gerçeğe yakın sonuçlar verecektir. Bu nedenle çok önemlidir.

Bu çalışmada proses parametrelerinin detaylı incelemesi, 'Know-How' kapsamında olduğundan paylaşılmamıştır. Bunun yanında parça bazlı değişebilen simülasyonun bazı genel ayarları aşağıda verilen şekilde yapılmıştır.

- **Alloy type:** Iron alloys
- **Process mode:** Sand mold casting
- **Sand type:** Green sand
- **Pouring temperature:** 1400 °C

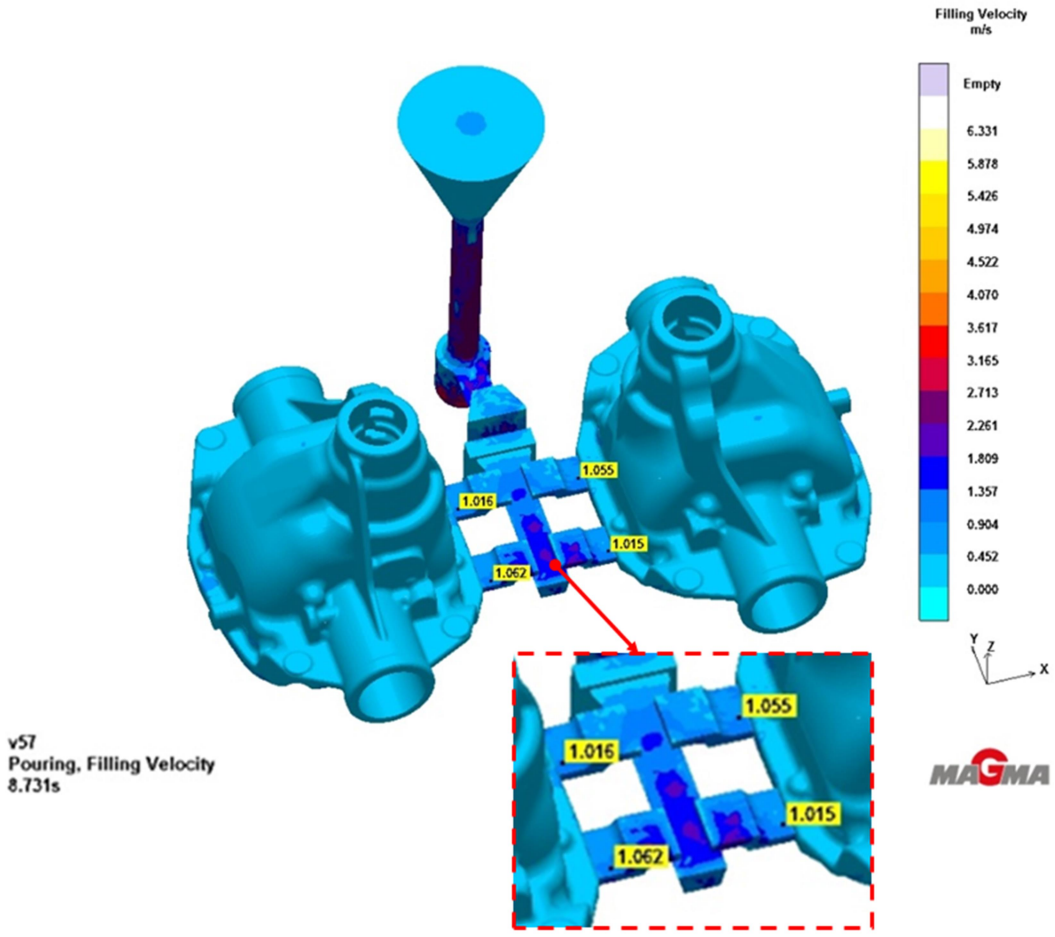
- **Material:** EN-GJS-450-10 [28]

Parçanın malzemesi dökme demir grubunda olduğundan, öncelikle alaşım türü ‘iron alloys’ şeklinde programdan seçilmelidir.

Prosesimiz, kum kalıba döküm olduğundan, ‘sand mold casting’ de ilgili mod olarak ayarlanmalıdır. Ayrıca Componenta’da kum kalıba dökümler yaş kum (green sand) ile yapıldığından, bunun da seçilmesi gerekmektedir.

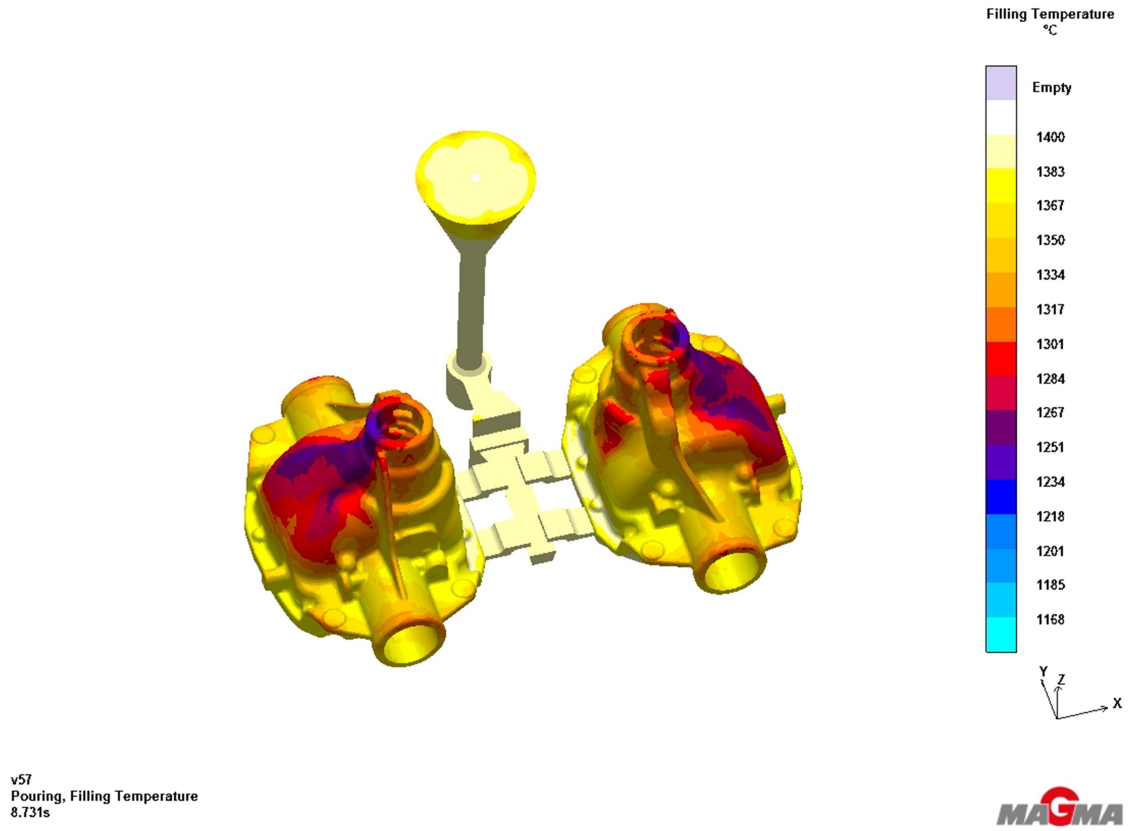
Kimyasal kompozisyon, MAGMA 5.2 içerisindeki standart malzeme ayarlarından seçilebilmektedir. Bunun yanında kompozisyon, işletme içerisinde spesifik olarak çalışılan parçalar için, örneğin % C üst limit çalışılması gibi, özel de ayarlanabilmektedir. Bu çalışmada parça malzemesi EN-GJS-450-10 [28] olduğundan, kompozisyon ayarı buna göre ayarlanmıştır.

Simülasyon, döküm sıcaklığı 1400 °C olacak şekilde kurulmuştur.



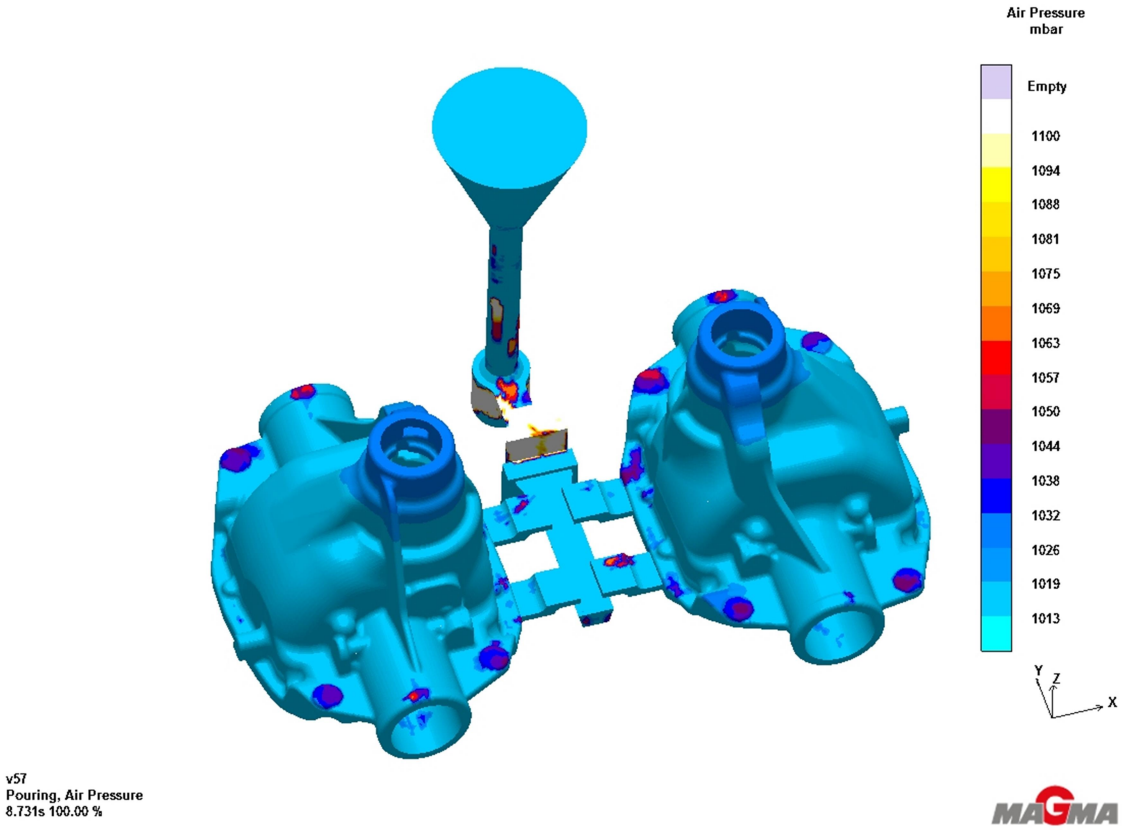
Şekil 6.24 Proje parçası dolum simülasyonu

Parçanın tasarlanan yolluğu ile yapılan simülasyon çalışması Şekil 6.24'te gözükmektedir. Meme girişlerindeki hızlar yaklaşık olarak aynı ve 1 m/sn hız civarındadır. Parçanın dolum süresi 8,73 sn olarak simülasyon programı tarafından belirlenmiştir.



Şekil 6.25 Proje parçası sıcaklık dağılımı

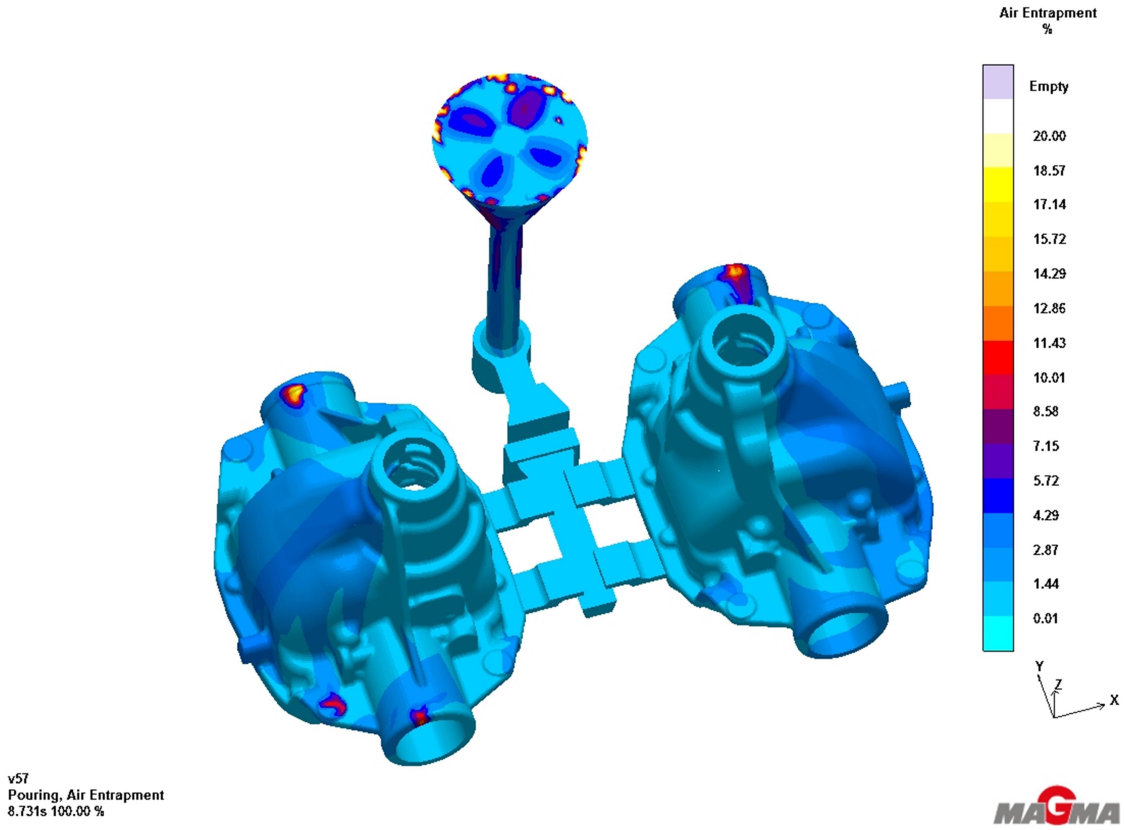
Parçanın dolum esnasında Şekil 6.25'ten sıcaklık dağılımına bakıldığında belirli bölgelerde skaladan takip edileceği gibi bir miktar soğuk kalmış kısımlar gözükmektedir. Riskli bölgelerde, üretimler sonrasında katmer sakatı görme ihtimali vardır.



Şekil 6.26 Proje parçası hava basıncı

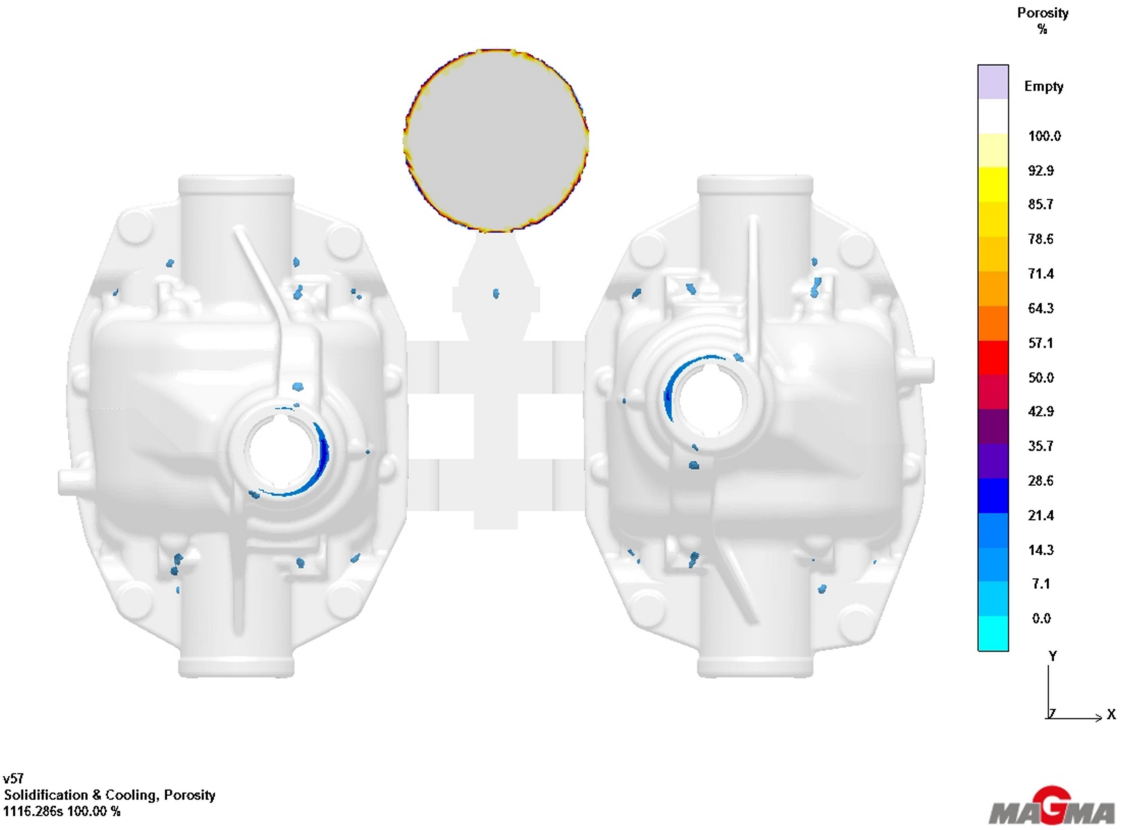
Parçanın dolum esnasında oluşan hava basıncı simülasyonu Şekil 6.26'da gösterilmiştir. Dikkat edileceği gibi üst köşelerde ve bosslarda[1] yükselen değerler gözükmektedir. Kalıp içerisindeki hava, dolum esnasında bu bölgelere kaçmaktadır. Componenta, prosesi için 1100 mbar'ı kritik değer olarak tanımlamıştır. Bunun altında kalan değerler ciddi risk unsuru olarak değerlendirilmemektedir. Çünkü kalıbın kendi içerisindeki geçirgenliği, bu değer altındaki basınçları kompanse edebilmektedir.

[1] Mühendislikte, geometrideki çıkıntılara verilen ad [26].



Şekil 6.27 Proje parçasının hava sıkışması

Bir başka simülasyon sonucu olan ilgili parçanın hava sıkışması, Şekil 6.27'de gösterilmiştir. Bu simülasyonda, akış esnasında laminer olmayan durumlarda ergiyiğin içine hapsolabilecek gazın sorun yaratabileceği bölgeler gösterilmektedir. Componenta, bu simülasyon sonucu için %20 değerini kritik değer olarak belirlemiştir. Bu ve üzeri değerler, bu konuda risk teşkil etmekte şeklinde yorumlanır. Bu simülasyon verisinde, parçanın uç kısımlarındaki ufak bölgelerde risk gözükmektedir. Eğer üretimden sonra bu bölgelerde gaz problemi çıkarsa ilave şiş ile çözüme gitmek düşünülebilir. Yalnız iş yüzeyine şiş ekleneceği için tamamlama prosesi açısından da düşünülmesi gerektiği unutulmamalıdır.



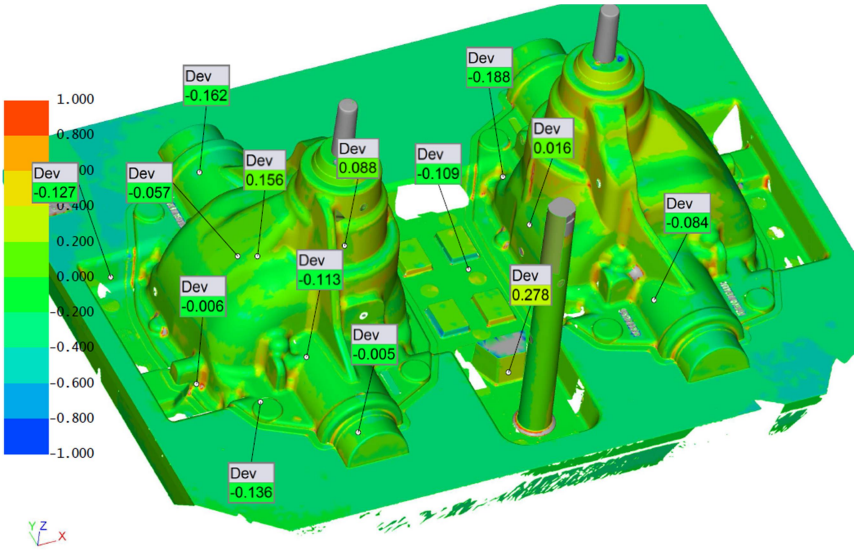
Şekil 6.28 Proje parçasının iç boşluk riski

Parçanın katılaşması sonucu çekinti riskinin olduğu bölgeler, Şekil 6.28'de gösterilmiştir.

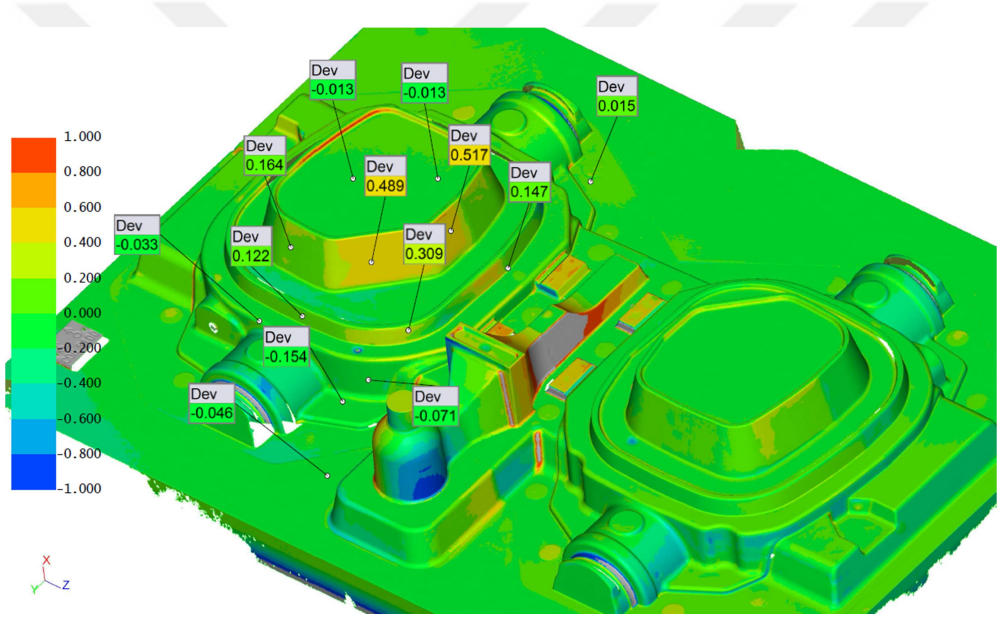
Simülasyon sonuçları incelenip mevcut dizayn ile devam edileceği kararı verildikten sonra datalar, model, maça sandıkları ve aparatların imalatı için tedarikçi ile paylaşılır ve döküm takımlarının verilen termin içerisinde teslim edilmesi beklenir.

6.5 Proje Parçası Modelinin Tarama Raporu

Parçanın modelinin oluşturulması sırasında, hat yerleşiminin yapılması, yolluk dizaynının ve maça tasarımının tamamlanması gerekmektedir. Tüm bunlar tamamlandıktan sonra model datası oluşturularak, model imalatına geçirilir. Tedarikçilerden teslim alınan modeller için bu ölçü raporu, modelin onaylanan dataya göre uygunluğunun teyididir.



Şekil 6.29 Üst model ölçüsel tarama raporu



Şekil 6.30 Alt model ölçüsel tasarım raporu

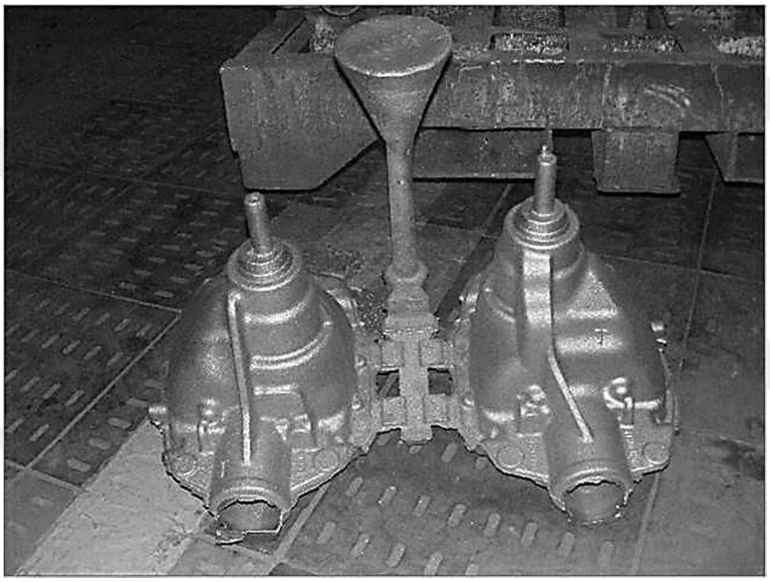
Şekil 6.30'da görüldüğü gibi alt maça başında 0,5 mm'yi bulan sapmalara, üretim esnasında kalıplama problemi çıkartmaması adına model teslim alınmadan önce müdahele edilmesi söylenmiş ve tedarikçi tarafından düzeltmesi yapılmıştır. Ayrıca topuk ve yatay yollukta görülen tolerans dışı ölçülerin, elle montaj sebebiyle, ölçüsel olarak eksiklik veya fazlalık kaynaklı değil, lokasyon olarak tolere edilebilecek büyüklükte kayma nedeniyle oluştuğu tespit edilmiştir.

6.6 Proje Parçasının Dökümü Ardından Sakat Analizi

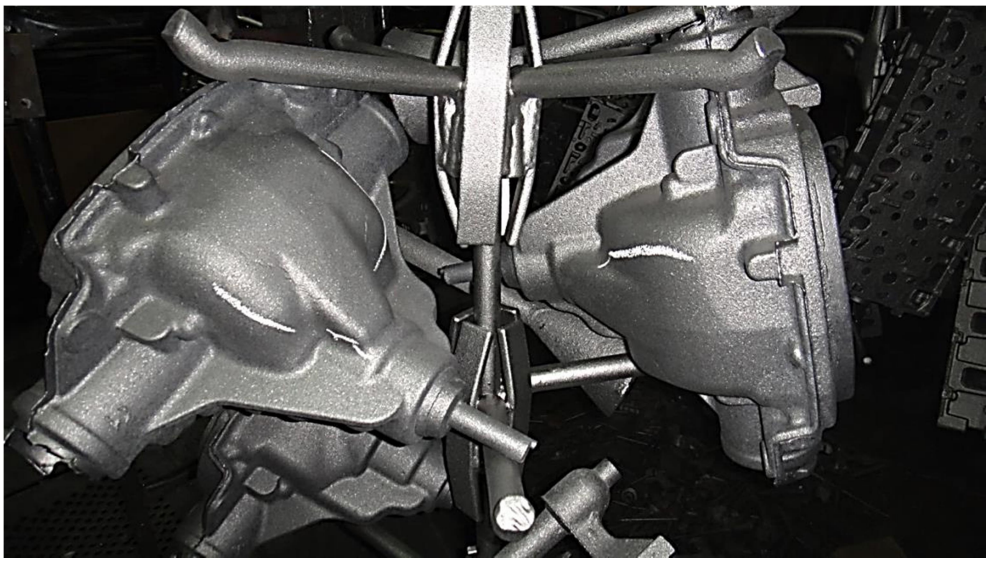
Parçanın, ilk denemesi gerçekleşmiştir. Hattan çıkan parçalar temizlendikten sonra görsel sakat analizi yapılmıştır. Ayrıca testerede kesilerek kesitler incelenmiştir. Bulgular, simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.2 Proje parçasının üretimi ile ilgili bilgiler

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Mg	Sn	Ti	Al
3,69	2,296	0,19	0,0206	0,007	0,033	0,01	0,002	0,0164	0,05	0,008	0,019	0,0039
Dökülen derece / Adet				**Dolum süresi (sn)**					**Döküm sıcaklığı (°C)**			
5 derece / 10 adet				11					1400			



Şekil 6.31 Döküm sonrası yolluklu proje parçası



Şekil 6.32 Askılı temizlemeden çıkan parçalar

Parçalar görsel olarak incelendiğinde, risk olan bölgede, 10 adet parçada da katmer sakatı gözlemlenmiştir. Sakatlar Şekil 6.33 ve Şekil 6.34'te gösterilmiştir.

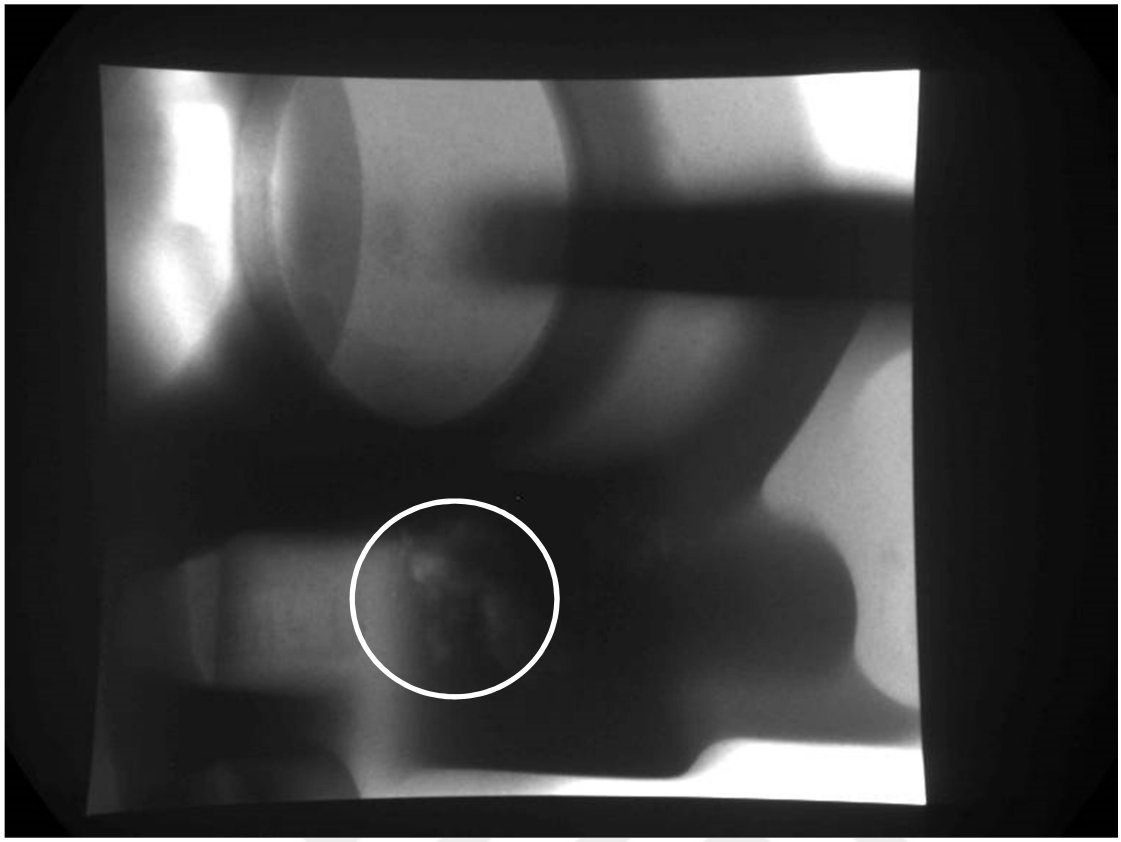


Şekil 6.33 Proje parçasında gözlemlenen katmer sakatı

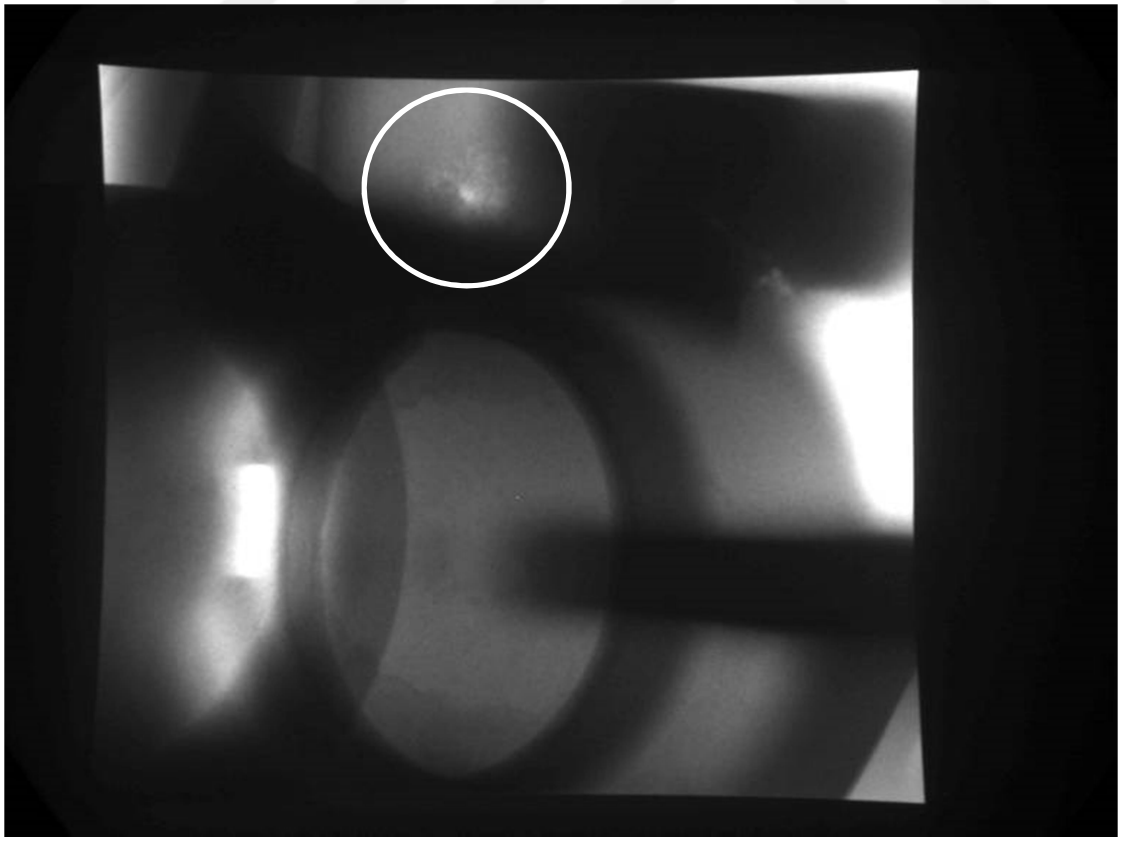


Şekil 6.34 Proje parçasında gözlemlenen katmer sakatı

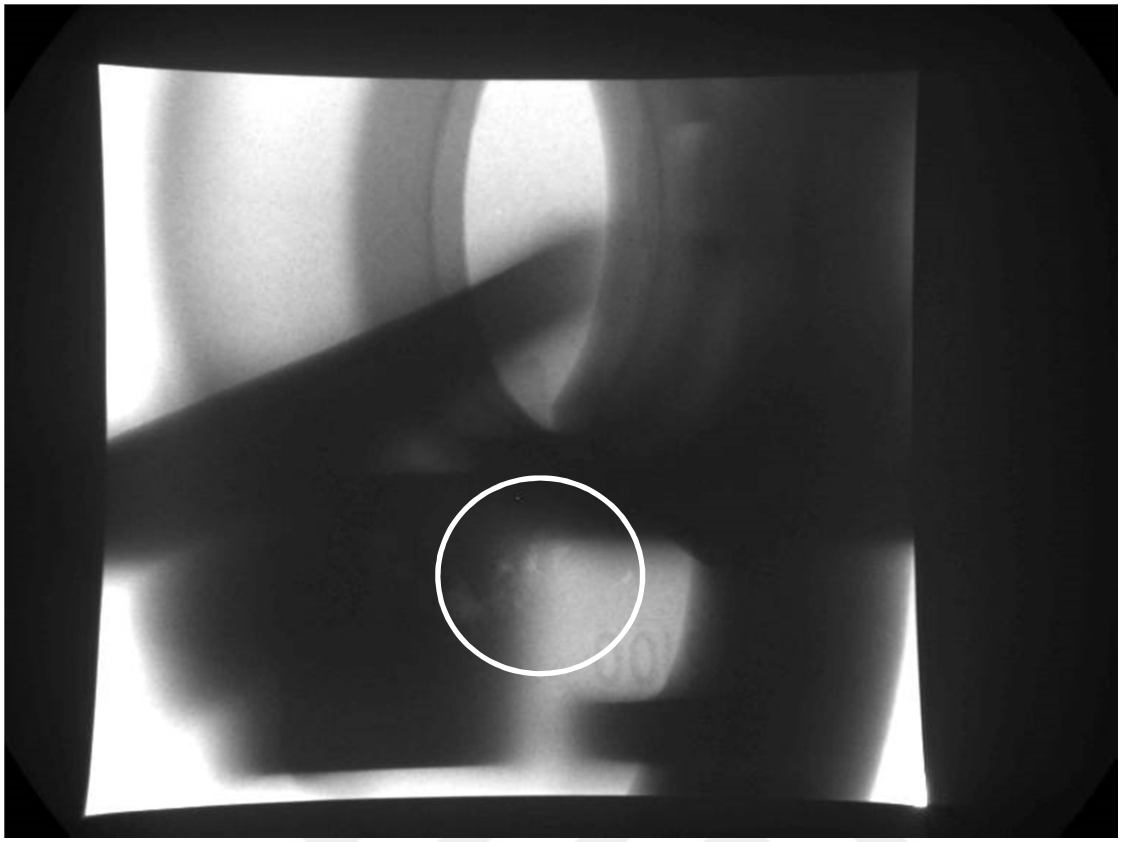
Parçalar, temizlendikten sonra x-ray kontrolleri gerçekleşmiştir. Parçanın belirli bölgelerindeki süreksizlikler, tespit edilmiştir. Ayrıca bir adet parça testerede kesilerek kesitler incelenmiştir.



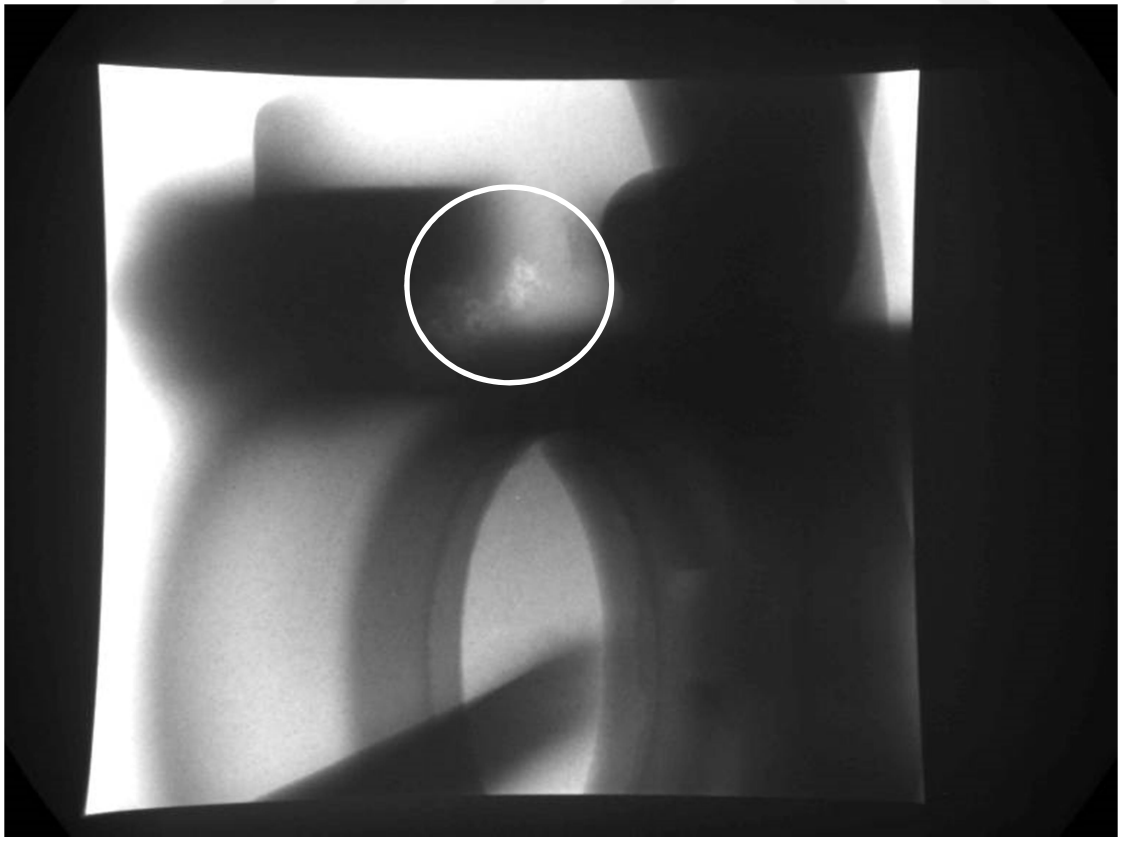
Şekil 6.35 X-ray görüntüsü ve çekinti



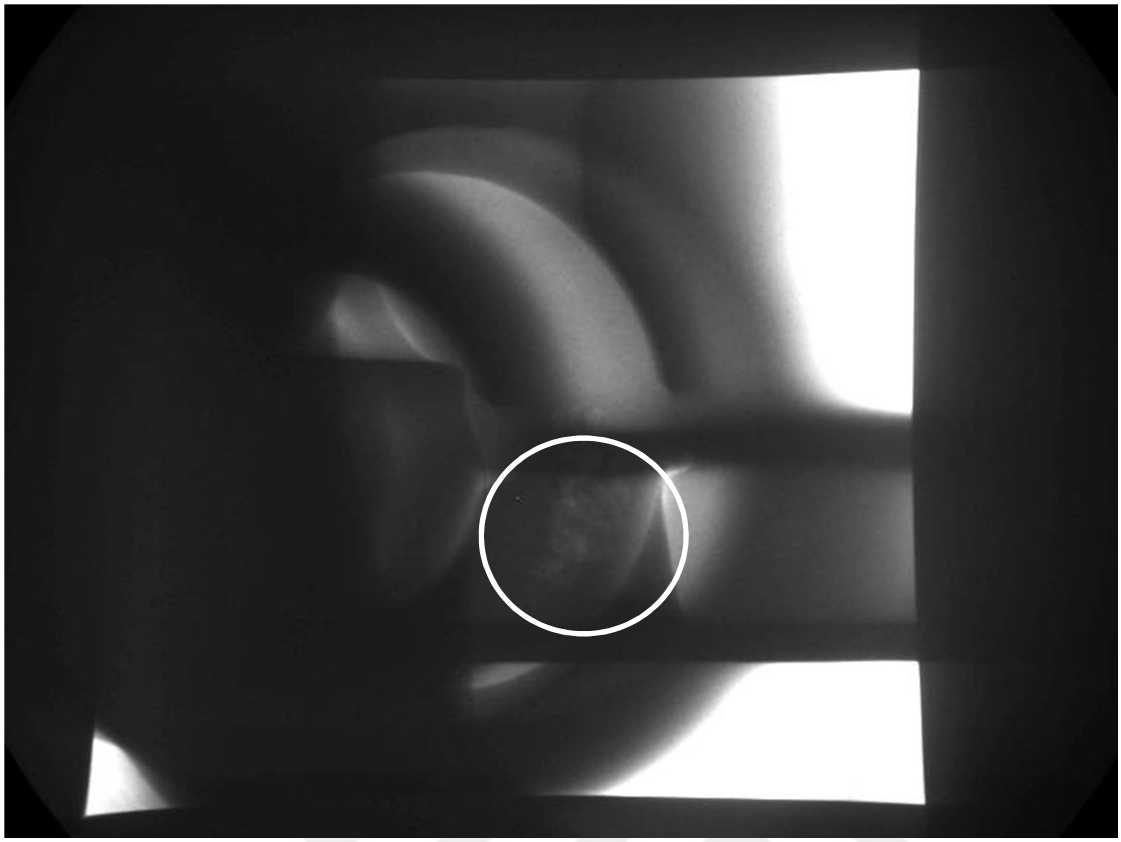
Şekil 6.36 X-ray görüntüsü ve çekinti



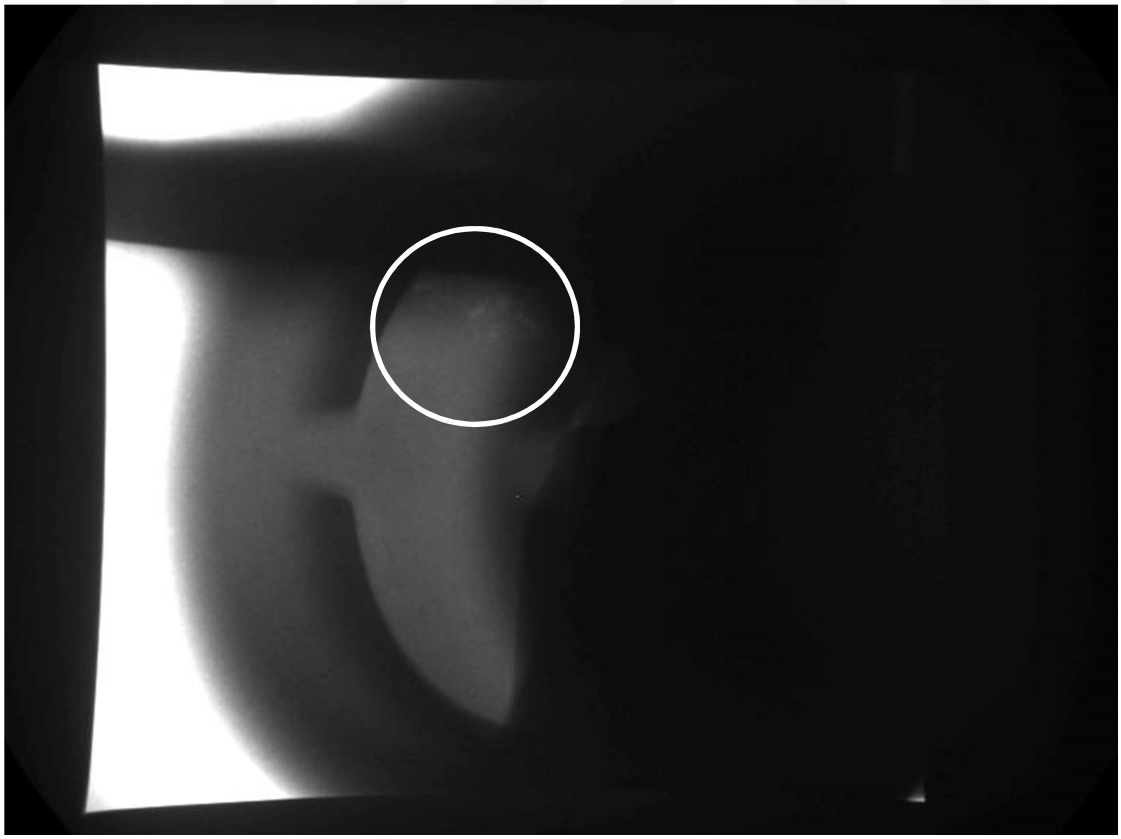
Şekil 6.37 X-ray görüntüsü ve çekinti



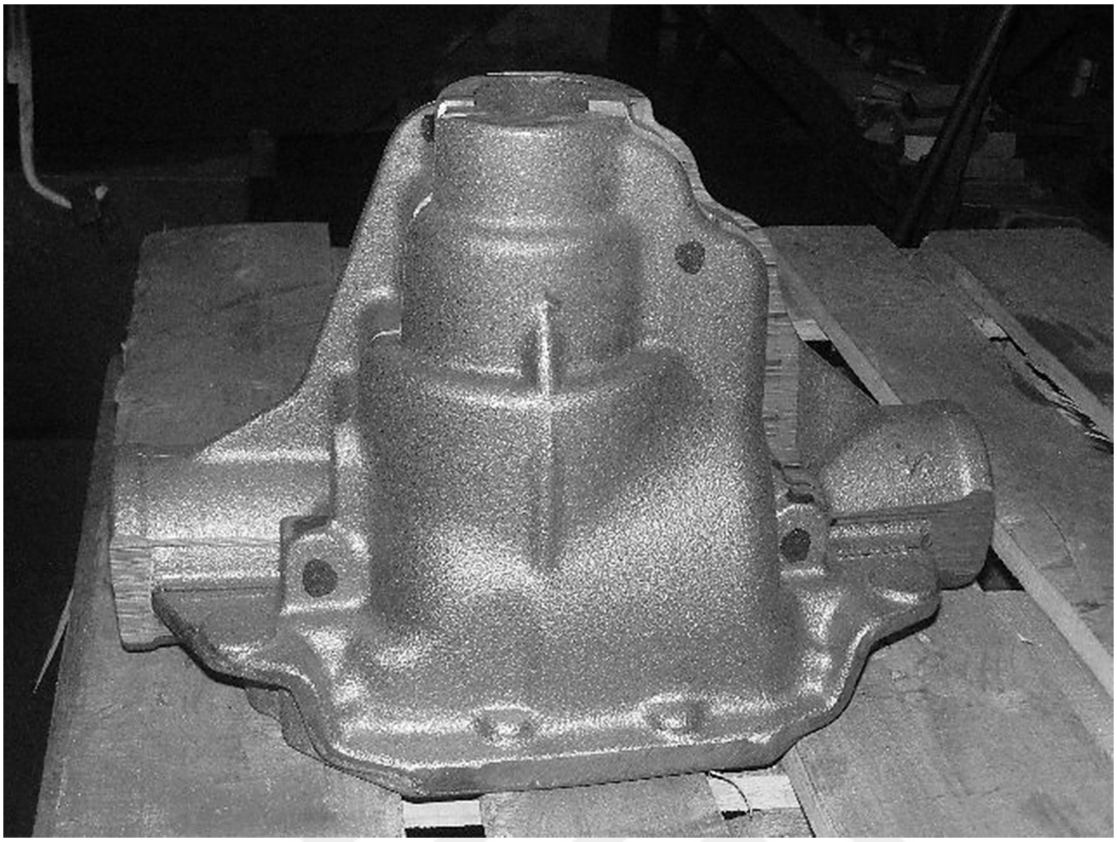
Şekil 6.38 X-ray görüntüsü ve çekinti



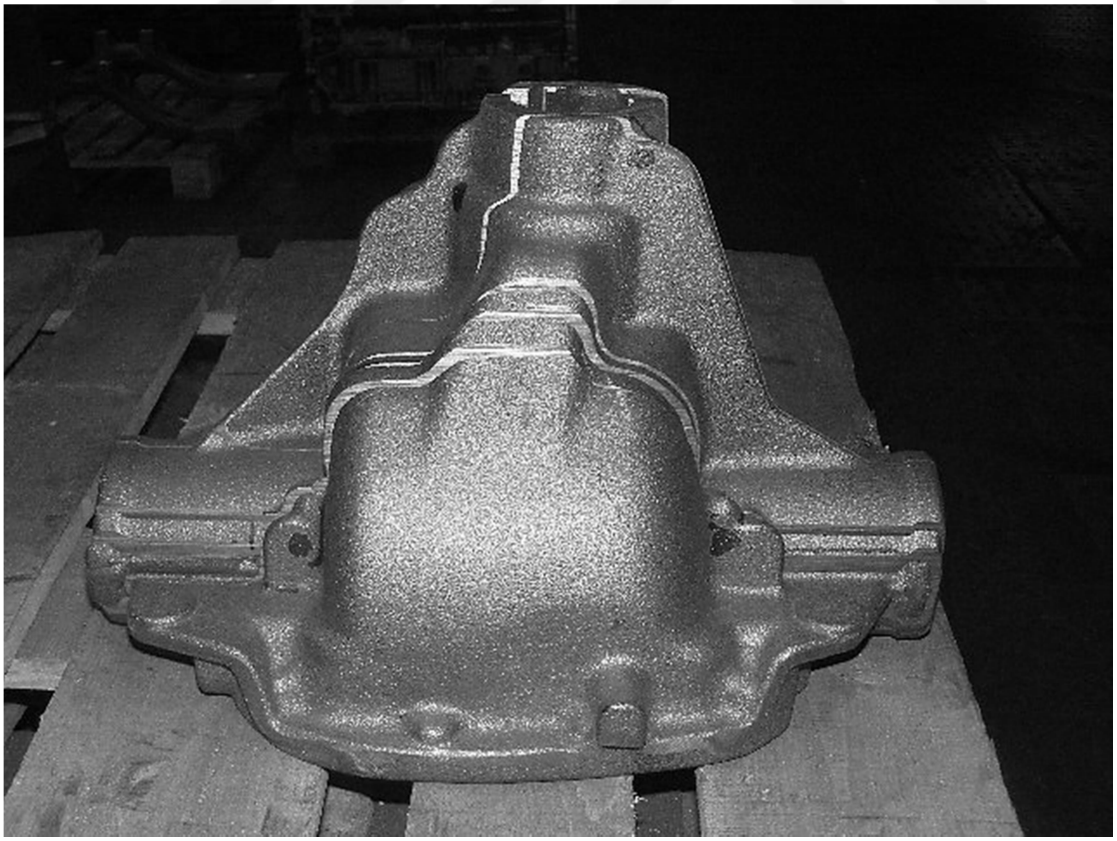
Şekil 6.39 X-ray görüntüsü ve çekinti



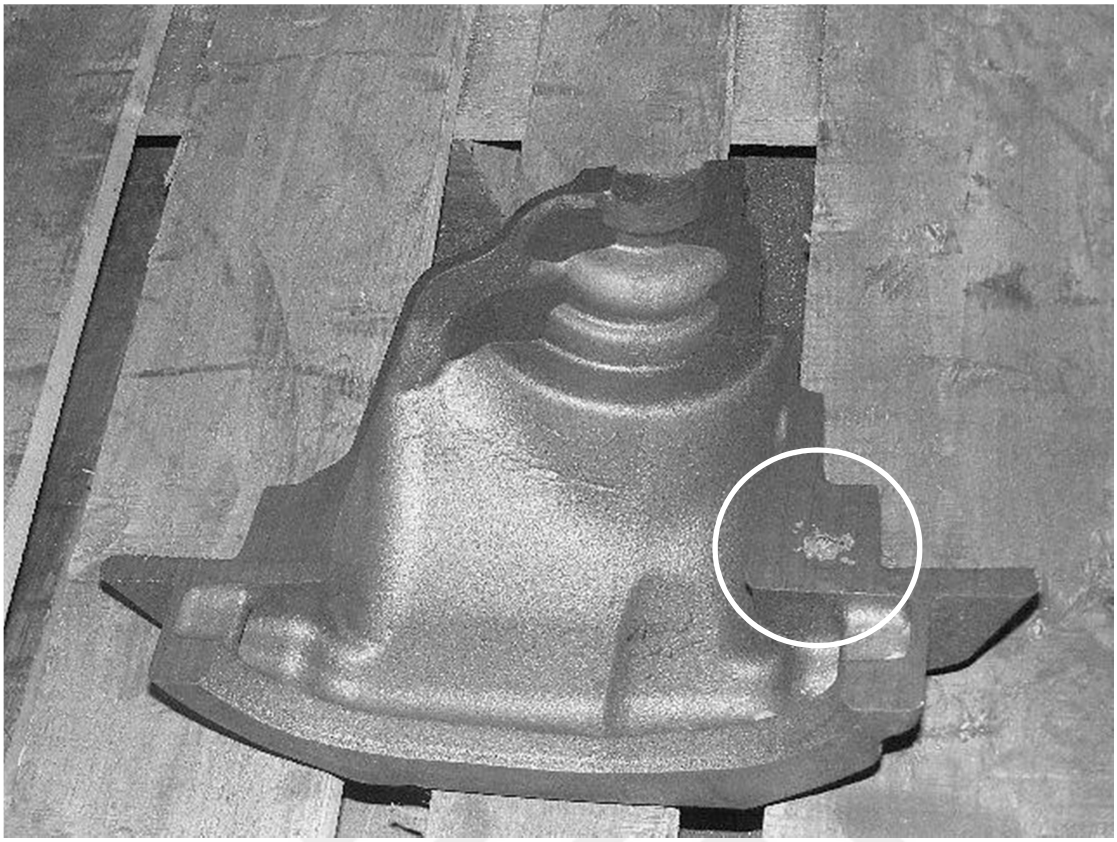
Şekil 6.40 X-ray görüntüsü ve çekinti



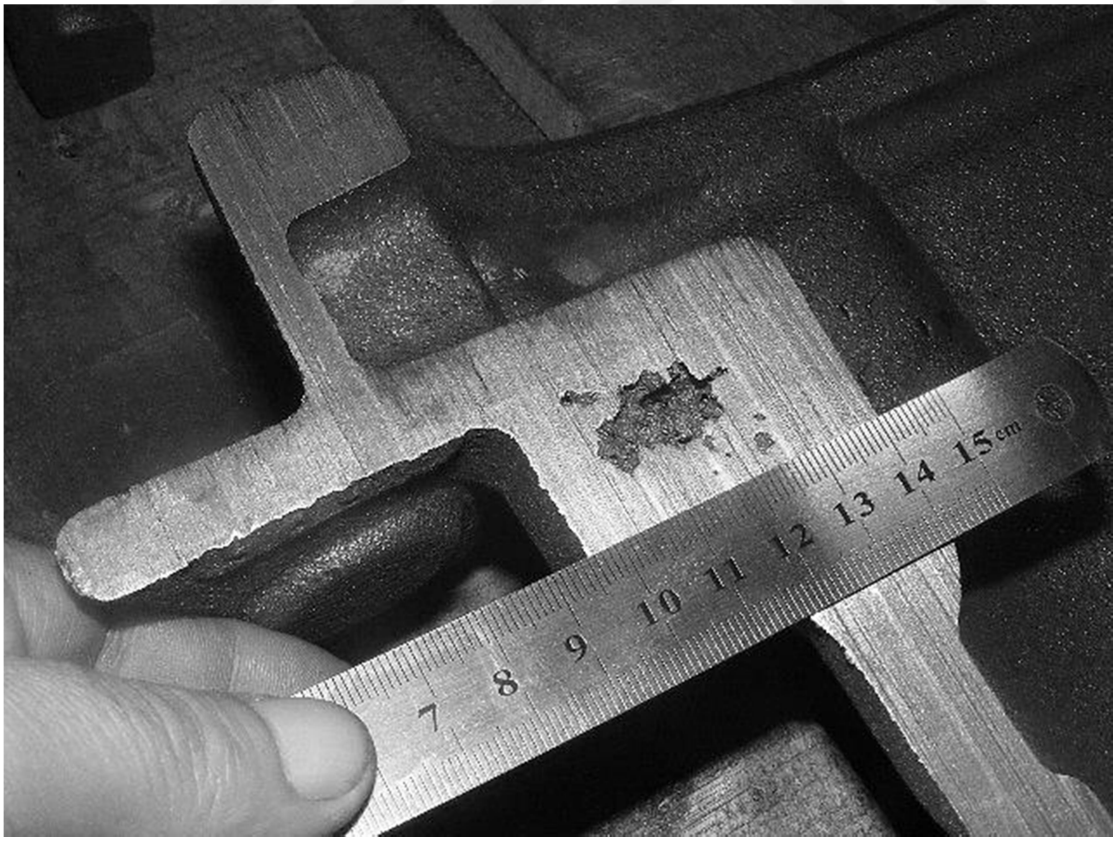
Şekil 6.41 X-ray sonucunda tespit edilen çekinti bölgeleri



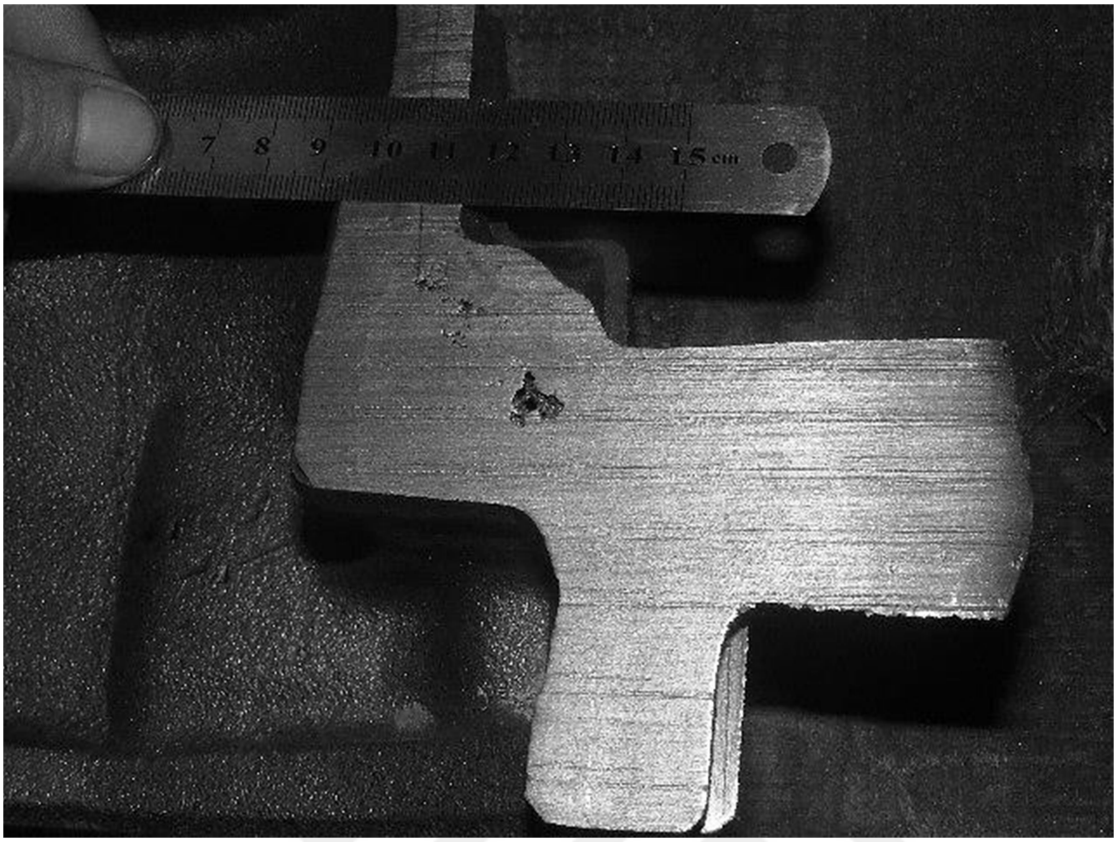
Şekil 6.42 X-ray sonucunda tespit edilen çekinti bölgeleri



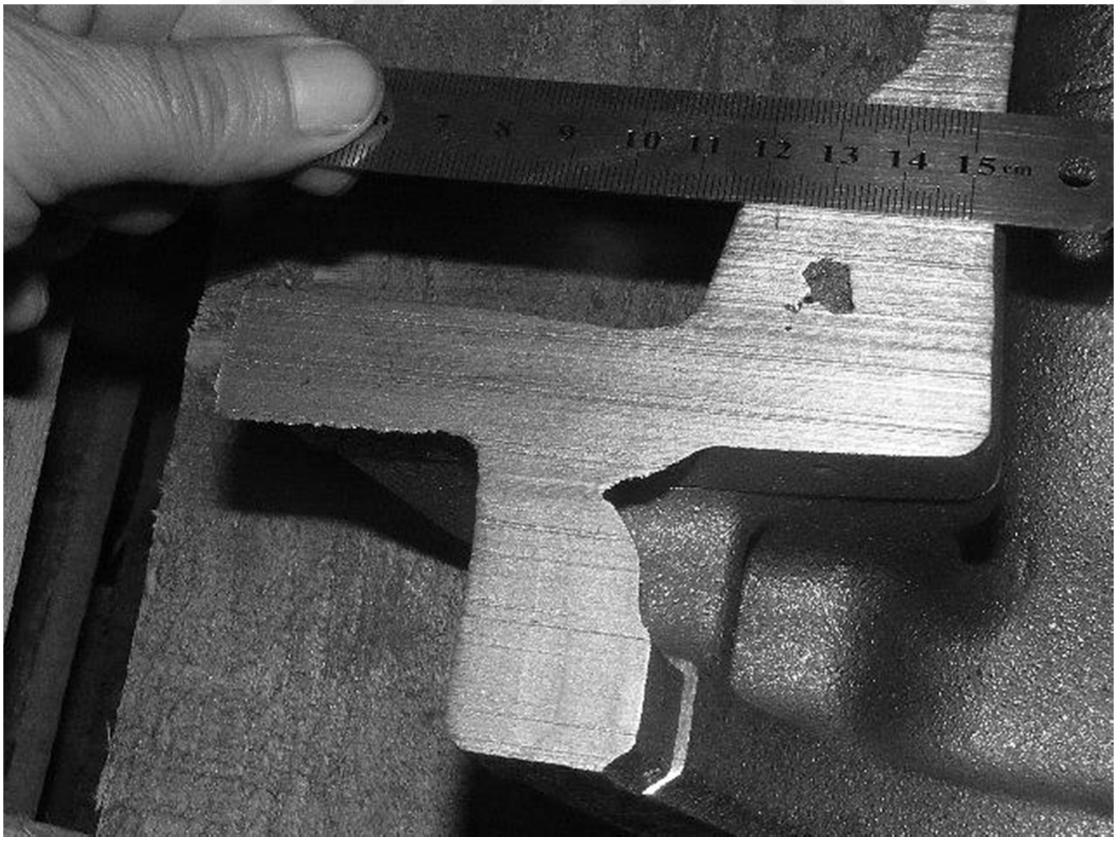
Şekil 6.43 Parçanın kesit görüntüsü ve çekinti



Şekil 6.44 Parçanın kesit görüntüsü ve çekinti



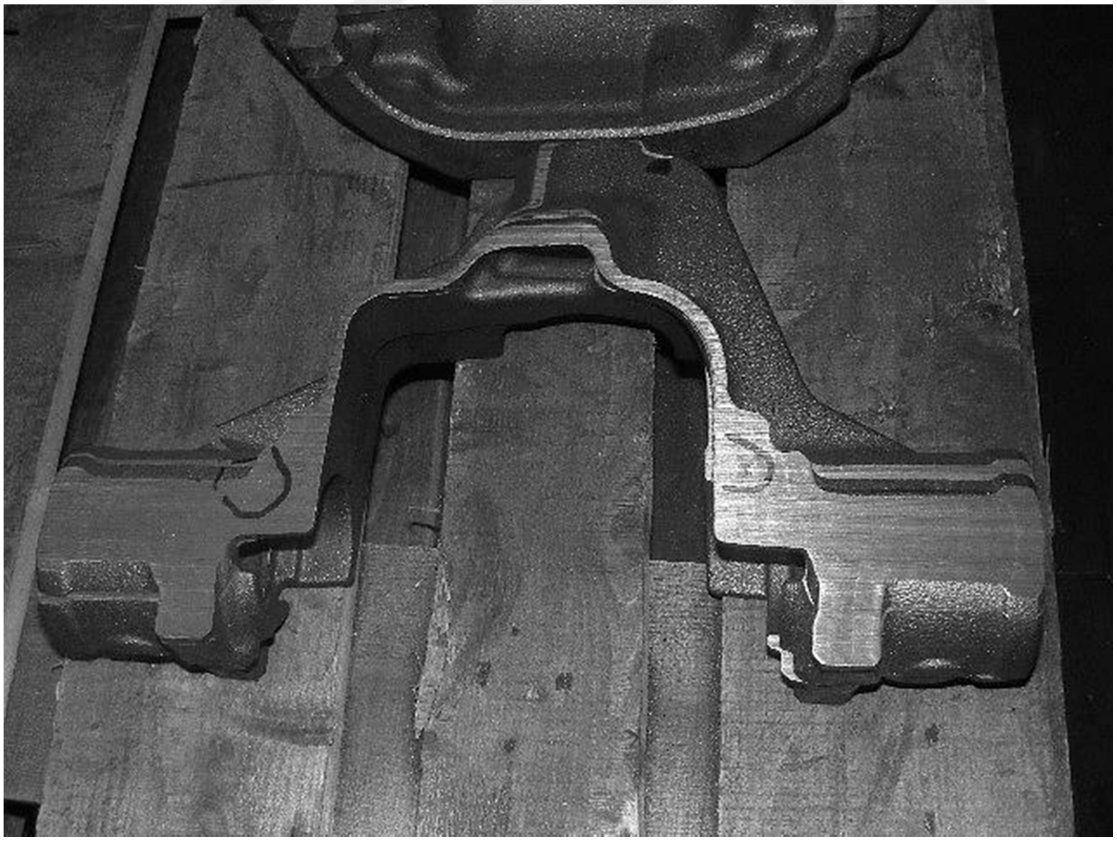
Şekil 6.45 Parçanın kesit görüntüsü ve çekinti



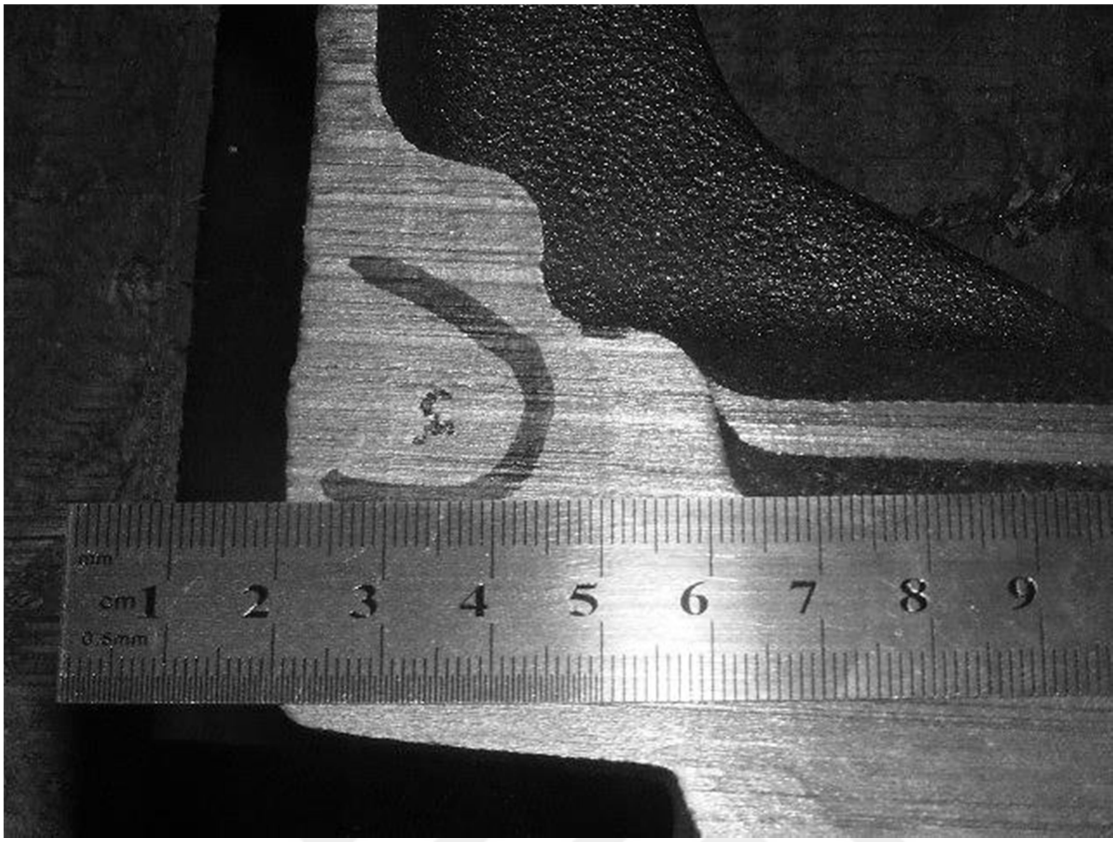
Şekil 6.46 Parçanın kesit görüntüsü ve çekinti



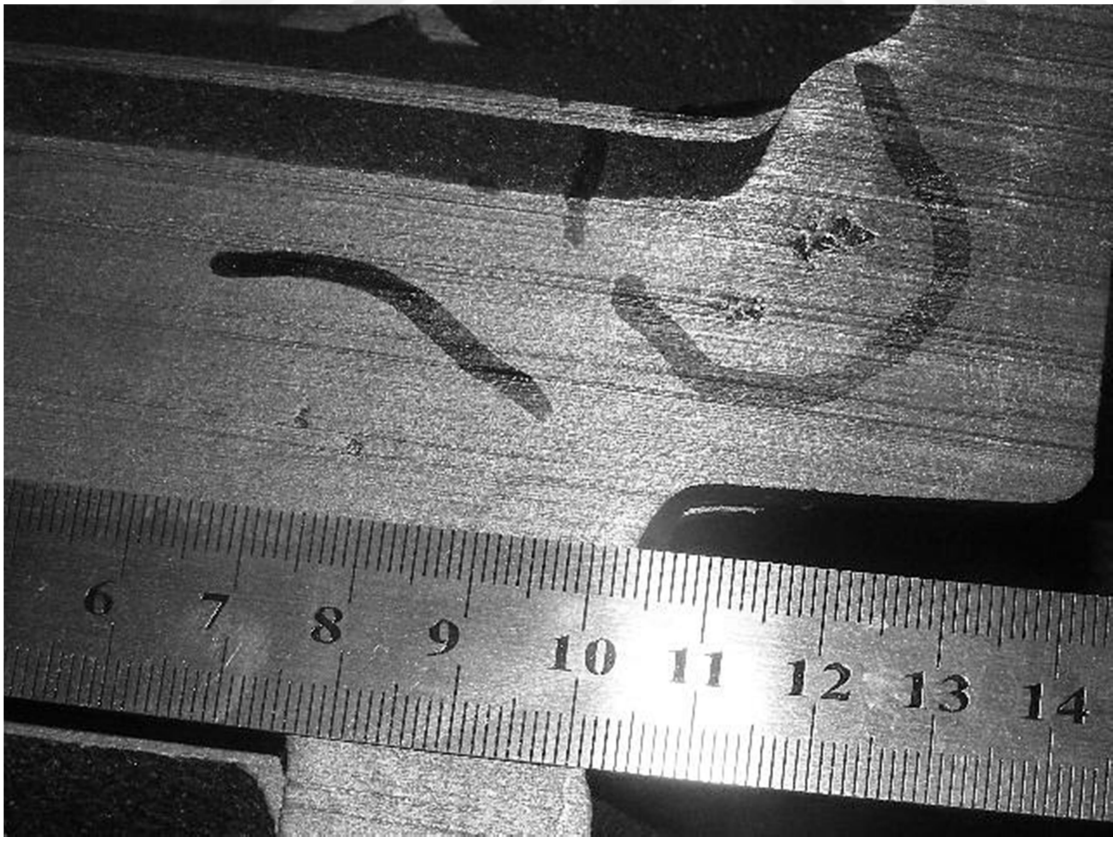
Şekil 6.47 Parçanın kesit görüntüsü ve çekinti



Şekil 6.48 Parçanın kesit görüntüsü ve çekinti



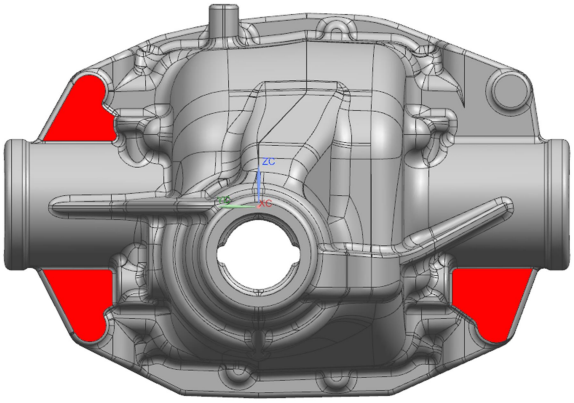
Şekil 6.49 Parçanın kesit görüntüsü ve çekinti



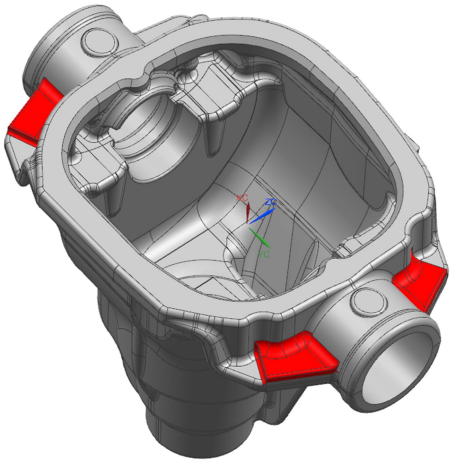
Şekil 6.50 Parçanın kesit görüntüsü ve çekinti

6.7 Proje Parçasının İyileştirme Çalışması

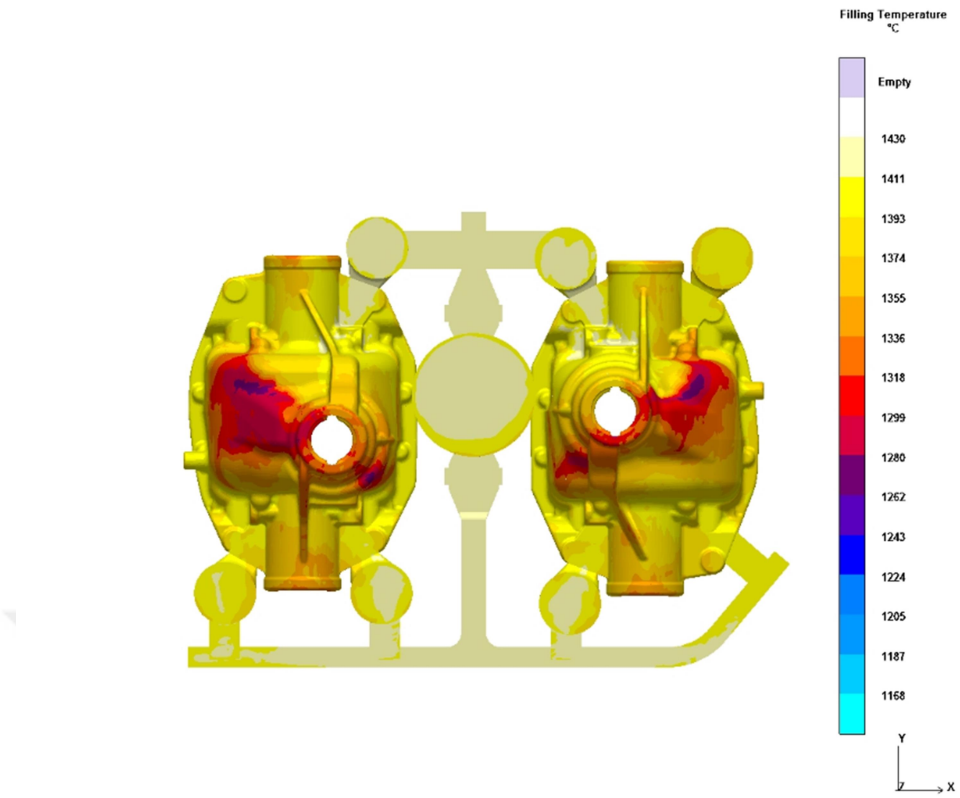
Parçaların kontrolleri gerçekleştirildikten sonra gözlemlenen sakatların çözümleri için yeni bir yolluk çalışması ve besleyici ilavesi yapılması gerektiği görülmektedir. Buna dayanarak daha önceki prensipler yardımı ile iyileştirmeye yönelik, her bir figürde kontrol amaçlı, yeni girişler tasarlanmıştır. Bu sistemde parçayı daha sıcak tutabilmek adına girişler parçanın etrafından verilmiştir. Bunun yanında döküm sıcaklığı da 1430 °C olarak arttırılmıştır. Ayrıca sisteme, çekintileri işleme bölgelerinden uzaklaştırabilmek adına besleyiciler ilave edilmiştir. Parçada besleyicilerin yerleştirileceği kısımlarda geometrik olarak uygunsuzluk olduğundan besleyici ağzını koyabilmek ve besleyiciyi efektif şekilde kullanabilmek adına malzeme ilavesi yönünde modifikasyon yapılmıştır. Bu yeni sistem ile çekinti ve sıcaklık dağılımı simülasyonları çalıştırılmış olup sonuçlar gözlemlenmiştir.



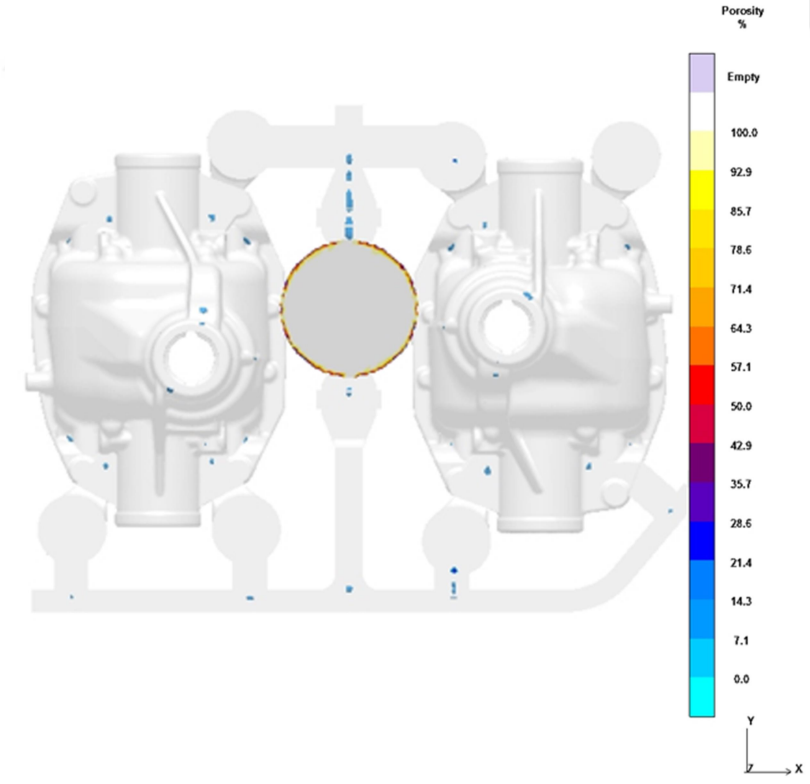
Şekil 6.51 Modifikasyon çalışması



Şekil 6.52 Modifikasyon çalışması

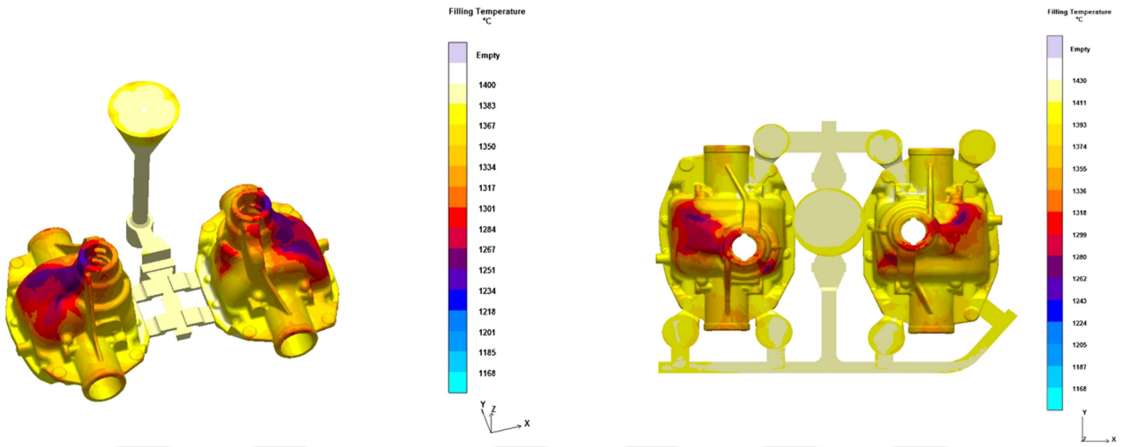


Şekil 6.53 Yeni dizayn ile sıcaklık dağılımı

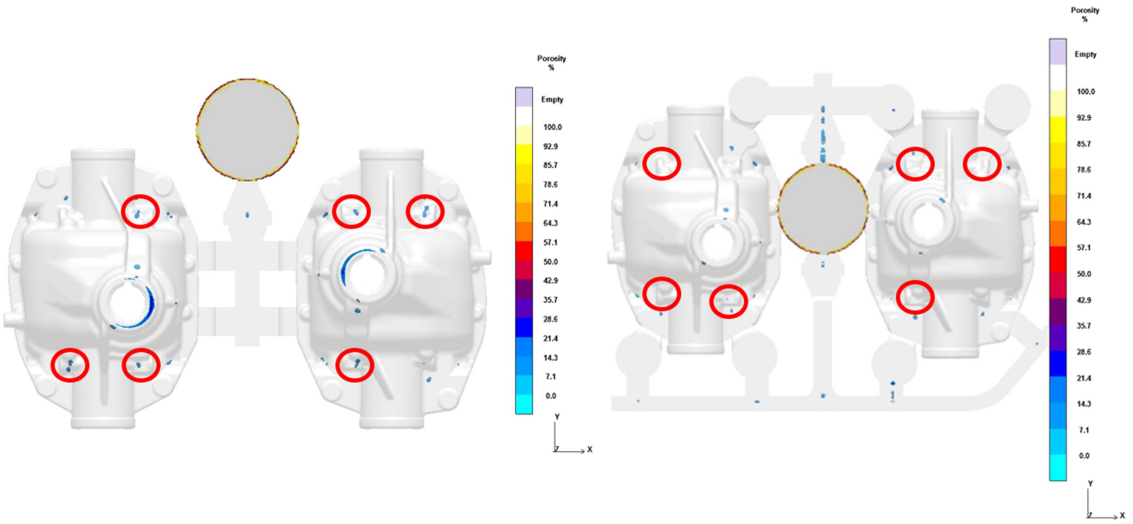


Şekil 6.54 Yeni dizayn ile iç boşluk riski

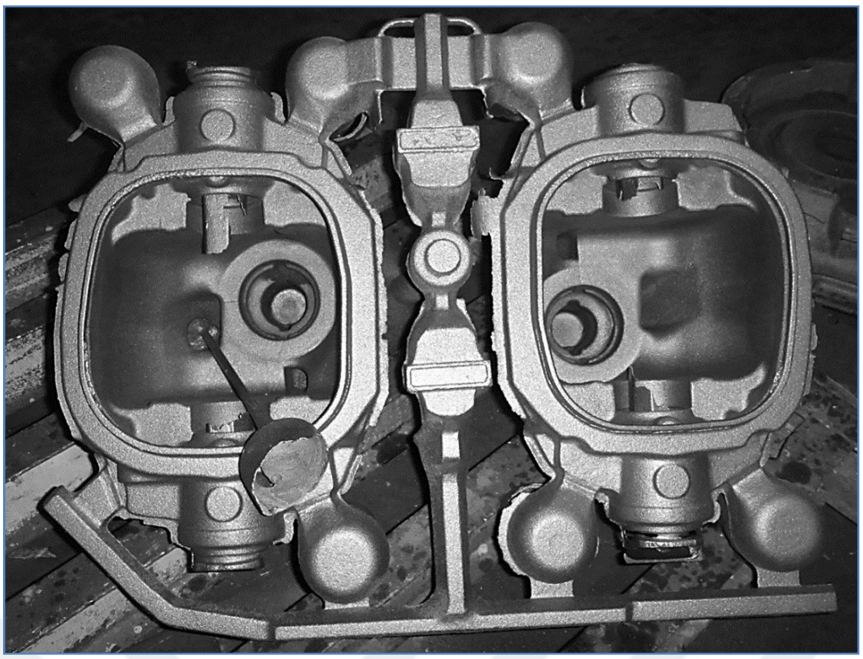
Simülasyon sonuçlarına bakıldığında ilk dizayna göre iyileşen bir sıcaklık dağılımı ve işleme bölgelerinden uzaklaşmış çekinti riskleri gözlemlenmiştir. Bu dizayn ve yeni döküm sıcaklığı ile döküm gerçekleşmiş olup bir parça kesilmiştir.



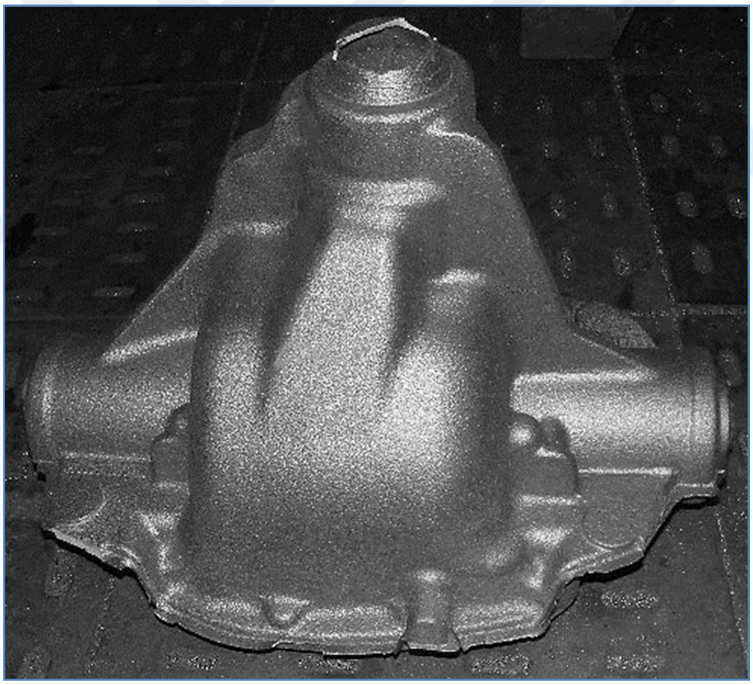
Şekil 6.55 Eski ve yeni sıcaklık dağılımı simülasyon sonuçlarının karşılaştırması



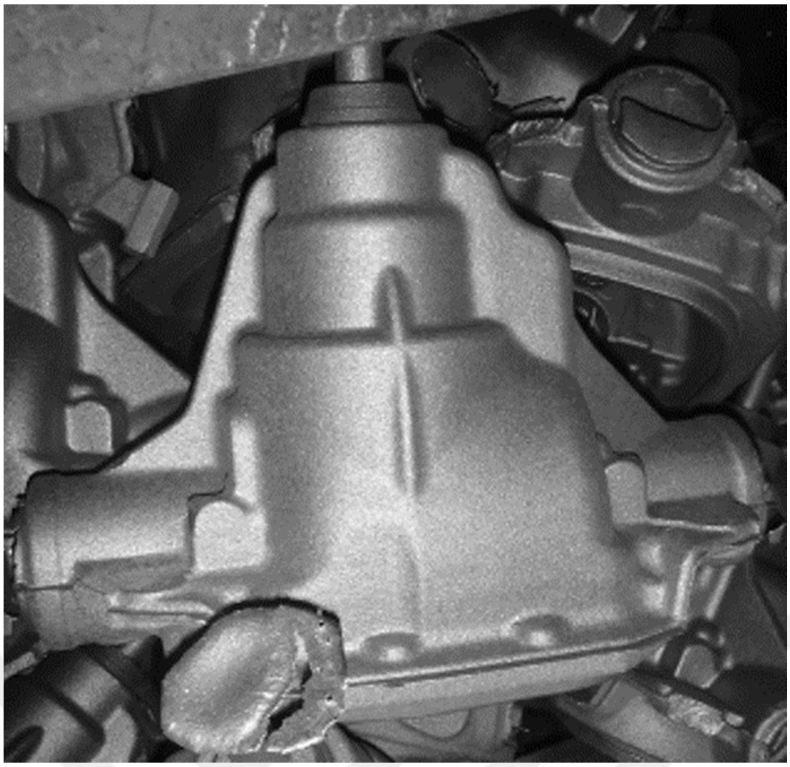
Şekil 6.56 Eski ve yeni çekinti riskinin gösterildiği simülasyon sonuçlarının karşılaştırması



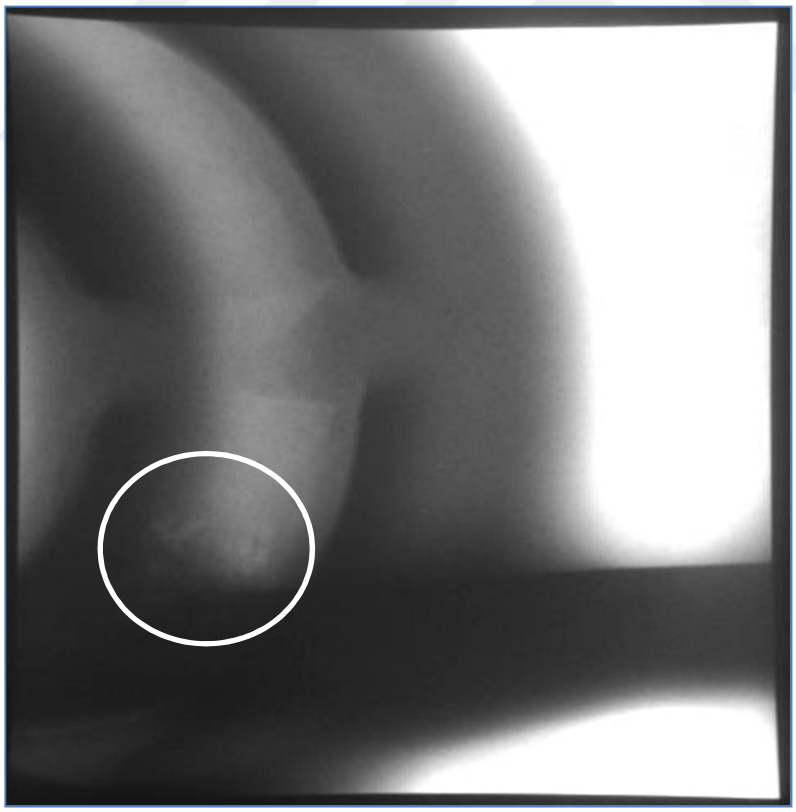
Şekil 6.57 Yeni yolluk dizaynı ile yolluklu proje parçası



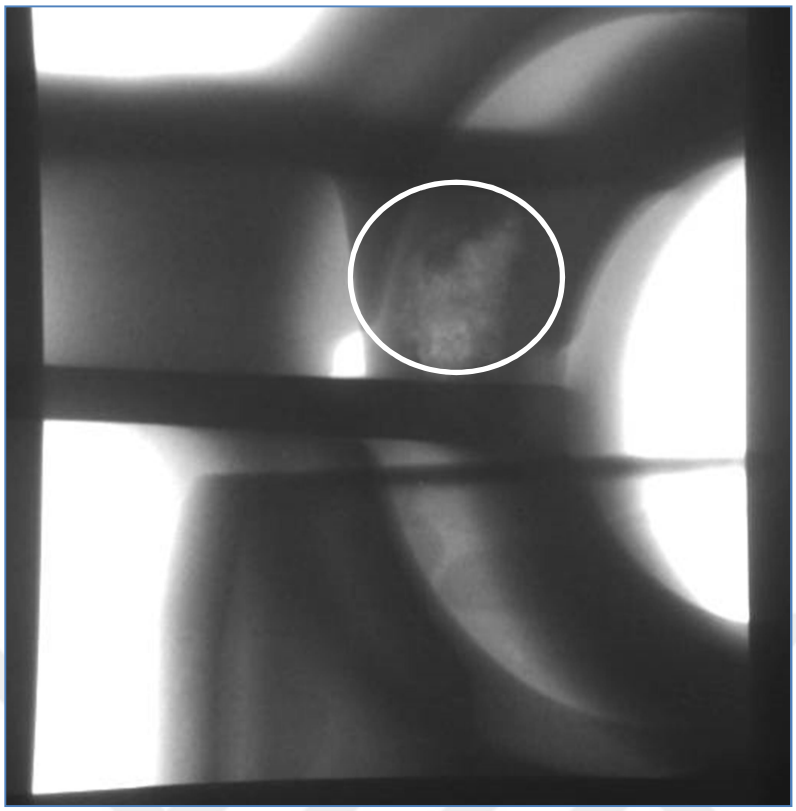
Şekil 6.58 Yeni yolluk ile dökülen parçalarda katmer sakatı gözlemi



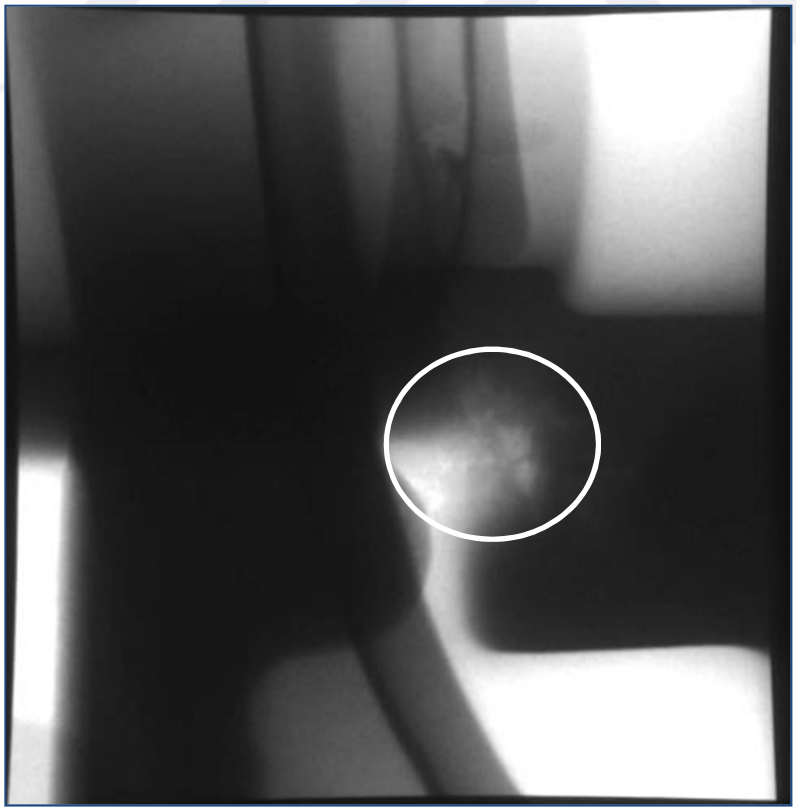
Şekil 6.59 Yeni yolluk ile dökülen parçalarda katmer sakatı gözlemi



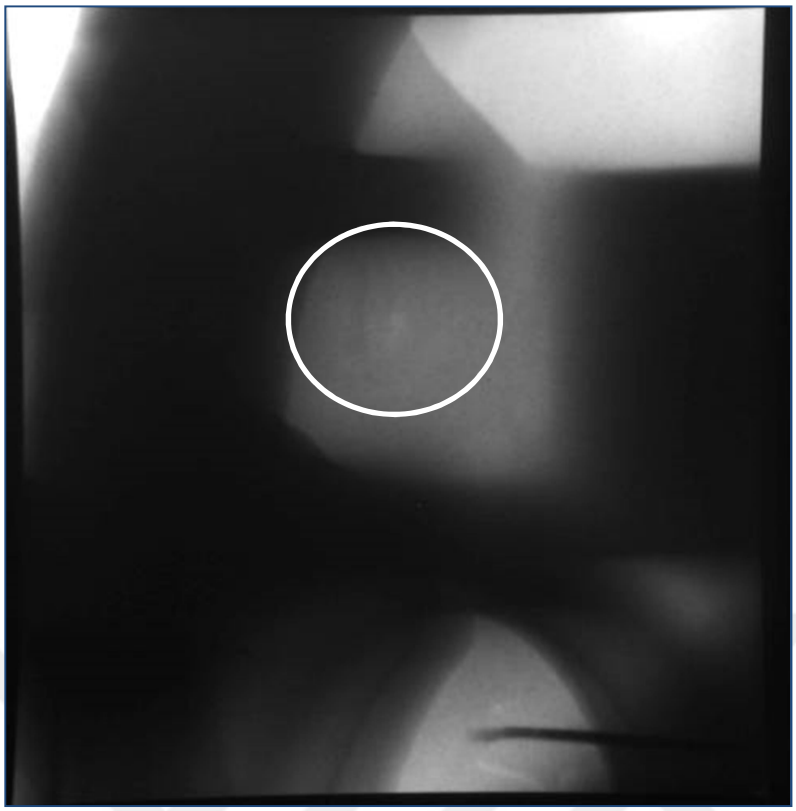
Şekil 6.60 Yeni yolluk ile dökülen parçanın x-ray kontrolleri



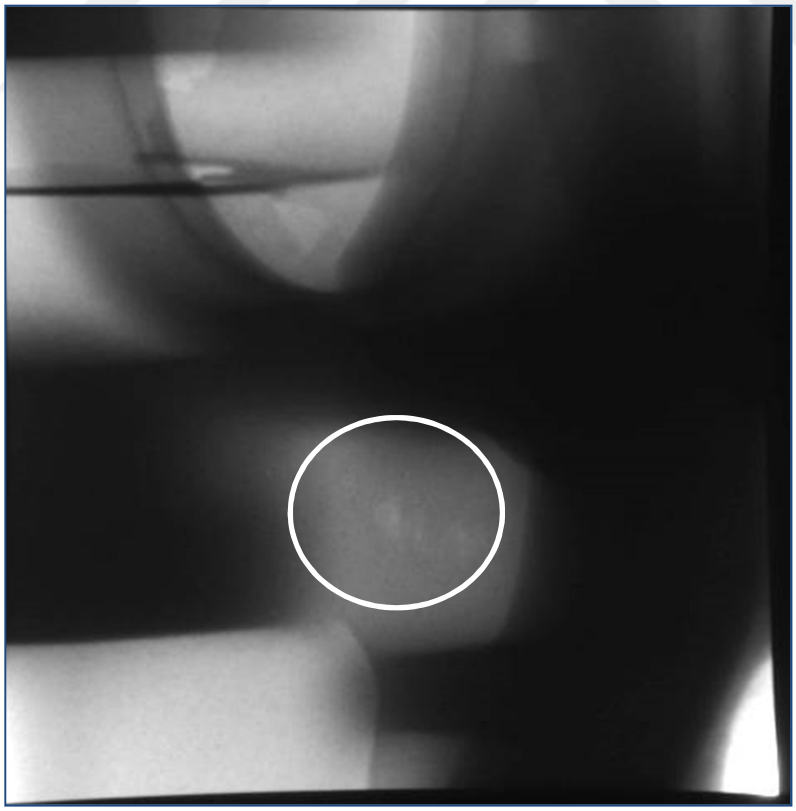
Şekil 6.61 Yeni yolluk ile dökülen parçanın x-ray kontrolleri



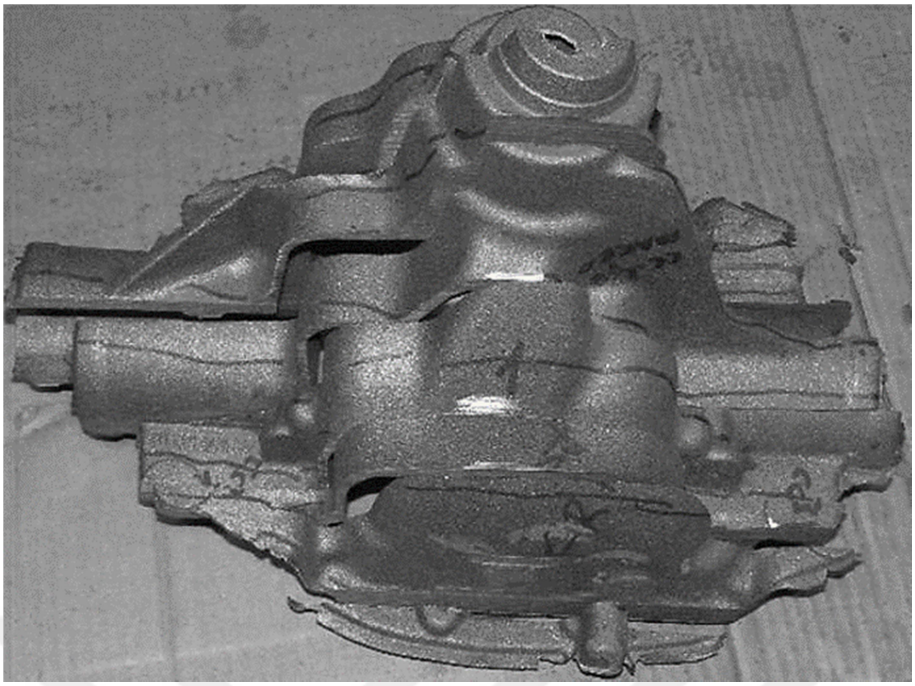
Şekil 6.62 Yeni yolluk ile dökülen parçanın x-ray kontrolleri



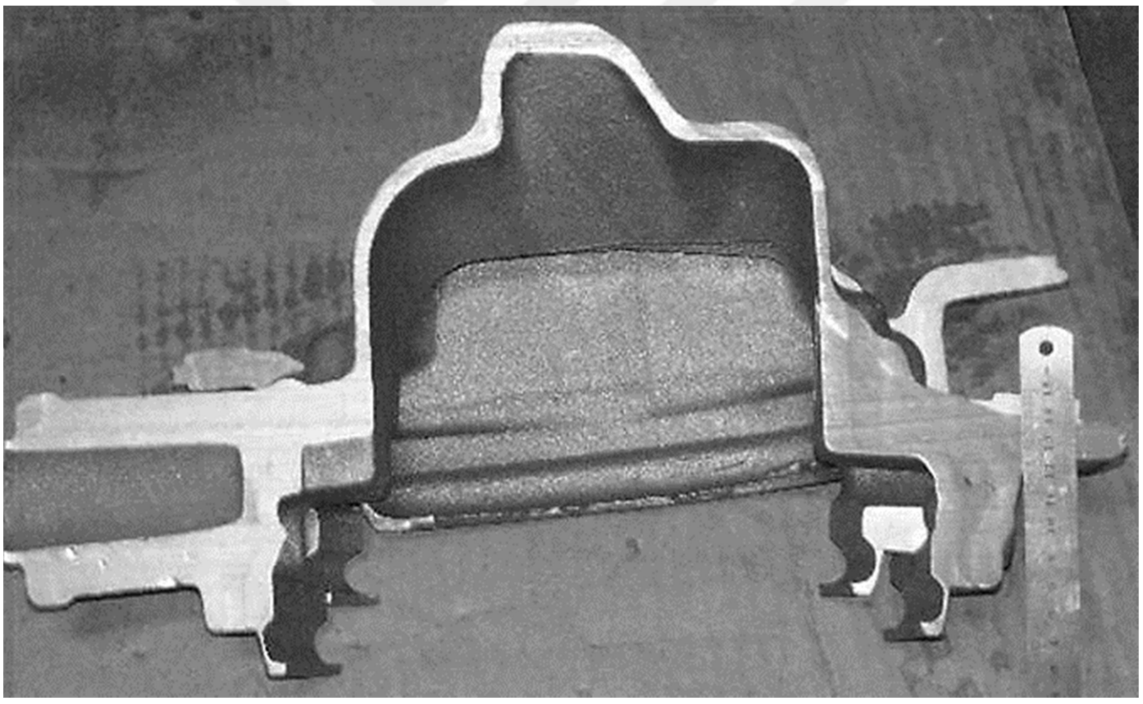
Şekil 6.63 Yeni yolluk ile dökülen parçanın x-ray kontrolleri



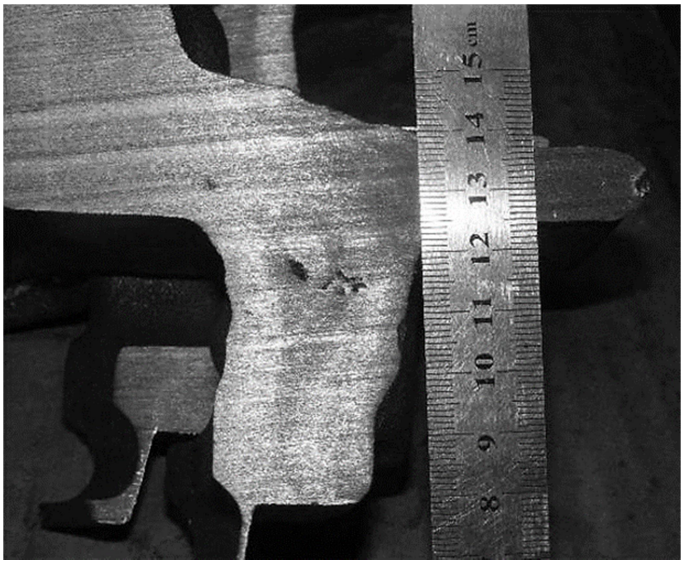
Şekil 6.64 Yeni yolluk ile dökülen parçanın x-ray kontrolleri



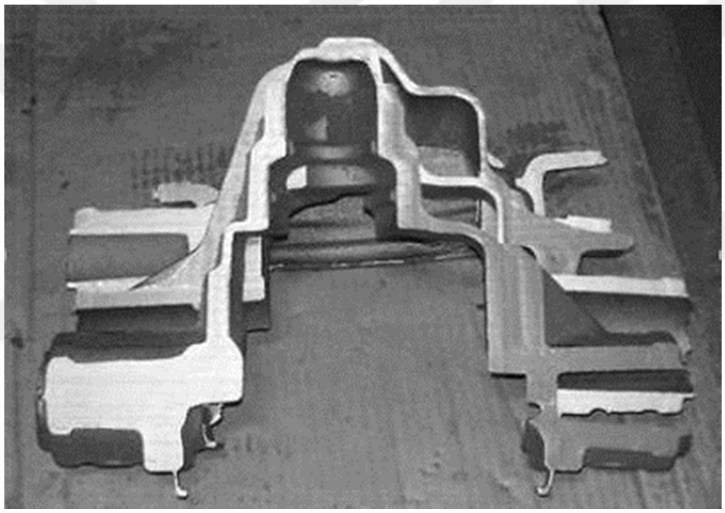
Şekil 6.65 Yeni yolluk ile dökülen parçanın dilimlenmesi



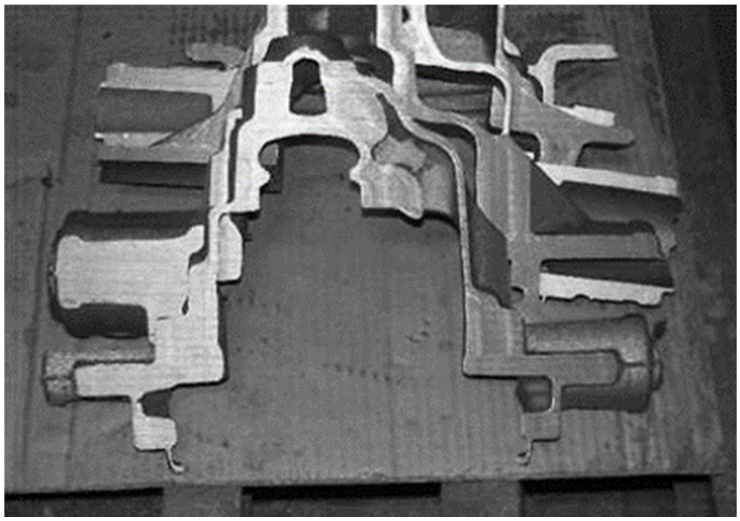
Şekil 6.66 Yeni yolluk ile dökülen parçanın kesit görüntüsü



Şekil 6.67 Yeni yolluk ile dökülen parçanın kesit görüntüsü



Şekil 6.68 Yeni yolluk ile dökülen parçanın kesit görüntüsü



Şekil 6.69 Yeni yolluk ile dökülen parçanın kesit görüntüsü

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

Dökümde kaliteyi elde etmek için proses değişkenlerinin azami ve asgari limitler içerisinde tutulması önemlidir. Bu nedenle bütün proses bir bütün olarak değerlendirilmelidir. Bu çalışmada incelenmiş olan diferansiyel gövdesi için dizayn edilen ilk yollukta sadece ölçüsel olarak tasarım yapılmış ama girişlerin lokasyonu veya sayısı gibi unsurlar irdelenmemiştir. Simülasyon sonuçları incelendiğinde, yapılan tasarımın, metal akış hızını üretime uygun limitler içerisinde tuttuğu gözlemlenmiştir. Ancak üretim sonuçları incelendiğinde metal akış hızı uygun olsa dahi sadece ölçüsel olarak yapılan tasarımın oluşabilecek diğer sakat türlerini önlemede yeterli olmadığı görülmektedir. Bu nedenle girişlerin lokasyonu ve sayısı gibi ayrıntılar da bu çalışmada önem kazanmaktadır.

İlk üretim sonrası görülen katmer ve çekinti problemlerini çözmek adına yeni yolluk, ilk yolluk sistemi tasarımındaki yaklaşım ile hesaplanıp girişler için simülasyon yardımı ile doğru lokasyon ve buna bağlı adetler belirlenmiştir. Yeni dizayndaki amaç, yolluğu parçanın etrafından dolaştırarak ve giriş sayısını arttırarak parçanın soğuk kalan bölgelerini daha sıcak tutmaktır. Ayrıca döküm sıcaklığı da yine soğuk bölgeleri daha sıcak tutabilmek adına 1430 °C olacak şekilde arttırılmıştır. Bu sayede katmer sakatının önlenmesi hedeflenmiştir. Yeni dizayn ile yapılan simülasyon sonuçları incelendiğinde, parçanın soğuk kalan bölgelerindeki iyileşme görülmektedir. Ayrıca sisteme ilave dilen besleyiciler ile çekintilerin işleme bölgesinden uzaklaştırılarak ve çekinti seviyeleri azaltılarak parça kalitesinin arttırılması amaçlanmıştır. Tekrardan ilgili simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında, besleyicilerin istenen iyileşmeyi sağladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca yeni yolluk dizaynında besleyiciler içerisinden geçirilen girişler de besleyiciyi sıcak tutarak besleyicinin daha efektif çalışmasına yardımcı olması amacıyla tercih

edilmiştir. Yeni yolluk dizaynı ile yapılan üretimler sonrası, parçanın incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Görsel muayene esnasında daha önceki üretimde gözlemlenen katmer sakatına, kontrol edilen parçaların iç ve dış yüzeylerinde rastlanmamıştır. Ayrıca x-ray ve kesitlerde görüldüğü üzere çekintiler işleme yüzeylerinden uzaklaştırılmış olup daha önceden CC3-4 olan çekinti seviyeleri, CC2-3 seviyesine düşürülmüştür. Yeni dizaynın bu kapsamda işe yaradığı açıktır.

Gelecekteki yapılacak çalışmalar kapsamında modifikasyon önerisi düşünülmelidir. Parçanın daha sağlıklı dökülebilmesi adına mevcut geometride değişikliğe gidilmelidir. Soğuk kalan bölgenin geometrisi incelendiğinde et kalınlığının ince olduğu gözlemlenmiştir. Burada yapılacak malzeme ilavesi de katmer görülme ihtimali üzerinde olumlu etki yaratacaktır. Parçanın boğaz bölgesindeki çekintiler için mini besleyici yerleştirebilecek şekilde dizaynın değiştirilmesi, bölgedeki çekintiyi azaltmaya yönelik uygulanabileceği gibi tasarım dondurulana dek tekrar tekrar simülasyon ile kontrol edilmesinde fayda vardır.

Simülasyonu doğrulayan sonuçlar, simülasyonun sağlıklı çalıştığını göstermektedir. Yeni parçanın dökümünde veya problem çözümlerinde döküm yaparak deneme yanılma yolu çok maliyetli ve zaman kaybına sebep olacaktır. Prosese göre iyi kalibre edilmiş simülasyon programı, problem çözümlerinde sonuca yönelik hızlı adımlar atılmasına olanak sağlarken bir yandan da kör deneme adına yapılan maden, elektrik, kalıp malzemeleri gibi diğer ciddi mali kayıpların da önüne geçmektedir. Ayrıca sadece bir proses oluşturmakta değil mevcut prosesi iyileştirmek adına da önerilerin hızlı bir şekilde sonuçlarının incelenmesi imkanı vardır.

KAYNAKLAR

[1] Demircioğlu, N.S., (2013), Dökümcülük Ve Modelcilik Teknolojisi -1, Pozitif Matbaacılık, Ankara

[2] ASM International, (1998), ASM Handbook Volume 15 Casting, Ohio

[3] AFS, (1986), Patternmaker's Manual, Toronto

[4] Aran, A., (2007), İmal Usulleri Ders Notları, İ.T.Ü. Gümüşsuyu Matbaası, İstanbul

[5] AFS, (1989), Mold And Core Test Handbook, Des Plaines

[6] Çavuşoğlu, E.N., (1981), Döküm Teknolojisi 1, İ.T.Ü . Gümüşsuyu Matbaası, İstanbul

[7] Kocatepe, K. ve Akar, N., (2007), Temel Dökümcülük Teknolojisi I Ders Notları, http://www.academia.edu/6686640/Temel_D%C3%B6k%C3%BCmc%C3%BCl%C3%BCk_Teknolojisi_I_Ders_Notlar%C4%B1_2007_ANKARA, 02 Ekim 2016

[8] Powers, M.C., (1953), A New Roundness Scale For Sedimentary Particles, Journal of Sedimentary Research, 23:117-119

[9] Vikipedi, Montmorillonit, https://tr.wikipedia.org/wiki/Montmorillonit, 14 Ekim 2016

[10] Foseco, (2012), Filtration, Orhangazi

[11] Brown., J.R., (2000), Foseco Foundrymen's Handbook, Butterworth., London

[12] Candeğer, K.C., (2001), Dökümde Besleyiciler Ve Ekzotermik Besleyici Malzemeler, Metalurji, 126: 5-12

[13] Foseco, (2003), How To Calculate Feedrs, Borken

[14] Yu, K. (2002), Modeling For Casting And Solidifcation Processing, Marcel Dekker, New York

[15] Magma, Solutions, http://www.magmasoft.com.tr/en/-studies/gettingitright.html?returnto=/en/solutions/ironcasting.html, 18 Ekim 2016

[16] Koç, Ş., (2008), İç Ve Dış Soğutucuların Kullanımı, Metalurji, 150: 56-61

[17] Odabaşı, A., (2004), Kokil Ve Kum Kalıba Döküm Yöntemleriyle Üretilen Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin X-ışınları Ve Taramalı Elektron Mikroskobu

Çalışmalarıyla Karakterize Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

[18] Davis, J.R., (1996), ASM Speciality Handbook Cast Irons, Materials Park, Ohio

[19] Bodsworth, C., (2001), British Iron and Steel AD1800-2000 And Beyond, IOM Communications, London

[20] Elliot, R., (1988), Cast Iron Technology, Butterworth, London

[21] TÜDÖKSAD, (1999), Döküm Hataları Atlası, İstanbul

[22] AFS, (1947), Analysis Of Casting Defects, Chicago

[23] IKO-Erbslöh, (1994), Manuel Of Casting Defects, Germany

[24] Rio-Tinto Iron And Titanium Inc., (2000), Ductile Iron: The Essentials Of Gating And Risering System Design, Montreal

[25] ASTM E446-15, (2015), Reference Radiographs for E446 Steel Castings Up to 2 in. (51 mm) in Thickness - Vol II + Active Standard, ASTM International, West Conshohocken

[26] Vikipedi, Boss (engineering), https://en.wikipedia.org/wiki/Boss_(engineering), 09 Ocak 2017

[27] ASTM A247-16a, (2016), Standard Test Method For Evaluating The Microstructure Of Graphite In Iron Castings, ASTM International, West Conshohocken

[28] EN 1563:2011, (2011), Founding - Spheroidal graphite cast irons, European Standard

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Atahan ERBUL

Doğum Tarihi ve Yeri :08.02.1989 / Bursa

Yabancı Dili :İngilizce

E-posta :atahan.erbul@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Makine Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2017
Lisans	Makine Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2013
Lise	Fen	Şehit Osman Altınkuyu A.L.	2007

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2015	Componenta Dökümcülük A.Ş.	NPI Engineer