

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AĞIR HİZMET SEKTÖRÜNDEKİ DİZEL MOTOR BLOKLARINA
YÖNELİK HAFİFLETME ÇALIŞMALARI

ÜMİT KİRENCİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmal Usulleri Programı

Danışman

Doç. Dr. Anıl AKDOĞAN

Temmuz, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AĞIR HİZMET SEKTÖRÜNDEKİ DİZEL MOTOR BLOKLARINA
YÖNELİK HAFİFLETME ÇALIŞMALARI**

Ümit KİRENCİ tarafından hazırlanan tez çalışması 23.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Anıl AKDOĞAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Anıl AKDOĞAN, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN EKER, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Derya DIŞPINAR, Üye

İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa

Danışmanım Doç. Dr. Anıl AKDOĞAN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Ağır Hizmet Sektöründeki Dizel Motor Bloklarına Yönelik Hafifletme Çalışmaları başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Ümit KİRENCİ

İmza

*Tek Amacı Bizi Okutmak olan Rahmetli Babam Hakkı Kirenci'ye,
Sevgili Annem Nuran Kirenci ve Kıymetli Eşim Işıl Gamze Kirenci'ye*

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda her türlü maddi manevi desteklerinden ötürü saygıdeğer Dr. Ali Serdar VANLI hocam'a özellikle teşekkür ediyorum. Tez sürecindeki en önemli destekçilerimden biriydi. Aynı şekilde tez sürecinde her türlü desteğini esirgemeyen Sayın Anıl AKDOĞAN hocama çok teşekkür ediyorum. Tüm tez sürecinde bana maddi manevi desteğini esirgemeyen ve her konuda sıkıntıma ortak olan eşim Işıl Gaye Kirenci'ye ayrıca teşekkürlerimi sunuyorum.

Çalışma ile alakalı olarak; TÛMOSAN'daki desteklerinden ötürü Enişhan ÖZCAN ve Dr. Alen M. KUYUMCU'ya çok teşekkür ederim. Benzer şekilde bu süreç içinde beni destekleyen tüm TÛMOSAN Motor Teknolojileri Ekibi arkadaşlarıma çok teşekkür ediyorum.

Piyasadaki tecrübelerini aktaran ve döküm simülasyon çalışmalarındaki teknik detaylarda bana destek olan Serkan EVMEZ 'e ayrıca teşekkür ediyorum.

Ümit KİRENCİ

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xv
1 Giriş	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	3
2 Sistem Bilgisi	4
2.1 Motor Tipi ve Parçalar	4
2.2 Motor Bloğu	6
2.2.1 Kuru Gömlek	6
2.2.2 Islak Gömlek	7
2.2.3 Açık Su Kanallı	8
2.2.4 Kapalı Su Kanallı	9
2.2.5 Kısa Etekli	9
2.2.6 Uzun Etekli	10
3 Dökme Demirler	11
3.1 Dökme Demirlerde Sınıflandırma	11
3.1.1 Beyaz Dökme Demir	13
3.1.2 Küresel Grafitli Dökme Demir	13
3.1.3 Lamel Grafitli Dökme Demir	16
3.1.4 Kompakt Grafitli Dökme Demir	18
4 Kum Kalıba Döküm	22
4.1 Döküm Kumu	22
4.1.1 Genel Özellikler	22
4.1.2 Kum Tipleri	23
4.1.3 Döküm Kumunda Aranılan Özellikler	23
4.1.4 Kum Bağlayıcılar	32
4.1.5 Kömür Tozu İlavesi	34
4.2 Yolluk Sistemi	35
4.2.1 Yolluk Sisteminin Özellikleri	39
4.2.1 Yolluk Sisteminde Meme	40
4.2.2 Çıkıcılar	42
4.3 Besleyici Sistemler	42

4.4	Soğutucu Sistemler	44
4.5	Model	45
4.5.1	Model Tipleri ve Malzeme Özellikleri.....	46
4.5.2	Model Tasarımında Dikkat Edilen Hususlar	47
4.6	Döküm Hataları.....	512
4.6.1	Cüruf ve Kum Boşluklarının Hatası.....	52
4.6.2	Eksik Döküm ve Katmer Hatası	53
4.6.3	Gaz Boşluğu Hatası	55
4.6.4	Çekinti Boşlukları.....	55
4.6.5	Kaçıklık ve Maça Yüzmesi.....	56
5	Motor Bloğu Hafifletme Çalışması ve Döküm Simülasyonu	58
5.1	Dökümde Simülasyon	58
5.1.1	Döküm Simülasyonlarında Tanımlanan Parametreler [4]	59
5.1.2	Simülasyon Programından Beklenen Özellikler [19]	60
5.2	Motor Bloğu Hafifletme Çalışması, Döküm Simülasyonu ve Yolluk Tasarımı.....	61
5.2.1	Motor Bloğu Özellikleri.....	61
5.2.2	Hafifletme Çalışmaları	63
5.2.3	Malzeme	71
5.2.4	Prototip ve Hafifletilmiş Yeni Tasarımın Karşılaştırılması	733
5.2.5	Döküm Simülasyonu ve Yolluk Boyutlandırılması	77
5.2.6	İyileştirilmiş Yolluk Tasarımı	84
6	Sonuç ve Öneriler	96
Kaynakça		97
		99

SİMGELİSTESİ

A	Akışkanın o anda geçtiği kesit alanı
A_{filtre}	Filtre kesit alanı
C_A	Kritik kesit alanı
f_k	Filtrasyon kapasitesi
g	Yer çekim ivmesi
H	Etkin döküm yüksekliği
ST	Çekme zamanı yüzdesi
S	Çekme değerinin son hali
t	Döküm süresi
$V_{\text{parça}}$	Parça hacmi
μ	Akışkanın dinamik viskozitesi
ξ	Sürtünme faktörü
π	Pi sayısı
ρ	Yoğunluk
$\emptyset$	Çap

KISALTMA LİSTESİ

GDD	Gri Dökme Demir
KDD	Küresel Grafitli Dökme Demir
KGDD	Kompakt Grafitli Dökme Demir



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Motor Tipleri [11].....	5
Şekil 2.2 Kuru Gömlek'li Bir Motor Bloğu [12].....	7
Şekil 2.3 Islak Gömlek'li Bir Motor Bloğu [12]	8
Şekil 2.4 Açık Su Kanallı Bir Motor Bloğu [3].....	8
Şekil 2.5 Kapalı Su Kanallı Bir Motor Bloğu [12]	9
Şekil 2.6 Kısa Etekli Motor Örneği [12]	9
Şekil 2.7 Uzun Etekli Motor Bloğu Örneği [12]	10
Şekil 2.8 Motor Bloğu Tasarım Konsepti Örnekleri a) Standart Blok Tasarımı b) Ana Yatak Kiriş Güçlendirmeli Kısa Etek Blok c) Blok Merdiven Yapı Güçlendirmeli Uzun Etek Blok d) Ana Yatak Plakalı Kısa Etek Blok Yapısı e) Tünel Motor Blok Yapısı f) Krank Çerçevesi Blok Yapısı [12].....	10
Şekil 3.1 Dökme Demir ve Mikro Yapıları[9,14]	12
Şekil 3.2 ISO 945-1'e göre grafit yapıları[12]	14
Şekil 3.3 ISO 945-1'e göre Lamel Grafitli Dökme Demirin Grafit Dağılımları[16].	17
Şekil 3.4 %10,9 Nodülarite'de KGDD malzeme Mikro Yapısına Ait Görüntü [17] .	19
Şekil 3.5 ISO 16112'ye göre KGDD Yapısı [17]	19
Şekil 4.1 Tane İnceliği - Yaş Mukavemeti Grafiği [19]	24
Şekil 4.2 Farklı Tane İnceliklerine Göre Yaş Mukavemeti Değişimi [19]	25
Şekil 4.3 Kum Şekli - Yaş Mukavemet Grafiği [5]	25
Şekil 4.4 Değişen Bentonit Miktarlarının Nem Oranına Göre Yaş Mukavemet Üzerindeki Etkisi [5]	26
Şekil 4.5 Bentonit Oranı, Nem ve Geçirgenlik Arasındaki İlişkinin Grafiği [5]	27
Şekil 4.6 Kum Tane İnceliği, Nem Oranı ve Gaz Geçirgenliği Arasındaki İlişkinin Grafik Üzerinde Gösterimi [5]	28
Şekil 4.7 Kum Şekli ve Geçirgenliği Arasındaki İlişkinin Grafiği [5]	28
Şekil 4.8 İri Kum Tanesi [19]	29
Şekil 4.9 İnce Kum Tanesi [19]	29
Şekil 4.10 Oval Kum Tanesi [19]	30
Şekil 4.11 Köşeli Kum Tanesi [19]	30
Şekil 4.12 Ayrıntılı Sınıflandırılmış Kum Tanesi [19]	31
Şekil 4.13 Değişik Döküm Kumlarının Termal Genleşmesi [19]	31
Şekil 4.14 Montmorillonit [5]	32
Şekil 4.15 Karıştırılmış Ca ve Na Bentonitlerinin Oranlarına Göre Sıcak Mukavemet Üzerindeki Etkisi [5]	33
Şekil 4.16 Karıştırılmış Ca ve Na Bentonitlerinin Oranlarına Göre Kuru Mukavemet Üzerindeki Etkisi [5]	33
Şekil 4.17 Karıştırılmış Ca ve Na Bentonitlerinin Oranlarına Göre Yaş Basma Dayanımı [19]	34
Şekil 4.18 Yolluk Sistemi [13]	35
Şekil 4.19 Farklı Döküm Ağızları Örnekleri [13]	36
Şekil 4.20 Testere Yolluk Tipi [21]	36
Şekil 4.21 Merdiven Tipi Yolluk [21]	36
Şekil 4.22 Yolluk Tasarımına Örnekler [13]	37
Şekil 4.23 Taban ve Üst Yolluk Örnekleri [13]	37
Şekil 4.24 Meme Kesit Ölçülerinin Belirlenmesi [4]	41
Şekil 4.25 Numune Yüzeyinde Görülen Karınca Hatası Örneği [22]	42

Şekil 4.26 Uygun Olmayan Besleyici Seçimi Nedeniyle Oluşan Çekinti Boşluğu [22].....	43
Şekil 4.27 Kum Dökümde Model Tipleri a) Serbest Model b) Ayırık Serbest Model c) Çift Taraflı Levhalı Model d) Tek Taraflı Levhalı Model [23]	46
Şekil 4.28 Kesikli akan metal, cürufun döküm boşluğu içine girmesine neden olmuştur [22].	53
Şekil 4.29 Düşük yaş mukavemet nedeniyle kalıp köşelerinin kırılması ile parçanın diğer kesitlerine sürüklenen kum taneleri [22]	53
Şekil 4.30 Eksik Döküm Hatalı bir Motor Bloğu Numunesi	54
Şekil 4.31 Emme Manifoldu üzerinde küçük meme girişleri yüzünden oluşmuş bir katmer sakatı [22].	54
Şekil 4.32 Motor bloğu dökümünde karmaşık geometrili bölgedeki gaz sakatı	55
Şekil 4.33 Kalın kesitte besleme hatasına bağlı çekinti boşluğu [22]	56
Şekil 4.34 Kalıp duvar hareketine bağlı, kep dökümündeki çekinti boşluğu [22]..	56
Şekil 4.35 Motor Silindir Kafası dökümünde maça hareketine bağlı işleme payı ve et kalınlığı hatası.....	57
Şekil 5.1 Altair InspireCast programının ara yüzüne ait görüntü.....	59
Şekil 5.2 İlk Tasarım Döküm Blok Datası	62
Şekil 5.3 İlk Tasarım İşlenmiş Blok Datası	62
Şekil 5.4 Traktör Şasinin Bir Parçası Olarak Dizel Motor Bloğu.....	63
Şekil 5.5 TUMOSAN TMSN 5.X Dizel Motoru Montajı.....	65
Şekil 5.6 Tasarım İyileştirme.....	66
Şekil 5.7 Motor Bloğu Yan Yüzeyi.....	67
Şekil 5.8 SN Eğrisi ve Ömür Parametresi.....	71
Şekil 5.9 Blok Ağ Datası.....	74
Şekil 5.10 Blok için oluşturulan Ağ Kalitesi.....	74
Şekil 5.11 Blok Ağ Datası Metrikleri.....	74
Şekil 5.12 Blok ve Sistem ile Birlikte Ağ Görüntüsü.....	76
Şekil 5.13 İlk Blok Tasarımının Sistem ile Analizi ve Burulma Mod Şekli	76
Şekil 5.14 Taslak Yolluk Tasarımı	79
Şekil 5.15 Dolum Süresi Hesabı [5]	79
Şekil 5.16 Parçanın Üst Derecede Olması Durumu [5]	79
Şekil 5.17 Kritik Kesit, Düşey Yolluk Ölçüleri	81
Şekil 5.18 Yatak Yolluk Kesit Ölçüleri.....	81
Şekil 5.19 Meme Kesit Ölçüleri.....	81
Şekil 5.20 Dolum'un 13. Saniyesinden Bir Görüntü	82
Şekil 5.21 Dolum Anında Meme Kesitindeki Yaklaşık Akış Hızları	82
Şekil 5.22 Katılma Anından Bir Görüntü	83
Şekil 5.23 Çekinti Oluşacak Bölgeler	83
Şekil 5.24 Motor Bloğu Üzerindeki Ana Yağ Kanalları ve Geç Katılan Bölgeler ..	84
Şekil 5.25 Besleyici Hesabı.....	86
Şekil 5.26 Besleyici Modülü Hesabında Kullanılan Tablolar [31].....	88
Şekil 5.27 Final Simülasyon Kalıp Datası.....	89
Şekil 5.28 Kritik Kesit, Düşey Yolluk Ölçüleri	90
Şekil 5.29 Yatak Yolluk Kesit Ölçüleri.....	90
Şekil 5.30 Meme Kesit Ölçüleri.....	90
Şekil 5.31 Dolum Sonrası Sıcaklık Dağılımı.....	91
Şekil 5.32 Dolum Sonu Parça Üst Yüzeyi Sıcaklık Dağılımı	91
Şekil 5.33 Meme kesitindeki hız dağılımı.....	92

Şekil 5.34	Dolum esnasında soğuk birleşme bölgeleri.....	92
Şekil 5.35	Katılma Aşamasından Bir Görüntü	93
Şekil 5.36	Parçada en son katılan bölgeler	93
Şekil 5.37	Besleyici ve Parça bünyesindeki çekinti hacimleri.....	94
Şekil 5.38	Çekinti Boşlukları	94



TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 Genel Maksatlı Dökme Demirlerin Kimyasal Kompozisyonu[15]	12
Tablo 3.2 TS526 EN1560:2000 Standartlarında Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Mekanik Özellikleri (Ayrı Dökülmüş Numune) [15].....	14
Tablo 3.3 TS Isı ve EN Standartlarına göre , Lamel Grafitli Dökme Demirler [15].	17
Tablo 3.4 Çeşitli Vermiküler Grafitli Dökme Demirlerin Oda Sıcaklığındaki Mekanik Özellikleri [15]	19
Tablo 4.1 Basınçlı yolluk sisteminin avantaj ve dezavantajları [5]	38
Tablo 4.2 Basınçsız yolluk sisteminin avantaj ve dezavantajları [5]	38
Tablo 4.3 İdeal bir yolluk sisteminden beklentiler ve bu beklentilerin karşılanmaması durumunda ortaya çıkabilecek sorunlar [5]	39
Tablo 4.4 ideal bir Besleyiciden Beklenen Özellikler [5]	43
Tablo 4.5 İdeal bir Soğutucudan Beklenen Özellikler [5]	45
Tablo 4.6 Modelin Kalıp Kumundan Çıkması İçin Verilen Koniklikler[18]	48
Tablo 4.7 Kalıp Kumunun Modelden Çıkması İçin Verilen Koniklikler [18]	49
Tablo 4.8 Dökme Demir Çeşitlerinin Çekme Payları [15]	50
Tablo 4.9 Dökme Demir Parçalarda Model İşleme Paylarının Verilişi [18]	51
Tablo 5.1 İlk Tasarım Motor Bloğu Özellikleri	61
Tablo 5.2 Yük Faktörü [27]	68
Tablo 5.3 Endüstriyel Uygulamalarda Yük Faktörü Örnekleri [28]	69
Tablo 5.4 Isı İletim Katsayısı Karşılaştırması [12]	72
Tablo 5.5 Motor Bloklarında Kullanılan Malzemeler [14]	72
Tablo 5.6 Eski ve Yeni Blok Mod Frekansı Karşılaştırması	75
Tablo 5.7 Hafifletilmiş Blok Datası Özellikleri.....	77
Tablo 5.8 Malzeme ve Kalıba Ait Özellikleri.....	77
Tablo 5.9 EN-GLJ-250 Kimyasal Bileşimi	78
Tablo 5.10 Basınçsız Yolluk, Kesit Oranları ve Kesit Alanları	80
Tablo 5.11 Filtrelerin Döküm Malzemesine Göre Filtreleme Kapasitesi [5]	85
Tablo 5.12 Sedex Filtre Boyutları ve Malzemelere göre özellikleri [5]	85
Tablo 5.13 Basınçsız Yolluk, Kesit Oranları ve Kesit Alanları	89
Tablo 5.14 Döküm Ağırlığı Karşılaştırması	95

Ağır Hizmet Sektöründeki Dizel Motor Bloklarına Yönelik Hafifletme Çalışmaları

Ümit KİRENCİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Anıl AKDOĞAN

Her geçen yıl sıkılaştıran emisyon standartları binek ve ticari dizel motor kullanımının tartışılmasına neden olmaktadır. Fakat ağır hizmet sektöründeki ihtiyaçlar için dizel motorlar günümüz şartlarında popülerliğini korumaya devam etmektedir. Bu nedenle de rekabetçi piyasa şartları ağır hizmet dizel motorlarındaki iyileşme arayışları; gelişen teknoloji beraberinde tasarım ve hafifletme çalışmaları birlikte yürütülerek aralıksız devam etmektedir. İçten yanmalı dizel motorlarda en önemli bileşenlerinden biri motor bloğudur. Motor blokları aynı zamanda motorun en karmaşık geometrilili ve en büyük parçasıdır.

Bu çalışmada, traktör motorunda kullanılmak üzere tasarlanmış ve prototip olarak üretilmiş bir ağır hizmet dizel motor bloğuna yönelik hafifletme çalışması yapılmıştır. Eski ve yeni tasarım bilgisayar desteli analiz yazılımları ile modal analiz yapılarak kıyaslanmıştır. Eski ve yeni tasarımın mod frekansları karşılaştırılarak tasarımın dinamik şartlara karşı tepkileri incelenmiştir. Yapılan hafifletme çalışması sonrasında yeni blok tasarımı üretim parametreleri açısından incelenerek eski tasarım ile karşılaştırılmıştır. Yolluk boyutlandırması yapılmış, döküm esnasında ve sonrasında oluşacak durumlar simülasyon çalışmaları ile incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gri dökme demir, ağırlık hafifletme, tasarım doğrulama, dizel motor bloğu, döküm simülasyonu



Weight Reduction Studies for Heavy Duty Diesel Engine Blocks

Ümit KIRENCİ

Department of Mechanical Engineering
Master in Science Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Anıl AKDOĞAN

Emission standards getting harder and tougher each passing year cause the use of passenger and commercial diesel engines to be discussed. However, diesel engines continue to be popular in today's conditions for the requirements of the heavy-duty industry. Therefore related to competitive market conditions; research and development studies are still ongoing in heavy-duty diesel engines for design and weight reduction associated with new developing technologies. Engine blocks are one of the most important parts of the internal combustion diesel engines. Also, engine blocks are the biggest part of the engine and have complex geometries.

In this study, weight reduction study has been made for a heavy-duty diesel engine block which designed and manufactured for use in the tractor engine as a prototype. Modal analysis of the new and old engine block designs have made via computer-aided analysis software. Dynamic response of the new design compared with the old one, examined according to mod frequencies of the analysis result. Also, the new design was compared with the old design by examining the production parameters. Gate dimensioning was performed, and the situations that would occur during and after the casting were examined by simulation studies. Gate dimensioning was

performed, and the situations that would occur during and after the casting were examined by simulation studies.

Keywords: Grey cast iron, weight reduction, design verification, diesel engine block, casting simulation



1.1 Literatür Özeti

Motor blokları motorun en ağır ve karmaşık geometrili parçalarından biridir. Motorun çalışma şartları dahilinde tüm motor elemanlarına bağlantı ara yüzü sunan, yanma neticesinde oluşan ısıyı üzerinden ileten, güç iletimini için kranka yataklık yapan kritik bir parçadır. Üretimi ve tasarımı kendi alanında titizlikle yapılmaktadır. Bu parçalarda hem yüksek mukavemet, hem hafiflik hem de üretilebilirlik aramaktadır. Fakat bu parametreler biri birini zıt anlamda da etkileyebilmektedir. Bu noktada tasarım ve üretim açısından değerlendirme açısından bilgisayar destekli modelleme ve analiz büyük önem kazanmaktadır.

A. Kuyumcuoğlu çalışmasında, tahrik uygulamaya gerek kalmadan sistemlerin gerçek çalışma şartları altındaki dinamik özelliklerinin belirlenebilmesini hedefleyen çalışma şartlarındaki modal analiz yöntemlerinin, bu süreci daha kolay ve daha ekonomik hale getirmeyi amaçlamıştır ve uygulama için cazip olduğunu belirtmiştir [1].

A. Yılmaz çalışmasında, ticari bir otomobil krankının dinamik özelliklerini modal analiz ile incelemiştir [2].

E. Balcı çalışmasında, motor bloğu üzerindeki federlerin kalınlıkları, yükseklikleri gibi parametrelerin motorun gürültü ve titreşim performansını nasıl etkilediğini araştırmıştır [3].

E. Demirkaya çalışmasında, düşük karbonlu çelikten üretilmiş büyük hacimli bir iş makinesi parçasının yolluk boyutlandırmasını yapmış ve simülasyon programı ile doğrulamıştır [4].

A. Erbul çalışmasında, ticari bir parça için yolluk tasarımı ve boyutlaması yapmış, numune sonuçlarını simülasyon programı ile doğrulamıştır. Meme kesit alanının

meme hızlarına ve dolum süresine etkisini, kritik kesit alanının dolum süresine etkisi simülasyon ile incelemiştir [5].

W. Schöffmann ve arkadaşları; hafif motor tasarım stratejileri konusunda çalışma yapmıştır. Demir esaslı malzemelerle, ince duvarlı tasarımlarda bile düşük yoğunluklu alüminyum, magnezyum gibi metallerin sağladığı avantajın yakalanamadığı fakat yüksek silindir içi basınç ve yüksek mukavemet gerektiren durumlarda demir esaslı malzemelere ihtiyaç olduğu sonucuna varılmıştır [6].

O. Aezmi, hafifletilmiş uzun etekli bir motor bloğu için tasarım konsepti ve üretim metodu hakkında çalışma yapmıştır. Dökme demir motor bloğunda silindirler arası minimum mesafe değiştirilerek, ilave tasarım değişiklikleri ile birlikte 29,9 kg'lık referans bir motor bloğuna göre 9kg hafifleme sağlamıştır [7].

A. Smiht ve arkadaşları; geleceğin motorlarındaki yüksek performanslı ve dayanıklılık ihtiyaçlarına göre motor bloğu ve silindir kafası geliştirilmesi konusunda çalışma yapmıştır. Üretilen motor 1000 saatlik dayanıklılık testini sorunsuz tamamlanmıştır [8].

W. Schöffmann ve arkadaşları; mekanik, akustik ve üretim yaklaşımlarıyla hafifletilmiş motor yapıları üzerine bir çalışma yapmıştır. Farklı malzemelerin karşılaştırmalı sonuçları paylaşılmıştır. Maksimum silindir içi basıncı mukavemeti kompakt grafitli dökme demirde sağlamış, akustik açıdan magnezyum alüminyuma göre biraz daha dezavantajlı olduğu görülmüş, üretim açısından kg başına en yüksek maliyet magnezyum alaşımında, en düşük maliyet dökme demirde görülmüştür [9].

1.2 Tezin Amacı

Günümüzde motor tasarımları ilk aşamadan itibaren bir aile olarak düşünülerek tasarıma başlanmaktadır. Özetle aynı motor bloğu ve silindir kafası, istelere göre iş makinesinde, gemi makinelerinde ve jeneratörlerde kullanılabilir. Bu durumda temel olarak birbirine benzeyen ama çalışma şartları dikkate alındığında sadece özel noktalarda ayrılan motorlar ortaya çıkmaktadır. Bir traktörde kullanıldığında traktörün şasisinin bir parçası olarak düşünülen motor, jeneratörde ise bir paketin içinde sadece belirli güç ve devirde çalışmak üzere kullanılmaktadır. Günümüz rekabetçi piyasa şartları her şarttaki motorun en uygun şekilde üretilip

tasarlanmasını gerektirmektedir. Bu çalışmada da temelinde traktör motoru olarak tasarlanmış bir motor bloğu, endüstriyel uygulamalarda kullanılmak üzere üretilebilirliği korunarak tasarım değişikliği yapılacak ve daha hafif bir tasarım hazırlanması amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Traktör motoru olarak tasarlanan motor bloğu, aynı zamanda traktörün şasisinin bir parçası olduğu için çevre ve işletme şartları dikkate alınarak daha emniyetli olacak şekilde tasarlanmıştır. Genel et kalınlıklarından, bağlantı ara yüzlerindeki güçlendirmelere kadar daha birçok noktada ilave güçlendirmeler yapılmıştır. Çünkü araç tarafından gelecek yüklere karşı da dayanıklı olması beklenmektedir.

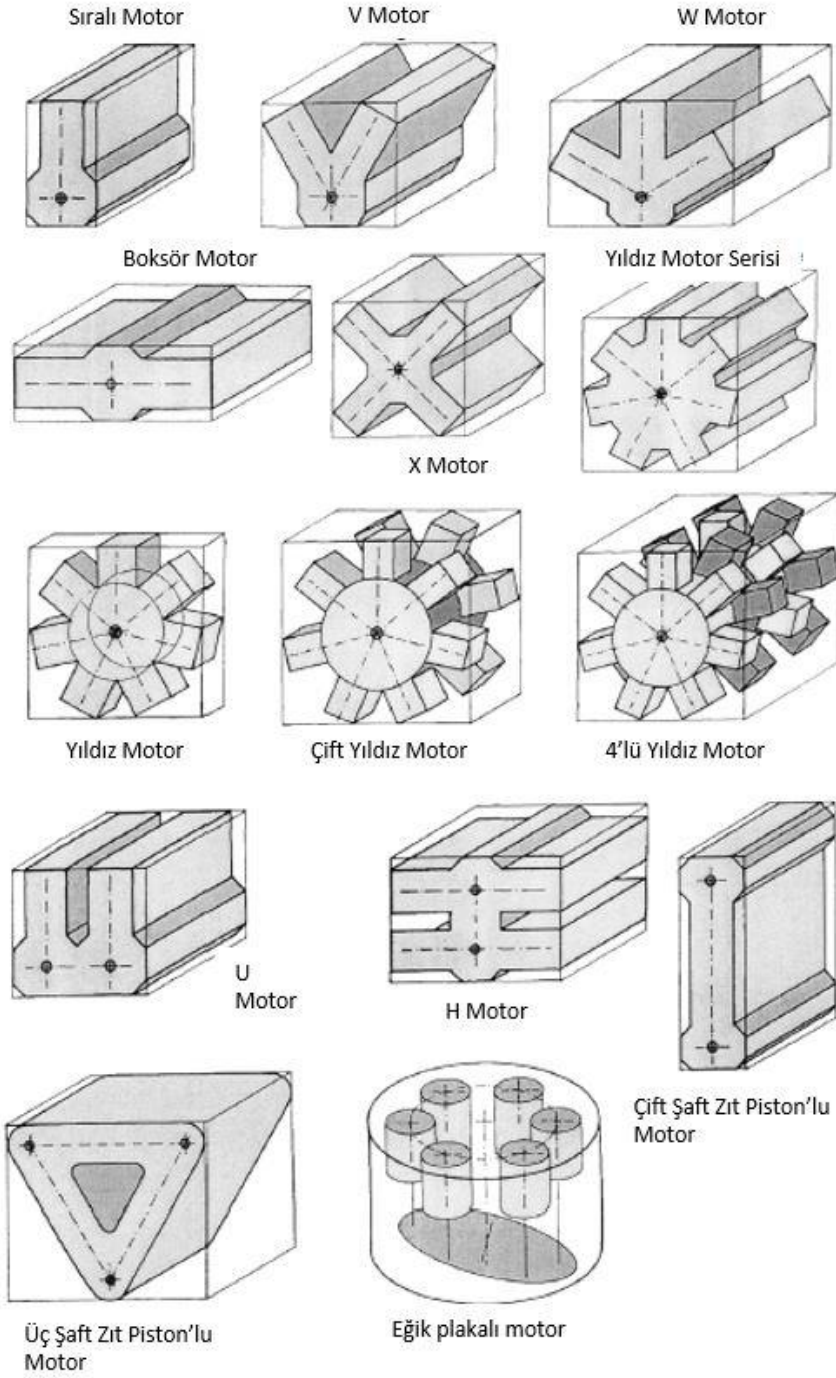
Endüstriyel uygulamalarda ise çalışma şartları ve çevre şartları nispeten daha belirli ve sınırlıdır. Bu düşünceden yola çıkarak güçlendirmelerde ve genel et kalınlıklarında üretime engel olacak değişiklikler yapmadan hafifletilme sağlanacağı fikri savunulmuştur.

Bu bölümde, bu çalışmada da kullanılan içten yanmalı pistonlu motorlar hakkında gelen bilgi verilerek, çalışmada kullanılacak motor ve motor parçası hakkında bilgi verilmiştir.

2.1 Motor Tipi ve Parçalar

İçten yanmalı pistonlu motorlar birden çok farklı parça ve alt sistemden meydana gelmektedir. En temel ayrımları yakıt tipine göre yapılmaktadır. Yakıt tipine göre günümüzde en çok kullanılan motorlar dizel ve benzinli motorlardır [10]. Yakıt sistemine bağlı olarak da motorun bazı temel parçalarında tasarım değişiklikleri de dahil olmak üzere, alt sistemlere kadar bir çok farklılık bulunmaktadır. Motor komponentlerini üretim açısından değerlendirdiğimizde tasarımı ve üretimi en zorlayıcı parçaların başında motor bloğu ve silindir kapağı gelmektedir. Çalışma şartları gereği yüksek mekanik etki ve ısı etkisi altındadırlar. Aynı zamanda içlerinde, yanma sonucu ortaya çıkan ısıyı uzaklaştırmak üzere soğutma kanalları ve kaymalı çalışan yatakları yağlamaya yarayan yağlama kanalları bulunmaktadır.

Çok farklı motor tipleri bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; Sıra tipi motor, V tipi motor, Wankel Motor, Boksör motor'dur.



Şekil 2.1 Motor Tipleri [11]

2.2 Motor Bloğu

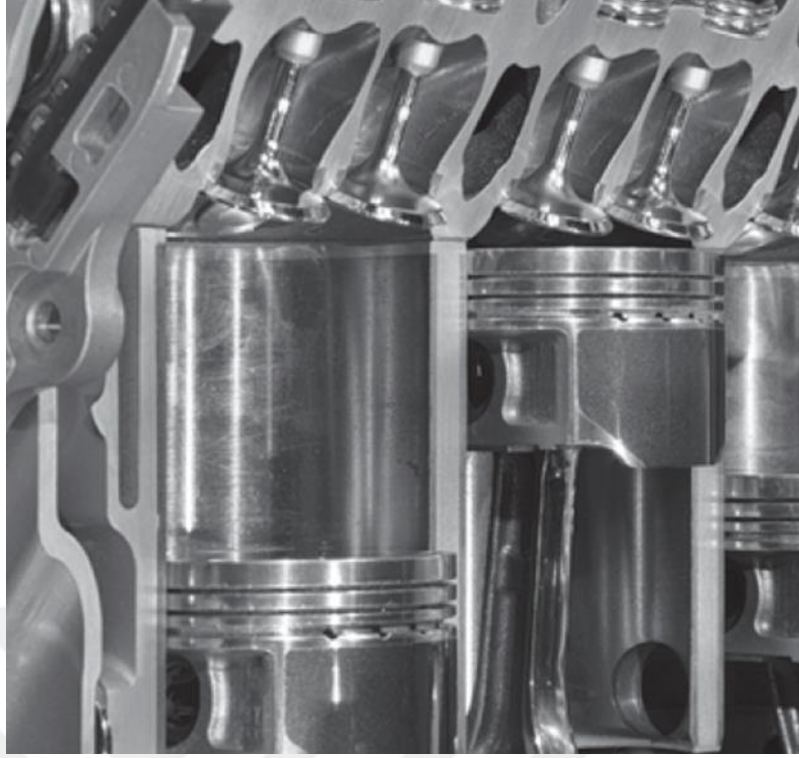
Motorun gövdesini oluşturmaktadır. Bir motor montajında tüm bileşenler motor bloğu üzerine takılır. Kullanıldığı uygulama yerine göre de aracın taşıyıcı gövdesini destekleyecek özellikte dahi olabilir.

İçerisinde piston ve krank mekanizması vardır, aynı zamanda yanma neticesinde ortaya çıkan ısıyı atmak üzere soğutma sıvısı kanalları bulunmaktadır. Benzer şekilde yağlama kanalları da motor bloğu gövdesi içinde yer almaktadır. Pistonlara ve kranka yataklık yapacak silindir yuvalarına ve ana yataklara sahiptir. Motorun herhangi bir araca veya sisteme montajı motor bloğu üzerinde bulunan bağlantı noktaları ile yapılır. Üretim yöntemi için kum kalıba döküm; malzeme için alüminyum alaşımları, lamel grafitli dökme demir ve kompakt grafitli dökme demir örnek olarak verilebilir.

Motor blokları çok farklı tasarımlarda olabilmektedir. Piston yataklama kısmında kuru ve ıslak gömlek olarak iki tipte, soğutma ceketinde açık ve kapalı olarak iki tipte, bloğun krank eksenine altına uzaması durumuna göre de iki farklı tipte motor bloğu vardır.

2.2.1 Kuru Gömlek

Motor bloğu ile piston deliklerinin yekpare olduğu, silindir deliklerinin doğrudan blok üzerinde yer aldığı motor bloğu tipidir. Soğutma sıvısı blok içindeki kanallardan geçerek silindir cidarını soğutur. Motorda aşınma oldukça, tekrar talaş kaldırma işlemi yapılarak iyileştirme yapılır. Bu esnada silindir cidarı incelir. Bu nedenle motor bloğunun sınırlı bir ömrü bulunmaktadır. Belirli bir sınırın altındaki cidar kalınlıklarında motor bloğu görevini yerine getirememektedir.

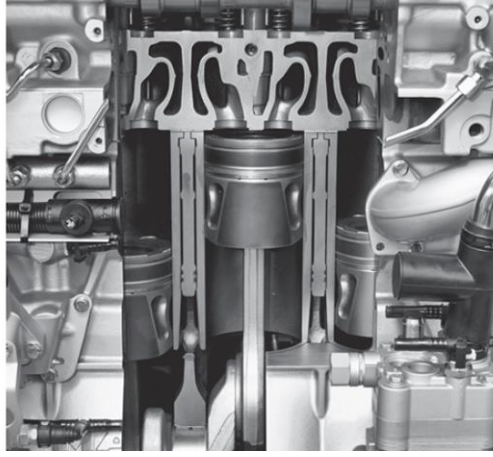


Şekil 2.2 Kuru Gömlek'li Bir Motor Bloğu [12]

2.2.2 Islak Gömlek

Islak gömlek diye tabir edilen piston yatakları, harici birer parça olup, motor bloğuna sıkı geçme yoluyla birleştirilirler. Burada motor bloğu tasarımı kuru gömlek düzeninden farklılaşmaktadır. Soğutma sıvısı motor bloğu içinden geçerek tüm gömlek yüzeyini dolaşarak daha etkin bir soğutma sağlar. Motor bloğu içindeki soğutma sıvısı hacmi artar. Geçme olarak yerleştirilen bu gömlekler motor bloğuna üstten ve alttan olmak üzere referanslarsak yerleştirilir. Alt kısmında sıvı kaçağı olmaması için lastik o-ring 'ler kullanılır.

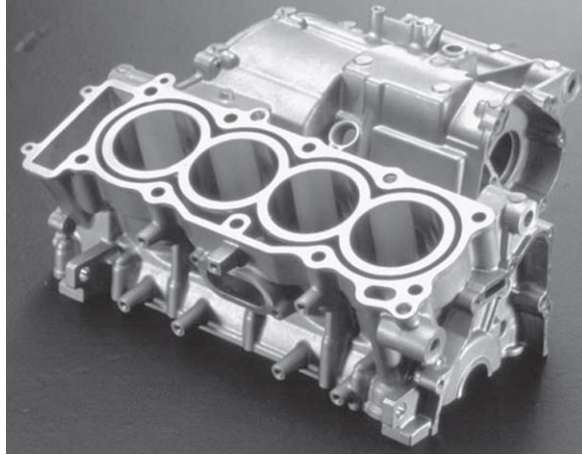
Silindir gömlekleri yüksek basınç ve sıcaklık altında çalışırlar, ayrıca ortaya çıkan ısıyı iyi iletmesi istenir. Günümüzde dökme demir ve alüminyum malzemedен üretimleri yapılmaktadır [12].



Şekil 2.3 Islak Gömlek'li Bir Motor Bloğu [12]

2.2.3 Açık Su Kanallı

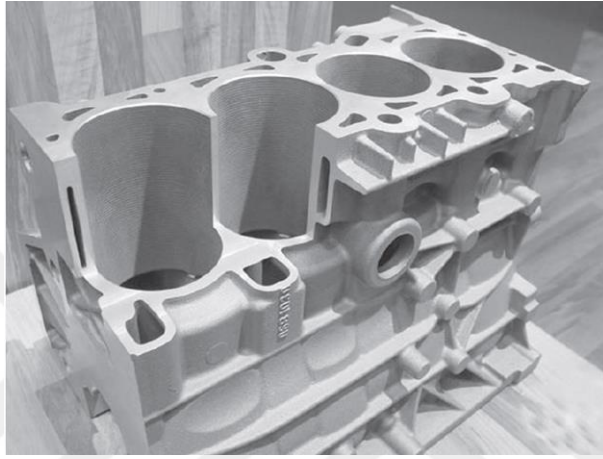
Açık su kanallı motor bloğu tasarımlarında su kanallarının üst kısmı motor bloğunun üst kısmına doğru açıktır. Yani su kanallarına silindir kafası kapak görevi yapar. Kapalı su kanalı yapısına göre blok rijitliği kısmen düşüktür. Açık su kanalı tasarımı sayesinde motor blokları yüksek basınçlı döküm ile üretilbilirler. Seri imalat ve yüksek adetli üretimlerde tercih edilmektedir. Kapalı su kanalı tasarımında su kanallı motor bloğu içerisinde kaldığı için kalıp tasarımı içerisine dahil edilmesi mümkün değildir [12].



Şekil 2.4 Açık Su Kanallı Bir Motor Bloğu [3]

2.2.4 Kapalı Su Kanallı

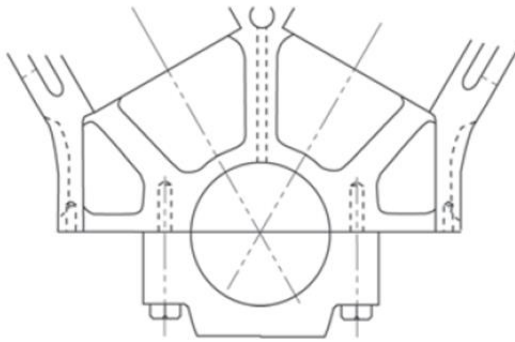
Su Kanalları motor bloğunun içinde silindir cidarlarının etrafından geçecek şekilde kapalı bir hacim içerisinde yer alırlar. Kapalı su ceketli motor bloğu üretiminde tamamen kapalı bir yapıya sahip olduğu için kum kalıba döküm yönteminde kalıp içerisine yerleştirilen maça ile döküm boşluğu oluşturularak elde edilir. Kapalı su kanallı blok tasarımlarında bloğun rijit yapısı korunur, aynı zamanda silindir cidarlarının da daireselliği sağlanmış olur [12].



Şekil 2.5 Kapalı Su Kanallı Bir Motor Bloğu [12]

2.2.5 Kısa Etekli

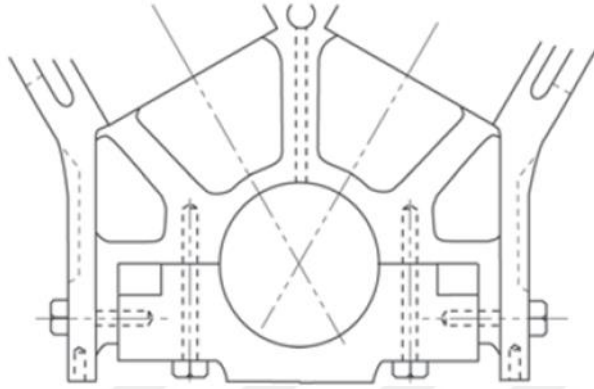
Motor bloğu yapısının krank eksenini hizasında olduğu blok tasarımlarına denir. Bu tip blok tasarımlarında krankı yerinde tutan yataklar, motor bloğu ile düşey olarak bağlanır.



Şekil 2. 6 Kısa Etekli Motor Örneği [12]

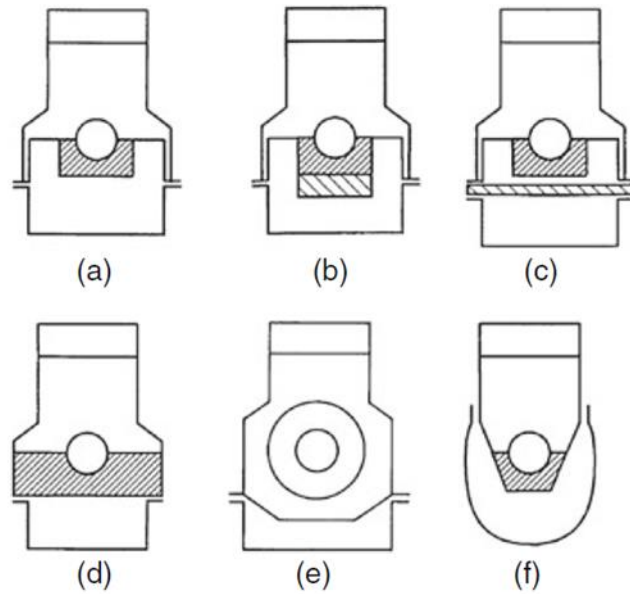
2.2.6 Uzun Etekli

Uzun etek olarak adlandırılan motor bloklarında blok yapısı krank eksenini altına doğru uzanır. Burada krankı yerinde tutak yataklar blok ile yatay ve düşey olarak bağlanabilir. Rijit bir blok yapısı sağlar ve daha yüksek piston kuvvetlerine çıkılabilir.



Şekil 2.7 Uzun Etekli Motor Bloğu Örneği [12]

Ayrıca şekil 2.8’de diğer motor bloğu konseptlerini görebilirsiniz.



Şekil 2.8 Motor Bloğu Tasarım Konsepti Örnekleri a) Standart Blok Tasarımı
b) Ana Yatak Kiriş Güçlendirmeli Kısa Etek Blok c) Blok Merdiven Yapı
Güçlendirmeli Uzun Etek Blok d) Ana Yatak Plakalı Kısa Etek Blok Yapısı e) Tünel
Motor Blok Yapısı f) Krank Çerçevesi Blok Yapısı [12]

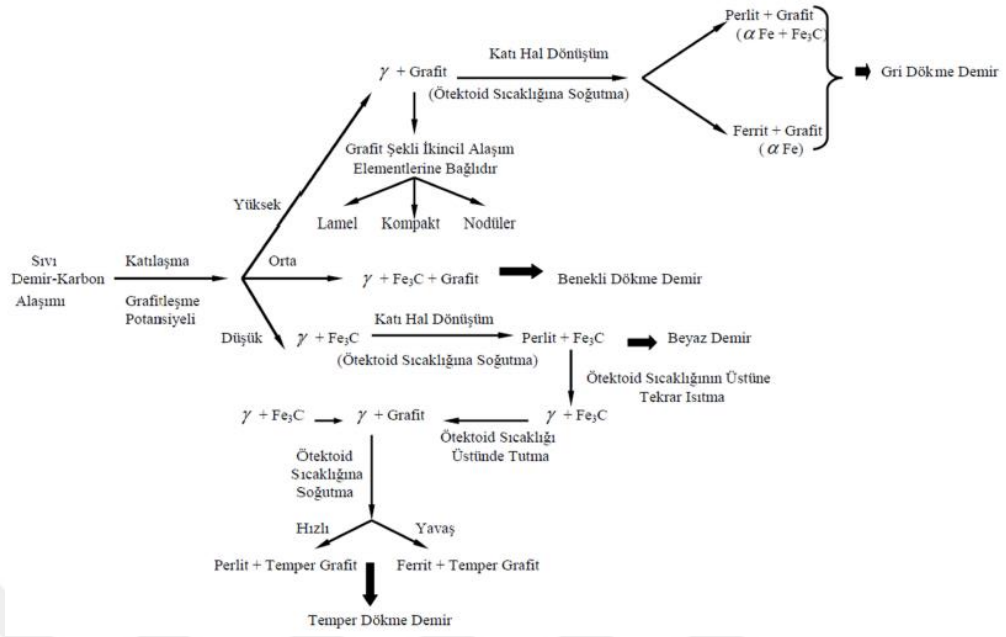
Dökme demirler %2,11 ile %6,67 arasında karbon oranına sahip olan demir-karbon alaşımlarına verilen bir isimdir. İçerisindeki karbon miktarına ilave olarak %1 ile %3 arası silisyum içerirler. İçerisinde karbon ve silisyuma göre çok daha az miktarda da mangan, kükürt ve fosfor vardır. Matris yapısının düzenlenmesi için Mo, Cr, Sn, Cu, Ni gibi alaşım elementleri de ($>0,1$) oranın da içerebilmektedir [9,13,14].

Dökme demirlerde iç yapının homojen olması, döküm kolaylığı dolayısı ile genellikle ötektik bileşime yakındırlar. İçerisindeki silisyumun oranı arttıkça ötektik noktayı sola kaydırmaktadır. Yoğunlukları da 7,2 .. 7,4 g/cm³ arasında değişmektedir.

Döküm imalat tekniğinde en çok kullanılan malzemelerin başında dökme demir alaşımları gelir [9,13,14].

3.1 Dökme Demirlerde Sınıflandırma

Dökme demirlerin sınıflandırması farklı şekillerde yapılabilmektedir. Çünkü dökme demirler bir malzeme sınıfına verilen genel bir ad. İçerisindeki karbon miktarı %2'den büyük olduğunda dökme demir olarak adlandırılır. Matris yapısına göre sınıflandırma; ferritik, perlitik, östenitik, martenzitik, beynitik şeklindedir [9,14]. Ticari adlandırmasına göre sınıflandırma ise; küresel grafitli dökme demir, lamel grafitli dökme demir, beyaz dökme demir olarak yapılmaktadır [9,14]. Yapılan bazı işlemler neticesinde aldığı yeni özellikler ile çil uygulanmış dökme demir, temper dökme demir, kompakt grafitli dökme demir, yüksek alaşımlı dökme demir olarak adlandırılırlar [9,14].



Şekil 3.1 Dökme Demir ve Mikro Yapıları [9,14]

Tablo 3.1 Genel Maksatlı Dökme Demirlerin Kimyasal Kompozisyonu [15]

Dökme Demir Çeşidi	% C	% Si	% Mn	% P	% S
Lamel Grafitli Dökme Demir	2,5-4	1-3	0,2-1	0,002-1	0,02-0,25
Kompakt Grafitli Dökme Demir	2,5-4	1-3	0,2-1	0,01-1	0,01-0,03
Küresel Grafitli	3-4	1,8-2,8	0,1-1	0,06-0,2	0,06-0,2

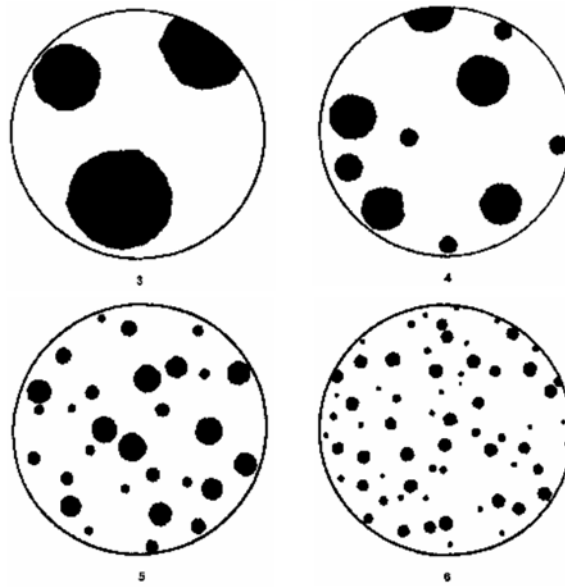
Dökme Demir					
Beyaz Dökme Demir	1,8-3,6	0,5-1,9	0,25-0,8	0,06-0,2	0,06-0,2
Temper Dökme Demir	2,2-2,9	0,9-1,9	0,15-1,2	0,02-0,2	0,02-0,2

3.1.1 Beyaz Dökme Demir

Beyaz dökme demirde içinde bulunan karbon elementi çözünmüş halde bulunur. Karbon ayrışmasını azaltmak için içerisinde bulunan silisyum oranının %0.5 ... 1,5 arasında tutulması gerekmedir. Oldukça kırılgan bir yapıdadır. Kırıldıklarını zaman kırılma yüzeylerinde beyaz bir görüntü sergiledikleri için bu adı almışlardır.

3.1.2 Küresel Grafitli Dökme Demir

Küresel Grafitli dökme demirde ayrışan grafit şekilleri küreyi andırdıkları için bu adlandırma yapılmıştır. Diğer adlandırmaları; nodüler ve düktil 'dir. Ötektik orandaki grafit, katılaşma sırasında ince dağılmış küre haline getirilir. Grafit yapısının küre şeklini alabilmesi için ergiyik içine magnezyum, kalsiyum, seryum gibi elementler katılır. Grafit yapısının küreleşmesi malzeme dayanımını arttırmaktadır. Küresel grafitli dökme demirlerde korozyon ve yüksek sıcaklık dayanımını arttırmak için az miktarda Ni, Mo,Cu ile alaşımlandırılırlar [15].



Şekil 3.2 ISO 945-1'e göre grafit yapıları [12]

Günümüzde kullanılmakta olan EN 1560 standardına göre adlandırmada çekme dayanımı ve kopma uzaması dikkate alınmıştır. Çentik darbe dayanımı istenen EN-GJS-350-22, EN-GJS-400-18 kalitelerin sonuna LT, düşük sıcaklıkta anlamında; RT, oda sıcaklığında anlamında harfleri eklenmiştir.

Tablo 3.2 TS526 EN1560:2000 Standartlarında Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Mekanik Özellikleri (Ayrı Dökülmüş Numune) [15]

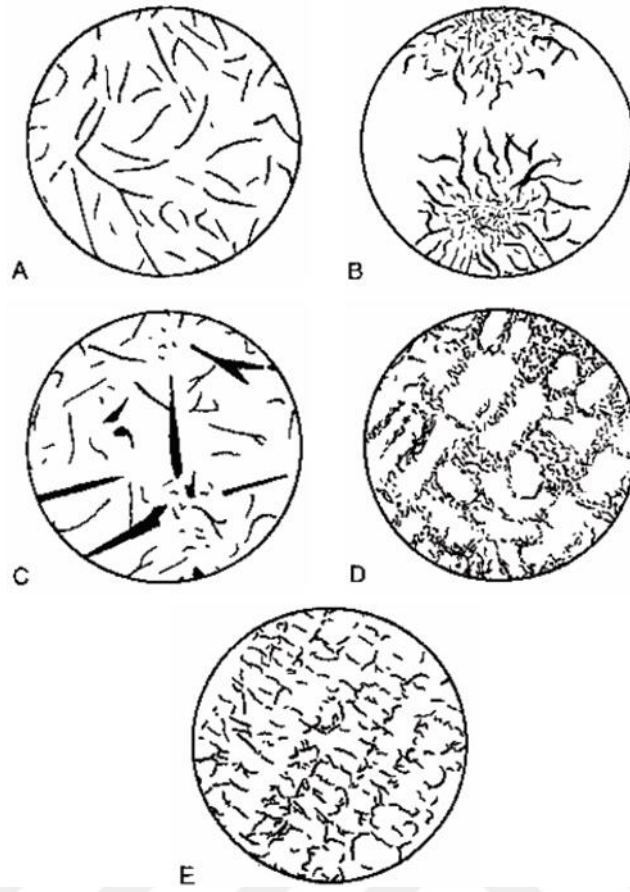
Malze- me Adı	Çekme Dayanı- mı Rm, min	Akma Dayanı- mı Rp0,2 ,min	Kopma Uzaması ,min	Eğme Yorulma Dayanımı	Kesme ve Burma Dayanı- mı	Elastisite Modülü (Çeki ve Basıda)
	MPa	MPa	%	MPa	MPa	GPa
EN-GJS- 350-22	350	220	22	180	315	169

EN-GJS- 350-22 RT	350	220	22	180	315	169
EN-GJS- 350-22 LT	350	220	22	180	315	169
EN-GJS- 400-18	400	250	18	195	360	169
EN-GJS- 400-18 RT	400	250	18	195	360	169
EN-GJS- 400-18 LT	400	250	18	195	360	169
EN-GJS- 400-15	400	250	15	195	360	169
EN-GJS- 450-10	450	310	10	210	405	169
EN-GJS- 500-7	500	320	7	224	450	169
EN-GJS- 600-3	600	370	3	248	540	174
EN-GJS- 700-2	700	420	2	280	630	176

EN-GJS-800-2	800	480	2	304	720	176
EN-GJS-900-2	900	600	2	317	810	176
Poisson oranı tüm kaliteler için $\nu=0,275$ 'tir. Diğer bilgiler için ilgili standarda bakınız.						

3.1.3 Lamel Grafitli Dökme Demir

Kırılma sonrasında kırılma sonrasında oluşan yüzeyde gri rengi andıran bir yapıda olması sebebiyle gri dökme demir olarak da adlandırılırlar. Katılaşma evresinde ayrışan karbonun yapraksı yapıda olması nedeniyle lamel grafitli dökme demir olarak adlandırılır. Fakat keskin uçlu yapıları mikro çatlat oluşturmaya meyilli olduğu için dayanımı küresel grafitli dökme demire göre daha düşüktür. Lamel grafitli dökme demirlerde ısı işlem uygulanabilmektedir. Isıl işlem sonrası lamel yapıları değişmemekte, sadece matris yapı değişmektedir. Karbon 'un yapraksı yapısı sayesinde ısı iletimini yüksektir. Bu malzeme seçilirken her zaman dayanım şartı aranmaz, ısı iletimi iyi olduğu içinde özellikle seçildiği durumlar olabilmektedir. Otomotivde kullanılan fren balataları buna örnek olarak verilebilir. EN ISO 945-1 standardında grafit yapıları sınıflandırılmıştır. Ayrıca standartta lamel grafitli dökme demirlerin adlandırması çekme mukavemetine göre yapılmıştır [16].



Şekil 3.3 ISO 945-1'e göre Lamel Grafitli Dökme Demirin Grafit Dağılımları [16]

Tablo 3.3 TS Isı ve EN Standartlarına göre , Lamel Grafitli Dökme Demirler [15]

EN Sembol	TS 552 Sembol	DIN 1691	Çekme Dayanımı	Elastisite Modülü
			R _m (min)*	
			MPa	GPa
EN-GJL-100	DDL-10	GG-10	100	78-103
EN-GJL-150	DDL-15	GG-15	150	88-113
EN-GJL-200	DDL-20	GG-20	200	103-118
EN-GJL-250	DDL-25	GG-25	250	108-137

EN-GJL-300	DDL-30	GG-30	300	123-143
EN-GJL-350	DDL-35	GG-35	350	
	DDL-40	GG-40	400	
* 30mm çapta dökülmüş, 20 çapa tornalayarak deney yapılmıştır.				

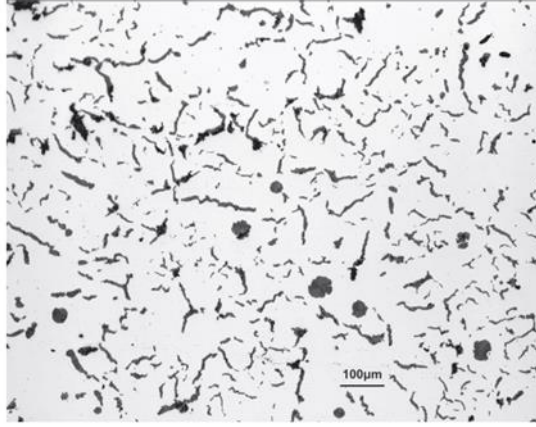
3.1.4 Kompakt Grafitli Dökme Demir

Kırılma Yapısal zellikleri dikkate alındığında lamel grafitli dökme demirler ısı iletimi ihtiyacının olduğu yerlerde, küresel grafitli dökme demirler ise dayanımın önemli olduğu yerlerde tercih edildiği görülmektedir. Kompakt grafitli dökme demir, sahip olduğu özellikler bakımından tam bu iki malzemenin arasında yer almaktadır. Isı iletimi lamel grafitli dökme demir kadar iyi değil, ama daha dayanıklı; dayanımı küresel kadar yüksek değil ama ısı iletimi daha iyi.

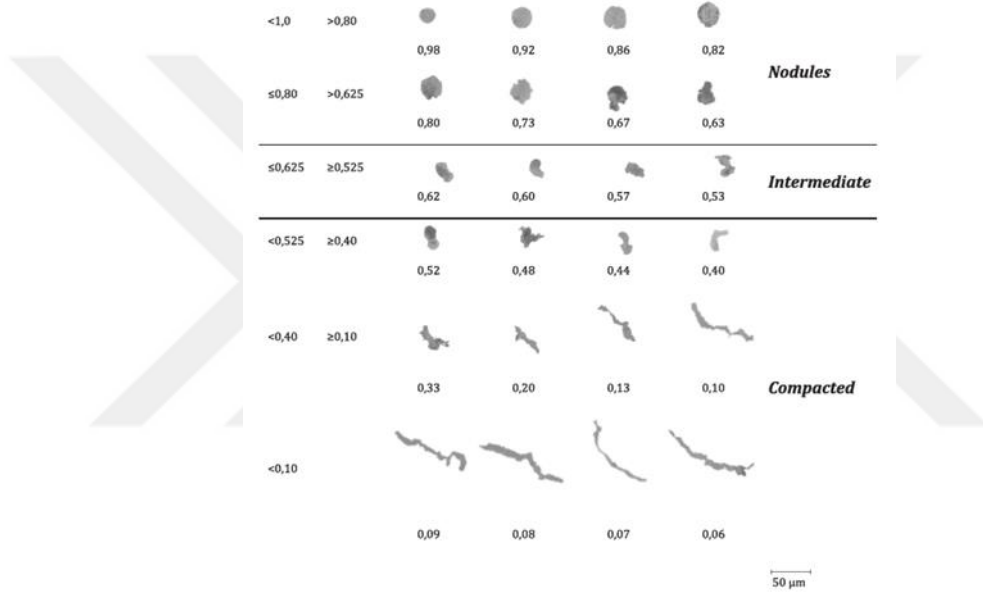
Başlangıçta retim hatası gibi görülüp ıskarta ayrılan bu malzeme şekli, günümüzde motor blokları gibi hem ısı iletimi hem de dayanım gerektiren önemli bir üründe karşılık bulmaktadır.

Grafit yapısının kontrolü için ergiyik Mg ile alaşımlandırılmaktadır. Bu işlemde yapıda küresel özellikte grafit oluşumu da ortaya çıkıyor, bu nedenle bir malzemenin kompakt grafitli dökme demir olarak adlandırılması için en fazla %20 oranında küre şekilde grafit yapısı istenmektedir [17].

Grafit yapısı küre ile lamel arasında bir özellik göstermektedir. ISO EN 16112 standardında bu yapı 5 farklı şekilde belirtilmiştir.



Şekil 3.4 %10,9 Nodülarite'de KGDD malzeme Mikro Yapısına Ait Görüntü [17]



Şekil 3. 5 ISO 16112'ye göre KGDD Yapısı [17]

Tablo 3.4 Çeşitli Vermiküler Grafitli Dökme Demirlerin Oda Sıcaklığındaki Mekanik Özellikleri [15]

Yapısal Durum	Grafit Tipi	Çekme Dayanımı	Rp0,2 Gerilmesi	Sertlik	Kopma Uzaması,
		MPa	MPa	HB	%
• Seryum İlaveli Dökme Demirler					

Ferrit Dökme (>%95 F)	95%CG, 5%SG	336	257	150	6,7
Ferrit-Perlitik (> %5 P)	95%CG, 5%SG	298	224	128	5,3
Ferrit-Perlitik (90%F,%10P)	85%CG,15% SG	371	267		5,5
100% Ferrit	85%CG,15% SG	338	245	140	8
100% Ferrit	CG	365±63	278 ± 42	138- 156	7,2 ± 4,5
Ferrit-Perlitik (> 90%F,<%10P)	>90% CG	300-400	250-300		3-7
Ferrit-Perlitik (85%F)	70%CG,30% SG	320	242	164	3,5
Perlitik (90%P ,%10F)	90% CG	400-550	320-430		0,5-1,5
Perlitik (95%P ,%5F)	80%CG,20% SG	410	338	220	1
• Mg+Ti (+Ce) Bileşimle Dökme Demirler					
Ferrit Dökme (0,004%Ce,<0,01% Mg,0,28Ti)	95%CG,5%S G	319	264	143	4
Ferrit %100 (Tavlanmış) (0,018%Mg,	CG	292	225	129	6

0,089Ti, 0,032%As)					
Ferrit Döküm (0,017%Mg, 0,062Ti, 0,036%As)	CG	380	272	179	2
Ferrit Döküm (0,024%Mg, 0,084Ti, 0,030%As)	CG	388	276	184	2,5
Ferrit Döküm (0,016%Mg, 0,094Ti, 0,067%As)	CG	414	297	205	2
Ferrit Döküm (0,026%Mg, 0,083Ti, 0,074%As)	CG+SG	473	335	217	2
Perlit Döküm (%70P,%30F)	CG	386	278		2
CG: Kompakt (Grafitlerin %80'dan fazlası vermicular, gerisi küresel),SG: Küresel Grafit					

4.1 Döküm Kumu

4.1.1 Genel Özellikler

Yöntemin adı, anlaşılacağı üzere yöntemde en çok kullanılan malzemeden almıştır. Dökülecek ürünün ölçekli ve üretime özel bire bir kopyası bir model yardımıyla parçanın negatifi, kum kalıbın içinde oyuntu şeklinde oluşturulur. Döküm esnasında da bu şeklin bozulmaması istenir.

Kum, doğadaki durumundan ötürü birçok açıdan diğer kalıp malzemelerine göre daha avantajlı durumdadır. Doğada bolca bulunması, kolay ulaşılır ve ekonomik özellik katmaktadır. Bu da döküm ile imalat yönteminde en çok tercih edilmesi nedenleri arasında en başta gelir [15,18].

Kalıp için kullanılan kum, bir yıkama işlemi sonrası elde edilen saf kuvars kumuna, gerektiği kadar kil ve diğer yardımcı malzemelerin eklenmesiyle elde edilir. Yardımcı malzemelere olarak bentonit, öğütülmüş zahire atıkları, pülverize kömür, odun talaşı gibi malzemeler katılır [18].

Kalıp kumu mevcut kil miktarına göre üç farklı şekilde sınıflandırılır, zayıf kum; %5 ile 8 arasında kil bulunur. Yaş kalıplar zayıf kumundan yapılmaktadır. Genellikle ince cidarlı parça üretiminde kullanılır. Orta yağlı kum; içerisinde %8-20 kil bulunur. Bu kum ile yapılmış kalıp kurutulurken mukavemet artışı sağlanmış olunur. Kalın cidarlı ve büyük parçalar için uygundur. Yağlı kum; %20-35 arası kil içerir. Mutlaka kurutulmalıdır [18].

Nasıl elde edildiği ve kullanım şekline göre de kumlar üçe ayrılmaktadır. Yeni kum; Daha önce hiç kullanılmamış, kullanıma hazır kumdur. Eski kum; Döküm yapılmış kalıbın bozulması ile ortaya çıkan kullanılmış kumdur. Kullanma kumu ise; eski kuma %20-50 arasında yeni kum, %5-12 su, S5-15 arasında da taş kömürü tozu katılarak elde edilen kuma denmektedir [18].

4.1.2 Kum Tipleri

4.1.2.1 Silis Kumu

Kolay temini ve doğada çok bulunması sebebiyle en çok tercih edilen kum, silis (SiO_2) kumudur. Ayrıca silis kumu çok yüksek refrakter özelliği sahiptir [5].

4.1.2.2 Olivin Kumu

Bu kum çeşidini silis kumundan ayıran en önemli özellik ısı genleşme bakımından üstün olmasıdır. Bu nedenle, özellikle çelik dökümlerinde kalıbın ölçüsel kontrolünü sağlamak adına tercih edilmektedir. Olivin kumu, köşeli yapıya sahip bir kum çeşididir. Olivin kumu, Mg_2SiO_4 ve Fe_2SiO_4 katı karışımı şeklindedir [5].

4.1.2.3 Zirkon Kumu

Zirkon kumunun kimyasal bileşimi ZrSiO_4 'tür. Zirkon kumu çok iyi dökümhane karakteristiklerine sahiptir, ayrıca yüksek refrakter özelliktedir [5]. Zirkon en önemli avantajları, çok az ısı genleşme, yüksek ısı iletkenlik ve ergiyik metal ile reaksiyona girme özelliğinin düşük mertebede olmasıdır [5]. Zirkon kumu, oval şekilde bir yapıya sahiptir [5].

4.1.2.4 Kromit Kumu

Siyah ve köşeli yapıda olan bir kum çeşididir [5]. Formülü FeCr_2O_4 şeklindedir. Yüksek ölçüde refrakter olup kimyasal tepkimeye girme eğilimi çok düşüktür. Çok iyi soğuma özelliklerine ısı kararlılığı da yüksektir [5].

4.1.3 Döküm Kumunda Aranacak Özellikler

Döküm sürecinin emniyetle yapılması ve parçanın sorunsuz bir şekilde kalıptan çıkması için kalıp kumunda bazı özellikler aranmaktadır.

4.1.3.1 Mukavemet

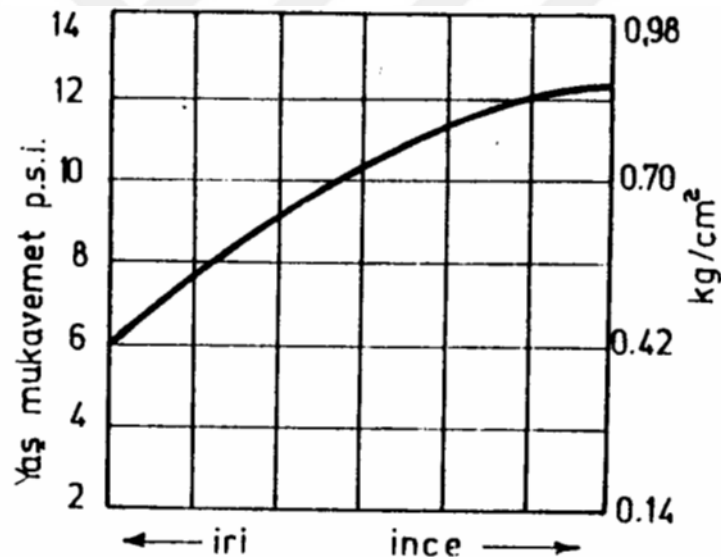
Kalıp kumunda sıcak, yaş ve kuru mukavemet aranmaktadır. Kuma su karışması durumunda kalıbın şekil alabilmesi için kumun yeterli mukavemette olması beklenir. Bu mukavemete yaş mukavemet denir [5]. İçerisinde su bulunan kalıba giren yüksek sıcaklıktaki ergimiş metal kalıp kumundaki suyu buharlaştırır. Bu durumda

da kalıp kumunun gösterdiği mukavemete kuru mukavemet denir. Kalıbın ergiyik metal karşısındaki erozyon direncinin yüksek olması kuru mukavemetinin yüksek olması ile doğru orantılıdır [5].

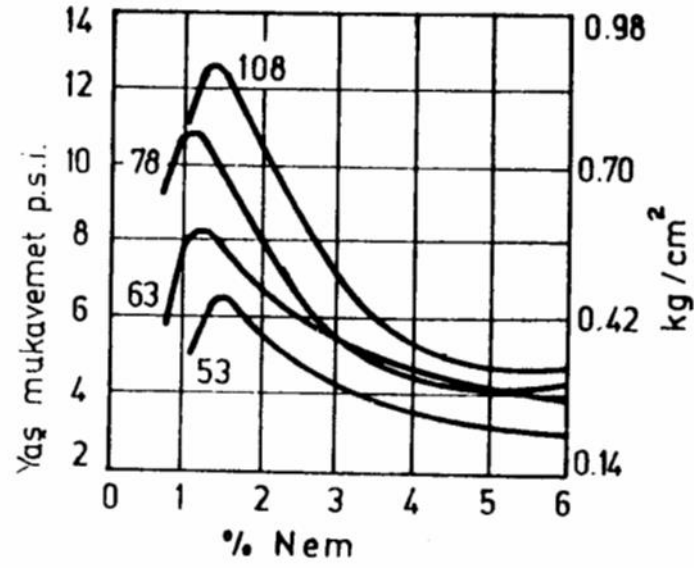
Sıcak mukavemet ise 150°C sıcaklığın üstünde metal basıncı etkisi ile büyümemesi, bu yüksek sıcaklık etkisinde herhangi bir bozulma, çatlama göstermemesine denmektedir [5].

Yaş mukavemet değerinin ilişkili olduğu bazı parametreler vardır. Bu parametreler, tane inceliği, tane şekli, bağlayıcı cinsi ve miktarı, nem miktarı olarak sınıflandırılabilir [5].

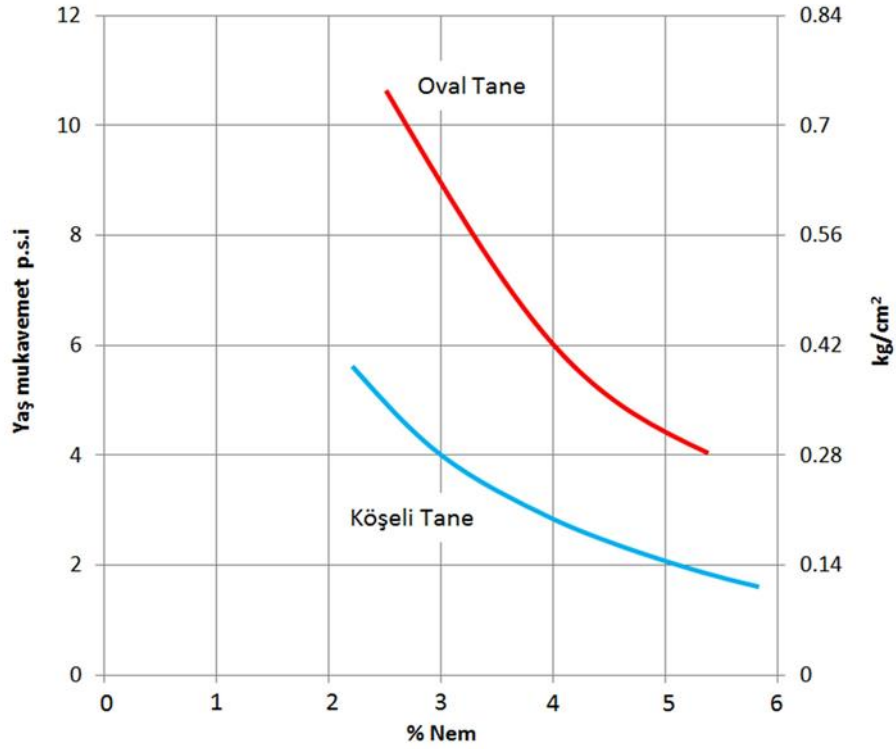
Kum taneleri incelidikçe, yaş mukavemeti olumlu yönde etkileyecektir. Aksi şekilde düşünüldüğünde, tane inceliği azaldığında, yani kum taneleri irileştiğinde, yaş mukavemet de, diğer parametreler sabit kaldığı takdirde, azalacaktır.



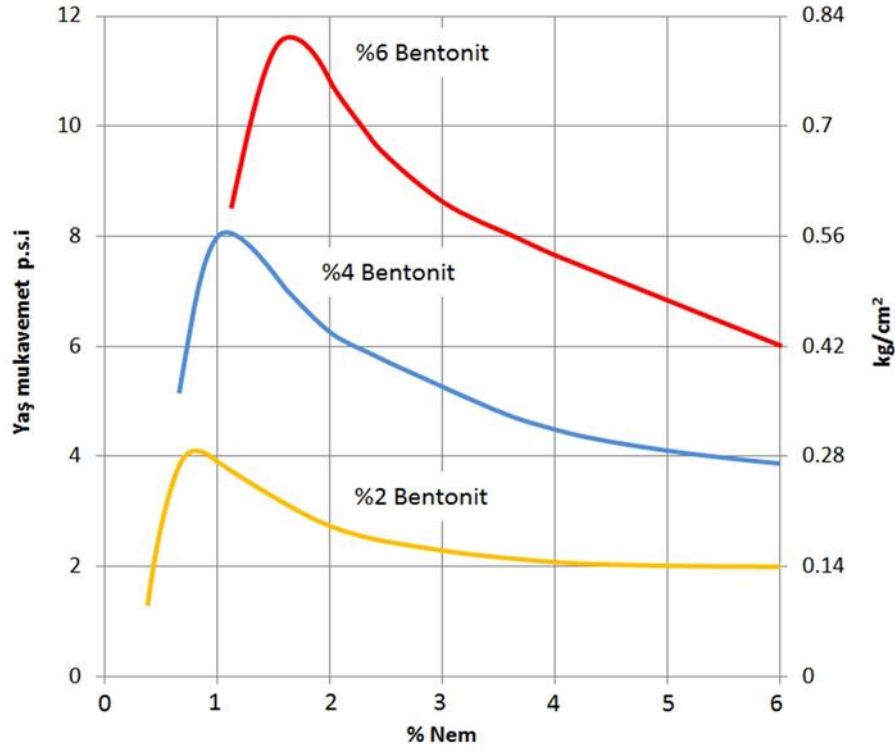
Şekil 4.1 Tane İnceliği - Yaş Mukavemeti Grafiği [19]



Şekil 4.2 Farklı Tane İnceliklerine Göre Yaş Mukavemeti Değişimi [19]



Şekil 4.3 Kum Şekli - Yaş Mukavemet Grafiği [5]



Şekil 4. 4 Değişen Bentonit Miktarlarının Nem Oranına Göre Yaş Mukavemet Üzerindeki Etkisi [5]

4.1.3.2 Plastiklik Özelliği

Kalıp kumunun şekil alma kabiliyetine denmektedir. Kalıp kumu içerisindeki kil ve su ile orantılıdır [5].

4.1.3.3 Gaz Geçirgenlik Özelliği

Döküm sırasında açığa çıkan gazların kalıbı hızlıca tahliye edilmesi istenir. Kalıp içerisinde oluşan gazların atılması, kalıbın geçirgenliğiyle doğrudan ilişkilidir. Geçirgenlik yeterli değilse gaz kalıptan problemi neticesinde ve parçada gaz kusurları ortaya çıkabilir [9, 20].

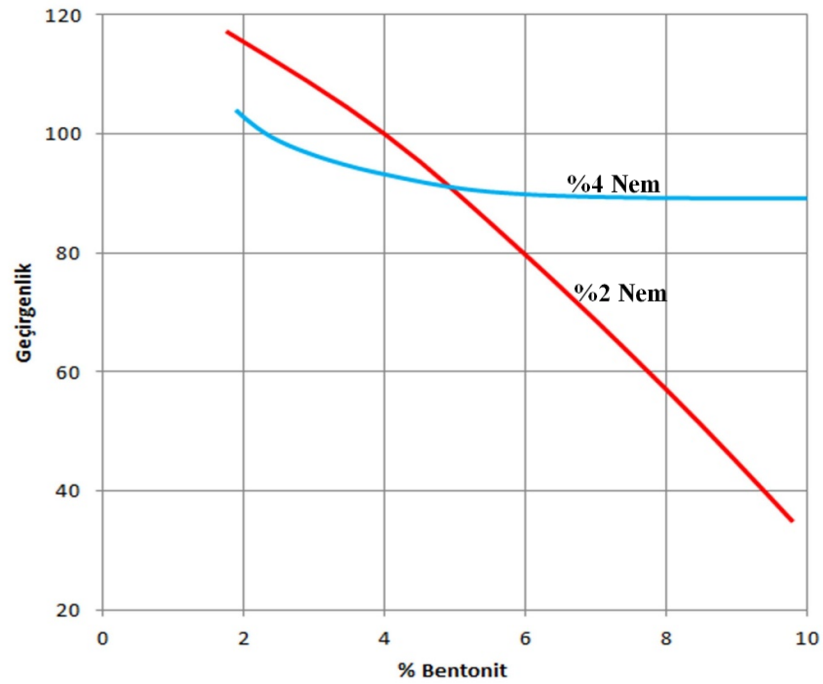
Kum tanelerinin inceliği, gaz geçirgenliğini etkileyen faktörlerden biridir. Kum taneleri ne kadar ince olursa birbirine çok daha sıkı bir yapı ortaya çıkar ve geçiş yolları kapanır.

Benzer şekilde kum tanelerinin şekli de geçirgenlik için önemli bir diğer parametredir. İri ve ince ile olan ilişkiyle benzer olarak, oval şekilli kum taneleri birbiri ile daha sıkı bir yapı oluşturur ve bu durum yine kum taneleri arasındaki boşluğu azaltacağından geçirgenlik azalacaktır. Köşeli kum taneleri ise oval şekilli

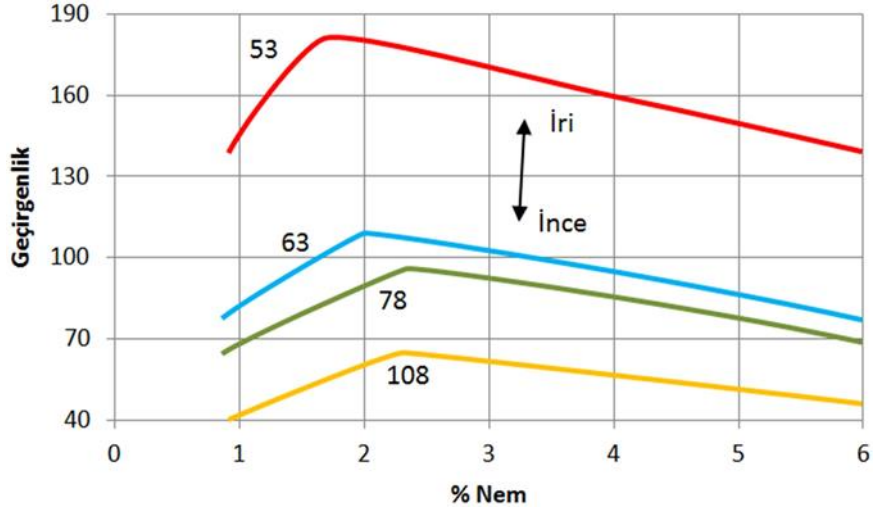
kum taneleri kadar iyi sıkışamazlar. Bu da gaz geçirgenliği açısından daha iyidir. Fakat köşeli taneli kum da temas yüzeyinin az olması nedeniyle daha fazla bağlayıcı ihtiyacı doğuracağından bu da geçirgenliği olumsuz yönde etkileyecektir [9,20].

Bağlayıcılarda gaz geçirgenliği üzerindeki bir diğer parametredir. Bağlayıcı miktarı, uygun seviyenin üzerinde ise kum taneleri arasındaki boşlukları dolduracağından geçirgenliği azaltacaktır. Bağlayıcı ilavesi yapılırken, kalıbın mukavemeti göz ardı edilmemelidir. Geçirgenlik iyileştirilirken, mukavemet kaybı yaşanabilir. Çünkü dökümdeki kalite, belirtilen parametrelerin biri birleri ile ilişkili olarak uygun değerlerde olmasıyla elde edilmektedir [9,20].

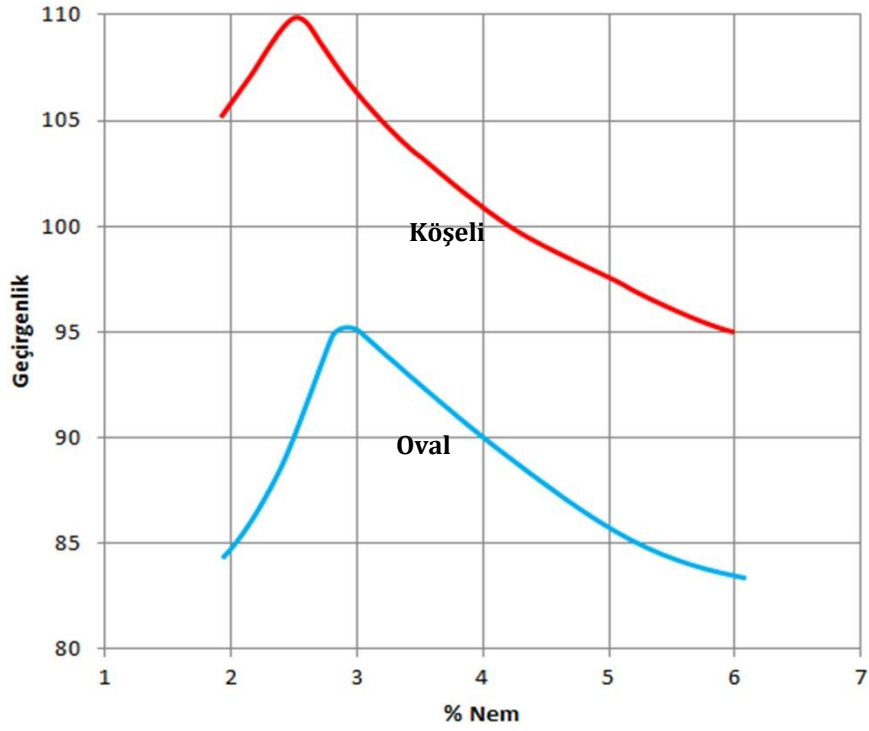
Nem miktarı, geçirgenlik üzerinde etkili bir başka parametredir. Nem az iken kum tanecikleri arasındaki alanı azaltan kuru kil, geçirgenliği azaltmakadır [5,16]. Yeterli nem oranı sağlanır ise mevcut kil topaklaşacak ve geçirgenlik artacaktır [5,16]. Nem miktarının gereğinden daha fazla ise yine diğer etkenlerde olduğu gibi kum taneleri arasındaki boşluk azalacak ve dolayısıyla geçirgenlik de azalacaktır [9,20].



Şekil 4.5 Bentonit Oranı, Nem ve Geçirgenlik Arasındaki İlişkinin Grafiği [5]



Şekil 4.6 Kum Tane İnceliği, Nem Oranı ve Gaz Geçirgenliği Arasındaki İlişkinin Grafik Üzerinde Gösterimi [5]



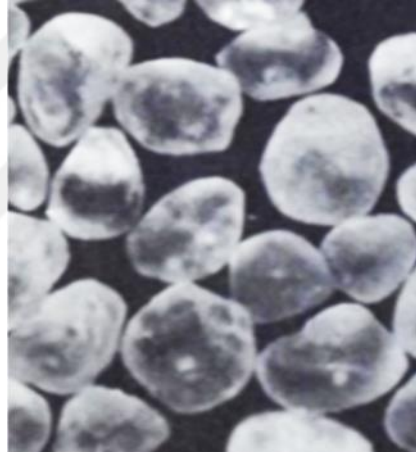
Şekil 4.7 Kum Şekli ve Geçirgenliği Arasındaki İlişkinin Grafiği [5]

4.1.3.4 Kum Tanesi Özellikleri

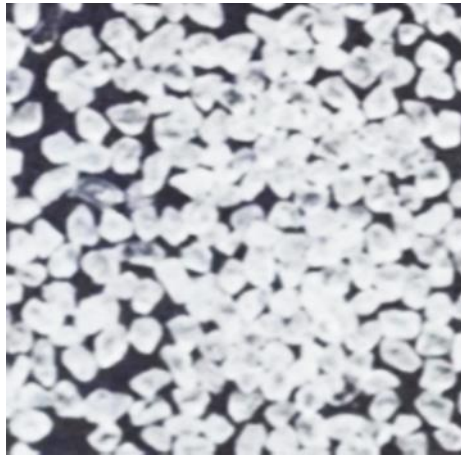
Kalıp kumu içerisinde kum taneleri farklı ölçülerde bulunabilirler. Kumlar, boyut kontrolü için eleklerden geçirilerek sınıflandırılır ve kullanılırlar. AFS ölçütü tane büyüklüğünün ifadesi için kullanılır. Örnek verirse; tane boyutu 90 AFS olan bir kum, tane boyutu 60 AFS olan kumdan daha ince yapıdadır.

Kum taneleri inceldikçe olursa birbirine doğru yanaşması, sıklığı o kadar fazla olacaktır. Bu durum döküm yüzeyini iyileştirip, mukavemeti yüksek bir kalıp kumu elde etmeye yardımcı olsa da, kumlar daha çok sıkışacağından, boşluk azalmakta ve geçirgenliği de olumsuz yönde etkilemektedir.

Fakat bağlayıcı açısından değerlendirildiğinde kum taneleri inceldikçe yüzey alanları küçülür ve iri taneli kumlara göre daha az bağlayıcı kullanmak gerekecektir.



Şekil 4.8 İri Kum Tanesi [19]



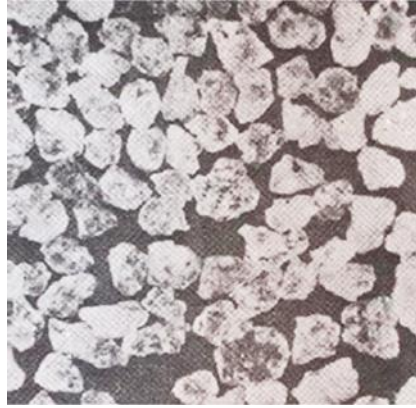
Şekil 4.9 İnce Kum Tanesi [19]

4.1.3.5 Kum Tanesi Şekilleri

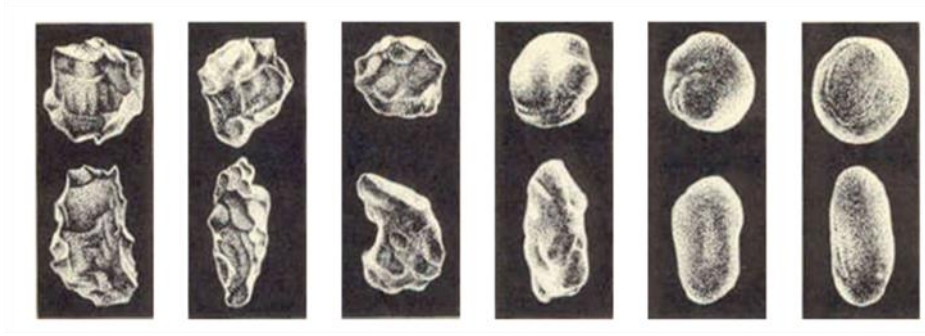
Şekillerine göre kum taneleri köşeli ve oval olarak sınıflandırılırlar. Oval şekilli kum taneleri ile daha çok köşeli kum tanesi bulunan bir kalıp kumu farklı davranış sergilemektedir. Oval taneli kumların daha düzgün yüzeyleri olduğu için yüzey alanı düşüktür, bu nedenle bu taneleri bir arada tutmak üzere kullanılacak bağlayıcı miktarı da azalmaktadır. Köşeli kum tanelerinde ise bu durum tam tersi sonuç doğurmaktadır.



Şekil 4.10 Oval Kum Tanesi [19]



Şekil 4.11 Köşeli Kum Tanesi [19]

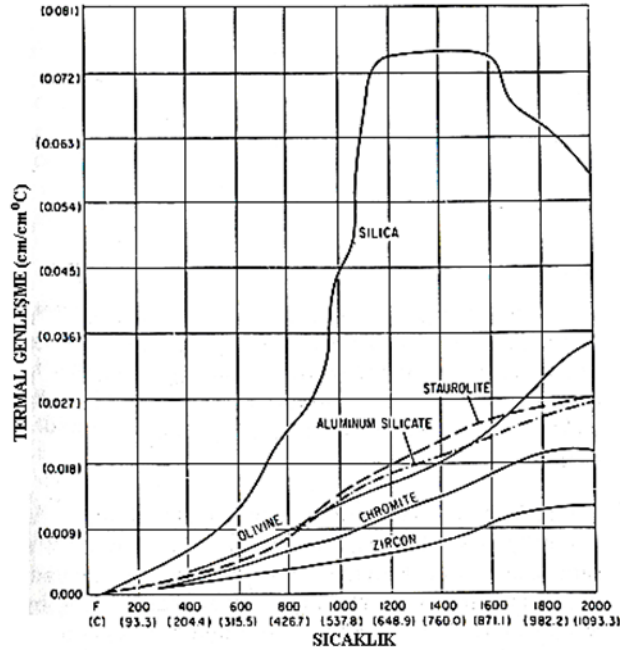


Şekil 4.12 Ayrıntılı Sınıflandırılmış Kum Tanesi [19]

4.1.3.6 Genleşme

Yüksek sıcaklıktaki ergiyik metal, döküm esnasında ve süresince kalıbın sıcaklığını arttırmaktadır. Bu sıcaklık kalıp kumlarında genleşmeye neden olmaktadır. Genleşmenin fazla olması parçanın boyutsal kontrolünü zorlaştırmakta veya bir tasarım parametresi olarak dikkate alınıp bir ölçeklemede çarpan olarak dikkate alınması gerekmektedir.

Kalıp kumu tipleri karşılaştırıldığında zirkon ve olivin kumlarındaki genleşme silis kumuna göre daha düşüktür.



Şekil 4.13 Değişik Döküm Kumlarının Termal Genleşmesi [19]

4.1.4 Kum Bağlayıcılar

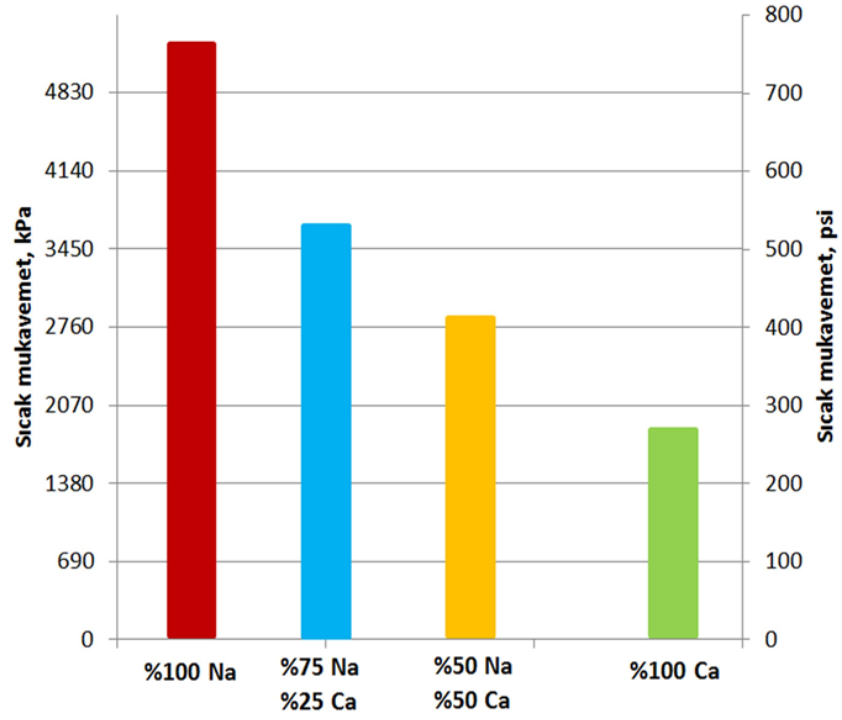
Bağlayıcılar maça ve kalıp hazırlamada kum taneciklerinin biri birleri ile arasındaki tutunmayı sağlamak amacıyla kullanılırlar. Kalıp kumu mukavemeti ile doğrudan ilişkilidir. Kum hazırlama karıştıracısına kum, su ve bağlayıcılar belirli bir miktarlarda konularak karışım elde edilir ve maça ve kalıp kumları bu şekilde hazırlanmaktadır.

İnorganik ve organik olmak üzere ikiye ayrılırlar. Kalıp hazırlamada en çok kullanılan inorganik bağlayıcı bentonittir [19]. Bentonit; %85-90 oranında montmorillonit mineralini içeren kildir [19].

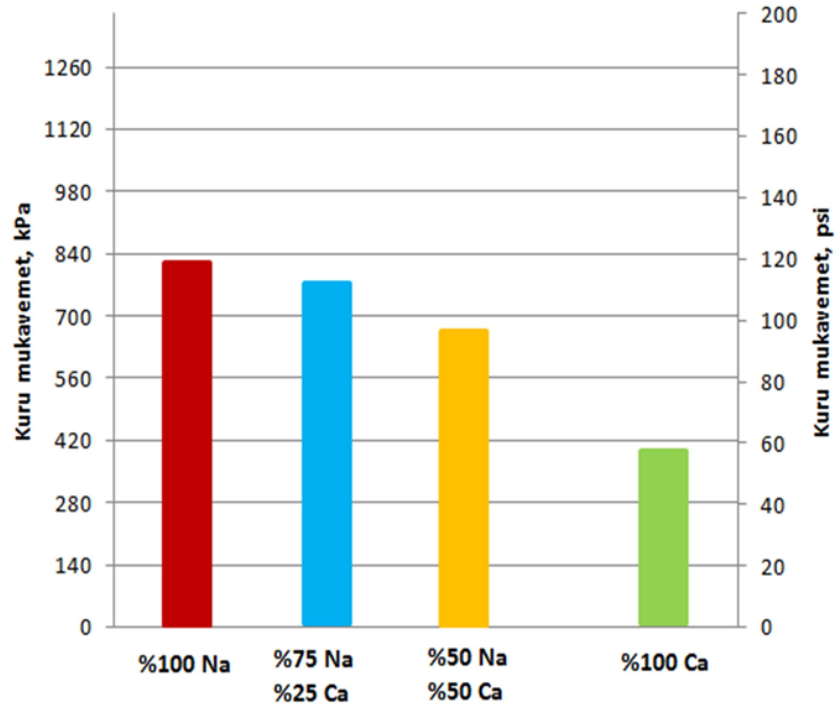


Şekil 4.14 Montmorillonit [5]

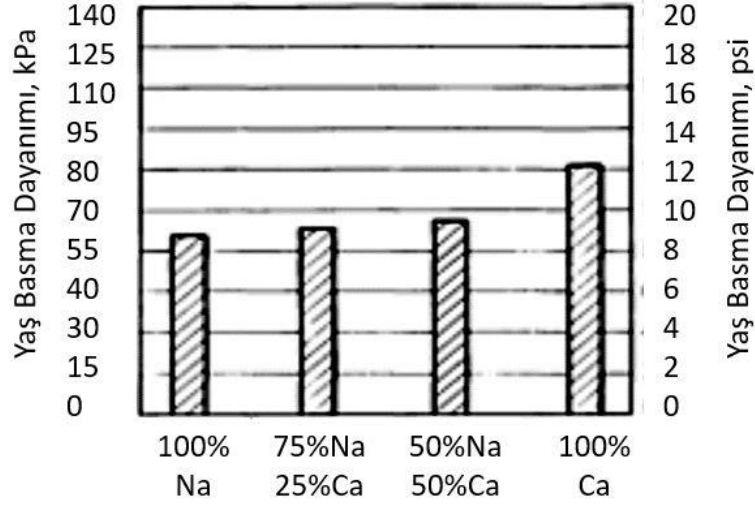
Bentonitler, iyon çeşitlerine göre iki gruba ayrılırlar Na - bentoniti ve Ca - bentonitidir [19].



Şekil 4.15 Karıştırılmış Ca ve Na Bentonitlerinin Oranlarına Göre Sıcak Mukavemet Üzerindeki Etkisi [5]



Şekil 4.16 Karıştırılmış Ca ve Na Bentonitlerinin Oranlarına Göre Kuru Mukavemet Üzerindeki Etkisi [5]



Şekil 4.17 Karıştırılmış Ca ve Na Bentonitlerinin Oranlarına Göre Yaş Basma Dayanımı [19]

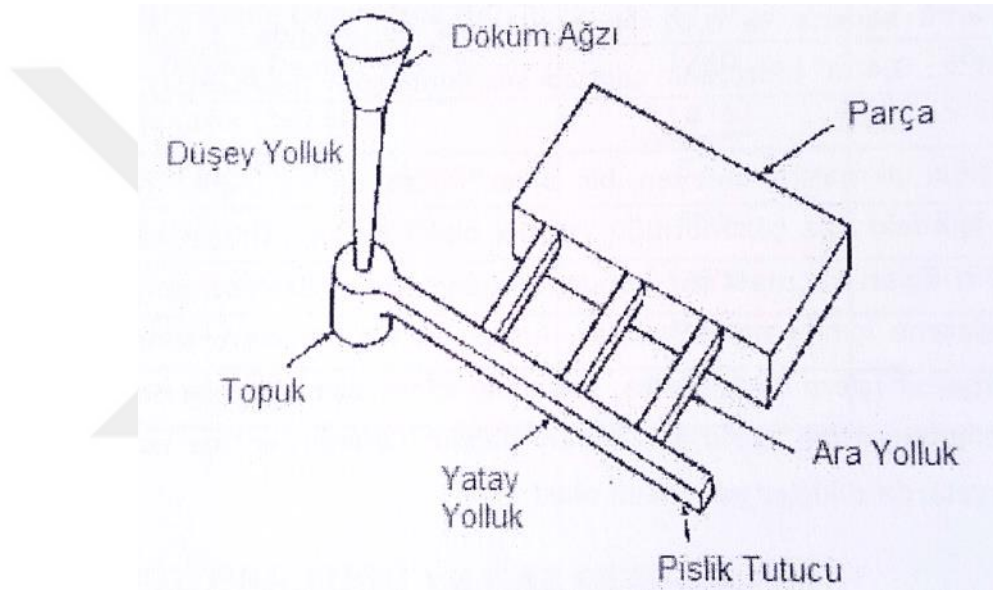
Diğer bir grup bağlayıcılardan olan organik bağlayıcılarda en çok tercih edilen reçinedir. Reçineler daha çok maçalarda tercih edilirler. Reçine hazırlanmış maça ve kumlar, sert bir yüzeye sahiptir. Bununla birlikte en büyük problemlerinden biri nem çekmesidir [15]. Ayrıca reçine bağlayıcılar genel olarak maliyet açısından daha pahalı malzemelerdir.

4.1.5 Kömür Tozu İlavesi

Kömür tozu, kalıbın bazı fiziksel özelliklerini iyileştirmeye yarar. Ergimiş sıcak metal kalıp kumuna temas ettiğinde kalıp kömür tozu yanmaya başlar. Böylelikle kalıbın temas yüzeyinde ince bir karbon filmi oluşur. Bu sayede numune yüzeyinde kaliteli bir yüzey oluşur, aynı zamanda yanma reaksiyonunun ardından kalıp içerisinden bir miktar hava boşaltır. Bu durum, kalıbın gaz geçirgenliğini artırır. Gaz geçirgenliği artan kalıpta, döküm sırasında oluşan gazların tahliyesi iyileşir ve gaz kusurlarının görülme riskini azaltacaktır. Aynı zamanda kalıba esneyebilmesi için alan oluşacağından, sıcaklık etkisiyle genleşme sırasında kalıpta oluşması muhtemel çatlamların vb. problemlerin önlenmesinde yardımcı olur.

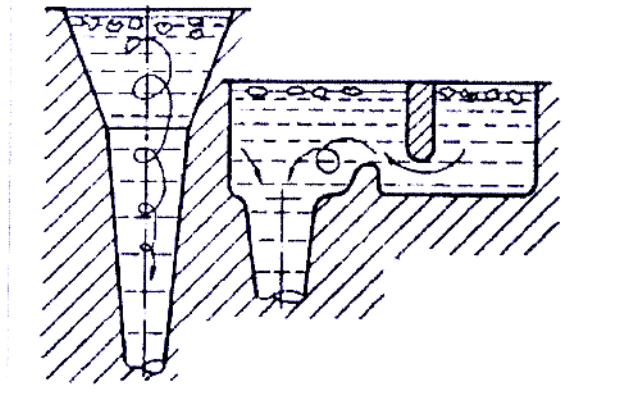
4.2 Yolluk Sistemi

Ergimiş metalin kalıp boşluğuna ulaşması için kalıp içerisinde açılan yollara, kanallara yolluk denir. Düşey ve yatay yolluk olarak ikiye ayrılabilir. Düşey yolluklar direkt olarak kalıp boşluğu ile temas etmezler, kalıp düzlemine dik olarak konumlanırlar. Yatay yolluklar ile kalıp düzlemine paralel yerleştirilmiştir, ergimiş metalin kalıp boşluğuna ulaşmasını, sakın bir şekilde kalıbın bozulmadan boşluğun dolmasını ve bazı pislik ve cürufların tutulmasını sağlar [21]. Yolluklar çok farklı tipte olabilmektedir. Parça tasarımına göre tüm kalıbı saran, merdiven şeklinde veya çoklu ve tekli olarak da kalıp içerisinde bulunabilirler [21].

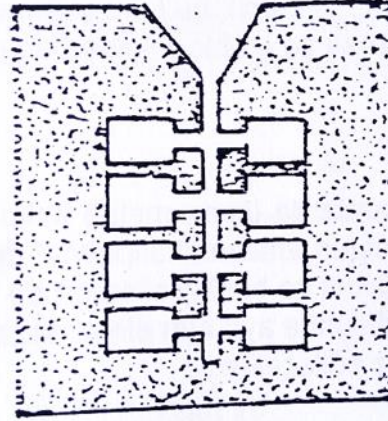


Şekil 4.18 Yolluk Sistemi [13]

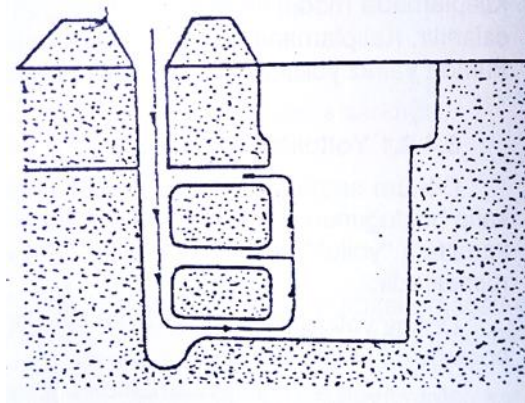
Ergimiş metalin kalıp boşluğuna ulaşması şu şekilde gerçekleşir; dolum ağzından giriş yapan ergimiş metal düşey yolluk üzerinden ilerlemeye devam edip, topuk bölgesinde yatay yolluk ile birleşir, yatay yollukta ilerleyen ergiyik metal, yoldaki pislikler ve içerisinde bulunan cürufları taşıyarak ilerler. Yolluk tasarımı gereği metal ilk önce pislik tutucu bölgesinde girer ve burada tutulmuş olurlar. Sonrasında meme vasıtası ile parçaya giriş yapar ve tüm hacim doldurulur.



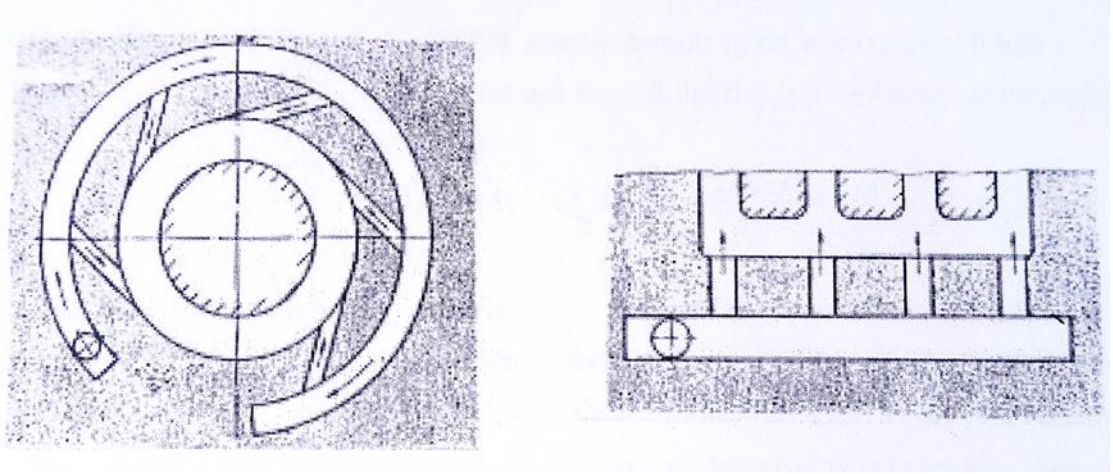
Şekil 4.19 Farklı Döküm Ağzları Örnekleri [13]



Şekil 4.20 Testere Yolluk Tipi [21]

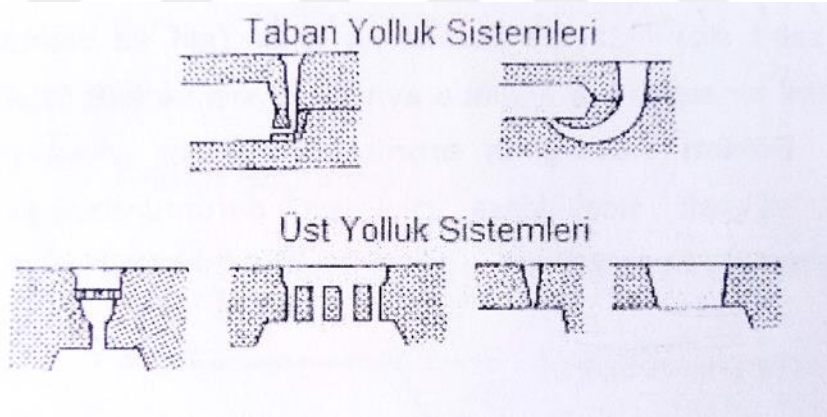


Şekil 4.21 Merdiven Tipi Yolluk [21]



Şekil 4.22 Yolluk Tasarımına Örnekler [13]

Ayrıca yolluklar basınçlı ve basıncsız da gruplara ayrılır. Yolluk kanallarındaki kesit alanlarının meme bölgesine kadar genişleyerek gitmesi durumunda basıncsız yolluk, yolluk kanallarındaki kesitlerin meme bölgesine kadar daralarak gitmesi durumunda ise basınçlı yolluk olurlar [5].



Şekil 4.23 Taban ve Üst Yolluk Örnekleri [13]

Tablo 4.1 Basınçlı yolluk sisteminin avantaj ve dezavantajları [5]

Basınçlı Yolluk Sisteminin Avantajları	Basınçlı Yolluk Sisteminin Dezavantajları
Düşey ve yatay yolluk sürekli dolu olarak akacağından ergiyik metal içerisine hava girmesi zordur.	Metal akış hızı basınçsız yolluğa nazaran daha yüksektir.
Kesitlerin geometrisi nispeten küçük olduğundan tamamlama işlemi süresince yolluğun kırılması, taşlanması daha kolay olacaktır.	Yüksek dolum hızı, kalıp içerisinde aşınma riskini, dolayısı ile kum sakatı görülme riskini arttırmaktadır.
Basınçlı yollukla dökülmüş parçalarda, basınçsız yollukla dökülen parçaya göre döküm verimi daha yüksektir.	Türbülans oluşma ihtimali vardır ve basınçsız yolluğa göre ergiyik metal üzerinden, kalıp içerisine daha fazla hava emilir.

Tablo 4.2 Basınçsız yolluk sisteminin avantaj ve dezavantajları [5]

Basınçsız Yolluk Sisteminin Avantajları	Basınçsız Yolluk Sisteminin Dezavantajları
Kesitlerin alanlarını giderek artması nedeniyle, metal akış hızı basınçlı yolluk sistemine göre daha düşüktür.	Basınçlı yolluk sistemine göre daha büyük tasarlanan basınçsız yollukların kalıp açısından bakıldığında verimi daha düşüktür.
Metal akış hızı düşük olduğu için kalıpta aşınma ve kum erozyon riski basınçlı yolluk sistemine göre daha azdır.	Tamamlama bakımından, kalın meme kesit alanlarından dolayı, basınçlı yolluk sistemine göre daha çok işçilik gerektirir. Bu nedenle döküm verimi daha düşüktür.

Türbülans riski düşük hızlar neticesinde basınçlı yolluğa göre daha minimize edilmiştir.	Yolluğu sürekli dolu tutmak gerekmektedir. Döküm esnasında bunu sağlamak zordur. Bu sebeple kalıba gaz, hava alma riski mevcuttur.
--	--

4.2.1 Yolluk Sisteminin Özellikleri

Kum kalıplama yönteminde metalin kalıp boşluğunu doldurması işlemi çoğunlukla yer çekimi yardımıyla olur. Yani pota içindeki ergimiş metal döküm ağzından dökülerek kalıp içerisine doğru bir akış yaratılır. En yaygın olanı ise metalin kendi ağırlığı ile yollukta ilerleyerek boşluğu doldurmasıdır [5]. Yolluk tasarımında dikkat edilecek hususlardan biri dökümü sürekli ve hızını tüm parçada eşit şekilde dağıtabilmektir [5].

Yüksek hız türbülans yaratabilirken, düşük hız da erken katılaşmaya neden olmaktadır [5]. Döküm başlangıcında döküm ağzı ve diğer tüm kanallarda pislikler ve kum artıkları kalmaktadır, doğru bir yolluk tasarımında bunların tutulacağı bir yerleşim yapılmalıdır.

Tablo 4.3 İdeal bir yolluk sisteminden beklentiler ve bu beklentilerin karşılanmaması durumunda ortaya çıkabilecek sorunlar [5]

İdeal Yolluk Sisteminden Beklenenler	Beklentilerin Karşılanmaması Durumunda Oluşabilecek Problemler
Kalıp içerisindeki hacmi ergimiş metal ile en uzak ve ince kesitlere kadar doldurmalıdır.	Ergiyik metal, kalıp boşluğunu doldurmazsa ya da kalıbın her noktaya ulaşamazsa döküm, temel prensipte doğru bir şekilde gerçekleşemez.
Döküm hızı, optimum büyüklüklerde olmalıdır.	Dökümün çok hızlı gerçekleşmesi, türbülansa aşınmaya neden olabileceken yavaş olması durumunda ise daha kalıp dolmadan katılaşmanın başlaması riskini doğurur.

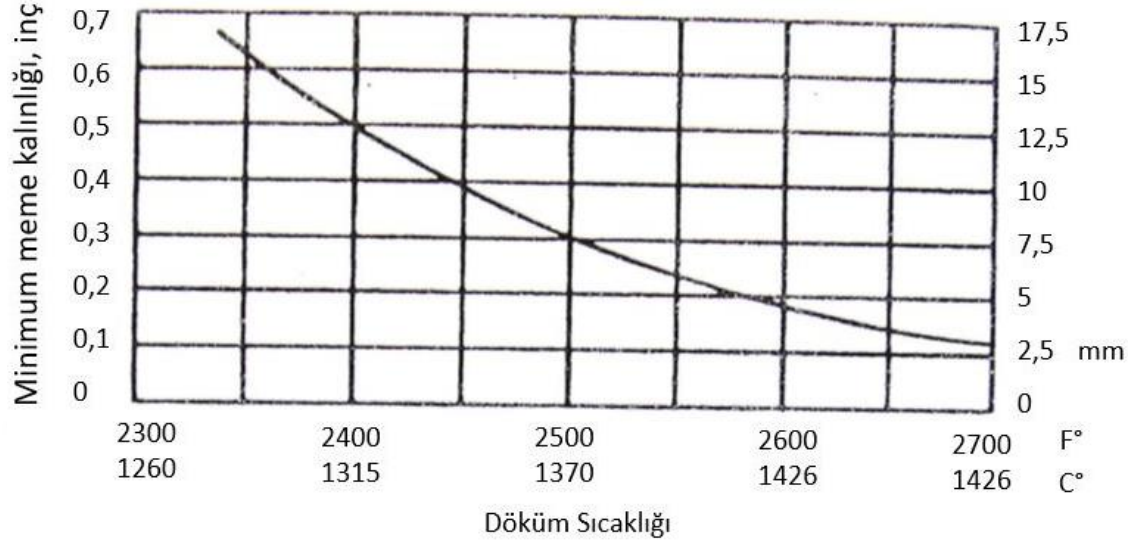
Yolluk boyutları uygun seviyede tutulmalıdır. Döküm gerçekleştikten sonra ergiyik metal, parçanın yanında yolluğu da doldurarak katılaşacağı için, olması gereken hacimden fazla bir yolluk sistemi, metal sarfiyatını arttıracaktır.	Yanlış tasarım ile olması gerekenden daha hacimli tasarlanan yolluk sistemi, metal sarfiyatını arttırarak maliyete artışına neden olacaktır. Ayrıca tamamlama bakımından da kalın, kırılması, temizlenmesi zor yolluklar, ilave işçilik maliyeti oluşturacaktır.
Yolluk sistemi, döküm esnasında istenmeyen metal dışı olan parçacıkların, cürufun döküm boşluğuna girmesine engel olmalıdır.	Erozyon ile gelen kum veya cüruf döküm boşluğuna girdiği durumda parçayı hurdaya ayırabilmektedir. Bu da üretimin sakat oranına bakılarak verimliliğini düşürecek ve yine maliyete artışına neden olacaktır.
Yolluk sistemi tasarımı, ergiyik metalin kalıp boşluğuna doluşu sırasında türbülansa neden olmamalıdır.	Türbülanslı bir akış, sıvı metalin gaz almasına neden olabilir, metalin atmosfer ile temas süresi artacağından oksitlenme ihtimali ortaya çıkacaktır ve kalıp erozyonu meydana gelebileceğinden parçanın ıskartaya çıkma ihtimalini arttıracaktır.
Yolluk, döküm tamamlandıktan sonra en son katılaşmaya uğrayacak bölge olmalıdır.	Yolluk, kalıp boşluğundan önce katılaşırsa metal akışı kalıbın içine gerektiği gibi gerçekleşmeyecektir.

4.2.2 Yolluk Sisteminde Meme

Meme, kalıp ile üretim tekniğinde malzemenin kalıp boşluğuna girdiği noktaya denmektedir. Kum kalıplama yönteminde de malzemenin kalıp boşluğuna geçtiği yer bu noktadır. Meme noktalarında kesit geometrileri parçanın genel büyüklüğüne ve kesit kalınlıklarına göre belirlenmektedir [4]. Geometrileri de parçanın özelliklerine ve bağlandığı noktaya göre değişebilmektedir. İnce parçalarda yassı kesitli geometriler kullanılır. Kalınlık arttıkça kesit genişliği de doğal olarak artmaktadır. Derinliği fazla olan parçalara bıçakağzı ve dikdörtgen kesitli memeler derinliği fazla olan parçalarda kullanılır. Orta büyüklükteki parçalarda ise yuvarlak, yamuk ve üçgen kesitli meme geometrileri kullanılabilmektedir [4].

Meme yerleşimi parçanın doğru dolumu için çok önemlidir. Meme noktasının direkt olarak kalıp duvarına veya herhangi bir maça yüzeyine direk olarak açılması

istenmez, bu noktalarda hızlı katılaşma ve kalıp erozyonu görülme ihtimali artar. Bu nedenle silindirik parçalarda meme girişleri parça geometrisi dikkate alınarak parça cidarına teğet olarak açılır [4].



Şekil 4.24 Meme Kesit Ölçülerinin Belirlenmesi [4]

Meme noktasında yüksek sıcaklık nedeniyle o bölgedeki gaz tahliyesi büyük önem arz etmektedir. Sorun yaşanan bu bölgelerde karınca hatası diye tabir edilen hata türü görülebilir.



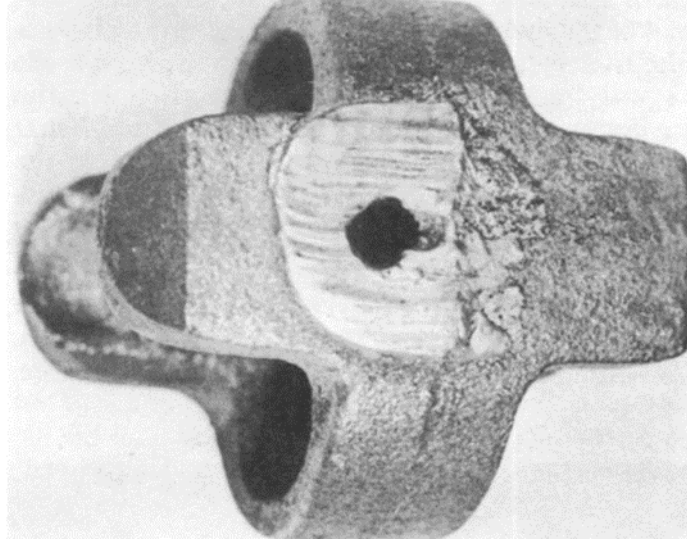
Şekil 4.25 Numune Yüzeyinde Görülen Karınca Hatası Örneği [22]

4.2.3 Çıkıcılar

Kalıp boşluğundaki gazın tahliyesi döküm için önemli bir parametredir. Kalıp kumunun geçirgenliği ve nazı noktalarda tahliyeyi kolaylaştırmak için açılan şiş delikleri yeterli olmayabilmektedir. Bu noktada kalıpta uygun noktaya yerleştirilen çıkıcılar bu sorunun giderilmesi için güzel bir çözümdür. Çünkü kalıbın doluşu esnasında içeride oluşan ve hacmin sahip olduğu gazlar yüksek basınçlar meydana getirebilmektedir. Çıkıcılar genellikle kalıbın en yüksek noktasına konulur, böylece kalıbın tam olarak dolduğu da görülmüş olur.

4.3 Besleyici Sistemler

Besleyiciler, döküm ile parça imalatında önemli bir yer tutar. Metal dökümde katılaşma ve çekme neticesinde ciddi hacim azalmaları meydana gelmektedir. Bu durumda kalıp boşluğunda meydana gelen bu eksilme ergimiş metal ile doğru zamanda ve miktarda doldurulamazsa numune içerisinde boşluklar görülmektedir.



Şekil 4.26 Uygun Olmayan Besleyici Seçimi Nedeniyle Oluşan Çekinti Boşluğu [22]

Tablo 4.4 ideal bir Besleyiciden Beklenen Özellikler [5]

İdeal Bir Besleyiciden Beklenen Özellikler	Beklentilerin Karşılanmaması Durumunda Oluşabilecek Problemler
Besleyicinin, yeterli bir besleme performansı için parçadan daha geç katılaşması gerekmektedir. Bu nedenle besleyicinin modülünün beslediği parçanın modülünden daha fazla olmalıdır.	Besleyici modülü, parçadan küçük ise besleyici yeterli besleme yapamaz. Bu da parçada iç çekintilerin oluşmasına sebep olur.
Besleyicilerin kapasitesi, parçanın beslenmesi aşamasında önemlidir. Besleyicinin sıvı metal hacmi, parçanın çekmesini karşılayacak miktarda olmalıdır.	Besleyicinin daha düşük kapasitede olması durumunda, besleyici parçayı gerektiği gibi besleyemez ve iç çekinti problemleri oluşur.

Besleyicilerin sayısı ve miktarı, parça haricinde olduğundan, mümkün olduğunca minimum sayıda ve hacimlerde olmalıdırlar. Aksi halde malzeme sarfiyatı artacak maliyetler yükselecektir.	Besleyici tasarımı ve seçimi uygun şekilde yapılmaması, döküm parçanın maliyetini çok fazla arttıracaktır. Ayrıca tamamlama operasyonlarında da işçilikler aratacak, süreler fazlalaşacaktır.
Besleyicilerin besleme mesafesi formülüyle hesaplanarak ve yönlü katılaşmayı sağlayabilecek şekilde tasarlanması gerekmektedir.	Besleyicilerin besleme mesafesinin doğru hesaplanamaması, bulunduğu bölgede çekintiyi önlemesi gerekirken, etkinliğinin o menzilde yeterli olamayışından dolayı doğru şekilde görevini yapamayacaktır.

4.4 Soğutucu Sistemler

Soğutucuların döküm kalıplarında kullanılmasının bir çok amacı vardır. Kalın kesitli bölgelerin ince kesitler ile aynı zamanda katılaşmasını sağlamaktır. Kritik yüzeylerde hızla katılaşma sağlayarak sıcak yırtılma oluşmasının engellenmesi sağlanır. Ayrıca beslemenin zor olduğu alanlarda oluşabilecek makro ve mikro çekintileri önlemek için ani soğutma istenen yerlerde kullanılmaktadır. Soğumanın yönlendirilmesi amacıyla da kullanılırlar. Soğutucuların iki farklı tipi mevcuttur. İç soğutucular adı üzerinde kalıp içerisine yerleştirilerek döküm esnasında ergiyik metal içerisinde eriyerek kaybolurlar. Metalin kendisine dahil olurlar. Fakat iç soğutucu kullanmak bazı riskleri beraberinde getirir, kullanımı nispeten zordur. Dış soğutucular ise maça veya kalıba yerleştirilirler. Genellikle yerleştirildikleri yerde duvar yüzeylerinden bir kısmı oluştururlar. Dış soğutucularda aranan özellik yüksek ısı transferi hızı ve yüksek ısı sığasına sahip olmasıdır.

Tablo 4.5 İdeal bir Soğutucudan Beklenen Özellikler [5]

İdeal bir soğutucudan beklenen özellikler	Beklentilerin Karşılanmaması Durumunda Oluşabilecek Problemler
Isı yükünün fazla olduğu bölgelerde çekinti riski de fazladır, ihtiyaç olan bu bölgelere yerleştirilen soğutucular, buralarda daha hızlı soğumaya yardımcı olarak çekinti riskini azaltır.	Soğutucunun istendiği şekilde çalışmadığı yerlerde, çekinti problemi giderilmez ve kalite kontrolü sonrasında parça içinde çekinti boşlukları saptanır.
Döküm parçalarda gözlemlenen sıcak yırtılma azaltır, yüzeyin daha hızlı ve bütünüyle katılaşmasını sağlayarak engeller.	Parçada geometrik olarak riskli kesitlerde sıcak yırtılma problemi gözlemlenebilir.
Yönlü katılaşmayı daha iyi sağlayacağı için besleyicilerin etkinlik mesafesini arttıracaktır.	Soğutucu kullanılmamış veya soğutucunun görevini doğru şekilde yerine getiremediği yerlerde, besleyicinin beslemesi gereken mesafeye erişemez ve dolayısıyla bu bölgelerde çekinti problemi gözlemlenebilir.
Sağladığı yön kontrollü ve hızlı katılaşma sayesinde normalde beslenmesi güç olan bölgelerin çekinti açısından daha iyi sonuçlar vermesine yardımcı olur.	Beslenmesi zor olan bölgelerin, istenildiği gibi beslenememesi neticesinde parça içerisinde çekinti boşlukları gözlemlenecektir.

4.5 Model

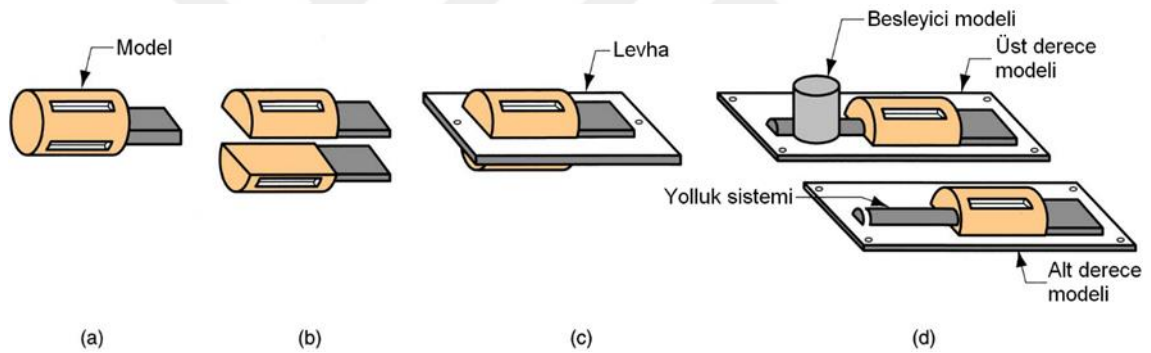
Döküm yönteminde üretilecek parçanın, kalıp içerisindeki hacmini , gerekli çekme payları ve üretim teknikleri dikkate alınarak hazırlanmış, üretilmesi istenen parçanın geometrik benzeri parçalardı [18]. Kalıp içerisine yerleştirilerek kalıp

dolumu esnasında ihtiyaç duyulan boşluk hacmin oluşturulması sağlanır [18]. Modeller, kalıbı oluşturduktan sonra kalıptan çıkarılır ve yeni kalıp hazırlama için tekrar kullanılır [18]. Tek seferlik modeller de vardır. Bular mumdan ya da polistirenden yapılmış modellerdir. Bu modeller üretim esnasında bozularak kullanılmaz hale gelirler [18].

Farklı malzeme ve tiplerde modeller bulunabilmektedir. Üretim şekli, adet, zaman gibi parametreler dikkate alınarak model tipi ve malzeme seçimi yapılır. [18]

4.5.1 Model Tipleri ve Malzeme Özellikleri

Modeller malzemesi seçilirken üretim şekli ve zaman dikkate alınır. Seri imalat, prototip imalatı şartlarına göre, zaman sınırına göre farklı malzemelerden üretilmektedir.



Şekil 4.27 Kum Dökümde Model Tipleri a) Serbest Model b) Ayrık Serbest Model c) Çift Taraflı Levhalı Model d) Tek Taraflı Levhalı Model [23]

Model malzemesi seçilirken dikkat edilecek kriterlerden bazıları şunlardır; üretilen malzeme sayısı, istenilen boyut hassasiyeti, uygulanacak kalıplama yöntemi, parçanın genel boyutları ve biçimi, modelde düzeltme yapılıp yapılmayacağı şartlarına göre model malzemesine karar verilir [18].

4.5.1.1 Ahşap Model

En yaygın ve en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Maliyet ve işleme kolaylığı açısından tercih edilmektedir. Ayrıca toplam harcanan zaman açısından avantajlıdır. [18].

Az sayıda, hacim olarak nispeten büyük parçaların üretiminde ahşap modeller tercih edilmektedir. Fakat yüksek tekrarlı kalıplama sonucu modelde bozulma meydana gelmektedir. Metal modellere göre çok daha çabuk aşınmaktadır. Ayrıca ahşap modellerin bir diğer dezavantajı da, çevre şartlarından çabuk etkilenmektedir, şişme, eğilme vb. deformasyonlar görülebilmektedir [5].

4.5.1.2 Metal Model

Üretim adetlerinin yüksek olduğu, kalıp dayanımı gerektiren uygulamalarda metal modeller tercih edilir. Otomasyona yatkın olması nedeniyle seri imalat uygulamalarında özellikle tercih edilir. Fakat ilk yatırım maliyeti diğer malzemelere göre yüksektir [5]. Endüstride prototip aşamasındaki parçaların dökümünde pek tercih edilmezler.

4.5.1.3 Köpük Model

Köpük malzemeden modellerin diğerlerine göre en önemli farklı, modelin kalıp içinde iken döküm yapılmasıdır. Köpük malzeme döküm esnasında ergimiş metal tarafından gaz haline çevrilir ve yavaş yavaş döküm ile birlikte yok olup gider. Düşük adetli prototiplerde maliyet açısından uygun kalmaktadır fakat aynı yöntemi seri imalata dönüştürdüğünüzde köpük model için ayrı kalıp ihtiyacı doğmaktadır. Bu nedenle maliyet artışı meydana gelebilir [5].

4.5.1.1 Plastik Model

Plastik modeller aşınmaya karşı mukavemeti, nem ve korozyona karşı dirençleri ile diğer malzemelerden ayrılmaktadır. Ayrıca yüzey kaliteleri iyidir. Yüzey kalitesi nedeniyle de kalıptan sıyrılmaları daha kolay olmaktadır. Hasan almaları durumunda metal geçmeler ile onarılmaları mümkündür. Küçük ve orta büyüklükteki parklarda daha çok tercih edilmektedir [5].

4.5.2 Model Tasarımında Dikkat Edilen Hususlar

Modeller dökümü yapılacak parça ile birebir aynı özellikte ve ölçülerde yapılmaz. Kalıplama tekniğine ve malzemenin genleşme, büzüşme durumları gibi etmenlerden dolayı farklı ölçülerde ve geometrik olarak bazı düzeltmeler ile birlikte yapılır.

4.5.2.1 Çıkma Açısı

Modelin amacı kalıp içerisinde dökülecek parçanın oyuntusunu oluşturmaktır. Model kalıp içerisinde kalmaz, kalıplama aşamasında görevi bittikten sonra kalıptan çıkarılır. Bu çıkarma işlemi sırasında modelin kalıp yüzeyine zarar vermeden veya model ile kalıp yüzeyinin tutunmasını engellemek adına model yüzeylerinde belirli düzeylerde eğim verilerek, kalıp kumundan daha kolay ve tutunmadan çıkması amaçlanır. Kenarları dik bir model düşünürsek, kalıplama işlemi tamamlandıktan sonra modeli çıkarmak istediğimizde kalıp kumu ile tamamen paralel ve temas halinde olacağı için çıkarma işlemi boyunca kuma temas ederek çıkacak ve yüzeyi bozma ihtimali artacaktır.

Tablo 4.6 Modelin Kalıp Kumundan Çıkması İçin Verilen Koniklikler [18]

Yükseklik (mm)	Koniklik Açısı (°)	Koniklik (mm)
20	3°	1,0
21-50	1°30'	1,3
51-100	1°	1,7
101-200	45'	2,5
201-300	30'	3,0
301-400	30'	3,5
401-500	30'	4,3
501-650	30'	5,3
651-800	20'	6

Tablo 4.7 Kalıp Kumunun Modelden Çıkması İçin Verilen Koniklikler [18]

Yükseklik (mm)	Koniklik Açısı (°)	Koniklik (mm)
20	3°	1,0
21-50	2°30'	2
51-100	1°30'	2,5
101-200	1°	3,5
201-300	45'	4
310-400	45'	5,3

Pratikte kullanılan değerler, motor bloğu yan yüzeyleri için karmaşık bölgelerde 3° 'ye kadar, maçalarda ise karmaşık bölgelerde 1-2° derece arasında değişmektedir.

Motor aksesuar bağlantılarında kullanılacak basit geometrilili tutucu parçalarda ise 100mm yüksekliğe kadar 1-2° yeterli görülmektedir.

4.5.2.2 Çekme Payı

Bizmut ve ötektik grafit yüzdesi 1.5 'den büyük olan dökme demirler dışındaki tüm metaller, sıvı durumdan katı duruma geçerken büzülmeye uğrarlar. Bu nedenle dökümü yapılacak parçanın kalıptaki oyuntusunu oluşturacak modele çekme payı denilen oranda bir büyütme yapılır. Çekme payları metalin cinsine ve parçanın şekline bağlı olarak değişebilir, ihmal edilecek seviyeden 51mm/m seviyelerine kadar da çıkabilmektedir [18].

Tablo 4.8 Dökme Demir Çeşitlerinin Çekme Payları [15]

Döküm Metali	Çekme Oranı (%)
Küresel Grafitli Dökme Demir	0-0,7
Lamel Grafitli Dökme Demir	1
Siyah Temper Dökme Demir	1
Östenitik Alaşımli Dökme Demir	1,3-1,5
Beyaz Dökme Demir	2
Karbonlu Çelik Döküm	2
Alaşımli Çelik Döküm	2,5

4.5.2.3 İşleme Payı

Endüstrinin çok büyük kısmında döküm parçalar yarı mamul olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle dökülen parçalar sonrasında talaşlı imalat işlemine girerler. Dolayısıyla temiz yüzeylerin daha net bir şekilde elde edilmesi için işleme payları verilir. Şayet o yüzeyde bir işleme yapılmayacaksa herhangi bir pay verilmez. İşleme payları verilirken de bazı parametrelere dikkat edilir.

- Döküm parçasının büyüklüğü
- Parça geometrisinin basit ve girift yapıda olması,
- Parça imalat yöntemi; seri prototip veya tek parça imalatı.
- Parçada işlenecek yüzeyin kalıbın alt veya üst kısmında kalması

Alt yüzeylerde işleme payı daha az bırakılabilir, çünkü döküm esnasında çekmeler ve cüruf birikmesi gibi hatalar alt bölgede daha azdır. Üst yüzeyde ise bu durumun tam tersi cüruf birikmesi ve çekme hataları daha belirgindir [18].

Tablo 4.9 Dökme Demir Parçalarda Model İşleme Paylarının Verilişi [18]

Parça Büyük- lüğü (mm)		Nominal Ölçüler (mm) için işleme Payları									
		50'ye Kadar		51-120		121- 260		261- 500		501- 800	
		Ü	A	Ü	A	Ü	A	Ü	A	Ü	A
120'ye Kadar	I	2,5	2	2,5	2						
	II	3,5	2,5	4	3						
	III			4,5	3,5						
121- 260	I	2,5	2	3	2,5	3	2,5				
	II	4	3	4,5	3,5	5	4				
	III			5	4	5,5	4,5				
261- 500	I	3,5	2,5	3,5	3	4	3,5	4,5	3,5		
	II	4,5	3,5	5	4	6	4,5	6,5	5		
	III			6	4,5	7	5	7	6		
501- 800	I	4,5	3,5	4,5	3,5	5	4	5,5	4,5	5,5	4,5
	II	5	4	6	4,5	6,5	4,5	7	5	7,5	5,5
	III			7	5	7	5	8	6	9	7

Tablo 4,9'da verilen ifadeler;

Ü: Döküm Parçası Üst Yüzeyi

A: Döküm Parçası Alt Yüzeyi

- Nominal Ölçü-karşıt işlenecek yüzeyler arasındaki veya eksenden işlenecek yüze olan mesafe.
- Bazı özel hallerde işleme paylarının azaltılmasına müsaade edilir.
- Bu işleme payları delik delme payları için de geçerlidir.

I: Seri İmalat(Kalıplama Makinesi ile)

II: Parça İmalatı

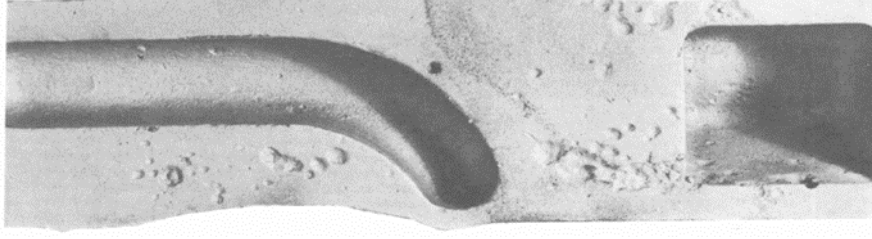
III: Tek Parça İmalatı, numune

4.6 Döküm Hataları

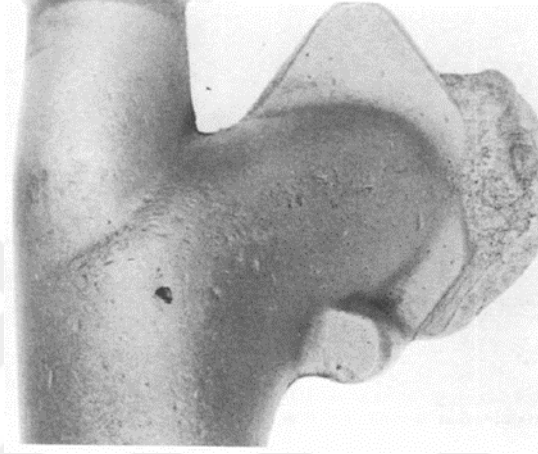
4.6.1 Cüruf ve Kum Boşluklarının Hatası

Döküm aşamasında kalıp kumların sürüklenerek kalıp boşluğuna girmesi, yüzeylerde oyuntu yaratacağından döküm sonrası parçada kum boşlukları gözlemlenebilir. Ergimiş metal içinde istenmeyen maddelere cüruf adı verilir. Cüruflar döküm boşluğuna girerek parça içinde veya yüzeyinde yer alarak parçanın hurdaya çıkmasına sebep olurlar. Kum hatalarının çok farklı sebepleri olabilir. Kum hatası olarak görülen hataların kök nedenine inilmesi gerekmektedir. Kalıplama yapılırken yüzeylerin sürtmesi, maça için yeterli boşluk bırakılmaması, döküm hızının olması gerekenden çok daha yüksek veya yavaş olması, çıkma açısının yetersiz kaldığı durumda kalıp boşluğuna düşen kumlar da olabilir. Ayrıca kalıplama esnasında kalıp kumu yeterli şekilde sıkıştırılmazsa kum hataları gözlemlenebilir.

Çüruf hatalarında ise başlangıçta filtrenin yetersiz olması nedeniyle yapancı madde girişi olabilir, modeldeki filtre yuvası ile filtrenin ebatlarının uygunsuzluğu nedeniyle aradan geçişler olabilir. Açık besleyiciler de cüruf sakatına neden olabilmektedir. [22]



Şekil 4.28 Kesikli akan metal, cürufun döküm boşluğu içine girmesine neden olmuştur. [22]



Şekil 4.29 Düşük yaş mukavemet nedeniyle kalıp köşelerinin kırılması ile parçanın diğer kesitlerine sürüklenen kum taneleri [22]

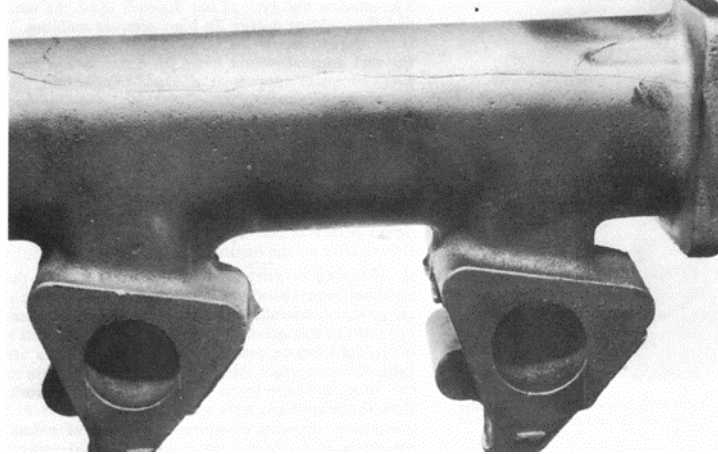
4.6.2 Eksik Döküm ve Katmer Hatası

Döküm esnasında ergimiş metalin kalıp boşluğunu tam dolduramadığı durumda, parça geometrisinin eksik veya hatalı olarak çıkması hatasına eksik döküm denir.



Şekil 4.30 Eksik Döküm Hatalı bir Motor Bloğu Numunesi

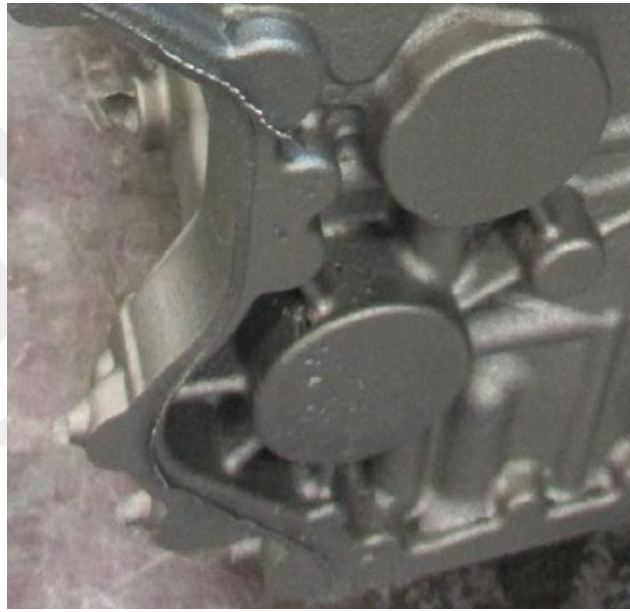
Katmer sakatı ise; ergimiş metalin döküm boşluğunu doldururken tam olarak kaynamayıp, arada bir yüzey oluşturması ile meydana gelen bir sakat çeşididir [22]. Doğru dizayn edilmemiş meme girişleri, yatay yolluklar, hatalı havşa tasarımı, meme girişlerinin, yollukların parçadan önce katılaşması ve kalıp boşluğuna sıvı metali aktaramaması veya çok düşük sıcaklıklarda döküm yapmak gibi sebepler bu hatalara neden olabilmektedir.



Şekil 4.31 Emme Manifoldu üzerinde küçük meme girişleri yüzünden oluşmuş bir katmer sakatı [22]

4.6.3 Gaz Boşluğu Hatası

Kalıp boşluğu döküm öncesinde boş olarak görülmesine rağmen için tamamen hava doludur. Bu havanın döküm esnasında tamamen dışarı atılması gerekmektedir. Aksi durumda gaz tahliyesinin olmadığı yerlerde gaz boşlukları, gözenekli yapılar, küçük oyuntular şeklinde kendini gösteren hataya sebep olurlar. Gaz hataları kalıbın üst kısmında görülmesi daha muhtemel hatalardır, fakat motor bloğu gibi karmaşık geometrili parçalarda dolum şekline göre farklı bölgelerde de gaz boşlukları görülebilmektedir [22]. Kalıp kumundaki nem de gaz hatalarına neden olabilmektedir.



Şekil 4.32 Motor bloğu dökümünde karmaşık geometrili bölgedeki gaz sakatı

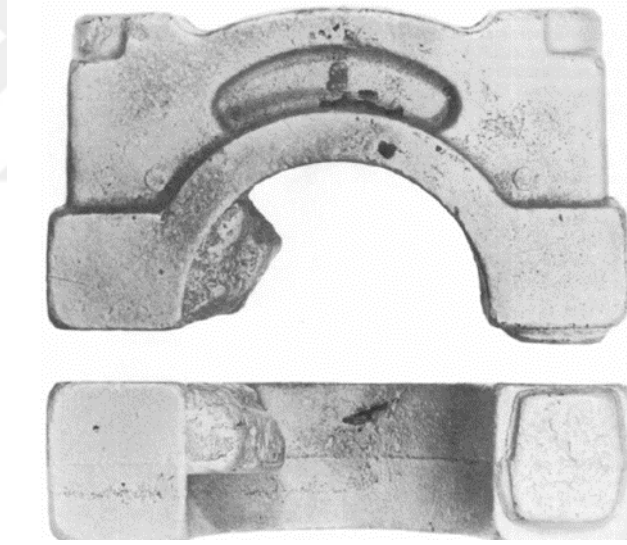
4.6.4 Çekinti Boşlukları

Metallerin çok büyük bir kısmı sıvı halden katı hale geçerken büzüşürler, hacimlerini kaybederler. Bu esnada katılaşılan ve hacim kaybeden metalin ilave ergimiş metal ile desteklenmesi gerekmektedir. Bu destekleme besleyiciler ile yapılır. Bu tip hatalar, genellikle malzemenin en çok dolu olan bölgelerinde görülür. Dış çeperlerden katılaşılarak ve büzüşerek hacim kaybeden metal et kalınlığının veya malzemenin çok olduğu bölgeye doğru kendini çekme başlar ve en sıcak orta bölge yeterli şekilde beslenmezse orada çekinti boşlukları denilen hata oluşur. Bu durum, kesit düzensizliği yaratarak en başında mekanik mukavemetin düşmesine neden

olmaktadır. Bazı parçalarda belirli sınırlarda kabul görmesine rağmen, bazı parçalarda kesinlikle istenmediği durumlar da olabilir [22]. Parçanın kalın kesitli bölgelerinin tasarımı, kontrollü katılaşmanın sağlanamaması, besleyicilerin sağlıklı çalışmasını engelleyecek seviyede soğuk döküm, kalıp duvar hareketleri çekinti boşluklarını görmemize neden olabilir [22].



Şekil 4.33 Kalın kesitte besleme hatasına bağlı çekinti boşluğu [22]



Şekil 4.34 Kalıp duvar hareketine bağlı, kep dökümündeki çekinti boşluğu [22]

4.6.5 Kaçıklık ve Maça Yüzmesi

Kaçıklık, parçanın ayırım yüzeyindeki uyumsuzluk veya maça ile oluşturulacak bir bölgenin boyutlarında maçaların doğru konumlandırılmaması veya montajlanamaması nedenleri ile ortaya çıkan sapmalardır. Bu hata gözle muayene

ile kolaylıkla saptanır. Bazı kalıp esnemeleri bazen kaçıklık olarak yorumlanabilmektedir. Burada hata tespitinde dikkati ilerlenmelidir. Ayrım yüzeyinin aynı anda ters yönlerde kaçıklığı beklenmemelidir. Karar vermekte güçlük çekilen durumlarda (bir uçtaki kaçıklığın diğer uçtan fazla olması, vb.) problemin kaçıklık olmayabileceğini düşünmek ve kalıp esnemesini kontrol etmek gerekir [22].

Motor bloğu gibi karmaşık geometrili, büyük ve çok maçalı dökümlerde maça hareketleri de büyük önem kazanmaktadır. Tasarımdan gelen nispeten homojen ve alt limitlerdeki cidar kalınlıkları maça hareketinden ciddi oranda etkilenmektedir. Benzer şekilde maça hareketine bağlı olarak işleme payları da değişmekte, talaşlı imalatta zorluk veya yetersiz yüzey kalitesi gibi problemlere neden olmaktadır. Tasarımda ve imalatda bu hususa dikkat etmek gerekmektedir. Gerekli emniyet payları verilerek tasarımda ilerlenmelidir.



Şekil 4. 35 Motor Silindir Kafası dökümünde maça hareketine bağlı işleme payı ve et kalınlığı hatası

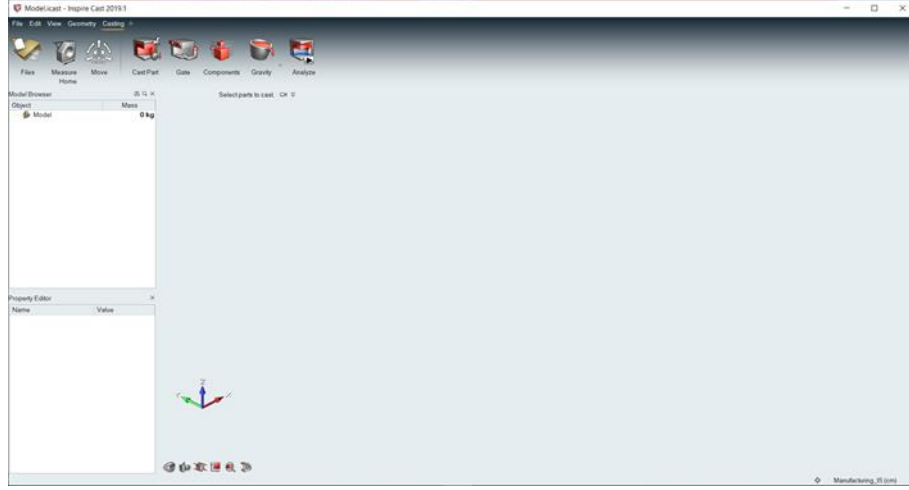
Motor Bloğu Hafifletme Çalışması ve Döküm Simülasyonu

Bu bölümde çalışmaya konu olan dizel motor bloğuna yönelik hafifletme çalışmasının detayları, simülasyon çalışmasında kullanılacak yolluk tasarımının hesabı ve döküm simülasyon çalışmasının detayları verilmiştir.

5.1 Dökümde Simülasyon

Döküm simülasyon programları, döküm tekniği ile üretimi gerçekleştirilecek parçaların prototip ve sipariş aşamasında en uygun ve en ekonomik biçimde üretilebilmesi için know-how aşamasının bilgisayarda denenmesine imkan tanıyan paket programlardır. Bu sebeple simülasyon programlarının özellikle yüksek kaliteli parça üreten dökümhanelerde kullanımı her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Rekabetin yüksek olduğu böyle bir alanda simülasyon programı kullanmak, hem işçilik hem maliyeti açısından hem de rakipler ile arayı açmak açısından en önemli araçtır.

Özellikle büyük hacimli, karmaşık geometrili ve yüksek kalite beklenen çalışmalarda bu programları kullanmak büyük avantaj sağlamaktadır. Büyük parçaların ıskartaya ayrılması işçilik, maliyet ve zaman kaybı açısından dökümhaneye büyük yükler getirecektir. Şekil 5.1’ de Altair InspireCast simülasyon programının ara yüzüne ait bir görüntü verilmiştir. Simülasyon programından gerçeğe yakın sonuç alınmak isteniyorsa mutlaka kapsamlı ve özelleştirilebilir bir program seçilmelidir. Bunların seçiminde dikkat edilecek nokta kullanıcının dökümünü yaptığı alaşımlar, ne tür kalıplar kullandığı ve döküm yöntemi gibi kendine özgü şartları programa girdi olarak verebilmesidir [4].



Şekil 5.1 Altair InspireCast programının ara yüzüne ait görüntü

Döküm simülasyon programlarının dökümhaneler dışında parça tedarik eden firmaların bünyesinde bulunması, tasarım sürecini iyileştirmekte ve daha tasarım aşamasındayken ortaya çıkacak problemleri öngörmesine yardımcı olmaktadır. Parça tasarımları daha tedarikçiye gitmeden üretim açısından değerlendirilebilecektir. Burada kazanılan zaman da rekabetçi piyasa koşullarında büyük önem arz etmektedir. Ayrıca motor blokları gibi karmaşık geometrili ve imalatı zor parçalarda kalite kontrol süreçlerinin hazırlığı açısından, gerekli kontrollerin ve hata beklenen yerlerin ön hazırlığı yapılabilmektedir. Örneğin, simülasyon sonuçlarında çekinti boşluğu riski olan bölgelerin belirlenmesiyle, parça teknik resimlerinde belirtilerek, numune alınması gereken yerler arasına eklenmektedir.

5.1.1 Döküm Simülasyonlarında Tanımlanan Parametreler [4]

Bu programlarda dökümhane şartlarını gerçeğe en yakın şekilde tanımlanması beklenir. Örneğin dökme demir alaşımları ile döküm simülasyonu yapılmak istenen parçanın güncel standartlarda malzeme özellikleri, yolluklu ve besleyicili hali ile ağırlığı, soğuma zamanı ve dağılımı, sıcak bölgeler, çekinti olasılığı olan bölgeleri net bir şekilde ortaya konmalıdır. Bu bize bilgisayar ortamında özelliklerin kontrol altında tutularak hata olasılığını daha aza indirilmesini sağlar. Bu sayede ön görülmeyen işçiliklerden ve maliyetlerden kaçınılmış olunur [24].

5.1.2 Simülasyon Programından Beklenen Özellikler [19]

Döküm simülasyon programları parçada gerçek anlamda kontrol edilen çoğu parametreyi verebilmektedir. Program çıktılarının gerçek deneyler ile doğrulanması ile de program kalibre edilir ve sonraki çalışmalar için referans olacak sonuçlara ulaşılabilir. Döküm simülasyon programları ile kum kalıba döküm, alçak basınçlı döküm ve yüksek basınçlı döküm simülasyonları yapılabilmektedir. Program ile kontrol ettiğimiz parametreler bazıları aşağıda verilmiştir, programın sahip olduğu özelliklere göre farklı analizler de sonuçlara eklenebilmektedir [24].

- Döküm parça hacim ve ağırlıkları,
- Dolum süresi,
- Dolum süresince sıcaklık değişimi,
- Sıvı metalin hızı, yönü, soğuk birleşme noktaları, basıncı vb. fiziksel özellikler,
- Dolumda ve dolum sonrası parçanın katılaşma durumu,
- Parçanın sıcak noktaları ve modülü,
- Herhangi bir zamandaki sıvı faz, katı faz, kritik katı oranları,
- Soğuk birleşmeler,
- Olası gaz boşlukları, en son gaz kalan bölgeler,
- Çekinti olması muhtemel bölgeler,
- Niyama kriterine göre oluşabilecek mikro boşluklar.

5.2 Motor Bloğu Hafifletme Çalışması, Döküm Simülasyonu ve Yolluk Tasarımı

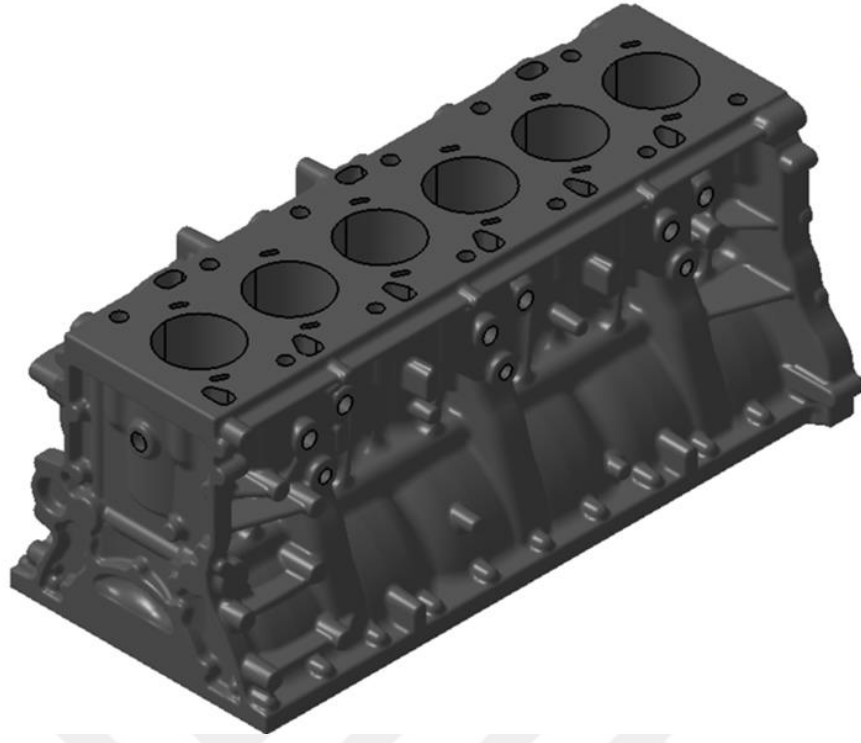
Bu bölümde, iyileştirme kapsamı çalışmasında ikinci prototipleri üretilecek olan ağır hizmet dizel motor bloğunda hafifletme çalışması yapılmıştır. Hazırlanan hafifletilmiş blok tasarımı modal analiz yardımıyla eski tasarım ile kıyaslanmıştır. Akabinde yolluk boyutlandırması yapılmış ve döküm simülasyon programı yardımıyla üretim parametreleri açısından incelenmiştir.

5.2.1 Motor Bloğu Özellikleri

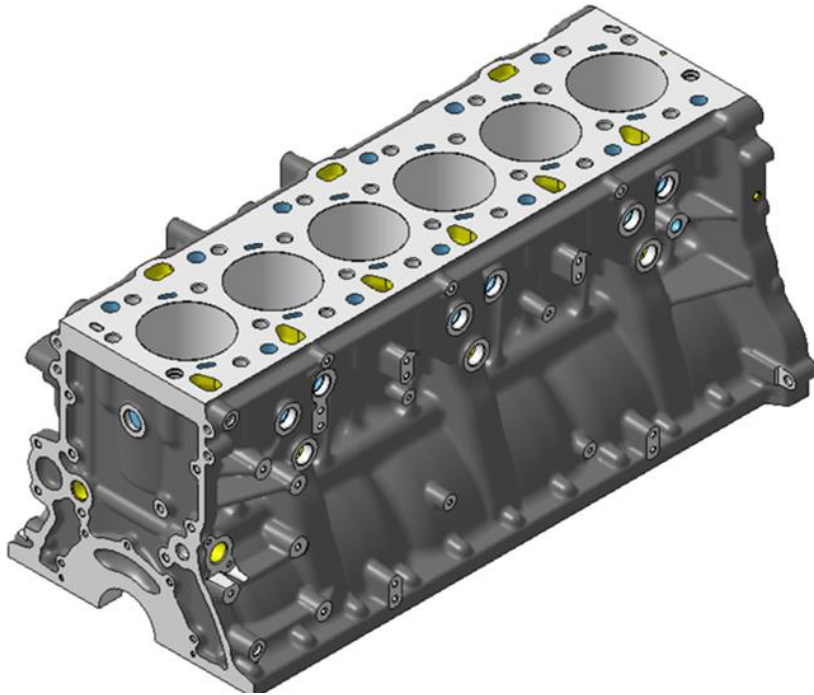
Çalışmaya konu olan motor bloğunun özellikleri çizelge 5.1’de belirtilmiştir.

Tablo 5.1 İlk Tasarım Motor Bloğu Özellikleri

Blok Tipi	Sıralı Altı Silindir
Motor Hacmi	7,8lt
Çap x Stroke	110 x 137mm
Soğutma Kanalı	Kapalı Soğutma Kanalı, Gömleksiz, Yekpare
Blok Etek Yapısı	Kısa Etek
Malzeme	EN-GJL-250, Gri Dökme Demir
Döküm Parça Ağırlık	245,333kg



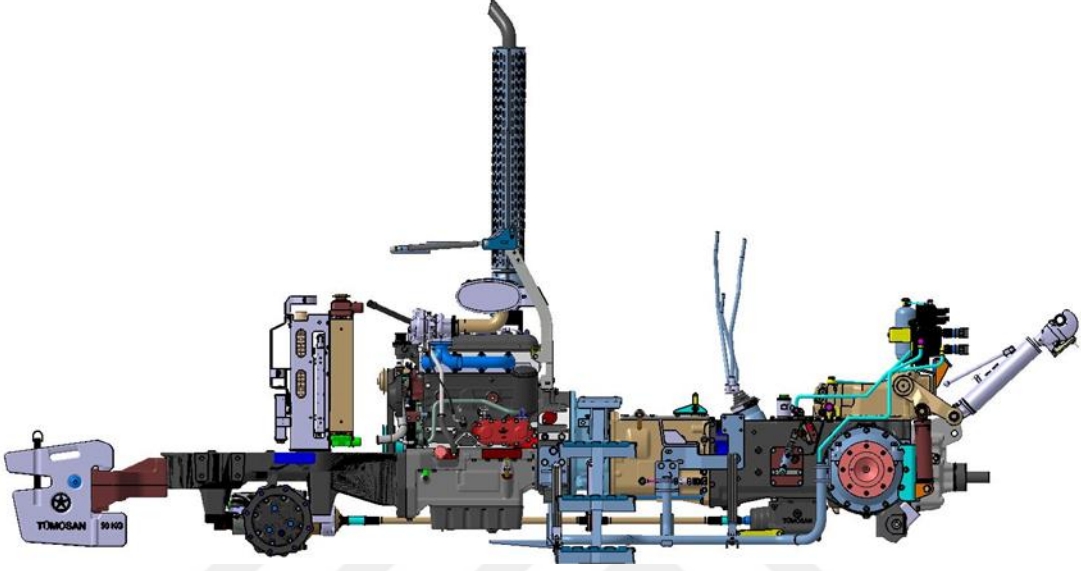
Şekil 5.2 İlk Tasarım Döküm Blok Datası



Şekil 5.3 İlk Tasarım İşlenmiş Blok Datası

5.2.2 Hafifletme Çalışmaları

Çalışmaya konu olan motor bloğu, proje başlangıcında traktör motorunda kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Traktörde kullanılan motor, aynı zamanda traktör şasisinin bir parçasını oluşturmaktadır.



Şekil 5.4 Traktör Şasisinin Bir Parçası Olarak Dizel Motor Bloğu

Motor bloğu şasisinin taşıyıcı bir kısmını oluşturduğunda, motorun kendi dinamikleri dışında; traktörün çevresel faktörlerden gelen etkilere karşı da dayanıklı olması gerekmektedir. Ayrıca ileride değineceğim yük faktörü açısından da değerlendirildiğinde çalışma yoğunluğu ticari kullanımlara göre daha yüksek olduğundan, tasarım emniyet faktörleri nispeten yüksek tutulmaktadır. Bu çalışmada konu olan motor bloğu endüstriyel uygulamalarda kullanılmak amacıyla hafifletme çalışması yapılmıştır. Bu çalışmanın dâhilinde olmak üzere mevcut motor bloğunun, yüksek güçlü motor konfigürasyonlarında da kullanılması amaçlanmıştır. Yani hem daha hafif hem de daha yüksek güç ihtiyacını karşılayacak bir blok tasarımı hedeflenmiştir.

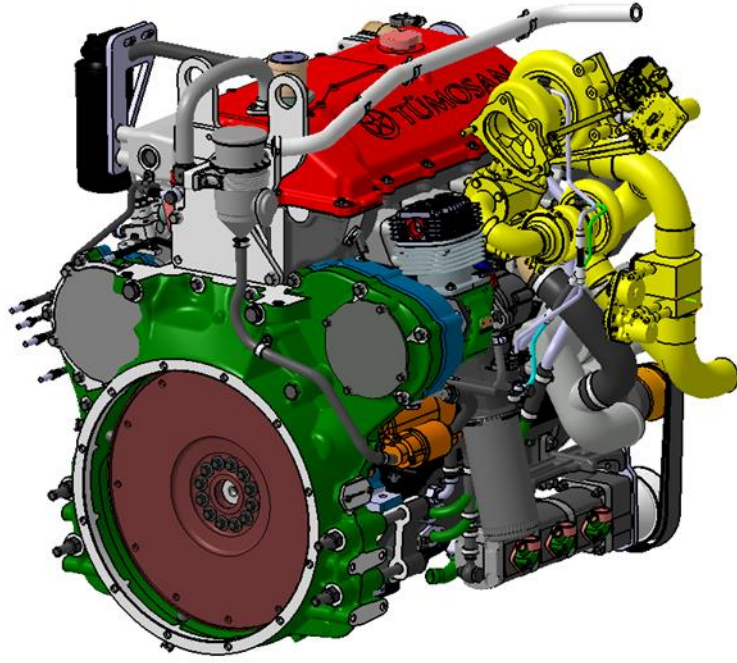
Hafifletme çalışması konusu kendi içinde üç farklı alt başlıkta gerçekleştirilmiştir.

5.2.2.1 Doğru Tasarım

Parça tasarımına başlarken veya geliştirme esnasında yapılması gereken ilk çalışmalardan biri girdilerin ve çıktıların belirlenmesidir. Ürün, parça modellemede de her ne olursa olsun, ister taşıyıcı bir eleman isterse çok karmaşık bir geometri; özünde belirli ihtiyaçları karşılamak için tasarlanır ve üretilir. Ürün geliştirme kısmında da yapılacak bir iyileştirmeye başlamadan önce, geliştirme yapılacak kısmın görevini, çalışma şartlarını ve emniyet faktörlerini doğru tespit etmemiz gerekmektedir. Aksi halde yüksek maliyet, daha ağır bir tasarım, üretim problemleri konularında sıkıntılar yaşayabiliriz.

Çalışmaya konu olan dizel motor bloğu, temelinde traktör motorunda kullanılmak üzere tasarlanmış ve ilk prototipi üretilmiştir. Fakat içten yanmalı motorlar konsept tasarım aşamasından itibaren bir aile, yani düşük hacimden yüksek hacme; tarım uygulamalarından endüstriyel uygulamalara kadar birçok alanda kullanılacak şekilde tasarlanır. Aynı motor bloğu bazı iyileştirmeler ile farklı uygulamalarda kullanılabilmektedir.

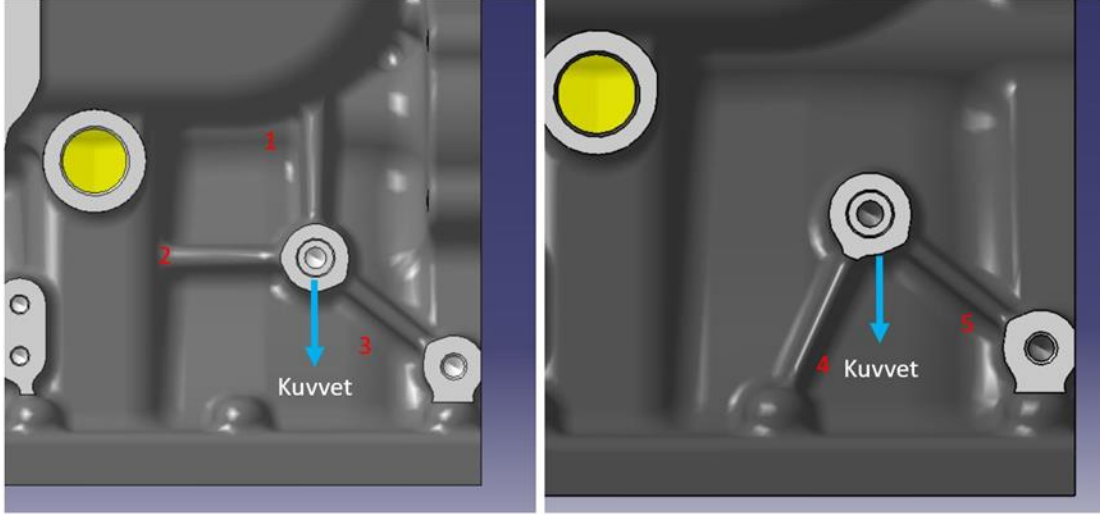
Motor bloğu, motorun temel taşıyıcı elemanıdır. Çalışmaya konu olan sıralı içten yanmalı bir dizel motor bloğu düşünürsek, hemen üzerinde silindir kafası, alt kısmında yağ karteri, ön kısımda kayış-kasnak grubu, arka kısmında da volan muhafaza, yanlarında çeşitli aksesuarlar ve onların tutucu elemanları yer alır. Uygulamaya göre değişiklik göstermesiyle birlikte motorun araç ile bağlantı ara yüzü de motor bloğu üzerinde yer alabilmektedir. Bazı uygulamalarda karter tarafında yer alabilmektedir.



Şekil 5.5 TUMOSAN TMSN 5.X Dizel Motoru Montajı

Yukarıda bahsettiğim tüm bu elemanlar blok üzerindeki bir ara yüz ile kontak halindedir. Bu bağlantı şekli de daha çok cıvata, bazen de saplamalar ve sabitleme pimleri aracılığı ile olur. Bahsedilen bu bağlantı noktalarının her biri için önce dolu malzeme hacmi, delik ve diş mesafeleri, eğer bir kontur ise yeterli cidar kalınlıkları, ihtiyaç olursa da bayraklar atılarak güçlendirmeler yapılarak ara yüzler oluşturulur.

Çok fazla bileşenin olduğu bu sistemde gereksiz her eleman maliyet ve ağırlık teşkil eder. Bu nedenle gerek ilk tasarım gerek ise iyileştirme çalışmalarında ihtiyaç duyulan elemanın girdi ve çıktıları belirlenerek sadece gerekli olanın yapılması doğru tasarımın esasıdır. Bu çalışmada konu olan motor bloğunda örnek bir bayrak iyileştirilmesi Şekil 5.6' da gösterilmiştir.



Şekil 5.6 Tasarım İyileştirme

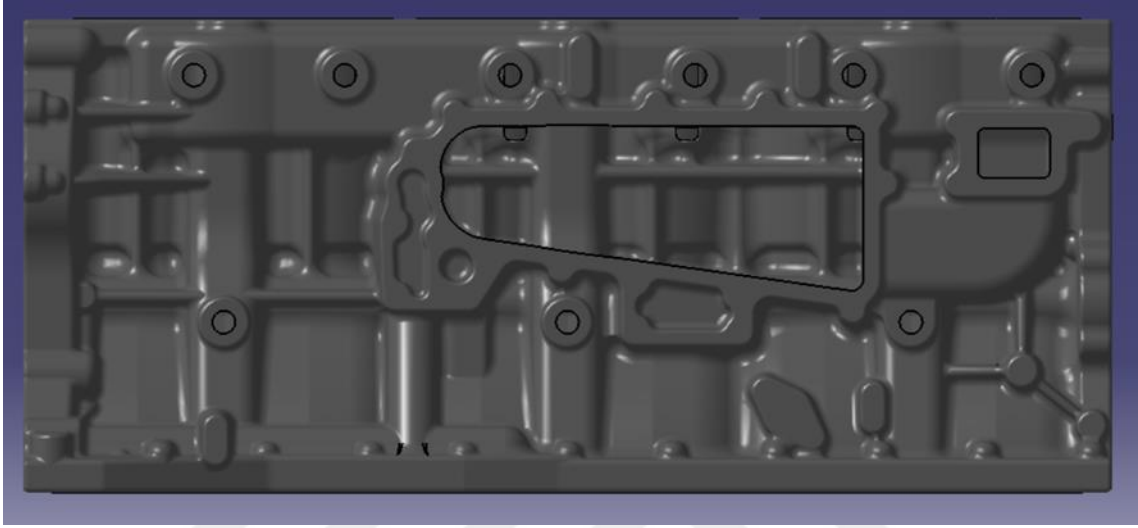
Şekil 5.6 'da gösterilen mavi ok, işletme esnasındaki kuvvet doğrultusunu göstermektedir. Soldaki tasarım, prototipin ilk halini, sağdaki tasarım hafifletilmiş çalışmayı göstermektedir. Dökme demirler çekmeye nazaran, daha yüksek basma dayanımı gösterirler. [25] Yukarıdaki şekilde göreceğiniz üzere 1 ve 2 No 'lu federler çekmeye zorlanırken, hafifletilmiş tasarımda 4 ve 5 No 'lu federler basmaya zorlanmaktadır. Ayrıca ilk tasarımdaki 1 ve 2 No 'lu federler, et kalınlıkları 4 ile 7 arasında değişen cidarlardan destek alırken, hafifletilmiş tasarımdaki 4 ve 5 No 'lu federler tamamıyla dolu malzemenin olduğu ve cıvatalara yataklık eden yüzeylerden referans almaktadır. Böylelikle kuvvet iletimi de sağlıklı olmaktadır. Bazı durumlarda feder sayısının azaltılmasının yanında et kalınlıkları da azaltılabilmektedir.

Bir blok üzerinde buna benzer onlarca durum bulunmaktadır. Bu yaklaşım ile ilerlenerek, yani malzemeyi ve işletme şartlarını doğru tanımlayarak, doğru modelleme teknikleri kullanarak, ancak doğru tasarıma elde edilebilir.

5.2.2.2 Üretimden Gelen Kısıtlar

Parça tasarlanırken, sınırlardan biri de üretim tarafından gelen taleplerdir. Kalıp ile üretilen parçaların temel tasarım parametrelerinden biri çıkma açısı dediğimiz değerdir. Bu değer uygulamaya, üretim şekline ve malzemeye göre değişiklik gösterebilir. Ağır hizmet sektöründe kullanılan nispeten büyük hacimli motor

blokları çoğunlukla kum kalıba döküm yöntemiyle üretilirler. Kum kalıba döküm yönteminde kalıp ve model malzemesine, kullanılan kumun kalitesine göre çıkma açısı değerleri değişmektedir. Motor bloğu gibi karmaşık geometriye sahip bir parça, gerek maliyet gerekse rekabetçi piyasa şartları gereği en hafif en dayanıklı en düşük maliyet hedefi ile tasarlanıp, üretilir. Şekil 5.7’de kalıplamaya hazır motor bloğunun yan yüzeylerinden birini görmekteyiz.



Şekil 5.7 Motor Bloğu Yan Yüzeyi

Çok fazla girintili çıkıntılı ve iç içe geçmiş yüzeyler üretimi zorlaştırmaktadır. Üreticiler bu durumlarda kalıp çıkma açısı için en yüksek değeri verilmesini isterler. Fakat böylesine karmaşık ve çok fazla girinti çıkıntı olan bir yüzeyde, çıkma açılarının artması cidar kalınlıklarının artmasına ve dip noktalarda malzeme yığılmasına neden olmaktadır. Üreticiler bu tip motor bloklarında genel olarak yan yüzeyler için 3° çıkma açısı önermektedirler. Oysa bu genel geçer bir yaklaşımdır. Her yerde bu açıyı vermek doğru olmayabilir, bu çalışmada da çıkma açıları her bölgeye özel olarak değerlendirilip 1 ile 3° arasında değişecek şekilde çalışılmıştır. Bu sayede %0.5 ile %1 arasında ağırlık kazancı sağlanmıştır.

5.2.2.3 Motor Tasarımında Bir Parametre Olarak Yük Profili

Yük profili motor tasarım ve kalibrasyon parametrelerine ait önemli bir faktördür. Tanımı firmaların kendi politikaları ve teknolojik altyapılarına göre değişmektedir. Yük profilinin tanımı tam anlamıyla yoktur, belirtilen nedenler neticesinde firmaların kendine ait yaklaşımları vardır. John Deere firması yük faktörü için yakıt

tüketimi üzerinden bir değerlendirme yaparken [26], IVECO firması yük faktörünü; motorun o andaki ihtiyacı olan gücün, maksimum güce oranı şeklinde ifade etmekte. EPA, Amerikan Çevre Koruma Ajansı ise motorun ortalama gücünün maksimum gücüne oranını yük faktörü olarak belirtmiştir [27]. Tablo 5.2’de çeşitli firmaların kıyaslamalı şekilde yük faktörü değerleri verilmektedir.

Tablo 5.2 Yük Faktörü [27]

Ekipman Tipi	Marka/Firma	Yük Faktörü									
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Dozer	Kennedy										
	Day										
	Caterpillar										
	Komatsu										
	Chitkara										
	Dukan										
	Gransberg										
Kamyon	Kennedy										
	Caterpillar										
	Komatsu										
	Chitkara										
	Dukan										
	Gransberg										

Çekici	Kennedy										
	Caterpillar										
	Komatsu										
	Chitkara										
	Dukan										
	Gransberg										
Çalışma Şartlarında Sınıflandırma			Hafif			Orta		Yüksek			

Yük faktörleri için genel bir ifade kullanmak istersek; motorların çalışma ömrü boyunca nasıl bir çalışma döngüsü içerisinde olacağını, tam gücünü ömrü boyunca ne kadar kullandığını gösterirler. Tablo 5.3 'te farklı platformlarda görev yapan motorların çalışma süreleri ve tam yük değerleri yüzdesel olarak verilmiştir.

Tablo 5.3 Endüstriyel Uygulamalarda Yük Faktörü Örnekleri [28]

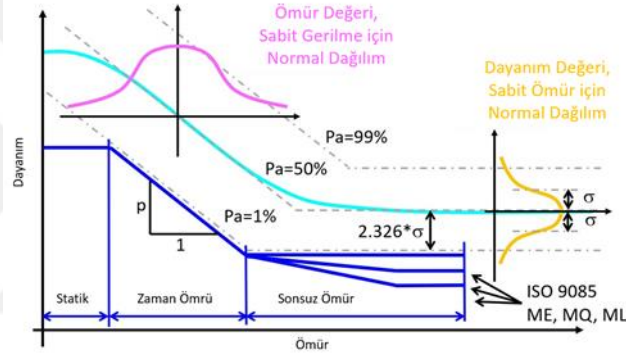
Uygulama Tanımı	Aktivite (saat/yıl)	Yük Faktörü (% Maksimum Güç)
Jeneratör	338	74
Hava Kompresörü	815	48
Pompalar	403	74
Petrol Sahası Araçları	1231	92
Yeraltı Maden Araçları	1533	68
Klimalar	1341	28

Taktik Askeri Araçlar	260	62
Terminal Çekicileri	1257	82
Kaynakçılar	643	45
Fork Liftler	1700	30
Diğer Malzeme Kaldırıcılar	421	59
Lokomotif	848	63
Yıkayıcı/Süpürücü	1220	68
Yüzey İşlem Ekipmanları	561	45
Orman İşletmesi Araçları	1276	71
Marin Yardımcı Ekipmanları	2608	67
Öğütücüler	465	73
Vinçler	806	43
Ekskavatör	859	57
Kazıyıcı	914	72
Greyder	821	61
Paletli Dozer	936	64
Çekiciler	761	68
Ezme/İşleme Ekipmanları	955	78

Tablo 5.3’de de görüldüğü üzere bir motorun çalışma döngüsü, uygulamaya göre ciddi farklılıklar göstermektedir. Bu durum motoru oluşturan tüm sistemlerin

boyutlandırmasını ve tasarımı etkilenebilmektedir. Aynı özellikte iki motor, traktör uygulamasında 80 kW olarak kullanılırken, forklift motoru olduğunda 105 kW olacak şekilde kalibrasyonu yapılabilmektedir.

Şekil 5.8 'de paylaşılan örnek bir S/N eğrisi paylaşılmıştır. Bu çalışmada yapılan tasarım iyileştirmesinin temeli hakkında bilgi vermektedir. İşletme anında ortaya çıkan gerilmenin genliği, ortalama gerilmenin büyüklüğü ve tekrar sayısı ile malzeme ömrü ile doğrudan ilişkilidir [29]. Çalışma şartlarına göre tasarım hedefi doğrultusunda bir yaklaşım sergilenebilmektedir. Benzer güçte iki motorda; tam güç değerini ömrünün %20'si ile %80'inde kullananlar arasında oluşan gerilme ve yük tekrarı kıyası, tasarımda farklı boyutlandırma imkanı için belirleyici öneme sahip bir parametredir.



Şekil 5.8 SN Eğrisi ve Ömür Parametresi

5.2.3 Malzeme

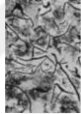
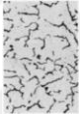
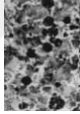
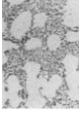
Parça hafifletme denilince akla gelen ilk değişikliklerin başında malzeme değişikliği gelir. Malzemeler bu tip iyileştirme çalışmalarında çok daha baskın bir parametre olarak yer alırlar. İlk prototip blok tasarımı “Kısa Etekli” olarak ifade edilen yani krank eksenin altına uzanmayan yapıda ve gri dökme demirden imal edilmiştir. Malzeme seçiminde birçok parametre etkindir, fakat üretim ve işleme kolaylığı, ısı iletim kabiliyeti ve maliyet açısından gri dökme demir avantajlı görülmektedir [12]. Tablo 5.4'te de ısı iletim katsayıları arasındaki ilişki verilmiştir.

Tablo 5.4 Isı İletim Katsayısı Karşılaştırması [12]

	Gri Dökme Demir	Küresel Grafitli Dökme Demir	Kompakt Grafitli Dökme Demir	Alüminyum Alaşımları
Isı iletim Katsayısı (W/m-K)	45-50	10-30	30-40	90-210

Tablo 5.5’de motor bloklarında kullanılan farklı malzemeleri ve karşılaştırmalarını görmek mümkündür.

Tablo 5.5 Motor Bloklarında Kullanılan Malzemeler [14]

Özellik	Gri Dökme Demir	Kompakt Grafitli Dökme Demir	Küresel Grafitli Dökme Demir	Çelik Döküm	Alüminyum Döküm
Yapı					
Yoğunluk (g/cm ³)	7,2	7,2	7,2	7,7	2,7
Çekme Dayanımı (MPa)	250-400	300-500	400-800	450-800	160-320
Young Modülü (GPa)	100-135	130-160	160-185	210	75
Dökülebi- lirlik	En iyi	İyi	İyi	Kötü	En iyi

Kaynak İmkânı	Kötü	Kötü	İyi	En iyi	İyi
Yapı	Yekpare	Yekpare	Yekpare	Kaynaklı Levha	Yekpare
Uygulama	Otomobil ve Ticari Araç Motorları	Büyük Motorlar	Ticari Araç Motorları ve Büyük Motorlar	Büyük Motorlar	Özel Motorlar

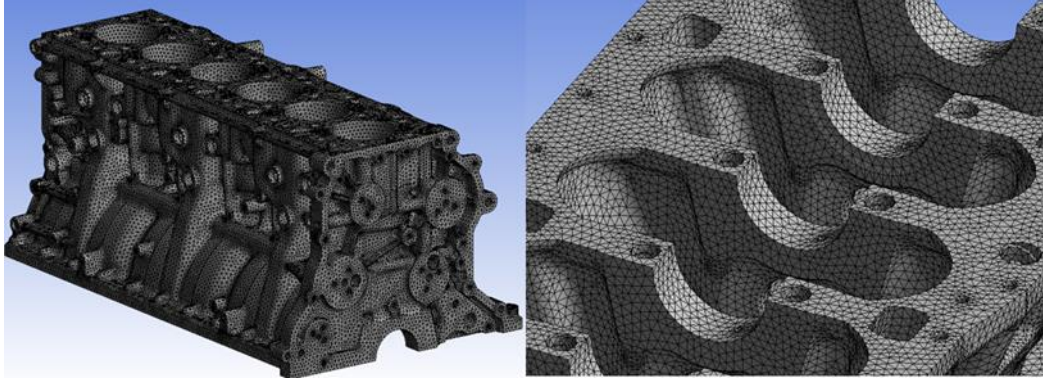
Bu çalışmada hafifletme çalışması yapılan motor bloğu mevcut prototipten daha yüksek güçte motor versiyonlarında da kullanılacağı için ısı iletim katsayısı yüksek, firma bünyesindeki talaşlı imalat alt yapısına da uygun işlenebilirlik özelliklerine sahip olan bir malzeme tercih edilmiştir. Belirtilen gerekçeler nedeniyle aynı blok malzemesi ile devam edilmiş, malzeme olarak EN-GJL-250 (Gri Dökme Demir) kullanılmıştır [25].

5.2.4 Prototip ve Hafifletilmiş Yeni Tasarımın Karşılaştırılması

Motor bloğu tasarımı gerek bilgisayar destekli modelleme açısından gerekse sonlu elemanlar analizi açısından mevcut modelleme teknikleri ve kabiliyetleri neticesinde oldukça karmaşık bir yapıdadır. Ayrıca prototip olarak üretilmesi ve testleri çok yüksek maliyetler ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle hazırlanan tasarımlar öncelikle sanal ortamda incelenip çalışma şartları dikkate alınarak değerlendirilir.

Bu çalışmada eski ve yeni tasarımlar modal analiz yapılarak biri birleri ile karşılaştırılmış ve hazırlanan yeni tasarımın sonuçları incelenmiştir.

Analiz çalışmaları için de ağ kalitesi doğru bir sonuç için en önemli kısıtlardan biridir. Bu çalışmada blok ağ datası karmaşık geometrilerde kullanılan “tetrahedron” elemanlar ile oluşturulmuştur.

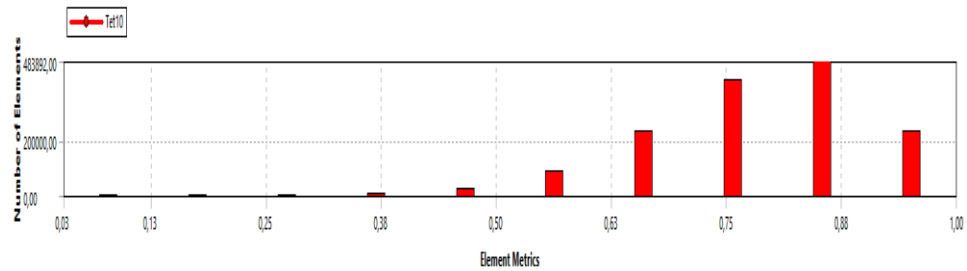


Şekil 5.9 Blok Ağ Datası

Ağ eleman boyutları blok üzerinde bölgesel olarak kontrol edilerek düzenlenmektedir. Bulunduğu yer, maruz kalacağı mekanik ve termal yükler, o bölgeyi oluşturan yüzey formu eleman boyutlandırmasındaki önemli etkenlerdendir. Oluşturulan mesh, kalite parametrelili incelenerek en doğru sonuca ulaşılmaktadır.

Mesh Metric	Eleman Kalitesi
☐ Minimum	2,9611e-002
☐ Maksimum	1,
☐ Ortalama	0,78607
☐ Standart Sapma	0,11665
☒ İnflasyon	
☒ İleri Seviye Ayarlar	
☒ İstatistik	
☐ Düğüm Noktası	2334598
☐ Eleman	1484014

Şekil 5.10 Blok için oluşturulan Ağ Kalitesi



Şekil 5.11 Blok Ağ Datası Metrikleri

Tasarım geliştirme sonrası ilk durumdan yeni duruma geçişlerde mod analizleri hızlı bir değerlendirme yapılmasına olanak verir. Yapısal dinamik testinin diğer bir

alanı da titreşim testidir. Titreşim test ve analizleri, elastik bir yapıda dinamik özellikleri, doğal frekansları ve titreşimin modlarını belirleyerek karakterize eder. Her modun belirli bir doğal frekansa vardır. Her mod için, yapı üzerinde modu tanımlayan karakteristik bir mod geometrisi bulunmaktadır. Yapının dinamik özellikleri önceden tanımlanabildiği için, çalışma koşullarındaki yapının davranışı tahmin ve kontrol edilebilir niteliktedir [30].

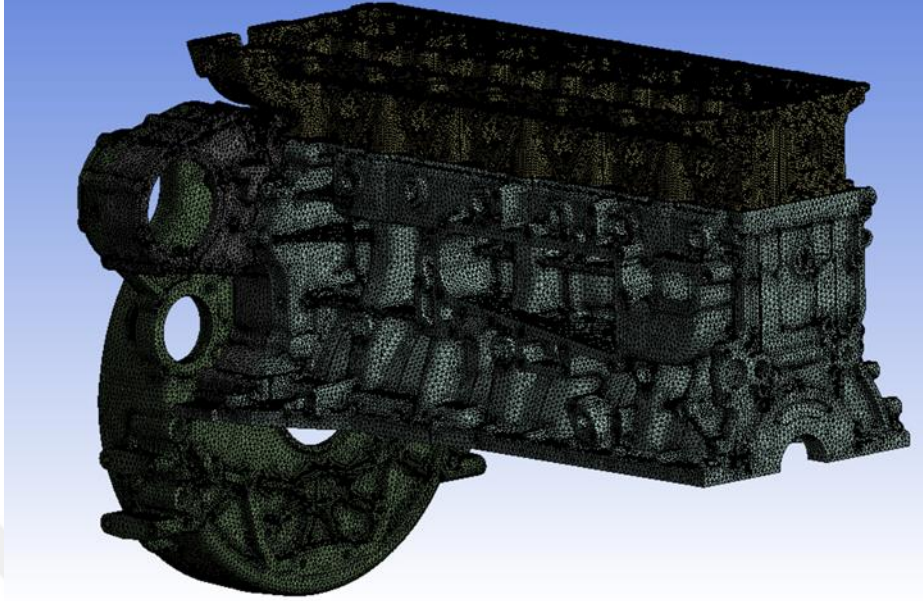
Hafifletilmiş blok tasarımı ile ilk blok tasarımı analiz sonuçları Tablo 5.6 'da verilmiştir. Tasarımın tam anlamda doğrulanması için blok tasarımındaki değişikliklerin sistem tarafında da nasıl bir etkisi olduğunu incelemek adına, motor bloğu üzerindeki kritik komponentlerin de olduğu bir montaj ile tüm sistemin modal analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 5.6 'da verilmiştir. Burada ilk sütun, iki blok arasındaki değişimi gösterirken, ikinci sütun, eski ve yeni blok datalarının aynı parçalar ile sistem açısından kıyaslandığı sonuçlar paylaşılmıştır.

Tablo 5.6 Eski ve Yeni Blok Mod Frekansı Karşılaştırması

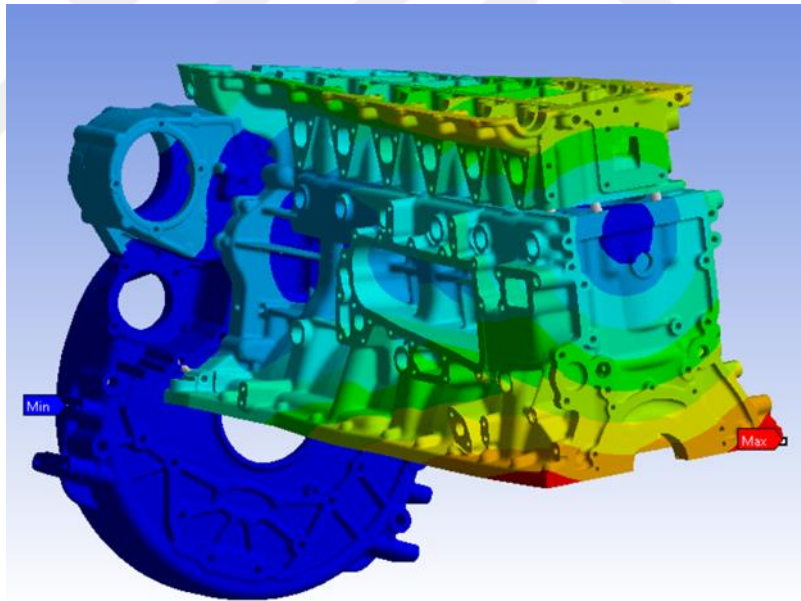
Mod	Hafifletilmiş Bloкта Frekans Farkı (%)	Hafifletilmiş Sistemde Frekans Farkı (%)	Kütle Farkı (%)
1	-2,1	2,4	-6,2
2	-3,8	5,1	-6,2
3	-1,6	2,3	-6,2
4	-1,6	34,8	-6,2
5	-3,9	6,5	-6,2
6	-10,4	10,0	-6,2

Sistem analizinde sabit noktalar volan muhafaza üzerindeki motor takoz bağlantı ara yüzünden verilmiştir. Şekil 5.12 'de montajlı sisteme ait bir sistem ağ görüntüsü

yer almaktadır. Eski tasarımın sistem ile analizindeki 4. moduna ait hareket ise Şekil 5.12’de verilmiştir.



Şekil 5.12 Blok ve Sistem ile Birlikte Ağ Görüntüsü



Şekil 5.13 İlk Blok Tasarımının Sistem ile Analizi ve Burulma Mod Şekli

TÜMOSAN bünyesindeki deneyimler neticesinde, modal analizlerde iki tasarım arasındaki geliştirme farkları ve kıyaslamada sonuçlar arasındaki %5’lik bir farkın, olumlu ya da olumsuz anlamda kayda değer bir gelişme olmadığı kabulü ile ilerlenmektedir. Bu değer üzerindeki durumlarda sonuçların tartışılması ve geliştirilmesi gerektiği kararı verilmektedir.

Eski ve yeni hafifletilmiş motor bloğunun hem kendi başlarına hem de sistem ile birlikte karşılaştırma analizi sonuçlarından kayda değer bir fark görülmemiştir. Motorun çalışma dinamikleri açısından bakıldığında hafifletilmiş tasarımda sistemin burulma modunda kayda değer bir artış görülmüş ve olumlu anlamda değerlendirilmiştir.

5.2.5 Döküm Simülasyonu ve Yolluk Boyutlandırılması

Hafifletilmiş blok tasarım için yolluk tasarımı ve besleyici hesabı için gerekli bilgiler;

Tablo 5.7 Hafifletilmiş Blok Datası Özellikleri

Blok Tipi	Sıralı Altı Silindir
Motor Hacmi	7,8lt
Çap x Stroke	110 x 137mm
Soğutma Kanalı	Kapalı Soğutma Kanalı, Gömleksiz, Yekpare
Blok Etek Yapısı	Kısa Etek
Malzeme	EN-GJL-250, Gri Dökme Demir
Döküm Parça Ağırlık	234,4kg
Parça Hacmi	32250 cm ³
Parça Yüzey Alanı	16000 cm ²
Parça ölçüleri	478 x 837 x 363mm

Tablo 5.8 Malzeme ve Kalıba Ait Özellikleri

Malzeme:	EN-GJL-250 (BS EN-1561:2011'e göre)
Yoğunluk:	7,2 gr/cm ² (BS EN-1561:2011'e göre)

Solidüs Sıcaklığı:	1100°C	Likidüs Sıcaklığı	1205°C
Dinamik Viskozite:	0,001 kg/msn		
Kalıp Kumu:	Yaş Kalıplama Kumu		
Maça Kumu:	Silis Kumu		
Sürtünme Katsayısı:	0,4		
Kalıp Yüksekliği:	550mm		
Döküm Sıcaklığı:	1450°C		

Tablo 5.9 EN-GLJ-250 Kimyasal Bileşimi

Malzeme	%C	%Si	%P	%Mn	%S
EN-GJL-250	3,20	1,80	0,026	0,57	0,07

İlk aşamada parçanın sıcak noktalarının tespiti, modüllerin, yükseltici koyulacak bölgelerin tespiti için taslak yolluk tasarımı ile bir döküm simülasyonu koşulmuştur. Yolluk tipi basınçsız yolluk olacak şekilde planlanmıştır. Parça; iki ayrı yatay koldan, on noktadan beslenecek şekilde bir tasarım hazırlanmıştır. Taslak yolluk ile birlikte brüt ağırlığından yola çıkarak dolum süresi hesabı Şekil 5.15 'e göre yapılır. Dolum süresi 22sn olarak belirlemiştir.

- Brüt parça ağırlığı: 235kg
- Taslak Yolluk Ağırlığı: ~45kg

Parçanın üst derecede olması durumunda,

$$H = h - \frac{c}{2} \quad (5.1)$$

H = Etkin Döküm Yüksekliği (cm)

h = Parça Yüksekliği (cm)

$$H = 55 - \frac{36,3}{2} \quad (5.2)$$

H=36,8cm olarak bulunur.

Kritik Kesit Hesabı;

$$C_A = \frac{22,6 \times W}{\rho \times \xi \times t \times \sqrt{H}} \quad (5.3)$$

CA: Kritik Kesit Alanı (cm²)

W: Brüt Döküm Ağırlığı (kg)

ρ: Özgül Ağırlık (gr/cm³)

ξ: Sürtünme Faktörü (birimsiz)

t: Döküm Süresi

H: Etkin Döküm Yüksekliği (cm)

$$C_A = \frac{22,6 \times 280}{7,2 \times 0,4 \times 22 \times \sqrt{36,8}} \quad (5.4)$$

C_A= 16,5 cm²

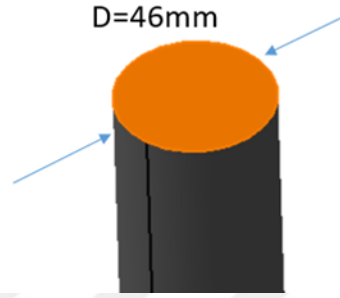
Taslak yolluk tasarımı için basınçsız yolluk kesit oranları uygulamaya göre çeşitlilik göstermektedir.

Tablo 5.10 Basınçsız Yolluk, Kesit Oranları ve Kesit Alanları

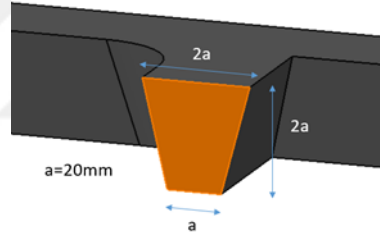
	Kritik Kesit	Yatay Yolluk	Meme

Kesit Oranı	1	1,4	1,6
Kesit Anahı(cm2)	16,5	23,1	26,4

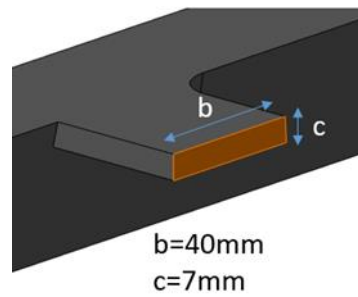
Yolluk tasarımında kritik kesitin olduğu düşey yollukta daire kesitinde, yatay yollukta yamuk, meme girişlerinde ise dikdörtgen kesit kullanıldı. Kesit ölçüleri;



Şekil 5.17 Kritik Kesit, Düşey Yolluk Ölçüleri

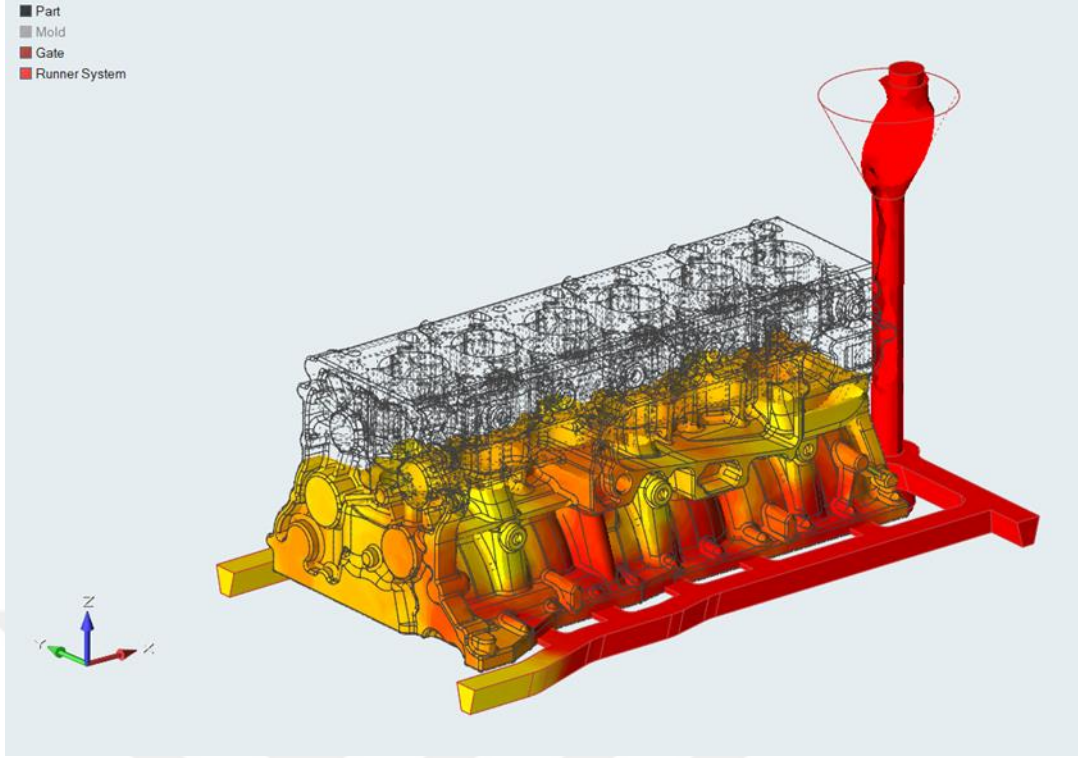


Şekil 5.18 Yatak Yolluk Kesit Ölçüleri

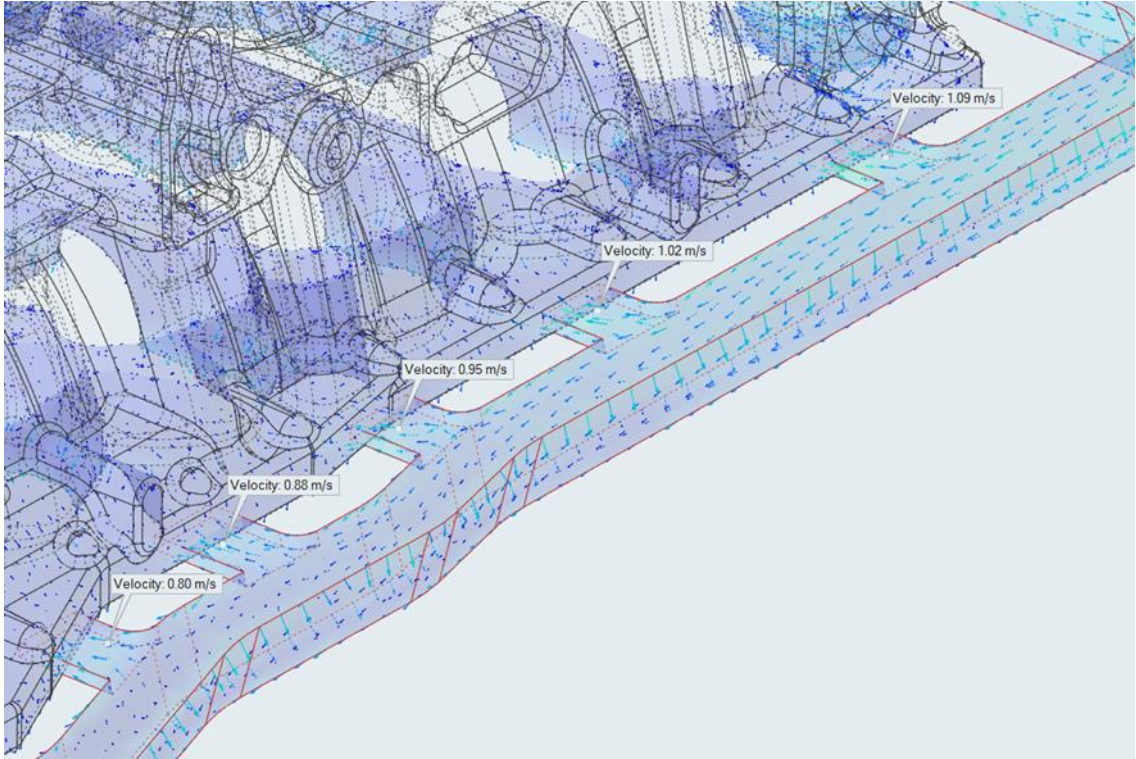


Şekil 5.19 Meme Kesit Ölçüleri

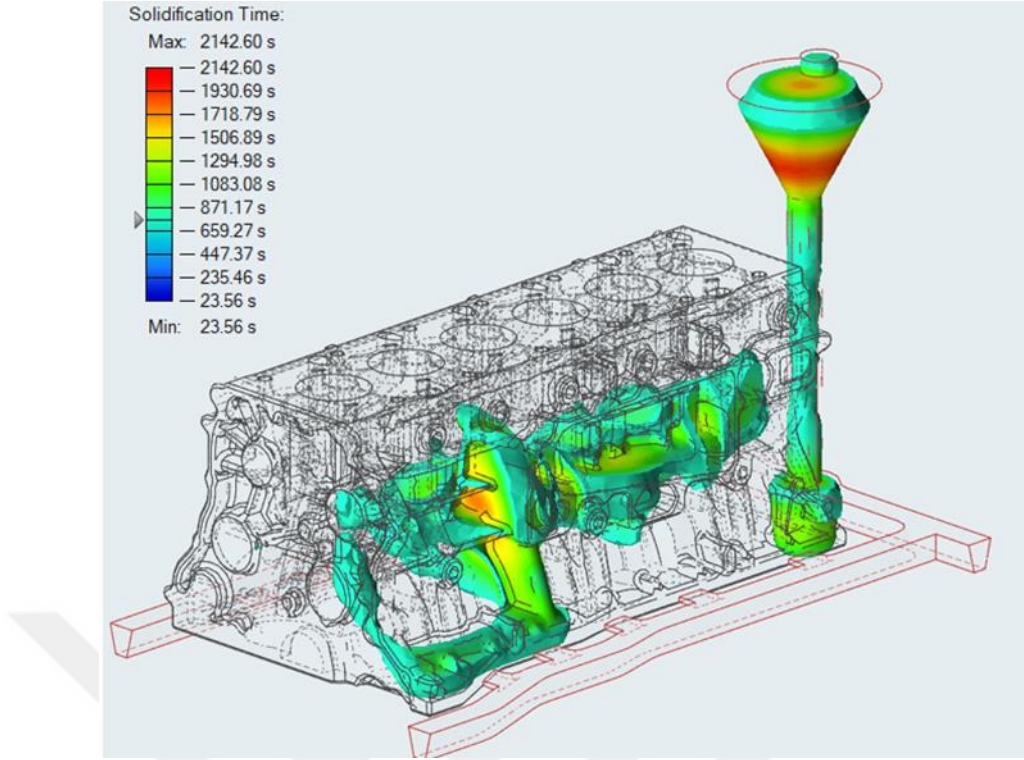
Taslak yolluk ile yapılan ilk simülasyon sonuçları;



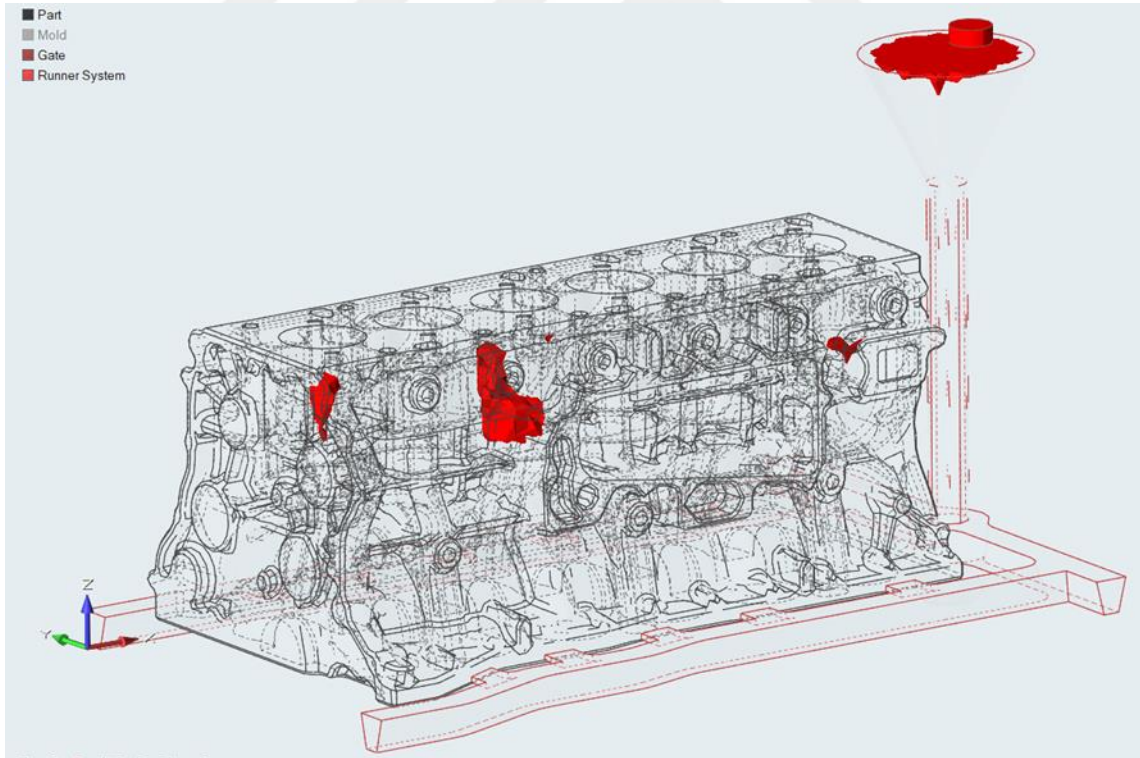
Şekil 5.20 Dolum'un 13. Saniyesinden Bir Görüntü



Şekil 5.21 Dolum Anında Meme Kesitindeki Yaklaşık Akış Hızları



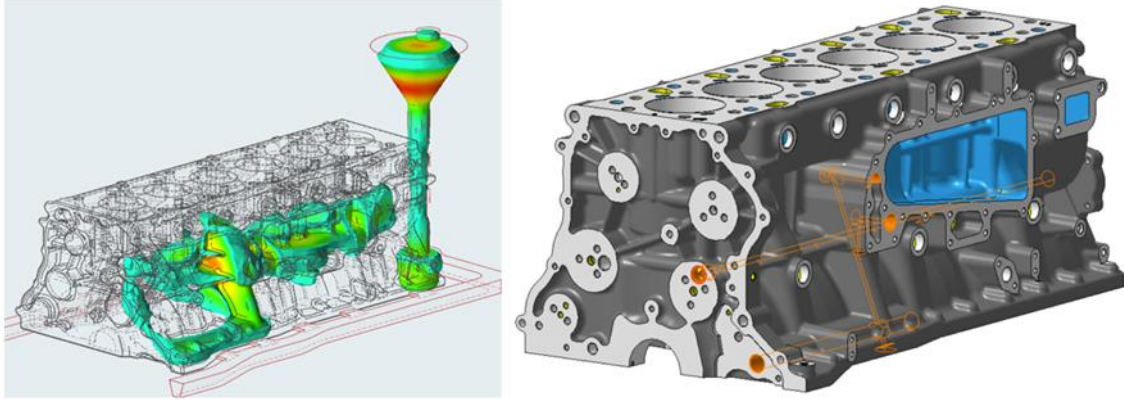
Şekil 5.22 Katılaşma Anından Bir Görüntü



Şekil 5.23 Çekinti Oluşacak Bölgeler

Taslak yolluk ile yapılan çeşitli denemeler ile birlikte besleyici koyulacak yerler belirlendi, çekinti noktaları, geç soğuyan veya erken soğuyan yerler tespit edildi.

Simülasyon sonuçları ile motor bloğu datası incelendiğinde, blok işleminde boydan boya Ø22mm olarak açılacak ana yağ kanalları için oluşturulan dolu hacimlerin ciddi bir malzeme yığılması yarattığı, geç soğuduğu ve besleyiciye ihtiyaç olduğu tespit edildi.



Şekil 5.24 Motor Bloğu Üzerindeki Ana Yağ Kanalları ve Geç Katılaştıran Bölgeler

Motor bloğunun genel cidar kalınlığı 5-6mm arasında değişmektedir. Yağ dönüş kanalları cidarları kritik sınırlarda yer almaktadır, bu bölgelerde ergiyik metal hızla soğumaktadır. Maça bölgeleri sıcaklıkları katılaşma ve malzeme yürümesi problemlerine karşı kontrol edilecektir.

Değerlendirmeler sonucu yeni bir yolluk tasarımı yapılmış, besleyici, filtre gibi diğer döküm elemanları da simülasyon içerisine eklenmiş ve analiz koşulmuştur.

5.2.6 İyileştirilmiş Yolluk Tasarımı

Taslak yolluk ile yapılan denemeler sonrasında yolluk tasarımı tekrar yapılmıştır. Kalıba bazı noktalarda çıkıcılar eklenmiştir. Dolum süresi 24sn ye çıkarılmıştır. Simülasyon çalışmasına filtre de eklenmiştir. Piyasada çok çeşitli filtreler bulunmaktadır, Tablo 5.11 'de ticari olarak kullanılan bazı filtreleere ait özellikler verilmiştir.

Tablo 5.11 Filtrelerin Döküm Malzemesine Göre Filtreleme Kapasitesi [5]

Malzeme	Pİ	Filtrasyon Kapasitesi (kg/cm²)
Sfero	10 (Geniş)	1,5
Gri	20 (Orta)	4
Kompakt Grafik	10 (Geniş)	2

Tablo 5.12 Sedex Filtre Boyutları ve Malzemelere göre özellikleri [5]

	Alan (cm²)	Gri Dökme Demir (maks. kg)	Sfero Dökme Demir (maks. kg)
Filtrasyon Kapasitesi (kg/cm²)	10 (Geniş)	1,5	
50x75	25	100	38
50x100	50	200	75
75x75	56,25	225	884
75x100	75	300	113

Toplam döküm ağırlığı ve iki yatay kollu yolluk tasarımı düşünüldüğünde gri dökme demir için olan 20ppi , 75x75 ölçülerinde filtre seçimi yapılmıştır.

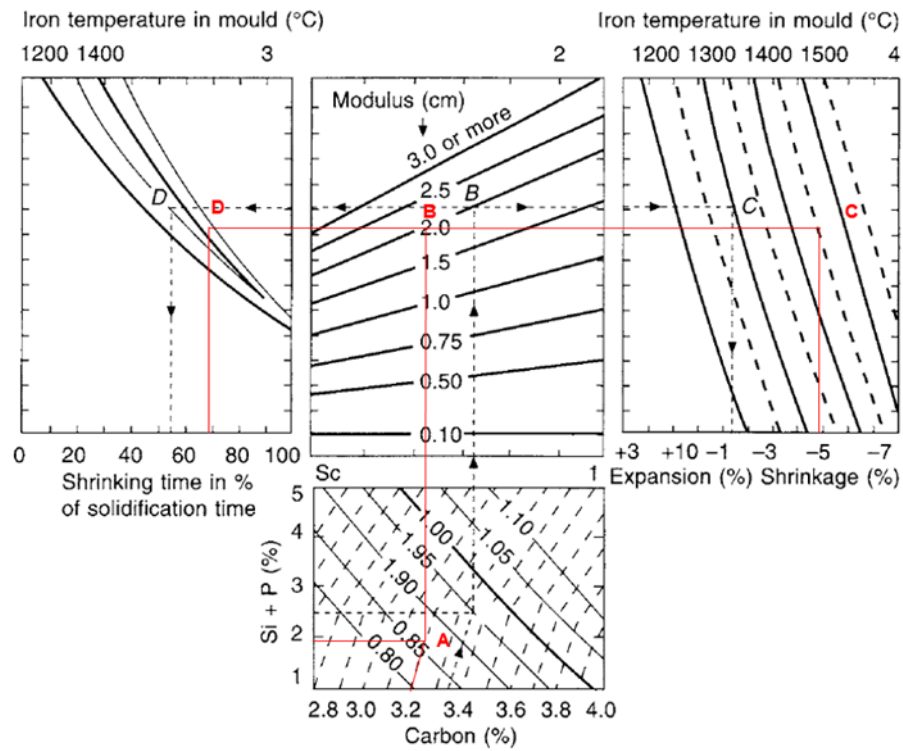
Besleyici hesabı için Şekil 5.25 'deki tablolardan faydalanılır. Öncelikle parça modülü bulunur. Sonrasında tablolarda malzeme kimyasal bileşimine göre 1. Tablodan %C oranı ile % (Si+P) kesiştirilerek A noktası bulunur. Akabinde 2. Tabloya doğru dik çekilerek parça modülüne denk gelen B noktası bulunur. B'den 3 ve 4 numaralı tablolara yatak doğru çekilerek döküm sıcaklığı ile kesiştirilir ve C ve

D noktaları belirlenir. D noktasının düşeyindeki değer “ %ST ”, çekme zamanı yüzdesi elde edilir. D noktasında sıfır veya pozitif değer elde edilir ise besleyici kullanmaya gerek kalmayacaktır. C noktasının düşeyinde ise çekme/genleşme yüzdesi, kalıp kumu genleşme yüzdesine eklenerek çekme değerinin son hali “S” hesaplanır. Yaş kum kalıplamada kalıp genleşmesi olarak yaklaşık %2 kabul edilir [31].

$$M_{Par\check{c}a} = \frac{V_{Par\check{c}a}}{A_{Par\check{c}a}} = \frac{32250}{16000} = 2,015 \text{ cm} \quad (5.5)$$

Parça modülü ve kimyasal bileşime göre besleyici hesap tablosundaki değerler;

A=0,9 B=2,015 C=%4,5 , D=%68



Şekil 5.25 Besleyici Hesabı

$$M_{Besleyici} = M_{Par\check{c}a} \times 1.2 \times \sqrt{\frac{ST}{100}} \quad (5.6)$$

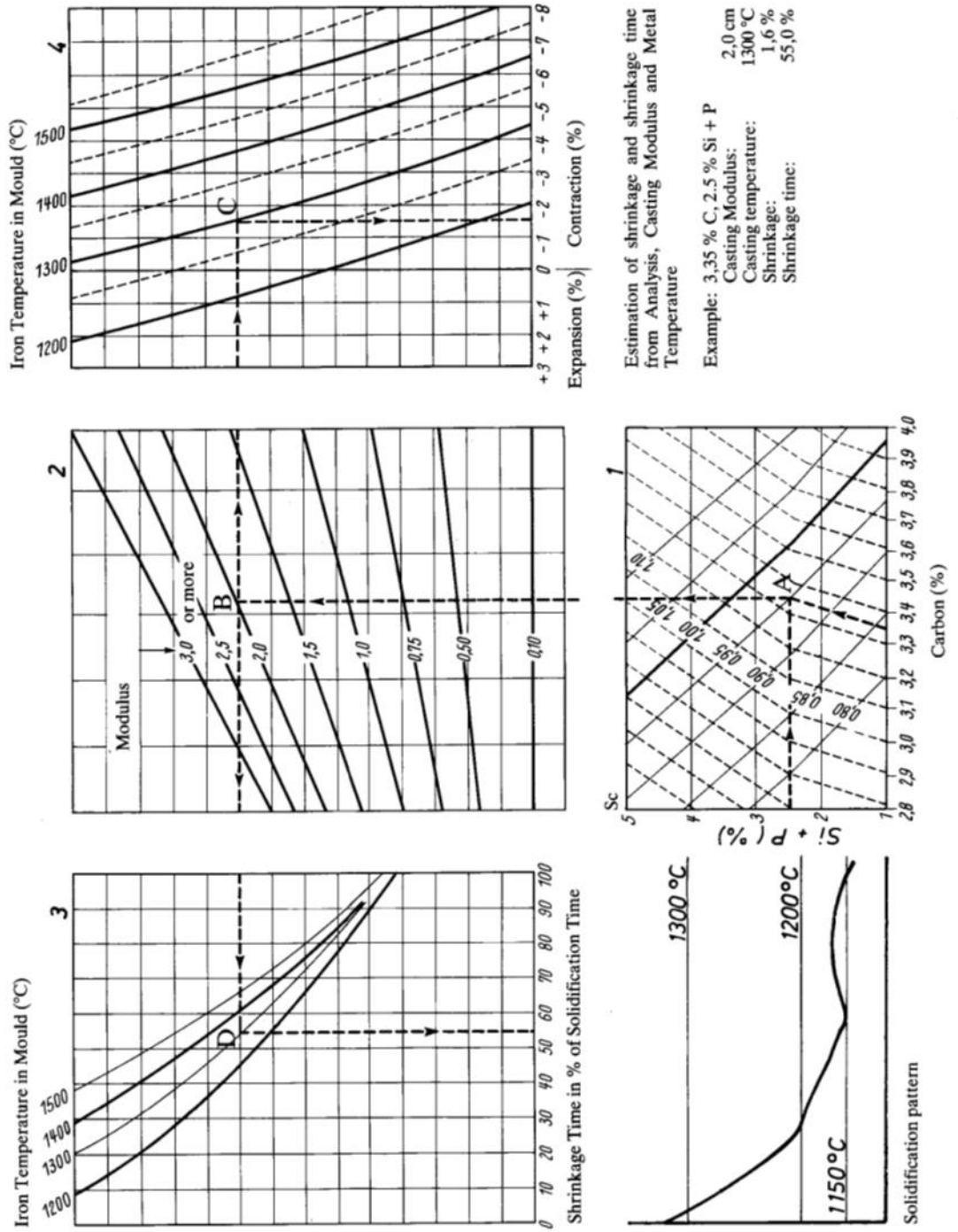
$$M_{\text{Besleyici}} = 2,015 \times 1.2 \times \sqrt{\frac{68}{100}} = 1,99 \text{ cm} \quad (5.7)$$

Besleyici kütlesinin hesabı için;

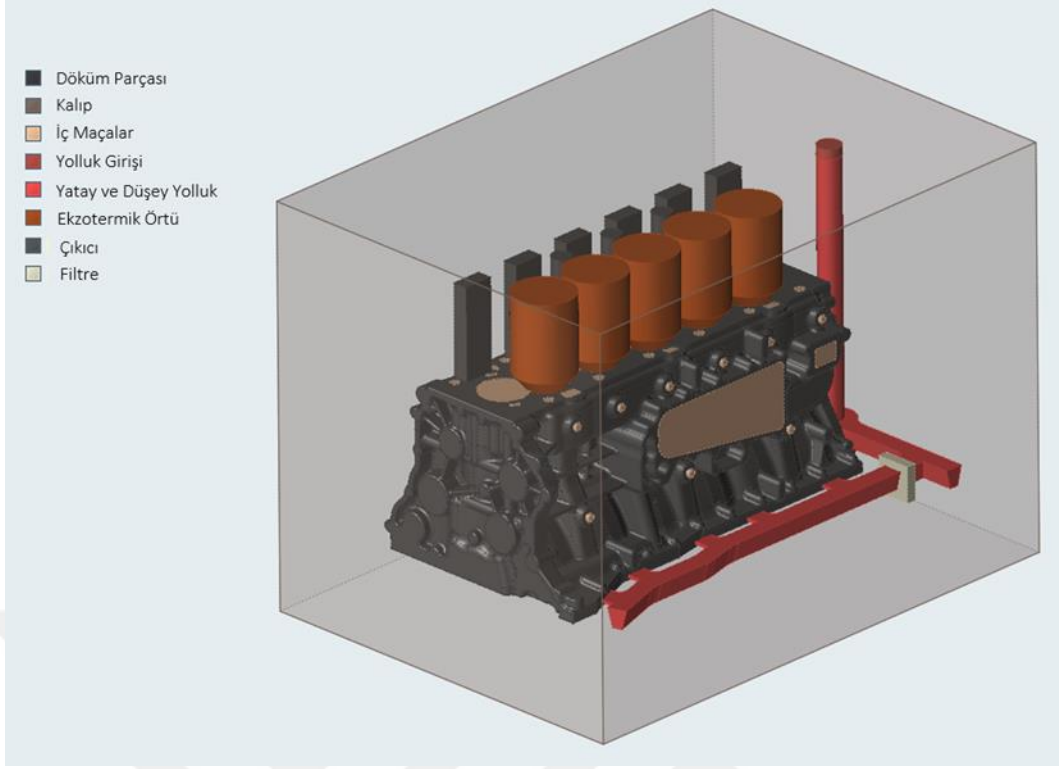
$$W_{\text{Döküm}} = \frac{F_b}{100} \times \frac{W_{\text{Besleyici}} \times 100}{S} \quad (5.8)$$

- $W_{\text{Döküm}}$ = Döküm ağırlığı
- F_b = Besleyicinin kendi hacminin beleyebildiği hacme oranı, %16 ile 33 arasında kullanılan besleyici özelliğine göre değişmektedir.
- $W_{\text{Besleyici}}$ = Besleyici Ağırlığı
- S = Toplam çekinti; %C + % Kalıp Kumu Genleşme Yüzdesi

$$W_{\text{Döküm}} = \frac{25}{100} \times \frac{W_{\text{Besleyici}} \times 100}{4,5 + 2} ; W_{\text{Besleyici}} = 60,9 \text{ kg}$$



Şekil 5.26 Besleyici Modülü Hesabında Kullanılan Tablolar [31]

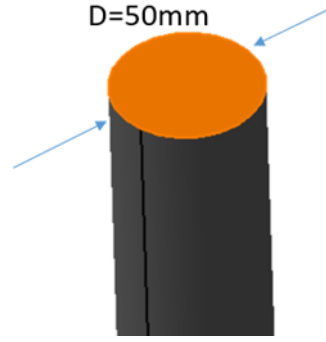


Şekil 5.27 Final Simülasyon Kalıp Datası

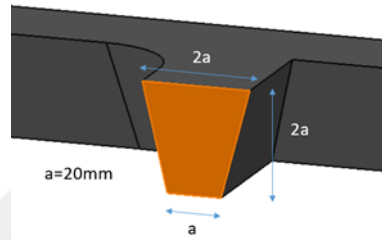
Yapılan denemeler ve hesaplamalar neticesinde simülasyon için tüm diğer detayların dahil edildiği bir data hazırlanmıştır. Final yolluk tasarımı için kullanılan basınçsız yolluk ölçüler;

Tablo 5.13 Basınçsız Yolluk, Kesit Oranları ve Kesit Alanları

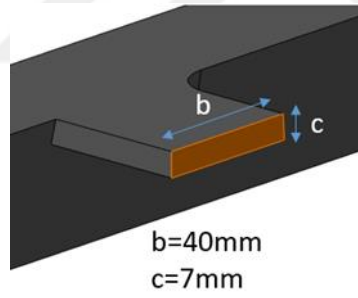
	Kritik Kesit (cm ²)	Yatay Yolluk (cm ²)	Meme (cm ²)
Kesit Oranı	1	1,2	1,4
Kesit Alanı(cm ²)	18,4	22,08	29,44



Şekil 5.28 Kritik Kesit, Düşey Yolluk Ölçüleri

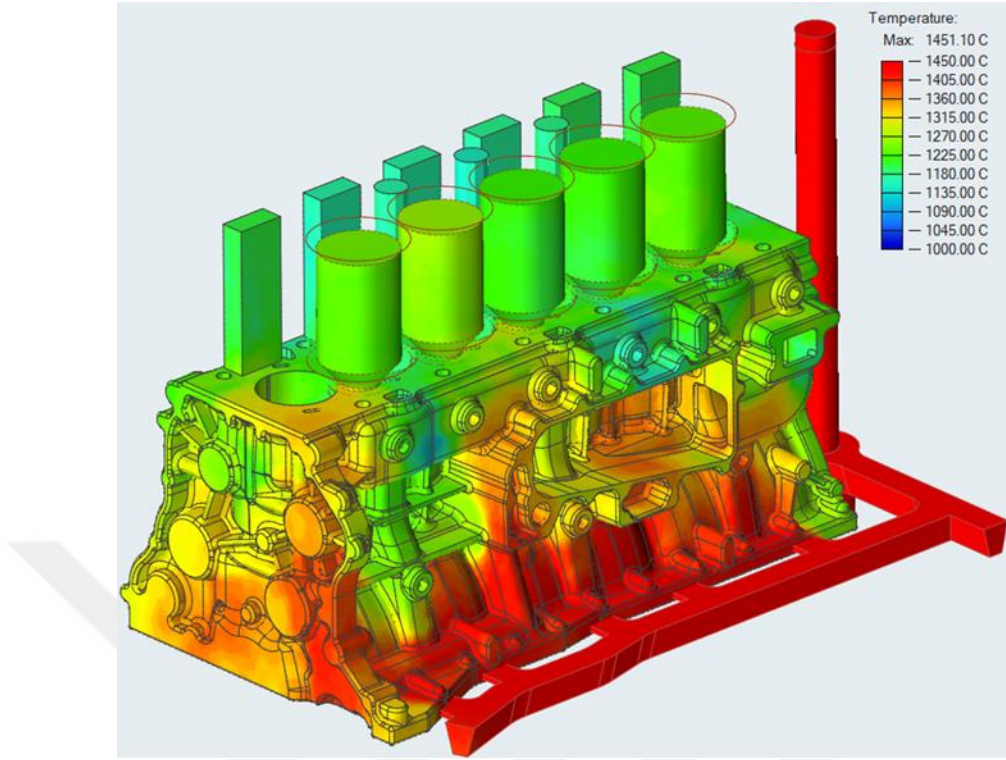


Şekil 5.29 Yatak Yolluk Kesit Ölçüleri

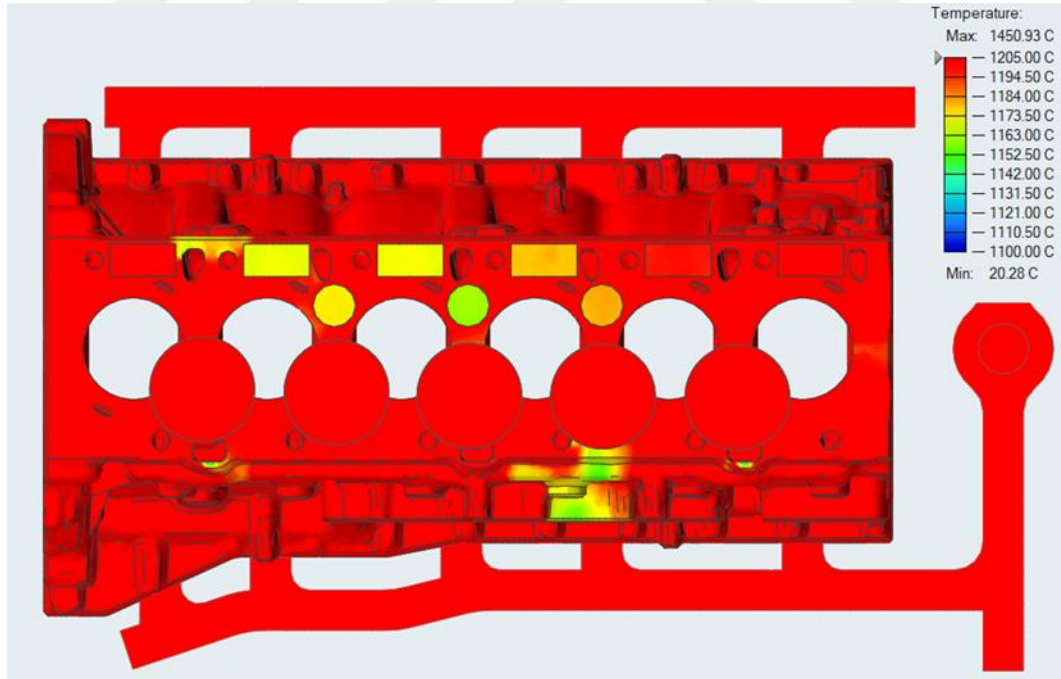


Şekil 5.30 Meme Kesit Ölçüleri

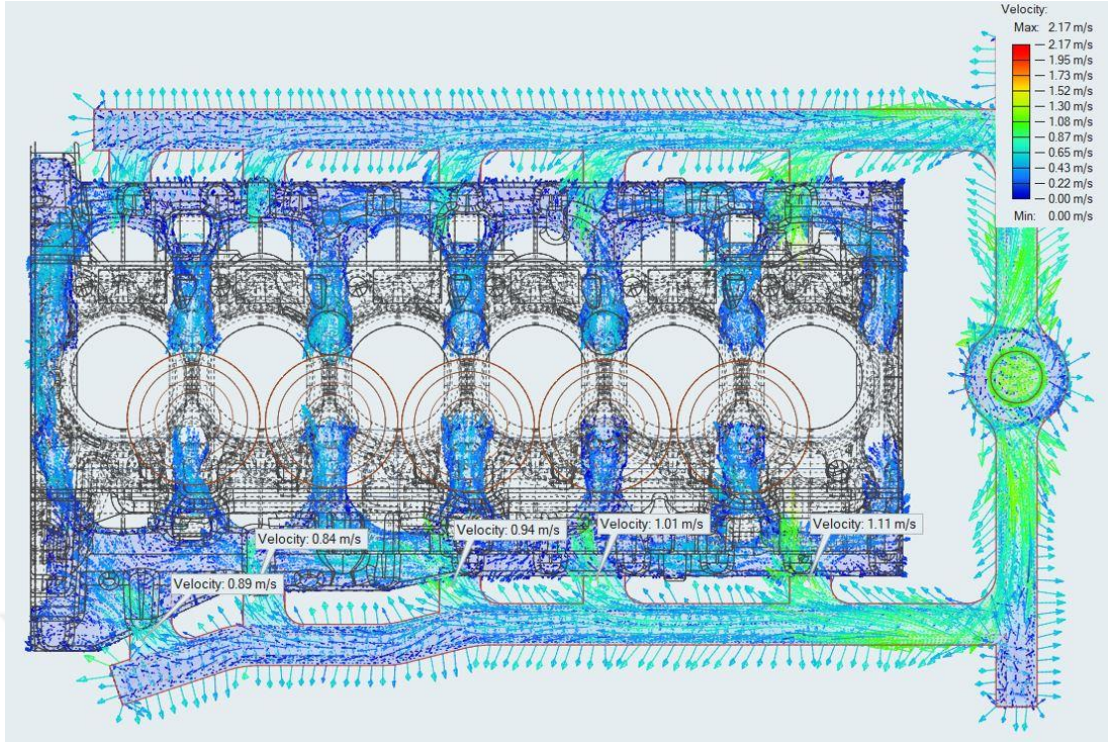
İyileştirilmiş yolluk tasarımı ile yapılan döküm simülasyonu sonuçları ;



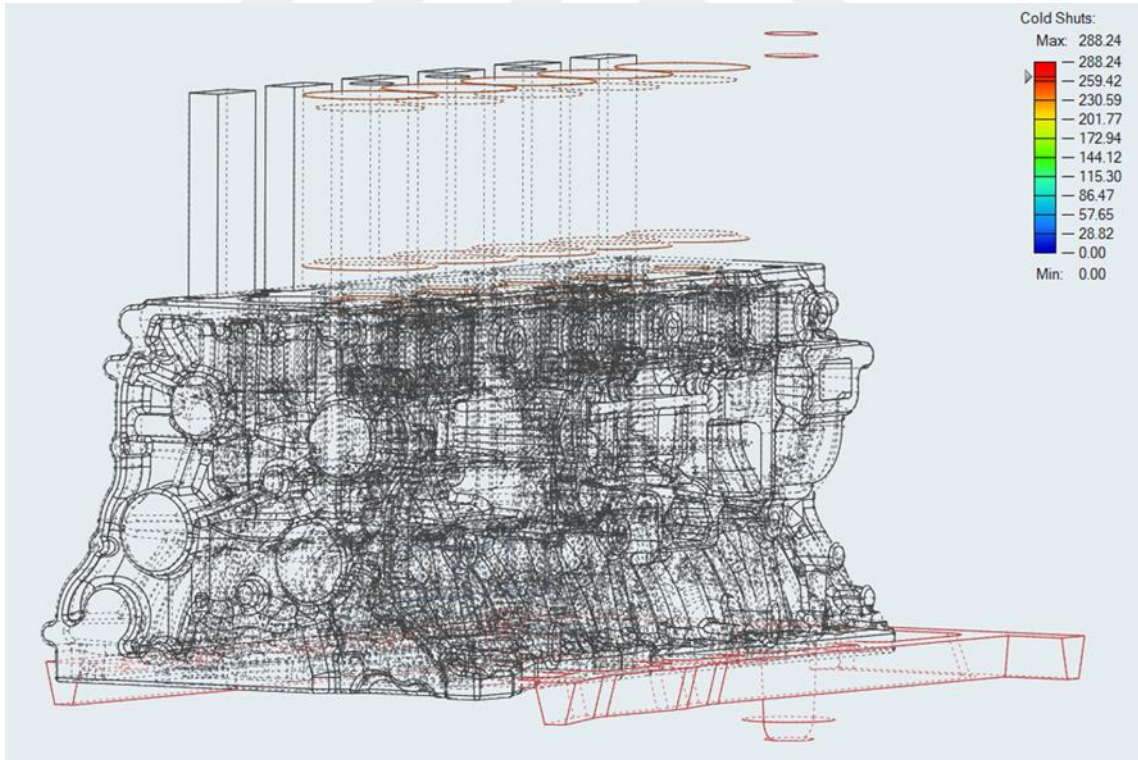
Şekil 5.31 Dolum Sonrası Sıcaklık Dağılımı



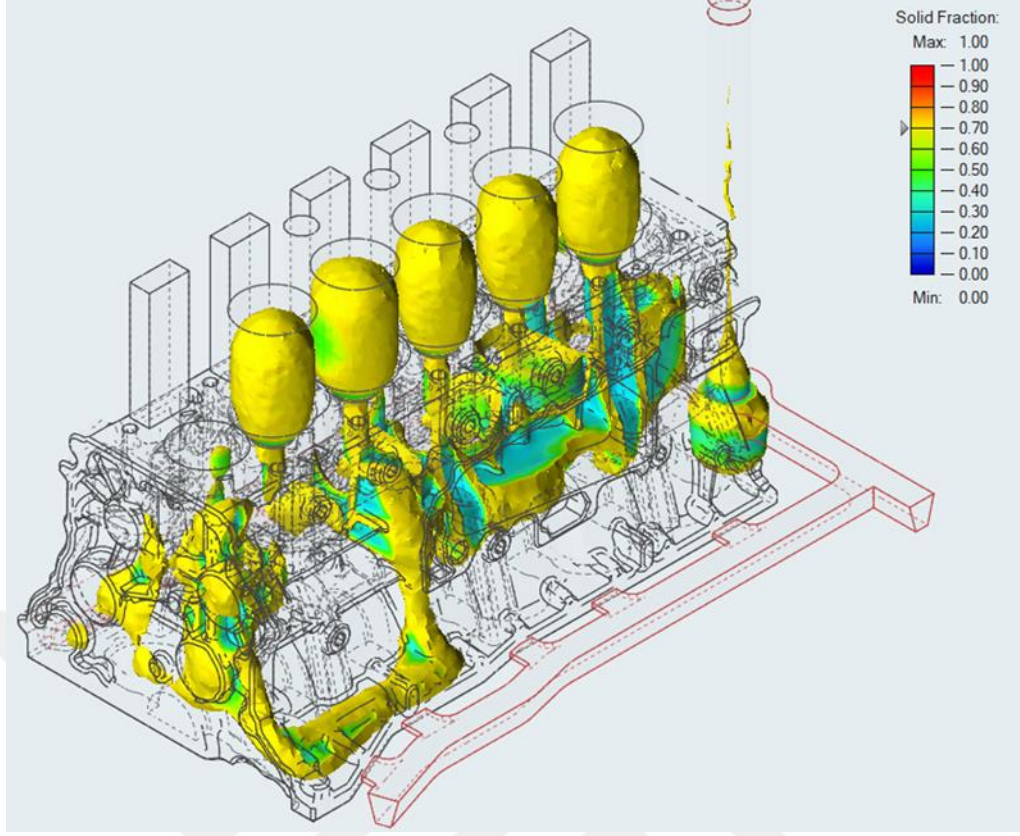
Şekil 5.32 Dolum Sonu Parça Üst Yüzeyi Sıcaklık Dağılımı



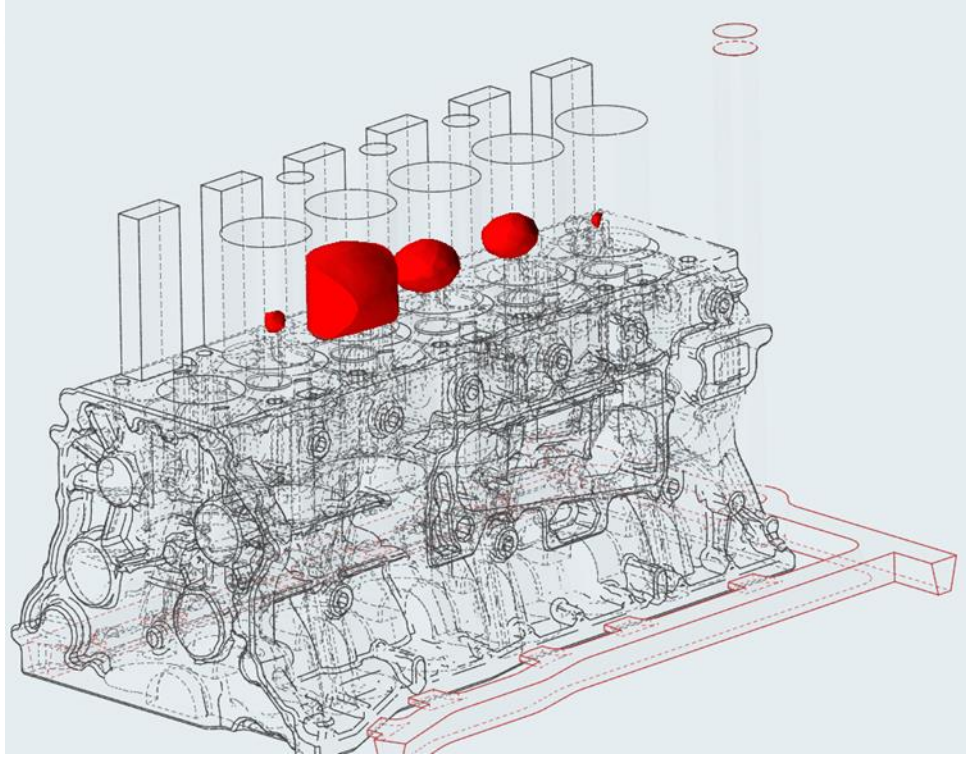
Şekil 5.33 Meme kesitindeki hız dağılımı



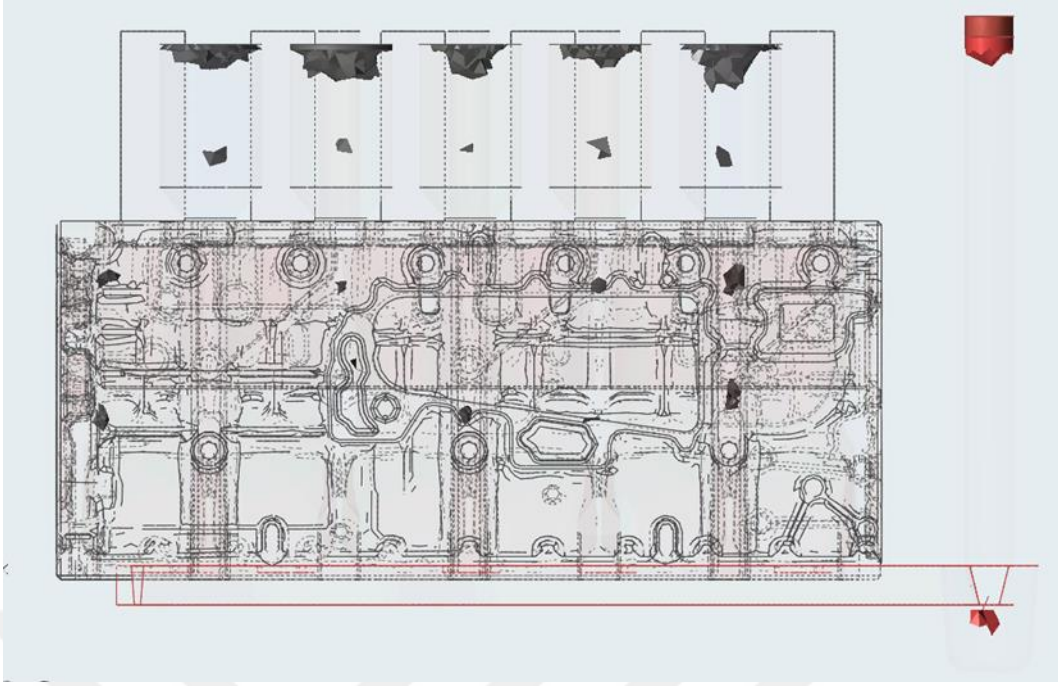
Şekil 5.34 Dolum esnasında soğuk birleşme bölgeleri



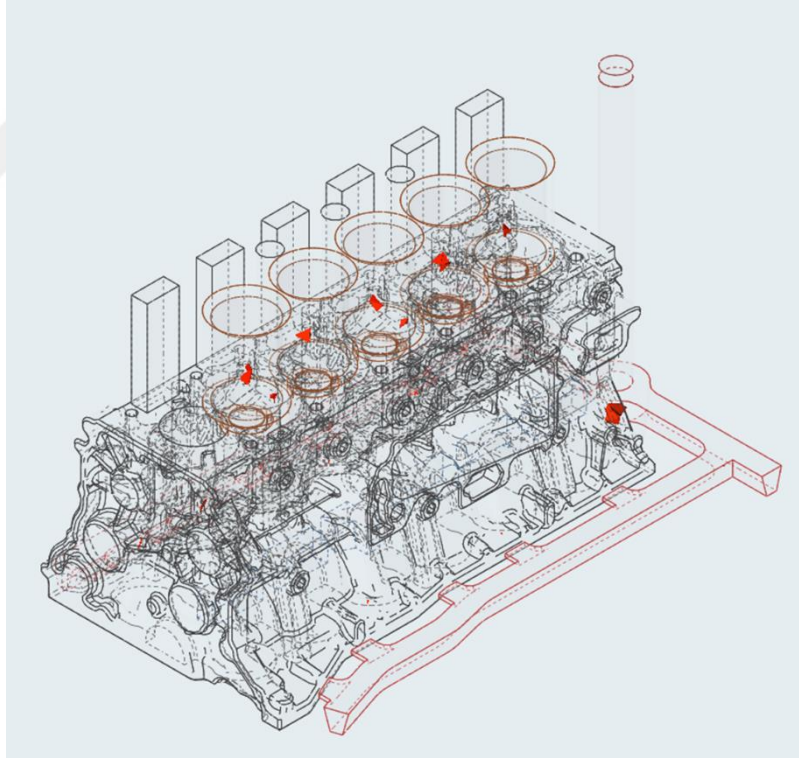
Şekil 5.35 Katılaşma Aşamasından Bir Görüntü



Şekil 5.36 Parçada en son katılaşan bölgeler



Şekil 5.37 Besleyici ve Parça bünyesindeki çekinti hacimleri



Şekil 5.38 Çekinti Boşlukları

Yolluk ve besleyici hesabını eski blok tasarımı için yaptığımızda, hafifletilmiş blok tasarımına göre toplam döküm ağırlığında karşılaştırmalı tabloda göreceğiniz üzere %7 azalma sağlanmıştır.

Tablo 5.14 Döküm Döküm Ağırlığı Karşılaştırması

	Baz Motor Bloğu	Hafifletilmiş Motor Bloğu
Brüt Parça Ağırlığı (kg)	~ 245	~ 230
Dolum Süresi (sn)	24	24
Yolluk Ağırlığı (kg)	37	33
Besleyici Ağırlığı (kg)	64	61
Çıkıcı Ağırlığı (kg)	27	23
Toplam Döküm Ağırlığı (kg)	373	347

Seri üretim şartları dikkate alındığında 100 adetlik bir blok siparişi için sadece toplam döküm ağırlından 2600kg hammadde tasarrufu sağlanacaktır.

6 Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, traktör motorunda kullanılmak üzere tasarlanmış ve prototip olarak üretilmiş bir ağır hizmet dizel motor bloğu, endüstriyel uygulamalarda kullanmak amacıyla, güç yoğunluğunun artması durumunu da dikkate alarak tasarım çalışmaları ile iyileştirilmiş, analiz çalışmaları ile ilk durumuna göre kıyaslanarak yapılan hafifletilmiş tasarım ile karşılaştırılmıştır. Yapılan tasarım geliştirme sonrasında ilk prototipe göre yaklaşık %6 'lık bir hafifleme sağlanmıştır. Hafifletilmiş tasarım, eski blok ve yeni blok olarak kendi aralarında tasarımın dinamik şartlardaki tepkisini incelemek adına modal analiz ile kıyaslandığında hafiflemeye rağmen mod frekansları arasında kayda değer bir değişme olmadığı görülmüştür. Ayrıca yeni tasarımın tüm sistem üzerindeki etkisini de değerlendirmek adına, eski ve yeni motor bloğu dataları diğer kritik motor parçaları ile montaj oluşturularak sistem açısından da değerlendirilerek kıyaslanmış, yeni tasarımın sistemdeki dinamik tepkisi değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre modlarda dikkate değer bir değişiklik yok iken hafifletilmiş yeni tasarımda özellikle burulma modunda yaklaşık %34 gibi dikkate değer bir iyileştirme sağlanmıştır.

Tasarım olarak iyileştirilen blok datası, üretim açısından değerlendirilerek eski blok ile karşılaştırılmış yolluk boyutlandırması ve hesaplamaları yapılmıştır. Blok datasındaki hafifleme, et kalınlıklarını homojen hale getirme, çıkma açıları ve köşe yuvarlama neticesinde oluşan et yığılmalarının iyileştirilmesi gibi düzeltmeler neticesinde çekme ve gaz boşlukları oluşan bölgeler iyileştirilmiştir. Ayrıca güçlendirme amaçlı eklenen feder yapıları iyileştirilerek hem mukavemet sağlanmış hem de hafifleme sağlanarak üretim maliyeti açısından bakıldığında toplam döküm ağırlığı azalarak seri üretim maliyetleri aşağı çekilmiştir. Aynı dolum süresi dikkate alınarak yapılan hesaplama neticesinde toplam döküm ağırlığında %7'lik bir hafifletme sağlanmıştır. Çalışma sonunda elde edilen döküm simülasyon sonuçları sayesinde ile firma içi kalite kontrol süreçleri geliştirilmiş; döküm sonrası tahribatlı, tahribatsız muayenelerde yapılacak kontroller detaylandırılmış ve parça kalite kontrol sistemine dahil edilmiştir.

- [1] A. Kuyumcuoğlu, “Çalışma Şartlarında Modal Analiz”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008.
- [2] A. Yılmaz, “95 Hp 1.3 Multijet Dört Silindirli Dizel Motora Ait Krank Milinin Dinamik Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 2013.
- [3] E. Balcı, “Influence Of Rib Stiffener Design Parameters On The Noise Radiation Of An Engine Block” , Yüksek Lisans Tezi, Department of Mechanical Engineering, Automotive Programme, 2013.
- [4] E. Demirkaya, “Düşük Karbonlu Çelikten Üretilmiş Büyük Hacimli Bir İş Makinesi Parçasının Simülasyon Tekniği İle Tasarımı Ve Üretiminin Gerçekleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, 2017
- [5] A. Erbul, “Dökme Demirlerin Kum Kalıba Döküm Tekniğinde Yolluk Sistemlerinin Dizaynı Ve Simülasyon Sonuçlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2017.
- [6] W. Schöffmann, F. Beste and R. Marquard, “Lightweight Engine Design Strategies” , 2000 Future Car Congress, Arlington Virginia, 2000.
- [7] O. Azmi, “ Design Concept and Manufacturing Method of a Lightweight Deep Skirt Cylinder Block”, PROTON Malaysia, 2012.
- [8] A. Smith, S. Rajauria, S. Agarwal, “Development of Cylinder Block and Cylinder Head of Four Valve/Cylinder OHV Engine for Future High Performance and Durability Needs” , Symposium on International Automotiv Technology, SIAT India, 2013.
- [9] W. Schoeffmann, F. Beste, M. Atzwanger, H. Hick and U. Sauerwein, “Lightweight Engine Structures – Mechanical, Acoustic and Production Aspects”, SAE World Congress Detroit, Michigan, 2003.
- [10] K. Mollenhauer, H. Tschoeke, “Handbook of Diesel Engines“, Springer Heidelberg Dordrecht, London, pp. 210-242, 2010.
- [11] R. Basshuysen, F. Schäfer, “Internal Combustion Engine Handbook-Basics, Components”, System and perspectives, SAE International, Warrendale, USA, pp. 34, 2016.
- [12] B. Dondlinger, K. Hoag, “Vehicular Engine Design, Second Edition”, Springer Wien Heidelberg, New York, USA, pp. 137-138, 2016.
- [13] A. Aran, “ Döküm Teknolojisi – İmal Usulleri” , İstanbul, pp. 27-42, 2007.
- [14] J.R. Davis, “ ASM Speciality Handbook Cast Irons” , Materials Park, Ohio, pp. 140 215, 1996.
- [15] A.Ç. Can, “Tasarımcı Mühendisler için Malzeme Bilgisi”, Birsan Yayın Evi, İstanbul, pp. 208-227, 2010.

- [16] BS EN ISO 945-1:2008, "Microstructure of cast irons ; Part 1: Graphite classification by visual analysis", pp. 12, 2008.
- [17] ISO 16112:2017, "Compacted (vermicular) graphite cast irons — Classification", pp.15, 2017.
- [18] M. Tayanç, "Dökümcülükte Modelcilik, Döküm Dizaynı ve Uygulama Problemleri", Balıkesir, pp. 41-52, 2007.
- [19] K. Kocatepe, N. Akar, "Temel Dökümcülük Teknolojisi-I", Ankara, pp. 12, 2007.
- [20] E.N. Çavuşoğlu, "Döküm Teknolojisi 1", İstanbul Teknik Üniversitesi. Gümüşsuyu Matbaası, İstanbul, pp. 24-32, 1981.
- [21] S. Anık, A. Dikicioğlu, M. Vural, "İmal Usulleri", Birsen Yayınevi, İstanbul, pp.120-135, 2006.
- [22] Döküm Hataları Atlası, TUDÖKSAD, <https://dokumhane.net/wp-content/uploads/2019/02/Dokum-Hatalari-Atlasi.pdf>, [Online; accessed 13 May-2019]
- [23] T. Gülmez, "İmal Usulleri", İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, pp. 65-80, 2017.
- [24] S. Şirin, "Kalın Kesitli Yüksek Basıncılı Dökümlerde Döküm Ve Simülasyon Parametrelerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [25] BS EN ISO 1561:2011, "Founding — Grey cast irons" pp. 8, 2011.
- [26] John Deere World Headquarters, "Marine Engine Pocket Guide" http://www.deere.co.uk/en_GB/docs/product/equipment/marine_engines_pocket_guide/marine_engines_pocket_guide.html, [Online; accessed 10-April 2019]
- [27] M. Klanfar, T. Korman, T. Kujundzic, "Fuel Consumption and Engine Load Factors of Equipment in quarrying of crushed stone", Tehnički Vjesnik, Vol. 23 No. 1, pp. 21, 2016.
- [28] EPA "Median Life, Annual Activity, and Load Factor Values for Non road Engine Emissions Modeling", United States Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation, Washington, DC., pp.15-20, 2002.
- [29] F. Babalık, " Makine Elemanları ve Konstrüksiyon Örnekleri", Nobel Yayın Evi, pp. 49-64, 2006.
- [30] M. Yaman, "Hafif Ticari Bir Araç Jantının, Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması ve Doğrulanması", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2012.
- [31] Foseco (FS) Limited, "Feeding Systems ", Tamworth, Staffordshire, 2003.

Tezden Üretilmiş Yayınlar

İletişim Bilgisi: u.kirenci@gmail.com

Uluslararası Konferans Bildirileri

1. Kirenci, Ü. Vanlı, A. S. , Akdoğan, A. “ Weight Reduction Study of a Heavy-Duty Diesel Engine Block Manufactured from Cast Iron” 4th International Iron & Steel Symposium, Nisan 2019

