T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

# İKİ SİLİNDİRLİ BİR ALÜMİNYUM MOTOR BLOĞUNUN TERMOMEKANİK ANALİZİ

Hakan ORAK

DANIŞMAN
Prof. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma, 11.06.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Makine Mühendisliği Programında,Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

**Tez Jürisi**

Prof. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU (Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Erhan ALTAN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Makine Fakültesi

Doç. Dr. Özdoğan KARAÇALI
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin.....numaralı projesi ile desteklenmiştir.
Bu tez, ..... numaralı ..... projesi ile desteklenmiştir.

# ÖNSÖZ

Bu tez konusuna başlamama yardımcı olan, tüm sorularımı içtenlikle cevap veren ve yardımlarını benden esirgemeyen Prof. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU hocama çok teşekkür ederim. Ayrıca Prof. Dr. Erhan ALTAN ve Doç Dr. Özdoğan KARAÇALI hocalarıma değerli fikirlerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2019 Hakan ORAK

# İTHAF

Bu tezimi tüm çalışmam boyunca benden ilgisini ve desteğini eksik etmeyen annem Hayriye ORAK'a ve eğer hayatta olsaydı benden yardımını esirgemeyecek olan ve bu çalışmamla gurur duyacak olan rahmetli babam Prof. Dr. Hacı ORAK'a armağan ediyorum.

# İÇİNDEKİLER

**Sayfa No**

**ÖNSÖZ** ..... **iii**

**İTHAF** ..... **iv**

**ŞEKİL LİSTESİ** ..... **vii**

**TABLO LİSTESİ** ..... **x**

**SİMGE LİSTESİ** ..... **xi**

**KISALTMALAR** ..... **xii**

**ÖZET** ..... **xiii**

**ABSTRACT** ..... **xiv**

**1.GİRİŞ** ..... **1**

1.1.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI ..... 2

1.1.1. Literatürde Alüminyum Motor Bloğunun Gelişimi ..... 2

1.1.2. Literatürde Gazdan Silindir Duvarına Isı İletimi ..... 5

1.2. DİZEL MOTORLAR ..... 12

1.2.1. İçten Yanmalı Motorların Tarihi ..... 12

1.2.2. Dört Zamanlı Motorlar ..... 13

1.2.2.1. Dört Zamanlı Motor Çalışma Prensibi ..... 14

1.2.3. İki Zamanlı Motorlar ..... 15

1.2.4. Dizel Motor Tanımı ..... 16

1.2.5. Devirlerine Göre Dizel Motorların Sınıflandırılması ..... 17

1.2.6. Turboşarj ..... 18

1.2.7. Intercooler ..... 18

1.3. MOTOR TERMODİNAMİĞİ ..... 19

1.3.1. Otto Çevrimi ..... 19

1.3.2. Dizel Çevrimi ..... 21
1.3.3. Karma(Seilinger) Çevrimi ..... 22
1.4. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI ..... 24
1.4.1. Alüminyum Alaşımlarının Gruplandırılması ..... 25
1.4.2. Alüminyum Alaşım Isıl İşlem ..... 28
1.5. TOPOLOJİ OPTİMİZASYONU ..... 29
**2. MALZEME VE YÖNTEM ..... 30**
2.1. MOTOR BLOK MALZEMELERİ ..... 30
2.2. YAKIT YANMA ANALİZİ ..... 34
2.3. BLOK ISI ANALİZİ ..... 40
2.4. YORULMA MODELİ ..... 42
2.5. SAYISAL MOTOR BLOK ANALİZİ ..... 43
**3. TOPLOJİ OPTİMİZASYON ANALİZİ ..... 59**
3.1. KÜTLESİ %10 AZALTILMIŞ MOTOR BLOĞU ANALİZİ ..... 59
3.2. KÜTLESİ %20 AZALTILMIŞ MOTOR BLOĞU ANALİZİ ..... 62
**4. TARTIŞMA VE SONUÇ ..... 66**
**KAYNAKLAR ..... 68**
**ÖZGEÇMİŞ ..... 71**

# ŞEKİL LİSTESİ

**Sayfa No**

**Şekil 1.1 :**Yanmış gazların silindir duvarına iletimi ……..... 7

**Şekil 1.2:**Tek bölgeli yanma modeli …….. 8

**Şekil 1.3 :**İki bölgeli yanma modeli……..... 9

**Şekil 1.4:** V8 Alüminyum Alaşım Motor bloğu ……13

**Şekil 1.5:** Motor parçaları şeması……..... 14

**Şekil 1.6**:Dört zamanlı motorda supap zamanlaması…….…… 15

**Şekil 1.7**: Dört zamanlı motor çevrimi şematik gösterimi …… 15

**Şekil 1.8**:İki zamanlı motor çevrimi şeması…… 16

**Şekil 1.9:** Motor şematik şekli ……17

**Şekil 1.10** Turboşarj şematik şekli**:** …….. 18

**Şekil 1.11:** Intercooler şematik şekli ……..…… 19

**Şekil 1.12:**Otto Çevrimi…….……..... 20

**Şekil 1.13**: Dizel Çevrimi…..…….. 21

**Şekil 1.14**: Karma(Seilinger) Çevrim…….……22

**Şekil 1.15:**Alüminyumun dünyadaki kullanım yerleri……25

**Şekil 1.16**:Dövme alüminyum alaşımlarının ısıl işlenebilirliği…….……. 27

**Şekil 1.17**: Döküm alüminyum alaşımlarının ısıl işlenebilirliği…….…… 28

**Şekil 2.1:** A319 T6 güvenlik faktörü katsayısı……32

**Şekil 2.2:** A380 güvenlik faktörü katsayısı…… 32

**Şekil 2.3**:Alüminyum Alaşım termal ısı iletim katsayısı …….. 33

**Şekil 2.4:**Alüminyum alaşım gerilme sıcaklık diyagramı…….. 33

**Şekil 2.5:** Motor Güç – Devir Diyagramı ……...34

**Şekil 2.6:** Motor yakıt tüketimi …….. 35

**Şekil 2.7** MAN motor basınç int. Cooler sıcaklık diyagramı**:** ……36

**Şekil 2.8:** Piston krank açısı ile piston yükseklik ilişkisi ……38

**Şekil 2.9:** Krank açısına göre basınç diyagramı ……39

**Şekil 2.10:** Taşınım ısıl değer ve krank açısı diyagramı …… 40

**Şekil 2.11:** Taşınım ısıl değer ve krank açısı diyagramı …… 41

**Şekil 2.12:** A356.2 T6 Alüminyum Yorulma ve Gerilme eğrisi ……42

**Şekil 2.13:**Motor silindir yüzey sıcaklık gösterimi ……..…….. 43

**Şekil 2.14:**Motor Bloğu Akış Similasyonu……... 44

**Şekil 2.15:**Motor silindir yüzey sıcaklık gösterimi…… 45

**Şekil 2.16:** Motor Bloğu Kademeli Gösterimi…… 45

**Şekil 2.17**:Silindir yüzeyine girilen değerler…….. 46

**Şekil 2.18:** Yorulma değerleri……..... 47

**Şekil 2.19:** Motor Bloğu Mesh Gösterimi……...48

**Şekil 2.20:**Motor Bloğu 1. Kademe Maks. Gerilme Noktası……48

**Şekil 2.21:**Motor Bloğu 1. kademe Maks. Yer Değiştirme……..…….. 49

**Şekil 2.22**: Motor Bloğu 1. kademe Maks. Gerinme Değeri…….. 49

**Şekil 2.23:**Motor Bloğu 1.Kademe Maks. Yorulma Çevrimi……..... 50

**Şekil 2.24:** Motor Bloğu 2. Kademe Maks. Gerilme Noktası……51

**Şekil 2.25:** Motor Bloğu 2. Kademe Maks. Yer Değiştirme…….. 51

**Şekil 2.26:** Motor Bloğu 2. Kademe Maks. Gerinme Noktası…… 52

**Şekil 2.27**: Motor Bloğu 2.Kademe Maks.. Yorulma Çevrimi……... 52

**Şekil 2.28:**Motor Bloğu 3. Kademe Maks. Gerilme Noktası……. 53

**Şekil 2.29**: Motor Bloğu 3. Kademe Maks. Yer Değiştirme ……. 53

**Şekil 2.30**: Motor Bloğu 3. Kademe Maks. Gerinme Değeri……. 54

**Şekil 2.31:**Motor Bloğu 3.Kademe Maks. Yorulma Çevrimi……54

**Şekil 2.32:**Motor Bloğu 4. Kademe Maks. Gerilme Noktası……..55

**Şekil 2.33:** Motor Bloğu 4. Kademe Maks. Yer Değiştirme…….. 55

**Şekil 2.34:**Motor Bloğu 4. Kademe Maks. Gerinme Değeri ……. 56

**Şekil 2.35**:Motor Bloğu 4.Kademe Maks. Yorulma Çevrimi……. 56

**Şekil 2.36**: Motor Bloğu 5. Kademe Maks. Gerilme Değeri……..…… 57

**Şekil 2.37**: Motor Bloğu 5. Kademe Maks. Yer Değiştirme……...57

**Şekil 2.38**: Motor Bloğu 5. Kademe Maks. Gerinme Değeri……..58

**Şekil 2.39**:Motor Bloğu 5.Kademe Maks. Yorulma Çevrimi……. 58

**Şekil 3.1**:Kütlesi %10 Azaltılmış topoloji optimizasyon analizi……..……. 59

**Şekil 3.2:** Kütlesi %10 Azaltılmış Motor Bloğu Maks. Gerilme …….. 60

**Şekil 3.3**: Kütlesi %10 Azaltılmış Motor Bloğu Maks. Yer Değiştirme…… 60

**Şekil 3.4**: Kütlesi %10 Azaltılmış Motor Bloğu Maks. Gerinme…….. 61

**Şekil 3.5**:Kütlesi %10 Azaltılmış yorulma analizi……. 61

**Şekil 3.6:** Kütlesi %10 Azaltılmış Motor Bloğu Güvenlik Faktörü…….. 62

**Şekil 3.7**:Kütlesi %20 Azaltılmış topoloji optimizasyon analizi…….…….. 62

**Şekil 3.8:** Kütlesi %20 Azaltılmış Motor Bloğu Maks. Gerilme …….. 63

**Şekil 3.9:** Kütlesi %20 Azaltılmış Motor Bloğu Maks. Yer Değiştirme…… 63

**Şekil 3.10:** Kütlesi %20 Azaltılmış Motor Bloğu Maks. Gerinme …… 64

**Şekil 3.11**:Kütlesi %20 Azaltılmış yorulma analizi…….……... 64

**Şekil 3.12:**Kütlesi %20 Azaltılmış Motor Bloğu Güvenlik Faktörü…….. 65

**Şekil 4.1**: Kütlesi Azaltılmamış Motor Bloğu Güvenlik Faktörü…….. 67

# TABLO LİSTESİ

**Sayfa No**

**Tablo1.1:** Taşınım ısıl katsayısı denklemlerinin kıyaslanması…….. 11

**Tablo 1.2:** Motor bileşenleri adları……. 17

**Tablo 1.3:** Alüminyum Alaşımları İçin Temper Seri Numaralarının Tanımları… 28

**Tablo 2.1**: Alüminyum malz. % bileşenleri……... 31

**Tablo 2.2**: Alüminyum malz. Teknik özellikleri……31

**Tablo 2.3**: Motor Teknik Özellikleri ……..34

**Tablo 2.4:** A356.2T6 Alüminyum malz. Yorulma Analizi ……42

# SİMGE LİSTESİ

| Simgeler | Açıklama |
|---|---|
| **S** | :Kurs yüksekliği |
| **D** | :Piston çapı |
| **B** | :Silindir çapı |
| **n** | :Motor devri |
| **P** | :Basınç |
| **Pi** | :Silindir hava giriş basıncı |
| **T** | :Sıcaklık |
| **Ti** | :Silindir hava giriş sıcaklığı |
| $\mathbf{T_w}$ | :Silindir duvar sıcaklığı |
| $\mathbf{T_{ex}}$ | :Egzoz Sıcaklığı |
| $\mathbf{h_c}$ | :Taşınım ısı iletim katsayısı |
| **L** | :Piston boyu |
| $\mathbf{P_e}$ | :Motor gücü |
| **g** | :Yakıt tüketim miktarı |
| **Hu** | :Dizel Yakıt ısıl değeri |
| $\mathbf{C_p}$ | :Pim-ofset değeri |
| **Θ** | :Krank açısı |
| **P** | :Basınç kuvveti |
| **g** | :Yerçekimi kuvveti |
| **E** | :Elastiklik modülü |
| **C** | :Yorulma süneklik sabiti |
| **S** | :Sürünme dayanımı |
| **Q** | :Silindir iç yanma ısısı |
| $\mathbf{V_d}$ | :Silindir hacmi |
| $\mathbf{V_c}$ | :Silindir yanma odası hacmi |
| $\mathbf{V_h}$ | :Toplam kurs hacmi |
| **x** | :Pistonun silindir kapağına olan uzaklığı |
| **a** | :Krank uzunluğu |
| **r** | :Silindir sıkıştırma oranı |
| **m*f*** | :Kullanılan yakıt miktarı |
| **Ma** | :Silindir içine alınan hava miktarı |
| $\mathbf{C_V}$ | :Sabit hacimdeki havanın özgül ısısı |
| $\mathbf{C_p}$ | :Sabit basınçtaki havanın özgül ısısı |
| **k** | :Havanın sabit basınç ve hacimdeki ısı indikatörü |
| **t** | :Motor bloğu silindir et kalınlığı |
| $\mathbf{P_{maks.}}$ | :Maksimum Basınç |
| **бem** | :Emniyet gerilmesi |
| $\mathbf{h_{cv}}$ | :Isı iletim katsayısı |
| $\mathbf{u_p}$ | :Piston hızı |
| $\mathbf{V_{inst}}$ | :Anlık silindir hacmi |
| $\mathbf{P_{cyl}}$ | :Anlık silindir basıncı |
| $\mathbf{T_{cyl}}$ | :Anlık silindir sıcaklığı |

# KISALTMALAR

| Kısaltmalar | Açıklama |
|---|---|
| **AÖN** | :Alt ölü nokta |
| **ÜÖN** | :Üst ölü nokta |

# ÖZET


**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İKİ SİLİNDİRLİ BİR ALÜMİNYUM MOTOR BLOĞUNUN TERMOMEKANİK ANALİZİ**

**Hakan ORAK**

**İstanbul Üniversitesi -Cerrahpaşa**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU**

Bu tez çalışması, son yıllarda otomotiv endüstrisindeki kullanımı iyice pekişen Alüminyum alaşımlarının yüksek güç üreten bir motordaki kullanımını incelemeyi hedeflemektedir. Bu doğrultuda motorun en ağır kısmı olan motor bloğu ele alınacaktır. Avusturya MTU firmasının üretmiş olduğu 8V 199 600kW kodlu dizel motor baz alınarak, tasarıma esas teşkil edecek olan güç değeri 150 kW (~200 BG), devir hızı 2300 dev./dk.ve silindir adedi 2 olarak alınmıştır.

Motorda kullanılan turboşarjer ve intercooler verileri yardımıyla, motor bloğunun içindeki hava yakıt karışımının basınç ve sıcaklık değerleri belirlenmiştir. Daha sonra yanma sonucu oluşan basınç ve sıcaklıkların motor silindir yüzeyine olan etkisi ve hangi alüminyum alaşımlarının motor bloğunda kullanıldığı araştırıldı. Son olarak Solidworks mühendislik yazılımı kullanılarak motor bloğunun nihai geometrisi topoloji optimizasyonu yaklaşımıyla belirlenmiştir.

Mayıs 2019, 86 sayfa

**Anahtar kelimeler**: Dizel Motor, Alüminyum Alaşımları, Topoloji Optimizasyonu

# ABSTRACT

**M.Sc.THESIS**

**THERMOMECHANICAL ANALYSIS OF A TWO CYLINDER ALUMINUM ENGINE BLOK**

**Hakan ORAK**

**Istanbul University - Cerrahpaşa**

**Institute of Graduate Education**

**Department of Mechanical Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. M. Hüsnü DIRIKOLU**

This thesis aims to study the planning of a high-power engine of aluminum alloys, which has been used in automotive industry in recent years. In this case, the heaviest part of the engine, the engine block, will be discussed. Based on design based on 8V 199 600kW engined diesel engine produced by Austrian MTU company, the power value is 150 kW (~ 200 HP) and the speed of rotation is 2300 rpm and the number of cylinders is 2.

By using turbocharger and intercooler data, pressure and temperature values of air fuel mixture in engine block were determined. Then, the effect of pressure and temperatures on combustion engine cylinder surface and which aluminum alloys are used in engine block were investigated. Finally, the final geometry of the engine block was determined by a topology optimization approach using Solidworks engineering software.

May 2019, 86 pages

**Keywords**:Diesel Engine, Aluminum Alloy , Topology Optimization

# 1.GİRİŞ

Motor bloğu motorun tüm elemanlarını üstünde barındıran tüm kimyasal reaksiyonların meydana geldiği motorun kalbi sayılabilecek parçasıdır. Turbo motorların gelişmesi ile yanma sıcaklıklarında artış meydana gelmiştir. Yanma sıcaklığının artması ile ilgili olarak kullanılan blok malzemelerinde değişikliklere gidilmiş hem hafif hem de ısıya dayanıklı malzemeler kullanılmaya başlanmıştır. Motor bloğu yanma ısısı ve gerilmelere çok fazla maruz kalmaktadır. Yanma sonucu meydana gelen termal gerilmeler bloğun üst kısmında en fazla yüke maruz kalmaktadır. Yüksek tork değerleri seçilecek malzemenin önemini bir kez daha ortaya koymaktadır.

Yapılan bu analiz motor bloğunun yanma sonucu silindir yüzeyine uyguladığı termal, basınç ve gerilmeleri sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesini ve sonuç olarak yorulma analizleri ve topoloji ile en uygun olan silindir kalınlığı hedef almıştır. Analize başlarken önce pistonun üst ölü noktasından alt ölü noktasına inerken meydana gelen kademeli yanma sıcaklıklarının ve basıncın bulunması ile bu sıcaklıkların silindir duvarına doğru meydana gelen anlık taşınım ısıl değerlerini bulmak. Bulunan değerler ile motor bloğunun belli bir devirde meydana gelen çeper yanma sıcaklığı ve basıncı ile sonlu eleman analizi yaparak maksimum gerilmeler ile dayanabileceği çevrim sayısının optimizasyon analizini yapılmıştır.

Daha sonra literatürden bulunan alüminyum alaşımların içinden en uygun olan A356.2 T6 alaşımına ait yorulma verileri ve sonlu eleman analizi kullanılarak [36], motor bloğunun en uygun olan çeper kalınlıkları hesaplanmıştır.

## 1.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür araştırması yapılırken çalışmasını yapılan alüminyum alaşım motor bloğunun termo-mekanik analizi için alüminyum motor bloklarının kullanılma sebepleri ve motor bloğunun termal ısıl analiz ile ilgili konu başlıkları altında literatür araştırması yapıldı. Bunu da iki konu başlığı altında incelendi.

### 1.1.1. Literatürde Alüminyum Motor Bloğunun Gelişimi

Yapılan araştırmada [1] alüminyum elementi yeryüzündeki en çok bulunan 2. metaldir. Geri dönüştürülebilirliği sayesinde tekrar tekrar kullanılarak hem maliyetten tasarruf sağlanıldığı gibi hem de yeni parçaların üretilmesinde kullanılmaktadır. Endüstride çok fazla alüminyum alaşım malzeme kullanılmaktadır. İyi ısı iletimi, hafifliği ve mukavemetinin arttırılabilir olması sebebiyle alüminyum ve alüminyum alaşımlı malzemeler son yıllarda taşıtlarda oldukça fazla kullanılmaktadır. Ayrıca araçlarda daha az yakıtın harcanmasına yönelik çalışmalar, enerji tasarrufuna yönelik talep ile hafif araçların üretimi gün geçtikçe artmaktadır[2].

Uozato ve arkadaşları [3] tarafından yapılan bir araştırmada dizel motorlu araçlarda motor bloğu dökme demir'e alternatif olarak alüminyum alaşımlı malzemeler kullanılması ile bu malzemenin üstün avantajlarından sebebi ile hafiflik, korozyona karşı direnci ve yüksek basınca olan dayanımı sayesinde alüminyum alaşımlı malzemelerin kullanımı git gide dökme demirin yerini almaya başlamıştır. 1950'lerden başlayarak 2000'li yıların başlarına kadar araçlarda alüminyum alaşımlı motor blokların kullanımı istenilen seviyelerde değildi. Yakıt fiyatlarının artması sebebiyle insanların dizel motorlu araçları tercih etmeleri 2000'li yıların başından itibaren önem kazandı.

Hirsch [4] yaptığı araştırmasında yaklaşık 1250 kg ağırlığındaki bir taşıtın büyük bölümünde alüminyum alaşım malzeme kullanılması ile taşıtın ağırlığında %20 oranlarında hafifleme gerçekleşmektedir.

Yapılan çalışmalarda [1] sera gazları doğamızın dengesini bozmaktadır. Buna en büyük sebep araçlardaki egzoz gazıdır. Araçlardaki her %10 luk kütle azaltılması ile %5-10 oranında yakıt tasarrufu elde edilmekte bu sayede taşıtın tüm çalışma ömrü boyunca yaklaşık olarak 10kg daha az emisyon değerlerine sahip olacak. Aynı ölçülere sahip çelik malzeme yerine alüminyum alaşım malzeme kullanmak, o parçanın %65 daha hafif olmasını sağlamaktadır. Her 100 kg lık kütle azalması 0,6 litre yakıt kazancı sağlamaktadır. Bu sayede emisyon değerlerinin düşürülmesi sağlanmıştır[5].

Otomobilde döküm alüminyum üretimi ile kullanılan parçalar, aracın tamamında kullanılan alüminyum parçaların %80'i kadardır. Otomotiv sektöründe genellikle döküm alüminyumu motor bloğu ve şanzıman gibi parçalarda kullanılmaktadır. Son zamanlarda otomobil üreticileri motor bloklarındaki ağırlığı sebep göstererek motor blok üretiminde kullanılan dökme demir yerine alüminyum alaşımlı malzemelere yönelmekteler ve böylece %45 oranında ağırlık azalması sağlanmaktadır. Ayrıca dökme demir malzemenin ağırlık haricinde ısı iletim yetersizliği gibi dezavantajı vardır[6].

İçten yanmalı motor blokları birçok mekaniksel gereksinime ihtiyaç duyar. Silindir içinde meydana gelen yanma çok hızlı şekilde gerçekleşmektedir. Yanma sonucu oluşan aşırı derecedeki sıcaklık ve basınç silindir çeperinde gerilmelere sebep olmaktadır. Motor bloğunun uzun süre bu gerilmelere dayanması gerekmektedir. Ayrıca motor bloklarının aşınma direncinin yüksek sıcaklık ve basınca karşı dayanıklı olması gerekmektedir[8].

Motor bloklarının maruz kaldığı bu etkilerin karşılanabilmesi için seçilecek malzemenin yüksek dayanıklılığa, elastikiyete, aşınma direncine ve korozyon direncine sahip olmalıdır. Piston silindir içinde hareket etmesinden dolayı silindir yüzeyinin istenilen sertliğe sahip olmalıdır.

Blok malzemesinin sürtünme katsayısı düşük olması gerekmektedir. Silindir yüzeyi ile piston arasındaki sürtünme otomobillerde güç verimine direk etki etmektedir. Yaklaşık %40 güç kayıpları ile performans düşüşü gözlemlenmekte. Bundan dolayı dökme demir yerine sürtünme katsayısı düşük malzeme kullanılması silindir ile piston arasındaki sürtünmeyi kafi derecede azaltır. Dökme demir yerine kullanılan alüminyum alaşımlı motor blokları talep edilen mekanik özelliği ve fonksiyonelliği karşılamaktadır[9].

Motor Blok Karakteristiği;

*Yüksek Dayanım
*Yüksek Elastikiyet
*Yüksek Aşınma Direnci
*Yüksek Sürtünme Direnci
*Yüksek Isı İletimi
*Yüksek Korozyon Direnci
*Düşük Yoğunluk
*Düşük Isıl Genleşme
*İyi İşlenebilirlik
* İyi Dökülebilirlik
* İyi Titreşim Sönümleme

Motor blok silindir yüzeyinin 2 özelliğinin iyi olması çok önemlidir. Bunlar aşınma ve sürtünme dirençleridir. Bu iki özellik yağlamanın az olduğu durumlarda silindir yüzeyinde meydana gelmektedir. Alüminyum alaşım malzemelerin dökme demire göre üstünlükleri mevcuttur ancak silindir yüzeylerindeki aşınma dayanımı dökme demirde olduğu gibi dayanıklı değildir. Dökme demirde mevcut olan grafitler sayesinde katı yağlama çok iyidir ancak alüminyum bloklarda katı yağlama iyi değildir. Katı yağlamanın daha iyi olması için dayanımı arttırıcı alüminyum alaşımlı malzemeler kullanılmaktadır. Ayrıca motor soğukken yakıt içindeki sülfürün silindir yüzeyindeki aşınmayı arttırmaktadır[10].

Alüminyum motor bloklarının kullanılmaya başlanmasındaki en önemli sebep bu malzemenin dökülebilirliğinin iyi olması, malzemenin özgül ağırlığının dökme demir'e oranla daha az olması ve ısı iletiminin dökme demire göre daha iyi olmasıdır. Isı iletiminin daha iyi olması sayesinde motor silindirlerinin arasındaki mesafe daha azaltılabilmekte bu sayede motor bloğunda boyutsal olarak daha küçük ölçülere ulaşılabilmektedir.

Alüminyum alaşımlı malzemelerin motor bloğu olarak kullanılması için bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Motor bloğunu titreşime yüksek sıcaklığa korozyona ve yüksek basınca karşı dayanıklı olması gerekmektedir. Bu sebeple alüminyum içine çeşitli malzemeler katılarak istenilen özeliklerde alüminyum alaşımlı motor bloğu elde edilir [3].

Doty ve Herbert [11] tarafından yapılan çalışmada alüminyum alaşımlı motor bloklarında yaygın olarak A356 ve 319 alüminyum alaşımları kullanılmaktadır.A356 alaşımı mekaniksel dayanım süneklik, sertlik, yorulma dayanımı, akıcılık ve işlenebilirliği gibi birçok istenilen özelliği karşılayabilmektedir.Hem 319 hem de A356 alüminyum alaşımları silindir yüzeyi için gerekli olan aşınma direncini pistonların çalışma süresi boyunca yeterli şekilde sağlamaktadır.Her iki alaşım, motor blok üretimi için hem döküm hem işlenebilirliğe uygundur. A356 T6 alüminyum alaşım malzemesi A356 malzemesine uygulanan ısıl ve yaşlandırma işlemi sonucu elde edilmektedir. Bu işlemler sayesinde A356 T6 alaşımının gerilme ve akma dayanımı artmaktadır. Bu alaşım yaygın olarak Amerika'da otomotiv sektöründe kullanılmaktadır. Döküm yöntemi ile kullanılan alüminyum alaşımları kullanılan bütün alüminyum alaşımların %8' ine karşılık gelmektedir. Kullanılan en popüler döküm alüminyum alaşımları 319, A380 ve A356 dır [2].

Alüminyum alaşımlı malzemeler motor bloklarında kullanılacak kadar dayanıklı ve istenilen özelliklere karşılık veren malzemelerdir. Arızalanan parçalar değildir. Ancak piston ve biyel kolunun silindir içinde hareket etmesi ile hasarlar meydana gelmektedir. Ayrıca motor bloklarının genleşme tapalarının olmadığında motor bloklarında çatlama meydana gelmektedir. Günümüzde birçok araçta (ağır vasıta araçlarında, otomobillerde ve uçakların belli kısımlarında) Alüminyum alaşımlı malzemelerin avantajlarından faydalanılmaktadır[13].

### 1.1.2. Literatürde Gazdan Silindir Duvarına Isı İletimi

Isı transferi içten yanmalı motorların çok gerekli çalışma konusudur. Yanma sıcaklık ve basıncı ne kadar önemli ise ısı transferinde o kadar önemelidir. Yanmış gazların elde edilen ısının soğutucu akışkanın vasıtası ile dışarı atılması toplam ısının %25 ile %35 arasında gerçekleşmektedir. Bu ısının yaklaşık yarısı silindir duvarından dışarı atılmaktadır. Arta kalan ısılar silindir kafası piston ve motor yağı ile dışarı aktarılmaktadır[14].

Açığa çıkan bu ısı üç ısı transfer yolu ile soğutucu akışkana aktarılmaktadır. Bunlar taşınım, iletim ve radyasyon ile gerçekleşmektedir. İletim yolu ile ısı transferi molekül düzeyde gerçekleşmektedir. Silindir duvarından soğutucu akışkana kadar gerçekleşen transferdir. Bu ısı transferini Fourier ısı akışının birim alan oranı olarak tanımlamaktadır[15].

$$Q/A=-k.(dT/dx), \quad (1.1)$$

Taşınım yolu ile gerçekleşen ısı transferinin katı yolu ile meydana gelen ısı transferinden farkı yanmış gazların silindir duvarına doğru duvarın hemen önündeki ince sınır bölgede gerçekleşmektedir. Newton'un tanımladığı taşınım ısı transferi ortalama akışkanın kütle hareketi ile gerçekleşmektedir. [15].

$$Q/A=h_g.(T_g-T_w), \quad (1.2)$$

Burdan;
Q: Yakıtın yanma sonucu açığa çıkan ısısı
A: Isını temas ettiği yüzey alanı
$h_g$: Taşınım ısı iletim katsayısı
$T_g$: Gaz sıcaklığı
$T_w$: Silindir duvar sıcaklığı

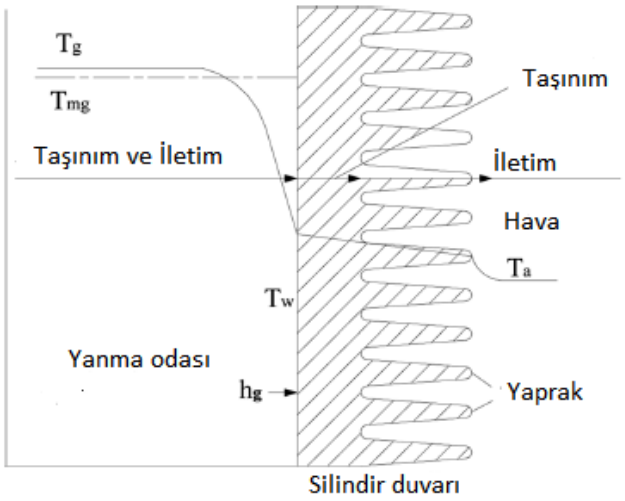
Radyasyon ile ısı transferinde ısı elektromanyetik dalgalar ile yayılmaktadır.

$$Q/A = \varepsilon.б.T^4 \quad (1.3)$$

Burdan;
Q: Yakıtın yanma sonucu açığa çıkan ısısı
A: Isını temas ettiği yüzey alanı
б: Stefan-Boltzmann sabiti
ε: Sabit sayı (0.6-1.6)
T: Gaz sıcaklığı

Silindir içindeki yanmış gazların ısı transferi önce iletim ve taşınım yolu ile sonra cebri taşınım yolu ile silindir duvarının hemen önündeki ince sınır bölgeye gelir daha sonra buradan silindir duvarından iletim yolu ile ısı soğutucu akışkanın sınır bölgesine gelerek ısı aktarılır[14].

Bu ısı transferi pistonun normal hareketi halinde meydana gelmektedir. Ancak motorların yüksek hızlarda çalışması sebebiyle ısı silindir duvarından 0,1 ile 0,5 mm derinliğinde nüfuz etmektedir. Böylece silindir duvar sıcaklığının zamanla değişmediği farz edilmektedir[16].




**Şekil 1.1:** Yanmış gazların silindir duvarına iletimi

Yanma esnasında yanmış gazların sıcaklığı yaklaşık olarak 2850 K sıcaklığına ulaşmaktadır. Açığa çıkan ısı gazdan silindir duvarına doğru düzgün ve sabit şekilde değildir. Bu değerlerin hesaplanabilmesi için karmaşık denklemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Denklemlerin kurulması için yanma odasının modellenmesi gerekmektedir. Bu modellerin kurulması motor performansını artırmak ve emisyon değerlerini azaltmada kullanılmakta ve bu yanma prosesinin önemini ortaya

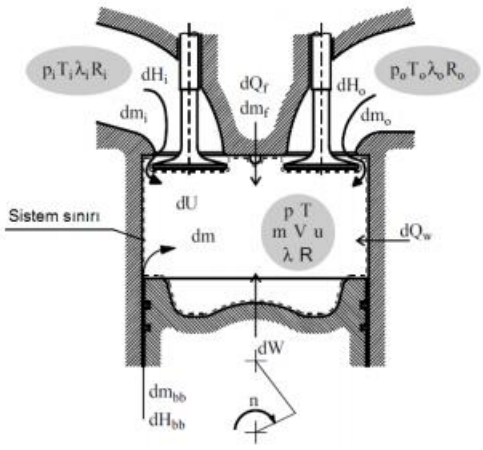
koymaktadır. Çeşitli motor yanma modelleri geliştirildi bunlar üç guruba ayrılmaktadır[17].

1-Sıfır boyutlu model
2- İki boyutlu model
3-Çok boyutlu model

Heywood ve Arkadaşları [17] tarafından 1986 yılında gerçekleştirilen sıfır boyutlu yanma modeli ve araştırmamızın konusu olan bu çalışma, içten yanmalı motorlarda meydana gelen yanmayı simüle etmek için geliştirildi. Bu model içten yanmalı modellerde yanma analizlerini daha hızlı ve kolay yapmamızı sağladığı için yaygın şekilde tercih edilen yanma modelidir. Motor tasarımcıları tarafından çokça faydalanılan model kendi içinde üç guruba ayrılmaktadır.

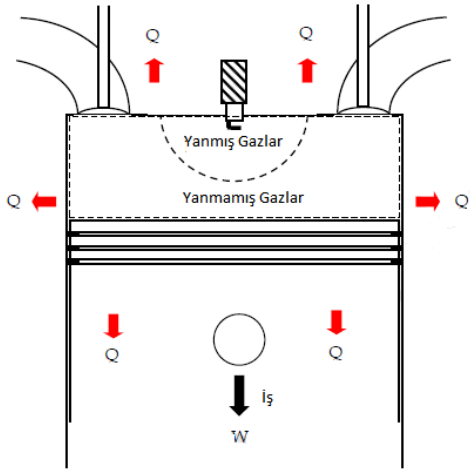
1- Tek bölge modeli
2- İki bölge modeli
3- Çoklu bölge modeli

Tek bölge modelinde termodinamiğin 1. yasası yanma sonucu açığa çıkan ısıya uygulanarak, yanma sonucu açığa çıkan gaz özelliği yanma odasının her yerinde aynı olarak kabul edilir. Ancak sıklıkla basitleştirilmiş Newton denklemi kullanılmaktadır. $T_g$ ve $h_g$ sabit olarak kabul edilir yani yanmış ve yanmamış gazlar aynı özellikte kabul edilmektedir[15].




**Şekil 1.2:**Tek bölgeli yanma modeli

İki bölge yanma modelinde ise iş akışkanı yanmış ve yanmamış gazlar olarak iki bölge olarak düşünülür. Bu her iki bölge birbirinden kütle ve enerji etkileşimi farklı termodinamik sistem olarak düşünülür.




**Şekil 1.3:** İki bölgeli yanma modeli

Her iki bölge için yanmış gazların oranı krank açısı ile basitleştirilmiş sayısal denklemler sayesinde çözülmektedir. İçten yanmalı motorlar da yanmış gazlardan silindir duvarına ısı akışını sayısal denklemlerle nasıl yapılacağını öneren bir çok makale bulunmaktadır. Nusselt , Woschni, Annand, Hohenberg, Sitkei gibi bir çok araştırmacı bu konu üzerinde çalışmalar yapmıştır[16,18].

Nusselt [19] tarafından içten yanmalı motorlar için ilk çalışma 1923 yılında gerçekleştirildi. Nusselt tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada taşınım ısı iletimi doğal ısı iletim yollu olarak kabul edildi. Bu ilk model deneysel ilişki içermekteydi. Daha sonra Eichelberg'in içten yanmalı motorlarda Nusselt'in deneysel sonuçlarını kullanarak düzenleme yaptı. Bu modeller ilk zamanlarda gaz sıcaklığı, basıncı ve motor hızı gibi parametrelerin etki etmesi ile avantajlara sahipti ancak bu yaklaşımlar kısa sürede sınırına ulaştı.

Woschni [20] tarafından bu formüllerin incelenmesi ile doğal yolla ısı iletiminin sadece yaklaşık değerler verdiğini ortaya çıkardı, gerçek değerlere yakın değerleri ancak cebri taşınım ısı iletimi yolunun kullanılması gerektiğini savundu.

Formüllerde kullanılan doğal yollu ısı iletimin kullanılması yetersizliğinden dolayı bazı araştırmacılar (Woschni, Annand, Hohonberg, Sitkei..vb.)cebri ısı taşımına yönelik çalışmalarda bulundalar.Bu çalışmalar boyutsal akışı içeren Nussel, Reynolds ve prandtl sayılarını içermektedir[21].

$$Nu = a.Re^{m}.Pr^{n} \quad (1.4)$$

Yukarıda isimleri belirtilen araştırmacılar yanmış gazlardan silindir duvarına anlık ısı iletim katsayı hakkında bir çok çalışmalar yapmışlardır. Amr ve arkadaşları kendi çalışmalarında woschini denklemlerini kullanmışlardır, Caillol ve arkadaşları Hohenberg'in denklemini kullanmışlar, Soylu ve arkadaşları Annand'ın denklemlerini kulanmışlar ancak adaletli şekilde hangi denklemin daha iyi olduğu hakkında literatüre geçmiş bir çalışma yapılmamış.

Launici ve arkadaşlarının [21] yaptıkları çalışmada hangi yanma denkleminin daha iyi ve kesin sonuç verdiği iki bölgeli yanma modelinde araştırılmıştır. Aynı çalışmada Woschni ısı iletim katsayısı kompresyon esnasında ortalamanın altında ancak yanma esnasında ortalama üstünde çıkmaktadır. Sitkei'nin ısı transfer katsayısı motor performansının altında kalmakta.Annand'ın denklemi diğerleri ile kıyaslandığında radyasyon hesabını da işin içine kattığından dolayı motor performansına karşı değeri yüksek çıkmakta.Eichelberg'in denklemi kıyaslandığında sıkışma kursu hariç Hohenberg'in denklemine yakın sonuçlar vermektedir. Aşağıdaki tabloda da gözüktüğü gibi kullanım zorlukları ve gerçek değerlere olan yakınlığına göre sınıflandırma yapılmaktadır. Bu formüllerde en göze çarpan Hohenberg'in denklemi olmaktadır. Diğer denklemler ile kıyaslandığında Hohenberg'in denklemi ile elde edilen ısıl değerlerin gerçek değerlere olan yakınlığı gayet iyidir. Kullanımı diğer denklemlere göre hem kolay hem pratik. Hohenberg denklemini kullanarak diğerlerine göre daha yüksek sıcaklıklarda bile daha kesin sonuçlar elde edilmektedir. En iyi seçenek olmaktadır. Motor tasarım aşamasında yakılan yakıt sonucu meydana gelen ısının da tasarım aşamasında müdahalesine sebebiyet vererek hem zamandan hemde maliyetten tasarruf sağlamaktadır.

**Tablo1.1:** Taşınım ısıl katsayısı denklemlerinin kıyaslanması

| | Kesinlik | Kullanılabilirlik | Hesaplama Zamanı | Modifiye Edilebilirlik |
|---|---|---|---|---|
| **Hohenberg** | İyi | Kolay | İyi | Olmaz |
| **Eichelberg** | Kabul edilebilir | Kolay | İyi | Olmaz |
| **Woschni** | Kabul edilebilir | Zor | Çok | Gerekli |
| **Annand** | Modifiye gerekli | Kolay | İyi | Etkilenmiş |
| **Sitkei** | Kabul edilemez | Kolay | İyi | Gerkli |

Motor içinde dizel yakıtın yanması ile meydana gelen ısı silindir duvarı, silindir kafası, piston yolu ve egzoz gazı ile dışarıya atılımı gerçekleşmektedir. Tez konumuz olan silindir bloğunun termo-mekanik analizi ile asıl bizi ilgilendiren silindir duvarına geçen ısıdır. Silindir duvarına geçen ısının hesaplanması çok zor ve karmaşıktır. Bu ısı ölçümü thermocouple ile yapılabileceği gibi tasarım aşamasında maliyetten kaçınma ve mühendislik hesaplarını önceden yapılabilmesi için bu ısı değerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu sebeple birçok araştırmacı değişik formüllerle bu ısı iletimini hesaplayabilmek için çeşitli formüller ortaya koymuşlardır. Bunların en ön plana çıkanı Hohenberg in taşınım ısı iletim katsayısı denklemidir. Hohenberg denklemi diğer denklemler göz önüne alındığında daha kesin sonuç vermekte ve hesaplamada daha kısa ve kolay sonuca ulaşmaktadır[31,32].

Hohenberg taşınım ısı iletim formülü ;

$$h_c = \frac{130 P_{cyl}^{\ 0.8} \cdot \left(u_p + 1.4\right)^{0.8}}{V_{inst}^{\ 0.06} \cdot T_{cyl}^{\ 0.4}} \tag{1.5}$$

Burdan;

$P_{cyl}$= Anlık yanmış gazlarının basıncı

$u_{p=}$Ortalama piston hızı

$V_{inst}$= Anlık silindir hacmi

$T_{cyl}$= Anlık silindir sıcaklığı

Hohenberg denklemi kullanılarak havanın sıkıştırılmasından sonra sabit hacimde püskürtülen yakıt'ın yanması ile elde edilen yanma sıcaklığının taşınım ısı iletim katsayısı ile sabit basınçta püskürtülen ve maksimum sıcaklık sonucu elde edilen taşınım ısı iletim katsayısına ilaveten yanmış gazların pistonun alt ölü noktasına ulaştığındaki taşınım ısıl değerleri tek hesaplanarak krank açısına göre grafik elde edilmiştir.

## 1.2. DİZEL MOTORLAR

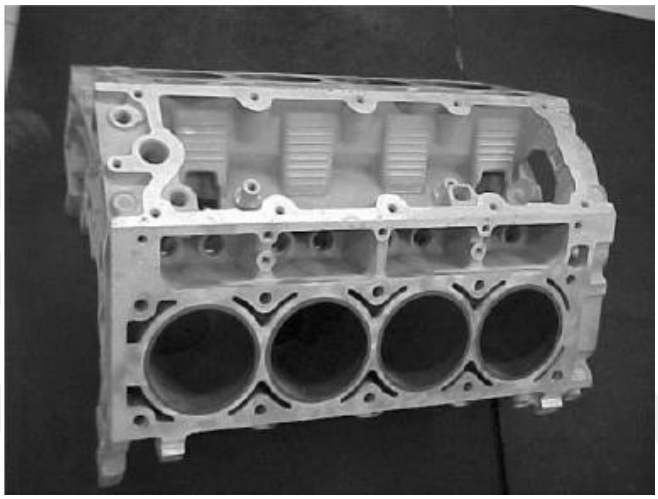
### 1.2.1. İçten Yanmalı Motorların Tarihi

18yy'ın başlarında barutun keşfi ile birlikte barutun kullanılmasıyla ilgili olarak pek çok inceleme sayesinde ateşli silahlar keşfedildi. Bu keşifle birlikte içten yanmalı motorların ilk temelleri atılmış oldu. Bu çalışmalar esnasında barutun bir boru içinde yakılması sonucu açığa çıkan yanmış gazlar, boru içindeki parçayı ileri itmesi ile yükselen parçanın yerçekimi etkisi ile yere düşmesi sayesinde motorun çalışma prensibi olan pistonun aşağı yukarı hareket düşüncesini açığa çıkardı[40].

Jean de Hautefeuille 1678 yılında düşüncesini hayata geçirmek için yanmış gazların oluşturduğu yüksek basıncın dışarı atılması ile meydana gelen vakum etkisi sayesinde suyun pompalanması fikrini geliştirdi. İçten yanmalı motorların çalışma ilkesi 18yy'ın sonlarına doğru Sadi Carnot'un yapmış olduğu çalışmalar doğrultusunda geliştirildi. Bu çalışmaların Dr. Dizel tarafından incelenmesi ile içten yanmalı motorlarda ilerleme sağladı. Dr. Dizel tarafından keşfedilen dizel motor çevriminde güç aktarımı pistonun sabit hacimde hareketi ile sağlanmaktadır[23].

Aslında Dr. Dizelden önce Fransız bilim adamı B. De Rocas 1862 senesinde yakıt ile hava karışımının sıkıştırılarak yakılması ile dört zamanlı motorların çalışma prensibini bulmuş ve patentini o sene almıştır. Ancak Dr. Dizel in yaptığı çalışma itiraz edilmesiyle Alman kraliyet ailesi tarafından patenti reddedildi.

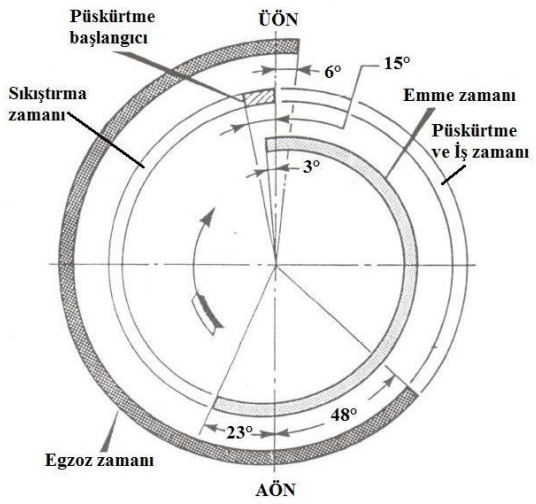
Yaklaşık 1864 yılarında Siegfried Marcus tarafından yapılan araçta içten yanmalı motor başarılı bir şekilde çalıştırıldı. Bu kullanılan motor tek silindirli iki zamanlı bir motordu. Sadece Marcus motor üretmedi bugünkü motorların atası olan Gottlieb Daimler'de motor üretti.



**Şekil 1.4**: V8 Alüminyum Alaşım Motor bloğu

### 1.2.2. Dört Zamanlı Motorlar

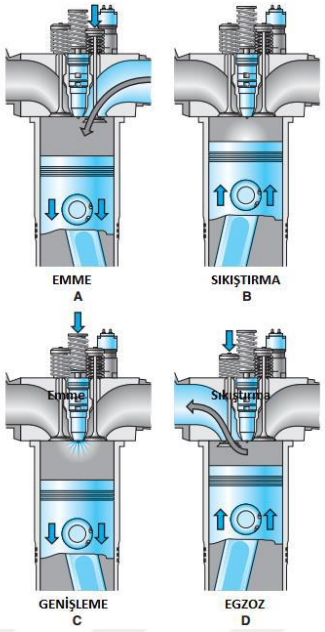
Dört zamanlı motorlar emme, sıkıştırma, yanma ve egzoz gazlarının atılması olmak üzere 4 kurstan meydan gelmektedir. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi piston hareketiyle emme ve egzoz supaplarının açılma kapanması gösterilmektedir.




**Şekil 1.5:** Dört kurslu motorun supap açılıp kapanma açısı

### 1.2.2.1. Dört Zamanlı Motor Çalışma Prensibi

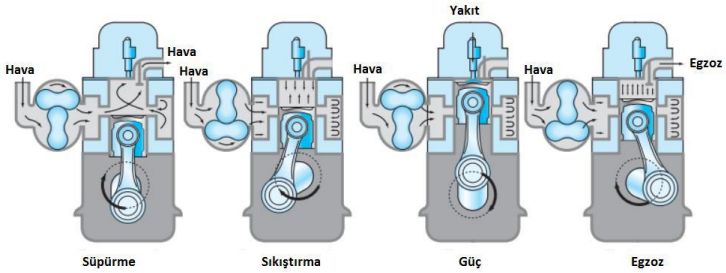
Yapılan çalışmada [23,24] dört zamanlı dizel motorlarda havanın silindir içine alınması için piston ÜÖN'dan AÖN'ya ilerlerken hava emme supapları piston üst ölü noktaya yaklaşırken açılırken egzoz supapları kapanmaya başlar. Yanmış gazların bir kısmı emme supap'ına doğru giderek alınan havanın ısıtılması sağlanır böylece dizel motorların hem yanma performansının artması hem de daha sessiz çalışması sağlanmaktadır. Piston AÖN'ya doğru ilerlerken hava silindir içine alınır. AÖN'ya geldiğinde ise emme supap'ı kapanır ve piston ÜÖN'ya doğru ilerleyerek sıkıştırma süreci başlamaktadır. Piston üst ölü noktaya geldiğinde havanın sıkışması sonucu hava sıcaklığı 950°C ye basınçta 2000 bar'a kadar ulaşmaktadır. Isınan bu havanın içine yakıt püskürtülerek yakıtın hava ile yakılması sağlanmaktadır. Yanma sonucu açığa çıkan yüksek sıcaklık ve yüksek basınç pistonu aşağıya doğru hareket ettirir. Burada istenen olay yanma sürecinin piston AÖN'ya gelmeden bitmesidir. Piston alt ölü noktaya gelmeden egzoz supap'ı açılarak piston üst ölü noktaya doğru ilerlemesi ile yanmış gazların sistemden atılması sağlanır. Toplamda 720° lik çevrim boyunca dört kurs işlemi gerçekleşmektedir. Bu süreç diğer pistonlar içinde aynı şekilde gerçekleşmektedir.




**Şekil 1.6:** Dört zamanlı motor çevrimi şematik gösterimi [23]

### 1.2.3. İki Zamanlı Motorlar

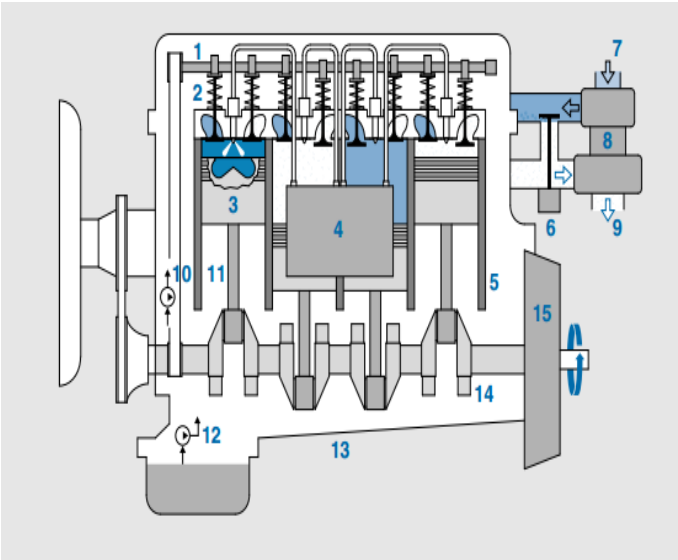
Yapılan çalışmada [24] iki zamanlı motorlar dört zamanlı motorlardan farklı olarak tüm çevrimi 360° de gerçekleştirmektedir. İki zamanlı motorlarda supap olmadığı için sadece emme ve egzoz kursları meydana gelmektedir. Piston yukarıya doğru hareketinde yan hava girişinden emdiği havayı sıkıştırarak buji ile ateşlenmesi sonucu yanma meydana gelmektedir. Yanma sonucu piston aşağıya doğru hareket etmektedir. AÖN'ya gelmeden daha önce yan egzoz çıkışından egzoz çıkmaya başlar biraz daha aşağıya hareket etmesi ile hava yakıt karışımı silindire girmeye başlar bu sebeple taze hava yanmış gazları iterek egzoz işlemini gerçekleştirir.




**Şekil 1.7:** İki zamanlı motor çevrimi şeması[24]

### 1.2.4. Dizel Motor Tanımı

Bu çalışmada [22] Dizel motorlar sıkıştırılmış havanın içine yakıt püskürtülmesi ile meydana gelen yanmış gazların etkisi ile pistonu aşağı yönlü hareket ettirerek biyel kolu yardımı ile doğrusal hareketi krank şaft ta dairesel harekete çevirmektedir. Aşağıdaki şekilde 4 zamanlı dizel motorun parçaları gösterilmiştir. Dizel motorların torkları yüksektir bunun yanında yüksek sıkıştırma oranından dolayı yakıt tasarrufludur. Dizel motorları avantajlarının çok olması sebebiyle güç gerektiren yerlerde en çok tercih edilen motorlardır. Torklarının yüksek olması sebebiyle kamyon, tır, gemi ve iş makinelerinde kullanılmaktadır. Dizel motorların servis giderlerinin yüksek olması bile buji ateşlemeli motorlara benzer özelliklerinden ve hızlanmasının iyi olmasından ötürü oldukça yaygın kullanılmaya başlanmıştır. Dizel motorların hafifletilme çalışmaları ileride bu motorların hem yakıt tasarrufu hem performansları sebebiyle havacılık sektöründe kullanılması düşünülmektedir.



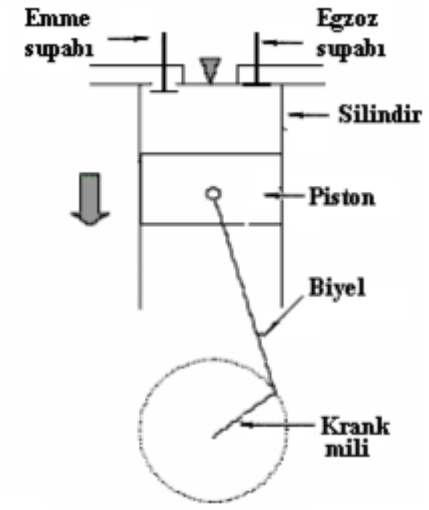

**Şekil 1.8:** Motor parçaları şeması [22]

**Tablo 1.2:** Motor bileşenleri adları [22]

| Parça No | Parça Adı |
|---|---|
| 1 | kam şaft |
| 2 | Valf |
| 3 | Piston |
| 4 | Yakıt püskürtme sistemi |
| 5 | Silindir |
| 6 | Egzos gaz tekrar kullanımı |
| 7 | Hava giriş manifoldu |
| 8 | Turboşarjer |
| 9 | Egzos borusu |
| 10 | Soğutma sistemi |
| 11 | Biyel kolu |
| 12 | Yağlama sistemi |
| 13 | Silindir bloğu |
| 14 | Krank şaft |
| 15 | Volan |

### 1.2.5. Devirlerine Göre Dizel Motorların Sınıflandırılması

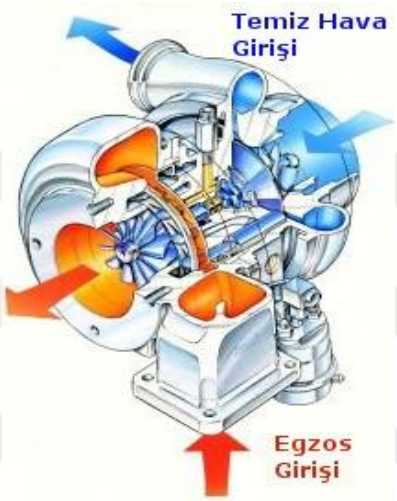
Dizel motorlar çevrim sayılarına göre düşük, orta, yüksek devirli olarak sınıflandırılır. 600dev/dk ya kadar olan motorlara düşük devirli motor denir.600-1200dev/dk arasında çalışan motorlara orta devirli motor denir. 1200dev/dk den fazla olan motorlara yüksek devirli dizel motor denir[25].




**Şekil 1.9:** Motor şematik şekli [25]

### 1.2.6. Turboşarj

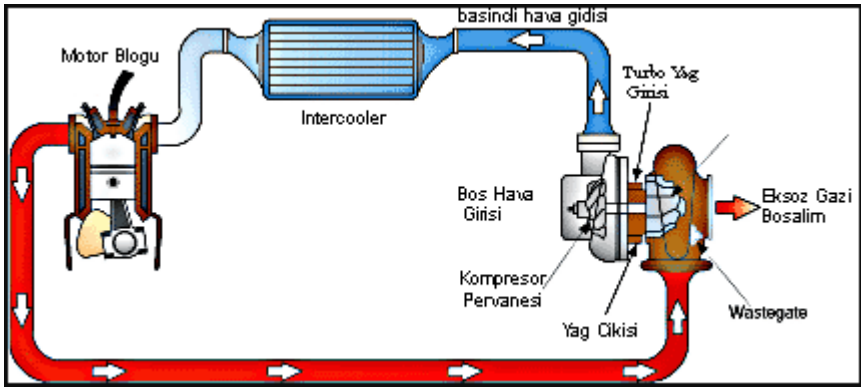
Turboşarj bir hava pompasıdır. Silindir içerisine cebri yolla atmosfer basıncından daha fazla basınçta hava vererek daha fazla güç gerektiren küçük hacimli motorların istenilen güç seviyesinde silindir içerisine daha fazla hava alınmasını sağlayan parçadır. Egzoz gazının turboşarj pervanesini döndürerek temiz havanın şaft vasıtası ile kompresyon pervanesini döndürmesi ile silindir içine basınçlı şekilde alınması sağlanmaktadır.




**Şekil 1.10:** Turboşarj şematik şekli

### 1.2.7. Intercooler

Turboşarj dan çıkan basınçlı ve sıcak temiz havanın bir soğutucu radyatör içinden geçerek silindir içine gönderilen böylece sıkıştırma ile ısınmış havanın soğutularak sisteme daha yoğun miktarda hava gönderilmiş olur. Böylece hem silindire giren hava miktarı artmış olur hem de yanma sonucu açığa çıkan ısının düşmesi sağlanmış olur.




**Şekil 1.11:** Intercooler şematik şekli

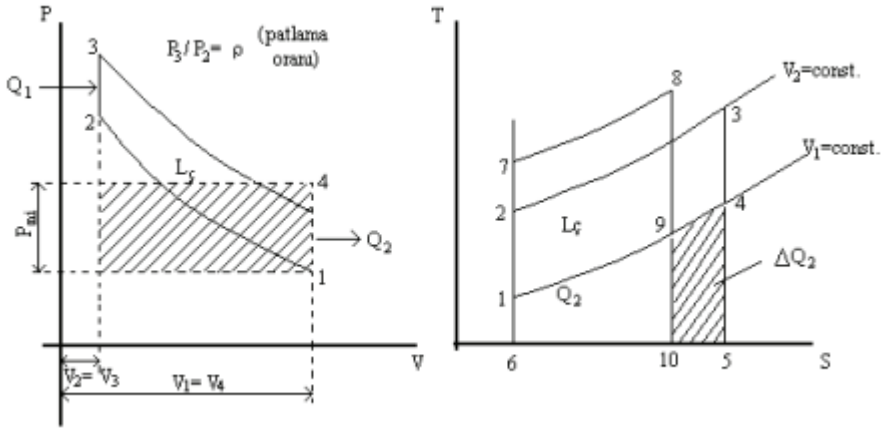
## 1.3. MOTOR TERMODİNAMİĞİ

Otomotiv motorlarında kullanılan içten yanmalı motorlar otto çevrimi ,dizel çevrimi ve karma(seiliger) çevrimine göre çalışmaktadırlar.Kullanım amacı ve yerine göre bu çevrimlerden bir tanesi tercih edilmektedir. İçten yanmalı motorlarda yakıttaki mevcut enerji yanma sonucu ısı enerjisine dönüşmektedir. Bu yanma sonucu silindir içindeki basınç ve sıcaklıkta değişmeler meydana gelmektedir. Açığa çıkan enerji pistonun aşağıya doğru ilerlemesi ile iş meydana gelmektedir. Yanma sonucu oluşan ısı ve bu ısının işe dönüşmesi termodinamiğin konusudur.

### 1.3.1. Otto Çevrimi

Yapılan son çalışmalarda [33] yanmanın sabit hacimde gerçekleştiği motorlardır. Beau ve Rochas tarafından bulunan çevrim 1876 yılında ilk kez 4 zamanlı motorlarda Nikolaus A. Otto tarafında kullanılması ile bu çevrimlere otto çevrimi denilmektedir.

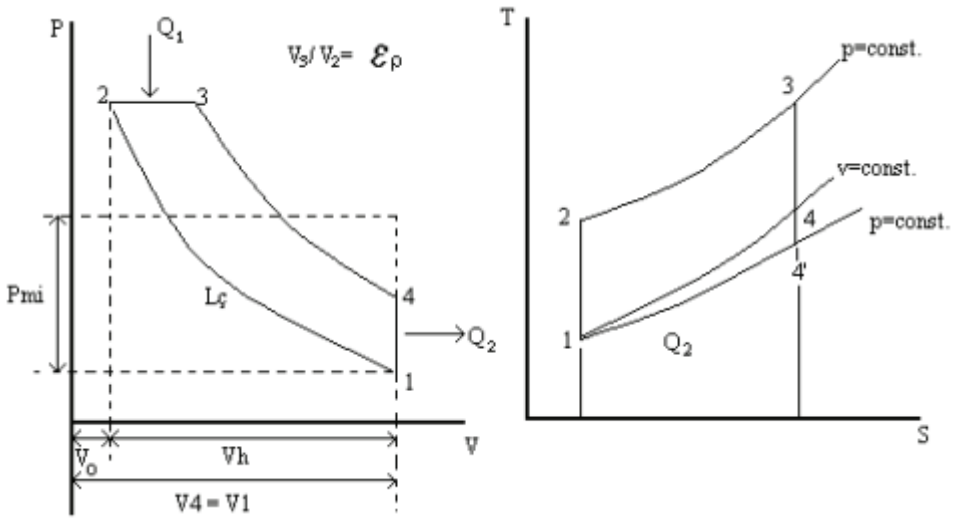
Kıvılcım ateşlemeli motorlardır.Otto çevriminde1den 2 ye doğru izantropik sıkıştırmadır. Sıkıştırma ile birlikte sıcaklık artmaktadır. Silindir içine alınan hava ve yakıt karışımı yakıtın tutuşma sıcaklığını altına kadar sıkıştırılır daha sonra buji ile bu karışım ateşlenerek yakılır yanma sonucu tüm ısı hava geçer bu işlem yani hava ve yakıt karışımın yakılması süreci piston üst ölü noktaya gelmeden önce gerçekleşir. Bu sayede yanma sonuncu hava geçen tüm ısı sabit hacimde gerçekleşir sabit hacmin yani 2 den 3 geçerken sıcaklık ve basınç 3 noktasında maksimum seviyeye ulaşmaktadır. Bu yanma sonucu meydana gelen yanmış gazlar pistonu üst ölü noktasından alt ölü noktasına hareket ettirmektedir. Yanmış gazlar piston alt ölü noktasından üst ölü noktaya gelirken supaplar açılmakta ısının büyük bir bölümü sistemden atılır. Bu işlem 4 ten 1 e doğru sabit basınç altında gerçekleşir. Silindir içindeki basınç birden düşerek egzoz basıncına inmektedir. Egzoz kursu sabit basınçta gerçekleşmektedir. En son olarak piston AÖN'dan ÜÖN'ya doğru hareketi gerçekleştirmekte ve egzoz supap'ının kapanması ile çevrim tamamlanış olur. Otto çevrimlerinde vuruntu ateşlemenin piston tam üst ölü noktaya yaklaşmadan önce meydana gelmesi ile oluşmaktadır.




**Şekil 1.12 :** Otto Çevrimi[71]

### 1.3.2. Dizel Çevrimi

Yapılan çalışmalarda [33] 1800 lü yılların sonlarına doğru Rudolph Diesel tarafından sıkıştırma ateşlemeli motor olarak geliştirilen ve yanmanın sabit basınçta olduğu çevrimlerdir. Bu çevrimde sıkıştırma sonucu medyana gelen yüksek ısı ile ateşleme gerçekleşir. Buji ateşlemeli motorlarda meydana gelen yanma, sıkışan hava sıcaklığının tutuşma sıcaklığının altında olması ve bunu bir kıvılcım yardımı ile yanması sağlanmaktadır. Ancak dizel motorlarda durum hava yakıtın tutuşma sıcaklığının üstüne kadar sıkıştırılır belli sıcaklığa gelen hava üstüne yakıt püskürtülür. Isının yani yakıtın sisteme sokulması sabit basınçta gerçekleşmekte. Dizel çevrimlerde sadece havanın sıkıştırılması vuruntu riskini ortadan kaldırmakta ve yüksek sıkıştırma ile çalışabilmektedir. Dizel çevrimlerde verimin yüksek olması sıkıştırma oranın yüksek olmasındandır. Yakıt piston üst ölü noktasında iken yakıt püskürtülür ve böylece yanma uzun sürer böylece ısı sabit basınç boyunca sisteme verilir.




**Şekil 1.13:** Dizel Çevrimi[71]

Burdan;

1 - 2 arası adiabatik sıkıştırma

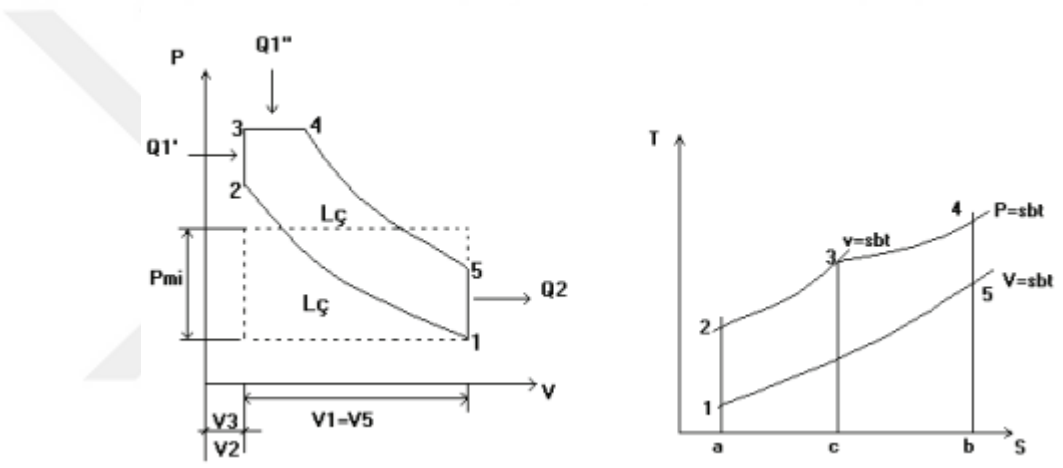
2 – 3 arasında yakıt sabit basınçta püskürtülüyor

3 – 4 arası adiabatik genişleme

4 – 1 arası egzoz sabit hacimde dışarı atılır

### 1.3.3. Karma(Seilinger) Çevrimi

Yapılan çalışmalarda [33]yanmanın kısmen sabit hacimde kısmen sabit basınçta gerçekleştiği motorlar olup tezimizin konusu olan motorun yanma hesapları karma çevrime göre yapılmıştır. Çünkü Karma çevrimler orta ve yüksek devirdeki hızlarda kullanılan çevrimlerdir. Hesabı yapılan motor orta hızda dizel motor olduğu için 2300d/dk da karma çevrim ile hesaplar yapılmıştır.




**Şekil 1.14:** Karma(Seilinger) Çevrim[71]

Burdan;

0 – 1 arası sabit basınç hava emme

1 - 2 arası adiabatik sıkıştırma

2 – 3 arasında yakıt sabit hacimde püskürtülüyor

3 – 4 arası yakıt sabit basınçta püskürtülüyor

4 – 5 arası  adiabatik genişleme

5 – 1 arası ısı sabit hacimde dışarı atılır

Karma çevrimde meydana gelen yanma sonucu oluşan gazların önce sabit hacimde daha sonra sabit basınçta genişlemesi meydana gelmektedir. Sıkıştırma ve genleşme işlemlerinin çevre ile arasında ısı alışverişi yoktur. Sıkıştırma esnasında 1 den 2 ye doğru geldiğinde izantropik olarak sıkıştırılır izantropik sıkıştırmada ısı transferi meydana gelmemektedir. Sıkıştırma sonucunda havanın basıncı ve sıcaklığı artar.2 noktasından 3 noktasına giderken yakıt püskürtülmeye başlar ve böylece sabit hacimde sıcaklık ve basınç artar. Karma çevrimde basınç artışı çok önemlidir.3 noktasından 4 noktasına giderken yakıt püskürtülmeye devam eder ve sabit basınçta genleşme meydana gelir.4 noktasında sıcaklık maksimum değere gelir.4 noktasında 5 noktasına giderken izantropik genleşme meydana gelir.5 noktasından 1 noktasına sabit hacimde yanmış gazlar dışarı atılır.

İdeal gaz denklemleri karma çevrimi için aşağıdaki şekilde yazılır.

$P_1.(V_1)^k=P_2.(V_2)^k$ ;$P_1/P_2=(V_1/V_2)^k$(1.3)

Sıkıştırma oranı=>$\varepsilon=V_1/V_2$ , $P_2/P_1=\varepsilon^k$ (1.6)

$T_2$sıcaklığı için

$T_1.(V_1)^{k-1}=T_2.(V_2)^{k-1}$ , $T_2=T_1.\varepsilon^{k-1}$(1.5)

4 ve 5 noktaları arası P ve T ilişkisi(Egzoz gaz sıcaklığı çıkışı)

$(P_4)^{1/k-1}.T_5=(P_5)^{1/k-1}.T_4$ (1.7)

Sabit hacimde verilen ısı

$Q_V=m.c_v.(T_3-T_2)$ (1.8)

Sabit basınçta verilen ısı

$Q_P=m.c_p.(T_4-T_3)$ (1.9)

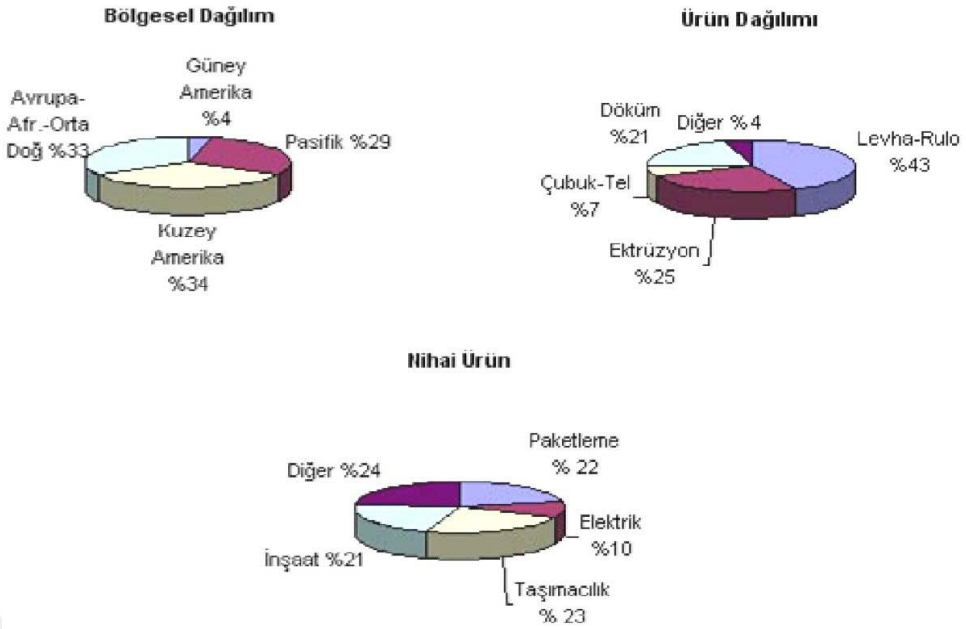
## 1.4. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Yapılan çalışmalarda [25] metaller arasında alüminyum ve alaşımları sahip olduğu birçok avantajlı özellikleri sayesinde dünyada çelik malzemelerden sonra çok yaygın kullanılan malzemedir. Özgül ağılığı 2.7g/cm$^3$ olduğundan bu avantajı ile çelikten yaklaşık 3 kat hafif olan bu metal sanayiden, ev gereçlerine kadar akla gelebilecek bir çok yerde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Alüminyum alaşımlarının bazıları birçok çelik malzemesinin teknik özeliklerinin üstünde performans göstermektedir.

Alüminyumun avantajları;

1- İstenilen mekanik özellikleri yanı sıra kütle avantajı
2- Korozyon'a karşı direnç
3- Alüminyum alaşımlarını dayanıklılık ve süneklik özellikleri çok çeşitlidir.
4- Elektrik ve ısı iletiminin üstünlüğü
5- Kolay şekil verilebilmesi
6- Tekrar tekrar kullanılabilmesi
7- Kimyasal malzemelere karşı üstün direnci
8- Her türlü yüzey işleme uygunluk
9- Manyetik nötr olması

Yukarıdaki özellikleri sayesinde günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Alüminyum alaşımlarının çelikten bir üstün özelliği oksit tabakası ile kaplanıp paslanma olayının ilerlememesidir. Çelikteki paslanmadan farkı yüzeye çok sıkı tutunarak çelikteki pas gibi katman katman dökülmez. Yüzeydeki oksit tabakası şeffaf olduğu için parlaklık vermektedir. Elektrik iletkenliği bakırdan kötü olmasına rağmen kütle iletkenlik oranı sayesinde bakırdan üstündür.




**Şekil 1.15:** Alüminyumun dünyadaki kullanım yerleri [26]

### 1.4.1. Alüminyum Alaşımlarının Gruplandırılması

Bu çalışmada [1,7] Alüminyum alaşımları hem dökülebilirlik hem de dövülebilirlik özellikleri yönünden iki sınıfa ayrılır. Her bir sınıf için kullanılan malzemelerin teknik özellikleri ve mikro yapıları birbirinden farklıdır. Silindir bloklarının şekilleri girintili çıkıntılı olması sebebi ile üretimi zor parçalardır. Bu sebeple döküm yolu ile üretilmesi parça üretimini kolaylaştırmaktadır. Burada önemli olan dökülen malzemenin döküm esnasında parçanın her yerine ulaşması yani malzemenin dökülebilirliğinin iyi olması gerekmektedir. Motor bloklarının ilk üretimlerinde bu isteklere grafit dökme demirler kullanılarak karşılık verilmiştir. Bu malzemenin dökülebilir olması titreşimleri sönümlemesi ve birçok özelliği sayesinde uzun yıllar motor blok malzemesi olarak kullanıldı. Her iki sınıf alaşım için termal işlemler gerçekleştirilebilir. Bu ısıl işlemler sayesinde alaşımların mekanik özellikleri iyileştirilebilir.

Alüminyum alaşımlarında genellikle bakır, çinko, silisyum ve magnezyum gibi elementler kullanılmaktadır. Dövme ve döküm alüminyum alaşımları bir birinden ayırmak için değişik terminolojiler kullanılmıştır. Bunlar dövme ve düküm için ayrı ayrı tanımlanmıştır.

Dövme alüminyum alaşımları için;

1XXX: Saf alüminyumdur. Daha çok ihtiyaç duyulan kimya ve elektrik sanayinde kullanılmaktadır.

2XXX: Bakır elementi baskın olarak karşımıza çıkmakta yüksek mukavemet gerektiren yerlerde kullanılır.

3XXX: Ağırlıklı olarak mangan elementi bulunur. Çeşitli dekoratif uygulamalarda kullanılır

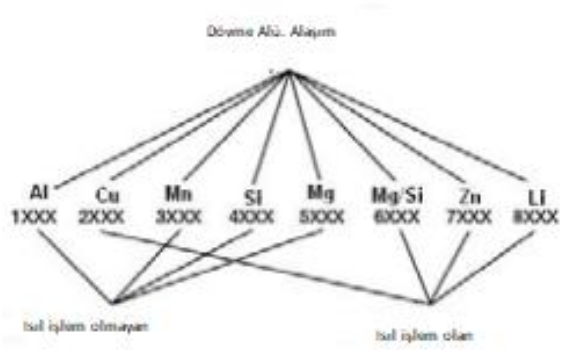
4XXX: Silisyum elementi baskın alaşımdır. Yüksek mukavemet ve korozyon direnci istenen yerde kullanılır. Otomotiv sanayinde kullanılır.

5XXX: Magnezyum elementi çok olan alaşımdır. İçerdiği magnezyum itibari ile çok sert yapıya sahiptir. Yüksek sertlik gerektiren yerlerde kullanılır.

6XXX: Ağırlıklı olarak magnezyum ve silisyum içerir. Mimari projelerde ve otomotiv sanayinde kullanılır.

7XXX: Bu seri alüminyum alaşımların mukavemeti diğerlerinden daha yüksektir. Esas itibari ile bakır elementinin ağırlıklı olmasının yanında zirkonyum, krom ve magnezyum içermektedir.

8XXX: Maliyetleri yüksek olması yüzünden çok yaygın kullanılmayan genellikle havacılık sanayinde kullanılan malzemedir. Ağırlık olarak lityum elementi bulunur.




**Şekil 1.16:** Dövme alüminyum alaşımlarının ısıl işlenebilirliği

Döküm alaşımları için kullanılan terminolojide 4 rakam içermekte noktanın solunda kalan 2 kısım Alüminyumun ne kadar saf olduğunu belirtir. Noktadan sonraki kısım ise 0 ise hurda döküm, 1 ise külçe döküm, 2 ise modifiye edilmiş dökümdür.

Döküm alüminyum alaşımları için;

1XX.X: %99 yada daha fazla Alüminyum içerir.

2XX.X: Cu elementi çoğunlukla

3XX.X: Si elementi çoğunlukta. Cu ve Mg gibi elementlerde mevcuttur.

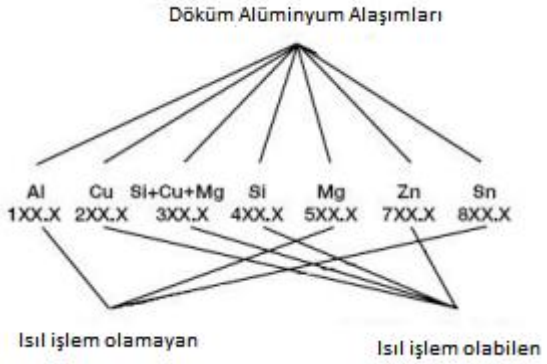
4XX.X: Si elementi çoğunlukta

5XX.X: Mg elementi çoğunlukta

6XX.X: Kullanılmıyor

7XX.X: Zn elementi çoğunlukta

8XX.X: Sn elementi çoğunlukta




**Şekil 1.17:** Döküm alüminyum alaşımlarının ısıl işlenebilirliği

### 1.4.2. Alüminyum Alaşım Isıl İşlem

Yapılan çalışmada [28] alüminyum döküm malzemelerinin dayanım özelliklerini daha iyi hale getirebilmek için malzemelere ısıl işlem uygulanması ile istenilen dayanım özellikleri malzemeye kazandırılır. Soğuk şoklama, yaşlandırma ve tavlama gibi uygulanan bu ısıl prosesler malzemeye hangi özellik kazandırılmak isteniyorsa ona göre işlem yapılabilir. Alüminyum malzemelerde çoğunlukla uygulanan ısıl işlem yaşlandırmadır. İstenilen dayanım özelliği haricinde yaşlandırma işlemi ile birçok özellik kazandırılmaktadır. Bunlar korozyon direnci, ısı, elektrik iletkenliği gibi özelliklerdir.

**Tablo 1.3:**Alüminyum Alaşımları İçin Temper Seri Numaralarının Tanımları [12]

| | |
|---|---|
| **T1** | İmalat sıcaklığında iken soğutulmuş doğal yaşlandırılmış |
| **T2** | İmalat sıcaklığında iken soğutma yapılmış soğuk şekil verilmiş ve doğal yaşlandırılmış |
| **T3** | Çözelti yöntemi ile ısıl işlem görmüş soğuk olarak işlenmiş ve doğal yaşlandırılmış |
| **T4** | Çözelti yöntemi ile ısıl işlem görmüş ve doğal yaşlandırılmış |
| **T5** | Sıcakla şekillendirilmiş ve yapay yaşlandırma yapılmış |
| **T6** | Çözelti yöntemi ısıl işlem yapılmış ve yapay yaşlandırılmış |
| **T7** | Çözelti yöntemi ısıl işlem yapılmış ve kararlı hale getirilmiş |
| **T8** | Çözelti yöntemi ısıl işlem yapılmış soğuk işlem uygulanmış ve yapay yaşlandırma yapılmış |
| **T9** | Çözelti yöntemi ısıl işlem yapılmış yapay yaşlandırma yapılmış ve soğuk işleme tabi olmuş |
| **T10** | İmalat sıcaklığında iken soğutma yapılmış ve yapay yaşlandırılmış |

## 1.5. TOPOLOJİ OPTİMİZASYONU

Yapılan çalışmalarda [41] bilgisayar destekli çizim programlarında, tasarımcının işini kolaylaştırmak ve üretilen parçaların maliyetini azaltmak için birçok yöntem geliştirildi. Yapısal optimizasyon yöntemleri parça üretiminde oldukça fazla kullanılmaktadır. Optimizasyon yöntemleri en iyi parça tasarımını üretmek için geliştirildi. Bu sayede daha ilk aşamada parçanın genel tasarımı hakkında genel bir fikir vermektedir. Böylece parça tasarımının geliştirilmesi daha kısa süreler almaktadır.

Topoloji optimizasyonu son senelerde yapısal optimizasyonun bir yöntemi olarak kullanıldı. Bu yöntem sayesinde tasarlanan parçanın olabilecek maksimum oranda hacmi azalırken, rijitliği ise maksimum oranda olacak şekilde malzeme dağılımı düzenlenmektedir.

Topoloji optimizasyonunun amacı, parçanın hacmi azaltılırken aynı zamanda mukavemeti maksimum yapan malzeme dağılımını oluşturmaktır. Amaç, sınır şartları ve yükler belirlendikten sonra en iyi malzeme dağılımını elde etmektir. Başlıca topoloji optimizasyon yöntemleri;

-Malzeme dağılımı yöntemi
-Level set yöntemi
-Evrimsel algoritma
-Malzeme bulutu yöntemi
-Homojenleştirme yöntemi

Ancak topoloji optimizasyonu endüstride çok fazla kullanılmamaktadır. Çok fazla kullanılmamasının sebebi kesin sonuç elde etmek için parçanın eleman sayısının ve çözüm adedinin fazla olması gerekmektedir. Bu sebeple topoloji optimizasyonu bilgisayar yükünü ve işlem süresini arttırmaktadır.

# 2. MALZEME VE YÖNTEM

Motor blok tasarımı yapılırken maksimum yanma sıcaklığının ve yanma sonucu meydana gelen maksimum basıncın tespiti, maliyetin ve zamanın önem arz ettiği günümüzde motor blok tasarımında çok fazla öneme sahiptir. Tüm motor aksamlarını üstünde barındıran motor bloğu hassas bir biçimde üretilmeli ve titreşimlerden meydana gelebilecek hasarları önleme açısından imalatın önemi bir kez daha ortaya çıkmaktadır.

## 2.1. MOTOR BLOK MALZEMELERİ

Motor blok malzemesinin konstrüksiyon ve sıcaklık dayanımı açısından seçilmesi çok önemlidir. Motor bloğu tasarımında yapılan kabuller ve maliyet sayesinde motor blok malzemesi seçimi gerçekleşmektedir. Burada önemli olan kullanılacak malzemenin sıcaklığa ve belirlenen bir devire kadar yorulma dayanımı sergilemesidir. Motor blokları dökme demirden üretilmekteydi ancak malzeme biliminin gelişmesi ile kullanım amacına uygun, ısı iletimi yüksek ve hafif malzemeler kullanılarak yakıt tasarrufu ve performanslı motor blokları üretilmektedir. Bu sebeple teknolojinin gelişmesi ile motor bloklarında alüminyum alaşımlı malzemeler kullanılmaktadır. Son zamanlarda Al-Si-Mg döküm alaşımlarının kullanımı dökülebilirlik, korozyon direnci, ısıl işlem görmüş olarak iyi mekanik özeliği, sıcak yırtılma direnci, yüksek mukavemet ağırlık oranından dolayı artmıştır.

Al-Si alüminyum alaşımlarında Bakır, Magnezyum, Titanyum, Çinko, Manganez, Fosfor, Nikel gibi elementler kullanılır. Bu elementler belli yüzdelerde bir araya getirilerek alüminyum alaşımları elde edilir.

Nikel motor bloğunun yüksek sıcaklıktaki genişlemesini önlemek için kullanılmaktadır. Magnezyum ve Bakır ısıl işlenebilirliğini arttırmak için kullanılır. Motor bloğunun kırılganlığını azaltmak için Manganez kullanılır. Titanyum ve Bor mikro yapıdaki tane oluşumunu küçültür. Al- Si alüminyum alaşımlı malzemelerin aşınma direncini arttırmak için dökme eklentiler ilave edilerek daha sert alaşım elde edilir.

Mangan elementi dizel motorlarda sülfürün korozyon direncini azaltmak için kullanılır. Silisyum, alüminyum alaşıma akıcılık özelliği kazandırır. Aşınma ve korozyona karşı direncini arttırır. Genleşme katsayısı Si elementi sayesinde düşer. Ancak silisyumun fazla kullanılması alaşımın katılaşmasında sorun yaşatabilir. Kullanım amacına göre iyi bir alüminyum alaşım elde etmek için kullanılan elementlerin oranının iyi şekilde ayarlanması gerekmektedir.

A356, A319 ve A380 alaşımları proseste en yaygın kullanılan alüminyum alaşımlardandır ve sahip olduğu yüksek akıcılık özelliği sayesinde iyi dökülebilirlik özelliğine sahiptir.

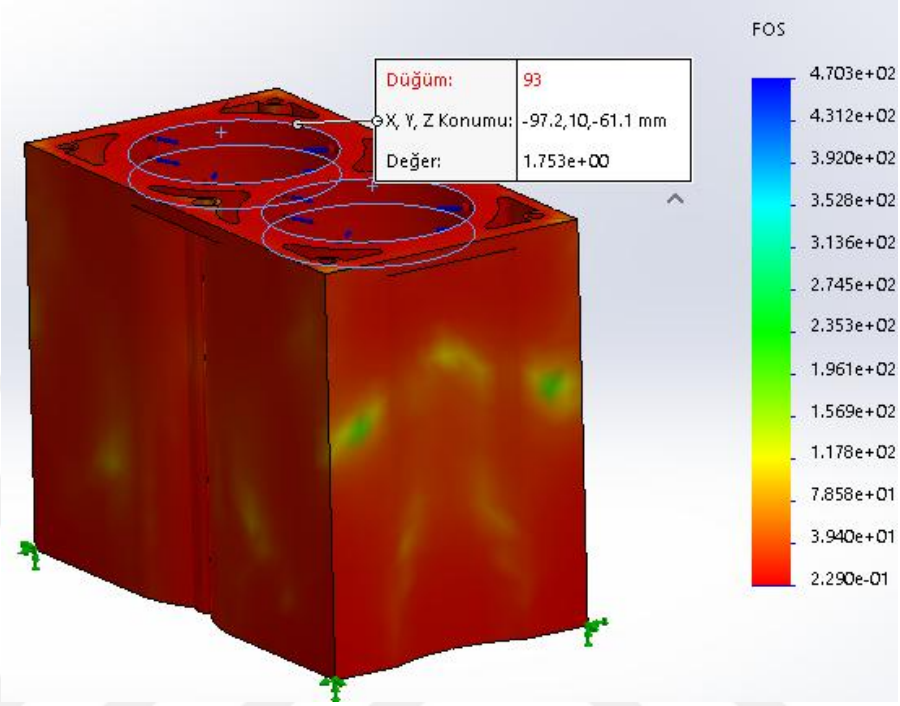
**Tablo 2.1**:Alüminyum malz. % bileşeni.

| | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Zn | Ti |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **A356 T6** | 6.5-7.5 | 0.15 | 0.03 | 0.1 | 0.3-0.45 | 0.07 | 0.1-0.18 |
| **A319 T6** | 5.5-6.5 | <1.0 | 3.0-4.0 | <0.5 | <0.10 | <1.0 | <0.25 |
| **A380** | 7.5-9.5 | <1.3 | 3.0-4.0 | 0.5 | 0.1 | 3.0 | 0.35 |

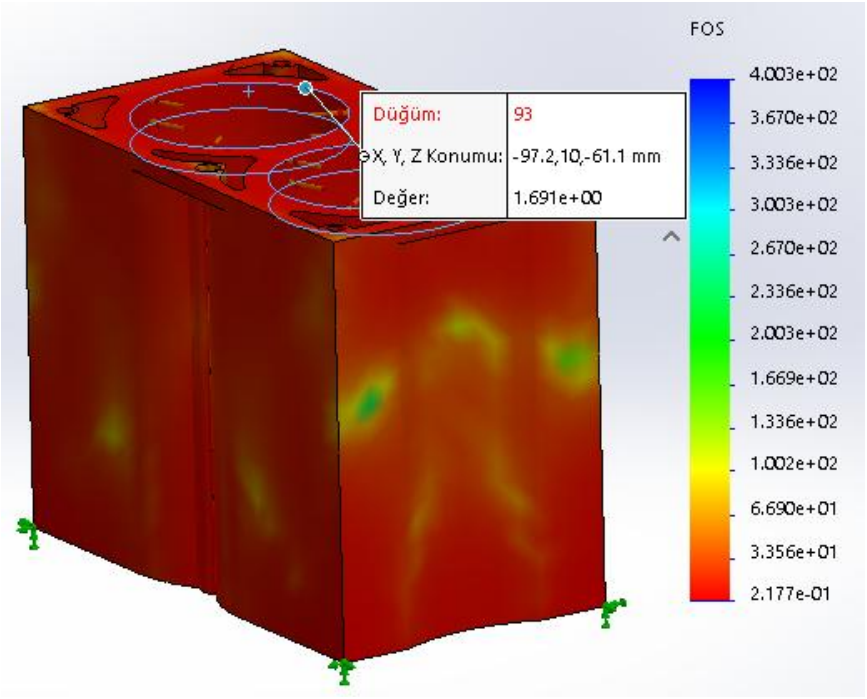
**Tablo2.2**: Alüminyum malz. Teknik özellikleri**;**

| | Gerilme Direnci(Mpa) | Akma Mukavemeti(Mpa) | Uzama (%) | Sertlik(HB) |
|---|---|---|---|---|
| **A356 T6** | 250 | 230 | 5 | 90 |
| **A319 T6** | 240 | 160 | 2 | 84 |
| **A380** | 324 | 160 | 3,5 | 80 |

Belirtilen alüminyum alaşımlı malzemeler ile yapılan statik analiz sonuçlarında A356 T6‘nın güvenlik faktörü 2,63 çıkmakta diğer alaşımların güvenlik faktörleri aşağıdaki gibidir.

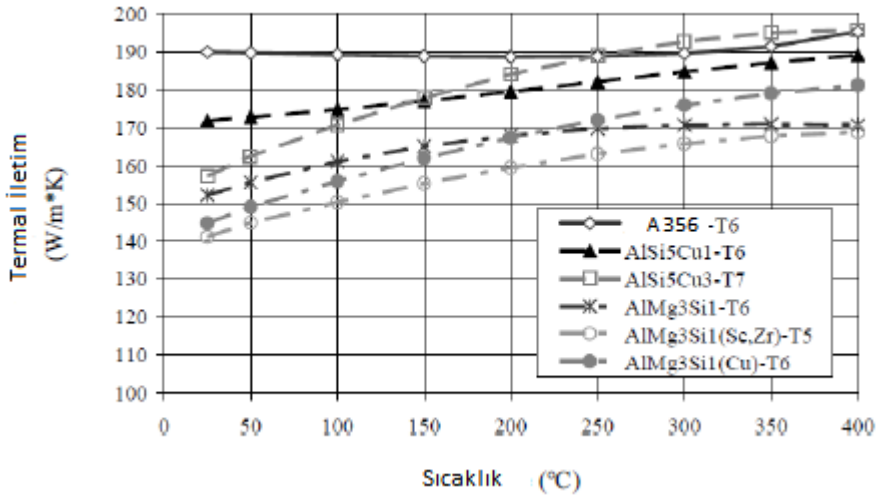



**Şekil 2.1:** A319 T6 Alüminyum Alaşım malz. güvenlik faktörü

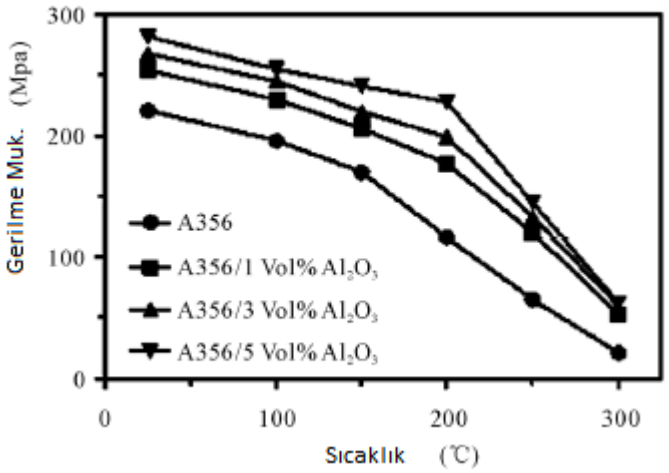



**Şekil 2.2:** A380 Alüminyum alaşım malz. güvenlik faktörü

Tasarımını yapılan motor blok analizinde kullanılan malzemeler ile yapılan statik analizinde görüldüğü üzere güvenlik katsayısı A356.2 T6 malzemesine göre çok düşük çıkmıştır. Bu sebeple A356.2 T6 malzemesi kullanım amacına uygun performans sergilemesi, uygun maliyet, yeterli çevrim performansı hem kolay dökülebilirliği hem hafiflik hem de yüksek sıcaklık ve basınca dayanımı sayesinde bu alüminyum alaşım malzeme tercih edildi[38].




**Şekil 2.3:** Alüminyum Alaşım termal ısı iletim katsayısı [29]



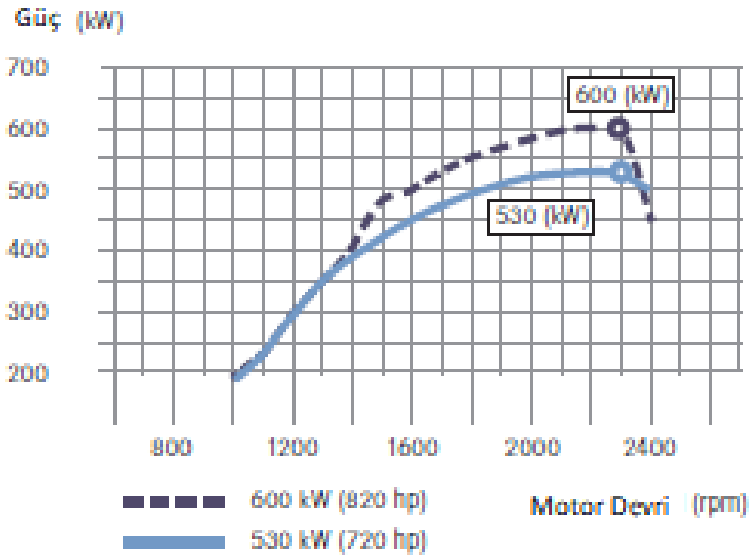

**Şekil 2.4:** Alüminyum alaşım gerilme sıcaklık diyagramı [30]

## 2.2. YAKIT YANMA ANALİZİ

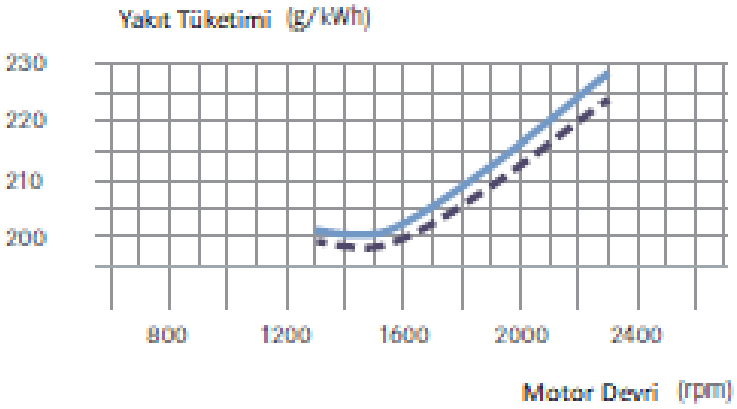
Örnek alınan 8V 600 kW MTU motorunun değerleri ele alınarak öncelikle yakıt tüketim miktarından ve sıkıştırma oranından yola çıkılarak yanma analizi gerçekleştirildi [36,37].

**Tablo 2.3:**Motor Teknik Özellikleri

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Sıkıştırma oranı | | r | 14 |
| 2 | Silindir çapı | | B(mm) | 130 |
| 3 | Strok yüksekliği | | S(mm) | 150 |
| 4 | Motor devri | | RPM(rev/min) | 2300 |
| 5 | Silindir giriş basıncı | | Pi(MPa) | 0,26 |
| 6 | Soğutma suyu debisi | | kg/s | 6 |
| 7 | Hava giriş sıcaklığı | | Ti(K) | 345 |
| 8 | Silindir duvar sıcaklığı | | Tw(K) | 500 |
| 9 | Yakıt | | Diesel | |




**Şekil 2.5:** Motor Güç – Devir Diyagramı




**Şekil 2.6:** Motor yakıt tüketimi

**2300 dev/dk, 150 kw, benzinli, su soğutmalı 4 zamanlı bir motorun hesaplanması**

**Verilenler:**

n=2300 d/dk

Pe= 150kw

g=223 g/kwh (Yakıt tüketim miktarı)

Hu :42440 kj/kg (dizel yakıt ısıl değer)

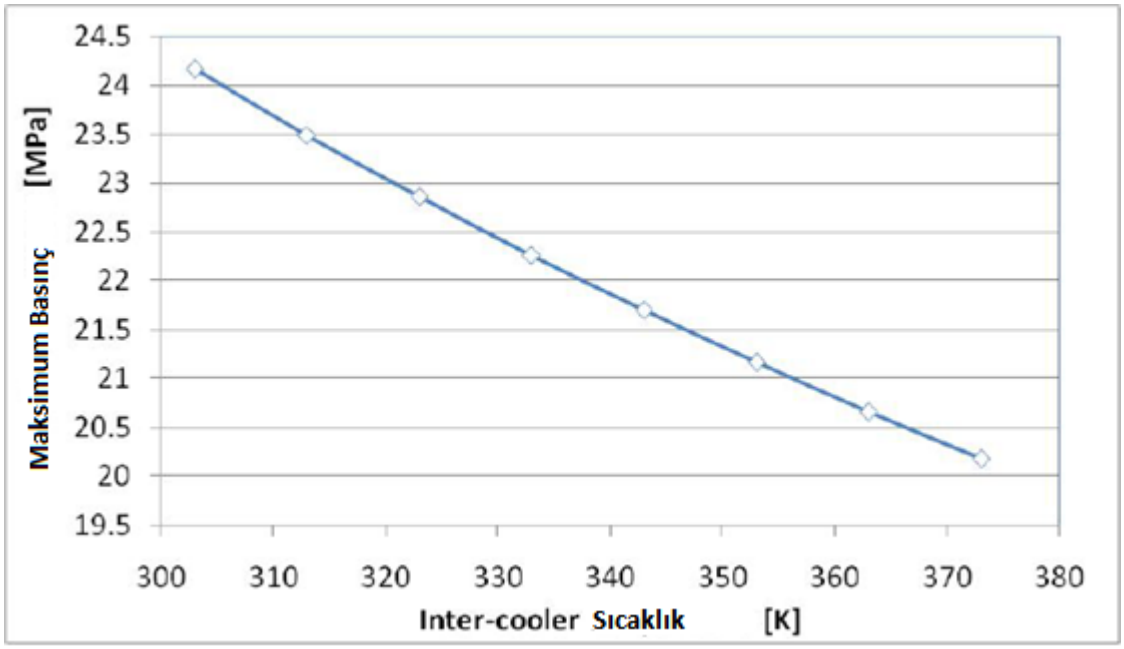
Q=g*Hu=42440*0,000242=10.27kj/kg(bir silindir için yanma ısısı) (2.1)

1 Silindir hacmi (Vd): 0,002

1 Silindir yanma odası hacmi(Vc): 0.00014

1silindirin bir kursunda kullanılan yakıt miktarı m$f$:0,000242kg

Yüksek hacimli motorlarda yapılan çalışmalarda [35] motor yanma hesabı yaparken giren hava miktarının çok önemli olduğunu gözlemlendi. Az giren hava miktarı yanma odasında meydana gelen yanmanın çok yüksek sıcaklıklara ulaşabileceğini gösterdi. Bu sebeple kompresyon oranı düşük olması sebebiyle gerekli havanın turboşarjdan ilave edilmesi gerekiyordu. Yüksek hacimli motorlarda kullanılan turbo araştırmamda MAN motorlarda yaklaşık aynı silindir hacmi ve güçte kullanılan turboşarj basıncı, analizini yapmakta olduğum motorda kullandım. 2,6 bar basınca sahip turboşarj değerini analizde kullanıldı bu sebeple istenen yanma sıcaklığı istenen seviyelere indirildi. İlave hava ne kadar artarsa yanma sıcaklığı daha azalmaktadır. Tabiki aşırı hava motor performansını ve yakıt sarfiyatını artıracaktır. M.A.N motor tasarımında intercooler çıkış sıcaklığı 325°C alınmıştır. Hesaplama yapılırken intercooler çıkış sıcaklığı 345°C alındı.




**Şekil 2.7:** MAN motor basınç int. Cooler sıcaklık diyagramı

Hesabı yapılan motorun devri 1200 dev/dk dan yüksek olduğu için yüksek hızlı dizel motorlarda karma çevrim kullanılmaktadır. Hesaplar karma çevrim göz ününe alınarak yapılmıştır.

Ma:(26Kpa*(Vd+Vc))/(0.287*345°C) (2.2)

Ma:0,00585kg (1 silindir içine alınan hava miktarı)

Mtoplam=Ma+Mf=0,0061kg

$C_v$= 0,812 kj/kg (sabit hacimdeki özgül ısı)

$C_p$= 1,105 kj/kg ( sabit basınçtaki özgül ısı)

k=$C_P/C_V$ = 1,005/0.718=1.4 (havanın sabit basınç ve hacimdeki indikatörü) (2.3)

$P_1$= 0.26 Mpa

$T_1$= 345°C

Kompresyon sonucu sıcaklık ve basınç

$T_2=345*14^{1,4-1}=990°C$ (2.4)

$P_2=0,26*14^{1,4}=10,46MPa$ (2.5)

Sabit hacimde yanma sıcaklığı ve basınç

$Q/2=0,0061*0,821*(T_3-990)$

$=>10,27/2=0.0061*0,0821*(T_3-990)$ (2.6)

$T_3=2014°C$

$P_{maks} = P_2(T_3/T_2) => 10,46(2014/990)$ (2.7)

$P_{maks}$ = 21,27

Sabit basınçta yanma sıcaklığı ve basınç

$Q/2=0,0061*1.108*(T_{4(maks)}-2014)=>$

$5,13=0,0061*1,108*(T_{4(maks)}-2014)$ (2.8)

$T_{4(maks)}=2773°C$

$V_4=0,0002m^3$

$P_{maks.}=P_4$

Maks. sıcaklıktaki krank açısı

$V_4-V_C=0,0002-0,00014=0,00006m^3$ (2.9)

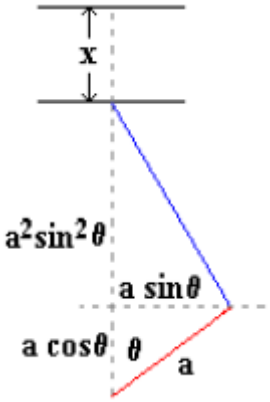
$0,0006=\pi*r^2*h=>$

$0,00006=3,14*(0.065)^2*h$ (2.10)

$h=4,52mm$

$75-4,52=75*\cos\theta => \theta=20°$

Maksimum sıcaklıktaki krank açısı 20°'dir.




**Şekil 2.8:** Piston krank açısı ile piston yükseklik ilişkisi[34]

Pistonun alt ölü noktasındaki sıcaklık ve basıncı

$$T_5 = T_{maks*}(V_4/V_5)^{k-1} => 2773*(0{,}0002/0{,}00214)^{1.4-1} \quad (2.11)$$

$T_4$=1053°K

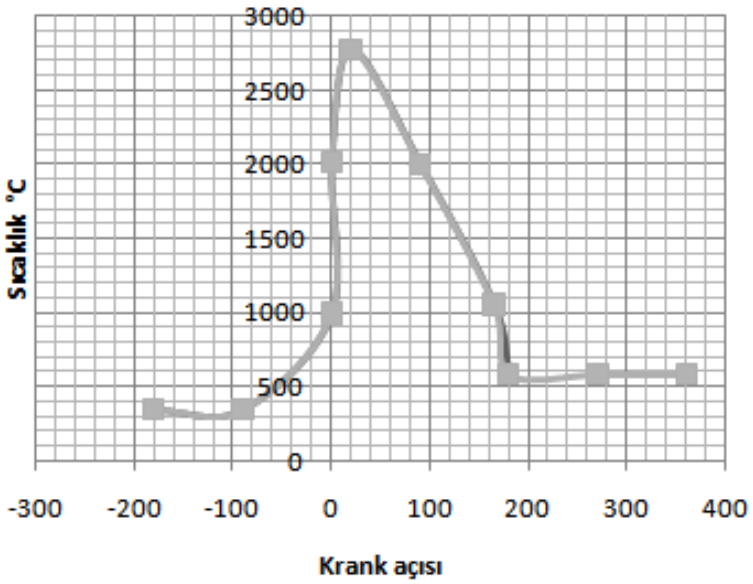
$$P_5 = P_{4*}(V_4/V_5)^{k} => 21{,}77*(0{,}0002/0{,}00214)^{1{,}4} \quad (2.12)$$

$P_5$=0,8MPa

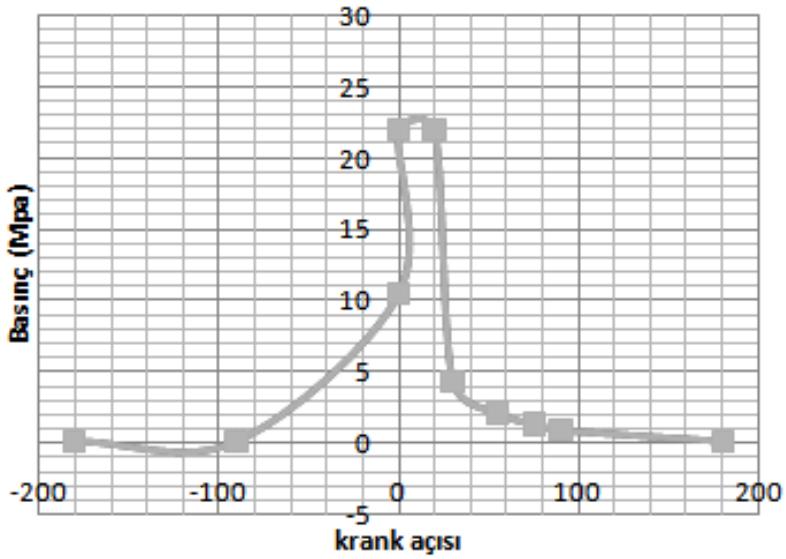
Egzoz gaz sıcaklığı

$$T_{egzoz} = T_{5*}(P_{ex}/P_5)^{(k-1)/k} => 1053*(100/780)^{(1{,}4-1)/1{,}4} \quad (2.13)$$

$T_{egzoz}$=580K




**Şekil 2.9:** Krank açısı sıcaklık diyagramı




**Şekil 2.10**: Krank açısına göre basınç diyagramı

## 2.3. BLOK ISI ANALİZİ

Ortalama Piston Hızı

$u_p=(H*n)/30 => (0,15*2300)/30 => 11,5 m/s$ (2.14)

$t_1=2014°K$ $(\theta=0°)$ için;

$h(t_1)=130*(105)^{0,8}*(11,5+1,4)^{0,8}/(0,00014)^{0,06}(2014)^{0,4}$ (2.15)

$h(t_1)=3408 W/m^2K$

$t_2$=2773°K  (θ=20°) için;

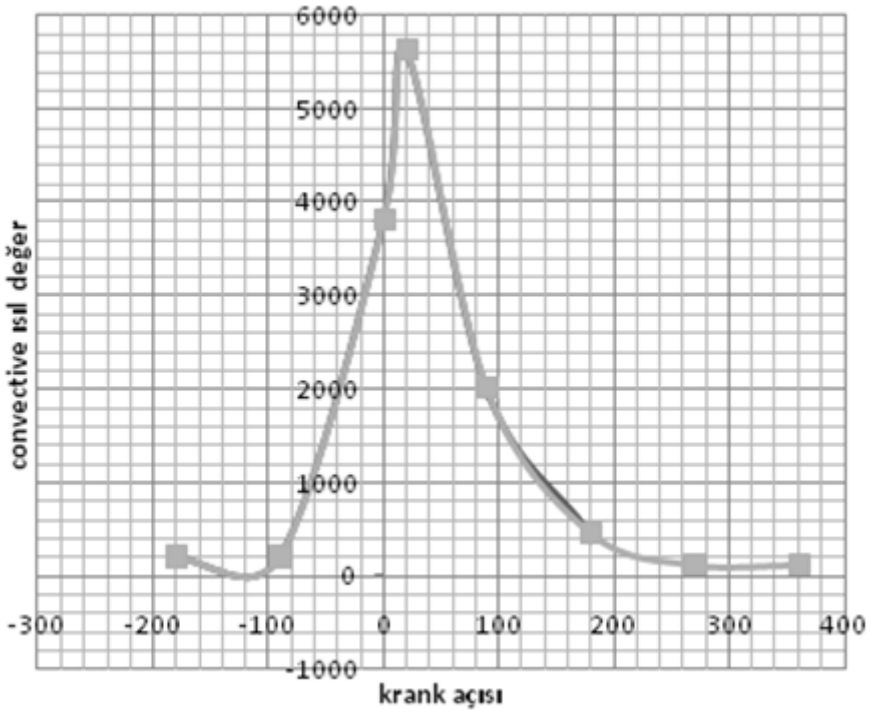
$$h(t_2)= 130*(213)^{0,8}*(11,5+1,4)^{0,8}/(0,0002)^{0,06}*(2773)^{0,4} \quad (2.16)$$

$h(t_2)$ =5130W/$m^2$K

$t_3$=1053°K  (θ=180°) için;

$$h(t_3)=130*(7,8)^{0,8}*(11,5+1,4)^{0,8}/(0,00214)^{0,06}*(1053)^{0,4} \quad (2.17)$$

$h(t_3)$=465W/$m^2$K




**Şekil 2.11:** Taşınım ısıl değer ve krank açısı diyagramı

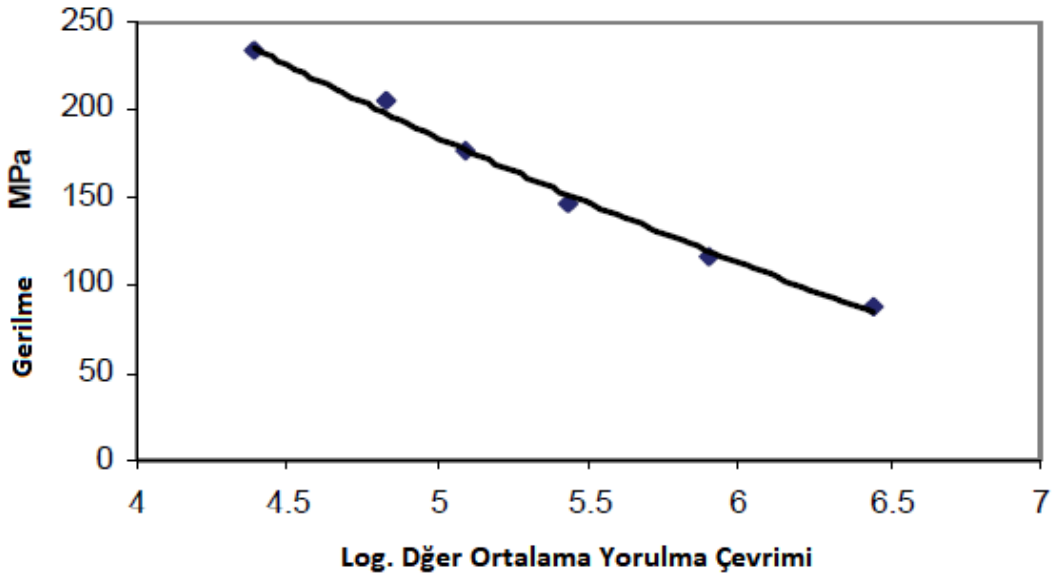
## 2.4. YORULMA MODELİ

Yorulma analizlerinde yüzeyde medyana gelen küçük çatlaklar ve böyle çatlakların ilerlemesi ile meydana gelen daha büyük çatlakların oluşumunu ortaya çıkaran bir yorulma analiz metodudur. Malzeme yüzeyinden meydana gelen gerinim ve gerilmeleri gözlemleyebilmek için bu tür tanımlar kullanılır.

A356.2 T6 Alüminyum alaşım malzemesinin yorulma analiz değerleri belli ölçülerdeki numuneler ile belirli kuvvetlerde çevrimleri sonucunda elde edilen ortalama yorulma ömürleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Aşağıdaki değerler solidwork'te S-N diyagramı olarak girilerek motor bloğunun yorulma çevrimleri aşağıdaki diyagrama göre gerçekleştirilmiştir[38].

**Tablo 2.4**: A356.2T6 Alüminyum malz. Yorulma Analizi[38]

| S. No. | Gerekli ürün adedi | Gerilme (MPa) | Oratlama Yorulma Çevrimi | Log. değeri Ortalama Yorulma Çevrimi |
|---|---|---|---|---|
| 1 | n = 5 | 88 | 2811618 | 6.448956 |
| 2 | n = 4 | 117 | 791724 | 5.898574 |
| 3 | n = 5 | 146 | 271763 | 5.434192 |
| 4 | n = 5 | 176 | 122205 | 5.087090 |
| 5 | n = 4 | 205 | 67299 | 4.828010 |
| 6 | n = 4 | 234 | 24582 | 4.390626 |

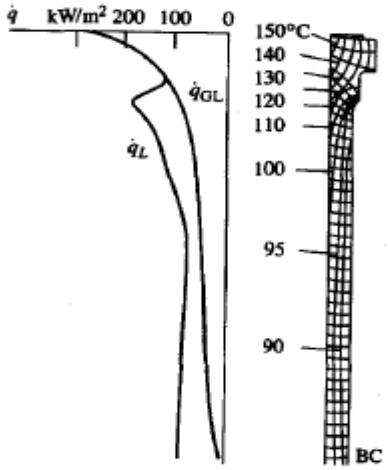



**Şekil 2.12:** A356.2T6 Alüminyum Yorulma ve Gerilme Eğrisi

## 2.5. SAYISAL MOTOR BLOK ANALİZİ

Alüminyum alaşımlı malzemeler yüksek sıcaklıklarda özelliklerini kaybederler. Bu sebeple alüminyum alaşım malzemeler belli sıcaklıklar arasında çalışması kullanılan yerin özelliğine göre çok fazla önem göstermektedir. Meydana gelen sürtünmeleri minimum seviyelere ve motor bloğu üzerindeki ısıyı daha arttırmamak için malzemenin termal özelliklerinin araştırılması çok önemlidir.

Bu tez çalışmasında motor bloğunun optimizasyonu hem kütlesel hem de mukavemet olarak gerçekleştirildi. Dizel motorlarda silindir yüzey sıcaklığı 200°C ile 400°C arasında olmaktadır bu sıcaklıkların üstüne çıkmak malzeme özelliğinde değişime neden olmaktadır. Yapılan taşınım ısı iletim katsayısı hesabında analizin geçişli ve birikimli ısı transferi içerdiği için analizlerin yapıldığı Solidworks premium programının analiz kabiliyetini aşmaktadır. Bu nedenle motor bloğu silindir duvar sıcaklığı sabit 500°K değer alınıp tüm silindir yüzeyi boyunca uygulanmıştır. Böylece maksimum dayanım hesaplanarak optimum değerler elde edilmiştir.



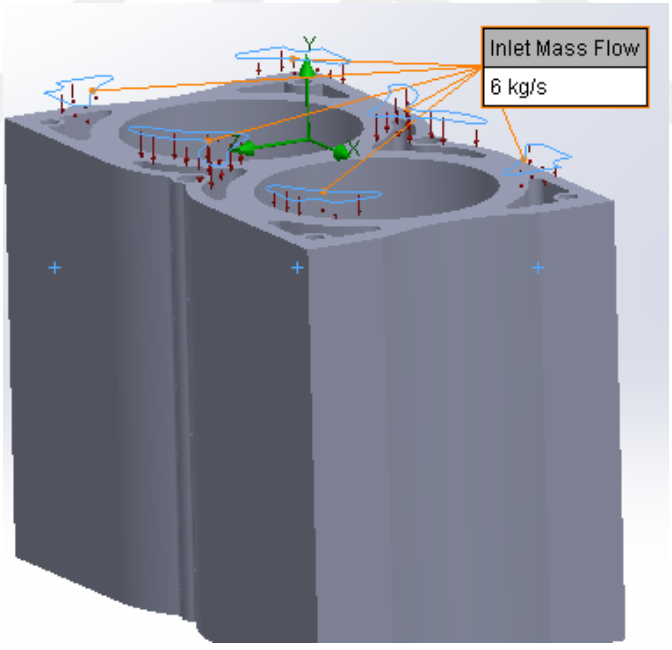

**Şekil 2.13:** Motor silindir yüzey sıcaklık gösterimi [39]

Silindir cidar kalınlığı;

$$t=(D*P_{maks})/2*\sigma_{em}=>(130*22)/(2*150)\approx 10mm \quad (2.18)$$

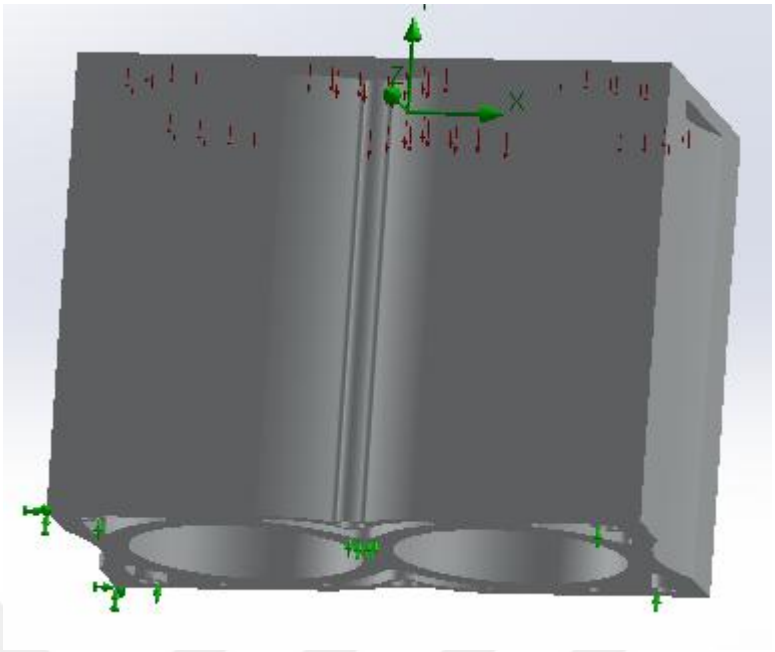
Silindir et kalınlığı hesaplamalarda ilk olarak 10mm olarak alınmıştır. Daha sonra çap azaltılarak seçimin doğruluğu hakkında bilgi edinmiş olacağız.

İlk aşamada Solidworks 2018 programı kullanılarak tüm çizim ve hesaplamalar bu program kullanılarak yapıldı. Öncelikle 2 silindirli motor bloğu çizimi yapıldı. Bu çizilen motor bloğunun su kanallarından sınır şartları belirlenerek soğutucu akışkan geçirildi. Motor bloğunu termal analizinin yapılabilmesi için bloğun soğutma kanallarından 90 °C sıcaklığında 6kg/s debisinde soğutma suyu geçirildi. Suyun denge sıcaklığı 90 °C olarak kabul ederek sınır şartları oluşturuldu. Ağ oluşturma işleminden sonra akış similasyonu gerçekleştirildi[8].



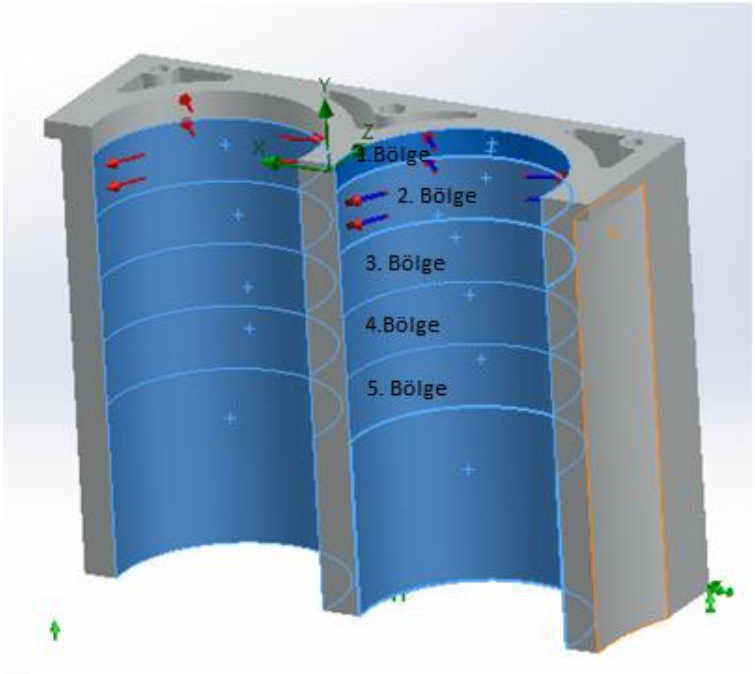

**Şekil 2.14:** Motor Bloğu Akış similasyonu

Yapılan bu işlemden sonra statik analize geçildi. Statik analiz yapabilmek için motor bloğunun sabitlenmesi gerekmektedir motor bloğu alt uçlarından sabit mesnetle ayrıca tabandan kayar mesnet ile sabitlendi. Eğer bu işlemi yapmazsak uygulanan kuvvet yüzünden blokta dönmeler olacağı için hesaplamalar yapılamaz.



**Şekil 2.15:** Motor silindir yüzey sıcaklık gösterimi

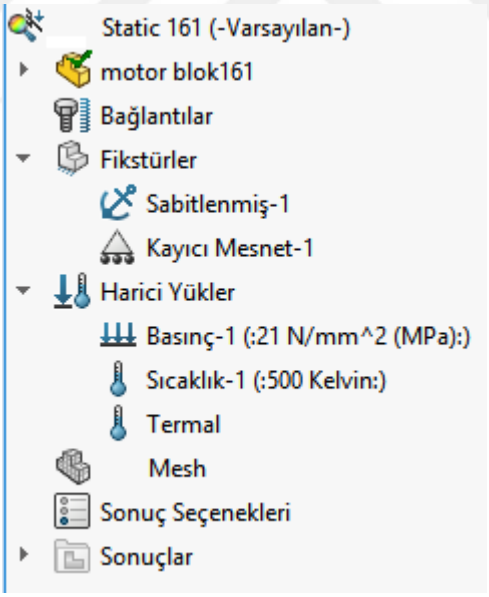
Mesnet işlemi ardından silindir iç yüzeyleri ve her bir silindir bloğu 5 ayrı bölgeye bölündü. Maksimum ve minimum basınçlar üst ölü noktadan alt ölü noktaya kadar kademeli olarak uygulandı. Her bir piston seviyesinde ayrı termo-mekanik hesaplar yapıldı [13].




**Şekil 2.16**: Motor Bloğu kademeli Gösterimi

Silindir içinde maksimum basınç'ın olduğu piston yüksekliği ile minimum basınçtaki piston yüksekliği 5 bölgeye ayrılarak o bölümlerin her birine ayrı ayrı termo-mekanik hesaplar uygulanarak basınç ve sıcaklık altındaki dayanım hesapları yapıldı. Motor bloğu sıcaklığın ve basıncın en yüksek olduğu piston yüksekliği ile piston alt ölü nokta arası eşit 4 bölgeye ayrıldı.

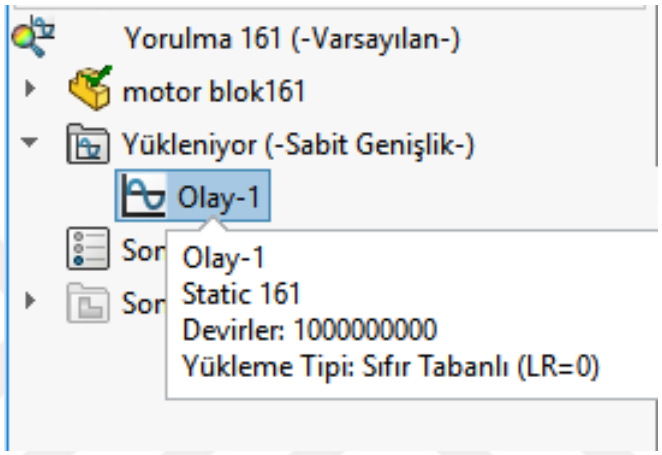
İlk bölüme maksimum yanma basıncı 21 Mpa ve 500K sıcaklık uygulandı. Pistonun aşağıya inme sırası ile her bölüme kademeli olarak basınç ve sıcaklık değerleri uygulandı. Silindir duvar sıcaklığı sabit alınarak statik hesaplar ile birlikte yorulma analizi yapılmıştır. Motor bloğunun maksimum çevrim sayısı mevcut silindir kalınlığı ile kütlesi azaltılmış silindir kalınlıklarına uygulanarak hangi düğüm noktasında maksimum dayanım olduğu gözlemlendi.



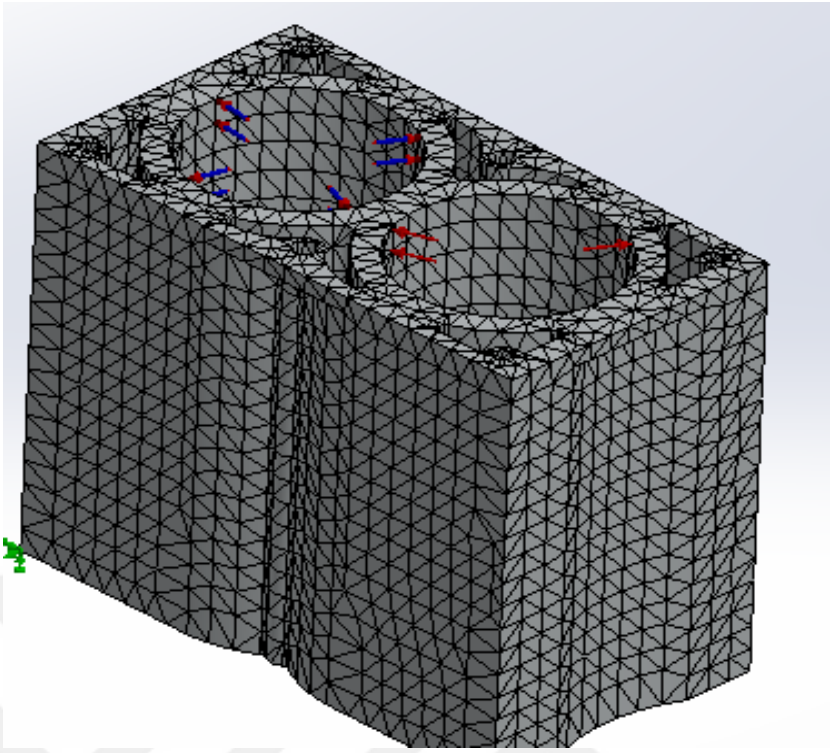

**Şekil 2.17**:Silindir yüzeyine girilen değerler

İlk kademe blok analizinde motor bloğunun yorulma çevrimi sonucunda hangi düğüm noktasında maksimum çevrim dayanımı sergilediği gözlemlendi. Bu işlemleri 1. Bölgede yapabilmek için önce silindirin maksimum(1.bölge alt sınırı, basıncın ve sıcaklığın maksimum olduğu yerdir) basınç ve sıcaklık değerleri silindir iç yüzeyine

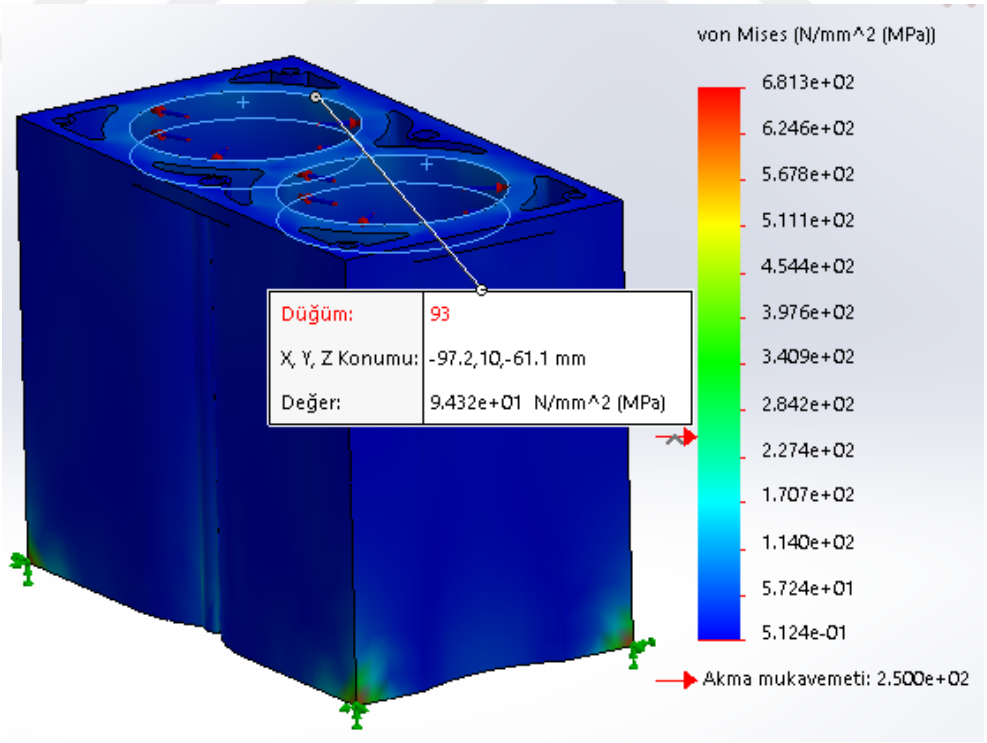
uygulandı. Daha sonra motor bloğuna ağ işlemi uygulanarak blok düğüm noktalarına ayrıldı. Hangi düğüm noktasının maksimum ve minimum dayanım sergilediği tespit edildi. Piston 1. kademeye(1.bölge alt sınırına) geldiğinde 1. bölge yüzeyine uygulanan basınç 21 Mpa ,silindir duvar sıcaklığı 500K dır. Bu işlem her bölge için ayrı ayrı uygulandı. Ardından motor bloğuna statik ve yorulma analizleri yapıldı. Yorulma analizinde 1 milyar çevrim sıfır tabanlı olarak 2 silindire birden uygulandı. Belli çevrim oranında çalıştırılarak hangi düğüm noktasında maksimum çevrim olduğu tespit edildi.



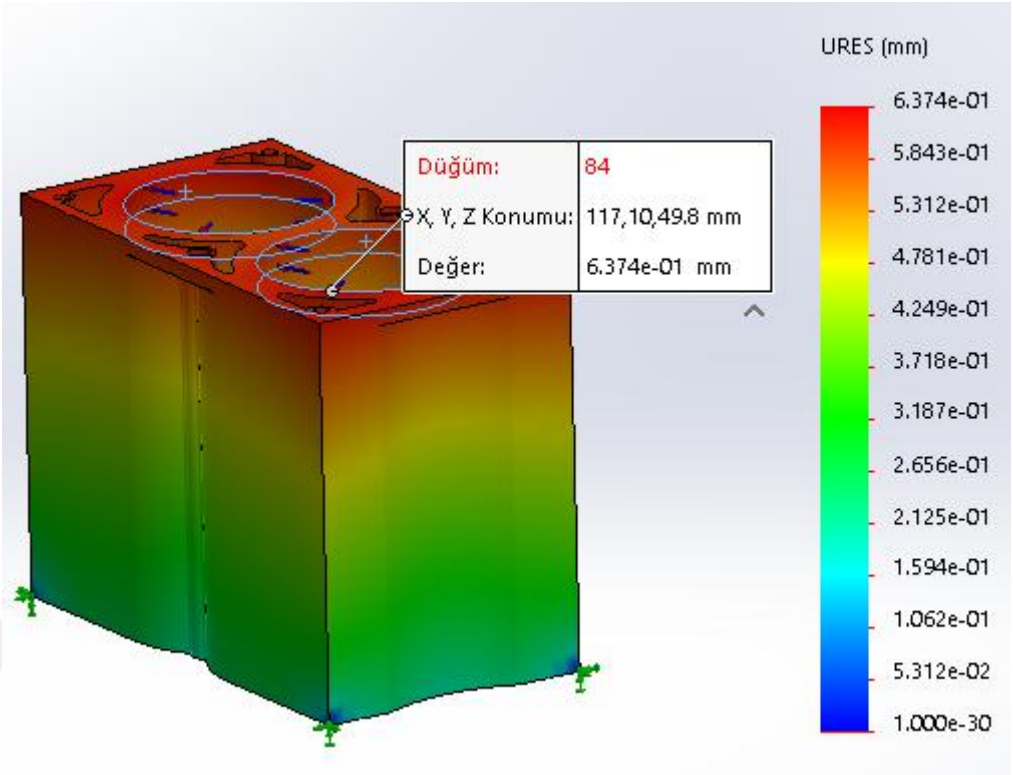

**Şekil 2.18:** Yorulma değerleri



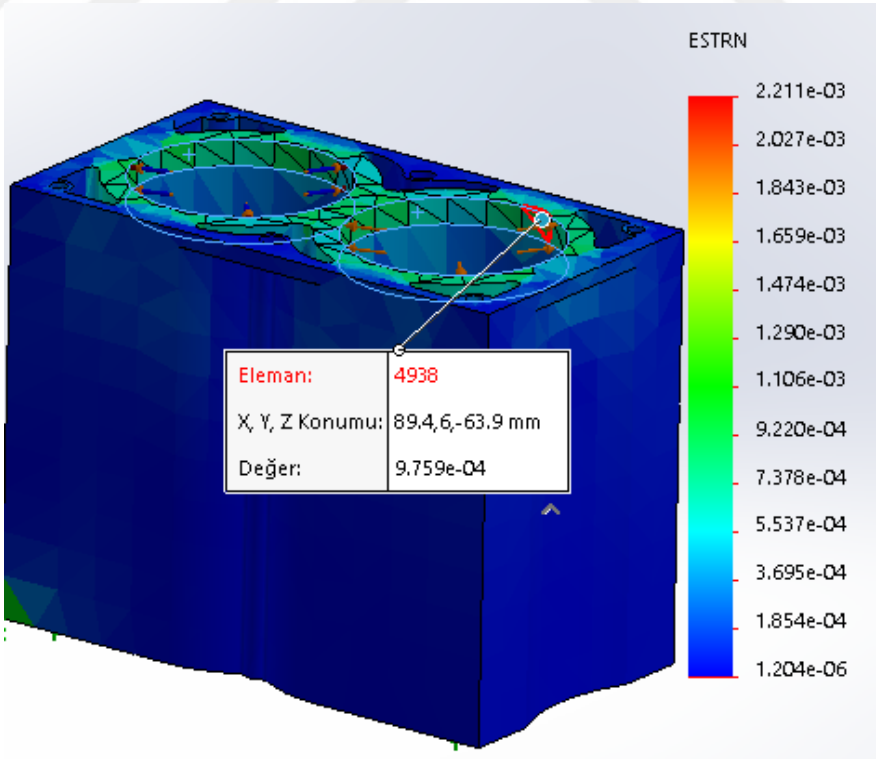
**Şekil 2.19**: Motor Bloğu Mesh Gösterimi



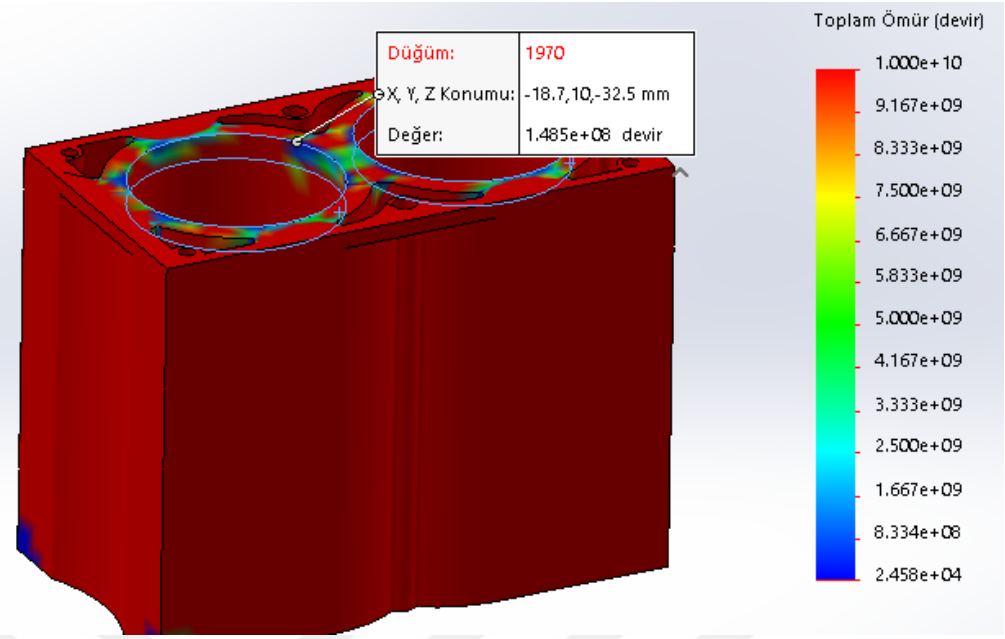

**Şekil 2.20**:Motor Bloğu 1. kademe Maks. Gerilme Noktası




**Şekil 2.21:**Motor Bloğu 1. kademe Maks.Yer Değiştirme

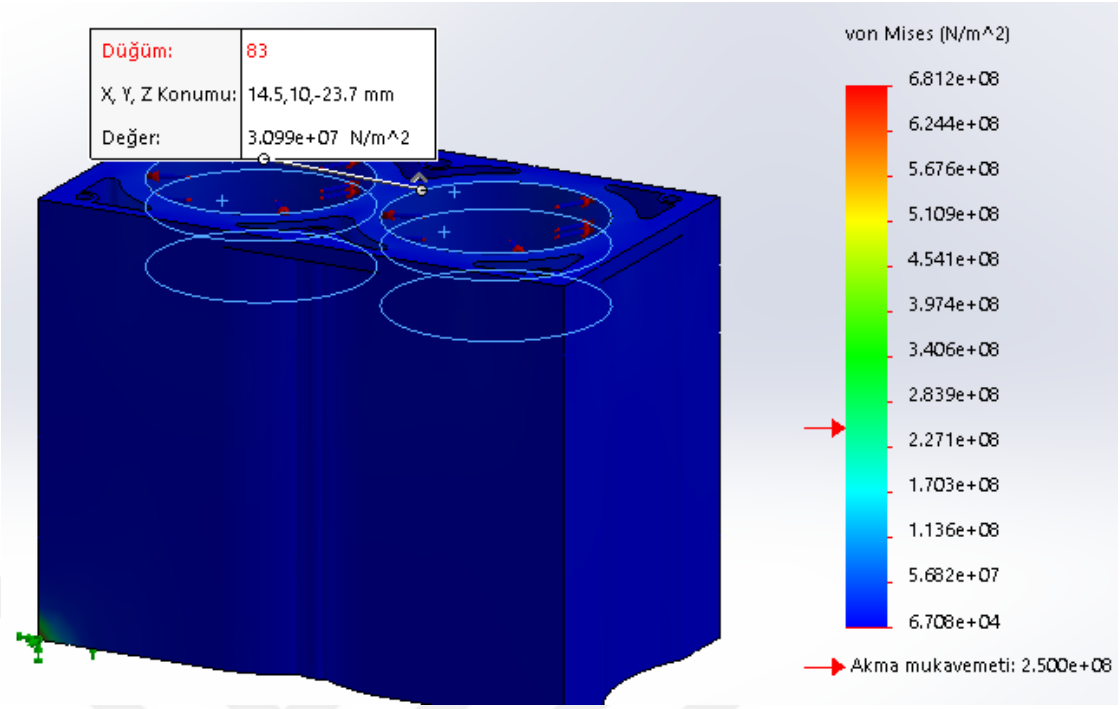



**Şekil 2.22**: Motor Bloğu 1. kademe Maks. Gerinim Değeri

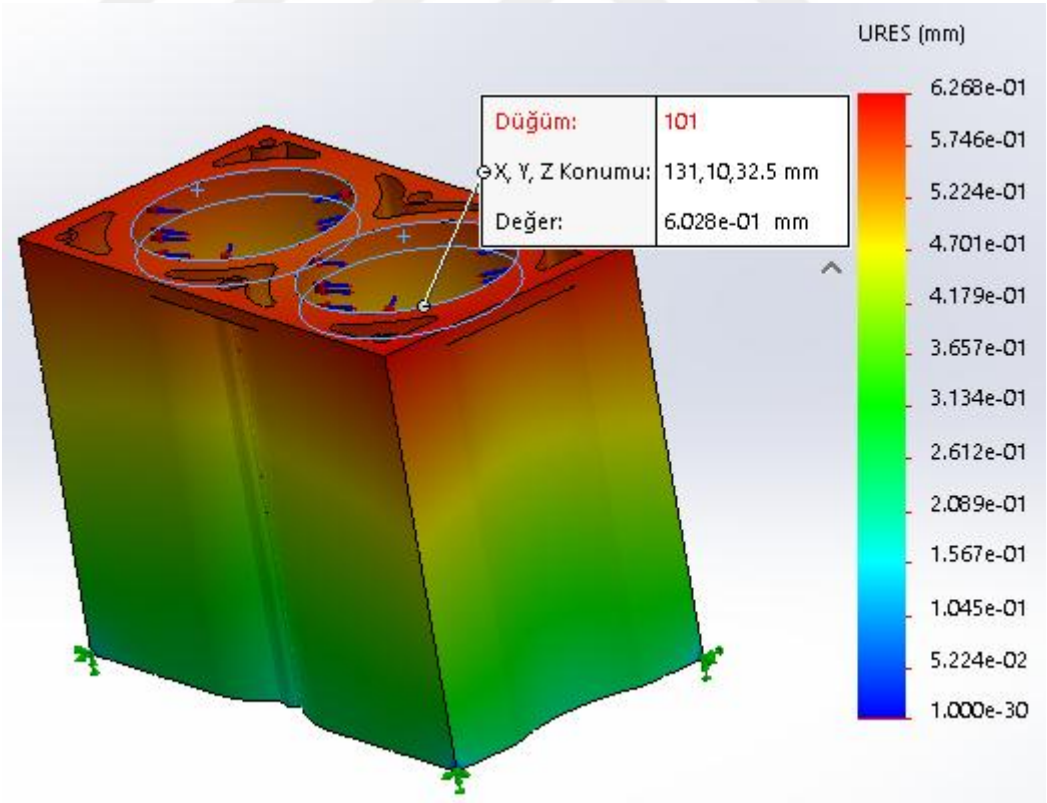



**Şekil 2.23:** Motor Bloğu 1.Kademe Maks. Yorulma Çevrimi

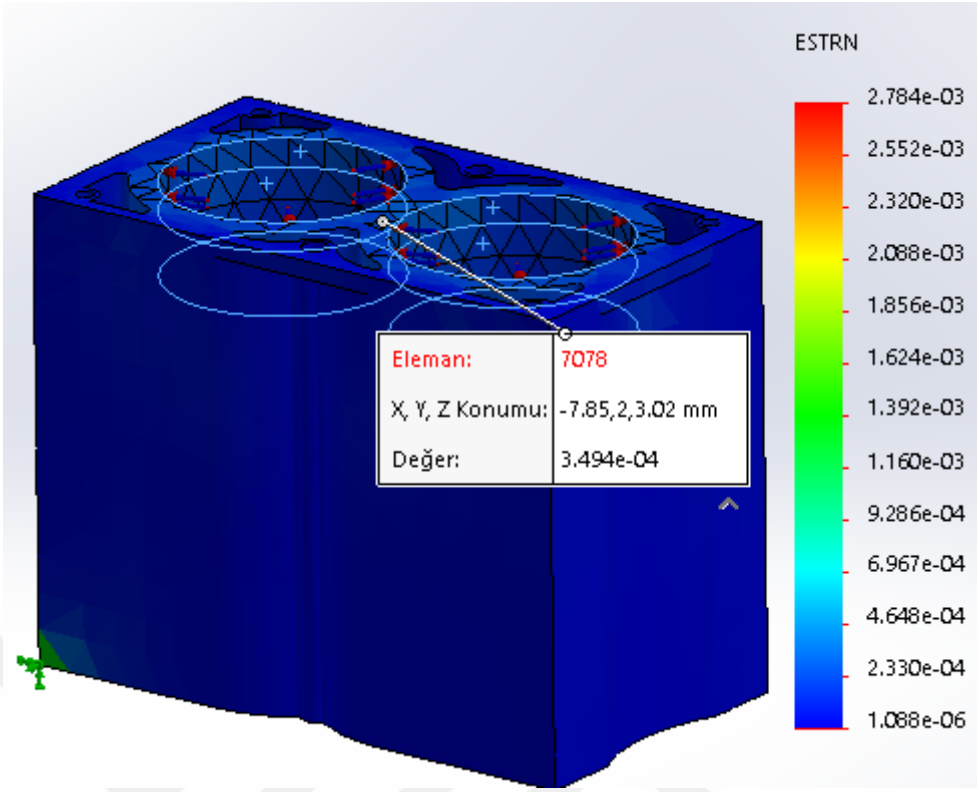
Piston yanma sonucu üst ölü noktadan alt ölü noktaya giderken önceden belirlenmiş 2. kademedeki analizinde gazın genleşmesi sebebiyle basınçta ve sıcaklıkta azalma meydana gelmektedir. Piston 2.kademeye (2.bölge alt sınırına) geldiğinde 1. ve 2. bölge silindir yüzeyine uygulanan basınç 4,35Mpa sıcaklık 500Kdır. Silindir çeperine uygulanan basınç ve sıcaklık değerleri ile analizler 1. kademedeki gibi tekrarlandı. Statik ve yorulma analiz sonuçları aşağıdaki gibidir.



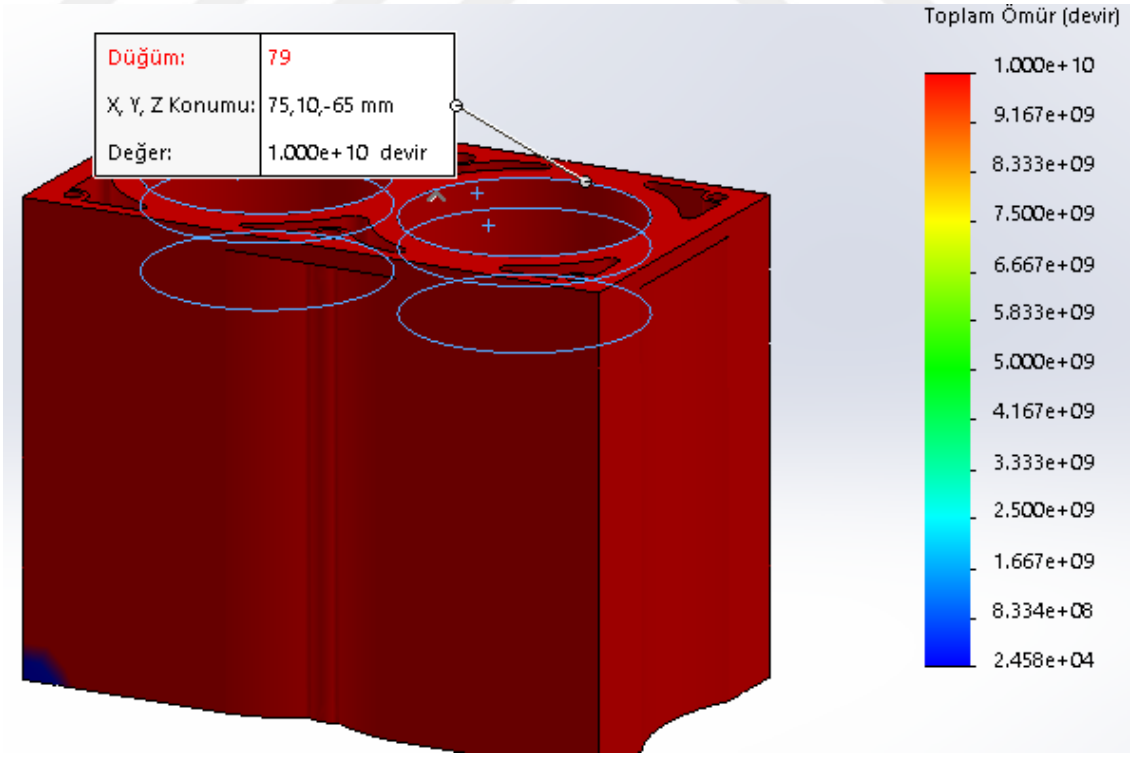

**Şekil 2.24:** Motor Bloğu 2. Kademe Maks. Gerilme Değeri




**Şekil 2.25:** Motor Bloğu 2. Kademe Maks.Yer Değiştirme

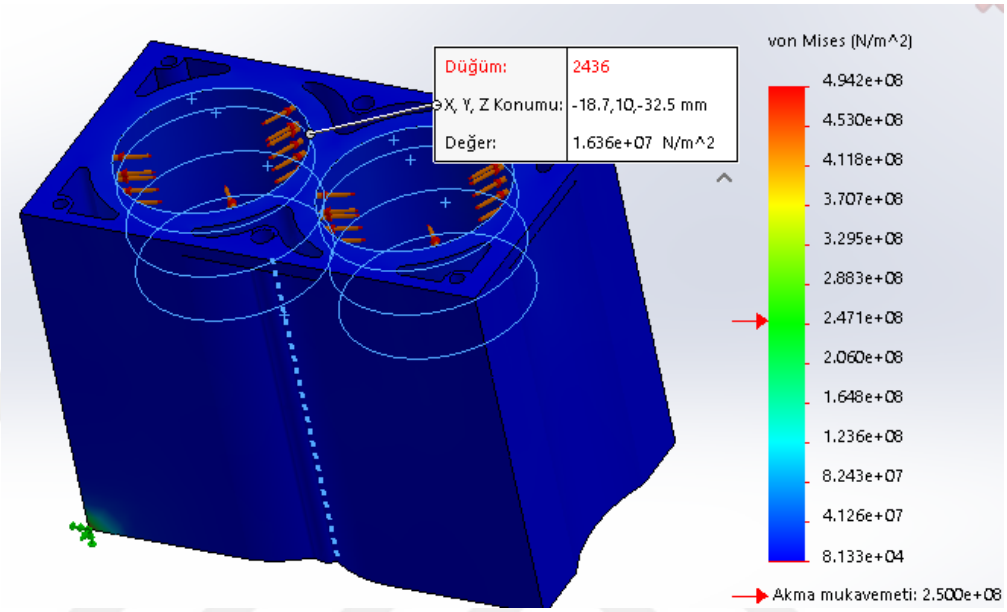



**Şekil 2.26:** Motor Bloğu 2. Kademe Maks. Gerinim Değeri

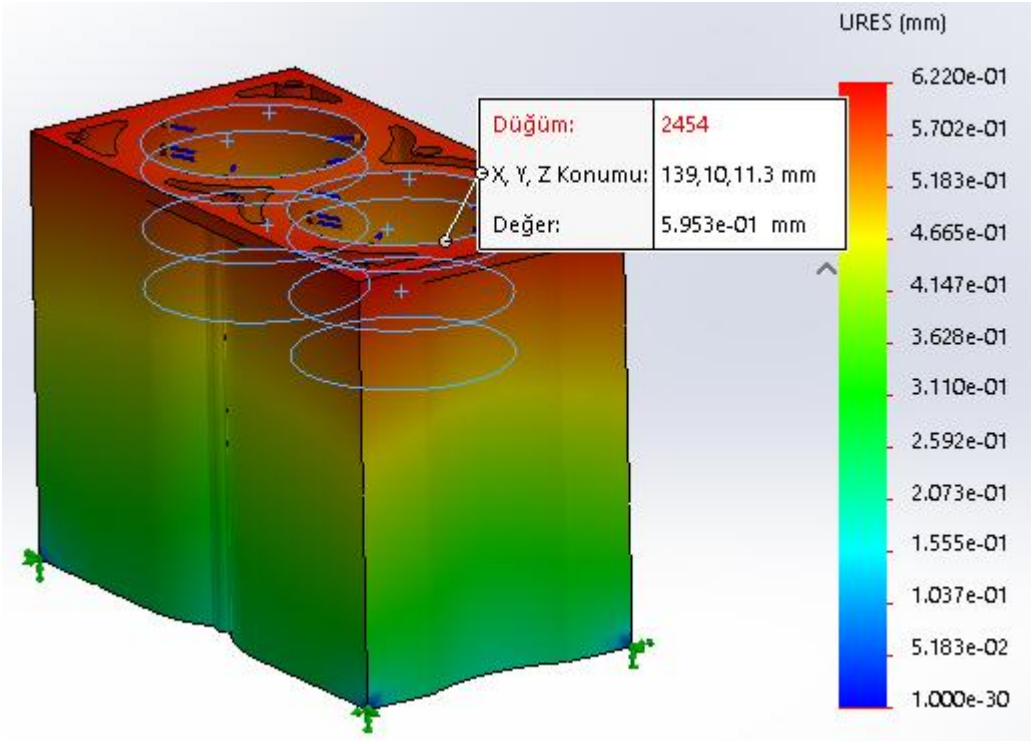



**Şekil 2.27:**Motor Bloğu 2.Kademe Maks. Yorulma Çevrimi

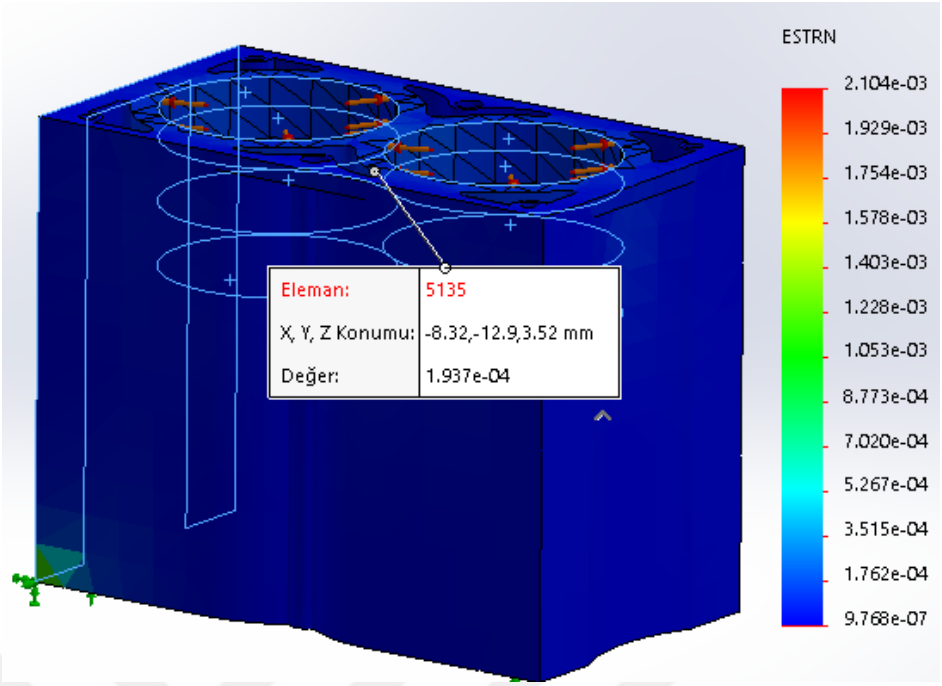
Aynı şekilde piston 3. Kademeye(3. bölge alt sınırı) indiğinde basınç 2,10Mpa olmaktadır. Statik analizde 1,2 ve 3. bölge yüzeyine etki eden basınç ve sıcaklık değerleri girilip daha sonra elde edilen sonuçlarla tekrar statik ve yorulma analizi yapıldı.



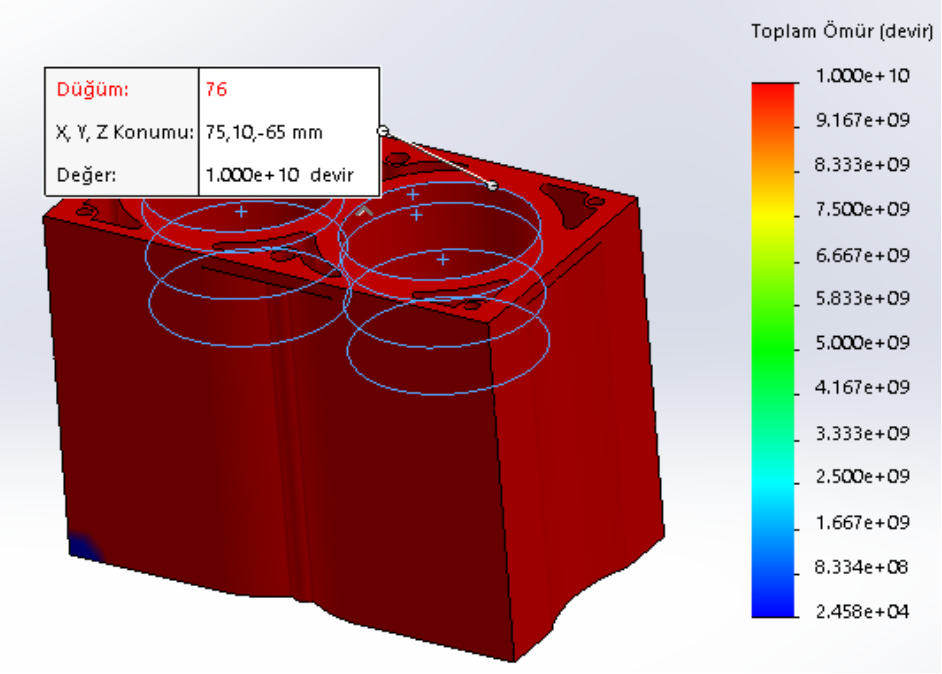

**Şekil 2.28**: Motor Bloğu 3. Kademe Maks. Gerilme Değeri




**Şekil 2.29**: Motor Bloğu 3. Kademe Maks. Yer Değiştirme Değeri

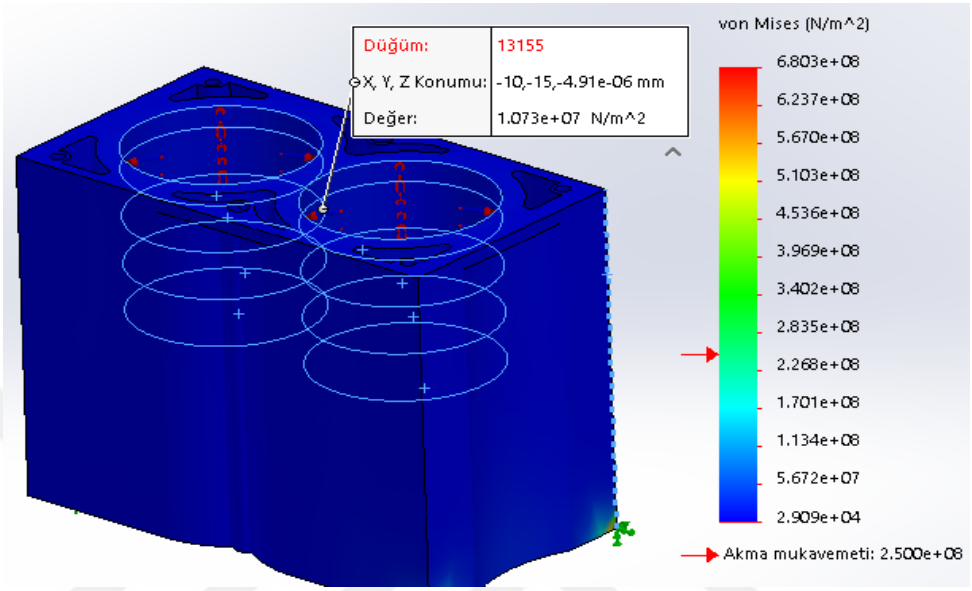



**Şekil 2.30**: Motor Bloğu 3. Kademe Maks. Gerinim Değeri

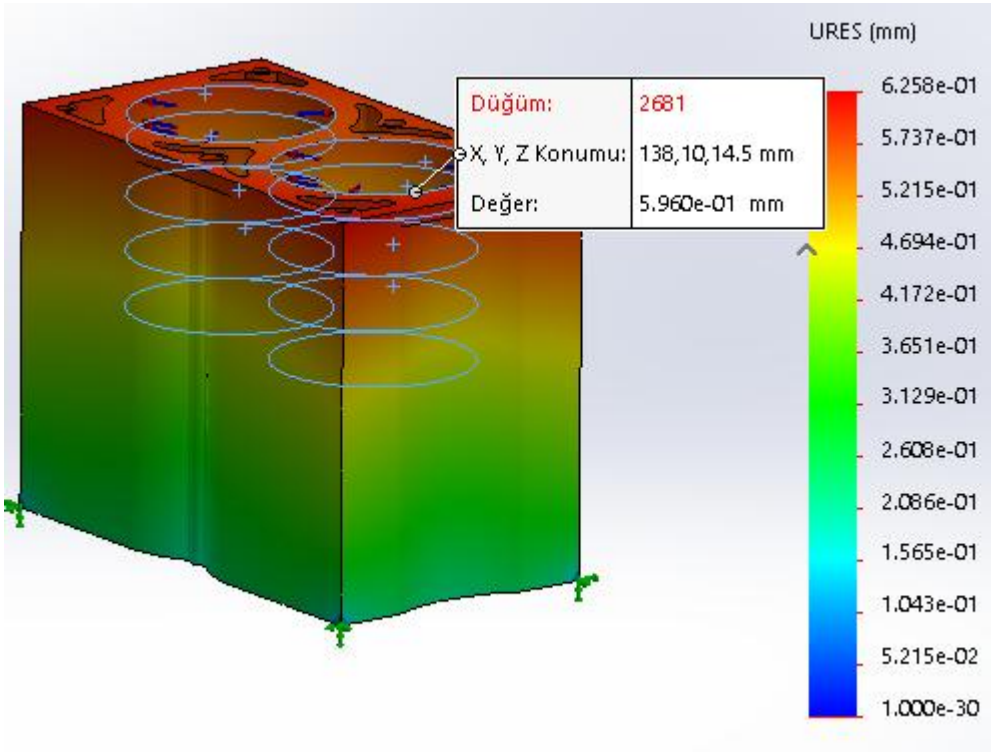



**Şekil 2.31**:Motor Bloğu 3.Kademe Maks. Yorulma Çevrimi

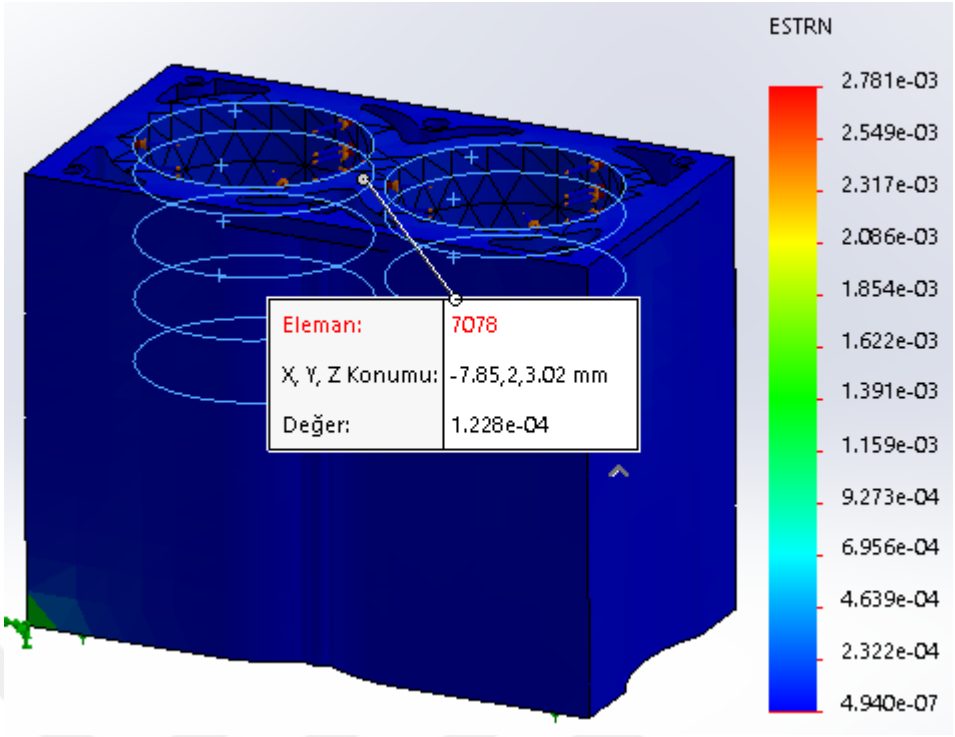
Piston 4. kademeye( 4. bölge alt sınırı) indiğinde yanma sonucu oluşan gazların genleşmesi ve basıncın pistonu aşağıya itmesi ile pistonun 4. kademedeki basıncı 1,29 Mpa olarak hesaplamıştır. 1,2,3 ve 4. bölge yüzeyine basınç ve sıcaklık değerleri girilerek önce statik analiz ardından statik analiz verileri ile yorulma çevrimi yapıldı.



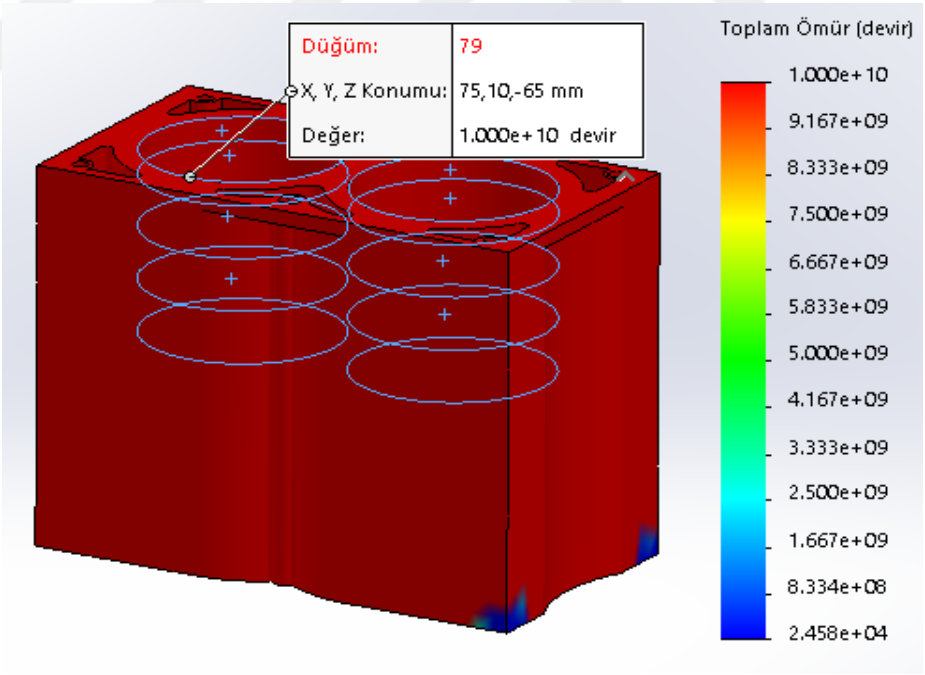

**Şekil 2.32:** Motor Bloğu 4. Kademe Maks. Gerilme Değeri




**Şekil 2.33:** Motor Bloğu 4. Kademe Maks. Yer Değiştirme

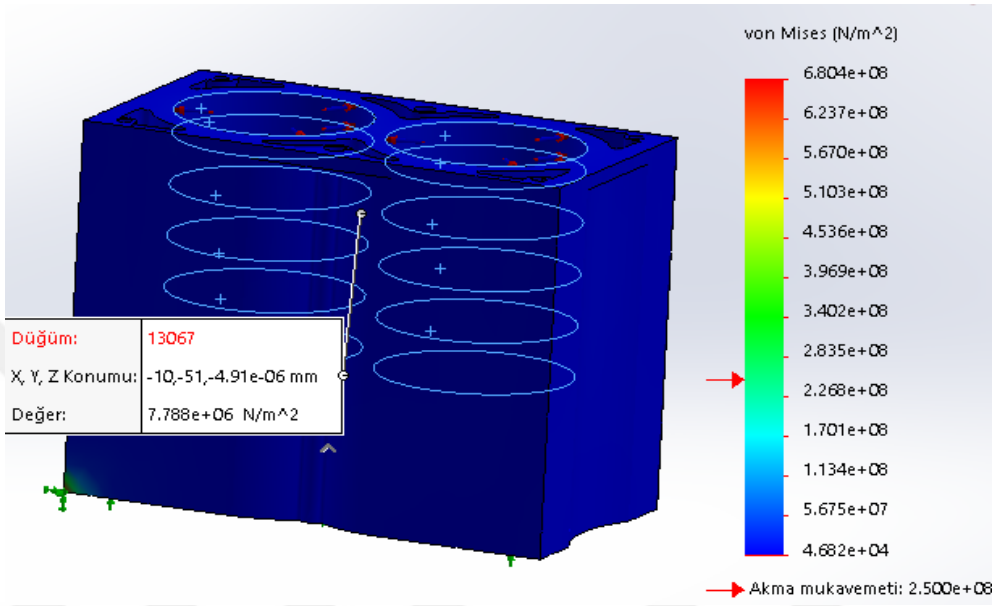



**Şekil 2.34:**Motor Bloğu 4. Kademe Maks. Gerinim Değeri

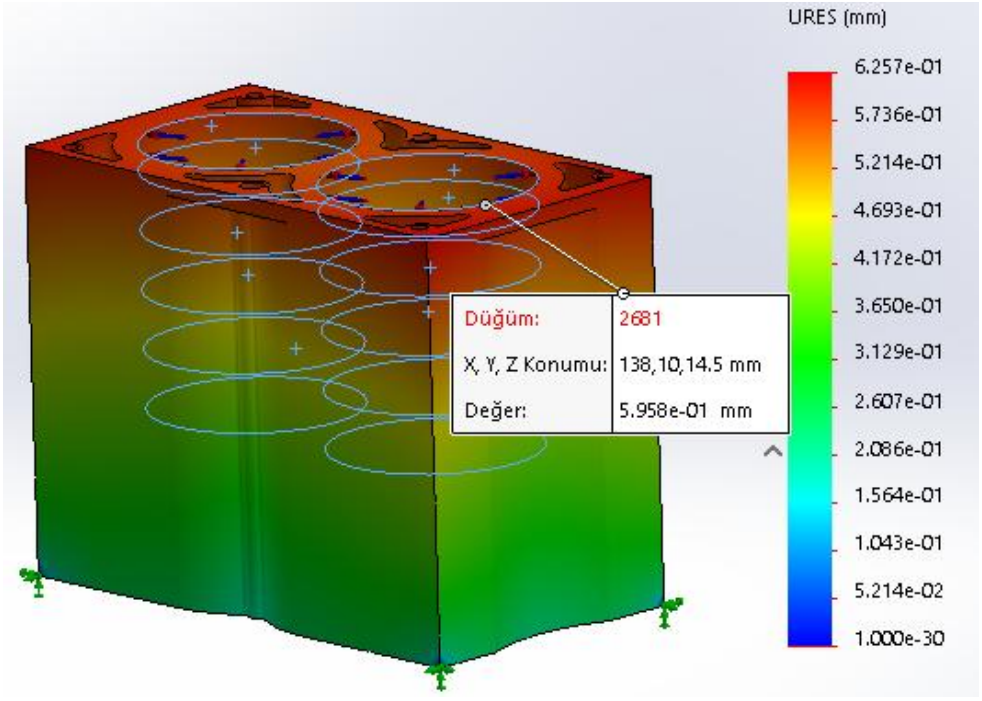



**Şekil 2.35**:Motor Bloğu 4.Kademe Maks. Yorulma Çevrimi

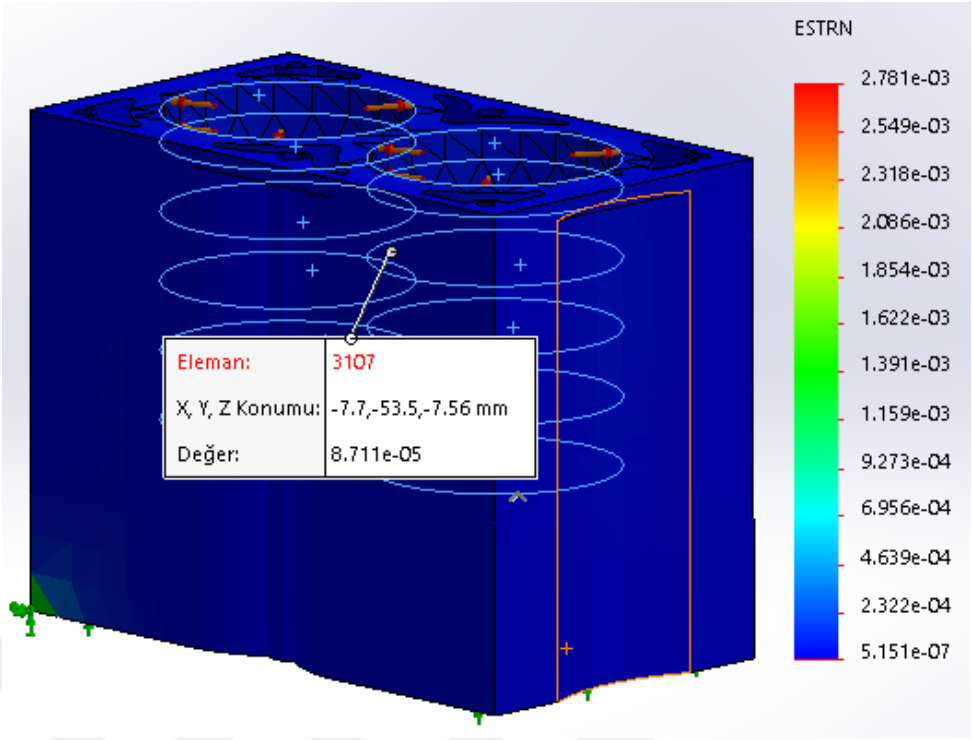
Pistonun alt ölü noktaya gelmesi ile basınç 0,8 Mpa olarak hesaplamıştır. 5. kademeye (5.bölge alt sınırı) inen piston alt ölü noktaya gelmiş oldu burada basınç ile sıcaklık değerleri 1,2,3,4 ve 5. bölge yüzeyine sıcaklık ve basınç değerleri girilip statik analiz ve yorulma çevrimi hesabı tekrarlandı. Böylece 5 bölge olarak hesaplanan analizler gerçekleştirildi.



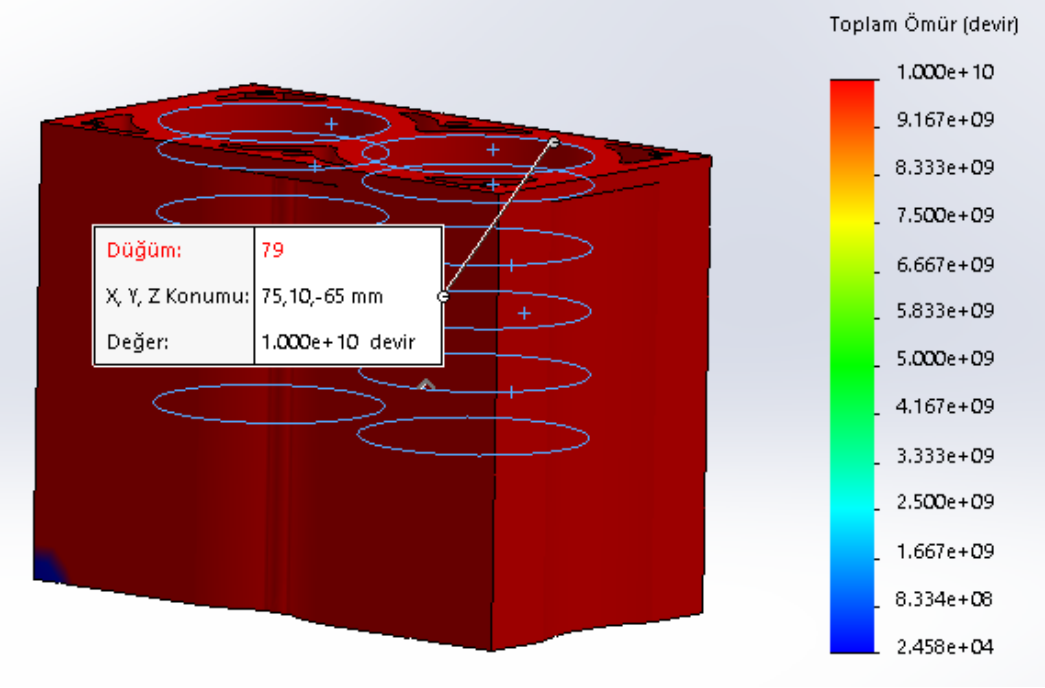

**Şekil 2.36**: Motor Bloğu 5. Kademe Maks. Gerilme Değeri




**Şekil 2.37**: Motor Bloğu 5. Kademe Maks.Yer Değiştirme




**Şekil 2.38**: Motor Bloğu 5. Kademe Maks. Gerinim Değeri

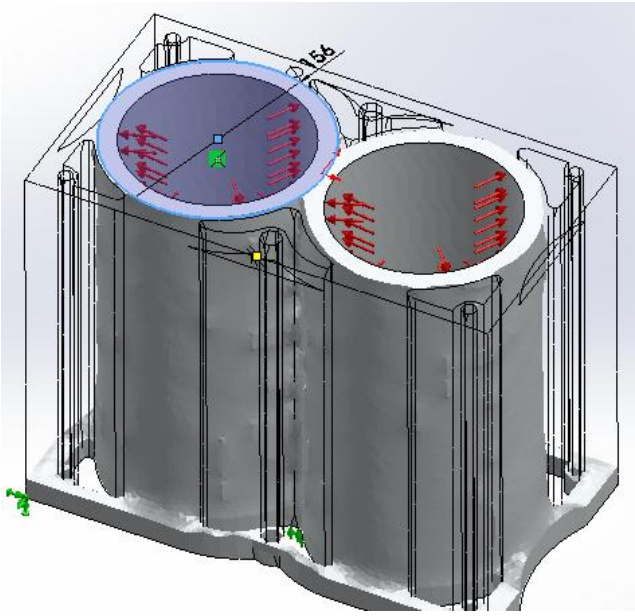



**Şekil 2.39**:Motor Bloğu 5.Kademe Maks. Yorulma Çevrimi

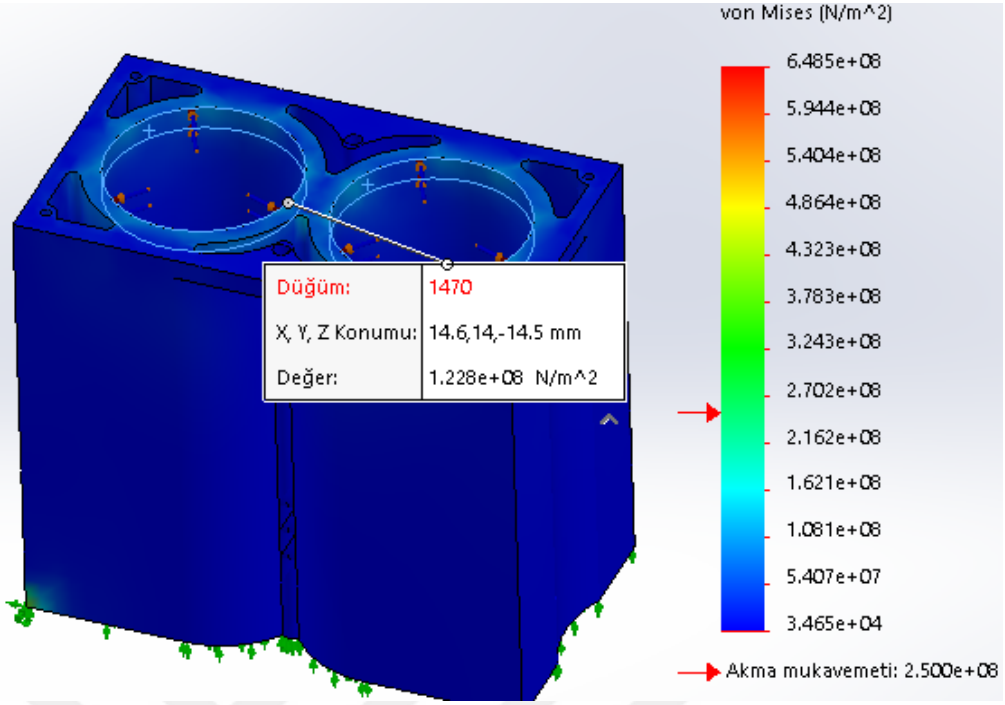
# 3. TOPLOJİ OPTİMİZASYON ANALİZİ

Motor bloğu topoloji optimizasyonu sonucunda, hesaplanan silindir kalınlıklarında yapılan belli çevrimdeki dayanım değerleri sayesinde ideal blok kalınlığı belirlenmiş olmaktadır. Bu sayede silindir bloğunu malzemesinden %10 ve %20 oranında kütle azatlımı yaparak azaltılmış kütlelerdeki çaplar hesaplanmış ve tekrar belirlenen çaplar ile motor blokları çizildi. Maksimum gerilme, yer değiştirme ve gerinme değerleri 1. bölgede gerçekleştiği için kütlesi azaltılmış motor bloklarında da sadece 1. bölgede statik ve yorulma analizleri gerçekleştirildi. Aşağıda topoloji sonucu kütlesi azaltış silindir bloklarının çapları ve bu çaplara dayanarak tekrardan çizilmiş motor bloklarının yorulma analizleri, çevrim ömrü şeklinden gösterildi. Böylece mevcut motor bloğunun % 10 ve %20 oranında azaltılmış kütleleri sonucu yorulma çevrim analizleri çok düşük devirlerde çıktı. İlk % 10luk kütle azaltılmasında motor bloğu silindir çapı 156mm olarak hesaplanış %20 lik kütle azaltılmasında ise çap 153.3mm olarak hesaplandı. Böylece her iki çaptaki çevrim sayısı, kütlesi azaltılmamış çaptaki çevrim sayısından oldukça düşük çıktı.

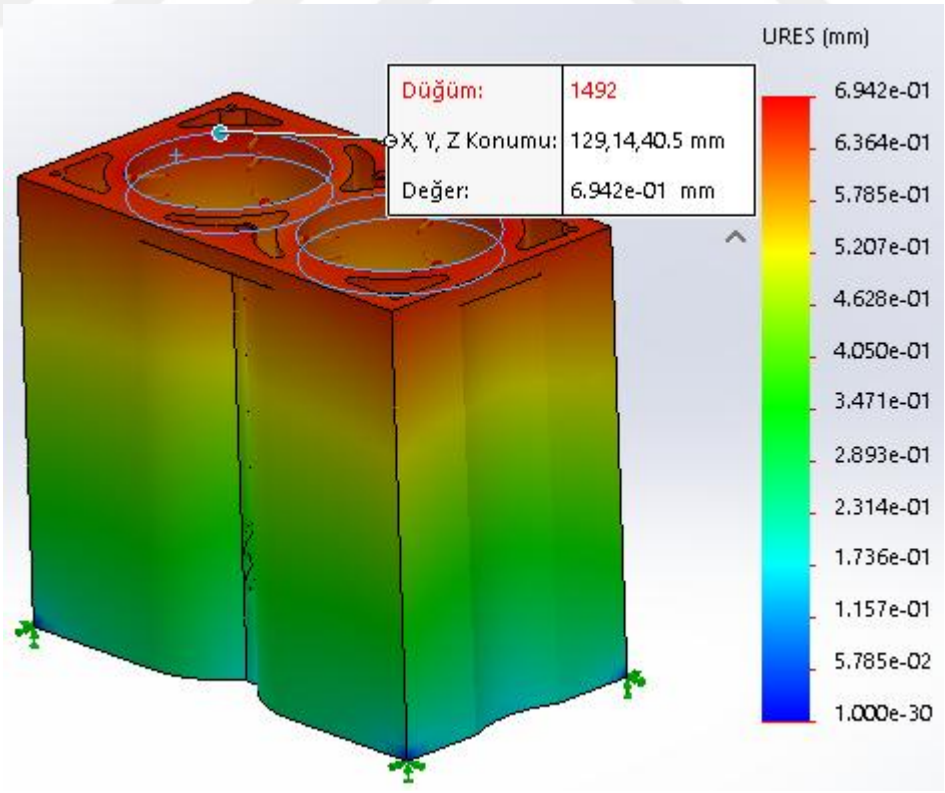
## 3.1. KÜTLESİ %10 AZALTILMIŞ MOTOR BLOĞU ANALİZİ



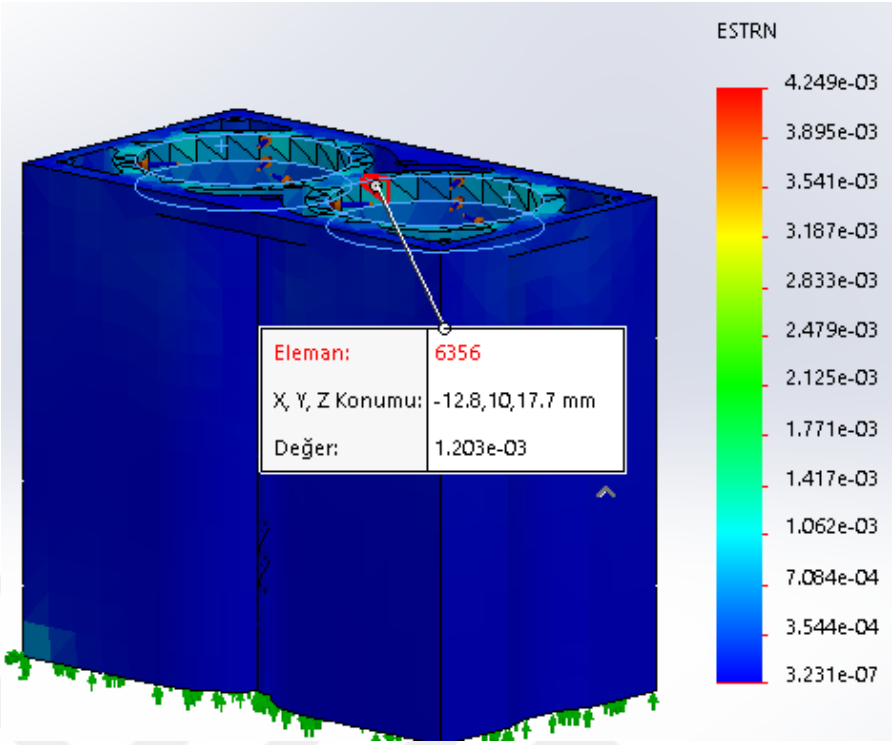

**Şekil 3.1**:Kütlesi %10 Azaltılmış Motor Bloğu Topoloji Optimizasyon Analizi



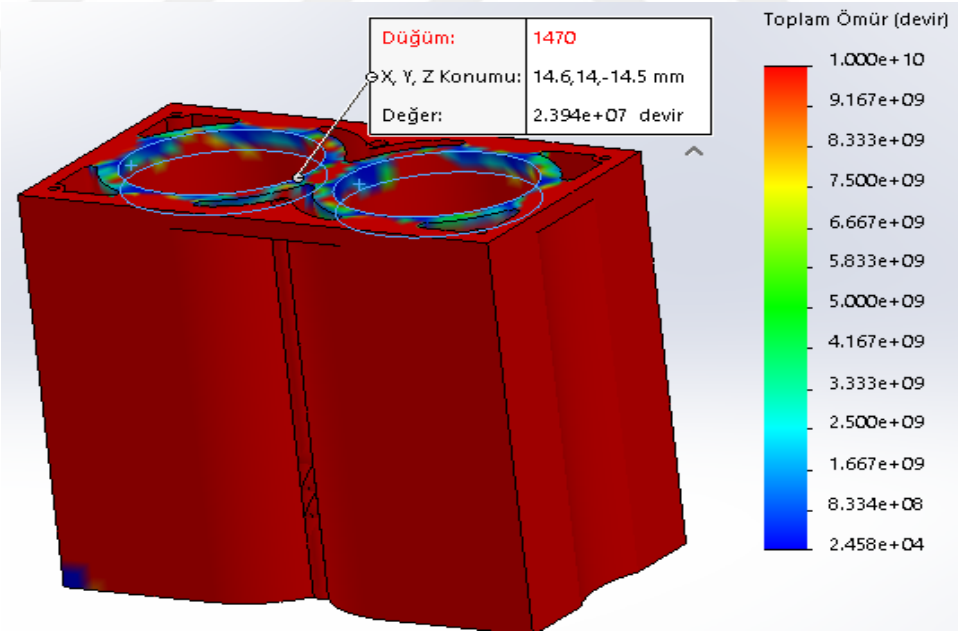

**Şekil 3.2:** Kütlesi %10 Azaltılmış Motor Bloğu Gerilme .



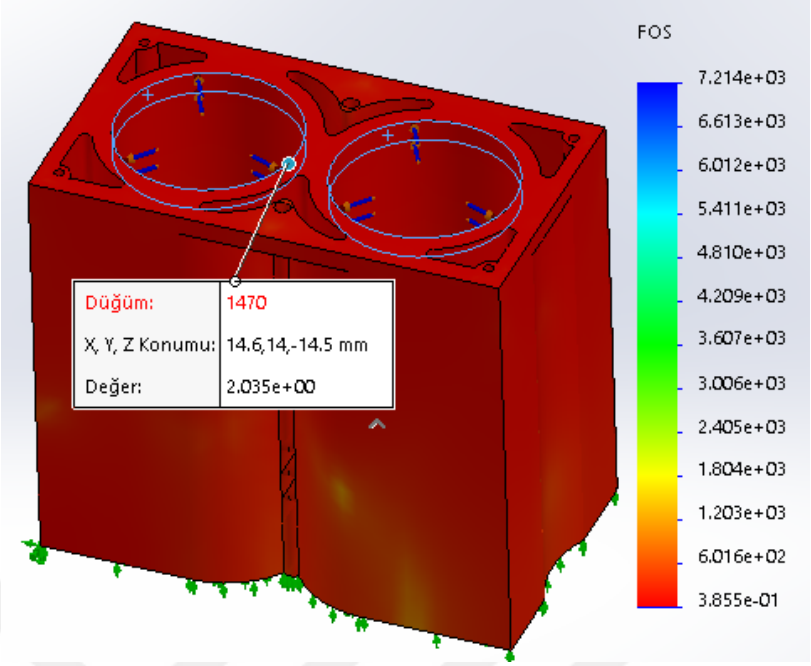

**Şekil 3.3**: Kütlesi %10 Azaltılmış Motor Bloğu Maks. Yer Değiştirme




**Şekil 3.4:** Kütlesi %10 Azaltılmış Motor Bloğu Maks. Gerinme

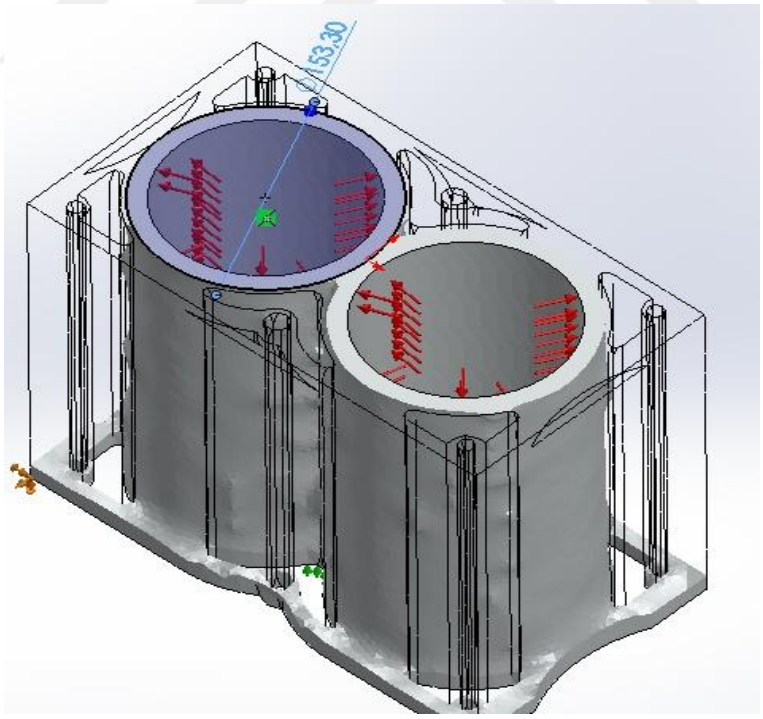



**Şekil 3.5:** Kütlesi %10 Azaltılmış Motor Bloğu Yorulma Analizi

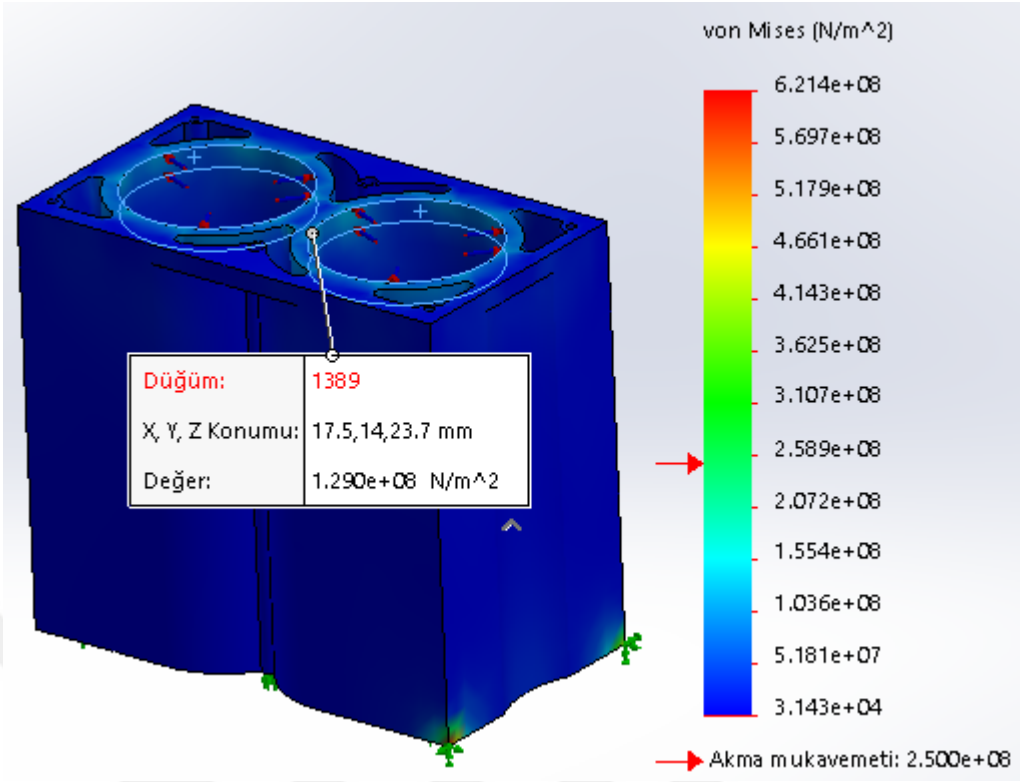



**Şekil 3.6:** Kütlesi %10 Azaltılmış Motor Bloğu Güvenlik Faktörü

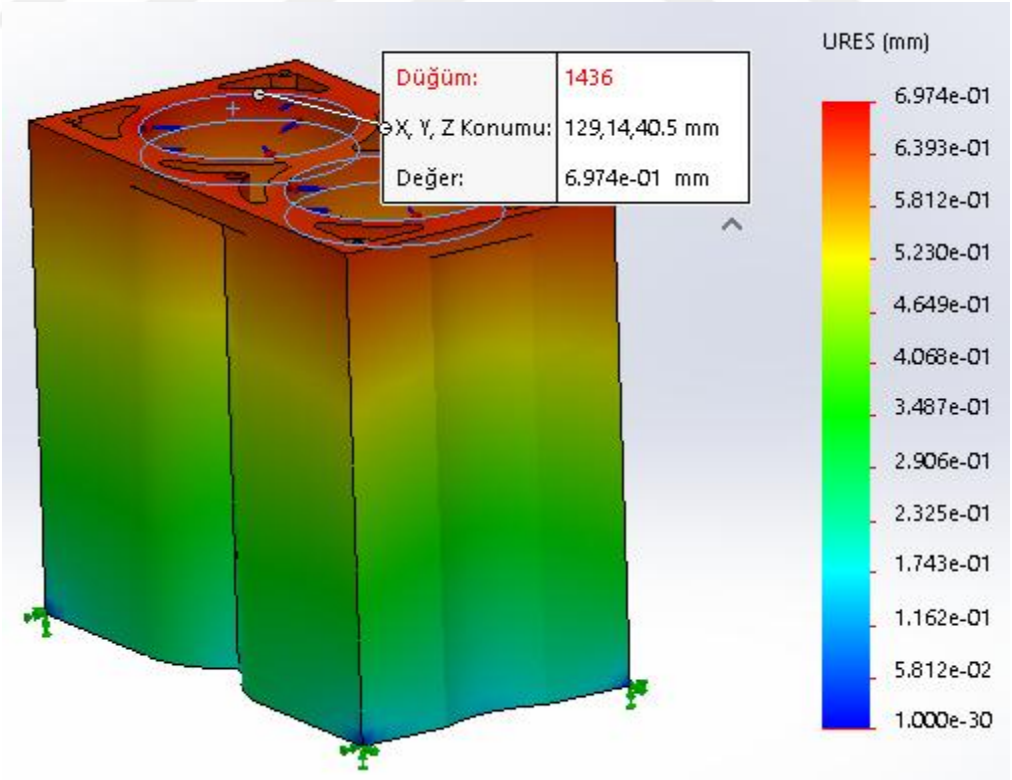
## 3.2. KÜTLESİ %20 AZALTILMIŞ MOTOR BLOĞU ANALİZİ



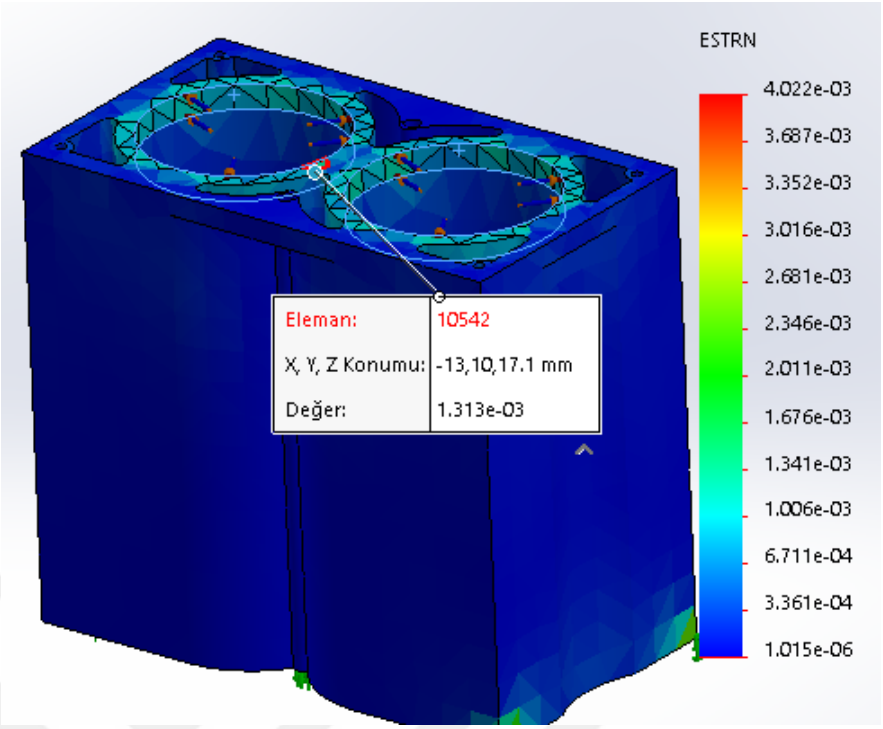

**Şekil 3.7:** Kütlesi %20 Azaltılmış Motor Bloğu Topoloji Optimizasyon Analizi



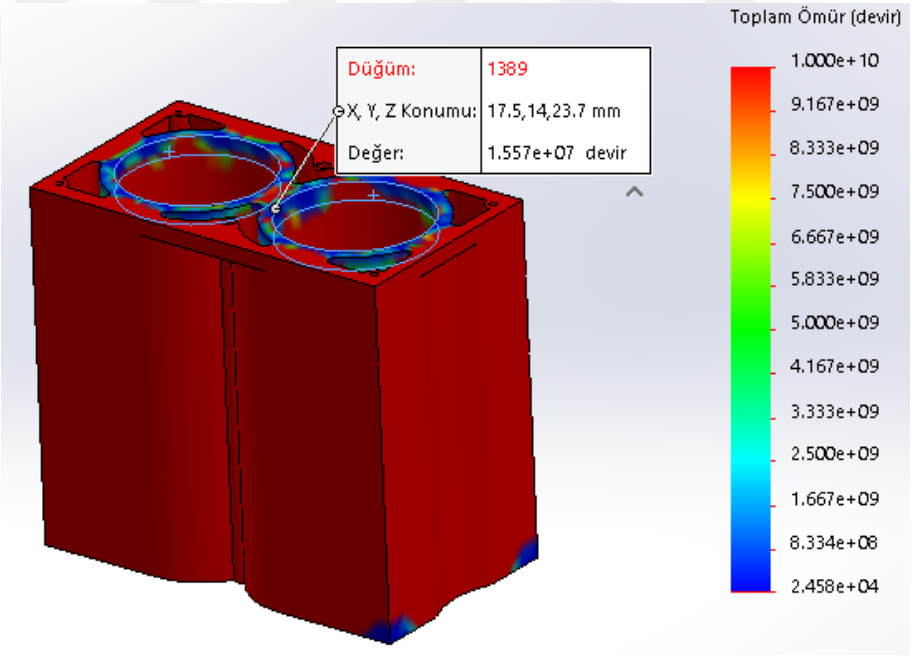

**Şekil 3.8:** Kütlesi %20 Azaltılmış Motor Bloğu Gerilme Değeri.



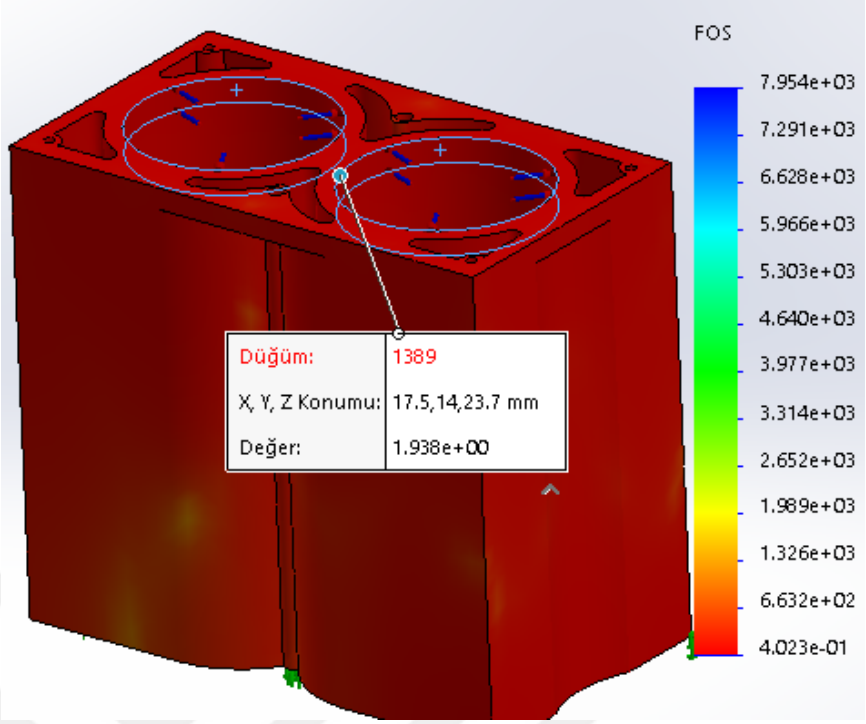

**Şekil 3.9:** Kütlesi %20 Azaltılmış Motor Bloğu Maks. Yer Değiştirme




**Şekil 3.10:** Kütlesi %20 Azaltılmış Motor Bloğu Maks.Gerinme




**Şekil 3.11:** Kütlesi %20 Azaltılmış Motor Bloğu Yorulma Analizi




**Şekil 3.12:** Kütlesi %20 Azaltılmış Motor Bloğu Güvenlik Faktörü

# 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

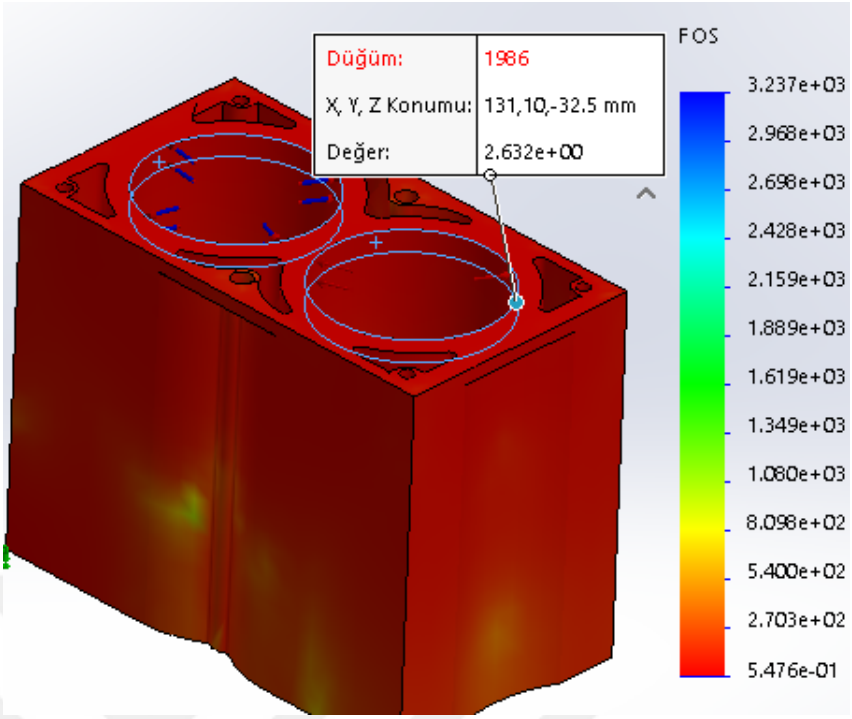
Yapılan motor bloğu analizi sonucunda elde edilen en iyi motor bloğu geometrisinin akma mukavemeti, yer değiştirme, gerilme, ve yorulma çevrim sayıları açısından karşılaştırmalar yapıldı.

Bu sebeple 3 alüminyum alaşım malzeme seçildi. En az gerilme değeri ve en yüksek emniyet katsayısını A356.2 T6 alüminyum alaşım malzeme verdiği için diğer malzemelerin yorulma ve optimizasyon analizleri yapılamasına gerek duyulmadı.

Buna göre ilk motor bloğunda elde edilen maksimum gerilme dayanımı 95 $N/mm^2$ (Mpa) çıkmıştır. Daha sonraki topoloji optimizasyonu sonucu elde ettiğimiz %10 ve %20 lik kütle azalması ile elde ettiğimiz akma mukavemeti değerleri sırası ile 122 $N/mm^2$ ile 129 $N/mm^2$ çıkmaktadır.

Aynı işlemleri yer değiştirme için yaptığımızda ilk motor bloğunda elde edilen maksimum yer değiştirme değeri 0,6374 mm çıktı. Kütlesinde %10 ve %20 azaltılma ile yapılan motor bloğu analizindeki yer değiştirme değerleri sırası ile 0,6942 mm ile 0,6974 mm dir. Yer değiştirme değerlerinde ilk motor bloğuna göre artma oldu.

Yorulma çevrimi analizinde motor bloğuna $10^9$ çevrim sıfır tabanlı olarak uygulandığında buna karşılık olarak yapılan yorulma analizinde 148 milyonluk çevrim değeri elde edildi bu çevrim değeri hesaplamasında art arda basınç uygulandığı için 4 zamanlı içten yanmalı motorlarda olduğu gibi 2 çevrimde 1 yanma meydana gelmektedir. Bu sebeple yorulma analizinde bulmuş olduğumuz 148 milyon çevrimi 2 ile çarpılarak yaklaşık 296 milyon çevrim yapmaktadır. Diğer taraftan silindir kütlesinden %10 ve %20'lik azaltılması sonucu elde ettiğimiz yorulma analizlerinde sırasıyla 24 milyon ve 15 milyon çevrim 2 ile çarpıldığında 48 ve 30 milyon çevrime ulaşılmıştır. Görüldüğü üzere yapılan kütle azaltılması sonucu elde edilen yorulma çevriminde de düşük değerler elde edildi.




**Şekil 4.3:** Kütlesi Azaltılmamış Motor Bloğu Güvenlik Faktörü

İlk motor bloğunun güvenlik faktörü maksimum basıncın uygulandığı bölgede incelendiğinde minimum değeri 1'in üstünde çıktığı ve ilk motor bloğunda en düşük güvenlik katsayısı 2,63 çıktı. Kütlesi azaltılmış motor bloklarında ise sırası ile 2,03 ile 1,93 değerleri elde edildi. Güvenlik faktöründe de diğer analizlerde olduğu gibi ilk motor bloğuna göre kütlesi azaltılmış diğer motor bloklarının güvenlik faktör değerleri düşük çıktı. Bu sayede topoloji optimizasyonu ile motor bloğunun tasarımı ile ilgili olarak elde edilen sonuçların kayda değer bilgiler ortaya koyduğu görülmektedir.

# KAYNAKLAR


[1]. http://www.alueurope.eu, (Ziyaret Tarihi: Nisan 2019)

[2]. Zeytin H., 2000, Alüminyum alaşımları otomotiv endüstrisinde uygulamaları ve gerçeği,MAM MKTAE Proje No:50H5602

[3]. Uozato S.,Nakata K.,Ushio M.,2005, Evaluation of ferrous powder thermal spray coatings on diesel engine cylinder bores, Surface&Coatings Technology, 200 (7): 2580-2586,.

[4]. Hirsch,J., 1999,Light Metal WORLD, World, Light Metal Age, s.124.

[5]. Miller, W.S., Zhuang, L., Bottema, J.,1994, RecentTrends in Sheet Metal sand Their Formability in Manufacturing Automotive Panels, Journal of Materials Processing Technology, vol.46, s.455.

[6]. Özcömert, M.,2006, Otomotiv Endüstrisinde Alüminyum,Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ticaret Odası

[7]. Smith,W.,2001,Material Science&Engineering, University of Central Floride,USA

[8]. Valtierra-Gallardo,Salvador et al., 2008,Wear- Resistant Aluminum Alloy for casting Engine Blocks With Linerless Cylinders. Patent Application-Publication Number :WO 2008/053363 A2.

[9]. Çınar, C., 2005, Gazi Üniversitesi TEF Makine Eğitimi Otomotiv makine işlemleri ders slaytları

[10]. Hirst,W.1975 Scuffingand It'sprevention Tribology Practical Reviews I Mechanical Engineer. Copyright.

[11]. Doty, Herbert William., 2005,Aluminum Alloy for engine blocks. General Motors Corporation, Assignee. Patent 6921512.

[12]. Kvande, H.,1999, Environmental Improvements in Aluminum Production Technology, Light Metal Age, s.44.

[13]. Küçüksarıyıldız H., Gültekin N. ,2014,Otomobil Motor Parçalarının İmalatında Kullanılan Malzemeler ve Hasar Mekanizmaları.

[14]. Borman G.,Nishiwaki K.,1987,Internal–combustion engine heat transfer. Progress in Energy and Combustion Science.

[15]. V.P. Isachenko, V.A. Osipova, A.S. Sukomel., 1975,Heat transfer. Moscow, p. 45 – 73, (s.198 – 243).

[16]. Kavtaradze R. Z., 2001, Local heat transfer in reciprocating engines. MSTU im. Baumana.

[17]. Krishnan S., 2003, Engine combustion modeling lecturenotes https://www.me.ua.edu/me418/lecture_notes/Engine%20combustion%20modeling.pdf(Ziyaret Tarihi: Nisan 2019)

[18]. Nusselt W., 1928, Der Warme ubergang zwischen Arbeitmedium und Zylinder wand in Kolbenmaschinen. Forachun gsarb. Geb. Ing.

[19]. P. Guibert,2005,Engine cycle modeling – Spark ignition engines (in French), Technique de l'ingénieur BM 2511, 1-28.

[20]. Woschni G.,1967, A Universally Applicable Equation for the instantaneous Heat Transfer Coefficient in the Internal Combustion Engine, SAE Paper No. 670931,

[21]. E. Ollivier,2006,Contribution to the characterization of heat transfer in spark ignition engines(in French). Application to knock detection, PhDthesis ENSTIM de Nantes.

[22]. LouniciM.S.,Tazerout M.,Balistrou M.,2012, Heat Transfer Correlation Choicefor Two-Zone Combustion Model Optimization in the Case of Natural Gas SI Engine.

[23]. Reif, K. , 2014,*Diesel engine management*(1. Baskı). Germany: Springer.

[24]. Bennett, S. , 2010,*Modern diesel technology: Diesel engines*(1. Baskı). New York:Delmar.

[25]. MEB, 2011, Raylı Sistemler Teknolojisi Dizel Motorlar http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Dizel%20Motorlar%C4%B1.pdf (Ziyaret Tarihi: Mayıs 2019)

[26]. Car, E., 2011, Alüminyum üretim süreçleri, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, İstanbul, 2-15.

[27]. Özer, B., Güven, V., Mustafaoğlu, M., 2002, Dünyada ve Türkiye'de Alüminyum Pazarı ve Ticareti, Assan Alüminyum, Seydişehir 2. Alüminyum Sempozyumu,İstanbul.

[28]. Geçkinli, E., 2002, Alüminyum ve Alaşımlarının Isıl İşlemi, 2. Isıl İşlem Sempozyumu, İstanbul, TÜRKİYE, Şubat 07-08.

[29]. Grieb, M. ,Christ, H., Plege, B., 2010, Thermomechanical fatigue of cast aluminium alloys for cylinder head applications – experimental characterization and life prediction.

[30]. Mahmoud, T.S., Sayed, A.A.,2011,Elevated Temperatures Tensile Characteristics of Cast A356/Al2O3 Nano composites Fabricated Using a Combination of Rheo castingand Squeeze Casting Techniques.

[31]. Lakshminarayanan P.A. andAghav Y.V.,2010,*Modelling Diesel Combustion*, Mechanical Engineering Series, DOI 10.1007/978-90-481-3885-2_6,© SpringerScience+Business Media B.V. (s.79-80)

[32]. Sanli A., Sayin C., Gumus M., Kilicaslan I., and Canakci M.,2009,Numerical Evaluation by Models OF Loadand Spark Timing Effects on the in-Cylinder Heat Transfer of a sı Engine

[33]. MEB, 2013,Motor araç teknolojisi motor çevrimleri ve yakıtlar, http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Motor%20%C3%87evrimleri%20Ve%20Yak%C4%B1tlar.pdf

[34]. Amit V. Paratwar1, D.B Hulwan,2013,Surface Temperature Prediction and Thermal Analysis of Cylinder Head in Diesel Engine

[35]. Mohamed S. O., Salem A. Farhatand Mohammed A. Lrabeei, 2017,The Effect of Turbocharger Pressure and Intercooler Temperature on Engine Performance

[36]. Mtu Diesel engine 8V 199 for Medium Military Vehicles 600kW (816mHP) https://mtu-online-shop.com/print/3230991_MTU_Def_spec_8V199.pdf

[37]. Mtu Diesel engine 8V MT881 for Medium Military Vehicle 735 kW (1000mHP)

[38]. Ramamurty Raju P., Rajesh S., Satyanarayana B. And Ramji K., 2011,Statistical Analysis of Fatigue Life Data of A356.2-T6 Aluminum Alloy.

[39]. John B.Heywood, 1988,Internal Combustion Engine Fundementals (s.699-705)

[40].Department of Energy, 1993, Diesel engine fundamentals. 01.10.2017, https://d6s74no67skb0.cloudfront.net/course-material/ME406-Diesel-Engine-Fundamentals.pdf

[41] Göv İ., Kütük M. A., 2007, Topoloji Optimizasyonunda Eleman Silme Metodunun Uygulanması

# ÖZGEÇMİŞ

| Kişisel Bilgiler | |
|---|---|
| Adı Soyadı | Hakan ORAK |
| Doğum Yeri | İSTANBUL |
| Doğum Tarihi | 04.09.1985 |
| Uyruğu | ☑T.C.❒ Diğer: |
| Telefon | 0537 3895504 |
| E-Posta Adresi | orakhakan@yahoo.com |
| Web Adresi | |



| Eğitim Bilgileri | |
|---|---|
| **Lisans** | |
| Üniversite | Yıldız Teknik Üniversitesi |
| Fakülte | Makine Fakültesi |
| Bölümü | Makine Mühendisliği |
| Mezuniyet Yılı | 03.06.2009 |