

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**DİZEL MOTOR PİSTONLARINDA YAĞ GALERİSİ ETKİLERİNİN TERMAL
VE YAPISAL OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Orhan AYDIN

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı-Akışkan Yüksek Lisans Programı

Haziran 2021

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**DİZEL MOTOR PİSTONLARINDA YAĞ GALERİSİ ETKİLERİNİN TERMAL
VE YAPISAL OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Orhan AYDIN
(503181115)**

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı-Akışkan Yüksek Lisans Programı

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Sertaç ÇADIRCI
Eş Danışman: Doç. Dr. Hasan KÖTEN**

Haziran 2021

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 503181115 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Orhan AYDIN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “DİZEL MOTOR PİSTONLARINDA YAĞ GALERİSİ ETKİLERİNİN TERMAL VE YAPISAL OLARAK İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Sertaç ÇADIRCI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Eş Danışman : **Doç. Dr. Hasan KÖTEN**
İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Mustafa YILMAZ**
Marmara Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Hacı Abdullah TAŞDEMİR
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Abdussamet SUBAŞI
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 19.05.2021
Savunma Tarihi : 05.06.2021





Aileme,



ÖNSÖZ

Yüksek Lisans eğitimim boyunca bana yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Doç. Dr. Sertaç ÇADIRCI'ya ve Doç. Dr. Hasan KÖTEN'e teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2021

Orhan AYDIN
(Makine Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Piston Tasarımı.....	4
1.3 Isı-Akış Analizleri ve Yapısal Analizler	6
1.4 Literatür Araştırması	8
1.5 Tezin Özgün Değeri	15
2. PİSTON TASARIMI.....	17
3. ISI-AKIŞ ANALİZLERİ VE YAPISAL ANALİZLER	21
3.1 Yönetici Denklemler	21
3.2 Malzeme Özellikleri	23
3.3 Sınır Koşulları	25
3.4 Eleman Sayısından Bağımsız Çözümler	27
3.4.1 Yağ galerisinin bulunmadığı referans pistonda eleman sayısından bağımsız çözüm	27
3.4.2 Yağ galerili modeller için eleman sayısından bağımsız çözüm	30
3.5 Zaman Adımından Bağımsız Çözüm	33
3.6 Yağ Galerisinin Eksenel Konumunun İncelenmesi	35
3.7 Dalgalı Galerli Modellerinin İncelenmesi	38
3.8 Yapısal Analizler	39
4. SONUÇLAR	41
4.1 Yağ Galerisiz Referans Model Sonuçları	41
4.2 Yağ Galerili Modellerin Sonuçları	43
4.2.1 Model-1 sonuçları	43
4.2.2 Model-2 sonuçları	47
4.2.3 Model-3 sonuçları	49
4.2.4 Model-4 sonuçları	52
4.2.5 Model-5 sonuçları	54
5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE İLERİDE YAPILMASI GEREKENLER.....	59
KAYNAKLAR	63
EKLER	65
ÖZGEÇMİŞ	67



SEMBOLLER

D	: Piston Çapı
b₁	: Alev Segmanı ile Piston Tepesi Arasındaki Mesafe
b₂	: Piston Segman Kalınlığı
t₁	: Piston Segman Yuvalarının Radyal Kalınlığı
t₂	: Piston Segmanları Arasındaki Mesafe
th	: Piston Tepe Kalınlık Ölçüsü
D_p	: Piston Pim Çapı
σ_t	: Çekme Dayanımı
P, p	: Basınç
F	: Kuvvet
M	: Kütle
A	: İvme
T	: Zaman
u,v,w	: Hız vektörü bileşenleri
ρ	: Yoğunluk
f_x, f_y, f_z	: Kuvvet Bileşenleri
τ	: Kayma Gerilmesi
μ	: Dinamik Viskozite
ν	: Kinematik Viskozite
μ_t	: Türbülans Viskozitesi
E	: İç Enerji
k	: Türbülans Kinetik Enerjisi
k_{eff}	: Isı İletim Katsayısı
T	: Sıcaklık
ω	: Türbülans Kinetik Enerjisi Yitim Hızı



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Deng ve arkadaşlarının elde ettiği sonuçlar	10
Çizelge 1.2 : Wang ve arkadaşlarının çalışmalarındaki nano akışkan tipine ve yüzde oranına bağlı olarak ısı transfer katsayısının değişimi	14
Çizelge 3.1 : Mahle 174+ kimyasal özellikleri	24
Çizelge 3.2 : Mahle 174+ mekanik özellikleri	24
Çizelge 3.3 : SAE-15W özellikleri	25
Çizelge 3.4: SAE-15W soğutma yağının dinamik viskozitesinin polinom uydurularak sıcaklığa bağlı ifade edilmesi	25
Çizelge 3.5 : Ağ Elemanlarının çarpıklık ve ortogonalite sınıflandırması	28
Çizelge 3.6 : Referans modelde eleman sayısından bağımsız çözüm sonuçları	29



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Piston bölgeleri.....	1
Şekil 1.2 : Alfin bölgesi içeren alüminyum piston kesit görünümü	2
Şekil 1.3 : Akış şeması.....	4
Şekil 1.4 : Güncel piston örnekleri.....	5
Şekil 1.5 : Piston sıcaklık dağılımı	7
Şekil 1.6 : Yanma odasındaki ısı geçişi	8
Şekil 1.7 : Piston kesitinde sıcaklık dağılımı.....	9
Şekil 1.8 : Deng ve arkadaşlarının kullandığı galeri eksenel konumları	9
Şekil 1.9 : Deng X. ve arkadaşlarının çalışmalarındaki galeri konumları	11
Şekil 1.10 : Deng X. ve arkadaşlarının elde ettiği sıcaklık dağılımları.....	11
Şekil 1.11 : Liu ve arkadaşlarının kullandığı sınır koşulları.....	12
Şekil 1.12 : Liu ve arkadaşlarının çalışmaları sonucundaki, galeri eksenel konumuna göre oluşan sıcaklıklar ve termal gerilmeler.....	13
Şekil 1.13 : Liu ve arkadaşlarının çalışmaları sonucundaki, galeri radyal konumuna göre oluşan sıcaklıklar ve termal gerilmeler.....	13
Şekil 1.14 : Wang ve arkadaşlarının çalışmalarındaki yağ galerisi yüzeyindeki ısı transfer katsayısının dolum oranına ve eklenen akışkana göre değişimi..	14
Şekil 1.15 : Deng ve arkadaşlarının çalışmalarında ısı transfer katsayılarının krank açısına bağlı değişimi	15
Şekil 2.1 : Piston boyutları.....	17
Şekil 3.1 : Analizlerde kullanılan termal sınır koşulları.....	26
Şekil 3.2 : 1000 rpm’de piston hızının zamana bağlı değişimi.....	27
Şekil 3.3 : Referans model pistonun ağ örgüsü.....	28
Şekil 3.4 : Referans model pistondaki ortogonallik ve çarpıklık değerleri.....	29
Şekil 3.5 : Referans modelde sıcaklıkların eleman sayısına bağlı değişimi.....	30
Şekil 3.6 : Yağ galerisi ve pistonun kesit alınmış ağ örgüsü görünümü.....	31
Şekil 3.7 : Sıcaklıkların eleman sayısına bağlı değişimi.....	32
Şekil 3.8 : Yağ galerisi ortalama ısı akısının eleman sayısına bağlı değişimi.....	32
Şekil 3.9 : Galeriyüzeyinde ortalama nusselt sayısının eleman sayısına bağlı değişimi.....	33
Şekil 3.10 : Galeriyüzeyinde ortalama sıcaklığının zaman adımına bağlı değişimi.....	34
Şekil 3.11 : Galeriyüzeyinde ortalama nusselt sayısının zaman adımına bağlı değişimi.....	34
Şekil 3.12 : Galeriyüzeyinde ortalama ısı akısının zaman adımına bağlı değişimi.....	35
Şekil 3.13 : Model-1 yağ galerisi eksenel konumu.....	36
Şekil 3.14 : Model-1 ağ örgüsü eleman özellikleri.....	36
Şekil 3.15 : Model-2 ağ örgüsü eleman özellikleri.....	37
Şekil 3.16 : Model-3 ağ örgüsü eleman özellikleri.....	38
Şekil 3.17 : Model-4 yağ galerisi ağ örgüsü görünümü.....	39
Şekil 3.18 : Model-5 yağ galerisi ağ örgüsü görünümü.....	39
Şekil 3.19 : Pistonda hareketi sabitlenen pim bölgesi.....	40
Şekil 3.20 : Pistonda tepe yüzeyine uygulanan basınç sınır koşulu.....	40
Şekil 4.1 : Referans model pistonda sıcaklık dağılımı.....	41
Şekil 4.2 : Referans model pistonda gerilme dağılımı.....	42
Şekil 4.3 : Referans model pistonda deformasyon dağılımı.....	42
Şekil 4.4 : Model-1 pistonda sıcaklık dağılımı.....	43
Şekil 4.5 : Model-1 yağ galerisinde sıcaklık dağılımı.....	44

Şekil 4.6 : Model-1 yağ galerisinde y+ konturu.....	44
Şekil 4.7 : Model-1 pistonda maksimum sıcaklık ve yağ çıkış sıcaklığının zamana bağlı değişimi.....	45
Şekil 4.8 : Model-1’de yağ galerisi yüzeyinde ortalama ısı akısının zamana bağlı değişimi	45
Şekil 4.9 : Model-1 pistonda gerilme dağılımı.....	46
Şekil 4.10 : Model-1 pistonda deformasyon dağılımı.....	46
Şekil 4.11 : Model-2 piston maksimum sıcaklığının ve yağ çıkış sıcaklığının zamana bağlı değişimi.....	47
Şekil 4.12 : Model-2’de galeri ortalama ısı akısının zamana bağlı değişimi.....	48
Şekil 4.13 : Model-2 pistonda gerilme dağılımı.....	48
Şekil 4.14 : Model-2 pistonda deformasyon dağılımının perspektif görünümü.....	49
Şekil 4.15 : Model-3 piston maksimum sıcaklığının ve yağ çıkış sıcaklığının zamana bağlı değişimi.....	50
Şekil 4.16 : Model-3 galeride ortalama ısı akısının zamana bağlı değişimi.....	50
Şekil 4.17 : Model-3 pistonda gerilme dağılımı.....	49
Şekil 4.18 : Model-3 pistonda deformasyon dağılımının perspektif görünümü.....	51
Şekil 4.19 : Model-4 piston maksimum sıcaklığının ve yağ çıkış sıcaklığının zamana bağlı değişimi.....	52
Şekil 4.20 : Model-4 galeri ortalama ısı akısının zamana bağlı değişimi.....	53
Şekil 4.21 : Model-4 pistonda gerilme dağılımı.....	54
Şekil 4.22 : Model-4 pistonda deformasyon dağılımının önden görünümü.....	54
Şekil 4.23 : Model-5 pistonda sıcaklık dağılımının perspektif görünümü.....	55
Şekil 4.24 : Model-5 yağ galerisi yüzeyinde sıcaklık dağılımı.....	56
Şekil 4.25 : Model-5 piston maksimum sıcaklığının ve yağ çıkış sıcaklığının zamana bağlı değişimi.....	56
Şekil 4.26 : Model-5 galeri ortalama ısı akısının zamana bağlı değişimi.....	57
Şekil 4.27 : Model-5 pistonda gerilme dağılımı.....	57
Şekil 4.28 : Model-5 pistonda deformasyon dağılımının perspektif görünümü.....	58
Şekil 5.1 : Piston modeline bağlı olarak oluşan maksimum sıcaklık değerleri.....	60
Şekil 5.2 : Piston modeline bağlı olarak soğutma yağına geçen ısı oranı.....	60
Şekil 5.3 : Piston modeline bağlı olarak oluşan maksimum gerilmeler.....	61

DİZEL MOTOR PİSTONLARINDA YAĞ GALERİSİ ETKİLERİNİN TERMAL VE YAPISAL OLARAK İNCELENMESİ

ÖZET

İçten yanmalı motorlarda piston parçası sistemin en önemli parçalarından biri olmaktadır. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte bilgisayarların işlem gücünün artması, motorun ve motor alt parçalarının modellenmesi, bilgisayar ortamında sistemin ve alt bileşenlerinin termal, yapısal ve akış analizlerinin yapılabilmesi, son kullanıcı bilgisayarlarında dahi mümkün hale gelmiştir.

Piston parçası, içten yanmalı bir motorda, yanmanın bulunduğu bölgeyle temas halinde olan, dolayısıyla motorda oluşan yüksek basınç ve sıcaklıklara maruz kalan, termal, yapısal ve yorulma dayanımı anlamında incelenmesi en elzem olan parçalardan biridir. Pistonda ortaya çıkan yüksek sıcaklıklar ve gerilmeler piston malzemesinin dayanabileceği üst sınırları geçmemelidir. Ayrıca yorulma dayanımı açısından da oluşabilecek gerilme ve sıcaklıkların optimum düzeyde olması gerekmektedir. Bu nedenlerden dolayı piston parçası tasarım anlamında çok kompleks bir hale gelmektedir. Dizel motorlarda kullanılan alüminyum pistonlarda pistonun üst yüzeyi yanma analizleriyle optimize edilebilmektedir. Pistonun etek ve segman bölgeleri termal ve yapısal analizlerle, ayrıca minimum yağ filmi kalınlığı analizleriyle, belirlenmektedir. Yağ galerisinin boyutları ve konumu da akış analizi, termal ve yapısal analizlerle belirlenmektedir.

Bu çalışmada piston modeli oluşturulmuş ve tasarıma uygun kolbenschmidt tipi yağ galerileri tasarlanmıştır. Tasarım için Siemens NX 10 yazılımı kullanılmıştır. Daha sonrasında yağ galerisinin termal ve akış analizleri Ansys Fluent yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Pistondaki sıcaklık dağılımı veya sınır koşulları Fluent yazılımında elde edilebildiği için Ansys structural modülü ile termal gerilmeler de elde edilebilmiştir.

Yağ galerisinin pistondaki konumu, sıcaklık dağılımını etkileyen en önemli parametrelerden biri olduğu için, üç farklı eksenel konumda analizler gerçekleştirilmiştir. Daha sonrasında yağa aktarılabilen ısıнын en yüksek olduğu modelde, galeri üst yüzeyinde iki farklı dalga şekli oluşturularak analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucunda yağ galerisinin eksenel konumunun ve galeri üst yüzeyindeki dalga modelinin değişiminin yağa geçen ısı yüzdesine etkisi, oluşan en yüksek sıcaklıklara etkisi, termal ve yapısal gerilmelere etkisi gösterilmiştir.

Yapılan çalışmaların öncesinde altı farklı ağ sayısından bağımsız çözüm ve üç farklı zaman adımından bağımsız çözüm yapılmıştır. En uygun ağ sayısı ve zaman adımı seçilerek analizler gerçekleştirilmiştir.



INVESTIGATION OF THERMAL AND STRUCTURAL EFFECTS OF COOLING OIL GALLERY IN DIESEL ENGINE PISTONS

SUMMARY

At an internal combustion engines, the piston part is one of the most important part of the system. With the developing technology, the increase in computing power of the computers enable the modelling of the engine and the subparts of the engine, the thermal, structural and flow analysis of the system and subparts even end user computers.

At an internal combustion engine, the piston part is in contact with the combustion region; consequently, high pressure and temperature occurs at the piston part. The investigation of the thermal, structural and fatigue strength of the piston is crucial. The maximum temperatures and stresses must not exceed the endurance limits of the piston material. Additionally, the maximum stresses and temperatures must be optimum levels for the fatigue life of the piston. Thus, the design of the piston part is so complex. The head surface of the piston can be optimized with the combustion analysis using Converge CFD, Ansys Forte etc. The skirt and ring regions of the piston can be determined with thermal and structural analysis and also using minimum oil film thickness analysis using Ricardo like softwares. The dimensions and position of the oil gallery are determined with the analysis of flow, thermal and structural analysis.

In this graduate thesis, the piston model is created and kolbenschmidt type of oil gallery models are designed in concert with the piston design. For this purpose, Siemens NX 10 software is used for the design. After this, the thermal and flow analysis of the piston are made using the Ansys Fluent 19.2 software. The temperature distribution and the boundary conditions of the piston obtained with Fluent module of the Ansys software. Then, thermal stresses were obtained using structural modulus of the Ansys software.

The position of the oil gallery in piston is one of the most important parameter which effects the temperature distribution. In this graduate thesis, analysis are made at three different axial position of the oil gallery. After that, using the model which is most effective in heat transfer to the oil, two different wavy models at the top surface of the oil gallery are designed and analyse. At the end of these analysis, the effect of the axial position and two different wavy models of the oil gallery to the maximum temperature at the piston, thermal and structural stresses and the heat ratio transferring to the oil are demonstrated.

Before these analysis, some analysis are made at six different mesh number and three different time step due to the obtain independent solutions related to the mesh number and time step. For the independent solution from mesh number, four hundred thousand, five hundred thousand, six hundred thousand, seven hundred thousand, nine hundred thousand and one million mesh number were used. In these analysis, time step were taken as one mili second. At the end of these analysis, one million mesh number is considered sufficient.

After determined the sufficient mesh number, independent time step is investigated. For this purpose, 0.001 second, 0.0008 second and 0.0005 second time steps were analysed. Then, 0.0005 second time step is considered sufficient for the case.

In order to investigate the axial position of the oil gallery in diesel engine piston, three piston models, 123.3 mm, 128.3 and 133.3 mm axial positions from the bottom face of the piston, are created using Siemens NX software. In these models, meshes are created considering more than one million mesh number and the time step is applied as 0.0005 second.

Axial positions of the oil gallery analysis show that the position of the oil gallery in piston is a major subject for heat transfer from piston to cooling oil. In model-1 piston, the maximum temperature is obtained as 612 K, which is 13.5 K lower than reference model piston. The ratio of the heat transfer from piston to oil gallery is observed as %32.48. In structural manner, 138.9 MPa stress and 0.09592 mm deformation is observed.

In model-2 piston, which is 5 mm closer to head of the piston in comparison to model-1, is presented more heat transfer from the piston to the cooling oil. Model-2 has 610 K maximum temperature at the head of the piston, which is 2 K less than Model-1 and 15.5 K less than the reference piston model. The ratio of the heat transfer from piston to oil gallery is obtained as %34.17, which is more than model-1 because of the closeness of the head of the piston. In this model, maximum 118.73 MPa stress is observed. Also, maximum 0.0932 mm deformation is obtained.

Model-3 has maximum 133.3 mm difference from the bottom face of the oil gallery to the bottom face of the piston. This model has the closest oil gallery to the head of the piston in the first three piston models. The maximum temperature is 608 K and %35.91 heat transfer ratio is obtained. In structural analysis of the model-3, 119.63 MPa maximum stress and 0.09258 mm maximum deformation is obtained. While the heat transfer is more than model-2, structural effects are not changed much.

Model-4 is the first curved gallery model in these study. It has the same gallery position with model-3; however, it has four vave region at the top region of the gallery. This model is more effective in heat transfer manner compared to model-3 piston. The maximum temperature in the piston falls 606 K. On the other hand, the ratio of the heat transfer from piston to cooling oil rises to %36.6. These thermal results show that the wavy form of the oil gallery effects the heat transfer in good manner. Additionally, in this model, 117.7 MPa maximum stress and 0.09266 mm maximum deformation is obtained. Resultantly, vavy model form improves the heat transfer and decrease the stresses and deformations.

Model-5 is another piston model, which has eight vave form at the top region of the cooling gallery of the piston. The only difference from model-5 to model-4 is the vave number. In thermal manner, 605 K maximum temperature is obtained at this model. Heat transfer ratio from piston to cooling oil is obtained as %37.2. The structural analysis results show that model-5 has maximum 120.1 MPa stress and 0.0921 mm maximum deformation. These results show that, the number of the vave form is increased the heat transfer but also increased the structural stress and deformations.

At a result, the position of the oil gallery in engine pistons have a major effect for the heat transfer. It effects directly the maximum temperatures, temperature distributions and the exit temperature of the cooling oil. Apart from the axial position of the cooling oil gallery of engine piston, vavy formed oil galley models can improve heat transfer and decrease maximum temperature.

Besides the thermal effects, structural effects must be considered when designing an engine piston oil gallery. Oil gallery position and form may be sufficient and reliable

in thermal manner. Nevertheless, it may not be good choice for structural manner. The position and form of the oil gallery directly change the geometry of the piston part. Therefore, the thermal and structural effects must be take into account together.

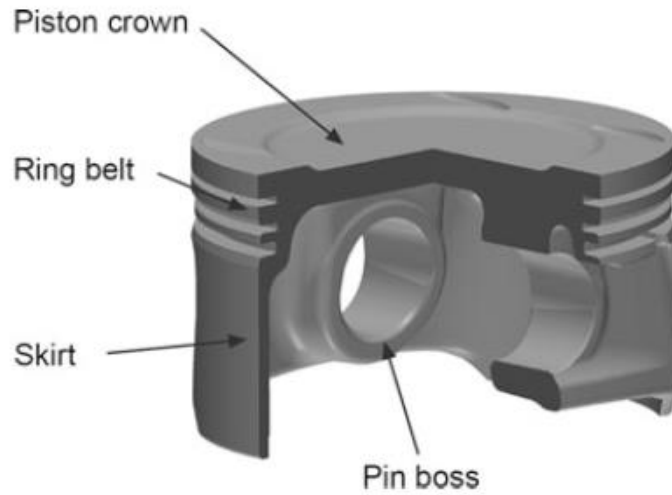




1. GİRİŞ

İçten yanmalı motorlarda, bir silindir içerisinde yakıtın yanması sonucu yüksek basınç ve sıcaklıklar ortaya çıkar. Yanma odasının hareketli parçası olan piston, açığa çıkan enerjiyi mekanik enerjiye çeviren parça görevini üstlenir [1].

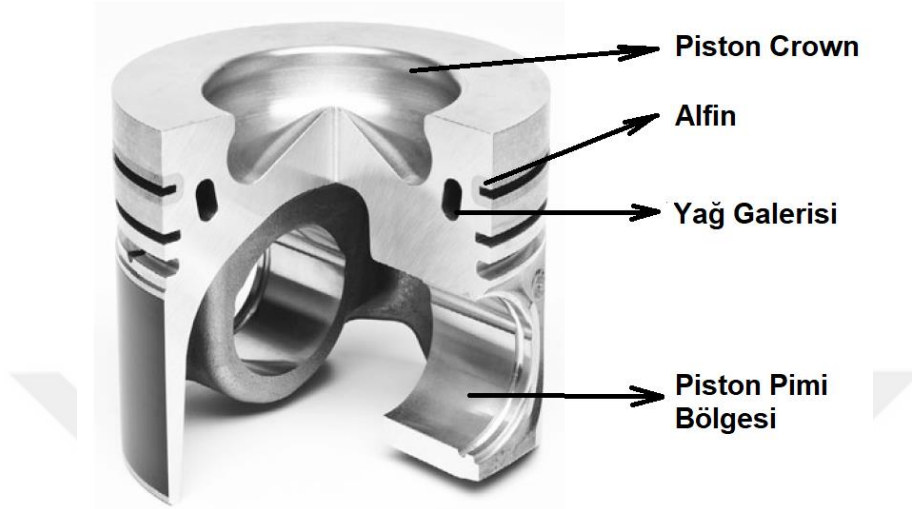
Şekil 1.1’de piston parçasının en basit hali görülmektedir. Bu piston örneğinde, pistonun piston tepe bölgesi, piston segmanlarının bulunduğu aralıklar, etek bölgesi ve piston pimi bölgesinden oluştuğu görülmektedir.



Şekil 1.1: Piston bölgeleri [1]

Bazı dizel motorların pistonlarında, yanma sonucu açığa çıkan ısıyı dağıtmak için, alttaki şekilde gösterildiği gibi bir yağ galerisi bulunur. Buna ek olarak dizel alüminyum pistonlarda, alev segmanının altında bir alfin bölgesi bulunmaktadır. Alfin uygulaması, güncel alüminyum pistonlarda çok sık kullanılan bir uygulamadır. Alfin, piston malzemesinden farklı termal genleşme özelliklerine sahip olduğundan dolayı, bu bölgede alev segmanının genleşmesini de azaltarak liner bölgesi ile temas sonucu gerçekleşebilecek bir aşınmanın önüne geçilmektedir.

Şekil 1.2’de güncel olarak kullanılan alüminyum pistonlardan bir örnek görülmektedir. Bu pistonda piston tepe bölgesine, yanmayı optimize etmek için, özel bir yüzey verildiği görülmektedir. Ayrıca, pistonda oluşan ısıyı, soğutma yağına aktarmak için bir yağ galerisi kullanıldığı görülebilmektedir.



Şekil 1.2: Alfin bölgesi içeren alüminyum piston kesit görünümü [2]

Piston parçası, motorda güç aktarımının yanında iyi sızdırmazlık özelliklerini de bünyesinde barındırmalıdır. Bu nedenle bünyesinde genellikle üç segman bulundurur. Bu segmanlar sırasıyla: alev segmanı, kompresyon segmanı ve yağ segmanıdır.

Bir motorda, piston parçasından beklenen özellikler şu şekildedir:

- Yanma ile açığa çıkan enerjinin aktarımını sağlamak
- Yanma odasının boyutlarını sınırlandırmak
- Sızdırmazlık sağlamak
- Yanma odasında oluşan yüksek ısıyı absorbe etmek,
- Üst yüzeyi sayesinde (piston crown) yanma verimini arttırmak.

Piston parçasının bu isterleri sağlaması için; yeterli yapısal dayanıma, düşük sürtünme özelliklerine, değişken koşullarda çalışabilme özelliğine, yüksek aşınma dayanımına, düşük yağ tüketimine, yapısal özelliklerini etkilemeyecek kadar düşük kütleye sahip olması gerekmektedir [1].

İçten yanmalı motorlarda, piston parçası, yanmanın olduğu bölge ile doğrudan temas halinde bulunduğu için, yüksek sıcaklık ve basınçlara maruz kalmaktadır. Bu parçanın üretilip motora takılmasından önce bilgisayar ortamında analizlerle değerlendirilmesi, maliyet anlamında çok büyük avantaj sağlamaktadır.

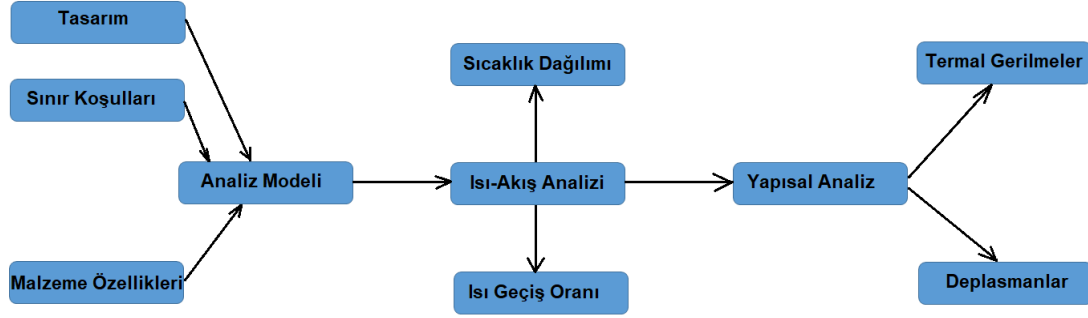
1.1 Tezin Amacı

Piston tasarımı, pistonda oluşacak maksimum sıcaklıklar ve termal gerilmeler açısından büyük önem arz etmektedir. Özellikle yağ galerisinin bulunduğu pistonlarda yağ galerisinin tipi, galerinin konumu, galeri boyutları gibi değişkenler, pistondan soğutma yağına geçen ısıyı ve pistonda oluşan maksimum sıcaklıkları doğrudan etkileyen temel parametrelerdir. Pistonda yağ galerisinin kullanılmasının gerekli olup olmadığı da üretim zorluğu ve maliyet açısından ayrıca değerlendirilmesi gereken bir durumdur.

Bu çalışma kapsamında yağ galerisinin olmadığı durum, yağ galerisinin farklı eksenel konumlarda bulunduğu durumlar ve dalgalı yağ galerisi modellerinin pistondaki termal ve yapısal etkileri incelenmiştir. Pistonda oluşan maksimum sıcaklık, soğutma yağı çıkış sıcaklığı, soğutma yağına geçen ısı oranı ve termal gerilmeler gibi sonuçlar baz alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Amaç, yağ galerisinin konumunun ve tipinin, pistonda oluşan maksimum sıcaklıklara, soğutma yağına aktarılan ısı oranına, pistonda oluşan termal gerilmelere etkisini incelemektir.

Bu amaç kapsamında Siemens NX programıyla üç boyutlu modeller oluşturulmuştur. Modeller analize aktarılıp, sınır koşulları ve malzeme bilgileri de eklenerek analizler gerçekleştirilmiştir. Pistonun termal analizi ve yağ galerisinde gerçekleşen akış analizi, Fluent yazılımında eş zamanlı gerçekleştirilmiştir. Fluent analizleri sonucunda soğutma yağına geçen ısı oranı, pistondaki sıcaklık dağılımı, pistondaki sıcaklık dağılımı elde edilmiştir. Sonrasında pistonun bütün yüzeylerindeki sıcaklık dağılımı Ansys Thermal modülüne aktarılmıştır. Sonraki adımda, piston katı malzemesinde içerisindeki sıcaklık dağılımı, Ansys Mechanical modülüne aktararak, pistonda oluşan gerilme ve deformasyon dağılımlarına ulaşılmıştır.

Şekil 1.3'te bu yüksek lisans bitirme tezi kapsamında yapılan çalışmaları gösteren akış şeması görülmektedir. Piston tasarımı sonucu oluşan piston geometrileri, sınır koşulları ve malzeme özellikleri, analizlere girdi oluşturmaktadırlar. Isı-akış analizleri, sıcaklık dağılımlarını elde etmemizi sağlarken, yapısal analizler de pistondaki gerilme ve deformasyonları elde etmemize imkan sağlamıştır.



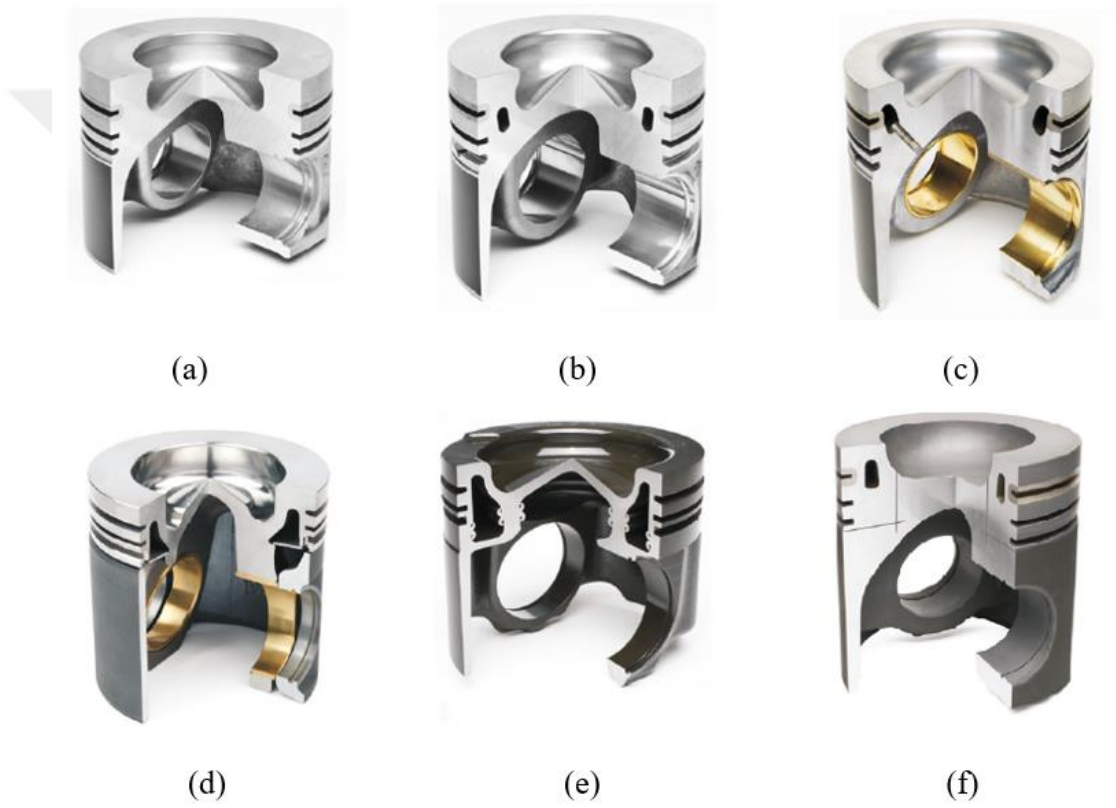
Şekil 1.3: Akış şeması

1.2 Piston Tasarımı

Piston üretimi ve tasarımı oldukça karmaşık bir konudur. Çünkü piston üretimi ve tasarımı, çok az sayıda firma tarafından gerçekleştirilmektedir [3]. Piston tepe yüzey geometrisi, optimum yanma verimini sağlayacak şekilde olmalıdır. Piston segmanları ve fıçı geometrisi, gerekli yağlama isterlerini ve piston ile liner bölgesi arasında sızdırmazlığı sağlamalıdır. Piston kütlesi optimum seviyede tutulmalıdır. Pistondaki yağ galerisinin boyutları ve konumu yağa olan ısı geçişini uygun seviyelerde tutarak, pistonda oluşabilecek maksimum sıcaklığı, pistonun çalışabileceği sıcaklık değerlerinin altında tutmalıdır.

Piston tasarımında piston malzemesi büyük öneme sahiptir. Piston malzemesi üretim açısından pistonun geometrisini doğrudan etkilemektedir. Çelik pistonlarda minimum et kalınlıkları 2 mm değerlerine kadar düşebilirken, alüminyum pistonlarda bu değer daha yüksek olmak zorundadır. Çünkü alüminyum malzemelerin mukavemet özellikleri, çelik malzemelere göre daha düşük olmaktadır.

Şekil 1.4, günümüzde yaygın olarak kullanılmakta olan piston örneklerini göstermektedir. Şekil 1.4a, yağ galerisinin olmadığı bir piston örneği olmakla birlikte, diğer piston örneklerinin tamamında yağ galerisi kullanıldığı görülmektedir. Şekil 1.4c ve şekil 1.4d, piston piminin geçeceği bölgede burçlar içermektedir. Bu burçlar, piston piminin hareketinden dolayı oluşacak aşınmanın pistona zarar vermesini önlemektedir. Aşınmanın burç parçalarında olması amaçlanmakta ve periyodik bakımlarla pistonun değişimi yerine, daha kolay üretilen ve daha ucuz olan burç parçalarının değişimi yapılmaktadır. Şekil 1.4e’de ise, sürtünme kaynağı yöntemiyle üretilen bir çelik piston örneği görülmektedir.



Şekil 1.4: Güncel piston örnekleri [4]

Dizel pistonlarda genellikle %10-12 silisyum alaşımlı alüminyum malzeme kullanılır. Yüksek silisyum oranı, alüminyum alaşımına düşük termal genleşme özelliği kazandırır [3].

Piston malzemesine ek olarak, pistondaki en önemli parametrelerden biri de piston çapıdır. Piston çapı, motordaki silindir hacmi, sıkıştırma oranı, güç gibi birçok özelliği doğrudan etkileyen bir parametredir. Literatürde önerilen piston boyutları, piston çapına bölünmüş halde, boyutsuz olarak tanımlanmaktadır.

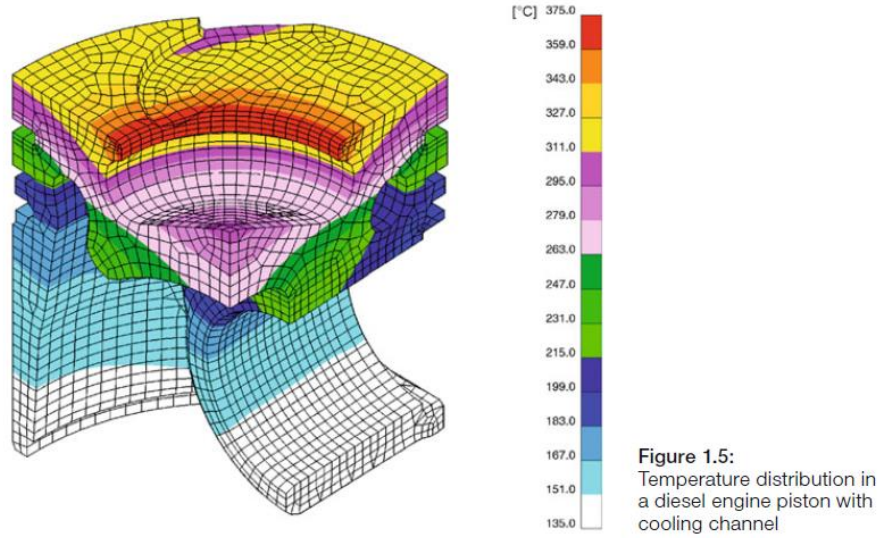
Piston çapına ek olarak, piston piminin çapı ve konumu, piston boyu, piston segman bölgelerinin konumu da, piston tasarımııı doğrudan etkileyen parametrelerdir.

Satishkumar ve arkadaşlarının makalesindeki hesaplamalar dikkate alınarak 160 mm çapında, Mahle 174+ malzemeye sahip bir piston tasarlanarak, elde edilen piston geometrisi, gerçekleştirilecek olan analizlere girdi oluşturmuştur.

1.3 Isı-Akış Analizleri ve Yapısal Analizler

Termal sistemlerde yapılan analizlerde elde edilmek istenen en nihai sonuç sistemdeki sıcaklık dağılımıdır. Sıcaklık dağılımı bilindiği durumda, ısı geçişleri ve termal gerilmeler kolaylıkla elde edilebilir. Motorda oluşacak sıcaklık artışıyla beraber piston parçası genleşmeye başlayacaktır. Fakat, sınır koşullarından dolayı bu genleşme sınırlandırılacak ve termal gerilmeler ortaya çıkacaktır. Termal gerilmeler, pistonun mukavemeti ve çalışma ömrü açısından dikkate alınması gereken değerlerdir.

şekil 1.5'te, yağ galerisi bulunan bir dizel motor pistonunda sıcaklık dağılımının kesit alınmış durumu görülmektedir. Piston tepe bölgesinde bölgesel olarak 375 °C gibi yüksek sıcaklıklar oluştuğu görülmektedir. Piston tepe yüzeyi, motordaki yanma odasının alt sınırını oluşturduğu için, bu bölgenin, pistondaki en yüksek sıcaklıklara sahip olması beklenen bir durumdur. Pistonun etek bölgesi ise, piston parçasının yanma odasından en uzak bölgesi olduğu için, düşük sıcaklıklara sahip olduğu görülmektedir. Bu bölgede sıcaklıkların 135 °C ile 187 °C arasında değiştiği ve piston tepesine yaklaşıldıkça, sıcaklıkların arttığı görülmektedir.

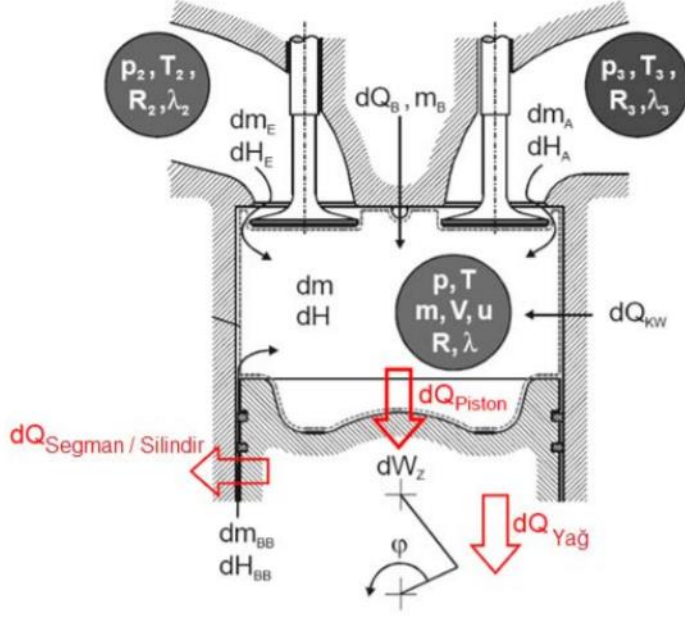


Şekil 1.5: Piston sıcaklık dağılımı [4]

Güncel alüminyum pistonlarda, yüksek silisyum oranlı alüminyum alaşımları kullanılmaktadır. Çelik malzemeler, alüminyum malzemelerin yaklaşık üç katı yoğunluğa sahiptir. Bu nedenle alüminyum malzemelerin kullanımı, içten yanmalı bir motorda, kütle açısından büyük avantaj sağlamaktadır. Kütle açısından büyük avantaj sağlamakta olsalar da, alüminyum malzemeler, çelik malzemeler kadar yüksek mukavemet özelliklerine ve ısıl dayanım özelliklerine sahip değildir. Bu nedenle piston tasarımı, alüminyum pistonlarda daha kritik bir öneme sahip olmaktadır. Alüminyum malzemenin, çelik malzemelere göre daha yüksek genleşme katsayısına sahip olduğu düşünüldüğünde, piston ile liner arası mesafenin belirlenmesi, segman bölgelerinin tasarımı ve etek bölgesinin tasarımı, çelik pistonların tasarımına göre daha kritik bir hal almaktadır.

Pistondaki sıcaklık dağılımının elde edilmesi, termal gerilmelerin ve genleşme miktarlarının elde edilebilmesi piston tasarımında büyük kolaylık sağlamaktadır.

Motordaki yanma reaksiyonu sonucunda, kimyasal enerjinin bir kısmı mekanik enerjiye çevrilirken, büyük bir bölümü ısıya dönüşmekte ve bu ısı pistona, liner bölgesine ve motor bloğuna aktarılmaktadır. Şekil 1.6, yanma odasında gerçekleşen ısı geçişini göstermektedir. Açığa çıkan enerjinin, pistona ısı olarak geçen miktarı %6 ile %8 değerleri arasında olmaktadır [2].



Şekil 1.6: Yanma odasındaki ısı geçişi [5]

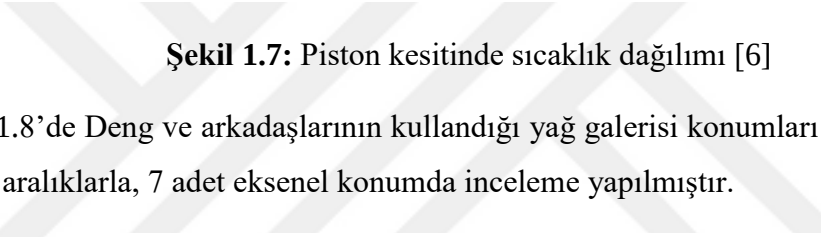
Piston içerisindeki ısı iletimini ve soğutma yağına geçen ısı geçişini modellemek için Ansys Fluent 19.2 yazılımı kullanılmıştır. Pistondaki sıcaklık dağılımı elde edildikten sonra, sıcaklık dağılımı Ansys Structural modülüne aktarılarak termal gerilmeler ve deformasyonlar hesaplanmıştır.

1.4 Literatür Araştırması

Literatürde pistonların termal ve akış analizleriyle ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. 1940'lı yıllardan itibaren bu çalışmalar başlamış ve sonlu elemanlar yöntemlerinin gelişmesi ve bilgisayarların işlem gücünün artmasıyla beraber, 1980'li yıllardan itibaren çalışmalar giderek yoğunlaşmıştır.

Deng ve arkadaşları, dizel motor pistonunda yağ galerisinin eksenel konumunun etkisini incelemişlerdir. Yağ galerisinin konumu, pistonun tepe yüzeyine yaklaştıkça, pistonda oluşan maksimum sıcaklıklarda düşüş gözlenmiştir. Bu çalışmada, yağ akışını modellenmeyip, yağ galerisi yüzeyine taşınım sınır koşulu tanımlanmıştır.

Şekil 1.7'de Deng ve arkadaşlarının çalışmalarında elde ettiği sıcaklık dağılımı görülmektedir. Piston tepe yüzeyinde 323.6 °C sıcaklık değerlerinin olduğu görülmektedir. Pistonun etek bölgesinde ise sıcaklıkların 127 °C seviyelerinde olduğu görülmektedir. Yağ galerisi yüzeyinde sıcaklıkların en fazla 239 °C seviyelerinde



9

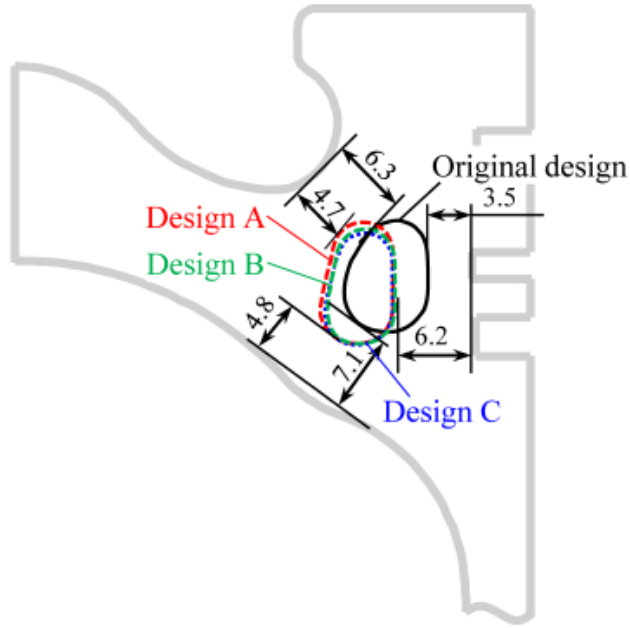
Çizelge 1.1’de, yağ galerisinin piston tepesine olan mesafesi azaldıkça, piston tepesinde oluşan 280 °C oluşan sıcaklıkların 263 °C seviyelerine indiği görülmektedir. Pistondaki sıcaklık dağılımında düşüş gözlemlenirken, yağ galerisinin konumu, tepe yüzeyine yaklaştığı için, galeri yüzeyinde sıcaklıkların arttığı gözlemlenmiştir. Bu durumun başlıca nedeni, yanma odasının alt yüzeyi olan piston tepesi ile yağ galerisi arasındaki mesafenin azalmış olmasıdır. Bu mesafenin azalması, iki yüzey arasındaki ısı iletimini arttırmaktadır.

Çizelge 1.1 : Deng ve arkadaşlarının elde ettiği sonuçlar [6].

Şema Adı	H (mm)	Kase Rimi (°C)	Piston Tepesi (°C)	Alev Segmanı (°C)	İkincil Bölge (°C)	Yağ Galerisi (°C)	L (mm)
Şema 1	18.5	327	280	235	220	229	7.7
Şema 2	16.5	325	278	233	218	231	6.7
Şema 3	14.5	323	277	232	216	239	5.6
Orjinal	12.5	321	275	229	214	248	4.6
Şema 4	10.5	319	272	226	211	257	3.6
Şema 5	8.5	317	269	222	208	268	2.6
Şema 6	6.5	314	263	218	206	271	1.8

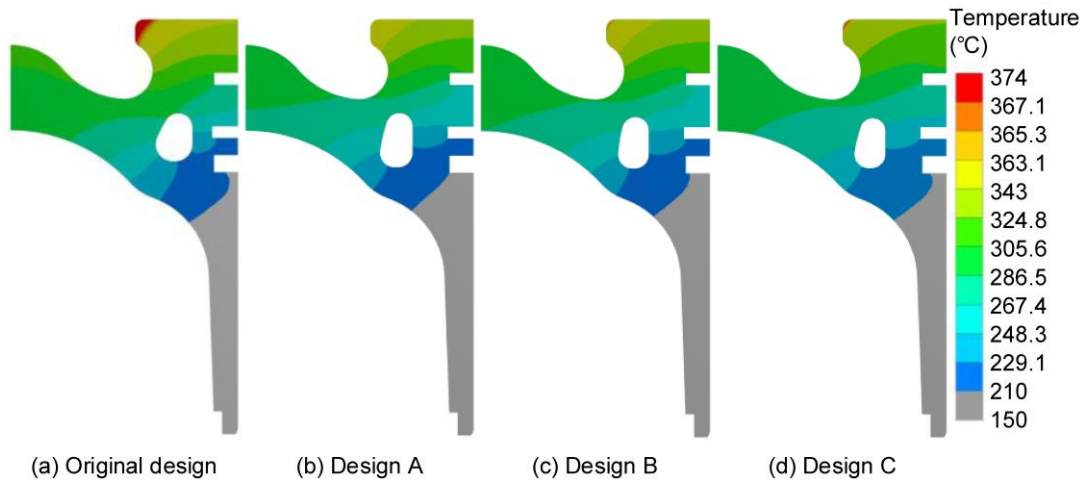
Başka bir çalışmada, Deng X. ve arkadaşları, yağ galerisinin boyutlarının optimizasyonu ve konumuyla ilgili çalışmalar yapmışlardır. Yağ galerisinin piston tepe yüzeyine en yakın olduğu durumda maksimum sıcaklıklarda azalma görülmüştür. Çalışmalarında tek fazlı akış analizleri gerçekleştirmişlerdir. Yağ galerisinin konumunun etkisini incelerken, pistondaki et kalınlığı değerini en az 3.5 mm olarak belirlemişlerdir.

Şekil 1.9’da galeri konumunun optimizasyonu sonucunda elde edilen sonuçlardaki ve ilk tasarımdaki yağ galerisinin konumları görülmektedir. Optimum galeri konumunun ve boyutlarının, ilk tasarıma göre oldukça değiştiği görülmektedir. Optimum sonuçlardaki yağ galerisi konumları, piston tepe yüzey geometrisine yaklaşmaktadır. Bu durumda minimum et kalınlığı ise 4.7 mm olmaktadır.



Şekil 1.9: Deng X. ve arkadaşlarının çalışmalarındaki galeri konumları [7]

Şekil 1.10’da Deng X. ve arkadaşlarının elde ettiği sıcaklık dağılımları görülmektedir. Optimum üç tasarımındaki sıcaklık dağılımının, ilk tasarımlarına göre azaldığı görülmektedir. İlk tasarımlarında piston tepesinin rim bölgesinin tamamında 374 °C gibi sıcaklıklar gözlemlenirken, optimum tasarımlarda ise bu bölgede 367 °C sıcaklık değerlerinin altında sıcaklık dağılımı elde edildiği görülmektedir.

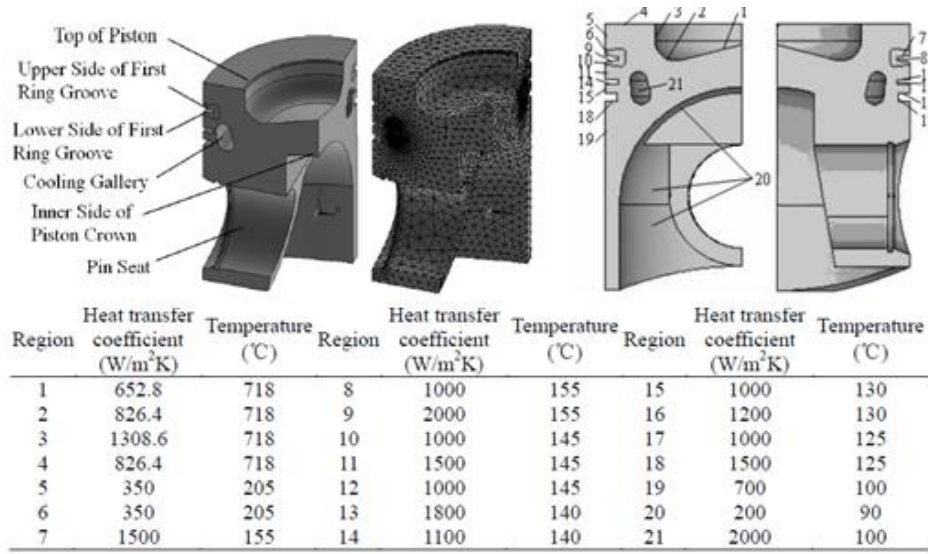


Şekil 1.10: Deng X. ve arkadaşlarının elde ettiği sıcaklık dağılımları [7]

Liu ve arkadaşları, pistondaki yağ galerisinin, eksenel ve radyal konumunun etkisini, akış analizi olmadan, piston yüzeylerine taşınım sınır koşulu tanımlayarak incelemişlerdir. Çalışmalarında, yağ galerisinin eksenel konumunun, pistonda

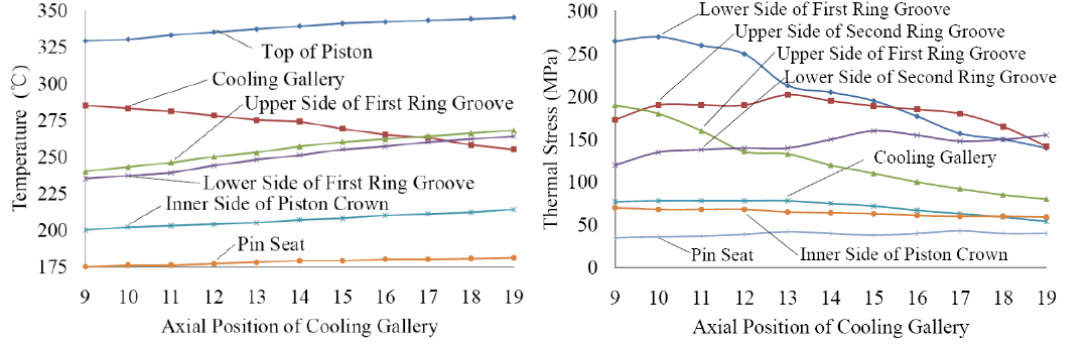
oluşacak maksimum sıcaklığa etkisinin, radyal konum etkisine göre daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Ek olarak, piston malzemesine bağlı olmakla birlikte, piston dış yüzeyleriyle yağ galerisi sınırları arasında belirlenecek bir et kalınlığı değerinin altına düşmemek gerektiğini, aksi durumda ise termal gerilmelerde artış gözlemleneceğini belirtmişlerdir.

Şekil 1.11’de Liu ve arkadaşlarının kullandığı taşınım sınır koşulları görülmektedir. Piston parçasının 21 farklı bölgesinde, değerleri birbirinden farklı olan taşınım sınır koşulları tanımlanmıştır.



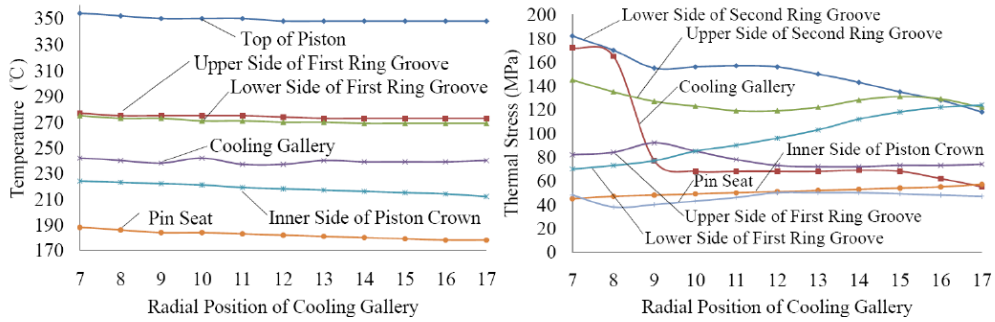
Şekil 1.11: Liu ve arkadaşlarının kullandığı sınır koşulları [8]

Şekil 1.12’de, Liu ve arkadaşlarının çalışmaları sonucunda, yağ galerisinin aksenel konumuna bağlı olarak elde ettikleri sıcak dağılımları ve termal gerilmeler görülmektedir. Yağ galerisinin konumu, piston tepe yüzeyine yaklaştıkça, pistondaki sıcaklıklarda genel olarak azalma meydana gelmektedir. Yağ galerisi yüzeyinde ise sıcaklıkların 250 °C seviyelerinden, 280 °C değerlerine kadar yükseldiği görülmektedir. Yağ galerisi ile piston tepe yüzeyi arası mesafe azaldıkça, termal gerilmelerde artış görülmektedir. Bunun nedeni, yağ galerisi konumunun değişimi ile birlikte, pistonun geometrik yapısının değişmesidir.



Şekil 1.12: Liu ve arkadaşlarının çalışmaları sonucundaki, galeri eksenel konumuna göre oluşan sıcaklıklar ve termal gerilmeler [8]

Şekil 1.13'te yağ galerisinin konumunun radyal olarak değişimi sonucunda meydana gelen sıcaklık ve termal gerilme değerleri görülmektedir. Radyal konum değişimi ile sıcaklık dağılımında büyük bir etki gözlemlenmezken, termal gerilmelerde büyük değişiklikler meydana gelmektedir. Yağ galerisinde oluşan termal gerilmeler 60 MPa seviyelerinden, 170 MPa değerinin üzerine çıkabilmektedir. Bu durumun sebebi, yağ galerisinin konumu değişikçe, piston yüzeyleri ile yağ galerisi yüzeyi arasındaki et kalınlığının değişmesidir. Minimum et kalınlığı değeri, pistonda oluşan gerilme dağılımını etkileyen temel parametrelerden biri olmaktadır.

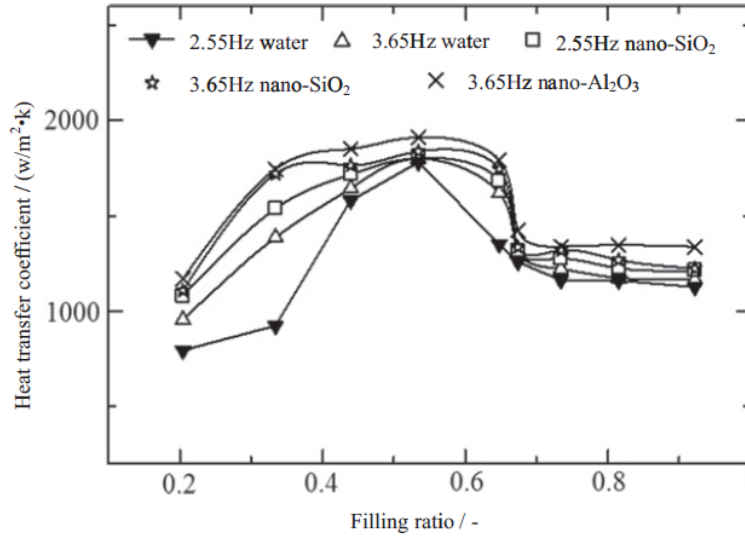


Şekil 1.13: Liu ve arkadaşlarının çalışmaları sonucundaki, galeri radyal konumuna göre oluşan sıcaklıklar ve termal gerilmeler [8]

Wang ve arkadaşları, soğutma yağına eklenen nano akışkanların, yağ galerisindeki ısı transferine etkisini incelemişlerdir. Yağ ve nano akışkanların akış analizini çift fazlı olarak modellemişlerdir.

Şekil 1.14'te Wang ve arkadaşlarının çalışmaları sonucunda elde edilen, yağ galerisi yüzeyindeki ısı transfer katsayıları görülmektedir. Aynı koşullarda, eklenen nano Al_2O_3 akışkanı, SiO_2 ve su akışkan malzemelerine göre daha yüksek ısı transfer

katsayısına sahip olmaktadır. Bu durum, nano akışkanların, pistondan soğutma yağına olan ısı transferini iyileştirdiğini göstermektedir.



Şekil 1.14: Wang ve arkadaşlarının çalışmalarındaki yağ galerisi yüzeyindeki ısı transfer katsayısının dolum oranına ve eklenen akışkana göre değişimi [9]

Wang ve arkadaşları, diğer bir çalışmalarında bakır yağ nano akışkanının ve elmas yağ nano akışkanının pistondaki ısı transferine etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmalarında akış modelini çift fazlı olarak incelemişlerdir.

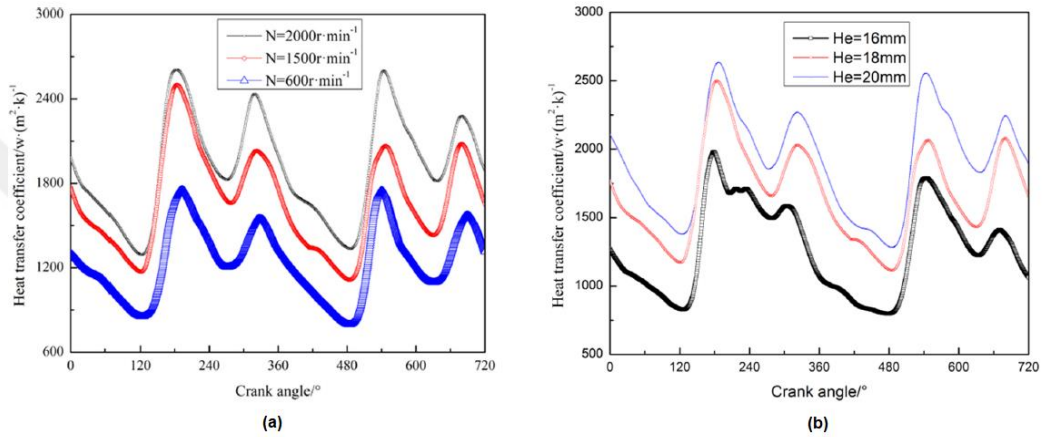
Çizelge 1.2’de Wang ve arkadaşlarının çalışmalarının sonucunda, ısı transfer katsayısının değişimi görülmektedir. Nano akışkan eklenmediği durumda, yağ galerisi yüzeyindeki ortalama ısı transfer katsayısı 2338 W/m²K değerindedir. Yağ galerisi yüzeyindeki ısı transfer katsayısının, %3 elmas yağ nano akışkanı eklendiğinde %91.71 kadar artış gözlemlenmektedir.

Çizelge 1.2 : Wang ve arkadaşlarının çalışmalarındaki nano akışkan tipine ve yüzde oranına bağlı olarak ısı transfer katsayısının değişimi [10].

Soğutma yağı	Üst yüzey	Alt yüzey	Dış yüzey	İç yüzey	Ortalama
%1 bakır	3027	2627	3108	2920	2921
%2 bakır	2392	2902	3432	3072	3175
%3 bakır	3509	3100	3703	3289	3400
%1 elmas	3367	2910	3474	3154	3226
%2 elmas	3969	3578	4263	3798	3902
%3 elmas	4613	4089	4916	4310	4482

Deng ve arkadaşları, yağ galerisindeki akışı farklı motor devirlerinde ve farklı hidrolik çaplarda incelemiştir. Motor devrindeki ve yağ galerisi hidrolik çapındaki artış, ısı transferini iyileştirdiği gözlemlenmiştir.

Şekil 1.15'te Deng ve arkadaşlarının çalışmalarında, yağ galerisi yüzeyindeki ısı transfer katsayısının değişimi görülmektedir. Şekil 1.15a'da 600, 1500 ve 2000 devirlerde ısı transfer katsayısının motor devrine bağlı olarak arttığı görülmektedir. Şekil 1.15b'de ise yağ galerisi kesitinin hidrolik çapındaki 4 mm artışın, yağ galerisi yüzeyindeki ısı transfer katsayısını %30'a kadar arttırdığı görülmektedir.



Şekil 1.15: Deng ve arkadaşlarının çalışmalarında ısı transfer katsayılarının krank açısına bağlı değişimi [11]

1.5 Tezin Özgün Değeri

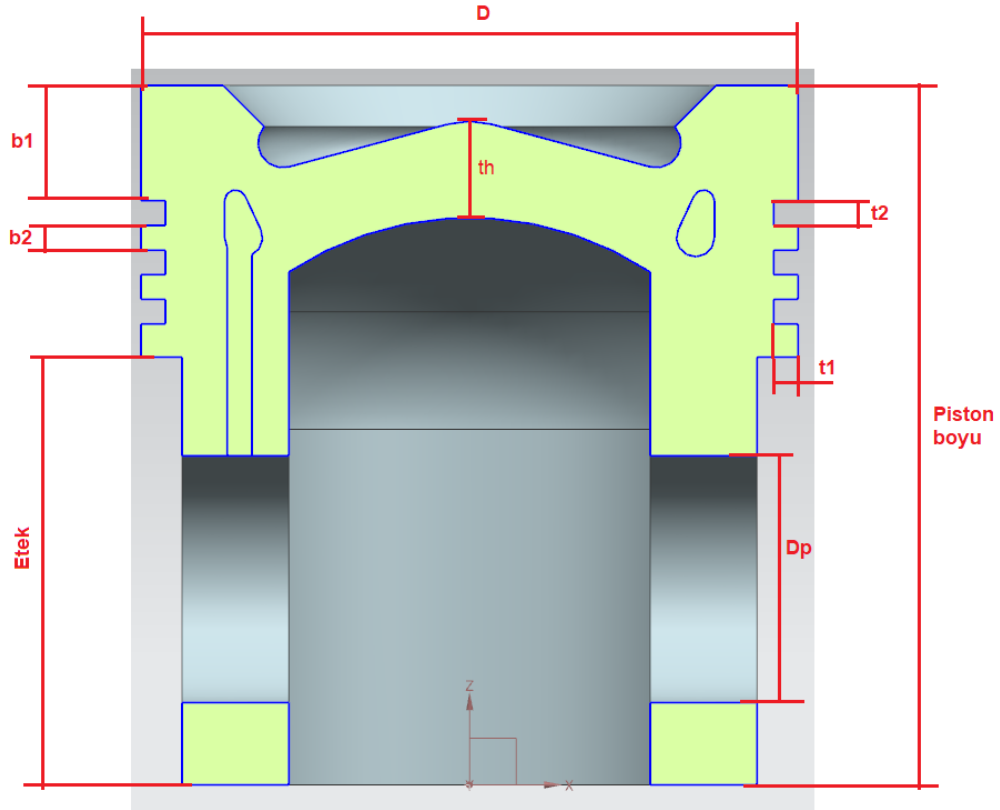
Literatürdeki çalışmalarda, pistonda yer alan yağ galerisinin eksenel konumu incelenirken, yağ akışı modellenmeden, yağ galerisi yüzeyine taşınım sınır koşulu verilerek incelemeler yapılmıştır. Bu çalışmada ise pistondaki ısı iletimi ile yağ galerisindeki akış birlikte çözülmüştür ve eksenel konumun etkisi bu şekilde kıyaslanmıştır. Ek olarak, üst yüzeyi dalgalı forma sahip özgün yağ galerileri modelleri oluşturularak analizlere dahil edilmiştir.



2. PİSTON TASARIMI

Piston tasarımı için 160 mm çap ve Mahle 174+ malzeme belirlendikten sonra, Satishkumar ve arkadaşlarının makalesindeki [12] hesaplamalar yapılarak piston tasarımı gerçekleştirilmiştir. Yanma odasında oluşabilecek en yüksek basınç 150 bar (15 MPa) olarak öngörülmüştür.

Şekil 2.1’de, piston bölgelerinin boyutlarını belirten parametreler görülmektedir. Bu boyutlar, ilk tasarım için önerilen hesaplarla belirlenmiştir.



Şekil 2.1: Piston boyutları

Piston baş kalınlığı (th):

$$th = D \sqrt{\frac{3P}{16\sigma_t}} \quad (2.1)$$

D=160 mm piston çapı

P=15 MPa (pistonun çalışacağı maksimum basınç)

$\sigma_t = 240$ MPa (Mahle 174+ ortalama çekme dayanımı)

Denklem 2.1'e göre, tasarlanacak olan pistonda, piston tepesi kalınlığı en az 17.3 mm olmalıdır. Güvenli bölgede kalmak adına tasarımda bu mesafe 22 mm üzerinde tutulmuştur.

Radyal ring kalınlığı (t1):

$$t1 = D \sqrt{\frac{3 \times P_w}{\sigma_t}} \quad (2.2)$$

P_w : Silindir duvarındaki basınç (0.042-0.0667 N/mm² arasında sınırlandırılmıştır)

Bu hesaba göre radyal ring kalınlığı en az 4.62 mm olmalıdır. Tasarımda bu değer 6 mm olarak alınmıştır.

Eksenel ring kalınlığı (t2):

$$t2 = 0.7 \times t1 \quad (2.3)$$

Eksenel ring kalınlığı 3.23 mm değerinden büyük olmalıdır. Tasarımda bu değer 6 mm alınmıştır.

Üst bölge kalınlığı (b1):

Bu kalınlık t_h ile $1.2t_h$ değerleri aralığında alınabilir. Tasarımda $b1 = 28$ mm alınmıştır.

Ringler arası bölge kalınlığı (b2):

Bu kalınlık $0.75t2$ ile $t2$ arasında alınabilir. Tasarımda $t2 = 6$ mm alındığı için $b2$ değeri de 6 mm alınmıştır.

Piston Boyu:

Piston boyu $0.8D$ ile $1.2D$ arasında alınabilir. Tasarımda piston boyu 170 mm alınmıştır.

Piston pim çapı (D_p):

Piston pimi çapı $0.3D$ ile $0.45D$ aralığında alınabilir. Tasarımda piston pimi çapı önerilen değerler arasında kalan 60 mm olarak belirlenmiştir.

Yağ galerisi için kolbenschmidt tipi yağ galerisi belirlenerek tasarlanmıştır. Yağ galerisinin duvarlarından diğer yüzeylere olan et kalınlıkları 6 mm'nin altına düşülmemiştir.





3. ISI-AKIŞ ANALİZLERİ VE YAPISAL ANALİZLER

Gerçekleştirilen analizlerde aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır:

- Akış zamana bağlıdır.
- Akış türbülanslıdır.
- Soğutma yağının viskozitesi sıcaklığa bağlı olarak değişirken, yoğunluğu sabittir.
- Piston malzemesinin özgül ısı, ısı letim katsayısı vb diğer özellikleri sabittir.

3.1 Yönetici Denklemler

Fluent yazılımı bir ısı-akış çözücüsüdür. Arka planda temel olarak süreklilik denklemi, momentum denklemleri ve enerji denklemi çözmektedir. İdeal gaz varlığında ideal gaz denklemi de denklemlere eklenir. Türbülanslı akış çözümlerinde bu denklemlere ek olarak kullanılan türbülans modelinin denklemleri de eklenerek çözüm yapılır [13].

- Süreklilik Denklemi:

Akış problemleri Euler kontrol hacmi belirlenerek çözümlenir. Euler kontrol hacminde giren kütle ve çıkan kütle birbirine eşit olmalıdır. Buna süreklilik ya da kütle korunumu denir. Kütle korunumu şu şekilde ifade edilebilir:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (3.1)$$

- Momentumun Korunumu Denklemi (Navier-Stokes):

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = & -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \right) \right] \\ & + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u_i' u_j'}) \end{aligned} \quad (3.2)$$

$-\overline{\rho u_i u_j}$ terimi Reynolds gerilme tensörü olarak adlandırılır.

- Enerjinin Korunumu Denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot (\vec{v}(\rho E + p)) = \nabla \cdot (k_{\text{eff}} \nabla T - \sum_j h_j J_j + (\bar{\tau}_{\text{eff}})) + S_h \quad (3.3)$$

- k- ω SST Türbülans model denklemleri:

Bu türbülans modeli standart k-e modeli ile k- ω modelinin hibrit versiyonudur. Çok sayıda akış probleminde kullanımı mevcuttur. Duvar yakını bölgelerde blending fonksiyonu, F_1 , aktif iken, yani k- ω türbülans modeli çözülüyorken, cıdardan uzak bölgelerde k-e türbülans modeli çözülmemektedir.

Duvardan uzak serbest akış bölgelerinde k-e modeli ideal bir türbülans modelidir. Viskoz sınır tabaka bölgesinde ise k- ω uygun bir modeldir [13].

Türbülans kinetik enerjisi transport denklemi:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j k)}{\partial x_j} = \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \beta^* \rho \omega k + \frac{\partial}{\partial x_j} [(\mu + \sigma_k \mu_t) \frac{\partial k}{\partial x_j}] \quad (3.4)$$

Türbülans kinetik enerjisinin yitim hızı denklemi:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j \omega)}{\partial x_j} &= \frac{\gamma}{v_t} \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \beta \rho \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_j} [(\mu + \sigma_\omega \mu_t) \frac{\partial \omega}{\partial x_j}] \\ &+ 2(1 - F_1) \frac{\rho \sigma_\omega}{\omega} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \end{aligned} \quad (3.5)$$

F_1 Blending Fonksiyonu:

$$F_1 = \tanh\left\{ \left\{ \min\left[\max\left(\frac{\sqrt{k}}{\beta^* \omega y}, \frac{500\nu}{y^2 \omega} \right), \frac{4\sigma_\omega k}{CD_{k\omega} y^2} \right] \right\}^4 \right\} \quad (3.6)$$

F_1 fonksiyonu sınır tabakada 1 değerini alır, serbest akış bölgesinde ise 0'dır.

$CD_{k\omega}$ terimi:

$$CD_{k\omega} = \max(2\rho\sigma_{\omega_2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_i} \frac{\partial \omega}{\partial x_i}, 10^{-10}) \quad (3.7)$$

Eddy Viskozitesi:

$$\nu_T = \frac{a_1 k}{\max(a_1 \omega, SF_2)} \quad (3.8)$$

F₂ Blending Fonksiyonu:

$$F_2 = \tanh\left[\left[\max\left(\frac{2\sqrt{k}}{\beta^* \omega y}, \frac{500\nu}{y^2 \omega}\right)\right]^2\right] \quad (3.9)$$

Yağ galerisindeki akıştan farklı olarak, piston katı malzemesinde sadece ısı iletim denklemi çözülmektedir. Isı iletim denklemi, enerjinin korunumu denkleminin, özel bir halidir [14].

Piston Katı Malzemesinde Isı İletimi:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) + \dot{q}_v \quad (3.10)$$

Denklem 3.10'da, $\dot{q}_v$ terimi ısı kaynağını belirtmektedir.

3.2 Malzeme Özellikleri

Daha önce birinci bölümde anlatıldığı üzere piston malzemesinin seçimi, piston tasarımı için çok önemli olmaktadır. Malzeme, piston parçasının boyutlarını doğrudan etkilemektedir. Güncel alüminyum alaşımı pistonlarda yüksek silisyum oranlı alaşımlar kullanılmaktadır. Yüksek silisyum oranı, termal genleşmeyi azaltmak için kullanılır. Günümüzde kullanılan piston malzemeleri incelenmiş ve Mahle 174+ malzemesi, yüksek mukavemet özelliklerine sahip olduğu için tercih edilmiştir.

Soğutma yağı için ise günümüzde kullanılan soğutma yağlarından biri olan SAE-15W tercih edilmiştir.

Çizelge 3.1’de Mahle 174+ malzemesinin kimyasal özellikleri görülmektedir. Kimyasal kompozisyon için belirli aralıkların verilmiş olmasının nedeni, döküm işleminin özelliklerine göre, piston üretildiğinde ortaya çıkan kompozisyonun farklı aralıklarda olmasıdır. Benzer şekilde, akma dayanımı ve çekme dayanımı gibi mekanik özellikler de kimyasal kompozisyondaki farklılıklara bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Çizelge 3.1: Mahle 174+ kimyasal özellikleri [4].

Kimyasal Formül	İçerik Yüzdesi
AlSi12Cu4Ni2Mg	11-13 Si, 3-5 Cu, 0.5-1.2 Mg, 1-3 Ni, <0.7 Fe, <0.2 Mn, <0.2 Ti, <0.2 Zn, <0.18 V

Çizelge 3.2’de Mahle 174+ alüminyum alaşımının, mekanik özellikleri verilmiştir. Döküm kalitesine göre, kimyasal kompozisyonda değişiklikler görüldüğü için, mukavemet değerleri belirli bir aralıkta belirtilmektedir.

Çizelge 3.2: Mahle 174+ mekanik özellikleri [4].

Çekme Dayanımı [MPa]	Akma Dayanımı [MPa]	Elastiklik Modülü [GPa]	Isı İletim Katsayısı [W/mK]	Genleşme Katsayısı [1/K x10 ⁻⁶]	Yoğunluk [kg/m ³]	Özgül Isı [J/kgK]
200-280 (20 °C), 100-120 (250 °C)	190-260 (20 °C), 80-110 (250 °C)	84 (20 °C), 75 (250 °C)	130 (20 °C), 142 (250 °C)	19.2 (20 °C), 21.1 (250 °C)	2770	960

Çizelge 3.3’te SAE-15W soğutma yağının sıcaklığa bağlı olarak dinamik viskozitesi ve yoğunluğu görülmektedir. Dinamik viskozite, sıcaklığa bağlı olarak büyük değişim göstermektedir. Yoğunluk değeri ise, 10 derecelik bir sıcaklık değişiminde %1’in altında değişim göstermektedir. Bu nedenle soğutma yağının yoğunluğu 847.7 kg/m³ olarak sabit alınmıştır. Benzer şekilde, soğutma yağının özgül ısısı 2100 J/kgK ve ısı iletim katsayısı 0.137 W/mK olarak sabit alınmıştır.

Çizelge 3.3: SAE-15W özellikleri [15].

Sıcaklık [K]	Dinamik Viskozite [Pa.s]	Yoğunluk [kg/m ³]
333.15	0.038071	853.9
343.15	0.026576	847.7
353.15	0.019358	841.4
363.15	0.014588	835.2
373.15	0.011316	829.1

Viskozite sıcaklığa bağlı olarak değiştiği için Fluent yazılımında, yağ viskozitesi sıcaklığa bağlı olarak, polinom şeklinde ifade edilmiştir.

Çizelge 3.4'te dinamik viskozitenin, sıcaklığa bağlı olarak, asıl değerleri ve polinom uydurulduğu durumdaki değerleri görülmektedir. Dinamik viskozitenin polinom uydurularak ifade edilmesi en fazla %0.1'lik hataya neden olurken, sabit alınması durumunda %30 değerlerine kadar hata alınabileceği görülmektedir. Bu nedenle dinamik viskozite, sıcaklığa bağlı olarak bir polinom şeklinde ifade edilmiştir.

Çizelge 3.4: SAE-15W soğutma yağının dinamik viskozitesinin polinom uydurularak sıcaklığa bağlı ifade edilmesi.

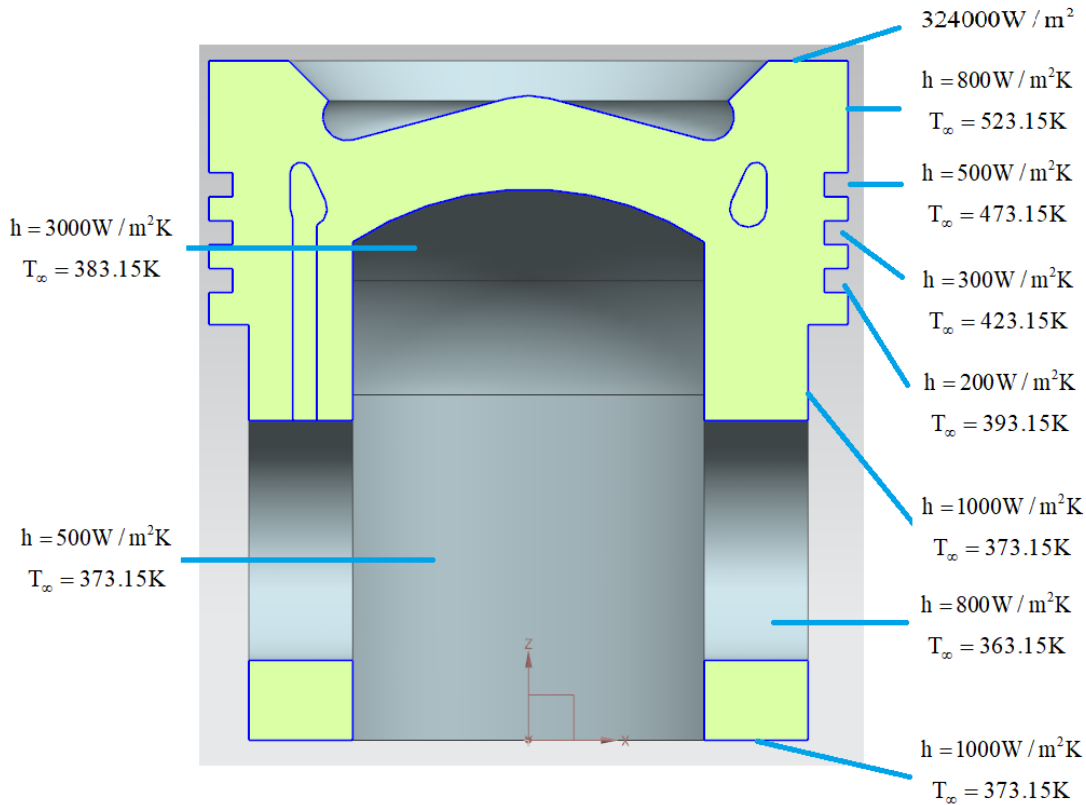
Sıcaklık [K]	Dinamik viskozite [Pa.s]	Polinom uydurma ile dinamik viskozite [Pa.s]	Hata (%)
333.15	0.038071	0.038080	0.02367
343.15	0.026576	0.026548	-0.10588
353.15	0.019358	0.019379	0.10823
363.15	0.014588	0.014572	-0.11114
373.15	0.011316	0.011314	-0.01444

3.3 Sınır Koşulları

Yapılan analizlerde, piston tepe yüzeyi dışında kalan yüzeylere ısı taşınımı sınır koşulu tanımlanmıştır. Pistonun tepe yüzeyine, yanma sonucu oluşan ısının pistona geçen oranı, ısı akısı olarak tanımlanmıştır. Yağ galerisi yüzeylerine ise herhangi bir sınır koşulu tanımlanmamıştır. Çünkü, bu yüzey akışkan ve katı malzemenin ortak yüzeyidir. Yağ galerisi girişine 0.35 kg/s kütleli debi ve galeri çıkışına 0 efektif basınç çıkışı tanımlanmıştır.

Piston tepe yüzeyine uygulanan ısı akısı hesaplanırken, dört zamanlı bir dizel motor göz önüne alınmıştır. Dört zamanlı motorlarda bir çevrim, iki devirde tamamlanmaktadır. Gerçekleşen iki devir sonucunda, yanma odası içerisine, bir kere yakıt püskürtülür. Motorumuzun dakikada 1000 devir yaptığı durumda, dakikada 500 kere yanma odası içerisine yakıt püskürtülecektir. Bu da saniyede 8.3333 kere yakıt püskürtüleceği anlamına gelir. Saniyede 8.3333 kere, 300 mg dizel yakıt püskürtüldüğünde ve geleneksel dizel yakıtın üst ısı değeri olan 45.76 MJ değeri dikkate alındığında, bir saniyede 144400 W ısı enerjisi ortaya çıkacaktır. Giriş bölümünde anlatıldığı üzere, pistonu bu ısıнын ortalama olarak %7'si aktarılacaktır. Bu durumda, pistonun tepe yüzeyine uygulanması gereken ısı akısı 324000 W/m^2 olmaktadır.

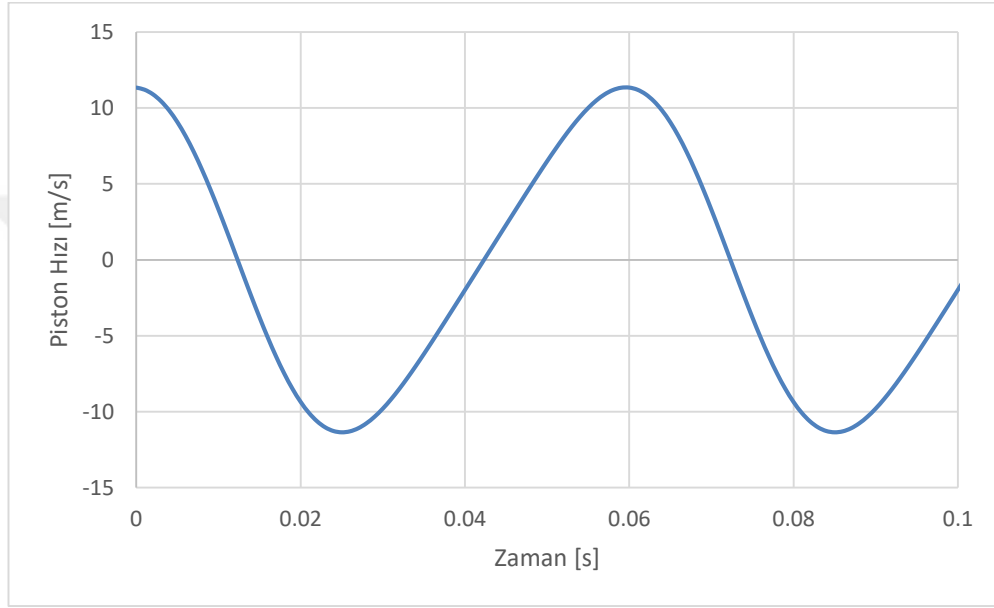
Şekil 3.1'de piston yüzeylerine uygulanan termal sınır koşulları görülmektedir. Pistonun tepe yüzeyine, ısı akısı sınır koşulu uygulanırken, diğer yüzeylerde taşınım sınır koşulu uygulandığı görülmektedir.



Şekil 3.1: Analizlerde kullanılan termal sınır koşulları

Piston parçası motor içerisinde periyodik bir hareket izlediği için, fluent yazılımında bu periyodik hareket frame motion özelliği ile tanımlanmıştır. Pistonun periyodik hareketi dakikada 1000 devir olacak şekilde ve strok uzunluğu 0.21 m olarak alınarak, piston hareketi elde edilmiştir.

Şekil 3.2’de, piston parçasının dakikada 1000 devir yaptığı durumda, hızın zamana bağlı değişimi görülmektedir. Hız değeri, 10.45 m/s ile -10.45 m/s aralığında periyodik bir şekilde değişim göstermektedir.



Şekil 3.2: 1000 rpm’de piston hızının zamana bağlı değişimi

3.4 Eleman Sayısından Bağımsız Çözümler

Yağ galerisinin bulunmadığı referans model için ve yağ galerisinin bulunduğu durum için eleman sayısından bağımsız çözümler yapılmıştır. Bu analizler, çalışmalarımızın en başında yapıldığı için piston tepe yüzeyine uygulanan ısı akısı 400000 W/m^2 alınmıştır. Daha sonrasında bu değer hesaplanarak 324000 W/m^2 olarak alınmıştır.

3.4.1 Yağ galerisinin bulunmadığı referans pistonda eleman sayısından bağımsız çözüm

Referans modelde, yağ galerisi bulunmadığı için Ansys steady-state thermal modülü kullanılmıştır. Geometri Ansys yazılımına aktarıldıktan sonra, ağ örgüsü oluşturulmuştur. Ağ örgüsünün özelliklerinde, çarpıklık değerinin 0.95 üzerinde olması veya ortogonalite değerinin 0.14’ün altında olması ağ örgüsünün kötü olduğu

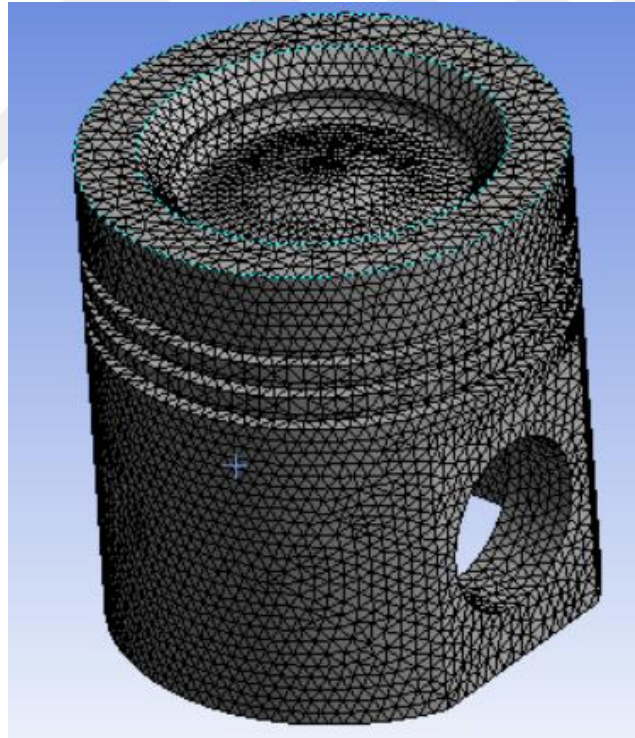
anlamına gelmektedir. Çarpıklık değerinin 0.98 üzerinde olması veya ortogonallik değerinin 0.001'in altında olması ise ağ örgüsünü kabul edilemez kılmaktadır [16].

Çizelge 3.5'te ağ örgüsü özelliklerinin sınıflandırılması görülmektedir. Çarpıklığın 0.95 değerini aşmaması ve ortogonallığın 0.14 değerinin üzerinde kalması, ağ örgüsünün kabul edilebilirliği açısından önemlidir.

Çizelge 3.5: Ağ Elemanlarının çarpıklık ve ortogonallik sınıflandırması [16].

Çarpıklık	Ortotonallik	Seviye
0.98-1	0-0.001	Kabul edilemez
0.95-0.97	0.001-0.14	Kötü
0.80-0.94	0.15-0.20	Kabul edilebilir
0.50-0.80	0.20-0.69	İyi
0.25-0.50	0.70-0.95	Çok iyi
0-0.25	0.95-1	Mükemmel

Şekil 3.3'te, yağ galerisinin bulunmadığı referans model pistonda kullanılan ağ örgüsünün perspektif görünüşü verilmiştir.



Şekil 3.3: Referans model pistonun ağ örgüsü

Şekil 3.4'te, referans modelde kullanılan ağ örgüsü özellikleri görülmektedir. Ortogonallik en az 0.24 değerinde ve çarpıklık en fazla 0.75 değerinde olduğu için, bu ağ örgüsü kabul edilebilir değerlerde ve iyi olarak tanımlanmaktadır.

Quality	
Mesh Metric	Orthogonal Quality
☐ Min	0.24167
☐ Max	0.99465
☐ Average	0.74692
☐ Standard Deviation	0.12292
Statistics	
☐ Nodes	111956
☐ Elements	71785
Quality	
Mesh Metric	Skewness
☐ Min	1.7535e-004
☐ Max	0.75833
☐ Average	0.25116
☐ Standard Deviation	0.12573

Şekil 3.4: Referans model pistondaki ortogonallik ve çarpıklık değerleri

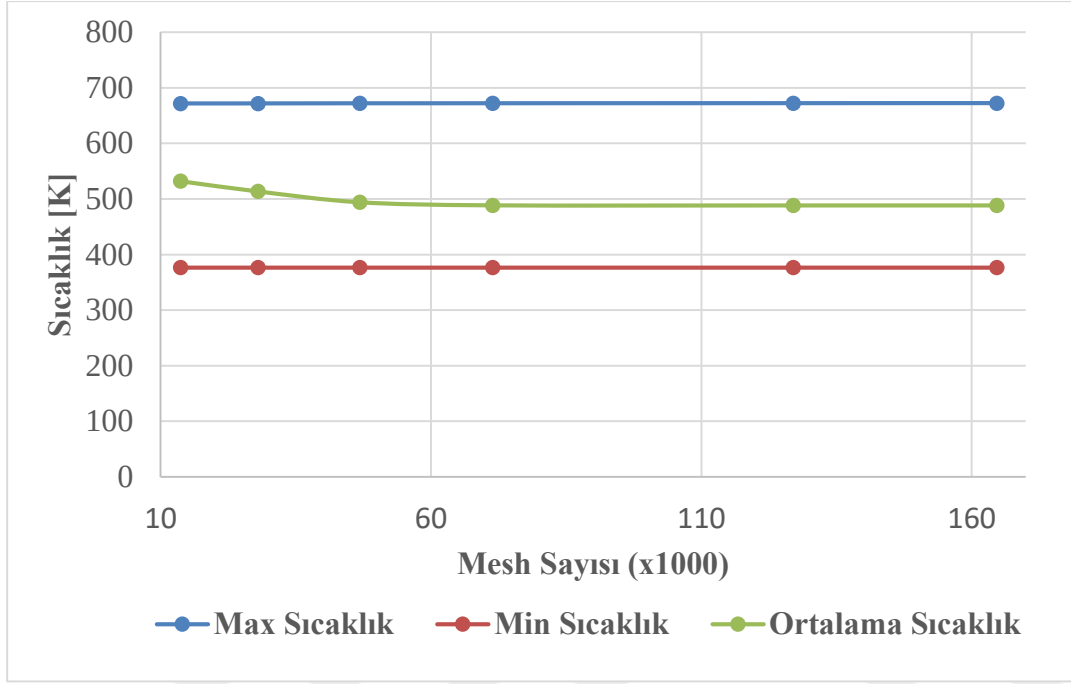
Ağ örgüsü oluşturulduktan sonra, sınır koşulları ve malzeme özellikleri tanımlanarak termal analizler gerçekleştirilmiştir. Ağ sayısından bağımsız çözüm için 13718 ile 164671 eleman sayıları arasında altı farklı analiz gerçekleştirilmiştir. Minimum sıcaklık, maksimum sıcaklık ve ortalama sıcaklık baz alınarak eleman sayısından bağımsız çözüme ulaşılmıştır.

Çizelge 3.6’da, referans model pistondaki farklı eleman sayılarına bağlı olarak maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değerleri görülmektedir.

Çizelge 3.6: Referans modelde eleman sayısından bağımsız çözüm sonuçları.

Eleman sayısı (x1000)	Maksimum sıcaklık [K]	Minimum sıcaklık [K]	Ortalama sıcaklık [K]
14	671.85	376.53	532.13
28	671.88	376.53	513.74
47	672.05	376.53	494.2
71	672.11	376.52	494.67
127	672.23	376.52	494.51
165	672.29	376.52	494.47

Şekil 3.5'te eleman sayısına bağlı olarak sıcaklıkların değişimi görülmektedir. Minimum ve maksimum sıcaklıklarda, eleman sayısı ile değişim ihmal edilebilecek miktarda olmakla birlikte, ortalama sıcaklığın, 70000 eleman sayısından sonra değişmemeye başladığı görülmektedir. Bu nedenle, eleman sayısından bağımsız çözüm için gereken eleman sayısı en az 70000 olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

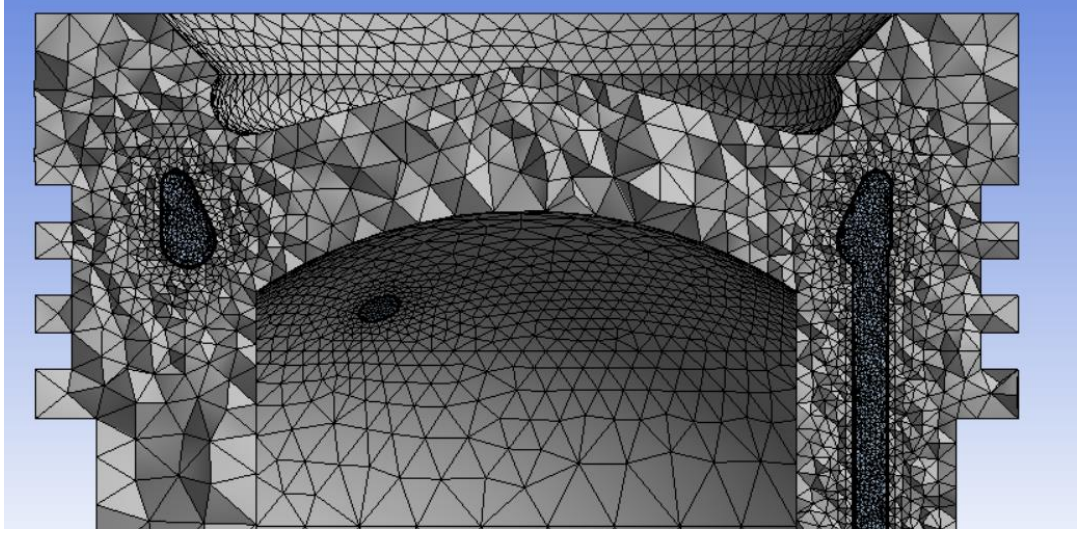


Şekil 3.5: Referans modelde sıcaklıkların eleman sayısına bağlı değişimi

3.4.2 Yağ galerili modeller için eleman sayısından bağımsız çözüm

Yağ galerili piston modellerinde yapılacak analizler için, eleman sayısından bağımsız çözüm elde edilmiştir. Bu kapsamda 400000 ile 1062000 eleman sayısı aralığında altı adet analiz yapılmıştır. Ortogonallık, çarpıklık ve boyut oranı değerlerinin kabul edilebilir sınırlarda olmasına dikkat edilmiştir. Ağ örgüsü oluşturulurken bütün modellerde, yağ galerisi yüzeyi boyunca inflation tanımlanmıştır.

Şekil 3.6'da pistondaki ve yağ galerisindeki ağ örgüsünün kesiti gösterilmiştir. Yağ galerisi yüzeylerine yaklaşıldıkça, ağ örgüsünün yoğunlaştığı görülmektedir.

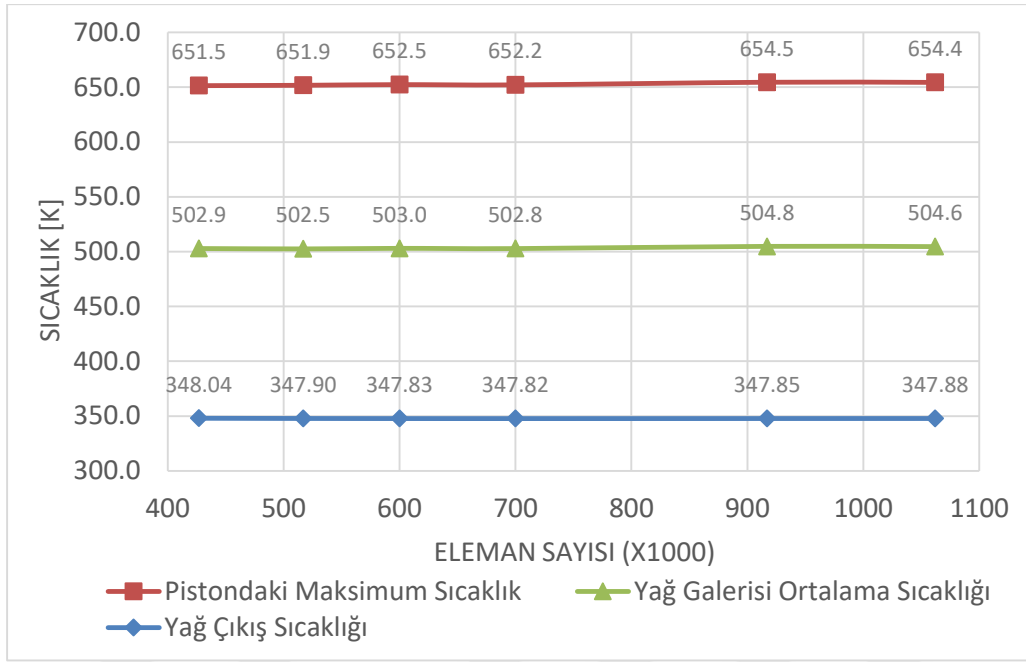


Şekil 3.6: Yağ galerisi ve pistonun kesit alınmış ağ örgüsü görünümü

Yağ galerisinin olmadığı durumda yapılan eleman sayısından bağımsızlık çalışmalarında olduğu gibi bu çalışmada da piston tepesi yüzeyine tanımlanan ısı akısı 400000 W/m^2 alınmıştır. Zaman adımı 0.001 saniye olarak sabit alınmıştır. Yağ giriş sıcaklığı 343 K değerindedir. Analizler basınç bazlı, zamana bağlı, Simplec şeması ile, en küçük kareler bazlı ve ikinci derece ayırıklaştırma seçenekleri ile gerçekleştirilmiştir. Bütün analizlerde k-w SST türbülans modeli kullanılmıştır.

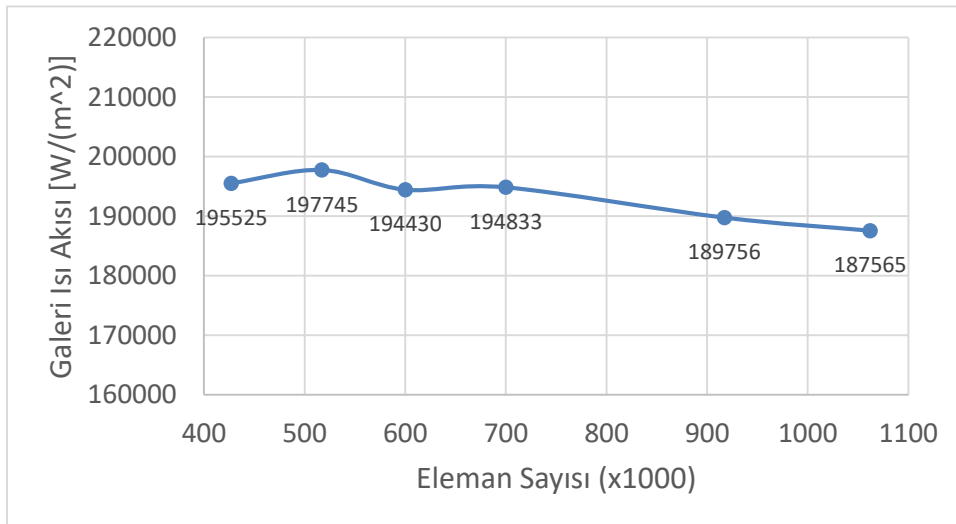
Ortalama yağ çıkış sıcaklığı, Nusselt sayısı, pistondaki maksimum sıcaklık, galeri yüzeyi ortalama ısı akısı ve galeri ortalama sıcaklığı baz alınarak, eleman sayısından bağımsız çözüm elde edilmiştir.

Şekil 3.7’de sıcaklıkların eleman sayısına bağlı olarak değişimi görülmektedir. 400000 eleman sayısı ile 1062000 eleman sayısı arasında, pistonda oluşan maksimum sıcaklıklar, yağ galerisi ortalama sıcaklığı ve yağ çıkış sıcaklığı açısından büyük değişimler meydana gelmemektedir. Bu nedenle diğer parametrelerin de incelenmesinin daha uygun olacağı düşünülmüştür.



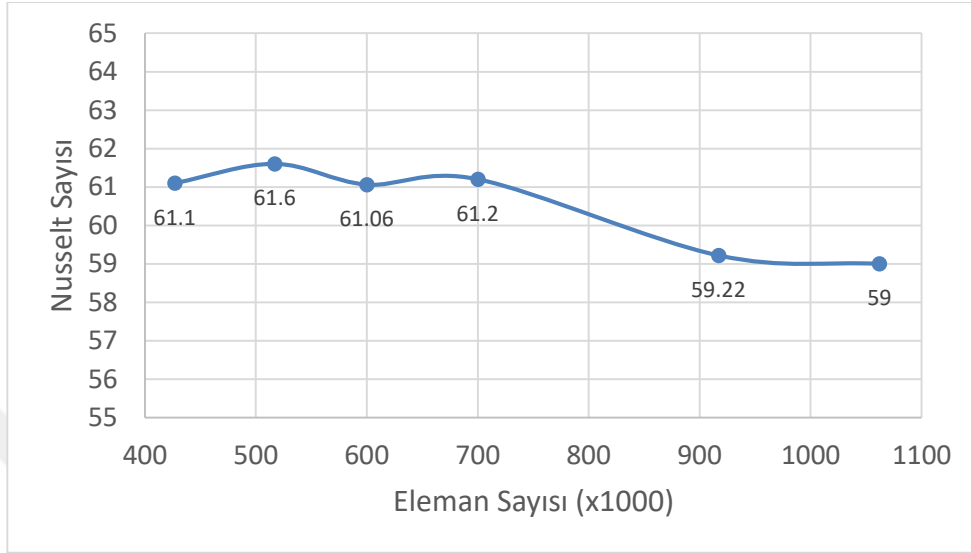
Şekil 3.7: Sıcaklıkların eleman sayısına bağlı değişimi

Şekil 3.8’de yağ galerisi yüzeyindeki ortalama ısı akısının, ağ örgüsündeki eleman sayısına bağlı olarak değişimi görülmektedir. 400000 eleman sayısı ile 1062000 eleman sayısındaki ısı akısı arasında %4’lük bir fark bulunmaktadır. 900000 ile 1062000 eleman sayısında ise aradaki fark %1’in altına düşmektedir. Daha yüksek eleman sayıları, bilgisayarların işlem gücü kısıtından dolayı incelenemediği için 1062000 eleman sayısı uygun bulunmuştur.



Şekil 3.8: Yağ galerisi ortalama ısı akısının eleman sayısına bağlı değişimi

Şekil 3.9’da galeri yüzeyindeki ortalama Nusselt sayısı değerlerinin eleman sayısına bağlı olarak değişimi verilmiştir. Nusselt sayısının, 900000 eleman sayısı ile 1062000 eleman sayısındaki değişimi %1’in altında olduğu için 1062000 eleman sayısı, eleman sayısından bağımsız çözüm için uygun bulunmuştur.

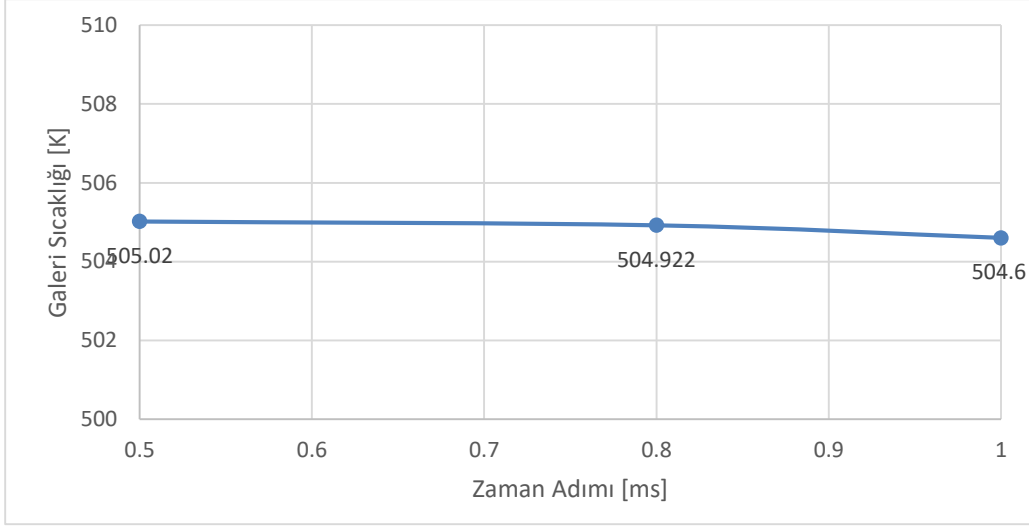


Şekil 3.9: Galeriyüzeyinde ortalama nusselt sayısının eleman sayısına bağlı değişimi

3.5 Zaman Adımından Bağımsız Çözüm

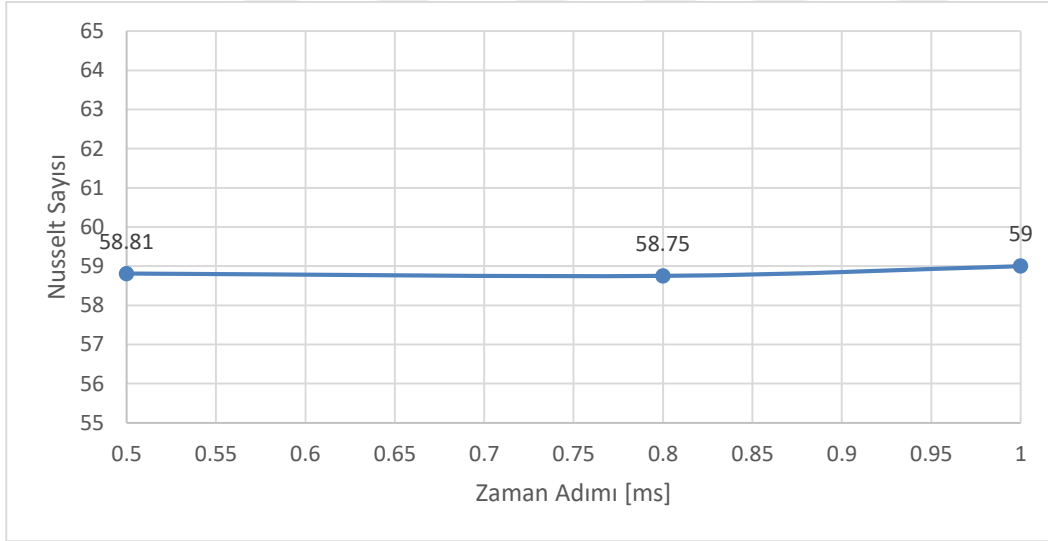
Eleman sayısından bağımsız çözümler gerçekleştirildikten sonra, zaman adımından bağımsız çözüm elde edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, 0.001 saniye, 0.0008 saniye ve 0.0005 saniye olmak üzere üç zaman adımı incelenmiştir. Zaman adımından bağımsız çözümlerin tamamında 1062000 eleman sayısı kullanılmıştır. Yapılan analizlerde katı zaman adımı ise 1 saniye olarak alınmıştır. Galeriyüzeyindeki ortalama sıcaklığı, Nusselt sayısı ve galeriyüzeyindeki ortalama ısı akısı baz alınarak, zaman adımından bağımsız çözüme uygun zaman adımı belirlenmiştir.

Şekil 3.10’da galeriyüzeyindeki ortalama sıcaklığının, 0.0008 saniye zaman adımı ile 0.0005 saniye zaman adımı arasında ihmal edilebilir seviyede değiştiği görülmektedir.



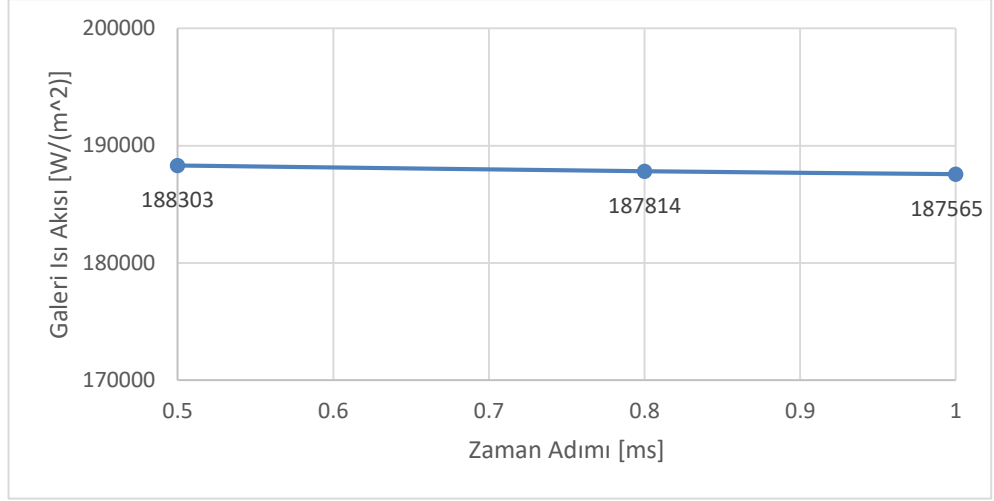
Şekil 3.10: Galerî ortalama sıcaklığının zaman adımına bağılı değişimi

Şekil 3.11’de galeri yüzeyindeki ortalama Nusselt sayısının, 0.0008 saniye zaman adımı ile 0.0005 saniye zaman adımı arasında %0.1’lik değişim gösterdiği görülmektedir. Nusselt sayısı açısından değerlendirme yapıldığında, 0.0005 saniye zaman adımının, zaman adımından bağımsız çözüm için uygun olduğu görülmektedir.



Şekil 3.11: Galerî ortalama nusselt sayısının zaman adımına bağılı değişimi

Galeri yüzeyindeki ortalama ısı akısının zaman adımıyla değişimi Şekil 3.12’de görülmektedir. İncelenen üç zaman adımı arasında, galeri yüzeyindeki ısı akısının değişimi, %1 değerinin altında olmaktadır.



Şekil 3.12: Galeriyüzeiy ortalama ısı akısının zaman adımına bağılı değışimi

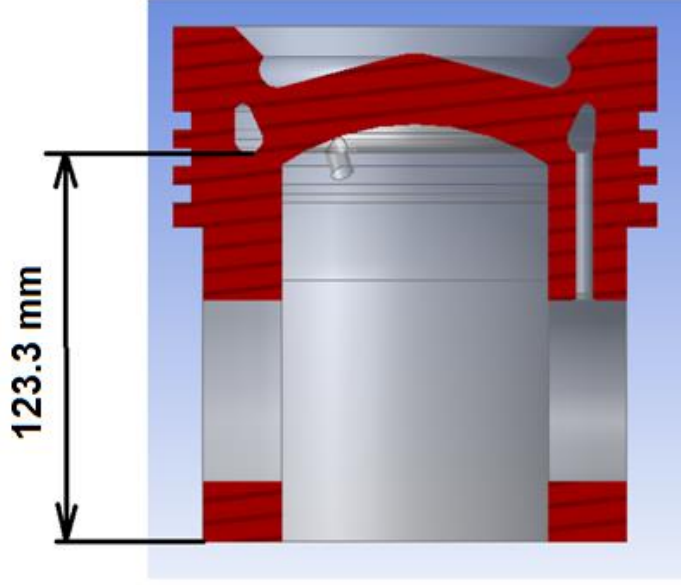
Zaman adımından bağımsız çözümler incelendiğinde 0.0005 saniye zaman adımı, zaman adımıdan bağımsız çözüm için uygun bulunmuştur. Daha küçük zaman adımları yüksek işlem gücü kısıtından dolayı incelenememiştir.

3.6 Yağ Galerisinin Eksenel Konumunun İncelenmesi

Eleman sayısından bağımsız çözüm ve zaman adımıdan bağımsız çözüm için gereken değerler belirlendikten sonra, yağ galerisinin pistondaki eksenel konumunun etkisi incelenmiştir. Bu amaçla üç farklı eksenel konumda yağ galerisi bulunan piston modelleri hazırlanmıştır. Yağ galerisinin olmadığı piston model-0 olarak adlandırılırken, galerinin eksenel konumuna göre bu modeller model-1, model-2 ve model-3 olarak adlandırılmıştır.

Model-1:

Şekil 3.13’de gösterildiğı gibi, model-1 pistonun taban yüzeyinden, yağ galerisinin alt yüzeyine olan minimum mesafe 123.3 mm değerindedir.



Şekil 3.13: Model-1 yağ galerisi eksenel konumu

Şekil 3.14’te, model-1 pistonda kullanılan ağ örgüsünün eleman özellikleri verilmiştir. Çarpıklık değeri en fazla 0.81, ortogonalite değeri en az 0.18 değerinde ve boyut oranı en fazla 24.1 değerindedir. Boyut oranının yüksek olduğu bölgeler yağ galerisinin yüzeylerindeki ağ elemanlarıdır.

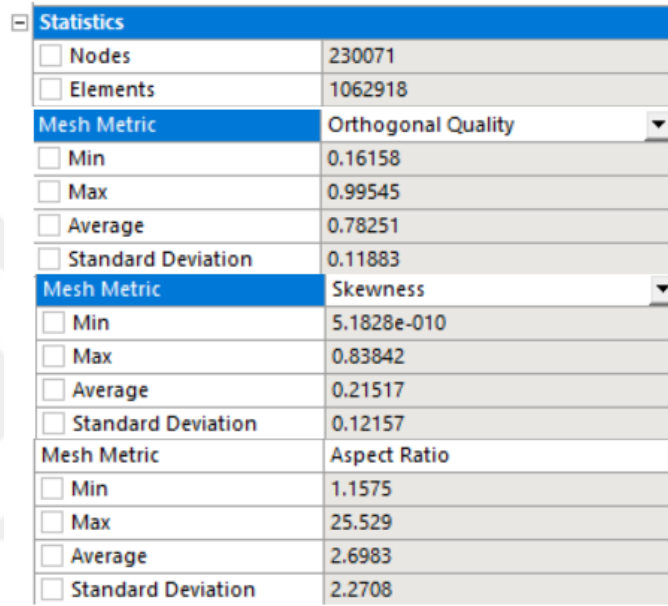
Statistics	
☐ Nodes	227983
☐ Elements	1051740
Mesh Metric	Skewness
☐ Min	3.1806e-010
☐ Max	0.81846
☐ Average	0.21548
☐ Standard Deviation	0.12144
Mesh Metric	Orthogonal Quality
☐ Min	0.18154
☐ Max	0.99525
☐ Average	0.78221
☐ Standard Deviation	0.1187
Mesh Metric	Aspect Ratio
☐ Min	1.1575
☐ Max	24.123
☐ Average	2.6976
☐ Standard Deviation	2.2708

Şekil 3.14: Model-1 ağ örgüsü eleman özellikleri

Model-2:

Model-2 olarak adlandırılan piston modelinde, yağ galerisinin alt yüzeyinden, pistonun taban yüzeyine olan mesafe en az 128.3 mm alınmıştır. Model-1'den farklı olarak, yağ galerisi, piston tepe yüzeyine 5 mm daha yakın haldedir.

Model-2 için oluşturulan ağ örgüsü özellikleri Şekil 3.15'te görülmektedir. Çarpıklık, ortogonallik ve boyut oranları kabul edilebilir seviyelerdedir. Boyut oranının yüksek olduğu ağ elemanlar, yağ galerisi yüzeyindeki elemanlardan oluşmaktadır.



Statistics	
☐ Nodes	230071
☐ Elements	1062918
Mesh Metric	Orthogonal Quality
☐ Min	0.16158
☐ Max	0.99545
☐ Average	0.78251
☐ Standard Deviation	0.11883
Mesh Metric	Skewness
☐ Min	5.1828e-010
☐ Max	0.83842
☐ Average	0.21517
☐ Standard Deviation	0.12157
Mesh Metric	Aspect Ratio
☐ Min	1.1575
☐ Max	25.529
☐ Average	2.6983
☐ Standard Deviation	2.2708

Şekil 3.15: Model-2 ağ örgüsü eleman özellikleri

Model-3:

Model-3 piston geometrisinde, yağ galerisinin piston tabanına uzaklığı en az 133.3 mm olmaktadır. Bu modeldeki yağ galerisi, model-1 yağ galerisine göre 10 mm, model-2 yağ galerisine göre 5 mm piston tepe yüzeyine daha yakın durumdadır.

Şekil 3.16'da model-3 pistonun ağ örgüsü özellikleri verilmiştir. Ortogonallik, çarpıklık ve boyut oranı açısından değerlendirildiğinde, ağ örgüsü kabul edilebilir sınırlarda olduğu görülmektedir.

Statistics	
☐ Nodes	233329
☐ Elements	1077776
Mesh Metric	Orthogonal Quality
☐ Min	0.15478
☐ Max	0.99496
☐ Average	0.78228
☐ Standard Deviation	0.11856
Mesh Metric	Skewness
☐ Min	1.5775e-009
☐ Max	0.84522
☐ Average	0.21543
☐ Standard Deviation	0.12126
Mesh Metric	Aspect Ratio
☐ Min	1.1575
☐ Max	23.175
☐ Average	2.6983
☐ Standard Deviation	2.2703

Şekil 3.16: Model-3 ağ örgüsü eleman özellikleri

3.7 Dalgalı Galerî Modellerinin İncelenmesi

Dalgalı galerî modellerinde iki adet geometri incelenmiştir. Dalga formları sadece yağ galerisinin üst yüzeyine tanımlanmıştır. Dalgalı yüzeylere sahip yağ galerileri geometrileri oluşturmak için, model-3 geometrisi üzerinde NX programının X-form komutu kullanılarak, yüzeydeki vektörel noktalarda 3 mm aşağı ve yukarı yönlerde öteleme yapılmıştır. Dalgalı yağ galerisine sahip, piston modellerinin eksenel konumları, model-3 ile benzer şekilde, 133.3 mm olarak tanımlanmıştır. Dalgalı yağ galerisine sahip piston modelleri model-4 ve model-5 olarak adlandırılmışlardır. Model-4 geometrisinde dalgalar arasında 90° açı bulunmaktadır. Model-5'te ise bu açı 45° olmaktadır.

Model-4:

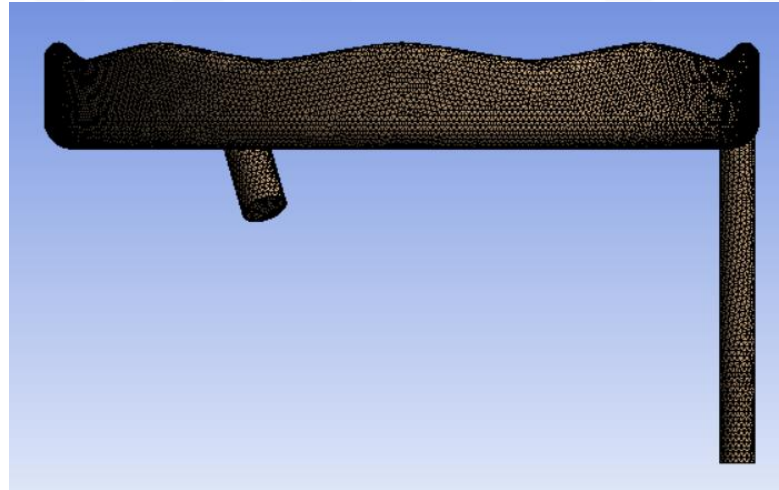
Şekil 3.17'de, model-4 piston modelinde kullanılan yağ galerisinde oluşturulan ağ örgüsü görülmektedir. Kullanılan ağ örgüsünde ortogonallik en az 0.15 ve çarpıklık en fazla 0.85 değerindedir. Boyut oranı ise 25.9 değerinin altında olmaktadır.



Şekil 3.17: Model-4 yağ galerisi ağ örgüsü görünümü

Model-5:

Şekil 3.18’de model-5 piston modelinde kullanılan ağ örgüsünün önden görünümü verilmiştir. Bu modelde kullanılan eleman sayısı 1077000’dır. Çarpıklık değeri en fazla 0.87 ve ortogonallik en az 0.12 değerindedir. Yağ galerisinin yüzeylerinde bulunan ağ elemanlarındaki en büyük boyut oranı 25.9 olarak gözlemlenmiştir.



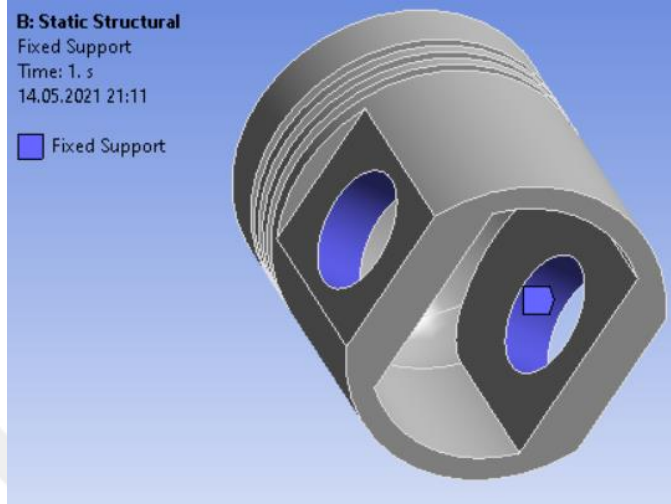
Şekil 3.18: Model-5 yağ galerisi ağ örgüsü görünümü

3.8 Yapısal Analizler

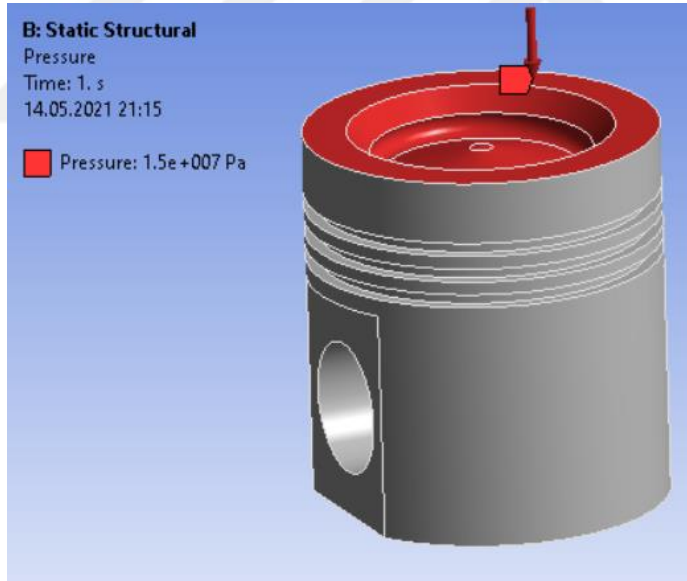
Fluent modülü ve steady-state thermal modülünde gerçekleştirilen analizler sonucunda pistonun sıcaklık dağılımı elde edilmiştir. Bu sıcaklık dağılımları, Ansys structural modülüne aktarılmıştır. Yapısal analizlere, sıcaklık dağılımı aktarımından sonra, piston tepe yüzeyine 15 MPa (150 bar) basınç tanımlanmış ve daha sonrasında piston

iki pim yüzeyinden sabitlenmiştir. Yapısal analizler sonucunda, pistonda oluşan maksimum gerilmeler ve deformasyonlar elde edilmiştir.

Şekil 3.19’da sabitlenen pim bölgesi yüzeyleri ve Şekil 3.20’de pistonda basınç sınır koşulu tanımlanan tepe yüzeyi görülmektedir.



Şekil 3.19: Pistonda hareketi sabitlenen pim bölgesi



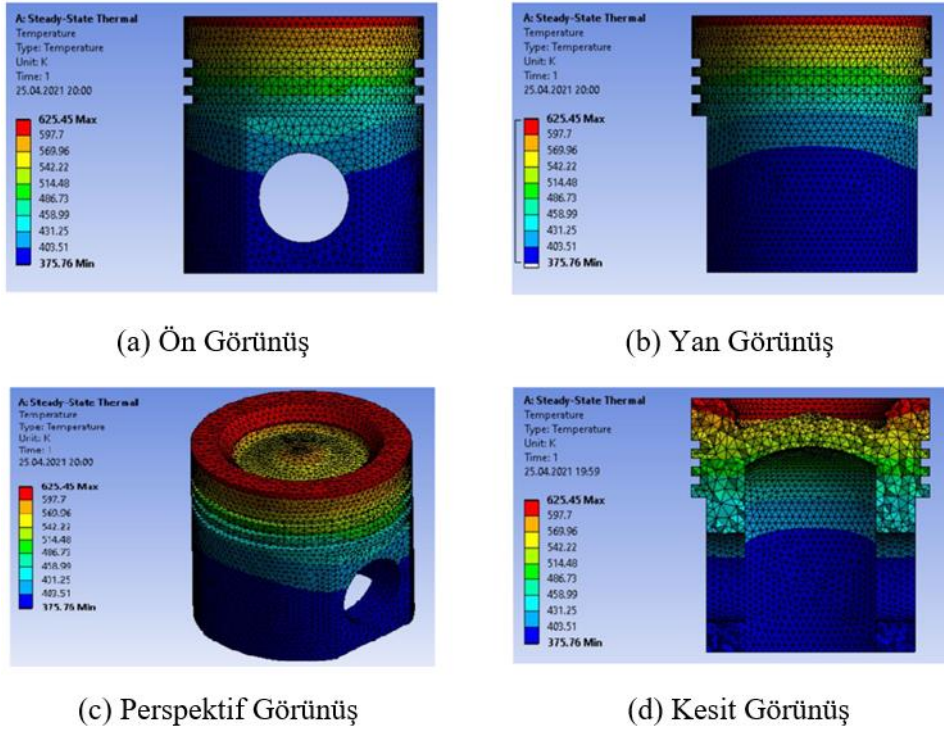
Şekil 3.20: Pistonda tepe yüzeyine uygulanan basınç sınır koşulu

4. SONUÇLAR

4.1 Yağ Galerisiz Referans Model Sonuçları

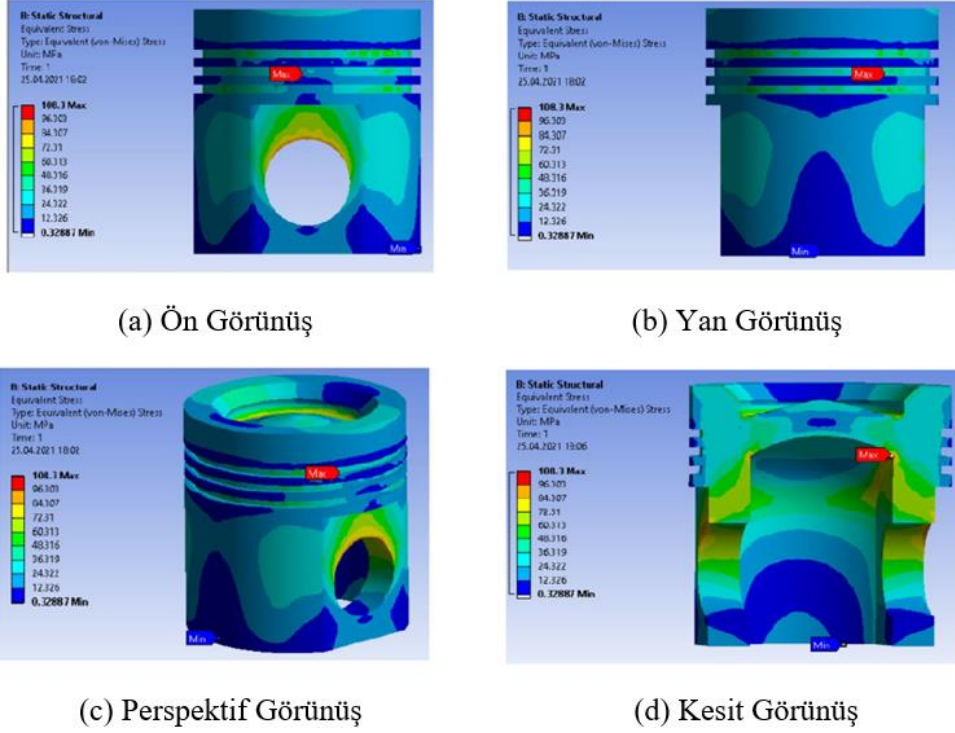
Yağ galerisiz model ile yapılan analizler sonucunda, pistonda oluşan maksimum sıcaklık 625.45 K olmaktadır. En yüksek sıcaklık, pistonu ısı geçişinin gerçekleştiği piston tepe yüzeyinde görülmektedir. Bu durum beklenen bir sonuçtur. Çünkü, piston tepe yüzeyi doğrudan yanma odasıyla temas halinde olan bir bölgedir ve pistondaki ısıyı absorbe eden soğutma yağının bulunduğu yüzeylerden uzaktadır. Pistonda taban bölgesine doğru gidildikçe, sıcaklıklar 375 K seviyesine kadar azalmaktadır.

Şekil 4.1’de referans model pistondaki sıcaklık dağılımı görülmektedir. Pistonda oluşan en yüksek sıcaklık 625.45 K olarak, piston tepe yüzeyinde oluşmaktadır. Bu modelde yağ galerisi bulunmadığından, elde edilen sıcaklık dağılımı, Mahle 174+ piston malzemesinin çalışma sıcaklığına uygun olamamaktadır.



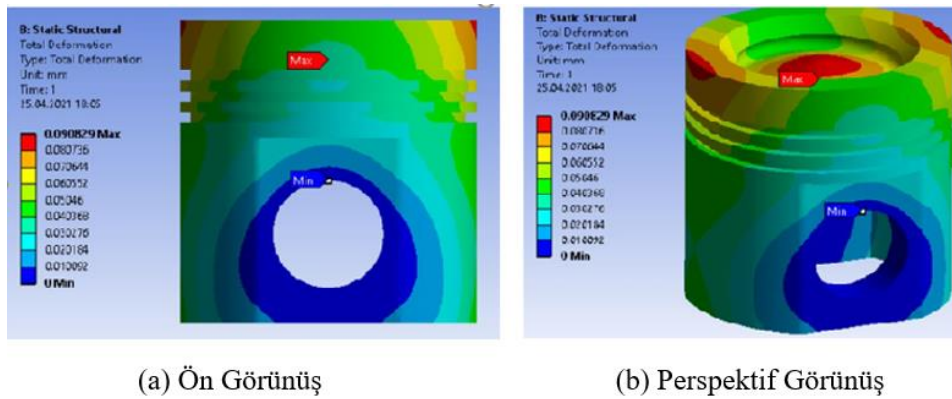
Şekil 4.1: Referans model pistonda sıcaklık dağılımı

Şekil 4.2’de referans pistonda oluşan gerilme dağılımları görülmektedir. Pistonda görülen en yüksek gerilme değeri 108.3 MPa olmaktadır. Pistonda yağ galerisi gibi piston geometrisinin sürekliliğin bozan bir yapı bulunmadığı için, sıcaklık dağılımında yüksek sıcaklıklar görülse de, referans modelde oluşan en yüksek gerilmeler piston malzemesinin çalışabilme aralığında olmaktadır.



Şekil 4.2: Referans model pistonda gerilme dağılımı

Şekil 4.3’te referans modelde, yapısal analizler sonucunda elde edilen deformasyon dağılımları görülmektedir. En fazla deformasyon piston tepe yüzeyinde görülürken, en düşük deformasyonlar sabitleme uygulanan piston pimi yüzeylerinde oluşmaktadır. Referans modelde en fazla 0.0908 mm deformasyon meydana gelmektedir.



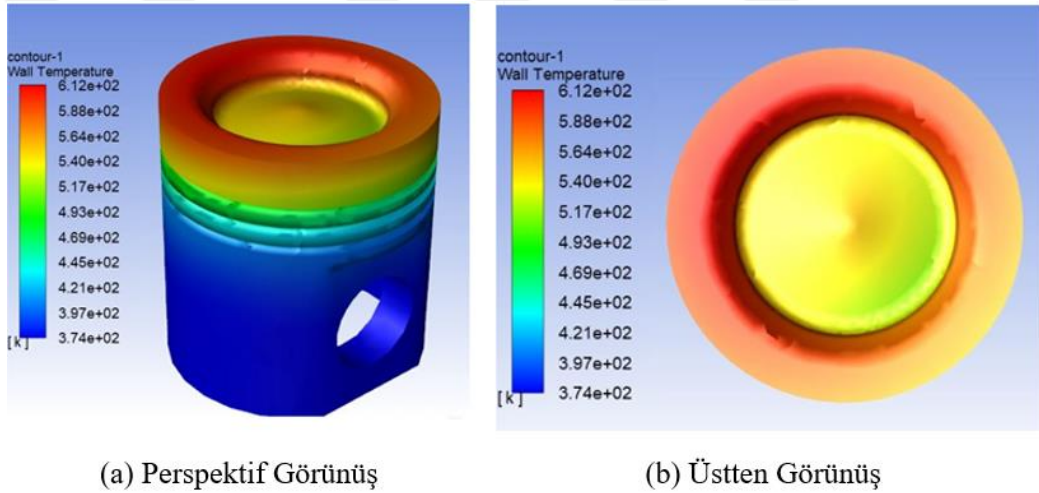
Şekil 4.3: Referans model pistonda deformasyon dağılımı

4.2 Yağ Galerili Modellerin Sonuçları

4.2.1 Model-1 sonuçları

Model-1 geometrisi ile yapılan ısı-akı analizleri sonucunda pistonda oluşan en yüksek sıcaklığın 612 K olduğu gözlemlenmiştir. Soğutma yağının ortalama çıkış sıcaklığı 347 K değerinde olmaktadır. Bu modelde, birim zamanda yanma odasından pistonu geçen ısıнын %32.48'i yağ galerisi yüzeyinden soğutma yağına aktarıldığı sonucuna ulaşılmıştır.

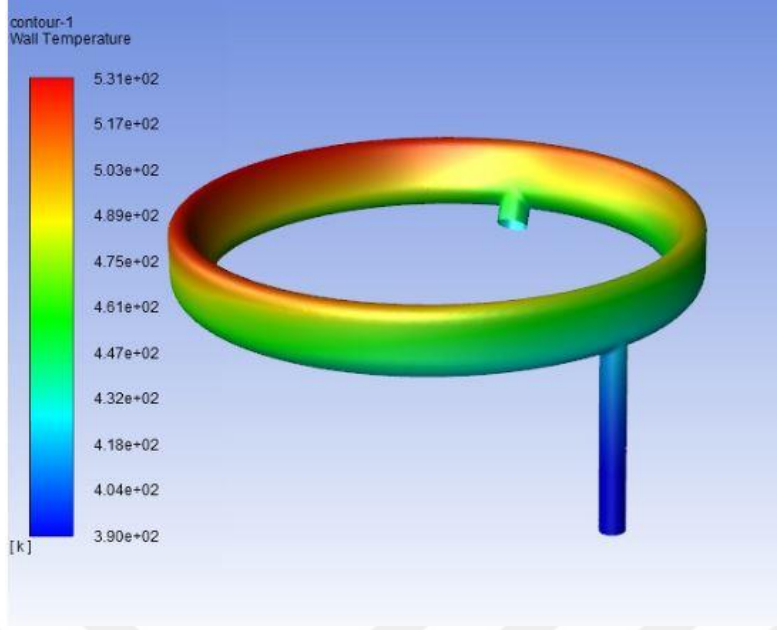
Şekil 4.4'te model-1 pistondaki sıcaklık dağılımı görülmektedir. En yüksek sıcaklıkların tepe yüzeyinde 612 K seviyelerinde olduğu ve sıcaklık dağılımının simetrik olmadığı görülmektedir. Sıcaklık dağılımının simetrik olmamasının başlıca nedeni, yağ galerisinin simetrik olmamasıdır.



Şekil 4.4: Model-1 pistonda sıcaklık dağılımı

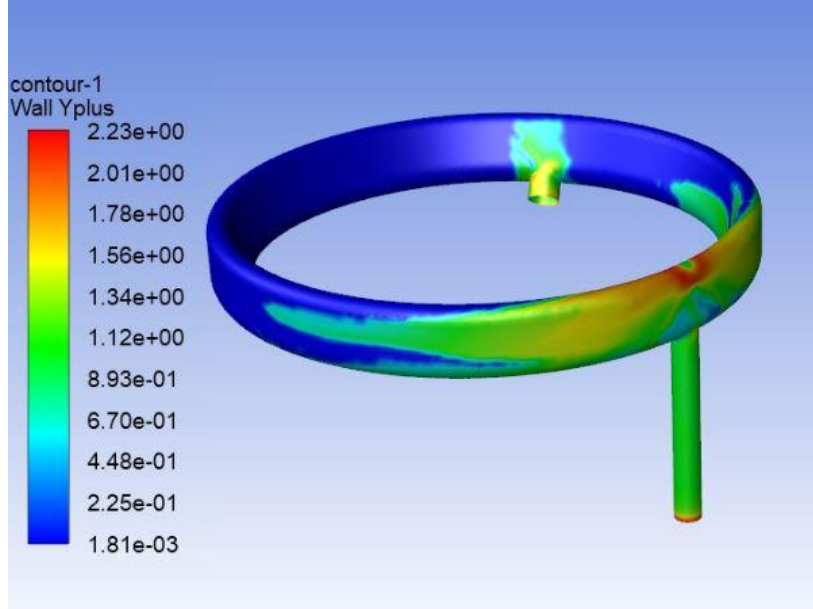
Model-1 piston modeli, yağ galerisi bulunmayan referans model ile karşılaştırıldığında, meydana gelen en yüksek sıcaklıklarda 13.5 K azalma meydana geldiği görülmektedir.

Şekil 4.5'te model-1 pistonun yağ galerisi yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımı görülmektedir. Yağ galerisinin simetrik olmayan yapısından dolayı, sıcaklık dağılımı da simetrik değildir. Yağ galerisi yüzeyinde en fazla 531 K sıcaklık görülmüştür.



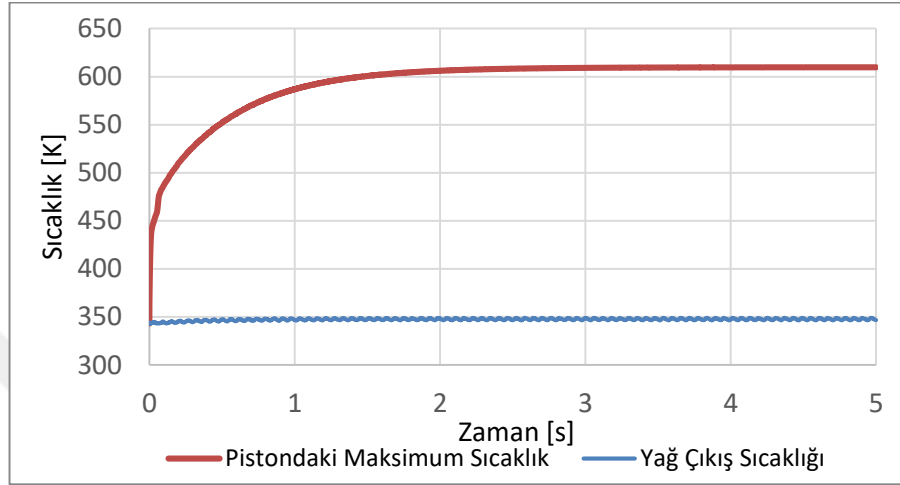
Şekil 4.5: Model-1 yağ galerisinde sıcaklık dağılımı

Şekil 4.6’da, model-1 yağ galerisinin akış analizinden alınan y^+ konturu görülmektedir. Analizde kullanılan kw-SST türbülans modelinde bu değerin genel olarak 1 ve altında olması gerekmektedir. Şekil 44’teki y^+ konturu incelendiğinde, galeri yüzeyinin büyük bir bölümünde 1 ve altındaki değerlerin elde edildiği görülmektedir.



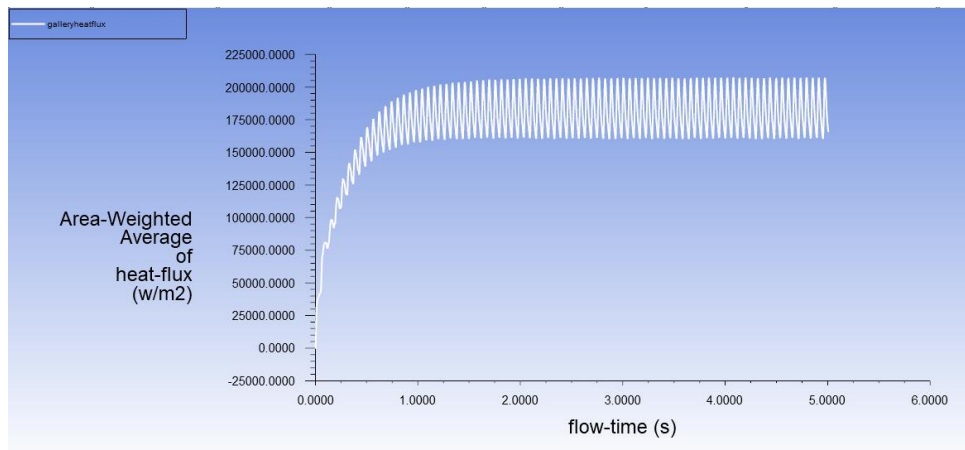
Şekil 4.6: Model-1 yağ galerisinde y^+ konturu

Şekil 4.7’de model-1 pistonda oluşan maksimum sıcaklığın ve soğutma yağı çıkış sıcaklığının zamana bağlı değişimi görülmektedir. 3 saniye değerinden sonra sistemin termal dengeye ulaştığı ve pistondaki maksimum sıcaklığın değişmemeye başladığı görülmektedir. Yağ çıkış sıcaklığı da 3 saniye değerinden sonra periyodik bir hareket izlese de, bu sıcaklık değişimi, ortalama değeri değişmeyen bir periyodik hareket halini almaktadır.



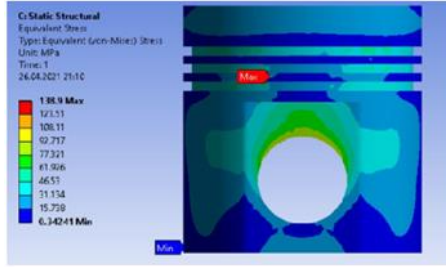
Şekil 4.7: Model-1 pistonda maksimum sıcaklık ve yağ çıkış sıcaklığının zamana bağlı değişimi

Yağ çıkış sıcaklığına benzer şekilde, yağ galerisi yüzeyindeki ortalama ısı akısı da, 3 saniyeden sonra maksimum ve minimum değeri değişmeyen, ortalaması 168427 W/m^2 değerinde olan bir periyodik hareket izlemektedir. Şekil 4.8’de model-1 pistonun yağ galerisindeki ortalama ısı akısının zamana bağlı değişimi görülebilmektedir.

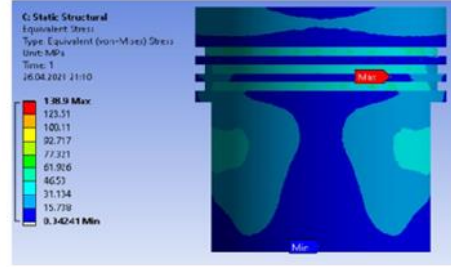


Şekil 4.8: Model-1’de yağ galerisi yüzeyinde ortalama ısı akısının zamana bağlı değişimi

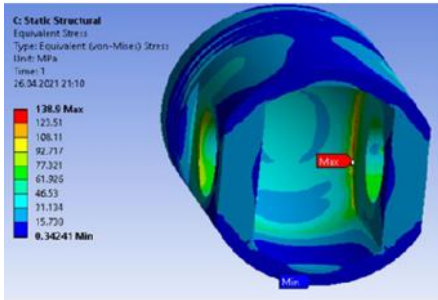
Şekil 4.9’da model-1 pistonda oluşan gerilme dağılımı görülmektedir. En yüksek gerilme değeri olarak 138.9 MPa değeri elde edilmiştir. Yağ galerisinin bulunmadığı referans model pistona göre daha düşük sıcaklık dağılımı olduğu halde, daha yüksek gerilmelerin oluşmasının temel nedeni, yağ galerisinin piston modelindeki sürekliliğin engellenmesidir. Ayrıca, yağ galerisi ile piston yüzeyleri arasındaki et kalınlığı da, gerilme dağılımını doğrudan etkileyen bir değer olarak görülmüştür.



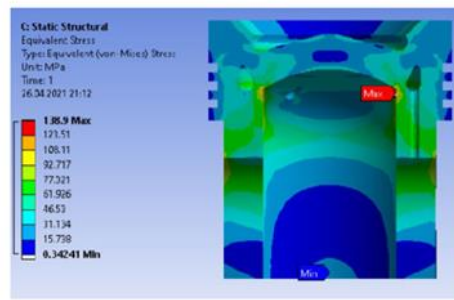
(a) Ön Görünüş



(b) Yan Görünüş



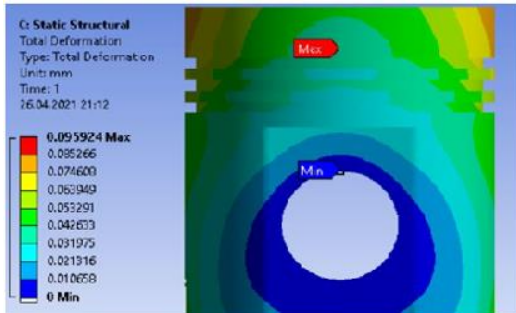
(c) Perspektif Görünüş



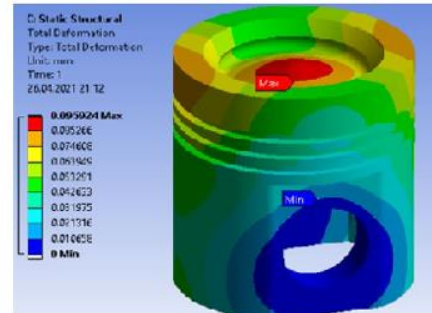
(d) Kesit Görünüş

Şekil 4.9: Model-1 pistonda gerilme dağılımı

Şekil 4.10’da model-1 pistonda oluşan deformasyonlar görülmektedir. En fazla deformasyon piston tepe yüzeyinde 0.0959 mm olarak görülürken, sabitleme bölgesi olan piston pimi yüzeylerinde deformasyon görülmemektedir.



(a) Önden Görünüş



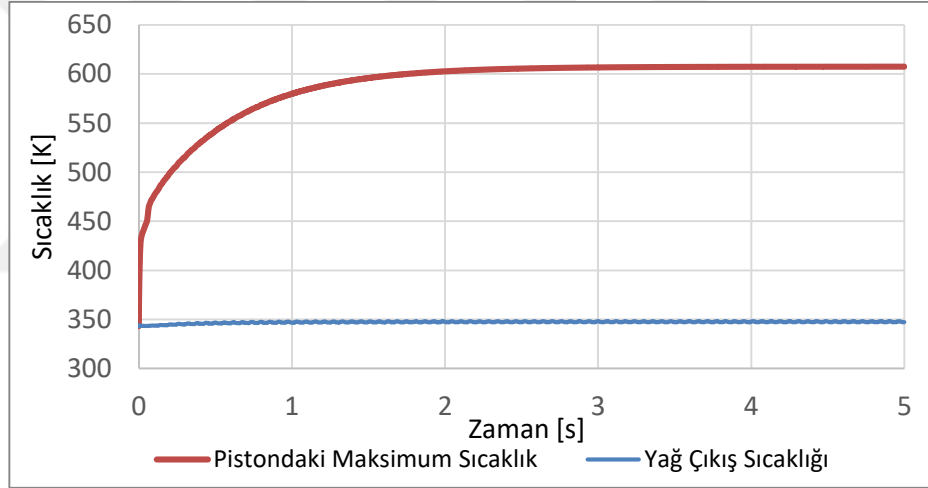
(b) Perspektif Görünüş

Şekil 4.10: Model-1 pistonda deformasyon dağılımı

4.2.2 Model-2 sonuçları

Model-2 geometrisinde yağ galerisi, Model-1'e göre eksenel konum olarak 5 mm daha yukarıdadır. Bu modelde, eksenel konumdan dolayı piston tepe yüzeyine daha yakın olduğundan, yağa geçen ısı daha fazla olmakta ve pistondaki maksimum sıcaklık değeri azalmaktadır. Soğutma yağına geçen ısı oranı %34.17 olarak gerçekleşmektedir ve oluşan maksimum sıcaklık 610 K seviyelerinde kalmaktadır. Ortalama yağ çıkış sıcaklığı 347.56 K değerindedir.

Şekil 4.11'de model-2 pistonda meydana gelen maksimum sıcaklığın ve soğutma yağı çıkış sıcaklığının, zamana bağlı değişimi görülmektedir. Pistondaki maksimum sıcaklık değeri, 3 saniyeden itibaren 610 K değerinde sabit kalmaktadır. Soğutma yağı çıkış sıcaklığı da, 3 saniyeden itibaren aynı periyodik hareketi izleyen bir durum sergilemektedir.

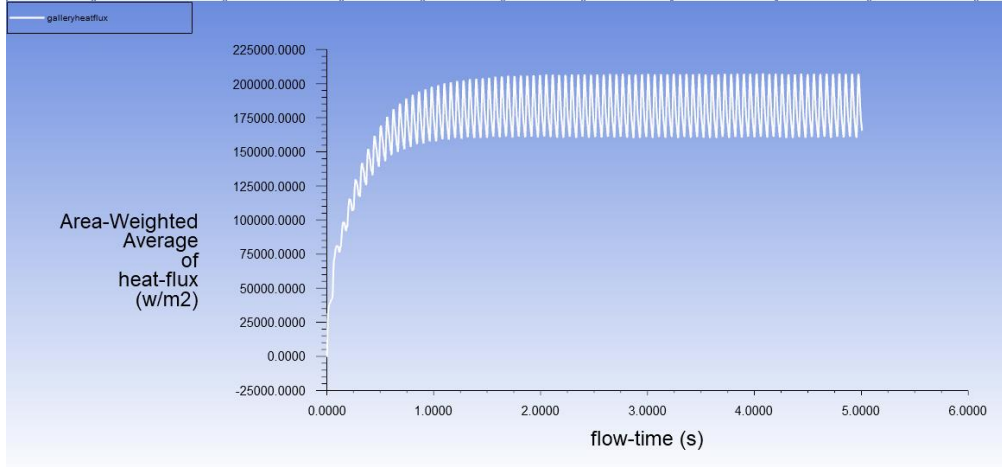


Şekil 4.11: Model-2 piston maksimum sıcaklığının ve yağ çıkış sıcaklığının zamana bağlı değişimi

Model-2 pistonda oluşan maksimum sıcaklıkların model-1'e göre daha düşük olmasının ve soğutma yağına geçen ısı oranının daha fazla olmasının nedeni yağ galerisinin piston tepe yüzeyine 5 mm daha yakın olmasıdır. Piston tepesinde maksimum sıcaklıklar görüldüğünden ve yağ galerisi bu yüzeye model-1'e göre daha yakın konumda olduğundan dolayı, piston içerisinde bu iki yüzey arasındaki ısı iletimi daha fazla olmaktadır. Galeri yüzeyindeki sıcaklıkların artması da soğutma yağı ile galeri yüzeyi arasındaki ısı taşınımını arttırmaktadır.

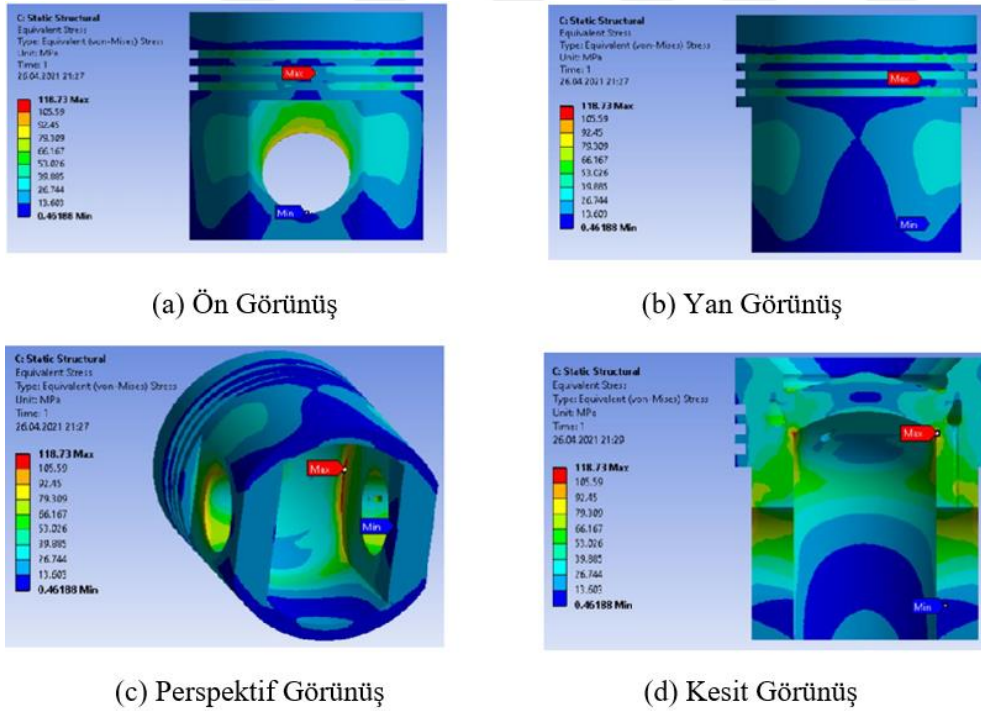
Şekil 4.12'de görülebileceği üzere, model-2 pistonun yağ galerisi yüzeyindeki ortalama ısı akısı 3. saniyeden itibaren aynı periyodik hareketi gerçekleştirmektedir.

Bu durumda, yağ galerisi ortalama ısı akısının değeri 175245 W/m^2 değerinde olmaktadır.



Şekil 4.12: Model-2’de galeri ortalama ısı akısının zamana bağlı değişimi

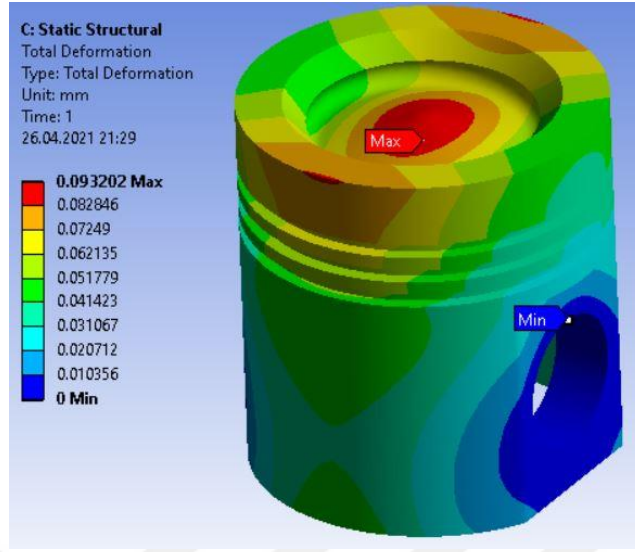
Model-2 pistonda gerçekleştirilen yapısal analiz sonuçları incelendiğinde, pistonda en fazla 118.7 MPa gerilme değeri gözlemlenmiştir. Şekil 4.13’te model-2 pistonda oluşan gerilme dağılımları görülmektedir.



Şekil 4.13: Model-2 pistonda gerilme dağılımı

Şekil 4.14’te model-2 piston modelinde meydana gelen deformasyon dağılımı görülmektedir. En fazla deformasyon, piston tepe yüzeyinde 0.0932 mm olarak oluşmaktadır. Bu durumun temel nedeni, pistondaki en yüksek sıcaklıkların piston

tepe yüzeyinde oluşması ve basınç sınır koşulunun bu yüzeye girdi oluşturmaktadır. Piston pimi bölgesinde ise deformasyon oluşmamaktadır.

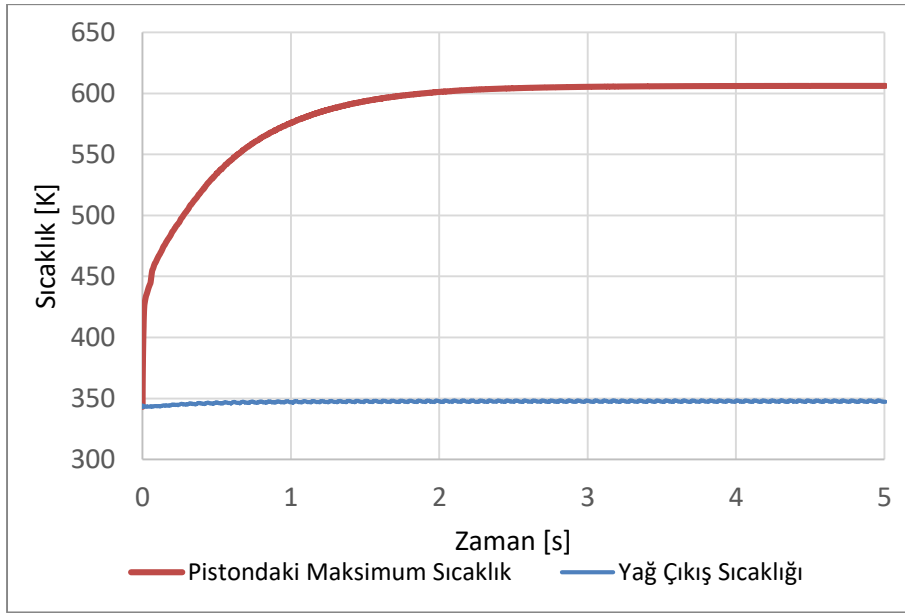


Şekil 4.14: Model-2 pistonda deformasyon dağılımının perspektif görünümü

4.2.3 Model-3 sonuçları

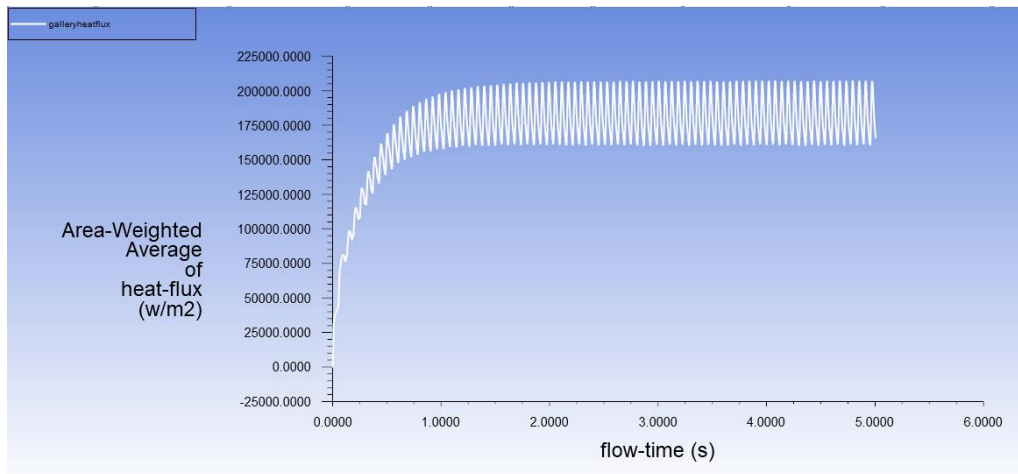
Model-3, eksenel konum etkisinin incelendiği piston modelleri arasında, galeri eksenel konumunun piston tepe yüzeyine en yakın olduğu modeldir. Bu modelde yağ galerisi piston tepe yüzeyine, model-1 ve model-2'den daha yakın olduğu için, soğutma yağına daha fazla ısı aktarılabilmektedir. Model-3'te, pistondan soğutma yağına geçen ısı oranı %35.91 olmaktadır. En yüksek sıcaklıklar ise 608 K değerinin altında kalmaktadır.

Şekil 53'te model-3 piston modelinde oluşan maksimum sıcaklığın ve soğutma yağı çıkış sıcaklığının, zamana bağlı değişimi görülmektedir. Başlangıçtan 3 saniye sonra, pistondaki maksimum sıcaklık yaklaşık 608 K değerinde sabit kalmaktadır. Yağ çıkış sıcaklığı da 3. saniyeden itibaren aynı periyodik hareketi izlemektedir.



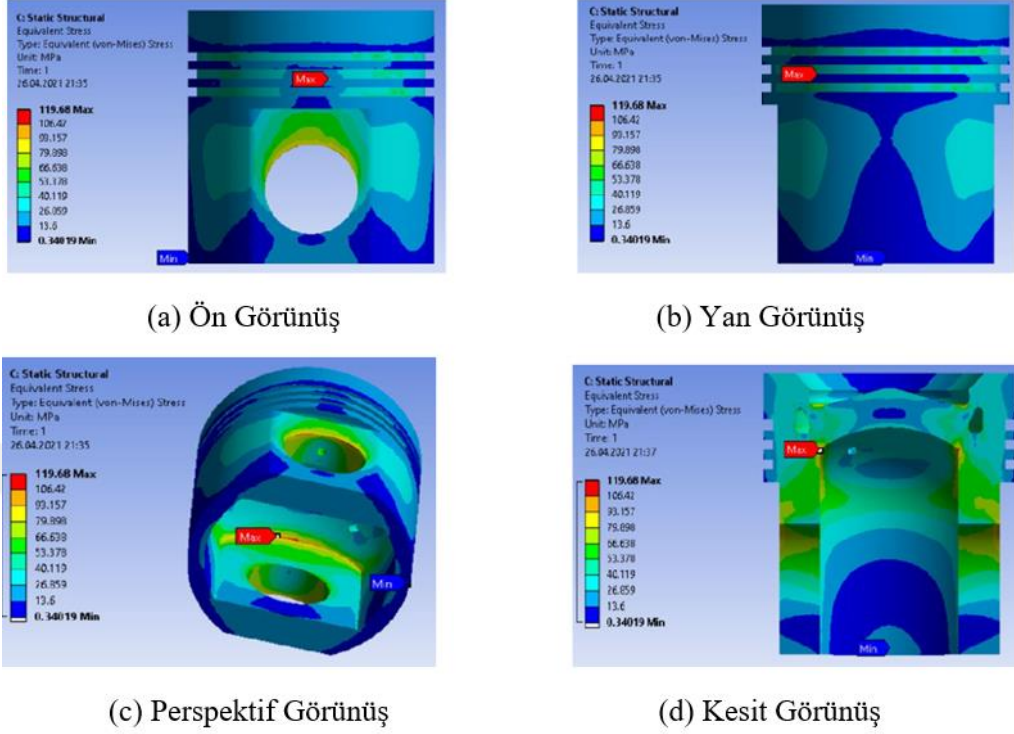
Şekil 4.15: Model-3 piston maksimum sıcaklığının ve yağ çıkış sıcaklığının zamana bağlı değişimi

Şekil 4.16’da model-3 pistonunun yağ galerisi yüzeyinde meydana gelen ısı akısının, zamana bağlı değişimi görülmektedir. 3.saniyeden itibaren ortalama değeri 181950 W/m^2 olan aynı periyodik hareketi izlemektedir. Isı akısının model-1 ve model-2 yağ galerilerinden yüksek olmasının temel nedeni, yağ galerisinin, pistondaki maksimum sıcaklıkların olduğu piston tepe yüzeyine daha yakın olmasıdır. Bu durum, piston tepe yüzeyi ile yağ galerisi yüzeyi arasında gerçekleşen ısı iletimini arttırmaktadır. Sonuç olarak da yağ galerisi yüzey sıcaklığı artmaktadır. Yağ galerisinde meydana gelen ısı taşınımı, yüzey sıcaklığı ile akışkan sıcaklığı arasındaki farkın artmasından dolayı artış göstermektedir.



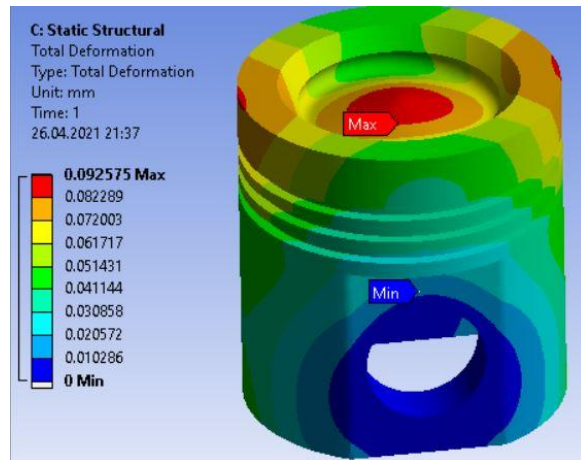
Şekil 4.16: Model-3’te galeri ortalama ısı akısının zamana bağlı değişimi

Model-3 pistonda meydana gelen gerilme dağılımı Şekil 4.17’de görülmektedir. En fazla gerilme 119.68 MPa olmaktadır. Model-2 piston modeline göre, maksimum gerilmelerdeki değişim %1 değerinin altında kalmaktadır.



Şekil 4.17: Model-3 pistonda gerilme dağılımı

Model-3 pistondaki deformasyonlar incelendiğinde, model-2 ile arasında ihmal edilebilecek bir fark olduğu görülmektedir. Deformasyon değerinin en fazla 0.0926 mm olduğu ve bu deformasyon değerinin piston tepe yüzeyinde olduğu, Şekil 4.18’de görülmektedir.

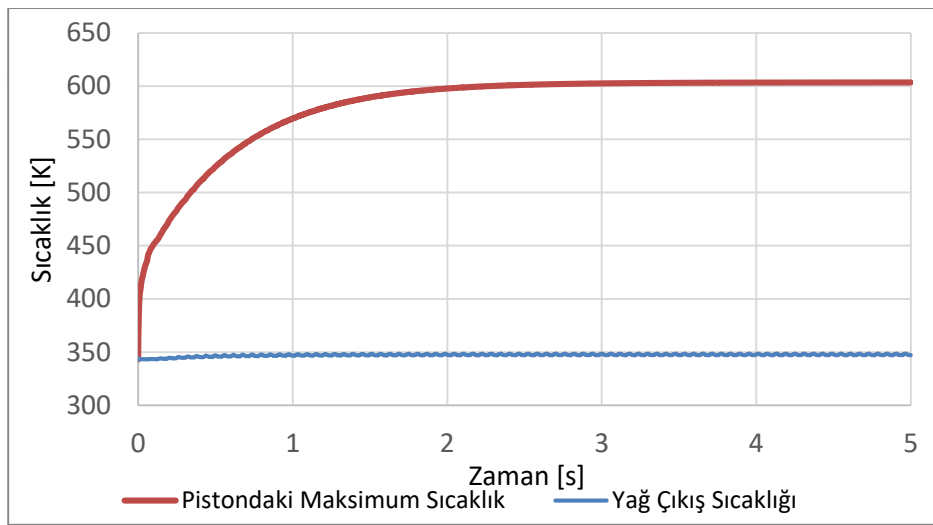


Şekil 4.18: Model-3 pistonda deformasyon dağılımının perspektif görünümü

4.2.4 Model-4 sonuçları

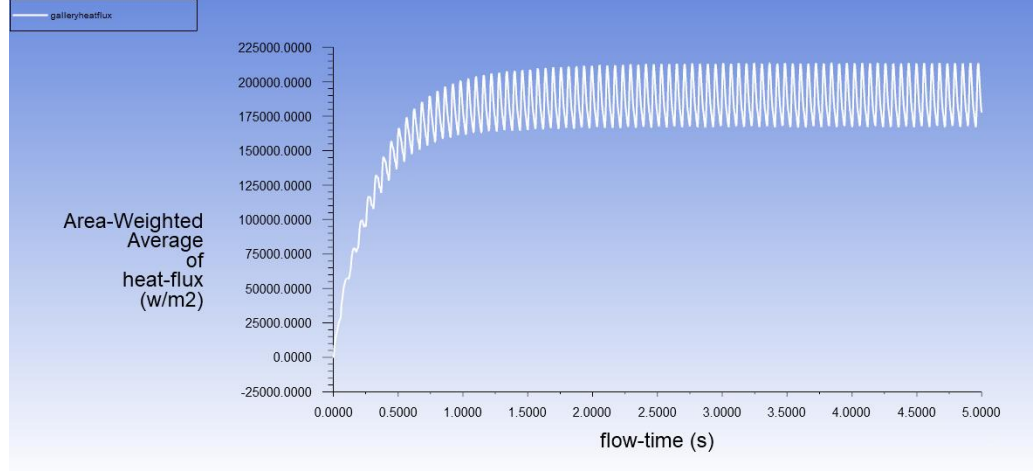
Model-4 piston modelinin, model-3 piston modelinden farkı, soğutma yağı galerisinin üst yüzeyine dalgalı bir form verilmiş olmasıdır. Bu dalgalı form sonucunda, pistonda oluşan maksimum sıcaklık 606 K seviyesine inmiş ve pistondan yağa aktarılan ısı oranı %36.6 değerine yükselmiştir.

Şekil 4.19’da model-4 piston modelinde oluşan maksimum sıcaklığın ve soğutma yağı çıkış sıcaklığının, zamana bağlı değişimi görülmektedir. Pistonda oluşan maksimum sıcaklığın 3. saniyeden itibaren termal dengeye ulaştığı ve 606 K değerinde sabit kaldığı görülmektedir.



Şekil 4.19: Model-4 piston maksimum sıcaklığının ve yağ çıkış sıcaklığının zamana bağlı değişimi

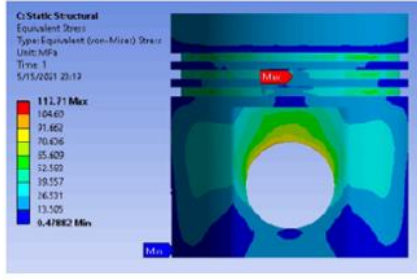
Yağ galerisi yüzeyindeki ortalama ısı akısının 3. saniyeden itibaren aynı periyodik hareketi izlediği şekil 4.20’de görülmektedir. Ortalama ısı akısı bu durumda 188617 W/m² değerinde olmaktadır.



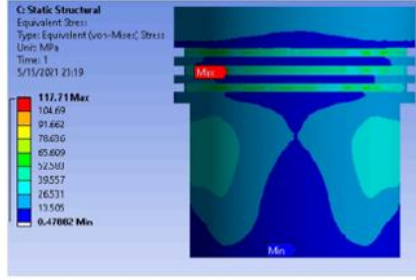
Şekil 4.20: Model-4'te galeri ortalama ısı akısının zamana bağlı değişimi

Model-4'te yağ galerisine aktarılan ısı oranının model-3'e göre daha fazla olmasının nedeni, yağ galerisinin üst yüzeyine uygulanan dalga şeklidir. Bu dalga şekli, yağ galerisinin toplam yüzey alanında artış sağladığı için, taşınım ile soğutma yağına geçen ısı oranı da artış göstermektedir.

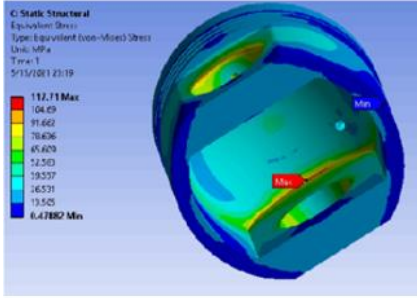
Model-4 piston modelinin yapısal analizleri sonucunda oluşan en büyük gerilme değerinin 117.7 MPa olduğu Şekil 4.21'de görülmektedir. Model-4'te, model-3 piston modeline göre ısı transferinin arttığı ve aynı zamanda oluşan en büyük gerilme değerinin de 2 MPa kadar azaldığı görülmüştür. Isı transferi artarken, oluşan gerilmelerin azalması piston parçasında istenen bir durumdur. Model-4'te bulunan yağ galerisindeki dalga formunun, piston parçasını termal ve yapısal açıdan olumlu etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.



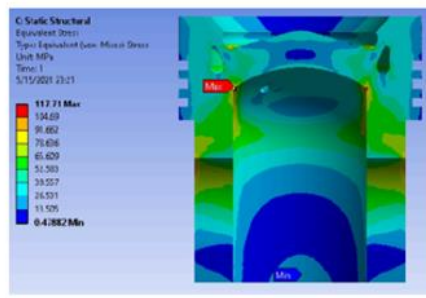
(a) Ön Görünüş



(b) Yan Görünüş



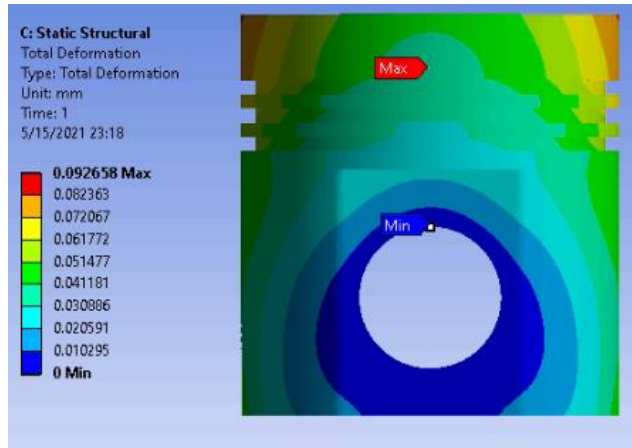
(c) Perspektif Görünüş



(d) Kesit Görünüş

Şekil 4.21: Model-4 pistonda gerilme dağılımı

Şekil 4.22, model-4 pistonunda meydana gelen deformasyon dağılımını göstermektedir. Oluşan en fazla deformasyonun 0.0927 mm olduğu ve en az deformasyonun piston pimi bölgesinde olduğu görülmektedir.



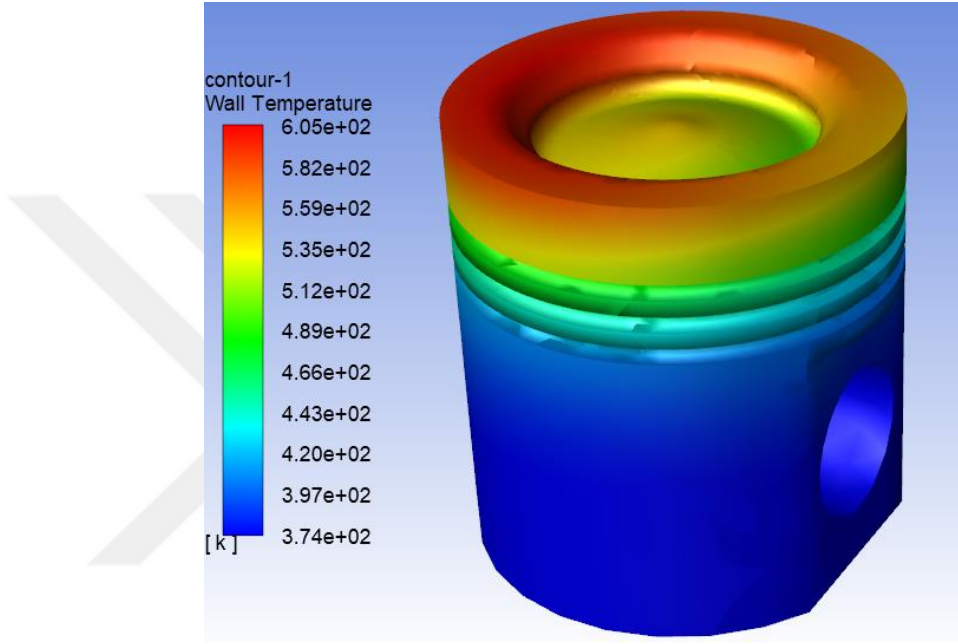
Şekil 4.22: Model-4 pistonda deformasyon dağılımının önden görünümü

4.2.5 Model-5 sonuçları

Model-5 piston modelinin yağ galerisi yüzeyinde, model-3'ten farklı olarak 8 adet dalga formu bulunmaktadır. Dalga formu sayısının artması, yağ galerisinin toplam yüzey alanında artışı da beraberinde getirmektedir. Model-5 ile yapılan ısı-akış analizleri sonucunda, piston parçasında oluşan sıcaklık değerinin en fazla 605 K

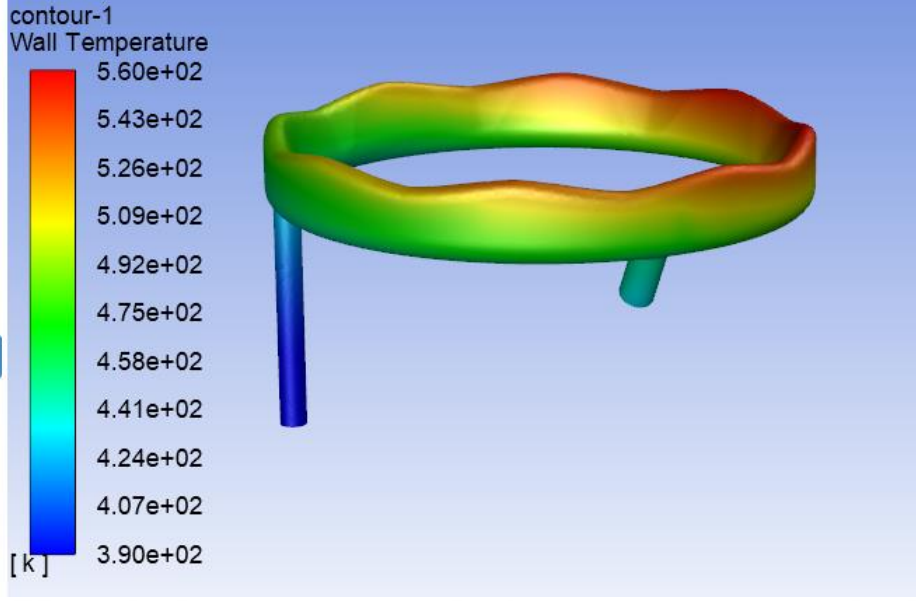
olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Pistondan soğutma yağına geçen ısı oranı %37.2 olmakla birlikte, yağ çıkış sıcaklığı ortalaması 347.74 K olarak elde edilmiştir.

Şekil 4.23'te model-5 pistondaki sıcaklık dağılımı görülmektedir. Sıcaklık değerinin en fazla 605 K olarak, piston tepe yüzeyinde meydana geldiği görülmektedir. Yağ galerisinin simetrik olmayan yapısından dolayı, piston modeli de simetrik olamamaktadır. Piston modelindeki simetrik olmayan geometrik yapıdan dolayı, sıcaklık dağılımı da simetrik olmayan bir durum sergilemektedir.



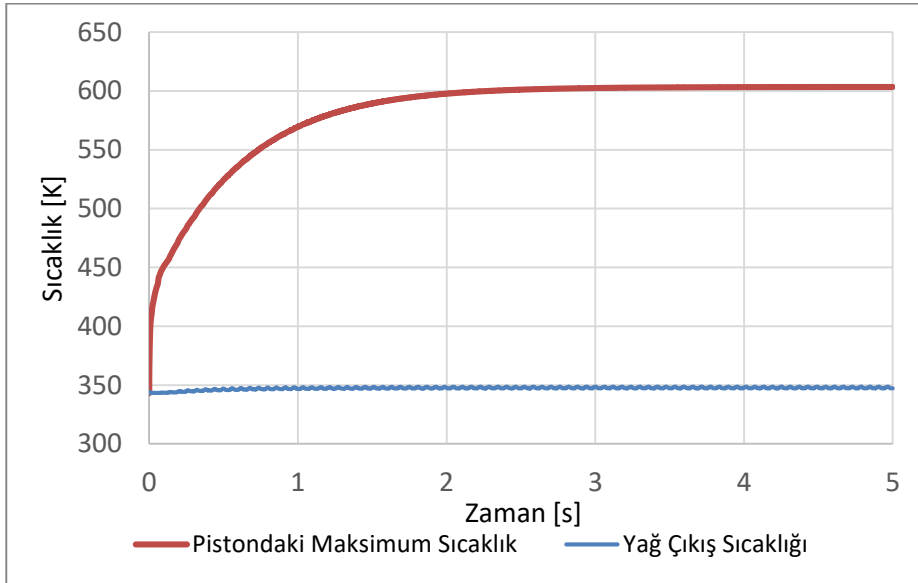
Şekil 4.23: Model-5 pistonda sıcaklık dağılımının perspektif görünümü

Şekil 4.24 incelendiğinde, yağ galerisi yüzeylerindeki sıcaklık dağılımının simetrik olmadığı görülmektedir. Soğutma yağının giriş bölgesinde, galeri yüzey sıcaklığı 390 K seviyelerinde meydana gelirken, yağ galerisinin üst yüzeyinde sıcaklıkların 560 K değerine kadar arttığı görülmektedir.



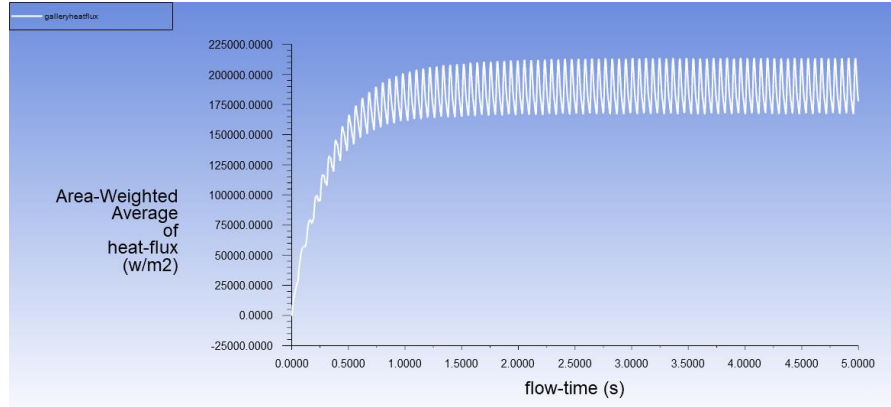
Şekil 4.24: Model-5 yağ galerisi yüzeyinde sıcaklık dağılımı

Model-5 pistonunda oluşan maksimum sıcaklığın zamana bağlı değişimi, Şekil 4.25'te görüldüğü gibi 3. saniyeden itibaren 605 K değerine yakınsamaktadır. Yağ çıkış sıcaklığı da bu süreden itibaren, ortalama değeri aynı olan bir periyodik hareket izlemektedir. Oluşan en yüksek sıcaklık değerinin, model-4 piston modeline kıyasla daha düşük olmasının nedeni, yağ galerisi üst yüzeyindeki dalga form sayısının daha fazla olmasıdır. Yağ galerisi yüzey alanının artması, piston katı malzemesi ile soğutma yağı arasında gerçekleşen taşınım ile ısı geçişini arttırmaktadır.



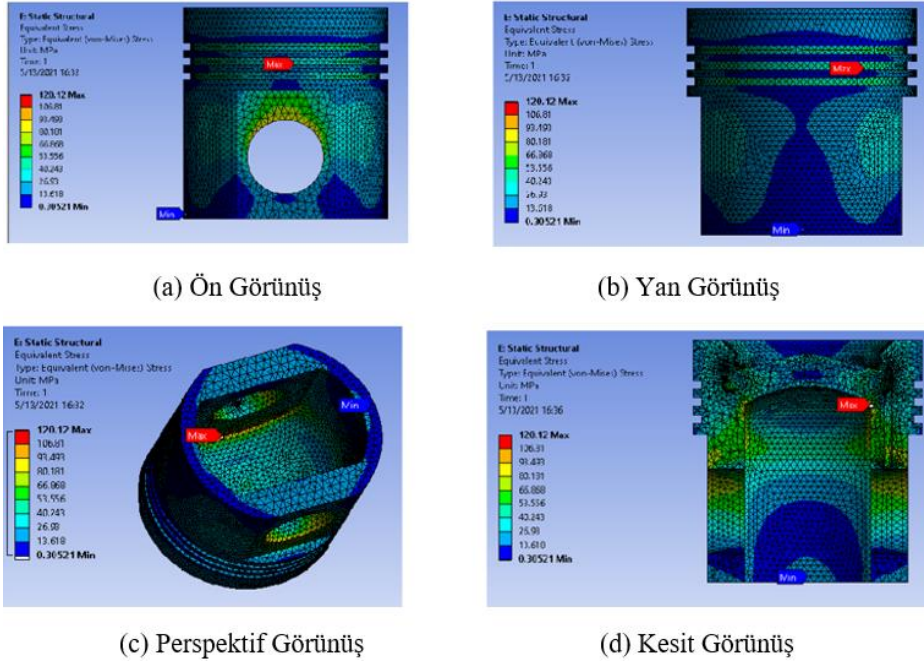
Şekil 4.25: Model-5 piston maksimum sıcaklığının ve yağ çıkış sıcaklığının zamana bağlı değişimi

Model-5 pistonunun ısı-akış analizleri sonucunda elde edilen, yağ galerisi ortalama ısı akısının zamana bağlı değişimi Şekil 4.26’da verilmiştir. 3. Saniyeden itibaren yağ galerisi yüzeyindeki ortalama ısı akısı değerinin, genliği ve ortalama değeri aynı olan bir periyodik hareketi tekrarladığı görülmektedir.

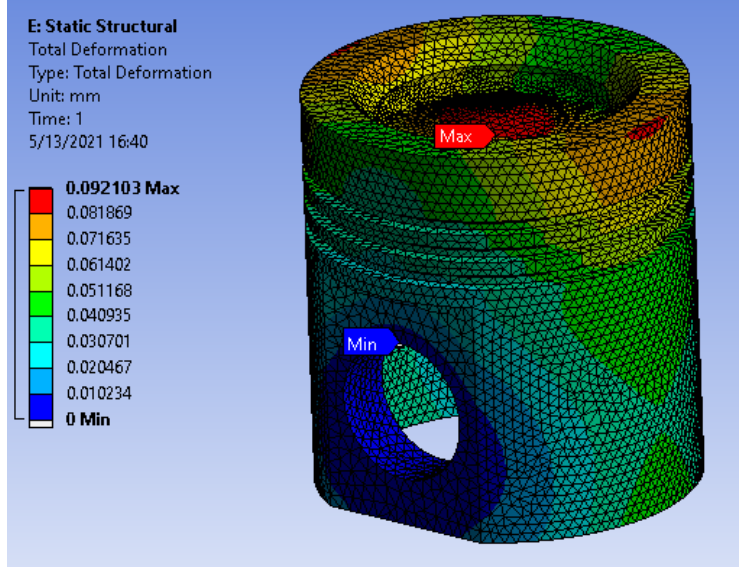


Şekil 4.26: Model-5 galeri ortalama ısı akısının zamana bağlı değişimi

Model-5 ile gerçekleştirilen yapısal analizler sonucunda oluşan gerilmelerin en fazla 120.1 MPa değerinde piston iç-üst birleşme bölgesinde olduğu şekil 4.27’de görülmektedir. Oluşan en düşük gerilme ise piston tabanından meydana gelmektedir. En düşük gerilme değerlerinin piston tabanında meydana gelmesi, bu bölgede sıcaklık değerlerinin pistondaki en düşük sıcaklık değerleri olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.27: Model-5 pistonda gerilme dağılımı



Şekil 4.28: Model-5 pistonda deformasyon dağılımının perspektif görünümü

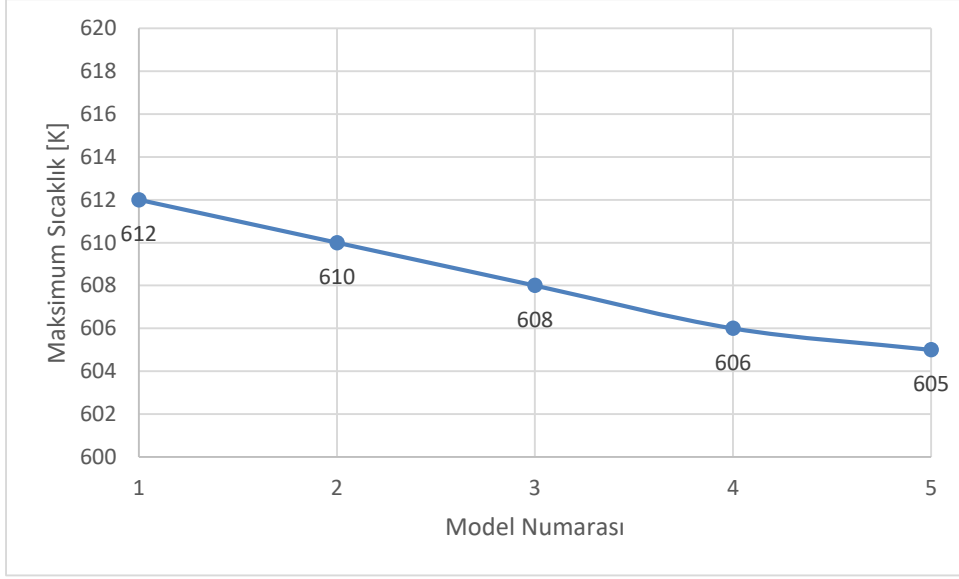
Model-5 pistonda meydana gelen deformasyon değerinin en fazla 0.0921 mm olarak, piston tepe yüzeyinde gerçekleştiği görülmektedir. Pistonda oluşan en yüksek sıcaklıkların piston tepe yüzeyinde oluşması ve bu yüzeye basınç sınır koşulu uygulanmasından dolayı bu sonuç beklenen bir durumdur. En düşük deformasyonlar ise piston pimi yüzeylerinde ortaya çıkmaktadır. Bu durumun nedeni, piston pim yüzeylerinde hareketi tamamen kısıtlayan sınır koşulu tanımlanmış olmasıdır.

Model-5 piston modelinde oluşan gerilmelerin ve deformasyonların, model-4'ten daha yüksek değerlerde olması, galerideki dalga formu sayısının artmasıyla, piston geometrisinde değişikliğin meydana gelmesidir. Yağ galerisi yüzeyindeki bu değişimin, ısı transferini olumlu yönde etkilediği, fakat oluşan gerilme ve deformasyonları arttırdığı sonucu elde edilmiştir.

5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE İLERİDE YAPILMASI GEREKENLER

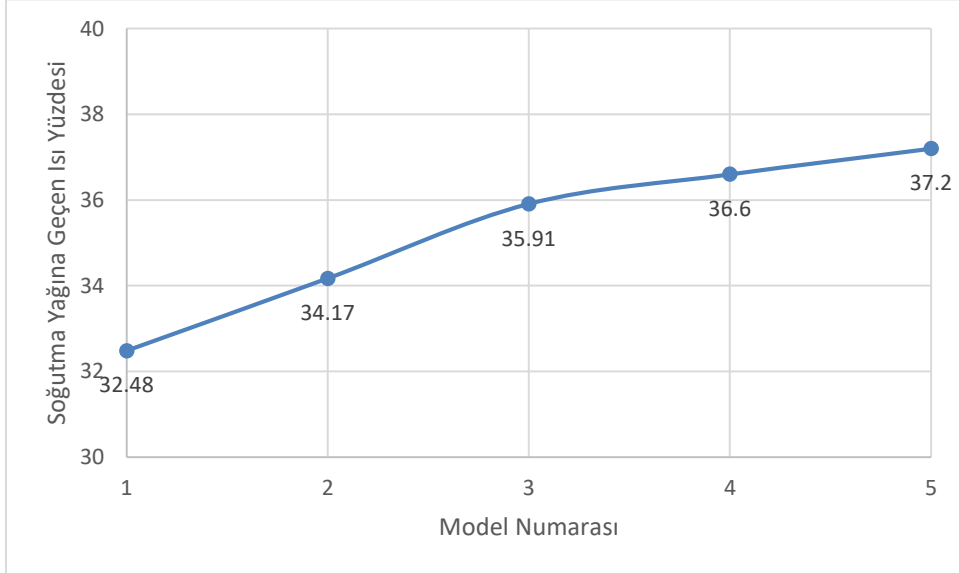
Bu yüksek lisans tezi kapsamında, yağ galerisi olmayan piston modeli ve beş adet yağ galerili piston modeli termal ve yapısal açıdan incelenmiştir. Model-0 olarak adlandırılan piston modelinde yağ galerisi bulunmadığı için sadece termal ve yapısal analizler gerçekleştirilmiştir. Diğer piston modellerinde ise soğutma yağının akış analizi, pistonun termal analiziyle eş zamanlı olarak çözülmüştür. Daha sonra sıcaklık dağılımları yapısal analizlere aktararak, yapısal analizler gerçekleştirilmiştir. Model-1, model-2 ve model-3 piston modelleri, soğutma yağı galerisi eksenel konumunun, pistondaki termal ve yapısal etkisini incelemek için kullanılmıştır. Model-4 ve model-5 pistonları ise yağ galerisi yüzeylerinde dalgalı bir forma sahip olan modellerdir. Dalga formunun, pistondaki termal ve yapısal etkileri, model-4 ve model-5 piston modelleri kullanılarak incelenmiştir.

Şekil 5.1’de piston model numaralarına göre, bu piston modellerinde görülen en yüksek sıcaklık değerleri verilmiştir. İlk üç modelde, yağ galerisi konumunun etkisiyle, maksimum sıcaklıkların 612 K değerinden 608 K değerine kadar azaldığı görülmektedir. Yağ galerisi üst yüzeyinde dalga formu bulunan model-4 ve model-5 pistonlarında ise sırasıyla 606 K ve 605 K maksimum sıcaklık değerleri oluşmaktadır. Yağ galerisinin konumu, pistonun tepe yüzeyine yaklaştıkça ve yağ galerisi üst yüzeyindeki dalga formu sayısı arttıkça, pistonda meydana gelen maksimum sıcaklıkların azaldığı gözlemlenmiştir.



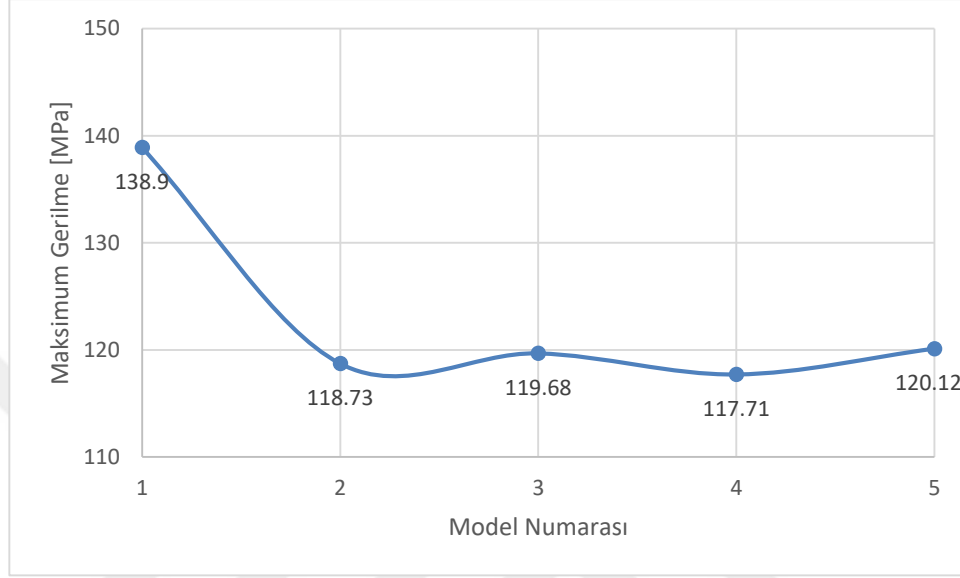
Şekil 5.1: Piston modeline bağlı olarak oluşan maksimum sıcaklık değerleri

Pistonda oluşan maksimum sıcaklıklara benzer şekilde, yağ galerisinin konumu piston tepe yüzeyine yaklaştıkça ve yağ galerisi yüzeyindeki dalga formunun sayısı arttıkça, pistondan soğutma yağına geçen ısı oranlarının arttığı Şekil 5.2’de görülmektedir. Galerinin aksel konumuyla, soğutma yağına geçen ısı oranı %35.91 değerine kadar yükselirken, yağ galerisinin üst yüzeyine verilen dalga formu sayısı arttıkça, bu oran %37.2 değerine kadar yükselmektedir.



Şekil 5.2: Piston modeline bağlı olarak soğutma yağına geçen ısı oranı

Şekil 5.3'te piston modellerinde, yapısal analizler sonucunda oluşan en yüksek gerilme değerleri görülmektedir. Model-1'de yağ galerisinin konumu, piston iç yüzeyine, diğer modellere göre daha yakın olduğu için, 138.9 MPa seviyelerinde gerilmeler oluşmaktadır. Diğer dört modelde oluşan en yüksek gerilmeler incelendiğinde, gerilme değerlerinin 117.71 MPa ile 120.12 MPa değerleri arasında olduğu görülmektedir.



Şekil 5.3: Piston Modeline Bağlı Olarak Oluşan Maksimum Gerilmeler

Gerçekleştirilen analizler sonucunda, galerinin eksenel konumu arttıkça, oluşan maksimum sıcaklıkların azaldığı, yağa geçen ısı transferinin arttığı gözlemlenmiştir. Galerinin eksenel konumu, piston geometrisini doğrudan etkilediği için maksimum gerilmeler de bu yönde etkilenmiştir.

Yağ galerisinin üst yüzeyinde dalgalı dalgalı bir yüzey formunun bulunması ve bu dalga formunun sayısı da, ısı transferini olumlu yönde etkilemiştir. Soğutma yağına geçen ısı oranı artarken, pistonda oluşan en yüksek sıcaklık değerinde azalma meydana gelmiştir.

Bütün analizlerde yağ galerisi akışı tek faz modellendiği için, çift faz akış çözümleriyle aradaki fark değerlendirilememiştir. İleride yapılması gereken çalışmaların başında, yağ galerisinde hava ve soğutma yağının akışını çift faz olarak modellemek gelmektedir. Çift fazlı akış modellenerek, yağ galerisinin konumunun incelenmesi konusunda literatürde bir açık bulunmaktadır.

Yağ galerisi üst yüzeyinde bulunan dalga formunun sayısı ve genliği de incelenmesi gereken bir diğer konu olmaktadır.



KAYNAKLAR

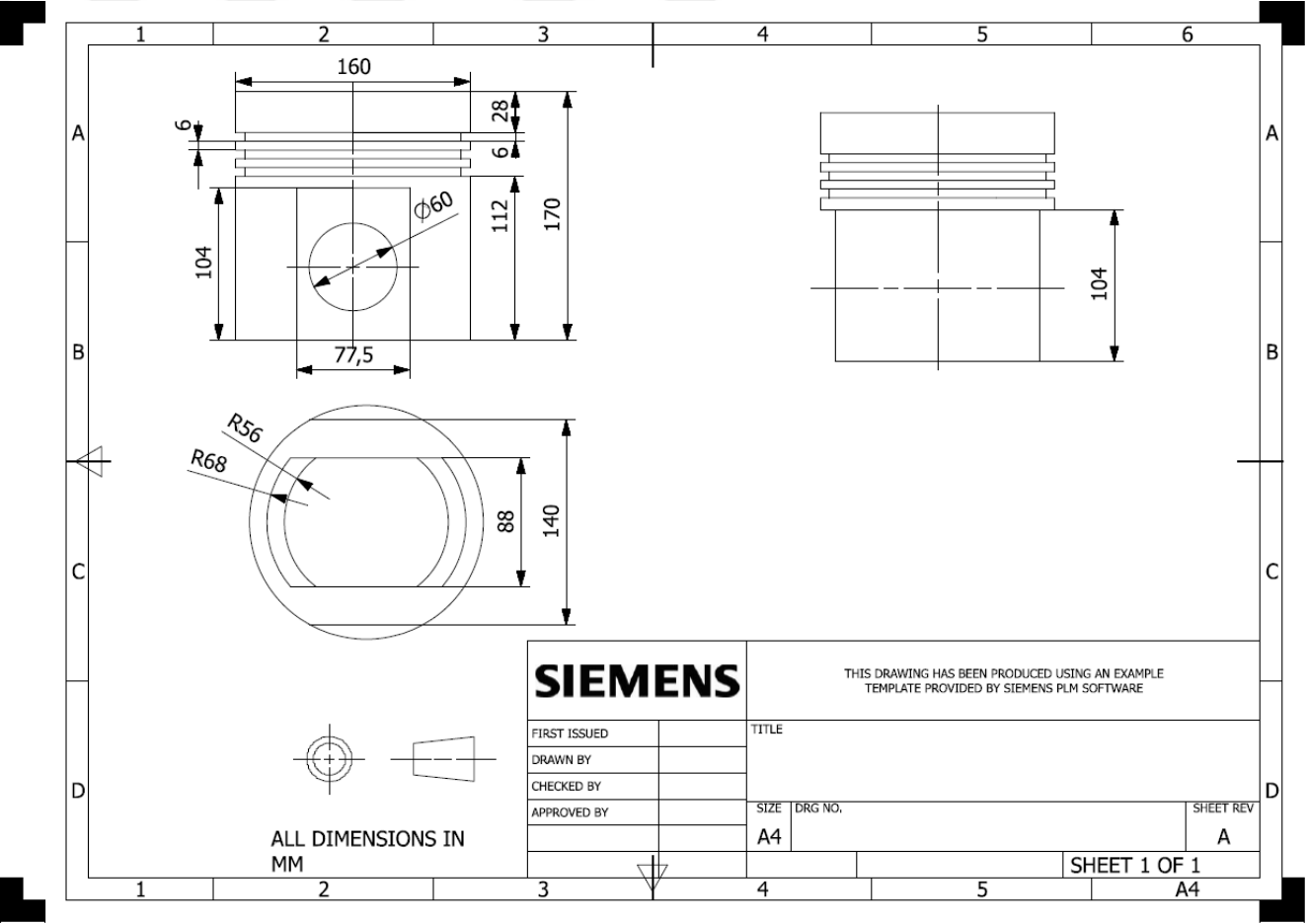
- [1] **Mahle GmbH.** (2012). *Pistons and Engine Testing*.
- [2] **Url-1** <www.dieselnet.com>, erişim tarihi 15.04.2021.
- [3] **Stone R.** (1992). *Introduction to Internal Combustion Engines*. The MacMillan Press.
- [4] **Url-2** <www.mahle.com>, erişim tarihi 15.04.2021.
- [5] **Canvar U.** (2011). *Dizel Motor Pistonunun Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Yapısal ve Termal Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] **Deng L., Liu Y., Wang Z., Liu S., and Zhang J.** (2016). Optimization of the Location of the Oil Cooling Gallery in the Diesel Engine Piston. *The Open Mechanical Engineering Journal*, 10, 126-134.
- [7] **Deng X., Lei J., Wen J., Wen Z., and Shen L.** (2017). Multi-objective Optimization of Cooling Galleries Inside Pistons of a Diesel Engine. *Applied Thermal Engineering*, 132, 441-449.
- [8] **Liu J., Wang Y., and Zhang W.** (2010). The Effects of the Cooling Gallery Position on the Piston Temperature Field and Thermal Stress. *Applied Mechanics and Materials*, 37-38, 1462-1465.
- [9] **Wang P., Lv J., Bai M., Li G., and Zeng K.** (2015). The reciprocating motion characteristics of nanofluid inside the piston cooling gallery. *Powder Technology*, 274, 402-417.
- [10] **Wang P., Liang R., Wang Y., Yu Y., and Zhang J.** (2017). The numerical investigation of heat transfer enhancement of copper-oil and diamond-oil nanofluids inside the piston cooling gallery. *Powder Technology*, 320, 313-324.
- [11] **Deng L., Zhang J., Hao G., and Liu J.** (2019). Numerical and experimental investigation on the effect of the two-phase flow pattern on heat transfer of piston cooling gallery. *Mechanics & Industry*, 20, 507.
- [12] **Sathishkumar R., Kannan M., and Selvaraj R.** (2016). Design and Structural Analysis of IC Engine Piston Using FEA Method. *International Conference On Innovations And Challenges In Engineering And Technology*. ICICET 2016.
- [13] **Ansys Inc.** (2010). *Introduction to Ansys Fluent: Turbulence Modelling* [PowerPoint Slides]. Retrieved from https://imechanica.org/files/fluent_13.0_lecture06-turbulence.pdf
- [14] **Arpaci, V.** (1966). *Conduction Heat Transfer*. Addison-Wesley Publishing Company.
- [15] **Url-3** <www.anton-paar.com>, erişim tarihi 15.04.2021.

[16] **Url-4** <www.ansys.com>, erişim tarihi 15.04.2021.

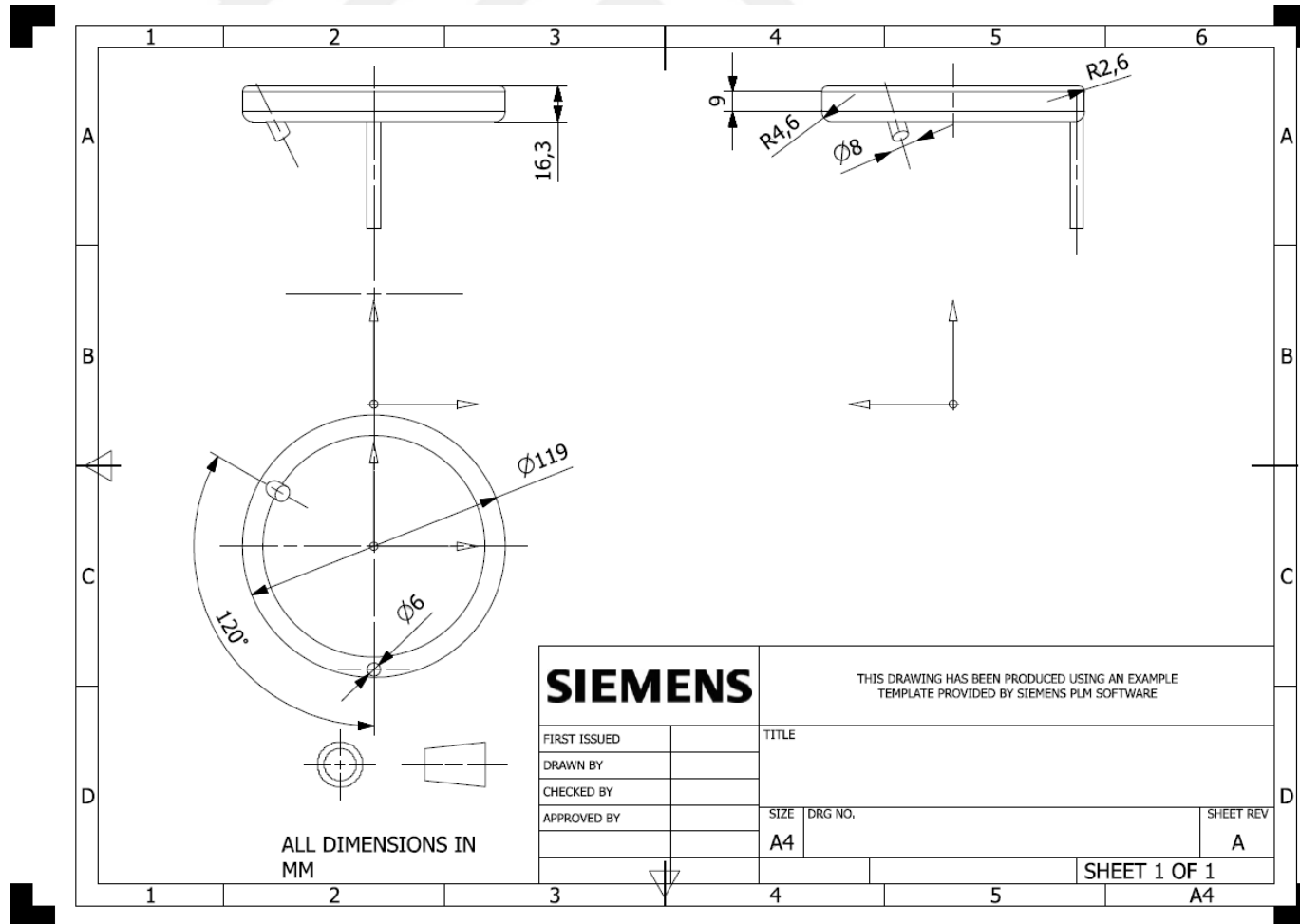


EKLER

EK 1: Piston Teknik Resmi



EK 2: Yağ Galerisi Teknik Resmi



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Orhan AYDIN

--

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2021, İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Isı-Akışkan