

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SERAMİK KAPLI BİR DİZEL MOTOR YANMA
ODASININ TERMAL ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak.Müh. Uğur ÇAKIR

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ

Tez Danışmanı : Yrd.Doç. Dr. Ekrem BÜYÜKKAYA

Haziran 2007

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SERAMİK KAPLI BİR DİZEL MOTOR YANMA
ODASININ TERMAL ANALİZİ


YÜKSEK LİSANS TEZİ


Mak.Müh. Uğur ÇAKIR


Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ

Bu tez 05 / 06 /2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Yrd.Doç.Dr.
Ekrem BÜYÜKKAYA
Jüri Başkanı


Yrd.Doç.Dr.
İmdat TAYMAZ
Jüri Üyesi


Yrd.Doç.Dr.
Ergün NART
Jüri Üyesi

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada askeri amaçlı zırlı personel taşıyıcı araçlarda kullanılan Detroit Diesel marka iki zamanlı 6V 53T tipi dizel motorunun yanma odası bilgisayar ortamında modellenerek sonlu elemanlar yöntemi ile termal analizleri yapılmıştır. Yanma odasını oluşturan motor parçalarının farklı seramik malzemeler ile kaplanmış modelleri oluşturulup analizler tekrarlanarak sıcaklık ve ısı akılarındaki değişiklikler incelenmiştir.

Çalıőmam sırasında bana her konuda yardımcı olan danıőman hocam Yrd. Doç.Dr. Ekrem BÜYÜKKAYA'ya, 1nci ve 2nci Ana Bkm. Mrk. K.lıklarındaki değerli komutanlarıma ve manevi desteğini bir an olsun esirgemeyen eőim Őerife ÇAKIR'a en içten teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Düşük Isı Kayıplı Motorlar.....	2
1.2. Seramik Malzemeler.....	5
1.3. İçten Yanmalı Motorların Yanma Odalarının Sonlu Elemanlar Yöntemi İle İncelenmesine Yönelik Yapılan Çalışmalar.....	8
1.4. Tezin Amacı ve Kapsamı.....	11
BÖLÜM 2.	
İÇTEN YANMALI MOTORLARDA ISI TRANSFERİ.....	12
2.1. Enerji Dağılımı.....	12
2.2. Motor Sıcaklıkları.....	15
2.3. Motor Isınması.....	16
2.4. Emme Sistemi.....	17
2.5. Yanma Odasında Isı Transferi.....	19
2.6. Egzoz Sisteminde Isı Transferi.....	26

BÖLÜM 3.

DİZEL MOTOR YANMA ODASININ TERMAL ANALİZİ.....	27
3.1. Yanma Odası Modellerinin Oluşturulması.....	28
3.2. Sonlu Elemanlar Modellerinin Oluşturulması.....	30
3.2.1. Kaplamasız yanma odasının sonlu elemanlar modeli.....	30
3.2.2. Kaplamalı yanma odasının sonlu elemanlar modeli.....	32
3.2.3. Sınır şartları.....	33
3.3. Termal Analizler.....	35
3.3.1. K.G.D.D. pistonlu, kaplamasız yanma odasının termal analizi.....	35
3.3.2. AlSi pistonlu, kaplamasız yanma odasının termal analizi.....	37
3.3.3. K.G.D.D. pistonlu, MgZrO ₃ kaplamalı yanma odasının termal analizi.....	39
3.3.4. K.G.D.D. pistonlu, Al ₂ O ₃ -%40ZrO ₂ kaplamalı yanma odasının termal analizi.....	41
3.3.5. K.G.D.D. pistonlu, Al ₂ O ₃ -%40TiO ₂ kaplamalı yanma odasının termal analizi.....	43
3.3.6. AlSi pistonlu, MgZrO ₃ kaplamalı yanma odasının termal analizi.....	45
3.3.7. AlSi pistonlu, Al ₂ O ₃ -%40ZrO ₂ kaplamalı yanma odasının termal analizi.....	47
3.3.8. AlSi pistonlu, Al ₂ O ₃ -%40 TiO ₂ kaplamalı yanma odasının termal analizi.....	49

BÖLÜM 4.

SONUÇLAR	51
4.1. K.G.D.D. ve AlSi Pistonlu Kaplamasız Yanma Odasının Piston Yüzeylerinde Sıcaklık ve Isı Akısı Karşılaştırması.....	51
4.2. K.G.D.D. Pistonlu, Üç Farklı Seramik İle Kaplanmış Yanma Odasının Piston Yüzeylerinde Sıcaklık ve Isı Akısı Karşılaştırması	54

4.3. AlSi Pistonlu, Üç Farklı Seramik İle Kaplanmış Yanma Odasının Piston Yüzeylerinde Sıcaklık ve Isı Akısı Karşılaştırması.....	56
4.4. Sonuçların Değerlendirilmesi.....	59
BÖLÜM 5.	61
TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	61
KAYNAKLAR.....	62
ÖZGEÇMİŞ.....	64

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AMS	: Alüminyum Magnezyum Silikat
PSZ	: Kısmen stabilize olmuş zirkon
Q_B	: Baz motorda oluşan ısı kayıpları
Q_Y	: Yalıtılmış motorda oluşan ısı kayıpları
\dot{W}	: Motordan alınan kullanılabilir güç
\dot{m}_f	: Yakıt kütle akış oranı
\dot{m}_a	: Hava kütle akış oranı
Q_{HV}	: Yakıtın ısı değeri
η	: Verim
T	: Sıcaklık
h	: Isı transfer katsayısı
A	: Piston yüzey alanı
Δx	: Yanma odası duvar kalınlığı
k	: Isı iletim katsayısı
\dot{q}	: Isı akışı
Re	: Reynolds sayısı
B	: Silindir çapı
Nu	: Nusselt sayısı
C	: Sabit katsayılar
σ	: Stefan-Boltzman sabiti
ε	: Işınım oranı
F_{1-2}	: Gaz ile duvar arasındaki değerlendirme faktörü
K.G.D.D.	: Küresel Grafitli Dökme Demir
L.G.D.D.	: Lamel Grafitli Dökme Demir

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Dizel motor enerji dengesi karşılaştırması.....	2
Şekil 1.2.	Yanma odası sıcaklıkları: standart (parantez içerisindekiler) ve adyabatik.....	3
Şekil 1.3.	Standart ve kaplamalı dizel motorlardaki gaz ve duvar sıcaklıkları.....	3
Şekil 1.4.	Seramik kaplamanın yayım (ışınım) kabiliyeti.....	7
Şekil 2.1.	İçten yanmalı bir motorda, motor hızının bir fonksiyonu olarak enerji dağılımı	13
Şekil 2.2.	İçten yanmalı bir motorun normal kararlı durumda çalışması sırasında bulunan tipik sıcaklık değerleri (°C).....	15
Şekil 2.3.	Tipik bir içten yanmalı motorda, motor parçalarının sıcaklıklarının zaman ve motor ısınma süresine bağlı olarak değişimi.....	17
Şekil 2.4.	Emme manifoldundaki sıcak parçanın yerleşimi.....	18
Şekil 2.5.	İçten yanmalı motorda yanma odası silindir duvarından olan ısı transferi.	20
Şekil 2.6.	Tipik bir motorda, silindir içindeki bir bölgede, motorun üç ardışık çevrimi için, bölgesel ısı akısının deneysel değişimleri....	23
Şekil 2.7.	Tipik bir motorda, silindir içindeki üç farklı bölgede, motorun bir çevrimi için, bölgesel ısı akısının deneysel değişimleri.....	24
Şekil 2.8.	Pistonun soğutulması.....	25
Şekil 2.9.	İçten yanmalı motorların egzoz akışındaki ortalama Nusselt değerleri.....	26
Şekil 3.1.	Detroit Diesel, 6V 53T motorunun genel görünüşü.....	27
Şekil 3.2.	Bilgisayar ortamında modellenmiş yanma odası parçaları.....	28
Şekil 3.3.	Kaplamasız yanma odası ANSYS mesh (ağ) modeli.....	30

Şekil 3.4.	Kaplamalı yanma odası ANSYS mesh (ağ) modeli.....	32
Şekil 3.5.	Sınır şartları tanımlanan yüzeyler.....	33
Şekil 3.6.	K.G.D.D. pistonlu, kaplamasız yanma odasının sıcaklık dağılımı	36
Şekil 3.7.	K.G.D.D. pistonlu, kaplamasız yanma odasının toplam ısı akısı dağılımı.....	36
Şekil 3.8.	AlSi pistonlu, kaplamasız yanma odasının sıcaklık dağılımı.....	38
Şekil 3.9.	AlSi pistonlu, kaplamasız yanma odasının toplam ısı akısı dağılımı.....	38
Şekil 3.10.	K.G.D.D. pistonlu, 150µm NiCrAl bağlayıcı üzerine 350 µm MgZrO ₃ kaplamalı yanma odasının sıcaklık dağılımı.....	40
Şekil 3.11.	K.G.D.D. pistonlu, 150µm NiCrAl bağlayıcı üzerine 350 µm MgZrO ₃ kaplamalı yanma odasının toplam ısı akısı dağılımı.....	40
Şekil 3.12.	K.G.D.D. pistonlu, 150µm NiCrAl bağlayıcı üzerine 350 µm Al ₂ O ₃ -%40ZrO ₂ kaplamalı yanma odasının sıcaklık dağılımı	42
Şekil 3.13.	K.G.D.D. pistonlu, 150µm NiCrAl bağlayıcı üzerine 350 µm Al ₂ O ₃ -%40ZrO ₂ kaplamalı yanma odasının toplam ısı akısı.....	42
Şekil 3.14.	K.G.D.D. pistonlu, 150µm NiCrAl bağlayıcı üzerine 350 µm Al ₂ O ₃ -%40TiO ₂ kaplamalı yanma odasının sıcaklık dağılımı.....	44
Şekil 3.15.	K.G.D.D. pistonlu, 150µm NiCrAl bağlayıcı üzerine 350 µm Al ₂ O ₃ -%40TiO ₂ kaplamalı yanma odasının toplam ısı akısı dağılımı.....	44
Şekil 3.16.	AlSi pistonlu, 150µm NiCrAl bağlayıcı üzerine 350 µm MgZrO ₃ kaplamalı yanma odasının sıcaklık dağılımı.....	46
Şekil 3.17.	AlSi pistonlu, 150µm NiCrAl bağlayıcı üzerine 350 µm MgZrO ₃ kaplamalı yanma odasının toplam ısı akısı dağılımı.....	46
Şekil 3.18.	AlSi pistonlu, 150µm NiCrAl bağlayıcı üzerine 350 µm Al ₂ O ₃ -%40ZrO ₂ kaplamalı yanma odasının sıcaklık dağılımı.....	48
Şekil 3.19.	AlSi pistonlu, 150µm NiCrAl bağlayıcı üzerine 350 µm Al ₂ O ₃ -%40ZrO ₂ kaplamalı yanma odasının toplam ısı akısı.....	48
Şekil 3.20.	AlSi pistonlu, 150µm NiCrAl bağlayıcı üzerine 350 µm Al ₂ O ₃ %40TiO ₂ kaplamalı yanma odasının sıcaklık dağılımı.....	50

Şekil 3.21.	AlSi pistonlu, 150µm NiCrAl bağlayıcı üzerine 350 µm Al ₂ O ₃ - %40TiO ₂ kaplamalı yanma odasının toplam ısı akısı.....	50
Şekil 4.1.	Kaplamasız K.G.D.D. ve AlSi pistonların yüzey boyunca sıcaklık dağılımları (°C).....	52
Şekil 4.2.	Kaplamasız K.G.D.D. ve AlSi pistonların yüzey boyunca ısı akısı dağılımları (kW/m ²).....	52
Şekil 4.3.	K.G.D.D. pistonlu, kaplamalı yanma odasında piston yüzeylerindeki sıcaklık dağılımları(°C).....	54
Şekil 4.4.	K.G.D.D. pistonlu, kaplamalı yanma odasında piston yüzeylerindeki ısı akısı dağılımları (kW/m ²).....	54
Şekil 4.5.	AlSi pistonlu, kaplamalı yanma odasında piston yüzeylerindeki sıcaklık dağılımları (°C).....	57
Şekil 4.6.	AlSi pistonlu, kaplamalı yanma odasında piston yüzeylerindeki ısı akısı dağılımları (kW/m ²).....	57
Şekil 4.7.	K.G.D.D. ve AlSi pistonda ve bu pistonların MgZrO ₃ ile kaplanması durumunda piston yüzeylerindeki sıcaklık dağılımları.....	59
Şekil 4.8.	K.G.D.D. ve AlSi pistonda ve bu pistonların MgZrO ₃ ile kaplanması durumunda piston yüzeylerindeki ısı akısı dağılımları (kW/m ²).....	60

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1.	Termal bariyer kaplama teknolojisinin sağladığı avantajlar.....	5
Tablo 3.1.	Motorun teknik özellikleri.....	28
Tablo 3.2.	Yanma odasını oluşturan parçalar ve özellikleri.....	29
Tablo 3.3.	Kaplamasız yanma odası ANSYS mesh (ağ) modeli özellikleri..	31
Tablo 3.4.	Malzeme özellikleri tablosu.....	31
Tablo 3.5.	Kaplamalı yanma odası ANSYS mesh (ağ) modeli özellikleri.....	32
Tablo 3.6.	Yanma odası termal analizlerinde kullanılan sınır şartları.....	34
Tablo 3.7.	K.G.D.D. pistonlu, kaplamasız yanma odası sıcaklık ve ısı akısı analiz sonuçları.....	35
Tablo 3.8.	AlSi pistonlu, kaplamasız yanma odası sıcaklık ve ısı akısı analiz sonuçları.....	37
Tablo 3.9.	K.G.D.D. pistonlu, MgZrO ₃ kaplamalı yanma odası sıcaklık ve ısı akısı analiz sonuçları.....	39
Tablo 3.10.	K.G.D.D. pistonlu, MgZrO ₃ kaplamalı yanma odası sıcaklık ve ısı akısı analiz sonuçları.....	41
Tablo 3.11.	K.G.D.D. pistonlu, Al ₂ O ₃ -%40TiO ₃ kaplamalı yanma odası sıcaklık ve ısı akısı analiz sonuçları.....	43
Tablo 3.12.	AlSi pistonlu, MgZrO ₃ kaplamalı yanma odası sıcaklık ve ısı akısı analiz sonuçları.....	45
Tablo 3.13.	AlSi pistonlu, Al ₂ O ₃ -%40ZrO ₂ kaplamalı yanma odası sıcaklık ve ısı akısı analiz sonuçları.....	47
Tablo 3.14.	AlSi pistonlu, Al ₂ O ₃ -%40TiO ₂ kaplamalı yanma odası sıcaklık ve ısı akısı analiz sonuçları.....	49
Tablo 4.1.	Yanma odası analizi sonucunda bulunan toplam ısı akıları.....	53

Tablo 4.2.	K.G.D.D. pistonlu, üç farklı seramik malzeme ile kaplanmış yanma odasında termal analiz sonucu bulunan ısı akıları.....	56
Tablo 4.3.	AlSi pistonlu, üç farklı seramik malzeme ile kaplanmış yanma odasında termal analiz sonucu bulunan ısı akıları.....	58
Tablo 4.4.	Analiz sonuçlarının karşılaştırması.....	59

ÖZET

Anahtar kelimeler: Dizel Motor Yanma Odası, Termal Analiz, Seramik Kaplama.

İçten yanmalı motorlarda yakıtın kimyasal enerjisi, yanma sonucu mekanik enerjiye dönüştürülmektedir. Yanma odası çevresinde etkili bir soğutma sağlanamazsa, yanma sonucu oluşan yüksek sıcaklıklar, piston, silindir, motor kapağı ve segmanlar başta olmak üzere tüm motor parçalarının ve motor yağlarının sıcaklık etkisi ile bozulmasına sebep olabilir. Diğer yandan, motorların verimlerinin yükseltilmesi için, ısı kayıplarının önlenmesi ve yanma odası sıcaklıklarının artırılması istenmektedir.

Motorlarda ısı kayıplarını azaltmanın en temel yolu, yanma odasının yalıtılmasıdır. Seramik malzemeler ile yalıtılmış bir yanma odası sayesinde; artan egzoz ısısının kullanılması, sürtünme azaltma yöntemleri ve soğutma sisteminin ortadan kaldırılması yönünde çalışmalar yapılmaktadır.

Bu çalışmada, askeri bir araçta kullanılan iki zamanlı bir dizel motoruna ait piston, segmanlar, silindir, silindir kapağı parçalarının ve yanma odasının Solidworks programı ile CAD modelleri oluşturulmuş, yanma odası sınır şartları belirlenerek Ansy Workbench programında yanma odasının termal analizleri yapılmıştır. Daha sonra incelenen motorun piston ve silindir duvarı, ısıl dayanımları yüksek farklı malzemeler ile kaplanarak aynı analizler tekrar edilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda; seramik kaplamalı pistonda ve yanma odasında ısı kayıplarının azaltılabileceği ve böylelikle motorun termal veriminin artırılacağı görülmüştür.

THERMAL ANALYSIS OF A DIESEL ENGINE COMBUSTION CHAMBER WITH CERAMIC COATED

SUMMARY

Keywords: Diesel Engine Combustion Chamber, Heat Transfer, Thermal Analysis, Ceramic Coating.

Chemical energy of fuel is converted to mechanical energy after combustion for internal combustion engines. In case efficient cooling cannot be provided around the combustion chamber, high temperature arose by combustion may cause malfunction of piston, cylinder, engine cover, piston ring and other engine components and spoil the engine oil. Besides, preventing heat losses and increasing the combustion chamber temperatures are requested in order to raise engine efficiency.

The basic way to reduce engine heat losses is to isolate the combustion chamber. By means of a combustion chamber isolated by ceramic materials; using of increased exhaust heat, methods of decreasing the friction and eliminating the cooling system is being studied.

In this study, CAD models of the piston, piston rings, cylinder, cylinder cover components and combustion chamber of a two-stroke diesel engine belonging to a military vehicle have been made up by Solidworks software and thermal analysis of the combustion chamber is performed in Ansys Workbench software by determining combustion chamber boundary conditions. Afterwards, aforementioned analyses are repeated by coating the piston and cylinder wall of the engine with various highly heat-resistant materials.

As a result of the analysis, is was observed that engine thermal efficiency can be increased by coating the piston and the combustion chamber with ceramic thus reducing heat losses.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

İçten yanmalı motorlarda yanma sonucu yakıttan motora geçen kimyasal enerjinin yaklaşık %35'i faydalı krank işi olarak alınmaktadır. Yakıt enerjisinin %30'u egzoz gazları ile, entalpi ve kimyasal enerji formunda dışarı atılmaktadır. Enerji kayıpları, bazı ısı transferi yöntemleri ile, toplam enerjinin yaklaşık üçte birinin çevreye dağılımı ile gerçekleşir. Motorların yanma odalarında sıcaklık değerleri 2400°C seviyesine ulaşır. Motor parçalarının imal edildiği malzemeler bu denli yüksek sıcaklık değerlerine dayanamazlar ve şayet uygun ısı transferleri oluşturulamazsa çabucak bozulurlar. Motorların ve motor yağlayıcılarının sıcaklık etkilerinden zarar görmesinin önlenmesinde oluşan yüksek ısının uzaklaştırılması son derece önemli bir konudur [1].

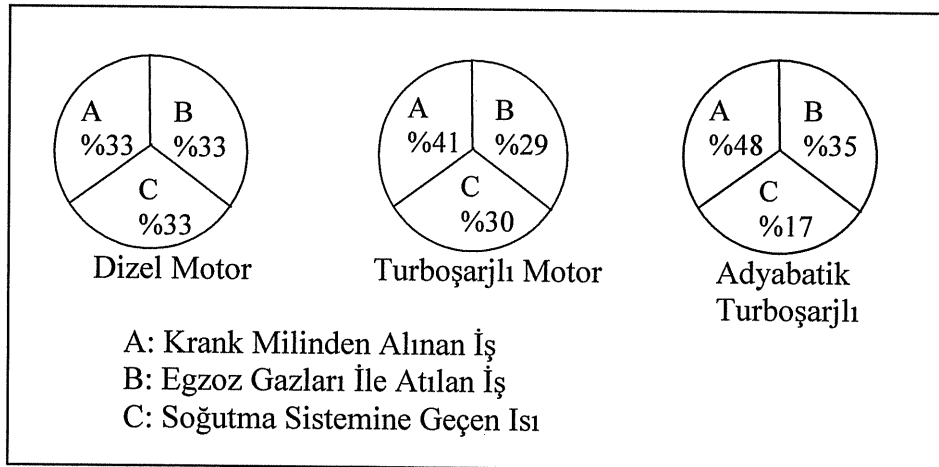
Diğer yandan da motorların mümkün olan en yüksek termal verimde çalıştırılması arzu edilir. İçten yanmalı bir motorun performansını arttırabilmek için, toplam yakıt enerjisinin mümkün olan en fazla oranda faydalı enerji haline dönüştürülmesini sağlamak gerekmektedir. Kayıp enerjiyi faydalı hale getirmek, genişleme zamanındaki faydalı işi arttırmak, egzoz ve soğutma sistemine giden ısıları azaltmakla sağlanabilir. Bunun için de yanma odasını teşkil eden parçaların ısı iletkenliği düşük, yüksek çalışma sıcaklığına dayanabilen bir malzemeden imal edilmeleri veya kaplanmaları gerekmektedir [2].

Motorların yanma odalarının soğutulmasında iki genel metot kullanılır. Su soğutmalı motorlarda; soğutucu akışkanın motoru çevreleyen su ceketleri içerisinde dolaştırılması ile, hava soğutmalı motorlarda; motoru çevreleyen kanatlı yüzeylerde oluşan hava akışı sayesinde soğutma gerçekleşir. Yanma odasını oluşturan parçaların ısı iletkenlikleri düşük malzemelerden imal edilmeleri veya kaplanmaları sayesinde, yanma odasından soğutucu akışkana olan ısı geçişleri azaltılacağından soğutma sistemlerinin hacimleri azaltılabilir. Bu sayede bir yandan motor hacimleri küçültülürken diğer yandan motor verimlerini arttırmak mümkün olabilir.

1.1. Düşük Isı Kayıplı Motorlar

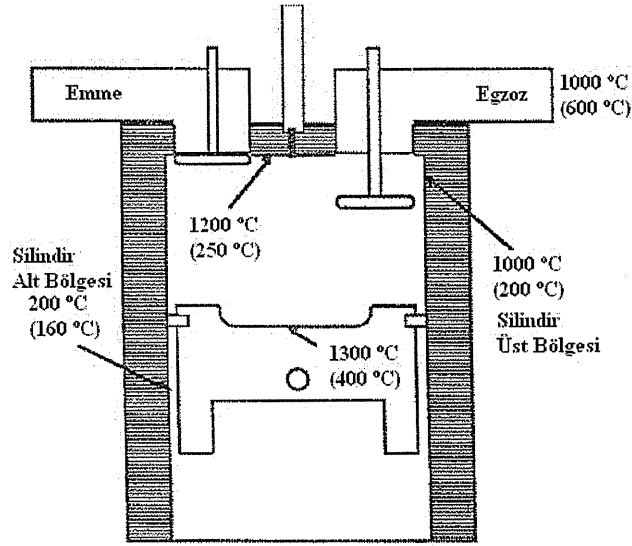
Geçmişte, içten yanmalı motorların geliştirilmesiyle uğraşanlar, yüksek yanma odası sıcaklığının avantajlarının farkına varmıştır. Teorik otto çevriminin verimi, direkt olarak motor çevriminin sıcak ve soğuk kısımlarındaki sıcaklık farkına bağlıdır. Eğer yanan gazın enerjisi kontrol altına alınabilirse, içten yanmalı motorların verimi artırılabilir. İçten yanmalı motorların verimini arttırmak ve daha yüksek değerlerde yanma odası sıcaklığına ulaşmak için, “düşük ısı kayıplı motor” kavramı ortaya çıkmıştır.

Düşük ısı kayıplı motorlar için, “adyabatik” terimi de kullanılmaktadır. Mutlak sıfır ısı akışı, pratikte mümkün değildir. Bu yüzden, bu tanımlama, bu tip çalışmaları sınıflandırmak için kullanılmaktadır. Motorlarda ısı kayıplarını azaltmanın en temel yolu, yanma odasının yalıtılmasıdır[3]. Seramik malzemeler ile yalıtılmış bir yanma odası sayesinde; artan egzoz ısısının kullanılması, sürtünme azaltma yöntemleri ve soğutma sisteminin ortadan kaldırılması yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Şekil 1.1’de, adyabatik dizel motorlarındaki, potansiyel performans artışı gösterilmektedir. Düşük ısı kayıplı motorların bir avantajı da, çalışma sırasında elde edilen yüksek gaz sıcaklığıdır. Bu da, egzoz gazlarının yüksek entalpiye sahip olması anlamına gelmektedir. Motor tasarımı, yüksek sıcaklıkta çalışmaya müsait olmalıdır. Parçaların termal genişmesi ve kısa süreli yüksek sıcaklıklar gibi etkenler, göz ardı edilemez.

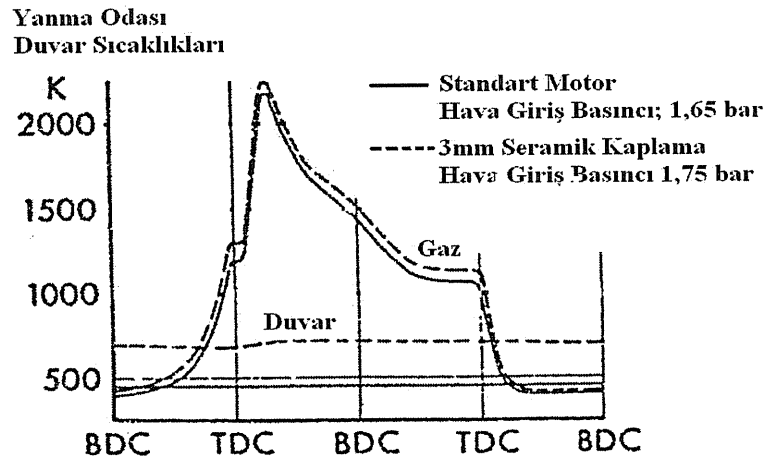


Şekil 1.1 Dizel motor enerji dengesi karşılaştırması

Şekil 1.2, geleneksel soğutmalı ve yalıtılmış soğutmasız motorlar için yaklaşık sıcaklık değerlerini göstermektedir. Literatürde, muhtelif yalıtılmış motor sıcaklık profillerini bulmak mümkündür. Bunun sebebi, araştırmacıların kullandığı değişik oranlardaki yalıtım veya soğutma ve farklı çalışma düzenleridir. Şekil 1.3, ince seramik astar kullanımından kaynaklanan tahmini gaz ve duvar sıcaklık değişimlerini göstermektedir [4]. Gösterilen grafik, 4500 rpm, tam yük ve egzoz gazıyla çalışan turboşarj kullanılması durumundaki koşullar için verilmiştir.



Şekil 1.2 Yanma odası sıcaklıkları: standart (parantez içerisinde) ve adiabatik



Şekil 1.3 Standart ve yalıtılmış dizel motorlardaki gaz ve duvar sıcaklıkları

Egzoz gaz sıcaklığını artırmakla oluşan egzoz enerjisindeki artış, tabii emmeli bir dizel motoruna turboşarj ve/veya turbokombine sisteminin eklenmesiyle dışarı atılan ısı enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürülmesini sağlar ki, bu da motorun performansını iyileştirir. Zaten aşırı doldurmada, motorlara kompresör ve/veya turbo kombine ilavesiyle, aynı strok hacminden daha fazla güç almak esastır. Bu durum, aynı silindir hacmine, kompresör tarafından sağlanan yüksek basınçta daha fazla hava gönderip, o silindirde yakılabilecek yakıt miktarının artırılmasıyla sağlanır. Yanma odasındaki sıcaklık artışı ile yanmadan atılan hidrokarbonlar tamamen yanmakta, karbonmonoksit ve is emisyonları ise azaltılmaktadır.

Tabii emmeli bir dizel motorunda egzoz gazları ile atılan enerji %33 iken, turboşarjlı motorda %29, adyabatik (yalıtılmış) turboşarjlı motorda %35'dir. Ayrıca turboşarjlı dizel motorda 600°C civarında olan egzoz gazı sıcaklıkları adyabatik motorda 1000°C seviyesindedir [8].

Yanma odasını oluşturan elemanların metal yerine seramik malzemeden yapılması halinde ağırlık yönünden oldukça önemli avantajlar ortaya çıkarılmıştır. Tam adyabatik bir motor ve taşıt dizaynı sonunda bir askeri araçta (tankta), hacim azalması oranı yaklaşık %40 civarında olduğu saptanmıştır. Bu azalma motorda %35, soğutma sisteminde %22, transmisyonda %20, yakıtta %17, aksesuarda ve diğerlerinde ise %5 değerlerine ulaşmaktadır. Özellikle askeri amaçlar için hedef küçültme bakımından taşıtın küçültülmesi veya taşıtın kullanım alanının artırılması yanında, azalan ağırlığı sebebiyle daha az yakıt tüketme ve daha seri hareket kabiliyeti kazanması da performans açısından önemlidir.

Daha hafif motordan veya taşıttan sağlanan daha fazla güç, güç yoğunluğu artışı sağlar. Isı kayıplarının azaltılması sebebiyle özellikle dizel motorlarında sıkıştırma sonu gaz sıcaklığı artacağından daha kolay ilk hareket sağlanabileceği gibi tutuşma gecikmesi de kısalmaktadır ve motorlarda kontrolsüz yanmadan kaynaklanan vuruntu ve gürültü olayı azalarak daha sessiz çalışma imkanı sağlanmış olur. Termal bariyer kaplamalı motorlardan elde edilen bu avantajların yüzde oranları Tablo 1.1'de sunulmuştur [5].

Tablo 1.1 Termal bariyer kaplama teknolojisinin sağladığı avantajlar

Parametreler	Oranlar
Hava kirliliği yönünden daha az emisyon	%20-50
Havaya giden daha az partikül	%50
Duman koyuluğunda azalma	%75
Yakıt ekonomisi	%12
Daha yüksek motor gücü	%10
Tutuşma gecikmesinde azalma	3 KMA
Daha düşük setan değerli yakıt kullanım imkanı	30-45
Daha uzun motor ömrü	%20
Parça sıcaklıklarında azalmalar	100 °C
Daha düşük motor gürültüsü	3 desibelden az

1.2. Seramik Malzemeler

İlk motor tasarımlarının yapıldığı günlerde, yanma sıcaklıklarının artırılması yönündeki çalışmalar, dökme demir ve diğer motor malzemelerin sıcaklık dayanımları ile kısıtlanmıştır. Yanma odasında yanan gazlardan dolayı açığa çıkan ısının dışarı iletilmesi amacıyla, kalın duvarlı yanma odaları ve su soğutmalı sistemler, eski motorlarda sık sık kullanılmıştır. İkinci Dünya Savaşı sonrasına kadar, yanma odası sıcaklığının artırılması ve ısı transferinin azaltılmasına yönelik çok az iş başarılmıştır. O yıllarda, cam türevi malzemelerin, düşük termal iletkenlikleri olduğu düşünülmüştür [6]. Cam, mükemmel yalıtım, düşük genleşme oranı ve düşük maliyet özelliklerine sahip olmakla birlikte motorlar için gerekli mukavemeti sağlamaktan yoksundur. Motor parçaları için cam kaplamalarına olan ilgi, 1950'lere dayanmaktadır [7].

1970'lerin ortalarına kadar, yanma odası parçalarının imal edildikleri malzemelerde kayda değer bir ilerleme kat edilmemiştir. Bu yıllarda, silikon-karbid (SiC) ve silikon nitrit (Si_3N_4) bileşikleri silindir yapımında kullanılmıştır.

Araştırmacılar tarafından yanma odalarının yalıtımında kullanılabilirliği üzerinde durulan bazı seramik malzemeler ve özellikleri aşağıda verilmiştir [8].

Aluminyum Titrinat ($Al_2O_3.TiO_2$); Oldukça makbul olan düşük termal iletkenliğe sahiptir. Ancak, düşük malzeme mukavemeti, destekleyici bir baz malzemesine gereksinim duyulmasına neden olmaktadır. Bu malzemedeki düşük özgül ağırlık, parça kütesinin önem kazandığı salınım yapan parçalar için aranan bir malzeme olmasını sağlamaktadır. Pistonlar ve egzoz sistemleri, aluminyum titrinat için uygun kullanım alanlarıdır.

Aluminyum Magnezyum Silikat (AMS); Düşük termal genleşme katsayısına ancak kötü mukavemete sahip bir malzemedir. Özellikle düşük termal genleşme katsayısı ve termal şoklara karşı yüksek direnci, bu malzemenin, kısa süreli sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan termal yüklerin mevzu bahis olduğu durumlar için uygun olmasını sağlamaktadır. Metal yapısıyla birleşimindeki zorluk, genleşme katsayısındaki büyük farklılıklardan kaynaklanmaktadır.

Zirkon (Zirconia); Çok düşük termal iletkenlik değerlerine, iyi mukavemete, metallere benzer termal genleşme katsayılarına ve yüksek sıcaklıklarda metallere daha tok bir yapıya sahiptir. Ancak, bir dezavantajı sıcaklığı çok yüksek seviyelere çıktıkça faz değiştirme karakteristiğine sahip olmasıdır. Faz değişiklikleri, moleküler seviyede gerçekleşip moleküler bağın ve yapının değişmesine de sebep olur. Kısmen stabilize olmuş zirkon (PSZ), bu faz değişikliği etkilerini azaltmak amacıyla geliştirilmiş ve motor parçaları için iyi bir alternatif malzeme olmuştur.

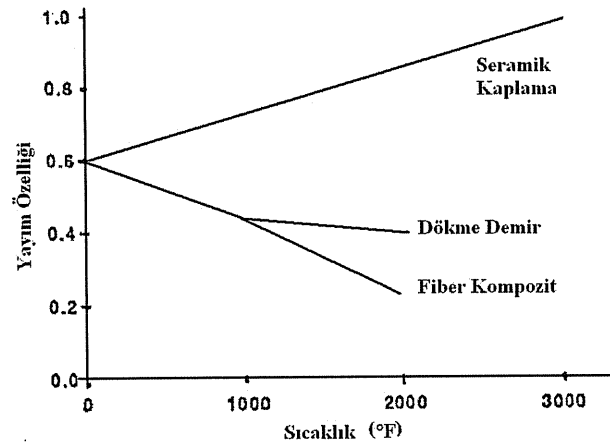
Kısmen stabilize olmuş zirkon'a magnezyum ya da nikel eklenerek mukavemet ve süneklik karakteristikleri iyileştirilmiştir. Magnezyumlu kısmi stabilize zirkon, (MgPSZ), demir ve çeliğinkine yakın bir termal genleşme katsayısı ve young modülüne sahip olup yanma odasında bulunan; supap kılavuzları ve yatakları, supaplar ve piston yüzeyleri için uygun bir malzemedir. MgPSZ'nin %20-24'ü magnezyumdan oluşmaktadır. Bu alaşım, şu ana dek geliştirilmiş tüm PSZ'ler içerisinde en yüksek kırılma tokluğuna sahip olanıdır.

Nikel PSZ; Diğer seramiklerden daha sünek bir malzeme üretmek amacıyla geliştirilmiş bir malzemedir. Nikel PSZ sünek yapısı ile, yanma odasında oluşacak termal ve mekanik streslerin etkilerini azaltmak amacıyla içten yanmalı motorların

yalıtımında kullanılabilir bir malzeme olabilir. Nikel, malzeme moleküllerinin birbiri üzerinde kaymasına olanak tanınmasından dolayı moleküler seviyede bilyalı rulman görevi üstlenmektedir. Bu özellik, malzemenin ani kırılma olasılığını düşürmektedir.

Sialon seramiği (Si-Al-O-N); Silikon, Alüminyum, Oksijen ve Azot sistemleri [13]. Bu malzemenin önemli avantajlarından birisi yüksek sıcaklıklardaki düşük deformasyon karakteristiğidir. Özelliklerini 1400 °C'ye kadar korur. Malzeme, aynı zamanda düşük özgül ağırlık ve düşük sürtünme katsayısına sahiptir. Salınım yapan parçalar için (supaplar ve rulmanlar gibi) uygun özelliklere sahiptirler.

Birçok seramik malzeme, sahip oldukları yüksek yayım (ışınım) kabiliyeti ile, yanma esnasındaki ısının büyük kısmını yansıtmak suretiyle ısı transferi etkilerini azaltmaktadır. Şekil 1.4 , seramik malzemelerin yayım kabiliyetlerini göstermektedir. Bazı araştırmacılar tarafından yayım kabiliyetinin ısı transferi karakteristiklerinden daha önemli olduğu düşünülmektedir. Seramik malzemelerde ısının yüzeyden geri yansıtılması, yüzey sıcaklığı tehlikeli seviyelere ulaşmadan gerçekleştirilebilmektedir. Seramik malzemelere karbon karası ilavesi, mukavemetten biraz feragat etmek koşuluyla yayım kabiliyetini daha da arttırabilir. Bu malzemeler aynı zamanda korozyona dirençli, dayanıklı, zehirsiz ve alev almaz özelliklerde malzemelerdir.[8]



Şekil 1.4 Seramik kaplamanın yayım (ışınım) kabiliyeti

Düşük ağırlıktaki seramik malzemelerin hareketli parçalarda kullanılması, bu parçalardaki harekete tepki süresini de iyileştirmektedir. Düşük termal iletkenlik, seramik yüzeyden ana malzemeye daha az ısı dağılması anlamına gelmektedir. Seramik ve dolayısıyla yanma odası yüzeyi, yanma odasının istenen çalışma koşullarına, benzer metal yüzeylere oranla daha hızlı ulaşacaktır [8] .

Yanma odasının yalıtılmasında kullanılan seramik kaplama malzemesi ile kaplanan parçalar arasındaki bağlanma genellikle zayıftır ve pek çok değişkene bağlıdır. Kaplamalarda en çok rastlanılan hatalar bağlanma hatalarıdır. Bu sorunun çözümüne yönelik olarak pek çok ara kaplama malzemesi geliştirilmekte ve kullanılmaktadır. Ara kaplama, kaplanacak malzemeye ana kaplamadan önce uygulanan ince bir kaplama tabakasıdır. Buradaki amaç daha iyi dayanım ve kaplamanın kaplanacak malzemeye daha güvenli bir şekilde bağlanmasını sağlamaktır.

Ara kaplama uygulamasının diğer bir nedeni de, kaplama sisteminin kimyasal özelliklerini geliştirmektir. Paslanmaz çelik gibi bazı malzemeler, yüzey kabalaştırma işlemi esnasında korozyona dirençli koruma tabakalarını kaybedebilirler. Bu tür malzemeler üzerine direkt olarak oksitli bir seramik kaplamanın uygulanması, kaplama boyunca ana malzemeyi paslandırabilir. Nikel Krom gibi bir ara kaplamanın uygulanması bu ara durumu önler. Yüksek sıcaklık reaksiyonu direncini arttırmak için Nikel-Krom-Alüminyum kompozit tozu geliştirilmiştir [9].

1.3. İçten Yanmalı Motorların Yanma Odalarının Sonlu Elemanlar Yöntemi İle İncelenmesine Yönelik Yapılan Çalışmalar.

1980'lerin başlarından itibaren, sonlu elemanlar metodunun gelişimi ile, yanma odalarının sayısal modelleri oluşturularak, termal yüklere karşılık, yanma odalarındaki çalışma sıcaklıklarının, termal ve mekanik bozulmaların incelenmesinde üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi kullanılmaya başlanmıştır [10].

Garbincius ve diğ. tarafından yapılan; soğutma sıvılarının neden olduğu tortu tabakasının, piston ve silindir deformasyonlarına etkilerinin incelendiği çalışmada,

araştırmacılar, TOYOTA 18 R-G tipi motorunun piston ve silindirini bilgisayar ortamında üç boyutlu olarak modelleyip, Cosmos Design Star yazılımı ile sonlu elemanlar modelini oluşturarak, çalışma sıcaklıklarında piston ve silindirde meydana gelen termal genleşme ve termo mekanik deformasyonları incelemişlerdir. Araştırmacılar, bu çalışmalarında; yanma gazlarından yanma odası duvarlarına, yanma odası duvarlarından pistonu, soğutucu akışkana ve yağa olan ısı geçişlerini, Bendersky Termokupulları kullanılarak yapılan deneysel ölçümlerden ve ampirik bağıntılar kullanarak yapılan hesaplamalardan elde etmişlerdir. Sonlu elemanlar analizi sonucunda; pistondaki en yüksek sıcaklık piston üst yüzeyinde 250 °C, en düşük sıcaklık piston eteğinde 106 °C olarak, silindirdeki en yüksek sıcaklık silindir üst yüzeyinde 165 °C, en düşük sıcaklık silindir alt yüzeyinde 101 °C olarak bulunmuştur [10].

Dr. Jonathan Gould tarafından bir Ford dizel motorunun silindir kapağında emme ve egzoz supap yuvaları arasındaki bölgede (valf köprüsü) oluşan sıcaklık dağılımının incelenmesi amacıyla yapılan bir diğeri çalışmada da yanma odasını oluşturan piston, gömlek, segmanlar, supaplar ve silindir kapağı bilgisayar ortamında modellenerek sonlu elemanlar yöntemi ile sıcaklık dağılımları incelenmiş olup, sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analiz sonucunda valf köprüsü bölgesindeki en yüksek sıcaklık değeri 707K (434 °C) olarak bulunmuştur [11].

Marcel Divis ve diğeri tarafından yapılan çalışmada, turbo şarjlı büyük bir dizel motorun silindir kapağı ve supapları Proengineer programı ile bilgisayar ortamında modellenmiş, ve ABAQUS programı kullanılarak sonlu elemanlar modeli oluşturulup sınır şartları tanımlanarak silindir kapağı ve supaplardaki sıcaklık dağılımları incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda, egzoz supaplarında oluşan en yüksek sıcaklık değeri 760K (487 °C) olarak bulunmuştur [12].

M.N.ERŞAN tarafından yapılan çalışmada, traktör motorlarında kullanılan dizel motora ait piston bilgisayar ortamında modellenmiş, daha sonra sonlu elemanlar modeli oluşturulup sınır şartları tanımlanarak pistonun yapısal ve termal analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada önce kaplamasız pistonun, daha sonra piston üst yüzeyinin 150µm kalınlığında NiCrAl ve 350µm kalınlığında MgZrO₃ ile kaplandığı pistonun

analizleri yapılmıştır. Son olarak da piston yüzeyi farklı kalınlıklarda çok tabakalı seramik malzeme ile kaplanarak analizler tekrarlanmıştır. Bu çalışma sonucunda kaplamasız pistonun yüzeyindeki en yüksek sıcaklık değerinin 309°C olduğu görülmüş, tek tabaka seramik kaplama uygulanan pistonun kaplama yüzeyindeki sıcaklık değerinin %9,8 arttığı ve 339°C olduğu bulunmuştur [5] .

İ.TIKIZ tarafından yapılan çalışmada, bir dizel motorunun egzoz supabı, silindir gömleği ve pistonunun kaplamasız ve kaplamalı modelleri bilgisayar ortamında oluşturulmuş, daha sonra sonlu elemanlar modeli oluşturulup sınır şartları tanımlanarak termal analizleri yapılmıştır. İlk olarak kaplamasız pistonun, daha sonra piston üst yüzeyinin 150µm kalınlığında NiCrAl ve 350µm kalınlığında MgZrO₃ ile kaplandığı pistonun analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma sonucunda kaplamasız pistonun yüzeyindeki en yüksek sıcaklık değerinin 383°C olduğu görülmüş, tek tabaka seramik kaplama uygulanan pistonun kaplama yüzeyindeki sıcaklık değerinin %11,2 arttığı ve 426°C olduğu bulunmuştur. Aynı çalışmada kaplama kalınlığı değiştirilerek, piston üst yüzeyinin 150µm kalınlığında NiCrAl ve 600µm kalınlığında MgZrO₃ ile kaplandığı pistonun analizleri sonucunda piston üst yüzeyindeki sıcaklık değerinin %14,6 artarak 439°C'a ulaştığı görülmüştür. Çalışmada değişik kaplama kalınlıkları kullanılarak gerçekleştirilen analizler sonucunda, sıcaklık ve ısı akı değerlerinin belirli bir kaplama kalınlığı değerinden sonra azalmayıp, artmaya geçtiği, yani kaplama kalınlığını belli bir değerden sonra daha fazla arttırmanın herhangi bir olumlu etkisinin olmadığı ifade edilmiştir. [9] .

Y.Miyairi tarafından yapılan ve dizel motor yanma odasının farklı özellik ve kalınlıkta seramik malzemeler ile yalıtılmasının motor performansına etkilerinin incelendiği çalışmada yalıtım ile sağlanan adyabatiklik ; $(Q_B - Q_Y)/Q_B$ olarak ifade edilmiştir. Burada;

Q_B ; Baz motorda oluşan ısı kayıpları,

Q_Y ; Yalıtılmış motorda oluşan ısı kayıplarıdır.

Bu çalışmanın sonucunda piston üst yüzeyinin, silindir iç yüzeyinin ve silindir kapağının 1mm kalınlığında ZrO₂ ile kaplanması durumunda %30 adyabatiklikte motor termal veriminin %2,7 oranında artacağı belirtilmiştir [14].

1.4. Tezin Amacı ve Kapsamı

Yanma odasını oluşturan piston, segmanlar, gömlek, silindir kapağı ve supapların üretildikleri malzemelerin termal genleşme özellikleri ve bozulmadan dayanabilecekleri çalışma sıcaklıkları seviyeleri, yanma odalarında daha yüksek sıcaklıklara çıkılarak termal veriminin artırılmasını engellemektedir.

Yüksek sıcaklıklara dayanabilen seramik malzemelerin uygulama alanlarının genişlemesi sayesinde, günümüzde içten yanmalı motorların yanma odalarının seramik malzemeler ile kaplanması, böylece ısı kayıpları önlenerek, yanma odası sıcaklıklarının ve termal verimin artırılması mümkün olabilmektedir.

Bu çalışmada ilk olarak, askeri amaçlı zırhlı personel taşıyıcılarında kullanılan iki zamanlı bir dizel motorunun yanma odası bilgisayar ortamında modellenerek, iki farklı malzemeden imal edilen piston kullanılması durumunda (AlSi ve Küresel Grafitli Dökme Demir), yanma odasındaki sıcaklık ve ısı akısı değerleri sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiştir.

Daha sonra AlSi ve küresel grafitli dökme demir'den imal edilen pistonların, gömlek iç yüzeyinin, silindir kapağının ve supapların çeşitli seramik malzemeler ile kaplanması durumunda yanma odasındaki sıcaklık ve ısı akısı dağılımları incelenerek, yanma odasının yalıtımında kullanılacak en uygun kaplama malzemesinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2 İÇTEN YANMALI MOTORLARDA ISI TRANSFERİ

Yanma sonucu yakıttan motora geçen kimyasal enerjinin yaklaşık %35'i faydalı krank işi olarak alınmaktadır. Yakıt enerjisinin %30 'u egzoz gazları ile kimyasal enerji formunda dışarı atılmaktadır. Motordaki enerji kayıpları, toplam enerjinin yaklaşık üçte birinin çevreye dağılması ile gerçekleşir. Motorların yanma odalarında sıcaklık değerleri 2400°C üzerine ulaşır. Motor parçalarının imal edildiği malzemeler bu denli yüksek sıcaklık değerlerine dayanamazlar ve şayet uygun ısı transferleri oluşturulamazsa çabucak bozulurlar. Motorların ve motor yağlayıcılarının sıcaklık etkilerinden zarar görmesinin önlenmesinde, oluşan yüksek ısının uzaklaştırılması son derece önemli bir konudur. Diğer yandan da motorların mümkün olan en yüksek termal verimde çalıştırılması arzu edilir [1] .

Motorların yanma odalarının soğutulmasında iki genel metot kullanılır. Su soğutmalı motorlarda; soğutucu akışkanın motoru çevreleyen su ceketleri içerisinde dolaştırılması ile, hava soğutmalı motorlarda; motoru çevreleyen kanatçıklı yüzeylerde oluşan hava akışı sayesinde soğutma gerçekleşir.

2.1. Enerji Dağılımı

Bir motorda kullanılabilir enerji (güç) şu şekilde formüle edilebilir;

$$\dot{W} = \dot{m}_f Q_{HV} \quad (1)$$

\dot{m}_f ; Motor içindeki yakıt kütle akış oranı (kg/sn)

Q_{HV} ; Yakıtın Isıl Değeri (kJ/kg)

Termal verim, krank milinden alınan kullanılabilir enerji olarak, toplam enerjinin yüzdesi şeklinde ifade edilir.

$$(\eta_t)_{cikis} = \dot{W}_b / \dot{m}_f Q_{HV} \eta_c \quad (2)$$

η_t : termal verim

η_c : yanma verimi

\dot{W}_b : Çıkış gücü (kW)

Geriye kalan enerjinin tamamı; ısı kayıpları, ilave yükler ve egzoz ile oluşan kayıplar olarak bölünebilir. Şekil 2.1'de, içten yanmalı motorun tipik enerji dağılımını toplam yakıt enerjisinin yüzdesi olarak gösterilmiştir. Toplam miktar %100' ün üstündedir. Çünkü sürtünme kayıpları; birincisi mekanik kayıplar, ikincisi ısı transferi sonucu oluşan kayıplar olmak üzere iki kez dikkate alınmıştır.

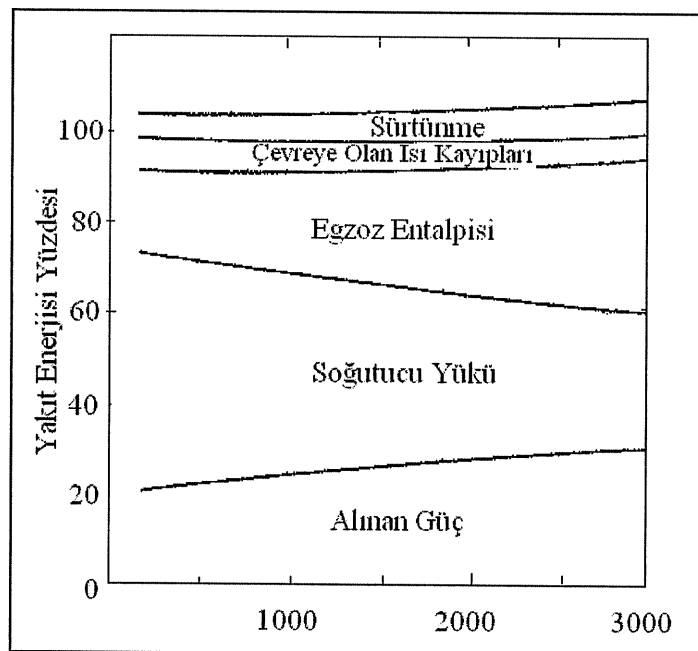
$$\text{Güç üretimi : } \dot{W}_{\text{saft}} + \dot{Q}_{\text{egzoz}} + \dot{Q}_{\text{isi}} + \dot{W}_{\text{yard}} \quad (3)$$

\dot{W}_{saft} ; Krank milinden alınan güç (kW)

\dot{Q}_{egzoz} : Egzoz gazları ile atılan enerji kaybı (kW)

\dot{Q}_{isi} : Isı transferi ile oluşan diğer tüm enerji kayıpları (kW)

\dot{W}_{yard} : Motor yardımcı birimlerinin kullandığı güç (kW)



Şekil 2.1 İçten yanmalı bir motorda, motor hızının bir fonksiyonu olarak enerji dağılımı

Motorun çalışma şekli , motor geometrisi ve motor büyüklüğüne bağlı olarak, krank milinden alınan güç:

$$\dot{W}_{\text{saft}} = \%25-\%40' \text{ dır.}$$

Bu değer dizel motorlarda, benzinli motorlara göre daha fazladır.

$$\dot{Q}_{\text{egzoz}} : \%25-\%45' \text{ dır.}$$

İçten yanmalı motorlarda enerjinin büyük bir yüzdesi yüksek egzoz sıcaklıkları nedeniyle egzoz gazları ile atılır. Kayıp egzoz enerjisi, entalpi ve kimyasal enerji olarak iki parçadan oluşur. Motor tam yükte çalıştırıldığında, kimyasal enerji egzoz kayıplarının hemen hemen yarısını oluşturur. Birçok çalışma koşullarında egzoz enerjisi motordan alınan çıkış gücünü geçer. Diğer ısı kayıpları ise:

$$\dot{Q}_{\text{ısı}} = \%10-\%35' \text{ dır.}$$

Birçok motor için, ısı kayıpları alt bölümlere ayrılabilir.

$$\dot{Q}_{\text{ısı}} = \dot{Q}_{\text{soğutucu}} + \dot{Q}_{\text{yağ}} + \dot{Q}_{\text{ortam}}$$

İçten yanmalı motorlarda üst sınırdaki soğutucuya olan ısı akışı;

$$\dot{Q}_{\text{soğutucu}} = \%10-\%30 \text{ dır.}$$

Tam yükte soğutucu ile kaybedilen enerji, motor çıkış gücünün yarısına yakın olabilir, bu kayıp düşük yüklerde artarak motor çıkış gücünün iki katını bulabilir. Motor hızına ve yağ tipine bağlı olarak;

$$\dot{Q}_{\text{yağ}} = \%5-\%15 \text{ dır.}$$

Ve doğrudan çevreye olan kayıplar;

$$\dot{Q}_{\text{ortam}} = \%2-\%10$$

Sürtünme kayıpları;

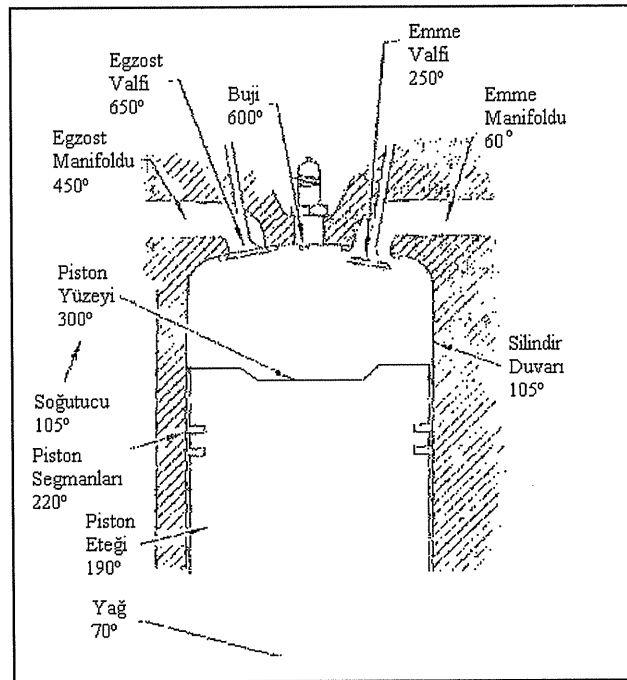
$$\dot{W}_{sürtünme} = \%10$$

2.2. Motor Sıcaklıkları

Şekil 2.2, kararlı halde çalışan bir içten yanmalı motordaki tipik sıcaklık dağılımlarını göstermektedir. En yüksek sıcaklığın görüldüğü üç nokta; buji çevresi, egzoz valfi ve portu ve piston yüzeyidir. Yanma gazlarının yüksek sıcaklıklarına maruz kalan bölgeler sadece bunlar değildir. Fakat bu bölgeler soğutulması en güç olan bölgelerdir.

Yanma sırasında buji çevresinde oluşan yüksek sıcaklıklar kritik bir ısı transferi problemi doğurur. Bujinin (dizel motorlarda enjektörün) yanma odası duvarında (üstünde) yer alması soğutma ceketlerinde bir ayrılma oluşturduğundan, bu bölgede lokal bir soğutma problemi meydana gelir.

Hava soğutmalı motorlarda buji, soğutucu kanatçık bloğunu ikiye ayırır. Soğutma problemi hava soğutmalı motorlarda da devam eder.



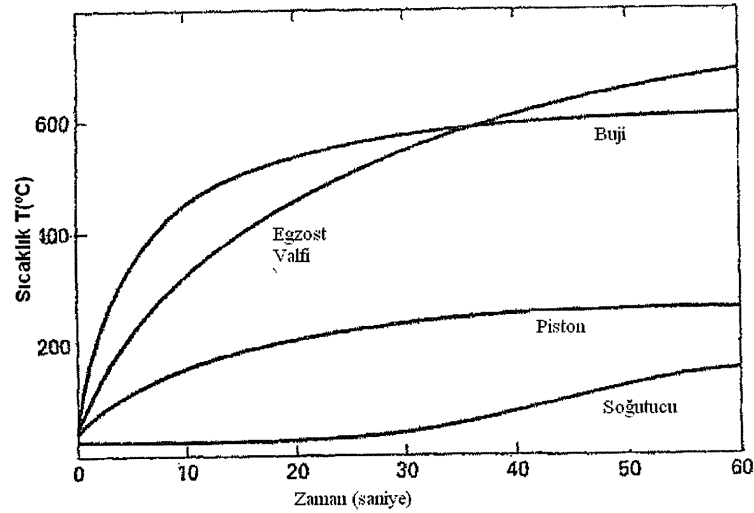
Şekil 2.2 İçten yanmalı bir motorun normal kararlı durumda çalışması sırasında bulunan tipik sıcaklık değerleri (°C)

Egzoz gazlarının akış bölgesinde yerleştirildikleri için yüksek sıcaklığa maruz kalan egzoz valfi ve port bölgesi, bujinin oluşturduğu bölgeye benzer şekilde soğutulması güç bir bölge oluşturur. Egzoz valf mekanizması ve egzoz manifoldu bağlantıları, etkili bir soğutma için gereken soğutma sıvısının dolaşım kanallarını veya soğutucu kanatçık konulmasını güçleştirir [1].

2.3. Motor Isınması

Soğuk bir motoru kararlı durum sıcaklığına ısıtmak, bütün motor elemanlarında bir termal genişlemeye neden olur. Bu termal genişlemenin büyüklüğü, elemanların sıcaklıklarına ve üretildikleri malzemelere bağlı olarak her bir motor elemanında farklı değerde olacaktır. Silindir çapı, pistonun termal genişmesini sınırlar. Daha yeni bir motorun çalışma sıcaklığı, piston segmanları, piston eteği ve silindir duvarları arasında daha yüksek zorlanmalar ortaya çıkarabilir. Bu nedenler; motorun çalışması sırasında, silindir duvarları üzerindeki yağ filminde yüksek viskoz ısınmalar oluşturur.

Şekil 2.3, çeşitli motor elemanlarındaki sıcaklık artışının, soğuk motorun çalıştırılmasından sonra nasıl oluştuğunu göstermektedir. Soğuk havada, motorun kararlı hale ulaşması 20-30 dakikadan uzun sürebilir. Otomobilin bazı parçaları bundan daha az bir zamanda tam kararlı hale gelirken bazı parçalar da gelemeyebilir. Yeterli normal çalışma koşulları birkaç dakika içinde oluşabilir ancak en uygun yakıt tüketim oranına ulaşılması bir saat kadar uzun sürebilir. Bir uçağın kalkışı sırasında, motorun tam olarak ısınmasından önce uçuşa geçilmesi kötü bir deneme olabilir. Bu durum otomobillerde bu derece kritik değildir. Motorun tam olarak ısınmasından önce otomobilin sürülmesi durumunda, bazı güç ve yakıt ekonomisi kayıplarına neden olabilir. Ancak, bir motor arızası durumunda düşme mesafesi uçaktan çok daha azdır. Otomobillerin büyük bir kısmı, kısa mesafeler için motor tam olarak ısınmadan kullanılır. Hava kirliliğinin en büyük nedenlerinden biri de budur [1].



Şekil 2.3 Tipik bir içten yanmalı motorda, motor parçalarının sıcaklıklarının zaman ve motor ısınma süresine bağlı olarak değişimi

2.4. Emme Sistemi

Motorun emme sistemine hava veya yakıt-hava karışımı girerken, çevre koşullarından 60 °C kadar bir sıcaklık artışı oluşur. Bu termodinamiğin birinci kanununa göre giren havaya bağlıdır. Emme manifoldunun duvarları, akan gazdan daha sıcaktır ve taşınım yoluyla ısınır.

$$\dot{Q} = hA(T_{du\ var} - T_{gaz}) \quad (4)$$

T= Sıcaklık (°C)

h= Taşınım ısı transfer katsayısı (W/m²°C)

A= Emme manifoldu iç yüzey alanı(m²)

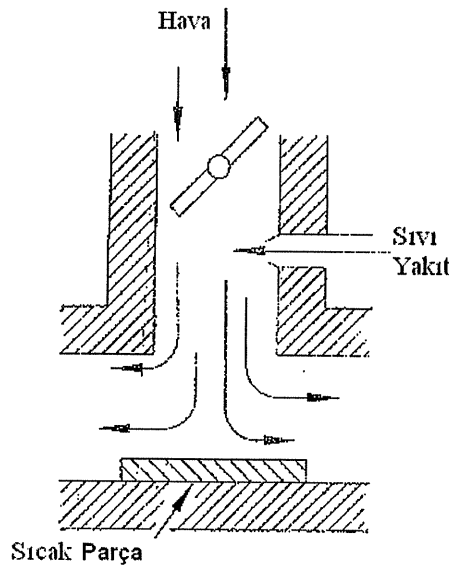
Bazı motorların dizaynı nedeniyle veya motor bölmesindeki diğer sıcak parçalara yakın olmaları nedeniyle emme manifoldu sıcaktır. Yakıtın akışa erken verildiği karbüratörlü ve kısılma valfi ateşlemeli motorlarda, emme manifoldu yakıtın buharlaşmasına yardımcı olması için bilerek ısıtılır. Bu manifoldları ısıtmak için çeşitli yöntemler vardır. Bazı emme manifoldu akış kanalları, sıcak egzoz manifoldlarına kapalı termal temas sağlayacak şekilde dizayn edilirler. Bazıları, su ceketlerinde dolaşarak ısınmış sıcak soğutma sıvısını kullanırlar. Bazı emme manifoldlarında da elektrikli ısıtma sistemi kullanılır. Bazı sistemler özel olarak yerleştirilen ve “sıcak spot” olarak adlandırılan sıcak yüzeylere sahiptir. En uygun

yerleşim, yakıtın ilavesinden hemen sonra veya en yüksek taşınımın olduğu bir dirsekte olabilir. Emme manifoldundaki parçanın yerleşimi Şekil 2.4'de gösterilmiştir.

Emme manifoldunun taşınım yoluyla ısıtılmasının iyi ve kötü sonuçları vardır. İlk olarak yakıtın buharlaştırılması sağlanmış olur, hava ile karıştırılması daha uzun sürer, sonuçta çok daha homojen bir karışım sağlanabilir. Bununla birlikte sıcaklığın artması motorda hacimsel (volümetrik) verimin iki mekanizma ile azalmasına neden olur. Yüksek sıcaklık havanın yoğunluğunu azaltır ve ilave edilen yakıt buharı, bir kısım hava ile yer değiştirir. Bu durum, silindir içine ulaşan hava kütleini azaltır.

Giriş havasının ısıtılmasının sınırlanmasının diğer bir nedeni de; sıkıştırma stroğu başında sıcaklığın en düşük seviyede tutulmasının istenmesidir. Sıkıştırma başlangıcındaki sıcaklıkların yüksek olması, çevrimin başından sonuna tüm sıcaklıkları daha da yükseltir ve potansiyel vuruntu problemlerini daha da artırır.

Günümüzde motorlarda emme manifoldunda ısıtmaya daha az ihtiyaç duyan çok noktalı enjektörler kullanılmaktadır. İnce yakıt damlacıkları ve emme manifoldu yakınındaki yüksek sıcaklıklar, ihtiyaç duyulan yakıt buharlaşması için daha güvenilirdir.



Şekil 2.4 Emme manifoldundaki sıcak parçanın yerleşimi

Bunların sonucunda bu motorların hacimsel (volümetrik) verimleri daha yüksektir. Genellikle yakıt, sprey olarak emme supabının hemen arkasına püskürtülür. Bu sadece buharlaşmayı hızlandırmaz, aynı zamanda, çevrimsel sıcaklığı 400 °C ye ulaşan emme supabı yüzeyini de soğutur. Kararlı durumda emme supabının sıcaklık değeri genellikle 200 °C - 300 °C arasındadır.

Şayet motor süperşarjlı veya turboşarjlı ise giriş havasının sıcaklığı aynı zamanda sıkıştırma sıcaklığını da etkiler. Bundan korunmak için, birçok sistemde sıcaklığı tekrar düşüren ara soğutucu bulunmaktadır. Ara soğutucu sistemleri; soğutucu akışkan olarak motor soğutma sıvısını veya bir dış hava akımını kullanan, içinden sıkıştırılmış giriş havasının geçtiği ısı eşanjörleridir [1].

2.5. Yanma Odasında Isı Transferi

İlk olarak, motorun silindiri içindeki yakıt hava karışımı, düzgün kararlı hal için, başlıca üç temel ısı transferi mekanizmasını (iletim, taşınım, ışınım) çalıştırır. Ek olarak, silindir içindeki sıcaklık, sıvı yakıtın buharlaşması ile oluşan faz değişiminden etkilenir.

Yakıt hava karışımı, emme stroğu boyunca silindir duvarından sıcak veya soğuk olarak silindire girer, her iki yönde de ısı transferi mümkündür. Sıkıştırma stroğu boyunca ve yanmanın başlaması ile gaz sıcaklığı artar. Bu durumda silindir duvarına bir taşınım ısı transferi oluşur. Silindir içinde yanma boyunca en yüksek gaz sıcaklığı 2400°C civarındadır. Silindir duvarının aşırı ısınmadan korunması için, etkili bir ısı transferine ihtiyaç duyulur. İletim ve taşınım ile ısı transferi, enerjinin yanma odasından uzaklaştırılması ve silindir duvarının erimesinin önlenmesi için temel ısı transferi türleridir.

Şekil 2.5 silindir duvarından olan ısı transferi şekillerini göstermektedir. Isı transferi her bir yüzey alanı için şöyledir:

$$\dot{q} = \dot{Q} / A = (T_g - T_c) / [(1/h_g) + (\Delta x/k) + (1/h_c)] \quad (5)$$

Burada;

T_g = Yanma odasındaki gaz sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

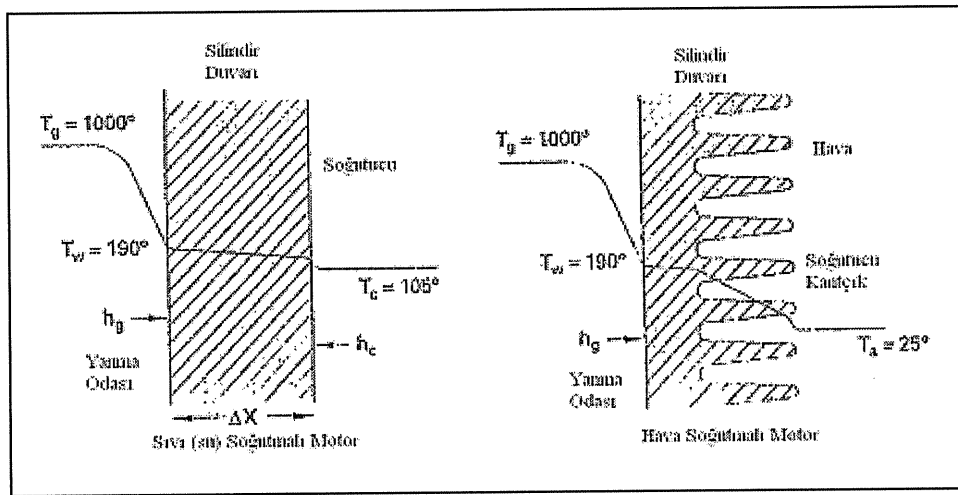
T_c = Soğutucu sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

h_g = Gaz tarafına ait taşınım ısı transferi katsayısı ($\text{W}/\text{m}^2\text{C}$)

h_c = Soğutucu tarafına ait taşınım ısı transferi katsayısı ($\text{W}/\text{m}^2\text{C}$)

Δx = Yanma odası duvar kalınlığı (m)

k = Silindir duvarının ısı iletim katsayısı ($\text{W}/\text{m}^2\text{C}$)



Şekil 2.5 İçten yanmalı motorda yanma odası silindir duvarından olan ısı transferi. Sıcaklıklar $^{\circ}\text{C}$ olarak verilmiştir

Denklem 5'deki ısı transferi çevrimseldir. Yanma odasındaki gaz sıcaklığı T_g , yanma anındaki en büyük değerinden, emme anındaki en düşük değerine kadar, motor çevrimi ile büyük oranda değişir. Emme stroğunun başlangıcında, silindir duvarı sıcaklığından bile düşük değerde olabilir, bir an için ısı transferi ters yönde olur. Soğutucu akışkan sıcaklığı " T_c " oldukça karardır. Uzun çevrim sürelerine karşılık soğutucu akışkan sıcaklığında bir değişiklik olmaz. Soğutucu akışkan; hava soğutmalı motorlarda hava, su soğutmalı motorlarda ise antifriz çözeltilisidir. Silindir gazlarından silindir duvarına taşınım ısı transferi katsayısı " h_g ", gaz hareketlerinin değişimine, türbülansa, girdaplara ve gazın hızına göre bir çevrim süresince sürekli değişir. Silindir içindeki aynı nedenlerle, bu katsayı büyük değişiklikler gösterir. Silindir duvarından soğutucu akışkan tarafına ısı taşınım katsayısı oldukça karardır

ve soğutucu akışkanın hızına bağlı olarak oluşur. Silindir duvarının ısı iletim katsayısı “k”, silindir duvarının sıcaklığına bağlıdır ve oldukça karardır. Silindirin iç yüzeyinde oluşan taşınım ısı transferi;

$$\dot{q} = \dot{Q} / A = h_g (T_g - T_w) \quad (6)$$

Yağlama yağının ısı kararlılığının ve silindir duvarının yapısal dayanımının sağlanabilmesi için; silindir duvarının sıcaklığının (T_w) 180-200 °C 'yi aşmaması istenir. Çeşitli boyutlarda, geometrilerde ve hızlardaki motorlarda akış karakteristikleri ve ısı transferleri için; Reynolds sayısının tespit edilmesinde kullanılan birçok yöntem vardır. En iyi karakteristik boyu ve hızı seçmek bazen zor olabilir [15], [16]. Motor dataları ile ilgili olarak reynolds sayısını tanımlayan aşağıdaki bağıntı oldukça iyidir [16].

$$Re = \left[\left(\dot{m}_a + \dot{m}_f \right) B \right] / (A_p \mu_g) \quad (7)$$

Burada;

\dot{m}_a ; Silindir içindeki havanın kütle akış oranı (kg/sn)

\dot{m}_f ; Silindir içindeki yakıtın kütle akış oranı (kg/sn)

B ; Silindir çapı (m)

A_p ; Silindir yüzey alanı (m²)

μ_g ; Silindir içindeki gazın dinamik viskozitesi (kg/m.sn)

Bulunan bu Reynolds sayısı kullanılarak, yanma odası içi için, aşağıdaki Nusselt sayısı tanımlanabilir.

$$Nu = h_g B / k_g = C_1 (Re)^{C_2} \quad (8)$$

Burada;

C_1 ve C_2 ; katsayılar

k_g ; Silindir gazlarının ısı iletim katsayısı (W/m°C)

h_g ; ortalama taşınım ısı transfer katsayısı (W/m²°C)

Geleneksel zorlanmış taşınım ısı transferi metotları kullanılarak silindir duvarının soğutucu tarafı için Nusselt sayısı ve taşınım ısı transferi katsayısı değerleri yaklaşık olarak bulunabilir. Silindir gazları ile yanma odası duvarı arasındaki ışıınım ısı transferi;

$$\dot{q} = \dot{Q} / A = \left[\sigma (T_g^4 - T_w^4) \right] / \left[(1 - \varepsilon_g) / \varepsilon_g \right] + [1 / F_{1-2}] + [(1 - \varepsilon_w) / \varepsilon_w] \quad (9)$$

Burada:

T_g ; Gaz sıcaklığı (°C)

T_w ; Duvar sıcaklığı (°C)

σ ; Stefan-Boltzman sabiti

ε_g ; Gaz ışıınım oranı

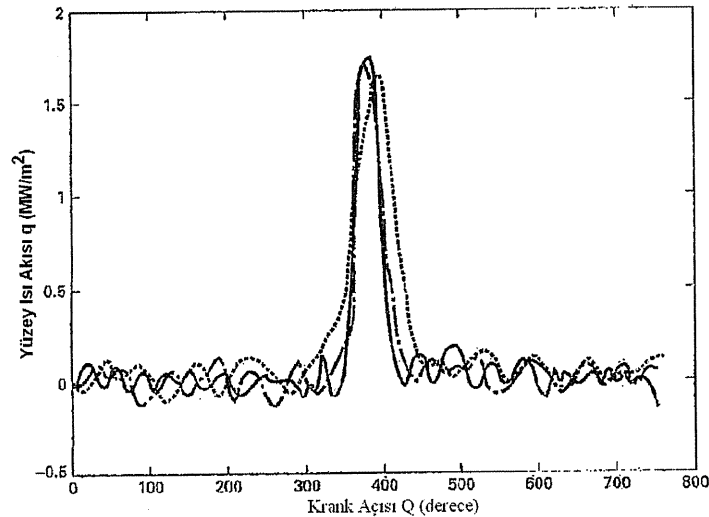
ε_w ; Duvar ışıınım oranı

F_{1-2} ; Gaz ile duvar arasındaki değerlendirme faktörü

Gaz sıcaklığının çok yüksek olmasına rağmen, benzinli motorların yanma odası duvarına olan ışıınım toplam ısı transferinin yaklaşık %10'u kadardır. Bunun nedeni, gazların özel dalga boylarında oluşan düşük yayınım (ışıınım) özellikleridir. Yanma öncesi gazlarının büyük oranını oluşturan N_2 ve O_2 , çok az ışıınım gösterirler. Yanma sonu oluşan CO_2 ve H_2O , ışıınımla ısı transferine daha fazla katkıda bulunurlar [1] .

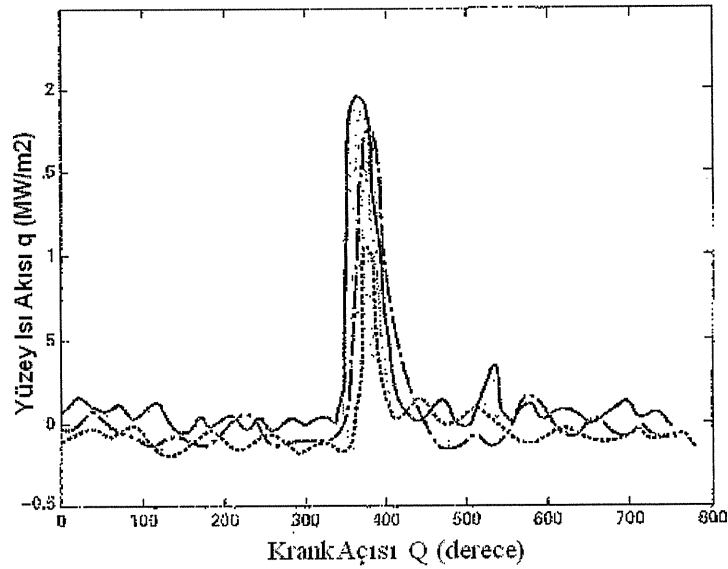
Dizel motorlarda yanma sonu ürünlerinden olan katı karbon partikülleri, bütün dalga boylarında iyi yayıcıdır ve bu tip motorlarda ışıınım ısı transferinin oranı toplam ısı transferinin %20-%35 'i kadardır. Silindir duvarlarına ışıınımla olan ısı transferinin büyük bir oranı, güç stroğundan erken oluşur. Bu noktada yanma sıcaklığı en üst değerindedir ve termal ışıınım (yayınım) potansiyeli T^4 'e eşittir. Büyük bir ısı akısı oluşur. Bu aynı zamanda, benzinli motorlarda ışıınım (yayınım) ısı akısının daha fazla arttığı, karbon kurumu miktarının en yüksek olduğu andır. Benzinli motorlarda, çevrimin bu noktasında anlık ısı akısı 10 MW/m^2 kadar tecrübe edilebilir [1] .

Bir çevrim süresi boyunca , Şekil 2.5 ve Denklem 5'deki silindir içindeki gaz sıcaklığı T_g , kararlı halde kabul edilir. Bu çevrimsel sıcaklık, silindir duvarında çevrimsel bir ısı transferinin ortaya çıkmasına neden olur. Bununla birlikte, çok kısa çevrim zamanlarından dolayı, bu çevrimsel ısı transferi sadece çok küçük yüzey derinliklerinde tecrübe edilebilir. Dökme demir silindir duvarına sahip motorlarda, normal hızlarda, bu ısı transferi salınımlarının %90'ı yüzeyden 1mm derinlikte ortaya çıkar. Alüminyum silindir duvarlarında bu derinlik, 2mm' nin biraz üzerinde, seramik silindir duvarlarında 0,7 mm civarındadır. Bundan daha büyük yüzey derinliklerinde genellikle ısı transferi salınımı ortaya çıkmaz ve iletim kararlı durumda ele alınabilir [15] . Silindir duvarına ısı transferi genişleme stroğu boyunca devam eder fakat oranı çok küçüktür. Genleşme soğuması ve ısı kayıpları, silindir içindeki gaz sıcaklığını genişleme stroğu boyunca 2400°C civarında olan en yüksek gaz sıcaklığı değerlerinden, 527°C civarında olan egzoz çıkış sıcaklığına kadar düşürür. Egzoz stroğu boyunca silindir duvarına ısı transferi devam eder fakat oranı oldukça düşüktür. Bu anda silindir gaz sıcaklığı, taşınım ısı transferi katsayısındaki gibi çok düşüktür. Bir girdap hareketinin olmaması ve türbülansın çok olması çok düşük bir taşınım ısı transferi katsayısı ile sonuçlanır. Silindir içinde meydana gelen yanmanın çevrimsel değişimleri, silindir duvarına olan ısı transferinin de çevrimsel olarak değişmesine neden olur. Yanma odasındaki bir bölge için krank açısına karşılık, çevrimsel ısı transferi değişimleri Şekil 2.6'da gösterilmiştir [17].



Şekil 2.6 Tipik bir motorda, silindir içindeki bir bölgede, motorun üç ardışık çevrimi için, bölgesel ısı akısının deneysel değişimleri

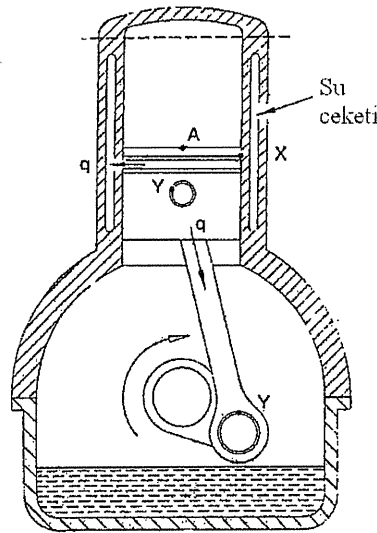
Bir çevrimin dört stroğunun tamamında çok yüksek ısı akısı oranlarından çok düşük ısı akılarına, sıfır hatta ters yönde ısı akısına (duvardan silindir içindeki gaz karışımına) kadar değişen ısı transferleri oluşur. Tabii emmeli bir motorda, emme stroğu boyunca, verilen bir silindir bölgesinde, her iki yönde de ısı akısı olabilir. Sıkıştırma stroğu boyunca gazların sıcaklıkları artar ve bu da silindir duvarına ısı akısı oluşmasına neden olur. En yüksek sıcaklık ve en yüksek ısı akısı yanma sırasında oluşur ve bunlar güç ve egzoz stroklarında azalır. Süperşarjlı ve turboşarjlı motorlar için giren gazlar yüksek sıcaklıklardadır ve emme sırasında ısı akısıyla ilgili olarak daha da ısınarak silindir duvarlarına gelir. Sıcaklığın zamanla değişimine ek olarak, yanma odası içinde, verilen herhangi bir an için Şekil 2.7'de görülen uzaysal bir değişim vardır [17]. Şekil 2.6'daki ısı akısı eğrisi bu yüzden sadece bölgesel bir nokta için uygulanabilir. Özellikle yanma sırasında, çok kapalı olan bazı bölgelerde farklı ısı akışları oluşabilir. Silindir içine doğru uzanan buji, enjektör ve valflerin çıkıntısı nedeniyle soğutma güçlüğü olduğu görülmüştür. Diğer bir büyük soğutma probleminin olduğu yer de piston yüzeyidir. Bu yüzey, sıcak yanma işlemine maruz kalır, fakat motorun su ceketleri veya herhangi bir dış soğutucu kanatçık yüzeyi ile soğutulamaz.



Şekil 2.7 Tipik bir motorda, silindir içindeki üç farklı bölgede, motorun bir çevrimi için, bölgesel ısı akısının deneysel değişimleri

Bu nedenle, piston başı motor içindeki en sıcak noktalardan biridir. Pistonu soğutmak için kullanılan yöntemlerden biri, piston başının arka yüzeyinden yağlama yağı püskürtmektir. Yağlayıcı olmasına ek olarak, yağ, soğutucu akışkan görevi de yapar. Pistondan enerjiyi aldıktan sonra yağ, karterdeki yağ deposuna geri döner ve tekrar soğutulur. Isı da piston yüzeyinden taşınır. Fakat bunun için termal direnç oldukça yüksektir. Pistondaki ısı için iki taşınım yolu mümkündür. (1) biyel kolunun yağ deposuna inmesi, (2) piston segmanlarından silindir duvarına, oradan da su ceketlerinde dolaşan soğutucu akışkana geçmesi. Şekil 2.8'de gösterilen piston gövdesi ve biyel kolunda oluşan ısıl direnç, metalden imal edildikleri için düşüktür. Bununla birlikte, biyel piminde (perno) temas yüzeylerinde, yüzeyler arasında yağ filmi oluşması nedeniyle yüksek bir ısıl direnç vardır. Krank millerinin rod bağlantılarındaki yağlanan temas yüzeylerinde de bu durum geçerlidir. Yüzeyler arasındaki yağlama ihtiyacının ve aşınmanın indirgenmesi için uygulanan yağ filmi, yüksek bir ısıl direnç ve kötü bir taşınım yolu oluşturur.

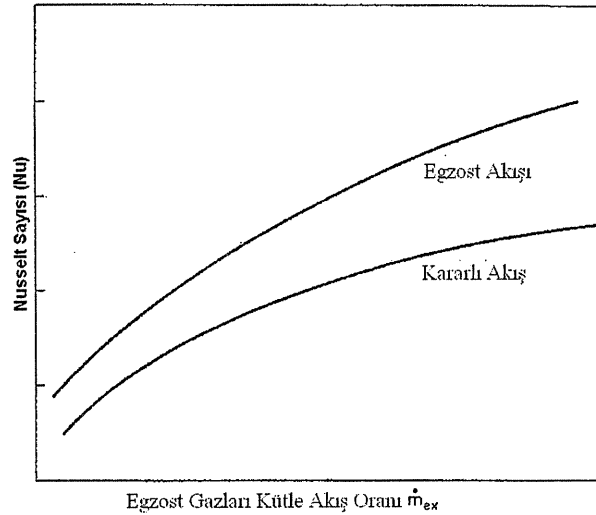
Alüminyum pistonlar, yüksek ısıl iletkenlik özelliklerinden dolayı, genellikle dökme demir pistonlardan $30\text{ }^{\circ}\text{C} - 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ daha soğuk çalışırlar. Bu durum, bu tip motorlarda vuruntu problemini azaltır, fakat, birbirine benzemeyen malzemeler arasında daha büyük ısıl genleşme sorunlarına neden olabilir. Birçok modern pistonlar, seramik yüzey kaplamasına sahiptir ve yüksek kararlı hal sıcaklıklarında çalışırlar. Seramik malzemeler düşük ısı iletim özelliklerine sahiptirler fakat çok yüksek sıcaklıklara dayanabilirler.



Şekil 2.8 Pistonun soğutulması

2.6. Egzoz Sisteminde Isı Transferi

Egzoz borusundaki ısı kayıplarının hesaplanmasında, temel iç taşınım akım modelleri kullanılabilir. Egzoz akışının çevrimsel özelliğinden dolayı, Şekil 2.9'da görüldüğü gibi Nusselt sayısı aynı borudan kararlı akış şartlarında geçen aynı kütle akışı için tahmin edilen değerden yaklaşık %50 daha büyüktür [18] . Egzoz sisteminde oluşan ısı kayıpları, emisyonları ve turboşarjı etkiler. Benzinli motorlarda kararlı haldeki egzoz sıcaklıkları genellikle 400°C -600°C arasında olup sınır değerler 300°C -900°C dir. Dizel motorlarda egzoz sıcaklığı, büyük genişleme oranlarına karşılık oldukça düşüktür ve genellikle 200 °C -500°C arasındadır [1] .Bazı büyük motorların egzoz supapları, içlerinde sodyum içeren oyuklu gövdelere sahiptir. Bunlar sıcaklık boruları gibi görev yaparlar ve ısının supap yüzeyinden uzaklaştırılmasında çok etkili olurlar. Tek parça katı supap gövdesi ısıyı sadece iletim ile uzaklaştırırken, ısı boruları, faz değişim periyodu kullanarak enerjinin çok büyük bir kısmını uzaklaştırırlar. Sıvı sodyum, oyuk valf gövdesinin sıcak ucunda buharlaşır ve soğuk ucunda yoğunlaşarak tekrar sıvı hale döner. Faz değişimi sırasında çok yüksek bir enerji transferi oluşması nedeni ile, valf gövdesi üzerinden olan etkili ısı iletimi, çoğu zaman, sadece iletimle olandan daha büyüktür.



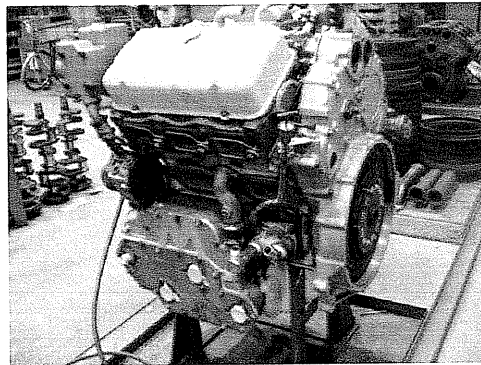
Şekil 2.9 İçten yanmalı motorların egzoz akışındaki ortalama Nusselt değerleri

BÖLÜM 3 DİZEL MOTOR YANMA ODASININ TERMAL ANALİZİ

Dizel motorlarda, yanma odası sıcaklıklarının artırılabilmesi için, yanma odasından çevreye olan ısı kayıplarının azaltılması gerekmektedir. Yanma odalarını oluşturan piston, gömlek, silindir kapağı ve supaplar gibi motor parçalarının ısı iletim özellikleri düşük, yüksek sıcaklıklara dayanabilen seramik malzemeler ile kaplanmaları sayesinde çevreye olan ısı kayıpları azaltılarak yanma odalarında daha yüksek sıcaklıklara ulaşmak ve böylece termal verimi arttırmak mümkündür.

Bilgisayar destekli tasarım ve analiz programlarının gelişmesi ile birlikte, araştırmacılar tarafından motor yanma odalarının termal analizlerinde sonlu elemanlar metodunun uygulanması oldukça yaygınlaşmıştır.

Bu bölümde askeri amaçlı zırhlı personel taşıyıcı araçlarda kullanılan Detroit Diesel marka iki zamanlı 6V 53T tipi dizel motorunun yanma odası bilgisayar ortamında modellenerek sonlu elemanlar yöntemi ile termal analizleri yapılmıştır. Yanma odasını oluşturan motor parçalarının farklı seramik malzemeler ile kaplanmış modelleri oluşturulup analizler tekrarlanarak sıcaklık ve ısı akılarındaki değişiklikler incelenmiştir. Motorun genel görünüşü Şekil 3.1'de, teknik özellikleri Tablo 3.1'de verilmiştir.



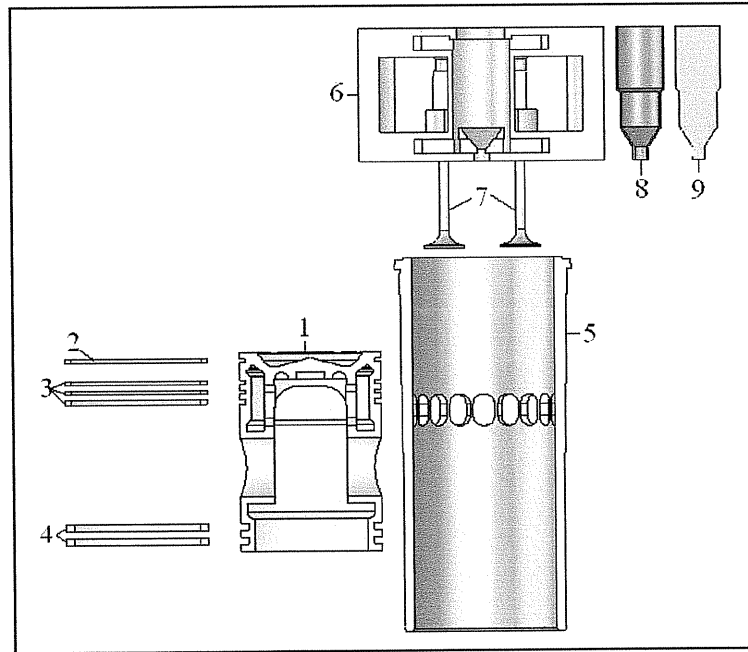
Şekil 3.1 Detroit Diesel, 6V 53T motorunun genel görünüşü

Tablo 3.1 Motorun teknik özellikleri

Motor Tipi	Detroit Diesel, 6V 53T, iki zamanlı
Silindir sayısı	6
Silindir Çapı (mm)	98
Strok (mm)	114
Sıkıştırma oranı	17:1
Toplam Hacim (lt)	5,22

3.1. Yanma Odası Modellerinin Oluşturulması

İlk olarak, Solidworks programı kullanılarak yanma odasında bulunan parçaların üç boyutlu modelleri oluşturulmuştur. Piston, gömlek, silindir kapağı, segmanlar ve supaplar, parçalar üzerinden ölçü alınarak, gerçek ölçülerinde modellenmiştir. Pistonun aksel simetrik olması sayesinde, termal analiz sonuçlarının daha anlaşılır görülebilmesi için yanma odasında , piston, silindir, segmalar ve silindir kapağının yarı modelleri kullanılmıştır. Yanma odasını oluşturan parçalar Şekil 3.2’de ve bu parçaların malzeme özellikleri Tablo 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Bilgisayar ortamında modellenmiş yanma odası parçaları

Tablo 3.2 Yanma odasını oluşturan parçalar ve özellikleri

Sıra No	Parça Adı	Yanma Odasındaki Miktarı (adet)	Malzemesi
1	Piston	1	Küresel Grafitli Dökme Demir
2	Segman-1	1	Küresel Grafitli Dökme Demir
3	Segman-2	3	Lamel Grafitli Dökme Demir
4	Segman-3	2	Lamel Grafitli Dökme Demir
5	Gömlek	1	Küresel Grafitli Dökme Demir
6	Silindir Kapağı	1	Küresel Grafitli Dökme Demir
7	Egzoz Supabı	4	Çelik
8	Enjektör Kovanı	1	Bakır
9	Enjektör	1	Çelik

Yanma odası; kaplamalı ve kaplamasız olmak üzere iki farklı şekilde modellenmiştir. Kaplamasız yanma odasının sonlu elemanlar analizlerinde, piston malzemesi olarak AlSi ve Küresel Grafitli Dökme Demir (K.G.D.D.) seçilerek termal analizler bu iki farkı malzeme için ayrı ayrı yapılmıştır.

Kaplamalı yanma odası analizlerinde de piston malzemesi olarak AlSi ve K.G.D.D. seçilmiş; piston başı, silindir iç yüzeyi, silindir kapağı iç yüzeyi ve egzoz supaplarının yanma odasına bakan yüzeyleri, 150 μ m kalınlığında ara bağlayıcı malzeme ve 350 μ m kalınlığında seramik malzeme tabakası kaplanarak modellenmiştir.

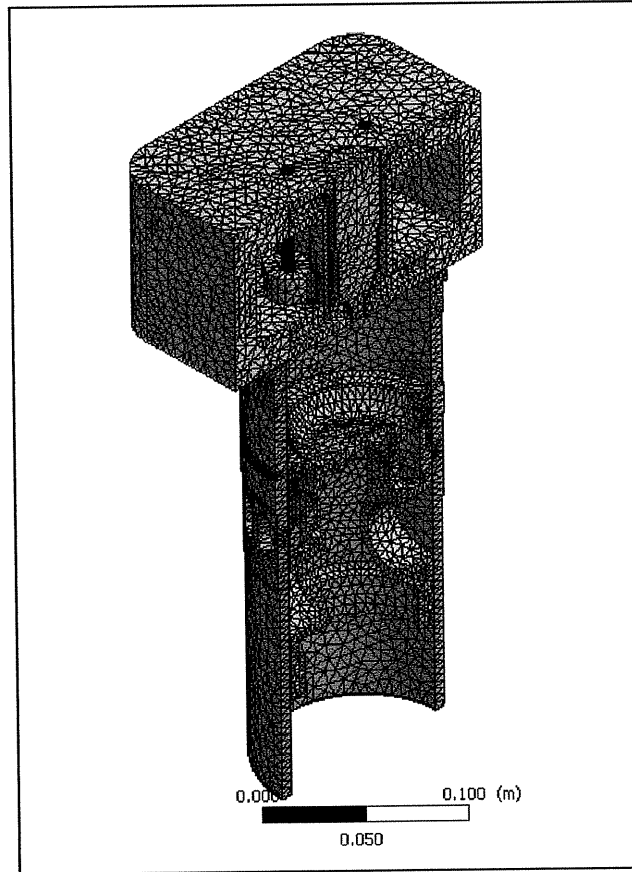
Sonlu elemanlar analizleri esnasında, kaplamalı yanma odasında bağlayıcı madde olarak NiCrAl malzeme tanımlanmış, seramik malzeme olarak ise MgZrO₃, Al₂O₃-%40TiO₂ ve Al₂O₃-%40ZrO₂ malzemeler tanımlanarak bu üç kaplama malzemesinin yanma odasındaki sıcaklık dağılımlarına ve ısı akılarına nasıl etkidikleri incelenmiştir. Bu şekilde AlSi pistonlu yanma odası için 3, K.G.D.D. pistonlu yanma odası için 3 olmak üzere, yanma odasının 6 farklı kaplama durumu için sonlu elemanlar analizleri yapılarak sonuçları karşılaştırılmıştır.

3.2. Sonlu Elemanlar Modellerinin Oluşturulması

Yanma odasının sonlu elemanlar analizleri için ANSYS programı kullanılmıştır. Yanma odasının Solidworks programında hazırlanan üç boyutlu modelleri IGS formatında kaydedilmiş, bu dosyalar ANSYS'e aktarıldıktan sonra parçalara ait malzeme özellikleri tanımlanmış ve mesh (ağ) modelleri oluşturulmuştur. Daha sonra, yanma odasının sınır şartları tanımlanıp, yanma odasındaki sıcaklık ve ısı akıları analiz edilmiştir.

3.2.1. Kaplamasız Yanma Odasının Sonlu Elemanlar Modeli

Kaplamasız modelin mesh yapısı, 175,270 düğüm noktası ve 89,629 elemandan oluşmaktadır. şekil 3.3'de kaplamasız yanma odası ANSYS mesh (ağ) modeli gösterilmiş ve Tablo 3.3'de mesh yapısının özellikleri belirtilmiştir.



şekil 3.3 Kaplamasız yanma odası ANSYS mesh (ağ) modeli

Tablo 3.3 Kaplamasız yanma odası ANSYS mesh (ağ) modeli özellikleri

Sıra no	Parça adı	Eleman tipi	Eleman Boyutu
1	Enjektör Kovanı	Volume sizing	3.0×10^{-3} m
2	Segman-1, Segman-2, Segman-3, Segman-4, Egzoz Supapları	Volume sizing	3.5×10^{-3} m
3	Enjektör, Gömlek Silindir Kapağı,	Volume sizing	4.0×10^{-3} m

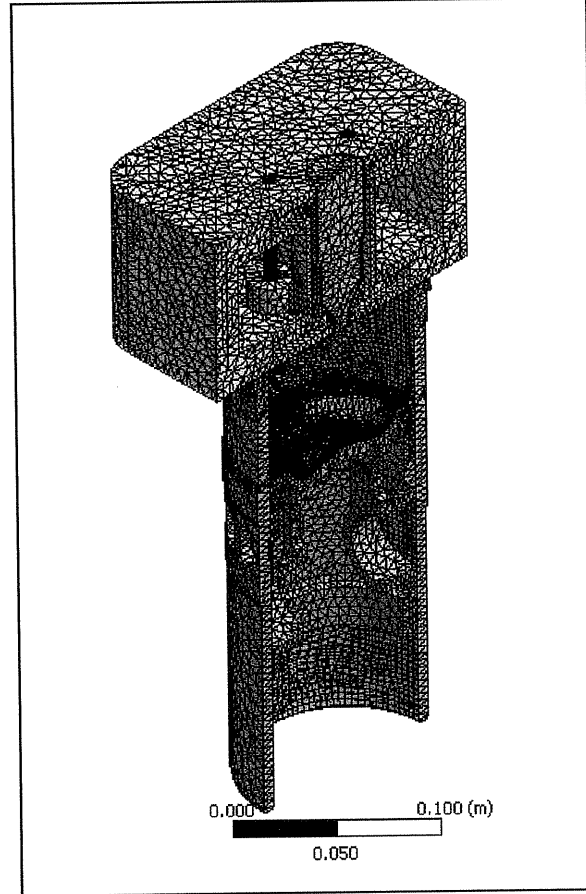
Termal analizlerde kullanılan kaplamasız ve kaplamalı yanma odası modellerini oluşturan parçalara ait malzeme özellikleri Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4 Malzeme özellikleri tablosu

Malzeme	Isı İletim Katsayısı (W/m°C)	Isıl Genleşme Katsayısı (1/°C)	Yoğunluk (kg/m ³)	Özgül Isı (J/Kg°C)	Poisson Oranı	Elastisite Modülü (MPa)
K.G.D.D.	35	$1,2 \cdot 10^{-5}$	7200	450	0,29	$1,5 \cdot 10^5$
L.G.D.D.	55	10^{-5}	7300	450	0,3	$1,3 \cdot 10^5$
Bakır	401	$1,8 \cdot 10^{-5}$	8300	385	0,34	$1,1 \cdot 10^5$
Çelik	60,5	$1,2 \cdot 10^{-5}$	7850	434	0,3	$2 \cdot 10^5$
AlSi	155	$2,1 \cdot 10^{-5}$	2700	960	0,3	$9 \cdot 10^4$
NiCrAl	16,1	$12 \cdot 10^{-6}$	7870	764	0,27	$9 \cdot 10^4$
MgZrO ₃ ,	0,8	$8 \cdot 10^{-6}$	5600	650	0,2	$4,6 \cdot 10^4$
Al ₂ O ₃ - %40TiO ₂	1,4	$1,3 \cdot 10^{-6}$	3000	800	0,24	$1,3 \cdot 10^4$
Al ₂ O ₃ - %40ZrO ₂	15	$7 \cdot 10^{-6}$	4010	800	0,23	$3,4 \cdot 10^4$

3.2.2. Kaplamalı Yanma Odasının Sonlu Elemanlar Modeli

Kaplamalı modelin mesh yapısı, 285,180 düğüm noktası ve 114,478 elemandan oluşmaktadır. Şekil 3.4'de kaplamalı yanma odası ANSYS mesh (ağ) modeli gösterilmiş ve Tablo 3.5'de mesh yapısının özellikleri belirtilmiştir.



Şekil 3.4 Kaplamalı yanma odası ANSYS mesh (ağ) modeli

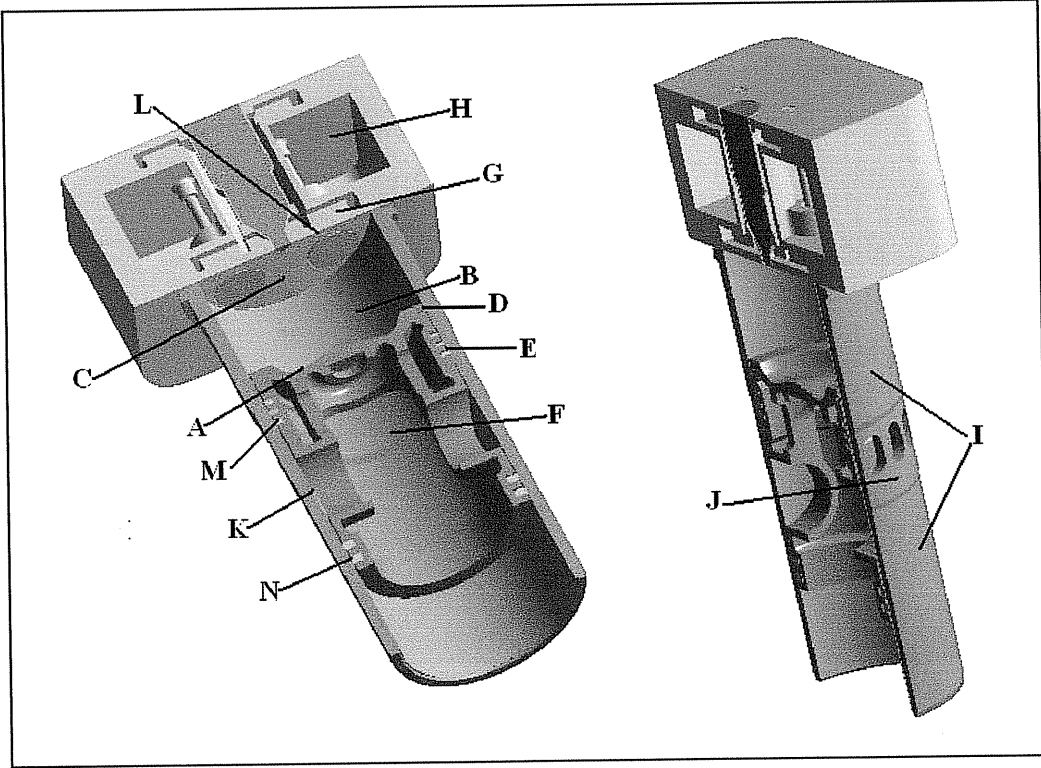
Tablo 3.5 Kaplamalı yanma odası ANSYS mesh (ağ) modeli özellikleri

Sıra No	Parça adı	Eleman tipi	Eleman Boyutu
1	Ara bağlayıcı malzeme, seramik kaplama, Enjektör kovani,	Volume sizing	3.0×10^{-3} m
2	Segman-1, Segman-2, Segman-3, Segman-4, Egzoz Supapları, Piston	Volume sizing	3.5×10^{-3} m
3	Enjektör, Gömlek, Silindir kapağı,	Volume sizing	4.0×10^{-3} m

3.2.3. Sınır Şartları

ANSYS programı kullanılarak, malzeme özellikleri tanımlanan ve mesh yapıları oluşturulan modeller üzerine, kararlı hal koşullarındaki yanma odasının termal yükleri girilmiştir. Yanma odası gazlarından; piston yüzeylerine, gömlek iç yüzeyine, silindir kapağı iç yüzeylerine, egzoz supaplarına ve egzoz portu yüzeylerine, soğutma sıvısından; gömlek dış yüzeylerine ve soğutma kanalları iç yüzeylerine, giriş havasından; emme portu deliklerine taşınım ısı transferi katsayıları tanımlanmış ve segman yüzeylerinde de sıcaklık değerleri girilmiştir.

Kullanılan sınır şartları daha önce yapılmış olan benzer çalışmalardan derlenmiş olup analizler sonucunda, bu çalışmalarda elde edilen sonuçlara yakın sonuçlar bulunmuştur. Kullanılan sınır şartları Şekil 3.5’de ve Tablo 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Sınır şartları tanımlanan yüzeyler

Tablo 3.6 Yanma odası ternal analizlerinde kullanılan sınır şartları

Sıra	Yanma Odası Modelinde Tanımlanan Sınır Şartı	Sıcaklık (°C)	Taşınım (W/m ² °C)
A	Piston Üst Yüzeyi	750	350
B	Gömlek İç Yüzeyi	750	300
C	Silindir Kapağı İç Yüzeyi	750	350
D	Piston Üst Yüzey-1nci Segman Arası	250	1500
E	Piston 1nci-4ncü Segmanlar Arası	250	800
F	Piston İç Yüzeyi	90	250
G	Silindir Kapağı Soğutma Sıvısı Kanalları	95	3000
H	Silindir Kapağı Egzoz Portu	425	800
I	Gömlek Çevresi Soğutma Sıvısı Dolaşım Bölgesi	95	2300
J	Hava Emiş Portu	57	800
K	Piston Eteği	110	1000
L	Egzoz Sübapları Arka Yüzeyleri	425	800
M	1nci-4ncü Segmanlar Sıcaklık	-	250
N	5nci-6ncı Segmanlar Sıcaklık	-	110

3.3. Termal Analizler

3.3.1. K.G.D.D. Pistonlu, Kaplamasız Yanma Odasının Termal Analizi

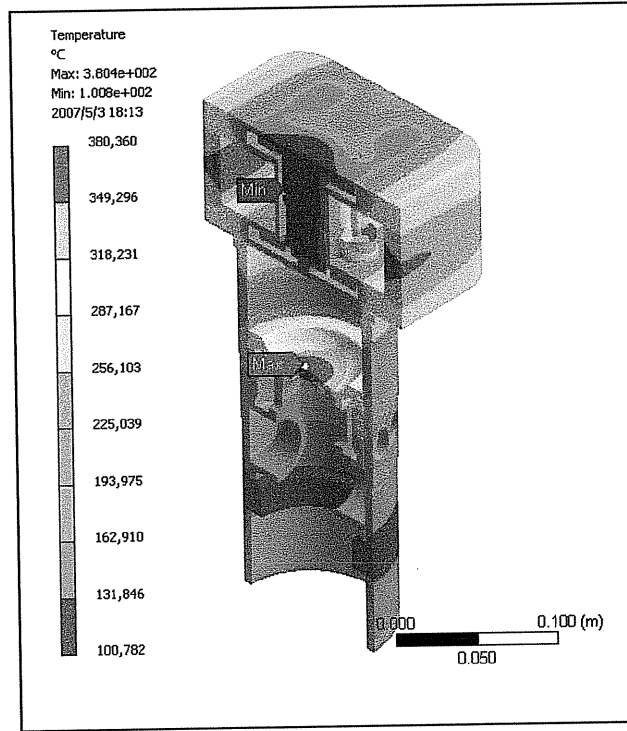
K.G.D.D. pistonlu kaplamasız yanma odasının termal analizi sonucunda elde edilen sıcaklık ve ısı akısı değerleri Tablo 3.7'de verilmiş ve sıcaklık dağılımı Şekil 3.6'da, toplam ısı akısı dağılımı Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Analiz sonucunda piston üst yüzeyinde en yüksek sıcaklık değeri 380,36°C olarak bulunmuştur.

ERŞAN tarafından yapılan, dizel motor pistonunun termal analizinde piston yüzey sıcaklığı 309°C olarak bulunmuştur [5]. TIKIZ tarafından yapılan benzer bir çalışmada, piston yüzeyindeki en yüksek sıcaklık değerinin 383°C olduğu belirtilmiştir [9].

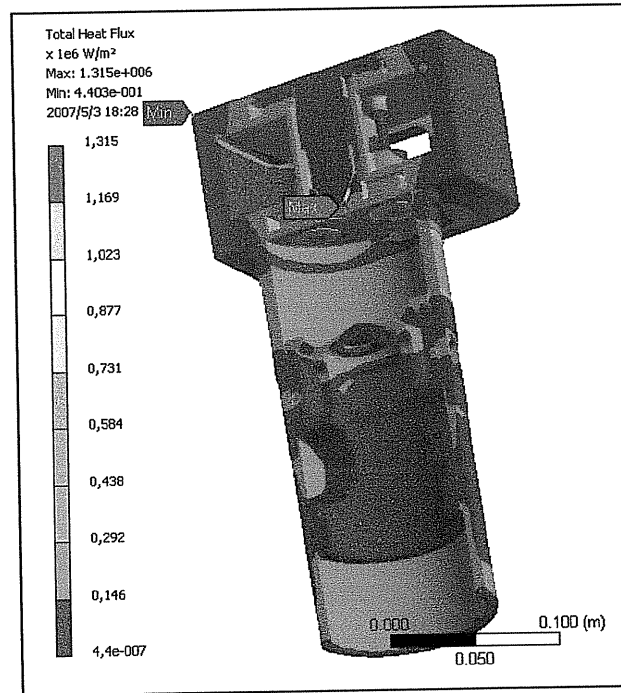
Analiz sonucunda piston üst yüzeyindeki en yüksek ısı akısı değeri 5,191.105 W/m², en düşük ısı akısı değeri 1,361.105 W/m² olarak bulunmuştur.

Tablo 3.7 K.G.D.D. pistonlu, kaplamasız yanma odası sıcaklık ve ısı akısı analiz sonuçları

Yanma Odası Bölgesi	En Yüksek Sıcaklık (°C)	En Düşük Sıcaklık (°C)	En Yüksek Isı Akısı (W/m ²)	En Düşük Isı Akısı (W/m ²)
Piston üst yüzeyi	380,36	250,9	5,191.10 ⁵	1,361.10 ⁵
Gömlek iç yüzeyi	310,5	108,91	5,795. 10 ⁵	1182
Silindir kapağı iç yüzeyi	311,12	161,9	4,666. 10 ⁵	1,0212. 10 ⁵
Egzoz supabı yüzeyi	335,01	249,83	8,192.10 ⁵	1,186. 10 ⁵



Şekil 3.6 K.G.D.D. pistonlu, kaplamasız yanma odasının sıcaklık dağılımı



Şekil 3.7 K.G.D.D. pistonlu, kaplamasız yanma odasının toplam ısı akısı dağılımı

3.3.2. AlSi Pistonlu, Kaplamasız Yanma Odasının Termal Analizi

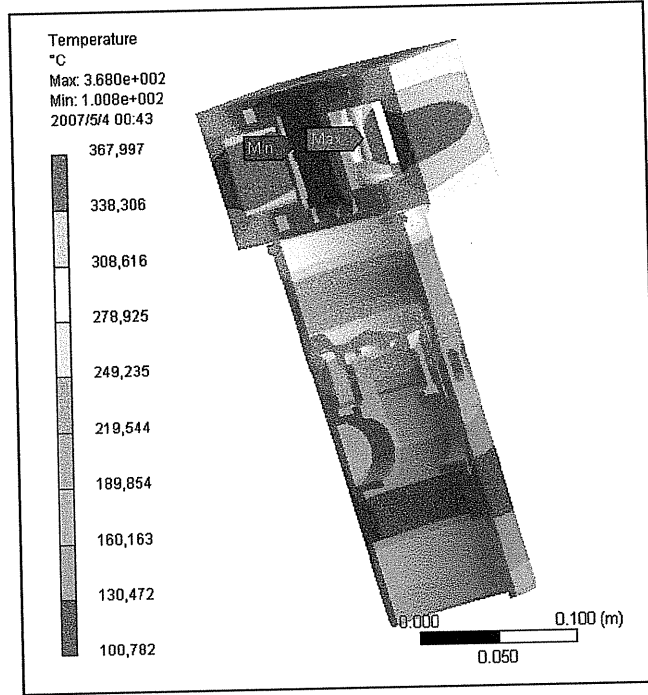
AlSi pistonlu kaplamasız yanma odasının termal analizi sonucunda elde edilen sıcaklık ve ısı akısı değerleri Tablo 3.8’de verilmiş, sıcaklık dağılımı Şekil 3.8’de, toplam ısı akısı dağılımı Şekil 3.9’da gösterilmiştir. Analiz sonucunda yanma odasındaki en yüksek sıcaklık değeri 367,997°C olarak silindir kapağı egzoz çıkış bölgesinde, bulunmuştur. AlSi pistonun üst yüzeyindeki en yüksek sıcaklık değeri 294,52 °C dir.

Analiz sonucunda piston üst yüzeyinde en yüksek ısı akısı değeri $7,083 \times 10^5 \text{ W/m}^2$, en düşük ısı akısı değeri $1,617.10^5 \text{ W/m}^2$ olarak bulunmuştur.

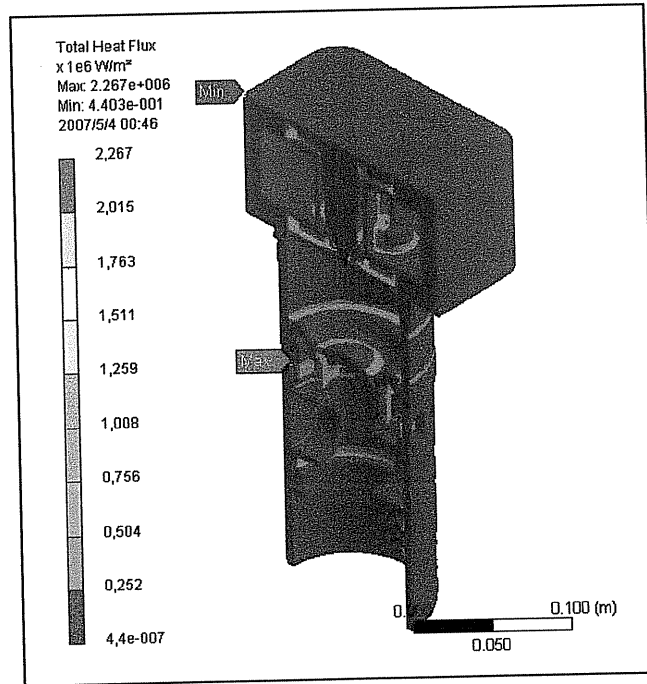
AlSi pistonun yüzeyindeki sıcaklık değerinin K.G.D.D. pistondan daha düşük olmasının nedeni, AlSi malzemenin K.G.D.D. malzemedan daha büyük ısı iletim katsayısına sahip olmasıdır. Buna karşılık, piston üst yüzeylerinde oluşan ısı akılarına bakıldığında AlSi pistonun üst yüzeyinde oluşan ısı akısının daha büyük olduğu görülür.

Tablo 3.8 AlSi pistonlu, kaplamasız yanma odası sıcaklık ve ısı akısı analiz sonuçları

Yanma Odası Bölgesi	En Yüksek Sıcaklık (°C)	En Düşük Sıcaklık (°C)	En Yüksek Isı Akısı (W/m ²)	En Düşük Isı Akısı (W/m ²)
Piston üst yüzeyi	294.52	251.8	$7,083.10^5$	$1,617.10^5$
Gömlük iç yüzeyi	310.49	109.07	$4,072.10^5$	2582
Silindir kapağı iç yüzeyi	311.12	161.9	$4,666. 10^5$	$1,012. 10^5$
Egzoz supabı yüzeyi	336.58	249.83	$8,192.10^5$	$1,186. 10^5$



Şekil 3.8 AlSi pistonlu, kaplamasız yanma odasının sıcaklık dağılımı



Şekil 3.9 AlSi pistonlu, kaplamasız yanma odasının toplam ısı akısı dağılımı

3.3.3. K.G.D.D. Pistonlu, MgZrO₃ Kaplamalı Yanma Odasının Termal Analizi

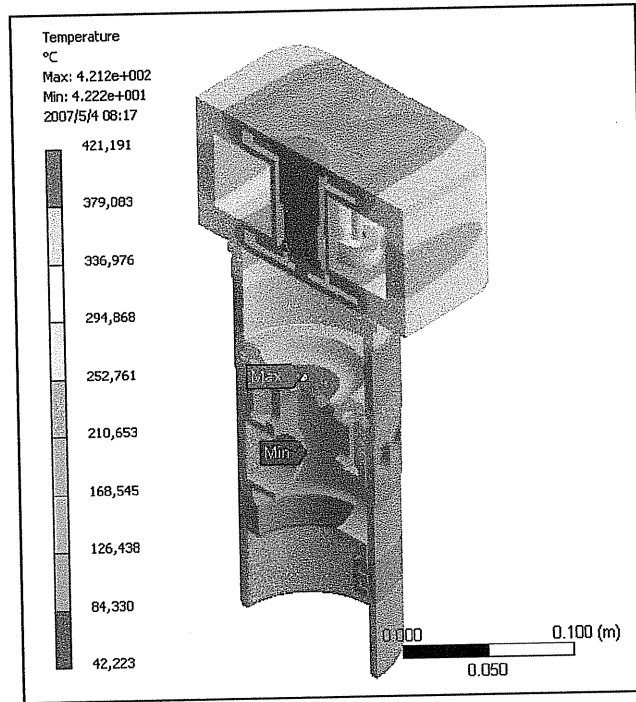
K.G.D.D. pistonlu MgZrO₃ kaplamalı yanma odasının termal analizi sonucunda elde edilen sıcaklık ve ısı akısı değerleri Tablo 3.9’da verilmiş, sıcaklık dağılımı Şekil 3.10’da, toplam ısı akısı dağılımı Şekil 3.11’de gösterilmiştir. Analiz sonucunda yanma odasındaki en yüksek sıcaklık piston üst yüzeyinde 421,191°C olarak bulunmuştur.

Analiz sonucunda piston üst yüzeyinde en yüksek ısı akısı değeri $1,706 \times 10^5$ W/m², en düşük ısı akısı değeri $0,546 \cdot 10^5$ W/m² olarak bulunmuştur.

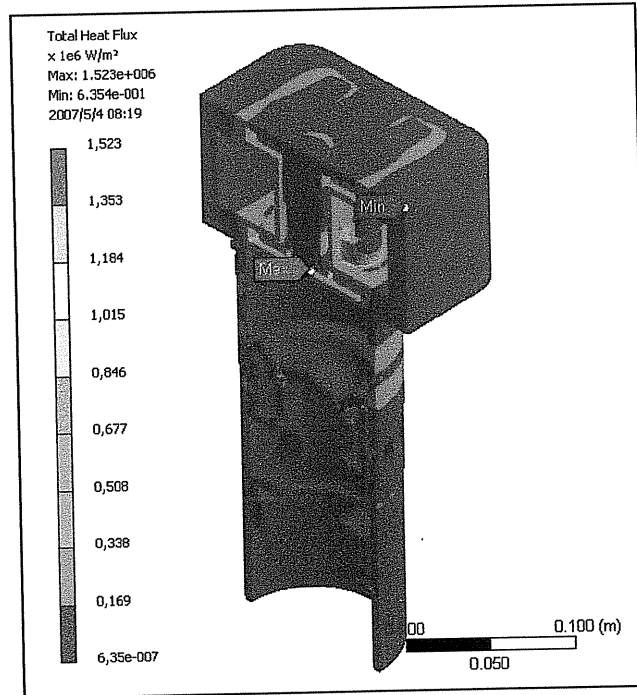
Piston üst yüzeyindeki seramik kaplama malzemesi MgZrO₃’ün ısı iletim katsayısının çok düşük olması nedeniyle bu analiz sonucunda piston üst yüzeyi sıcaklığında belirgin bir artış görülmüştür. Diğer yandan, kaplanan yanma odası yüzeylerinde oluşan ısı akıları da azalmıştır.

Tablo 3.9 K.G.D.D. pistonlu, MgZrO₃ kaplamalı yanma odası sıcaklık ve ısı akısı analiz sonuçları

Yanma Odası Bölgesi	En Yüksek Sıcaklık (°C)	En Düşük Sıcaklık (°C)	En Yüksek Isı Akısı (W/m ²)	En Düşük Isı Akısı (W/m ²)
Piston üst yüzeyi	421,19	308,68	$1,706 \cdot 10^5$	$0,546 \cdot 10^5$
Gömlük iç yüzeyi	396,14	42,22	$3,222 \cdot 10^5$	23,45
Silindir kapağı iç yüzeyi	368,76	161,92	$2,178 \cdot 10^5$	$0,725 \cdot 10^5$
Egzoz supabı yüzeyi	389,04	276,93	$1,816 \cdot 10^5$	$0,119 \cdot 10^5$



Şekil 3.10 K.G.D.D. pistonlu, 150 μ m NiCrAl bağlayıcı üzerine 350 μ m MgZrO₃ kaplamalı yanma odasının sıcaklık dağılımı



Şekil 3.11 K.G.D.D. pistonlu, 150 μ m NiCrAl bağlayıcı üzerine 350 μ m MgZrO₃ kaplamalı yanma odasının toplam ısı akısı dağılımı

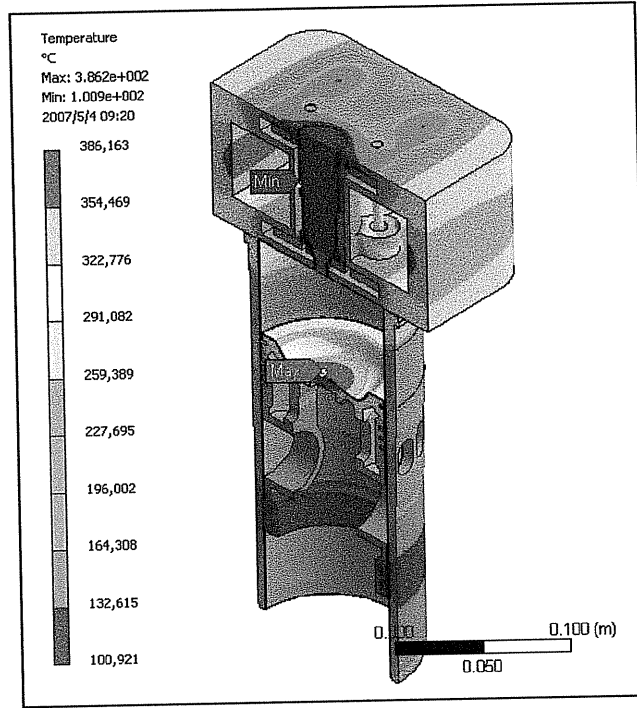
3.3.4. K.G.D.D. Pistonlu, Al₂O₃-%40ZrO₂ Kaplamalı Yanma Odasının Termal Analizi

K.G.D.D. pistonlu Al₂O₃-%40ZrO₂ kaplamalı yanma odasının termal analizi sonucunda elde edilen sıcaklık ve ısı akısı değerleri Tablo 3.10'da verilmiş, sıcaklık dağılımı Şekil 3.12'de, toplam ısı akısı dağılımı Şekil 3.13'de gösterilmiştir. Analiz sonucunda yanma odasındaki en yüksek sıcaklık piston üst yüzeyinde 386,16°C olarak bulunmuştur.

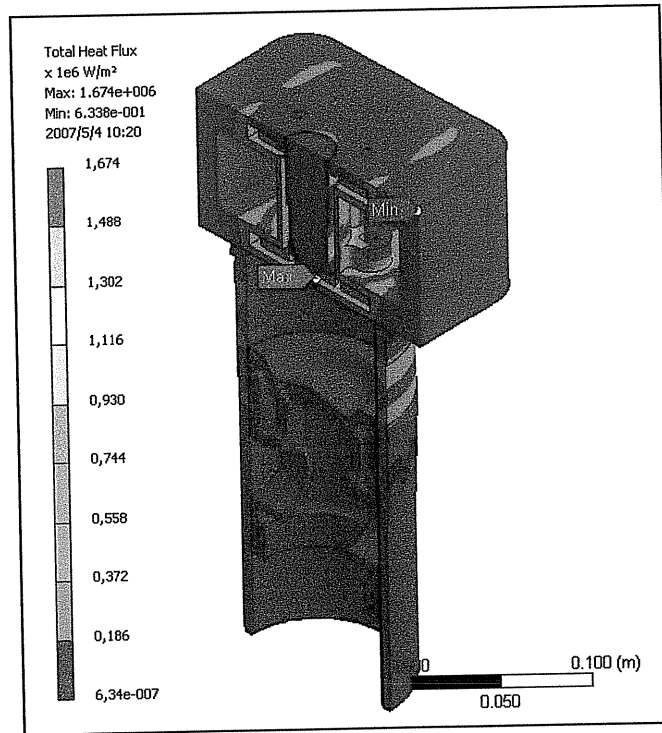
Analiz sonucunda piston üst yüzeyinde en yüksek ısı akısı değeri 1,912.10⁵ W/m², en düşük ısı akısı değeri 0,815.10⁵ W/m² olarak bulunmuştur.

Tablo 3.10 K.G.D.D. pistonlu, MgZrO₃ kaplamalı yanma odası sıcaklık ve ısı akısı analiz sonuçları.

Yanma Odası Bölgesi	En Yüksek Sıcaklık (°C)	En Düşük Sıcaklık (°C)	En Yüksek Isı Akısı (W/m ²)	En Düşük Isı Akısı (W/m ²)
Piston üst yüzeyi	386,16	293,73	1,912.10 ⁵	0,815.10 ⁵
Gömlek iç yüzeyi	319,61	107,41	3,648.10 ⁵	124,45
Silindir kapağı iç yüzeyi	322,25	168,7	2,789 10 ⁵	1,071.10 ⁵
Egzoz supabı yüzeyi	345,13	245,23	2,700.10 ⁵	1,415.10 ⁵



Şekil 3.12 K.G.D.D. pistonlu, 150 μ m NiCrAl bağlayıcı üzerine 350 μ m Al_2O_3 -%40ZrO₂ kaplamalı yanma odasının sıcaklık dağılımı



Şekil 3.13 K.G.D.D. pistonlu, 150 μ m NiCrAl bağlayıcı üzerine 350 μ m Al_2O_3 -%40ZrO₂ kaplamalı yanma odasının toplam ısı akısı

3.3.5. K.G.D.D. Pistonlu, Al₂O₃-%40TiO₂ Kaplamalı Yanma Odasının

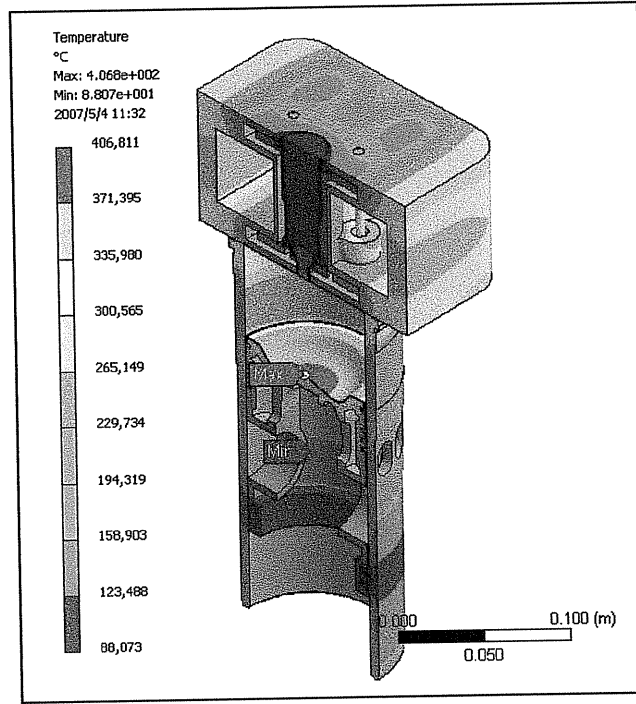
Termal Analizi

K.G.D.D. pistonlu Al₂O₃-%40TiO₂ kaplamalı yanma odasının termal analizi sonucunda elde edilen sıcaklık ve ısı akısı değerleri Tablo 3.11’de verilmiş, sıcaklık dağılımı Şekil 3.14’de, toplam ısı akısı dağılımı Şekil 3.15’de gösterilmiştir. Analiz sonucunda yanma odasındaki en yüksek sıcaklık piston üst yüzeyinde 406,81°C olarak bulunmuştur.

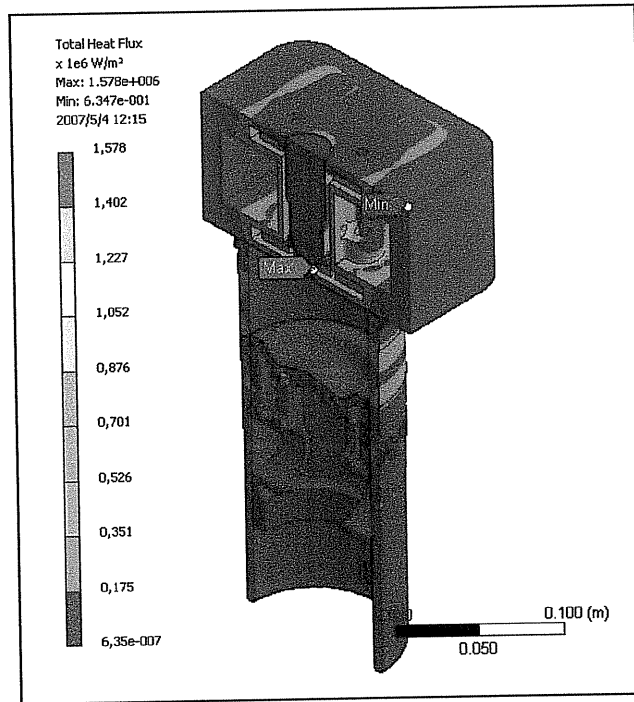
Analiz sonucunda piston üst yüzeyinde en yüksek ısı akısı değeri 1,783.10⁵ W/m², en düşük ısı akısı değeri 0,623.10⁵ W/m² olarak bulunmuştur.

Tablo 3.11 K.G.D.D. pistonlu, Al₂O₃-%40TiO₃ kaplamalı yanma odası sıcaklık ve ısı akısı analiz sonuçları

Yanma Odası Bölgesi	En Yüksek Sıcaklık (°C)	En Düşük Sıcaklık (°C)	En Yüksek Isı Akısı (W/m ²)	En Düşük Isı Akısı (W/m ²)
Piston üst yüzeyi	406,81	304,79	1,783.10 ⁵	0,623.10 ⁵
Gömlek iç yüzeyi	340,79	88,07	3,463.10 ⁵	29,35
Silindir kapağı iç yüzeyi	348,6	164,54	2,265 10 ⁵	0,733.10 ⁵
Egzoz supabı yüzeyi	371,07	264,24	1,856.10 ⁵	1,279.10 ⁵



Şekil 3.14 K.G.D.D. pistonlu, 150µm NiCrAl bağlayıcı üzerine 350 µm Al_2O_3 -%40TiO₂ kaplamalı yanma odasının sıcaklık dağılımı



Şekil 3.15 K.G.D.D. pistonlu, 150µm NiCrAl bağlayıcı üzerine 350 µm Al_2O_3 -%40TiO₂ kaplamalı yanma odasının toplam ısı akısı dağılımı

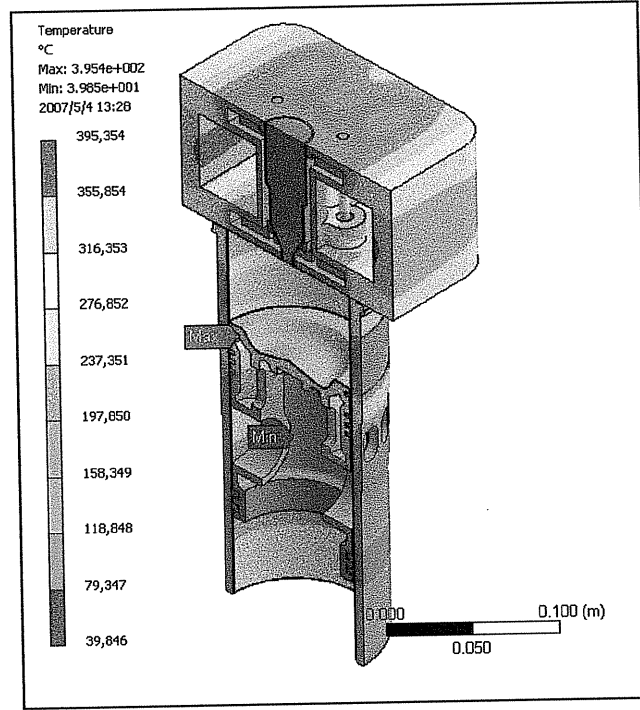
3.3.6. AlSi Pistonlu, MgZrO₃ Kaplamalı Yanma Odasının Termal Analizi

AlSi pistonlu MgZrO₃ kaplamalı yanma odasının termal analizi sonucunda elde edilen sıcaklık ve ısı akısı değerleri Tablo 3.12’de verilmiş, sıcaklık dağılımı Şekil 3.16’da, toplam ısı akısı dağılımı Şekil 3.17’de gösterilmiştir. Analiz sonucunda yanma odasındaki en yüksek sıcaklık gömlek iç yüzeyinde 395,35°C olarak bulunmuştur. Pistonun üst yüzeyindeki en yüksek sıcaklık değeri 357,63°C dir.

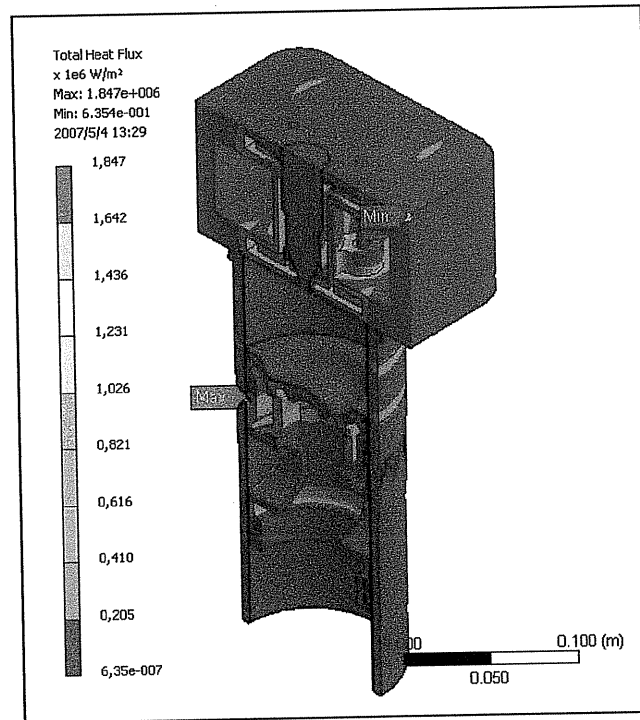
Analiz sonucunda piston üst yüzeyinde en yüksek ısı akısı değeri 1,723.10⁵ W/m², en düşük ısı akısı değeri 0,527.10⁵ W/m² olarak bulunmuştur.

Tablo 3.12 AlSi pistonlu, MgZrO₃ kaplamalı yanma odası sıcaklık ve ısı akısı analiz sonuçları

Yanma Odası Bölgesi	En Yüksek Sıcaklık (°C)	En Düşük Sıcaklık (°C)	En Yüksek Isı Akısı (W/m ²)	En Düşük Isı Akısı (W/m ²)
Piston üst yüzeyi	357,63	294,36	1,723.10 ⁵	0,527.10 ⁵
Gömlek iç yüzeyi	395,35	39,85	3,224.10 ⁵	11,71
Silindir kapağı iç yüzeyi	368,76	161,92	2,178. 10 ⁵	0,725.10 ⁵
Egzoz supabı yüzeyi	389,04	276,93	1,816.10 ⁵	0,119.10 ⁵



Şekil 3.16 AISi pistonlu, 150 μ m NiCrAl bağlayıcı üzerine 350 μ m MgZrO₃ kaplamalı yanma odasının sıcaklık dağılımı



Şekil 3.17 AISi pistonlu, 150 μ m NiCrAl bağlayıcı üzerine 350 μ m MgZrO₃ kaplamalı yanma odasının toplam ısı akısı dağılımı

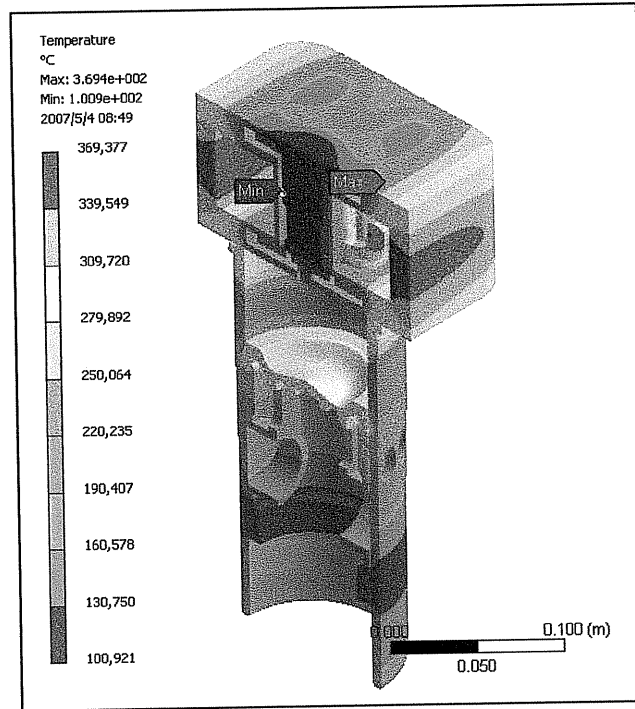
3.3.7. AlSi Pistonlu, Al₂O₃-%40ZrO₂ Kaplamalı Yanma Odasının Termal Analizi

AlSi pistonlu Al₂O₃-%40ZrO₂ kaplamalı yanma odasının termal analizi sonucunda elde edilen sıcaklık ve ısı akısı değerleri Tablo 3.13’de verilmiş, sıcaklık dağılımı Şekil 3.18’de, toplam ısı akısı dağılımı Şekil 3.19’da gösterilmiştir. Analiz sonucunda yanma odasındaki en yüksek sıcaklık silindir kapağında egzoz portu çıkış bölgesinde 368,38°C olarak bulunmuştur. Piston üst yüzeyindeki en yüksek sıcaklık değeri 303,72°C dir.

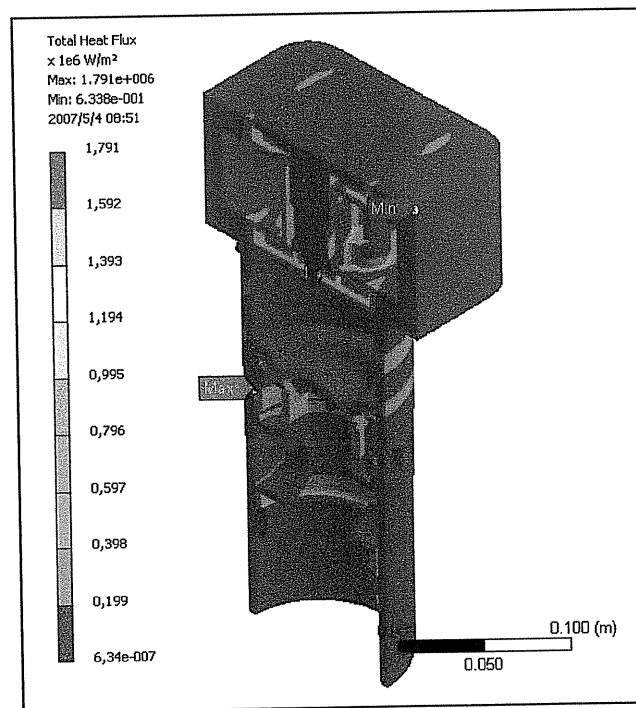
Analiz sonucunda piston üst yüzeyinde en yüksek ısı akısı değeri $1,874 \times 10^5$ W/m², en düşük ısı akısı değeri $0,790 \cdot 10^5$ W/m² olarak bulunmuştur.

Tablo 3.13 AlSi pistonlu, Al₂O₃-%40ZrO₂ kaplamalı yanma odası sıcaklık ve ısı akısı analiz sonuçları

Yanma Odası Bölgesi	En Yüksek Sıcaklık (°C)	En Düşük Sıcaklık (°C)	En Yüksek Isı Akısı (W/m ²)	En Düşük Isı Akısı (W/m ²)
Piston üst yüzeyi	303,72	271,54	$1,874 \cdot 10^5$	$0,790 \cdot 10^5$
Gömlek iç yüzeyi	319,61	107,59	$3,650 \cdot 10^5$	210,43
Silindir kapağı iç yüzeyi	322,25	168,7	$2,789 \cdot 10^5$	$1,071 \cdot 10^5$
Egzoz supabı yüzeyi	345,13	245,23	$2,701 \cdot 10^5$	$0,142 \cdot 10^5$



Şekil 3.18 AISi pistonlu, 150µm NiCrAl bağlayıcı üzerine 350 µm Al_2O_3 -%40ZrO₂ kaplamalı yanma odasının sıcaklık dağılımı



Şekil 3.19 AISi pistonlu, 150µm NiCrAl bağlayıcı üzerine 350 µm Al_2O_3 -%40ZrO₂ kaplamalı yanma odasının toplam ısı akısı

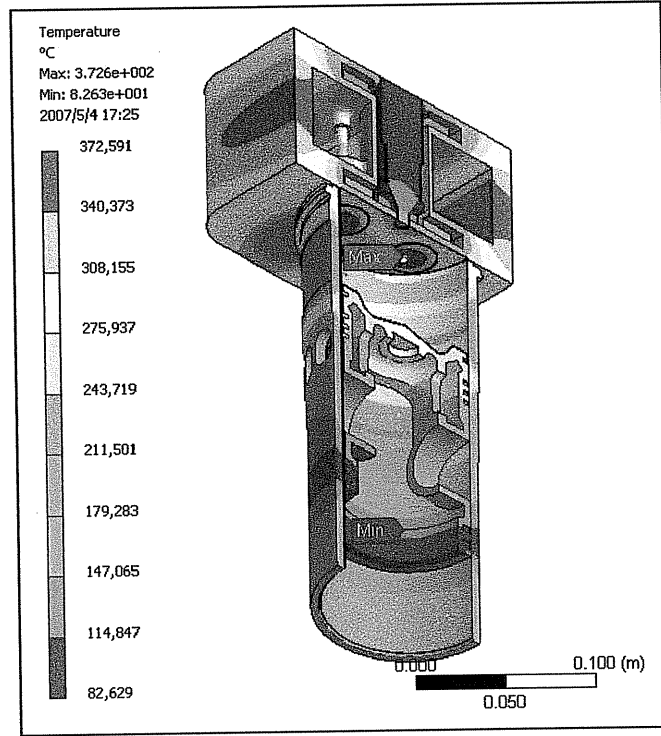
3.3.8. AlSi Pistonlu, Al₂O₃-%40TiO₂ Kaplamalı Yanma Odasının Termal Analizi

AlSi pistonlu MgZrO₃ Kaplamalı yanma odasının termal analizi sonucunda elde edilen sıcaklık değerleri sıcaklık ve ısı akısı değerleri Tablo 3.14'de verilmiş, sıcaklık dağılımı Şekil 3.20'de, toplam ısı akısı dağılımı Şekil 3.21'de gösterilmiştir. Analiz sonucunda yanma odasındaki en yüksek sıcaklık egzoz supabı yüzeyinde 372,59°C olarak bulunmuştur. Piston üst yüzeyindeki en yüksek sıcaklık değeri 335,0°C dir.

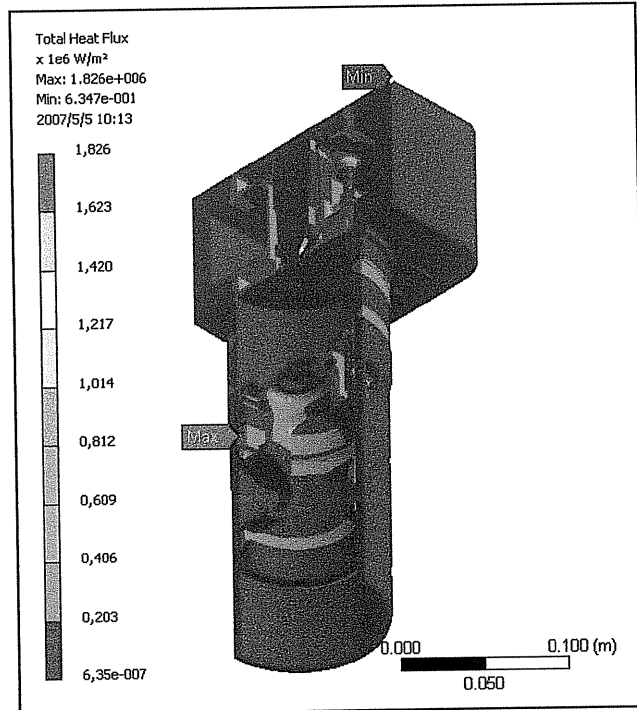
Analiz sonucunda piston üst yüzeyinde en yüksek ısı akısı değeri $1,723 \times 10^5$ W/m², en düşük ısı akısı değeri $0,609 \cdot 10^5$ W/m² olarak bulunmuştur. olarak bulunmuştur.

Tablo 3.14 AlSi pistonlu, Al₂O₃-%40TiO₂ kaplamalı yanma odası sıcaklık ve ısı akısı analiz sonuçları

Yanma Odası Bölgesi	En Yüksek Sıcaklık (°C)	En Düşük Sıcaklık (°C)	En Yüksek Isı Akısı (W/m ²)	En Düşük Isı Akısı (W/m ²)
Piston üst yüzeyi	335,0	286,94	$1,788 \cdot 10^5$	$0,609 \cdot 10^5$
Gömlek iç yüzeyi	340,78	82,63	$3,467 \cdot 10^5$	30,1
Silindir kapağı iç yüzeyi	348,6	164,54	$2,265 \cdot 10^5$	$0,733 \cdot 10^5$
Egzoz supabı yüzeyi	372,59	263,86	$1,883 \cdot 10^5$	$1,278 \cdot 10^5$



Şekil 3.20 AISi pistonlu, 150µm NiCrAl bağlayıcı üzerine 350 µm Al_2O_3 -%40TiO₂ kaplamalı yanma odasının sıcaklık dağılımı.



Şekil 3.21 AISi pistonlu, 150µm NiCrAl bağlayıcı üzerine 350 µm Al_2O_3 -%40TiO₂ kaplamalı yanma odasının toplam ısı akısı

BÖLÜM 4. SONUÇLAR

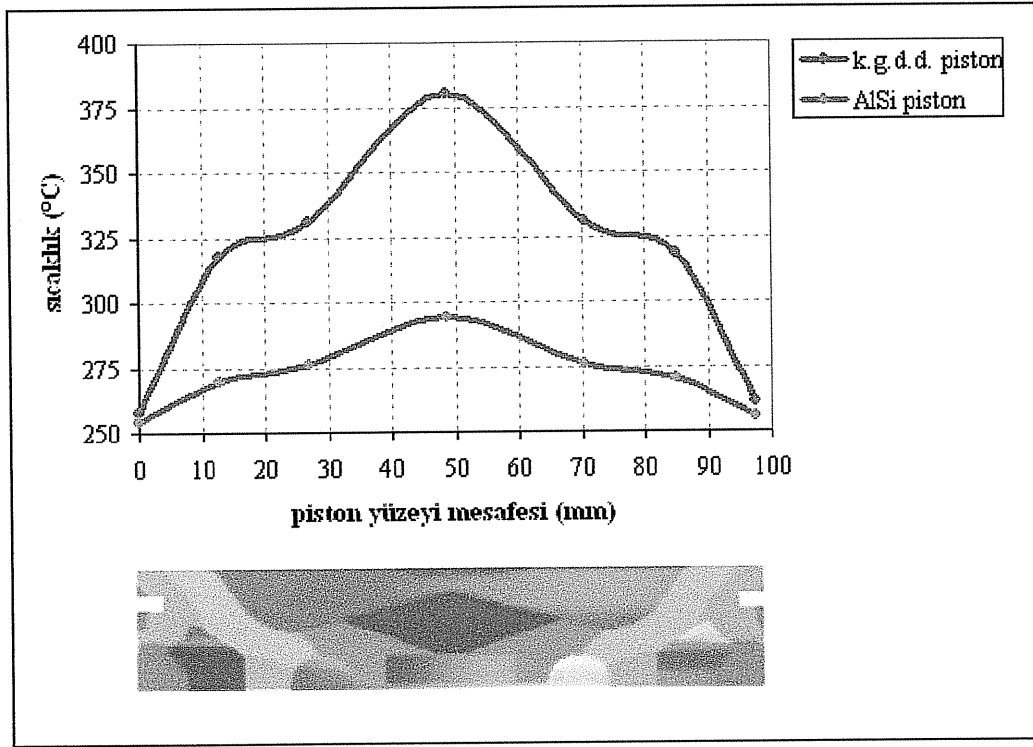
K.G.D.D. pistonlu ve AlSi pistonlu kaplamasız yanma odaları ile bu yanma odalarının üç farklı seramik malzeme ile kaplanması durumları için yapılan termal analizlerin karşılaştırmalarının yapılabilmesi için, kaplamasız ve kaplamalı durumlar ayrı ayrı ele alınarak piston yüzeylerinde oluşan sıcaklık ve ısı akılarının grafikleri çizilmiş ve yanma odalarında oluşan toplam ısı akıları tablolar halinde verilmiştir.

Grafiklerde, dikey eksen piston üst yüzeyinde termal analizler sırasında kesit boyunca tanımlanan yedi adet prop ile elde edilen sıcaklık ve ısı akısı değerlerini, yatay eksen propların piston kenarına olan mesafelerini göstermektedir.

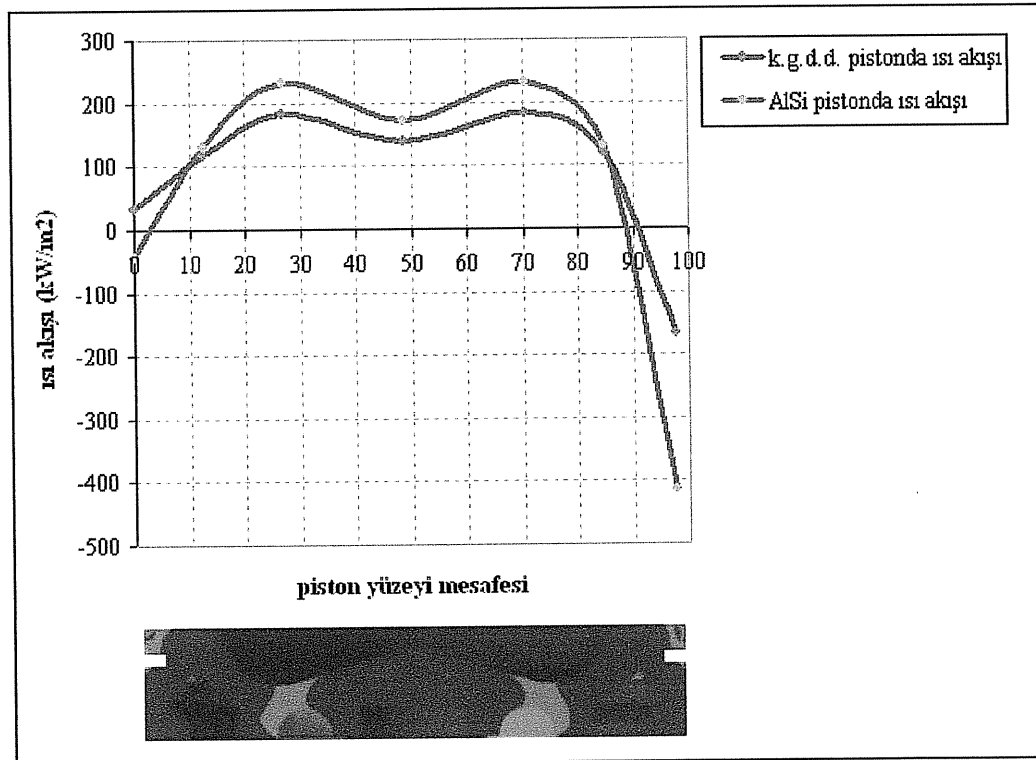
4.1. K.G.D.D. ve AlSi Pistonlu Kaplamasız Yanma Odasının Piston Yüzeylerinde Sıcaklık ve Isı Akısı Karşılaştırması

Analizler sonucunda, K.G.D.D. pistonlu kaplamasız yanma odasında en yüksek sıcaklık değeri piston üst yüzeyinde $380,360^{\circ}\text{C}$ olarak bulunmuştur. AlSi pistonlu kaplamasız yanma odasında en yüksek sıcaklık değeri egzoz portları bölgesinde $367,997^{\circ}\text{C}$ olup, piston üst yüzeyindeki en yüksek sıcaklık $294,52^{\circ}\text{C}$ olarak bulunmuştur. K.G.D.D. ve AlSi Pistonların üst yüzeylerindeki sıcaklık dağılımları Şekil 4.1'de, ısı akısı dağılımları Şekil 4.2'de verilmiştir.

Termal analizler yanma odasının yarım modeli üzerinde uygulandığından, yanma odasının tamamında oluşan ısı akılarının görülebilmesi için, analiz sonuçlarında bulunan değerlerin 2 ile çarpılması gerektiği unutulmamalıdır.



Şekil 4.1 Kaplamasız K.G.D.D. ve AlSi pistonların yüzey boyunca sıcaklık dağılımları (°C)



Şekil 4.2 Kaplamasız K.G.D.D. ve AlSi pistonların yüzey boyunca ısı akışı dağılımları (kW/m²)

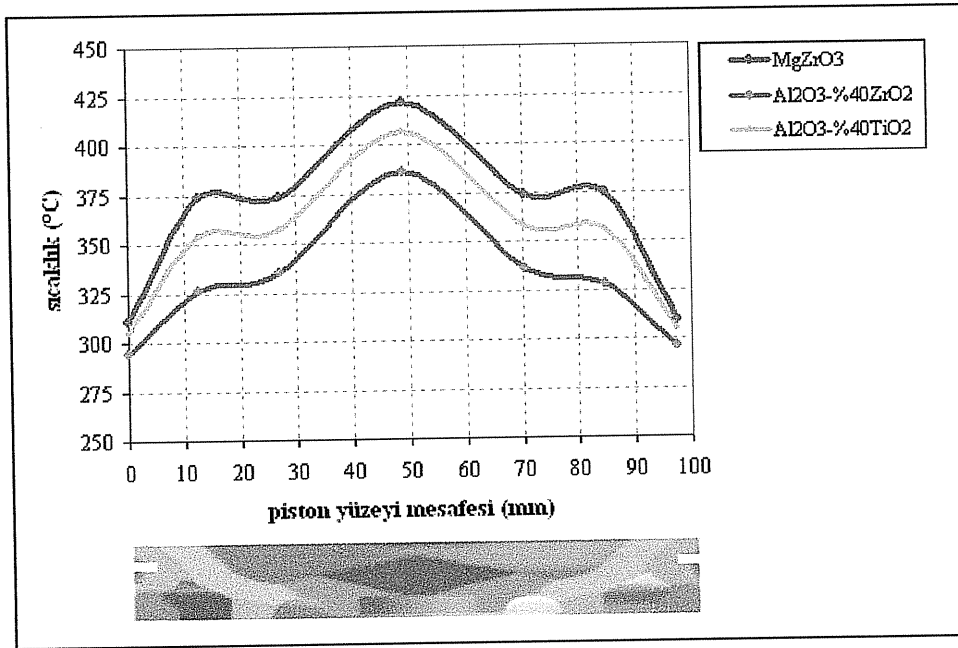
Analizler sonucunda bulunan, yanma odasında oluşan ısı akısı değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir. Tablonun sıra hanesindeki kod harfleri Şekil 3.4’de açıklanmıştır. K.G.D.D. pistonlu, kaplamasız yanma odasında piston üst yüzeyi, gömlek iç yüzeyi ve silindir kapağı iç yüzeyinden oluşan toplam ısı akısı ; $7365,5 \times 2 = 14731$ W, AlSi pistonlu kaplamasız yanma odasında $7428,14 \times 2 = 14856,28$ W olarak bulunmuştur. Kaplamasız K.G.D.D. ve AlSi piston üzerindeki ısı akısı dağılımları Şekil 4.2’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 4.1 Yanma odası analizi sonucunda bulunan toplam ısı akıları

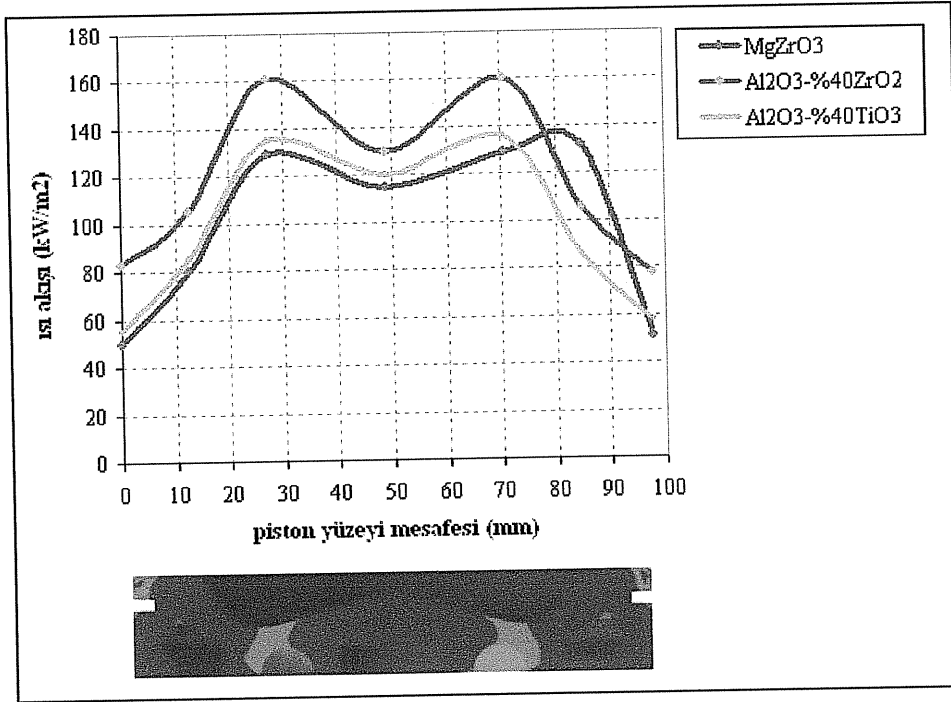
Sıra	Yanma Odası Modelinde Isı Akısı Olan Bölge	Sıcaklık (°C)	Taşınım (W/m ² °C)	K.G.D.D. pistonlu Isı Akısı (W)	AlSi pistonlu Isı Akısı (W)
A	Piston Üst Yüzeyi	750	350	641.48	706.07
B	Gömlek İç Yüzeyi	750	300	6,122.94	6,120.99
C	Silindir Kapağı İç Yüzeyi	750	350	601.08	601.08
D	Piston Üst Yüzey-1nci Segman Arası Bölgesi	250	1500	-4.91	-3.76
E	Piston 1nci-4ncü Segmanlar Arası Bölgesi	250	800	-9.87	-4.78
F	Piston İç Yüzeyi	90	250	-662.98	-693.63
G	Silindir Kapağı Soğutma Sıvısı Kanalları	95	3000	-5,483.04	-5,483.01
H	Silindir Kapağı Egzoz Portu	425	800	4,541.86	4,541.87
I	Gömlek Çevresi Soğutma Sıvısı Bölgesi	95	2300	-3,686.39	-3,635.15
J	Hava Emiş Portu	57	800	-515.65	-548.67
K	Piston Eteği	110	1000	-641.91	-705.31
L	Egzoz Sübapları Arka Yüzeyleri	425	800	93.95	93.95
M	1nci-4ncü Segmanlar	250	-	-142.1	45.85
N	5nci-6ncü Segman	110	-	-854.47	-1,035.5

4.2. K.G.D.D. Pistonlu, Üç Farklı Seramik İle Kaplanmış Yanma Odasının Piston Yüzeylerinde Sıcaklık ve Isı Akısı Karşılaştırması

Analizler sonucunda, K.G.D.D. pistonlu $MgZrO_3$ kaplamalı yanma odasında en yüksek sıcaklık değeri piston üst yüzeyinde $421,19^{\circ}C$, Al_2O_3 - $\%40ZrO_2$ kaplamalı yanma odasında en yüksek sıcaklık değeri piston üst yüzeyinde $386,163^{\circ}C$ ve Al_2O_3 - $\%40TiO_2$ kaplamalı yanma odasında en yüksek sıcaklık değeri piston üst yüzeyinde $406,81^{\circ}C$ olarak bulunmuştur. Piston üst yüzeyindeki sıcaklık dağılımları Şekil 4.3’de ısı akısı dağılımları Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.3 K.G.D.D. pistonlu, kaplamalı yanma odasında piston yüzeylerindeki sıcaklık dağılımları($^{\circ}C$)



Şekil 4.4 K.G.D.D. pistonlu, kaplamalı yanma odasında piston yüzeylerindeki ısı akısı dağılımları (kW/m²)

Analizler sonucunda bulunan yanma odasında oluşan ısı akısı değerleri Tablo 4.2'de verilmiştir. K.G.D.D. pistonlu, kaplamalı yanma odasında piston üst yüzeyi, gömlek iç yüzeyi ve silindir kapağı iç yüzeyinden oluşan toplam ısı akıları ; MgZrO₃ kaplamalı yanma odasında $6811,65 \times 2 = 13623,3$ W, Al₂O₃-%40ZrO₂ kaplamalı yanma odasında $7317 \times 2 = 14634$ W, Al₂O₃-%40TiO₂ kaplamalı yanma odasında $7026,21 \times 2 = 14052,42$ W olarak bulunmuştur.

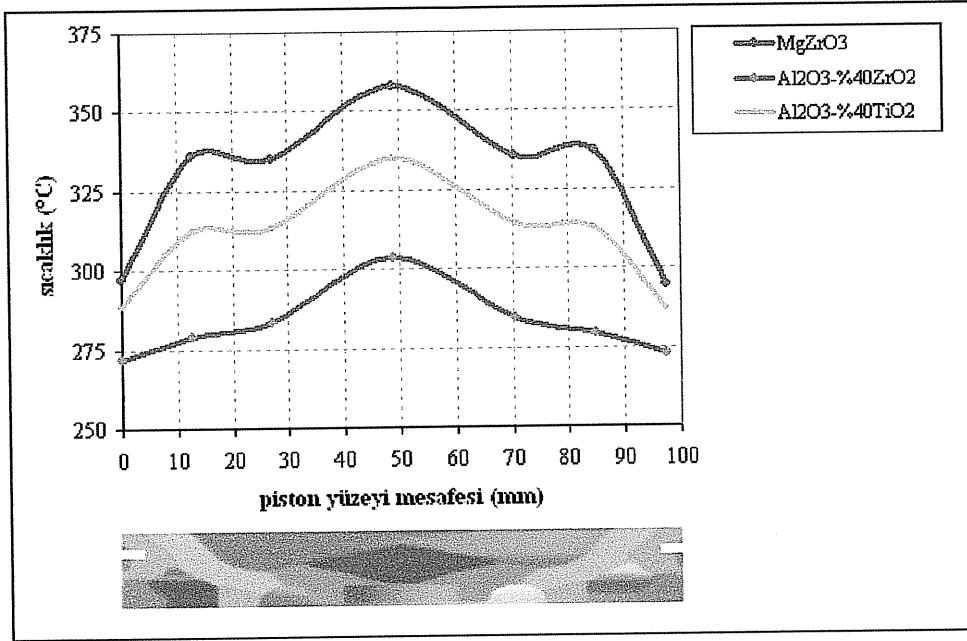
Tablo 4.2 K.G.D.D. pistonlu, üç farklı seramik malzeme ile kaplanmış yanma odasında termal analiz sonucu bulunan ısı akıları

Sıra	Yanma Odası Modelinde Isı Akısı Olan Bölge	Sıcaklık (°C)	Taşınım (W/m ² °C)	MgZrO ₃ kaplamalı (W)	Al ₂ O ₃ -%40ZrO ₂ kaplamalı (W)	Al ₂ O ₃ -%40TiO ₂ kaplamalı (W)
A	Piston Üst Yüzeyi	750	350	561.7	626.22	588.62
B	Gömlek İç Yüzeyi	750	300	5,707.69	6,084.48	5,868.31
C	Silindir Kapağı İç Yüzeyi	750	350	542.26	606.35	569.28
D	Piston Üst Yüzey-1nci Segman Arası Bölgesi	250	1500	-22.59	-31.33	-26.05
E	Piston 1nci-4ncü Segmanlar Arası Bölgesi	250	800	-3.28	-3.82	-3.55
F	Piston İç Yüzeyi	90	250	-674.2	-697.88	-684.66
G	Silindir Kapağı Soğutma Sıvısı Kanalları	95	3000	-5,372.39	-5,439.14	-5,400.13
H	Silindir Kapağı Egzoz Portu	425	800	4,525.94	4,507.4	4,517.92
I	Gömlek Çevresi Soğutma Sıvısı Bölgesi	95	2300	-3,494.79	-3,744.3	-3,602.4
J	Hava Emiş Portu	57	800	-551.61	-560.19	-555.31
K	Piston Eteği	110	1000	-312.55	-325.25	-318.02
L	Egzoz Sübapları Arka Yüzeyleri	425	800	95.72	89.33	92.55
M	1nci-4ncü Segmanlar	250	-	-134.2	-211.6	-167.13
N	5nci-6ncı Segman	110	-	-867.7	-900.28	-879.43

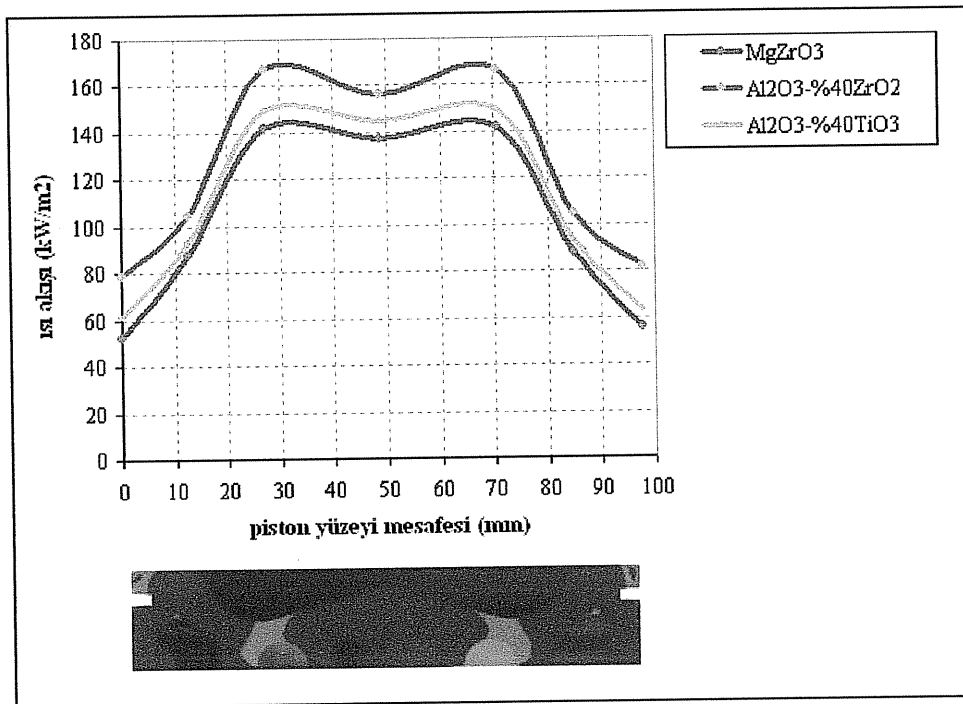
4.3. AlSi Pistonlu, Üç Farklı Seramik İle Kaplanmış Yanma Odasının Piston Yüzeylerinde Sıcaklık ve Isı Akısı Karşılaştırması

Analizler sonucunda, AlSi pistonlu MgZrO₃ kaplamalı yanma odasında en yüksek sıcaklık değeri piston üst yüzeyinde 357,63°C olarak bulunmuştur. AlSi pistonlu Al₂O₃-%40ZrO₂ kaplamalı yanma odasında en yüksek sıcaklık değeri piston üst

yüzeyinde 303,92 °C olarak, Al_2O_3 -%40 TiO_2 kaplamalı yanma odasında en yüksek sıcaklık değeri piston üst yüzeyinde 335°C olarak bulunmuştur. Piston üst yüzeyindeki sıcaklık dağılımları Şekil 4.5'de ısı akısı dağılımları Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.5 AISi pistonlu, kaplamalı yanma odasında piston yüzeylerindeki sıcaklık dağılımları (°C)



Şekil 4.6 AISi pistonlu, kaplamalı yanma odasında piston yüzeylerindeki ısı akısı dağılımları (kW/m^2)

Analizler sonucunda bulunan, yanma odasında oluşan ısı akısı değerleri Tablo 4.3’de verilmiştir. AlSi pistonlu, kaplamalı yanma odasında piston üst yüzeyi, gömlek iç yüzeyi ve silindir kapağı iç yüzeyinden oluşan toplam ısı akısı ; MgZrO₃ kaplamalı yanma odasında $6863,02 \times 2 = 13726,04$ W, Al₂O₃-%40ZrO₂ kaplamalı yanma odasında $7385,63 \times 2 = 14771,26$ W, Al₂O₃-%40TiO₂ kaplamalı yanma odasında $7085,01 \times 2 = 14170,02$ W olarak bulunmuştur.

Tablo 4.3 AlSi pistonlu, üç farklı seramik malzeme ile kaplanmış yanma odasında termal analiz sonucu bulunan ısı akıları

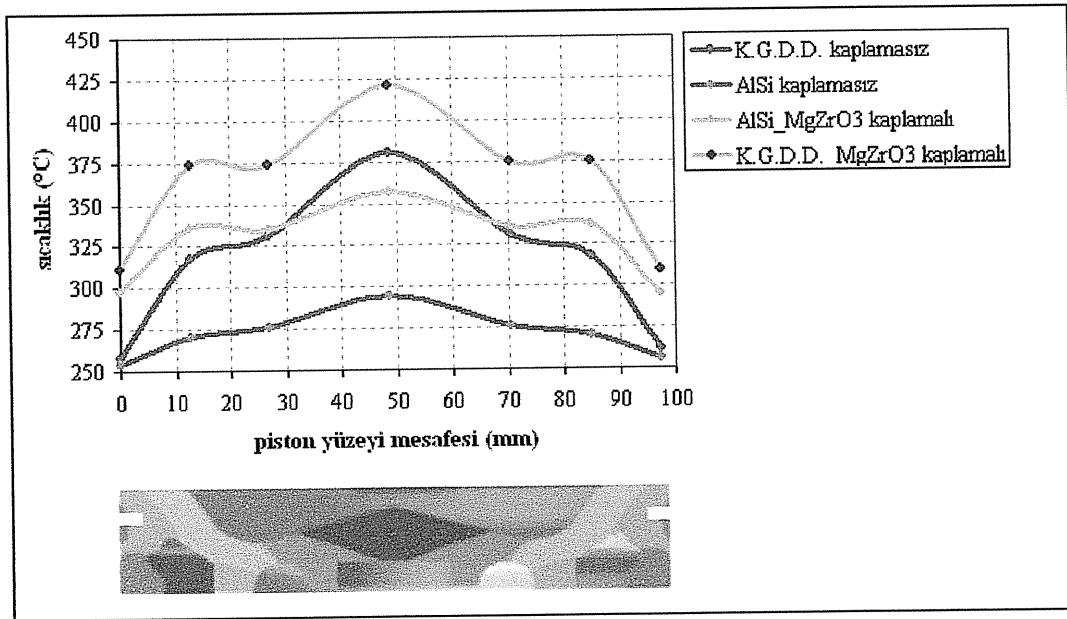
Sıra	Yanma Odası Modelinde Isı Akısı Olan Bölge	Sıcaklık (°C)	Taşınım (W/m ² °C)	MgZrO ₃ kaplamalı (W)	Al ₂ O ₃ -%40ZrO ₂ kaplamalı (W)	Al ₂ O ₃ -%40TiO ₂ kaplamalı (W)
A	Piston Üst Yüzeyi	750	350	612.46	691.86	645.78
B	Gömlek İç Yüzeyi	750	300	5,708.29	6,087.42	5,869.95
C	Silindir Kapağı İç Yüzeyi	750	350	542.27	606.35	569.28
D	Piston Üst Yüzey-1nci Segman Arası Bölgesi	250	1500	-13.01	-16.5	-14.34
E	Piston 1nci-4ncü Segmanlar Arası Bölgesi	250	800	-1.99	-2.56	-2.25
F	Piston İç Yüzeyi	90	250	-707.87	-724.36	-715.08
G	Silindir Kapağı Soğutma Sıvısı Kanalları	95	3000	-5,372.38	-5,439.14	-5,400.12
H	Silindir Kapağı Egzoz Portu	425	800	4,525.94	4,507.41	4,517.92
I	Gömlek Çevresi Soğutma Sıvısı Bölgesi	95	2300	-3,439.1	-3,680.33	-3,542.87
J	Hava Emiş Portu	57	800	-576.56	-582.97	-579.33
K	Piston Eteği	110	1000	-348.95	-359.17	-353.36
L	Egzoz Sübapları Arka Yüzeyleri	425	800	95.72	89.33	92.55
M	1nci-4ncü Segmanlar	250	-	26.65	-83.33	-20.43
N	5nci-6ncı Segman	110	-	-1,051.47	-1,094.02	-1,067.7

4.4. Sonuçların Değerlendirilmesi

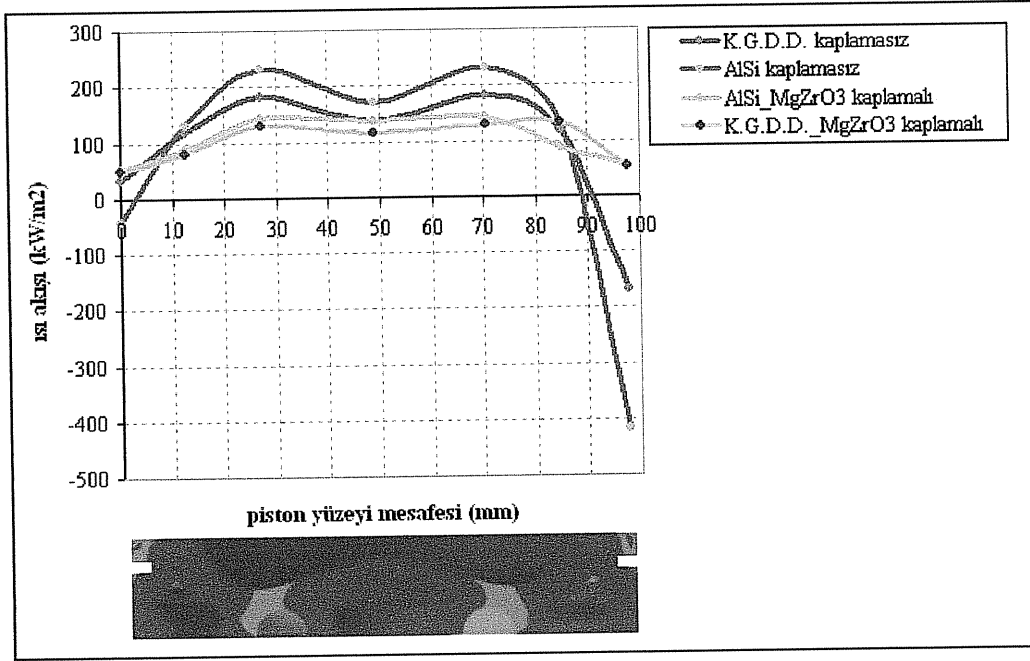
K.G.D.D. ve AlSi pistonlu kaplamasız yanma odaları ile yanma odasının iki farklı piston malzemesi için üç farklı seramik malzeme ile kaplanmış modellerinin sonlu elemanlar analizi sonucunda elde edilen en yüksek piston üst yüzey sıcaklık değerleri ile yanma odası iç yüzeyinden oluşan ısı akıları değerleri Tablo 4.4'de, piston üst yüzeyindeki sıcaklık dağılımları Şekil 4.7'de ısı akısı dağılımları Şekil 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.4 Analiz sonuçlarının karşılaştırması

Sıra no	Piston Malzemesi	Kaplama Malzemesi	Piston Üst Yüzeyi Sıcaklığı (°C)	Isı Akısı (W)
1	K.G.D.D.	Kaplama yok	380,36	14,731
2	AlSi	Kaplama yok	294,52	14,856.28
3	K.G.D.D.	MgZrO ₃	421,19	13,623.3
4	K.G.D.D.	Al ₂ O ₃ -%40ZrO ₂	386,16	14,634
5	K.G.D.D.	Al ₂ O ₃ -%40TiO ₂	406,86	14,052.42
6	AlSi	MgZrO ₃	357,63	13,726.04
7	AlSi	Al ₂ O ₃ -%40ZrO ₂	303,72	14,771.26
8	AlSi	Al ₂ O ₃ -%40TiO ₂	335	14,170.02



Şekil 4.7 K.G.D.D. ve AlSi pistonlarda ve bu pistonların MgZrO₃ ile kaplanması durumunda piston yüzeylerindeki sıcaklık dağılımları



Şekil 4.8 K.G.D.D. ve AlSi pistonda ve bu pistonların MgZrO₃ ile kaplanması durumunda piston yüzeylerindeki ısı akışı dağılımları (kW/m²)

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde ; kaplamasız yanma odasında K.G.D.D. piston kullanılması durumunda piston üst yüzey sıcaklığının AlSi pistonu göre % 29,4 (85,84°C) yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca yanma odası iç yüzeylerinde oluşan toplam ısı akışı K.G.D.D. pistonlu yanma odasında, AlSi pistonlu yanma odasına göre %0,84 daha düşüktür.

K.G.D.D. piston kullanılması ve yanma odasının MgZrO₃ kaplanması durumunda, piston üst yüzey sıcaklığının kaplamasız K.G.D.D. pistonu göre %10,73 artarak 421,19°C ulaştığı, buna karşılık ısı akışının %7,52 azaldığı görülmüştür.

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Yanma odasının ısı iletim özelliği düşük, yüksek sıcaklıklara dayanıklı seramik malzemeler ile kaplanması sayesinde, motorun çalışması sırasında kaplanan parçalarda daha düşük sıcaklıklar oluşacak ve bu parçaların çalışma ömürlerinde önemli ölçüde artış sağlanacaktır.

Kaplamasız ve kaplamalı yanma odalarının termal analiz sonuçları incelendiğinde, yanma odası sıcaklıklarını arttırmak ve ısı kayıplarını azaltmak için K.G.D.D. pistonun $MgZrO_3$ ile kaplanması en ideal uygulama olarak görülmektedir. K.G.D.D.'nin AlSi alaşımına göre özgül ağırlığının daha yüksek olması, ağırlık bakımından dezavantaj oluştursa da sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan termal analizler ile elde edilen sonuçlardan, yanma odasının (K.G.D.D. pistonlu) $MgZrO_3$ ile kaplanması durumunda, yanma odası sıcaklıklarının en ideal şekilde yükseltilebileceği, ve ısı kayıplarının azaltılabileceği görülmüştür.

Pistonun üst kısmı K.G.D.D. malzemenin, alt kısmı AlSi malzemenin olmak üzere iki parçalı imal edilmesi durumunda ağırlık dezavantajının ortadan kaldırılabilmesi teorik olarak söylenebilir.

Yanma odasının yalıtımında kullanılacak seramik malzemelerin seçiminde, piston, gömlek, segmanlar gibi parçaların imal edildikleri malzemelerin ısıl genişleme özellikleri de mutlaka dikkate alınmalıdır. Seramik malzeme ile motor parçalarının imal edildikleri malzemelerin genişleme özellikleri arasında uyumsuzluk olması halinde, yanma odasında oluşacak yüksek sıcaklıklar, motor parçalarının genişmesi sonucunda seramik kaplamanın bozulmasına ve çalışma boşluklarının azalması nedeniyle motor kilitlenmelerine neden olabilir.

KAYNAKLAR

- [1] WILLARD, W., P., "Engineering Fundamentals of Internal Combustion Engine," Prentice Hall.
- [2] YAŞAR, H., "Termal bariyer kaplamanın turbo doldurmalı bir dizel motorunun performansına etkileri," İTÜ, doktora tezi, Mart 1997.
- [3] KAMO, R., BRYZIK, W., "Cummins/TACOM Advanced Adiabatic Engine," Society of Automotive Engineers (SAE) 840428.
- [4] WALTER, P., HEINRICH, H., LANGER, M., "Ceramic Components in Passenger-Car Diesel Engine," SAE 850567.
- [5] ERŞAN, M., N., "Seramik Kaplı Dizel Motor Pistonunun Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Yapısal ve Termal Analizi," SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, 2004.
- [6] KAMO, R., BRYZIK, W., "Adiabatic Turbocompound Engine Performance Prediction," SAE 780068.
- [7] FRENCH, C., C., J., "Ceramics in Reciprocating Internal Combustion Engines," SAE 841135.
- [8] CHURCHILL, R. A., SMITH, J. E., CLARK, N. N. VE TURTON, R. A., "Low-Heat Rejection Engines-A Concept Review," Society of Automotive Engineers, Sayfa: 25-36.
- [9] TIKIZ, İ., "Seramik Kaplı Bir Dizel Motorunda Isı Transferi Olayının Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizi," SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, 2004
- [10] GARBINCIUS, G., BARTULIS, V., PECELIUNAS, R., PUKALSKAS, S. "The Influence Of Coolant Scale Deposit Inside The Internal Combustion Engine On The Piston And Cylinder Deformations," ISSN 1648-4142 Transport, 2005.
- [11] GOULD, J. "Valve Bridge Temperature Study Ford Diesel Engine," 2005.
- [12] DIVIS, M., TICHANEK, R., SPANIEL, M., "Heat Transfer Analysis of Diesel Engine Head," Çek Teknik Üniversitesi.

- [13] LUMBY, R.,J., HODGSON, P., COTHER, N., E., ve SZWEDA, A.,
“Syalon Ceramics for Advenced Engine Components,” SAE 850521.
- [14] MIYAIRI,Y., “Computer Simulation of an LHR DI Diesel Engine,” SAE
880187, 1989.
- [15] FERGUSON,C.,R., “Internal Combustion Engines”, New York: Willey,
1986.
- [16] TAYLOR,C.F., “Internal Combustion Engine in Theory and Practice,”
Cambridge, MA:M.I.T.Press, 1977.
- [17] ALKIDAS,A.C. and MYERS,J.P., “Transient Heat-Flux Measurements in
the Combustion Chember of a Spark Ignition Engine,” Journal of Heat
Transfer, ASME Trans, vol 104 p.p.62-67,1982.
- [18] MALCHOW,G.L., SORENSON,S.C., and BUCKIUS,R.O., “Heat
Transfer in The Stright Section of an Exhaust Port of a Spark Ignition
Engine,” SAE pape 790309, 1979.

ÖZGEÇMİŞ

Uğur ÇAKIR 12.12.1976 tarihinde Şebinkarahisar'da doğdu. 1994 yılında Balıkesir Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği bölümüne girdi, 1998 yılında mezun oldu. 1999 yılında Kara Kuvvetleri Komutanlığının açmış olduğu mühendis subay alım sınavını kazandı. Aynı yıl 1nci Ana Bakım Merkezi Komutanlığı / Arifiye'de göreve başladı. 2005 yılı genel atamaları ile 2nci Ana Bakım Merkezi Komutanlığı / Kayseri'ye tayin oldu. Halen Kayseri'de görev yapmakta olan Uğur ÇAKIR evli ve bir çocuk babasıdır.