



**SERAMİK KAPLI BİR MOTOR PİSTONUNDA
TERMAL GERİLME ANALİZİ**

İsmail AK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



T.C
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
SERAMİK KAPLI BİR MOTOR PİSTONUNDA TERMAL
GERİLME ANALİZİ

İsmail AK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz – 2017
BATMAN
Her hakkı saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

İsmail AK tarafından hazırlanan "SERAMİK KAPLI BİR MOTOR PİSTONUNDA TERMAL GERİLME ANALİZİ" adlı tez çalışması 28/07/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

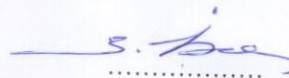
Başkan

Doç. Dr. Hasan BAYINDIR



Danışman

Doç. Dr. Bahattin İŞCAN



Üye

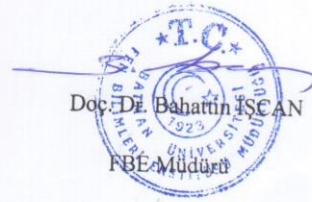
Doç. Dr. Hüseyin AYDIN



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Doç. Dr. Bahattin İŞCAN

FBE Müdürü



TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan hertürlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work .

İsmail AK

28.07.2017

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ
SERAMİK KAPLI BİR MOTOR PİSTONUNDA TERMAL GERİLME
ANALİZİ

İSMAİL AK

Batman Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman

Doç.Dr. Bahattin İŞCAN

Motorlarda oluşan ısı kaybı durumuna göre motor parçalarının hacmine, montaj şekline ve radyatörün boyutuna karar verilmektedir. Motordaki silindirin içi ele alındığında noktasal ve anlık sıcaklık, oluşan ısı kaybı ve ısı veriminin kontrol edilmesi bakımından önemlidir.

Günümüz sanayisinde çeşitli alanlarda farklı yüzey kaplamaları görülmektedir. Bu kaplamalar arasında sıkça karşımıza çıkan bir alan ise motor parçalarının kaplama uygulamasıdır. Motor parçası yüzey kaplama uygulamaları, genellikle yanma odası parçaları üzerinde kullanılmaktadır. Yüzey kaplama da uygulanan parçalar; aşınma, sürtünme, yüksek basınç, yüksek derecede sıcaklık ve termal gerilme altında çalışma sistemlerini daha iyi korudukları için tercih edilmekte ve bu parçaların böyle etkilere karşı daha mukavemetli olması, motor verimi bakımından oldukça önemlidir.

Bu çalışmada, içten yanmalı dizel pistonun yüzeyini ara bağlayıcı madde olan NiCoCrAlY ile 150µ kaplama yapılmıştır. Bu kaplamanın üstüne de 500µ ZrO₂ maddesi ile kaplanıp, kaplamaların motor performansı ve piston dayanıklılığı üzerinde ki etkisi araştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucu kaplamalı pistonun kaplamasız piston yüzeyine göre motor performansını ve verimliliğini arttırmakta olup, piston da ısı geçişlerinin azaldığı bu sayede piston deformasyonunu minimal duruma getirtip piston ömrünü uzattığı tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Seramik Kaplı Motor, İçten Yanmalı Motor, Termal Analiz

ABSTRACT

MS THESIS

**THERMAL STRESS ANALYSIS IN AN ENGINE PISTON WITH CERAMIC
COATINGS**

İsmail AK

Batman University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Advisor

Doç. Dr. Bahattin İŞCAN

The volume of the engine parts, type of mounting and the size of the radiator are determined in the light of thermal losses in engines. When the cylinder inside the engine is considered, instantaneous graphical changes and heat flux are important to be controlled in terms of thermal loss and thermal efficiency. In today's industry, different surface coating are used in various areas. Another field of widely used surface coating we experience frequently are the applications of the parts of the engine surface coating. Applications of coating on engine parts are generally applied on combustion chamber parts. Because they have an important role on preserving working systems under the circumstances of wearing, friction, high pressure and thermal stress, the components applied on surface coating are preferred. It is also of importance for engine efficiency for they are more resistant to such effects. In this study, the surface of a piston in an thermal combustion (diesel) engine was coated with the binding materials of NiCoCrAlY and 150 μ . This coating was also coated with 500 μ and ZrO₂ in order to investigate the effect coatings on performance of the engine and the piston durability. The results of the experiments have shown that unlike the uncoated pistons, the coated ones improve the efficiency and performance of the engine. It has also been found that this technique reduces heat transmission by bringing the piston deformation to a minimum level which extends piston life.

Key Words: Ceramic coated engine, Internal combustion engine, Thermal analysis

TEŐEKKÜR

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “SERAMİK KAPLI BİR MOTOR PİSTONUNDA TERMAL GERİLME ANALİZİ” adlı çalışmamda zirkonyum kaplı ve kaplamasız dizel motor pistonların, dizel motorun yanma odasına oluşan sıcaklığa bağlı olarak pistonlarda oluşan sıcaklık dağılımlarını bilgisayar ortamında modellenerek sonlu elemanlar yöntemi ile termal analizleri yapılmıştır.

Çalışmam sırasında bana yardımlarını esirgemeyip her konuda yardımcı olan danışman hocam Doç. Dr. Bahattin İşcan’ a, değerli bilgileriyle bana ışık tutan çalışmam konusunda bana yardımcı olan Doç. Dr. Hüseyin Aydın’a en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca beni motive eden ve bana destek olan aileme de teşekkürlerimi sunarım.

İsmail AK

BATMAN-2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
ŞEKİLLER	v
TABLolar LİSTESİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. İÇTEN YANMALI MOTORLARDA ENERJİ DENGESİ VE ISI TRANSFERİ.....	2
2.1. İçten Yanmalı Motorlarda Isı Dengesi, Isı Kaybı ve Alınabilecek Önlemler	3
3.SERAMİK KAPLI BİR MOTOR PİSTONUNDA TERMAL ANALİZİ	5
3.1.Seramik kaplama (Zirkonya seramiği)	7
3.2. Kaplama metotları.....	11
3.3. Zirkonyum ‘un yapısı ve özellikleri.....	14
4. LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	16
5. DENEY MATERYALLERİ.....	20
5.1. Deney materyallerinde kullanılacak veriler	24
6.DENEYSEL SONUÇLAR	30
6.1.Yüzey kaplamasız pistonda termal analizler	30
6.2. Kaplamalı piston da termal analiz	35
SONUÇ VE ÖNERİLER	59
KAYNAKÇA	60

ŞEKİLLER

Şekil 1. Kaplamalı ve konvansiyonel su soğutmalı dizel motorlarda ısı grafiği

Şekil 2. Termal bariyer sistemi

Şekil 3. Kaplama ara kaplama ve metal üzerindeki ısı dağılımı

Şekil 4. PVD Yöntemi şeması

Şekil 5. Plazma sprej yöntemi şeması

Şekil 6. Solid Works programında modellemesi yapılan içten yanmalı dizel motor pistonu.

Şekil 7. Solid Works programında 3-D modellemesi yapılan dizel motor pistonun teknik resim ölçüleri.

Şekil 8. Zirkonyum kaplamalı pistonun kesiti

Şekil 9. Zirkonyum oksitle kaplanmış dizel motor piston kesitinin şematik resmi.

Şekil 10. Dizel motor pistonunun MESH modeli.

Şekil 11. Kaplamasız piston ile çalışan motorun yanma odasında oluşan gaz sıcaklık grafiği.

Şekil 12. Piston yüzeyi zirkonyum ile kaplı dizel pistonun matematiksel modeli (MESH)

Şekil 13. Zirkonyum kaplı piston ile çalışan motorun yanma odasında oluşan gaz sıcaklık grafiği.

Şekil 14. Yüzey kaplamasız Dizel pistonun matematiksel modeli (MESH).

Şekil 15. Kaplamasız dizel pistonun 0°- 360 ° krank açıları arasında oluşan sıcaklık dağılımı.

Şekil 16. Kaplamasız dizel pistonun 15°- 369° krank açıları arasında oluşan sıcaklık dağılımı.

Şekil 17. Kaplamasız dizel pistonun 30°- 390° krank açıları arasında oluşan sıcaklık dağılımı.

Şekil 18. Kaplamasız dizel pistonun 60° - 420° krank açıları arasında oluşan sıcaklık dağılımı.

Şekil 19. Kaplamasız dizel pistonun 90° - 450° krank açıları arasındaki sıcaklık dağılımı.

Şekil 20. Kaplamalı dizel pistonun 0° - 360° krank açıları arasındaki sıcaklık dağılımı.

Şekil 21. Zirkonyum kaplı pistonun kaplama alt yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımı.

Şekil 22. Zirkonyum kaplı dizel motor pistonun da 15° - 369° krank açıları arasındaki sıcaklık dağılımı.

Şekil 23. Zirkonyumla kaplı pistonun kaplama alt yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımı.

Şekil 24. Zirkonyumla kaplı dizel motor pistonun da 30° - 390° krank açıları arasındaki sıcaklık dağılımı.

Şekil 25. Zirkonyum kaplı pistonun kaplama alt yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımı.

Şekil 26. Zirkonyumla kaplı dizel motor pistonun da 60° - 420° krank açıları arasındaki sıcaklık dağılımı.

Şekil 27. Zirkonyum kaplı pistonun kaplama alt yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımı.

Şekil 28. Zirkonyumla kaplı dizel motor pistonun 60° - 420° krank açıları arasındaki sıcaklık dağılımı.

Şekil 29. Zirkonyum kaplı pistonun kaplama alt yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımı.

Şekil 30. Kaplamasız piston ile yüzeyi zirkonyum kaplı pistonun 0° - 360° krank açıları arasında oluşan sıcaklık dağılımı farkları.

Şekil 31. Kaplamasız piston ile yüzeyi zirkonyum kaplı pistondaki kaplamanın alt kısmında oluşan sıcaklık dağılımı.

Şekil 32. Kaplamasız piston ile yüzeyi zirkonyum kaplı pistonun 15° - 369° krank açıları arasında oluşan sıcaklık dağılımı farkları.

Şekil 33. Kaplamasız piston ile yüzeyi zirkonyum kaplı pistondaki kaplamanın alt kısmında oluşan sıcaklık dağılımı.

Şekil 34. Kaplamasız piston ile yüzeyi zirkonyum kaplı pistonun $30^\circ - 390^\circ$ krank açılarında oluşan sıcaklık dağılımı.

Şekil 35. Kaplamasız piston ile zirkonyum kaplı pistonun kaplama alt yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımları.

Şekil 36. Kaplamasız piston ile zirkonyum kaplı pistonun $60^\circ - 420^\circ$ krank açılarında oluşan sıcaklık dağılım farkları.

Şekil 37. Kaplamasız piston ile zirkonyum kaplı pistondaki kaplamanın alt kısmında oluşan sıcaklık dağılımı.

Şekil 38. Kaplamasız piston ile zirkonyum kaplı pistonun $90^\circ - 450^\circ$ krank açılarında oluşan dağılım farkları.

Şekil 39. Kaplamasız piston ile zirkonyum kaplı pistonun kaplama alt kısmında oluşan sıcaklık dağılımı.

Şekil 40. Kaplamalı ve kaplamasız pistonların yanma odalarındaki sıcaklık grafiği.

Şekil 41. Piston yüzeylerinde oluşan sıcaklıkların karşılaştırılması.

Şekil 42. Pistonların yüzeylerinde oluşan maximum sıcaklık dağılımı.

Şekil 43. Piston yüzeylerinde oluşan minimum sıcaklıklar.

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Farklı APS yöntemlerinin basit karşılaştırması

Tablo 2. Kaplama malzemesi ve bağlama tabakasının başlıca fiziksel özellikleri

Tablo 3. Kaplama malzemesi, ara bağlayıcı malzeme ve Dizel motor pistonunun malzeme özellikleri.

Tablo 4. Kaplamasız pistonu sahip motor da yanma odasında oluşan gaz sıcaklıkları ve piston yüzeyinde oluşan sıcaklık değerleri.

Tablo 5. Zirkonyum kaplı pistonu sahip motorun yanma odasında oluşan ortalama gaz sıcaklığı ve piston yüzeyinde oluşan sıcaklık değerleri.

Tablo 6. Kaplamalı ve kaplamasız pistonların yanma odalarında oluşan maximum sıcaklık değerleri.

SİMGELER VE KISALTMALAR

%	: Yüzde
° K	: Kelvin
kJ/h	: Kilo. Joule / Saat
°C	: Santigrant
Q	: Isı Miktarı
We	: Efektif güç
Ne	: Neon
P	: Fosfor
CO	: Karbon monoksit
NOX	: Azot oksit
HC	: Hidrokarbon
Ni	: Nikel
Co	: kobalt
Fe	: Demir
Zr	: Zirkonyum
ZrO ₂	: Zirkyonyum dioksit
ZrSiO ₄	: Zirkonyum Silikat
Hf	: Hafniyum
NiCrAl	: Nikel-krom-alüminyum
Al ₂ O ₃	: Aluminyum oksit
CeCl ₃	:Seryum klorür
CeO ₂	: Seryum dioksit
CeOHCO ₃	:Tek kristalli polikristalin
MgO	: Magnezyum oksit
AlSi	: Alüminyum silisyum
SiC	: Silisyum karbür.
NiCoCrAlY	: Nikel-kobalt-krom-alüminyum-yitriya
W/mK	: Termal iletkenlik
Y ₂ O ₃	:Yttria

1. GİRİŞ

Medeniyetin başlangıcından beri insanların yaşam standartlarını yükseltmek için malzemeler, enerji ile farklı şekillerde kullanılarak insan hayatına etki etmiştir. Günümüzde malzemelerden istenilen bütün özellikler, gelişmiş malzeme bilimine rağmen elde edilememektedir. Bütün sanayi ve diğer alanlarında malzemeler kullanılmaktadır. Bu ihtiyaç nedeni ile malzeme kalitesinin yükseltilmesi için yapılan çalışmalar daha da önemli hale gelmiştir. Malzeme bilimindeki gelişmeler, malzemelerin daha geniş bir alanda kullanımını sağlamak için malzemelerin kimyasal ve fiziksel özelliklerini geliştirerek kullanım imkânlarını genişletmektedir. Malzemelerde karşılan ana sorunlardan biri aşınma oluşumudur. Farklı sebeplerden ötürü aktif parçalar üzerinde oluşan ısınma, gerilme ve sürtünme gibi etkiler, malzemelerde deformasyona neden olmaktadır. Otomotiv sektöründe kullanılan malzemelerin daha yüksek ısı, yük ve gerilmeye mukavemetli olması, ilgili parçaların kısa sürelerde değişiminin istenmemesi ve oluşan maliyet bu alanda yapılan çalışmaların devam etmesini sağlamaktadır. Motor malzemeleri üzerinde ki inceleme ve araştırmaların artmasının sebeplerinden bazıları, otomotiv alanında kullanılan taşıt motorlarının geliştirilmesinde parçalarda ki aşınma ve sürtünme özelliği, parçaların daha uzun ömürlü olması, motor veriminin artırılması ve yakıt ekonomisinin iyileştirilmesi gibi talepler olduğu görülmektedir. İçten yanmalı motorlarda ortaya çıkan toplam enerjinin tümü aktif olarak kullanılamamaktadır. Enerjinin %30-40'ı kadarı faydalı işe dönüşürken geri kalan enerjinin egzoz gazı ile atmosfere atılmakta ve motor parçalarını aşırı ısıdan korumak amacıyla soğutma sisteminde kullanılmaktadır. Kayıp enerjinin geri kazanılması için genişleme zamanında ki faydalı işi artırmak, soğutma ve egzoz sistemlerine giden ısıları azaltmakla yapılabilir. Enerjinin geri kazanılması için yanma odasını oluşturan parçaların yüksek sıcaklığa dayanıklı ve ısı iletkenliği düşük düşük malzemelerden üretilmesi gerekmektedir. Bu ihtiyaçların oluşmasından dolayı yüksek ısıya dayanıklı bir malzeme olan seramik bu alanda kullanılmaya başlanmış ve motorlarda ki ısı kayıplarını minimum seviyeye düşürmek için motor yanma odasını, silindir yüzeyi ve diğer parçaların seramik malzeme ile kaplanması önemli bir gelişme olmuştur.

2. İÇTEN YANMALI MOTORLARDA ENERJİ DENGESİ VE ISI TRANSFERİ

İçten yanmalı motorlarda kullanılmış olan yakıttaki kimyasal enerji motorun (silindir) içinde ısı enerjisine şekline dönüşmektedir. Bu motorların çalışma şekli olarak sıcaklık ve basıncı artırılmış malzemelerin kullanıldığı görülmektedir (1). Gaz türbinlerinin yanma hücresinde oluşan yüksek basınç ve yüksek sıcaklıktaki malzemelerin potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürme işi meme vasıtasıyla yapılmaktadır. Aynı zamanda bununla birlikte türbin kanatlarına yönlendirilir. Genel olarak dizayn edilmiş kanatlar vasıtasıyla gazların kinetik enerjisi mekanik işe dönüştürülür(1). Rotorun hareketi, gaz türbinlerinde dönme hareketi şeklinde olmasından dolayı, dengeleme sorunu söz konusu olmaz ve bundan dolayı çok fazla devirlerde çalışmasını sürdürmektedir. Gazların genişlemesi için uygun ortamın olması, iç enerjinin daha verimli kullanılması bu çalışma prensibiyle çalışan motorların daha verimli çalışmasını sağlamaktadır (1).

Yaşadığımız çağda pistonlu içten yanmalı motorlar fazlaca bir şekilde piyasalarda kullanıldığı görülmektedir. Pistonlu içten yanmalı olan motorlarda yanma sonucunda kazanılmış olan yüksek basınç ve sıcaklıktaki gazların pistonun yüzeyine çok fazla etki ettiği görülür ve pistonun bu şekilde harekete geçmesi sağlanır. Bu grupta bulunan Otto ve Diesel motorlarındaki piston hareketi doğrusal olarak görülmektedir. Krank-biyel mekanizması aracılığıyla dönme hareketi kazanır. Wankel motorunda piston dönel bir hareket yapmaktadır. Yukarıda kısaca söz ettiğimiz içten yanmalı ısı motorları arasında günümüzde en çok uygulanan içten yanmalı motorlardır. İçten yanmalı motorların daha yaygın kullanılmasının nedeni diğer motorlar göre daha verimli olmasıdır.

Bu bağlamda bir misal vermek gerekirse;

- Diesel motorlarda toplam verim: 0,40-0,50
- Buhar ile çalışan makinalarda toplam verim: 0,16
- Buhar ile çalışan türbinlerde toplam verim: 0,28
- Gaz türbinlerinde verim: 0,35

Seviyelerinde olduğu görülmektedir.

İçten yanmalı motorlarda mekanik işin oluşması için kullanılan yakıtın kimyasal enerjisinin ısı enerjisine dönüşmesiyle basıncın ve sıcaklığın artması sonucu gazlar genişleyip işi biyel, piston ve krank miline aktarması sonucu oluşur. (2). Pistonlu motorlar kullanım açısından içten motorlarda en yaygın olanıdır. Dönme sayıları 90 - 7500 d/d arasında veya daha yüksek olabilir bu motorlarda, maksimum güçleri ise 60,000 BG kadar, silindir sayıları da tek silindirden 32 silindire kadar değişkenlik gösterebilmektedir. Bu motorların, kullanma kolaylığı ve daha güvenilir oluşu bakım maliyetlerinin hem düşük olması hem de kolay olması nedeniyle fazlaca yaygın biçimde ve farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Tüm bunlardan dolayı da, kullanım yerleri ve kullanım durumlarına göre çok farklı tasarımlar gerçekleştirildiği görülmektedir. Taşıtların hareket mekanizmasında hareketin güç aldığı merkez motorlardır. Ayrıca pompaların ve jeneratörlerin tahrik mekanizması olarak kullanılmaktadır(3).

2.1. İçten Yanmalı Motorlarda Isı Dengesi, Isı Kaybı ve Alınabilecek Önlemler

İçten yanmalı motorlarda ısı kaybını önlemek için silindir hacim oranı mümkün olduğunca küçük olmalıdır. Bu motorun ısı kaybını önlediği kadar performansın artmasına da katkı sağlamaktadır. Ayrıca içten yanmalı motorlarda tam genişleme olmadığı durumlarda yani eksik genişlemenin söz konusu olduğu durumlarda ısı kayıplarını önlemek için başka bir makinada bu ısı tam genişleme yaparaktan bunun geri kazanımı mümkün olur. Bu makinalarda ısı kayıpları V_{max} artması halinde oluşmaz. Bu yüzden bu sistemle çalışan motorlarda ısı verim genişlemeleri aynı olan içten yanmalı motorlardan daha yüksek olduğu görülmektedir.

1) Motora Giren Isı Miktarı ($Q_{yakıt}$ [kJ/h])

Motorlarda yakıtın girdisiyle oluşan enerji(ısı) toplamı tüketilen yakıtın miktarı ve ısı değeri aşağıda yazıldığı formülle belirlenmektedir.

$$Q_{yakıt} = \dot{m}_{yakıt} H_u \quad [\text{kJ/h}]$$

2) Yararlı İşe Dönüşen Isı Miktarı ($W_e / Q_{\text{yakıt}}$):

Yararlı işe dönüşen ısı miktarı motorun üretmiş olduğu işe eşit olup efektif güce bağlı şekilde aşağıda yazıldığı gibi tayin edilmektedir(1).

$$W_e = 3600 N_e \quad [\text{kJ/h}]$$

Böylelikle yararlı işe dönüşen ısı miktarı $\frac{W_e}{Q_{\text{yakıt}}} [\%] = \frac{W_e}{Q_{\text{yakıt}}} \times 100$ olup efektif verime eşit olduğu görülmektedir(1).

3) Soğutma Suyuna Giden Isı Miktarı ($Q_{\text{soğutmasuyu}} / Q_{\text{yakıt}}$):

Soğutma suyu giriş ve çıkış ısıları ilgili termometrelerden ve soğutma suyunun debisi rotametreten görülmesi akabinde soğutma suyuna giden ısı aşağıda yazıldığı gibi tayin edilmektedir(4).

$$Q_{\text{soğutma suyu}} = \dot{V}_{\text{soğutma suyu}} \rho_{\text{su}} C_{p, \text{su}} (T_2 - T_1) \quad [\text{kJ/h}]; \rho_{\text{su}} = 1 \text{ kg/lt alınarak}$$

$$Q_{\text{soğutma suyu}} = \dot{m}_{\text{soğutma suyu}} C_{p, \text{su}} (T_2 - T_1) \quad [\text{kJ/h}]$$

$$C_{p, \text{su}} = 4,186 \quad [\text{kJ/kg K}]$$

Böylelikle soğutma suyuna giden ısı miktarı $\frac{Q_{\text{soğutmasuyu}}}{Q_{\text{yakıt}}} [\%] = \frac{100 Q_{\text{soğutmasuyu}}}{Q_{\text{yakıt}}}$

olmaktadır.

4) Egzoz Giden Isı Oranı ($Q_{\text{egzoz}} / Q_{\text{yakıt}}$):

Egzoz gazı kalorimetresi suyu giriş ve çıkış ısıları, ilgili termometreden ve kalorimetre soğutma suyunun debisi $\dot{m}_{\text{kalorimetre suyu}}$ rota metreden [lt/dak] biriminden okunmasını takiben egzoz giden ısı aşağıda yazıldığı gibi tayin edilmektedir(4).

$$Q_{\text{egzoz}} = (\dot{m}_{\text{yakıt}} + \dot{m}_{\text{hava}}) C_{p, \text{ egzoz gazları}} (T_5 - T_0) \quad [\text{kJ/h}]$$

$$C_{p, \text{ egzoz gazları}} = \frac{\dot{m}_{\text{kalorimetre suyu}} C_{p, \text{ su}} (T_4 - T_3)}{(\dot{m}_{\text{yakıt}} + \dot{m}_{\text{hava}}) (T_5 - T_6)} \quad [\text{kJ/kg K}] \text{ olup}$$

$$C_{p, \text{ egzoz gazları}} \cong 1,5 \quad [\text{kJ/kg K}] \text{ alınabilir.}$$

Böylece egzozla giden ısı oranı $\frac{Q_{\text{egzoz}}}{Q_{\text{yakıt}}} [\%] = \frac{100 Q_{\text{egzoz}}}{Q_{\text{yakıt}}}$ şeklinde hesaplanır.

5) Motorun Dış Yüzeylerinden Kaybedilen Isı Oranı ($Q_{\text{yüzey}} / Q_{\text{yakıt}}$):

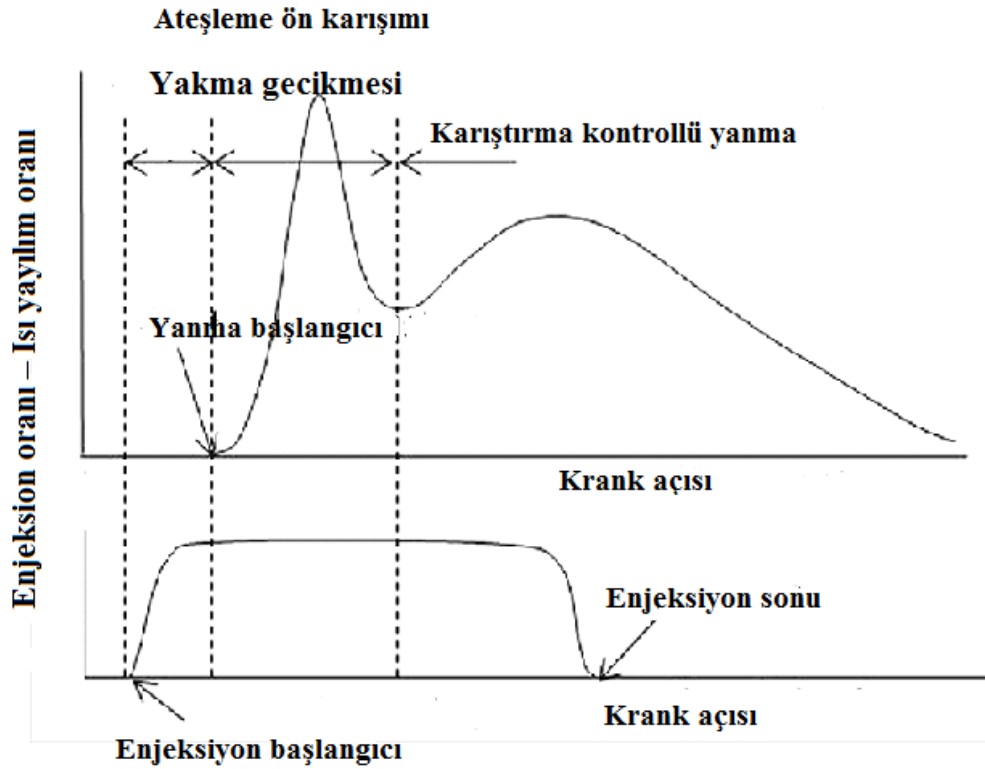
Son olarak motor gövdesinden kaybedilen ısı miktarı ise aşağıdaki gibi belirlenir(5).

$$Q_{\text{yüzey}} = Q_{\text{yakıt}} - W_e - Q_{\text{soğutması}} - Q_{\text{egzoz}} \quad [\text{kJ/h}]$$

Böylece dış yüzeylerden kaybedilen ısı oranı $\frac{Q_{\text{yüzey}}}{Q_{\text{yakıt}}} [\%] = \frac{100 Q_{\text{yüzey}}}{Q_{\text{yakıt}}}$ şeklinde hesaplanır.

3.SERAMİK KAPLI BİR MOTOR PİSTONUNDA TERMAL ANALİZİ

Seramik, düşük ısı iletimine sahip bir malzeme olarak, malzeme bilimindeki gelişmeler ile kimyasal, fiziksel ve termal özellikleri üzerinde yapılan çalışmalar sayesinde arzu edilen koşullara yaklaştırarak bize geniş bir alanda kullanım imkânı oluşturmaktadır(5). Tam adyabatik olmayan ısı kaybı düşük olan motor sayesinde motorun satabil bir şekilde çalışması için soğutma sistemine harcanan ısı kayıplarını minimum seviyeye düşürüp buna harcanan gücü azaltarak motor verimini artırmış olacaktır(3).



Şekil 1. Kaplamalı ve konvansiyonel su soğutmalı dizel motorlarda ısı grafiği [40].

Seramik kaplı dizel motorda egzoz enerjisinin toplamı %60 - %65 değerinde olurken, kaplamasız motorda bu enerjinin %30 - %40 arasında olduğu görülmektedir. Egzoz gaz sıcaklıkları standart dizel bir motorda 400°C- 600°C arasında olurken seramik kaplı dizel motorda ise 700°C - 900°C seviyelerinde olduğu görülmektedir(6). Seramik malzeme ile kaplanmış motorlar ile normal motorlar arasında karşılaştırmalar yapılmış ve yapılan bu çalışmalar literatürde değerini almıştır(6). Bu karşılaştırmalar sonucunda elde edilen bazı sonuçlar; Isı geçişinin %30 değerinde azalması, volumetrik olarak %3,4 verim kaybı oluşması ve 70 °K değerinde egzoz gaz sıcaklığında artış olduğu görülmüştür. Turbo şarj ile çalışan sistemlerin yakıt tüketiminde %8, turbo kombine sistemlerde %2 oranında düzelme sağlanmıştır(7). Seramik kaplı motorların avantajı motor parçalarında oluşan gerilmenin %90 oranında azalmasıdır(7).

Seramik kaplı motor üzerinde yapılan çalışmada;

- Hissedilebilir bir vuruntunun olmadığı,

- Yalıtılmamış pistonda yanma odasının çıkışına yakın bölgede yüksek gerilme tespit edilirken, Yalıtılmamış pistonda aynı bölgede yüksek gerilim tespit edilmemiştir.
- Kaplamalı motorun yakıt tüketiminin yaklaşık olarak 110 d/dk. Hızlar için %4,2'i kadar azaldığı,
- Kaplamalı motorlar için fren momentinin düşük hızda %4 seviyesinde azaldığı görülürken, en yüksek hızlarda kaplanmamış motora göre % 6 seviyelerinde yüksek olduğu tespit edilmiştir,
- %15 - %20 oranında kaplamalı motorda özgül yakıt tüketiminin azaldığı,
- Kaplamalı motorun gücü yaklaşık %8 oranında en yüksek hız aralığında değerinin arttığı,
- Kaplanmış motorda egzoz gaz sıcaklığının 200°K daha fazla olduğu,
- Soğutma suyu ve yağ sıcaklığının kaplamalı motorda daha yüksek olduğu görülmüştür (7).

Yüzeyi Ni-P-BN ile kaplı silindire sahip motorun yakıt kullanım oranı ve CO emisyonunun azaldığı yapılan farklı araştırma ve incelemeler de tespit edilmiştir(2).

Daha fazla çeşitte ve daha az kalitede yakıtların kullanımı, seramik kaplı motorlar ile mümkün olmaktadır. Bunun nedeni ise seramik kaplı motorlarda, yanma odasındaki sıcaklığın diğer motorlara göre daha fazla olmasından dolayıdır(4). Başka bir faydası olarak, soğutma sisteminde harcanan ısı kayıplarının azalacağından dolayı dizel motorlarda sıkıştırma sonu sıcaklığını artıracaktır. Buda hem normal havada hem de soğuk havalarda ilk çalışma kolaylığı sağlamakla birlikte daha rahat bir şekilde hareketi sağlamaktadır(23).

Termal olarak yalıtılmış (adyabatik) motorlarda, vuruntu ve gürültülü çalışmanın azaldığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni ise yanma olayında tutuşma gecikmesinin ve kontrolsüz yanmanın azalması olduğu görülmüştür(7).

3.1.Seramik kaplama (Zirkonya seramiği)

Medeniyetin başlangıcından beri insanların yaşam standartlarını yükseltmek için malzemeler, enerji ile farklı şekillerde kullanılarak insan hayatına etki etmiştir.

Günümüzde malzemelerden istenilen bütün özellikler, gelişmiş malzeme bilimine rağmen elde edilememektedir(12). Bütün sanayi ve diğer alanlarında malzemeler kullanılmaktadır. Bu ihtiyaç nedeni ile malzeme kalitesinin yükseltilmesi için yapılan çalışmalar daha da önemli hale gelmiştir. Malzeme bilimindeki gelişmeler sayesinde malzemelerin termal, fiziksel ve kimyasal özelliklerini geliştirerek kullanımının daha yaygın olmasını sağlanmaktadır. Malzemelerde karşılan ana sorunlardan biri aşınma oluşumudur. Farklı sebeplerden ötürü aktif parçalar üzerinde oluşan ısınma, gerilme ve sürtünme gibi etkiler yüzünden malzeme üzerinde deformasyon oluşmaktadır(8). Malzemelerin daha yüksek ısı, yük ve gerilmeye mukavemetli olması, ilgili parçaların kısa sürelerde değişiminin istenmemesi otomotiv alanda daha kullanışlı olanağını sağlamaktadır(9).

Motor malzemeleri üzerinde ki inceleme ve araştırmaların artmasının sebeplerinden bazıları, otomotiv alanında kullanılan taşıt motorlarının geliştirilmesinde parçalarda ki aşınma ve sürtünme özelliği, parçaların daha uzun ömürlü olması, motor veriminin artırılması ve yakıt ekonomisinin iyileştirilmesi gibi talepler olduğu görülmektedir(9).

İçten yanmalı motorlarda ortaya çıkan toplam enerjinin tümü aktif olarak kullanılamamaktadır. Bunun %30-40'ı kadar yararlı enerjiye dönüşmekte iken geri kalan ise egzoz gazları ile atmosfere atılmakta ve motor parçalarını aşırı ısıdan korumak amacıyla soğutma sisteminde kullanılmaktadır(10).Kayıp enerjinin geri kazanılması için egzoz ve soğutma sistemine giden ısıları azaltmakla gerçekleşir. Bu faydanın sağlanması için yüksek çalışma sıcaklıklarına dayanıklı ve ısı iletkenliği düşük malzemeler ile yanma odasının imalatının yapılması gereklidir. Bu ihtiyaçların oluşmasından dolayı yüksek ısıya dayanıklı bir malzeme olan seramik bu alanda kullanılmaya başlanmış ve motorlarda ki ısı kayıplarını mümkün ol minimum seviyeye düşürmek amacıyla yanma odası parçaları, piston, silindir ve diğer motor parçalarının seramik malzeme ile kaplanıp imalatının yapılması bu alanda önemli bir gelişme olmuştur(3).

Seramik malzemeler; ısı iletkenliği düşük, aşınma dayanıklılığı, yüksek ergime sıcaklığı, iyi bir korozyon direnci, yüksek sertlik gibi özelliklerinden dolayı yanma odası kaplamalarında tercih edilmektedir(11).

Yanma zamanında oluşan ısının soğutma sistemine harcanmasını kısmen engellemek için silindir yüzeyleri, piston, yanma odası ve parçaları, supap, segman veya bunların bir kısmının seramik bir malzeme ile kaplanmaktadır(11).

Seramik, düşük ısı iletimine sahip bir malzeme olarak, malzeme bilimindeki gelişmeler ile kimyasal, fiziksel ve termal özellikleri üzerinde yapılan çalışmalar sayesinde geniş bir alanda kullanım imkanı sağlamaktadır(26). Isı kaybı düşük motor tasarımları tam olarak adyabatik olmamasına rağmen ısı kayıplarını en düşük seviyeye indirmek, motor parçalarının stabil çalışması için önemlidir. Ayrıca motorun soğutma sistemine harcanan ısı kayıplarını minimuma indirerek soğutma sistemine harcanan gücü azaltıp faydalı enerjiyi artıracak böylece motor verimi yükseltilmiş olur. Bunun sonucu olarak daha az yakıt harcaması ve daha az zehirli atık oluşması sayesinde emisyon değerlerinde de düşüş görülecektir.(6).

Parçalarda ki gerilme oranının yaklaşık olarak %90 civarında azalması seramik kaplı motorların sağladığı başka bir faydasıdır(6). Daha fazla çeşitte ve daha az kalitede yakıtların kullanımı, seramik kaplı motorlar ile mümkün olmaktadır. Bunun nedeni ise seramik kaplı motorlarda, yanma odasındaki sıcaklığın diğer motorlara göre daha fazla olmasından dolayıdır. Başka bir faydası olarak, soğutma sistemine gide ısı kayıplarını azaltıldığında dizel motorlarda yanma odası sıcaklığı artacağından soğuk havalarda ve ilk çalışmada daha kolay olup normal çalışma zamanında daha rahat hareket edecektir (12).

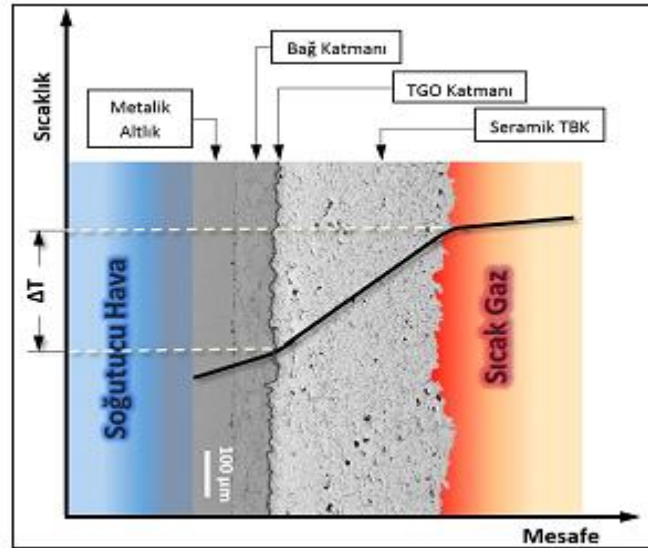
Termal olarak yalıtılmış (adyabatik) motorlarda, vuruntu ve gürültülü çalışmanın azaldığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni ise yanma olayında tutuşma gecikmesinin ve kontrolsüz yanmanın azalması olduğu görülmüştür(13).

Termal bariyer malzemesi seramik kaplama ve ara bağlayıcı maddeden oluşmaktadır. %6-8 yttria ile stabilize edilmiş zirkonya seramiği, bu oluşum için genellikle tercih edilen malzemedir(22). Bağlayıcı tabakada kullanılan alaşımın formülü ise çoğunlukla MCRAIX'dir. Formülde yer alan X için Y, Zr, Yb veya Hf, M için Ni, Co veya Fe elementlerini elementleri kullanılabiliriz. Günümüzde uygulanan motor yanma odalarında uygulanan seramik kaplamaların kesit şeması Şekil1' de gösterilmektedir(26). Kaplamanın kalınlığı yüzlerce mikrona kadar ulaşabilir.



Şekil 2. Termal bariyer sistemi.

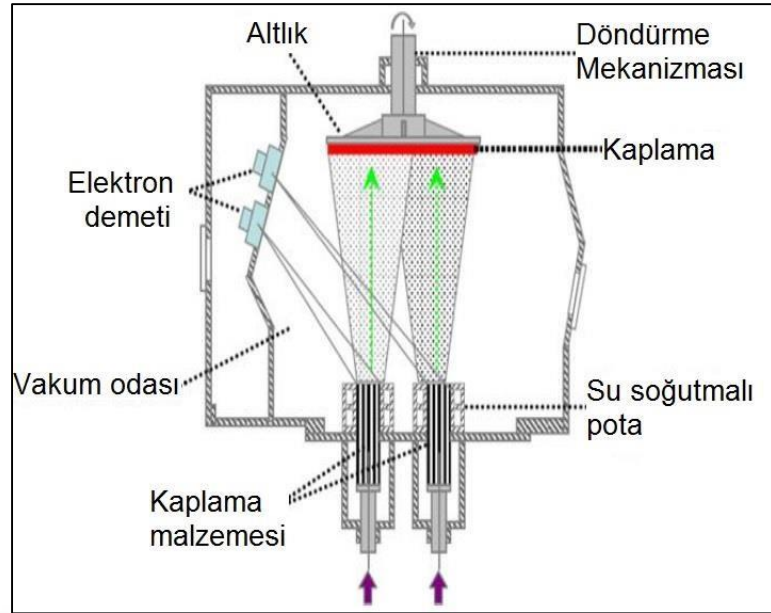
Kaplamada kullanılacak üretim şeklini ve kaplama kalınlığını, kaplanacak malzemenin kullanım alanı ve koşulları, malzemenin kendi özellikleri belirler. Şekil 3'te bir türbin bıçağı üzerine kaplanan seramik malzeme ve metal üzerindeki ısı dağılımını çizimsel olarak gösterilmektedir. Yapılan uygulamalar sonucu termal iletkenliği azaltmaya çalışılmaktadır; Çünkü ara bağlayıcı tabakanda bulunan oksitlenme oranının düşmesi ve termal yalıtım özelliklerinin artması, termal iletkenlik azalması ile mümkün olmaktadır. Önem arz eden bir başka özellik ise, genleşme katsayısıdır(14). Ara bağlayıcı tabaka, seramik kaplama ve kaplamanın yapılacağı malzemenin genleşme katsayılarının birbirleri ile eşit seviyelerde olması çalışma ortamında oluşacak yüksek sıcaklık durumlarında hataları engellemek için önemlidir. Katsayıların eşit seviyede olmadığı durumda sıcaklığın artışı ve azalışı ile ara yüzeylerde oluşan gerilmeden dolayı bozulma ve çatlama görülebilir. Ayrıca kaplama için kullanılan malzemenin yeterli boşluk ve taneli yapıda olması termal iletkenliği düşürmeyi etkilediği için kullanılan malzemenin taneli ve boşluklu bir yapıya sahip olması gerekmektedir. Yüksek sıcaklıklarda çalışan türbin bıçağına kaplamanın çok iyi derecede yapışması gerekmektedir. Meydana gelebilecek bir hata metal bıçağın ansızın yüksek sıcaklığa çıkmasına ve dolayısıyla bıçakta erimeye veya korozyon oluşumuna neden olabilir(6).



Şekil 3. Kaplama Ara kaplama ve metal üzerindeki Isı dağılımı.

3.2. Kaplama metotları

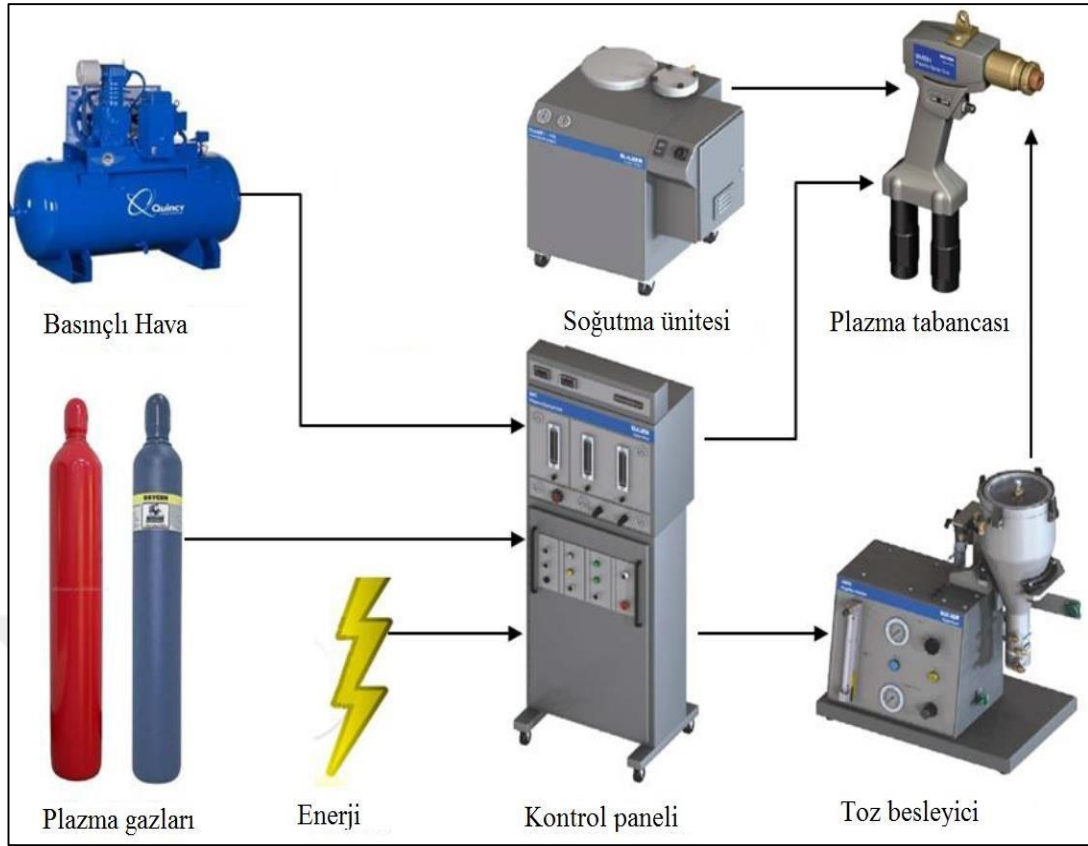
Araçların motor pistonlarının homojen olarak kaplanması APS (Atmospheric Plazma spraying – Atmospheric Plazma Püskürtme) veya PVD (Physical Vapor Deposition – Fiziksel Buhar Biriktirme) yöntemiyle gerçekleştirilmektedir(3). PVD kaplama yöntemi 1800'lü yıllardan beri kullanılmakta, yalnız son 50 yıldır kendisine sanayi alanlarında bir yer bulabilmiştir. Bu yöntemin mekanizması, vakumlu olan bir ortamda ısıtıcı (rezistans, lazer, elektron bombardımanı vb.) vasıtası ile kaplanacak malzeme buharlaştırılıp kaplanacak malzeme üzerine yoğunlaştırılıp homojen bir şekilde kaplanmaktadır. Fiziksel Buhar Biriktirme yönteminin en önemli faydası, minimum seviyedeki yüzeysel şekil değişimlerini dahi giderebilen bir yapıya sahip olmasıdır(7). Bu faydaya bağlı olarak kaplama yüzeyinin sifira yaklaşan esnek parçası kaplamanın uzun kullanım sürelerinde yorulma mukavemetinin artmasında rol oynamaktadır.



Şekil 4. PVD Yöntemi Şeması(38).

Bu çeşit kaplamaların diğer avantajı yüzeylere mükemmel derecede tutunma kabiliyetidir. Yüzeyin pürüzlü veya düzgün olması kaplamanın tutunma özelliğini etkilememektedir. Ayrıca kaplama yapılmış yüzeyin düzgün olarak meydana çıkmasından dolayı ekstra bir yüzey işleme ihtiyacı duyulmamaktadır(15).

APS yöntemi ile kaplama ergime derecesi çok yüksek kaplamalar için uygulanır. Kaplamada kullanılacak seramik malzeme akışkan bir toz halinde olup plazma tabancasına yüklenir. Çok yüksek plazma ısısında eriyen seramik tozu, yüksek basınç altında taşıyıcı inert gazlar (argon, helyum, azot, hidrojen) ve elektrotlar arasından geçirilerek, yüksek hızda metal yüzeyine çarpması sonucu kaplama gerçekleştirilir. Seramik, polimer ve metal malzemeler APS yöntemi ile kaplanabilir (16). APS yöntemi uygulama olarak hücresel yapıda olduğundan PVD yönteminden oldukça farklıdır. Yapılan uygulamalar sonucu APS yönteminin ısı yalıtımında daha olduğu görülmektedir. Ancak PVD yöntemi kaplamalara göre direnci daha düşük olmaktadır ve bunun sonucu olarak kullanım süreleri daha azdır ve onarılabilmek şansları da yoktur. APS yöntemi kaplama farklı şekillerde uygulanabilir, sıcaklık, püskürtme hızı ve farklı morfolojik özellikler Tablo1 de özetlenmektedir. Tablo2 de sanayi alanlarında en çok kullanılan yttria takviyeli zirkonya ZrO_2 (Y_2O_3) kaplamanın bazı fiziksel özellikleri verilmektedir(4).



Şekil 5. Plazma sprej yöntemi şeması[17].

Tablo 1. Farklı APS Yöntemlerinin basit karşılaştırması

Yöntem	Çalışma sıcaklığı(°C)	Akış Debisi	Kaplama özelliği
Yanma	3000	40-100	Boşluk ve oksitleme
Yüksek hızlı yakıt tabancası	3000	400-800	İyi tutunma ve basma gerilmeleri
İkili ark tabancası	3000-6000	50-150	Yoğun ve kalın
Plazma tabancası	5000-25000	80-300	Gözenekli seramik kaplama
Soğuk spreyleme	Oda sıcaklığı	400-800	Yoğun, basma gerilmeleri

Tablo 2. Kaplama malzemesi ve bağlama tabakasının

başlıca fiziksel özellikleri

Kaplama malzemesi ve özelliği	Değerler
TBC [ZrO (Y,O)]	
Termal genişleme katsayısı $\alpha(C^{-1}) \cdot 10^4$	11
Elastik modül E(Gpa)	0-100
Bağlama tabakası	
Termal genişleme katsayısı $\alpha(C^{-1})10^6$	13-16
Elastik modül E(Gpa)	200
Akma Dayanımı (oda sıcaklığı)	300-600

Zirkonya gibi termal bariyer kaplamaları, piston korozyonunu, yakıt tüketimini ve kirliliği azaltmak, yağlama ömrünü artırmak için kullanılmışlardır. Bu araştırmalar Yttria - zirkonya kaplı piston kullanan çok silindri benzinli motorun performans ve emisyon özelliklerini değerlendirmek için yapılmıştır(10). Isı atımının azaltılması ile silindir pistonunun kaplanması daha etkili ve verimli motor performansı yarattığı sonucuna varılmıştır. Fren gücü, belirtilen güç, fren termik verimi ve mekanik verimde Yttria - zirkonya kaplı piston kullanan çok silindri benzinli motorda sırasıyla %16, %6, %8,65 ve %7,2 artış sağlanır. Toplam yakıt tüketiminde %19 ve spesifik yakıt tüketiminde %28 azalma yttria - zirkonyum kaplama ile elde edilir. Sürtünme gücü tüm yük koşullarında %29 oranında azalır(18).

3.3. Zirkonyum 'un yapısı ve özellikleri

Zirkonyum, sembolü 'Zr' olan kimyasal bir elementtir (23). Periyodik tablonun D grubuna ait bir geçiş elementidir. Zirkonyum atom kütlesi 91,22 olup atom numarası 40 tır. Kaynama noktası 3580°C, ergime noktası 1852°C ve yoğunluğu 6,49 g/cm³ tür. Doğada serbest olarak bulunan bir metal değildir.

Heksagonal kristal formunda bir yapı gösterir. Oda koşullarında gümüşümsü beyaz renkli bir katıdır. Korozyona aşınmaya ve sıcaklığa karşı dirençlidir. Farklı bileşikler halinde bulunabilir. Bilinen bileşikleri zirkonyum silikat (Zirkon, $ZrSiO_4$) ve zirkonyum oksittir (ZrO_2). Zirkonyum oksitin diğer adları, 'zirkonya, zirkonyum dioksittir. Zirkonyum bileşiklerinin içerisinde zirkonyum metalinin saflaştırılması ile 50/1 oranda hafniyum(Hf) elementi elde edilir. Zirkonyum yüzeyindeki oksit tabakasının havada yakılması ile zirkonyum oksit bileşiği ($Zr(k) + O_2(g) = ZrO_2(k)$) oluşur(17).

Zirkonyum metali su ve alkali çözeltilerle reaksiyon vermez. Ayrıca yüzeyindeki oksit tabakasından dolayı asitlere karşı inaktif olur. Sadece hidroflorik asit içerisinde çözünür ve florobileşimleri oluşturur (2). Zirkonya çok küçük taneciklerden oluşan ve üç farklı kristal yapısı bulunan bir materyaldir (3). Zirkonyanın bu üç farklı kristal yapısı tetragonal, kübik ve monoklinik faz olup sıcaklık olarak $1170^{\circ}C$ 'ye kadar stabil olan monoklinik faz daha yüksek sıcaklıkta tetragonal faza dönüşmektedir.(19). Zirkonya tetragonal fazı $2370^{\circ}C$ 'ye kadar stabil olurken bu sıcaklığın üzerine çıktığı zaman kübik faza geçer. Kübik fazın ergime noktası $2680^{\circ}C$ olup bu sıcaklık derecesine kadar kübik yapıda kalır(14).

ZrO_2 oda sıcaklığında monoklinik fazındayken fırınlama sırasında sıcaklığı artıp tetragonal faza dönüşür(5). Bu faz değişim sırasında %3-5'lik hacim büyümesi gerçekleşir. Bu hacim artışı dayanıklılığı sağladığı gibi kontrol altına alınmazsa yüksek derecede kırıklıklara neden olabilir. Bu yüzden zirkonyanın tetragonal fazda tutulması en uygun olanıdır. Tetragonal taneciklere magnezyum, seryum, yttrium ve kalsiyum gibi metak oksitler eklenerek oda sıcaklığında stabil olması sağlanır(23). Oda sıcaklığında zirkonyada bulunan yttrium oksit zirkonyayı tetragonal fazda stabil edip, parsiyel olarak stabile edilen zirkonyayı oluşturur(1,6,7). Tetragonal fazın oda sıcaklığında stabilize edilmesine rağmen bu faz aslında 'metastable'dır. Tetragonal fazda bulunan zirkonyanın monoklinik yapıya dönüştürebilecek bir enerjisi mevcuttur(5,8) Zirkonyanın vickers sertliği dental alaşımların 4-5 katı olup elastik modülü 200 MPa'dır(10,9). Zirkonyanın kırılma dayanımı 9-10 MPa $m^{1/2}$ (1,13,14) iken bükülme direnci 900- 1200 MPa(11,12) olarak bulunmuştur. Bulunan bu değerler aluminya temelli seramiklerin yaklaşık iki katı olup(1,15), lityum disilikat temelli seramiklerin üç katıdır(20). Çatlakların ilerlemesi tükürük içindeki suyun cam içerikli seramiklerde cam ile reaksiyona girerek camsı yapıyı ayrıştırması ile

olur. Bundan dolayı seramiklerin uzun dönem stabilitesi olumsuz etkilenir. Buna karşın, zirkonya esaslı seramiklerin yapısında cam olmaması bu olumsuzluğu göstermezler ve uzun dönem stabiliteyi daha fazladır (21). Ancak zirkonya, özellikle suyun varlığında, 'düşük ısılarda bozulma' (low temperature degradation) olumsuzluğuna sahiptir (6). 900-1000 °C' deki bir dakikalık kısa süreli ısı uygulamalarında bile tersine dönüşümün (m→t) tetiklendiği bildirilmiştir. Özellikle üst yapı porselenin fırınlanması sırasındaki olası m→t dönüşümü ile kompresif stresler serbestleşir ve dayanıklılık azalır (10).

Zirkonya yüksek biyouyumluluk özelliğine sahip bir materyaldir. Yapılan çalışmalarda herhangi bir yan etkisi bildirilmemiştir(14,22).Zirkonya yenileme yapıldığı zaman diğer malzemeler göre etrafında daha az mikroorganizma vardır (7). Zirkonya hem termal iletkeni azdır hem de pulpa iritasyonu azaltır(13). Metal alaşımları içermeyen tam seramik restorasyonlar hipersensitivite gibi problemlerin önüne geçerler (1,24). Zirkonya restorasyonun radyografik bir görüntü vermesinin nedeni radyopak bir görüntü vermesinden dolayıdır (25). Zirkonya ilk kez ortopedik kalça eklemi protezlerin de kullanılmıştır(1). Bununla beraber oral implant materyali olarak da test edilmektedir. Araştırmacıların maymunlar üzerinde yaptığı çalışmada, zirkonya implantların iki yıllık takipleri sonrası uzun dönem stabil olduklarını bildirmişlerdir (2).

4. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Bu çalışmada doğrudan püskürtmeli (CNGDI) bir sıkıştırılmış doğal gaz motorunda üretilen yüksek sıcaklık ve basınç, yüksek termal streslere neden olabilir. Piston kronunu, seramik esaslı yttria kısmen stabilize zirkonya (YPSZ) gibi bir termal engelleme kaplaması (TBC) kullanıp yalıtarak, pistonun ısı transferi azaltılıp piston dayanıklılığının geliştirilmesini amaçlanmıştır. Yapılan deney sonucunda streslerin özellikle piston kron alanına, pim deliklerinin ve egzoz supap açıklığının kenarının üzerinde yoğunlaştığı gözlenmiştir. YPSZ / NiCrAl kaplı piston kronunun, kaplanmamış bir kaplamaya kıyasla düzgün stress dağılımı sergilediği görülmüştür (14).

Deneyin amacı motor pistonunun termal yükü için yapılan modernizasyonunun (yapısal değişimi) etkisidir. Yapılan analiz sonucu piston ayarlama olasılığının,

ancak motor hasarına yol açabilecek termal yük ile ilişkili olarak görüldüğü tespit edilmiştir (6).

Çalışmanın temel amacı düşük maliyetli bir hammadde olan CNSL (kaşu fındık kabuğu sıvısı) biyodizeli üretmek için bir kaynak olarak kullanmak ve kaplamalı ve kaplamasız dizel motorlarda kullanmaktır. Yapılan deney sonuçlarında, kaplanmış piston için ortalama sıcaklık, ısı akısı ve termal stresin daha düşük olduğu kaydedildi ve deneysel çalışmada termik verimliliğin önemli ölçüde pozitif olduğu tespit edilmiştir (13).

Kullanılan dört zamanlı tek silindri dizel motorun pistonları ve valfleri stabilize edilmiş olup zirkonyum (ZrO_2) magnezyum oksit (MgO) gücüne farklı oranlardaki alüminyum oksit (Al_2O_3) eklenmiştir. Ve plazma spre yöntemi ile kaplanmıştır. Yapılan bu deneyde standart motora kıyasla kaplamalı motorda güç ve ısı performanslarında artış görülürken, yakıt tüketiminde bir azalma olduğu bulunmuştur (23).

Fonksiyonel kademeli $ZrO_2 / NiCoCrAlY$ kaplamaları, hammadde olarak önceden karıştırılmış ve sfero haline getirilmiş tozlar kullanılarak plazma püskürtme yöntemi ile üretilip, kaplamaların mekanik ve termal özelliklerinin iyileştirilmesi yapılan deneyde, aynı kalınlıktaki kaplamalar için bağlanma mukavemeti ve termal bisiklet direncinin artan termal streslerde azalmaya bağlı olarak kademeli tabakaların sayısının artmasıyla arttığı görülmüştür. Beş katlı işlevsel dereceli kaplamanın bağ kuvveti, iki katlı kaplamanınkinden yaklaşık iki kat daha yükseldiği ve işlevsel olarak kademeli kaplamanın termal çevrim sayısı, iki katlı kaplamanınkinden beş kat daha fazla olduğu görülmüştür. Aynı zamanda, kaplama kalınlığında bir artış olduğunda bağ kuvvetinin azaldığı da görülmüştür (26).

Sıcak korozyonun kaplama-gaz ara yüzünde erimiş tuz etkisinin bir sonucu olarak ortaya çıkan termal bariyer kaplamaların (TBC'ler) ana yıkıcı faktörlerinden biri olan YSZ (yttria-stabilize zirkonya), ($YSZ + Al_2O_3$) ve (c) YSZ / Al_2O_3 'ün (c) katman kompozitinin parçacık kompozisyonu olan üç tip plazma püskürtmeli TBC'nin sıcak korozyon davranışı incelenmiş olup, sıcak korozyona karşı daha fazla direnç gösterdiği tespit edilmiştir(29).

Kısmi bir seramik kaplı kıvılcımlı tutuşma (SI) motor pistonunda sıcaklık ve gerilme dağılımlarını belirlemek olup, kaplamasız kalınlığın ve genişliğin sıcaklık ve gerilme dağılımlarına etkisi ve kaplanmamış bir pistonun sonuçları ile karşılaştırmalar da dahil olmak üzere araştırılmıştır. Yapılan deney sonucunda kaplama kat kalınlığı arttıkça, normal gerilme sürekli olarak azalır ve maksimum makaslama gerilimi azalarak yükseldiği gözlemlenmiştir (18).

Solaks marka178FE tipi dizel motor, hava soğutmalı, tek silindri, direkt ejiyasyonlu,4 zamanlı ve marş motorlu yanma odaları elamanları termal bariyer ile kaplanmıştır. Tam yükleme şartları ile %100 dizel yakıt dizel ile uygulaması yapılan termal bariyerli motorun deney sonucunda artan motor devri ve kaplama materyalinin egzoz gazı sıcaklığını artırdığı ve çevre için zararlı olan HC ve CO gibi gazların emisyonun azaldığı belirlenmiş olup yakıt tüketiminin arttığı görülmüştür (28).

Ortorombik yapıya sahip tek kristalli $CeOHCO_3$ çubukları, $CeCl_3$ ve üre içeren sulu çözeltiden sonokimyasal yöntemle başarıyla sentezlenmiştir. Polikristalin CeO_2 çubukları, hava içinde $500\text{ }^\circ\text{C}$ 'de tek kristalli $CeOHCO_3$ çubuklarının termal dönüşümü ile hazırlanmıştır. $CeOHCO_3$ ve CeO_2 çubukları, x-ışını toz difraksiyonu (XRD), transmisyon elektron mikroskobu (TEM), termogravimetrik analiz (TG) ve diferansiyel tarama kalorimetrik analiz (DSC) ile karakterize edilmiştir (21).

Alüminyum silikon alaşımı ve çelikten yapılmış geleneksel (kaplanmamış) bir dizel piston üzerinde termal analizler araştırılmaktadır. İkinci olarak, termal analizler ANSYS kullanılarak, $MgO-ZrO_2$ materyali ile kaplanmış pistonlar üzerinde gerçekleştirilip, dört farklı pistonun sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Yapılan bu çalışmaların amacı kaplamaların pistonların ısıl davranışlarına etkisidir. Yapılan çalışma sonucunda düşük ısı iletkenliğine sahip malzeme ile kaplanmış pistonun maksimum yüzey sıcaklığının, AlSi alaşımı için ve çelik için önemli oranda iyileştiği görülmüştür (32).

Kısmi bir seramik kaplı motor pistonun, kaplanmamış bir pistonda sıcaklık ve gerilme dağılımlarını karşılaştırılıp analiz etmek için yapılan bu çalışma da; kaplama yüzey sıcaklığının, kalınlığın artmasıyla birlikte artan bir oranda arttığı gözlenmektedir. Kaplanmış yüzey üzerindeki normal stres, kaplama kalınlığı ile birlikte, stresin minimum olduğu minimum 1 mm'ye kadar azaldığı görülmüştür.

Bununla birlikte, kaplama kalınlığı 1 mm'yi aştığında ise yükseldiği görülmüştür. Kaplama kat kalınlığı arttıkça, normal gerilme sürekli olarak azalır ve maksimum makaslama gerilimi azalarak yükselmiştir (33).

Temel amacı düşük maliyetli bir hammadde olan CNSL biyodizeli üretmek için bir kaynak olarak kullanmak ve kaplamalı ve kaplamasız dizel motorlarda bunların analizlerini yapmak ve kaplamanın motor performansı üzerindeki etkisinin altında yatan fiziksel mekanizmayı anlamak için kaplanmış motor pistonunun termal stres analizi yapmak için yapılan bu deneyler sonucunda, kaplanmalı motorda kaplamasız motora kıyasla motorun BTE'sinin (fren termik verimliliği)% 6 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca CO (karbon monoksit), HC (hidro karbon) ve duman gibi emisyonlar tam yük koşullarında azalırken, NOX (azot oksitleri) emisyonu artmıştır. Sonlu elemanlar analizi kullanılarak yapılan simülasyon çalışmasında, kaplamalı piston için ortalama sıcaklık, ısı akısı ve termal stresin daha düşük olduğu kaydedilmiş ve deneysel çalışmada termik verimliliğin önemli ölçüde iyileştiği görülmüştür(34).

Yapılan çalışmada yorgunluğa uğramış pistonların ve farklı yakıt cinsi kullanan motorların yakıt tüketimi analizlerini yapılmıştır. Benzinli ve dizel motorlardan, otomobillerden, motosikletlerden ve trenlerden gelen pistonlar analiz edilmiştir. Taç, halka olukları, pim delikleri ve eteğinde başlatılan hasarlar değerlendirilmiştir. Bu çalışmada termal yorulma ve mekanik yorgunluk hasarlarının analizi yapılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde piston taç ve pim deliklerindeki gerilmelerin yanı sıra, arazilerin boşluklarının bir fonksiyonu olarak oluk ve eteğin üzerindeki gerilmeler olduğu tespit edilmiştir(36). SiC malzeme ile kaplı pistonun termal bariyer analizi yapılmıştır. Yapılan çalışmada termal bariyer kaplı pistonların termal analizlerinde standart pistonlara kıyasla, pistonun yanma odası sıcaklığında bir artış olduğu, buna nazaran pistonun pim muhafazasında ise belli oranda bir düşüş tespit edildiği görülmüştür(37). Dizel motorun performansını artırmak için yapılan çalışmada alüminyum pistonlu bir taca ait plazma püskürtmeli magnezyumla stabilize edilmiş olup zirkonya kaplamasındaki sıcaklık ve termal stres dağılımlarını belirlemektir. Sonlu elemanlar metodu ile kaplanmış bir pistonun sonuçları ile karşılaştırmalar da dahil olmak üzere, kaplama kalınlığının sıcaklık ve termal gerilme dağılımları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Yapılan çalışmada kaplama vasıtasıyla sağlanan

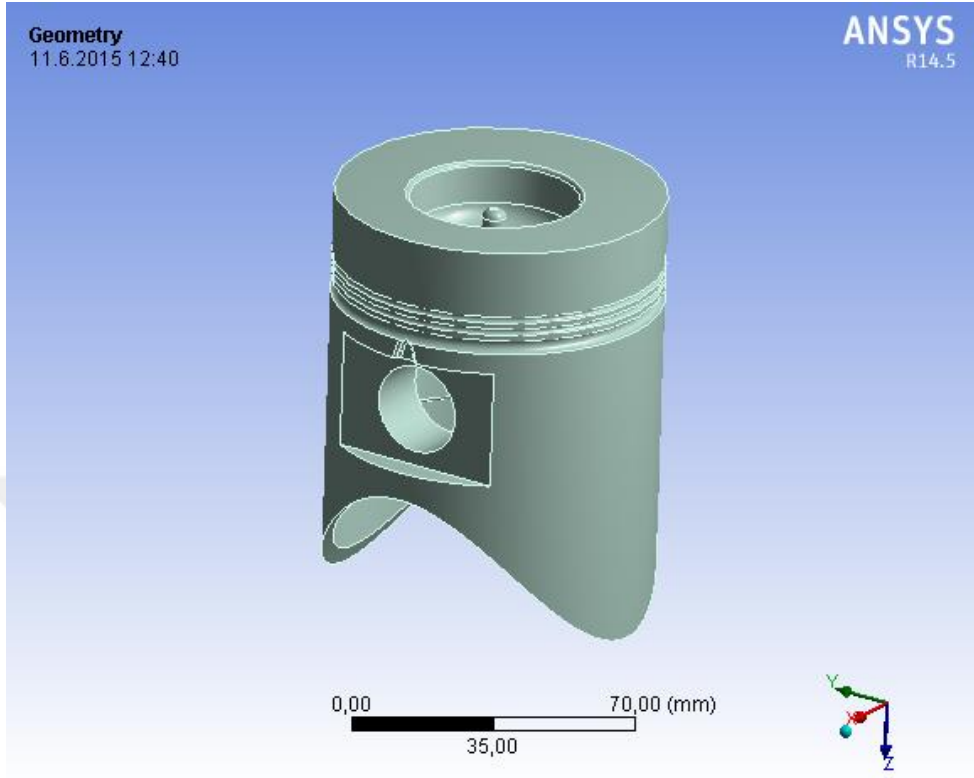
yüksek yanma odası sıcaklığı, motorun daha iyi ısı verimliliğine neden olduğu görülmüştür. Aynı zamanda, yüzey sıcaklığında bir azalma sağlandığı ve kaplanmış yüzey üzerindeki normal gerilme, artan kaplama kalınlığı ile azaldığı görülmüştür(35).



5. DENEY MATERYALLERİ

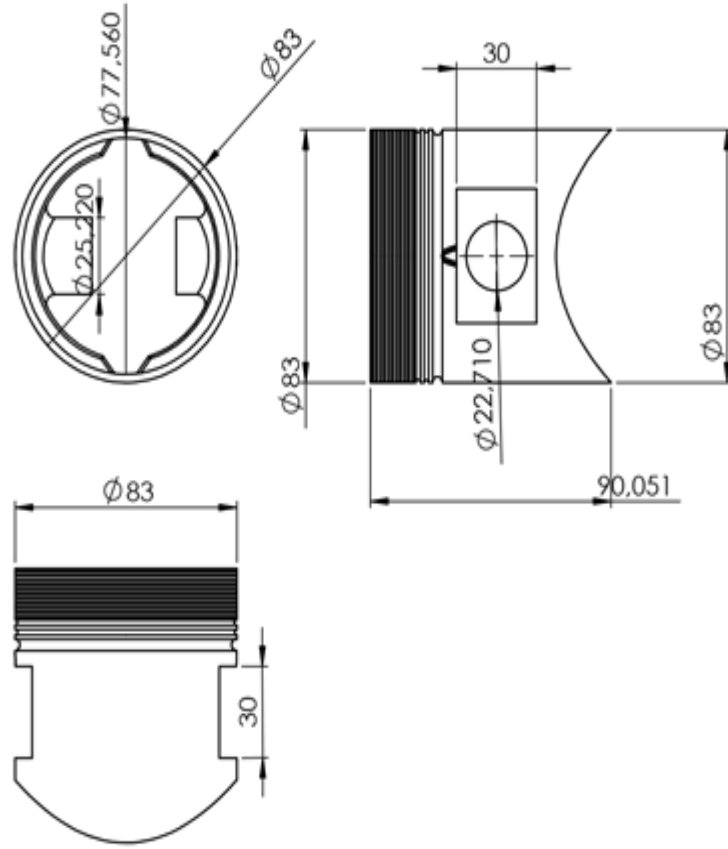
Bu çalışmada, tek silindirli bir dizel motor için pistonun seramik kaplama durumunda piston yüzeyinde oluşan sıcaklıklar analiz edilmiştir. Bu amaçla gerçek şartlarda çalışan motorun silindir içi verileri kullanılmıştır. Pistonun farklı konumlarında hesaplanan silindir içi ortalama gaz sıcaklığı verileri hem kaplamalı hem de kaplamasız motor için silindir içi basınç ve krank açısı değerlerinden hesaplanmıştır. Ayrıca ısı transfer katsayısı da silindir içi koşullardan ve ortalama gaz sıcaklığı verisinden hesaplanmış ve böylece piston yüzeyi sıcaklıkları tespit edilmiştir.

Solid Works programında dizel motor pistonun modellemesi yapıp şekil 7' de gösterilmiştir.



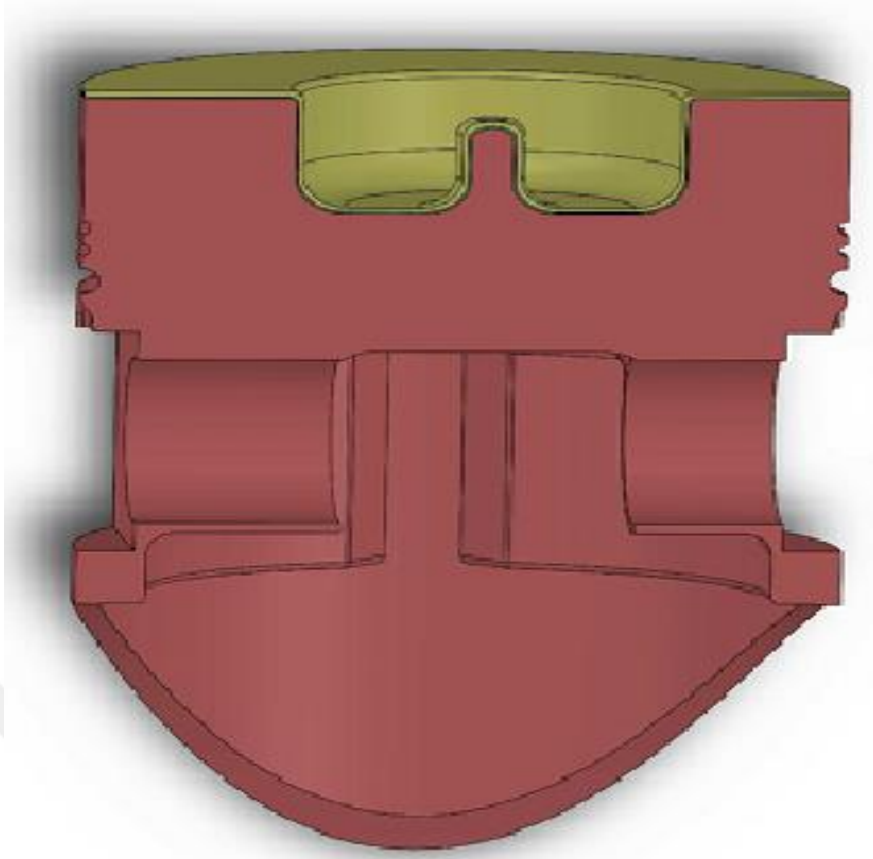
Şekil 6. Solid Works programında modellemesi yapılan içten yanmalı dizel motor pistonu.

Solid Works programında dizel motor pistonun modellemesi yapılan içten yanmalı dizel motor pistonun teknik resim ölçüleri şekil 8' de gösterilmiştir.



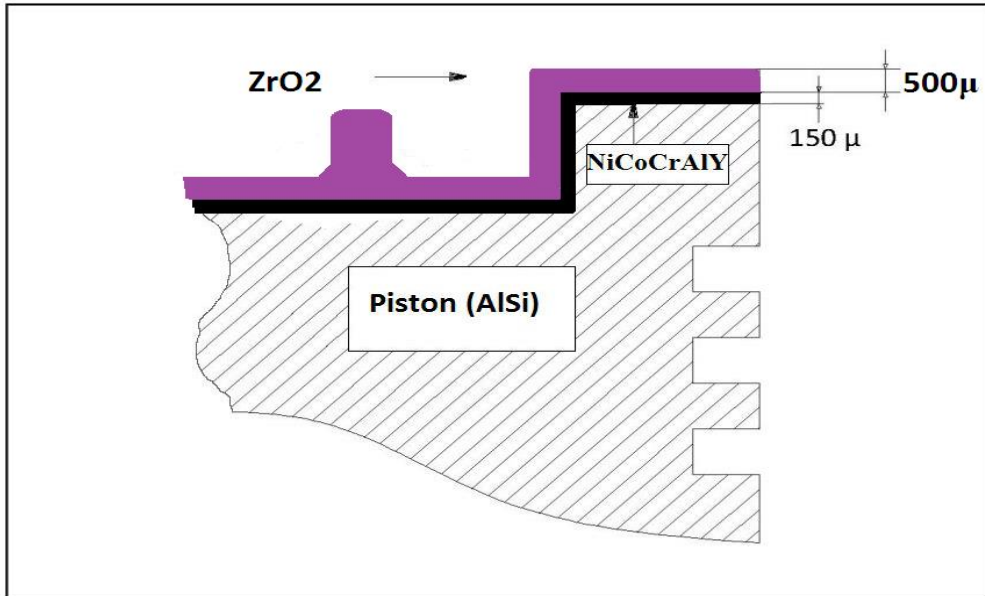
Şekil 7. Solid Works programında 3-D modellemesi yapılan dizel motor pistonun teknik resim ölçüleri.

Modellemesi yapılan dizel motor pistonu alüminyum silisyum esaslı olup ANSYS WORKBENCH programında malzeme ataması yapıldı. Ara bağlayıcı malzeme olan NiCoCrAlY 150μ kalınlığında kaplandı. Daha sonra 500μ kalınlığında ZrO_2 ile kaplama işlemi yapıldı. Termal bariyer kaplamalı pistonun kesiti şekil 9’da görülmektedir.



Şekil 8. Zirkonyum kaplamalı pistonun kesiti

Zirkonyum oksit ile kaplanmış dizel motor pistonunun şematik kesiti şekil 10’ da gösterilmiştir.



Şekil 9. Zirkonyum oksitle kaplanmış dizel motor piston kesitinin şematik resmi.

Analizi yapılacak dizel motor pistonunun malzeme ataması ANSYS WORKBENC programında yapıldıktan sonra ara bağlayıcı malzeme NiCoCrAlY ve kaplama malzemesi olan zirkonyum oksit (ZrO_2) malzemelerinin ataması yapılmıştır. Malzemelerin özellikleri aşağıda tabloda verilmiştir. (6).

Tablo 3. Kaplama malzemesi, ara bağlayıcı malzeme ve Dizel motor pistonunun malzeme özellikleri.

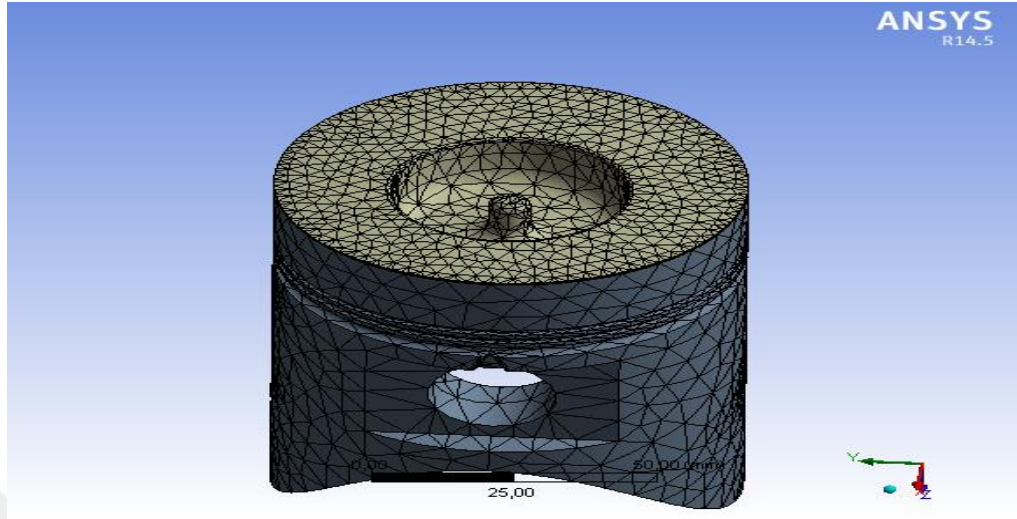
MALZEME ÖZELLİKLERİ	Piston (AlSi) (9)(10)	Ara Bağlayıcı Malzeme (NiCoCrAlY) (11)(12)	ZrO ₂
Elastikiyet Modülü (GPa)	69	225	210
Poisson oranı	0,33	0,30	0,23
Termal İletkenlik katsayısı(Cal/cm.sn°C)	155	6,0	0,007
Isıl Genleşme Katsayısı ($10^6(1/°C)$)	21	12	7.10^{-6}
Yoğunluk(g/cm^3)	2700	7320	5.68 g/cm^3
Öz ısısı($Jkg^{-1}K^{-1}$)	960	501	800

5.1. Deney materyallerinde kullanılacak veriler

5.1.1. Zirkonyum kaplamasız piston verileri

Tek silindirli içten yanmalı dizel motor pistonunun Solid Works programında 3-D modellemesi yapılarak ANSYS WORKBENCH programında malzeme ataması yapıldıktan sonra " MESH " komutu ile matematiksel modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan matematiksel model Şekil 10'da gösterilmiştir. Termal analiz sırasında

motorun yanmaya başladığı zaman kabul edilip, yağın ısı iletim katsayısı ve yağ filmi ihmal edilmiştir(18).



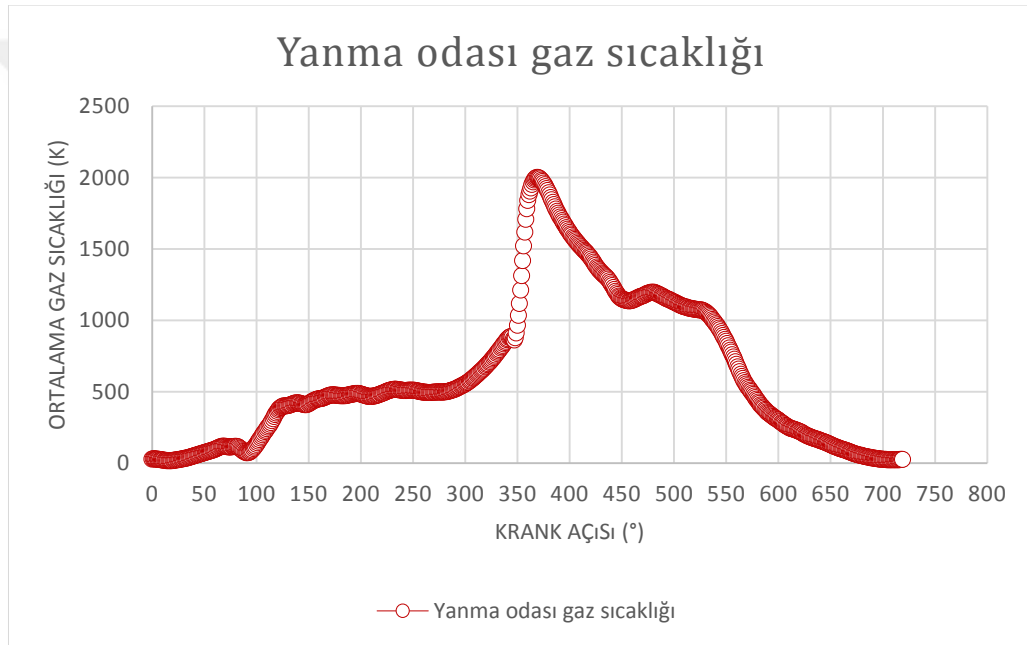
Şekil 10. Dizel motor pistonunun MESH modeli.

Tek silindirli dizel motor pistonuna sahip motorun yanma odasında ve piston yüzeyinde oluşan sıcaklık değerleri incelenmiştir. İlk olarak kaplamasız pistonu sahip motor yanma odasında ve piston yüzeyinde oluşan sıcaklıklar deney sonucu analiz edilmiştir. Tablo 4'te 1800 dev/sn. de krank açısına bağlı olarak maximum ortalama gaz sıcaklıkları ve piston yüzeyinde oluşan sıcaklık değerleri hesaplanarak verilmiştir.

Tablo 4. Kaplamasız pistonu sahip motor da yanma odasında oluşan gaz sıcaklıkları ve piston yüzeyinde oluşan sıcaklık değerleri.

Krank açısı	Yanma odası gaz sıcaklığı	Piston yüzey sıcaklığı
0° - 360°	1839,52°C	300°C
15° - 369°	2000,53°C	326,25°C
30° - 390°	1736,52°C	283,194°C
60° - 420°	1440,26°C	231,61°C
90° - 450°	1150,10°C	184,94°C

Tablo 4’te çeşitli krank açılarındaki yanma odasında oluşan maksimum gaz sıcaklıkları ve piston yüzeyinde oluşan sıcaklık değerleri verilmiştir. Piston yüzey sıcaklıkları Termodinamiğin 1.Yasasından yararlanılarak ölçülen silindir içi basınç verilerinden hesaplanan değerler yukarıda verilen krank açı aralıklarında hesaplanan maksimum gaz sıcaklığı değerleri olup piston yüzeyinde oluşan sıcaklık ısı taşınım katsayısı kullanılarak hesaplanmıştır. Deneylerde yanma odasında oluşan ortalama gaz sıcaklığının grafiği şekil 12’de verilmiştir.



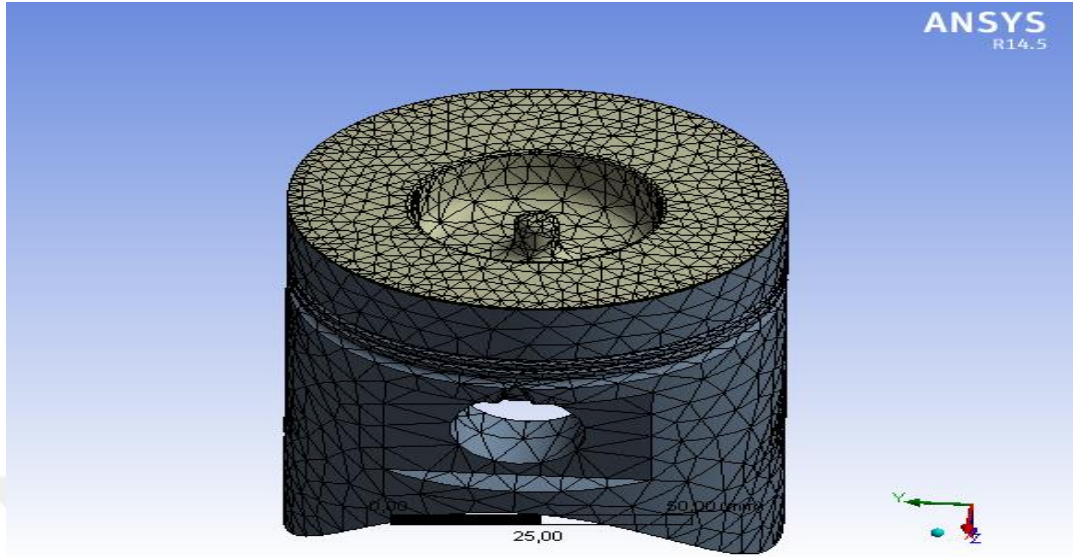
Şekil 11. Kaplamasız piston ile çalışan motorun yanma odasında oluşan gaz sıcaklık grafiği

350°-420° krank açıları arasında yanma odasında ortalama gaz sıcaklığının maksimum değerleri bulunduğunu görüyoruz. Yukarıda ki tablo 4’te yazılmış krank açı aralıklarındaki maksimum sıcaklık noktaları ile piston yüzeyine etki eden sıcaklık tablo 4’te verilen krank açılarındaki oluşan maksimum gaz sıcaklık değerlerine göre hesaplanmıştır.

5.1.2. Zirkonyum kaplamalı piston verileri

Solid Works programında modellenmesi yapılan zirkonyum ile kaplı dizel motor pistonunu ANSYS WORKBENCH programında AlSi malzemesi, kaplama

malzemesi olan ZrO₂ ve NiCoCrAlY ataması yapılarak " MESH" komutu ile matematik modeli oluşturulmuştur. Modellenmiş piston şekil 12' de gösterilmiştir.



Şekil 12. Piston yüzeyi zirkonyum ile kaplı dizel pistonun matematiksel modeli (MESH)

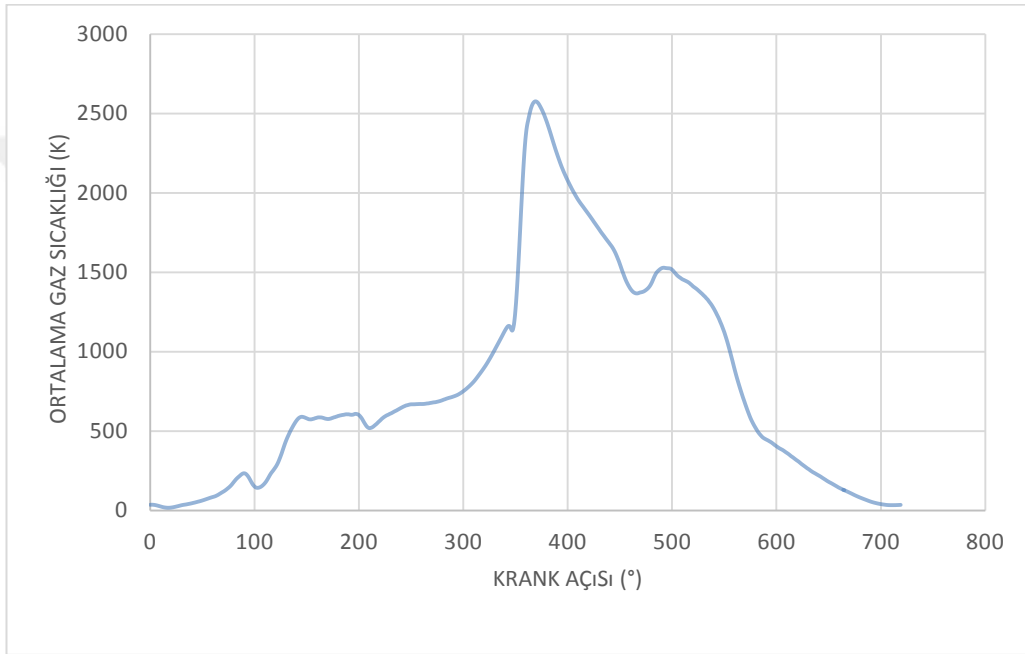
Kaplamalı pistonu sahip dört zamanlı tek silindirli motorun yanma odasında oluşan sıcaklıktan dolayı kaplamalı piston yüzeyinde ve yanma odası oluşan sıcaklık değişimi tablo 5 'te 1800 dev/sn.de krank acısına bağlı olarak maximum ortalama gaz sıcaklıkları ve piston yüzeyine etki eden sıcaklık değerleri hesaplanarak verilmiştir.

Tablo 5. Zirkonyum kaplı pistonu sahip motorun yanma odasında oluşan ortalama gaz sıcaklığı ve piston yüzeyinde oluşan sıcaklık değerleri.

Krank açısı(°)	Yanma odası gaz sıcaklığı	Piston yüzey sıcaklığı
0°-360°	2370,34°C	386,56°C
15°-369°	2576,27°C	420,14°C
30°-390°	2240,81°C	365,43°C
60°-420°	1865,38°C	304,24°C

90°-450°	1551,11°C	252,94°C
----------	-----------	----------

Tablo 5’te yukarda verilen krank açılarında yanma odasında oluşan maximum gaz sıcaklıkları ve piston yüzeyinde oluşan sıcaklık değerleri termodinamiğin 1. yasasından yararlanılarak ısı taşınım katsayısı kullanılarak hesaplanmıştır. Aşağıda zirkonyum kaplı piston ile çalışan motorda yanma odasından alınan sıcaklık değerleri grafiği şekil 13’te gösterilmiştir.



Şekil 13. Zirkonyum kaplı piston ile çalışan motorun yanma odasında oluşan gaz sıcaklık grafiği.

Grafikte görüldüğü gibi ortalama gaz sıcaklık değerleri maximuma ulaştığı noktanın 300° ile 500° krank açıları arasında olduğu görülmektedir. Bu deney sonucunda elde edilmiş olan veriler yukarda oluşturulan tablo 5’te belirlediğimiz krank açıları arasında maximum ortalama gaz sıcaklığı noktaları belirlenerek piston yüzeyine etki eden sıcaklıklar hesaplanarak tablo 5’te yazılmıştır.

Yanma odasında oluşan maximum gaz sıcaklık değerleri kaplamasız ve kaplamalı piston arasında farklılık göstermektedir. Bu farklılık tablo 6’da görülmektedir.

Tablo 6. Kaplamalı ve kaplamasız pistonların yanma odalarında oluşan maximum sıcaklık değerleri.

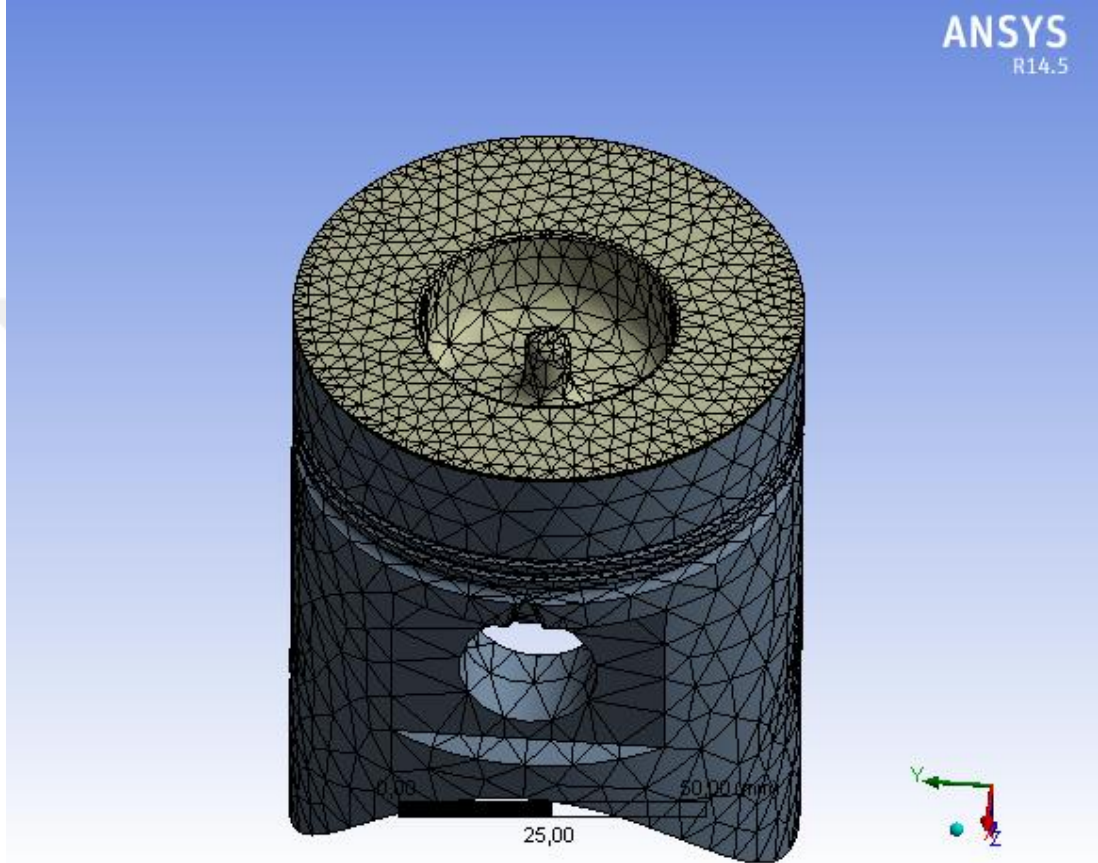
Krank açısı(°)	Yüzeyi kaplamalı piston	Yüzeyi kaplamasız piston
0°-360°	2370,34°C	1839,52°C
15°-369°	2576,27°C	2000,53°C
30°-390°	2240,81°C	1736,52°C
60°-420°	1865,38°C	1440,26°C
90°-450°	1551,11°C	1150,10°C

Tablo 6 'da görüldüğü gibi her krank açısında kaplamalı pistonu sahip motorun yanma odasında oluşan gaz sıcaklığı kaplamasız pistonu sahip motorun yanma odasında oluşan gaz sıcaklığından daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu farklılık zirkonyum yüzeyli pistonun ısıyı piston gövdesine iletimini kısıtladığından dolayı kaplamasız pistonu göre yanma odasında oluşan sıcaklık daha yüksek olduğu görülmüştür.

6.DENEYSEL SONUÇLAR

6.1.Yüzey kaplamasız pistonun termal analizler

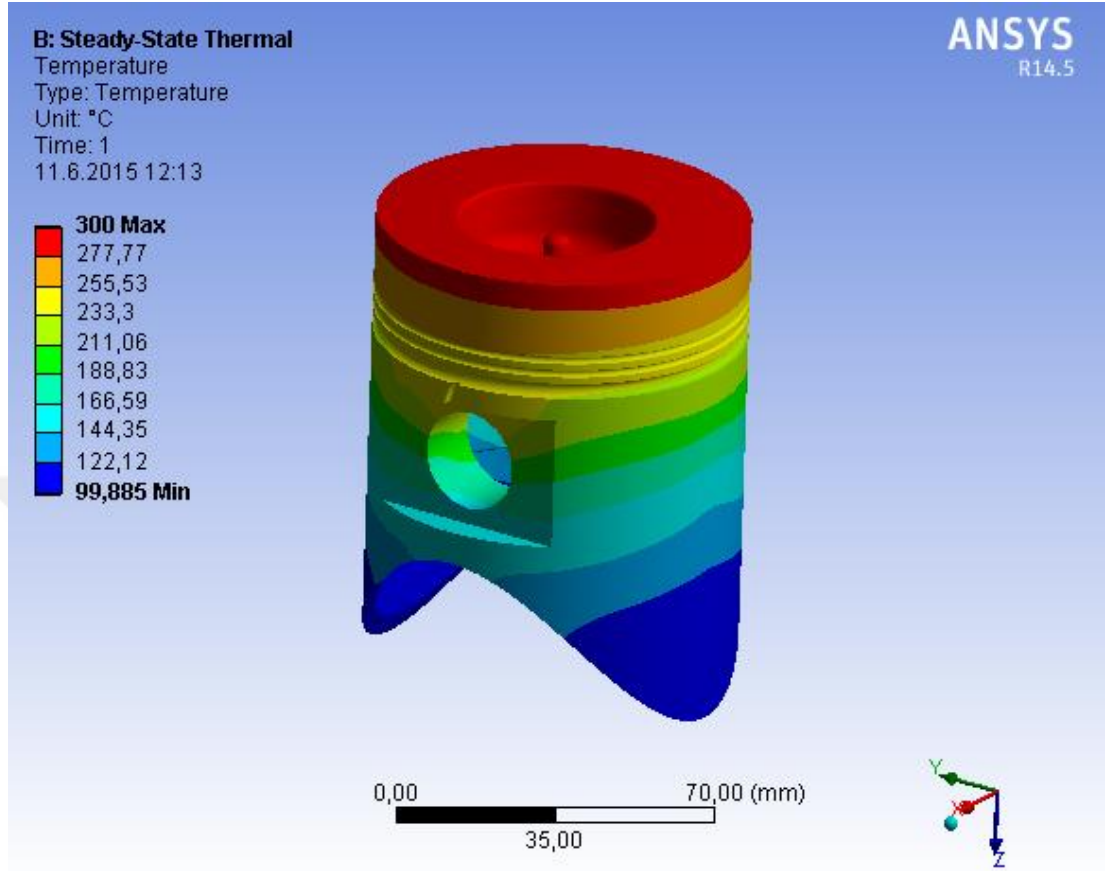
Yukarıdaki veriler ışığında kaplamasız piston Şekil 14'te görüldüğü gibi ANSYS Workbench te mesh yapıldıktan sonra termal analizlerine geçilmiştir.



Şekil 14. Yüzey kaplamasız dizel pistonun matematiksel modeli (MESH).

1800 dev/sn. de krank açılarında bağlı olarak maximum ortalama gaz sıcaklıkları ve piston yüzeyinde oluşan sıcaklık değerleri $0^{\circ} - 360^{\circ}$, $15^{\circ} - 369^{\circ}$, $30^{\circ} - 390^{\circ}$, $60^{\circ} - 420^{\circ}$ ve $90^{\circ} - 450^{\circ}$ krank açıları arasında yanma odasında oluşan maximum gaz sıcaklıkları tablo 4' te belirtildiği gibi sırasıyla $1839,52^{\circ}\text{C}$, $2000,53^{\circ}\text{C}$, $1736,52^{\circ}\text{C}$, $1440,26^{\circ}\text{C}$ ve $1150,10^{\circ}\text{C}$ olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu sıcaklık değerleri termal iletkenlik katsayısı $0,007 \text{ cal/cm.sn}^{\circ}\text{C}$ alınarak piston yüzeyin de oluşan sıcaklık değerleri tablo 4'te belirtildiği gibi 300°C , $326,25^{\circ}\text{C}$, $283,194^{\circ}\text{C}$, $231,61^{\circ}\text{C}$ ve $184,94^{\circ}\text{C}$ olarak hesaplanmıştır. Bu sıcaklık değerleri ile ANSYS Workbench programında termal analizleri yapılmıştır.

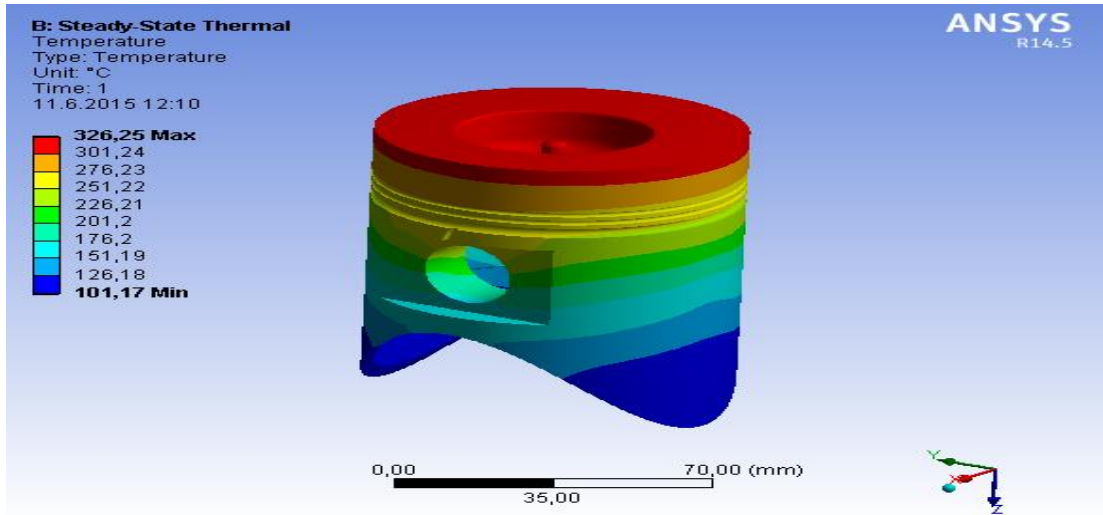
İlk olarak 0° - 360° krank açısı arasında piston yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılım analizi yapılmıştır.



Şekil 15. Kaplamasız dizel pistonun 0° - 360° krank açıları arasında oluşan sıcaklık dağılımı.

300°C sıcaklığın piston tepesinde yoğunlaştığı ve aşağıya doğru sıcaklığın azaldığı görülmektedir. 300°C maximum sıcaklık, pistonun üst yüzey kenarlarında $277,77^{\circ}\text{C}$ olduğu görülmektedir. Piston pim yuvasında $166,59^{\circ}\text{C}$ ile $188,83^{\circ}\text{C}$ arasında olan sıcaklıklar piston etek ucunda bu sıcaklık $122,12^{\circ}\text{C}$ olarak görülmüştür. Pistonun tepe noktasında oluşan sıcaklığın %80 ile %75'nin piston pim yuvasında olduğu görülmüştür.

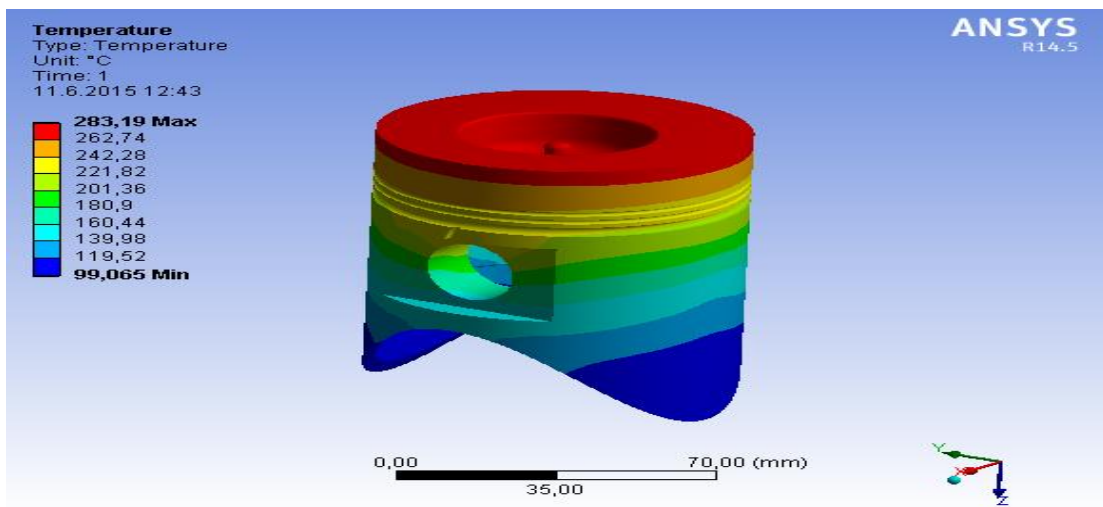
15° - 369° krank açıları arasında piston yüzeyinde oluşan sıcaklıklar şekil 16'da verilmiştir.



Şekil 16. Kaplamasız dizel pistonun 15°- 369° krank açıları arasında oluşan sıcaklık dağılımı

15°- 369 ° krank açılarında yanma odasında oluşan maksimum gaz sıcaklığına bağlı olarak piston yüzeyinde 326,25°C sıcaklık oluşmaktadır. Piston tepesinde yoğunlaşan ısının aşağıya doğru azaldığı görülmüştür. Piston üst yüzey kenarlarında 301,24°C olarak görülen sıcaklık piston pim yuvasında 201,2°C ile 176,2 °C arasında değiştiği tespit edildi. En düşük sıcaklık piston etek ucunda olup 101,17 °C olarak tespit edilmiştir.

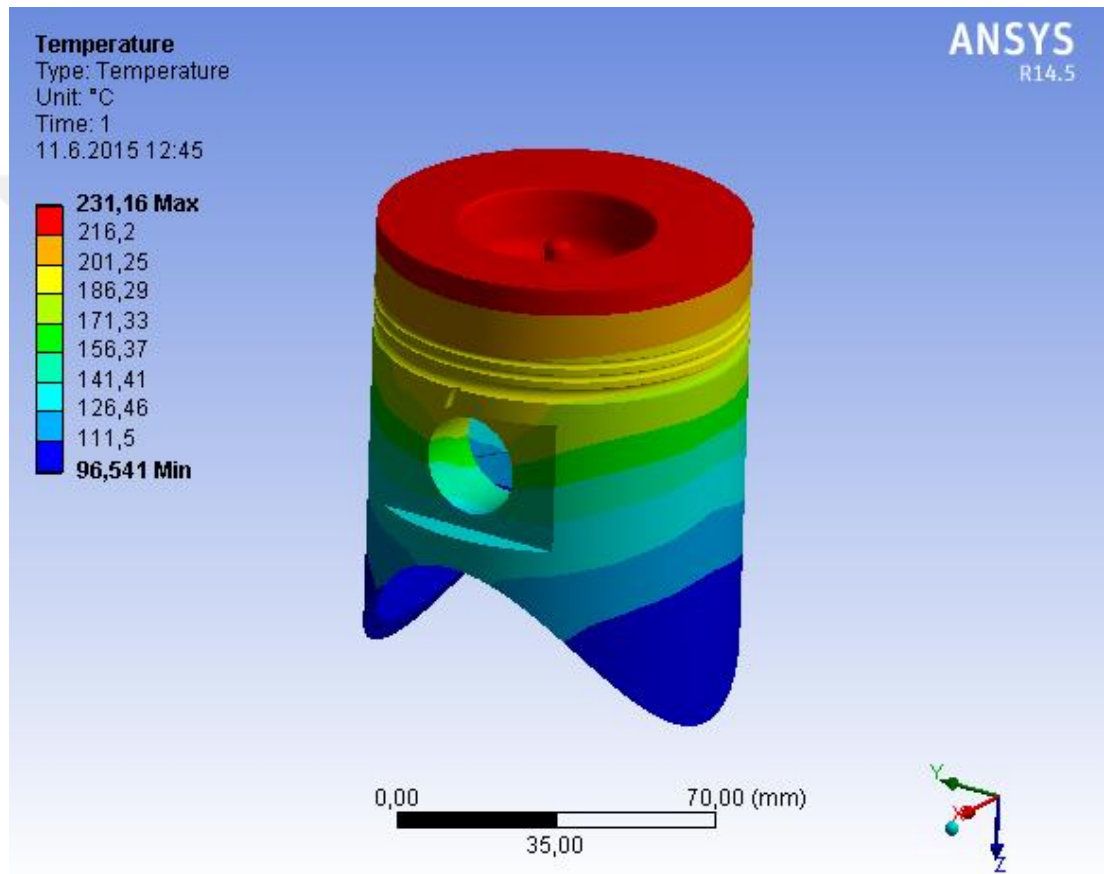
30°- 390° krank açıları arasındaki piston yüzeyinde oluşan sıcaklıklar şekil 17’de verilmiştir.



Şekil 17. Kaplamasız dizel pistonun 30°- 390° krank açıları arasında oluşan sıcaklık dağılımı.

Piston yüzeyinde 283,194°C sıcaklığın olduğu görülmüştür. Piston üst yüzey kenarlarında 262,74°C, piston pim yuvasında 201,36°C ile 160,44 °C arasında sıcaklıkların olduğu ve piston etek ucunda bu sıcaklığın 99,065°C olup en düşük olduğu bölge olduğu görülmüştür. Buda bize gösteriyor ki piston eteklerine doğru iletilen ısının azaldığı görülmektedir.

60°- 420° krank açıları arasındaki piston yüzeyinde oluşan sıcaklıklar şekil 18' de verilmiştir.

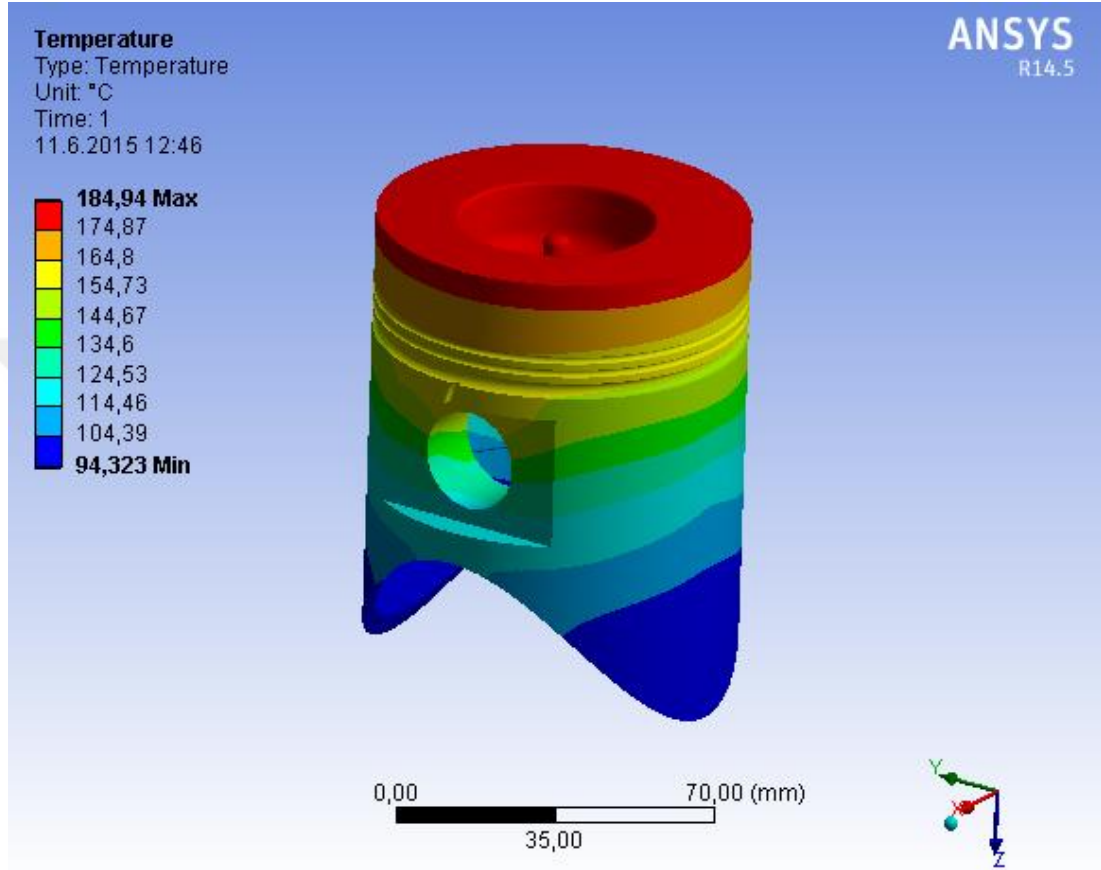


Şekil 18. Kaplamasız dizel pistonun 60°- 420° krank açıları arasında oluşan sıcaklık dağılımı.

60°- 420° krank açılarına bağlı olarak piston yüzeyinde oluşan sıcaklık piston tepesinde 231,61 °C olduğu görülmüştür. Piston üst yüzey kenarlarında 216,2°C ve piston pim yuvasında 186,29°C ile 141,41 °C arasında değişen sıcaklıklar tespit edilmiştir. Piston etek ucunda en düşük sıcaklık oluşup 96,541°C olduğu tespit

edilmiştir. Pistonun yüzeyinde bu sıcaklığın %80 ile %61 kadarı pim yuvasında oluştuğu ve piston eteklerinde ise % 48 ile %41 kadarı oluştuğu görülmüştür.

90°- 450° krank açıları arasındaki piston yüzeyine etki eden sıcaklıklar şekil 19'da verilmiştir.



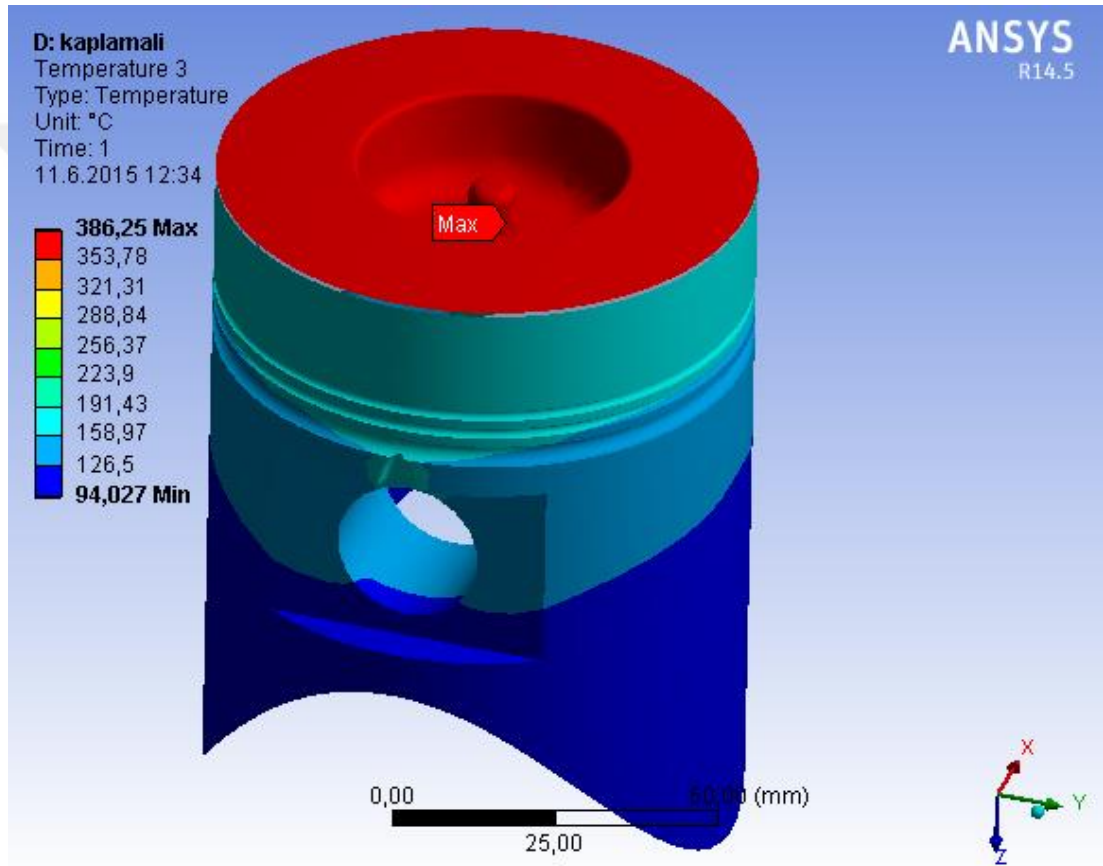
Şekil 19. Kaplamasız dizel pistonun 90°- 450° krank açıları arasında oluşan sıcaklık dağılımı.

90°- 450° krank açılarında yanma odasında oluşan 1150,10°C maximum gaz sıcaklığı piston yüzeyinde oluşan sıcaklık aşağıya doğru azaldığı görülmüştür. Pistonda oluşan sıcaklık sırasıyla piston üst yüzeyi 184,94°C, yüzey kenarlarında 174,87°C ve piston pim yuvasında 154,73°C ile 124,53 °C arasında değişen sıcaklıklar tespit edilmiştir. Pistonun yanma odasına olan uzaklık mesafesi olarak en uzak olan etek ucunda 96,541°C olarak tespit edilmiştir. Buda piston pim yuvasına ısının %80 ile %61 kadarı iletildiği, piston eteklerin de ise ısının % 48 ile %41 kadarı iletilmiş olduğu görülmektedir.

6.2. Kaplamalı piston da termal analiz

Zirkonyumla kaplı piston yüzeyi belirlenen krank açlarına bağlı olarak pistonu etki eden sıcaklık incelenmiştir.

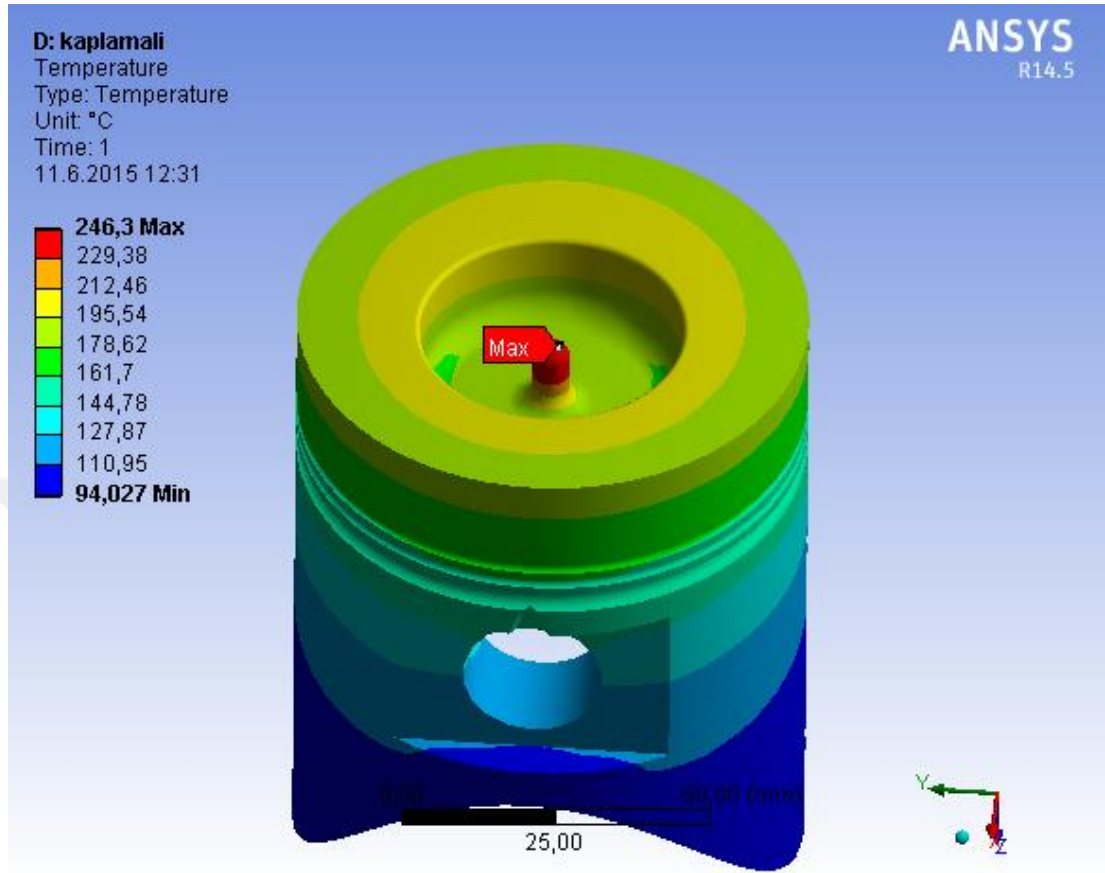
0° - 360° krank açıları arasında yanma odasında oluşan maximum gaz sıcaklığına bağlı olarak piston yüzeyine etki eden sıcaklık ile Şekil 20.'de verilmiştir.



Şekil 20. Kaplamalı dizel pistonun 0° - 360° krank açıları arasında oluşan sıcaklık dağılımı.

0° - 360° krank açılarında yanma odasında oluşan gaz sıcaklığına bağlı olarak piston yüzeyine iletilen $386,56^{\circ}\text{C}$ sıcaklık piston tepesinde yoğunlaştığı görülmektedir. Piston pim yuvasında $158,97^{\circ}\text{C}$ ile $94,027^{\circ}\text{C}$ arasında değişen sıcaklıklar tespit edilip, piston eteklerinde ise bu sıcaklığın $94,027^{\circ}\text{C}$ olduğu görülmektedir. Piston da oluşan sıcaklık dağılımı incelendiği zaman piston yüzeyinden aşağıya doğru sıcaklık

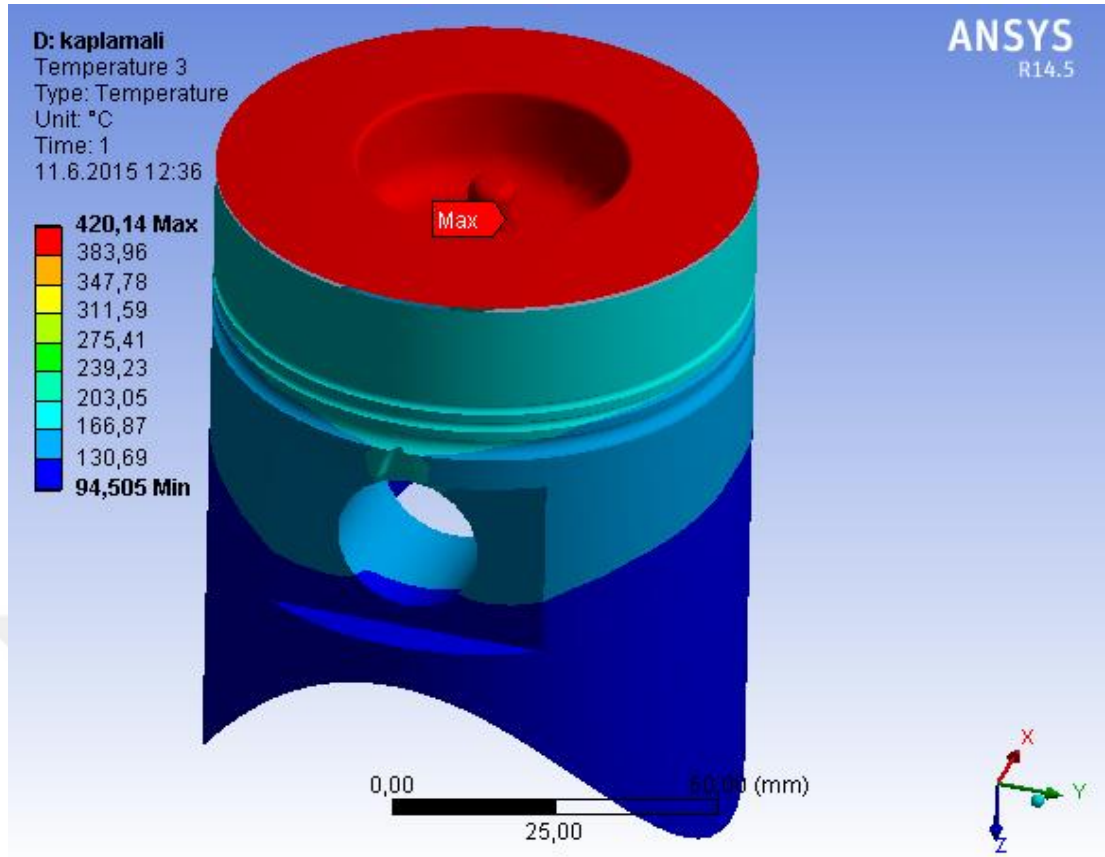
değerlerinin düştüğü görülmektedir. Şekil 22 'de zirkonyum kaplamanın hemen altında piston yüzeyine etki eden sıcaklık verilmiştir.



Şekil 21. Zirkonyumla kaplı pistonun kaplama alt yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımı.

Kaplamalı pistonun kaplama alt yüzeyinde oluşan sıcaklık değeri 246,3°C görülmektedir. Bariyer görevi gören kaplamanın sıcaklığın yüzeye iletilmesini engellediği tespit edildi. Piston yüzeyine etki eden sıcaklık %63,76'sı kaplamanın altına iletiildiği görülmektedir. Piston yüzeyine etki eden düşük sıcaklık değerleri sayesinde piston kenarlarına da ise %59,38 ile %46,24 'ü arasında iletilebildiği tespit edilmiştir.

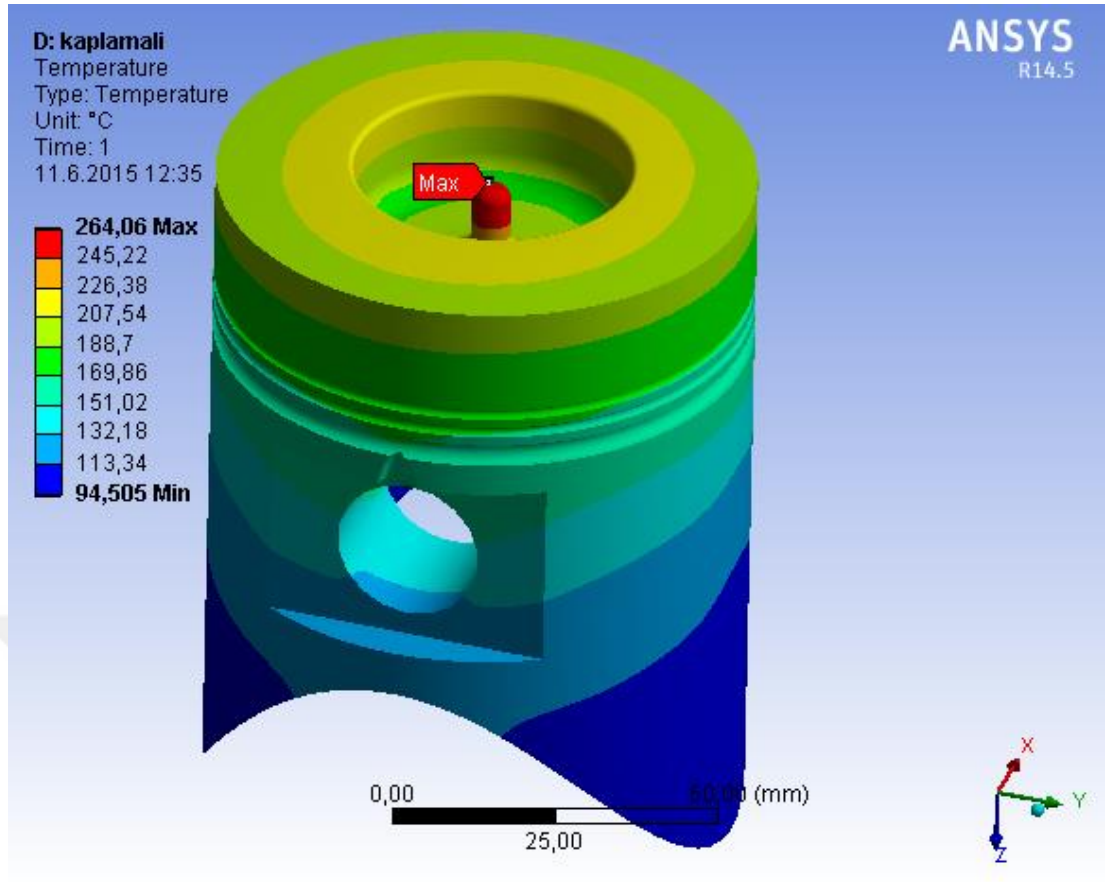
15°-369° krank açıları arasında yanma odasında oluşan maximum gaz sıcaklığına bağlı olarak piston yüzeyine etki eden sıcaklık şekil 22'de görülmektedir.



Şekil 22. Zirkonyumla kaplı dizel motor pistonun da 15° - 369° krank açıları arasında oluşan sıcaklık dağılımı.

Piston yüzeyin de oluşan sıcaklık, 15° - 369° krank açılarında yanma odasına bağlı olarak $420,14^{\circ}\text{C}$ olduğu görüldü. Sıcaklığın piston üst yüzeyinde yoğunlaşması yanma odasıyla temasta olduğundandır. Bilindiği malzemenin mukavemeti sıcaklığa bağlıdır. Bu nedenle, sıcaklık arttıkça azalır. Pistonun mukavemeti daha düşük çalışma sıcaklığı ile geliştirildiğinden, piston ömrünün uzamasına neden olur. Bu nedenle, alt tabakanın sıcaklığının daha düşük olması önemlidir. Şekil de görüldüğü piston yüzeyinden aşağıya doğru sıcaklık değerlerinin piston pim yuvasının alt kısmından minimuma düştüğü görülmektedir. Piston pim yuvasında $130,69^{\circ}\text{C}$ ile $94,505^{\circ}\text{C}$ arasında değişen sıcaklıklar tespit edilip, piston eteklerinde $94,505^{\circ}\text{C}$ bu sıcaklığın piston etek uçlarına kadar bu değerin sabit kaldığı görülmektedir.

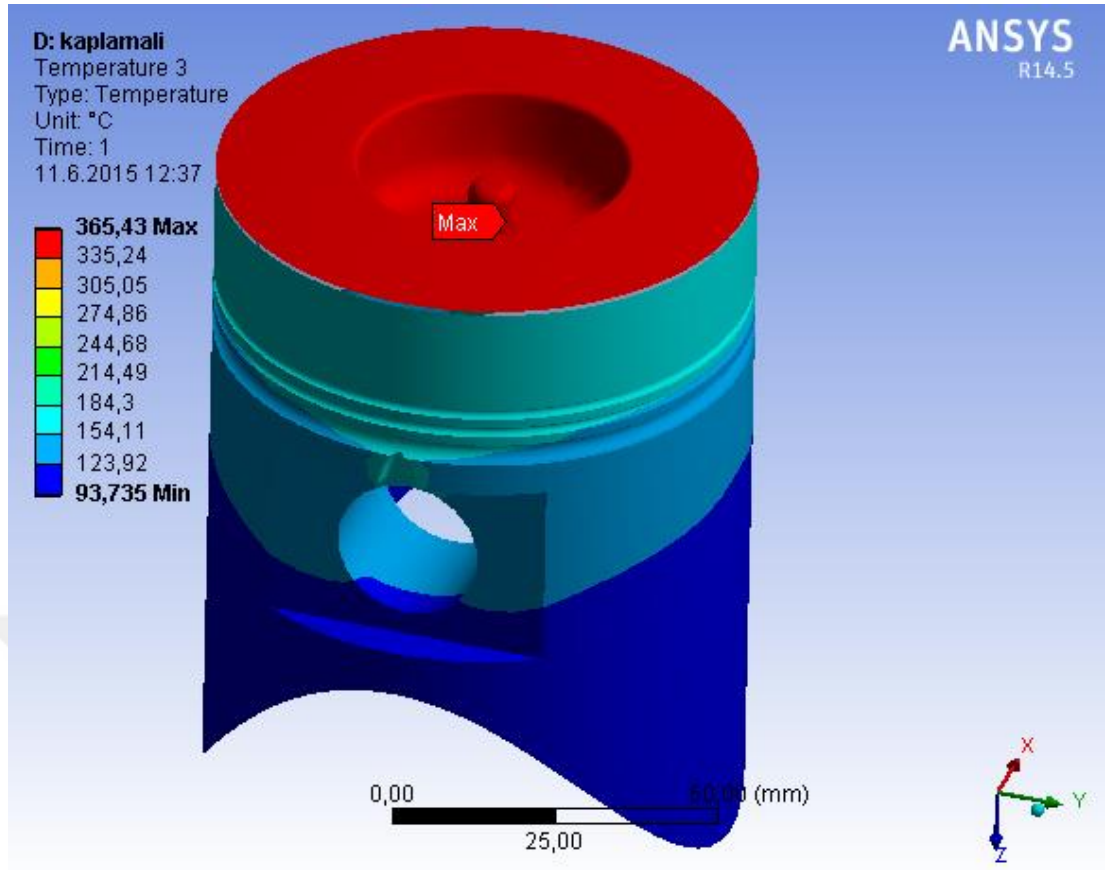
15° - 369 krank açıları arasında yanma odasında oluşan maximum gaz sıcaklık değerine bağlı olarak, kaplamalı pistonun kaplama alt yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımı şekil 23'te gösterilmiştir.



Şekil 23. Zirkonyumla kaplı pistonun kaplama alt yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımı.

Şekil incelendiği zaman kaplamanın alt kısmında 264,04°C bir sıcaklığın piston yüzeyinin orta noktasında oluştuğu görülmektedir. Bu da piston yüzeyine etki eden sıcaklığın %62,850 sinin olduğu görülmektedir. Piston yüzey kenarlarına ise sıcaklığın %53,88 ile %44,91 i arasında değiştiği tespit edilmiştir.

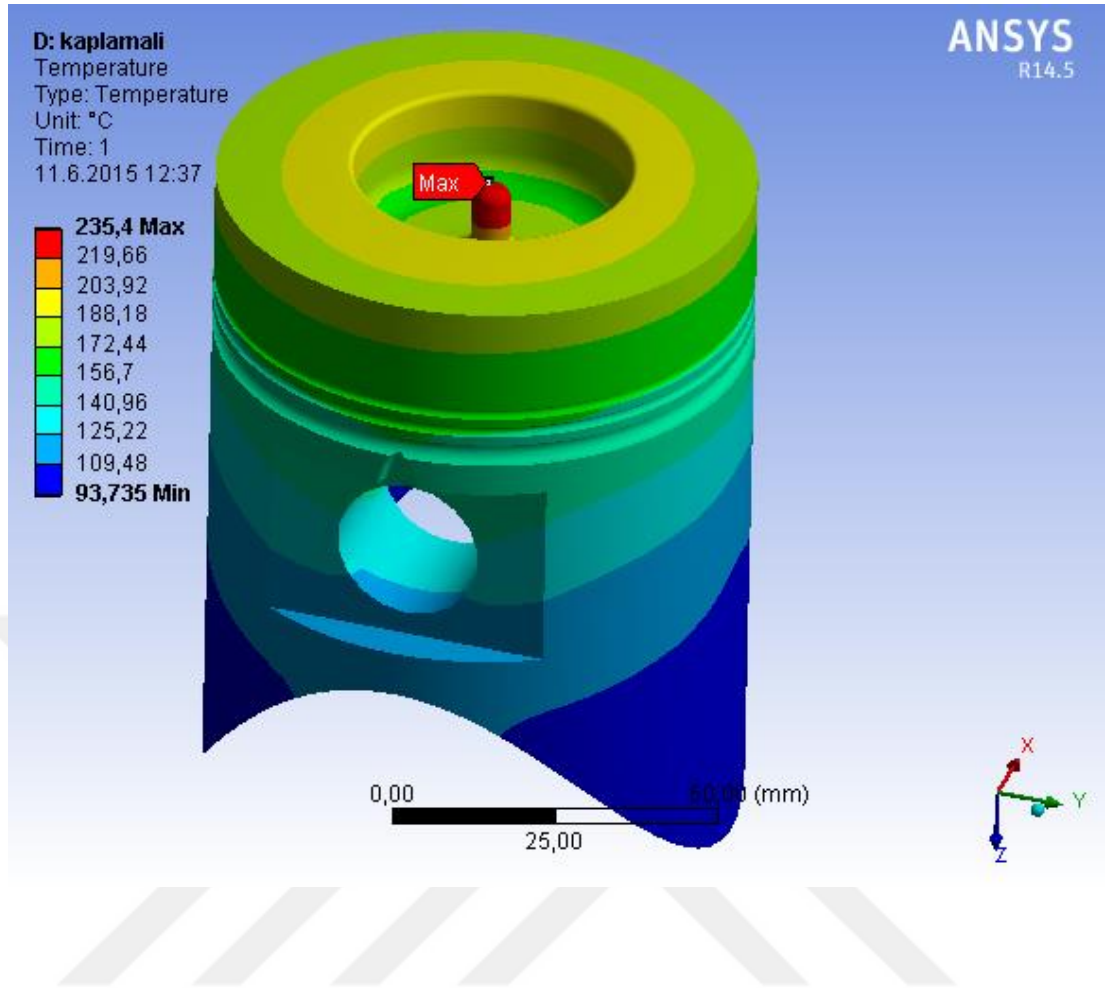
30°-390° Krank açıları arasında yanma odasında oluşan maximum gaz sıcaklığına bağlı olarak piston yüzeyine ve pistonun tamamında oluşan sıcaklık dağılımı şekil 24'te görülmektedir.



Şekil 24. Zirkonyumla kaplı dizel motor pistonun da 30° - 390° krank açıları arasında oluşan sıcaklık dağılımı.

Yanma odasında 30° - 390° krank açılarına bağlı olarak oluşan maximum gaz sıcaklığı piston yüzeyine de oluşan $365,43^{\circ}\text{C}$ sıcaklık piston üst yüzeyinde yoğunlaştığı görülmektedir. Termal bariyer görevi gören kaplama malzemesi sayesinde piston yüzeyinden aşağıya doğru sıcaklık değerlerinin düştüğü, piston pim yuvasının alt kısmından minimum olduğu görülmektedir. Piston pim yuvasında $154,11^{\circ}\text{C}$ ile $93,735^{\circ}\text{C}$ arasında değişen sıcaklıklar tespit edilip, piston eteklerinde $93,735^{\circ}\text{C}$ sıcaklığın piston etek uçlarına kadar bu değer sabit kaldığı görülmektedir.

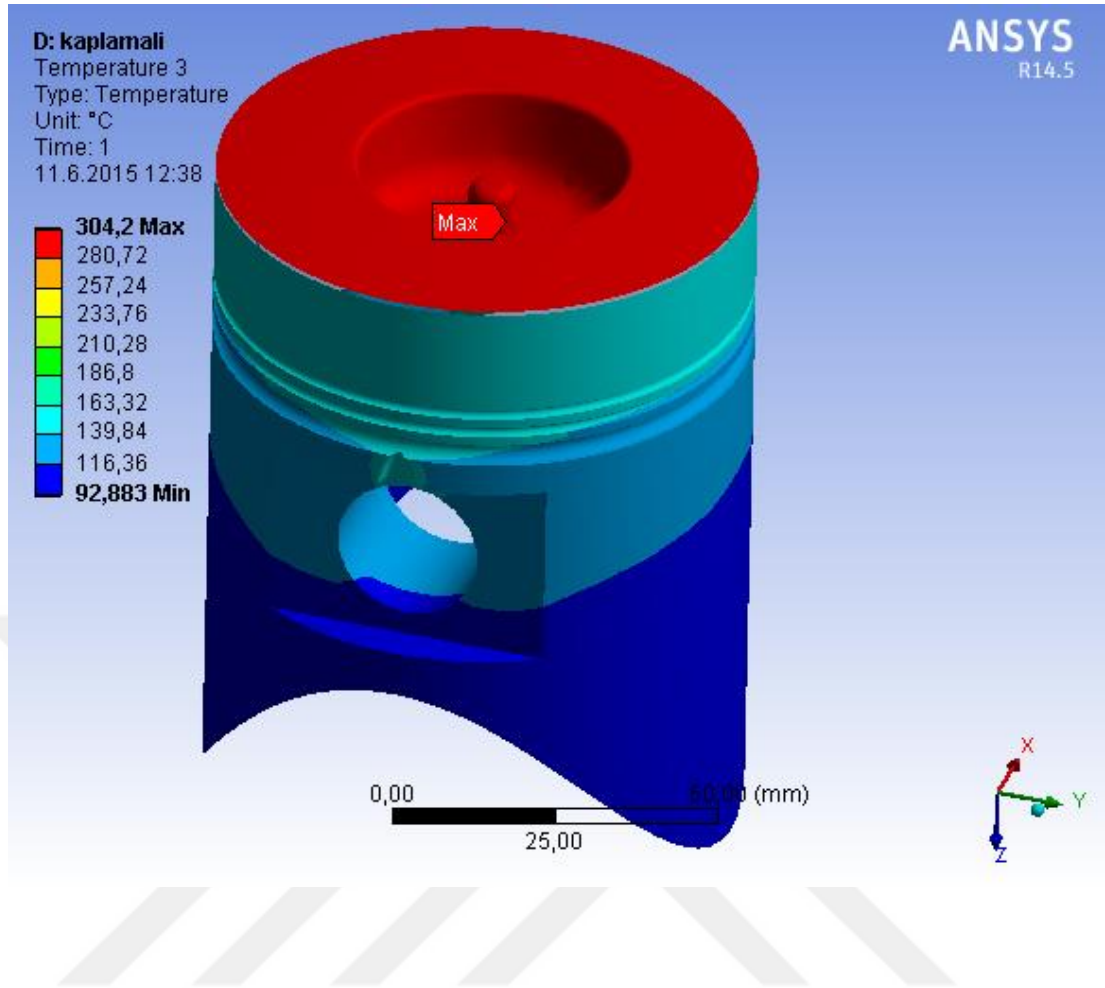
30° - 390° krank açıları arasında yanma odasında oluşan maximum gaz sıcaklığı alınarak, kaplamalı piston yüzeyine iletilen $365,43^{\circ}\text{C}$ sıcaklığın kaplamalı pistonun kaplama alt yüzeyin de oluşan sıcaklık dağılımı şekil 25'te gösterilmiştir.



Şekil 25. Zirkonyumla kaplı pistonun kaplama alt yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımı.

Kaplamanın hemen alt kısmında 235,4°C bir sıcaklığın piston yüzeyinin orta noktasında bulunan kısımda oluştuğu görülmektedir. Bu da piston yüzeyine etki eden sıcaklığın %64,42 sinin etki ettiği görülmektedir. Piston yüzey kenarlarına ise sıcaklığın %55,802 ile %42,88' i arasında bir değişimle oluştuğu tespit edilmiştir. Kaplamanın sağladığı yalıtkan özelliği ile pistonun alt kenarlarında oluşan düşük sıcaklıklar malzeme mukavemetini de artırmıştır.

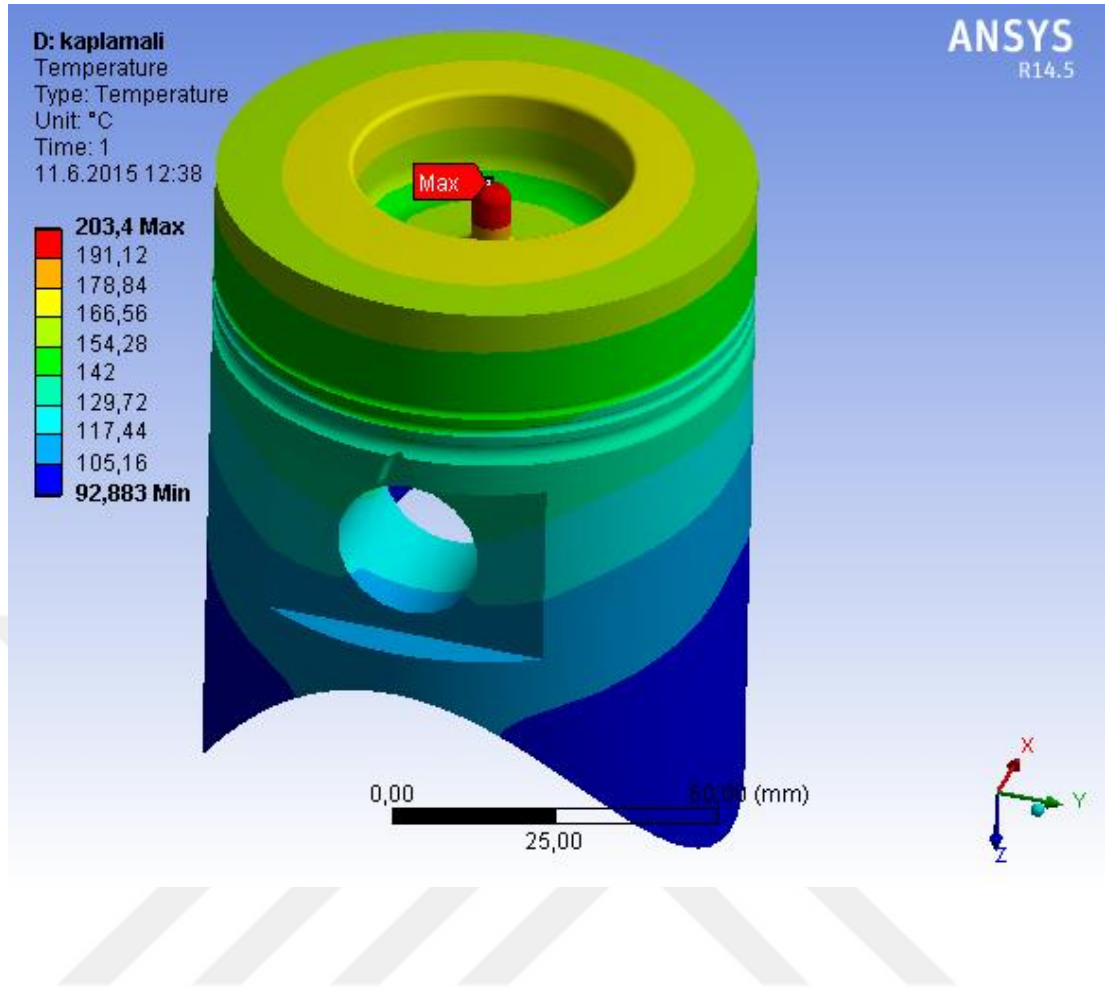
60°- 420° Krank açıları arasında yanma odasında ki maximum gaz sıcaklığına bağlı olarak piston yüzeyine etki eden sıcaklık dağılımı şekil 26'da görülmektedir.



Şekil 26. Zirkonyumla kaplı dizel motor pistonun da 60°-420° krank açıları arasında oluşan sıcaklık dağılımı.

Yanma odasında oluşan maximum gaz sıcaklığına bağlı olarak 60°- 420° krank açıları arasında piston yüzeyine etki eden sıcaklık 304,43 °C olduğu görülmektedir. Piston incelendiği zaman yüzeyinden aşağıya doğru sıcaklık değerlerinin azaldığı ve piston pim yuvasının alt kısmında minimuma düştüğü görülmektedir. Bu sıcaklık değerleri, piston pim yuvasında 139,84°C ile 92,883 °C arasında değişen sıcaklıklar tespit edilip, piston eteklerinde 92,883°C sıcaklığın piston etek uçlarına kadar bu değer sabit kaldığı görülmektedir.

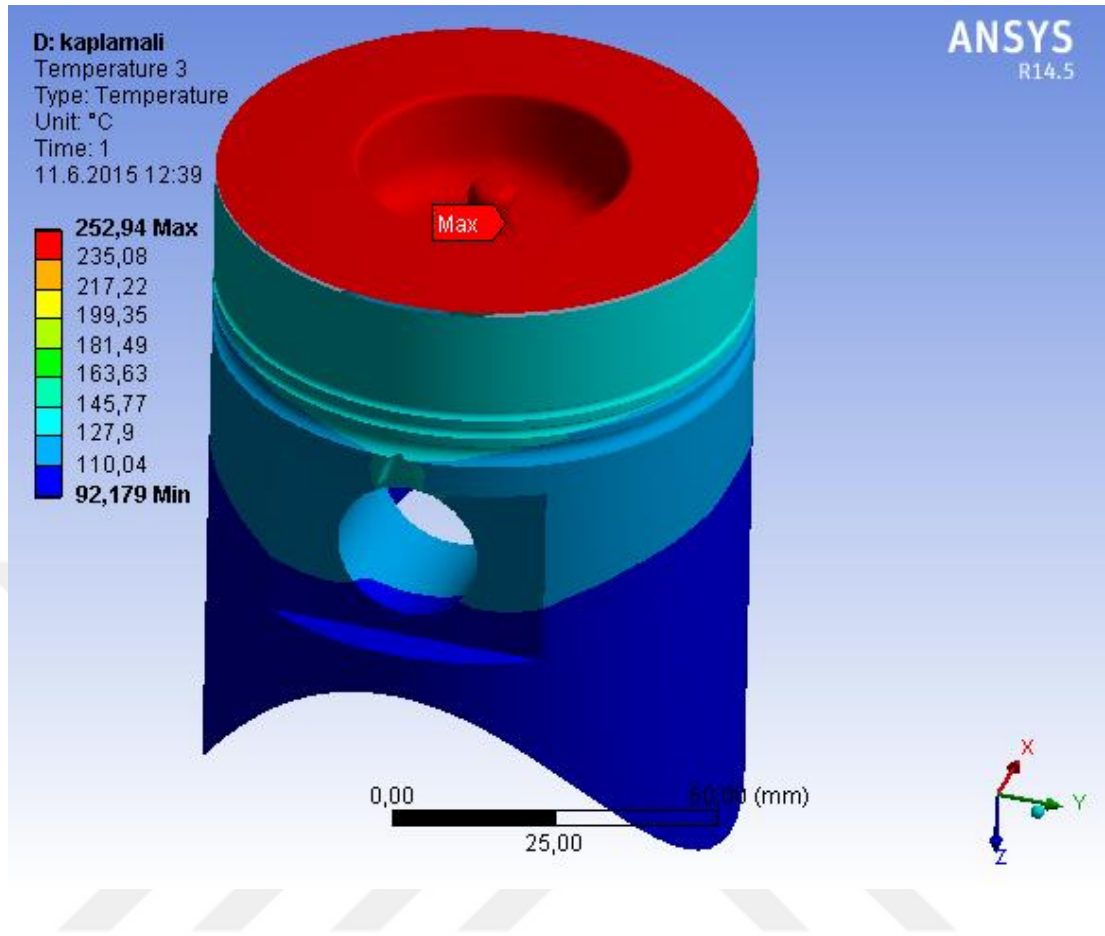
60°-420° krank açıları arasında yanma odasında oluşan maximum gaz sıcaklığı baz alınarak, kaplamalı piston yüzeyin de oluşan sıcaklığın kaplama alt yüzeyine etki eden sıcaklık dağılımı şekil 27’de gösterilmiştir.



Şekil 27. Zirkonyumla kaplı pistonun kaplama alt yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımı.

Piston yüzeyindeki kaplama bariyer görevi gördüğünden ısının iletimi azalmaktadır. Kaplamanın alt yüzeyinde oluşan sıcaklık 203,4°C olduğu görülmektedir. Sıcaklık piston pim yuvası ve eteklerine doğru sıcaklığın düştüğü şekilde de görülmektedir. Bu değerler sırasıyla 117,44°C ve 94,883°C olduğu görülmektedir. Bu da piston yüzeyine etki eden sıcaklığın %66,4286 sinin iletildiği, piston yüzey kenarlarına ise sıcaklığın %58,79 ile %46,67 ' i arasında iletilebildiği tespit edilmiştir.

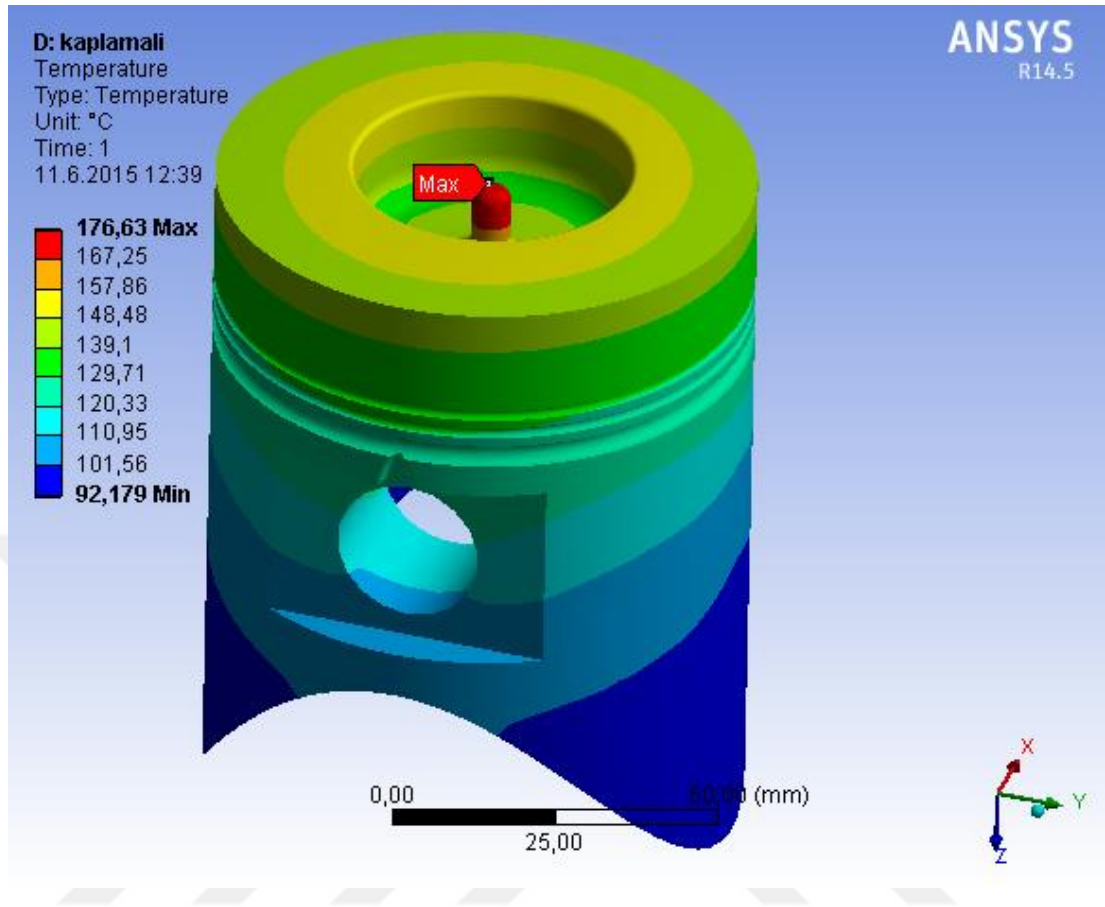
90°-450° Krank açıları arasında yanma odasındaki maximum sıcaklık değeri ele alınarak piston yüzeyine etki eden sıcaklık dağılımı şekil 28'de görülmektedir.



Şekil 28. Zirkonyumla kaplı dizel motor pistonun 90°-450° krank açıları arasında oluşan sıcaklık dağılımı.

90°- 450° krank açıları arasında piston da oluşan sıcaklık şekilde görüldüğü gibi yanma odasıyla temasta olan yüzeyde yoğunlaştığı görülmektedir. Pistona iletilen ısının düşürülmesi için kullandığımız kaplama sayesinde piston gövdesi ve piston eteklerinde iletilen ısının düştüğü görülmektedir. Piston pim yuvasında 127,9°C ile 92,179°C arasında sıcaklıkların oluştuğu, piston eteklerinde 92,179 °C sıcaklığın etek uçlarına kadar bu değerin sabit kaldığı görülmüştür.

90°- 450° krank açıları arasında yanma odasında oluşan maximum gaz sıcaklığı alınarak, zirkonyum kaplı piston yüzeyine iletilen 252,94°C sıcaklığın zirkonyum kaplı piston yüzeyinin kaplama alt yüzeyinde oluşan sıcaklık analizi şekil 29'da gösterilmiştir.

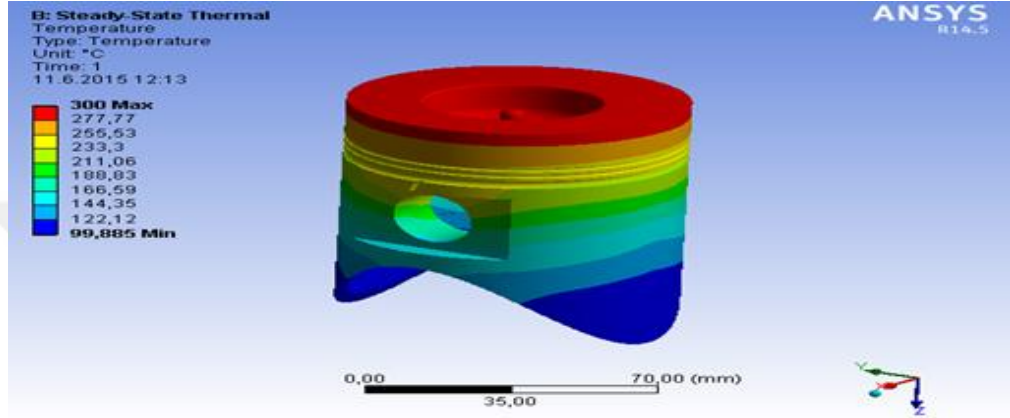


Şekil 29. Zirkonyumla kaplı pistonun kaplama alt yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımı.

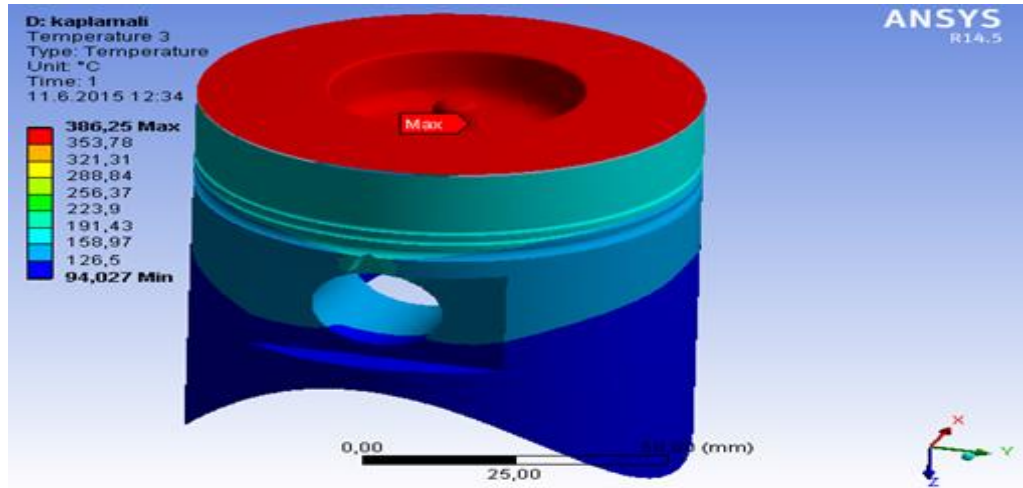
Piston incelendiği zaman kaplamanın hemen alt kısmına 176,63°C gibi bir sıcaklığın piston yüzeyinin orta noktasında bulunan kısımda oluştuğu görülmektedir. Bu da piston yüzeyine etki eden sıcaklığın %66,4286 si olduğu görülmektedir. Piston yüzey kenarlarına ise sıcaklığın %62,41 ile %51,28 ' i arasında etki ettiği tespit edilmiştir.

7. KAPLAMALI – KAPLAMASIZ PİSTON KARŞILAŞTIRMASI

AlSi alaşımlı dizel motor pistonu ile yapılan deneysel çalışmalarda, termal analizleri sonucu yüzeyi kaplamasız piston ile yüzey kaplamalı piston arasında ısı iletimi farkı ve bu ısı iletim farkından dolayı pistonda oluşan sıcaklık dağılımı gözlemlenip karşılaştırmaları ayrıntılı bir şekilde yapılmıştır.



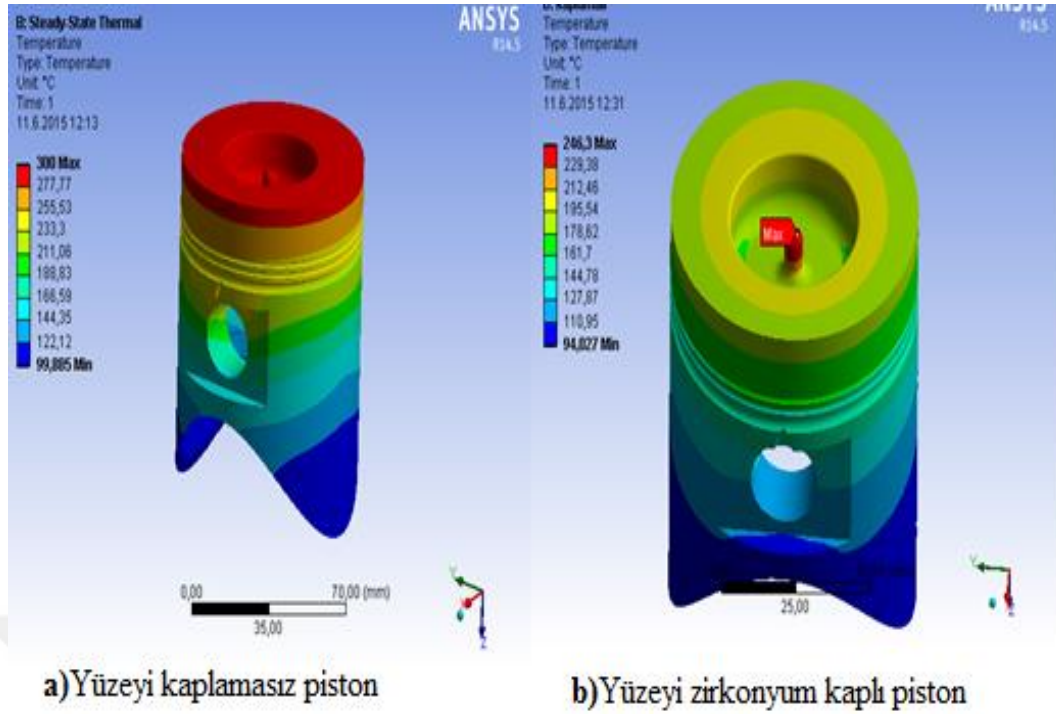
a) Yüzeyi kaplamasız piston



b) Yüzeyi zirkonyumla kaplı piston

Şekil 30. Kaplamasız piston ile yüzeyi zirkonyum kaplı pistonun 0°- 360° krank açılarındaki oluşan sıcaklık dağılımı farkları.

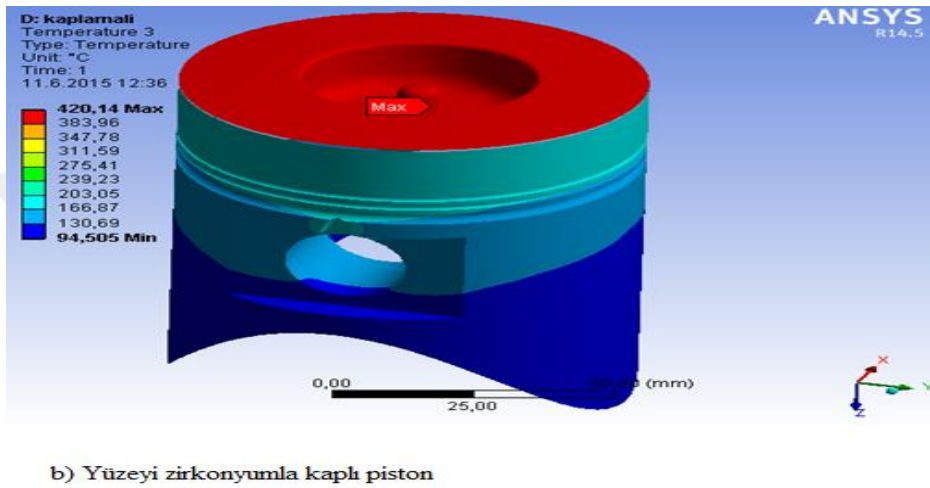
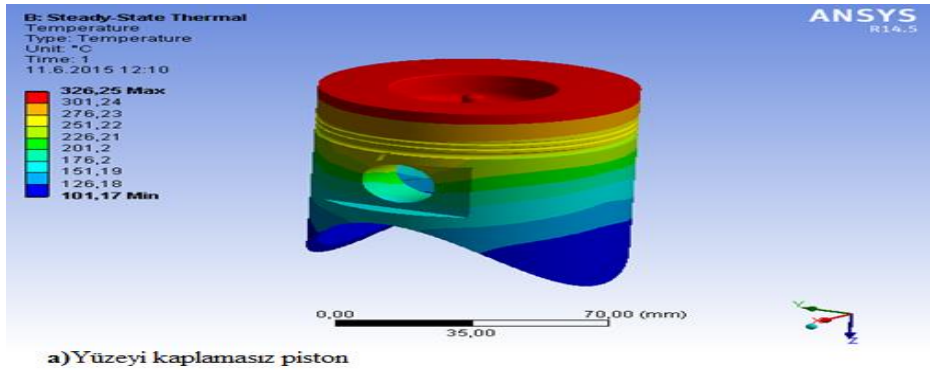
Yapılan deneysel çalışmalarda dizel motorun yanma odasında oluşan sıcaklığın pistonda oluşturduğu sıcaklık dağılımını incelemek için belirli krank açılarında termodinamiğin 1. Kanunundan yararlanılarak ısı iletim formülü ile piston yüzeyine etki eden sıcaklıklar sıcaklık dağılımı incelenmiştir. İlk olarak 0°- 360° krank açıları arasında yanma odasında oluşan maximum gaz sıcaklığının piston yüzeyinde oluşan sıcaklık hesaplanmış olup ANSYS programında analizleri yapılmıştır. Şekil 30'da görüldüğü gibi yüzey kaplamalı piston ile yüzey kaplamasız piston arasında sıcaklık dağılımı farkını gözlemlediğimizde, yüzeyi kaplamasız olan pistonun yüzeyinde oluşan sıcaklığın %92,33 kadarının piston yüzeyinin yan kenarlarında oluştuğu, yüzeyi zirkonyumla kaplı pistonda ise bu sıcaklığın %49,56 ile %41,15 kadarının oluşabildiği tespit edilmiştir. Kaplamasız piston segman yuvalarında piston yüzeyinde oluşan sıcaklığın %85,17 ile %77,76 kadarının oluştuğu, yüzey kaplamalı pistonda ise bu değerlerin %41,15 ile %32,75 arasında değiştiği deney sonucu tespit edilmiştir. Yüzey kaplamasız pistonun pim yuvası etrafında, piston eteği ve etek takviye denge şeridinde sırasıyla %77,76 ile %48,11 , %33,295 ile % 48,11 ve %40,70 ile %33,295 görülmesine rağmen piston yüzeyi zirkonyum ile kaplı pistonda ki sıcaklık dağılımı pistonun pim yuvası etrafında, piston eteği ve etek takviye denge şeridinde sırasıyla %41,15 ile % 24,34 , % 24,34 ve % 24,34 olarak görülüp piston eteği ve etek takviye denge şeridinin de değerler minimuma inip değişmediği deney sonucu tespit edilmiştir. Buda yüzeyi zirkonyumla kaplı pistonda kaplamanın bariyer görevi görüp sıcaklığın piston alt bölgelerinde oluşmasını önlediğini ve yanma odasında sıcaklığın daha yüksek kalmasını sağladığı tespit edilmiştir. Şekil 31'de kaplamasız piston yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımının zirkonyum kaplı pistonun kaplama alt yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımları ayrıntılı olarak görülmektedir.



Şekil 31. Kaplamasız piston ile yüzeyi zirkonyum kaplı pistondaki kaplamanın alt kısmında oluşan sıcaklık dağılımı.

Kaplamsız pistonun tepe noktasında oluşan sıcaklık yanma odasının %16,30 olduğu görülmektedir. Yüzeyi zirkonyum ile kaplanmış pistonun alt kısmında ise oluşan sıcaklık yanma odasının %10,39'u olduğu görülmektedir. Kaplamalı piston yüzey kenarlarında ise tepe noktasında oluşan sıcaklığın %86,26 ile %65,65 olduğu, pim yuvasında %45,04 ve piston etek kısmında %38,17 olduğu görülmüştür. Kaplamasız piston da ise bu değerler yan kenarlar için %85,17 - %77,76, pim yuvası için %70,35 - %62,94 ve piston etek bölgesinde %40,70 - %33,29 olduğu görülmüştür. Yüzeyi zirkonyumla kaplanmış pistonda hem stresi hem de deformasyonu azalttığı gibi yanma odasında sıcaklığın yüksek kalmasını sağlamaktadır.

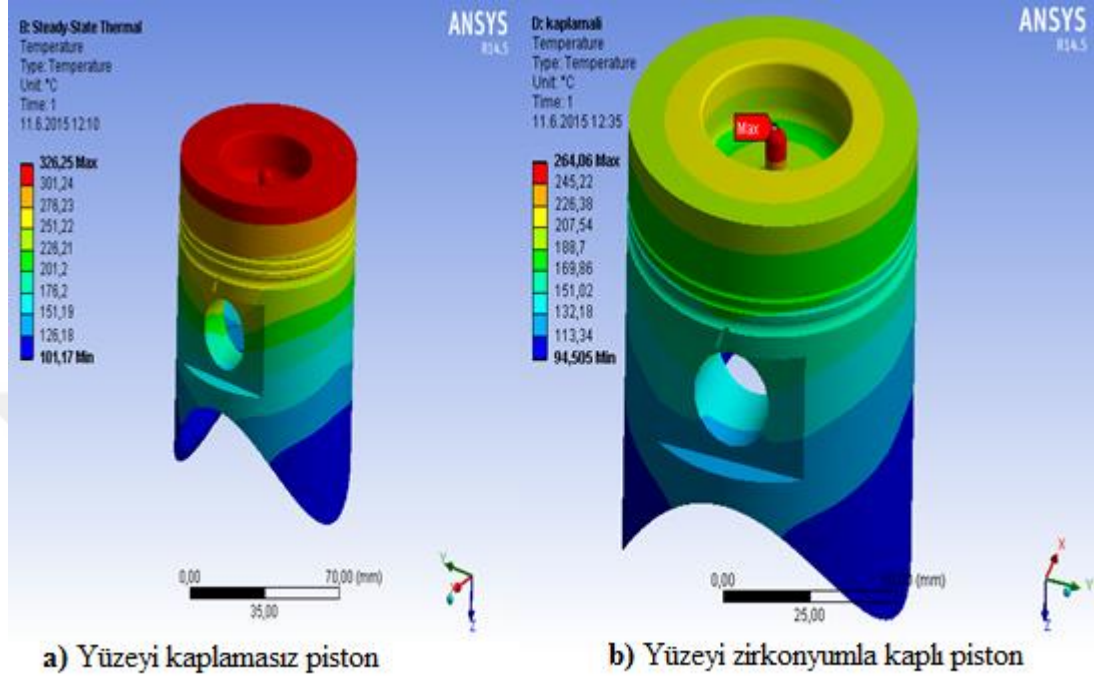
15° -369° Krank açılarındaki kaplamasız piston ve zirkonyum kaplı pistonda oluşan sıcaklık dağılım farkları şekil 32'de görülmektedir.



Şekil 32. Kaplamasız piston ile yüzeği zirkonyum kaplı pistonun 15° - 369° krank açılarındaki oluşan sıcaklık dağılımı farkları.

15° - 369° Krank açılarındaki kaplamasız piston yüzeyinde oluşan $326,25^\circ\text{C}$ sıcaklığın %92,33 ile %84,66 kadarının piston yüzeyinin yan kenarlarında oluştuğu, zirkonyumla kaplı pistonda ise bu sıcaklığın %39,64 kadarının oluşabildiği tespit edilmiştir. Yüzeği kaplamasız pistonun segman yuvalarında ise bu sıcaklığın %77 ile %69,33 kadarının oluştuğu yüzeği kaplamalı pistonda ise bu değerlerin %31,106 ile %22,49 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Kaplamasız pistonun pim yuvası etrafında ve piston eteğinde sırasıyla sıcaklık değerleri piston yüzey sıcaklığının %77 ile %46,32 ve %46,32 ile %31 görülmesine rağmen piston yüzeyi zirkonyum ile kaplı pistonda ki sıcaklık dağılımı pistonun pim yuvası etrafında ve piston eteğinde sırasıyla %31,106 ile %22,49 ve %22,49 olarak görülmüştür. Ayrıca yüzeği zirkonyumla kaplı pistonda kaplamanın bariyer görevi görüp ısının piston alt bölgelerine iletilmesini önlediğini ve yanma odasında sıcaklığın daha yüksek kalmasını sağladığı tespit edilmiştir. Şekil 33'te zirkonyum kaplı pistonun kaplama

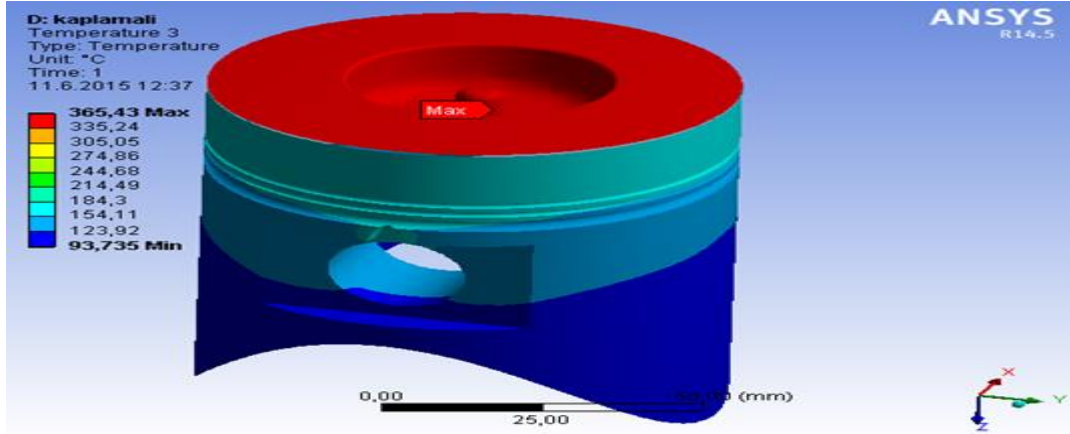
alt yüzeyinde oluşan sıcaklığın kaplamasız piston yüzeyine göre nasıl bir sıcaklık dağılımı oluştuğu ayrıntılı olarak görülmektedir.



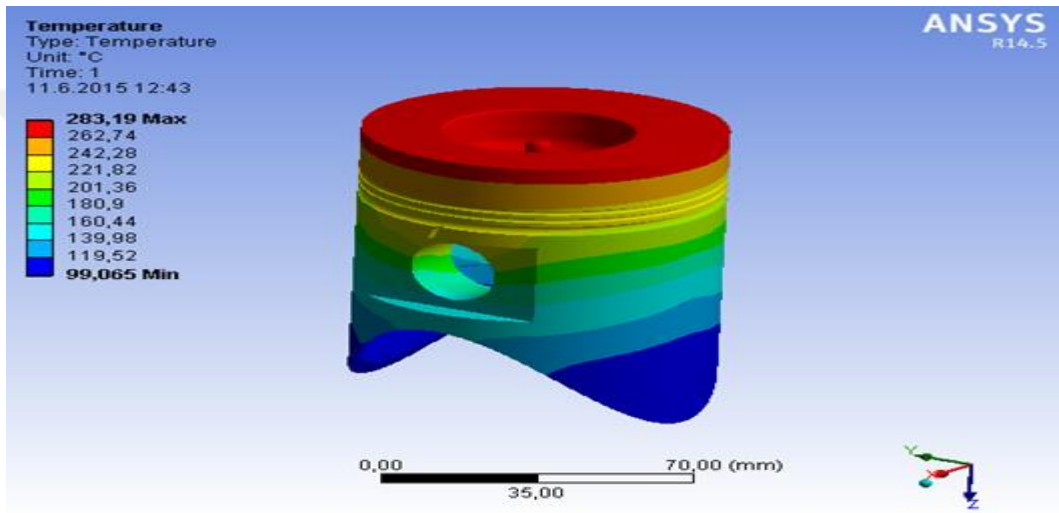
Şekil 33. Kaplamasız piston ile zirkonyum kaplı pistondaki kaplamanın alt kısmında oluşan sıcaklık dağılımı.

ANSYS programında yapılan sıcaklık dağılımı analizinde kaplamasız pistonun üst bölgesinde ki sıcaklık dağılımı yüzeye göre %92,33 ile %84,66 arasında değişmiştir. Yüzeyi zirkonyum ile kaplanmış pistonun alt kısmında oluşan sıcaklığın piston yüzeyinin orta noktasında ki piston başında %62,85 iletirken, yüzey kenarlarında %49,39 ile %40,42 arasında olduğu tespit edilmiştir. Buda yüzeyi zirkonyumla kaplanmış pistonda hem stresi hem de deformasyonu azalttığı gibi yanma odasında sıcaklığın yüksek kalmasını sağlamaktadır.

30° - 390° Krank açılarında kaplamasız pistonun yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımı farkları aşağıda Şekil 34'te gösterilmektedir.



b) Yüzeyi zirkonyumla kaplı piston



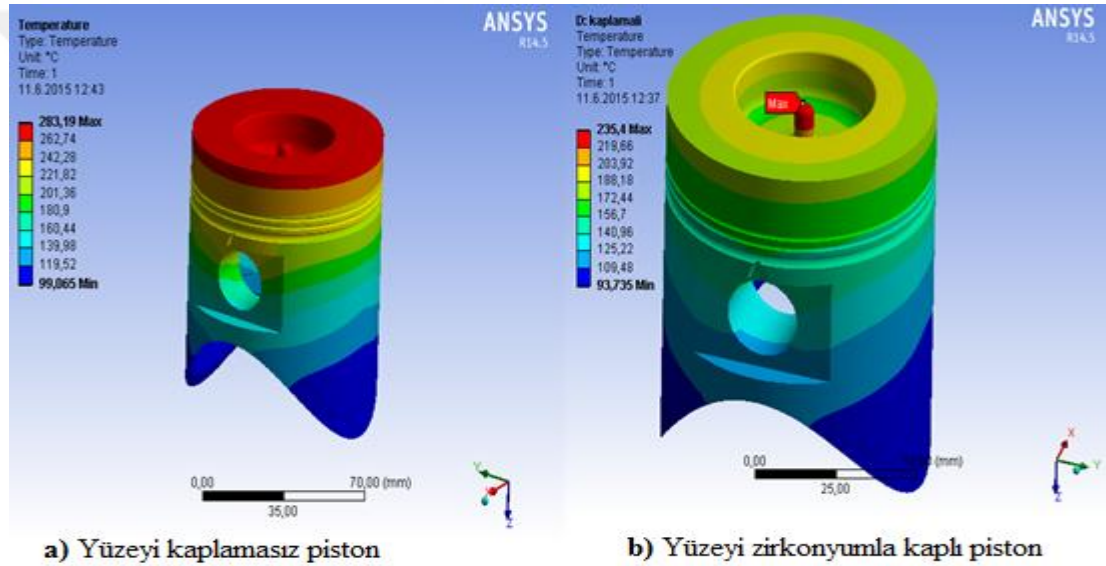
a) Yüzeyi kaplamasız piston

Şekil 34. Kaplamasız piston ile yüzeyi zirkonyum kaplı pistonun $30^\circ - 390^\circ$ krank açılarındaki oluşan sıcaklık dağılımı.

$30^\circ - 390^\circ$ krank açılarındaki kaplamasız pistonun tepe noktasında oluşan $283,19^\circ\text{C}$ ısının %92,56 ile %85,55 kadarının piston yüzeyinin yan kenarlarına iletiildiği, zirkonyumla kaplı pistonda ise bu sıcaklığın $365,43^\circ\text{C}$ olduğu ve ısının % 42,17 kadarının iletilebildiği tespit edilmiştir. Kaplamasız pistonu göre kaplamalı pistonun tepe noktasında oluşan bu sıcaklık farkı kaplamanın yanma odası ve piston arasında bariyer görevi görüp yanma odasında oluşan ısının iletimini azaltmaktadır. Bu sayede pistonda sıcaklıktan dolayı oluşacak yorulmaları azaltıp yanma odasındaki sıcaklığı artırmaktır. Yanma odasının da artan sıcaklık düşük yakıt tüketimi ve daha fazla tork oluşturmasını sağlar. Yüzey kaplamasız piston segman yuvalarında ısının %78,32 ile %71,10 kadarı iletiildiği, yüzey kaplamalı pistonda ise bu değerin %42,17 ile %33,91

arasında değiştiği deney sonucu tespit edilmiştir. Yüzey kaplamasız pistonun pim yuvası etrafında ve piston eteğinde sırasıyla %78,32 ve %49,42 ile % 49,42 ve %34,98 sıcaklık dağılımı görölmesine rağmen, yüzeyi zirkonyum ile kaplı pistonda ki ısı dağılımı pistonun pim yuvası etrafında ve piston eteğinde sırasıyla %42,17 ve % 25,66 ile %25,66 olduğu görölmüştür. Piston eteğin de sıcaklık değerleri minimuma indiği görölmüştür. Buda yüzeyi zirkonyumla kaplı pistonda kaplamanın bariyer görevi görüp sıcaklığın piston alt bölgelerine iletilmesini önlediğini, Isıdan dolayı mukavemeti düşen pistonun mukavemetini artırmaktadır.

şekil 35'te kaplamalı pistonun kaplama alt yüzeyinde oluşan sıcaklığın kaplamasız pistonla göre karşılaştırılması ayrıntılı olarak görölmektedir.

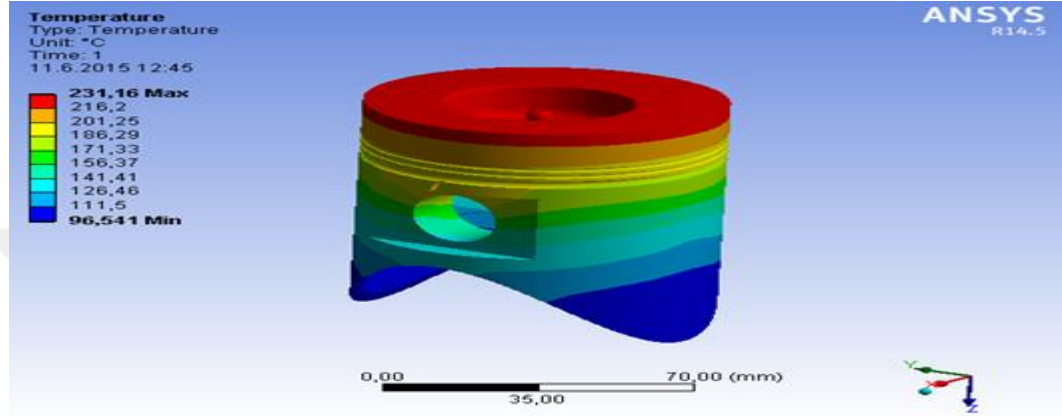


şekil 35. Kaplamasız piston ile zirkonyum kaplı pistonun kaplama alt yüzeyinde oluşan sıcaklık dağımları.

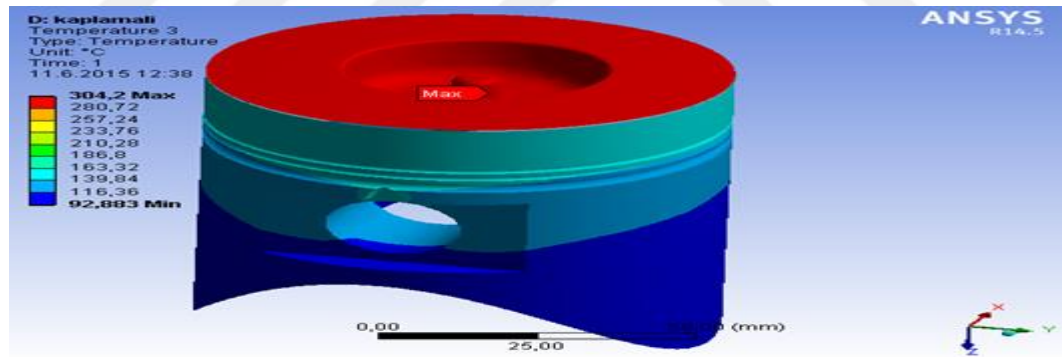
Kaplamasız ve kaplamalı pistonların yüzeyinde oluşan sıcaklıklar farklıdır. Bu farklılığın en büyük nedenlerinden biri yanma odasında oluşan ısının pistonla iletilmesinde bariyer görevi gören kaplamanın yapılmasıdır. Kaplamasız yüzeyde ısı geçişinde bir engel olmadığı için pistonun tamamına bu ısının yayıldığı görölmektedir. Bu nedenle yanma odasında ki sıcaklıkta azalma görölmektedir. Yanma odasındaki sıcaklığın aynı krank açılarında, kaplamalı pistonun kaplamasız pistonla göre daha yüksek olduğu görölmüştür. Pistonun üst bölgesinde sıcaklık dağılımının %92,56 ile %85,55 arasında değişiyorken, yüzeyi zirkonyum ile kaplanmış pistonun alt kısmına iletilen sıcaklığın piston yüzeyinin orta noktasında ki

piston başında %60,11 iletirken, yüzey kenarlarında %42,88 ile %51,49 arasında olduğu tespit edilmiştir. Buda yüzeyi zirkonyumla kaplanmış pistonda hem stresi hem de deformasyonu azalttığı gibi yanma odasında sıcaklığın yüksek kalmasını sağlamıştır.

60°- 420° Krank açılarındaki kaplamasız ve kaplamalı pistonların yüzeyinde oluşan sıcaklık farkları Şekil 36'da gösterilmektedir.



a) Yüzeyi kaplamasız piston

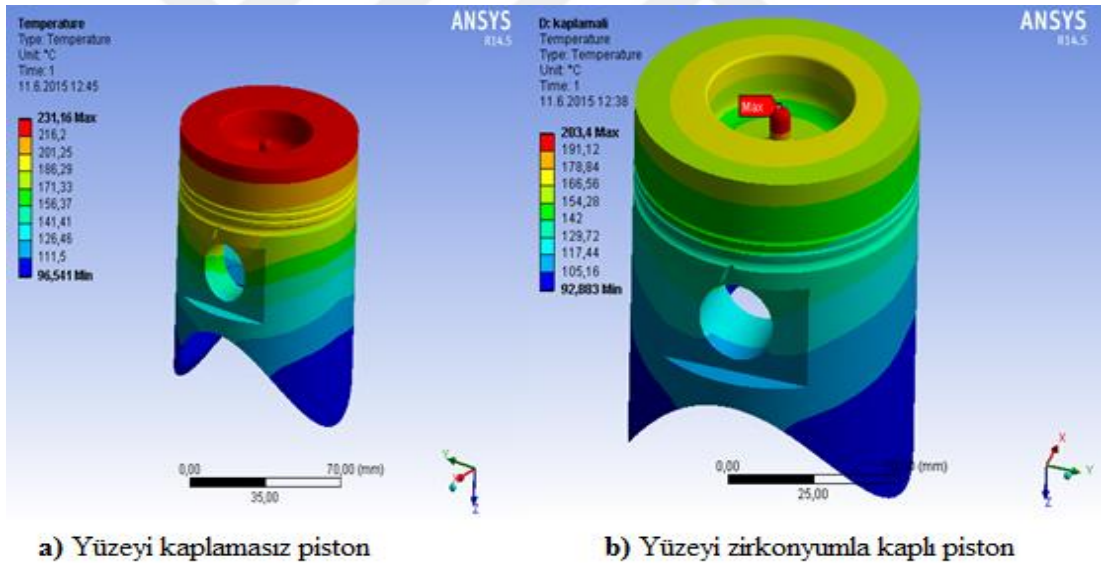


b) Yüzeyi zirkonyumla kaplı piston

Şekil 36. Kaplamasız piston ile zirkonyum kaplı pistonun 60° - 420° krank açılarındaki oluşan sıcaklık dağılım farkları.

Isı transfer olgusunun dizel motor pistonunda karmaşık olduğu iyi bilinmektedir. Bu nedenle, yanma odacığı ile piston yüzeyi arasındaki ısı transferinin kullandığımız malzemelere göre değişiklik gösterdiğinden kaplamasız pistondaki ısı iletiminin kaplamalı pistona göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. 60° - 420° Krank açılarındaki kaplamasız pistonun yüzeyinde oluşan sıcaklığın %93,52 ile %87,06

kadarının piston yüzeyinin yan kenarlarında oluştuğu, zirkonyumla kaplı pistonda ise bu sıcaklığın % 45,96 kadarının oluştuğu tespit edilmiştir. Yüzey kaplamasız piston segman yuvalarına ise bu sıcaklığın %87,06 ile %74,11'i oluştuğu, yüzey kaplamalı pistonda ise bu değer %45,96 ile %38,25 arasında değiştiği deney sonucu tespit edilmiştir. Kaplamasız pistonun pim yuvası etrafında ve piston eteğinde sırasıyla ile %80,58 ve %54,70 ile % 54,70 ve %41,76 görülmesine rağmen, zirkonyum ile kaplı pistonda ki sıcaklık dağılımı pistonun pim yuvası etrafında ve piston eteğinde sırasıyla %45,96 ve % 30,53 ile %30,53 olarak görülmüştür. Deney sonucunda piston eteğin de sıcaklık değerler minimuma inip değişmediği deney sonucu tespit edilmiştir. Buda yüzeyi zirkonyumla kaplı pistonda kaplamanın bariyer görevi görüp sıcaklığın piston alt bölgelerine iletilmesini önlediğini ve yanma odasında sıcaklığın daha yüksek kalmasını sağladığı görülmüştür. Şekil 37'de kaplamasız pistonun zirkonyum kaplı pistonun kaplama alt yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımı ayrıntılı olarak görülmektedir.

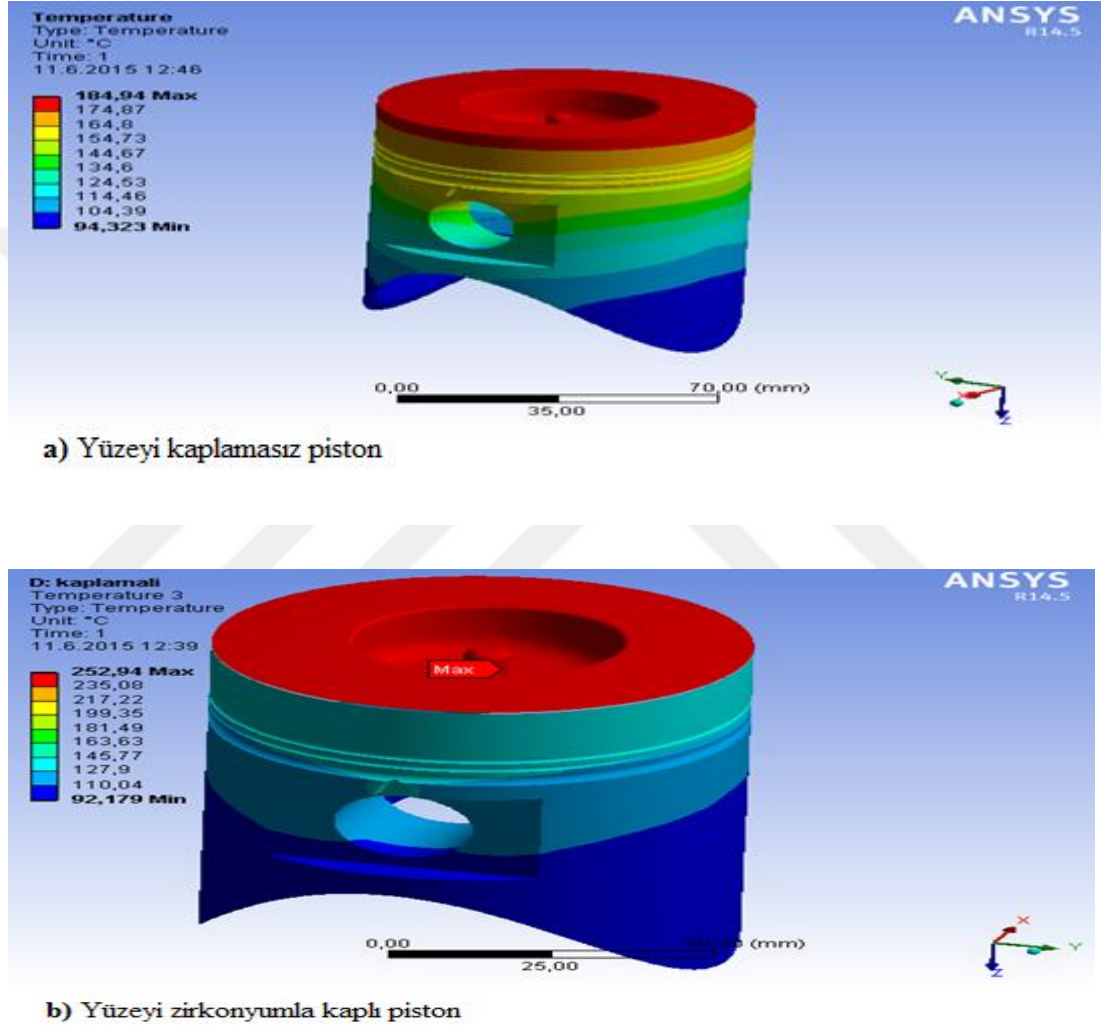


Şekil 37. Kaplamasız piston ile zirkonyum kaplı pistondaki kaplamanın alt kısmında oluşan sıcaklık dağılımı.

Zirkonyumla kaplı pistonun alt kısmının tepe noktasında 203,4°C bir sıcaklık oluştuğu, kaplamasız piston da ise 231,06°C olduğu görülmektedir. Kullanılan zirkonyum malzemesi bariyer görevi gördüğü için ısı transferini azalttığı gözlemlenmiştir. Kaplamasız pistonun üst bölgesinde sıcaklık dağılımının %93,52 ile %87,06 arasında değişiyorken, yüzeyi zirkonyum ile kaplanmış pistonun alt kısmında

oluşan sıcaklığın piston tepe noktasında %62,82 oluşmaktadır. Yüzey kenarlarında bu sıcaklığın %46,67 ile %54,75 arasında olduğu tespit edilmiştir. Buda yüzeyi zirkonyumla kaplanmış pistonda hem stresi hem de deformasyonu azalttığı gibi yanma odasında sıcaklığın yüksek kalmasını sağlamaktadır.

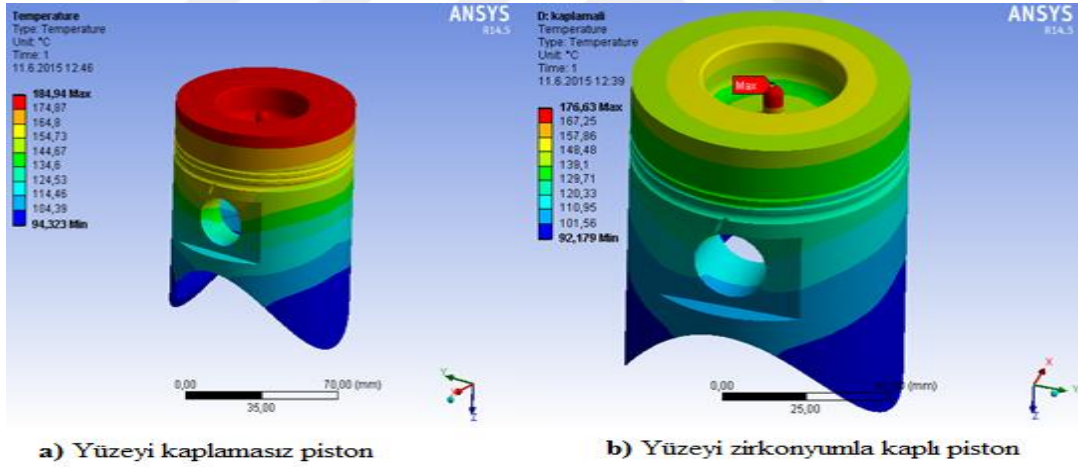
90°- 450° Krank açıları kaplamasız piston ile kaplamalı piston yüzeyinde oluşan sıcaklık farkları aşağıda Şekil 38'de gösterilmektedir.



Şekil 38. Kaplamasız piston ile zirkonyum kaplı pistonun 90° - 450° krank açıları arasında oluşan sıcaklık dağılım farkları.

Yüzey sıcaklığı 184,94°C olan kaplamasız pistonun yanma odasında ki sıcaklığın %16,08 si oluşmaktadır. Piston yüzeyinde oluşan sıcaklığın %94,55 ile %89,10 kadarının piston yüzeyinin yan kenarlarında olduğu, yüzeyi zirkonyumla kaplı pistonda ise bu sıcaklığın % 50,56 kadarının oluşabildiği tespit edilmiştir.

Kaplamasız piston segman yuvalarına ise bu sıcaklığın %89,10 ile %78,22 kadarı olduğu, kaplamalı pistonda ise bu değer %50,56 ile %43,50 arasında değiştiği deney sonucu tespit edilmiştir. Yüzey kaplamasız pistonun pim yuvası etrafında ve piston eteğinde sırasıyla %83,66 ve %61,89 ile %61,89 ve %51 iletim görülmesine rağmen, piston yüzeyi zirkonyum ile kaplı pistonda ki ısı dağılımı pistonun pim yuvası etrafında ve piston eteğinde sırasıyla %50,56 ve %36,44 ile %36,44 olarak görülüp deney sonucunda piston eteğinin de değerler minimuma inip değişmediği deney sonucu tespit edilmiştir. Piston mukavemeti ve yanma odasındaki sıcaklığın yüksek tutma açısından önemli olan sıcaklık dağılımı kaplamalı pistonda kaplamasız pistonla göre daha verimli bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Buda yüzeyi zirkonyumla kaplı pistonda kaplamanın bariyer görevi görüp sıcaklığın piston alt bölgelerine iletilmesini önlediğini ve yanma odasında sıcaklığın daha yüksek kalmasını sağladığı tespit edilmiştir. Şekil 39'da zirkonyum kaplı pistonun kaplama alt yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımının kaplamasız pistonla göre nasıl bir sıcaklık dağılımı olduğu ayrıntılı olarak görülmektedir.



Şekil 39. Kaplamasız piston ile zirkonyum kaplı pistonun kaplama alt kısmında oluşan sıcaklık dağılımı.

Yüzeyi zirkonyumla kaplı pistonda kaplamanın bariyer görevi görmesinden dolayı ısı transferi kaplamasız pistonla göre daha az olmaktadır. Kaplamanın alt kısmında maximum oluşan bölge 176,63°C olup kaplama yüzeyinde oluşan sıcaklığın %69,83 'ü oluşmaktadır. Piston yüzeyinin geri kalanı 148,48°C ile 139,1°C sıcaklık değerleri arasında değişmektedir. Kaplamasız pistonun yüzeyinde 184,94°C oluşan sıcaklık yanma odasında oluşan sıcaklığın %16,08'sini oluşturmaktadır. Kaplama malzemesi

kullanılmadığından piston pim yuvası ve piston etek bölgesinde kaplamalı pistona göre ısı transferi değerleri daha yüksektir. Buda piston mukavemetini azaltmaktadır. Zirkonyumla kaplanmış pistonda ise ısı transferi daha az olduğundan hem stres hem de deformasyon kaplamasız pistona göre daha azdır. Yanma odasında ki sıcaklığın yüksek kalması motor verimliliği açısından önemlidir. Kaplamalı pistonun kaplamasız pistona göre yanma odasında 401°C sıcaklık değeri fazladır. Buda kaplamalı pistonun yanma odasında %24 daha fazla verimle çalıştığını göstermektedir.

Motorun yanma odasındaki sıcaklık birçok faktöre göre değişkenlik göstermektedir. Yanma odasındaki sıcaklığı yüksek tutmak yanma kalitesini artırmakta ve yanma tepkimesinde iyileştirmektedir. Bu şekilde yanmamış hidrokarbonların tepkimeye katılması sağlanarak egzoz emisyonları iyileşmektedir. Zirkonyum kaplı piston ve kaplamasız pistonun krank açılarına göre yanma odasında oluşturduğu sıcaklık değişimleri grafik halinde incelenmiştir. Grafikte görüldüğü gibi zirkonyumla kaplı pistonun yanma odasındaki sıcaklık değerinin kaplamasız pistona göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu sıcaklık farkı zirkonyum kaplı pistonun ısı transfer değerinin kaplamasız pistona göre daha düşük olduğundan kaynaklanmaktadır.



Şekil 40. Kaplamalı ve kaplamasız pistonların yanma odalarındaki sıcaklık grafiği.

Piston yüzeyine etki eden sıcaklık yanma odasındaki sıcaklığa bağlıdır. Kaplamalı piston ile kaplamasız piston yüzeylerin de oluşan sıcaklıklar grafik halinde şekil 41'de gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi zirkonyumla kaplı piston yüzeyine yanma odasında oluşan yüksek sıcaklıktan dolayı kaplamasız pistona göre daha yüksek sıcaklık değerleri oluştuğu tespit edilmiştir. Kaplamalı piston yüzeyinde daha

yüksek sıcaklığın oluşması, kullanılan zirkonyum kaplamanın ısı transferini azaltıp yanma odasındaki sıcaklığı yüksek tutmasını sağladığı gözlemlenmiştir.



Şekil 41. Piston yüzeylerinde oluşan sıcaklıkların karşılaştırılması.

Zirkonyumla kaplı pistonun kaplama alt yüzeyinde oluşan sıcaklık ile yüzeyi kaplamasız pistonun yüzeylerinde oluşan sıcaklık dağılımı şekil 42’de grafik olarak verilmiştir.



Şekil 42. Pistonların yüzeylerinde oluşan maximum sıcaklık dağılımı.

Şekil 42’de zirkonyumla kaplı pistonun kaplama alt yüzeyinde oluşan maximum sıcaklık değerleri ile kaplamasız piston yüzeyinde oluşan maximum sıcaklık

değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi kaplamanın bariyer görevi görüp ısı transferini azalttığı ve pistonunda oluşan sıcaklığı düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Şekil 43'te zirkonyumla kaplı pistonun kaplama alt yüzeyinde oluşan minimum sıcaklık değerleri ile yüzeyi kaplamasız piston yüzeyinde oluşan minimum sıcaklıkları grafik olarak verilmiştir.



Şekil 43. Piston yüzeylerinde oluşan minimum sıcaklıklar.

Sıcaklık grafiği incelendiği zaman Zirkonyum kaplı pistonun alt yüzeyinde oluşan minimum sıcaklık değerleri kaplamasız pistonu göre daha düşük olduğu görülmüştür. Bu değerler kaplamalı piston için sırasıyla 161,7°C, 169,86°C, 156,7°C, 142°C, 129°C iken kaplamasız piston için 300°C, 336,25°C, 283,194°C, 231,61°C, 184,94°C olduğu görülmüştür.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, içten yanmalı dizel pistonun yüzeyini ara bağlayıcı madde olan NiCoCrAlY ile 150μ kaplama yapılmıştır. Bu kaplamanın üstüne de 500μ ZrO_2 maddesi ile kaplanıp, kaplamaların ve pistonda oluşan termal gerilmeler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Kaplamasız pistona sahip motorda yapılan deneyde 1800 dv/dk . Ortalama gaz sıcaklık verileri alınarak 0° - 450° krank açıları arasında piston yüzeyinde oluşan sıcaklık değişimleri numerik analiz yapılarak incelenmiştir. Yüzeyi kaplamasız pistona sahip motorda yapılan deneyde yanma odasındaki sıcaklığın, yüzeyi zirkonyumla kaplı pistona sahip motordaki yanma odasındaki sıcaklıktan daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni kaplamalı piston yüzeyinde olan zirkonyumun ısı iletimi konusunda bariyer görevi görüp iletimini azalttığı ve böylece yanma odasındaki sıcaklığı daha yüksek tuttuğu tespit edilmiştir. Yüzeyi zirkonyumla kaplı pistona sahip motordaki yanma odasında oluşan yüksek sıcaklığa rağmen zirkonyum kaplı pistonun alt yüzeyinde oluşan sıcaklık değerleri kaplamasız pistona göre daha düşük olduğu, piston segman yuvalarına ve piston gövdesinde oluşan sıcaklığın yüzeyi kaplamasız pistona göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yüzeyi zirkonyumla kaplı pistonda kaplamanın bariyer görevi görüp ısının piston alt bölgelerine iletilmesini önlediğini ve yanma odasında sıcaklığın daha yüksek kalmasını sağladığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda yüzeyi zirkonyumla kaplı pistonda deformasyonun daha az olduğu, mukavemetin daha yüksek olduğu, ısı kayıplarının azalması ile yanma odasında sıkıştırma ile ateşlenen motorda sıkıştırma sonu gaz sıcaklığı arttığı ve termik verimin arttığı görülmüştür. Kaplamalı piston yüzeyinin orta bölgesinde bulunan piston başının kaplamaya rağmen yüksek sıcaklık göstermesi piston dizaynından kaynaklandığı piston başının daha uygun bir dizaynla bu sorunun da çözülebileceği tespit edilmiştir. Yapılan deneyler sonucu kaplamalı pistonun kaplamasız piston yüzeyine göre motor performansını ve verimliliğini arttırmakta olup, piston da ısı geçişlerinin azaldığı bu sayede piston deformasyonunu minimal duruma getirtip piston ömrünü uzattığı tespit edilmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] Moffa JP, Guckes AD, Okawa MT, Lilly GE. An evaluation of non precious alloys foruse with porcelain veneers. Part II. Industrial safety and biocompatibility. J Prosthet Dent 1973; 30: 432- 41.
- [2] Akagawa Y, Hosokawa R, Sato Y, Kamayama K. Comparison between free standing and toothconnected partially stabilized zirconia implants after two years' function in monkeys: a clinical and histologic study. J Prosthet Dent 1998; 80: 551-8.
- [3] Jeong SM, Ludwig K, Kern, M. Investigation of the fracture resistance of three types of zirconia posts in all-ceramic post-and-core restorations. Int J Prosthodont. 2002; 15: 154-8.
- [4] Zhou H, Yi D, Yu Z, and Xiao L (2007). Preparation and thermophysical properties of CeO₂ doped La₂Zr₂O₇ ceramic for thermal barrier coatings. J. Alloys Compds, 438: 217–221.
- [5] Heisler H (1999). Vehicle And Engine Techoology 2nd ed. SAE International, London.
- [6] Sroka ZJ (2012). Thermal load of tuned piston. Archives of Civil and Mechanical Engineering 12, 342 – 347.
- [7] Azadi M, Baloo M, Farrahi GH, Mirsalim SM (2013). A review of thermal barrier coating effects on diesel engine performance and components lifetime. International Journal of Automotive Engineering Vol. 3, Number 1.
- [8] Denry I, Kelly JR. State of the art of zirconia for dental applications. Dent Mater 2008; 24: 299- 307.
- [9] Stang JH (1978). Designing adiabatic engine components. SAE Paper, vol. 780069.

- [10] Akagawa Y, Ichikawa Y, Nikai H, Tsuru H. Interface histology of unloaded and early loaded partially stabilized zirconia endosseous implant in initial bone healing. *J Prosthet Dent* 1993; 69: 599-604.
- [11] Chevalier J. What future for zirconia as a biomaterial? *Biomaterials* 2006; 27: 535-43.
- [12] Brouwer MD, Gupta LA, Sadeghi F, Peroulis D, Adams D, (2012). High temperature dynamic viscosity sensor for engine oil applications. *Sensors and Actuators A: Physical*, Volume 173, Issue 1, Pages 102–107.
- [13] Kaya AO (2007). Plazma püskürtme ve HVOF yöntemleri kullanılarak, Cr₃C₂-NiCr(75/25) ve CrNiBSi+%80 WC-Co tozlarıyla kaplanan çeliğin yapısı ve yüzey özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [14] Helmisyah AJ, Abdullah S and Ghazali MJ (2011). Structure Integrity Analysis of Piston Crown Against Thermal Stress For Compressed Natural Gas Direct Injection Engine. Regional Tribology Conference, Bayview Hotel, Langkawi Island, 22-24, Malaysia.
- [15] Heydecke G, Butz F, Hüssein A, Strub, JR. Fracture strength after dynamic loading of endodontically treated teeth restored with different post-and-core systems. *J Prosthet Dent* 2002; 87: 438-45.
- [16] Raigrodski AJ. Contemporary all-ceramic fixed partial dentures: a review. *Dent Clin North Am* 2004; 48: 531-44.
- [17] **Wang, L.** (2013). *Thermal Cycling and Thermal Radiation Performances of Novel Thermal Barrier Coatings*. Louisiana State University.
- [18] Cerit M, Ayhan V, Parlak A, Yasar H (2011). Thermal analysis of a partially ceramic coated piston: Effect on cold start HC emission in a spark ignition engine, *Appl. Therm. Eng.* 31 (2–3) 336.

- [19] Ozel S (2009). Alüminyum alaşımı ve bronzu yüzeyine oksit ve karbür bileşiklerinin plazma sprey yöntemiyle kaplanmasının araştırılması. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [20] Shackelford JF, Alexander W (2001). Frontmatter” Materials Science and Engineering Handbook Ed. James F. Shackelford & W. Alexander Boca Raton: CRC Press LLC.
- [21] Wang X, Zhao H, Xie H (2015). Effect of piston shapes and fuel injection strategies on stoichiometric stratified flame ignition (SFI) hybrid combustion in a PFI/DI gasoline engine by numerical simulations. Energy Conversion and Management, Volume 98, Pages 387–400.
- [22] Erişim tarihi: 01 Ocak 2017.
http://www.ferroc ceramic.com/alumina_99_table.htm
- [23] Vural E (2014). Tek Silindirli Dizel Motora Uygulanan Seramik kaplamaların Motor Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği A.B.D. Karabük Üniversitesi, Karabük.
- [24] Hansen PA, West LA. Allergic reaction following insertion of a Pd-Cu-Au fixed partial denture: a clinical report. J Prosthodont 1997; 6: 144-8.
- [25] Crouse WH (1970). Automotive Engine Design. New York: Mc Graw Hill, Book Publishing, New York..
- [26] Khor KA, Gu YW (2000). Effects of stress on the performance of plasma sprayed functionally graded ZrO₂/NiCoCrAlY coatings. Materials Science and Engineering: A, Volume 277, Issues 1–2, 31, Pages 64–76.

- [27] Cerit M (2011). Thermo mechanical analysis of a partially ceramic coated piston used in an SI engine. *Surface and Coatings Technology*, Volume 205, Issue 11, Pages 3499–3505.
- [28] Gurbuz H, Gokkaya H (2014). Termal Bariyer Kaplamanın Motor Yakıt Sarfıyatı Egzoz Sıcaklığı ve Emisyonlara Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 20, Sayı 1, Denizli.
- [29] Afrasabi A, Saremi M, and Kobayashi A (2007). A comparative study on hot corrosion resistance of three types of thermal barrier coatings: YSZ, YSZ+Al₂O₃ and YSZ/Al₂O₃. *Mater Sci Eng A.*, 478 (1-2): 264-269.
- [30] Uyaroğlu A, Yucesu HS, Cıtak R (2010). Piston Arızalarının Analizi, Selçuk Üniversitesi, *Journal of Technical-Online Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu* Volume 9, Number:2, Konya.
- [31] Vedharaj S, Vallinayagam R, Yang WM, Chou SK, Chua KJE, Lee PS (2014). Experimental and finite element analysis of a coated diesel engine fueled by cashew nut shell liquid biodiesel. *Experimental Thermal and Fluid Science*, Volume 53, Pages 259–268.
- [32] Büyükkaya E, Cerit M Thermal analysis of a ceramic coating diesel engine piston using 3-D finite element method. *Sakarya university, Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering*, 4 June 2007; 398-402.
- [33] CERİT M Thermo mechanical analysis of a partially ceramic coated piston used in an SI engine, Department of Mechanical Engineering, Sakarya University, 2010.
- [34] S. Vedharaj, R. Vallinayagam, W.M. Yang [↑](#), S.K. Chou, K.J.E. Chua, P.S. Lee, Experimental and finite element analysis of a coated diesel engine fueled by cashew nut shell

liquid biodiesel, Department of Mechanical Engineering, National University of Singapore,
9 Engineering Drive 1, Singapore 117576, Singapore, 30 September 2013,

- [35] Cerit M, Çoban M, Temperature and thermal stress analyses of a ceramic- coated aluminum alloy piston used in a diesel engine. Department of Mechanical Engineering, Sakarya University, 15 October 2013.
- [36] F.S. Silva ,Fatigue on engine pistons – A compendium of case studies
Department of Mechanical Engineering, University of Minho, Azule' m, 4800-
058 Guimara' es, Portugal ,14 December 2004.
- [37] Vural E, Thermal Analysis of Al₂O₃, TiO₂ and SiC Coatings Combustion of a Diesel Engine Piston 3D Finite Element Method, Bitlis Eren University, Faculty of Engineering and Architecture, 2015.
- [38] **Wang, L., Eldridge, J. I., ve Guo, S. M.** (2013). Thermal radiation properties of plasma-sprayed Gd₂Zr₂O₇ thermal barrier coatings. *Scripta Materialia*, 69 (9), Sf. 674– 677.
- [39] Silva FS (2006). Fatigue on engine pistons – A compendium of case studies, *Engineering Failure Analysis* 13 480–492.
- [40] <http://autoelexblog.blogspot.com.tr/>

