

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ADAYABATİK MOTORLARDA  
ENERJİ TASARRUFU**

**Mak.Müh.Abdalla A.S.ABDALLA**

**F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Enerji Programında**

**Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı: Doç.Dr. Orhan DENİZ**

**İSTANBUL, 1994**

## İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	iii
SEMBOL LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	x
KISALTMALAR LİSTESİ	xi
TEŞEKKÜR	xii
TÜRKÇE ÖZETİ	xiii
ABSTRACT (İNGLİZCE ÖZET)	xv
<b>BÖLÜM I</b>	
1. AMAÇ	1
1.1 İdeal Çevrimlere Ait Genel Bilgi	1
1.1.1 Pistonlu Motorların Genel Çevrim	2
1.2. Adayabatik Motor Kavramı	4
1.3. Çalışmanın Amacı	6
<b>BÖLÜM II</b>	
2. MOTOR PERFORMANSA AİT GENEL BİLGİLER	9
2.1. Efektif Güç	9
2.2. Motor Momenti	9
2.3. Ortalama Efektif Basıncı	10
2.4. Özgül Yakıt Tüketimi	10
2.5. Mekanik Verim	11
2.6. Termik Verim	11
2.7. Volemetrik Verim	11
<b>BÖLÜM III</b>	
3. MOTORLARDA ISI DAĞILIMI	13
3.1. Isı Dağılımının Hesaplaması	17
3.1.1. Yanma Sonucu Oluşan Isı	17
3.1.2. Faydalı İşe Sarf Edilen Isı	18
3.1.3. Gazlarla Dışarı Atılan Isı	18
3.1.4. Yağlama Yağın Geçen Isı Miktarı	19
3.1.5. Eksik Yanma Nedeniyle Kaybolan Isı	19
3.1.6. Soğutma Sistemine Giden Isı	19

3.1.6.1.	Radyasyon Yolu İle Isı Geçişi	20
3.1.6.2.	Konveksiyonla Isı Geçişi	21
3.2	Isı Dağılımı	25
3.3	Çeper Sıcaklıkların Hesaplanması	26
3.3.1.	Standart Motor İçin Çeper Sıcaklıklarını Hesaplanması	26
3.3.2.	Seramik Kaplamalı Motor İçin Isı Akışının ve Çeper Sıcaklıkları Hesaplanması	29
3.4	Isı Yalıtım Oranı	33

#### BÖLÜM IV

4.	MOTORLARDA YALITIM İŞLEMLERİ	43
4.1.	Seramik Kaplamalar	43
4.1.1.	Seramik Kaplama Malzemeleri	45
4.1.1.1.	Sert Üst Tabaka Kaplama	53
4.1.1.2.	Isıl Bariyer Kaplamaları	53
4.2.	Kaplama Tekniği	55
4.2.1.	Alevle Püskürtme Tekniği	55
4.2.2.	Plazma Püskürtme Tekniği	59
4.2.3.	Detonasyon Tabancası Tekniği	61
4.2.4.	PVD ve CVD Teknikleri	62
4.3.	Uygulamalar	62

#### BÖLÜM V

5.	Adayabatik Motorlarda Beklenen Özellikler	66
5.1.	Genel Bilgi	
5.2.	Dizaynda Yapılması Gerekli İşlem Değişiklikleri	73

#### BÖLÜM VI

6.	Sonuçlar ve İrdeleme	75
----	----------------------	----

KAYNAKLAR	78
-----------	----

EK 1	81
Ek 2	82
EK 3	83

## SEMBOLLER

$A_c$	: Soğutucu alanı ( $m^2$ )
$A_g$	: Gaz alanı ( $m^2$ )
$A_m$	: Gaz ve soğutucu ortalama alanı ( $m^2$ )
$b_e$	: Özgül yakıt tüketimi (gr/kWh)
$C_m$	: Ortalama piston hızı (m/sn)
$C_p$	: Sabit basınçta sıvı özgül ısısı ( $J/kg^{\circ}C$ )
$C'_p$	: Sabit basınçta taze dolgunun molar ısı kapasitesi ( $J/kmol^{\circ}C$ )
$C''_p$	: Sabit basınçta yanma ürünlerinin molar ısı kapasitesi ( $J/kmol^{\circ}C$ )
$F$	: Fren kuvveti , Yük (N)
$G$	: Akan gaz kütlesi(kg/h)
$G_f$	: Saatteki yakıt sarfıyat (kütlesi) (kg/h)
$G_o$	: Girebilecek ideal yakıt-hava karışımının ağırlığı (kg)
$G_s$	: Soğutucu su miktarı (kg/h)
$g_o$	: Kuvvet-kütle -ivlendirme sabiti
$H_u$	: Yakıt alt ısııl değeri ( $J/kg$ )
$h_g$	: Gaz tarafındaki ısı taşınım katsayısı ( $J/m^2h^{\circ}C$ )
$h_s$	: Soğutucu tarafındaki ısı taşınım katsayısı( $J/m^2h^{\circ}C$ )
$K$	: Toplam ısı iletim katsayısı ( $J/m^2h^{\circ}C$ )
$k$	: Duvar ısı iletim katsayısı( $J/mh^{\circ}C$ )
$k_s$	: Yalıtım tabakasının ısı iletim katsayısı ( $J/mh^{\circ}C$ )
$L$	: Dinometrenin yük kolu uzunluğu (m)
$l$	: YO'nın duvar kalınlığı (m)
$l_s$	: Yalıtım tabakası kalınlığı (m)
$M_d$	: Döndürme momenti (N m)
$M_1$	: Taze havanın molar kütlesi (kmol/kg)
$M_2$	: Egzoz gazların molar kütlesi (kmol/kg)
$Nu$	: Nuselt katsayısı
$P$	: Yanma odasının basıncı ( $N/m^2$ )
$P_e$	: Efektif güç (kW)
$P_{me}$	: Ortalama efektif basıncı ( $N/m^2$ )
$P_s$	: Sürtünme gücü (kW)

Pr	: Prandlt katsayısı
Q	: Birim zamanda akan ısı miktarı (J/h)
$Q_c$	: Soğutma sistemine giden ısı miktarı (J/h)
$Q_c$ (SKM)	: Seramik kaplamalı motorda soğutma sistemine giden ısı miktarı (J/h)
$Q_c$ (SM)	: Standart motorda soğutma sistemine giden ısı miktarı (J/h)
$Q'_c$	: Çeperden soğutucuya geçen ısı miktarı (J/h)
$Q_e$	: Faydalı ısı (J/h)
$Q_g$	: Egzozdan atılan ısı miktarı (J/h)
$Q_h$	: $A_g$ yüzeyinden birim zamanda geçen ısı miktarı (J/h)
$Q_i$	: Eksik yanma ile atılan ısı miktarı (J/h)
$Q_o$	: Yağlama yağın geçen ısı miktarı (J/h)
$Q_r$	: Atık kayıplar enerjisi (J/h)
$Q_{rad}$	: Isı radyasyonu (J)
$Q_T$	: Toplam ısı miktarı (J/h)
$Q_w$	: Çeper içinden geçen ısı miktarı (J/h)
$Q_{wi}$	: Yalıtım tabakasından geçen ısı miktarı (J/h)
$Q_{wo}$	: SKM'unda metal duvardan geçen ısı miktarı (J/h)
$Q_1'$	: Sabit hacimde yanma ısısı (J/h)
$Q_1''$	: Sabit basınçta yanma ısısı (J/h)
$Q_2'$	: Sabit hacimde yanma gazların dışarı atılma ısısı (J/h)
$Q_2''$	: Sabit basınçta yanma gazların dışarı atılan ısısı (J/h)
$q_c$	: Soğutma ısının yüzdesi (%)
$q_e$	: Faydalı ısının yüzdesi (%)
$q_g$	: Gazlara geçen ısının yüzdesi (%)
$q_i$	: Eksik yanma yüzünden dışarı atılan ısının yüzdesi (%)
$q_o$	: Yağlama yağın geçen ısının yüzdesi (%)
$q_r$	: Artık kayıplara geçen ısının miktarı (%)
Re	: Renolds katsayısı
S	: Entropi (J/kg)
T	: Yanma odanın sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
$T_c$	: Soğutucu çıkış sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
$T_g$	: Ortalama gaz sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
$T_{sc}$	: Soğutucu tarafı yüzey sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
$T_{sg}$	: Gaz tarafı yüzey sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
$T'_{sg}$	: Seramik-metal sınır sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )

$T_o$	: Ortam sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )
$t$	: Zaman (h)
$V$	: Yanma odasının hacmi ( $\text{m}^3$ )
$V_e$	: Girilecek ideal taze hava hacmi ( $\text{m}^3$ )
$V_h$	: Toplam kurs hacmi ( $\text{m}^3$ )
$V_o$	: Girilebilecek ideal taze hava ( $\text{m}^3$ )
$V_y$	: Yakıt hacmi ( $\text{m}^3$ )
$\eta$	: Dinamik viskozitesi ( $\text{N}\cdot\text{sn}/\text{m}^2$ )
$\eta_{ad}$	: Isı yalıtım oranı (%)
$\eta_m$	: Mekanik verim (%)
$\eta_t$	: Termik verim (%)
$\eta_{lv}$	: Volemetrik verim (%)
$\sigma_{rad}$	: Radyasyon katsayısı (Nuselt'e göre 0.362)
$\gamma$	: Yakıtın özgül ağırlığı ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

## ŞEKİL LİSTESİ

### BÖLÜM I

- Şekil 1.1 Motorların Genel Durumu İçin İdeal Çevirim 3
- Şekil 1.2 Turboşarj, Turbokombine ve Rankine Motor Düzenekleri 7

### BÖLÜM II

- Şekil 3.1 Motorlarda Isı Dağılımı 14
- Şekil 3.2 Isı Akış Diyagramı 20
- Şekil 3.3 Karışım Oranı ve Dönme Sayısına bağlı Olarak Isı Dağılımı 26
- Şekil 3.4 Standart Motor ve Seramik Kaplamalı Motor Isı Akış Diyagramları 31
- Şekil 3.5 Isı Yalıtım Oranı ile Özgül Yakıtının Tüketiminin Değişimi 36
- Şekil 3.7 Isı Yalıtım Oranının Yalıtım kalınlığıyla 39
- Şekil 3.6 Cidar ve Gaz Sıcaklıkları ile Isı Yalıtım Katsayısı 38
- Şekil 3.8 Isı Yalıtım Oranı ile Völemetrik verimin Değişimi 40

### BÖLÜM IV

- Şekil 4.1 Tipik Seramiklerin ve Dökme Demirin Genleşme Katsayısı 44
- Şekil 4.2 Tipik Seramiklerin Isı İletim Değerleri 44
- Şekil 4.3 Tek ve Çok Tabakalı Termal Bariyer Kaplaması 46
- Şekil 4.4 Değişik Seramik Tozlarıyla İlgili Yayınların Sayısı 49
- Şekil 4.5 Çubuk ile Çalışan Sistemin Şeması 57
- Şekil 4.6 Alevle Seramik Tozu Püskürtme Tesisati 58
- Şekil 4.7 Plazma Tabancısının Şematik Görünüşü 60
- Şekil 4.8 Detonasyon Tabancısının Şematik Görünüşü 61

Şekil 4.9 Cummins Adiabatic Turbokombine Motoru	65
<b>BÖLÜM V</b>	
Şekil 5.1 Standart ,Turboşarj veTurbo kombine Motorların Enerji Dengesi Karşılaştırılması	70
Şekil 5.2 Özgül Yakıt Tüketiminin Egzoz $NO_x$ Atıkları ile Değişimi	71
Şekil 5.3 Özgül Yakıt Tüketiminin Egzoz $CH_x$ Atıklarıyla Değişimi	72
<b>EK III</b>	
Şekil E.3.1 KGDD'den İmal Edilen Tek Parçalı Piston	83
Şekil E.3.2 KGDD ve Aluminyom Pistonlar İçin Genleşme Payı	83
Şekil E.3.3 Piston Dizaynında Üst Kısmı Metaldan ve Alt Kısmı Aluminyum alaşımından	84
Şekil E.3.4 Piston Dizaynında Üst Kısmı KGDD'dan ve Alt Kısmı Aluminyum Alaşımından	84
Şekil E.3.5 YO'nın Isı Yalıtımı Oranı İle Cidar Sıcaklıkları	85



**TABLO LİSTESİ****BÖLÜM III**

Tablo 3.1 Isı Dağılımı	14
Tablo 3.2 Motor Parçalarının Isı Yalıtım Oranı	35
Tablô 3.3 Motor Parçalardan Soğutucuya Geçen Azalma Oranı	35
Tablo 3.4 Bazı Özel Pistonlardan Isı Miktar	41

**BÖLÜM IV**

Tablo 4.1 Seramik Kaplamalar ve Uygulama Alanları	50
Tablo 4.2 Bazı Seramiklerin Özellikleri	52
Tablo 4.3 Seramik Kaplama Teknikleri ve Kaplanan Malzemeler	56

**BÖLÜM V**

Tablo 5.1 Düşük Kaliteli Yakıtları İçin Motor Kararakteristikleri	68
--	----

**EK II**

Tablo E.2 Alüminyum alaşımını ve KGDD'nin Özellikleri	82
--	----

## KISALTMALAR

- AÖN : Alt ölü noktası
- CaPSZ : Kalsiyumla stablize edilmiş zirkonya
- KGDD : Küresel grafitli dökme demir
- MgPSZ : Magnizyumla stablize edilmiş zirkonya
- PSZ : Kısmen stablize edilmiş zirkonya ( $ZrO_2$ )
- SKM : Seramik kaplamalı motor (Düşük ısı kayıplı motor)
- SM : Standart motor (Konvesyonel motor)
- ÜÖN : Üst ölü noktası
- Yo : Yanma odası

**TEŞEKKÜR**

İçtan yanmalı motorların ısı kaybını minimuma indirmek ve genel motor verimini iyileştirmek amacı ile bir çok çalışmalar yapılmaktadır . Son yıllarda ileri teknoloji seramiklerin ve kaplama teknolojisinin gelişmesi ile motorlarda ısı kaybını azaltması ve enerji tasarrufu daha önem kazanmıştır .

Çalışmanın gerçekleşmesinde her türlü ilgi ve yardımını esirgemeyen sayın hocam Doç.Dr. Orhan DENİZ'e teşekkürü borç olarak bilirim . Aynı zamanda bana teşvik eden Enerji Bölüm Başkanı sayın hocam Prof.Dr. Raif DURAK'a teşekkür ederim . Tezin hazırlamasında eme ği geçenlere teşekkür ederim .

müh. Abdalla A.S. ABDALLA

1994 - İSTANBUL

**ÖZET**

İçtan yanmalı motorlarında kullanılan toplam enerjinin ancak %30-45 kadarının faydalı hale dönüştüğü bilinen bir gerçektir. Silindirde yakılan yakıtın %55-70'i ise motor parçaları aşırı sıcaklıktan korumak maksadıyla yapılmış bulunan soğutma donamına ve ortalama 500°C sıcaklıktaki egzoz gazlarına geçerek atmosfere atılır . Soğutma sistemine geçen enerjiyi mümkün olduğu kadar minimuma indirmelidir . Çünkü 1973 yılında petrol fiyatları yükseldiği için ve ileride enerji kaynakları tükenmek üzere enerji tasarrufu sağlamamız lazımdır . Bu kayıpları azaltmak için yapılan çalışmalar seramik kaplama teknolojisi gelişmesi ile adyabatik motoru yapılmıştır . Adyabatik daha fazla faydalı hale getirmemizi için , soğutma sistemine giden enerji ortadan kaldırmayı amaçlamakta ve egzoz sistem vastasıyla atmasfora atılan enerji türboşarj,türbokombine veya rankine düzenek ekleyerek güce dönüştürülmektedir.Bu yolla atık egzoz enerjisi faydalı hale getirilir ve motor performansı iyileştirilir .

Endüstride kullanılan malzemelerin kalitelerini daima ilgi çekici bir araştırma konusu olmuştur . Fakat malesef tamamen seramiktan yapılma parçaları üretmek zordur . Seramikler bu dezavantajlarını ortadan kaldırabilmek için metalik malzeme üzerine kaplama yoluna gidilmektedir . Seramiklerin metaller üzerine kaplamaları iki malzemenin ( metal - seramik ) termal genleşme katsayılarının uygunluğu ile doğrudan ilgilidir . Özellikle motor parçalarının daha yüksek termik , mekanik , korozyon ve aşınma mukavemetine sahip olması için çalışmalar çok hızlı bir şekilde devam etmektedir . Isı yalıtımı maksadı ile yapılan kaplamalarda kaplama tekniği , kaplama kalınlığı ve kaplama malzemesi başarıya etki eden önemli bir unsurudur .

Düşük ısı kaybı sağlamak amacı ile dizel motorlarında yapılan kaplamalar , soğutma sistemine geçen enerjiyi azaltmaya hatta mümkünse soğutma sistemini tamamen ortadan kaldırmayı amaçlanmaktadır . Soğutma sistemi elemanları küçülmesi ile yada ortadan kalkması ile ağırlık parça maliyeti ve ekonomisi , motorun gücünün artması beklenen en önemli özelliktir . Bugün tam adayabatik motorda soğutma sistemine ve çevreye giden enerjisini ancak %70-80'i azaltmaktadır ve böylece faydalı enerji artacak ve motorun genel verimi yükselecektir . Bundan dolayı yanma odanın ve egzoz sıcaklıklarını artıracaktır . Daha yüksek cidar ve gaz sıcakları çok çeşitli ve daha az kaliteli (düşük sitenli sayısı) yakıt kullanmasına imkan verecektir ve bu kalın yakıtı kolayca yakılabilir . Burada tutuşma gecikmesi azaltılması sebebi ile kontrolsüz yanmadan kaynaklanan vuruntu ve gürültü azalarak daha sesiz bir dizel motor çalışmasına imkan verilir .

Motorda soğutucuya giden ısı kayıplarını azaltarak soğutma yükünü hafifletmek , cidar sıcaklarını artırarak tutuşma gecikmesini azaltıp yanmayı iyileştirmek , yüksek atık gazların erjisinden yararlanarak aşırı dodurma sistemlerde (Tezin içinde bu sistemlerinden bahis edilmeyecektir) daha fazla verim elde etmek ve böylece motorun verimi artacaktır.

Stadart bir dizel motorunun yanma odası ( YO ) elemanları, ısı iletimi düşük bir seramik malzeme ile kaplandığında motorun daha önceki dizayn ve işletme özellikleri değişir. Sonuç olarak optimum şartlarına göre yeni bir motor ihtiyaç duyulmuştur .

**ABSTRACT**

Diesel engines currently reject up to 36% in exhaust and 29% in cooling system of the total fuel energy. We can say that, energy losses to the exhaust and cooling system represent approximately two-thirds of the energy input. Because of increasing petroleum costs there is growing interest in techniques that can utilize this waste heat to improve overall system efficiency. This thesis presents an adiabatic diesel engine concept in which high performance Ceramics are used in its design. The adiabatic engine will be able to operate at higher temperatures, reduced heat loss by cooling system and higher exhaust energy recovery by turbocharge, turbocompound and Rankine resulting in higher thermal engine efficiency.

This thesis will cover the role of the high technology fine Ceramics in future engine concepts. It will attempt to point out the problem areas and the technical approach to overcome them. Technical difficulty of using ceramics as structural component is the scattering of strength. Due to the brittleness of ceramics, its strength is highly dependent on an existence of fine flaws produced in the course of manufacture ceramic components must continue to withstand these higher pressure and temperature. The composite approach is use of suitable ceramic materials in the hot combustion and exhaust zone together with cast iron or aluminum engine parts. It is quite obvious that with the composite design, the ceramic material coefficient of thermal expansion should be similar to the metal. Also, the satisfactoriness of the bonding layer, coating technique, type of ceramic coating powder and the coating thickness affect the quality or success of the coating. In many ceramics materials, expansion coefficient, conductivity, etc. can be varied to meet the needs of application. Some of the

current favorite monolithic ceramics and coatings which have satisfactorily met the needs of the adiabatic diesels were presented . Materials used for coating of cylinder liner and piston ring will have very good wear and scuffing resistance and seemed to have withstood the lack of lubrication of the high temperature .

An adiabatic diesel engine is analyzed in this thesis to demonstrate ,that the diesel cycle without cooling system could be the beginning of a new era in continued diesel engine efficiency, reliability and durability . Elimination of the engine cooling system including cooling fans, pumps, radiators, hoses, shrouds, etc. would greatly reduce parasitic losses but this is now very difficult . As the development of the adiabatic diesel engine continues with a goal of %65-80 reduction in net in-cylinder heat transfer over a cooled engine, several uncooled engines with intermediate level of reduced heat transfer . Heat insulated engine undergoes a combustion process different from that of the conventional water-cooled engine when combustion is made in heat-insulated combustion chamber with high wall temperature. Due to the elevated temperature of combustion chamber in the insulated engine ignition delay was significantly shortened and helped to burn low cetane fuel which conventional water-cooled diesel engines can not use. It's also observed that the amount of heat lost to the cooling water decreases proportionally as the engine speed increases while mean effective pressure is constant. Exhaust gas temperature and exhaust energy have increased while mean effective pressure did not change . Effective power and the total energy increase as the engine speed increases.

The adiabatic engine contains the heat in the combustion chamber at higher temperature , and opening of the exhaust valves , the higher temperature exhaust gases are available

for work . Conversion of the greater available energy in the exhaust gas can be manifested by means of turbocharge, turbocompound or rankine . However , the combustion of the turbocompound system and the rankine bottoming cycle offers the maximum benefit .

As a measure to correct the above mentioned defects air flow in the combustion chamber and fuel atomization were improved to optimum conditions and the shape of the combustion chamber was modified because the fuel injected after initial combustion in heat-insulated engine .





## BÖLÜM I

### I. AMAÇ

Enerji fiyatlarındaki , bilhassa petrolden sağlanan enerji fiyatlarındaki artış , enerji tasarrufu ~ konusu gündeme getirmiş ve uzun yıllar da gündeme tutmuştur .

Gelişmekte olan her hangi bir ülke , refah düzeyi ve hayat standardı artışlarının sonucunda , enerji talebi hızla artmaktadır . Uzun yıllar bol ve ucuz bir enerji kaynağı olan ve dünya enerji üretiminde birinci sırayı alan petrol, 1973 Arap petrol ambargosunun getirdiği ekonomik kriz ile enerji darboğazına girilmekte olduğuna gösteren bir uyarıcı olmuştur . Bugünde , enerji fiyatlarının normal seyrine rağmen klasik enerji kaynaklarının yakın gelecekte tükeneceği ihtimali , yeni ve yenilebilir alternatif enerji kaynakları arayışını yanı sıra , en ucuz enerji akıllıca kullanılan enerjidir fikrinden hareketle enerji tasarrufu ve onu verimli şekilde kullanma arayışları devam etmektedir . Görülyorki tasarruf tedbirlerine dikkat edilmeyip günlük hayatımızda küçük gürülen enerji ihmallerine ilgi gösterilmeyip neticede aylık,hatta senelik değerlendirmeler yapılıncı büyük rakamlar ortaya çıkmakta , küçük ihmaller büyük boyutlara ulaşmaktadır . Motorlarda enerji tasarrufu imkanlarının değerlendirilmesi ve dikkaate değer sonuçlar alınmasıyla bu konu ile ilgili gittikçe artmaktadır .

#### 1.1. İdeal Çevrimlere Ait Genel Bilgiler

İçten yanmalı pistonlu motor , yakıtın silidinde yanması ile oluşan ısı enerjisinin bir kısmı faydalı işe dönüşmekte, bir kısmı motorun soğutulması esnasında kaybolmakta, diğer bir kısmı da egzoz gazları ile dışarı atılmakta ve pek azı da sürtünmeleri yenmek için sarfedilmektedir. Termodinamiğin ikinci kanuna göre , sıcak bir kaynaktan faydalı iş elde etmek içinisi enerjisinin bir kısmını soğuk kaynağa vermek

gerekmektedir . Zira ısı enerjisinin tamamı faydalı işe dönüşmez . Motorda meydana gelen olaylar , İdeal çevirim ile gerçek çevrimin yani çalışmakta olan motorların karşılaştırılması ile tanınır . Bu karşılaştırma ile, aynı zamanda , çevrimin ekonomik durumu yani efektif belirlenir .

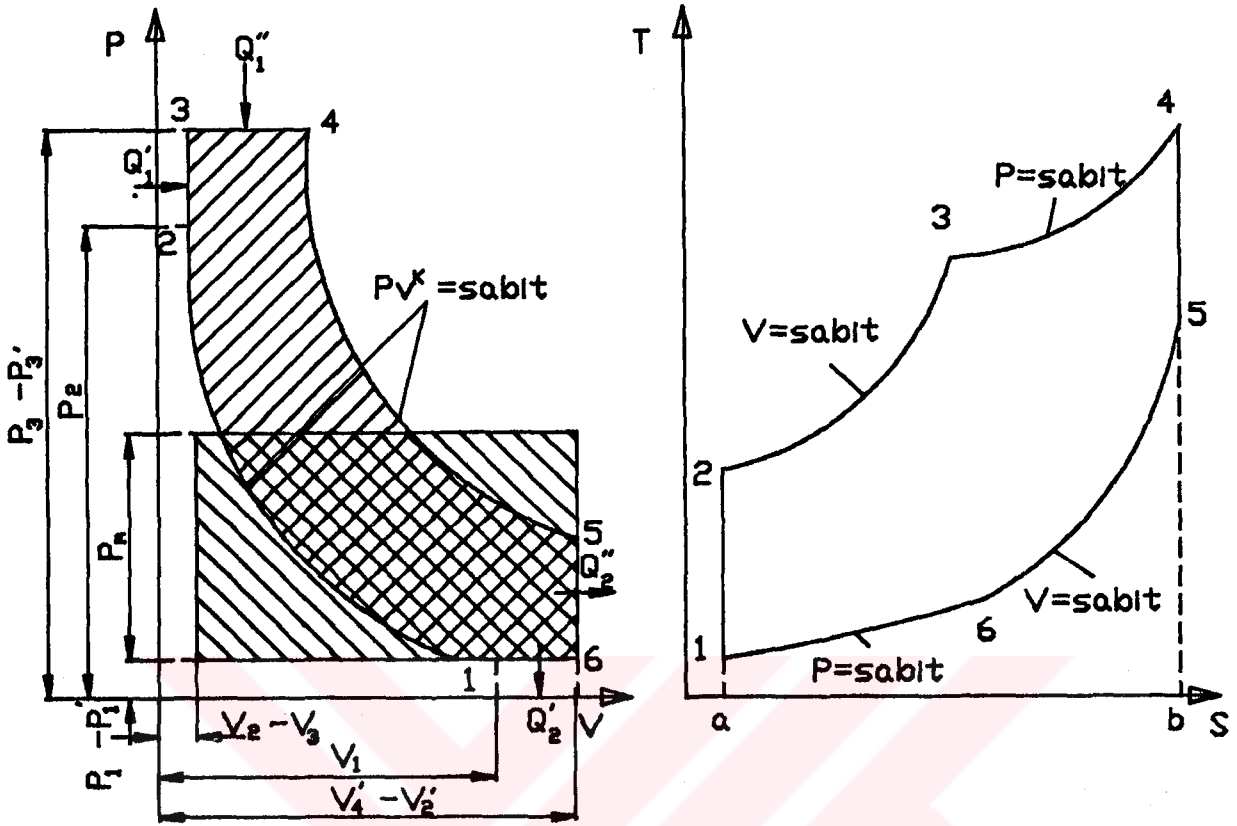
İdeal çevrimin hesaplanabilmesini sağlamak için, çalışmakta olan motorda meydana gelen olaylar göz önüne alınarak , aşağıdaki varsayımlar yapılır .

- 1- Gazların , iş yaptıkları sürece , miktarları , fiziksel kimyasal özellikleri değişmemektedir . Ayrıca özgül ısılar sıcaklığa bağlı olmayıp sabittirler .
- 2- Gerek sıkıştırma ve genişleme olayları tersinir ve adyabatik olarak cereyan eder . Yani iş yapan gazlarla çeperler arasında ısı alışverişi olmaz .
- 3- Yakıtın yanması ve yanma ürünlerin dışarı atabilmesi sabit hacimde ( $V=\text{sabit}$ ) yada sabit basınçta ( $P=\text{sabit}$ ) cereyan eder . (Yani kullanılan çevrime bağlıdır.)

Bu varsayımlara göre cereyan eder çevrime , ideal çevrim çevrimin varsayımlara göre elde edilen sonuçları, çalışmakta olan motordan elde edilen sonuçlara uymamakla beraber , araştırmalara yol gösterme bakımından önemlidir . Bunun nedeni ise , çalışmakta olan motorlarda , sıkıştırma ve genişleme olayları esnasında silindir çeperleri ile çalışma ortamı arasında, çok fazla sıcaklık farkı olduğundan daima ısı alışverişi ve dolayısı ile ısı kaybı olmasıdır. Ayrıca yanma olayının hiç bir zaman sabit basınçta ve sabit hacimde meydana gelmemektedir .

### 1.1.1. Pistonlu Motorların Genel çevrim

İçten yanmalı pistonlu motorun genel ideal çevriminde , yakıtın yanması sonucu oluşan ısı sabit basınçta ve sabit hacimde çevrime girer ve çevrimden çıkar. Böyle bir çevrime ait olan (  $P-V$  ) ve (  $T-S$  ) diyagramları şekil 1.1'de gösterilmiştir .



Şekil 1.1 Motorların Genel Durumu İçin İdeal Çevrimin  
( P-V ) ve ( T-S ) Diyagramları

Bu çevrimin basınç-hacim ( P-V ) ve sıcaklık-entropi ( T-S ) diyagramlarda :

- (1-2) eğrisi , adyabatik sıkıştırma
- (2-3) eğrisi , sabit hacimde yanma
- (3-4) eğrisi , sabit basınçta yanma
- (4-5) eğrisi , adyabatik genişleme
- (5-6) eğrisi , sabit hacimde yanma gazların dışarı atılması
- (1-6) eğrisi , sabit basınçta yanma gazların dışarı atılması olayları tanımlanmaktadır .

Yukardaki anlatılan ideal çevrimin gerçekleşmesi biraz zordur . Motorun yanma odası ilı çalışma ortamlar arasında, çok fazla sıcaklık farkı olduğundan daima ısı alışverişi

ve bundan dolayı ısı kaybolmasıdır . Bunun için ideal çevrime ulaşması biraz zordur . Bu ısı kayıplarını azaltmak amacıyla yanma odası elemanlarını seramik malzeme kaplamalarına ihtiyaç duyulur. Motorda ısı yalıtımı yapılması, cidar vegaz sıcaklarının artması ile başta tutuşma gecikmesinin azalması olmak üzere ve termik veriminde artışa sebep olur . Bu şekilde ideal çevriminin termik verimine ulaşmaya çalışılmaktadır .

## 1.2. Adayabatik Motor Kavramı

İçten yanmalı motorlarda kullanılan toplam enerjinin ancak %30-45 kadarının faydalı hale dönüştüğü bilinen bir gerçektir . Silindirde yakılan yakıtın %60-70'i ise motor parçaları aşırı sıcaktan korumak maksadı ile yapılmış bulunan soğutma donanımına ve ortalama 500-600°C sıcaklıktaki egzoz gazlarına gerçek atmosfere atılır . Kayıp enerjiyi faydalı hale getirmek için , genişleme zamanındaki faydalı işi artırmak , egzoz ve soğutma kayıplarını azaltma etkin çözüm yöntemleridir . Bu kayıpları azaltmak için yapılan çalışmalar seramik kaplama teknolojisinin gelişmesi ile seramik kapmalı motor (SKM) yada düşük ısı kayıplı motor kavramını oluşturmuştur . Motorlarda , gaz türbinlerinde ısı kayıplarını azaltmak maksadıyla yanma odasının seramik bir tabaka kaplanması veya seramik yanma odası elemanları yapımı önemli bir gelişme göstermektedir . Düşük ısı iletimine sahip malzemeler olan seramiklerin , malzeme teknolojisindeki gelişmelerle fiziksel, termal ve kimyasal özelliklerini istenen şartlara yaklaştırarak geniş bir alanda kullanım imkanı sunmaktadır. Seramikler daha yüksek sıcaklıklara dayanmaları sebebiyle metallere göre daha ilgi çekici durumdadır .

Bugün ileri teknoloji seramikleri olarak ifade edilen bu malzemeler , seramik kaplama olarak ilk defa 1940'ların sonlarıyla 1950'lerde denendi . 1960'larda roket nozülleri, gaz türbini kanatcıkları, yanma odası elemanları, kaplanması düşünülen ilk parçalardır . 1970'lerde gaz türbininin çeşitli kısımlarında yapılan kaplama uygulamaları sonunda, başarılı ve geniş bir test performansı sağlanmıştır . Günümüzde ısı yalıtımı sağlayan ileri teknoloji seramikleri, gaz türbini ve dizel motoru parçalarında kullanılmaktadır .

Seramik kaplamalı motorlar yada düşük ısı kayıplı motorlar veya başka bir ifade ile adayabatik motorlar olarak bilinen motorlarının termal bariyer kaplaması \* yapılır. 1970'lerden sonra dizel motorlarının yanma odası elemanlarında metal yüzey üzerine kaplama yapılarak kullanılmaya başlanmış ve hala üzerinde çalışmalar devam etmektedir . Araştırmalar malzeme teknolojisinin yanısıra kaplama tekniği olarak da gelişmelerin hızını etkilemektedir .

Isı yalıtımı maksadı ile piston kafaları, silindir gömlekleri, supaplar, silindir kafa yüzeyi, egzoz portu , manifolduler türboşarj ve türbokombine parçaları olmak üzere bir çok motor elemanı seramik kaplama yapılabilir. Bu tam adayabatik motoru denir. Adayabatik motorunda yanma odasının sıcaklığı aşağıdaki faktörlere bağlıdır ;

- 1- Yük durumu (Ağır yada hafif)
- 2- Hava-yakıt oranı (Fakir yada zengin)
- 3- Taze (dolgu) havanın sıcaklığı
- 4- İnjektasyon zamanlaması

Adayabaik motorunda soğutma sistemi tamamen yok edilmiştir. Böylece soğutma sistemin boşluklarını ve parça miktarını

---

(\* ) Motorlarda ısı bariyer kaplamalar bölüm 4.1.1.2.'de anlatıldı .

azaltmaktadır. Sonuç olarak parazit kayıplarını \* azaltarak faydalı enerjiden dolayı artış önemli avantajlar elde edilir . Soğutmasız motordaki , soğutma donanımı tamamen motordan kaldırılmasıyla hacimden ve ağırlıktan kazanılmıştır (Kamo ve Bryazik, 1984) .

Bazı motorlarda ( seramik malzeme kullanmadan ) alüminyum alaşım yerine dökme demir yada küresel grafitli dökme demir (KGDD) piston ve silindir malzeme olarak kullanıp ve burada KGDD ısı iletim katsayısı düşük olduğu için ısı kayıplarını azaltarak ve soğutma sistemine giden ısı azaltarak özgül yakıt tüketimine belli fayda sağlamıştır ve termik verimde artma meydana gelmiştir ( Ek 2 ). Burada soğutma sisteminin etkisini bir kısmı ortadan kaldırıldığı için yarı-adayabatik motor adı verilmiştir (kirloskar ve Chandorkar,1979 ve Wacker ve Sander,1982). Segmanlar sayısı 3'den 2'ye kadar indirilebilir .

Sonuç olarak , seramik kaplanan dizel motorundan istenen başlıca aşağıdaki gibidir (Kamo ve Bryazik,1984) .

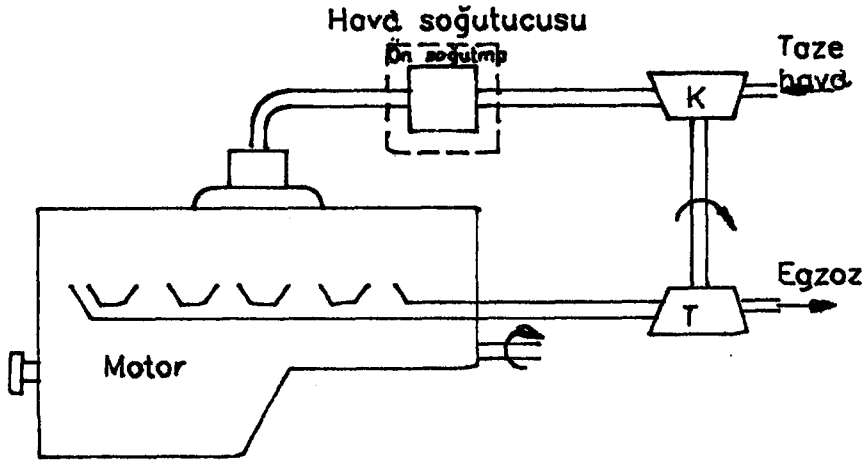
- 1- Yanma odası çeperlerin sıcaklığı yüksek olmalıdır .
- 2- Soğutma sistemine geçen ısı minimuma düşürmeli yada soğutma sistemi tamamen ortadan kaldırılmalıdır .
- 3- Yüksek egzoz enerjisi çoğu faydalı enerjisine dönüşümü sağlanmalıdır .
- 4- Termik verimi yüksek istenir .

### 1.3. Çalışmanın Amacı

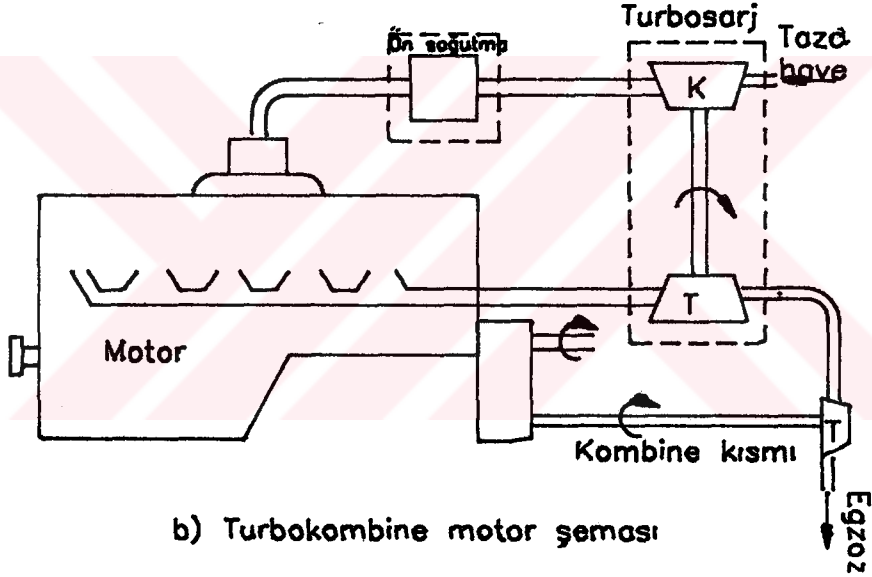
İleri teknoloji seramiklerinin gelişmesiyle birlikte son yıllarda dizel motorlarının YO elemanlarında seramik

---

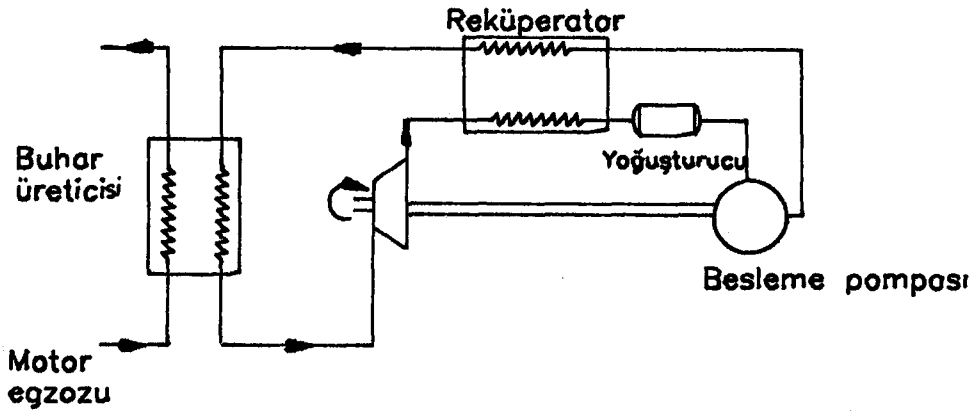
(\*) Soğutma sisteminde su pompası,fan gibi parazit kayıpları denir .



a) Turboşarj motor şeması



b) Turbokombine motor şeması



c) Rankine kombine motor şeması

Şekil 1.2 Turboşarj ;Turbokombine ve Rankine Motor Düzenekleri

kaplamaları (termal bariyer kaplamaları) kullanılması üzerine geniş araştırmalar yapılmaktadır.Seramik kaplamaları motorların üzerine 1980'lerde başlayan uygulamaya yönelik çalışmalar ısı kayıplarını azaltmayı ve motor performansını artırmayı amaçlamaktadır . Motorda soğutucuya giden ısı kayıplarını azaltarak soğutma yükünü hafifletmek , cidar sıcaklıklarını artırarak tutuşma gecikmesini azaltılıp yanmayı iyileştirmek, egzoz gazı sıcaklıklarını artırarak aşırı doldurmalı sistemlerde daha fazla verim elde etmek ve kısaca termik verimi iyileştirmek düşük ısı kayıplı yada adayabatik motorların esas hedefleridir . Aşırı doldurmayı sistemlerin motor düzenekleri şekil 1.2'de gösterilmiştir .





## BÖLÜM II

### 2. MOTOR PERFORMASA AİT GENEL DENKLEMLER

Motor performansının tesbiti için yapılan deneysel çalışmalarda doğrudan bulunmayan değerler, performans karakteristiklerini veren denklemlerle hesaplanırlar . Efektif güç, moment, özgül yakıt tüketimi, ortalama efektif basınç, mekanik verim ile völemetrik veriminin başındadır . Efektif güç motor krank milinden alınan net güçtür . İndike güçten sürtünme gücü ve diğer kayıpların çıkması ile tesbit olunur .

#### 2.1. Efektif Güç

Efektif güç hesaplamasında kullanılan genel denklem ise ;

$$P_e = P_{me} \cdot V_h \cdot n \cdot i \quad (2.1)$$

$P_e$  : Efektif güç (kW)

$V_h$  : Toplam kurs hacmi (m<sup>3</sup>)

$P_{me}$  : Ortalama efektif basınç (N/m<sup>2</sup>)

$n$  : Motor devir sayısı (d/sn)

$i$  : Bir devirdeki çevrim adedi (çevrim/devir)

4 zamanlı motorlarda (1/2)

2 zamanlı motorlarda ( 1 )

#### 2.2. Motor Momenti

Motor momentinin ölçülmesinde dinamometre yük kolu mesafesi ve uygulanan yük (fren kuvveti) etkilidir .

$$M_d = F \cdot L \quad (2.2)$$

$M_d$  : Döndürme momenti (Nm)

$F$  : Dinamometreye uygulanan kuvvet (N)

$L$  : Dinamometrenin yük kolu uzunluğu (m)

### 2.3 Ortalama Efektif Basınç

Motor için önemli bir karakteristik özellik olan ortalama efektif basınç ( $P_{me}$ ) genel olarak aşağıdaki denklem kolayca hesaplanabilir .

$$P_{me} = P_e / ( V_h \cdot i \cdot n ) \quad (2.3)$$

$P_{me}$  : Ortalama efektif basınç ( $N/m^2$ )

$P_e$  : Efektif güç (kW)

$V_h$  : Toplam kurs hacmi ( $m^3$ )

$n$  : Devir hız katsayısı (d/sn)

$i$  : Bir devirdeki çevrim adedi (çevrim / devir )

Motordaki duman sınırı ve yükleme aralıkları açısından son derece önemi olan  $P_{me}$  bir parametredir .

### 2.4. Özgül Yakıt Tüketimi

Özgül yakıt tüketimi ( $b_e$ ) hesaplanması deney esnasında ölçülen bazı verilere dayanılarak yapılır . Deney hassasiyeti ve yakıt özellikleri (yoğunluk, sıcaklık) değerlerinin hassasiyetini etkiler . Taşıt veya motorun genel yakıt tüketimleriyle yük ve devire bağlı olarak bütün çalışma aralıklarının özgül yakıt tüketimi ( $b_e$ ) açısından incelenmesi motor hakkında daha detaylı bilgilenmeyi sağlar .  $b_e$  bütün motorlar için ciddi bir performans mukayese karakteristiğidir .

$$b_e = \frac{3600 \cdot V_y \cdot \gamma}{P_e \cdot t} \quad (2.4)$$

$V_y$  : Yakıtın hacmi ( $m^3$ )

$\gamma$  : Yakıtın özgül ağırlığı ( $gr/cm^3$ )

- $t$  : Birim yakıtın tüketilme zamanı (sn)  
 $b_e$  : Özgül yakıt tüketimi (gr/kWh)  
 $P_e$  : Efektif güç (kW)

### 2.5. Mekanik Verim

Motorun sürtünme kayıpları motorda mekanik verim değerlendirmesini gerektirir. Mekanik verim ( $\eta_m$ ) ile ifade edilir .

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_e + P_s} \cdot 100 \quad (2.5)$$

- $P_s$  : Sürtünme gücü (kW)  
 $\eta_m$  : Mekanik verim (%)  
 $P_e$  : Efektif gücü (kW)

### 2.6. Termik Verim

Motor termik verimi ısı şekline dönüşen enerjinin faydalanılabilir miktarının değeridir. Bu faydaya dönüşen ısı miktarı yada kullanılan toplam ısı miktarıdır . Böylece motorda sıcaklık değerlerine bağlı olarak verim bulunur.

$$\eta_t = \frac{Q_e}{Q_T} \cdot 100 \quad (2.6)$$

- $\eta_t$  : Termik verimi (%)  
 $Q_e$  : Faydalı ısı (W)  
 $Q_T$  : Toplam ısı (W)

### 2.7. Volemetrik Verim

Motorların ideal çevriminde ,emme veya süpürme zamanında silindire giren gazların ideal gaz olduğu kabul edilir. Oysa gerçekte emme veya süpürme sonunda silindir içinde taze

hava veya yakıt-hava karışımın ile artık gazlar bulunmaktadır. Dolayısıyla, taze hava veya yakıt-hava karışımı, artık gazların miktarı kadar silindire az girer . Ayrıca, artık gazların ve çeper sıcaklığının etkisiyle, taze hava veya yakıt-hava karışımı ısınarak genişleyen hacim kadar daha az hava veya yakıt-hava karışımı silindire girer .

O halde emme veya süpürme zamanında , silindire giren taze hava veya yakıt-hava karışımın oranına , völümetrik verim ( $\eta_v$ ) denir . Buna göre ;

$$\eta_v = V_e/V_o = G_e/G_o \quad (2.7)$$

$V_e$  : Giren gerçek taze hava hacmi ( $m^3$ )

$V_o$  : Girebilecek ideal taze hava hacmi ( $m^3$ )

$G_e$  : Giren taze hava (Yakıt-hava karışımı) ağırlığı(kg)

$G_o$  : Girebilecek ideal yakıt-hava karışımın ağırlığı  
(kg)

olur . Burada völemetrik verim gerek hacimsel  $V(m^3)$  ve gerekse ağırlıksal  $G (kg)$  olarak ifade edilir . Völemetrik verim yukarıda açıklanan nedenlerle daima birden küçüktür . Yanlız aşırı doldurmalı motorlarda völemetrik verim birden büyüktür.

### BÖLÜM III

#### 3. Motorlarda Isı Dağılımı

Yanma sonucu oluşan ısının bir kısmı faydalı işe sarf eder. Diğer bir kısmı ise çeşitli kayıplara gider ( Soğutma sistemine, egzoz gazları ile dışarıya, v.s. ) . Motorlarda ısı dağılımı çalışma koşullarını tanımlayan yük , dönme sayısı ve karışımın bileşim gibi etkenlere bağlıdır . Bu nedenle çevrimin verimi için ısı dağılımı önemli bir etkindir. Çünkü yanma sonucu oluşan ısının ne kadarının mekanik işte ( faydalı iş ) kullanıldığının saptanabilmesi için ,özellikle ne kadar ısının soğutma sistemine ve sıcak gazlarla ısı şeklinde gittiğinin bilinmesi gerekir . Isı dağılımı gerek teorik ve gerek ise deneysel olarak saptanabilir .

Yanma sonucu oluşan ısı ;

- Faydalı ısı ( $Q_e$ )
- Soğutma sistemine giden ısı ( $Q_c$ )
- Egzoz gazları ile atılan ısı ( $Q_g$ )
- Eksik yanma nedeniyle kayb olan ısı ( $Q_i$ )
- Yağlama yağın geçen ısı ( $Q_o$ )
- artık kayıplar ( $Q_r$ )

şeklinde dağılmaktadır . Şekil 3.1'e göre toplam ısı;

$$Q_T = Q_e + Q_c + Q_g + Q_i + Q_o + Q_r \quad (3.1)$$

şeklinde yazılabilir .

Bunlar toplam ısının yüzdeleri olarak ;

$$q_e = \frac{Q_e}{Q_T} \cdot 100 \quad (\%) \quad q_i = \frac{Q_i}{Q_T} \cdot 100 \quad (\%)$$

$$q_c = \frac{Q_e}{Q_T} \cdot 100 (\%) \quad q_g = \frac{Q_g}{Q_T} \cdot 100 (\%)$$

$$q_o = \frac{Q_o}{Q_T} \cdot 100 (\%) \quad q_r = \frac{Q_r}{Q_T} \cdot 100 (\%)$$

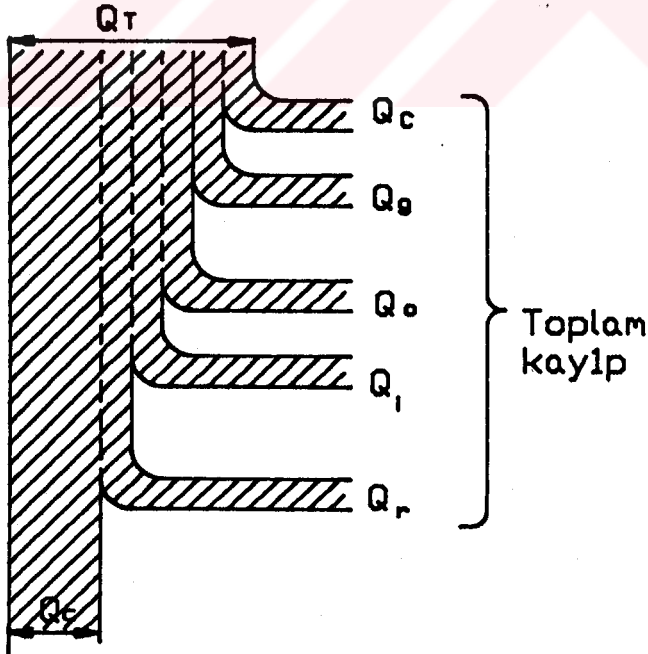
şeklinde tanımlanabilir . 0 halde ,

$$q_e + q_g + q_c + q_i + q_o + q_r = 100 \%$$

değerlerinin yüzdeleri Tablo 3.1'de gösterilmektedir.

Tablo 3.1 Isı Dağılımı

	$q_e$	$q_c$	$q_o$	$q_i$	$q_o + q_r$
Benzin	21....28	12....17	30...35	00....45	3.....10
Dizel	29....42	15...35	25...45	00....5	2.....5



Şekil 3.1 Motorlarda Isı Dağılımı (Sankey Diyagram)

Silindirdeki gazların çok hızlı hareketlerinden ve sürekli sıcaklık değişiminden dolayı, silindirlerden çevreye olan ısı geçişi hızı her an değişmektedir. Sistemdeki ısı iletimi ile buna etki eden faktörleri tam olarak formülize etmek mümkün değildir. Bir dizel motoru için alınan sonuçlar bir başka motor için geçerli olmayabilir.

Motordaki ısı transferinin büyük bölümü zorlanmış konveksiyonla meydana gelir. Ancak özellikle yanma ve genişleme periyodu esnasında radyasyonla ısı transferi de önem kazanmıştır. Motor yanma alevlerinden elde edilen radyasyon araştırmaları göstermiştir ki , alevin yayılma özelliği zamana, karışım oranına, yakıt tüketimine, mevcut detonasyon miktarına bağlı olarak hem dalga boyu dağılımı hemde toplam yoğunluk bakımından değişir . Ölçümler göstermiştir ki radyasyonla olan ısı kaybı %5 ile %1 arasında olabilir . Bazı kaynaklarda bu oran %20'ye kadar artsa bile hesaplamalarda önemli bir etkiye sahip olmadığı ifade edilir .(Chang ve rhee,1983)

Motorlarda gaz tarafındaki ısı akış oranı ve akış sisteminin geometrisi düzensizdir . Gaz sıcaklıkları , sistemdeki ve krank mili pozisyonuna bağlı olarak geniş bir şekilde ve periyodik olarak değişir. Duvarların iletkenliği iç ve dış yüzeylerdeki birikmiş olan yağ , karbon ve diğer madde miktarları ve bölgesine göre değişir . yüzey sıcaklıkları hem gaz hemde soğutucu tarafında noktadan noktaya düzensiz olarak değişir. Isının bir kısmı piston sürtünmesinden dolayı silindir gömleğine taşınır ve silindir duvarlarında ısı akışı daha sıcaktan daha soğuğa doğrudur. Yukarıdaki düşünceler gösterir ki motordaki ısı akışı çok önemli ve Karışık yönlü bir problemdir.

Bir dizel motorunda soğutucuya geçen ısı benzer bir benzin motorundakinden daha azdır ve efektif güç daha büyüktür . Soğutmaya giden enerjinin yaklaşık olarak %8 kadarı yanma, %6'si genişleme , %9'u egzoz periyodunda kaybedilir . Belirtilen bu kayıpların önemli bir kısmı faydalı hale getirebilir . Örneğin tam gazda yanma periyodunda kaybedilen %8'lik enerjinin %55'i tekrar faydalı hale dönüştürülebilir. Sonuç olarak toplam faydalı enarjide %51.4 kadar bir yükselme beklenebilir . Bu değerler bir dizel motorunun %30 hava fazlalığının daha büyük olduğu düşük yüklerde soğutucuya ısı geçişi daha azdır (Ricardo,1962) .

Standart içten yanmalı motorlarda yanma odasındaki elemanlardan ısı geçişi oranı özellikle piston , segmen ve silindirler yolu ile olmaktadır. Bir miktar ise yağlama yağına etki etse bile bu etki piston sürtünmesi ile oluşan ısı ile eşit kabul edilir. Diğer etkili ısı iletim yolu silindir kafası yüzeyi ve supaplardır. Hacim ve alan olarak ısı geçişi oranını ifade etmek kolay değildir . Çünkü silindir hacmi ile yanma gazlarının temas alanı ve soğutucu temas alanı piston AÖN'da bulunduğu sırada oldukça büyüktür . Kafa yüzeyi gaz ve soğutucu temas alanı ise daha az değerdedir . Burada silindirdeki ısı kayıplarının çok büyük kısmının silindir gömliği yolu ile iletildiği tahmin edilebilir . Halbuki yanma olayı piston ÜÖN'ya yakıncancereyan eder ve maksimum sıcaklık ile basınç bu bölge civarında oluşur. Dolayısıyla hava hareketi, yanma hızı ve alev oluşumu dikkate alınırca , piston ÜÖN bölgesindeyken silindir kafa yüzeyi gaz ve soğutucu alanı ile, silindir-piston gaz ve soğutucu temas alanı çok büyük farklılık göstermez . Böylece ısı kaybı oranlaması için tam bir oranlama yapılması çok zordur . Yük azaldıkça ortalama alev sıcaklığı azalması sebebiyle termik verim gittikçe artmakta , yük azaldıkça soğutmaya geçen ısı miktarı biraz artmaktadır.



Her hangi bir sistemden ısı geçişi termodinamiğin ikinci kanununa göre işler . Fourier'inde ifade ettiği gibi ısı enerjisi daima daha sıcaıtan daha soğuğa doğru akar ve bu akış sıcaklıklar eşit oluncaya kadar devam eder ( Dağsöz, 1990 ) .

Isı geçişi miktarı ne olursa olsun içten yanmalı motorlarda ısı iletimi radyasyon, konveksiyon ve kondüksiyonla meydana gelir . Isı geçişi silindir kafası , piston ve silindir gmliğinden soğutucuya veya yağa değişik oranlarda iletilir . Isı geçişi ne çeşit ve nerden olursa olsun bir ısı iletimi katsayısı kullanılarak hesaplanır .

### 3.1. Isı Dağılmasının Hesaplaması

Isı dağılmasının hesaplanabilmesi için , yanma sonucu oluşan ısının nerelere sarfedildiğinin ayrı ayrı bilinmesi gerekmektedir .

#### 3.1.1. Yanma Sonucu Oluşan Isı ( $Q_T$ )

Saattaki yakıt sarfiyatına göre toplam ısı ;

$$Q_T = G_f \cdot H_u = P_e \cdot H_u \cdot b_e \quad (3.2)$$

burada,

- $H_u$  : Alt ısı değer (kJ/kg)
- $G_f$  : Saattaki yakıt sarfiyet (kg/h)(kütlesi)
- $P_e$  : Efektif güç (kW)
- $b_e$  : Özgül yakıt tüketimi (gr/kW h)

### 3.1.2. Faydalı İşe Sarf Edilen Isı ( $Q_e$ )

Motorunun mekanik enerjisine sarf edilen ısı,

$$Q_e = P_e \quad (3.3)$$

burada,

$P_e$  : Motorunun efektif güç (kW)

(3.3) denkleminde bulunur .

### 3.1.3. Gazlarla Dışarı Atılan Isı ( $Q_g$ )

Egzoz gazları dışarı atılırken bünyesindeki ısıyı da beraberinde götürür . Bunlar ,

$$Q_g = G_f \cdot ( M_2 \cdot C_p'' \cdot T_g - M_1 \cdot C_p' \cdot T_o ) \quad (3.4)$$

şeklinde yazılabilir . Burada,

$G_f \cdot M_2 \cdot C_p'' \cdot T_g$  : Egzoz gazları ile silindirden atılan ısı miktarı (J/h)

$G_f \cdot M_1 \cdot C_p' \cdot T_o$  : Taze hava ile silindire alınan ısı miktarı (J/h)

$C_p''$  : Sabit basınçta yanma ürünlerin molar ısı kapasitesi (J/kmol<sup>0</sup>C)

$C_p'$  : Sabit basınçta taze havanın molar ısı kapasitesi (J/kmol<sup>0</sup>C)

$T_g$  : Egzozden çıkan gazların sıcaklığı (<sup>0</sup>C)

$T_o$  : Silindire giren taze dolgunun sıcaklığı (<sup>0</sup>C)

dır .

### 3.1.4. Yağlama Yağına Geçen Isı Miktarı ( $Q_o$ )

Yağlama yağın bir soğutucudan geçiyorsa , kaybolan ısı miktarı , soğutucuya geçen ısı miktarının ölçülmesi ile bulunur . Aksi takdirde ihmal edilir .

### 3.1.5. Eksik Yanma Nedeniyle Kaybolan ısı ( $Q_i$ )

Yanma olayı , karışım oranı birden büyük koşulunda meydana geliyorsa, eksik yanma sonucu kaybolan ısı ( $Q_i$ ) ayrıca tek başına hesaplamaz .

Yanma olayı karışım oranı birden küçük ise , eksik yanma nedeniyle kaybolan ısı ,

$$Q_i = H_u \cdot G_f \quad (3.5)$$

bağıntıdan bulunur .

### 3.1.6. Soğutma Sistemine Giden Isı ( $Q_c$ )

Yanma sonucu oluşan ısının bir kısmı çeperlere gider . Çeper sıcaklığı malzemenin dayanabileceği kadar olmalıdır. Bunun için bütün çeperlerin sıcaklığı sabit ve her noktada aynı olacak şekilde soğutulması gerekmektedir . Bu varsayımdan giderek hesaplar yapılır .

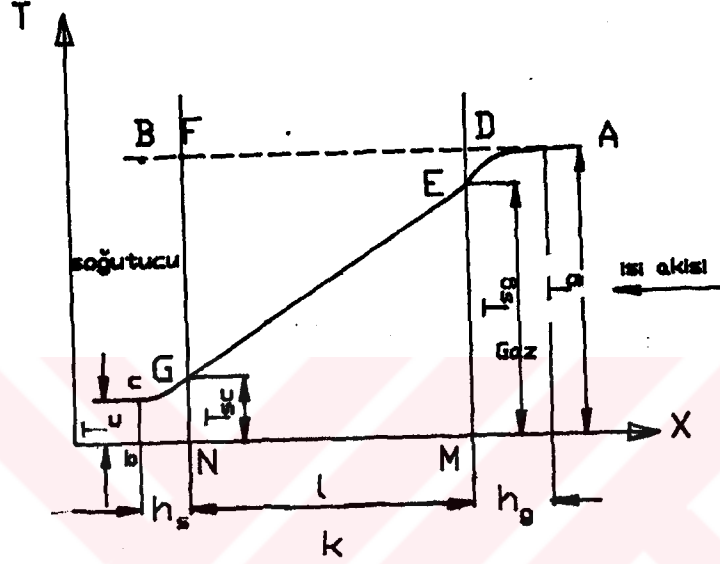
Standart motordan soğutucuya geçen ısı ( $Q_c$  (SM)),

$$Q_c(SM) = G_s \cdot C_p \cdot T \cdot t \quad (3.6)$$

dır . Yapılan hesaplamada toplam ısıya göre soğutucuya transfer edilen ısının oranı ;

$Q_c / Q_T$  'dir .

Yanma sonucu oluşan ısı , gazlardan çeperlere dolayısıyla soğutucuya hem konveksiyonla hem de ışınlım yolu ile geçer. Şekil 3.2'de gazdan soğutucuya kadar olan ısı akışı diyagramı görülmektedir .



Şekil 3.2 Isı Akış Diyagramı

### 3.1.6.1. Radyasyon Yolu ile Isı Geçişi

Katılar ile sıvı veya gaz halindeki akışkanların dalga boyları ışığın dalga boyundan daha büyük olan elektro manyetik dalgalar şeklinde yayınlar ışıklar veya yutmaları ısı geçişi şeklinde ısı ışınlım denilir . Bunun miktarı , stefon Boltzman kanunundan yararlanılarak bulunur . Bu bağıntı ;

$$Q_{\text{rad}} = \sigma_{\text{rad}} \left( ( T_g / 100 )^4 - ( T_{\text{sg}} / 100 )^4 \right) A_g \cdot t \quad (3.7)$$

şeklindedir . Burada ;

$\sigma_{\text{rad}}$  : Radyasyon katsayısı (Nusselt'e göre 0.362)

- $T_g$  : Gazların ortalama sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $T_{sg}$  : Çeperin gaz taraf sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $A_g$  : Radyasyon ışınlarının etkisinde olan yüzeyin alanı ( $\text{m}^2$ )  
 $t$  : Süre ( saat, h)

dır . bu yolla geçen ısının değeri, soğutucu sisteme giden ısının %10'u kadardır . Bu nedenle ışınım yolu ile olan ısı transferi genellikle ihmal edilir .

### 3.1.6.2. Konveksiyonla Isı Geçişi

Gaz veya sıvı akışkanlarda moleküllerin makroskobik hareketleri sonucu olan ısı geçiş şekline ise, ısı taşınımı adı verilmektedir . Yanma gazlardan taşınım ve iletim ile geçen ısı miktarı ,

$$Q = K \cdot A \cdot ( T_g - T_c ) \quad (3.8)$$

dır. Burada ;

- $K$  : Toplam ısı iletim katsayısı ( $\text{J}/\text{m}^2 \text{ h}^{\circ}\text{C}$  )  
 $A$  : Çeper yüzeyi ( $\text{m}^2$ )  
 $T_g$  : Gazların ortalama sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $T_c$  : Soğutucu tarafı yüzey sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )

dir. Silindir içinde gaz ortamdan yayılan ısı gaz sıcaklığını ( $T_g$ ) artırdığı gibi oradan çeper cidarına ( $T_{sc}$ ) belli bir ısı taşınım katsayısı ile  $h_g$  geçer . Gaz cidarından ısı l kalınlığını ,  $k$  ile ifade bir ısı iletim katsayısı değeri ile cidardan soğutucu akışkan  $h_c$  ile ifade edilen bir taşınım katsayısı ile geçer . Toplam ısı iletim katsayısı için , gazlardan çeperlere , çeper içinden ve çeperden soğutma suyuna olan ısı geçişi katsayılarını kapsamaktadır.

i- Sıcak gazlardan çeperlere ısı geçişi ( $Q_h$ )

$$Q_h = h_g \cdot A_g \cdot (T_g - T_{sg}) \quad (3.9)$$

dir . Burada ;

$h_g$  : Isı taşınım katsayısı ( $J/m^2 h^{\circ}C$ )  
 $T_g$  : Gazların ortalama katsayısı ( $^{\circ}C$ )  
 $T_{sg}$  : Çeperlerin gaz tarafı sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )  
 $A_g$  : Isının ısıttığı yüzey (Piston, Silindir kafası ve silindir yüzeyi ) ( $m^2$ )

dir . Bunlardan en önemlisi ısı geçişi katsayıdır . Bu katsayı , çeşitli araştırmacılar tarafından birbirlerinden farklı olarak tayin edilmiştir . W. Nusselt tarafından ,

$$h_g = \sqrt[3]{P^2 \cdot T} \quad (3.10)$$

N.R. Brilling tarafından ,

$$h_g = 0.99 (2.45 + 0.185 C_m) \sqrt[3]{P^2 T} \quad (3.11)$$

Van Tyen tarafından ,

$$h_g = (3.19 + 0.885 C_m) \sqrt[3]{P^2 \cdot T} \quad (3.12)$$

Eichelberg tarafından (iki zamanlı motorlar için),

$$h_g = 2.1 \sqrt[3]{C_m} \cdot \sqrt{P \cdot T} \quad (3.13)$$

şeklinde ifade edilmiştir . Burada ,

- $C_m$  : Ortalama piston hızı (m/sn)  
 $P$  : Yanma odası basıncı (kp/cm<sup>2</sup>)  
 $T$  : Yanma odası sıcaklığı (°C)

dir .

Isı iletim katsayısı genellikle ampirik ifadelerle tespit edilip koveksiyon ve radyasyon ortak etkisini taşınır. Araştırmacılar tarafından değişik parametrelere dayanan ısı iletim ve taşınım katsayıları üretilmiştir . Bunlar silindirdeki gaz hızına, ortalama piston hızına , ortalama çevrim gaz basıncına, ortalama çevrim sıcaklığına, silindir çapına ve bazı çarpım faktörlerinin birkaçının etkisine bağlıdır . Nusselt , Biriling , Eichelberg ve Van Teyn eşitlikleri (3.10) , (3.11) , (3.12) ve (3.13) yukarıda verilmiştir . Burada dikkat edilir ki , Van Teyn ve N. R. Brillling ise Nusselt'İN eşitliğini ortalama piston hızı ve çarpım faktörü ilavesi ile kullanılmıştır .

ii- Çeper içinden ısı geçişi ( $Q_w$ )

Çeper içinden geçen ısı miktarı ,

$$Q_w = \frac{k}{L} \cdot (T_{sg} - T_{sc}) \quad (3.14)$$

dir . Burada ,

$T_{sg}$  : Çeperin gazla temas eden tarafından sıcaklığı (°C)

$T_{sc}$  : Çeperin soğutucu ile temas eden tarafından sıcaklığı (°C)

$k$  : Isı iletim katsayısı (J/m h°C)

$A_m$  : Çeperin ve gaz soğutucu ortalama alanı (m<sup>2</sup>)

$L$  : Cidar kalınlığı (m)

dir .

iii- Çeperden soğutucuya ısı geçişi ( $\dot{Q}_c$ )

Çeperden soğutma ortalama geçen ısı miktarı ,

$$\dot{Q}_c = h_c \cdot A_c \cdot (T_{sc} - T_c) \quad (3.15)$$

dir . Burada,

$h_c$  : Soğutucu tarafından ısı taşınım katsayısı  
( $J/m^2 h^\circ C$ )

$T_c$  : Soğutucu sıcaklığı ( $^\circ C$ )

$T_{sc}$  : Çeperin soğutucutarafın sıcaklığı ( $^\circ C$ )

$A_c$  : Soğutucu temas yüzeyi ( $m^2$ )

dir .

Soğutucu su veya hava olabilir . Bazen yağ ile soğutma yapılabilir . Suyun soğutma etkisi havaya nazaren daha iyidir .

Sonuç olarak , yanma sonucu oluşan gazların meydana getirdiği ısının bir kısmı çeperlere ve oradan da soğutma sistemine geçen ısı miktarı yukarıda konu edilen her üç durumda da aynı olduğuna göre , Konveksiyonla ısı iletim katsayısı (3.9) , (3.14) ve (3.15) denklemlerden eşitlenerek bulunur . Buna göre ,

$$\frac{1}{K \cdot A} = \frac{1}{h_g A_g} + \frac{l}{k A_m} + \frac{1}{h_c A_c} \quad (3.16)$$

elde edilir . Burada  $A = A_m = A_g = A_c$  olduğu kabul edilirse,

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_g} + \frac{l}{k} + \frac{1}{h_c} \quad (3.17)$$

elde edilir . burada çeper kalınlığı motorun yapısına bağlı



ve (3.8) denklemden soğutucuya geçen ısı miktarı hesaplanır .

Isı transferi ölçmek için geliştirilmiş bir aparat kullanıldığında deney sonuçlarının için aşağıdaki ifade edilen formül kullanabilir .

$$\frac{h L}{k} = C \left( \frac{G L}{\eta g_o} \right)^n \left( \frac{C_p \eta g_o}{k} \right)^m \quad (3.18)$$

dir . Burada ,

- L : Geçişin karakteristik boyutu (m)
- k : Isı iletim katsayısı (J/m h°C)
- G : Akan gazın kütlesi (Kg/h)
- n : Sıvı viskozitesi (N sn/m<sup>2</sup>)
- C<sub>p</sub> : Sabit basınçta sıvı özgül ısısı (J/kg°C)
- g<sub>o</sub> : Kuvvet-kütle-İvlendirme sabiti
- C, n } Akış rejimi ve sistem in geometresine bağlı  
m } boyutsuz sabitler

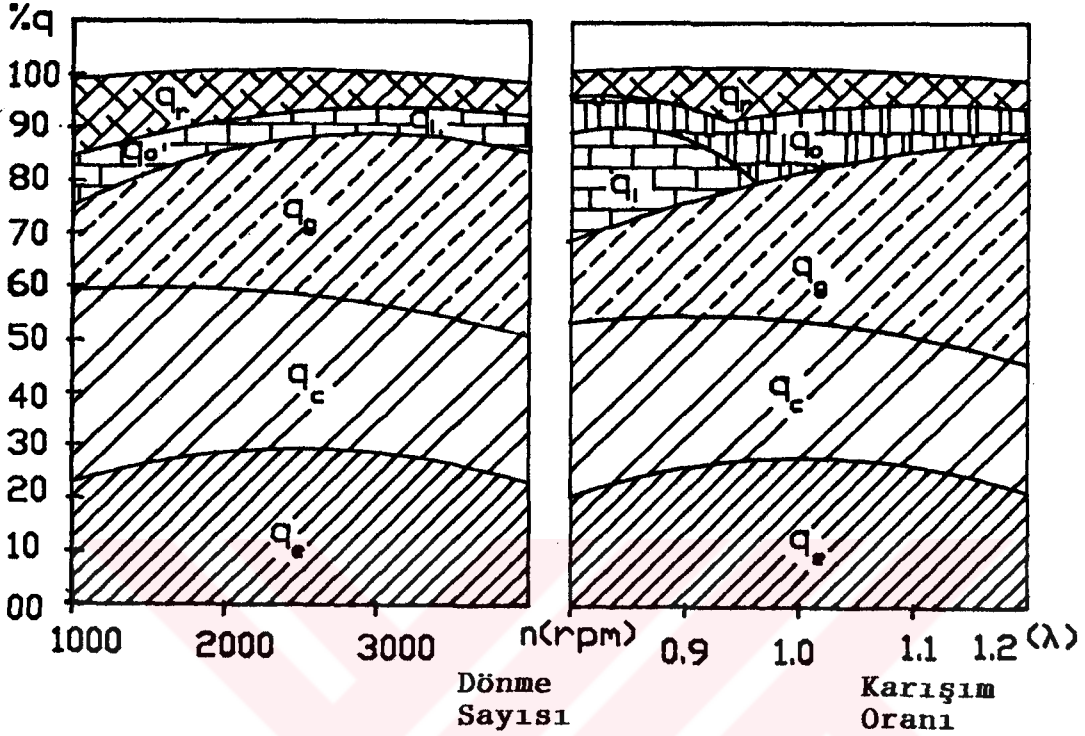
$$R_e = ( G \cdot L / \eta g_o ) \quad : \text{ Akış sistemin Reynold katsayısı}$$

$$N_u = ( h \cdot L / k ) \quad : \text{ Nusselt katsayısı}$$

$$Pr = ( C_p \cdot \eta g_o / k ) \quad : \text{ Sıvının Prandle katsayısıdır .}$$

### 3.2 Isı Dağılımı

Yukardaki açıklamalar sonucu ısı değişiminin hesaplanması mümkün olmaktadır . Toplam ısı bilindiği ve çeşitli yerlere dağılan ısının miktarı da hesaplandığına göre, gerek benzin ve gerekse dizel motorları için ısı dağılımının yüzeyleri bulunur . Yapılan hesaplar sonucu elde edilen ısı dağılımı Tablo 3.1'de görülmüştür . Bu ısı dağılımı karışım oranı ve dönme sayısına bağlı olarak değişim Şekil 3.3'de görülmektedir .



Şekil 3.3 Karışım Oranı ve Dönme Sayısına bağlı olarak ısı dağılımı

Şeklinde görüldüğü gibi karışım oranı 0.85 eşittir ise eksik yanmadan dolayı ısı kaybı %20'ye kadar yükselebilir. Diğer bir hususta gerek çeşitli kayıplar ve gerekse yağlama yağına giden ısı yüzdeleri ise %7.5 - %10 arasında değişmektedir .

### 3.3. Çeper Sıcaklıklarının Hesaplanması

#### 3.3.1. standart Motor için

Gazın ve suyun sıcaklıkları bilindiğine göre , gerek gaz

tarafındaki ve gerekse soğutucu tarafındaki çeper sıcaklıkları (  $T_{sg}$  ve  $T_{sc}$  ) ilgili denklemlerden hesaplanabilir .

i- Gaz tarafındaki çeper sıcaklığı, buna göre

$$Q = \frac{k}{l} ( T_{sg} - T_{sc} ) A_m \quad (3.19a)$$

veya

$$\frac{Q l}{k A_m} = T_{sg} - T_{sc} \quad (3.19b)$$

$$Q = h_c A_c ( T_{sc} - T_c ) \quad (3.20a)$$

veya

$$\frac{Q}{h_c A_c} = T_{sc} - T_c \quad (3.20b)$$

denklemlerinin taraf tarafa toplarsak ve çeperin  $1 \text{ m}^2$ 'sinden bir saatte geçen ısı miktarına bağlı olduğunu kabul edersek,

$$Q ( l/k + 1/h_c ) = T_{sg} - T_c \quad (3.21)$$

veya

$$Q = ( T_{sg} - T_c ) . ( 1/h_c + l/k )$$

ifadeleri ile bulunur .Eğer,

$$( 1/h_c + l/k ) = 1/\beta$$

dersek, bu takdirde

$$Q = \beta . ( T_{sg} - T_c ) \quad (3.22)$$

olur . Bu denklemi,

$$Q = h_g A_g ( T_g - T_{sg} ) \quad (3.23)$$

ile eşitlersek ve bunu çeperin 1 m<sup>2</sup>'sinden 1 saatte ısı miktarı olduğunu kabul edersek ,

$$\beta ( T_{sg} - T_c ) = h_g ( T_g - T_{sg} ) \quad (3.24)$$

dlur . Buradan gaz tarafı çeper sıcaklığı

$$T_{sg} = ( h_g \cdot T_g + \beta T_c ) / ( h_g + \beta ) \quad (3.25)$$

bulunur .

ii- Su tarafı çeper sıcaklığı :

Bunun için gaz tarafı çeper sıcaklığı  $T_{sg}$  ile ısı miktarı (Q) bilinmelidir . Buna göre ,

$$Q = \frac{k}{l} \cdot ( T_{sg} - T_{sc} ) A_m$$

denklemlerden çeperin 1 m<sup>2</sup> ve 1 saattaki ısı miktarı (Q) olduğunu göz önünde tutarsak ,

$$T_{sc} = T_{sg} + \frac{Q \cdot l}{k} \quad (3.26)$$

olur .

Ayrıca gerek gaz tarafındaki ve gerekse su tarafındaki sıcaklıklar grafik yönetimde bulunabilirki , bunun için çeperin toplam kalınlığı ,

$$\Delta = k/h_g + l + k/h_c \quad (3.27)$$

olarak kabul edilir ve burada ,

: Çeperin toplam kalınlığı (m)

dir . Gerçek çeperin kalınlığı (l) istenilen bir ölçü ile saptanır veya aynı şekilde  $k/h_g$  ve  $k/h_c$  değerleri de alınır ve X eksenine taşınır .  $T_g$  ve  $T_c$  sıcaklıkları bir ölçek ile Y eksenine taşınır . Bunların birleştiren doğrunun çeperi kestiği E ve G noktalarının sıcaklıkları aranan çeper sıcaklıklarının iç ve dış değerleri (  $T_{sg}$  ve  $T_{sc}$  ) olur (Şekil 3.2'de gösterilir ) .

### 3.3.2. Seramik Kaplamalı Motor İçin Isı Akışını ve Çeper Sıcaklıklarının Hesaplanması

i- Gazdan yalıtım tabakasına ısı akışı ,

$$Q_h = h_g \cdot A_g ( T_g - T_{sg} ) \quad (3.28)$$

olur . Üniform yalıtım tabakasının kalınlığı ve yüzeye dik ısı akışı da ,

$$Q_{wi} = \frac{k_s}{l_s} \cdot A_s ( T_{sg} - T'_{sg} ) \quad (3.29)$$

olur . Üniform duvar (metal) kalınlığı ve yüzeye dik bir ısı akışı da ,

$$Q_{wo} = \frac{k}{l} \cdot A_m ( T_{sc} - T'_{sg} ) \quad (3.30)$$

olur . Duvardan soğutucuya olan ısı akışı ,

$$Q'_c = h_c \cdot A_c ( T_{sc} - T_c ) \quad (3.31)$$

olarak ifade edilir .

Bunları daha kullanışlı hale getirmek maksadıyla birleştirip kullanmak mümkündür . Şekil 3.4'de seramik kaplamalı motorun

ısı iletimi diyagramı görülmektedir .

Kullanılan eşitliklerde aşağıdaki belirtilen sembollerin sembollerin kısaltmaları görülmektedir .

$Q_h$  :  $A_g$  yüzelerinden birim zamanda akan ısı miktarı (J/h)

$Q_{wi}$  : İzelasyon tabakasından birim zamanda akan ısı miktarı (J/h)

$Q_{wo}$  : Duvardan (Metal duvarı) birim zamanında geçen ısı miktarı (J/h)

$Q'_c$  : Birim zamanda soğutucuya akan ısı miktarı (J/h)

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

$T_g$  : Gaz sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )

$T_{sg}$  : Gaz tarafı seramik cidar sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )

$T'_{sg}$  : Metal seramik (Yalıtım tabakası) sınır sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )

$T_{sc}$  : Soğutucu tarafı cidar sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )

$A_s$  : Seramik tabakasının alanı ( $m^2$ )

$A_m$  : Metal duvar alanı ( $m^2$ )

$L_s$  : Yalıtım tabakasının kalınlığı (m)

$L$  : Duvar Kalınlığı (m)

$A_c$  : Soğutucu alanı ( $m^2$ )

$A_g$  : Gaz tarafı cidar alanı ( $m^2$ )

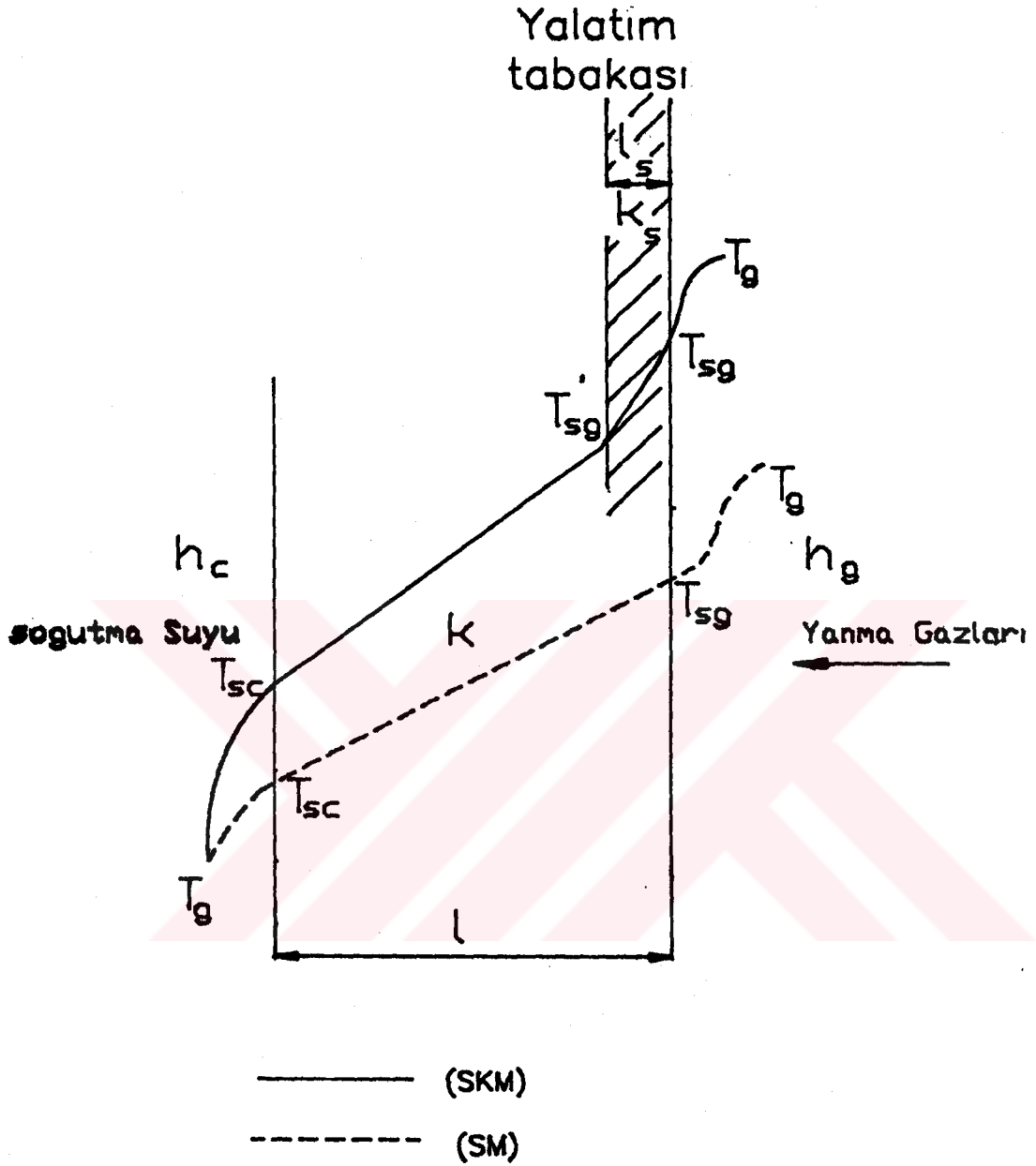
$k_s$  : Yalıtım tabakası ısı iletim katsayısı ( $J/m h^{\circ}C$ )

$k$  : Duvar ısı iletim katsayısı ( $J/m h^{\circ}C$ )

$h_c$  : Gaz tarafı ısı taşınım katsayısı ( $J/m^2 h^{\circ}C$ )

$h_g$  : Soğutucu tarafı ısı taşınım katsayısı ( $J/m^2 h^{\circ}C$ )

Temeleşitlikleri olan (3.28), (3.29), (3.30) ve (3.31) gazdan soğutucuya kadar olan ısı akışını ifade etmektedir ve birbirlerine eşitlenebilir . Aynı zamanda taraf tarafa toplanarak denklem basitleştirirabilir. Gazdan soğutucuya kadar olan ısı akışını ısı direnci şeklinde ifade etmek



Şekil 3.4 Standart Motor (SM) ve Seramik kaplamalı Motor (SKM) Isı Akış Diyagramları

de mümkündür . Bu şekilde toplam ısı iletim katsayısı , kaplamalı parça için tesbit edilir .

$$\frac{1}{A \cdot K_s} = \frac{1}{A_g \cdot h_g} + \frac{l}{A_m \cdot k} + \frac{l_s}{k_s} + \frac{1}{A_c \cdot h_c} \quad (3.32)$$

elde edilir . Burada  $A = A_c = A_g = A_s = A_m$  olduğu kabul edilirse

$$\frac{1}{K_s} = \frac{1}{h_g} + \frac{l}{k} + \frac{l_s}{k_s} + \frac{1}{h_c} \quad (3.33)$$

olur ve burada,

$K_s$  : SKM için toplam ısı iletim katsayısı ( $J/m^2h^{\circ}C$ ) dir. Birim alandaki ısı akışı için,

$$Q = K_s \cdot A (T_g - T_c) \quad (3.34)$$

Gaz tarafı yüzey sıcaklığı,

$$\frac{T_{sg} - T_c}{T_g - T_c} = \frac{1/(h_c \cdot A_c) + l/(k \cdot A) + l_s/(h_s \cdot A_s)}{\frac{1}{h_g \cdot A_g} + \frac{l_s}{k_s} + \frac{l}{k} + \frac{1}{h_c \cdot A_c}} \quad (3.35)$$

elde edilir . Burada  $A=A_g=A_c=A_s=A_m$  olduğu kabul edilirse ve (3.35) nolu ifadesi yeniden düzenlenirse ,

$$\frac{T_{sg} - T_c}{T_g - T_c} = \frac{1/h_c + l/k + l_s/k_s}{\frac{1}{h_g} + \frac{l_s}{k_s} + \frac{l}{k} + \frac{1}{h_c}} \quad (3.36)$$

olur . Metal-seramik sınır sıcaklığı için ,

$$\frac{T'_{sg} - T_c}{T_g - T_c} = \frac{1/(k \cdot A) + 1/(h_c \cdot A_c)}{\frac{1}{h_c \cdot A_c} + \frac{l_s}{k_s} + \frac{l}{k} + \frac{1}{h_g \cdot A_g}} \quad (3.37)$$



olur . Burada  $A = A_c = A_s = A_g = A_m$  olduğu kabul edilirse ve (3.37) nolu yeniden düzenilirse ,

$$\frac{T'_{sg} - T_c}{T_g - T_c} = \frac{1/h_c + L/k}{\frac{1}{h_c} + \frac{L_s}{k_s} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_g}} \quad (3.38)$$

olur . Soğutucu tarafı parçanın yüzey sıcaklığı ,

$$\frac{T_{sc} - T_c}{T_g - T_c} = \frac{1/(h_c \cdot A_c)}{\frac{1}{h_c A_c} + \frac{L_s}{k_s A_s} + \frac{L}{k A_m} + \frac{1}{h_g A_g}} \quad (3.39)$$

elde edilir . Burada  $A = A_c = A_s = A_g = A_m$  olduğu kabul edilirse ve (3.39) nolu denklem yeniden düzenlenirse ,

$$\frac{T_{sc} - T_c}{T_g - T_c} = \frac{1/h_c}{\frac{1}{h_c} + \frac{L_s}{k_s} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_g}} \quad (3.40)$$

olur .

### 3.4. Isı Yalıtım Oranı

Seramik kaplama motorlarda soğutucuya giden ısı kayıplarını azaltarak soğutma yükünü hafifletmek , cidar sıcaklıklarını artırarak , tutuşma gecikmesi azaltıp yanma olayını iyileştirmek adayabatik motorların esas hedefleridir . Seramikle kaplanan YO elemanları dizel veya benzin motoruna montaj edilerek çalıştırılıp kaplamanın başarı oranı veya başka bir ifade ile yalıtım oranı (yada adayabatik oranı) , standartmotoru ile karşılaştırmak hedeflenmiştir . Isı yalıtım oranı (Adayabatik oranı) ,

$$\eta_{ad} = \frac{Q_c(SM) - Q_c(SKM)}{Q_c(SM)} \cdot 100 \quad (3.41)$$

olur . Burada ,

$Q_c(SKM)$  : Seramik kaplamalı motorda soğutma sistemine giden ısı miktarı (J/h)

$Q_c(SM)$  : Standart motorda soğutma sistemine giden ısı miktarı (J/h)

Çalışmanın amacı ilk adım olarak içten yanmalı bir motorun YO'ndan ısı kayıplarını azalmaktadır . Yapılan literatür çalışmalarında YO'ndan ısı kaybı her bir eleman için Tablo 3.2'de sunulduğu gibidir. Burada , silindir gömliğinin ısı yalıtım oranı %35'inden yükseltilmez . Çünkü yüksek sıcaklıklar yatakları ve yağları problemler ortaya çıkar . Bu problemleri gidermek için polyester esaslı yağlarla bu problemler çözülebilir. Ancak bu çalışmada motor toplam ısı kaybının oranı %60'ini azaltılmıştır (Yoshimitsu ve arkadaşları,1982) . Briyazik ve Kamo tarafından yapılan bir çalışmada ısı kayıplarını azaltarak motorda verimi artırmak amacıyla piston ,silindir kafa yüzeyi , gömlek silindir ,supaplar ve portler de seramik kaplamalarına ihtiyaç duyulur ve burada kullanılan motorun ısı azalma oranları Tablo 3.3'de gösterilmiştir ( Bryazik ve Kamo,1987) .

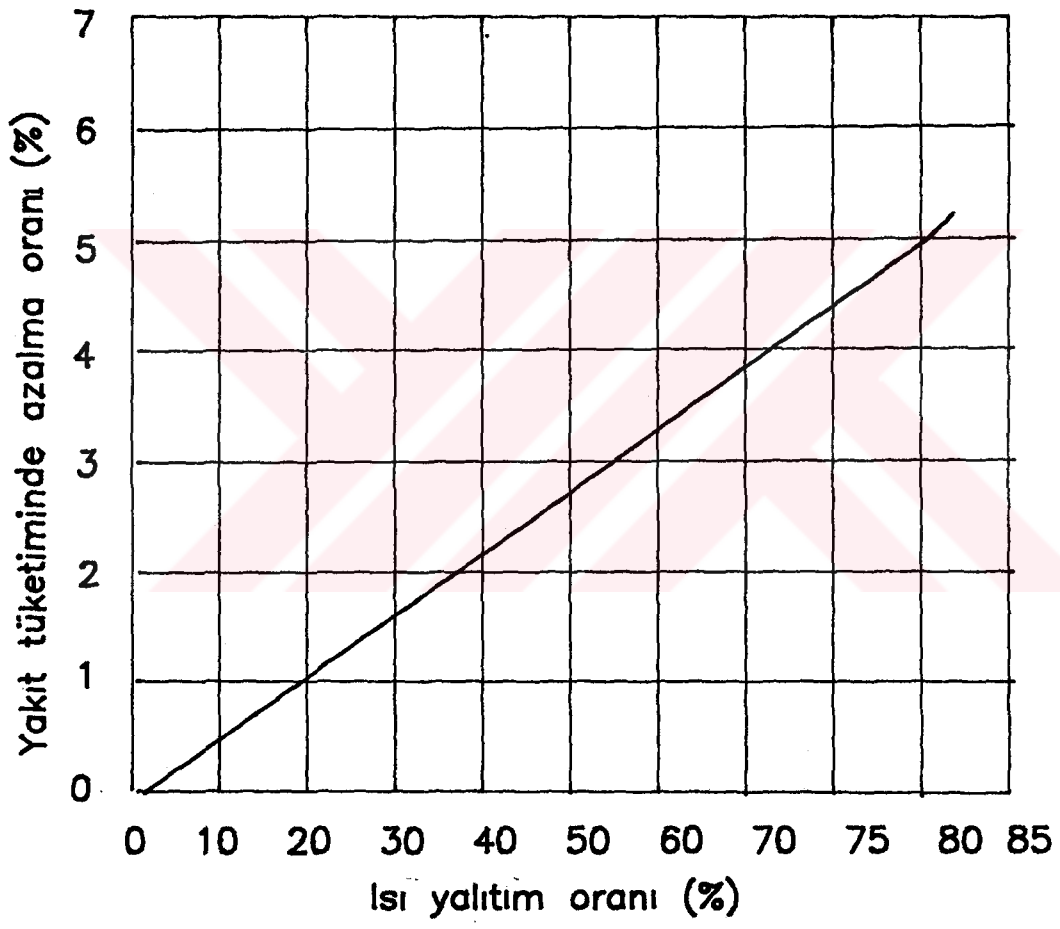
Duvarın soğutucu tarafı için kaplama tabakasının ısı iletim katsayısı  $k_s$  ve kaplama kalınlığı ile orantılı bir ısı yalıtım sağlayacağından , ilgili YO elemanlarından SM'a göre % oranına göre özgül yakıt tüketimine belli fayda sağlanmıştır . ( Şekil 3.5) . Kaplama malzemesinin ısı

Tablo 3.2 Motor Parçalarının Isı Yalıtım Oranı

PARÇALAR	Soğutma kayıpları %	Hedeflenen ısı yalıtım oranı (%)
Piston	27	75
Silindir gömleği	40	35
Egzoz portu	9	90
Silindir kafası	20	75
Diğerler	4	75
Motor toplam	100	60

Tablo 3.3 Motor Parçalardan Soğutucuya Geçen Isı Yalıtım Oranı

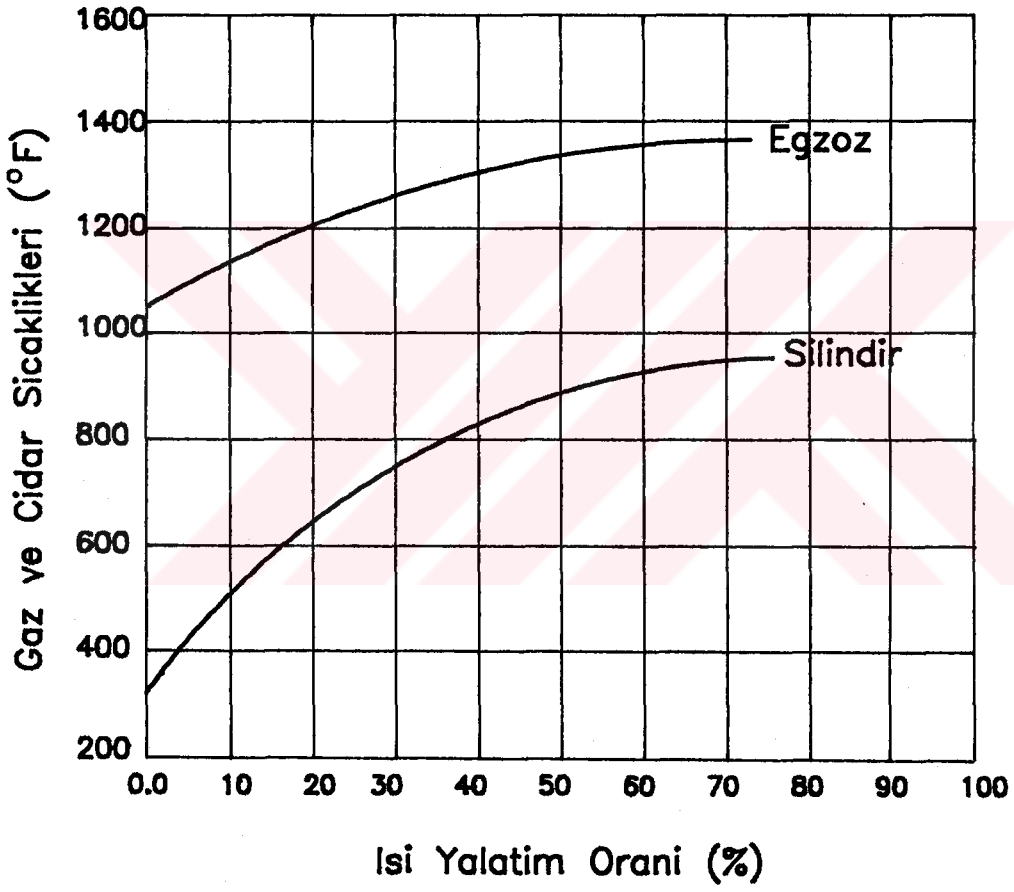
PARÇALAR	Isı kaybı azalma oranı %
Standart	0
Piston	19.7
Piston + Gömlek	40.8
Piston + Kafa + Supaplar	37.4
Piston + Gömlek + Kafa + Supaplar	61.2
Piston + Gömlek + Kafa + Supaplar + Portlar	79.0



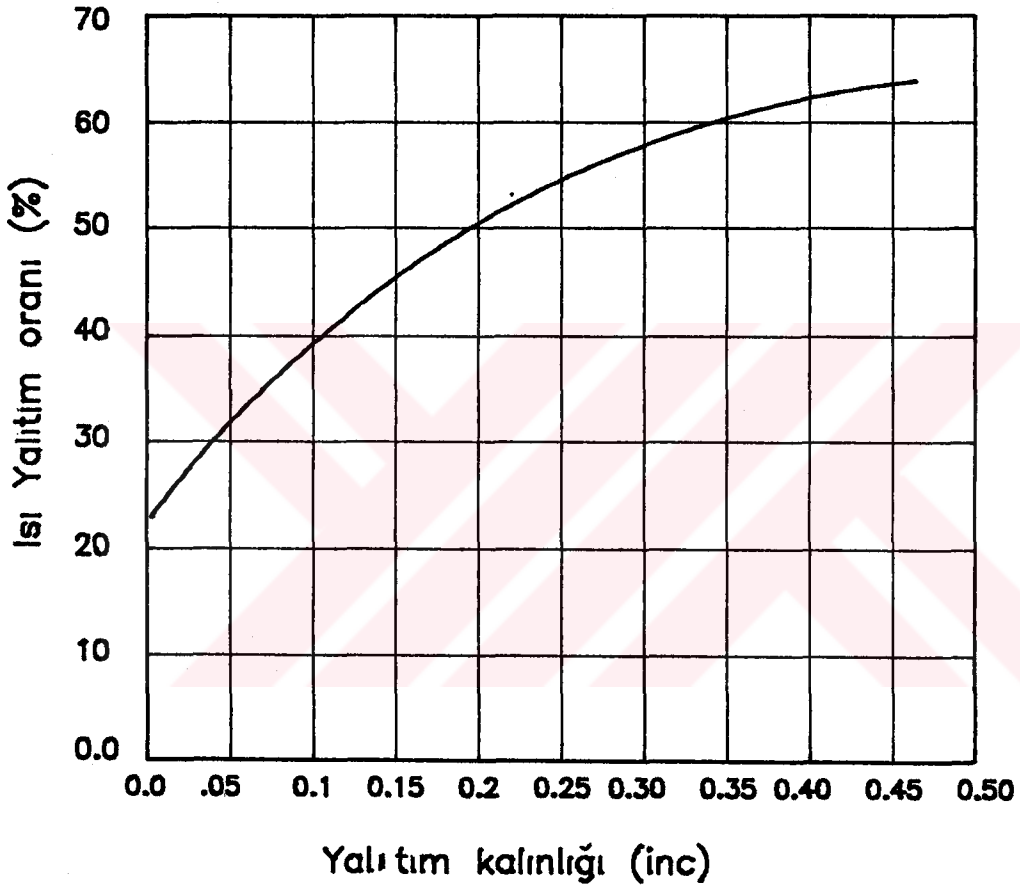
Şekil 3.5 Isı Yalıtım Oranı ile Özgül Yakıt Tüketiminin Değişimi

iletim katsayısı ( $k_s$ )'nin etkisine dayanılarak cidar ve gaz sıcaklıklarını artış meydana gelmektedir . Şekil 3.6'da cidar ve gaz sıcaklıkları ile ilgili yapılan ısı iletim oranı görülmektedir . Şekil 3.7'de ısı yalıtım oranı ile kaplamanın kalınlığı görülmektedir. Van tarafından yapılan bir çalışmada motor toplam ısı kaybının oranı %65'ini azaltılmıştır (Şekil 3.7) . Kaplama sonunda volumetrik verimde de azalma meydana gelir . Şekil 3.8'de volumetrik verim ile ısı iletim oranı görülmektedir ( Van,1984) .

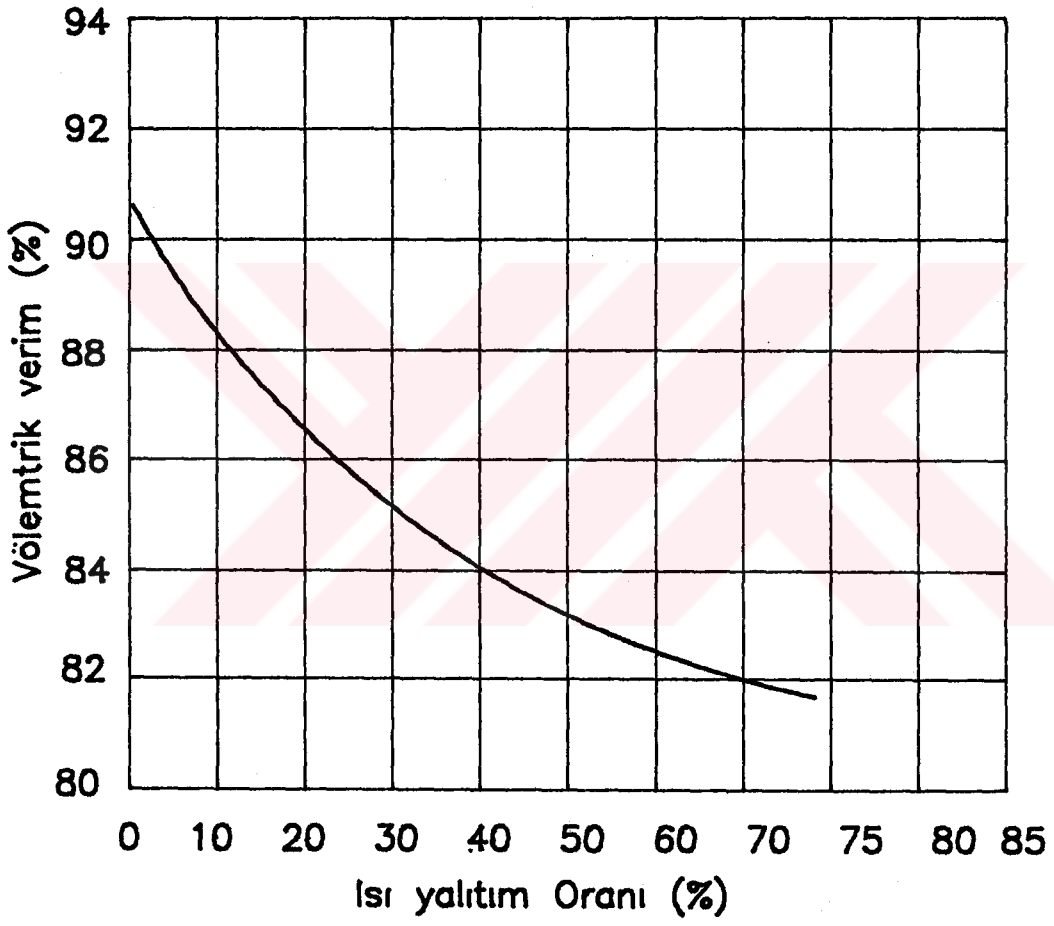
Wacker ve Sander'in yaptıkları bir çalışmaya göre küresel grafitli dökme demir'den yapılmış bir piston kamyonlarda kullanılmıştır ( Şekil E.3.1'de dizaynı görülmektedir). Büyük dizel motorlarda alüminyum alaşımlı piston yerine tek parçalı KGDD malzemedan altranatif olarak kullanılır, Şekil E.3.1'de görülmektedir . KGDD'nin ısı iletim katsayısı alüminyum alaşımlıkinden düşük olduğu için soğutma sistemine geçen ısı azalmakta ( Tablo E.2 ) yanma odası cidarların sıcaklıkları artmaktadır . Burada yüksek yanma basıncı altında özgül yakıt tüketiminde belli bir fayda sağlanmıştı . Şekil E.3.5'de görüldüğü gibi pistonda ısı kayıp oranı %60'ini azalmıştır . ve pistonun üst yüzey sıcaklığı  $650^{\circ}\text{C}$  'ya kadar çıkar. Fakat yüksek sıcaklıklar altında soğutma sisteminde kullanılan yağlar yanmaya başlar ve segmanlar üstünde ve kayıtlar içinde karbon birikmeye başlar . bu durumu engellemek için  $230^{\circ}\text{C}$  sıcaklığa kadar yükseltilmez , yada piston iki parçalı ( kompozit piston) olarak imal edilir ve bu dizaynı Şekiller E.3.3 ve E.3.4'de görülmektedir . Şekil E.3.3'de , pistonun üst kısmı çelikten alt kısmındaki ise alüminyum alaşımından yapılmıştır. Pistonun üst yüzeyi sıcaklıkları  $400-730^{\circ}\text{C}$  arasında değişmektedir . Fakat Şekil E.3.4'de pistonun üst kısmı çelikten alt kısmı ise KGDD'den yapılmıştır ve buradaki pistonun hacminde azalma



Şekil 3.6 Cidar ve Gaz Sıcaklıkları ile ısı yalıtım Katsayısının Değişimi



Şekil 3.7 Isı Yalıtım oranının yalıtım kalınlığıyla değişimi



Şekil 3.8 Isı Yalıtım Oranı ile Völemtrik verimin değişimi



meydana gelir . Kompozit pistonda kullanılan iki farklı malzemenin ısısızal genleşme katsayılarının uygunluğu ile doğrudan ilgilidir . Bazı pistonlar alt kısmı alüminyum alaşımından (veya KGDD'inden ve üstteki kısmı dökme demir üzerinde PSZ kaplama yapılır ve burada pistonun yüzey sıcaklıkları 1000°C sıcaklığa kadar yükselir . Bu tip pistonlarından soğutucuya geçen ısı miktarı ve soğutma sistemin etkisi Tablo 3.4'de görülmektedir (Wacker veSander,1982) .

Tablo 3.4 Bazı Özel Pistonlardan Geçen Isı Miktarı

Piston Dizayni	Yanma odasından (piston üst tarafı) geçen ısı enerjisi KW/devir	Soğutma sistemin etkisi %
a)Standart Alüminyum pistonu	6.2	100
b)Kompozite Alüminyum-Nimonik piston (soğutmasız)	2.5	40
c)Kompozite KGDD-Zirkon Oksida Seramik malzemeli piston	2.3	37

Düşük ısı kaybı sağlamak amacıyla YO'nın elemanları piston ve silindir gibi dökme demirden imal edilir.Çünkü dökme demir , çeliğe ve alüminyuma göre ısı iletim katsayısı çok düşüktür . Segmanlara geçen ısı kayıplarını azaltması için segmanlar sayısı üçtan ikiye indilir (Kirlosker ve chandokar,1978 ) .

Sonuç olarak standart motorun yanma elemanları elemanları , ısı ısı iletimi düşük olan bir malzeme kullanırsa , daha önceki dizayn ve işletme özellikleri yeniden hesaplanmalıdır . Fakat bu tezin içinde en çok seramik kaplamalar icelenecektir .



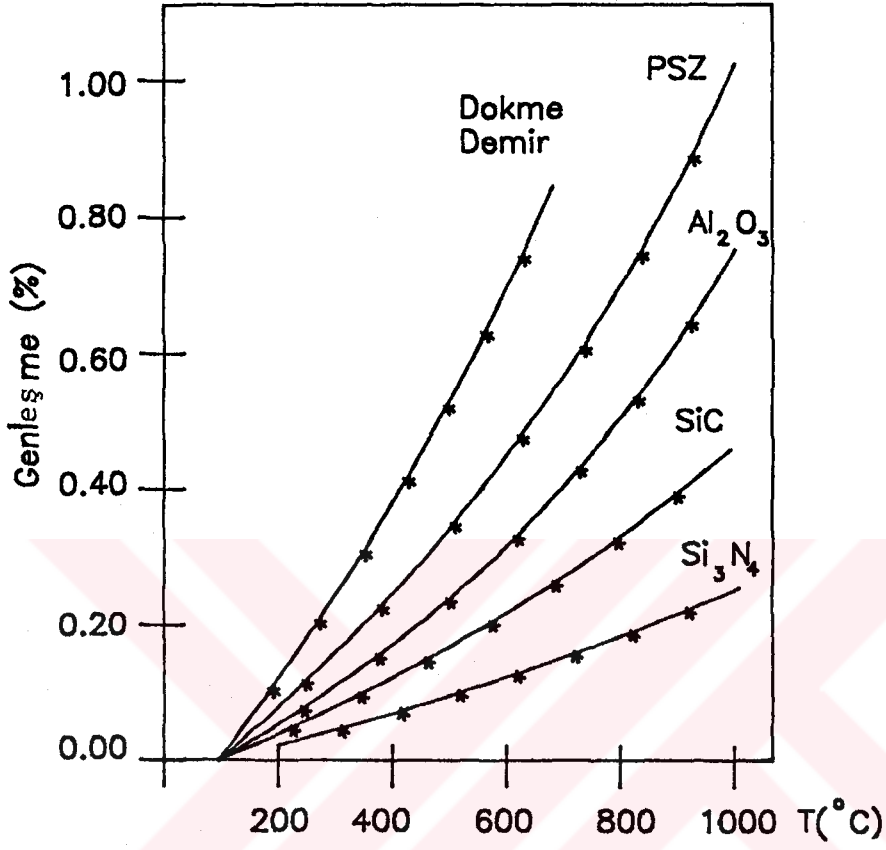
## BÖLÜM IV

### 4. MOTORLARDA YALITMA İŞLEMLERİ

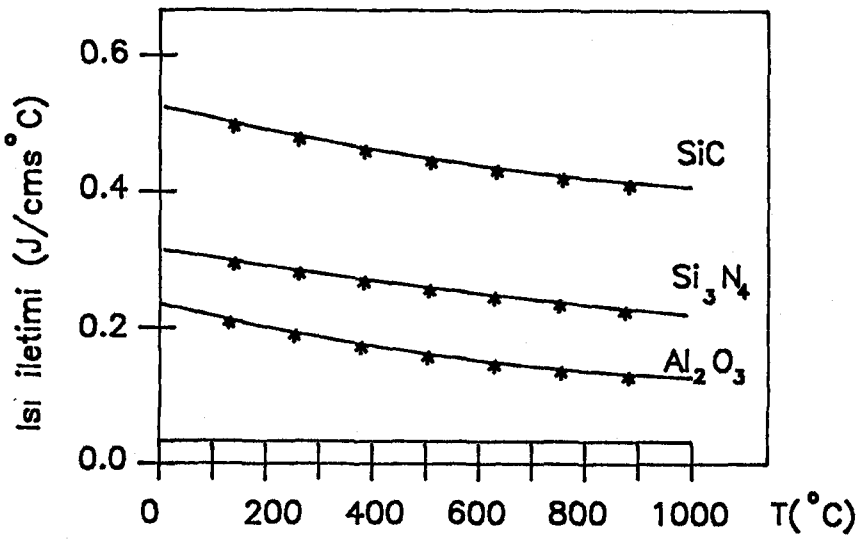
#### 4.1. Seramik Kaplamalar

Endüstride kullanılan malzemelerin kalitelerini geliştirmek daima ilgi çekici bir araştırma konusu olmuştur. Özellikle hareketli makina parçalarının daha yüksek termik , mekanik ve korozyon mukavemetine sahip olması için yapılan çalışmalar çok hızlı bir şekilde devam etmektedir . Bu özelliklere sahip malzemeleri üretebilmek için seramiklerden yararlanma yoluna gidilmektedir . Fakat malesef tamamen seramikten yapılma parçaları üretmek zordur ve bunların özellikleri de bu halleriyle uygun değildir . Seramiklerin bu dezavantajlarını ortadan kaldırabilmek için metalik malzemeler üzerine kaplama yoluna gidilmektedir . Böylece dizayn esnekliği olan parçalar daha ucuz ve hafif olarak üretilebilmektedir .

Seramiklerin metaller üzerine kaplanmaları, iki malzemenin ( metal-seramik ) termal genleşme katsayılarının uygunluğu ile doğrudan ilgilidir . Bugün mevcut çalışmalarla elde edilen sonuçlara göre ( Partially-stabilized zirconia ) PSZ cinsi seramikler için en uygun metal malzemenin dökme demir olduğu ifade edilmektedir (Leising ve Purohit,1978 ; Kamo ve Bryzik,1984 ) . Şekil 4.1'de tipik seramiklerin ve dökme demirin genleşme katsayıları görülmektedir . Ayrıca ısı yalıtım amacı ile kullanılan seramikler düşük ısı geçirgenlikleri ve termal gerilmeleri azaltmaları sebebiyle önemli dizayn değişiklikleri sağlayabilirler . Şekil 4.2'de tipik seramiklerin termal iletimini göstermektedir .



Şekil 4.1 Tipik Seramiklerin ve Dökme Demirin Genleşme Katsayısı



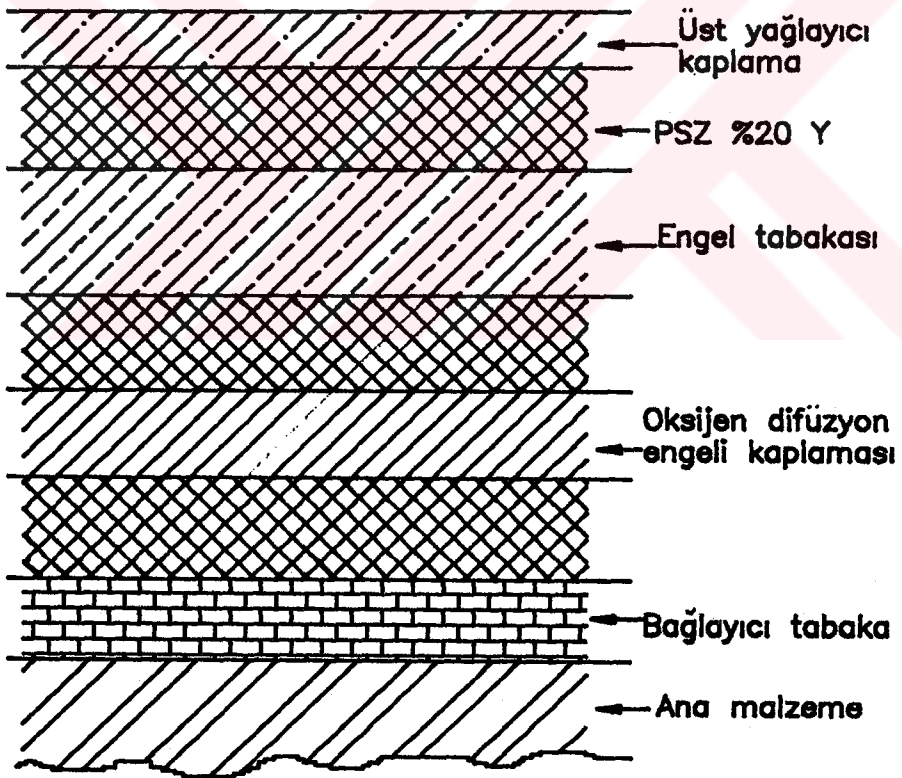
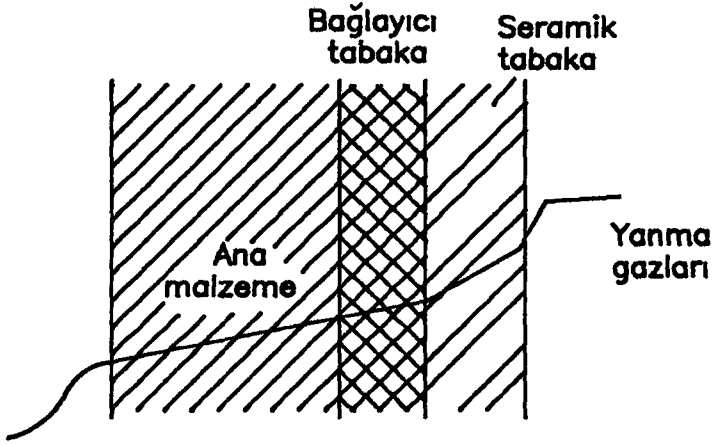
Şekil 4.2 Tipik Seramiklerin Isi İletimi Değerleri

Isı geçişini engellemek amacıyla yapılan kaplamalar ince ve kalın kaplamalar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır . İnce kaplamalar 0.5 mm'ye kadar kalınlığa sahip , kalın kaplamalar ise 6.25 mm'ye kadardır . İnce ısı engelli kaplamalar gaz türbinlerinde , dizel ve benzin motorlarının piston kafalarıyla supaplarda kullanılır. Bunlar  $ZrO_2$  yada  $MgZrO_3$  ısı engeli olarak yüzeyde kullanılan , bağlayıcı tabaka olarak da Ni-Cr , Ni-AL yada MCrAlY'dirler . Yapılan araştırma sonuçlarına göre en az 3.5 mm kalınlığında bir kaplama tabakası ile tatmin edici bir ısı kaybı azalması sağlanabileceği belirtilmektedir ( Çevik,1990 ) . Isı yalıtımı amacıyla yapılan kaplamalarda kaplama tekniği, kaplama kalınlığı ve kaplama malzemesi başarıya etki eden önemli bir unsurdur . Herşeyden önce temiz bir yüzey ve iyi bir bağ tabakası gereklidir . Genleşme katsayısı seramik tabakayla çok farklı olan metal yüzeylere çok katlı kaplama tekniği uygulanabilir . Şekil 4.3 tek ve çok tabakalı bariyer kaplaması şemasını göstermektedir .

#### 4.1.1. Seramik Kaplama Malzemeleri

Endüstride çeşitli alanlarda kullanılan seramik malzemelerin kimyasal ve fiziksel kompozisyonları değiştirilerek metallara uygun özellikler göstermesi sağlanır . İleri teknoloji seramikleri olarak isimlendirilen bu seramik malzemeler ;

- 1- Düşük ısı iletimi
- 2- Korozyon direnci
- 3- Düşük sürtünme ve aşınma direncinden dolayı kaplama kullanımında artışa sebep olmaktadır .



Şekil 4.3 Tek ve Çok Tabakalı Termal bariyer Kaplaması

Aşınma direnci gösteren kaplamalar genellikle statik makina parçalarında kullanılmalarına rağmen hareketli kısımlarda da kullanımı için yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Karbürler, nitrürler ve borüler sert kaplamaların yapımında kullanılan bileşikler olup , özellikle piston veya supaplar üzerine TiN, TiC ve Ti(CN), demir alaşımları için TiB kaplamalar başarıyla kullanılmaktadır (Çevik, 1990 ) . Motorlarda minimum sürtünmeli seramik malzemeler kullanılmasıyla %50'ye varan mekanik sürtünme kaybı azalması ümit edilmektedir ( Kamo ve Bryazik,1984 ) .

Seramik kaplamaların başlıca istenen özellikleri aşağıdaki gibidir (Kamo veBryazik,1984) ;

- 1- İyi ısı yalıtımına sahiptir .
- 2- Yüksek genleşme katsayısına sahiptir .
- 3- Yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklıdır .
- 4- Aşınma , korozyon ve erozyon dirençlerine karşı dayanıklıdır .
- 5- Düşük sürtünmeli özelliğine sahiptir .
- 6- Hammaddeleri doğada bol bulunmaları ve ucuzdur .
- 7- Yoğunlukları düşüktür.
- 8- Isı iletkenlikleri ve özgül ısıları düşüktür .
- 9- Çatlamaya karşı dayanıklıdır .
- 10- Yorulma direncine karşı dayanıklıdır .
- 11- Mikroyapı kararlılığı ,Yüksek mukavemet ve gevrek metallar arası bulunmamasıdır .
- 12- Kaplama ile ana malzeme arasında ısıl veya yapısal uygunsuzluk bulunmamalıdır .
- 13- Kaplama sünek olmalı , üniform gelişmeli , düşük oranlarda bağıyıcı ve sünek tabaka sağlamalıdır .

Çeşitli kaplama teknikleri ile V , Ti , Zr , Hf , Nb ve Ta'ın nitrür ve karbonitrürlerini ihtiva eden sert

kaplamalar ve çeşitli oksit esaslı seramik kaplamalar ile feldspat , boraks , kuvars , ihtiva eden kaplamalar metallar üzerine uygulanabilir. En yaygın ve kullanılması en kolay seramik kaplama işlemi toz halindeki seramiğin püskürtme usûlüyle metal yüzeyine tutturulmasıdır . Dolayısıyla en uygun seramik kaplama malzemesi toz halinde üretilen seramiklerdir ( Çevik,1990 ) .

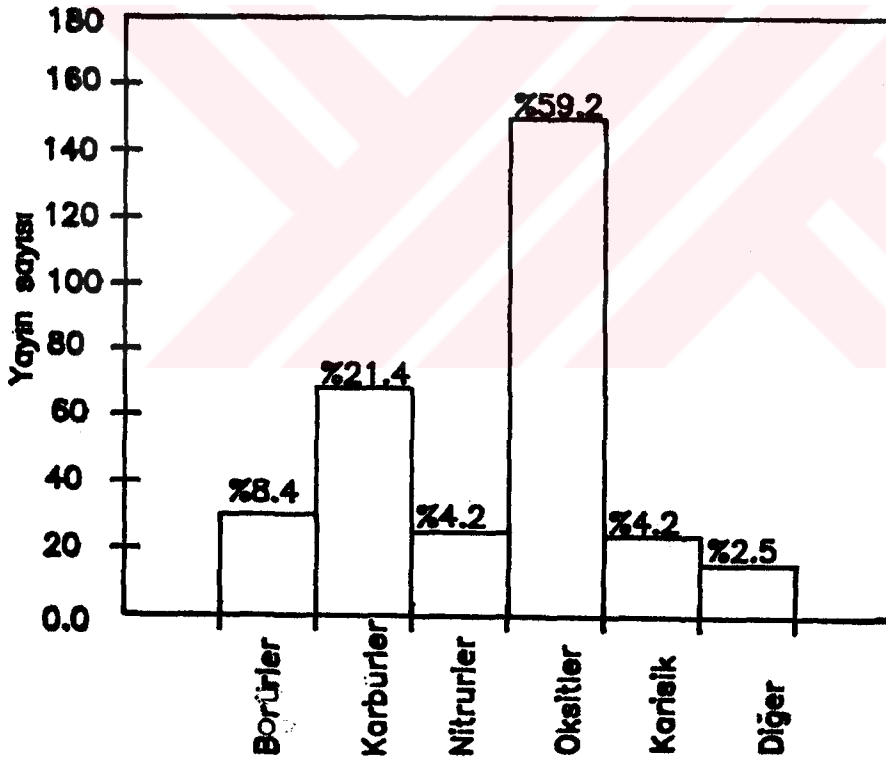
Genel olarak eriyebilen herhangi bir malzeme ark , alev veya detonasyon teknikleri ile püskürtülebilir . Ayrıca plazma püskürtme yönetiminde sıcaklığında önemi yoktur , fakat çalışma atmosferi önemlidir . Şekil 4.4'de değişik seramik tozları ile ilgili yapılan yayınların sayısı görülmüştür . Şekilde görüldüğü gibi en önemli seramik tozları oksitlerdir . Genellikle borürler , karbürler ve nitrürler zor erirler . Bu sebeple bu malzeme leri termal püskürtme suretiyle kullanma pek mümkün olmaz . Oksitlerden bsonra ikinci derecede önemli kaplama malzemeleri karbürlerdir . Kolay erimeyen bazı karbürler PVD veya CVD teknikleri ile kaplanabilirler . Eriyebilen karbürler ise detonasyon tekniği , alevle püskürtme , plazma püskürtme tekniği ile kaplama işleminde kullanılabilir .

Zirkonya , termal püskürtme tekniklerinin tamamı ile metallerin yüzeyine kaplanabilir . Püskürtme teknikleri ile gerçekleştirilen kaplamalar gittikçe önem kazanmaktadır . Çünkü yüksek sıcaklıkta eriyen ( $2710^{\circ}\text{C}$ ) zirkonya plazma tekniği ile kaplamak önceleri pek kolay değildi .

Çeşitli maksatlarla kullanılan seramik kaplama malzemeleri Tablo 4.1'de uygulama alanları da belirtilmek suretiyle



sunulmuştur ( Çevik,1990). seramik kaplamaların metallere uyumunu sağlamak amacıyla ara tabaka olarak kullanılan ısı bağlayıcı özellik gösteren önemli bir tabakadır . Püskürtülen seramik tozlarının yapışması temiz bir yüzey ve uygun bir bağlayıcı ile mümkün olur . Isı yalıtımı amacıyla motorlarda kullanılan en önemli kaplama malzemesi PSZ olarak adlandırılan kısmi stabilize edilmiş zirkonyumdur ve  $ZrO_2$  ,  $CaO$  ,  $MgO$  ,  $Y_2O_3$  bileşimidir .



Şekil 4.4 Değişik Seramik Tozlarıyla İlgili Yayınların Sayısı

Tablo 4.1 Seramik Kaplamalar ve Uygulama Alanları

UYGULAMA	KAPLAMA
Aşınma Direnci	TiN TiC Ti(CN) ZrN TaN Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> WC-TiC-TaC TaC BC ZrB <sub>2</sub> HfB <sub>2</sub> TiZr ZrO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> NiO+CaF <sub>2</sub> /SrF <sub>2</sub> Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> Cr <sub>7</sub> C <sub>3</sub>
Erozyon Direnci	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> TaN NiOCaF <sub>2</sub> Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> WTiC <sub>2</sub>
Oksidasyon Direnci	SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> MgO BeO <sub>2</sub> MfO <sub>2</sub> T <sub>2</sub> O <sub>5</sub> CeO <sub>2</sub> Ru Ir oksitleri NiOCaF <sub>2</sub> HfC WSi <sub>2</sub> /ZrO <sub>2</sub> ZrSi <sub>2</sub> /ZrSi MoSi <sub>2</sub> /ZrO <sub>2</sub> MoSi <sub>2</sub> NbSi <sub>2</sub> VSi <sub>2</sub> ZrSi <sub>2</sub> CrSi <sub>2</sub> TiSi <sub>2</sub> T <sub>1</sub> B <sub>2</sub> HfB <sub>2</sub> ZrB <sub>2</sub>
Karbürizyon Direnci	NbB <sub>2</sub> TaB <sub>2</sub>
Difüzyon Direnci	TiC TiN

PSZ'nin tainmasında kompozisyonunu ifade etmek maksadı ile Mgpsz , Capsz , Ypsz olarak ifade edilir. Özellikle gaztürbinlerinde kullanılan kaplamalarda YPSZ çatlak ve kopma bakımından en iyi sonucu vermiş , Mg ve Ca ile stabilize edilen  $ZrO_2$  ise daha sonra gelmiştir ( Yazıcıoğlu ve Adak,1992; Çevik,1990) .

Seramik kaplamalardaki termal yorgunluk çatlama ve termal genişleme katsayısı uyumsuzluğundandır. Dizel motorlarında başarılı bir termal şok dayanımı için olan kaplama şekli NiCrAlY üzerine  $MgO + ZrO_2$  kaplamalarıdır .  $MgO + ZrO_2$  aşınma ve esneklik yorulmasına karşı da iyi bir dirence sahiptir . Seramik kaplama malzemesi ana malzeme sıcaklığını böylece  $120 - 150^{\circ}C$  arasında düşürebilir . Motor yanma odası elemanlarında özellikle pistonlar için kullanılabilir seramiklerin malzeme özellikleri Tablo 4.2'de sunulmuştur . Seramik kaplama tekniği ile beraber doğrudan seramik motor elemanı üretimi de yapılan diğer çalışmalardandır. Özellikle kaplama tekniğinde karşılaşılan güçlükler ve daha yüksek ısı yalıtımı sağlama çalışmaları için ( Tam Adayabatık motor ) iticiler , supap yuvaları , supap kayıtları , silindir gömlekleri , ön yanma odaları , silindir kafa yüzeyleri ve piston tepeleri bu şekilde üretilmesi mümkün ve üretilebilen elemanlardır (Marmach ve Hannink,1983) . Fakat ölçü farklılıkları imalat ve son işleme zorluğu gibi sebeplerle daha çok kaplamaya yönelinmiştir . Sinterlenmiş alfa silikon karbit , silikon nitrit , PSZ imal edilen malzemelerdir (Marmach ve Hannik,1983) .

Tablo 4.2 Bazı Seramiklerin Özellikleri

ÖZELLİKLER	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> Sintered	ZrO <sub>2</sub> (PSZ)	SiC Sintered
Bükülme Mukavemeti 900 °C MPa	700/520	800/345	451/475
Çatlama kuvveti 900 °C MPavm	4.7	9.5	2.4
Elastisite modülü (GPa)	230	150	300
Genişleme katsayısı (20...1400 °C)(1 / °C)	3.3x10 <sup>-6</sup>	10.6x10 <sup>-6</sup>	3.7
Yoğunluk (gm/cm <sup>3</sup> )	3.1	5.7	3.1
Isı iletim katsayısı (W/m °C)	28	2.5	5.7

#### 4.1.1.1 Sert Üst Tabaka Kaplama

Bu grup kaplama için aşınma direnci en önemli özellik olmaktadır . İyileştirilmiş tribolojik uygulamalar için bir çok yüzey düzeltme yöntemi kullanılmaktadır . TiN , TiC ve Ti(C,N) kaplamaları takımlara uygulanmaktadır . TiC vida kayıtlarında ve ağır şartlar altında çalışan piston vesupaplarda kullanılmaktadır . Otomotiv sanayiindeki takımların yaklaşık olarak %30 kadarı TiC kaplıdır . Kalınlığı 4-8 mikron olan TiC , Üzerine yerleştirildiği Co sırtı korumaktadır . Bunun düşük ısıl iletkenliğe sahip olması daha sıcak talaş çıkmasına ve daha soğuk takımla çalışmaya imkan vermektedir . Ayrıca ana malzeme ile uyumu da başarısı yardım etmektedir . Yüksek hızı kesmede takım ucunun sıcaklığı 1500<sup>o</sup>C'ye ulaşmakta ve böyle yerlerde TiC ve TiN oksitleri ve alfa alümina kaplamalar üstünlük sağlamaktadır . TiC tabakası üzerine yerleştirilen alümina adezyonu iyileştirmektedir (Yazıcıoğlu ve Adak, 1992) .

#### 4.1.1.2. Isıl Bariyer Kaplamaları

Isıl bariyer kaplaması ilk defa 1976 yılında bir araştırma motorunda kullanılmıştır . Gaz türbini için uygulamada kullanılan kaplama sisteminde MCrAlY üzerine ZrO<sub>2</sub>-(%6-8)Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>seramik plazma püskürtme yapılmaktadır . Bununla birlikte geniş bir bölgede ihtiyacı karşılamaya uygun olmamaktadır . Erozyon ve korozyon dirençli ısıl bariyer kaplamalar , motorlarda metal parçaların ve bazı ısı değıştiricilerinin aşırı ısınmasını önlemek içinçok gerekli olmaktadır .

Bazı plazma püskürtmeli kaplamalarda adezyonun zayıf olması ayrılma problemine yol açmaktadır . Plazma püskürtmeli seramik kaplamanın metallere adezyonu zayıf olmakla birlikte ara tabaka veya püskürtme yapıştırıcı tabaka kullanıldığında örnek olarak NiAl veya Mo , Önemli iyileşme ağılanmaktadır . Yakıta maruz kalan parçalar üzerine  $MgO-Al_2O_3-SiO_2$  camı+toz NiAl uygulanmaktadır . Türbinlerin yanma odalarında  $MgZrO_3$  ısı bariyer kaplamaları kullanılmakta .

Gaz türbin kanatlarında ve motor yanma odasında ısı bariyer kaplamalar , ana malzemedeki hava soğutma ihtiyacını azaltmaktadır .

Oksitler ısı bariyer olarak oynamaktadır . MCrAl kaplamalarında oksitler sadece 1 mikron kalınlıkta olmaktadır . Bunu iyileştirmek için ısı bariyer kaplama , mevcut kaplama üzerine uygulanmaktadır . Gaz türbini yanma odalarında ve egzoz borularında bundan başarılı sonuçlar elde edilmektedir . Y-kararlı zirkonya plazma püskürtmeli tabakalar 150-500 mikron kalınlıkta kullanılmaktadır . Isıl genleşme gerilmesini asgarı yapabilmek için genellikle kaplamalarda tedrici değişme yapılmaktadır . Ana malzemenin bileşmesinden  $ZrO_2$ 'nin bileşimine geçişin tedrici olması plazma püskürtme ile yapılabilmektedir . 100 mikron kalınlıkta NiCrAl üzerindeki 250 mikron kalınlıkta Y kararlı zirkonya kaplama ile metal sıcaklığında  $100^{\circ}C$  düşme sağlanabilmektedir .

Termal bariyer kaplamaları silindir gömlekleri üzerine yalnız başlarına uygulandığında çabucak aşınırlar . Bunu engellemek için üç tabakalı bir kaplama sisteminde 0.125 mm'lik bir  $CrO_2$  yada altı zirkonyum üzerine kaplanır ( Yazıcıoğlu ve Adak,1992) .

## 4.2. Kaplama Tekniği

Metallerin yüzeyine seramik kaplamak için uygulanan değişik yöntemler vardır . Bunlar kaplanacak metalin özelliğine ve kullanım amacı ile yerine göre değişebilir. Kaplama tekniklerinden bazıları ;fiziksel buhar çöktürme (CvD) , kimyasal buhar çöktürme (CVD) , iyonla kaplama (Platting IP) , sıçratma ile kaplama , elektron hüzmeye buharlaştırması (EBE) alevle püskürtme (FS) , plazma püskürtme (PS) , detonasyon tabancısı (DG) , reaktif iyon kaplama (RIP) , sol-jel (SG) , çamur yöntemi (SL) , reaktif sıçratma ile kaplama (RS), sıcak izostatik presleme ile kaplama (HIP)'dir . Tablo 4.3'de çeşitli seramik kaplama yöntemleri ve kaplama malzemelerisunulmuştur (Çevik,1990) . Verilen kaplama yöntemlerinde bilhassa termal püskürtmenin en çok kullanılan yöntem olduğu seramik kaplamalar üzerine yapılan yayın sayısı ile ilgili olarak yapılan termallardan anlaşılmaktadır .

### 4.2.1. Alevle Püskürtme Tekniği

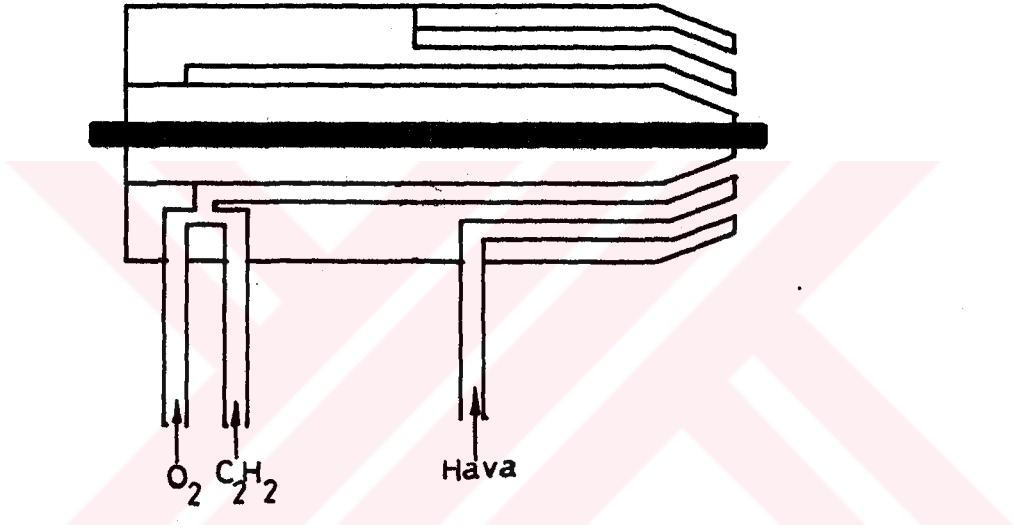
Bu metoda seramik malzeme toz veya çubuk şeklinde alevin içinden geçilir . Böylece seramik erir ve kaplanacak yüzeye püskürtülmüş olur . Genellikle  $O_2-H_2$  ve  $O_2-C_2H_2$  gaz karışımları ile kullanılır . Bunlardan ilk karışımın sıcaklığı 2600 C ikincisi ise 3000 C'ye ulaşır . Çubuk ile çalışan bir sistemin şeması şekil 4.5'de görülmektedir . Yanıcı ve yakıcı karışım dairesel olarak çubuğun etrafına etki eder . Çubuğun hızı ayarlıdır ve çubuk otomatik olarak dışarı doğru itilir . Devamlı olarak çubuğun ucundan birkaç mm'lik kısım erir. Erime sonucu meydana gelen sıvı damlası

Tablo 4.3 Seramik Kaplama Teknikleri ve Kaplanan Malzemeler

YÖNTEM	KAPLAMA
CVD	$\text{SiO}_2$ , $\text{TiSi}$ , $\text{SiB}$ , $\text{TiN}$ , $\text{Si}_3\text{N}_4$
PVD	$\text{TiN}$ , $\text{TaN}$ , $\text{VC}$ , $\text{TiC}$ , $\text{In}_2\text{O}_3$ , $\text{Al}_2\text{O}_3$
IP	$\text{TiC}$ , $\text{HfN}$
S	$\text{TiN}$ , $\text{Ta}_2\text{O}_5$ , $\text{TiO}_2$ , $\text{Fe-Cr-P-C}$ , $\text{Cr}_3\text{B}$ , $\text{Ti}_3\text{B}$
EBE	$\text{Al}_2\text{O}_3$ , $\text{ZrO}_2$
PS	$\text{Al}_2\text{O}_3$ , $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , $\text{ZrN}$ , $\text{MoS}_2$ , $\text{CaF}_2$ , $\text{ZrO}_2$ , $\text{TiO}_2$
FS	$\text{ZrO}_2$ , $\text{Al}_2\text{O}_3$ , $\text{Cr}_3\text{C}_2$
DG	$\text{WC}$ , $\text{Cr}_3\text{C}_2$ , $\text{WTiC}$ , $\text{Al}_2\text{O}_3$ , $\text{TiO}_2$ , $\text{Cr}_2\text{O}_3$
RIP	$\text{ZrO}_2$
SG	$\text{CeO}_2$ , $\text{SiO}_2$
SL	Karbürler
RS	$\text{Al}_2\text{O}_3$ , $\text{TiO}_2$ , $\text{NbN}$ , $\text{TiN}$ , $\text{CdS}$
MIP	$\text{Al}_2\text{O}_3$ , $\text{ZrO}_2$ , $\text{MgO}$ , $\text{SiO}_2$ , $\text{BeO}$



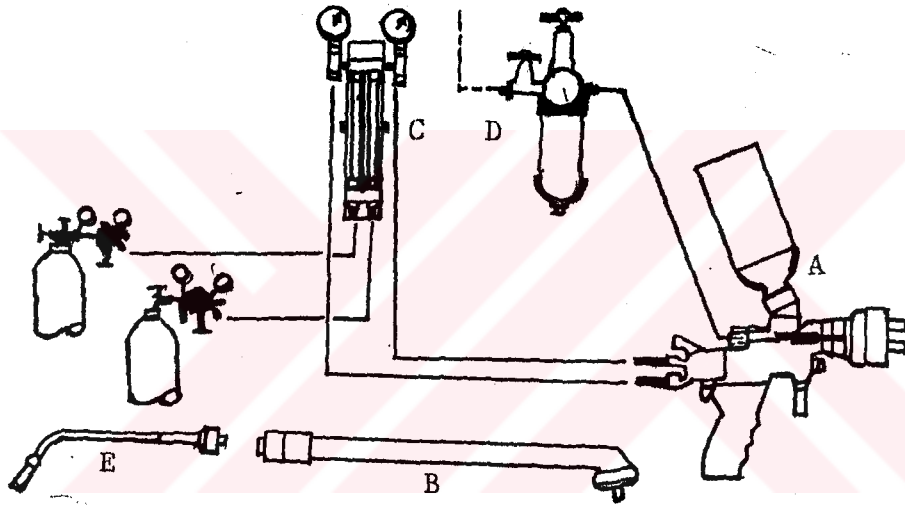
basınçlı hava ile alevin etkisiyle ileri doğru püskürtülür . Seramik toz malzeme ile çalışan bir alevle püskürtme tekniğine ait tesisat şekil 4.6'de görülmektedir . Çubuklu alev püskürtme sistemi tozlu sistemden daha iyidir. Zira malzeme eritildiği takdirde kaplanacak yüzeye püskürtülmüş olur . Halbuki tozlu sistemde tam erimeyen taneciklerde yüzeye püskürebilir. Çubuklu sistemin bu teknik iyiliğine karşılık kullanılacak olan seramik çubukları üretmek zordur .



Şekil 4.5 Çubuk ile Çalışan Sistemin Şeması

Alevle toz püskürtme tekniği tekniği soğuk ve sıcak olmak üzere iki şekilde yapılır . Soğuk püskürtme tekniği ile yapılan kaplamalarda kaplanacak iş parçası 200 °C sıcaklığı geçmediğinden malzemede metalurjik yapı değişikliği ve boyutsal çarpılmalar meydana gelmez . Yüzey , toz , nem , pas ve kirden temizlenerek ısıtılmadan hazırlanır . Sıcak püskürtme yönteminde ise yaklaşık olarak iş parçasına 100-300° C ön tav yapılır .

Sıra ile ifade edilirse iş parçasının hazırlanması ve ısıtılması , metal toz alaşımının püskürtülmesi , püskürtülen tabakanın ergime yolu ile ana malzemeye kaynaması şeklindedir . Püskürtme yaklaşık 20 cm'den yapılır (\*) . Daha önceki bölümde ifade edildiği gibi termal bariyer maksatlı kaplamalarda ana malzemeye uygun seramik kaplama yapabilmek için çok tabakalı kaplama da uygulanabilir . Şekil 4.3 termal bariyer kaplamasını tek ve çok tabakalı olarak göstermektedir .



- A- Püskürtme Tabancası
- B- Püskürtme Ara Ünitleri
- C- Akış Manometresi
- D- Hava Kompresörü basınç reglatörü
- E- Püskürtme Başlıkları

Şekil 4.6 Alevle Seramik Tozu Püskürtme Tesisatı

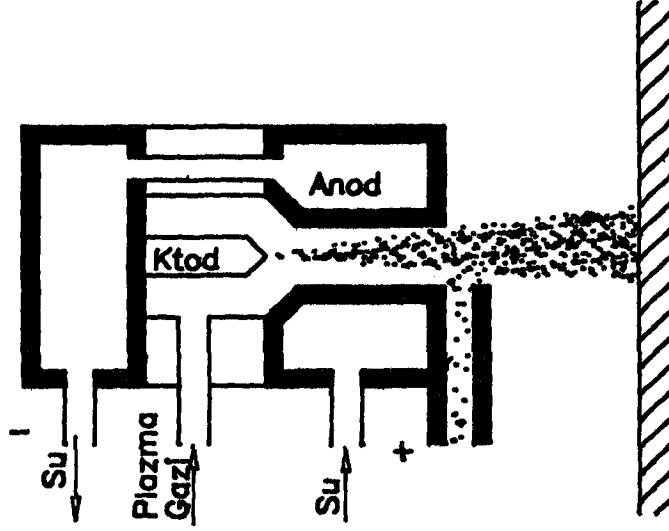
\* Castolin kullanma el kitabı , Kaynak Tekniği A.Ş. Kartal - İstanbul . Bu literatürden alınmıştır .

Alevle toz püskürtme tekniğinde üniform bir kaplama yapabilmek için alev-toz veya kaplanacak yüzey çok dikkatli bir şekilde hareket ettirilmelidir . Dairesel parçalar döner tezgah üzerine bağlanarak hem parçanın hem de alevin dengeli hareketi sağlanmalıdır . Kaplanması istenmeyen kısımlara bu tür kaplama tekniğinde iyi bir koruyucu ile izolasyon macunu sürülür . Bu macun dağılan seramik tozlarının istenmeyen yerlere yapışmasını önler . Çünkü alev geniş bir demet şeklinde yayılır . Ayrıca bu teknikte kısmi toz zayıatı da görülür . Oksijen ve asetilen gaz basınçları ile soğutma havası basıncı uygun değerde tutulmalıdır .

### 2.2.2. Plazma Püskürtme Tekniği

Plazma püskürtme tekniğinin prensibi alevle püskürtme tekniğine benzer . Fakat ısı üretimi sistemleri farklıdır . Plazma tekniğinde elektriksel olarak meydana getirilmiş bir ark vasıtasıyla bir gaza enerji depolanır . Bu şartlarda gaz entalpisi yanma olayından tamamen bağımsız olup,  $10^9$  kJ/kg mertebelerine ulaşır . Halbuki bir alev için bu entalpi değeri  $10^7$  kJ/kg değerinde kalmaktadır .Püskürtülecek seramik tozu plazmaya karıştırılır . Böylece toz erir ve yüksek bir hızla kaplanacak malzeme yüzeyine püskürtülür . Plazma püskürtme tekniğinde kullanılan bir plazma tabancası Şekil 4.7'de görülmektedir .

Plazma tabancasının verimli bir şekilde çalışabilmesi için çok yüksek güçte bir doğru akım kaynağına ihtiyaç vardır . Genellikle 1000 A'lık bir güç kaynağı kullanılır ve su ile soğutulur . Plazma tabancasında anod ve katod elektrotları çok önemlidir . Gaz olarak



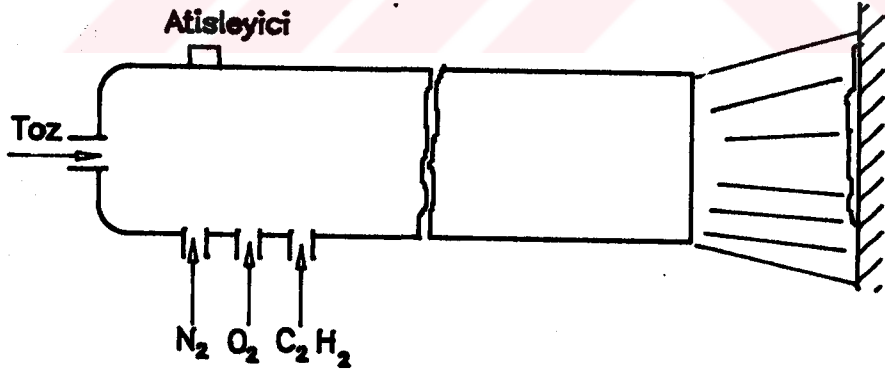
Şekil 4.7 Plazma Tabancısının Şematik Görünüşü

da Ar-H<sub>2</sub> veya N<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>'dir . oluşan sıcaklık yaklaşık olarak 15000 °K civarındadır .

Plazma ile yapılacak kaplamalarda başarılı bir kaplama bugünkü teknoloji ile 0.25-0.5 mm arasındadır . Bu değerler ötesinde termal gerilme sebebi ile plazmada kabuklanmalar . Gaz ve güç seviyesi de kaplama başarısı üzerine etkiler (Çevik ,1990) .

### 4.2.3. Detonasyon Tabancısı Tekniği

Detonasyon tabancısının prensibi özel bir odada oksijen-asetilen karışımının kontrollu bir şekilde infilak ettirilmesine dayanır . Detonasyon tabancısının basit şeması Şekil 4.8'de görülmektedir . İnfilak odası genellikle 2-3 cm çapında ve 1-1.5 m uzunluğunda olup , bir su soğutucusunu ihtiva eder . Kaplanacak seramik tozları infilaktan önce gaz karışımında süspansiyon haline getirilir . Hemen sonra meydana gelen patlama şokları tanecikleri hızlandırır , erime noktasına kadar ısıtır ve yüksek bir hızla (800 m/sn) kaplanacak yüzey üzerine püskürtülür . Bu olay saniyede 4-7 defa tekrarlanır . Seramik tozunun tabancadan her atılışında 25 mm çapında ve bir kaç mikron kalınlığında bir tabaka meydana gelir .



Şekil 4.8 Detonasyon tabancasının şematik Görünüşü

#### 4.2.4. PVD ve CVD Teknikleri

Fiziksel buhar çöktürme PVD işlemi yüksek vakumda yapılır . Örnek olarak TiN kaplaması bu şekilde yapılır . Ti buharlaştırıldıktan sonra Ar ve N<sub>2</sub> gazları karışımı ile reaksiyona sokularak iyonize edilir . Süper sertlikteki TiN kaplanacak malzeme üzerine çökelir . Kaplama sıcaklığı 360-600 C arasında olabilir . Bu yüzden kaplanan malzemede deformasyon çok az olmaktadır . Kimyasal buhar çöktürme CVD 850-1050 C gibi yüksek sıcaklıklarda yapılır . Gaz olarak H<sub>2</sub> , N<sub>2</sub> , CH<sub>4</sub> ve CO kullanılır . Korozyon ve aşınma direnci iyidir ( Akçil, 1990) .

#### 4.3. Uygulamalar

İleri teknoloji seramiklerinin ilk araştırma yılları 1940'larda olmasına rağmen , içten yanmalı motorlara uygulanarak ilk deneysel gözlem ve çalışmaları 1970'li yılların sonu ile 1980'li yılların başlarındadır . Bölüm 1.2. ifade edilen beklentiler önemli ölçüde , yapılan bu deneysel ve prototip çalışmalarda başarılmıştır . İlk çalışmalar daha çok gaz türbin kanatları ile ilgili olması ile birlikte bugün dizel motorlarındaki uygulama sahası ve sonucu oldukça ümit vericidir . Doğrudan seramik parça imalatından çok seramik kaplamaya yönelinmesi kolay ve ucuz bir imalat yöntemi olması sebebiyledir . Isı yalıtımı maksadıyla piston kafaları , silindir gömlekleri , supaplar, silindir kafa yüzeyleri , egzoz portu , manifoldlar , turboşarj ve turbokombine parçaları olmak üzere bir çok motor elemanı kaplama yapılabilir .

Böyle bir SKM (Adayabatik motor ) bir çok yönden başarılı olacak şekilde denenerek uygulamaya sokulmuştur . Walzer ve arkadaşlarının 1985 yılında yaptıkları bir çalışma .sonunda turboşarj bir dizel motorunun yanma odasının %80'ini ortalama 3 mm kalınlığında alüminyum titanat yahut zirkonyum dioksit kaplıyarak yalıtılmışlardır . Bunun sonucu olarak yaptıkları ölçümde soğutmaya olan ısı akışı %13 azalmış ve şehir içi çevriminde %5'lik bir yakıt ekonomisi sağlanmıştır . Hay ve arkadaşlarının 1986'da yaptıkları bir çalışmanın raporunda ise düşük hız ve yüklerde ısı geçişi %30'luk azalma ile beraber , en az %3.6'lık bir özgül yakıt tüketimi iyileşmesi başarılmıştır (Stone,1989) . Ayrıca soğutma fanı gücünde en az 2 kW'lık azalma ile oranlanmış hız ve yükte toplam %2.7'lik yakıt tüketimi azalması sağlanır . Bu değerler kısmi yükte daha büyük gelişme gösterir . Work ve Hoag ile arkadaşları 1985'de yaptıkları bir çalışmada %30 ısı geçişi azalması ile %3.4'lük volümetrik verim kaybı bildirmişlerdir . Egzoz gazı sıcaklığında 70 ° K'lık artış ile turboşarj sistemde yakıt tüketimi %0.8 , turbokombine sistemde ise %2'lik gelişme sağladığı rapor edilmiştir (Stone,1989) .

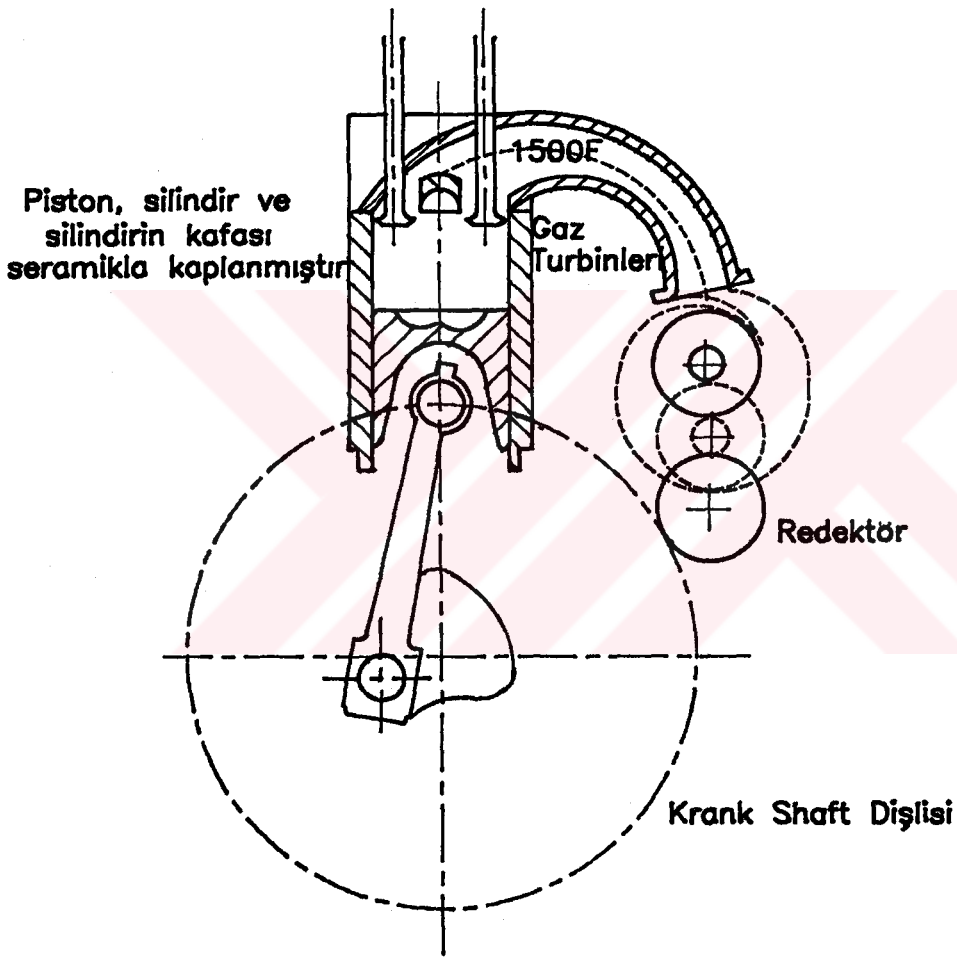
Bryazik ve Kamo tarafından yapılan bir çalışmada 5 tonluk bir askeri kamyon üzerine soğutmasız Adayabatik motor konularak test edilmiştir . Bu çalışmada zirkonya esaslı seramik toz plazma spreyi ile kaplanmıştır . 250 saatlik dayanım ve ömür testi sonunda başarılı sonuçlar almıştır (Kamo ve Bryazik,1983) . Motorun pistonları , segmanları , silindir gömlekleri , silindir kafa yüzeyleri , supapları , supap kayıtları ve enjektörleri özel olarak yapılmıştır . Parçalar termal bariyer ve aşınmaya dirençli seramikler ile 0.635 mm kalınlığında plazma spreyi ile kaplanmıştır . Pistonlar zirkonya ve

krom oksit kaplı , segmanlar krom karbit ile kaplanmıştır . Gömlekler zirkonya ve krom oksit kaplıdır . Silindir kafası ve emme-egzoz portları zirkonya ve krom oksit kaplıdır . Supaplar standart yapıdadır .

250-500 saatlik ömür ve dayanım testi sonunda silindir gömlekleri çok başarılı , pistonlarda yanma hücresi erozyonu ve etek çatlama ile kopmalar , segmanlarda yüksek aşınma ve kopma , silindir kafa yüzeyi ise mükemmel sayılabilecek durumda olduğu ifade edilmiştir. Yakıt tüketiminde eş bir motor ve taşıta göre maksimum tork ve oranlanmış devir şartlarında %14 azalma görüldüğü ifade edilmektedir . Soğutmasız motordaki soğutma sistemi elemanlarının kaldırılması ile ( radyatör , su soğutucu v.s. ) hacimden 0.047 m<sup>3</sup> , ağırlıktan 153 kg kazanılmış , ayrıca parazitik kayıplardan da kazanç sağlandığı ifade edilmektedir . ABD Tank-otomotiv araştırma geliştirme kurumu (TARADCOM) ve Cummins motor şirketi tarafından yapılan çalışmalarda M60 serisi tanklarda turbokombine sistem uygulanarak elde edilen sonuçlara göre fan gürültüsü 10 dbA , motor gürültüsü 2.6 dbA azalmıştır . Piston , gömlek , port , supaplar ve kafa yalıtımı ile %79 ısı kaybı (Tablo 3.3'de görülmektedir ) azalması sağlandığı , özgül yakıt tüketiminin azaldığı , cidar sıcaklıklarının ve egzoz sıcaklığının arttığı ifade edilmektedir ( Kamo ve Bryazik ,1978 ) . Bryazik ve Kamo tarafından kullanılan deney tesisat Şekil 4.9'de görülmektedir .

Adayabatik motorlarda kullanılan seramik kaplamalarının genel olarak özellikleri Tablo E.1'de görülmektedir(Kamo ve Bryazik,1984) .





Şekil 4.9 Cummins Adayabatik Turbokombine motoru

## BÖLÜM V

### 5. ADAYABATİK MOTORLARDA BEKLENEN ÖZELLİKLER

#### 5.1. Genel Bilgi

Motorlarda seramik kullanılması son yıllarda ileri teknoloji seramikleri alanındaki gelişmelere paralel olarak hızla artmaktadır . Mevcut motorlarda özellikle malzeme dayanımı yönünden konulan sıcaklık sınırlamaları motor verimini de sınırlamaktadır . Yanma odası elemanlarının seramikten yapılması veya seramik tabaka ile kaplanması sıcaklık etkisiyle malzemedan meydana gelebilecek kusurları önler ve termik verimde artışa sebep olur .

Isı kayıplarını azaltarak motorda verimi artırmak amacıyla piston tepesi , silindir kafa yüzeyi ve supaplarda termal bariyer kaplamalarına (PSZ kaplamalarına) ihtiyaç duyulur . Yanma odasından %80'lik bir ısı kaybı azaltılması için en az 3.5 mm'lik bir ısı kaplama kalınlığında ihtiyaç vardır . Eğer silindir gömlekleri de katı seramikten yapılmışsa segmanlara uygun termal genleşmeli ve aşınmaya dayanıklı kaplama gereklidir . Bazı seramik malzemeler 900 c'ye kadar kendi kendine yağlayıcıdırlar. Motor yanma odalarında tatminkar bir izalasyon için 5 mm'lik bir kaplama tabakasına ihtiyaç vardır . Ancak bu plazma spreylı kaplama tekniği için pek mümkün değildir (Kamo ve Bryazik,1984) . YO'nın elemanları ısı kaybına karşı Şekil 4.9'de görülmektedir .

Düşük ısı kayıblı sağlamak amacıyla dizel motorlarında yapılan kaplamalar , soğutma sistemin ortadan kaldırmayı amaçlanmaktadır . Soğutma sistemin elemanlarının (Pompa, vantilatör , su kanalları , radyatör v.b.) ortadan kalkmasıyla ağırlık , parça , maliyeti ve ekonomisi, motor gücünün artması beklenen en önemli özelliktir . Bu amaçla yapılmış olan çalışmalarda yüksek sıcaklık yatakları ve yağları gibi problemler öne sürülmüşse yapılan uygulamalar ümit vericidir. Genellikle polyester esaslı yağlarla bu problem çözülebilmektedir (Yoshimitsu ve arkadaşları,1982) . Yukardaki sayılan ve sayılmayan soğutma elemanları gerek motorun gerekse taşıtın imalı ve dizayn için zorlayıcı faktörlerdir . Bugün tam adayabatik olmasa bile sseramik kaplamalı motor (SKM) yapımı özellikle soğutmaya giden ısı kayıplarının azaltılması , soğutma yükünün ve harcanan gücün azaltılması sebebiyle faydalı enerjiyi artıracak ve genel motor verimi yükseltilecek (Wacker ve sander,1982) .

Daha hafif motorlarda veya taşıttan sağlanan daha fazla güç alınır . Daha yüksek cidar ve gaz sıcaklıkları çok çeşitli ve daha az kaliteli yakıt (kömürden türetilen yakıt(SRCIII) , düşük setanlı sayısal yakıtlar ) kullanılmasına imkan verecektir . Daha kalın dizel yakıtı adayabatik motorda kolayca yakılabilir ve Tablo 5.1'de görülmektedir . Isı kayıplarını azaltılması sebebiyle sıkıştırma ile ateşlenen motorlarda (dizellerde) sıkıştırma sonu gaz sıcaklığı artacağından daha kolay ilk hareket sağlanır . Tutuşma gecikmesi azaltılması sebebiyle kontrolsuz yanmadan kaynaklanan vuruntu ve gürültü azalarak daha sesiz bir dizel motor çalışmasına imkan verir . Yanma odasının 2 mm

kalınlığında kısmen stablize edilmiş zirkonya kaplaması ile ısı kayıplarını %30-45 kadar engellemektedir . Aynı etkiyi ancak 12.5 mm kalınlığındaki  $Si_3N_4$  göstermektedir

Tablo 5.1 Düşük Kaliteli Yakıtları İçin motor karakteristikleri (\*)

Motor ve Yakıt		Su soğutmalı Mot.		Adayabatik Motor	
		SetanSy. 30	SRCIII	SetanSy. 30	SRCIII
Yüksek hız	Ağır Yük	○	X	○	○
	Düşük yük	○	X	○	○
Orta hız	Ağır Yük	○	X	○	○
	Düşük yük	○	X	○	○
Düşük hız	Ağır Yük	△	X	○	○
	Düşük yük	△	X	○	△
İlk Hareket		X	X	○	X

ve bazı seramiklerin özellikleri Tablo 4.2'de sunulmaktadır.

Isı kayıplarını azaltarak yanma odası cidar sıcaklıklarını artırma ve egzoz gazların sıcaklığını yükseltmek beklenen en önemli özelliklerindedir ve Şekil 3.6'da görülmektedir (Van,1984) . Egzoz gazların sıcaklığını artırmakla oluşan egzoz enerjisindeki artışı , bir tabii emmeli dizel motoruna turboşarj veya turbokombine düzenek ekliyerek güce dönüştürebilir . Bu

○ : Normal çalışıyor .

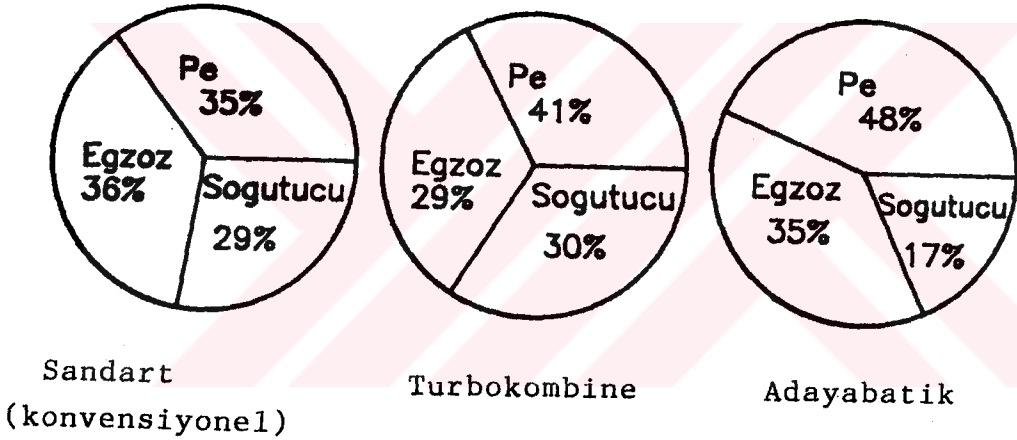
△ : Motor hafif vuru ile çalışıyor .

X : Motor yüksek vuru ile çalışır .

yolla atık egzoz enerjisini faydalı hale getirilir . ve motor performansı iyileştirir . Tabii emmeli bir dizel motorunda faydalı enerji %30-45 iken seramik kaplamalı motor ise %60-65 kadardır . Ayrıca egzoz sıcaklıklarda standart bir dizel motorunda 400-600°C olmasına karşılık seramik kaplamalı motorda (Düşük ısı kayıplı motorda) 700-950°C'dir (Leising ve Porhıt,1978). turbokombine bir motorda ise bu değer 1000 °C üstünden çıkabilir . Atık enerji dönüştürücüleri kullanarak motorun ısı dengesini değiştirmek ve egzoz gazlarından faydalanma araştırma ve uygulamacıların ana ilgili noktalarıdır (Wallace ve Way,1978). Şekil 5.1'de standart , adyabatik ve turbokombine dizel motorlarından enerji dengelerinin karşılaştırılması ve düşük ısı kayıplı motorlarının (SKM'lerinin) yapımıyla özellikle taşıt hacminin küçültme veya daha fazlakullanma alanı sağlama imkan vermektedir . Soğutma sisteminde bazı parçaların azaltılması , yok edilmesi veya motor elemanların aynı güç yoğunluğuna göre azaltılması beklenen önemli özelliklerindedir. Turboşarj ve turbokombine motor düzenekleri de Şekil 1.2'de görülmektedir . Ayrıca gaz türbini kanatçıkları ile roket nozülleri de seramik kaplama ile ısı yalıtımı yapılarak termik zorlamaktan korunmaktadır ( Kamo ve Bryazik,1984) .

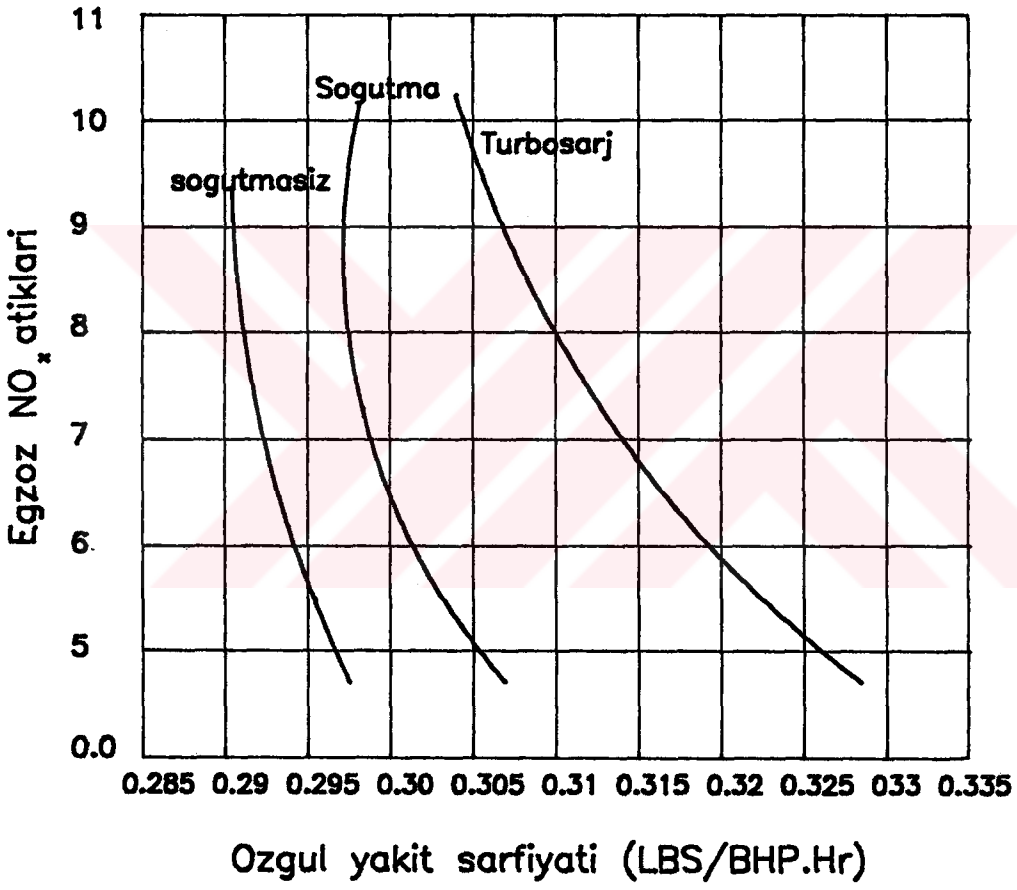
Cidar sıcaklıklarının artması sebebiyle tutuşma gecikmesini azaltarak yanma verimini iyileştirmek beklenen özelliklerdendir. YO elemanlarının herbirinin ısı yalıtımı sonucunda özgül yakıt tüketimine belli bir fayda (Şekil 3.5'de görülmektedir ) sağladığı deneylerle gösterilmiştir . Bu faydalarının yanında volümetrik verimde azalma meydana gelir, Şekil 3.8'de sunulmuştur .

Tam adayabatik bir motor dizaynı sonunda bir askeri araçta (tank) hacim azalması oranı oldukça etkilidir . Yaklaşık %40'a varan değerlerde bir hacim azalması görülür . Bu azalma motorda %35 , soğutma sisteminde %22, yakıtta %17 , aksesuarda vedğerlerinde %5'e varan bir azalma meydana gelebilir (Leising ve Purohit,1978). Özellikle askeri amaçlar için hedef küçültme bakımından taşıtın küçültmesi veya taşıtın kullanma alanının artırılması yanında , azalan ağırlığı sebebi ile daha az yakıt tüketime ve daha seri hareket (manevra) kabiliyeti kazanması da performans açısından Önemlidir (Leising ve purohit,1978).

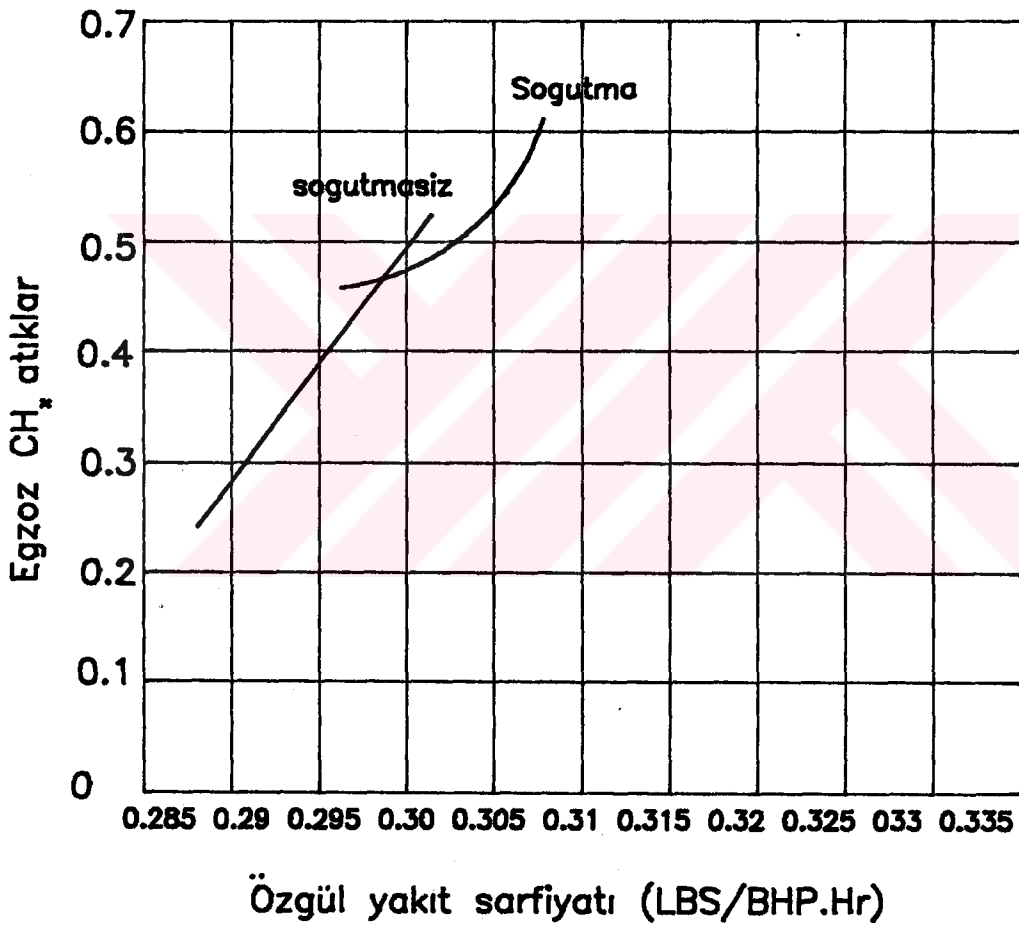


Şekil 5.1 Standart , turbokombine ve adayabatik Motorların Enerji Dengesi Karşılaştırılması

Adayabatik motorlarda ısı kayıplarını azaltarak YO'nın cidar sıcaklıkları artış meydana geldiği için egzoz yolu ile atılan monooksit (CO) ve yanmayan hidrokarbonlar ( $CH_x$ ) azot (NO) gazları azalma olur ,Şekiller 5.2 ve5.3'de görülmektedir .



Şekil 5.2 Özgül Yakıt Tüketiminin Egzoz NO<sub>x</sub> Atıkları ile Değişimi



Şekil 5.3 Özgül Yakıt Tüketiminin Egzoz CH<sub>x</sub> Atıklarıyla Değişimi



## 5.2. Dizaynda Yapılması Gerekli İşlem Değişiklikleri

Standart bir dizel motorunun YO elemanları ,ısı iletimi düşük bir seramik malzeme ile kaplandığında motorun daha önceki dizayn ve işlem özellikleri değişir . Diğer bir ifade ile başka bir motor olur ve yeni bir tasarım ihtiyaç duyulur .

İçten yanmalı motor bir termik makina olması sebebi ile çok düşük sıcaklıklardan çok yüksek sıcaklıklara kadar çeşitli aralıklarda çalışır . Düşük sıcaklıklarda parçaların uzama , genleşme ve gerilme değerleriyle, yüksek sıcaklıktaki değerleri önemli dizayn farklılıklarına sebep olur . Alüminyum alaşımlı bir piston sıfır °C'deki uzunluğu ve çapı ile 300 °C'deki uzunluğu ve çapı çok farklıdır . Bu farklılık malzeme açısından değerlendirdiği zamanda bir benzer bir özellik gösterir .

Wacker ve Sander'in yaptıkları bir çalışmaya göre alüminyum alaşımından yapılmış bir pistonun tepe kısmında,  $\Delta T$  sebebi ile , genleşme farkı olarak silindir içine sıkışmaması için verilen boşluğun 0.8 mm olmasına karşılık , Küresel grafitli dökme demir bir pistonun aynı kısımdaki genleşme payı 0.55 mm'dir . Etek ölçülerinde ise birinde 0.2 mm boşluk gerekirken diğerinde 0.1 mm boşluk bırakılmıştır . Şekil E.3.2'de görülmektedir .

Pistonun boyca uzaması ve genleşmesi sonunda , sıkıştırma oranının değişmesi ve yanma üzerine tesiri ile , etek boşluklarının özellikle soğuk çalışmalarda ses oluşturulması beklenen sonuçlardır . Tatminkar bir izolasyona sahip YO elemanları , ısı geçişi engellemesi veya yüksek cidar sıcaklığı sebebiyle yeni bir dizayn ve yeni işletme şartlarını gerektirir .

Bu çalışmada kaplamalı ve kaplamalı motorun supap vemekanizmasıyla silindir kafa-blok uzama değerleri deneysel olarak tespit edilmiştir . Yapılan kaplamanın supaplarının açılma ve kapanma dereceleri üzerinde etkisi görülmüştür .

Termal gerilme sebebiyle malzeme sınırlamaları, tasarımda yeni bir yaklaşımı gerektirir . Termal ve mekanik gerilmeleri optimal bir tasarımla yaklaştırmak malzeme kalınlığını değiştirir . Soğutma boşluklarını ve parça miktarını azaltmak , soğutma donanımını daha kolay imal edilebilir hale getirmek ve fan , su pompası gibi parazitik kayıpları azaltarak faydalı enerjide dolaylı artış sağlayacağından önemli bir avantajlar elde edilir.

## BÖLÜM VI

### 6.SONUÇLAR ve İRDELEME

Aluminyum alaşımlı piston üzerine yapılan PSZ cinsi seramik kaplamalar , büyük termal uyumsuzluk sebebiyle başarılı değildir . Bu sonuç litatürda (Kamo ve Bryazik,1984) ifade edilmiştir . kaplamalı malzemeyi çatlak ve kopma görüldüğü takdirde termal uyumsuzluğundan dolayı kaylanmaktadır . Adiabatik dizel motorlarda kullanılan seramik malzemenin genel olarak özellikleri Tablo E.1'de görülmektedir ( Kamo ve Bryazik,1984) .

Özgül yakıt tüketimindeki azalmanın sebebi standart motora göre daha yüksek cidar ve gaz sıcaklığının etkisiyle tutuşma gecikmesinin azalması sonucu yanmanın iyileşmesidir . Bu şartlarda ortalama gaz sıcaklığının ve ortalama cidar sıcaklığının arttığı hesaplanmıştır .

Kaplamalı motorlarda (Adiabatik motorlarda) , yüksek devir ve yüksek ortalama efektif basınçlarda özgül yakıt tüketiminde yükselme görülmüştür . Belirtilen işletme şartlarında standart motorunda , yüksek cidar ve gaz sıcaklığına sahiptir . Yalıtımın etkisiyle daha da yükselen gaz ve cidar sıcaklıkları dizayn ve işletme özelliklerinin değişmeğine sebep olmaktadır .

Isı yalıtımı sebebiyle silindirdeki ortalama gaz sıcaklığı ve cidar sıcaklığı da yükselmiştir . Bunun sonucu tutuşma gecikmesi azalmış ve yanma veriminin iyileşmesi ve sonuç olarak motor termik verimi artmaktadır .

Standart motorda tesbit edilen gaz cidar sıcaklıkları , adyabatik motor için kullanıldığında silindir kafasından, Pistondan ve silindir gömleklerinden ölçülen iç cidar sıcaklığı ( $T_{sc}$ ) ve soğutucu sıcaklığı ( $T_c$ ) (Şekil 3.4'de görülmektedir .) standart motordan daha düşük olmaktadır . Soğutma sistemine verilen enerjiye paralel olarak azalan soğutma suyu debisi ile , su pompası gücü, soğutma fan gücü ve radyatör alanı gibi değer küçülmektedir . Belirtilen kayıpların azaltılmasıyla faydalı enerjide artış meydana gelmektedir .

Kaplamalı motordan ölçülen daha yüksek egzoz gazların sıcaklığı egzoz enerjisinin artmasına sebep olur . Yükselen egzoz enerjisinden faydalanmak için türboşarj ve türbokombine gibi donanımları kullanmak suretiyle motordan daha fazla faydalı enerji alınır ve özgül yakıt tüketimi daha da azalır . Egzoz ve soğutucu yolu ile kayıp olan enerjiler azaldıkça , motorun ısı dengesi efektif gücün artışı yönünde değişir .

Isı yalıtımı ve tam adyabatiklik açısından daha iyi sonuçlar elde etmek en azk 5 mm kalınlığında bir kaplamaya gerek olduğu gibi yanma odasında da daha büyük bir kısmen hatta tamamen yalıtılmış sayılır .

Özgül yakıt tüketiminde azalmaya sebep olan düşük hızlarda ile düşük efektif ortalama basınçlarında çalışması gereken stasyonere ve taşıt maksatlı motorlar için ısı yalıtımı kaplaması tavsiye edilir . Ayrıca ısı yalıtımı nedeniyle motorda ilk hareket kolaylığı dizel vuruntusunun azalması, motor ağırlığında ve parça sayısında azalma gibi faydaları görülür . Tam adyabatik bir sistem ise soğutma sisteminin tamamen motordan kaldırılması sağlanabilir .

Soğutma ve egzoz kayıplarının azaltmasından dolayı faydalı enerjide artış sağlanarak düşük ısı kayıplı motorlarda kullanılan enerjiden daha fazlas yararlanabilir .

Yapılacak çalışmalar için özellikle alüminyum alaşımlı piston ve silindir kafası gibi motor yanma odası elemanları zirkonya ile kaplıyarak başarılı bir kaplama oluşturmak oldukça zordur . Alüminyum alaşımlı pistonlar için gövde üzerine uygun bir metodla birleştirilmiş genleşme katsayısı daha düşük bir malzemeye kaplama uygulanabilir . Ayrıca Kaynaklanan uyumsuzluk gidilebilir.

Motor sıcaklıklarında meydana gelen değişimler nedeniyle kaplamalı motorun dizayn ve işletme özellikleri yeniden değerlendirilip optimum çalışma koşulları sağlanmalıdır.

**KAYNAKLAR**

- 1- AKÇIL,M.,1990."Zirkonya Esaslı Seramik Kapla Malzemelerinin Termal-Şok ve Parazite Özelliklerinin Tayini",Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul .
- 2- Prof.Dr. BORAT,O.-1992."Yanma",İstanbul .
- 3- BÜYÜKTÜR,A.R.,1985."Termodinamik",Cilt II ,Uludağ Üniversitesi, Bursa .
- 4- Castolin Kullanma El Kitabı , Kaynak Tekniği A.Ş.,Kartal İstanbul .
- 5- CHANG,S.I., ve RHEE,K.I.,1983. "Computation of Radiation Heat Transfer in Diesel Combustion".SAE International of Highway Meeting Exposition,Wisconsin:327-341 .
- 6- ÇEVİK,İ.,1990. "Zirkonya Esaslı Seramik Kaplamanın Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Değiştirilmesi".Doktora Tezi,İ.T.Ü. İstanbul .
- 7- Dağsöz,A.K.,1990."Isı Geçişi".Alfa Teknik Kitapları,4.Baskı .
- 8- KAMO,R.,ve BRYAZİK,W.,1978."Adiabatic Turbocompound Engine Performance Prediction".SAE International Congress and Exposition, Michigan:73-83 .
- 9- KAMO,R.,ve BRYAZİK,W.,1983."TACOM/Cummings Adiabatic Engine Program".SAE International Congress,Michigan .
- 10- KAMO,R.,veBRYAZİK,W.,1984. "Cummins/TACOM Advanced Adiabatic Engine". SAE International Congress.Michigan:3-15 .

- 11- Kirloskar,C.S.,Chandorkar,S.B.,ve Narogan Rao,N.N.,1978.  
"The Avl Series III Diesel Adifferantially-cooled Semi-  
adiabatic Engine Below 10 kW ". SAE International  
and Exposition,Wisconsin:37-47 .
- 12- Leising,C.J.,De Grey,S.P.,ve Finegold, J.G.,1978."Waste  
Heat Recovery in Truck Engines".SAE International Congress  
and Exposition,Michigan : 245-254 .
- 13- Prof.Dr. Safgönül,B.,1989."Pistonlu Motorlar".İ.T.Ü.  
Kütüphanesi , İstanbul .
- 14- Ricardo,R.H.,Çev.Demirgüç,Z.,1963."Yüksek hızlı İçtan  
Yanmalı Motor". İ.T.Ü. Kütüphanesi,İstanbul.
- 15- Stone,R.,1989. "Motor Vehicle Fuel Economy".Macmillan  
Education Ltd., Hongkong.
- 16- Wacker,E.,Sander,W.,1982."Piston Design For High Combustion  
Pressures and Reduced Heat Rejection to Coolant".SAE  
International Congress,Michigan:343-354 .
- 17- Way,R.J.B.,ve Wallace,F.J.,1979."Effect of Partial  
Suppression of Heat Loss to Coolant on The High Output  
Diesel Engine Cycle". Michigan:130-148 .
- 19- Way,R.J.B., ve Wallac,F.J.,1979."Results of Matching  
Calculations For Turbocharge and Compound Engines With  
Reduced Heat Loss". SAE off Highway Vehicle Meating  
and Exposition, Wisconsin:255-261 .
- 20- Van,S.,1984."Performance Analysis of Adiabatic Engine".  
SAE International Congress,Michigan:85-92 .

- 21- Yazıcıoğlu,O.,ve Adak,İ.,1992. "Makina Kontroksiyonda Kullanılan Yüksek Sıcaklık Kaplamalar".Mühendis ve Makina Dergisi :9-22 .
- 22- Yoshindisu,T.,Toyama,K., and others,1982. "Capabilities of Heated Insulated Diesel Engine". SAE International Congress and Exposition,Michigan:17-35 .





## EK . 1

Adıyabatık Motorlarda Kullanılan Seramik Malzemenin  
Genel Özellikleri

Sıcaklık limiti ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\gt$ 1800
Bükme Mukavemeti (Mpa)	$\gt$ 800
Çatlamalara ve Kopmalara Karşı Dayanımı ( m N/m <sup>3/2</sup> )	$\gt$ 8.0
Isı İletim Katsayısı (kcal/cm s $^{\circ}\text{C}$ )	$\lt$ 0.01
Termal şok dayanımı ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\gt$ 5.00
Genleşme katsayısı (1/ $^{\circ}\text{C}$ ) X 10 <sup>-6</sup>	$\gt$ 10
Dayanma Süresi (Saat)	$\gt$ 1000

## EK . 2

Tablo E.2 Alüminyum alaşımını ve KGDD'nin Özellikleri

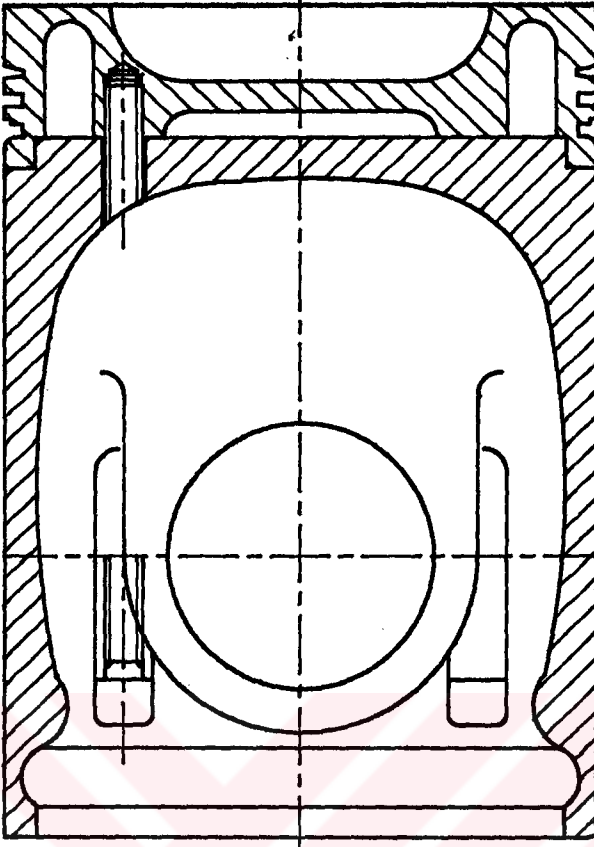
	Birim	Küresel Grafitli Dökme Demir (GGG_60)	Alüminyum alaşımı KS270(SAE332)
Isı iletim katsayısı	$\frac{W}{m \cdot k}$	31.5	149
Yoğunluk	$\frac{10^3 \text{ kg}}{m^3}$	7.2	2.7
Termel genişleme katsayısı	$\frac{10^{-6} \text{ m}}{m \cdot k}$	12	21
Elastik modülü	$\frac{10^{-9} \text{ N}}{m^2}$	173	82
Sertlik (20°)	HB	210-285	100-130

KGDD ; Alüminyum alaşımına göre avantajları ;

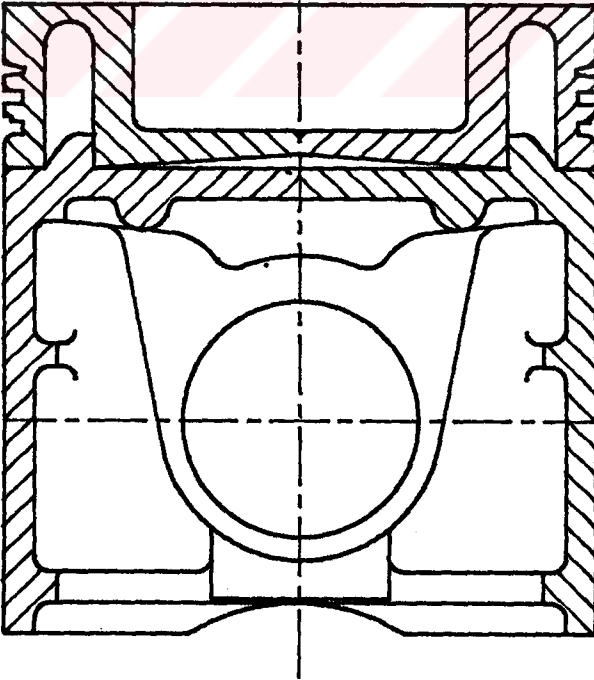
- 1 - Mekanik aşınmaya dayanıklıdır .
- 2 - Isı iletim katsayısını düşüktür .
- 3 - Yüksek basınçlara dayanıklıdır .
- 4 - 450°C sıcaklığa kadar muavemetini yüksektir .

Fakat burada KGDD'nin yoğunluğu Alüminyumkinden daha yüksek bir dezavantaj olarak değerlendirilir .

E.3 :

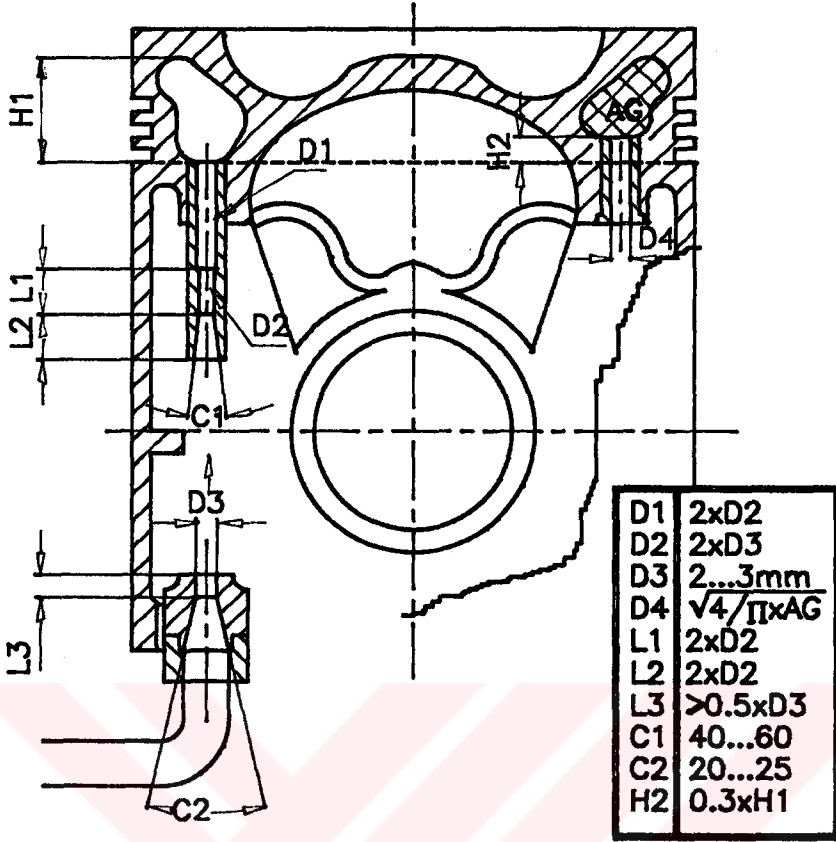


Şekil E.3.3 Piston dizayında Üst kısmı metaldan ve Alt kısmı Alüminyum alaşımdan

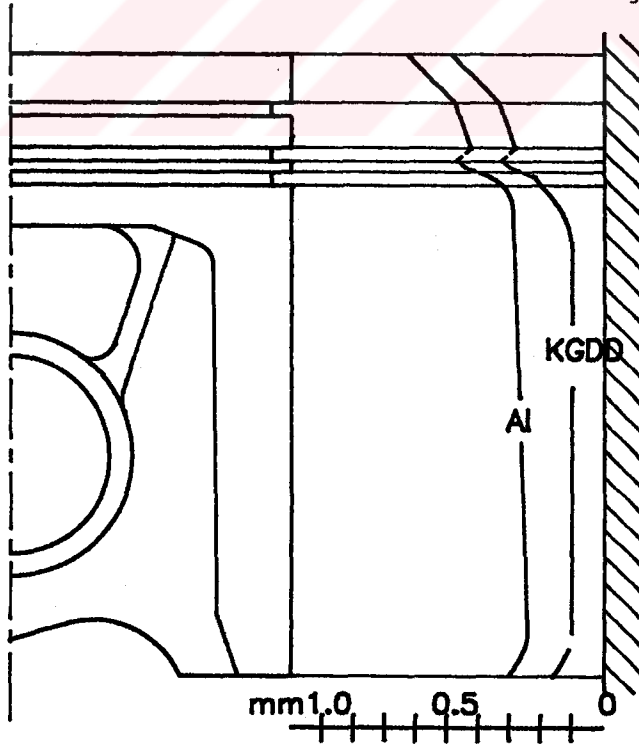


Şekil E.3.4 Piston Dizayında Üst kısım KGDD'den ve Alt K alüminyum alaşımdan

## EK.3

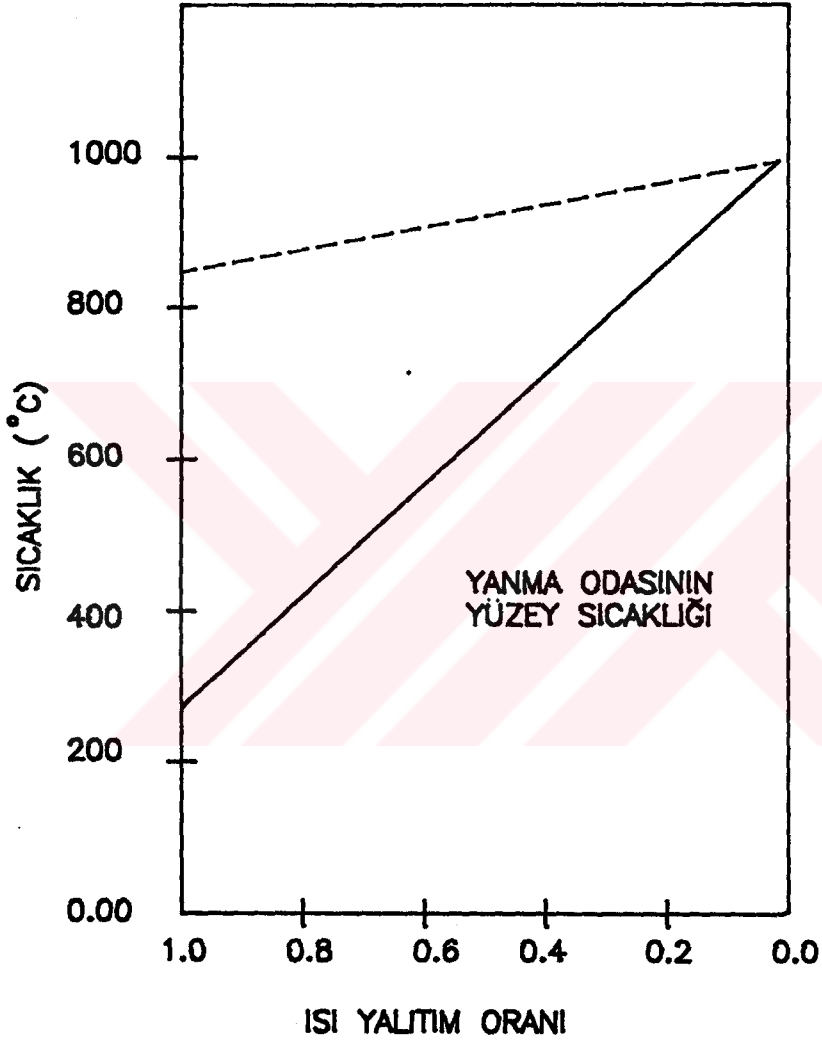


Şekil E.3.1 KGDD'den İmal Edilen Tek Parçalı Piston



Şekil E.3.2 KGDD ve Alüminyum Pistonlar İçin Genleşme Payı

E.3 :



Şekil E.3.5 YO'nun Isı Yalıtım Oranı ile Cidar sıcaklıkları

## ÖZGEÇMİŞ

Abdalla A. Saleh ABDALLA , 1963 yılında Kafrijamal'da (Ürdün'da) doğdu . İlk ve orta öğrenimi Kuveyt'da tamamladı. 1982 yılında Türkçe dilini İ.Ü. Yabancı Diller Okulunda gördüm . 1983 yılında İ.T.Ü. Makina Mühendisliğinde lisans öğrenimine başladı . 1987 yılında Makina mühendisliğinden mezun oldu . 1991 yılında Yıldız teknik Üniversitesi Fen Bilimler enstitüsünde yüksek lisans öğrenimine başladı .

