

**BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORLARDA YAĞ FİLMİ TARAFINDAN TAŞINAN  
HC EMİSYONLARININ MODELLENMESİ**

**M. İhsan KARAMANGİL**

U.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, 16059, Bursa, Türkiye

**ÖZET**

Silindir gömleği üzerindeki yağ filmi motor çıkış HC emisyonlarının ana kaynaklarından biri olarak bilinmektedir. Bu çalışmada, yağ filmi içine yakıtın emilme/salınma oranı için bir matematik model geliştirilmiştir. İlk olarak, silindir gazlarının termodinamik özellikleri (basınç, sıcaklık ve Henry sabiti -H-) bir çevrim boyunca hesaplanmıştır. Daha sonra, Henry ve difüzyon kanunlarını kullanarak, yakıtın yağ filmi içine kütle emilme/salınma hızının etkisi, motor devrine, yağ filmi kalınlığına ve difüzyon katsayısına göre incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yağ filmi, İçten yanmalı motorlar, Henry Kanunu.

**ABSTRACT**

Oil film on cylinder liner has been suggested as a major source of engine-out hydrocarbon emissions. In this study, a mathematical modelling for the rate of absorption/desorption of the fuel in the oil film has been developed. First of all, the thermodynamic properties of the cylinder gases (pressure, temperature and Henry constant -H-) have been calculated through a cycle. Then, using Henry and diffusion laws, the effect of the rate of absorption/desorption of the fuel in the oil film has been investigated depending on engine speed, oil film thickness and diffusion coefficient.

**Key Words:** Oil film, internal combustion engines, Henry law.

**1 GİRİŞ**

Hangi araştırma sahasında olursa olsun, dünyanın artan nüfusu, azalan kaynaklar ve insan hayatına atfedilen önem, araştırmacıları üç temel nokta etrafında çalışmaya sevk etmektedir. Bunlar, yeni kaynaklar bulmak, mevcut teknolojileri daha verimli yani ekonomik boyutlara çekmek ve üretimin insan sağlığına olumsuz etkilerini en aza indirmek.

Çevre kirliliğinin üç önemli boyutundan biri olan hava kirliliğinde taşıtların payı çok farklı sayısal verilere rağmen %50 civarındadır, [2]. Bu küçümsenmeyecek bir paydır. O bakımdan “çağdaş birer israf makinası” olarak nitelendirilebilecek muhtelif güç makinaları enerji kaybının başlıca unsurlarından olan egzoz emisyonları bakımından sıkı birer araştırma sürecine sokulmuşlardır.

Güç makinaları içerisinde en yaygın olan benzin motorları, özellikle HC ve CO emisyonları bakımından ıslaha muhtaçtır. O bakımdan gerek eksik yanma ürünü olan CO ve gerekse yanma reaksiyonundan yanmadan çıkan veya yanma esnasında yanma bölgesinin dışındaki hacimlerde kendine yer bulan hidrokarbonların oluşum ve egzozdan dışarı atılma mekanizmaları incelemeye değer konulardır. Gerçekten de bir motordaki hidrokarbon emisyonlarını incelendiğinde yağ filminin yanma odası içindeki boşluk bölgelerinden (crevices) sonra ikinci sırada geldiğini görülür [5, 6, 12].

Pistonun hareketi ile silindir gömleği üzerinde oluşturulan yağ filmi segmanlar ve piston eteği ile silindir cidarı arasında yağlayarak, sürtünmeyi ve aşınmayı azaltır. Birkaç mikron kalınlığındaki [4] bu yağ filmi emme, sıkıştırma ve yanma (alev yağ filmine ulaşana dek) safhalarında yakıt buharını emme, genişleme ve egzoz zamanlarında ise salma yeteneğine sahiptir. Silindir yüzeyindeki yağ filmi çevrim boyunca silindir içi sıcaklık ve basınç değişimlerine maruzdur. Emme stroku boyunca silindir içi sıcaklık ve basınç çok düşük olduğundan yağ filmi içine emilen yakıt miktarı çok azdır. Sıkıştırma stroku süresince gaz basıncı ve sıcaklığı artarken yağ filminin bir kısmı piston tarafından örtülür. Bu durumda yağ filminin pistonla örtülü olmayan kısımlarında hidrokarbon emilir. Aynı şekilde yanma olayı sırasında basınç ve sıcaklık hızlı bir şekilde arttığından yağ filmi hidrokarbon emmeye devam eder (yağ filminin doyum sınırına ulaşması mümkündür). Yakıt buharının emilmesi alev yağ filmine ulaşana dek devam eder. Genişleme ve egzoz strokları boyunca yağ filmi piston tarafından açılır. Yağ filmi azalan sıcaklık ve basınca maruzdur ve yanmış gazların içindeki hidrokarbon konsantrasyonu hemen hemen sıfırdır. Bundan dolayı hidrokarbonlar yağ filminin dışına doğru salınırlar ve silindir gazları içine difüze olurlar. Eğer oksitlenmeye uğramazlar ve silindirden de çıkabilirlerse yanmamış hidrokarbon emisyonlarına katılırlar [1, 2, 11, 13, 14, 15, 17].

Çevrimin her adımında yağ filmi yüzeyindeki hidrokarbon konsantrasyonları değişir. Bu yüzden silindir gazları ile yağ filmi yüzeyi arasındaki bölgede geçerli olan Henry Eşitliğini çözmek gerekir. Ayrıca silindir gazları içindeki hidrokarbonun yağ filmince emilen ve salınan miktarları difüzyon denkleminin çözümüyle hesaplanabilir. Bu çalışma esas itibarıyla bu iki denklemin çözümüne dayanmaktadır. Silindir içi gazların termodinamik özelliklerini hesaplayan model bu makaleye dahil edilmemiştir.

## 2 MATEMATİK MODEL

Yağ filmi için geliştirilen matematik model Henry Kanunu ile difüzyon denklemini içerir.

### 2.1 Henry Kanunu

Yağ filminin dış yüzeyinde ve yağ filmi içinde erimiş (çözünmüş) yakıt buharı konsantrasyonu, denge halindeki seyreltik çözeltiler için, Henry Kanunu ile ifade edilir. Henry Kanunu, buhar fazındaki yakıtın kısmi basıncı, yağ filmi içerisine emilen yakıtın mol kesri ve Henry sabiti arasında yazılan bir ifadedir, [8].

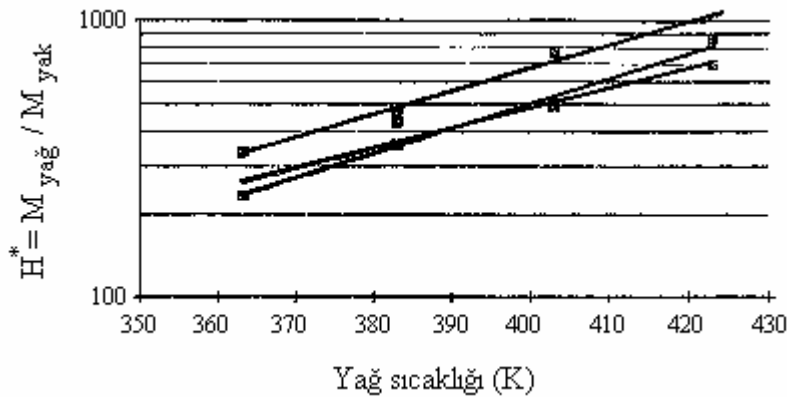
$$x_{yak,yağ} = \frac{P_{yak,(g)}}{H} \quad (2.1)$$

Gaz halindeki yakıtın kısmi basıncı;

$$P_{yak,(g)} = \frac{n_{yak,sil} \tilde{R} T}{V} \quad (2.2)$$

şeklinde hesaplanır. Burada;  $n_{yak,sil}$ : silindir içindeki yakıtın mol sayısı, T: sıcaklık, V: silindir hacmi ve  $\tilde{R}$ : universal gaz sabitidir [3].

Deneysel sonuçlara göre Henry sabiti (H) ile yağ sıcaklığı arasında üssel bir ilişki vardır. Şekil 2.1 de değişik tip yağlar için Henry sabiti ile yağ sıcaklığı arasındaki ilişki görülmektedir.



Şekil 2.1: 3 farklı tip yağ içinde çözünen izo-oktan için  $H^*$  in yağ sıcaklığı ile değişimi [5]

$$H^* = H(M_{yağ} / M_{yak})$$

$M_{yağ}$  : yağın mol kütlesi

$M_{yak}$  : yakıtın mol kütlesidir.

Silindir gömleği sıcaklığına bağlı olan yağ filmi sıcaklığı Henry sabitini, silindir içi basınç da her bir bileşenin kısmi basıncını etkiler. Şekil 2.1 deki grafiklerden yağ filmi sıcaklığı ile  $H^*$  arasındaki bağıntı;

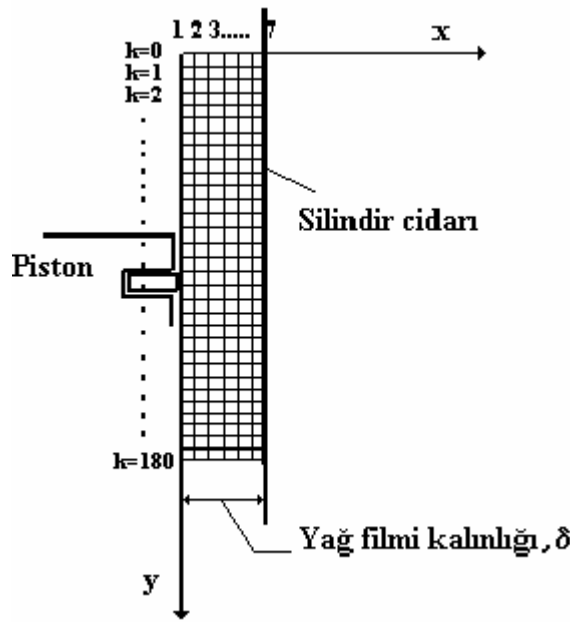
$$H^* \propto (10^{0.0082T_{yağ}}) \quad (2.3)$$

şeklinde olur. Burada  $T_{yağ}$  : cidardaki yağ filmi sıcaklığıdır [5].

## 2.2 Difüzyon denklemi

Yukarıda izah edilen yağ filmi içerisine yakıtın emilip salınması, yağ yüzeyindeki konsantrasyonun ani bir şekilde değişmesinden dolayı, tek boyutlu yakıt difüzyonu problemi olarak davranış gösterir. Yağ filmi Şekil 2.2 de gösterildiği gibi silindir eksenine yönünde 180 eşit parçaya bölünmüş ve her bir hücreden diğerine olan difüzyon ihmal edilmiştir [10].

Şekil 2.2 deki koordinat sisteminin kullanılmasıyla yağ filmi içindeki yakıtın konsantrasyonu  $c(x,t)$ , difüzyon eşitliğinin kullanımıyla silindir cidarına doğru olan mesafenin ve zamanın bir fonksiyonu olarak belirlenir.



Şekil 2.2: Yağ filmi boyunca oluşturulan gridlerin şematik gösterimi [9].

Difüzyon eşitliği;

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (2.4)$$

Bu denklemden;

c: yağ filmi içine (tek bir hücre için) emilen yakıt miktarının o hücre içindeki yağ miktarına oranı, yani konsantrasyon

D: yağ filmi içerisinde ilerleyen yakıtın difüzyon katsayısı

x: yağ filmi yüzeyinden silindir cidarına doğru olan mesafe;

t: zaman terimidir.

**Sınır şartları:**

- i.  $c(x,0)=0$   $t=0$  anında bütün noktadaki konsantrasyonlar sıfırdır.
- ii.  $\frac{\partial c}{\partial x}(\delta, t) = 0$  silindir duvarında konsantrasyonun konuma göre değişimi tüm  $t$  adımlarında sıfırdır.
- iii.  $c(0,t)=F(t)$  silindir gazları ile yağ filmi yüzeyi arasındaki sınır şartı. Henry Kanunundan bulunacak olan konsantrasyon değeridir [7, 16].

Burada birinci sınır şartı tüm noktalarda sıfır olarak verilebildiği gibi (başlangıçta yağ filmi hiç yakıt ihtiva etmiyor demektir) çevrim tekrarlanmak suretiyle hesaplanacak olan değerler de başlangıç sınır şartı olarak kullanılabilir. Üçüncü sınır şartındaki  $F(t)$  bilinen bir fonksiyondur ve silindir gazları ile yağ filmi yüzeyi arasında Henry Kanunu uygulanmak suretiyle bulunur.

Sıvı-gaz arayüzü için daha önce yazılan Henry Kanunu;

$$x_{yak,yağ} = \frac{P_{yak,(g)}}{H} = \frac{p}{H} \left( \frac{P_{yak,(g)}}{p} \right) = \frac{p}{H} Y \quad (2.5)$$

şeklinde yazılabilir.

Burada;

$x_{yak,yağ}$ : yağ içindeki yakıtın molar oranı

$p_{yak,(g)}$ : silindir gazlarındaki yakıtın kısmi basıncı

$H$ : yağ içinde erimeyen yakıt için Henry sabiti

$p$ : gaz karışımının toplam basıncı

$Y$ : gaz karışımı içindeki yakıtın molar oranıdır.

$n_{yağ}$  ve  $n_{yak,yağ}$  sırasıyla yağ filminin ve yağ filmi içine emilen yakıtın mol sayıları,  $n_{yak(g)}$  ve  $n_{dolgu0}$  da sırasıyla gaz fazındaki yakıtın ve diğer tüm karışımın (yakıt+hava+artık gazlar) mol sayıları olmak üzere bu ifadeler (2.5) nolu eşitlikte yerlerine yazılırlarsa;

$$\frac{n_{yak,yağ}}{n_{yağ} + n_{yak,yağ}} = \frac{p}{H} \cdot \frac{n_{yak(g)}}{n_{dolgu0}} \quad (2.6)$$

eşitliği elde edilir. Yağ filmi içerisindeki yakıtın mol sayısının yağa göre çok az olacağı ve dolayısı ile ihmal edilebileceği kabulü ile eşitlik

$$\frac{n_{yak,yağ}}{n_{yağ}} \cong \frac{p}{H} \cdot \frac{n_{yak(g)}}{n_{dolgu0}} \quad (2.7)$$

şeklinde yazılabilir.

Önceki eşitlikte mol sayıları yerlerine yazılırsa;

$$\frac{m_{yak,yağ} / M_{yak}}{m_{yağ} / M_{yağ}} = \frac{p}{H} \cdot \frac{m_{yak(g)} / M_{yak}}{m_{dolgu0} / M_{dolgu0}}$$

$$\frac{m_{yak,yağ}}{m_{yağ}} = \frac{p}{H} \cdot \frac{m_{yak(g)}}{m_{dolgu0}} \cdot \frac{M_{dolgu0}}{M_{yak}} \cdot \frac{M_{yak}}{M_{yağ}} = \frac{p}{H} \cdot \frac{m_{yak(g)}}{m_{dolgu0}} \cdot \frac{M_{dolgu0}}{M_{yağ}}$$

Burada;

$$H^*(t) = H(t) \left( \frac{M_{yağ}}{M_{yak}} \right)$$

$$Y_m(t) = \frac{m_{yak(g)}}{m_{dolgu0}}$$

$Y_m(t)$  gaz fazındaki yakıtın kütle oranı,  $p(t)$  silindir basıncı ve;

$$K(t) = \frac{M_{dolgu0}}{H(t) \cdot M_{yağ}} = \frac{M_{dolgu0}}{H^*(t) \cdot M_{yak}}$$

olmak üzere üçüncü sınır şartı;

$$F(t) = c(0,t) = \frac{m_{yak,yağ}}{m_{yağ}} = p(t) \cdot Y_m(t) \cdot K(t) \quad (2.8)$$

şeklinde bulunmuş olur. Burada;

$m_{yak,yağ}$ : yağ filmi içine emilen yakıtın kütlesi

$m_{yağ}$ : yağ filminin kütlesi

$m_{yak(g)}$ : gaz halindeki yakıtın kütlesi

$m_{dolgu0}$ : gaz halindeki toplam kütle (yakıt+hava+artık gaz)

$M_{yağ}$ : yağın mol kütlesi

$M_{yak}$ : yakıtın mol kütlesi

$M_{dolgu0}$ : silindir gazlarının mol kütlesi

Bir çevrim boyunca  $p(t)$ ,  $Y_m(t)$ ,  $K(t)$  değerlerinin değişimi termodinamik çevrim çıktılarına bağlıdır ve bulunmaları burada ele alınmamıştır. Dolayısıyla (2.8) nolu eşitlikten pistonun her konumunda yağ filmi yüzeyindeki konsantrasyon değeri hesaplanabilir. Pistonun ÜÖN'dan itibaren  $60^\circ$  hareket ettiğini düşünelim. Henry Kanunu bize piston  $60^\circ$  hareket ettikten sonra elde edilen  $c(0,t)=F(t)$  yüzey konsantrasyonu değerinin piston blokajından serbest kalan 60 hücre için de eşit olduğunu söyler.

Difüzyon denklemi sonlu fark metodunun kullanımıyla nümerik olarak çözülür. Sonlu fark metodlarından açık çözüm (explicit) metodu kullanılır.

Difüzyon denklemi;

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (2.9)$$

I. türev için ileri sonlu fark, II. türev için merkezi sonlu fark kullanılırsa;

$$\frac{c_i^{k+1} - c_i^k}{\Delta t} = D \left( \frac{c_{i+1}^k - 2c_i^k + c_{i-1}^k}{\Delta x^2} \right) \quad (2.10)$$

$$c_i^{k+1} = c_i^k + D \frac{\Delta t}{\Delta x^2} (c_{i+1}^k - 2c_i^k + c_{i-1}^k) \quad (2.11)$$

şeklinde bir sonlu fark denklemi elde edilir. Burada  $i$  indisi  $x$  yönündeki ilerlemeyi,  $k$  indisi zaman boyutunda ilerlemeyi gösterir. Denklemin çözümünün doğru kabul edilebilir olması için denklemin uygunluk ve

kararlılık şartlarını sağlaması gerekmektedir. Mesela 2000 1/min için zaman artımı  $\Delta t=8,333.10^{-5}$  s olur ve  $\Delta x$  derinlik artımı da  $0.5\mu m$  seçilirse,  $\gamma = \frac{D\Delta t}{\Delta x^2} = 0.0166$  olarak hesaplanır. Böylece  $\gamma < 1/2$  kararlılık şartı sağlanmış olur.

Herhangi bir K adımında, o adımdaki yağ filmi hücresi içerisindeki ortalama konsantrasyon değeri  $c_{ort}(K)$  ile gösterilir;

$$c_{ort}(K) = \sum_{i=1}^N \frac{c_i}{N} \quad (2.12)$$

formülü ile verilebilir. Burada;

$c_i$ : x doğrultusunda her bir noktanın konsantrasyonu

N: nokta sayısını göstermektedir.

Üniform yağ filmi kalınlığında ve sabit yağ yoğunluğunda silindir cidarı üzerinde strok boyunca oluşan yağ kütlesi;

$$m_{yağ} = \rho_{yağ} \delta_{yağ} \pi DH \quad (2.13)$$

olarak tariflenir. Tek bir hücreye ait yağ kütlesi ise;

$$\Delta m_{yağ} = \rho_{yağ} \delta_{yağ} \pi D \Delta y \quad (2.14)$$

şeklinde dir. Tek bir hücre içerisine emilen yakıt miktarı da;

$$c(0, t) = F(t) = \frac{\Delta m_{yak}}{\Delta m_{yağ}} \quad (2.15)$$

eşitliğinin kullanımıyla

$$\Delta m_{yak} = F(t) \cdot \Delta m_{yağ} \quad (2.16)$$

şeklinde hesaplanır. Benzer şekilde 180 hücre için aynı işlemler tekrarlanır. Nihayet, her hücrede en son hesap edilen yakıt kütleleri toplanmak suretiyle yağ filmi içinde o anda bulunan toplam yakıt miktarı hesaplanmış olur.

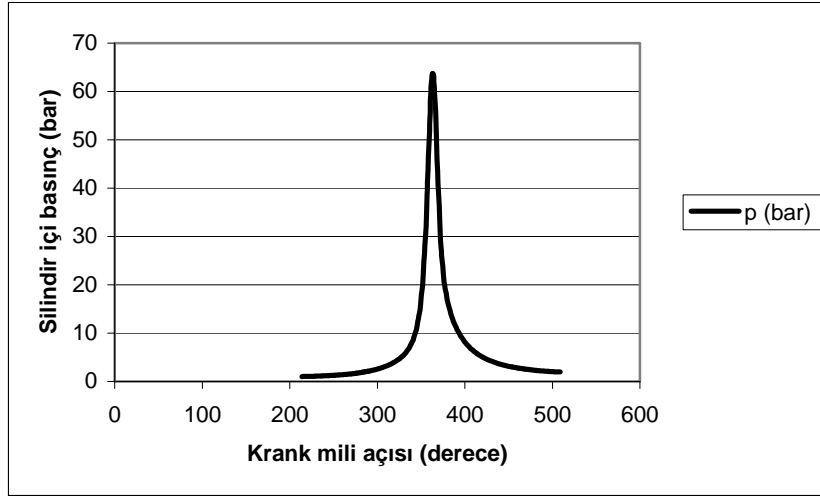
Yağ filmi içine emilen yakıt miktarının silindir içi gazların basıncına, silindir içinde kalan yakıt miktarına ve Henry sabitine, difüzyon katsayısına, motor devrine ve yağ filmi kalınlığına bağlı olduğu görülür.

### 3 MODEL SONUÇLARI

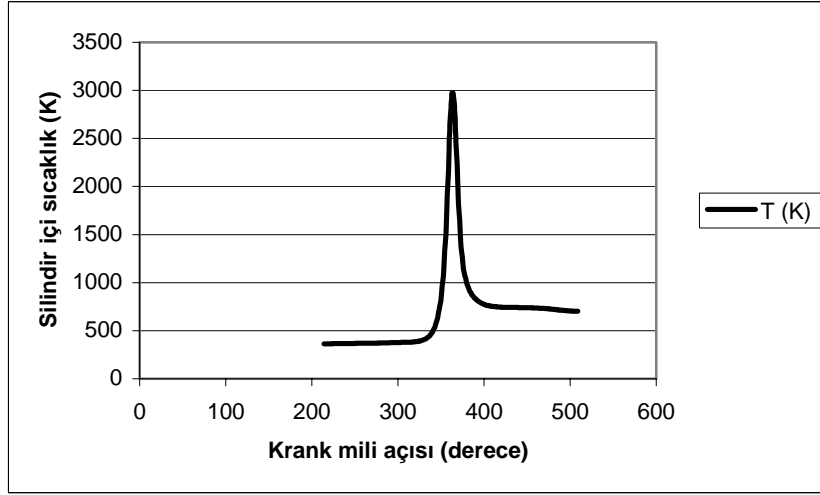
Buji ateşlemeli motorlarda HC emisyon kaynaklarına bakıldığında yağ filminin HC emisyonlarına katkısının % 16 olduğu görülür. Bu % 16'lık katkıyı oluşturan yakıt miktarı, bir çevrimde silindir içine alınan yakıt miktarının % 1,0'ına karşılık gelir [2]. Yanma olayına iştirak etmeyerek ana yanma olayından kaçan bu yakıt, yağ filmi tarafından emilip-salınır. Kurulan modelde bir çevrimde silindir içine alınan toplam yakıt miktarı  $4,3.10^{-3}$  kg olarak hesaplanmıştır. Bu yakıtın % 1 lik kısmı (0,43 mg) yağ filmi tarafından emilir. Model sonuçlarına bakıldığında, çizdirilen grafiklerde yağ filmince emilen HC miktarının 0,43 mertebesine çok yakın olduğu görülür. Tabii ki parametreler değiştirildiğinde emilen miktarlarda değişmektedir. Yapılan literatür araştırmasında birebir karşılaştırma yapmamıza imkan sağlayacak bir modelle karşılaşmamıza rağmen 0,43 mg civarındaki değişimler modelin gerçekçiliğini doğrulamaktadır. Model sonuçları aşağıda verilmiştir.

1. Şekil 3.1 ve 3.2 de krank mili açısına bağlı olarak silindir içi basınç ve sıcaklık değişimleri gösterilmiştir. Grafikler emme supabının kapanması (çevrimin başlangıç noktasından 214° sonra) ile egzoz supabının

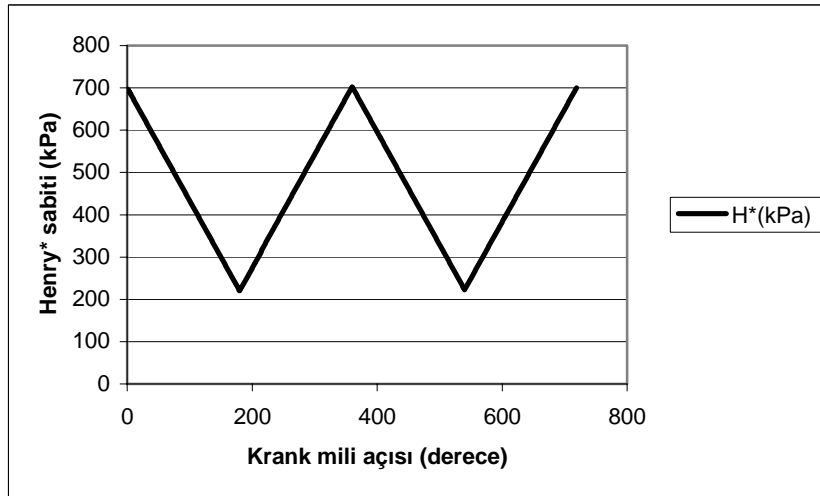
- açılması (çevrimin başlangıç noktasından 509° sonra) arasında çizdirilmiştir. Silindir içi maksimum basınç ve sıcaklık değerleri yaklaşık 360°-370° arasında meydana gelmektedir.
2. Şekil 3.3 de sıcaklığa bağlı olarak değişken alınan  $H^*$  değerinin (literatürdeki mevcut çalışmalarda sabit alınmıştır) krank açısıyla değişimi gösterilmiştir. Silindirlerin yanma odasına yakın üst bölgelerinin alt bölgelere göre daha sıcak olduğu bilinen bir gerçektir. Benzer şekilde silindirin üst kısmındaki yağ filmi sıcaklığı da alt kısma göre daha yüksek olacaktır.  $H^*$  değeride sıcaklığa bağlı olan bir büyüklüktür. Silindir içinde, yağ filminin piston tarafından açılan bölgelerinde emme ve salma işlemi gerçekleşir. Bu sebepten dolayı, her krank açısı adımı pistonun üstünde kalan bölgedeki ortalama yağ sıcaklığı bulunarak  $H^*$  değeri hesap edilmiştir. Yanma odasına en yakın bölgelerde (0°, 360° ve 720°)  $H^*$  değeri en yüksek, en uzak bölgelerde ise (180° ve 540°) en düşük değerini almaktadır.
  3. Şekil 3.4 de bir çevrim boyunca silindir içine alınan yakıt miktarı modellenerek krank açısına bağlı olarak çizdirilmiştir. Silindir içine yakıt girişi emme supabı kapanana kadar (214°) devam etmektedir. 322°-480° arası yanma olmakta ve yakıt miktarı yanma modeline bağlı olarak yanarak azalmaktadır. 470° den sonra silindir içi yakıt miktarı artmaktadır. Bunun sebebi piston-silindir-segman arası bölgelerden gelen yakıt buharı ile yağ filminden neşredilen yakıt buharıdır. Modelde silindir içinde mevcut yakıt sadece bu iki kaynak tarafından beslenmektedir. Diğer hidrokarbon emisyon kaynakları da göz önüne alınsaydı silindir içi yakıt miktarı yaklaşık iki kat daha fazla olmuş olacaktı.
  4. Şekil 3.5, 3.6 ve 3.7 de yağ filmi tarafından emilen yakıt buharı (hidrokarbon) miktarının yağ filmi kalınlığına, yakıtın difüzyon katsayısına ve motor devrine bağlı olarak değişimleri gösterilmiştir. Yağ filmine olan emilme işlemi arada küçük salınımlar olsa da silindir içi maksimum basınca kadar devam etmektedir ve bu maksimum basınçtan sonra silindir içerisine büyük oranda salınımlar olmaktadır. Burada her üç grafikte de 180° ye kadar emilme, 180°-240° arası salınma, tekrar 240°-370° arası emilme ve tekrar 370°-540° arası salınma olmaktadır. 180° ye kadar aşırı emilme ( $H^*$  değerinin sabit alındığı çalışmalarda çok düşük seviyededir) ve 180°-240° arası salınma ( $H^*$  değerinin sabit alındığı çalışmalarda böyle bir salınma söz konusu değildir) olmasının nedeni  $H^*$  sabitinin değişken alınmasından dolayıdır. Yağ filmince emilen yakıt buharı, silindir içi gaz basıncına ve  $H^*$  sabitine bağlıdır (Eşitlik 2.1). 0°-180° arası silindir içi basınç değerinin çok düşük olmasına rağmen  $H^*$  sabitin lineer bir şekilde azalması emilme işlemi hızlandırmıştır. 180° de ( $H^*$  sabitinin minimum olduğu konumda) maksimum emme gerçekleşmiştir. 180° den sonra silindir içi basınç artışına nazaran  $H^*$  sabitindeki artış daha yüksek olmakta dolayısıyla yağ filminin emdiği yakıt buharı miktarı azalmaktadır. Yani basınç artışının çok düşük oluşu 180°-240° arası yağ filminden salınımlara sebep olmaktadır.  $H^*$  değeri eğer sabit kabul edilseydi emilen yakıt buharı üzerinde sadece silindir içi gaz basıncı etkili olacaktı. Silindir içi gaz basıncı ise emme strokunun başlangıcından yanma sonu maksimum gaz basıncına kadar artmaya devam etmektedir. Bu durumda yağ filmine emilen yakıt buharı miktarı da silindir içi maksimum basınç değerine kadar artmaya devam edecektir (arada herhangi bir salınım olmayacaktır). Bu nedenle  $H^*$  değerinin sabit alındığı çalışmalarda silindir içi maksimum basınca kadar emme ondan sonra ise salınma olmaktadır.
  5. Şekil 3.5 de yağ filmi kalınlığı arttıkça emilen hidrokarbon miktarının da arttığı görülmektedir. (2.16) eşitliğiyle bu durum izah edilebilir. Eşitliğe bakıldığında emilen yakıt miktarının yüzey sınır şartına ve yağ filmi kütlesine bağlı olduğu açıkça görülmektedir. Yağ filmi kütlesinin de yağ filmi kalınlığıyla orantılı olduğu bir önceki eşitlikte karşımıza çıkmaktadır.
  6. Şekil 3.6 da  $D=5 \cdot 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s olduğunda filmin emdiği hidrokarbon miktarı yaklaşık 0,3 mg iken  $D=5 \cdot 10^{-11}$  m<sup>2</sup>/s iken (10 kat daha küçük) yaklaşık 0,04 mg olmaktadır.  $5 \cdot 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s lik difüzyon katsayısında yaklaşık 7,5 kat daha fazla bir emilme söz konusudur. Bu da yakıtın difüzyon katsayısının emilen yakıt buharı üzerinde ne derece etkili olduğunu göstermektedir.
  7. Şekil 3.7 de düşük devir sayılarında emilen hidrokarbon miktarının arttığı görülmektedir. Bunun nedeni; çevrimin daha uzun sürmesiyle yakıt buharı-yakıt ikilisinin daha uzun süre bir arada kalmasına dayanır. Dolayısıyla daha fazla miktarda yakıt buharı yağ filmine difüze olur.
  8. Şekil 3.8, 3.9 ve 3.10 daki grafiklerde sadece silindir içi maksimum basınçtan sonra olan salınımlar gösterilmiştir. Emilme işlemi silindir içi maksimum basınç değerine kadar devam eder. Basıncın azalmaya başlamasıyla birlikte hidrokarbonlar silindir içine doğru difüze olmaya başlarlar. Salınım işlemi maksimum basınçla-540° arasında olur. 540° den sonra silindir içinde kalan yakıt miktarı çok azaldığından, silindir içi basınç değeri sabit kaldığından ve  $H^*$  değeri de artmaya başladığından dolayı yağ filminden herhangi bir salınım olmaz.



Şekil 3.1: Krank açısına bağlı olarak silindir içi basınç değişimi,  $n=2000$  1/min

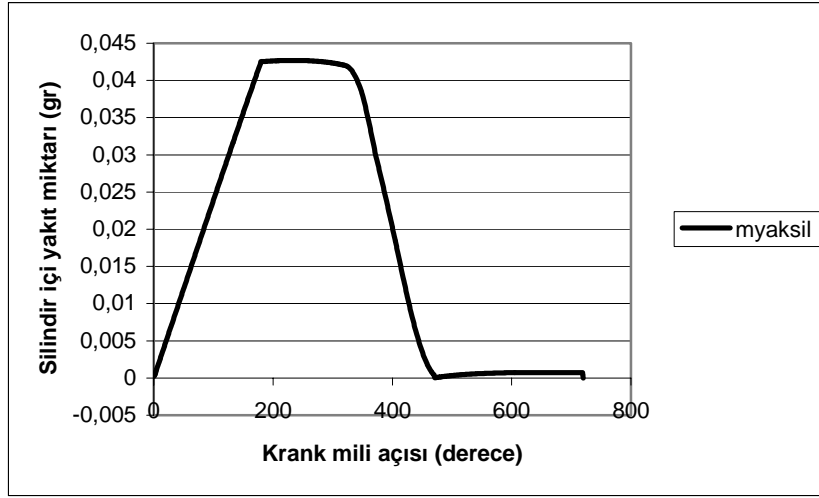


Şekil 3.2: Krank açısına bağlı olarak silindir içi sıcaklık değişimi,  $n=2000$  1/min

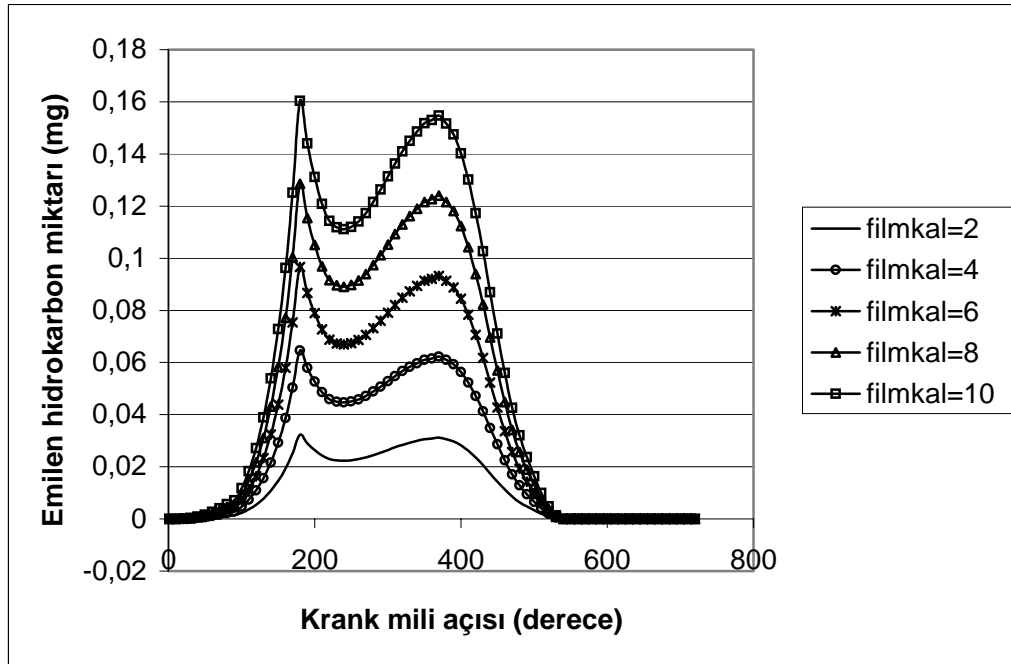


Şekil 3.3: Krank açısına bağlı olarak  $H^*$ 'ın değişimi

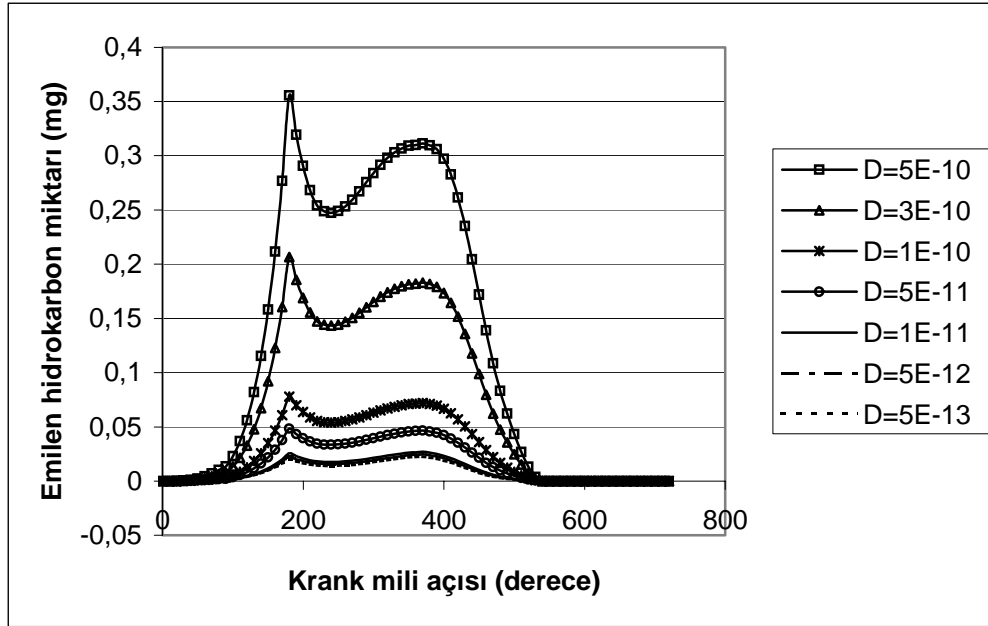




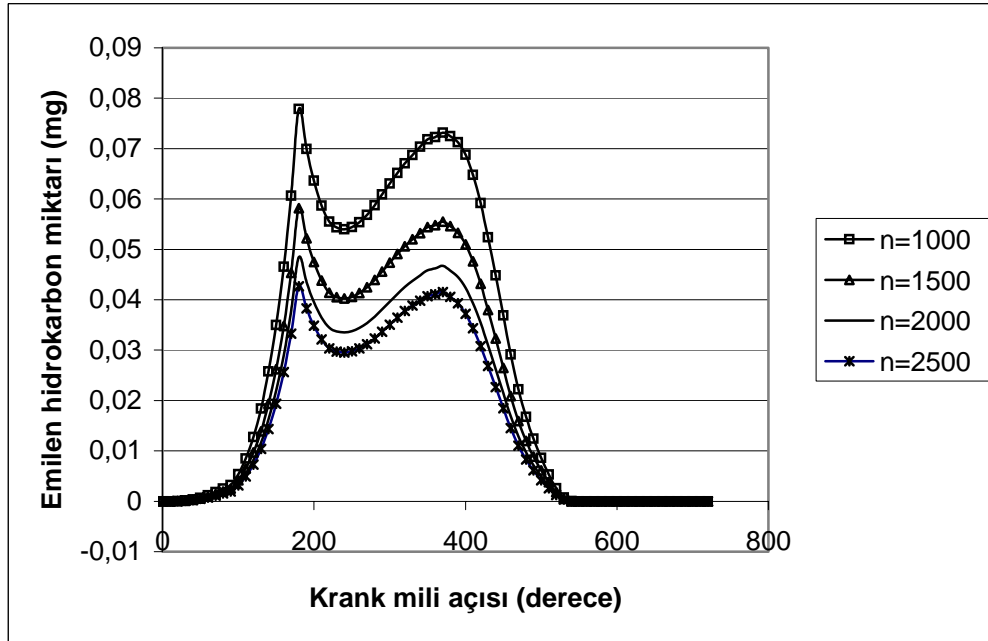
Şekil 3.4: Bir çevrim boyunca silindir içindeki yakıt miktarı, n=2000 1/min



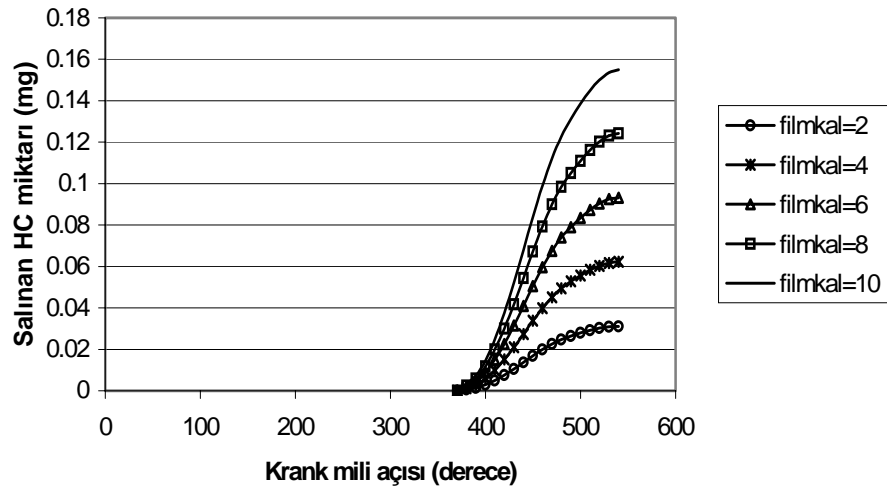
Şekil 3.5: Yağ filmi tarafından emilen HC miktarının yağ filmi kalınlığına bağlı olarak krank açısıyla değişimi (filmkal: yağ filmi kalınlığını temsil eder. Birimi [ $\mu\text{m}$ ] dir).  $D=5 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $n=2000 \text{ 1/min}$



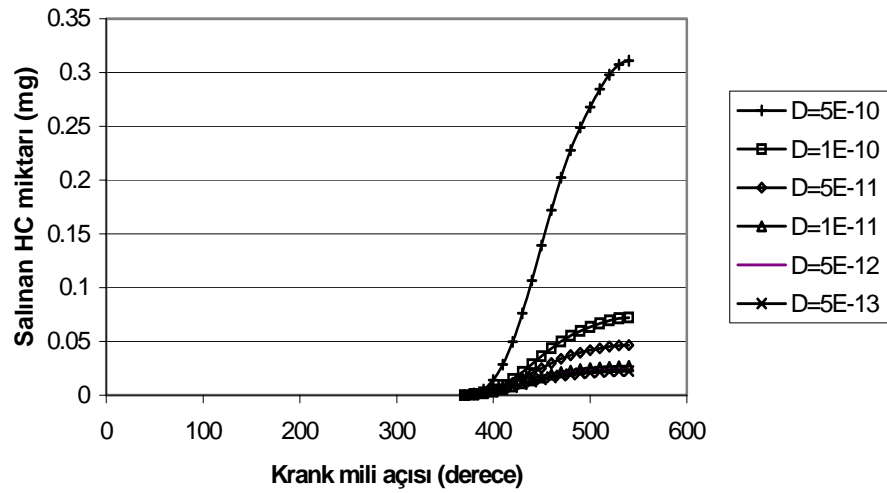
Şekil 3.6: Yağ filmi tarafından emilen HC miktarının difüzyon katsayısına bağlı olarak krank açısıyla değişimi (D: difüzyon katsayısını temsil eder. Birimi [ $m^2/s$ ] dir).  $n=2000$  1/min, filmkal=3  $\mu m$ .



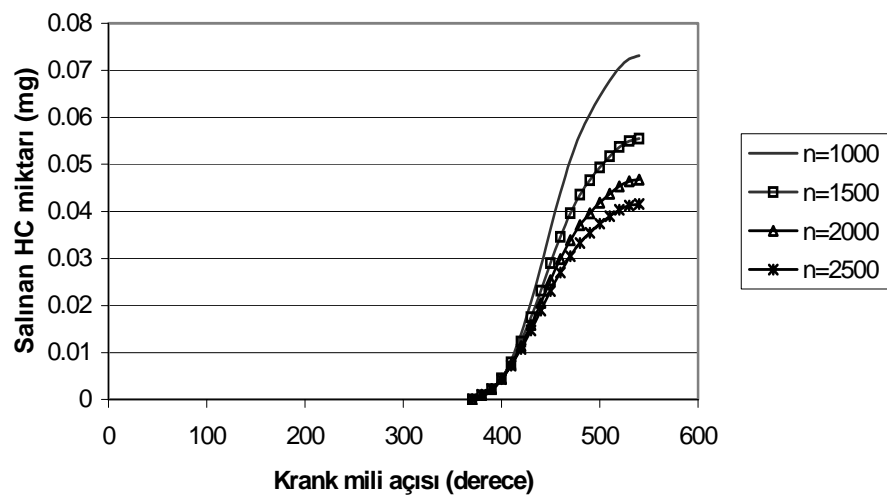
Şekil 3.7: Yağ filmi tarafından emilen HC miktarının devir sayısına bağlı olarak krank açısıyla değişimi (n: motor devrini temsil eder. Birimi [1/min] dir).  $D=5 \cdot 10^{-11} m^2/s$ , filmkal=3  $\mu m$ .



Şekil 3.8: Yağ filmi tarafından salınan HC miktarının yağ filmi kalınlığına bağlı olarak krank açısıyla değişimi (filmkal: yağ filmi kalınlığını temsil eder. Birimi  $[\mu\text{m}]$  dir).  $D=5 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $n=2000 \text{ 1/min}$



Şekil 3.9: Yağ filmi tarafından salınan HC miktarının difüzyon katsayısına bağlı olarak krank açısıyla değişimi (D: difüzyon katsayısını temsil eder. Birimi  $[\text{m}^2/\text{s}]$  dir).  $n=2000 \text{ 1/min}$ ,  $\text{filmkal}=3 \mu\text{m}$ .



Şekil 3.10: Yağ filmi tarafından salınan HC miktarının devir sayısına bağlı olarak krank açısıyla değişimi ( $n$ : motor devrini temsil eder. Birimi  $[\text{1/min}]$  dir).  $D=5 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $\text{filmkal}=3 \mu\text{m}$ .

## KAYNAKLAR

- [1] ADAMCZYK, A.A., ROTHSCHILD, W.G. and KAISER, E.W. 1985. **The Effect of Fuel and Oil Structure on Hydrocarbon Emissions from Oil Layers During Closed Vessel Combustion.** Combustion Science and Technology, 44:113-124
- [2] CHENG, W.K., HAMRIN, D. and HEYWOOD, J.B. 1993. **An Overview of Hydrocarbon Emissions Mechanisms in Spark-Ignition Engines.** SAE Paper No: 932708.
- [3] ÇENGEL, A.Y. and BOLES, M.A. 1990. **Thermodynamics An Engineering Approach.** McGraw-Hill International Editions.
- [4] DERIOVE, J. and CHENG, W.K. 1995. **Simultaneous Piston Ring Friction and Oil Film Thickness Measurements in a Reciprocating Test Ring.** SAE Paper No: 952470.
- [5] HAMRIN, D.A. 1994. **Modeling of Engine-Out HC Emissions for Prototype Production.** Master thesis. Massachusetts Institute of Technology.
- [6] HAMRIN, D.A. and HEYWOOD, J.B. 1995. **Modeling of Engine-Out Hydrocarbon Emissions for Prototype Production Engines.** SAE Paper No: 950984.
- [7] HEYWOOD, J.B. and HOCHGREB, S. 1996. **Measurement of Gasoline Absorption into Engine Lubricating Oil.** SAE Paper No: 961229.
- [8] HEYWOOD, J.B. 1989. **Internal Combustion Engine Fundamentals.** McGraw-Hill International Editions. Singapore, 930 s.
- [9] KARAMANGİL, M. İ. 2000. **Benzin Motorlarında HC Emisyonlarının Matematik Modellenmesi.** Doktora tezi. U.Ü. Fen Bilimleri Ens. 30 Mart 2000. Bursa.
- [10] KOREMATSU, K. 1990. **Effect of Fuel Absorbed in Oil Film on Unburnt Hydrocarbon Emissions from Spark Ignition Engines.** JSME International Journal Series II, 33 (3):
- [11] LAVOIE, G.A. and BLUMBERG, P.N. 1980. **A Fundamental Model for Predicting Fuel Consumption, No<sub>x</sub> and HC Emissions of The Conventional Spark Ignited Engine.** Combustion Science and Technology, 21: 225-258
- [12] MIN, K. and CHENG, W.K. 1998. **Oil Layer as Source of Hydrocarbon Emissions in SI Engines.** Journal of Engineering for Gas Turbines and Power- Transactions of the ASME. 120 (3): 669-677.
- [13] MIN, K. CHENG, W.K. and HEYWOOD, J.B. 1994. **The Effects of Crevices on the Engine-Out Hydrocarbon Emissions in SI Engines.** SAE Paper No: 940306.
- [14] MIN, K. and CHENG, W.K. 1994. **In-Cylinder Oxidation of Piston-Crevice Hydrocarbon in SI Engines.** The Third International Symposium on Diagnostics and Modeling of Combustion in Internal Combustion Engines. Yokohama-Japan: 125-130
- [15] NORRIS, M.G. and HOCHGREB, S. 1996. **Extent of Oxidation of Hydrocarbons Desorbing from the Lubricant Oil Layer in Spark-Ignition Engines.** SAE Paper No: 960069.
- [16] SCHRAMM, J. and SORENSON, S.C. 1990. **A Model for Hydrocarbon Emissions From SI Engines.** SAE Paper No: 902169.
- [17] WILLCOCK, M., TIDMARSH, D. FOSS, P. 1996. **The Variation of Hydrocarbon Emissions from Different Piston Designs in a Spark Ignition Engine.** Journal of Automobile Engineering, 210 (3): 235-242.