I EGE ENERJİ SEMPOZYUMU VE SERGİSİ
Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Denizli, Mayıs 2003

BENZİN MOTORLARINDA TÜRBÜLANSLI YANMANIN TERMODİNAMİK MODELLENMESİ

***Rafig MEHDİYEV*, Cem SORUŞBAY ve Feridun ÇOĞALAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Otomotiv Anabilim Dalı
Gümüşsuyu 80191, İstanbul.

ÖZET

Bu makalede Soviet Bilimler Akademisinin Kimyasal Fizik Enstitüsünce önerilen türbülanslı yanma mekanizması kullanılarak benzin motorlarında silindir içi proseslerin tek-boyutlu matematik modelinin ana özellikleri verilmiştir. Bu yaklaşım mevcut çok-boyutlu modellerden daha basit ve buna bağlı olarak düşük bilgisayar zamanı gerektirmekte, ancak fiziksel bakımdan prosesin gidişini ve onu etkileyen faktörleri yeterli hassasiyette inceleyebilmektedir. Bu model benzin motorlarında, yanma ve vuruntu olayları da dahil, silindir içi prosesleri, NO emisyonunu ve indike parametreleri etkileyen tüm faktörlerin incelenmesine ve optimizasyonuna imkan sağlamaktadır.

ABSTRACT

In this paper a thermodynamic modelling of a spark ignition engine has been developed using the turbulent combustion model proposed by the Soviet Academy of Sciences, Institute of Chemical Physics (ICP). The model presented is capable of examining in cylinder processes for the determination of indicated parameters and NOx emissions.

1. GİRİŞ

İçten Yanmalı Motorlarda (İYM) türbülanslı yanma olayı enerji, kütle ve hareket miktarının korunumları ile kimyasal maddelerin konsantrasyonlarının değişimlerini tanımlayan denklemlerin kullanıldığı çok-boyutlu matematik modeller yardımıyla sayısal olarak hesaplanabilmektedir. Ancak büyük moleküllü hidrokarbonlardan oluşan

motor yakıtlarının yanmasını tanımlayan zincir reaksiyonların kinetik mekanizması ve türbülanslı ortamda gerçekleşen ısı ve kütle transferi olaylarına ilişkin bilgilerin yetersizliği çok-boyutlu etkin modellerin geliştirilmesini zorlaştırmaktadır. Diğer taraftan çok-boyutlu matematik modellere oranla daha hesaplama süresi ve bilgisayar ortamında gereksinim duyduğu hafıza hacmi bakımından üstünlük sağlayan ve mühendislik uygulamalarında yeterli hassasiyette sonuçlar veren termodinamik modellerin kullanımı sürdürülmektedir.

Bu çalışmada Rusya Bilimler Akademisi Kimyasal Fizik Enstitüsü (KFE) tarafından teklif edilen türbülanslı yanma olayına ilişkin yaklaşım İYM'a uygulanmıştır [1-3]. Buna göre emme süresince oluşan, izotropik olmayan türbülanslı gaz hareketinin kinetik enerjisi, piston ÜÖN'ya doğru giderken disipasyona uğrayıp yanma başlamadan önce izotropik hale dönüşmektedir. Dolayısıyla yanma odasının çeperlerinden 4-5 mm uzaklıktan itibaren başlayan bölgede karışımın türbülans şiddeti ve türbülans ölçeği birbirine eşit olmaktadır. Bu çalışmada kullanılan termodinamik model ile çevrim boyunca sıkıştırma, yanma ve genişleme zamanları boyunca silindir içi basınç ve sıcaklık değerleri Termodinamiğin I. Kanunu uygulanarak hesaplanmıştır [4]. Bu çalışmada ayrıca yakıtın oktan sayısı ve yanmanın gerçekleştiği koşullar dikkate alınarak vuruntu kontrolü de yapılmıştır.

2. YANMA SÜRECİNİN HESAPLANMASI

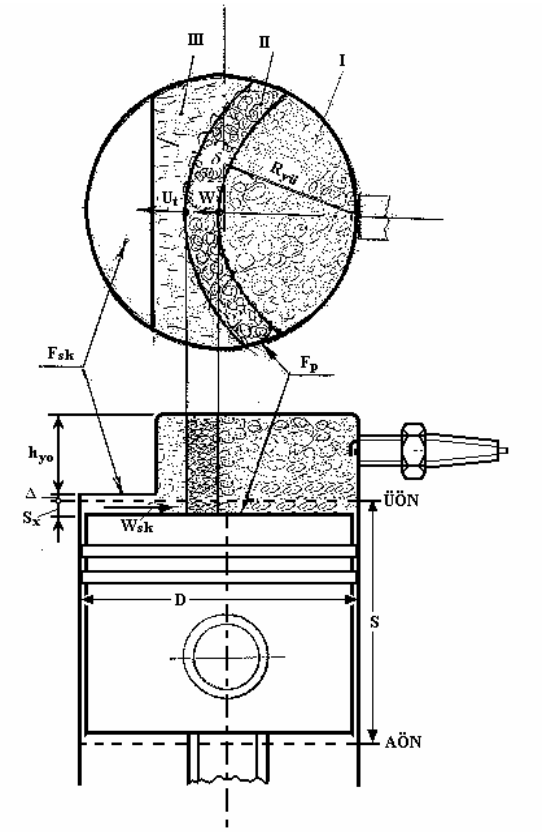
Kullanılan modelde silindir hacmi, yanma odası parametrelerinin birbirinden farklı olduğu üç bölgeye ayrılmaktadır (Şekil 1.):

I. Yanma ürünleri bölgesi

II. Alev (hidrokarbonların oksidasyon reaksiyonu) bölgesi

III. Yanmamış yakıt – hava karışım bölgesi

Yanma olayı bujideki ateşlemeden sonra belirli bir tutuşma gecikmesi sonunda başlamaktadır. Türbülanslı alev cephesi U_t hızı ile ilerlerken, yanma ürünlerinin $R_{y.ü.}$



Şekil 1. Türbülanslı yanma sürecinin şeması.

yarıçaplı küresel yüzeyi ise W hızı ile hareket eder (Şekil 1.). Bu modelde ayrıca yanma olayının kimyasal ve fiziksel özelliklerine dayanarak yanma ürünleri hacminin genişleme hızı, dolayısıyla yanma ürünlerinin yanma odasında oluşturacağı hacim değişimi dikkate almaktadır. Bu değişim yanma odasındaki basınç değişimi ile lineer orantılı olduğundan, indike parametrelerin bu modelle hesaplanması daha hassas sonuç vermektedir. Burada ayrıca yanma ürünleri hacmi hesaba katıldığı için, çok-boyutlu modellerde olduğu gibi, yanma odası geometrisinin etkileri de incelenebilmektedir.

Yanma ürünlerinin küresel yüzeyinin ilerleme hızı veya yanma ürünleri hacminin artış hızı aşağıdaki ifade ile bulunur:

$$W = U_n + \frac{4}{3} \cdot K_p U'_\Sigma - \frac{0.17 \cdot 10^{-3} \left(U'_\Sigma\right)^2}{\aleph \sqrt{\varepsilon_t}} \quad , \text{ (m/s)} \qquad (1)$$

Bu ifadedeki üçüncü terim yanma hızının, türbülans şiddetine göre lineer olarak değişmediğini gösterir. Türbülans şiddetinin U'_{Σ} belli bir değeri aşması durumunda yanma işleminin yavaşlamasına neden olacaktır.

(1) denkleminde normal yanma hızı U_n yakıt hava karışımının kimyasal özelliğinin etkisini dikkate almaktadır. Yanma hızına ortam sıcaklık ve basınç değerleri yanında, artık gazların da etkisi mevcuttur [3, 5]:

$$U_n = U_{n_0}\left(T_{kar}/T_0\right)^m\left(p/p_0\right)^n - 0.076\left(100\cdot\gamma_r\right)^{0.73} \qquad (2)$$

Böylece belirlenen W değerleri için, alev cephesinin ilerleme hızı aşağıdaki ampirik ifade yardımıyla hesaplanabilir:

$$U_t = W\left[1 + 0.065\sqrt{\frac{U_n l}{\aleph}}\left(\frac{U'_{\Sigma}}{U_n}\right)^{0.30\div0.33}\right] \text{, (m/s)} \qquad (3)$$

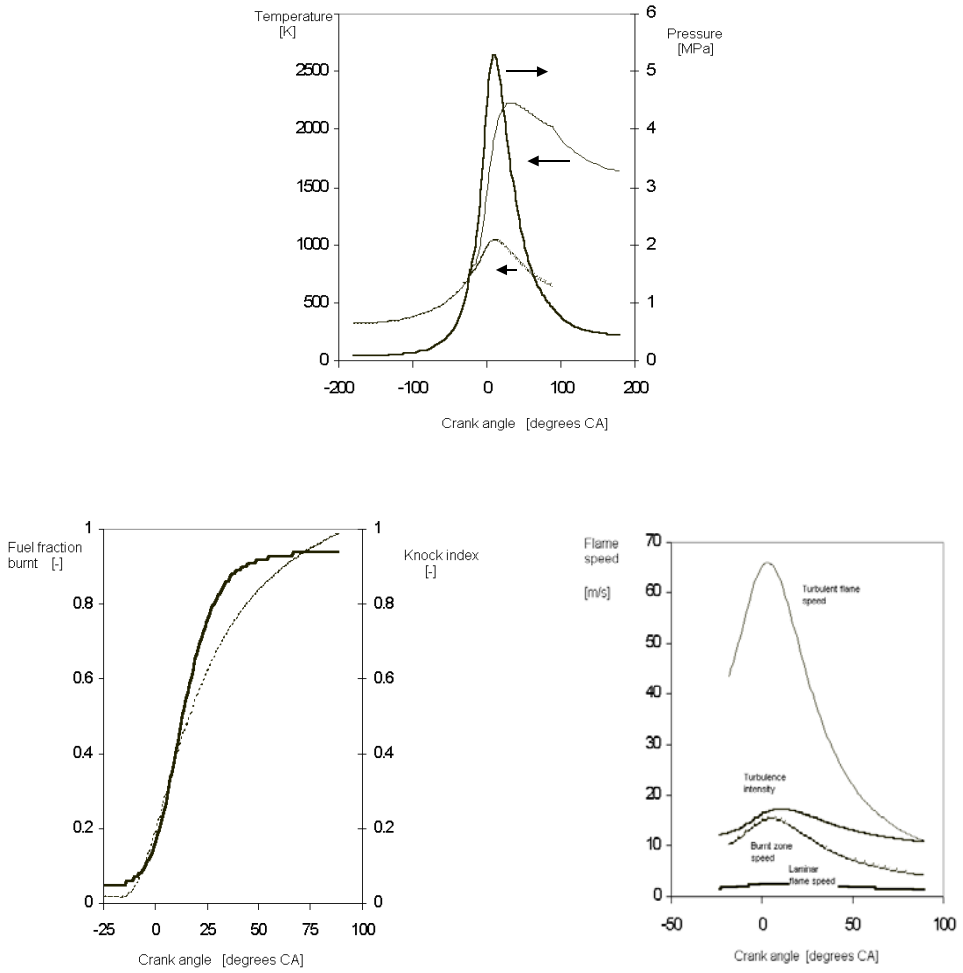
Türbülanslı yanma hızı (W) bulunduktan sonra hesaplama adımı zamanında ($d\tau = d\alpha/6n$) yanma ürünleri hacminin küresel yarıçapı ve yanma ürünleri hacminin silindir hacmine oranı elde edilir.

Şekil 1'de verilen yanma odası formu için, yanma ürünleri hacmi $V_{y.ü.}$ eni $R_{y.ü.}$ yarıçapına göre değişen bir daire parçası ($F_{y.ü.}=f(R_{y.ü.})$), yüksekliği ise pistonun strokuna bağlı olarak değişen ($S_x = f(\alpha)$) geometrik hacim şeklinde hesaplanabilir. Yanmamış karışımın hacmi ve kütlesi ise toplam silindir hacmi ve silindirdeki gazların toplam kütlesinden hareketle bulunur [4].

3. MATEMATİK MODELİN UYGULANMASI

Silindir içi parametrelerin hesabında, yakıtın kimyasal bileşimi (C, H, O, m_y) ve oktan sayısı (OS), motorun ana boyutları (D, S), silindir sayısı (i), sıkıştırma oranı (ε), yanma odasının geometrik şekli ve motor işletme parametreleri (n, λ, η_v ve θ) kullanılmaktadır.

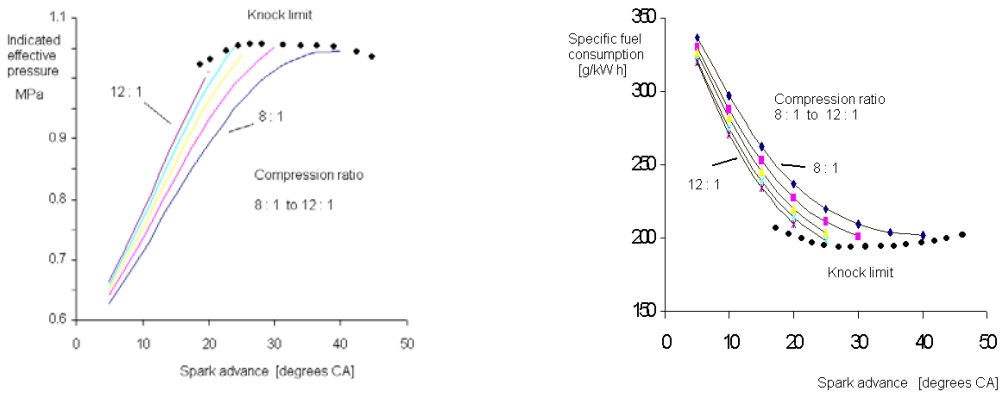
Boyutları belirlenen motorun, optimum sıkıştırma oranının bulunması için mevcut matematik model kullanılmıştır. Şekil 2'te yanma odası basınç ve sıcaklık değerlerinin krank mili açısına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Burada motor dönme sayısı 5000 devir/dakika, sıkıştırma oranı 12:1, ateşleme avansı ÜÖN'dan 25 ^{o}KMA önce ve yakıt oktan sayısı 85.6 olarak alınmıştır. Şekilde 9 ^{o}KMA tutuşma gecikmesi olduğu ve toplam yanma sürecinin 101 ^{o}KMA sürdüğü görülmektedir. Bu süreçte 43 ^{o}KMA boyunca hızlı, 58 ^{o}KMA boyunca yavaş yanma oluşmaktadır. Maksimum basınç (5.3 MPa) değerine ÜÖN'dan 12 ^{o}KMA sonra ulaşılmıştır. Ortalama silindir sıcaklığının maksimum değeri (2207 K) ise ÜÖN'dan 28 ^{o}KMA sonra sağlanmıştır. Maksimum basınç konumunda yakıtın %50'si, maksimum sıcaklık konumunda ise yakıtın %70'i yanmış ve vuruntu gözlenmemiştir.



Şekil 2. Krank mili açısına bağlı olarak silindir içi parametrelerinin değişimi

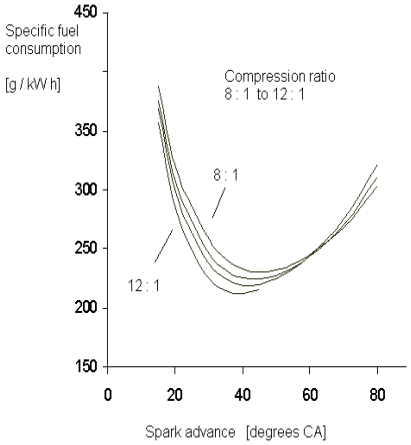
Şekil 2'den ayrıca ÜÖN'dan 5 ^{o}KMA sonra maksimum normal yanma hızına (3.5 m/s) ve türbülans şiddetine (18 m/s) ulaşıldığı görülmektedir. Bu noktada yanma ürünleri yayılma hızı maksimum değeri olan W=16 m/s'ye ulaşmış ve U_t=67 m/s değeri elde edilmiştir. Bu değerler daha sonra sıcaklık ve basıncın düşmesiyle azalma eğilimine girmektedir.

Şekil 3'te farklı sıkıştırma oranları (8 - 12) için ateşleme avansı ile indike basıncın ve özgül yakıt tüketiminin değişimi verilmiştir. Vuruntu kontrolü yapılarak, ε = 8 için ÜÖN'dan 40° sonra maksimum indike basınç değerine ulaşıldığı görülmektedir. Sıkıştırma oranı artırıldığında vuruntu eğilimi artmakta ve motor çıkış gücü azalmaktadır. Optimum sıkıştırma oranı 9:1 olarak belirlenmiştir. Bu sıkıştırma oranında maksimum indike güç ve minimum özgül yakıt tüketimi elde edilmektedir.



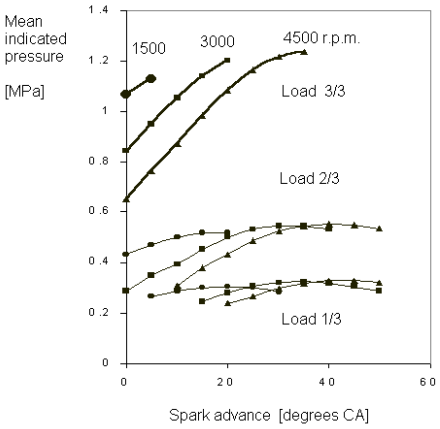
Şekil 3. Farklı sıkıştırma oranları için ateşleme avansına bağlı olarak ortalama indike basıncın ve özgül yakıt tüketiminin değişimi

Şekil 4'te değişken sıkıştırma oranına göre kısmi yüklerde (η_v =0.42) özgül yakıt tüketimi değişimi verilmiştir. Düşük yüklerde vuruntu eğiliminin düşük olması nedeniyle, uygun ateşleme avansı kullanılarak, yüksek sıkıştırma oranları özgül yakıt tüketimi açısından daha uygun olmaktadır. Ancak düşük hızlardaki vuruntu meyili sıkıştırma oranının 9:1 değerinin üstüne çıkılmasını engellemektedir.



Şekil 4. Farklı sıkıştırma oranları için ateşleme zamanı ile özgül yakıt tüketiminin değişimi. (Kısmi yük, η_v= 0.42)

Şekil 5'de, ε = 9 için sıkıştırma oranı için, farklı yüklerde ve farklı motor dönme sayılarında optimum ateşleme avansı zamanlaması gösterilmiştir. Bu yaklaşım gerçek bir motorun çalışma şartlarının optimizasyonunda kullanılarak deney maliyetlerini ve süresini azaltabilmektedir.



Şekil 5. Farklı yük ve hız değerleri için optimum ateşleme avansı eğrileri.

SONUÇLAR

Bu çalışmada geliştirilen termodinamik model içten yanmalı motorlarda gerçekleşen türbülanslı yanmanın modellenmesinde başarı ile kullanılabilmektedir. Burada Soviet Bilimler Akademisi tarafından önerilen türbülanslı yanma mekanizması benzin

motorlarındaki ön karışımlı yanma olayına uygulanmış ve bu model motor parametrelerinin optimizasyonunda kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar modelin indike ve efektif motor parametrelerinin yeterli hassasiyetle hesaplanabileceğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

[1] Semyonov, Y.S. Kapalı hacimde suni yapılmış olan mühitte türbülans karakteristiğinin ölçümü (Rusça) "Nauçno-Tekniçeskie problemi goreniya i vzriva" dergisi ("Yanma ve patlamanın bilimsel teknik problemleri") 1965, No 2, Novosibirsk, sayfa 83-92

[2] Karpov, V.P. , Semyonov Y.S., Sokolik, A. S., kapalı hacimde türbülanslı yanma (Rusça) "Dokladı Akademii Nauk SSSR" (SSBD bilimsel akademisi raporları) dergisi, 1959, 128 c, No 6, sayfa 1220-1223

[3] Karpov, V.P., Kapalı hacimde yanma kuralları bazında yüksek ekonomili ve düşük emisyonlu pistonlu motorların gelişimi (Rusça) "Avtoreferat dis. Dr. Tek. Nauk", KFE Çernogolovka, 1981, sayfa 29

[4] Mehdiyev, R.I., Soruşbay, C., Kutlar, O.A., Bağırov, H. B. Ve Farzalıyev, M., Benzin Motorlarında Türbülanslı Yanma Mekanizması ile Performans ve NO Emisyonunun Hesabı, Otekon 02, Bursa, 24 – 25 Haziran 2002.

[5] Mehdiyev, R.I., Bağırov, H. B., Farzalıyev, M.N. Mecburi buji ile ateşlenen pistonlu motorlarda türbülanslı yanma olayının matematik modellenmesi (Rusça), (Matimatiçeskoye modelirovaniye prossesa turbulentnego vigoreniya v porshnevix dvigatelyax s priniditelnim zajiganiyem). "Ximiçeskaya Fizika prosessov goreniya i vzriva. Problemi Teploenergetiki" ("Yanma ve patlama proseslerinin kimyasal fiziği") dergisi, Çernogolovka, 1986, sayfa 107-111.