

PİSTON OYUĞUNUN ALEV CEPHESİNİN GEOMETRİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Atilla BİLGİN

* Karadeniz Teknik Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Bu çalışmada Bilgin tarafından geliştirilmiş olan bilgisayar programı kullanılarak, bujinin silindir kafasında merkezde bulunduğu silindirik oyuklu pistonu sahip bir yanma odası için piston oyuğunun derinlik/yarıçap oranının değişiminin alev cephesinin geometrik özelliklerine etkisi incelenmektedir. Bir buji ateşlemeli motorda alevin yanma odası içinde yayılışının geometrik modellenmesiyle oluşturulmuş olan program, silindirik disk şeklindeki bir yanma odası için bujinin silindir kafası üzerinde çeşitli noktalarda konumlandırılması durumunda alevin geometrik özelliklerini hesaplayabilmektedir.

Anahtar Sözcükler

Buji ateşlemeli motorlar, küresel alev cephesi yaklaşımı, alev cephesinin geometrik özellikleri

ABSTRACT

In this study, by using a computer code developed by Bilgin, effects of variation of the dept to radius ratio of piston bowl on geometric features of the flame front have been investigated, for a combustion chamber geometry having a cylindrical piston bowl with centrally located spark plug on cylinder head. The code, developed by geometric modeling of the flame development process in a spark ignition engine combustion chamber, calculates geometric features of the flame front for disc shaped combustion chamber with variable location of the spark plug on the cylinder head.

Key Word

Spark ignition engines, spherical flame front assumption, geometric features of the flame front

GİRİŞ

İçten yanmalı motorlarda iyi tasarlanmış bir yanma odası: (1) motorun çalışma hız aralığında çeşitli devir sayılarında dolgu değişimi işlemini çok iyi gerçekleştirebilmeli, (2) yanmanın

olabildiğince hızlı ve düzgün olmasını sağlayabilmeli ve (3) yanma odası çeperlerinden olan ısı kayıplarını en aza indirebilmelidir.

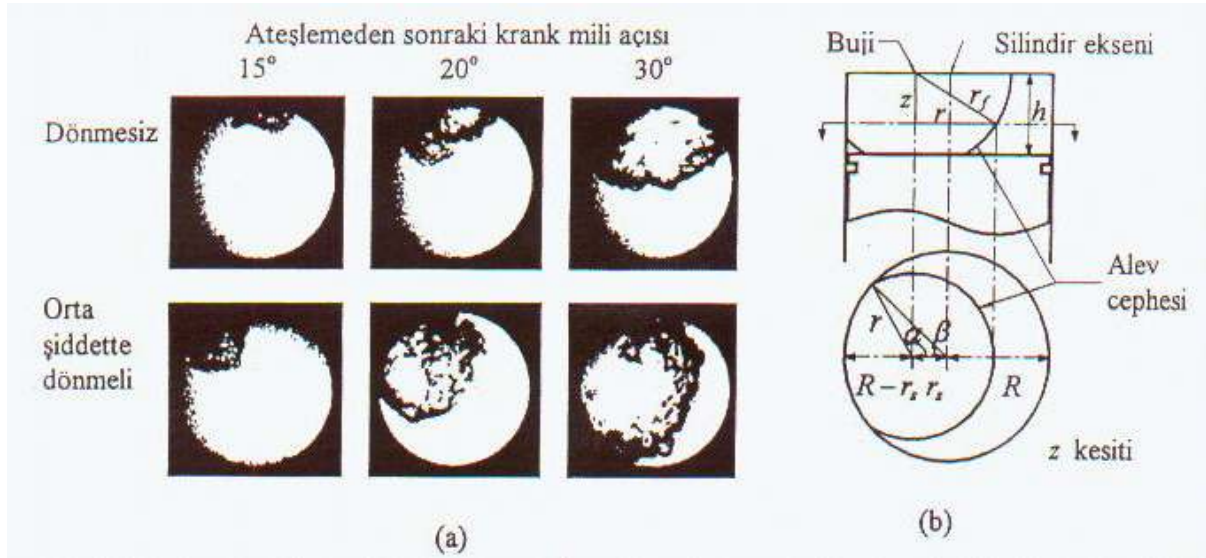
Emme ve egzoz işlemlerinin iyileştirilmesi, kısılma ve pompalama kayıplarının azalmasını ve volümetrik verimin artmasını sağlar. Hızlı ve düzgün bir yanma ise, çevrimden çevrime olan değişimleri azaltarak, motorun daha fakir bir karışımla veya daha fazla egzoz gazları resirkülasyonu (EGR) ile çalışmasına ve dolayısıyla daha etkin emisyon kontrolüne olanak tanır. Isı kayıplarının azaltılması, yakıtın ısı enerjisinden daha fazla yararlanılması anlamına gelir. Sonuçta bütün bunları gerçekleyecek şekilde yanma odasının optimize edilmesi durumunda, motorun genel verimi, performansı ve özgül gücü artacak, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları ise azalacaktır.

Bu çalışmada, alev cephesi yüzey alanının; alev cephesinin arkasında kalan ve yanmış gazlardan oluştuğu varsayılan hacmin; ve -yanmış gazların ıslattığı alan olarak da adlandırılan- alev cephesi ile yanma odası çeperlerinin temas ettiği alanın, alev cephesinin yanma odası içinde yayılması süresince değişimlerinin, piston oyuğunun derinlik/yarıçap oranının değişiminden nasıl etkileneceği incelenmektedir. Böylece, en az ısı kayıpları ile en hızlı yanmayı sağlayacak silindirik disk şeklindeki piston oyuğunun derinlik/yarıçap oranının belirlenmesi amaçlanmaktadır.

ALEV CEPHESİ GEOMETRİSİ

Bir buji ateşlemeli motorda yanma bujinin tırnakları arasında başlar. Türbülanslı bir alev, cephe şeklinde gelişerek yanma odası boyunca yayılır. Şekil.1(a)'daki yanma fotoğraflarında görüldüğü gibi, silindir içi akışta şiddetli bir dönme (swirl) olmaması durumunda alev cephesinin gelişimi yaklaşık küresel bir karakterde olmaktadır [2]. Bu nedenle termodinamik esaslı yanma modellerinde alev cephesi için sıklıkla küresel geometri kullanılmaktadır. Bu çalışmada da yanma odasında şiddetli bir dönmenin olmadığı varsayılarak, Şekil.1(b)'de görüldüğü gibi küresel alev cephesi yaklaşımı kullanılmıştır. Alevin silindir içinde yayılması süresince pistonun üst ölü noktada (ÜÖN) sabit kaldığı varsayılmıştır. En genel durumda alev, incelenen geometriye göre silindir kafası, silindir duvarı (veya oyuklu piston durumunda piston oyuğu kenarı) ve piston tablası (veya oyuklu piston durumunda piston oyuğu alt yüzeyi) ile temas halinde olabilir. Şekil.1'de görülen böyle bir durum için A_f alev cephesi yüzey alanı ve V_f yanmış gaz hacmi

şeklinde hesaplanabilir [3].



Şekil 1. a. Buji ateşlemeli motorda yanmanın gelişimini gösteren fotoğraflar

b. Alev cephesi geometrisi

Alev cephesinin ıslattığı yanma odası yüzey alanı toplamı A_w ise, Şekil.1'den de görüldüğü gibi silindir kafasında $A_{w,ch}$, silindir duvarında (veya piston oyuğu yan yüzeyinde) $A_{w,cw}$ ve piston tablasındaki (veya piston oyuğu tabanındaki) $A_{w,p}$ yüzey alanlarının toplamından oluşmakta olup;

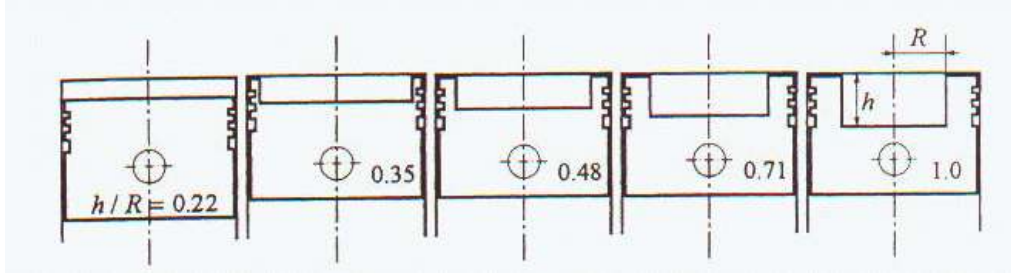
$$A_w = A_{w,ch} + A_{w,cw} + A_{w,p}$$

şeklinde hesaplanabilir [4]. (1), (2) ve (3) eşitliklerindeki a , b , ve r değerleri z 'nin bilinen fonksiyonları olmadıklarından, herhangi r_f , r_s , ve R değerleri için bu bağıntılardaki integraller analitik olarak hesaplanamayıp, sayısal olarak hesaplanmaktadır. Bağıntılar ve hesap yöntemi ile ilgili ayrıntılı bilgi [1]'de verilmiştir.

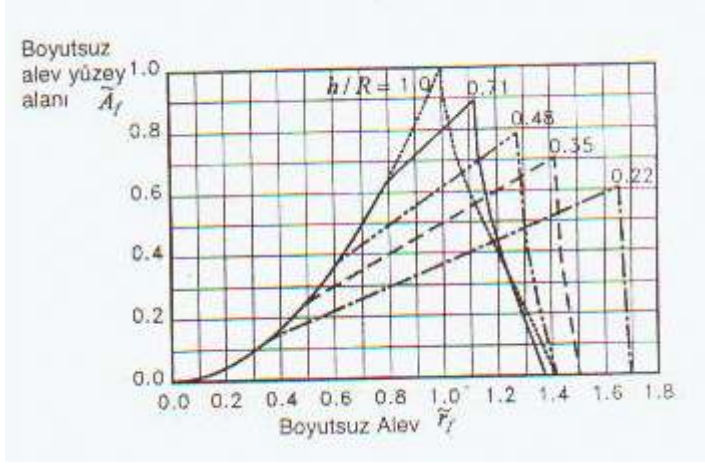
YANMA ODASI GEOMETRİLERİ

Bilgisayar programı önce silindir yarıçapı $R=38$ mm, ölü hacim yüksekliği $h_c=8.324$ ve sıkıştırma oranı $e = 9.25$ olan silindirik disk şeklindeki bir yanma odası için oluşturulmuştur. Bu geometri için ölü hacim yüksekliğinin silindir yarıçapına oranı $h_c/R=0.22$ olmaktadır. Daha sonra aynı ölü hacme (ve dolayısıyla sıkıştırma oranına) sahip olacak şekilde piston oyuğu derinliğinin, piston oyuğu yarıçapına oranı parametrik olarak artırılarak, $h/R=1.0$ olana kadar çeşitli değerleri için program tekrar oluşturulmuştur. Oyuklu piston geometrilerinde ölü hacmin tamamının piston oyuğu hacmine eşit olduğu varsayılmıştır.

Ayrıca geometriden yararlanılarak yazılan maksimum alev yolu $r_m=(V_c/p_{h+h^2})^{1/2}$ 'yi minimum yapan, $Q_{r_m}/Q_{h=0}$ koşulunu gerçekleyen $(h/R)r_{m,min}$ oranı, analitik yolla 0.71 olarak belirlenmiş ve bu geometri için de alev cephesinin özellikleri incelenmiştir. Burada V_c ölü hacmi göstermektedir. İncelenen yanma odası geometrileri toplu olarak Şekil.2'de görülmektedir.



Şekil 2. İncelenen yanma odası geometrileri



Şekil 3. Farklı h/R oranları için alev cephesi yüzey alanlarının alev yarıçapına göre değişimi

BULGULAR VE TARTIŞMA

Şekil.2'deki yanma odası geometrileri için alev cephesinin geometrik özelliklerindeki değişimler aşağıda grafikler şeklinde verilmektedir. Bu grafiklerde A_f alev cephesi yüzey alanı, V_f yanmış gaz hacmi, A_w yanmış gazların ıslattığı yanma odası yüzey alanı ve r_f alev yarıçapı sırasıyla

şeklinde boyutsuzlaştırılmış olarak verilmektedir. Bu bağıntılardaki $A_{f,ref}$ alanı, $h/R=1$ olan $R_{ref} = h_{ref} = 22.94$ mm değerine sahip piston oyuğunun yarıçapıyla aynı yarıçapa sahip yarımkürenin yüzey alanı olup

şeklinde $V_{f,ref}$ referans hacmi de bütün geometriler için aynı değere sahip olan V_c ölü hacmi olup

şeklinde yazılabilir. $A_{w,ref}$ yüzey alanı ise, yine $h/R=1$ olan geometri için yanma odasının toplam yüzey alanı olup

şeklinde $r_{f,ref}$ referans yarıçapı da bütün geometriler için aynı değere sahip olan r_c ölü yarıçapı olup

Alev Cephesi Yüzey Alanı

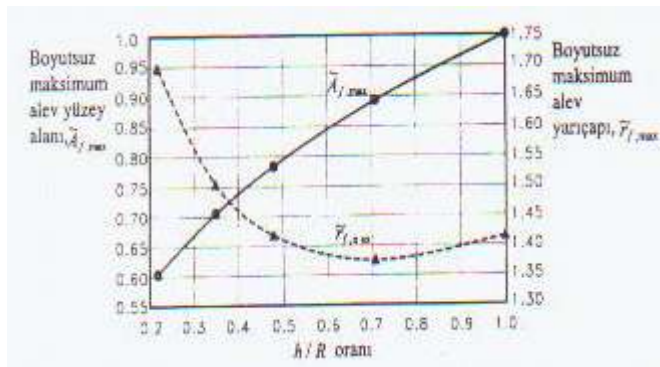
Şekil.3'te farklı piston oyuğu geometrileri için boyutsuz alev cephesi yüzey alanlarının, r_f boyutsuz alev yarıçapına göre değişimleri görülmektedir. $h/R=1.0$ için alev cephesi yüzey alanının alev yarıçapına göre değişimi incelendiğinde, alev yarıçapı arttıkça, yani yanma

ilerledikçe, alev cephesi yüzey alanı parabolik bir şekilde artmaktadır. Küre kapağı yüzey alanının $h/R < 1$ olan diğer bütün durumlar için ise değişim biraz farklı olmaktadır. Söz konusu durumlar için piston oyğunun derinliği oyuk yarıçapından daha küçük olduğundan, alev cephesi ilkönce piston yüzeyine sonra da silindir duvarlarına değmektedir. Bu değişimler için de alev cephesinin piston yüzeyine temas ettiği alev yarıçapına kadar alev cephesi yüzey alanındaki artış parabolik bir karakterde olmakta, bundan sonra alevin silindir duvarlarına değmesine kadar geçen sürede ise artış lineer bir karakter kazanma $h/R < 1$ olan diğer bütün durumlar için ise değişim biraz farklı olmaktadır. Söz konusu durumlar için piston oyğunun derinliği oyuk yarıçapından daha küçük olduğundan, alev cephesi ilkönce piston yüzeyine sonra da silindir duvarlarına değmektedir. Bu değişimler için de alev cephesinin piston yüzeyine temas ettiği alev yarıçapına kadar alev cephesi yüzey alanındaki artış parabolik bir karakterde olmakta, bundan sonra alevin silindir duvarlarına değmesine kadar geçen sürede ise artış lineer bir karakter kazanmaktadır. h/R 'nin azalan değerleri için lineer değişimin başladığı alev yarıçapı ve değişimin eğimi azalmaktadır. Bu da maksimum alev yüzey alanının değerini azaltmakta, meydana geldiği alev yarıçapını ise artırmaktadır.

Diğer taraftan, buji ateşlemeli motorlarda yanmanın iki bölgeyi termodinamik modellenmesinde kütleli yanma oranının belirlenmesi için genellikle,

şeklindeki bağıntıdan yararlanılır [5]. Bu eşitlikte m_b yanmış gazların kütleli, m_u yanmamış karışımın yoğunluğunu, A_f alev cephesi yüzey alanını ve ST alevin yanma odası içerisindeki türbülanslı yayılma hızını göstermektedir. (8) bağıntısından açık olarak görüldüğü üzere kütleli yanma oranı, yani yanma hızı, alev cephesinin yüzey alanı ile doğrudan orantılıdır. Buna göre yukarıdaki geometrilere, daha büyük alev cephesi yüzey alanını veren yani $h/R = 1$ olan oyuklu pistonu sahip geometrinin daha büyük bir yanma oranını, yani daha hızlı bir yanmayı sağlayabileceği sonucuna varılabilir.

Şekil.4'te maksimum alev yüzey alanı ve maksimum alev yarıçapının, h/R oranına göre değişimi verilmiştir. Artan h/R oranı ile sürekli artarken, değeri analitik olarak belirlenen $h/R = 0.71$ oranına kadar parabolik olarak azalmakta ve burada bir minimum yaptıktan sonra tekrar artmaya başlamaktadır. Diğer bir deyişle maksimum h/R değeri ile minimum değeri aynı h/R oranında meydana gelmemektedir.

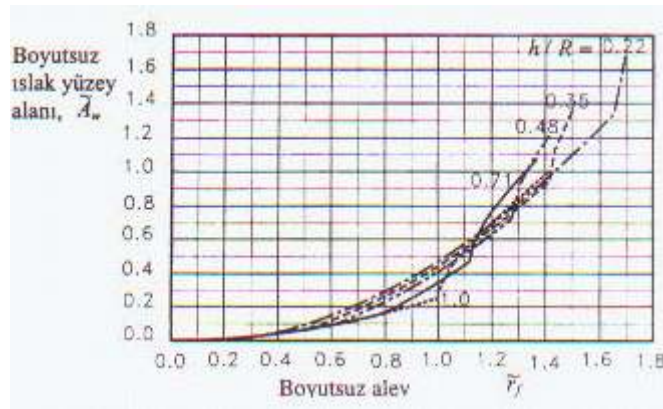


Bir buji ateşlemeli motorda, bujide yanmanın başlamasından sonra alev yarıçapının büyüyerek yanma odasının en uzak noktasına varıncaya kadar geçen süre, buji ile yanma odasının en uzak noktası arasındaki mesafe ile orantılı olacağından, bu mesafe ne kadar kısa olursa yanma o kadar daha erken tamamlanacaktır. Ancak maksimum alev yolunu minimum yapan $h/R = 0.71$ oranında maksimum alev cephesi yüzey alanı, $h/R = 1.0$ 'a oranla %11 daha küçük olmaktadır. Yanma hızını etkileyen bu iki faktörden hangisinin daha etkin olduğunun

belirlenmesi sadece geometrik açıdan yapılan bu incelemede olanaksız olduğundan, bu konuda bir yorum yapabilmek için yanmanın termokimyasal modelinin de işin içine sokulması gerekir. Bununla birlikte, Şekil.3 ve Şekil.4'ten, piston oyğunun derinlik/yarıçap oranının $0.71 < \frac{h}{R} < 1.0$ aralığında olması durumunda, diğer durumlara oranla daha hızlı bir yanmanın elde edilebileceği sonucuna varılabilir.

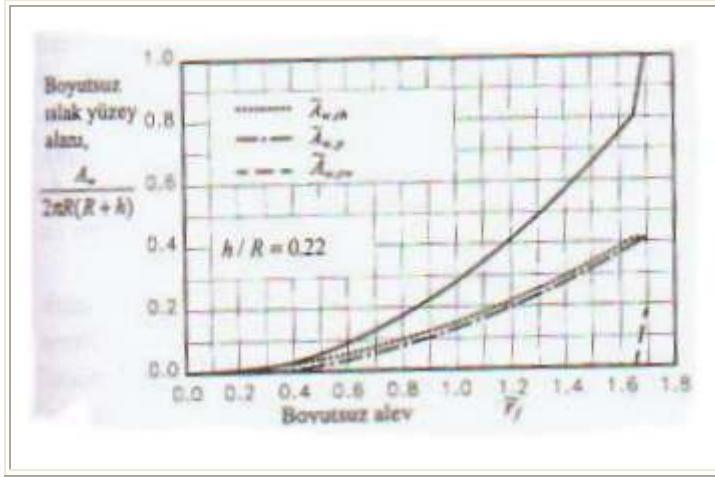
Alev Cephesinin Islattığı Yanma Odası Yüzey Alanı

Buji ateşlemeli motorlarda yanma odası çeperlerinden olan ısı kayıplarının önemli bir kısmı, yanmış gazlarla temas halinde olan cidarlardan meydana gelmektedir. İyi tasarlanmış bir yanma odasında, taze dolgunun önemli bir bölümü yanıcaya kadar, yanmış gazların cidarlarla olabildiğince az temas etmesi gerekir. Isı kayıplarında %10'luk bir azalmanın ortalama efektif basınçta yaklaşık %3'lük bir artış meydana getireceği [6] düşünülürse, yanma odasının ısı kayıpları bakımından da optimize edilmesinin ne kadar önemli olduğu anlaşılır. Şekil.5'te, incelenen piston geometrileri için alev cephesinin ıslattığı yanma odası yüzey alanlarının alev yarıçapına göre değişimleri görülmektedir.



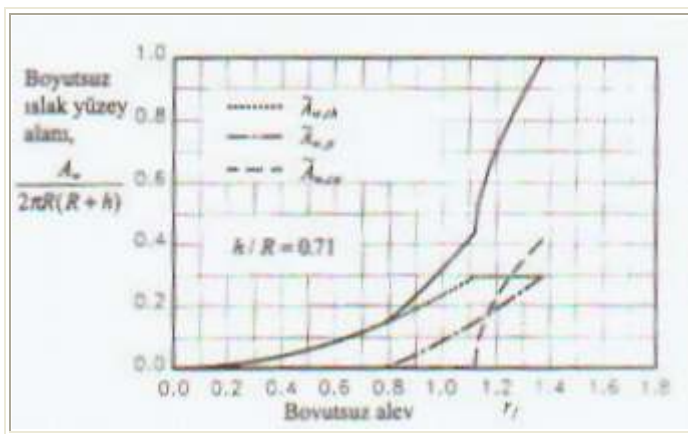
h/R oranı 1.0 ve 0.71 olan oyuklu pistonu sahip yanma odalarının yukarıda sözü edilen iyi tasarlanmış yanma odası geometrilerine diğerlerinden daha çok uyduğu görülmektedir. Örneğin, $\frac{h}{R}=1$ olan durum için alevin ıslattığı yüzey alanı %30'lara varıncaya kadar alev, maksimum alev yolunun %72'sine ulaşmakta. Halbuki $\frac{h}{R}=0.22$ olan oyuksuz piston durumunda ıslatılan yüzey alanının bu oranına alev, maksimum alev yolunun henüz %44'üne geldiğinde sahip olmaktadır. Aynı orana, $\frac{h}{R}=0.71$ olan durumda, alev toplam yolunun %66'sında iken sahip olmaktadır. Şekil.5'te göze çarpan bir diğer durum ise, alevin ıslattığı toplam yüzey alanının, diğer bir deyişle piston ÜÖN'da iken yanma odası çeperlerinin toplam yüzey alanının da $\frac{h}{R}$ oranı 1.0 ve 0.71 olan geometrilerde en düşük düzeylerde olmasıdır. Örneğin $\frac{h}{R}=0.22$ olan durumdaki toplam yüzey alanı, $\frac{h}{R}=1.0$ olandan yaklaşık %68, $\frac{h}{R}=0.71$ olandan da %57 fazla olmaktadır. Bunların tümü dikkate alındığında, ısı kayıpları bakımından da $\frac{h}{R}$ oranı 0.71 ve 1.0 olan oyuklu piston geometrilerinin diğerlerinden daha üstün olduğu söylenebilir.

Şekil.6, 7 ve 8'de, $\frac{h}{R}$ oranının sırasıyla 0.22, 0.71 ve 1.0 değerleri için, alev yarıçapının büyümesi süresince yanmış gazların temas ettiği toplam yüzey alanının silindir kafası, silindir duvarları ve piston yüzeyi üzerindeki dağılımları görülmektedir.

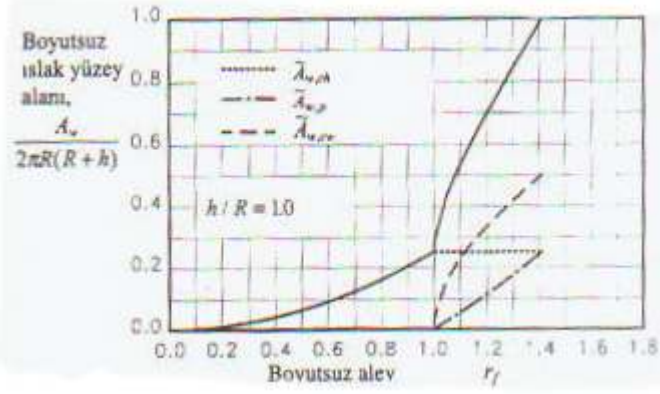


Bujinin silindir kafasında bulunduğu varsayıldığından, alev yarıçapının sıfırdan itibaren büyümesi süresince silindir kafasıyla temas ettiği kısa kesikli çizgilerden görülmektedir. $h/R = 0.22$ olan düz piston tablalı durumda ölü hacim yüksekliği çok küçük olduğundan h/R yarıçapı maksimum alev yolunun yaklaşık %24'lerine geldiğinde alev piston yüzeyine de değmektedir. Bu geometri için ıslak yüzey alanının değişiminde ve dolayısıyla ısı kayıplarında etkin yüzey alanlarının silindir kafası ve piston yüzeyleri olduğu söylenebilir. Alevin silindir duvarları ile teması ise yanmanın çok sonlarına doğru, alev yolunun yaklaşık %97'si alındıktan sonra meydana gelmektedir.

Şekil.7'de görüldüğü gibi, $h/R = 0.71$ olan ve minimum alev yoluna karşılık gelen geometride de alev piston yüzeyine silindir duvarlarından önce değmekte fakat, dağılım oldukça dengeli olmaktadır. Yanma sonunda silindir duvarları toplam ıslak yüzey alanının %40'ını, silindir kafası ve piston yüzeyi %30'arlık kısımlarını oluşturmaktadır. Alev, maksimum alev yolunun yaklaşık %81'lerine gelene kadar sadece silindir kafasına ve piston yüzeyine temas etmekte ve ıslatılan yüzey alanı toplam yüzey alanının ancak %43'lerinde kalmaktadır.

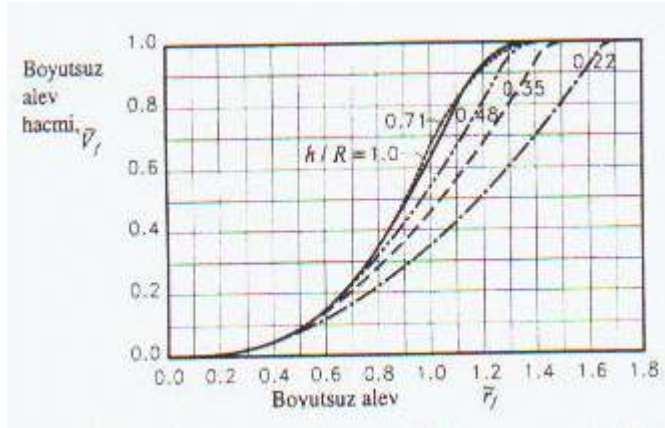


Piston oyuğu derinlik/yarıçap oranının 1.0 olduğu geometride alev cephesi maksimum alev yolunun yaklaşık %72'sine ulaşıncaya kadar alev piston yüzeyine ve silindir duvarlarına değmemekte ve toplam yanma odası yüzey alanının ancak %25'ini ıslatmaktadır. Bu noktada her iki yüzeye de aynı anda değmekte ve ıslatılan yüzey alanı hızlı bir şekilde artmaktadır. İyi bir yanma odası için bu istenen bir durumdur.



Yanmış Gaz Hacmi

Şekil.9'da yanmış gaz hacimlerinin alev yarıçapı ile değişimleri görülmektedir. h/R oranının 1.0 ve 0.71 olduğu oyuklu piston geometrilerinde maksimum alev yolu daha kısa olduğundan, _değişimleri daha diktir ve oldukça benzer karakterdedir.



Boyutsuz alev yüzey alanlarının boyutsuz alev hacimleri ile değişimleri Şekil.10'da görülmektedir. değişimlerinden aynı kütleli yanma oranlarında farklı geometrilerin sahip olacakları alev cephesi yüzey alanları belirlenebilir. h/R 'nin 1'e yakın olduğu daha kompakt geometrilerin üstünlüğü Şekil.9 ve 10'dan da açık olarak görülebilmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmadan şu genel sonuçlar çıkarılabilir:

- Yanma kimyası için içine katılmadan, sadece alevin yanma odası içinde yayılışının geometrik modellenmesinden yararlanılarak dahi yanma odasının optimizasyonu için çok yararlı bilgiler elde edilebilmektedir.
- Oyuklu piston kullanılması durumunda, alev cephesinin yanma odası içinde yayılışı sırasında daha yüksek bir alev cephesi yüzey alanı oluştuğundan, kütleli yanma oranının ve dolayısıyla yanma hızının artması beklenebilir.
- Yanma olayı sırasında alevin ulaşacağı maksimum uzaklık oyuklu piston durumunda daha kısa olduğundan yanma daha kısa sürede tamamlanacaktır. h/R oranı 0.71 olan yanma odası en kısa alev yoluna sahip olduğundan, benzin motoru vuruntusuna karşı da diğerlerinden üstün olması olasıdır.

- Piston oyuğu derinlik/yarıçap oranı 1'e yaklaştıkça yanma odası çeperlerinin toplam yüzey alanı küçüldüğünden ısı kayıpları azalacaktır.
- Piston oyuğu derinlik/yarıçap oranının 0.71 olması durumunda alev yolu en kısa olmakta fakat bu oranın 1.0 olması durumunda alev cephesi yüzey alanı genel olarak daha büyük değerler almakta ve toplam yanma odası yüzey alanı en küçük olmaktadır. Buna göre yanma hızı ve ısı kayıpları bakımından h/R oranının 0.71 ile 1.0 arasında olması gerektiği söylenebilir. Fakat bu değerlerden hangisine daha yakın olması gerektiğinin belirlenmesi için sadece geometrik modellemeden elde edilen bilgiler yeterli olmamaktadır. Bu durumda yanma kimyasının da hesaba katıldığı iki bölgeli bir termodinamik modelleme ile daha kesin bir sonuca varılabilir.
- Geliştirilen bu program iki bölgeli termodinamik yanma modellerinde, dönmesiz veya düşük şiddette dönmeli silindir içi akış durumlarında alev cephesinin özelliklerini belirlemek için bir alt program olarak kullanılabilir.
- Programda piston oyuğu hacminin ölü hacme eşit olduğu varsayılmıştır. Program, ölü hacim ile piston oyuğu hacmi arasındaki farkı da dikkate alarak daha gerçekçi hesap yapacak şekilde geliştirilebilir.

SEMBOLLER

A_f : Alev cephesi yüzey alanı.

$A_{f, ref}$: Referans yüzey alanı

: Boyutsuz alev cephesi yüzey alanı ($=A_f / A_{f, ref}$).

A_w : Yanmış gazların ıslattığı yanma odası yüzey alanı.

$A_{w, ref}$: Referans yüzey alanı

: Alevin yanma odası çeperleri ile temas ettiği boyutsuz yüzey alanı ($=A_w / A_{w, ref}$).

: Alevin silindir kafasında ıslattığı boyutsuz yüzey alanı.

\bar{A}_w : Alevin silindir kafasında ıslattığı boyutsuz yüzey alanı.

: Alevin silindir kafasında ıslattığı boyutsuz yüzey alanı.

h : Piston oyuğu derinliği.

h_c : Ölü hacim yüksekliği.

h_{ref} : Referans yüksekliği (=22.94 mm).

r_f : Alev cephesi yarıçapı.

: Boyutsuz alev yarıçapı ($=r_f / R_{ref}$).

$r_{f, max}$: Maksimum alev yolu.

r_s : Bujinin silindir merkezine uzaklığı (=0.0).

R : Piston oyuğu yarıçapı.

Rref : Referans yarıçapı (=22.94 mm).

Vc : Ölü hacim (=393.25*10⁻⁶ m³).

_Vf : Yanmış gaz hacmi.

Vf, ref : Referans hacmi (=393.25*10⁻⁶ m³).

: Boyutsuz yanmış gaz hacmi (=Vf /Vf, ref).

KAYNAKÇA

1. Bilgin, A., "Effects of Some Combustion Chamber Design Parameters on Geometric Features of the Flame Front", Proceedings of the Second Trabzon International Energy and Environment Symposium (TIEES-98), pp.135-137, Karadeniz Technical University, Trabzon, Türkiye, 29-31 July, 1998.
2. Heywood, J.B., Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill Book Company, New York, 1988.
3. Blizard, N.C. & Keck, J.C., "Experimental and Theoretical Investigation of Turbulent Burning Model for Internal Combustion engines", SAE paper 740191, 1974.
4. Tabaczynski, R.J. & Ferguson, C.R., "A Turbulent Entrainment Model for Spark-Ignition Engine Combustion", SAE paper 770647, 1977.
5. Ramos, J.I., Internal Combustion Engine Modeling, Hemisphere Pub. Corp., New York, 1989.
6. Borman, G.L. & Ragland, K.W., Combustion Engineering, McGraw-Hill Companies, New York, 1998.