

BENZİNLİ MOTORLARDA LPG KULLANIMININ SUPAPLAR ÜZERİNDEKİ ISIL ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Atakan AVCI*

Özet: Motorlarda alternatif yakıt olarak LPG kullanımının supaplar üzerindeki etkisi kuramsal olarak incelenmiştir. Oluşturulan iki boyutlu aksel simetriye sahip dolu supap modeli sonlu elemanlar metoduyla çözülmüştür. Çevrim boyunca silindir içerisindeki sıcaklık ve basıncın belirlenmesi için sıfır boyutlu termodinamik model kullanılmıştır. Sonuçta gerek avans değişikliğinin ve gerek benzinde görülen karbon filminin kalkmasının sonucu olarak LPG veya doğal gaz kullanımında supapların daha yüksek ısıl zorlamalara maruz kaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

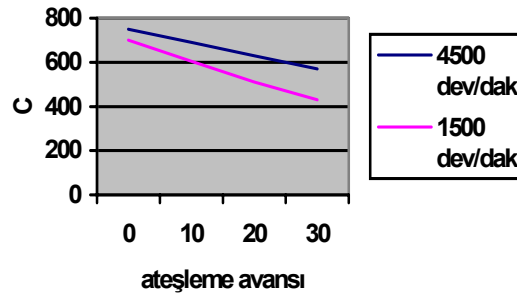
Anahtar Kelimeler: Supap, ısıl analiz.

1. GİRİŞ

Supaplar motorlarda gerek mekanik ve gerekse ısıl zorlamalara en çok maruz kalan parçalardan biridir (Richordo, 1961). Supap yenmeleri, oyulması, kırılması, aşınması ve değişik şekillerde şekil bozukluklarına uğraması sık rastlanan olaylardır. Özellikle LPG dönüşümü yapılan bazı taşıtların supaplarında görülen bozulmalar supap yakıt ilişkisinin araştırılması gereğini ortaya çıkarmıştır.

Genelde dolu çelik supaplarda oluşan maksimum sıcaklıklar devir ve yüke bağlı olarak değişmekte olup, Hoyer ve giğ. (1999)'ye göre bu sıcaklıklar 400-800 C arasında değerler almaktadır. Supap başı ile sapı arasında merkezden yüzeylere doğru sıcaklıklar değişmekte ancak maksimum değerler, rejim halinde, supap yapısına göre supap başının birkaç milimetre altında gerçekleşmektedir. Supap yüzeyleri ise çevrim strokuna bağlı olarak sürekli değişken ısıl yüklere maruz olup, supap iç sıcaklıklarının çok altında veya üstünde değerler almaktadır.

Motorlarda ateşleme avansının rolü önemli görülmektedir. Benzine göre çalışan bir taşıtın LPG ile çalışması durumunda avans haritası değiştiğinden bütün devirlerde aynı verimin elde edilmesi mümkün değildir. Avans açısındaki değişim benzer olarak sıcaklıklara da yansımaktadır. İşe dönüşemeyen enerji iç enerjiyi, dolayısıyla sıcaklıkları artırmaktadır. Bu durum şekil 1. de açık olarak görülmektedir. Ateşleme avansı büyüdükçe veya gerekli açığa yaklaştıkça supap sıcaklığı küçülmektedir.

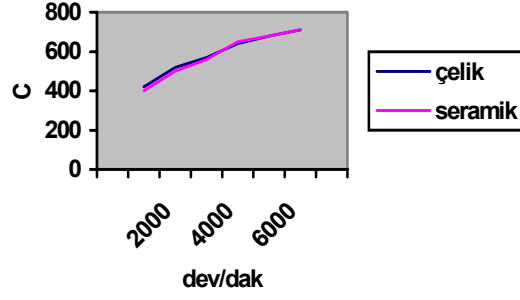


Şekil 1.

Ateşleme avansının egzost supabı sıcaklığına etkisi

Diğer taraftan devir sayısının artması veya yükün artması da birim hacimde ortaya çıkan enerjinin artmasına neden olmakta ve sonuçta ortam sıcaklığını ve supap sıcaklığını artırmaktadır. Şekil 2. de farklı malzemelerde devir sayısı ile supap sıcaklığının değişimi verilmiştir.

* U.Ü. Müh.-Mim. Fakültesi Makine Müh. Bölümü 16059 Görükle-BURSA



Şekil 2.
Egzost supabı sıcaklığının devir sayısı ile değişimi

Supap malzemesinin değişmesi halinde, daha düşük ısı iletimi olan ve hafif malzemelerde sıcaklıklar önemli ölçüde düşerken mekanik zorlamalarda azalmaktadır. (Hoyer, et al. 1999). Aşırı ısınmanın önüne geçmek için değişik soğutma yöntemleri geliştirilmiştir. Egzost supaplarında özellikle supap başı sürekli değişik ısıl zorlamalara maruz iken manifold içinde kalan kısım sürekli egzost gazları ile temastadır. Çekilen ısı supap sapı ve supap oturma yüzeyinden transfer edilmektedir.

Farklı yakıt kullanımında yanma odasında oluşabilecek sıcaklıklar açısından LPG veya doğal gaz benzine göre gerek volumetrik verim ve gerekse adyabatik alev sıcaklıkları açısından daha avantajlı görünmektedir. Dolayısıyla daha düşük sıcaklıkların, dolayısıyla daha düşük ısıl zorlamaların oluşması beklenir. Ancak yanma veriminin artması olumlu etki yapmaktadır. Sonuçta avans haritalarına göre çalışan taşıtlarda alev sıcaklıklarının benzinde daha yüksek olması beklenir. (yak. Yan). Buna karşılık avans haritası benzine göre olan LPG dönüşümlü taşıtta avans farklılığından dolayı farklılığa bağlı olarak daha büyük sıcaklıkların oluşması beklenebilir.

Diğer önemli bir faktör izafi olarak, benzinli taşıtlarda supap yüzeyinde oluşan karbon filmlerinin gaz fazında silindire giren katkısız yakıtlarda (LPG ve doğal gaz gibi) oluşmadığı veya çok küçük filmler oluşturduğu pratik uygulamalardan bilinmektedir. Bu açıdan bakıldığında bu karbon filmlerinin etkisinin araştırılması gerekir.

Bu çalışmada mekanik zorlamalardan ziyade ısıl zorlamaların nedeni araştırılmaya çalışılmıştır. Farklı yakıtlar için yapılan motor çevrimi alev sıcaklıkları hesaplarında alev sıcaklığının önemli bir etken olmayacağı görüldüğünden araştırma karbon filmlerinin etkisi üzerinde yoğunlaştırılmıştır. Bu amaçla supap yüzeyi üzerinde değişik kalınlıklarda karbon filminin oluşumu halinde supapların ısıl davranış incelenmiştir. En yüksek ısıl zorlamaya egzost supabı maruz kaldığından nümerik sonuçlar egzost supabı için yapılmıştır. Bu amaçla supabın eksenel simetriye sahip olduğu kabul edilmiş ve iki boyutlu modeli oluşturularak sonlu elemanlar metodu ile çözüm yapılmıştır.

2. KURAMSAL YAKLAŞIM

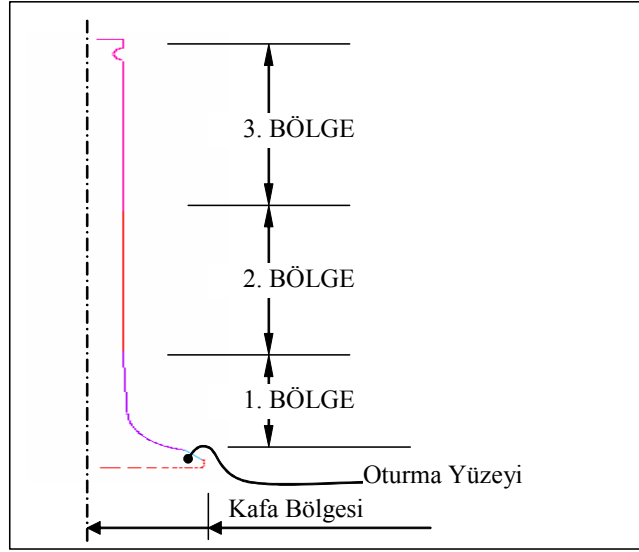
Supapların ısıl davranışını incelemek üzere nümerik çözüme esas olarak 4 zamanlı, 1.6 litre silindir hacminde ve sıkıştırma oranı 8.1 olan bir benzin motoru ele alınmıştır. Bu amaçla mevcut motora ait düzlemsel kesit resmi ve ölçüleri şekil 3 te verilen supabın bilgisayarda katı modeli oluşturulmuştur.

Bu katı model daha sonra okunmak üzere ANSYS içerisinde SAT formatında kaydedilmiştir. Bu katı model ANSYS içerisinde değişik operasyonlardan sonra 2 boyutlu hale dönüştürülmüştür. Sonlu elemanlar modelini oluştururken yapılacak ilk işlemlerden biri çözüm ağının oluşturulması için kullanılacak elemanın seçimidir. Bu amaçla ANSYS içerisinde bulunan ve çift etkili olarak kullanılabilen Plane 13 elemanı seçilmiştir. Seçilen eleman şekil 4 te verilmiştir.

Grit ağı, sıcaklıkların yüksek olduğu veya gradyenin büyük olarak beklendiği yerlerde daha sık olacak şekilde oluşturulmuştur. Oluşturulan grit ağı Şekil 5 te verilmiştir. Supap üzerinde toplam 364 eleman kullanılmış ve 454 düğüm noktası oluşturulmuştur.

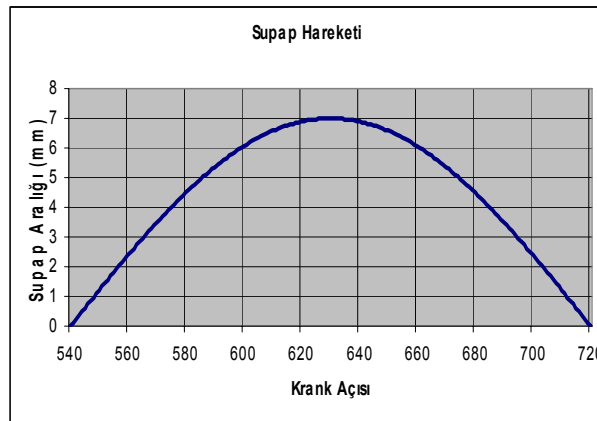
Benzinli çalışmada katı supap tabla yüzeyine ayrıca karbon filmi kalınlığı ilave edilmiştir. Film kalınlığına bağlı olarak film gritlere bölünmüştür. LPG veya doğal gaz ile çalışmada bu durum göz önüne alınmamıştır.

Supapların değişik bölgeleri değişik ısı yüklerine maruz kalmaktadır. Supapların alt tablası silindir içi şartlarına bağlı olarak çevrim boyunca değişken sıcaklıklara maruz kalmaktadır. Tabla oturma yüzeylerinin, supap dış yüzeyinin manifold içinde kalan kısmının, supap kolu kılavuzunun ve supap üst kolunun ısı davranışları farklı olacaktır. Basitleştirme olarak bu uzunluklar sabit kabul edilmiştir. Özellikle supap kolunun kılavuz içerisinde sınırlı hareketi göz önüne alınmamıştır. Bu tanımlamaya göre farklı ısı davranışta olacağı düşünülen 5 bölge vardır. Bu bölgeler supap kafası, supap oturma yüzeyi, manifold içinde kalan bölge, supap kılavuzu içinde kalan bölge ve külbütöre kadar olan bölgedir. Şekil 6. da bu bölgeler gösterilmiştir.



Şekil 6.
Supap üzerinde değişik ısı yük bölgeleri

Egzost supap hareketini tanımlamak üzere kullanılan ve numerik değerleri Şekil 7. de verilen hareket kanunu kullanılmıştır. Bu kanuna bağlı olarak emme ve egzost çıkış kesitleri hesaplanmıştır.



Şekil 7.
Supap hareket kanunu

Çevrim sırasında silindir içerisinde meydana gelen basınç ve sıcaklıkların tahmini için bir çevrim modeli kullanmak gerekmektedir. Bu amaçla sıfır boyutlu termodinamik model kullanılmıştır. Bu modelde, emme başlangıcında egzost sıcaklığında yanmış egzost gazları bulunduğu kabul edilerek dolgu miktarına ve ısı transferine bağlı olarak sıcaklık hesaplanmıştır. Sıkıştırmanın politropik olduğu, avans açısına göre yanmanın başladığı ve çok kullanılan yanma oranı bağıntısına göre Karamangil (2000) yakıtın

yandığı, yanmanın tam olduğu, genişlemenin politropik olarak gerekleştđđ ve ekzost sırasında sıcaklığın değişiminin deneysel verilere bağlı olarak basit bir korelasyonla hesaplanabileceği dűřünülműřtűr. Bu amaçla hazırlanmış bir bilgisayar programı kullanılmıştır. (Karamangil, 2000).

Supap yűzeylerine gelen ısıl yűkler genelde tařınım řeklinde olmakta ancak oturma yűzeyinde iletim ۆn plana çıkmaktadır. Iřınım gۆzۆnűne alınmamıřtır. Supap kafası yűzeylerindeki tařınım katsayıları egzost strokunda Annaad (1968) tarafından verilen

$$Nu = a(Re)^{0.6} \quad (1)$$

bağıntısıyla hesaplanmıştır. Burada Reynolds sayısı

$$Re = \frac{4m}{\pi d_v v}$$

şeklinde tanımlanmış olup m manifolddaki hacimsel hava debisini, d_v supap kafası çapını, v gazların kinematik viskozitesini, a supap açıklık/çap oranına bağlı bir sabiti ve Nu ise Nusselt sayısını gۆstermektedir.

Emme strokunda ise Re sayısına bağlı olarak Horlock ve giğ. (1986) tarafından verilen deneysel sonuçlardan yararlanılarak taşınım katsayıları tahmin edilmiştir.

Egzost supabının birinci bۆlgesinde egzost strokunda taşınım katsayısı için

$$Nu_D = c(Re_L^m) Pr^{1/3} \quad (2)$$

bağıntısı kullanılmıştır (Kılıç ve Yiğit, 2000). Burada c ve m birer sabit olup ilgili tablolardan alınır. Diğerleri ise Reynold sayısı (Re_L) ve Prandtl sayısıdır (Pr).

Oturma yűzeyi bۆlgesinde yűzeye oturma sırasında iletimle ısıl transferi için ilave olarak temas direnci R_t gۆz ۆnűne alınmıřtır. Bu konumda ısının iletimle gerçekleřtiđi dűřünülműřtűr.

İkinci bۆlgede ise supap ile kılavuz arasındaki yağ filminden oluşan dirençten hareketle taşınım katsayısı için

$$h \approx k / \Delta r \quad (3)$$

ilişkisi tanımlanmıştır. Burada k filmin ısıl iletim katsayısı ve Δr ise film kalınlığıdır.

Supapların her bir bۆlgesi için 4 strokta ısıl yűklerinin hesabında kullanılan taşınım katsayıları ve sıcaklıklar için alınan veya kabul edilen değerler tablo halinde Tablo 1 de açık olarak verilmiştir. Burada T_{eg} egzost sıcaklığı, $\Delta\theta$ krank açısı, α ve β ise sabitlerdir.

Tablo 1. Supaplara gelen ısıl yűkler

a. emme zamanında ısıl yűkler

Bۆlge	Isıl taşınım katsayısı (W/m ² K)	Ortam sıcaklığı (°C)
1.	130	$T_{eg} (1/(1+\alpha\Delta\theta))$
2.	1700	90
3.	40	45
Kafa bۆlgesi	130	$T_c+T_{eg}/(1+\beta\Delta\theta)$
Oturma yűzeyi	1000	90

b. Sıkıştırma zamanında ısıl yűkler

Bۆlge	Isıl taşınım katsayısı (W/m ² K)	Ortam sıcaklığı (°C)
1.	130	$T_{eg} (1/(1+\alpha\Delta\theta))$
2.	1700	90
3.	40	45
Kafa bۆlgesi	programdan	Programdan
Oturma yűzeyi	1000	90

c. Yanma ve genişleme zamanında ısıl yűkler

Bۆlge	Isıl taşınım katsayısı (W/m ² K)	Ortam sıcaklığı (°C)
1.	130	$T_{eg} (1/(1+\alpha\Delta\theta))$
2.	1700	90
3.	40	45
Kafa bۆlgesi	programdan	Programdan
Oturma yűzeyi	1000	90

d. Egzost zamanında ısıl yűkler

Bۆlge	Isıl taşınım katsayısı (W/m ² K)	Ortam sıcaklığı (°C)
1.	programdan	Programdan
2.	1700	90
3.	40	45
Kafa bۆlgesi	programdan	Programdan
Oturma yűzeyi	programdan	Programdan

Supap üzerindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımını elde etmek üzere aksel simetriye sahip geometri ve ısı yükleri için verilen sınır şartları altında sonlu elemanlar metodu kullanılarak çözüm yapılmıştır. Supapın her bir ısı analizi için kullanılan süre 4 gündür.

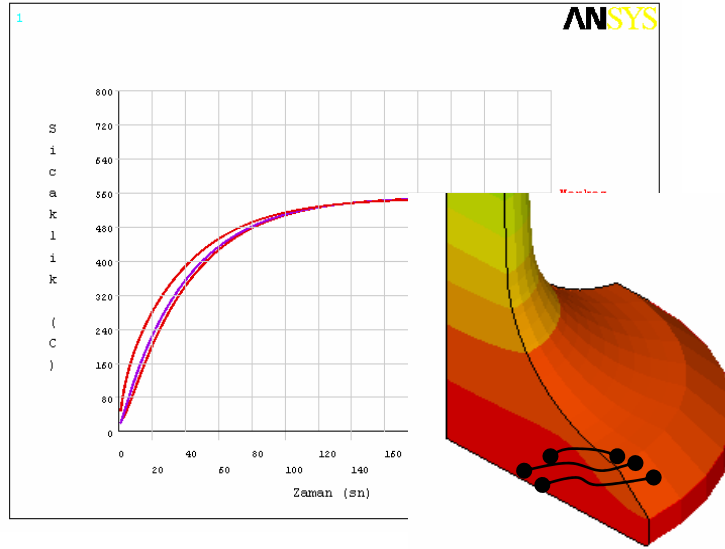
3. SONUÇLAR

Bu çalışmada supabın ısı analizi için yapılan çözümlerden motor devir sayısının 3600 dev/dak olduğu hal için elde edilen sonuçlar verilmiştir. Başlangıçta supabın dolayısıyla motorun 20 C sıcaklıkta olduğu kabul edilmiştir.

Ön çalışma yakıtların alev sıcaklıklarının karşılaştırılmasına yönelik olmuş ancak yakıtların alev sıcaklıkları arasında belirgin fark olmaması nedeniyle aynı supap için farklı yakıtlar kullanımının ısı zorlamaları açısından fark oluşturmayacağı sonucuna varılmıştır. Bunun üzerine ağırlık supap yüzeyinde oluşacak karbon birikintilerinin etkisi üzerine kaydırılmıştır. Bu amaçla benzinle çalışma halinde supap yüzeyinde karbon filmi olduğu Heywood (1988) ve bu filmlerin sırasıyla 20, 50, 100, 200 mikron kalınlığında olduğu ancak LPG ve/veya doğal gazda oluşmadığı kabul edilerek supabın ısı davranışı incelenmiştir.

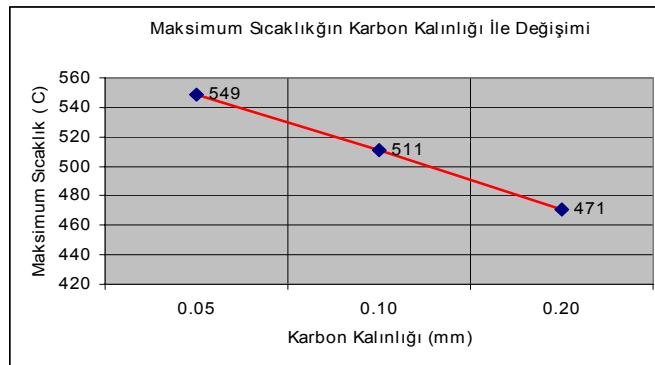
Bu çalışmada yapılan kabuller literatürde verilen (Bilal, H. 2000) deneysel supap sıcaklıkları değerleri ile karşılaştırıldığında benzer sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Bu açıdan yapılan çözümlerin gerçeğe uygun değerler olarak alınabileceği kabul edilmiştir.

Hesaplara göre motorun rejim sıcaklığına ulaşması 250 saniye civarında gerçekleşmiştir. Benzin ve LPG için supap yüzeyinde farklı noktaların rejim sıcaklığına ulaşma eğrileri Şekil 8. de verilmiştir. Şekilden görüleceği gibi 250 s civarında bir süre de sıcaklıklar sabit bir değere yakınsamaktadır.



Şekil 8.

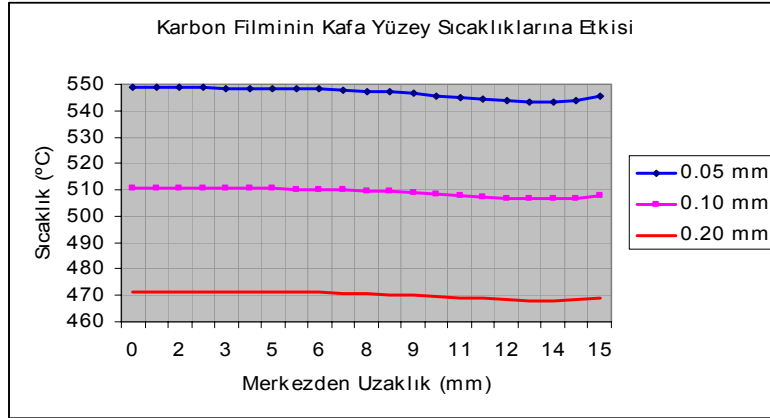
Supabın sabit devirde 100 mikron film kalınlığında rejime girme süresi



Şekil 9.

3600 d/dak için farklı karbon filmi kalınlıklarının maksimum supap sıcaklığına etkisi

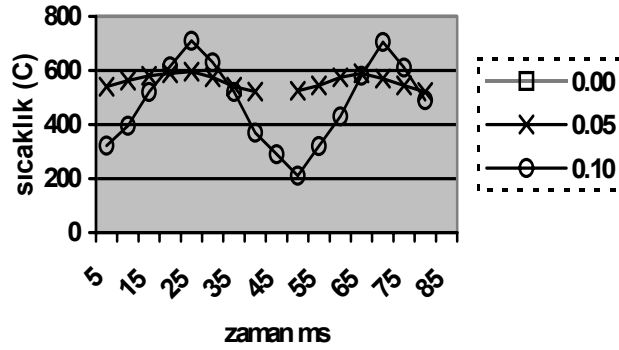
Farklı film kalınlıklarında rejim halinde supaplarda sıcaklık dağılımları Şekil 9 da verilmiştir. Şekilden görüleceği gibi film kalınlığı arttıkça ortalama sıcaklıklar düşmekte dolayısıyla supaplar üzerinden olan ısı kayıpları azalmaktadır. Diğer taraftan radyal yönde sıcaklık dağılımları şekil 10 da verilmiştir.



Şekil 10.

3600 d/dak için farklı film kalınlıklarında supap yüzeyinde radyal sıcaklık dağılımı

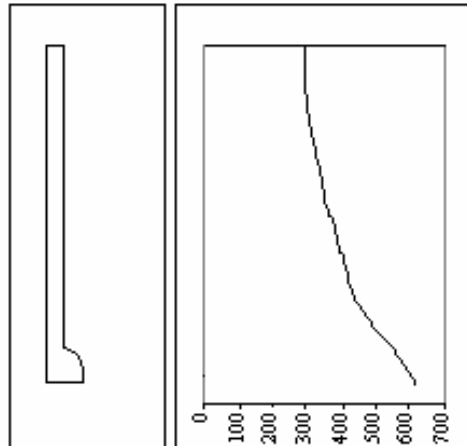
Farklı film kalınlıklarında supap yüzeyi sıcaklıkları da değişmektedir. Silindir içerisinde çevrim boyunca meydana gelen sıcaklık değişimleri film varlığında yüzeyde fazla salınımaya yol açmamaktadır. Filmin yokluğunda ise yüzey sıcaklıkları büyük salınımlar yapmaktadır. Şekil 11 de 0.1 mm kalınlığında film için supap yüzeyindeki sıcaklık değişimi verilmiştir.



Şekil 11.

0.1 mm film kalınlığında supap yüzeyinden film yüzeyine sıcaklık değişimi

Ayrıca Şekil 12 de supap yüzeyi boyunca farklı noktadaki sıcaklıklar görülmektedir. Şekillerden anlaşıldığı gibi filmin varlığında yüzey sıcaklığındaki salınımlar ve ortalama sıcaklıklar düşmektedir.



Şekil 12.
LPG ile çalışmada supap üzerinde aksenal sıcaklık dağılımı

4. TARTIŞMA

Bu çalışmada motor performansı açısından sınırlı değişken parametre göz önüne alınarak supaplar incelenmiştir. Bu açıdan çok kapsamlı sonuçlar ortaya çıkmayabilir. Ancak çalışmanın amacı açısından sonuçların önemli ipuçları verdiği düşünülmektedir.

Farklı yakıt uygulamalarında alev sıcaklıkları açısından fazla fark olmaması nedeniyle ısıl zorlanmalarda etkili faktörün olması mümkün görünmemektedir.. Ancak avans ayarının yakıtı uygun olmamasının bazı çalışma şartlarında supapları daha fazla ısıl ve mekanik darbelerle maruz bırakması mümkündür. Özellikle yüksek devirlerde avans değerlerinin de belirgin farklılık göstermesi ve güç düşümünün belirgin olarak hissedilmesi ve şekil 1 de verilen sıcaklık değişimleri de göz önüne alındığında dönüşümden dolayı supaplara önemli ısıl yükler gelebileceğini söylemek mümkündür. Bu etki ayrıca incelenmemiş olmakla birlikte beklenen bir etkidir.

Supap yüzeylerinin film ile kaplanmış olmasının önemli bir etki oluşturabileceği anlaşılmaktadır. Filmin öncelikle ortalama sıcaklıkları düşürdüğü ancak en önemlisi yüzeydeki sıcaklık salınımlarının çok küçüldüğü dolayısıyla yüzeyde ısıl gerilmelerin filmin varlığında minimuma indiği anlaşılmaktadır. Film kalınlıklarının öngörülenden daha küçük olması halinde bile ısıl darbeleri sönmeyen bir damper görevi gördüğü anlaşılmaktadır.

Avans ayarsızlığının etkisinde ise çalışma şartlarına bağlı olarak bazı çalışma şartlarında daha büyük ısıl gerilmeler oluşturacaktır. Dolayısıyla supapların yüzeylerinde veya genel olarak işlevini yitirmesine yol açacak riskleri artıracak şekilde etki göstermektedir.

Temiz alternatif yakıtlarla çalışmak üzere dönüştürülen taşıtlarda supaplarda görülen problemlerin ana kaynağının yüzeylerdeki filmin kaybolması sonucu bütün çalışma koşullarında oluşan ısıl darbelerden kaynaklanabileceği, devir sayısının artmasıyla iyileştirilmeyen avans farklılıklarının daha şiddetli zorlamalar oluşturacağı anlaşılmaktadır. Bu durumda supapların daha iyi malzemeden yapılması veya bu şartlarda çalışan supapların kullanılması gereği ortaya çıkmaktadır. Ayrıca supapların yüzeylerinde oluşturulacak direnci yüksek ve ısı iletim katsayısı düşük kaplamaların supap dayanımını artıracığı ve ısı kayıplarını azaltacağı rahatlıkla söylenebilir.

5. KAYNAKLAR

1. Annand, W.J.D. 1968. Experiments on a model simulating heat transfer between the inlet valve of a reciprocating engine and the entering stream. Bristol.
2. Annand, W.J.D and Lanary, R.S.1970. Heat transfer measurements on a simple model representing a poppet exhaust valve in a outflowing stream. J. Mech. E. Sci. 12.
3. Bilal, H. 2000. Alternatif yakıt kullanımının supap tasarımı üzerindeki etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lis. Tezi. U.Ü. Fen Bil. Ens. Bursa.
4. Borat, O., Balcı, M., Sürmen, A.1994. İçten yanmalı motorlar. G.Ü. Teknik E.Fak. Yay. Ankara.
5. Heisler, H. 1992. Advanced Engine Technology. London.
6. Heywood, J.B., 1988. Internal combustion engine Fundamentals.
7. Horlock, J.H. and Winterbone, D.E. 1986. The thermodynamics and gas dynamics of internal combustion engines.
8. Hoyer, U. And Rahnavardi, P. 1999. Investigation of lighth weight valve train systems.
9. Karamangil, İ. 2000. Benzin motorlarında HC emisyonlarının matematik modellenmesi. Doktora tezi, Uludağ Ü. Bursa.
10. Richordo, H. 1961. Internal combustion engines., İTÜ, İstanbul.