



## ALTERNATİF YAKIT KULLANIMININ EGZOZ SUPABINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

(*INVESTIGATION OF THE EFFECT OF USING ALTERNATIVE FUEL  
ON THE EXHAUST VALVE*)

M. İhsan KARAMANGİL\*, G. Kamil EREL\*\*, Atakan AVCI\*

### ÖZET/ABSTRACT

Farklı yük ve sıcaklıklar altında çalışan supaplar en çok zorlanan motor elemanlarıdır. Bir içten yanmalı motorda, yakıt tipine ve yakıtın yanma karakteristiğine göre supaplara etki eden basınç ve sıcaklıklar değişmektedir. Dolayısıyla supaplar farklı dinamik ve ısıl gerilmelere maruz kalırlar. Bu çalışmada egzoz supabı üzerinde oluşan gerilme dağılımları ve sıcaklık profilleri farklı yakıtların kullanılmasına bağlı olarak elde edilmiştir. LPG ve doğal gazın ısıl etkiler yönünden, benzinin ise mekanik etkiler yönünden risk taşıdığı görülmüştür. Karbon film kalınlığının artmasıyla birlikte ısı kayıplarının ve supap sıcaklıklarının azaldığı ve supap yüzeyinin daha küçük ısıl şoklara maruz kaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

*Valves working under different loads and temperatures are the mostly forced engine elements. In an internal combustion engine, pressures and temperatures affecting on the valves vary with fuel type and the combustion characteristics of the fuel. Consequently, valves are exposed to different dynamic and thermal stress. In this study, stress distributions and temperature profiles on exhaust valve are obtained depending on the usage of different fuel types. It is seen that LPG and natural gas has a risk from thermal effects point of view and also gasoline has a risk from mechanical effects point of view. It is concluded that heat losses and valve temperatures decrease and valve surfaces are exposed to less thermal shocks with increasing carbon film thickness.*

### ANAHTAR KELİMELELER / KEY WORDS

Supap, Termal analiz, Modal analiz  
*Valve, Thermal analysis, Modal analysis*

---

\* Uludağ Üni., Mühendislik-Mimarlık Fak., Makine Müh. Böl., Görükle Kampüsü, BURSA

\*\* Sakarya Üni., Sakarya MYO, Kalıpcılık Programı, SAKARYA

## 1. GİRİŞ

İçten yanmalı motorlarda supaplar en önemli elemanlardandır. Hareketli olmaları, farklı ivmelerde çalışmaları, ani sıcaklık değişimleri altında bulunmaları ve benzer olarak ani yük değişimleri altında hareket etmeleri açısından en çok zorlanan elemanlardan birini oluşturmaktadır. Özellikle egzoz supabı daha yüksek sıcaklıkların etkisi altında çalışmaktadır. Supapların yıpranmasını azaltmak ve ömrünü artırmak için gerek dinamik yükler ve gerekse ısıl yüklerin şiddetinin azaltılması gerekmektedir. Supaplara gelen dinamik yükler ivmelenme ve supap kütlelerine bağlıdır. Benzer supap hareket kanunu için supap kütlelerinin azaltılması supaplara gelen kuvvetlerin dolayısıyla basma ve çekme gerilmelerinin önemli ölçüde azalmasını sağlamaktadır. tarafından çelik, Titanyum- alüminyum alaşımı ve seramik supaplar üzerinde yapılan araştırmalarında, supap üzerinde oluşan gerilmelerde kütlelerine yakın oranda azalma gözlenmiştir (Hoyer ve Rahnavardi, 1999). Benzer şekilde yay kuvvetleri üzerinde yaptıkları çalışmalarda da, kütle azalmasının yarı oranına yakın değerlere kadar gerilmelerde azalma olduğunu göstermişlerdir. Kütle azalmasına bağlı olarak çelik supaplarda gözlenen rezonans frekansları da daha büyük devirlere kaymakta ve daha az sayıda oluşmaktadır.

Supaplar yüksek sıcaklıklara maruz kalmaktadırlar. Emme supabı emme sırasında büyük oranda, diğer zamanlarda ise kısmen soğutulmakta olduğundan çalışma sıcaklıkları daha düşüktür. Motor yükü ve devrine bağlı olarak ısı iletim katsayısı yüksek olan malzemelerde daha yüksek supap sıcaklıkları elde edilirken ısı iletim katsayısı düşük malzemelerden yapılan supaplarda bu değer daha düşük olmaktadır. tarafından yapılan deneysel çalışmalarda emme supaplarında çelik malzeme için 200-300 °C elde edilirken seramik malzemedeki bu değer 200 °C altında kalmıştır (Hoyer ve Rahnavardi, 1999). Egzoz supapları ise emme ve kısmen sıkıştırma strokunda kafa yüzeyinden düşük sıcaklıkta gazlarla temasta iken diğer zamanlarda sıcak gazlarla temasta kalıp daha yüksek sıcaklıklara ulaşmaktadır. Yine aynı çalışmada emme supabına benzer şekilde yük ve devir sayısına bağlı olarak 400-720 °C egzoz supap sıcaklıkları elde edilmiştir. Çeliklerde seramiklere göre daha yüksek sıcaklıklara ulaşılmıştır.

Supapların uygun olmayan yakıt ve çalışma şartları sonucu kırılma, kopma, yüzeye tam oturmama veya şekilde bozulma gibi etkilere maruz kaldığı pratikte bilinen bir durumdur. tarafından yapılan bir çalışmada bu durum fotoğraflarla ayrı ayrı örneklendirilmiştir (Alp, 1996).

Egzoz supabı üzerine gelen ısının yaklaşık %70 kadarı supap kafasından, kalan kısmı ise manifold içinde kalan kısımdan iletilmektedir. Bu ısı, supaplar üzerinden supap yatağına, silindir kapağına ve büyük kısmı da soğutucu akışkana taşınır (Heisler, 1982). Supap sıcaklıkları arttıkça çekme, yorulma ve sünme dayanımları azalır. Çelik malzemedeki 600 °C sıcaklığı civarında başlayan azalma 700-900 °C civarında hızlanır ve bazı durumlarda yetersiz hale gelebilir. Bu açıdan sıcaklıkların yükselmemesi için gerekli önlemlerin alınması gerekir. Yüzeye gelen ısının hızlı bir şekilde soğurma bölgesine iletilmesi için geometrik bazı yapılar bu amaçla kullanılır. Düşük ısı iletim katsayılı malzeme kullanımı, supap merkezinde akışkanla ısı taşınımının artırılması da bu yaklaşımdan sayılabilir. Diğer taraftan supap sapı ile iletilen ısının supap kılavuzu üzerinden soğutucu akışkana aktarılması gerekir. Supap sapı ile kılavuz arasındaki boşluk büyüdükçe ısıl direnç artacağından supap sıcaklıkları artacaktır. Deneysel veriler 0.1 mm boşluk artışının 100 °C üzerinde sıcaklık artışlarına neden olduğunu göstermektedir. Bu durum aynı zamanda supap titreşimlerine de zemin oluşturabilir.

Supaplara gelen başlıca kuvvetleri üç kısımda ele almak mümkündür. Bunlar birincisi özellikle iş strokunda oluşan basınç olup supaplarda basma gerilmeleri oluşturur. İkincisi supaplar kapandığında oturma yüzeylerinde meydana gelen çarpma etkisinde oluşan çekme gerilmeleridir. Diğer ise supap yüzeyine gelen ısıl yükler nedeniyle oluşan gerilmelerdir.

Dinamik ve ısı periyodik yükler fazla ise bu durum supaplarda bozulma ve çökmeye neden olabilir.

Çalışma şartlarının ve özellikle ateşleme avansının supap sıcaklıkları üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Avansın gereğinden fazla artması hem verim düşüşüne hem de supaplarda 300 °C değerini aşan yüksek sıcaklık farklılıklarına neden olur. Devir sayısına bağlı olarak bu değer değişmekle birlikte araştırmalar düşük devirlerde farkın daha büyük olduğunu göstermektedir. Benzer olarak devir sayısına bağlı olarak supap sıcaklıkları da artmaktadır. Diğer taraftan yanmayan veya eksik yanma sonucu oluşan isin supap yüzeyini bir film olarak kısmen veya tamamen kaplaması da supap sıcaklıkları açısından önem arz etmektedir.

Bu çalışma, geometrik değişikliklere gidilmeden farklı yakıt (LPG veya Doğal gaz) kullanımının supaplar üzerindeki dinamik ve ısı etkilerini anlamak için yapılmıştır. Bu amaçla supap içerisindeki basınç ve sıcaklıkların tahmini için tam yanmayı içeren sıfır boyutlu termodinamik model kullanılmıştır. Hesaplarda avans etkisi göz önüne alınmamış ancak benzin yanmasında değişik kalınlıklarda supap kafası üzerinde karbon filmi oluştuğu kabul edilmiştir. Sonuçlar kısmında model motorunda 3600 dev/dak için elde edilen değerler verilmiştir.

## 2. KURAMSAL YAKLAŞIM

Supapların üzerine etkiyen mekanik ve ısı yüklerin analizi için ANSYS sonlu elemanlar yazılımı kullanılmıştır. Bu amaçla önce supap yüzeylerine etkiyen mekanik ve ısı yüklerin zamana bağlı olarak elde edilmesi ve supap hareketinin tanımlanması gerekmektedir. Bu amaçla izlenen yol; supabın geometrisinin belirlenmesi, supap katı modelinin oluşturulması, sonlu elemanlar modelinin oluşturulması, sınır koşulu ve yüklerin tanımlanması ve problemin çözümü şeklindedir.

### 2.1. Supap Geometrisinin Belirlenmesi

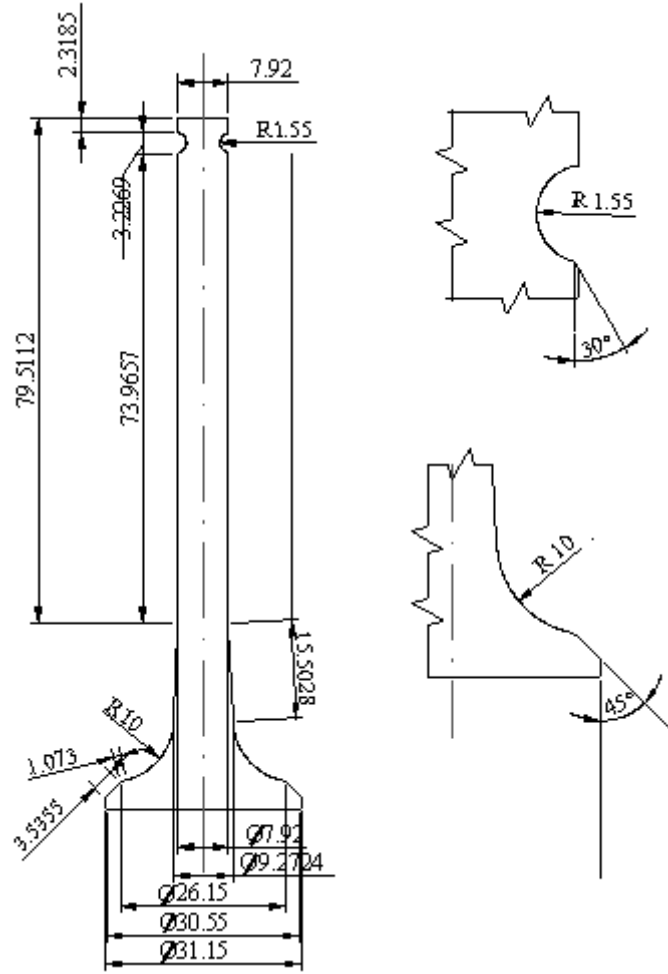
Dört zamanlı benzin motoru supabı için laboratuvarımızda mevcut olan ve teknik resmi bulunan supap esas alınmıştır. Supap yüzeylerine gelen mekanik ve ısı yükler göz önüne alındığında aksel simetriye sahip 2 boyutlu bir modele uygun olduğu anlaşılır. Modelde kullanılan supabın geometrik ölçüleri Şekil 1’de verilmiştir.

### 2.2. Katı Modelin Oluşturulması

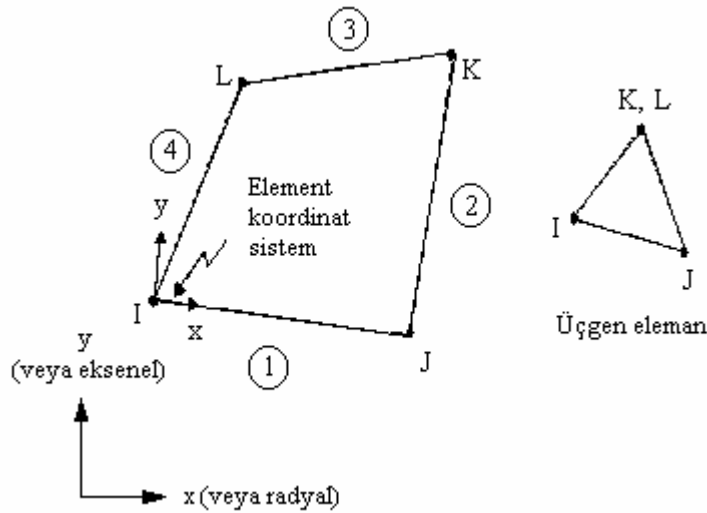
Katı modelin oluşturulmasında Autodesk Mechanical Desktop bilgisayar destekli tasarım programı kullanılmıştır. Şekil 1’de verilen resmin 3 boyutlu katı modeli oluşturulmuş daha sonra SAT formatında kaydedilmiştir.

### 2.3. Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması

3 boyutlu katı model ANSYS programı içerisinde bazı operasyonlardan sonra 2 boyutlu düzlemsel hale dönüştürülmüştür. Bu işlemten sonra ısı ve mekanik yüklerin analizine imkan verecek elemanın seçilmesi gerekmektedir. Bu amaçla ANSYS içerisinde Plane 13 olarak adlandırılan çift etkili eleman seçilmiştir. Seçilen eleman Şekil 2’de verilmiştir. Eleman şekli olarak üçgen ve dörtgen olmak üzere iki geometrik şekil kullanılabilir. Çözüm aşında yapısal analizlere uygunluk göstermesi açısından mümkün merteye dörtgen eleman kullanılmıştır.



Şekil 1. Analiz edilen supap geometrisi

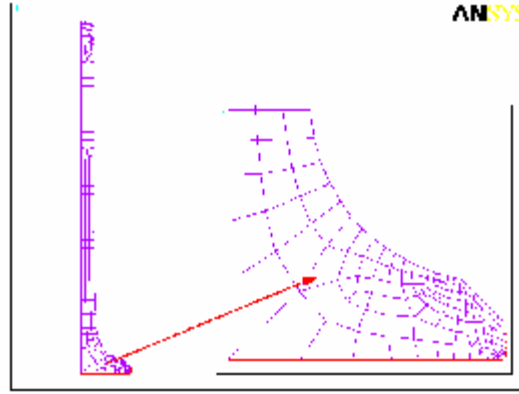


Şekil 2. Çözüm ağı için seçilen Plane 13 elemanı

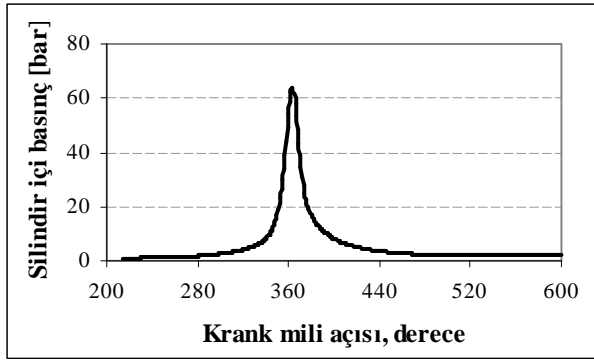
Çözüm ağının oluşturulmasında gerilme ve sıcaklık değerlerine bağlı beklentiler doğrultusunda ve eleman şekillerinde müsaade edilen sınırlar dahilinde eleman büyüklüğü ve sayısı seçilmiştir. Supap sonlu elemanlar modeli Şekil 3'te verilmiştir. Bu geometri üzerinde elde edilen eleman sayısı 364 olup 454 düğüm noktası vardır.

## 2.4. Sınır Şartları ve Yüklerin Tanımlanması

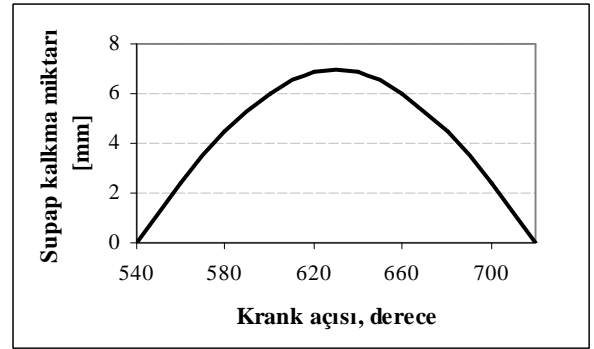
Supap üzerine gelen yükleri mekanik ve ısıl olarak ikiye ayırmak gerekir. Supap üzerine gelen mekanik yükler yüksek ivmeleme nedeniyle oluşan atalet kuvvetleri, supap kafasına gelen basınç kuvvetleri ve yay kuvvetleridir. Basınç kuvvetleri supap kafasına uygulanmış olup değeri krank açısına bağlı olarak değişmektedir. Basıncın krank açısına bağlı olarak değişimi sıfır boyutlu termodinamik model kullanılarak Şekil 4'te verildiği gibi elde edilmiştir. Sabit devir ve yük altında rejim halinde çevrim boyunca bu değerler sabit kalmaktadır. Isınma periyodunda ise ısı kayıpları nedeniyle bir miktar değişmektedir. Bu değerler yapısal analizlerde supap kafası üzerine basınç olarak uygulanmıştır. Çevrim boyunca supap hareketi sırasında meydana gelen yer değiştirme değerleri yapısal analizlerde kullanılmıştır. Çevrim modeli ile elde edilen supabın hareketinin krank açısına bağlı değişimi Şekil 5'te verilmiştir. Yapısal analizlerde kullanılmak üzere gerekli diğer bir yük sıcaklık dağılımı olup bu değerler ısıl analiz ile elde edilmiştir.



Şekil 3. Supap sonlu elemanlar modeli



Şekil 4. Basıncın krank açısı ile değişimi



Şekil 5. Supabın krank açısına göre hareketi

## 2.5. Isıl Analiz

Supaplar çevrim boyunca sürekli değişen sınır şartları etkisinde çalışmaktadır. Egzoz supabı daha yüksek ısıl yükler etkisinde olduğundan özellikle egzoz supabı incelenmiştir. Supap üzerine etkiyen ısıl yükler açısından 5 farklı bölgeye ayrılmıştır. Bu bölgeler supap hareketi sırasında bir miktar değişiklik göstermekle birlikte bu çalışmada sabit kabul edilmiştir. Şekil 6'da supap üzerindeki bölgeler gösterilmiştir.

Supap üzerine gelen ısıl yüklerin kaynağı silindir içindeki gazlar olup özellikle yanma sırasında çok yüksek değerlere ulaşmaktadır. Çevrim modeli ile krank açısına bağlı olarak

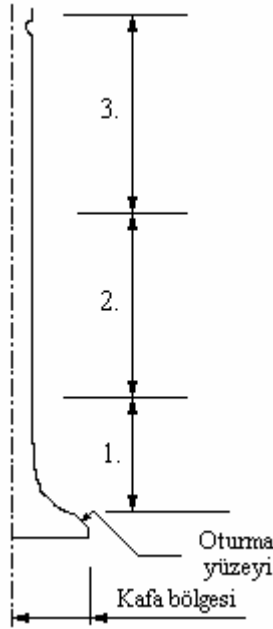
silindir içi gaz sıcaklıkları elde edilmiş ve bu değerler ısıl analizlerde kullanılmıştır. Şekil 7'de silindir içi gaz sıcaklıkları görülmektedir. Değerler devir sayısına bağlı olarak değişmektedir.

Supaplar ile çevresi arasında ısı transferinin esas olarak taşınım ile gerçekleştiği kabul edilmiştir. Taşınım ile ısı geçiş katsayılarının hesabı için aşağıdaki modeller kullanılmıştır. Supabın 1.bölgesinde taşınım katsayısını hesaplamak için tarafından verilen (Annand, 1968)

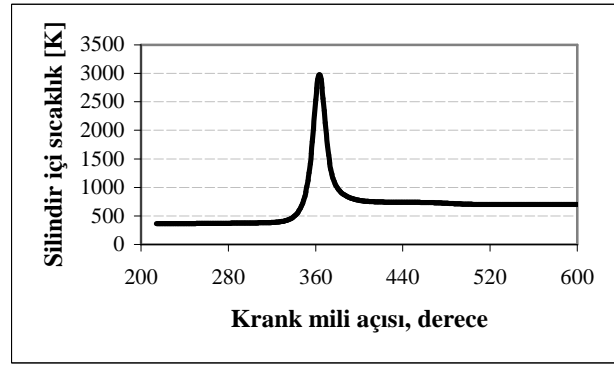
$$N_u = a.Re^{0.6} \quad (1)$$

ilişkisi kullanılmıştır. Burada Nu ve Re sayıları

$$N_u = \frac{\dot{Q}}{0.25.p.d_v.\Delta T} \quad (2)$$



Şekil 6. Supap üzerinde tanımlanan farklı bölgeler



Şekil 7. Silindir içi sıcaklıkların krank açısı ile değişimi

$$Re = \frac{4.\dot{m}}{p.m.d_v} \quad (3)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Burada a supap açıklık ve çap oranına bağlı sabit,  $d_v$  supap kafası çapı  $\mu$  dinamik viskozite,  $\dot{m}$  ortalama kütleli debi,  $\Delta T$  ortalama sıcaklık farkı ve  $\dot{Q}$  tahmini ısı akısı olarak alınmıştır. İkinci bölgede ise yağ filmi üzerinden ısı transferi olduğu kabul edilmiş olup supap sapı ve kılavuzu arasındaki yağ filmi kalınlığına bağlı olarak direnç hesaplanabilir. Burada bu bölge için taşınım katsayısı

$$h \cong \frac{k}{\Delta r} \quad (4)$$

şeklinde hesaplanmıştır. Burada  $k$  yağ filmi ısı iletim katsayısı ve  $\Delta r$  eşdeğer yağ filminin kalınlığıdır. 3.bölgede ise supap hareketi ile zorlanmış taşınım olduğu kabul edilmiş ve supap sapı çapına bağlı olarak tanımlanan  $Re$  sayısından

$$N_{uD} = c.Re_L^m Pr^{1/3} \quad (5)$$

bağıntısına göre hesaplanmıştır, (Kılıç ve Yiğit, 2000). Supap kafası oturma yüzeyindeki ısı transferi supap kapalı iken iletimle, açık iken kafa bölgesi ile aynı şekilde davranmaktadır. Temas halinde olduğunda iletim temas direnci  $R_t$  göz önüne alınmıştır.

Kafa bölgesindeki ısı taşınım katsayısı ise emme zamanı için tarafından verilen deneysel değerler kullanılmıştır (Horlock and Winterbone, 1986). Diğer zamanlarda ise çevrim modelinde piston hızına bağlı olarak hesaplanan taşınım katsayıları kullanılmıştır. Supap kapalı iken oluşan taşınım katsayısı ise

$$N_u = 0.022.Re_D^{0.8} \quad (6)$$

ilişkisi ile hesaplanmıştır. Burada  $Re_D$  ortalama manifold çapı ve manifolddaki akış hızına göre tariflenen Reynolds sayısıdır (Heywood, 1988).

Egzoz çıkışında gaz sıcaklıkları deneysel sonuçlardan yararlanılarak krank açısına bağlı olarak tanımlanan ampirik bağıntılarla hesaplanmıştır. Supabın bütün bölgeleri için her bir zaman adımında kullanılan değerler Çizelge 1'de özet olarak verilmiştir.

Çizelge 1. Tüm supap bölgeleri için ısı taşınım katsayıları ve ortam sıcaklıkları için alınan değerler (3600 dev/dak)

(a) Emme zamanı

Bölge	Isı Taşınım Katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)	Ortam Sıcaklığı (°C)
1. Bölge	130	$T_{eg} (1/(1+a \Delta q))$
2. Bölge	1700	90
3. Bölge	40	45
Kafa Bölgesi	130	$T_c + (T_{eg} / (1+b \Delta q))$
Oturma Yüzeyi	1000	90

(b) Sıkıştırma zamanı

Bölge	Isı Taşınım Katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)	Ortam Sıcaklığı (°C)
1. Bölge	130	$T_{eg} (1/(1+a \Delta q))$
2. Bölge	1700	90
3. Bölge	40	45
Kafa Bölgesi	Programdan	Programdan
Oturma Yüzeyi	1000	90

Çizelge 1. Tüm supap bölgeleri için ısı taşınım katsayıları ve ortam sıcaklıkları için alınan değerler (3600 dev/dak) (devam)

(c) Yanma ve genişleme zamanı

Bölge	Isı Taşınım Katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)	Ortam Sıcaklığı (°C)
1. Bölge	130	$T_{eg} (1/(1+a \Delta q))$
2. Bölge	1700	90
3. Bölge	40	45
Kafa Bölgesi	Programdan	Programdan
Oturma Yüzeyi	1000	90

(d) Egzoz zamanı

Bölge	Isı Taşınım Katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)	Ortam Sıcaklığı (°C)
1. Bölge	Programdan	Programdan
2. Bölge	1700	90
3. Bölge	40	45
Kafa Bölgesi	Programdan	Programdan
Oturma Yüzeyi	Programdan	Programdan

## 2.6. Dört Zamanlı Buji Ateşlemeli Bir Motorda Çevrimin Modellenmesi

Çevrimin matematik modelinde yapılan kabuller;

- Silindire giren yakıt-hava karışımı homojendir ve yakıt tamamen buharlaşmış haldedir.
- Yakıt-hava karışımı ideal gaz davranışını göstermektedir.
- Silindir içi gazlarla silindir cidarları arasında cidar ortalama sıcaklığında ısı alışverişi olmaktadır.
- Yanma süresince ısıl parçalanma olmamakta ve dönüşüm tam olarak gerçekleşmektedir.
- Karışıma ait özgül ısı, viskozite, ısı iletim katsayısı gibi özellikler sıcaklığa bağlıdır
- Dolgu miktarı sabit volumetrik verim kabulü ile hesaplanır.
- Egzoz sonu silindirde kalan yanmış sıcak gaz miktarı egzoz gaz sıcaklığında ve 1.1 atmosfer basıncında kompresyon hacminde elde edilen değer olarak alınır.

Bu kabuller altında sanki-dengeli bir hal değişimi için Termodinamiğin 1. kanununa bağlı olarak çevrim boyunca basınç ve sıcaklıklar krank açısına ve zamana bağlı olarak hesaplanmıştır. Krank açısına bağlı olarak yanan yakıt miktarı kosinüs kanununa bağlı olarak hesaplanmıştır. Çevrim için tarafından oluşturulan program kullanılmıştır (Karamangil, 2000).



## 2.7. Çözüm

Oluşturulan matematik model ANSYS programı kullanılarak 512MB belleğe sahip HP C200 iş istasyonunda çözülmüştür. Çözüm zamanı ile ilgili değerler Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Çözüm zamanları

Analiz	Çözüm Zamanı
Zamana bağlı ısı analiz (250 s)	4 gün
Zamana bağlı yapısal analiz	~ 45 dak
Modal analiz	~ 5 dak

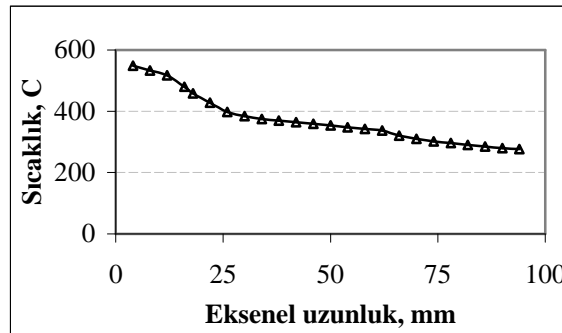
## 3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

İncelenen motor 1.6 litre hacminde 4 zamanlı ve 4 silindirli sıkıştırma oranı 8.2 olan bir benzin motorudur. Supabın  $180^0$  krank açısı kadar açık kaldığı, yanmanın tam olduğu ve ateşleme avansının fazla değişmediği kabul edilmiştir. Verilen sonuçlardan 3600 dev/dak için olan değerler sunulmuştur.

### 3.1. Isıl Analizler

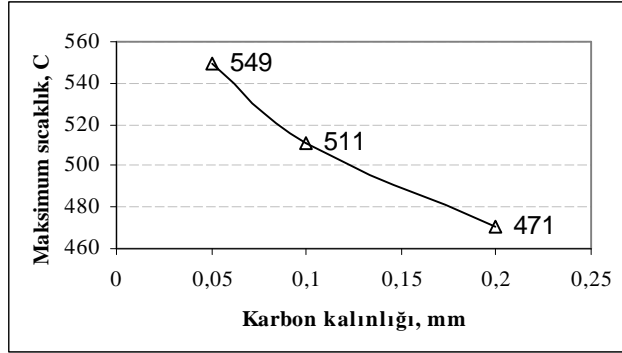
Farklı yakıt kullanımı halinde silindir içi gaz sıcaklıklarında benzer sonuçlar elde edilmiştir. Dolayısıyla ısıl gerilme açısından ciddi farklılıklar oluşmamaktadır. Bu durumda farklılığın supap yüzeyinde karbon filmi oluşumundan kaynaklanabileceği düşünülmüş ve benzin kullanımında supap yüzeyinde karbon filminin olduğu durumlar ile diğer yakıtlarda karbon oluşmadığı durumlar için incelenen supaplar arasında karşılaştırma yapılmıştır. Karbon filmi kalınlığı 0-200 mikron arasında alınmıştır. Motorun ortam sıcaklığında çalışmaya başladığı kabul edilmiştir. Rejim haline ulaşma süresi yaklaşık 240 sn civarında gözlenmiştir. Sonuçlar 3600 dev/dak için sabit supap açılarında ve uygun avans değerleri için elde edilmiştir.

Benzin kullanılması durumunda, 50 mikron karbon filmi kalınlığındaki supap için elde edilen sıcaklık dağılımı Şekil 8’de verilmiştir. Supap kafasında merkez ile uç noktaları arasında başlangıçta  $100^{\circ}\text{C}$  ye kadar olan sıcaklık farkı rejim halinde  $5^{\circ}\text{C}$  civarında sıcaklık farkına kadar düşmüştür. Supap sapında ise fark azalmıştır. Karbon kalınlığının artması halinde maksimum supap sıcaklıkları düşmüştür. Yüzeyde meydana gelen direnç nedeniyle ısı kayıpları azalmış ve malzeme daha düşük sıcaklıklara maruz kalmıştır.

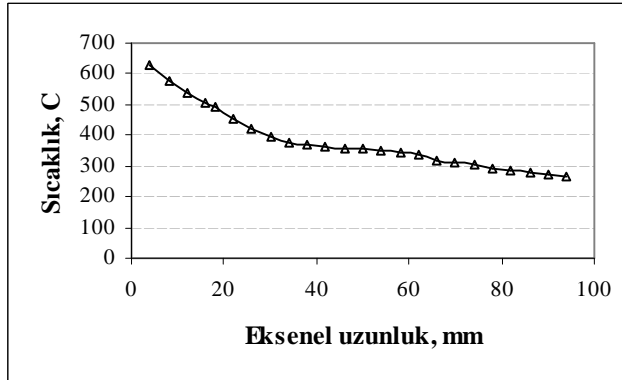


Şekil 8. Supap üzerinde aksel sıcaklık dağılımı (0.05 mm karbon filmi)

Karbon filminin etkisi Şekil 9’da verilmiştir. LPG veya Doğal Gaz kullanılması halinde ise sıcaklıklarda meydana gelen küçük değişimlere karşılık yüzeyde karbon filminin oluşmadığı düşünülmüş ve çözüm bu durum için yapılmıştır. Maksimum malzeme sıcaklığı yükselmiş ve rejim halinde kafa bölgesinde sıcaklık farkı artmıştır. Kafa yüzeyinde ise sıcaklıklar silindir içi sıcaklık değişimlerinden daha fazla etkilenmekte ve supap yüzeyine yakın iç bölge sıcaklıklarının oldukça altında ve üstünde değerler almaktadır. LPG için supap üzerinde sıcaklık dağılımı Şekil 10’da verilmiştir.



Şekil 9. Supap maksimum sıcaklığına karbon film kalınlığının etkisi



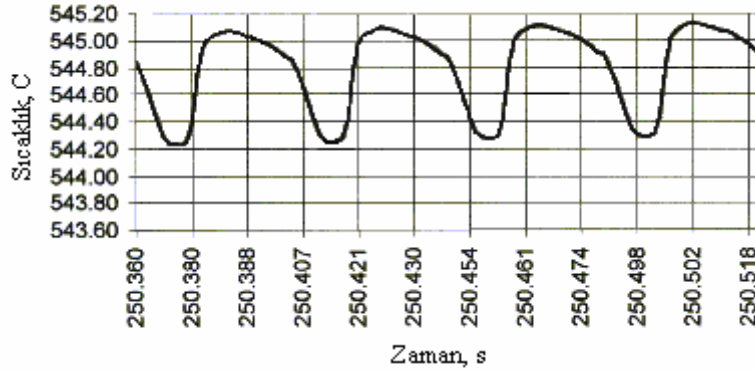
Şekil 10. LPG için supap üzerinde aksel sıcaklık dağılımı (karbon filmi yok, 3600 dev/dak)

Karbon film kalınlığına bağlı olarak supap yüzeyinde sıcaklık değişmektedir. Doğrudan yüzeye temas eden gazlar yanma sırasında anlık olarak yüzey sıcaklığını yükseltmekte emme anında ise ani olarak sıcaklıklar düşmektedir. Birkaç mikron içerde fark azalmaktadır. Karbon filmi varlığında yüzeydeki sıcaklık değişimi azalmaktadır. 0.1 mm karbon filmi varlığında supap yüzeyindeki sıcaklık değişimi 1 °C civarına düşmektedir. Bu durum filmin ısıl şoklara karşı damper görevi gördüğünü göstermektedir. Şekil 11’de 0.1 mm karbon filmi için supap yüzeyindeki sıcaklık değişimi verilmiştir. Benzer durum yüzeyi ince film malzemesi ile işlenmiş supaplar içinde düşünülebilir.

### 3.2. Zamana Bağlı Dinamik Analiz

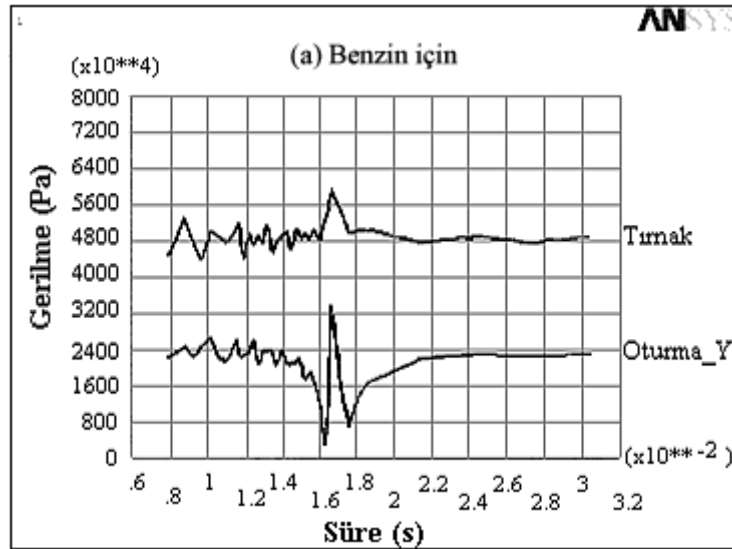
Supabın dinamik analizinde yanma ve genişleme zamanında oluşan yüksek basınç etkisinde oluşan gerilmeler ile supap açılması sırasında oluşan yüksek ivmeleme etkisindeki etkiler dikkate alınmıştır. Bunun yanında ısı analiz sırasında elde edilen sıcaklık değerleri sınır koşulu olarak kullanılmıştır. Basınç ve sıcaklıklar zamanla değişen değerler olarak

alınmıştır. Supabın oturma yüzeyleri normali yönünde ve supap sapı ucunda düşey yöndeki hareket sınırlandırılmıştır.



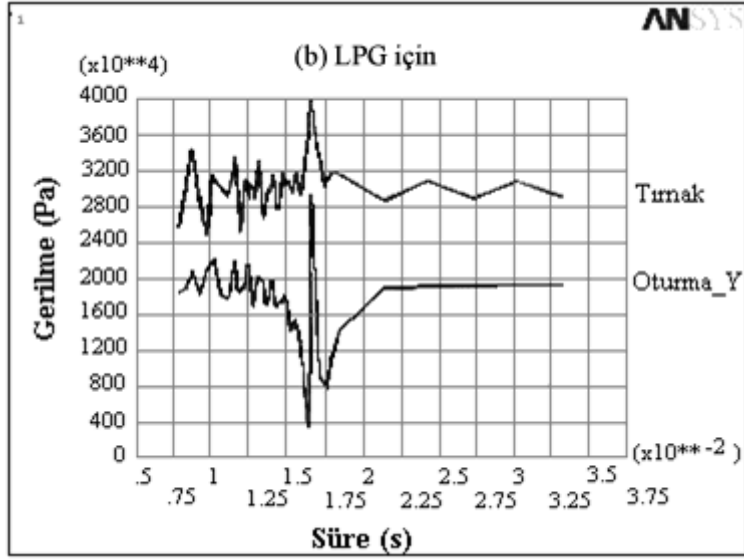
Şekil 11. Film kalınlığının yüzey sıcaklık dalgalanmasına etkisi (3600 d/dak, 0.1 mm karbon filmi)

Supap hareketsiz iken benzin ve LPG kullanımında supabın maksimum yükte eşdeğer gerilme dağılımı elde edilmiş ve en kritik bölgenin tırnak bölgesi olduğu görülmüştür. Şekil 12'de benzin ve LPG için zamana bağlı olarak tırnak bölgesi ve oturma yüzeyi için 3600 dev/dak devir sayısında gerilme dağılımları verilmiştir. Gerilme yığılmaları özellikle bu iki noktada yoğunlaşmaktadır. Tam yükte tırnak bölgesi oturma yüzeyinden iki kat daha fazla zorlanmaktadır. Oturma bölgesi ise en düşük gerilme bölgesinden yaklaşık 20 kat daha fazla zorlanmaktadır.

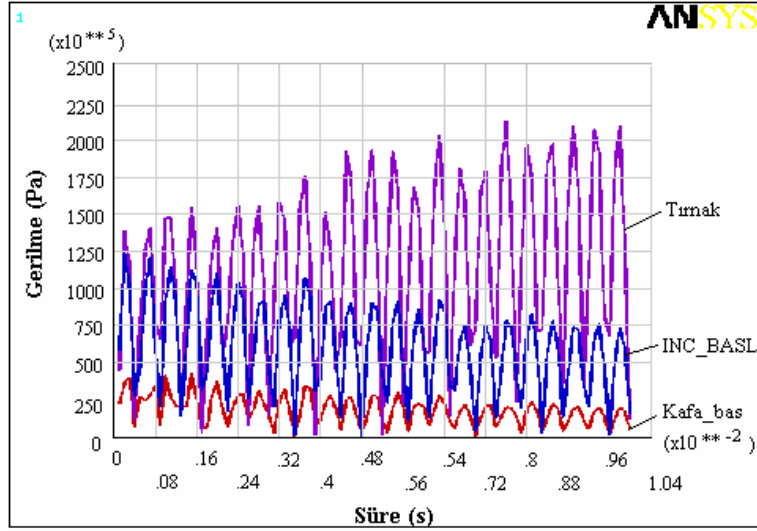


Şekil 12 (a). Benzin için supap hareketsizken tırnak ve oturma yüzeyinde gerilme dağılımı

Supap hareketi zamana bağlı olarak tanımlanan düşey yer değiştirme değerleri girilerek tanımlanmıştır. Supabın yüksek ivmeleme etkisinde oluşan gerilme dağılımında yine kritik noktalar tırnak bölgesi ile supabın incelmeye başladığı sap bölgesi olarak ortaya çıkmaktadır. Bu noktalara ait gerilme değerleri Şekil 13'te verilmiştir.



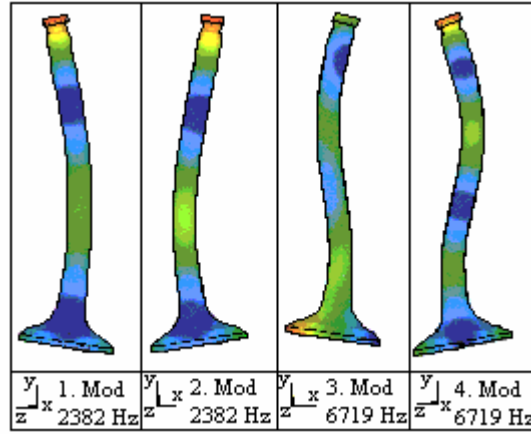
Şekil 12 (b). LPG için supap hareketsizken tırnak ve oturma yüzeyinde gerilme dağılımı



Şekil 13. Supap hareketi sırasında gerilme değerlerinin tırnak, supap incelme noktası ve supap kafasında zamanla değişimi

### 3.3. Modal Analiz

Supapların hangi frekanslarda uyarıldıklarının tespiti için modal analiz yapılmıştır. Modal analiz için kullanılan çözüm ağına bağlı olarak yapılan modal analiz sonucunda elde edilen rezonans frekansları ve bu frekanslarda elde edilen supap şekilleri Şekil 14'de verilmiştir. Buna göre ilk doğal frekans 2382 Hz değerinde ortaya çıkmaktadır.



Şekil 14. Supap rezonans frekansları ve supap şekilleri

#### 4. SONUÇLAR

Elde edilen bulgular sınırlı parametrelere dayanmaktadır. Model farklı yanma oranları, farklı supap açılma açıları ve ateşleme zamanlarını ele almamaktadır. Bu açıdan bakıldığında kesin sonuçlar elde etmek mümkün görünmemektedir. Bununla birlikte vurgulanacak sonuçları şu şekilde sıralamak mümkündür;

- Supap üzerinde elde edilen sıcaklık dağılımları Heywood ve Hoyer'de verilen deneysel verilerle uygunluk göstermektedir. Bu açıdan farklı parametrelerin etkisi başarılı olarak incelenebilir.
- Motorlarda benzer çalışma şartlarında oluşan mekanik yükler etkisindeki gerilmeler ısıll yüklerle oluşan gerilmelerden daha büyüktür. Bu nedenle basınç ve atalet kuvvetlerinin etkisi önemli görünmektedir.
- LPG ve doğal gaz ile çalışmada volümetrik verim azaldığından gerçekte daha yüksek yanma verimi elde edilse bile benzinli çalışmada oluşan basınçlar daha yüksektir.
- Benzinli motorlarda supap yüzeyinde karbon filminin oluşumu halinde ek bir ısıll direnç oluştuğundan supaplar daha az ısınmakta ve ısıll gerilmeler açısından daha güvenli olmaktadır. Diğer yakıtların kullanılması bu olayı önlediğinden supaplar daha yüksek sıcaklıklara maruz kalmaktadır. Bu nedenle ısıll gerilmeler açısından alternatif yakıtlar daha riskli görünmektedir.
- Supap yüzeyinde oluşan sıcaklık salınımları temiz yüzeylerde daha ciddi boyutlarda olmakta ve bu durum aşınma açısından daha riskli olmaktadır. Alternatif yakıtlar bu açıdan daha risklidir.
- Malzemelerin yorulma dayanımları sıcaklık düştükçe azaldığından gerilmeler açısından etkin görünmeyen ısıll etkiler yorulma dayanımı açısından problem oluşturur.
- Alternatif yakıtların ateşleme avansları önemli olup gerek alev sıcaklıkları ve gerekse verim açısından önemlidir. Dönüşüm halinde ateşleme avans haritası değişmediğinde ortalama 2000 dev/dak üzerinde ve altında ayar bozulmakta 3000 dev/dak üzerindeki devirlerde ciddi sapmalar oluşmaktadır. Bunun sonucunda basınç ve gaz sıcaklıklarında önemli artışlar olmaktadır. Üst devirlerde alınan güç benzine göre ciddi olarak azalmaktadır. Bu tür çalışma şartları altında alternatif yakıtlarda yüzey sıcaklıklarının 800

°C üzerine çıkması ve yüzeydeki sıcaklık salınımları halinde ısıl gerilmeler daha önemli hale gelebilir. Yorulma dayanımı hızla azalır.

- Supaplar elde edilen sıcaklıklar veya karşılaşılan sıcaklıklar açısından risk oluşturmadıkları halde uygun olmayan çalışma şartları ve avans ayarları açısından risk taşımaktadır. Bu açıdan uygun şartlarda çalıştırılmalıdır.
- Supap kafa yüzeyinin ısıl direnci büyük veya ısıl şoklara dayanıklı bir malzeme ile kaplanması halinde malzeme daha düşük sıcaklıklara maruz kalacağı gibi ısı kayıpları da önemli ölçüde azaltılabilir.
- Supap kütlesi azaltılarak atalet kuvvetlerinin oluşturduğu gerilme değerleri düşürülebilir.

Alternatif yakıtlara dönüşümü yapılacak taşıtların supap dizayn gerilme değerlerinin bilinmesi halinde buna göre dönüşüm uygulanabilir. Gerekli ise daha dayanıklı supaplar kullanılır. Çalışma şartlarına uygun ayar değerleri ve düzenli bakım ile çalışma halinde alternatif yakıt güvenle kullanılabilir. Aksi halde gerek supap ve gerekse pistonlarda daha kısa sürede aşınma ve benzeri olaylar ile karşılaşılır.

## KAYNAKLAR

- Alp M.Ş. (1996): “Motor Supapları, Montajı, Arızaları, Sebepleri”, Supar, Konya.
- Annand W.J.D. (1968): “Experiments on a Model Simulating Heat Transfer Between the Inlet Valve of a Reciprocating Engine and the Entering Stream”, Proc. Instn Mech. Engrs.
- Heisler H. (1992): “Advanced Engine Technology”, SAE, London.
- Heywood J.B. (1988): “Internal Combustion Engine Fundamentals”, McGraw-Hill, USA.
- Hoyer U., Rahnavardi P. (1999): “Investigation of Lightweight Valve Train Systems”, MTZ.
- Horlock J.H., Winterbone D.E. (1986): “The Thermodynamics and Gas Dynamics of Internal-Combustion Engines”, Vol 2, Clarendon Press.
- Karamangil M.İ. (2000): “Benzin Motorlarında HC Emisyonlarının Matematik Modellenmesi”, Doktora Tezi, U.Ü., Bursa.
- Kılıç M., Yiğit A. (2000): “Isı Transferi”, Vipaş A.Ş., Bursa.