

Sodyum Katkılı ve Mono Metalik Egzoz Supaplarının Sıcaklık Dağılımı Karşılaştırması

Egzoz supapları büyük mekanik ve termal yüklere, ayrıca motor ömrü boyunca yüksek çevrimli yorulmaya maruz kalan son derece önemli parçalardır. Emisyon normlarının her geçen gün daha sıkı hale gelmesi, daha yüksek yanma sıcaklıklarını ve basınçlarını beraberinde getirmektedir. Artan yanma sıcaklıkları ve basınçlarına ilk maruz kalan parçalardan biri egzoz supaplarıdır. Dolayısıyla supaplara aktarılan ısının daha kolay transfer edilmesi, supap üzerindeki sıcaklık dağılımının iyileştirilmesi ve supapların maruz kaldığı yüklerin azaltılması amaçlanmaktadır. Bu çalışmada, sodyum katkı ve mono-metalik egzoz supaplarıyla ayrı ayrı termal testler yapılarak, bunların sonuçları karşılaştırılmış ve sodyum katkı supaplarda tabla ve boyun bölgesindeki sıcaklıkların 100-120 °C daha düşük olduğu ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Egzoz Supabı, Termal Test, İçten Yanmalı Motor, Sodyum Katkılı Supap, Sıcaklık Ölçümü

Makale Bilgisi:

Araştırma Makalesi

Gönderilme: 2 Ekim 2023

Kabul: 6 Nisan 2024

*Sorumlu Yazar: Ulas Aytac Kılıçarpa

E-mail: aytackilicarpa@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.56193/matim.1369821>

GİRİŞ

Emme ve egzoz supapları, gaz akış portlarını engellemek ve içten yanmalı motorlarda gaz değişimini kontrol etmek için kullanılan hassas motor bileşenleridir. Supaplar, taze havanın veya karışımın bir silindire girmesini veya egzoz gazlarının silindirden çıkışını sağlamak için silindir kafasına yerleştirilmiştir.

Emme portu, havanın veya karışımın çekildiği periyotta; egzoz portu ise egzoz gazları tahliye edilirken açık olmalıdır, bunu da sağlayan sırasıyla emme ve egzoz supaplarıdır. Supaplar uygun zamanlarda mekanik olarak açılıp kapanabilen bir çalışma mekanizmasına sahiptir. Supaplar aşağıda sıralanan özelliklere sahip olmalıdır:

- Kapalı oldukları durumda, tamamen bir gaz sızdırmazlığı sağlamalıdır.
- Açık oldukları durumda, gaz akışına karşı dirençleri minimum olmalıdır.
- Minimum sürtünmeyle çalışmaları ve yüksek aşınma direncine sahip olmaları gerekir.

Supap tasarımında önemli olan parametreler, maksimum motor devri, çalışma sıcaklıkları ve motorun gücüdür. Bu faktörler, supap malzemesini, supap şeklini ve her bir silindir için gerekli olan supap sayısını etkilemektedir [1].

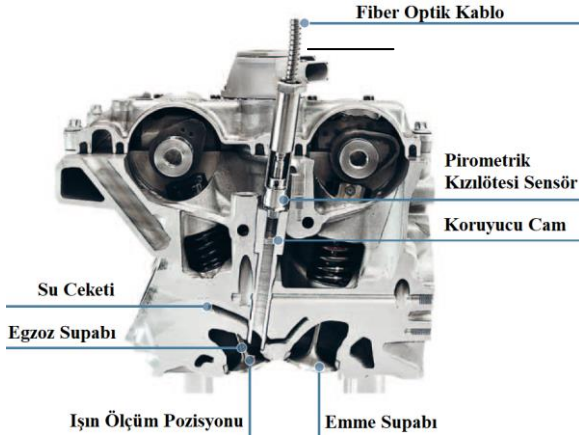
Egzoz supapları, üretildikleri malzemelerine göre tiplere ayrılabilir; bunlar mono-metalik ve sodyum katkı egzoz supaplarıdır. Mono metalik egzoz supapları, tek metalik malzemeden, sıcak ekstrüzyon ve presleme prosesleriyle üretilir. Sodyum katkı egzoz supapları ise, supapların üretimi esnasında, gövde kısmına açılan deliklere sıvı sodyum eklemesi yapılmış, ardından gövde ve tabla kısmı kaynak metoduyla birleştirilerek üretilmiş supaplardır. Bu çalışmada, bahsedilen iki farklı tipte egzoz supabının, aynı tipte motor üzerinde ve aynı koşullarda yapılan termal testler sonucunda, supapların yüzeyleri üzerinde yapılan sertlik ölçümüne dayanan bir metotla elde edilen sıcaklık dağılımları deneysel olarak ortaya koyulmuş ve karşılaştırılmıştır.

LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde, egzoz supaplarının üzerinde oluşan sıcaklık dağılımlarını belirlemeye yönelik oldukça sınırlı sayıda deneysel ölçüm metodunun mevcut olduğu tespit edilmiştir. Çünkü bu konuda yapılan önceki çalışmalar çoğunlukla supap sıcaklıklarının teorik olarak hesaplanmasına veya bilgisayar destekli simülasyonla sıcaklıkların tahmin edilmesi metodlarına dayanmaktadır. ,

Wüst ve Fischer, modern motor geliştirmenin esnek ve dinamik süreçler gerektirdiğini vurguladıkları çalışmalarında doğrudan motor test odasında veya araçta kullanılabilen, bileşen sıcaklıklarının temassız anlık çevrimiçi ölçümü için bir yöntem geliştirdiklerinden bahsetmişlerdir [2]. Temel hususlar, ölçüm yöntemlerinin hızı ve hassaslığıdır. Bu yapılan çalışmanın odak noktası, test mühendislerine gerçek zamanlı olarak test odasında bir ölçüm sinyalinin üretilmesidir. Böylece hem mekanik hem de uygulama açısından geliştirme sürecinin verimliliği önemli ölçüde artırılmaktadır.

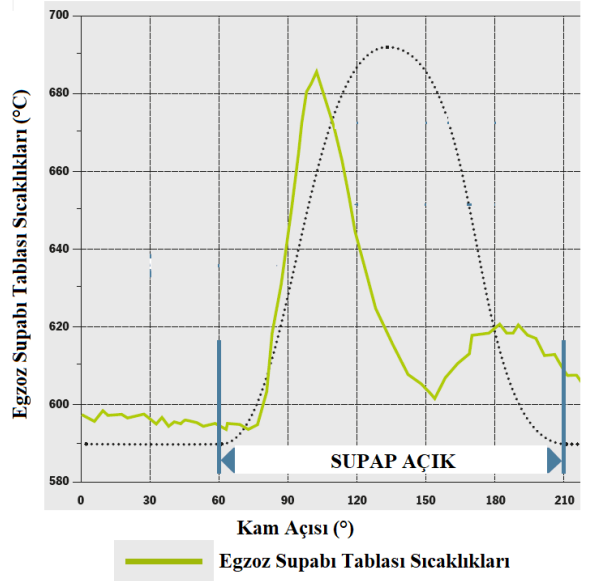
Supap sıcaklığı ölçümündeki merkezi bileşen bir pirometrik kızılötesi sensördür. Şekil 1, silindir kafasına sensör entegrasyonunu göstermektedir. Sıcaklık ölçümü pirometrik kızılötesi sensör ile yapılmaktadır. Sensör, fiber optik kablo ile bir kontrolöre, kontrolör de bir ölçüm bilgisayarına bağlıdır. Sensör, yüksek egzoz gazı sıcaklıklarına ve egzoz geri basıncına karşı safir koruyucu camla korunmaktadır.



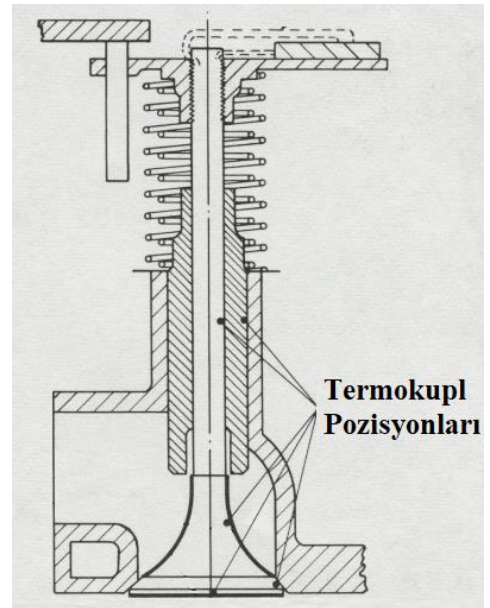
Şekil 1. Silindir kafasına sensör entegrasyonu [2]

Çalışmada test edilen egzoz supapları içi boşaltılmış sodyum dolu supaplardır. Motor 7000 rpm'de çalıştırılıp, kararlı hale geldikten sonra egzoz supabı tablası yüzeyinden alınan ölçüm sonuçları Şekil 2' de paylaşılmıştır. Sonuçlarda yüksek sıcaklık değerleri dikkat çekmektedir. Maksimum ölçülen sıcaklık değeri 685°C olmuştur.

Stotter ve arkadaşları, egzoz supapları üzerinde oluşan sıcaklıkları hem teorik olarak hesaplama yöntemiyle hem de deneysel olarak ölçüm yöntemiyle elde etmişler ve bunları karşılaştırmışlardır [3]. Bu çalışmada kullandıkları deneysel yöntem, termokupllarla supap yüzeyleri üzerinde anlık sıcaklık ölçümlerine dayanmaktadır. Termokupllar için seçilen konumlar Şekil 3 üzerinde gösterilmiştir: supap tablasının merkezi, supap yuvası yüzeyi, supap boyun yüzeyi ve supap sapının yüzeyi.



Şekil 2. 7000 rpm'de egzoz supap tablası sıcaklıkları [2]

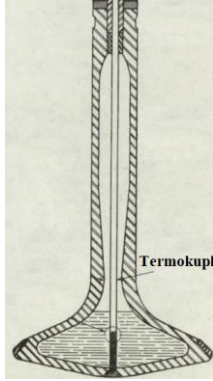


Şekil 3. Termokuplların konumları [3]

Çalışmada elde ettikleri deneysel supap yüzeyi sıcaklık ölçüm sonuçlarının, yine aynı çalışma içinde yaptıkları teorik olarak hesapladıkları supap yüzey sıcaklıklarıyla oldukça uyumlu olduğunu belirtmişlerdir.

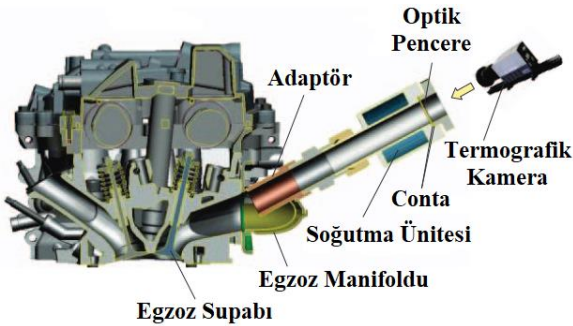
Sanders ve arkadaşları, sodyum katkılı supaplar üzerindeki sıcaklık dağılımını ölçmeye yönelik uyguladıkları bir metottan bahsetmişlerdir [4]. Sodyum katkılı egzoz supabının uç kısmı delerek, buradan bir termokupl yerleştirmişlerdir (Şekil 4). Daha sonra supabı, çeşitli motor çalışma

koşulları altında test ederek supabın çalışma (operasyon) sıcaklıklarını belirlemiştir. Supabın tabla bölgesinde maksimum sıcaklığı; 0,064 yakıt-hava oranında, 179 pound/inç² BMEP değerinde ve 2000 rpm motor devrinde, 1337°F (725°C) olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 4. Termokuplun supap içerisine yerleşimi [4]

Tanaka ve Kawata, egzoz supap sıcaklık dağılımını ölçmek için termografik kamera kullanımına dayanan bir metot sunmuşlardır [5]. Şekil 5, bahsedilen termografik kameralı sistemi göstermektedir. Bir supabı gözlemlemek için egzoz manifolduna açılan bir delik ile bir adaptör takılmıştır. Adaptöre bağlı olarak, bir optik pencere ve bir soğutma ünitesi vardır. Supabın termal görüntüsü ise cihazın önüne yerleştirilen termografik kamerasıyla tespit edilmiştir. Soğutma sıvısıyla doldurulmuş soğutma ünitesi, optik pencereyi sıcak egzoz gazı nedeniyle aşırı ısınmaya karşı korumak için kullanılmıştır. Termografik kamera yöntemiyle her ne kadar supabın tamamının termal görüntüsü yakalanamasa da, supap üzerindeki en sıcak nokta olan supap boynunun sıcaklığını incelemek mümkün olmuştur. 6 silindirli, 3.5 litre hacimli, 11.8 sıkıştırma oranına sahip, benzinli bir içten yanmalı araç motorunda yürüttükleri testlerde, 6400 motor devrinde kararlı hale ulaşıldığında egzoz supabı üzerinde ölçtükleri maksimum sıcaklık 741°C olmuştur.

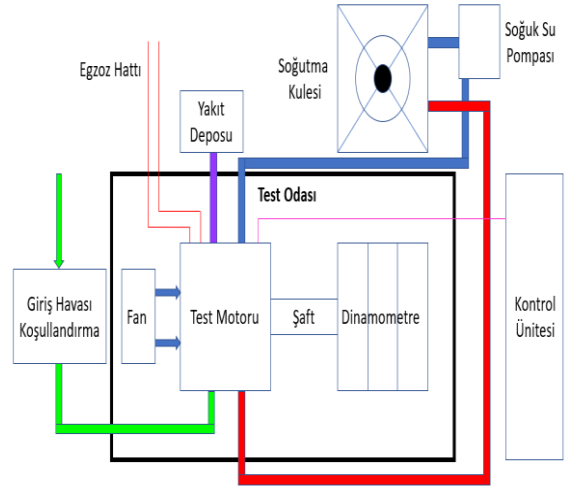


Şekil 5. Termografik kameralı ölçüm sistemi [5]

MATERYAL VE METOT

Motor testleri gerçekleştirmek üzere kurulmuş olan bir motor test odasında, termal testlerin gerçekleştirilmesi için plan yapılmıştır.

Şekil 6' da motor test odasının yerleşim şeması gösterilmektedir. Motor, şaft aracılığıyla dinamometreye bağlıdır ve dinamometreyi döndürmektedir. Test odasının yakınında, motora yakıt beslemesini sağlayan yakıt deposu mevcuttur. Motorda yakıtın yakılmasını sağlayacak hava için, gerekli koşulları sağlayacak koşullandırma cihazı mevcuttur. Giriş havası bu cihaz üzerinden geçerek motora girmektedir. Diğer yandan, motor içinde soğutma suyunun dolaşmasına olanak tanıyacak, soğutma su devresi de motor test odasında düşünülmüştür. Bir soğuk su pompası, soğutma kulesinde soğutulmuş olan suyu basarak motora gönderir, motordan çıkan ısınmış su ise soğutma kulesine yönlendirilir. Bunların dışında motorun aşırı ısınmasını engellemek üzere, direkt olarak motor üzerine hava üflemesi yapan bir fan da mevcuttur. Test odasının içindeki gerekli sıcaklık ve nem şartlarını sağlamak üzere de test odasına konumlandırılmış iklimlendirme cihazları vardır. Yanma sonu egzoz gazlarının dışarıya atılmasını sağlayacak bir egzoz hattı bulunmaktadır. Ayrıca kontrol ünitesi sayesinde motorun ve diğer sistemlerin çalışma ayarları yapılırken, aynı zamanda sensörlerden gelen anlık veriler görüntülenmekte ve kaydedilmektedir.



Şekil 6. Motor test odası

Bu test odasında, aynı motor tipi üzerinde ve aynı test koşullarında, iki farklı egzoz supap tipi (mono-metalik ve sodyum katkılı) test edilerek, bunların yüzeyleri üzerinde oluşan sıcaklık dağılımları karşılaştırılmıştır. Testlerde kullanılan içten yanmalı dört zamanlı motor tipinin teknik özellikleri Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. Test motorunun teknik özellikleri

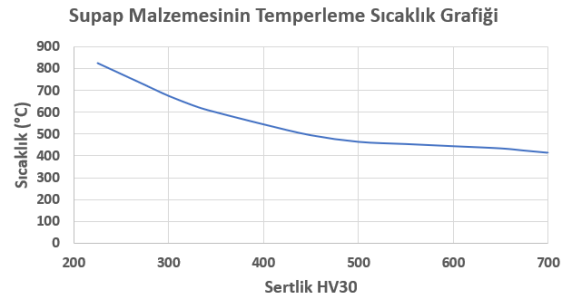
Silindir hacmi [cc]	1340
Maksimum motor gücü [kW]	97
Maksimum motor torku [Nm]	220
Silindir sayısı ve toplam egzoz supabı sayısı	4

Egzoz supapları hareketli parçalar olduğundan, yüzeyleri üzerindeki sıcaklık dağılımlarını belirlemeye yönelik özel bir test prosedürü uygulanmıştır. Öncelikle test motoruna monte edilmek üzere, motorun geometrisine uygun olarak hem mono-metalik hem de sodyum katkıli prototip supaplar üretilmiştir. Motor üzerine ilk olarak mono-metalik supaplar monte edilmiş ve testler gerçekleştirilmiş; ardından aynı motor üzerine sodyum katkıli supaplar monte edilmiş ve testler gerçekleştirilmiştir. Test prosedürü ise, motorda en yüksek egzoz gazı sıcaklıklarının oluştuğu maksimum güç devrinde, motorun 90 dakika boyunca (stabilizasyon için gerekli süre) test odasında çalıştırılması şeklindedir. Böylece supaplar için en zorlu çalışma koşulları olan en yüksek egzoz gazı sıcaklıklarına maruz kaldığı durum test edilmiştir.

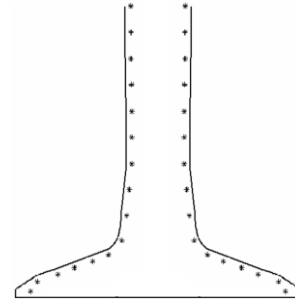
Her iki supap tipi (mono-metalik ve sodyum katkıli) üzerinde yapılan testlerin tamamlanmasının ardından, test motorundan sökülen supapların üzerinde sıcaklık dağılımlarının belirlenebilmesi için gerekli ölçümler yapılmıştır. Supapların üzerindeki sıcaklık dağılımlarının belirlenmesindeki metot ise, malzemelerin temperleme sıcaklığı- sertlik ilişkisine dayanmaktadır. Çünkü motora test öncesinde takılmadan önce martenzitik yapıda olan prototip supaplar, test boyunca (90 dakika) adeta bir temperleme işlemine maruz kalmaktadır. Prototip supapların üretilmesinde kullanılan malzemenin temperleme sıcaklığı- sertlik eğrisi ise ilgili malzemenin teknik kataloğundan bilinmektedir. Bu eğri Şekil 7’de gösterilmiştir.

Dolayısıyla testten çıkan prototip supaplar üzerinde, Şekil 8’de gösterildiği gibi tüm supap yüzeyini tarayacak şekilde belirli aralıklarla sertlik ölçümü yapılmış ve böylece sertlik değerlerinin denk geldiği temperleme sıcaklıkları tespit edilmiştir. Tespit edilen temperleme sıcaklıkları, termal testler esnasında yani motorun çalışması esnasında supabın o noktasının ulaştığı sıcaklık değeridir.

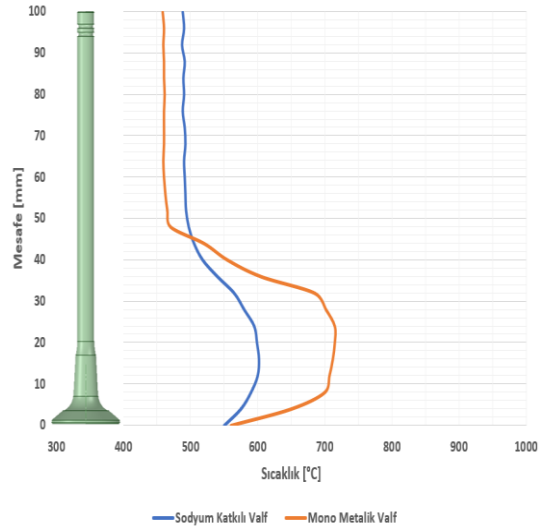
Bu sayede dört adet mono-metalik supabın üzerindeki sıcaklık dağılım ortalaması ve dört adet sodyum katkıli supabın üzerindeki sıcaklık dağılım ortalaması elde edilmiştir. Bu sıcaklık dağılımlarının karşılaştırması ise Şekil 9’da gösterilmiştir.



Şekil 7. Prototip supap malzemesinin temperleme sıcaklığı – sertlik eğrisi



Şekil 8. Prototip mono metalik ve prototip sodyum katkıli supaplar üzerindeki termal testler sonrası sertlik ölçüm noktalarının gösterimi



Şekil 9. Sodyum katkıli ve mono-metalik supapların termal testler sonucu elde edilen sıcaklık dağılımlarının karşılaştırılması

TARTIŞMA

Bu makale çalışması kapsamında yapılan termal testlerde elde edilen sonuçlar ve bulgular şu şekilde özetlenebilir:

- Mono-metalik supabın sıcaklık dağılımı 460 °C ile 715 °C arasındadır. Sodyum katkıli supabın sıcaklık dağılımı ise 490 °C ve 600 °C arasındadır. Yani mono-metalik supaplarda minimum ve maksimum sıcaklık aralığı, sodyum katkıli supaplardakine göre daha fazladır. Sodyum katkıli supaplar, supap boyunca daha dengeli bir sıcaklık dağılımı sunmaktadır.

- İki supap tipi arasında tabla ve boyun bölgelerinde 100 – 120 °C sıcaklık farkı ölçülmüştür. (Mono-metalik supapta tabla ve boyun bölgesindeki sıcaklık daha yüksektir). Bu durum supap üzerindeki maksimum sıcaklıkların, sodyum tipi supaplarda daha düşük olduğunu kanıtlamaktadır. Yani sodyum katkıli supaplar daha başarılı bir soğutma performansı sağlamaktadır.

- Sodyum katkıli supapların sıcaklık dağılımlarının supap boyunca daha dengeli olması ve tabla bölgesinde oluşan maksimum sıcaklıkların bu supap tipinde daha düşük olması, sodyum katkıli supapların motorun çalışması esnasında daha düşük termomekanik yüklere ve gerilmelere maruz kalacağını göstermektedir. Bu sayede supabın hasar olasılığı düşecek ve daha uzun ömürlü olacaktır.

Bu çalışmada elde edilen supap tablası sıcaklık değerlerinin (sodyum katkıli supap için), “Literatür Taraması” kısmında bahsedilen Wüst ve Fischer’in çalışmasında elde edilen supap tablası sıcaklık değerleriyle (sodyum katkıli supap için) karşılaştırması ise Tablo 2’de verilmiştir. Supap tablası bölgesinde iki çalışma arasında oluşan sıcaklık farkının sebebinin, sıcaklık ölçüm metodundan değil motor performanslarının farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü daha yüksek performansa sahip motorlarda sıcaklık seviyelerinin daha yüksek olması oldukça normaldir.

Tablo 2. Literatürdeki sonuçların bu çalışma ile karşılaştırılması

	Wüst ve Fischer	Bu Çalışma
Sıcaklık ölçüm metodu	Anlık ölçüm (kızılötesi sensör ile)	Sonradan ölçüm (sertlik ölçümü ile)
Supap tablası sıcaklık değeri [°C]	685 °C	550-600 °C
Silindir hacmi [cc]	2981	1340
Motor gücü [kW]	283	97
Motor torku [Nm]	450	220
Silindir sayısı	6	4

Bu çalışmanın devamı niteliğinde gerçekleştirilebilecek şu çalışmaların da yararlı olacağı düşünülmektedir:

- Farklı motor spesifikasyonları için benzer çalışmalar yapılabilir. Motorda kullanılan yakıt tipi

ve sıkıştırma oranına bağlı olarak egzoz gazlarının sıcaklıklarının değişimi, motor hacmi, bir silindirde kaç tane egzoz supabı olduğu, egzoz gazlarının debisi gibi birçok parametre, elde edilecek sonuçlar üzerinde bir etkiye sahip olabilir.

- Sodyum malzemesinin yerine alternatif farklı malzeme veya malzeme karışımları kullanarak daha iyi bir ısı transferi sağlayarak, egzoz supaplarının daha iyi soğutulup, egzoz supapları üzerinde özellikle tabla bölgesinde daha düşük sıcaklıklar elde edilip, supabın dayanımının ve kullanım ömrünün artırılmasına yönelik çalışmalar yapılabilir.

COMPARISON OF THE TEMPERATURE DISTRIBUTION OF SODIUM FILLED AND MONO METALLIC EXHAUST VALVES

Exhaust valves are extremely important parts that are subjected to high mechanical and thermal loads and high cycle fatigue during engine life. The ever-stricter emission norms lead to higher combustion temperatures and pressures. One of the parts to be exposed to increased combustion temperatures and pressures is the exhaust valves. Therefore, it is aimed to transfer the heat from the valves more easily, to improve the temperature distribution on the valves and to reduce the loads that the valves are exposed to. In this paper, thermal tests were performed separately with sodium-filled and mono-metallic exhaust valves, their results were compared and it was measured that the temperature of sodium-filled valves’ head and throat are lower than the mono- metallic valves’ head and throat by 100-120 °C.

Keywords: Exhaust Valve, Thermal Test, Internal Combustion Engine, Sodium-Filled Valve, Temperature Measurement

KAYNAKÇA

1. Hillier, V. A. W. ve Coombes, P., *Hillier's Fundamentals of Motor Vehicle Technology*, Nelson Thomes Ltd, Cheltenham, United Kingdom, 2004.
2. Wüst, Y. ve Fischer M., Optical Measurement of the Valve Temperature, *Porsche Engineering*, 1 (2015), 40-45.
3. Stotter, A., Woolley K. S. ve Ip E. S., Exhaust Valve Temperature – A Theoretical and Experimental Investigation, *SAE Transactions*, 74 (1966), 89-107.
4. Sanders, J. C., Wilsted, H. D. ve Mulcahy B. A., Operating Temperatures of a Sodium-Cooled Exhaust Valve as Measured by a Thermocouple, *NACA*, 1943.
5. Tanaka, N. ve Kawata, A., Measurement Technique of Exhaust Valve Temperature, *SAE Technical Paper*, 2015.