

Tarımsal Faaliyetlerde Kullanılan Tek Silindirli Bir Motorda Bazı Parametrelerin Sürtünme Gücüne Etkisi

Zühtü MERT¹, Mustafa Bahattin ÇELİK²

¹Selçuklu Teknik Ve Endüstri Meslek Lisesi Motorlu Araçlar Teknolojisi Alanı, Konya
²Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Karabük
mertogretmen@gmail.com

Received (Geliş Tarihi): 07.05.2013 Accepted (Kabul Tarihi): 18.06.2013

Özet: Tarımsal mekanizasyonda, güç ihtiyacı yaygın olarak termik motorlarla sağlanmaktadır. İçten yanmalı motorlarda yakıttan elde edilen enerjinin önemli bir kısmı hareketli parçalar ve yardımcı mekanizmalardaki sürtünmeler nedeniyle kaybolmaktadır. Bu çalışmada tarımsal sulama da kullanılan tek silindirli buji ile ateşlemeli bir motorda bazı parametrelerin sürtünme gücüne etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca Piston segmanları düşük sürtünme katsayılı bir madde olan Hekzagonal Bor Nitrür ile kaplanarak sürtünme gücüne etkisi araştırılmıştır. Deneyler sonucunda sürtünme gücünün, artan motor hızı ile artış gösterdiği, Artan yağ sıcaklığı ile sürtünme gücünün azaldığı, yağ sıcaklığı 70°C üzerine çıktığında ise sürtünme gücünün yeniden arttığı tespit edilmiştir. Motorda sürtünmeye neden olan parçalar tek tek sökülerek her bir parçanın sürtünme gücüne etkileri tespit edilmiştir. Motor yükünün artması ile sürtünme gücünde azalma meydana gelmiştir. Sıkıştırma oranındaki artış ile beraber sürtünme gücü de artmıştır. Piston segmanları, düşük sürtünme katsayısına sahip katı yağlayıcı materyal olan Hekzagonal Bor Nitrür ile kaplanmış ve yapılan deneylerde bunun sürtünme gücünü azaltıcı etki gösterdiği tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: sürtünme, kaplama, güç, motor, performans

Effect of Some Parameters on Friction Power a Single Cylinder Engine Used in Agricultural Operations

Abstract: Power requirement in agricultural mechanization internal combustion engines are widely available. An important part of the energy obtained from the fuel in internal combustion engines auxiliary mechanisms and moving parts are lost due to friction. In this study, irrigation or some of the parameters used in the single-cylinder spark ignition engine were investigated experimentally the effects of the friction force. Piston rings are also a low friction substance coated with Hexagonal Boron Nitride and friction force was investigated. As a result of experiments, the friction power, increases with increasing engine speed, the friction force decreases with increasing oil temperature, oil temperature rises above 70°C, the frictional force were increased again. Elements shown in the engine friction that causes the power to be removed from the effects of friction of each piece was determined. Low coefficient of friction material, which piston rings Hexagonal Boron Nitride coated with a solid lubricant and the strength of the friction reducing effect on the experiments that have been identified.

Keywords: Friction, Coating, Power, Engine, Performance

GİRİŞ

Ülkemiz şartlarında tarımsal ürün maliyetleri içerisinde enerji kullanımının, özellikle yakıt enerjisinin payının yüksek olması nedeniyle, motorlarda yakıt ekonomisi sağlamaya yönelik çalışmalar yaygınlaşmaktadır.

Motorlardan maksimum gücü, en ekonomik ve çevreyi kirletmeden alabilmek için yapılan çalışmalar

günümüzde hız kazanmış, özellikle bazı motor parametreleri üzerindeki araştırmalar yoğunlaşmıştır. Motorun bütün çalışma şartlarında volümetrik ve termik verimin artırılması, sürtünme kayıplarının en aza indirilmesi araştırmaların temelini oluşturmaktadır (Sekmen, 2003).

İçten yanmalı motorlarda silindir içerisinde yakılan karışımın yanması ile oluşan enerjinin tamamı faydalı

güç olarak krank milinden elde edilememektedir. Bunun nedeni üretilen enerjinin bir kısmının çeşitli nedenlerle kaybolmasıdır. Bu kayıplardan en önemlisi sürtünmeler yoluyla meydana gelen kayıplardır (Heywood, 1988).

Yapılan birçok deneysel çalışma da motor gücünün yaklaşık % 20-30 kadarlık kısmının sürtünmelere harcandığı tespit edilmiştir. Sürtünmeler en fazla piston-segman ile silindir arasında, krank mili yataklarında ve supap mekanizmasında meydana gelmektedir. Sürtünme kayıpları, düşük viskoziteli yağ kullanımı, yüksek yapışma ve yağlama özelliğine sahip yağ katkı maddelerinin yağa ilave edilmesi, hareketli parçalarının ağırlıklarının azaltılması, sürtünen parçaların yüzey kalitelerinin iyileştirilmesi ve hareketli parçaların düşük sürtünme sağlayan katı yağlayıcı materyaller ile kaplanması ile azaltılabilmektedir (Heywood, 1988).

Sürtünme Gücüne Etki Eden Parametreler

Sürtünme kayıpları direk olarak maksimum fren torkunu ve minimum fren özgül yakıt tüketimini etkilemektedir. İyi bir motor dizaynı ile ortalama bir dizayn arasındaki fark, çoğu kez sürtünme kayıpları arasındaki farktan kaynaklanmaktadır. Sürtünme kayıplarının büyük bir kısmı soğutma suyuna ve motor yağına ısı enerjisi olarak geçer ve yağ soğutma sistemi ve radyatör aracılığıyla atılır. Bu yüzden sürtünme kayıpları motordaki soğutma sisteminin büyüklüğünü etkiler. İç güç ve fren beygir gücü sürtünmenin bulunmasında etkilidir. Sürtünme işi, silindir içinde çalışan akışkandan elde edilen ve pistona iletilen iş ile motorun krank milinden elde edilen faydalı işin arasındaki fark olarak tanımlanır (Heywood,1988).

Motorlarda sürtünme kayıpları aşağıda belirtilen 3 grupta toplanmaktadır. Bunlar;

1. Mekanik kayıplar (motorun çalışan parçaları arasındaki sürtünmeler).
2. Pompalama kayıpları (emme ve egzoz kanallarındaki kayıplar).
3. Yardımcı ünitelere olan kayıplar (su pompası, vantilatör vb.) (Stone, 1989).

Motor hızı arttıkça hareket eden parçaların ataletinden doğan dinamik kuvvetler hızın karesi ile artar ve bunlara ait sürtünme de artar. Motor hızı arttıkça silindir içerisine alınan dolgu miktarı artmakta buna bağlı olarak emme ve egzoz sistemlerinde meydana gelen pompalama kayıpları yükselmektedir.

Düşük hızlarda sürtünme gücünün azlığı nedeniyle indike güç ile efektif güç değerleri birbirine daha yakındır. Motor hızı arttıkça sürtünme gücü artarken indike güç belirli bir değere kadar artmakta ve sonra azalmaktadır. Buna göre indike güç ve sürtünme gücünün birbirine eşit olduğu devirde efektif güç sıfır olacak bu devir motorun maksimum devri olacaktır (Ricardo, 1961).

Motor yükünün artması ile silindir içerisindeki maksimum basınç yükselmekte, yükselen basıncın etkisiyle sürtünmeler de artmaktadır. Fakat artan motor yüküyle silindir içerisindeki sıcaklık değeri de yükselmekte ve yağ viskozitesi düşmektedir. Yağ viskozitesindeki düşme sonucunda sürtünme kuvvetinde azalma meydana gelmektedir. Benzinli motorlarda motor yükü artışına bağlı olarak gaz kelebek açıklığı artar, pompalama kayıpları azalır. Toplamda bakıldığında ise motor yükü arttıkça sürtünme gücünde azalma meydana gelmektedir (Ferguson, 1986).

Motorlarda mekanik sürtünmelerin azaltılması ile güç kayıplarının önlenmesine çalışılmaktadır. Aynı gücü veren düşük silindir sayılı motorlar daha ekonomik olmaktadır. Yatak ve segman sayısının azaltılması yanında bunlardaki sürtünmeyi düşürmek de önem kazanmaktadır. Motordan düşük güç istendiği zamanlarda supapların bazılarının devre dışı bırakılarak çalışan silindir sayısının azaltılmasıyla da % 3 yakıt ekonomisi sağlandığı belirlenmiştir (Sekmen, 2003).

Yağların temel özellikleri koruyucu ve kaydırıcı olmalarıdır. Fakat belirli süre kullanılan yağların bu özellikleri bozularak motor parçalarını üzerinde aşınmalar meydana gelmekte, motorun bakım ve revizyona girme periyodu kısalmaktadır. Parça deformasyonuna bağlı motor karakteristikleri de değişmektedir. Hidrodinamik yağlama şartları altında düşük viskoziteli yağlar daha az direnç göstererek iç sürtünmelerin azalmasına sebep olmakta ve bu sayede yakıt ekonomisi sağlanmaktadır. Ancak düşük viskoziteli yağların kullanılması yağ tüketimini artırırken yağ filmi kalınlığının azalmasına hatta yırtılmasına neden olabilmektedir (Sekmen, 1997).

Motorlarda mekanik sürtünmeye harcanan gücün % 75 gibi büyük bir kısmı segmanlarla silindir yüzeyleri arasında meydana gelen sürtünmelere gitmektedir. Bu nedenle piston segman ve silindirlerin sürtünme özelliklerinin iyileştirilmesi daha fazla önem arz etmektedir (RykandEtsion, 2006).

Sürtünme Gücünün Azaltılması

Salman ve ark. yağ katkılarının ve viskozitesinin sürtünmelere etkisini inceledikleri deneysel bir araştırmada, düşük sıcaklıklarda katkılı yağların sürtünme momentini artıran etkisi görülmüştür. 80°C yağ sıcaklığında motorda sınır sürtünme şartlarının olduğu bu durumda katkısız yağların sürtünme momentini artırdığı, fakat katkılı yağların sürtünmeyi azalttığı görülmüştür. Motor yağlarına eklenen katkıların sürtünmeleri azaltarak motor gücünü artırıcı etkisi olduğu görülmüştür.

İçten yanmalı motorlarda yağlama yağlarının performansına yönelik yapılan bir araştırmada yağlama yağlarının yüzeye yapışma özelliğinin kaydırıcılık kadar önemli olduğu belirtilmiştir. Silindirlerde meydana gelen aşınmanın en fazla motorun çalıştırıldığı ilk bir kaç dakikada olduğu dolayısıyla silindir yüzeylerinde yağ filminin her zaman olması gerektiği belirtilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada yağ viskozitesinin sıcaklıkla ters, basınçla doğru orantılı olarak değiştiği görülmüştür (Sekmen, 1997).

Son yıllarda önemli bir gelişmede pistonlardaki sürtünmenin azaltılmasıdır. Motorlarda aşırı sürtünme, piston ile silindir yüzeyi arasındaki yağ tabakasında meydana gelmektedir. Sürtünme yüzeyleri azaltılmış pistonların motorlarda kullanılmasıyla, sürtünme kayıplarında % 10 azalma olduğu ve bu azalmanın, geniş ölçüdeki çalışma koşullarında, maksimum güçte % 2 artma ve yakıt tüketiminde % 3 azalma sağladığı belirlenmiştir.

Piston sürtünmesini azaltan diğer bir gelişme de segman sayısının ve ağırlığının azaltılmasıdır. Standart pistonlarda kullanılan üst ve orta segmanların yerine sadece bir adet segman kullanılmaktadır. % 10'luk azaltılmış segman ağırlığı ve bir segmanın eksik olmasıyla sürtünme azaltılmaktadır (Smedley, 2002).

Rykve Etsion (2006) tarafından yapılan deneysel bir çalışmada, piston segmanlarının sürtünme yüzeylerinin dokusu lazer ile değiştirilmiştir ve bunun sürtünme kuvvetine etkisi araştırılmıştır. Yüzeylerine lazer ile yeni doku oluşturulan segmanların standart segmanlara oranla sürtünme kuvvetinin %25 azaldığı belirlenmiştir.

Tomarnik et al. (2000)'in gerçekleştirdikleri bir çalışmada, segman tansiyonunu 1.1 N/mm², den 0.8 N/mm², ye düşürmüşlerdir. Sonuçta sürtünme gücü kaybının % 30 azalttığı görülmüştür.

De Barros'Bouchet et al. (2005) DLC karbon kaplamanın sınır yağlama şartlarında aşınma ve sürtünme özelliklerini araştırdıkları bir çalışmada karbon kaplamanın aşınma ve sürtünmenin azalmasında etkili olduğu tespit edilmiştir.

Young ve McComb (1990) tarafından yapılan bir çalışmada içten yanmalı bir motorun yaşam ömrünü uzatmak için segman yüzey kaplaması geliştirilmiştir. Yapılan motor testleri sonucunda, molibden, krom ve karbon kompozisyonundan oluşan bu kaplama malzemesi ile motorun aşınma direncinin iyileştirildiği tespit edilmiştir.

Deneysel çalışmalar

Bu çalışmada tek silindirli buji ile ateşlemeli bir motorda bazı parametrelerin ve motor parçalarının sürtünme gücüne etkileri araştırılmıştır. Ayrıca sürtünmeye harcanan gücü azaltmak amacıyla segmanlar katı yağlayıcı, düşük sürtünme katsayılı bir materyal olan Hekzagonal Bor Nitrür ile kaplanmış ve motor sürtünme gücüne etkisi tespit edilmiştir.

Segmanların kaplanması

Termal plazma yöntemlerinden olan plazma sprey tekniği ile kaplama yapılmıştır. Kaplama işlemi Sulzer Metco- 4MT markalı cihazla yapılmıştır.

Kaplama amacıyla kullanılan malzeme Hekzagonal Bor Nitrür'dür. Bor Nitrür kimyasal ve termal özellikleri üstün bir materyaldir. Bağ yapısının grafit benzerliğinden dolayı beyaz grafit olarak adlandırılır. Yüksek sıcaklıklarda mükemmel bir katı yağlayıcıdır. Kaplama malzemesinin bazı özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

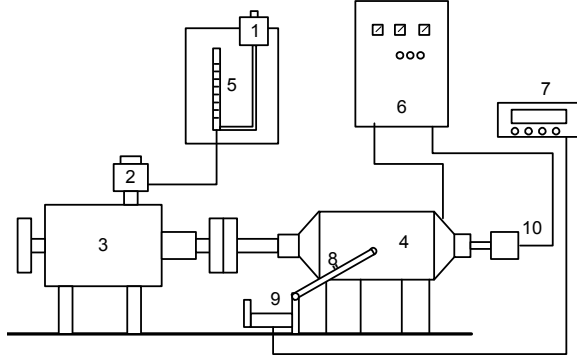
Çizelge 1. Hekzagonal Bor Nitrür'ün bazı özellikleri

Bağ Yapısı	Hekzagonal
Yoğunluğu (g/cm ³)	2,27
Renk	Beyaz
Mohs Sertliği (°)	<1
Termal Genleşme 10 ⁻⁶ /°20C' de (µm)	0,8- 7,5
Termal iletkenlik (W/m.°K)	15 - 30

MATERYAL VE YÖNTEM

Deneylerde motorun yüklenmesi için Kemsan marka, 10 kW gücünde elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Deney seti, motor momentini, hızını ve sıcaklığını ölçebilecek donanıma sahiptir. Dinamometre kontrol ünitesi ile motorun istenilen devirde hassas

olarak yüklenmesi ve marş yaptırılması mümkün olmaktadır. Ayrıca dinamometre motor konumuna alındığında deney motorunu istenilen sabit hızlarda döndürebilmektedir. Bu sayede sürtünmeye harcanan güç ölçülebilmektedir.



Şekil 1. Deney setinin şematik görünümü

1. Yakıt Deposu 2. Karbüratör 3. Motor, 4. Elektrikli Dinamometre 5. Yakıt Tüketimi Ölçme Düzeneği
6. Dinamometre Kontrol Paneli 7. Yük İndikatörü
8. Yük Kolu 9. Yük Sensörü 10. Hız Sensörü

Yapılan deneylerde, tek silindirli, 4 zamanlı, Lombardini (LM250) marka bir benzinli motor kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan motorun teknik özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir. Sıkıştırma oranı ile sürtünme gücü arasındaki ilişkiyi veren testler dışındaki bütün deneylerde bu motor kullanılmıştır. Farklı sıkıştırma oranındaki sürtünme gücünü ölçmek için yapılan testlerde teknik özellikleri verilen motorla aynı olan ve sıkıştırma oranı 6/1 ila 10/1 arasında değişebilen bir motor kullanılmıştır.

Çizelge 2. Deneylerde kullanılan motorun teknik özellikleri (Anonim, 2003)

Markası	Lombardini LM 250
Soğutma şekli	Hava Soğutmalı
Silindir sayısı (Adet)	1
Motor Gücü (3600 1/min)	6 HP
Motor Gücü (3000 1/min)	5, 5 HP
Silindir çapı	72,5 mm
Strok	62 mm
Sıkıştırma oranı	6/1

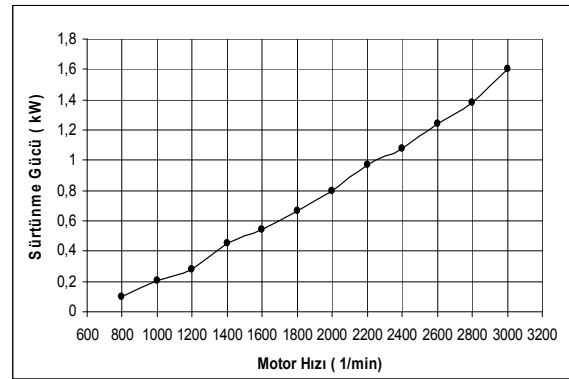
Deneyler iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak motor hızı, motor yağ sıcaklığı, motor yükü ve sıkıştırma oranının sürtünme gücüne etkisini belirlemeye yönelik deneyler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca motor parçalarının motor sürtünme gücüne etkisini tespit etmek amacıyla sürtünme kuvvetine etki eden parçalar tek tek sökülerek motor döndürülmüş ve sökülen parçaların sürtünme kuvvetine etkileri belirlenmiştir. Motor sürtünme testlerinde SAE 20/50 motor yağı kullanılmıştır.

İkinci aşamada segman yüzeyleri kaplanan motor ile standart motor, değişik hız ve tam yükte test edilmiştir. Bu testlerde motor sürtünme gücü belirlenmiştir.

ARAŞTIRMA BULGULARI

Sabit yükte motor devrinin sürtünme gücüne etkisi

Motor hızı arttıkça pompalama kayıpları ve parça atalet kuvvetlerinden doğan sürtünmeler artmaktadır. Bu nedenlerden dolayı motor devri 1000 1/min'de sürtünme gücü 0,205 kW iken, 3000 1/min'de sürtünme gücü 1,602 kW olarak belirlenmiştir. Deney motorunun 3000 1/min deki efektif gücü 5,5 HP (4,04 kW) dir. Aynı hızdaki sürtünme gücü 1,602 kW olarak tespit edilmiştir.

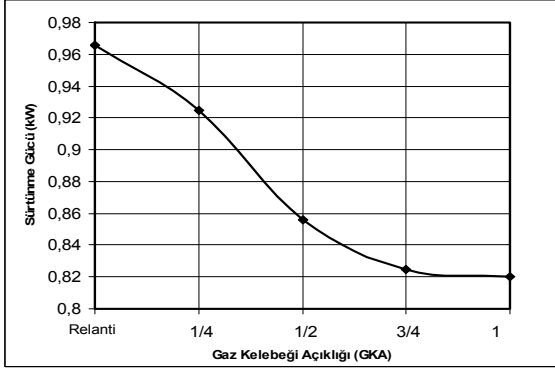


Şekil 2. Motor hızının sürtünme gücüne etkisi

Motor yükünün sürtünme gücüne etkisi

Şekil 3'te farklı motor yüklerinde sürtünme gücündeki değişim görülmektedir. Şekil incelendiğinde motor yükü arttıkça sürtünme gücünde azalma meydana geldiği görülmektedir. Yük arttıkça silindirlerde meydana gelen pompalama kayıpları azalır. Ayrıca motor yüküne bağlı olarak artan sıcaklığın etkisiyle yağ

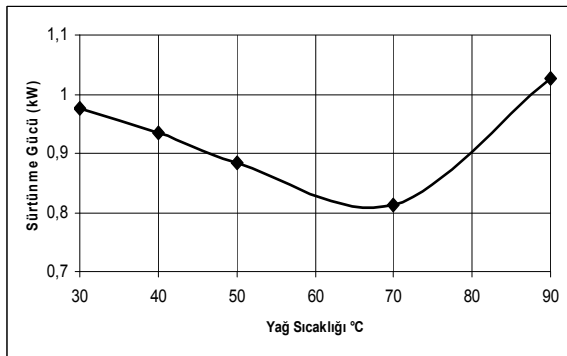
viskozitesi düşer ve bu durum sürtünme kuvvetinin azalmasına neden olur. 2200 1/min'de ve 1/1 gaz kelebeği açıklığında motor sürtünme gücü 0,819 kW iken, rölantide (gaz kelebeği kapalı) 0,966 kW'dır (Şekil 3).



Şekil 3. Motor yükünün sürtünme gücüne etkisi (n=2200 1/min)

Motor yağı sıcaklığının sürtünme kuvvetine etkisi

Yapılan denemelerde deney motoru değişik yağ sıcaklıklarında motor devri 2000 1/min de ve tam gaz durumunda dinamometre ile döndürülerek sürtünme gücü ölçülmüştür. Yağ sıcaklığının artışına bağlı olarak aynı devirde motor sürtünme gücünün azaldığı görülmüş, 70°C üzerindeki yağ sıcaklıklarında motor sürtünme gücünün yeniden artış gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 4). Bunun nedeni yağ viskozitesini düşmesi sonucu motor parçaları arasında karma sürtünmelerin meydana gelmesi olarak düşünülmektedir.

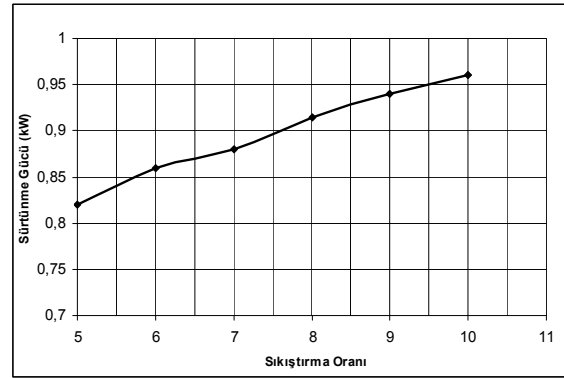


Şekil 4. Motor yağı sıcaklığının sürtünme gücüne etkisi (n=2000 1/min)

Sıkıştırma oranının sürtünme gücüne etkisi

Bu deneme için deney motoru ile teknik özellikleri aynı olan fakat sıkıştırma oranı değiştirilebilen bir başka motor kullanılmıştır. Sıkıştırma oranı 6/1 de iken 0,86 kW olan sürtünme gücü, sıkıştırma oranı 10/1'e

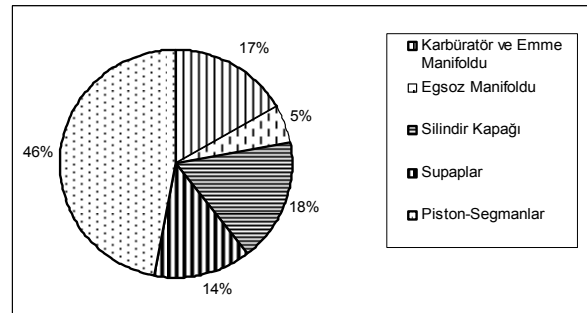
yükseldiğinde 0,96 kW'a çıkmıştır. Minimum ve maksimum sıkıştırma oranları arasında sürtünme gücündeki artış miktarı yaklaşık %17 kadardır. Sıkıştırma oranı arttıkça sıkıştırma sonu basıncı artmaktadır. Bu artış özellikle piston üzerinde daha yüksek kuvvetleri ve sürtünmeleri meydana getirmekte, dolayısıyla motorun toplam sürtünme kayıpları artmaktadır (Çelik, 1999). Şekil 5'te sıkıştırma oranının sürtünme gücüne etkisi görülmektedir.



Şekil 5. Sıkıştırma oranının sürtünme gücüne etkisi (n=2000 1/min)

Motor Parçalarının sürtünme gücüne Etkisi

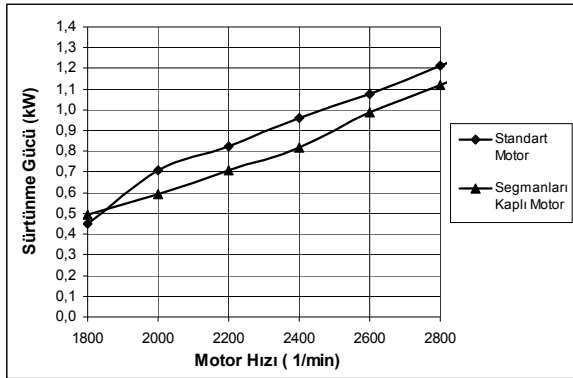
Motor parçalarının sürtünme gücüne etkisine oranını belirlemek amacıyla yapılan deneylerin sonucu Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu testler esnasında motor parçaları tek tek sökülerek her parçanın sürtünme gücüne etkisi belirlenmiştir. Motor 2000 1/min'de dönerken yapılan test sonuçlarına bakıldığında, karbüratör, emme ve egzoz manifoldları ile silindir kapağının toplam sürtünme kayıplarının % 40'lık kısmını meydana getirdiği görülmektedir. Bu parçalarda herhangi bir hareket meydana gelmediğinden bu parçalarda meydana gelen kayıplar pompalama kayıplarıdır. Mekanik sürtünme gücü kayıplarının büyük bölümünün piston-segman ve silindir yüzeyleri arasında meydana gelen sürtünmelerin oluşturduğu görülmektedir.



Şekil 6. Motor parçalarının sürtünme gücüne etkisi (n=2000 1/min)

Segman kaplamasının sürtünme gücüne etkisi

Şekil 7'de görüldüğü gibi segmanları Hekzagonal Bor Nitrür ile kaplanan motorda sürtünme gücü, kaplamasız motora göre daha düşük meydana gelmiştir. Buradan yapılan kaplamanın sürtünme gücüne olumlu yönde tesir ettiği görülmektedir. Örneğin 2600 1/min'de standart motorun sürtünme gücü 1,225 kW iken, aynı motor hızında segmanları kaplanmış olan motorun sürtünme gücü yaklaşık yüzde 10 oranında azalarak 1,122 kW olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 7. Segmanları kaplanmış motor ile standart motorun sürtünme gücü

SONUÇ

Motorlarda artan hıza bağlı olarak sürtünmeye harcanan güç yükselmekte bu durum ise motorun mekanik verimini düşürmektedir. Mekanik verimdeki düşme, motordan elde edilen efektif gücün de düşmesine neden olmaktadır. Bu durum yakıttan elde edilen enerjinin faydalı işe dönüşmeden kaybolmasına neden olmakta ve yakıt tüketimi artmaktadır.

Motor hızı arttıkça parçaların ağırlıklarından kaynaklanan sürtünmeler çok daha fazla artmaktadır. Motor parçalarının yüksek dayanımlı hafif malzemelerden yapılarak motorda yüksek devirlerde de verimli bir çalışma elde edilebilir.

Motor sürtünme gücüne etki eden bir diğer parametre de yağlama yağıdır. Yağ viskozitesindeki değişim yağın sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Bu

LİTERATÜR LİSTESİ

- Anonim, 2003. *Lombardini teknik bilgi kataloğu*, İstanbul.
Çelik, M.B., 1999. Buji İle Ateşlemeli Bir Motorun Sıkıştırma Oranının Değişken Hale Dönüştürülmesi ve Performansa Etkisinin Araştırılması. *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

durum motor sürtünme gücüne etki etmektedir. Yağ sıcaklığına artışına bağlı olarak motor sürtünme gücü azalmaktadır. Ancak çok yüksek sıcaklıklarda yağ viskozitesinin çok fazla düşmesi ise motor sürtünme gücüne olumsuz yönde etki etmektedir. Motor sıcaklığından bağımsız düşük viskoziteli yağların geliştirilmesi ile yağlama yağının neden olduğu sürtünme kayıpları en az miktara indirgenebilir.

Motor parçalarının değişik oranlarda sürtünme gücüne etkileri vardır. Gaz kelebeğinden kaynaklanan pompalama kayıplarının önüne geçilebilmesi için gaz kelebeği olmayan sistemlerin yaygınlaştırılması gerekmektedir. Supap mekanizmasında hareketli parçaların azaltılması ile mekanik sürtünmeler azaltılabilir.

Motorların düşük gaz kelebeği açıklığında kullanılması durumunda pompalama kayıpları artmaktadır. Yakıt tüketiminin azaltılması bakımından motorlu taşıtların orta yüklerde kullanılması önemli hale gelmektedir.

Motor parçalarından kaynaklanan sürtünmelerin büyük bir bölümü piston-segman ile silindir yüzeyleri arasında meydana gelmektedir. Piston, segman ve silindir yüzeyleri düşük sürtünme katsayısına sahip katı yağlayıcı materyallerle kaplanarak sürtünme kayıpları önemli oranda azaltılabilir.

Bu nedenle çalışma sürtünme gücünü azaltmak amacıyla segmanların katı yağlayıcı düşük sürtünme katsayılı bir materyal olan Hekzagonal Bor Nitrür ile kaplamasının motor sürtünme gücünün azaltılmasında oldukça faydalı olacağını göstermektedir.

Ayrıca, araştırma sonuçlarını, tarımsal mekanizasyon uygulamalarında yaygın olan dizel motorlarda da kullanılabilme imkânı vardır.

- De Barros'Bouchet, M. I., Martin J. M.,Le-Mogne T. V., 2005. Boundary lubrication mechanisms of carbon coatings by MoDTC and ZDDP additives. *Tribology International*, 38(3):257-264.

- Ferguson C. R., 1986. *Internal Combustion Engines*. John Wiley & Sons Inc.
- Heywood J. B., 1988. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw-Hill, Singapore.
- Ricardo H. R. ,1961. Yüksek Hızlı İçten Yanmalı Motorlar. Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul.
- Ryk, G., Etsion, I., 2006. *Testing piston rings with partial laser surface texturing for friction reduction*. ScienceDirect, Wear 261: 792–796.
- Salman S, Ceylan S, Batmaz İ., ve Balcı M., 1997. *Çeşitli Yağ Katkılarının Yağ Viskozitesi ve Motor Sürtünme Momentine Etkileri*. Beşinci Yanma Sempozyumu, s.287-293, İstanbul.
- Sekmen, Y., 1997. *İçten Yanmalı Motorlarda Yağlama Yağlarının Performansa Etkisi Üzerine Bir Araştırma*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Sekmen, Y., 2003. *Buji İle Ateşlemeli Bir Motorun Sıkıştırma Oranının Değiştirilebilir Hale Getirilmesi ve Performansa Etkisinin İncelenmesi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Smedley, G.,2002. *Piston Ring Design for Reduced Friction in Modern Internal Combustion Engines*. Mechanical Engineering, McGill University.
- Stone, R.,1989. Engine Vehicle Fuel Economy. *Macmillan Educational Ltd.*,Houndmills.
- Tomarnik, E., Nigro, E.,Zabeu C. B.,2000. *Reduced Friction Powercell Components*. SAE Paper 3321.
- Young, W. B.,McComb, J. A.,1990. New Piston Ring Face Coatings Using Design of Experiments. *SAE (Society of Automotive Engineers) Transactions*, 99(3): 1228- 1235.