



## Türk Doğa ve Fen Dergisi Turkish Journal of Nature and Science

<http://www.bingol.edu.tr/dergiler/turk-doga-ve-fen-dergisi.aspx>



# Yanma Odası Elemanları ZrO<sub>2</sub> Kaplı Bir Dizel Motorda Badem Yağının Kullanılması

Hanbey HAZAR<sup>1</sup>, Özkan GÜRBÜZ<sup>2</sup>, Emine ŞAP\*<sup>3</sup>

## Özet

Giderek artan enerji gereksinimi ve yakın gelecekte petrolün tükenerek olması alternatif enerji kaynaklarına yönelik araştırmaları giderek artırmaktadır. Bu çalışmada badem yağı bir dizel motorunda yakıt olarak kullanılmıştır. Badem yağı burada B15 olarak adlandırılan %15B-%85 D2 (dizel yakıt), B35 olarak adlandırılan %35B -%65 D2 ve B65 olarak adlandırılan %65 B-%35 D2 oranlarında hacimsel olarak karıştırılmıştır. Bu karışım yakıtlar ve normal dizel yakıtı, bir dizel motorda kullanılmıştır. Daha sonra yukarıda bahsedilen deney yakıtları piston başı yüzeyi, emme ve egzoz supaplarının yüzeyleri ZrO<sub>2</sub> seramik malzeme ile kaplanmış bir dizel motorda test edilmiştir. Test yakıtlarının tümü için motor moment, motor gücü ve fren özgül yakıt tüketimi deneyleri yapılmıştır. Emisyon testlerinde, test karışım yakıtlarının kullanımı neticesinde egzoz emisyonlarının sonuçları bulunmuş ve normal dizel yakıtı değerleri ile karşılaştırılmıştır. Performans testi sonuçları motor performansının bitkisel yağ kullanımı ile bir miktar düştüğünü göstermiştir. Badem yağı kullanımı ile kaplamalı motorda performans parametreleri, silindir duvarlarında olan ısı transferinin azalması sayesinde, artışlar göstermiştir. Kaplamasız ve kaplamalı motorda badem yağı kullanımı ile CO ve HC emisyonlarının azaldığı tespit edilmiştir. Ancak hem badem yağı kullanımı hem de motorun kaplanması işlemleri nedeniyle NO<sub>x</sub> emisyonu değerlerinde artışlar tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Dizel motor, badem yağı, biyodizel, zirkonyum oksit (ZrO<sub>2</sub>)

## Using Almond Oil in a Diesel Engine with ZrO<sub>2</sub> Coating on Combustion Chamber Elements

### Abstract

The increasing energy demand and the expected depletion of the petroleum in the near future have increased the research on alternative energy sources. In this study, almond oil has been used as the fuel in a diesel engine. In this study, the almond oil was mixed in a volume of %15B-%85 D2 (diesel fuel), which is called B15, %35B -%65 D2, which is called B35 and %65 B-%35 D2, which is called B65. These mixture fuels and normal diesel fuel were used in a diesel engine. The test fuels mentioned above were then tested in a diesel engine covered with ZrO<sub>2</sub> ceramic material on the surface of the piston head, and the suction and exhaust valves. Engine torque, engine power and brake specific fuel consumption tests were performed for all of the test fuels. In the emission tests, exhaust emission results were found after the use of test mixture fuels and were compared with the normal diesel fuel values. Performance test results showed that engine performance decreased slightly with the use of vegetable oil. Performance parameters in the covered engine using almond oil have shown increases due to the decrease in heat transfer in cylinder walls. The use of almond oil in the uncoated and coated engine has been determined to reduce CO and HC emissions. However, increases in NO<sub>x</sub> emission values have been detected both due to the use of almond oil and due to coating the engine.

**Keywords:** Diesel engine, almond oil, biodiesel, zirconium oxide (ZrO<sub>2</sub>)

### 1. Giriş

Enerji, 1970'li yıllardan beri tüm dünyada ekonomik ve toplumsal kalkınmada önemli bir değere sahip olmuştur. Zamanla petrol kaynaklarının azalması, dış ülkelere bağımlılık ve sera gazı etkisi dünyanın her yerinde sorunlara yol açmıştır. Petrol kökenli yakıtlara olan ihtiyacın azaltılması adına birçok alternatif yakıt arayışına gidilmiştir [1,2]. Petrol kökenli yakıtların kullanılması ve çevreye olan

etkileri birçok bilim adamına yeni enerji sistemleri hakkında ilham kaynağı olmuştur [3]. Adını taşıyan dizel motorun mucidi Rudolph Diesel, toz kömüründen fıstık yağına kadar değişen yakıtlarla deneyler yapmıştır [4]. Birçok araştırmada geleneksel motorlarda bitkisel yağlar kullanılmış ve yüksek viskozite, düşük uçuculuk ve çoklu doymamışlık sorunları nedeniyle performansın düşük olduğu belirlenmiştir [5].

Otomotiv alanında seramik kaplamaların kullanılmasının sebepleri; emisyonları azaltması, motorun termal verimini artırması ve yanmayı iyileştirmesidir. Kaplama işlemi sayesinde motor parçalarının zor çalışma şartlarına karşı mukavemeti artmaktadır. Yapısal olarak deformasyonlar

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elazığ, TÜRKİYE

<sup>2</sup>Batman, TÜRKİYE

<sup>3</sup>Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, 12000 Bingöl, TÜRKİYE

\*Sorumlu yazar E-posta: [esap@bingol.edu.tr](mailto:esap@bingol.edu.tr)

minimumu indirgenebilmektedir [6]. Seramik kaplamalar metallere göre aşınmaya karşı daha dirençlidir [7]. Dizel yakıtlarında küçültür içeriği hem korozyon hem de partikül oluşumu bakımından son derece sakıncalıdır. Su, tuzlu su ve tortular korozyona sebep oldukları için yakıt içerisinde istenmeyen bileşenlerdir [8].

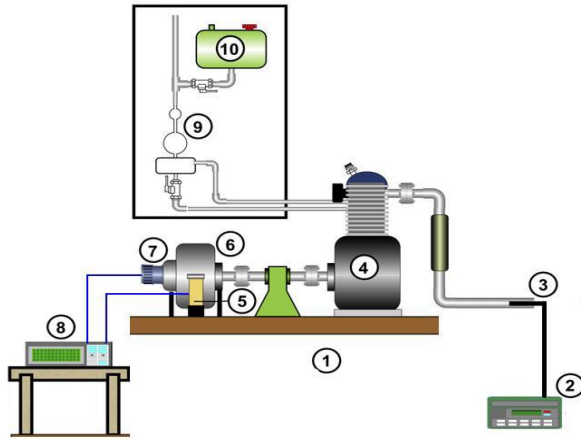
İçten yanmalı motorlarda silindir içerisinde yüksek sıcaklık, ani basınç artışları, sürtünme, termal gerilmeler ve aşınma gibi olumsuz durumlar meydana gelmektedir. Bu durumlara maruz kalan malzeme yüzeylerinde, deformasyon ve hasarlar oluşmakta ve malzemenin yüzey kalitesi bozulmaktadır. Dolayısıyla motorun verimi azalmakta ve düzensiz yanma sonunda çevreye zarar vermektedir [9]. Malzeme yüzeyine yapılan kaplamalar, bu olumsuz etkileri ortadan kaldırır. Bir malzemenin yüzeyinde yapılan değişikliklere yüzey işlemleri denir [10]. Bazı metalik malzemelerde, maruz kaldığı olumsuz şartlar nedeniyle yüzey kaplama işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır [11].

Hava kirliliği sorunlarına yol açan petrol türevi yakıtların yanması neticesinde ortaya çıkan CO (Karbonmonoksit), HC (Hidrokarbon), NO<sub>x</sub> (Azotoksit) ve partikül emisyonları havayı kirleterek çeşitli sağlık problemlerine yol açmaktadır. Bu sebeple egzoz emisyonlarını minimum seviyelere indirmek için yapılan çalışmalar büyük önem arz etmektedir [12].

Bu çalışmada badem yağı ve dizel yakıt karışımları, tek silindirli bir dizel motorda alternatif yakıt olarak kullanılmıştır. Bu çalışmanın amacı, dizel motorlarda alternatif dizel yakıt olarak badem yağı gibi ham bir bitkisel yağ kullanmanın dizel motorun performans ve emisyonlara etkilerini araştırmaktır.

## 2. Materyal ve Yöntem

Deney motoru olarak, silindir hacmi 406 cc, gücü 10 HP, tek silindirli, hava soğutmalı ve dört zamanlı Rainbow marka bir dizel motor kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan motor test düzeneği aşağıdaki şekilde verilmiştir. Bunlar; 1) Motor Test Yatağı Şasisi 2) Egzoz Emisyon Cihazı 3) Gaz Analiz Cihazı Sondası 4) Tek Silindirli Dizel Motoru 5) Yük Ayarı 6) Dinamometre 7) Takometre 8) Kontrol Ünitesi 9) Yakıt Ölçüm Ünitesi 10) Yakıt Tankı'dır.

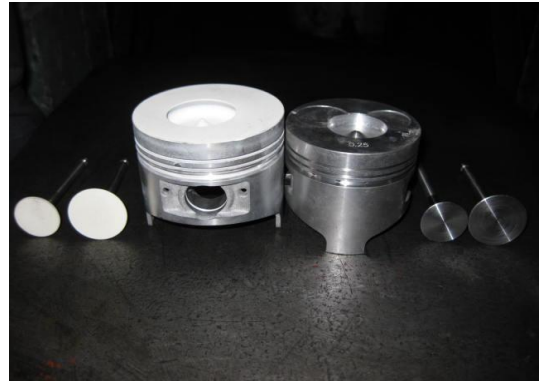


Şekil 1. Motor test düzeneği şematik resmi

Deney motorunun teknik özellikleri Tablo 1'de görülmektedir. Deney motorunun piston başı, emme ve egzoz supaplarının yüzeyleri ZrO<sub>2</sub> seramik malzeme ile kaplanmıştır. Bu yöntemle deney motoru düşük ısı kayıplı bir motora dönüştürülmüştür. Kaplanmış ve kaplanmamış motor parçalarına ait resimler Şekil 2'de görülmektedir.

Tablo 1. Deneyde kullanılan motora ait teknik özellikler

Markası	Rainbow-186 Dizel
Püskürtme sistemi	Direkt püskürtmeli
Silindir sayısı	1
Strok hacmi	406 cc
Sıkıştırma oranı	18/1
Maksimum moment	25,21 Nm (1800 d/d'da)
Maksimum güç	10 HP
Maksimum motor devri	3600 d/d ±20
Soğutma sistemi	Hava soğutmalı
Püskürtme basıncı	19,6±0,49 Mpa (200 ±5 Kg/f/cm <sup>2</sup> )
Ortalama piston hızı	7,0 m/sn (3000 d/d'da)



Şekil 2. Motor parçalarının kaplanmış ve kaplanmamış fotoğrafları

Deneylerde kullanılan BT-140 model hidrolik dinamometre, 50 KW güç ve 7500 d/d maksimum devire sahiptir. Hidrolik dinamometrenin teknik özellikleri Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2. Motor test cihazının teknik özellikleri

Fren Modeli	BT-140
Maksimum frenleme gücü	50 HP
Maksimum devir	7000 d/d
Maksimum moment (Tork)	250 Nm
Yük hücresi kapasitesi	1000 N
Maksimum güç için su sarfiyatı	V maks. 0,75 m <sup>3</sup> /h
Fren suyu basıncı	1-2 Kg/cm <sup>2</sup>
Fren kontrol tipi	Kayıcı fan perdeleri ile
Ağırlık sistemi	Metrik-Elekt. Yük Hücresi
Fan adedi	1
Elektrik ihtiyacı	220/380 V. 50 Hz.
Dönüş yönü	Sağ dönüşlü

Tablo 3'te Bremze tezgâhına ait teknik özellikler görülmektedir. Bremze tezgâhının üzerinde motor devri, beygir gücü ve motor momentini gösteren ekranlar mevcuttur. Motora uygulanan yük % 10'arlık dilimlerde kademeli olarak azaltılıp artırılabilir.

Tablo 3. Bremze tezgâhı teknik özellikleri

Modeli	PC101BMS
Doğruluk sınıfı	% 0,2
Hassasiyet	± 1 Digit
Ölçüm hızı	5 ölçüm / saniye
Ağırlık ölçüm tipi	Lineer (Yük Hücresi-Load-Cell)
Devir ölçüm giriş tipi	Manyetik algılayıcı
Güç sarfiyatı	16 W
Çalışma ortam sıcaklığı	0-50° C
Çalışma gerilimi	220±%5 VAC
Çıktı	Döküm almak için paralel yazıcı bağlı

Yakıt tüketim değeri için yaklaşık bir saatlik tüketim baz alınmaktadır. Bir kap içinde hareket eden yakıt yüzeyinin iki ölçü çizgisi arasından geçme süresi kronometre ile tespit edilmektedir. Böylece, bir saatteki yakıt tüketimi belirlenmektedir. Bu değerın yakıtın yoğunluğu ile çarpılmasıyla yakıt tüketimi tespit edilmektedir. Şekil 3'te yakıt ölçüm düzeneği görülmektedir.



Şekil 3. Yakıt tüketimi ölçüm ünitesi

Şekil 4'te görülen CAPELEC CAP 3200 marka gaz analiz cihazında badem yağı ve dizel yakıt karışımlarının yanması sonucu oluşan atık gazların analizi yapılmıştır. Tablo 4'te bu cihaza ait teknik özellikler görülmektedir.



Şekil 4. Gaz analiz cihazı

Tablo 4. CAPELEC CAP 3200 marka gaz analiz cihazının teknik özellikleri

Parametre	Ölçme Aralığı	Hassasiyet
HC	0-20000 ppm	1 ppm
CO <sub>2</sub>	%0-20	%0,1
CO	%0-15	%0,001
O <sub>2</sub>	%0-21,7	%0,01
Lambda	0,6-1,2	0,001
NO <sub>x</sub>	0-5000 ppm	1 ppm

Deneylerden önce motor yağı ve hava filtresi değiştirilmiştir. Motor çalışma sıcaklığı 90 °C'ye ulaştıktan sonra veriler kayıt altına alınmıştır ve deney süresince bu sıcaklık muhafaza edilmeye çalışılmıştır. Yeni bir deneye motor bir süre dinlendirildikten sonra başlanmıştır. Deneyler önce kaplanmış motorda yapılmıştır. Dizel yakıtı (D2) ve badem yağının yakıt karışım oranları belirlenmiştir. Daha sonra kaplanmamış motorda deneyler, aynı yakıt ile yapılmıştır. Her bir deney 3 kez tekrarlanmış ve aritmetik ortalamaları alınarak sonuçlar belirlenmiştir. Bütün yakıtlar

için motor performansı ve egzoz emisyonlarının tespiti motor tam gaz konumunda belirlenmiştir. Deney motoru; 1200, 1700, 2200 ve 2700 devir bantlarında çalıştırılmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

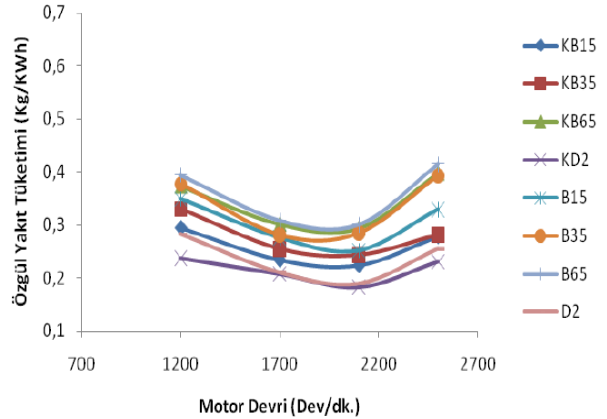
Dizel yakıtı ve badem yağı karışımları ile bu karışımların ZrO<sub>2</sub>(Zirkonyumoksit) kaplanmış ve kaplanmamış dizel bir motorda ilk önce motor performans deneyleri yapılmıştır. Motor performans deneyleri sırasıyla; Özgül yakıt tüketimi, Efektif güç ve Motor momenti testleridir. Daha sonra egzoz emisyon deneyleri yapılmıştır. Bunlar sırasıyla; CO, CO<sub>2</sub>, HC ve NO<sub>x</sub> emisyon deneyleridir. Grafiklerde görülen "KB" kısaltması, kaplanmış dizel motordaki badem yağı karışım oranını, "KD" kısaltması, kaplanmış motor dizel yakıtını, "B" kısaltması, kaplanmamış dizel motorda kullanılan karışım badem yağını ve "D" kısaltması ise kaplanmamış motordaki dizel yakıtı ifade etmektedir.

#### 3.1. Motor Performansı

Motor performansı deneyleri olarak; Özgül yakıt tüketimi, Efektif güç ve motor momenti deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler Zirkonyumoksit kaplanmış ve kaplanmamış motorlar üzerinde yapılmıştır. Ayrıca deney yakıtı olarak da badem yağı karışımı ve dizel yakıt kullanılmıştır.

##### 3.1.1. Özgül Yakıt Tüketimi

Özgül yakıt tüketimi, bir motorda kütleli yakıt tüketiminin aynı koşullarda elde edilen motor gücüne oranı ile elde edilir. Başka bir deyişle özgül yakıt tüketimi kwh başına tüketilen yakıt miktarıdır [13].

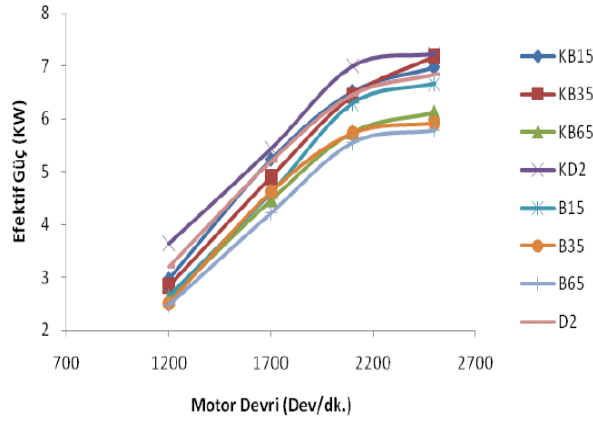


Şekil 5. Badem yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda özgül yakıt tüketimi grafiği

Deney yakıtı olan Badem yağının dizel yakıtı ile karışımları ve bu karışımların kaplamalı ve kaplamasız bir dizel motorunda test edilmesi ile elde edilen özgül yakıt tüketim değerleri Şekil 5.'te görülmektedir. Deney yakıtı için elde edilen özgül yakıt tüketimi değerleri, motorun orta devirlerinde en düşük değerlerde olduğu görülmektedir. Deney yakıtı karşılaştırıldığında hem kaplamalı hem de normal motorda en düşük özgül yakıt tüketimi değerleri, dizel yakıtından elde edilmiştir. Bunun nedeni, dizel yakıtının ısıl değerinin bitkisel yağlardan daha yüksek olmasıdır. Badem yağının kullanılması sonucunda özgül yakıt tüketiminde, kaplamalı motor, kaplamasız motora göre KD2'de % -8,55, KB15'te %-14,43, KB35'te % -17,03 ve KB65'te ise % -3,64 düşüşler tespit edilmiştir.

### 3.1.2. Efektif Güç

Elde edilen veriler tam yükte ve farklı devirlerdeki sonuçlardan elde edilmiştir. Şekil 6'da görüldüğü gibi dizel yakıtı ile karıştırılmış deney yakıtının kullanımından elde edilen efektif güç değerleri, devir sayısının artması ile beraber artış göstermiştir. Ancak çok yüksek devirlerde tekrar azalma eğilimine geçmiştir. Devir sayısındaki artış ile beraber motor gücündeki artışın nedeni, birim zamanda gerçekleşen çevrim sayısının artması ve birim zamanda tüketilen yakıt kütlelerinin artmasıdır [14]. Yüksek oranda badem yağı içeren yakıtların en düşük motor performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Deney yakıtı olan Badem yağının, dizel yakıtı ile belirli oranlardaki karışımlarının ve dizel yakıtının kaplamalı ve kaplamasız bir dizel motorunda kullanılması ile elde edilen efektif güç değerleri Şekil 6'da görülmektedir.

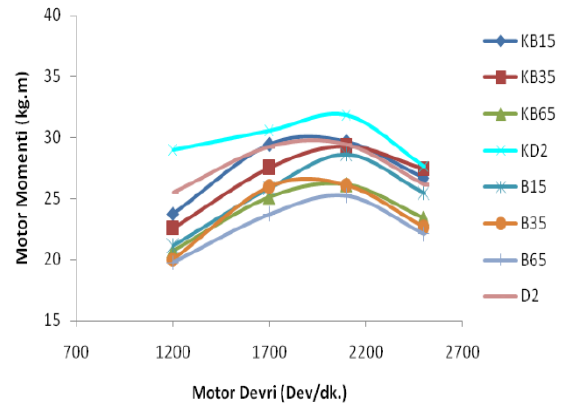


Şekil 6. Badem yağının kaplamalı ve kaplamasız motordaki efektif güç grafiği

Bitkisel yağların ısı değerinin düşük olmasından dolayı badem yağında yanma sonucu açığa çıkan ısı dizel yakıtından daha düşüktür. Kaplamalı ve kaplamasız motor deneyleri karşılaştırıldığında; test yakıtlarının, kaplamalı motorlarda kullanılması ile elde edilen güç değerleri, normal motordaki değerlerden daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni, motorun kaplanmasıyla silindir içerisinde yanma odasında oluşan sıcaklık artışıdır. Badem yağının kaplamalı ve normal motorda Efektif güç değerleri yüzdesel olarak karşılaştırıldığında; kaplamalı motorda, KD2'de % 7,41, KB15'te % 7,50, KB35'te % 13,72 ve KB65'te ise % 5,04'lik artışlar tespit edilmiştir.

### 3.1.3. Motor Momenti

Devir sayısına göre motor momentleri değerleri Şekil 7'de görülmektedir. Motor devrinin artmasıyla beraber motor momentleri değerleri önce bir miktar artış göstermiştir. Orta devirlerde ise maksimum değerleri aldıktan sonra hızlı bir şekilde azalmıştır. Bunun nedeni, artan motor hızıyla beraber hacimsel verim ve momentin düşmesidir. Badem yağları ile elde edilen yakıtların kullanılmasıyla moment değerleri, dizel yakıtına oldukça benzer çıkmıştır. Ancak bir miktar düşüşler görülmüştür. Bu düşüşün nedeni bitkisel yağın ısı değerlerinin düşük olmasıdır. Buna paralel olarak efektif basınç değerleri ve dolayısıyla motor gücü ve moment azalmaktadır. Motorun kaplama işleminin, test yakıtlarına göre değişimleri incelendiğinde, kaplamayla beraber motor silindirlerinin dışına olan ısı transferi azalmıştır. Bununla beraber silindir içi basınçların artmasından dolayı ortalama efektif basınç artmış ve moment değerleri bir miktar artış göstermiştir.



Şekil 7. Badem yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda moment grafiği

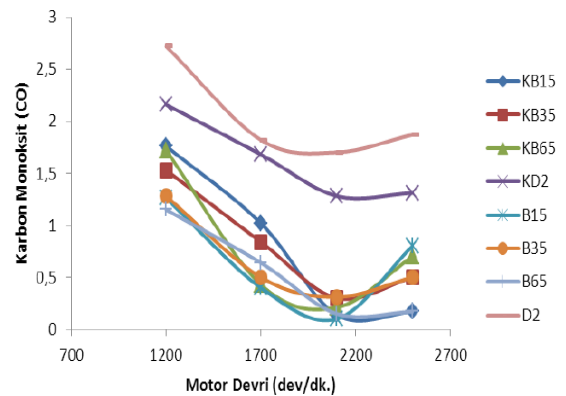
Deney sonuçlarından elde edilen verilere göre, badem yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda, motor momentlerinin yüzde değerleri karşılaştırıldığında, kaplamalı motorda, KD2'de % 7,98, KB15'te %8,38, KB35'te % 12,91 ve KB65'te ise % 5,03 artış tespit edilmiştir.

### 3.2. Egzoz Emisyonları

Egzoz emisyonları olarak; CO (Karbonmonoksit), CO<sub>2</sub> (Karbondiyoksit), HC (Hidrokarbon) ve NO<sub>x</sub> (Azotoksit) emisyon deneyleri yapılmıştır. Sonuçlar karşılaştırmalı olarak birbiri ile mukayese edilmiştir.

#### 3.2.1. CO Emisyonları

Badem yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda CO emisyonu grafiği Şekilde 8'de görülmektedir. Badem yağının dizel yakıtı ile karışımlarının dizel motorda kullanılmasıyla CO emisyonlarında önemli miktarda düşüşler meydana gelmiştir. Kaplamalı ve kaplamasız motorda yapılan deneyler karşılaştırıldığında, CO emisyonlarının kaplamalı motorda bütün yakıtlar için normal motora göre daha düşük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni; motorun kaplanmasıyla birlikte silindirden olan ısı transferi azalmıştır ve sıcaklık artmıştır. Bunlara paralel olarak tutuşma gecikmesi azalmakta ve yanma iyileşmektedir.



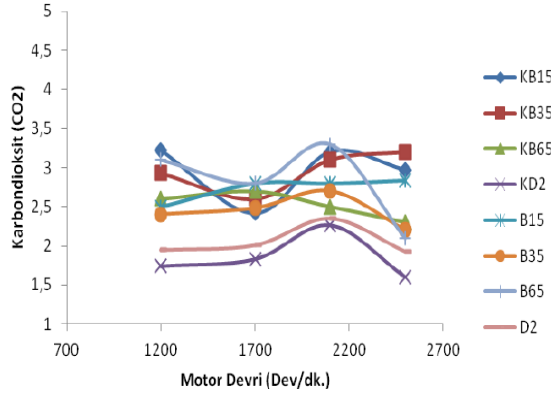
Şekil 8. Badem yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda CO emisyonu grafiği

Badem yağının kaplamalı ve normal motorda CO yüzde değerleri karşılaştırıldığında, kaplamalı motorda; KD2'de % -20,71, KB15'te % -4,45, KB35'te ve % -10,38 ve KB65'te % -13,93 azalma tespit edilmiştir.



### 3.2.2. CO<sub>2</sub> Emisyonları

Badem yağının dizel yakıtı ile karışımları ve dizel yakıtının kaplamalı ve normal motorda kullanılması ile elde edilen CO<sub>2</sub> emisyonları grafiği Şekil 9'da görülmektedir. Düşük devirlerde, dizel yakıtının kullanımından elde edilen CO<sub>2</sub> emisyonu değerleri, hem kaplamalı hem de kaplamasız motorda, badem yağı karışım yakıtlardan daha yüksek çıkmıştır. Devir sayısı arttıkça, badem yağı karışımı yakıtların CO<sub>2</sub> miktarları daha yüksek çıkmıştır. Bitkisel yağlar yüksek oksijen içeriğine sahiptir. Bu nedenle yüksek motor devirlerinde yanma daha iyi olur ve tam yanma ürünü olan CO<sub>2</sub> artar.

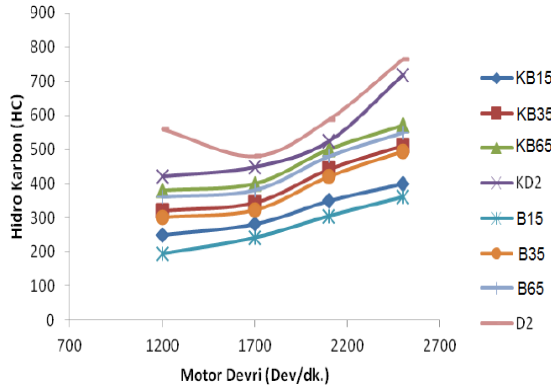


Şekil 9. Badem yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda CO<sub>2</sub> emisyonu grafiği

Badem yağının kaplamalı ve k motorda CO<sub>2</sub> yüzde değerleri karşılaştırıldığında, kaplamalı motor KD2'de % -6,06 ve KB65'te % -10,61 azalma ve KB15'te % 7,95 ve KB35'te % 28,86 artış tespit edilmiştir.

### 3.2.3. HC Emisyonları

Badem yağının dizel yakıtları ile bazı oranlarda karışımlarının dizel motorda kullanılması ile oluşan HC emisyonları Şekil 10'da görülmektedir.



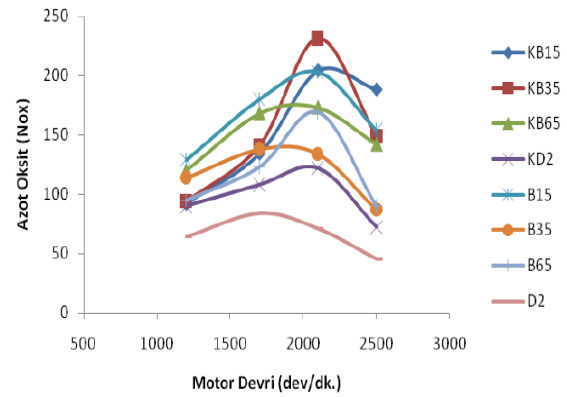
Şekil 10. Badem yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda HC emisyonu grafiği

Kaplamalı motorda karışım yakıtların kullanılmasıyla HC emisyonlarının azaldığı tespit edilmiştir. Kaplanmış motordaki HC emisyon değerlerinin kaplanmamış motora göre daha az olduğu tespit edilmiştir. Kaplamalı motorda HC emisyonlarının azalmasının nedeni, yanma odasından motor dışına ısı transferinin azalması ile beraber sıcaklıkların artmasıdır. Ayrıca yanma sonu sıcaklıklarının yüksek olması nedeniyle HC oksidasyonu egzoza kadar devam etmektedir.

Badem yağının kaplamalı ve normal motorda HC yüzde değerleri karşılaştırıldığında, kaplamalı motor KD2'de % -11,78 ve KB65'te % -17,86 azalma ve KB15'te % 3,88 ve KB35'te %3,35 artış olduğu tespit edilmiştir.

### 3.2.4. NOx Emisyonları

Badem yağlarının dizel yakıtı ile hacimsel karışımları ile dizel yakıtının kaplamalı ve normal bir dizel motorunda kullanılması ile oluşan NOx emisyonlarının motor devirlerine göre değişimi Şekil 11'de görülmektedir. Badem yağı yakıtı için NOx emisyonları, motorun kaplanmasıyla beraber artış göstermiştir. Bu artışın nedeni motorun kaplanması ile beraber silindir içi sıcaklıkların yükselmesidir. Genel olarak badem yağları karışımları ile dizel yakıtı karşılaştırıldığında dizel yakıtının daha düşük NOx emisyon değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Badem yağlarının yüksek oksijen içeriğinden dolayı yanma sonu sıcaklıkları yüksek değerlere çıkmakta ve bu da NOx emisyonlarının artmasına neden olmaktadır.

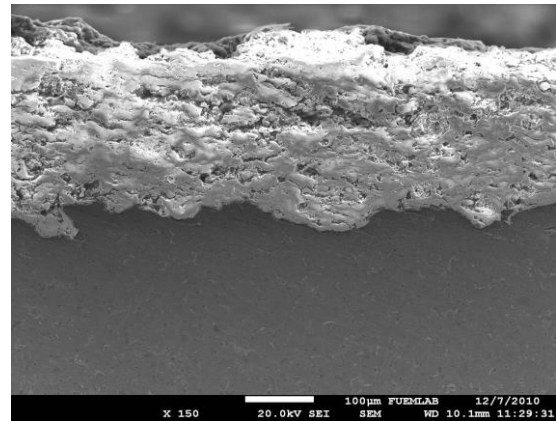


Şekil 11. Badem yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda NOx emisyonu grafiği

Badem yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda NOx değerleri karşılaştırıldığında, kaplamalı motor KD2'de % 48,48, KB35'te % 30,02 ve KB65'te % 26,41 ve KB15'te % 21,15 artış olduğu tespit edilmiştir.

### 3.3. Mikroyapı İncelemeleri

Deney motorunun ZrO<sub>2</sub> seramik malzeme ile kaplanmış olan piston kesitinden alınan numunenin x150 büyütmedeki SEM görüntüsü Şekil 12'de görülmektedir. Kaplama tabakası ve ana malzeme net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 12. Piston kesit yüzeyinden alınan SEM görüntüsü (x150)

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada badem yağı bir dizel motorda yakıt olarak kullanılmıştır. Badem yağı, dizel yakıtı ile %15, %35 ve %65 oranlarında hacimsel olarak karıştırılmıştır. Bu karışım yakıtlar ve normal dizel yakıtı, 4 zamanlı, tek silindirli ve hava soğutmalı bir dizel motorda kullanılmıştır. Daha sonra bu motor düşük ısı kayıplı bir motora dönüştürülmüştür. Motorun piston yüzeyi, emme ve egzoz supaplarının yüzeyleri ZrO<sub>2</sub> seramik malzeme ile kaplanmıştır. Daha sonra deney yakıtları kaplamalı kaplamasız motorda test edilmişlerdir. Elde edilen veriler sabit yükte ve farklı devirlerdeki sonuçlardan elde edilmiştir. Kaplamalı ve kaplamasız motordaki test sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmış ve aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

- Kaplamalı ve normal motor deneyleri karşılaştırıldığında; test yakıtlarının kaplamalı motorlarda kullanılması ile elde edilen güç değerleri genel olarak kaplamasız motordaki değerlerden daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni, motorun kaplanmasıyla beraber silindir içerisindeki sıcaklık artışıdır.
- Deney yakıtları karşılaştırıldığında, badem yağından elde edilen yakıtların kullanılması ile elde edilen moment değerleri dizel yakıtına oldukça benzer çıkmıştır. Ancak bir miktar düşüşler görülmektedir. Bu düşüşün nedeni badem yağının ısı değerlerinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Buna bağlı olarak ortalama efektif basınç değerleri, motor gücü ve motor momenti azalır. Kaplanmış motorda ise ısı transferinin azalmasıyla beraber silindir içi basınç artmıştır. Dolayısıyla, ortalama efektif basınç ve moment değerleri de bir miktar artış göstermiştir.
- Hem kaplamalı hem de kaplamasız motorda en düşük özgül yakıt tüketimi değerleri, dizel yakıtından elde edilmiştir. Bunun nedeni, dizel yakıtın ısı değeri badem yağından daha yüksektir. Aynı motor gücünü verebilmesi için daha fazla kütleli yakıt tüketimi gerekmektedir. Kaplamalı ve normal motor karşılaştırıldığında motorun kaplanmasıyla beraber ısı verim artmış ve dolayısıyla özgül yakıt tüketimi değerleri de azalmıştır.
- Kaplanmış motorda HC ve CO emisyon değerleri, kaplanmamış motora göre daha düşüktür. Kaplamalı motorda HC ve CO emisyonlarının azalmasının nedeni, silindir içerisindeki ısı transferinin azaltılmasıdır. Ayrıca yanma sonu sıcaklıklarının yüksek olması nedeniyle HC ve CO oksidasyonu egzoz kadar devam eder. Karışım yağların HC ve CO emisyonlarının dizel yakıtına göre daha düşük olmasının nedeni ise badem yağının kimyasal yapısında bulunan oksijen içeriğidir. Bu içerik yanmayı iyileştirir ve eksik yanma ürünlerinden olan HC ve CO emisyonlarını azaltır.
- Genel olarak deney yakıtları için NO<sub>x</sub> emisyonları motorun kaplanmasıyla beraber artış göstermiştir. Bu artışın nedeni motorun kaplanması ile beraber silindir içi sıcaklıkların yükselmesidir. Badem yağı içerisinde bulunan oksijenin yüksek olması, yanma sonu sıcaklığı artırır ve sıcaklık arttıkça NO<sub>x</sub> emisyonları da artar.
- Performans testi sonuçları, motor performansının Badem yağı kullanımı ile bir miktar düştüğünü göstermiştir. Ancak motorun kaplanmasıyla beraber

badem yağı kullanımı ile kaplamalı motorda performans parametreleri, artışlar göstermiştir. Emisyon testi sonuçlarına gelince, hem kaplamasız hem de kaplamalı motorda badem yağı kullanımı ile CO ve HC emisyonları azalmıştır. Ancak hem badem yağı kullanımı hem de motorun kaplanması işlemleri nedeniyle NO<sub>x</sub> emisyonu değerleri artışlar göstermiştir.

#### Kaynaklar

- [1] Venkanna B., Venkataramana C., Reddy B., and Swati B., Performance emission and combustion characteristics of direct injection diesel engine running on rice bran oil/diesel fuel blend. *Int. J. Chem. Biol. Eng.*, 2(3), 131–137, 2009.
- [2] Venkanna B. and Reddy C., Performance, emission and combustion characteristics of DI diesel engine running on blends of honne oil/diesel fuel/kerosene. *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, 4(3), 1–10, 2009.
- [3] Yüksel B., Yüksel F., The use of ethanol-gasoline blend as a fuel in an SI engine. *Renew. Energy.*, 29(7), 1181–1191, 2004.
- [4] Acharya M., Swain RK., The use of rice bran oil as a fuel for a small horse-power diesel engine. *Energy Sources*, 33(1), 80–88, 2009.
- [5] Misra R. and Murthy M., Straight vegetable oils usage in a compression ignition engine-A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 14, 3005–3013, 2010.
- [6] Ahmaniemi S. and Vuoristo P., Mechanical And Elastic Properties Of Modified Thick Thermal Barrier Coatings. *Mater. Sci. Eng. A366*, 175–182, 2004.
- [7] Hazar H., Şap S. and Şap E., Bir dizel motorda dış plazma sprey yöntemiyle Cr3C2 kaplanmış egzoz borusunun incelenmesi. *Türk Doğa ve Fen Derg.* 6(1), 11–18, 2017.
- [8] Aydın H. and Bayindir H., Performance and emission analysis of cottonseed oil methyl ester in a diesel engine. *Renew. Energy*, 35(3), 588–592, 2010.
- [9] Şap S. and Hazar H., İç ve Dış Plazma Sprey Yöntemiyle Cr3C2 Kaplanmış Egzoz Borusunun İncelenmesi. *Fırat Üniversitesi Fen Bilim. Derg.* 29(7), 14, 2017.
- [10] Özel S., Somunkıran İ. and Kurt B., Düşük Karbonlu Çelik Yüzeyine FeCr+Mo Tozunun PTA Yöntemi İle Alaşımlandırılması. *Journal of Technical-Online*, 6(1) 329–332, 2006
- [11] Sarıkaya E., Anık Ö., Çelik S., Plazma Püskürtme Yöntemiyle Al-%12 Si Ana Malzemesi Üzerine Al-Si+B4 C Kaplamaların Hazırlanması ve Kaplama Özelliklerinin İncelenmesi. 325–332, 2004
- [12] Keck J., Turbulent flame structure and speed in SI engines. 1451–1466, 1982
- [13] Gürbüz Ö., Piston ve Supapları ZrO<sub>2</sub> Kaplanmış Bir Dizel Motorunda Bitkisel Yağın Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, 2013.
- [14] Özsezen A. N. and Çanakçı M., Biyodizel ve Karışımlarının Kullanıldığı bir Dizel Motorda Performans ve Emisyon Analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim. Derg.*, 15(2), 173–180, 2009.