

Çitlembik Yağı Biyodizelinin Motor Performansı ve Emisyonlarına Etkisi

Bekir ÇIRAK^{1*} Sabit KORÇAK² Abdulkadir YÖRÜK³

¹Siirt Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Siirt
bekircirak@mynet.com

²Artvin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Artvin
skorcak@artvin.edu.tr

³Siirt Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Siirt
yorukabdulkadir@hotmail.com

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, bir dizel motorunda, motorin ile çitlembik yağı karışımları kullanarak motor performansına etkilerini araştırmaktır. Rafine çitlembik yağından transesterifikasyon yöntemiyle elde edilen ve biyodizel olarak adlandırılan çitlembik yağı biyodizelinin (ÇYBD), bir dizel motorunda kullanılması sonucu elde edilen motor performans karakteristikleri emisyon değerlerindeki değişimler dizel yakıtı ile karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir. Yapılan bu çalışmada çitlembik yağı metil esterine dönüştürülmüş ve hacimsel olarak % 60 oranında dizel yakıtı ile karıştırılmıştır. Yapılan kısa süreli deneylerde çitlembik yağı metil ester ve dizel yakıtı karışımında bir sorun olmadan alternatif yakıt olarak kullanılmıştır. Yapılan testlerde yakıtın kullanımı ile ilgili önemli bir sorunla karşılaşılmamıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, Transesterifikasyon, Motor Performansı, Çitlembik

Effects of Celtis Oil Biodiesel on Engine Performances and Emissions

ABSTRACT

The purpose of this study, in a diesel engine, diesel oil and hackberry investigate the effects on engine performance using mixtures. Refined hackberry oil through transesterification obtained with the method and biodiesel called hackberry biodiesel of (ÇYBD) is a diesel engine performance characteristics obtained through the use of the engine changes in emissions were evaluated and compared with Diesel fuel. Oil methyl ester was converted into hackberry made in this study and 60% by volume is mixed with the diesel fuel. made in short-term experiments hackberry oil methyl ester and is used without a problem in diesel fuel as an alternative fuel mixture. In tests it not faced with an important question about the use of the fuel.

Key Words: Biodiesel, Transesterification, Engine Performance, Celtis

1. Giriş

Biyodizel, organik yağların baz ve alkolle karıştırılarak dizel yakıtı çevirilmesi sonucu elde edilen üründür. Biyodizel gliserinin, bitkisel yağdan ayrıldığı transesterleşme adı verilen bir kimyasal süreçle elde edilir. Bu işlem sonucunda geriye iki ürün kalır metil esterler (biyodizelin kimyasal adı) ve gliserin (genellikle sabun ve kostik gibi diğer ürünlerde kullanılan bir yan ürün) dür. Yağlı tohum bitkilerinden elde edilen yağların veya hayvansal yağların bir katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya

etanol) reaksiyonu sonucunda açığa çıkan ve yakıt olarak kullanılan bir üründür. Dizel motorlar için yakıt olarak bitkisel yağların kullanılması yeni değildir. Bitkisel yağlar petrol kaynaklı yakıtlardan daha pahalı olduğu için kabul görmemiştir. Petrol fiyatlarının artması ve petrolün bulunmasının zorlaşması, dizel motorlar için bitkisel yağları yeniden ilginç hale getirmiştir. Bunun yanında, başta metropol kentler olmak üzere yaşanan hava kirliliği problemi artık küresel ısınma boyutunda etkiler ortaya koymaktadır. Yıllar itibariyle sürekli artış gösteren motorlu taşıt sayısına bağlı olarak artan taşıtlardan kaynaklanan egzoz emisyonları artık tehlike boyutların üzerine çıkmaktadır. Neticede dünyada birçok yerde, yönetimlerce emisyonları kısıtlayıcı yasal düzenlemeler yapılmakta ve bu düzenlemeler gün geçtikçe daha da daralan limitler ortaya çıkarmaktadır (Özrenk K., Vd. 2012).

Motorlu araç sayısının hızla artması, bu araçların tükettikleri yakıt miktarlarının da artmasına neden olmaktadır. Motorlu araçlardan kullanılan petrol ürünü yakıtların sonlu olmasından dolayı bu yakıtlara alternatif olabilecek yakıtların araştırılması büyük bir önem taşımaktadır. Mevcut araçların üzerinde herhangi bir değişiklik yapmadan kullanılacak alternatif yakıtlar ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. Bu önemli çalışmalardan biri de bitkisel yağ kullanım çalışmalarıdır. Dizel yakıtına göre çitlembik yağının viskozitesi oldukça yüksektir. Yüksek viskoziteden dolayı püskürtme zorlukları ortaya çıkmakta ve iyi bir atomizasyon sağlanamamaktadır. Buna bağlı olarak da iyi bir yanma elde edilememektedir. Son yıllarda özellikle hidrojen yakıtlar üzerinde oldukça yoğun çalışmalar sürdürülmektedir. Yakıt hücrelerinde uygulanabilmesi ve yakıt kullanımı sonucu sera etkisine sebep olan CO₂ gibi bir emisyonu üretmemesi hidrojenin en büyük avantajı olarak görülmektedir. Ancak hidrojenin araç üzerinde depolama güçlüğü, taşıtlarda yakın gelecekte yaygın olarak kullanımı için önemli bir sorun oluşturmaktadır. Mevcut dizel motorlu araçlarda çok fazla modifikasyona gereksinim duyulmadan yakıt olarak kullanılabilmesi, yerel kaynaklardan üretilmesi, yenilenebilir bir yakıt olması, oksijene bağlı olarak iyi yanma karakteristikleri göstermesi gibi avantajları sebebiyle biyodizel son yıllarda üzerinde çalışılan bir alternatif yakıt olarak ortaya çıkmaktadır. (İlkılıç C. 2007).

Literatür çalışmalarında bitkisel yağın motorlarda kullanımı ve viskozitenin azaltılması için uygulanacak en uygun metodun transesterifikasyon yoluyla biyodizel elde etme olduğu açıkça vurgulanmaktadır. Transesterifikasyon ayrıca bitkisel yağın teknik

özelliklerini iyileştirmekte ve modern dizel motorlarında kullanılabilir duruma getirmektedir. Biyodizelin motorlarda kullanımı için en avantajlı yönünün oksijen içeriği olduğu söylenebilir. Bundan dolayı motorine göre daha iyi yanma karakteristikleri göstermesi neticesi is emisyonlarında düşük değerler görülmektedir. Diğer yenilenebilir yakıtlar gibi doğada kolayca çözünebilir, zehirli değildir ve sülfür içermez. Bitkiler tohumlarında içerdikleri karbonhidratlardan yağları sentez ederek meyve ve çekirdeklerinden sentez edilen bu yağları depo etmektedirler. Tohumların çeşitli işlemlerden geçirilmesi ve sıkıştırılması sonucu içerdikleri yağları dışarı verirler. Elde edilen bu yağlardan, sıkıştırma, depolama ve diğer işlemler sonucunda bir çok yağ asidi oluşmaktadır. Bitkisel yağlar, trigliserid diye adlandırılan bir gliserol molekülüne bağlanmış üç yağ asit moleküllerinin zincirlerinden yapılmıştır. bitkisel bir yağ olan çitlembik yağı da benzer şekilde bir çok yağ asidi içermektedir (Keskin A., Ekşi A. 2006).

Balıkesir yöresinde yağlı çitlembik adı verilen bu çitlembiğinin çekirdekli, sulu, nohut büyüklüğünde ve fıstık tadında olan meyveleri olgunlaştığında vişne kırmızısı rengini göstermektedir. Bu çitlembiğin ağaçları; 8-10 m'ye kadar boylanabilen, Mart-Nisan aylarında çiçek açan ve kışın yaprağını döken bir meyve türüdür. Genellikle tarım alanlarının etrafında kenar ağacı olarak kullanılabilirdiği gibi yakacak olarak da değerlendirilmektedir. Çitlembik meyvelerinden elde edilen yağ asidi metil esterleri bileşenlerinin kimliğini ve konsantrasyonu belirlemek için yağlı asit analizine tabi tutulmuştur. Metil oleat (% 25.7), metil palmitat (% 22.2), metil tricosanoate (% 13.3), metil lineolate (% 7.8), metil dotriacentanoate (% 2.6) ve metil acetylhydroxypalmitate (% 2.1), toplam yağ asidi bileşimi (95,455%) olmak üzere yağlı asit analizi gerçekleştirilmiştir. Şeker içeriğine bakıldığında, glikozun (0.84-9.96 g/100g) meyve eti ve iç çekirdekte diğer şekerlerden daha yüksek olduğu saptanmıştır. İncelenen çitlembik meyvelerinin besin elementleri içeriklerine bakıldığında kalsiyumun (Ca) (% 6.510-9.303) diğer besin elementlerinden daha yüksek olması dikkat çekmektedir. Bunun yanında meyvelerinin çok lezzetli ve besleyici olmasından dolayı, çiftlik hayvanları için yeşil yem olarak da kullanılmaktadır. Ayrıca tatlı olan meyvelerinin besin değerlerince zengin ve lezzetli olması bu meyve türünün yenilmesine imkan sağlamaktadır. Bunun yanında çitlembik meyveleri antiseptik etkiye sahip, mide spazmlarını gidermede, yaraların iyileşmesini sağlamada ve

kum dökmede etkili olabilmektedir. Ayrıca meyve, yaprak, tohum ve sakızlarının kullanılması ve son yıllarda güzel kokulara artan ilgi nedeniyle kozmetik sanayisinde de kullanılmaktadır. Ayrıca çitlembik ağaçlarının odunu dayanıklı ve elastiki olmasından kasnak, yayık sopası, kaşık, baston, kürek, tarım aletleri gibi çeşitli malzemelerin ve binaların yapımı ile oymacılıkta, kerestesi ise kağıt yapımında kullanılmaktadır (Yücel H.L. 2008).

2. Materyal ve Metod

Bu çalışmada kullanılan çitlembik, özellikle Marmara bölgesi Balıkesir civarında bulunan çitlembik olup, adıyla anılan çitlembik ağacında bir meyve olarak bulunmaktadır. Çitlembik (çetlemik) ağacında iki çeşiti vardır. Yağlı çitlembik ve ağacı, yağsız çitlembik ve ağacıdır. Yapılan çalışmada yağlı olanı tercih edilmiştir. Anadolu'da bittim meyvesi ile çetlemik meyvesi karıştırılmaktadır. Ancak biraz dikkatlice incelendiğinde aynı olmadıkları anlaşılır. Burada yapılan çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. Halk arasında yağlı çetlemik adı verilen çitlembik ağacından olgunlaşmış halde toplanan meyve Şekil 1' de gösterilmiştir.



Şekil 1. Yağlı çitlembik meyvesi

% 60 oranında dizel (motorin) ve % 40 oranında karıştırılacak olan yağlı çitlembik yağı rafine edilmiş halde Şekil 2' de gösterilmiştir. % 60 oranında dizel (motorin) ve % 40 oranında karıştırılacak olmasının nedeni parlama (tutuşma) ve yanma kalitesinin daha iyi elde edilmesi içindir (Karabektaş M., Ergen G. 2007).



a - Dizel yakıt örneği



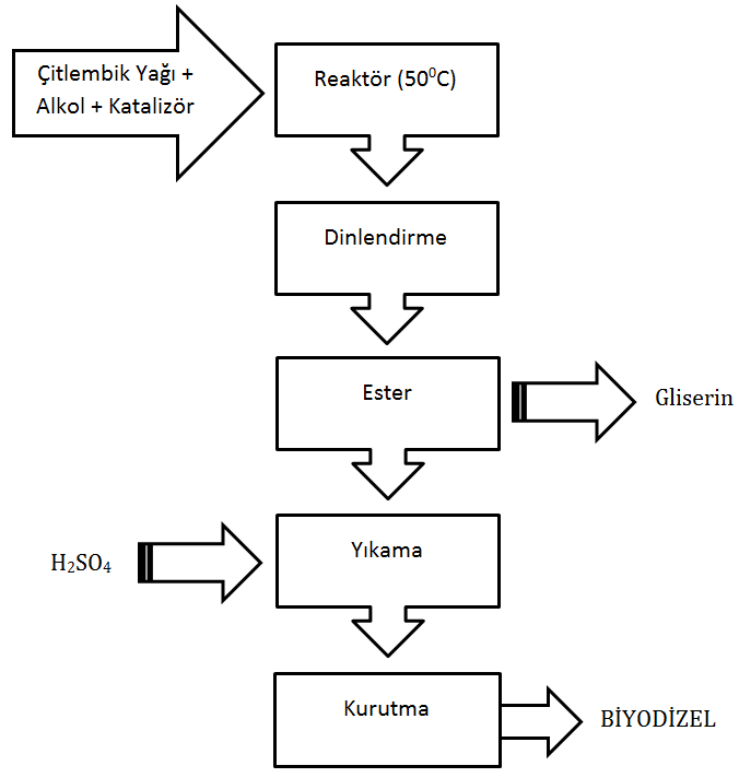
b - Biyodizel (ÇYBD) yakıt örneği

Şekil 2. Karışıma girecek yakıt örnekleri

Çalışmanın ilk aşamasında rafine çitlemik yağı kullanılarak transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel yakıtı olarak adlandırılan çitlemik yağı metil esteri (ÇYBD) elde edilmiş, yakıt özellikleri laboratuvar testleriyle belirlenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise üretilen biyodizel yakıtı, saf olarak bir dizel motorunda performans ve emisyon testlerine tabi tutulmuştur.

2.1. Biyodizel Üretimi

Biyodizelin ana kaynağı olan bitkisel yağı, direkt olarak saf halde mevcut dizel motorlarında kullanmak, yüksek yoğunluk, yüksek vizkozite, kötü filtreleme olanağı ve düşük buharlaşma özelliğinden dolayı yakıt sistemi ve motor çalışmasında birçok olumsuz etki ortaya koymaktadır. Bu problemlerin çözümü için yakıtın vizkozite değerlerini dizel yakıtına yakın değerlere indirmeye gerekliliği vardır. Bunun için bitkisel yağın ısıtılması dahil birçok metod denenmiştir. Şekil 3’de rafine bir yağın transesterifikasyon yöntemi uygulanarak metil estere dönüştürülmesi için uygulanan işlem akış diyagramı görülmektedir (Alp, D., Cirak, B., 2012).



Şekil 3. Çitlembik biodizelinin üretim işlem akış diyagramı

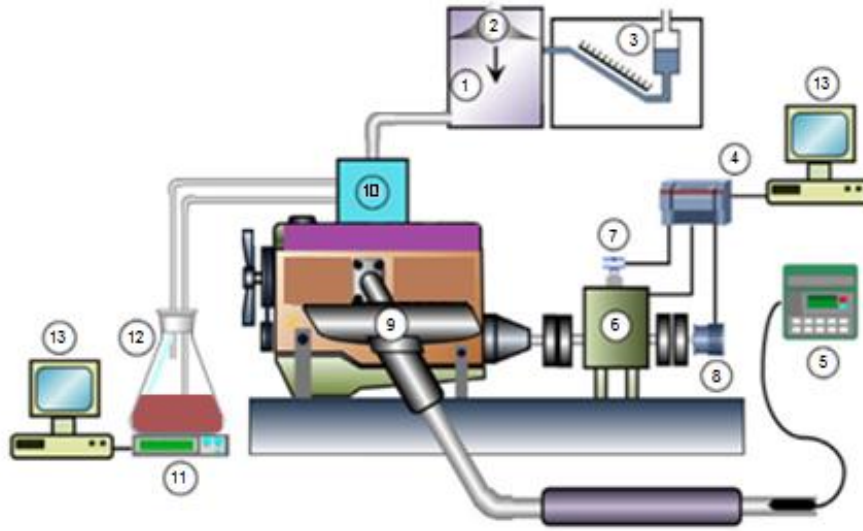
Üretilen biyodizel yakıtın analizleri ve dizel yakıtının özellikleri BATMAN / TÜPRAŞ'tan alınan değerler olarak belirlenmiştir. Üretilen ve deneylerde kullanılan yakıtların bazı özellikleri Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Dizel ve ÇYBD Yakıtlarının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri
(Batman-Tüpraş analiz sonuçları)

YAKIT ÖZELLİKLERİ	ÇY	D	ÇYME	%60 D + %40 ÇYME
Kinematik Vizkozite (mm ² /sn)(29°C)	30.215	3.24	4.78	4.05
Isıl Değer (kJ/kg)	39570	42549	40853	41750
Yoğunluk (kg/l)	0.96	0.83	0.70	0.77
Parlama Noktası (°C)	202	55	93	105
Setan Sayısı	115	45	49	47
Setan İndeksi	55	44	50	47
Kükürt (%)	0	0.27	0	0.11
Akma Noktası (°C)	-17	-21	-11	-14

2.2. Deney Düzenegi

Üretilen biyodizel yakıtı ile performans ve emisyon değerlerini belirlemek için gerekli motor deneyleri, Şırnak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 4’de deney düzeneğini oluşturan elemanlar ve bu elemanların birbirleriyle bağlantıları şematik olarak görülmektedir.



1- Hava Deposu, 2- Orifis, 3- Manometre, 4- Veri kaydedici, 5- Egzos gazı analizatörü, 6- Dinamometre 7- Transduser, 8- Takometre, 9- Egzos Manifoldu, 10- Enjektör, 11- Tartı cihazı, 12- Yakıt örneği, 13- Bilgisayar

Şekil 4. Motor ve Deney düzeneği

Deneylerde kullanılan motorun teknik özellikleri Tablo 2’de belirtilmektedir. Dizel yakıtı ve biyodizel yakıtının motor performans ve CO, NOx emisyonu değerlerini belirlemek amacıyla deney motoruna tam gaz ve değişik hız testleri uygulanmıştır. Motorun en iyi çalışma koşulları göz önüne alınarak, deney aralıkları; 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2600, 2800, 3000 d/dk olmak üzere 200 d/dk aralıklı olarak belirlenmiştir. Deneylerde yakıt olarak, saf dizel yakıtı ve saf biyodizel (ÇYME) kullanılmıştır.

Tablo 2. Deney motorunun teknik özellikleri

Marka/Model	Lombardini/6LD 400
Çalışma Prensibi	Enjeksiyonlu-4 Zamanlı
Silindir Sayısı	1
Silindir Çapı (mm)	97
Silindir Hacmi (cc)	86
Sıkıştırma Oranı	390

Maksimum Motor Gücü (BG)	18:1
Maksimum Moment (Nm)	6 (3000 d/dk)
Maksimum Hız (d/dk)	3000
Ağırlık (kg)	51
İlk Hareket	Dinamometre İle
Enjeksiyon Zamanı	30 ^o
Soğutma Sistemi	Hava Soğutmalı
Yakıt Deposu Hacmi (L)	5.2

2.3. Deneysel Çalışmalar

Yağların yakıt olarak kullanılması için ilk olarak viskozitelerini düşürecek işlemlere tabi tutulması gerekmektedir. Yağların viskozitesi ısıl ve kimyasal yöntem uygulanarak azaltılabilir. Kimyasal yöntemlerden biri transesterifikasyondur. Transesterifikasyon, bitkisel yağların alkolle reaksiyonu sonucu biyodizel oluşturmasıdır. Alkol olarak genellikle metanol ve etanol kullanılmaktadır. Polar olması, en kısa zincirli alkol olması, trigliseritlerle kolay reaksiyon vermesi sebebiyle metanol kullanımı daha yaygındır. Bitkisel yağın yapısındaki serbest yağ asidi oranı 1% den fazla olduğu durumlarda biyodizel üretmek için asit katalizör tercih edilir. Transesterifikasyon reaksiyonlarında asidik katalizör olarak hidrojen klorür, sülfürik asit, sülfonik asit kullanılır. Asit katalizörler, serbest yağ asitleri ve trigliseritleri yağ asidi metil esterine dönüştürebilmektedir, çünkü aynı anda hem esterleştirme, hem de transesterifikasyon reaksiyonu vermektedirler (Pramanik, K. 2003).

Bu çalışmada dizel motorları için bir alternatif yakıt olabilecek özelliklere sahip olan bitkisel yağlardan çitlembik yağı metil esterine dönüştürülmüştür. Dönüştürme sonucu elde edilen bu yeni yakıt dizel yakıtı ile hacimsel olarak % 40 oranında karıştırılmış ve tek silindirli bir dizel motorunda denenmiştir. Rafine edilmemiş çitlembik yağından üç defa daha küçük olan molekül ağırlıklı ester, çitlembik yağı için önemli bir değişimdir. Fosfolipidlerinden dolayı rafine edilmemiş çitlembik yağında esterleştirme mümkündür ve bu yolla serbest yağ asitleri uzaklaştırılır. Yağ asitlerin zincir yapısındaki son karbonunun çıkarılıp yerine metil kökünün eklenmesi ile o yağın metil esteri elde edilebilir. Bu çalışmada serbest yağ asitlerinin çok hızlı metil esterine dönüştürülmesi için %1 sülfürik (H₂SO₄) asit ihtiva eden metanol kullanılmıştır.

Ham çitlembik yağının örneği toluen içinde çözülerek % 1 oranında H₂SO₄ asitli metanol ile karıştırılıp 50 °C'lik yağ banyosundan 12 saat süreyle bekletilmiştir. Elde edilen bu yeni yakıt dizel yakıtı ile hacimsel olarak % 40 oranında karıştırılmış ve tek silindirli bir dizel motorunda denenmiştir. çitlembik yağı metil esterinin fiziksel özellikleri dizel yakıtına benzemektedir. Bu benzerlikten hareketle dizel yakıtına hacimsel olarak % 40 oranında ÇYME karıştırılmıştır. Dizel yakıtı (DY) ile çitlembik yağı metil esteri hacimsel olarak %40 ÇYME ve %60 DY karıştırılarak bir karışım elde edilmiş ve bu karışım uzun süre bekletilerek herhangi bir ayrışma gözlenmemiştir. Çitlembik yağı metil esteri ile dizel yakıtı karışımı kısa süreli deneylerde dizel motorunda değişik enjeksiyon basınçlarında denenmiştir. Deneylerde, bir test yatağı üzerinde bulunan ve teknik özellikleri Tablo 2'de verilen Lombardini, marka, 6 LD 400 model, dört zamanlı, direkt enjeksiyonlu, tek silindirli ve 18:1 sıkıştırma oranına sahip bir dizel motorundan yararlanılmıştır. Tablo 2'de verilen teknik özelliklere sahip bu dizel motoru, 2000 d/d'ya kadar 18 N.m. sabit moment veren bir alanda dönen ve bir doğru akım makinesi olan dinamometre ile beraber çalışmaktadır. Motor miline bağlı olan bir çark vasıtasıyla dönen dinamometrenin yüklenmesi bir voltaj dönüştürücüsü ile sağlanmaktadır. Elde edilen kuvvet, dinamometrenin merkezinden 0.45 m mesafede çalışan ve istenildiğinde kalibre edilebilen yük hücreleri ile ölçülmektedir. Ölçülen bu kuvvet motor momenti olarak hesaplanmakta ve bu moment de güce dönüştürülmektedir.

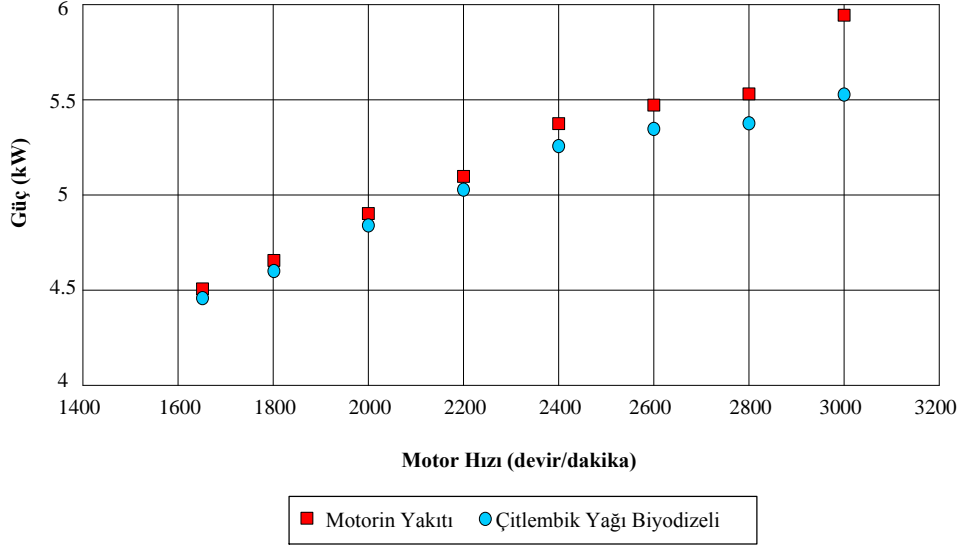
3. Bulgular

3.1. Motor Gücü

Bir yakıtın ısı değeri veya yanma ısısı yakıtın birim kütlesinin tamamen yanması halinde üretilen ısı miktarı olarak bilinir. Düşük enerjili bir yakıt yandığı zaman daha az ısı verir ve böylece düşük güç elde edilir (Labeckas, G., Slavinkas, S. 2005).

Dizel yakıtının ısı değeri 42549 kJ/kg olduğu halde çitlembik yağı metil esterinin ısı değeri yaklaşık % 4 azalma ile 39570 kJ/kg'dır. Kullanılan karışımın ısı değeri ise 40853 kJ/kg'dır. Dizel yakıt ve çitlembik yağı biyodizelinin güç değişimleri Şekil 5' de gösterilmiştir. Özellikle yüksek devirlerde çitlembik yağı biyodizeli ile ölçülen güç değerleri, dizel yakıt değerine göre azalmalar göstermiştir. çitlembik yağı biyodizeli ile güç değerinde meydana gelen maksimum

azalma 3000 d/d' da % 6.3 oranında olmuştur. Her iki yakıt için maksimum güç değeri 3000 d/d da ölçülmüştür. Dizel yakıt ile ölçülen maksimum güç değeri 5.9 kW iken, çitlembik yağı biyodizeli ile ölçülen maksimum güç değeri 5.6 kW dır.

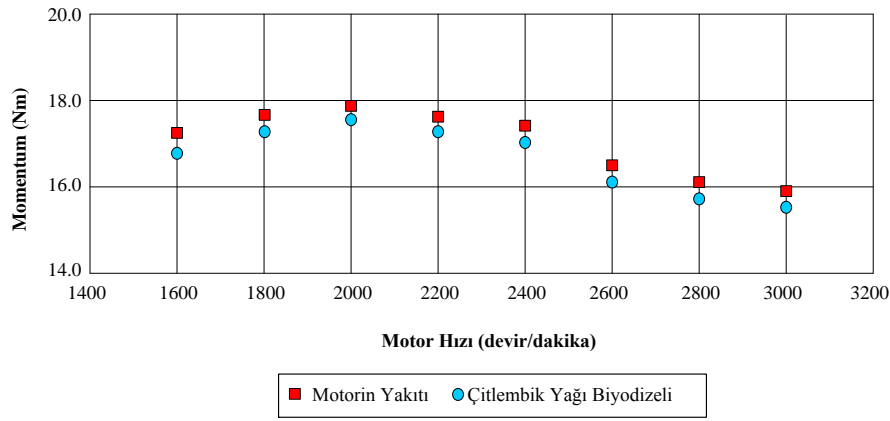


Şekil 5. Motor hızına bağlı olarak çitlembik yağı metil esteri ile dizel yakıtı karışımının motor gücüne etkisi

3. 2. Motor Momenti

Dizel motorlarında yakıt doğrudan yanma odasının içine bir enjektör vasıtasıyla püskürtülmektedir. Yanma odasına sürülen yakıtın belirli bir zaman, debi ve miktarda olması gerekir. Yakıtın yanma odasına püskürtülmesi ile beraber parçalanması ve damlacıklarına ayrılarak buharlaşması gerekir. Buharlaşma ile beraber yanma odasının her tarafına homojen bir şekilde dağılması, motor performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Yakıtın zerrelere ayrılması ve sonrada buharlaşarak yanma odasının her tarafına hava ile homojen bir şekilde yayılması yakıt enjeksiyon sistemi tarafından sağlanır (Puhana, S., Vedaramana, N. 2005).

Motor değerine bağlı olarak dizel yakıtı ve ÇYME ile elde edilen efektif moment değişimleri Şekil 6.'da görülmektedir. Görüldüğü gibi bütün motor dirlerinde ÇYME ile daha düşük moment değerleri saptanmıştır. Dizel yakıtı ve ÇYME ile düşük ve yüksek motor değerlerinde daha düşük moment değerleri elde edilirken en yüksek moment değerlerinin 1800-2200 d/dk aralığında elde edildiği görülmektedir. Maksimum momentin elde edildiği 2000 d/dk'ta motor değerinde motorine oranla ÇYME ile oluşan moment farkı % 3.04 olarak belirlenmiştir. 1600 d/dk'ta % 4.10, 3000 d/dk'ta ise % 3.27 oranlarında moment değerleri elde edilmiştir.



Şekil 6. Motor hızına bağlı olarak çitlembik yağı metil esteri ile dizel yakıtı karışımının motor momentine etkisi

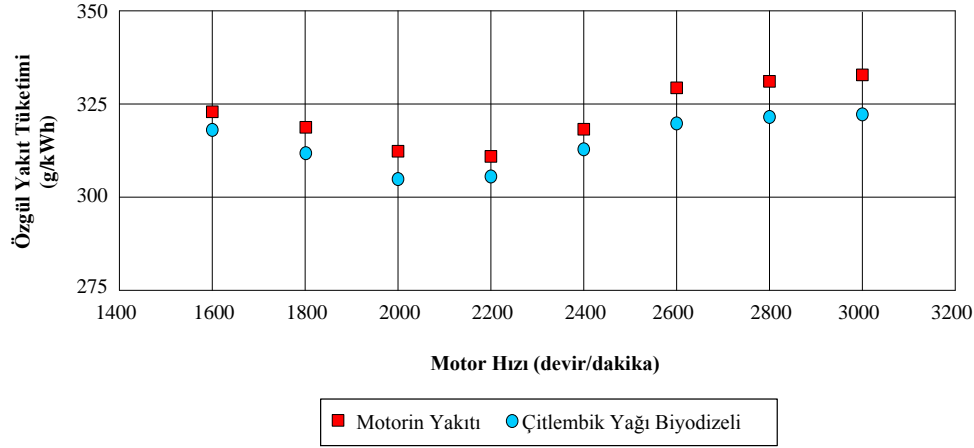
Buradan görüldüğü gibi ÇYME'nin sahip olduğu düşük alt ısı değerleri nedeniyle motor efektif gücünde olduğu gibi momentumunda da daha düşük değerler ortaya çıkmaktadır. Ancak bu farklar ÇYME ve dizel yakıtı arasındaki alt ısı değerinin oranıyla paralel değil daha düşük değerlerdedir. Bu duruma karşılık biyodizel yakıtların sahip olduğu oksijen içeriğinin yanma karakteristiklerini iyileştirmesi ve motor performans karakteristiklerini makul seviyede tutması gösterilebilmektedir.

3.3. Özgül yakıt tüketimi

Motorlarda özgül yakıt tüketimi birim güç başına birim zamanda tüketilen yakıt miktarı olarak tanımlanmaktadır. Dizel motorlarında yakıt tüketimi miktarı motor hızına bağlı olarak değişim göstermektedir. Yanma odasına her çevrimde alınan yakıt miktarı hacimsel olarak aynıdır. Dizel motorlarında kullanılan yakıtın yoğunluğu yanma odasına alınan yakıt kütlesini etkilemektedir. Yakıt pompası her çevrimde yanma odasına sabit hacimde yakıt pompalamaktadır (Raheman, H., Phadatare, A. 2004).

Şekil 7' de özgül yakıt tüketimi ile motor hızı grafiği incelendiğinde birim güç başına tüketilen yakıt miktarı hızın artması ile beraber artmaktadır. Dizel yakıtı ester karışımı, dizel yakıtına göre biraz daha fazla görülmektedir. Motorun bütün hızlarında dizel yakıtın karışıma göre özgül yakıt tüketiminin düşüş oranı yaklaşık % 3 - % 8 arasında değişmektedir. Bu durum her iki yakıtın özgül ağırlığı ve yoğunluğundan kaynaklanmaktadır. Yanma odasına sürülen yakıt miktarı hacimsel olarak aynı olsa da yoğunluk farkından dolayı esterin kütlesi daha düşüktür. Özgül yakıt tüketimi değerleri genel bir karakteristik olarak motorlarda düşük ve yüksek

hızlarda yüksek değerler göstermektedir. Ara motor hızlarında ise daha düşük değerler belirlenmektedir. Motor devrine bağlı olarak özgül yakıt tüketimindeki değişiklikler Şekil 7’de verilmektedir.

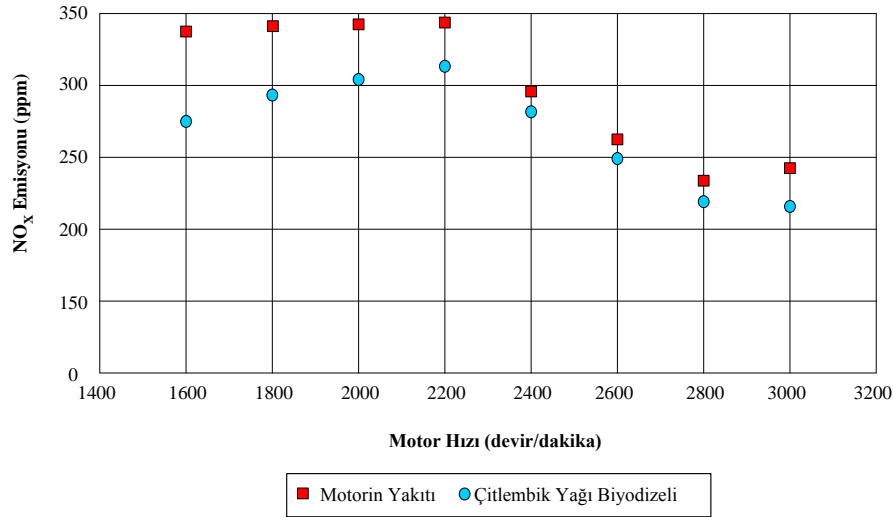


Şekil 7. Motor hızına bağlı olarak çitlembik yağı metil esteri ile dizel yakıtı karışımının özgül yakıt tüketimi değişimleri

Görüldüğü gibi en düşük özgül yakıt tüketimi tüm yakıtlarda yaklaşık 2000 dev/dak’ta saptanmıştır. Bu devirde dizel yakıtına oranla ÇYME ile % 8,84 daha yüksek özgül yakıt tüketimi değerleri saptanmıştır. Ortalama motor devirleri göz önüne alındığında motorine oranla ÇYME ile ortalama % 9,05 oranlarında daha yüksek özgül yakıt tüketimi değerleri elde edilmiştir. ÇYME’nin düşük alt ısıl değerinden dolayı dizel yakıtına yakın güç elde edebilmek amacıyla pompadan daha fazla yakıt gönderilmesi yakıt tüketimi ve özgül yakıt tüketiminde artışların ortaya çıkmasına sebep olmaktadır.

3.4. NOx emisyonu

Biyodizel yakıtları ile yapılan çalışmalarda genellikle performans yönünden olumlu sonuçlar elde edilmektedir. ÇYME ve dizel yakıtı kullanımı sonucu NOx emisyonlarındaki değişim Şekil 8’de görülmektedir. NOx emisyonlarını, motorlarda etkileyen en önemli iki parametre yanma ortamında bulunan oksijen miktarı ve maksimum sıcaklık süresidir. Grafik incelendiğinde, ÇYME ile dizel yakıtına oranla NOx emisyonlarında hemen hemen tüm motor devirlerinde daha yüksek değerler elde edildiği görülmektedir.

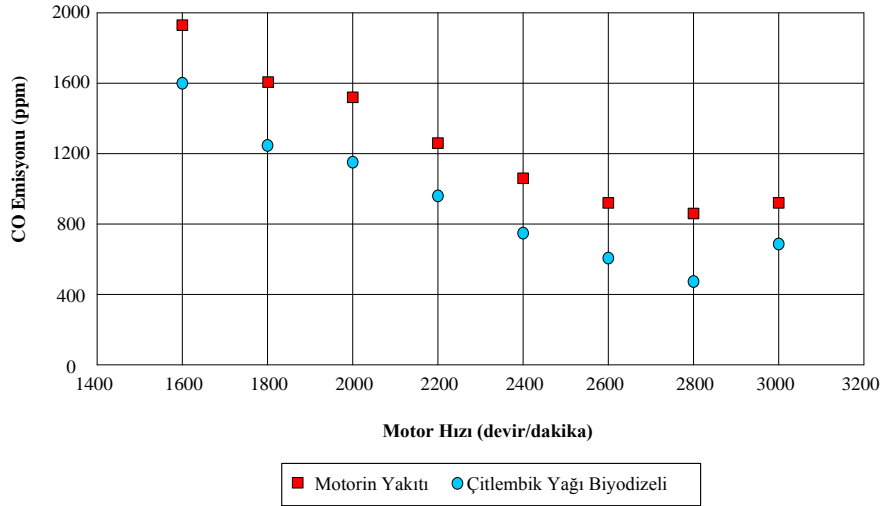


Şekil 8. Motor hızına bağlı olarak çitlembik yağı metil esteri ile dizel yakıtı karışımının NOx emisyonu değişimleri

Maksimum değerlerin elde edildiği 3000 dev/dak'ta, ÇYME kullanıldığında dizel yakıtına oranla %21,20 oranında artış tespit edilmiştir. Tüm motor devirleri göz önüne alındığında ortalama olarak %18,23 oranlarında artış tespit edilmiştir. NOx artış oranı için en belirgin sebep biyodizelin içerdiği %10 civarındaki oksijen değerinin yüksek olması gösterilebilmektedir. Biyodizel yakıtının alternatif bir motor yakıtı olarak motorine oranla gösterdiği en önemli sorun, kullanımı sonucu ortaya çıkan NOx emisyonlarındaki bu artıştır.

3.5. CO emisyonu

Dizel yakıt ve çitlembik yağı biyodizelinin, CO emisyonlarının değişimleri Şekil 9'da verilmiştir. Ölçüm yapılan bütün motor hızlarında çitlembik yağı biyodizelinin CO emisyonları, dizel yakıt değerlerinden daha düşük ölçülmüştür. Dizel yakıt değerlerine göre meydana gelen maksimum azalma 2000 d/d da %51,4, minimum azalma ise 3000 d/d da % 24,3 dür. CO emisyonlarındaki azalmanın nedeni çitlembik yağı biyodizeli bünyesinde %11 civarında bulunan oksijen ve setan sayısının dizel yakıtına göre yüksek olmasının yanma verimini artırmasıdır.



Şekil 9. Motor hızına bağlı CO emisyonu değişimleri

4. Sonuçlar

Çitlembik yağının esterleştirilmesi sonucu elde edilen çitlembik yağı metil esterinin yoğunluğu ve viskozitesi azalmış, ısıl değeri ise 39570 kJ/kg'dan 40853 kJ/kg'a yükselmiştir. Elde edilen çitlembik yağı metil esterinin, ham çitlembik yağına kıyasla dizel yakıtına daha yakın özellikler göstermektedir. Özellikle viskozite, esterleştirme işlemi ile önemli ölçüde azalmıştır. Çitlembik yağı metil esterinin fiziksel özellikleri dizel yakıtına benzediği için dizel yakıtına rahatlıkla karıştırılabilir. Bu yağın metil esterinin ısıl değeri de dizel yakıtına yakın bir değerdedir. Motor performansı dikkate alındığında, metil ester ve dizel yakıtı karışımı ile yapılan deneylerde dizel yakıtına göre motor momenti ve motor gücünde bir miktar azalmalar görülmüştür. Yapılan deneylerde motor performansında dizel yakıtına göre ester-dizel yakıt karışımı az oranda bir düşüş göstermiştir. Karışım ile yapılan deneylerde özgül yakıt tüketimi dizel yakıtına göre yüksektir. Aradaki fark bütün motor hızlarında yaklaşık %3-5 civarında değişmektedir. Bu da metil ester ve dizel yakıtı karışımının düşük ısıl değeri ve yüksek yoğunluğundan kaynaklanmaktadır.

Dizel yakıtına çitlembik yağı metil esteri katılarak yapılan performans testlerinde, motor performansında kayda değer bir değişim olmadığı görülmüştür. Çitlembik yağı metil esterinin tutuşma sıcaklığının dizel yakıtından daha yüksek olduğu dikkate alındığında taşıma ve depolama sırasında yangın tehlikesine karşı daha güvenli olduğu düşünülebilir. Yapılan çalışmalarda dizel yakıtı ile her oranda tam olarak karıştığı ve bu nedenle özellikle emisyon yönünden olumlu sonuçlar verdiği

bir çok bilimsel çalışmada vurgulanmıştır. Dizel motorlarında kullanılan yakıtın yağlanma özelliğinin silindirlere aşınması üzerindeki etkisi yanında, yakıt sisteminin önemli ve hassas işlenmiş elemanları olan enjektör memesi ve enjeksiyon pompası elemanlarının aşınması üzerinde de etkilidir. Daha iyi yağlama özelliği taşıyan yakıt kullanılması bu elemanların ömürlerini artırmaktadır.

Rafine çitlembik yağdan transesterifikasyon metoduyla üretilen biyodizel yakıtına uygulanan testler sonucu viskozitesinin dizel yakıtına oranla % 67.78 oranında daha yüksek olduğu, buna karşın ısı değerinin % 4 daha düşük olduğu saptanmıştır. ÇYME'nin dizel motorunda kullanımı ile yapılan deneysel çalışma sonucuna göre, efektif güç ve moment değerleri göz önüne alındığında ÇYME ile motorine oranla daha düşük efektif güç ve moment değerleri elde edilmiştir. Efektif güçteki ve momentteki bu düşüş makul seviyelerde (ortalama % 3,92) olmaktadır. Özgül yakıt tüketimi değerleri ise ÇYME ile dizel yakıtına oranla ortalama % 9,18 oranında artış göstermektedir. Dizel yakıtına göre saf biyodizel ve karışım yakıtlarda ortaya çıkan güç ve moment düşüşü ve özgül yakıt tüketimi artışı biyodizelin sahip olduğu düşük alt ısı değerden kaynaklanmaktadır. NOx emisyonları incelendiğinde ÇYME baz alındığında ortalama olarak %18,23 oranında artış görülmektedir. Biodizel yakıtının oksijen içeriğinin yüksek değeri NOx ve CO emisyon artışında etkili olmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Özrenk K., Gündoğdu M., Türkoğlu N., Gazioglu R.İ. “ Erzincan Yöresinde Doğal Olarak Yetişen Doğu Çitlembiği Meyvelerinin Bazı Kimyasal Özellikleri ” *yyü tar bil. derg* 2012, 22 (1):26-32
- [2] İlkılıç C. “ Metil ester katkılı dizel yakıtının bir dizel motoru performansına etkisinin deneysel incelenmesi ” *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, 19 (3), 397- 405, 2007
- [3] Keskin A., Ekşi A. “ Dizel motorlarda mısır yağı biyodizelinin motor performans ve emisyonuna etkisi ” *C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi* 2.1 (2006) 49 [4] Yücel H.L. “ Pamuk Yağının Alternatif Dizel Yakıtı Olarak Kullanılması ” *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi* Science and Eng. J of Fırat Univ. 20 (1), 185-192, 2008
- [5] Karabektaş M., Ergen G. ” Soya yağı metil esterinin motor performans karakteristikleri ve NOx emisyonları üzerindeki etkisinin incelenmesi ” *SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi*, 11. Cilt, 1. Sayı, s. 21-26, 2007

- [6] Pramanik, K., "Properties and use of jatropha curcas oil and diesel fuel blends in compression ignition engine, *Renewable Energy* ", 28 (2003) 239-248 [7] Labeckas, G., Slavinkas, S., "The effect of rapeseed oil methyl ester on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions", *Energy and Management*, 2005
- [8] Puhana, S., Vedaramana, N., "Performance and emission study of mahua oil (madhuca indica oil) ethyl ester in a 4-stroke natural aspirated direct injection diesel engine", *Renewable Energy* 30 (2005) 1269–1278
- [9] Raheman, H., Phadatare, A., "Diesel engine emissions and perfor. from blends of karanja methyl ester and diesel" *Biomass and energy* 27 (2004) 393 – 397
- [10] Alp, D., Cirak, B., " Biofuels from micro-and macroalgae " *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research* 2012 Volume 28(2): 719-726