

BOR KATKISININ İÇTEN YANMALI MOTORLARIN YANMA KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİ ÜZERİNE BİR DERLEME

Yiğit Serkan Şahin^{1*} ve İsmet Sezer²

¹ Makine Mühendisliği Bölümü /Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gümüşhane Üniversitesi, Türkiye

² Makine Mühendisliği Bölümü /Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gümüşhane Üniversitesi, Türkiye

*(yigitserkansahin@gumushane.edu.tr)

Özet – Araştırmacılar bir taraftan fosil kökenli yakıtlara alternatif olabilecek yenilenebilir yakıtlarla ilgili araştırmalar yaparken diğer taraftan mevcut yakıtların performansını iyileştirmenin yollarını araştırmaktadır. İçten yanmalı motorlarda yaygın olarak fosil kökenli yakıtlar kullanılmakta ve bu yakıtların yakın gelecekte tükenebileceği tahmin edilmektedir. Günümüzde içten yanmalı motorlarla ilgili en önemli araştırma konularından birisi petrol kökenli yakıtların verimliliğini artırarak bu yakıtların tüketimini ve zararlı emisyonları azaltmaktır. Bunu sağlayabilmek için en pratik ve ekonomik yöntemlerden birisinin çeşitli yakıt katkılarının kullanılması olduğu düşünülmektedir. Bor, fosil kökenli yakıtlar için umut verici bir yakıt katkısı olarak görülmektedir. Uygun koşullar sağlandığında, bor aşırı patlayıcı ve yanıcı olmakta ve gerçekleşen bu ekzotermik reaksiyon sonucunda, geleneksel yakıtlardan farklı olarak herhangi bir gaz emisyonu salınımı olmamaktadır. Bu özelliği nedeniyle 1950'li yıllardan beri borun alternatif yakıt olarak kullanımına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Borun, saf olarak kullanılabilmesi için özel olarak tasarlanmış yakma sistemlerine ve yanma sırasında saf oksijene ihtiyaç vardır. Diğer taraftan, bor yüksek enerji içeriğine sahip olması nedeniyle fosil kökenli yakıtların yanmasını iyileştirebilmek için umut verici bir katkı maddesi olarak görülmektedir. Bor, konvansiyonel yakıtlara katıldığında motor veriminin artırılmasını ve yakıt tüketiminin azaltılmasını sağlamanın yanında zararlı emisyonların azaltılmasına da katkı sağlayabilir. Nano parçacık ve nano akışkan teknolojilerindeki gelişmeler borun yakıt olarak kullanılmasını mümkün hale getirmiş ve böylece bor içerikli yakıt ve yağ katkıları üretilmiştir. İçten yanmalı motorlarda bor katkısının etkilerini bir arada değerlendirmek pratik uygulamalar açısından önem arz etmektedir. Bu nedenle bu derleme çalışmasında farklı motor yakıtları ve yağlarına bor katkısının yanma karakteristiklerine etkileri literatüre dayalı olarak incelenmektedir.

Anahtar Kelimeler – İçten Yanmalı Motorlar, Yakıt Katkısı, Bor Katkısı, Yanma, Emisyonlar

I. GİRİŞ

Fosil kökenli yakıtların sınırlı olmasının yanında bunların yaygın şekilde kullanımı atmosferi ve çevreyi önemli ölçüde kirletmektedir. Son yıllarda, zararlı emisyonların azaltılması için getirilen katı yasal kısıtlamalar ile kirlilik önemli ölçüde azalmış olmasına rağmen fosil kökenli yakıtların kullanımı sürekli artmaktadır. Bu nedenle, araştırmacılar gelecekte petrol kökenli yakıtların yerini alabilecek alternatif enerji kaynakları ve alternatif yakıtlara yönelik yoğun çalışmalar yapmaktadırlar. Diğer taraftan, zararlı emisyonları azaltabilmek ve fosil

kökenli yakıtların özelliklerini iyileştirebilmek için yakıt katkıları üzerine çalışmalar da sürdürülmektedir [1]–[3]. Bor, yüksek enerji içeriğine sahip olması sebebiyle yanma sırasında açığa çıkan enerji miktarını artırma ve tutuşma sıcaklığını düşürme potansiyeline sahip olduğundan fosil kökenli yakıtlar için umut verici bir katkı olarak düşünülmektedir [4]–[6]. Ayrıca, konvansiyonel yakıtlara katıldığında, borun yanma verimini artırabileceği, yakıt tüketimini ve zararlı emisyonları azaltabileceği ifade edilmektedir [7]. Bor parçacıkları, ilk kez 1950–1970 yılları arasında roket geliştirme çalışmalarında yakıt katkısı olarak

kullanıldığında yakıtın enerji içeriğini önemli ölçüde artırdığı anlaşılmıştır. Bununla birlikte, bor katkılı yakıtın yanması sırasında ateşleme, alev kararlılığı ve alevin sönmesi gibi problemlerin ortaya çıktığı da tespit edilmiştir [8]–[10]. Günümüzde ise nano teknoloji alanındaki gelişmeler borun yakıt olarak kullanılması mümkün kılmış ve bor içerikli yakıt ve yağ katkıları üretilerek kullanılmaya başlanmıştır. Borun yağ veya yakıt katkısı olarak kullanılmasının etkilerinin bir arada incelenmesi yeni gelişmeler ve pratik uygulamalar açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle, sunulan derleme çalışmasında borun yağ veya yakıt katkısı olarak kullanılmasının içten yanmalı motorların yanma karakteristiklerine etkileri literatüre dayalı olarak incelenmiştir.

II. BOR KATKISI İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

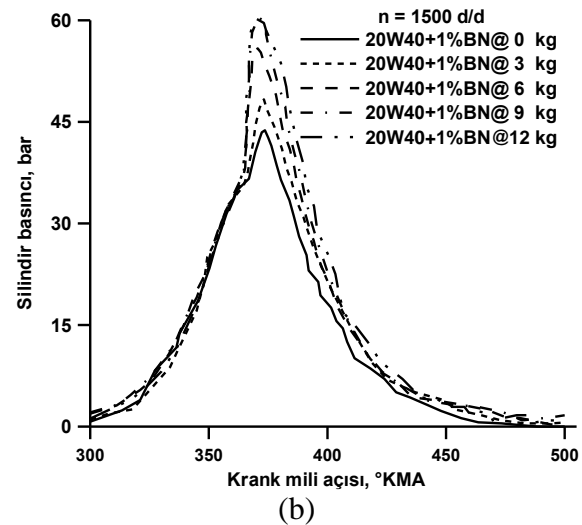
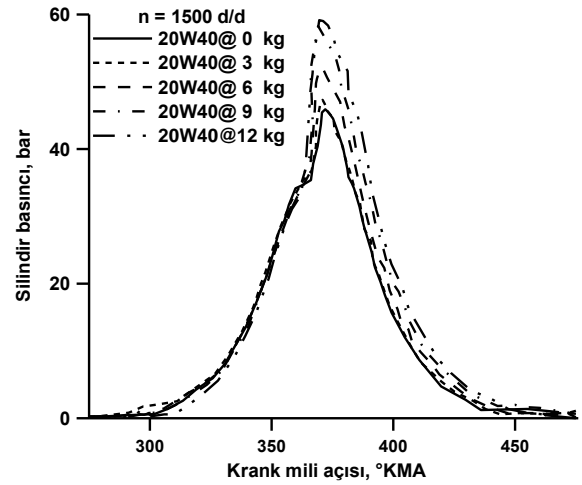
Bor katkısının içten yanmalı motorlarda kullanımına yönelik literatürde sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Literatürdeki çalışmalarda bor veya bor içerikli katkılar; benzin katkısı [1], etanol katkısı [4], metanol–benzin ve etanol–benzin karışımı katkısı [11], performans artırıcı [5], dizel yakıt katkısı [8, 12], dizel–biyodizel karışımı katkısı [13], dizel–doğalgaz çift yakıtlı motor katkısı [14] veya motor yağı katkısı [2, 3, 9, 10, 15, 16] olarak kullanılmış ve bor katkısının sürtünme, aşınma, yağlama, yanma, motor performansı veya egzoz emisyonlarına etkileri incelenmiştir. İçten yanmalı motorlarda yanma işlemi performans ve emisyonlar üzerinde önemli etkilere sahiptir. Bu nedenle bu derleme çalışmasında içten yanmalı motorlarda bor katkısının yanmaya etkileri literatüre dayalı olarak incelenmiştir.

III. BOR KATKISININ YANMA

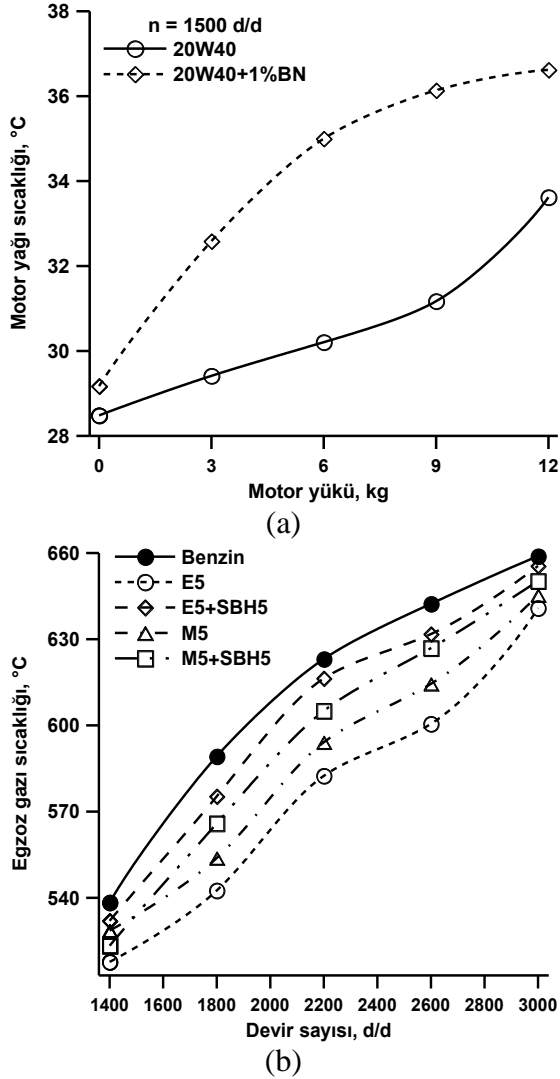
KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİ

Ramteke ve Chelladurai, tek silindirli ve dört zamanlı bir dizel motorda 20W40 motor yağı ve 20W40 motor yağına %1 oranında bor nitrat (BN) katarak deneysel bir çalışma yapmışlardır. Deneyler sırasında, farklı motor yükü değerlerinde silindir (yanma) basıncı krank mili açısına bağlı olarak ölçülmüş, yanma basıncının silindire alınan yakıt–hava karışımının yapısına bağlı olduğu ve yanma basıncının motorun çıkış gücünü önemli ölçüde etkilediği belirtilmiştir. Şekil 1(a) ve (b)'de 20W40 saf motor yağı ve %1 BN katkısı içeren 20W40 motor yağı için silindir basıncının farklı motor yükü değerlerinde krank mili açısı (KMA) ile değişimi

verilmiştir. Şekil 1(a)'da görüldüğü gibi, 20W40 saf motor yağı kullanıldığında daha düşük silindir basıncı değerleri ortaya çıkmıştır. Yetersiz yağlama nedeniyle artan sürtünme kayıpları ve yeterli yağ filminin oluşmaması nedeniyle segmanlardan olan gaz kaçaklarının artması nedeniyle silindirde yeterli miktarda hava–yakıt karışımı bulunmaması sonucunda yanma sırasında silindirde oluşan basıncın azaldığı ve bunun daha düşük güç çıkışına yol açtığı ifade edilmiştir. Diğer taraftan, 20W40 motor yağına %1 BN katıldığında silindir basıncının arttığı Şekil 1(b)'de görülmektedir. Bu durumun, BN katkısının silindir yüzeyleri ve segmanlar arasında yeterli yağ filmi oluşturarak sürtünme kayıplarını ve segmanlardan olan gaz kaçaklarını azaltması sonucu silindirdeki hava–yakıt karışımının ve dolayısıyla yanma basıncının artmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Böylece, silindir basıncı ve motorun çıkış gücünün arttığı ifade edilmiştir [9].



Şekil 1. Farklı motor yükü değerlerinde silindir basıncının a) 20W40 saf motor yağı ve b) %1 BN katkısı içeren 20W40 motor yağı için KMA ile değişimi [9]



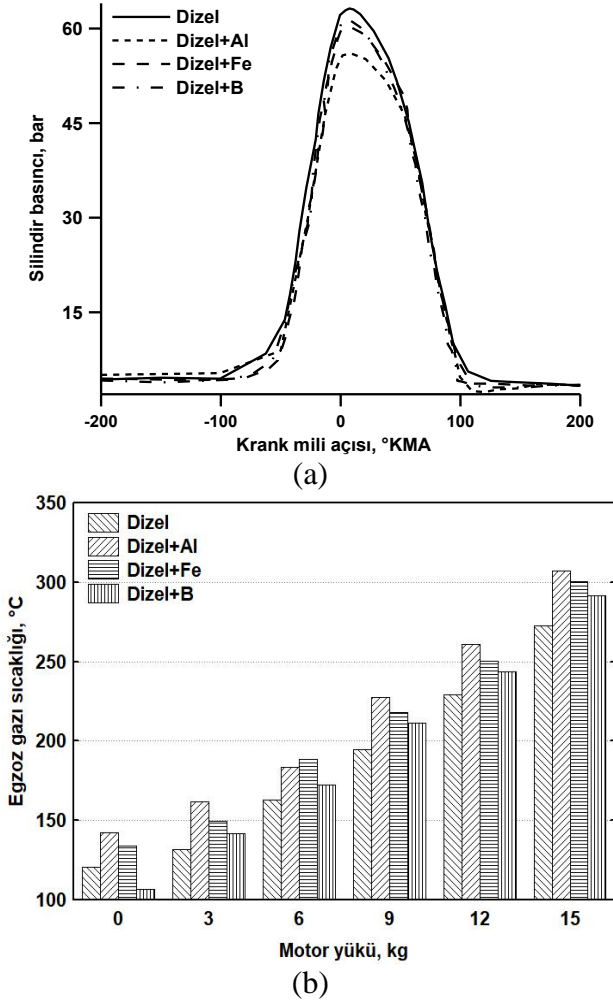
Şekil 2. a) 20W40 motor yağına %1 BN katılması durumunda motor yağı sıcaklığının motor yükü ile değişimi [10] ve b) benzin-etanol, benzin-metanol karışımlarına SBH katılması durumunda egzoz gazı sıcaklığının devir sayısı ile değişimi [11]

Ramteke ve Chelladurai, tek silindirli ve dört zamanlı bir dizel motorda 20W40 motor yağı ve 20W40 motor yağına %1 oranında BN katılmasının motor yağlama yağı sıcaklığına etkisini deneysel olarak incelemişler ve deneylerde motor yağı sıcaklığını K-tipi termo-eleman kullanılarak ölçmüşlerdir. Şekil 2(a)'da 20W40 motor yağı ve motor yağına %1 oranında BN katılması durumunda motor yağı sıcaklığının motor yükü ile değişimi verilmiştir. Şekil 2(a)'da motor yükü arttıkça motor yağı sıcaklığının arttığı ve %1 BN katkısı kullanıldığında saf motor yağına göre daha yüksek sıcaklık değerleri elde edildiği görülmektedir. Bu durumun, BN nano parçacıklarının yüksek termal iletkenliğe sahip olması nedeniyle yanma nedeniyle motor elemanlarında oluşan yüksek ısıyı bünyesine toplamasından kaynaklandığı ifade edilmiştir [10].

Yakın vd. benzin-etanol ve benzin-metanol karışımlarına sodyum bor hidrat (SBH- NaBH_4) katılması durumunda egzoz gazı sıcaklığına etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneylerde, %5 oranında etanol içeren benzin-etanol karışımı (E5) ve %5 oranında metanol içeren benzin-metanol karışımı (M5) kullanılmış ve bu karışımlara %5 oranında SBH katılarak bor içerikli karışımlar hazırlanmıştır. Şekil 2(b)'de benzin, benzin-alkol (etanol ve metanol) karışımları ve benzin-alkol SBH karışımları için egzoz gazı sıcaklığının devir sayısı ile değişimi verilmiştir. Benzine etanol ve metanol katıldığında egzoz gazı sıcaklığının önemli oranda azaldığı ve benzin-alkol karışımlarına SBH katıldığında egzoz gazı sıcaklığının benzin-alkol karışımlarına göre bir miktar arttığı ancak tüm karışım yakıtlarının benzine göre daha düşük egzoz gazı sıcaklığı verdiği Şekil 2(b)'de görülmektedir. İçten yanmalı motorlarda egzoz gazı sıcaklığı yanma sıcaklığının göstergesi olup yanma sıcaklığı yakıtın ısıl değerine bağlı olarak değişmekte ve motor performansını ve emisyonları önemli ölçüde etkilemektedir. Alkol yakıtların benzine göre daha düşük ısıl değere ve daha yüksek buharlaşma gizli ısısına sahip olmasının düşük yanma sıcaklığının ve dolayısıyla düşük egzoz sıcaklığının ortaya çıkmasına neden olduğu ancak SBH katkısının yüksek enerji içeriği sayesinde yanma ve egzoz gazı sıcaklığını artırdığı ifade edilmiştir [11].

Şekil 3(a)'da dizel yakıtına alüminyum (Al), demir (Fe) ve bor (B) nano parçacıkları katılması durumunda silindir basıncının KMA ile değişimi verilmiştir. Al, B ve Fe nano parçacıkları içeren karışımlar ve saf dizel yakıtı için maksimum silindir basıncı değerleri sırasıyla 55, 59, 60 ve 62 bar olarak elde edilmiş ve nano parçacık içeren karışımların saf dizel yakıtına kıyasla genel olarak silindir basıncını düşürdüğü tespit edilmiştir. Silindir basıncındaki bu düşüşün nano parçacıkların dizel yakıtından farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olması nedeniyle tutuşma gecikmesi süresini kısaltarak yanmanın daha erken başlamasını sağlamasından kaynaklandığı ifade edilmiştir [12]. Şekil 3(b)'de dizel yakıtına Al, Fe ve B nano parçacıkları katılması durumunda egzoz gazı sıcaklığının motor yükü ile değişimi verilmiştir. Egzoz gazı sıcaklığı yanma sıcaklığına doğrudan bağlı olup Şekil 3(b)'de görüldüğü gibi egzoz gazı sıcaklığı silindire püskürtülen yakıt miktarının artması nedeniyle tüm yakıtlar için artan motor yükü ile artmaktadır. Diğer taraftan, özellikle tam yük değerinde nano parçacık

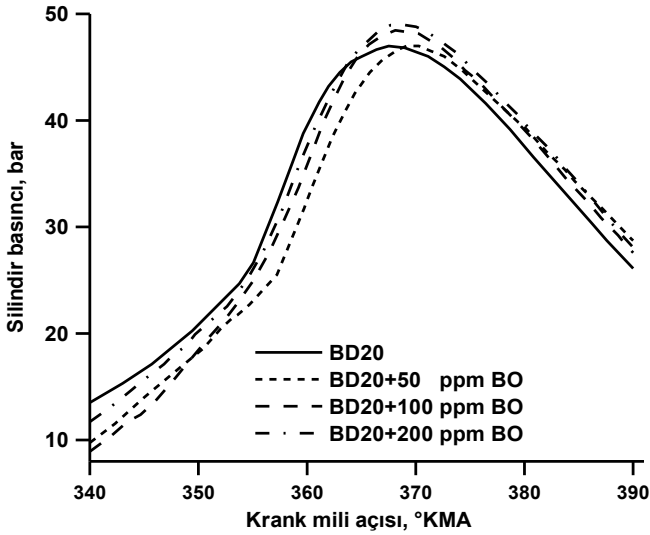
içeren karışımlar dizel yakıtına göre daha yüksek egzoz gazı sıcaklığı verdiği Şekil 3(b)'de görülmektedir. Bu durumun, nano parçacıkların yanma sırasında mikro patlamalar oluşturması sonucu yanma sıcaklığını dolayısıyla egzoz gazı sıcaklığını artırmasından kaynaklandığı ifade edilmiştir. Saf dizel yakıtı ile kıyaslandığında Al, Fe ve B nano parçacıkları içeren karışımların tam yük durumunda egzoz gazı sıcaklığını sırasıyla %9, %7 ve %5 oranlarında artırdığı tespit edilmiştir [12].



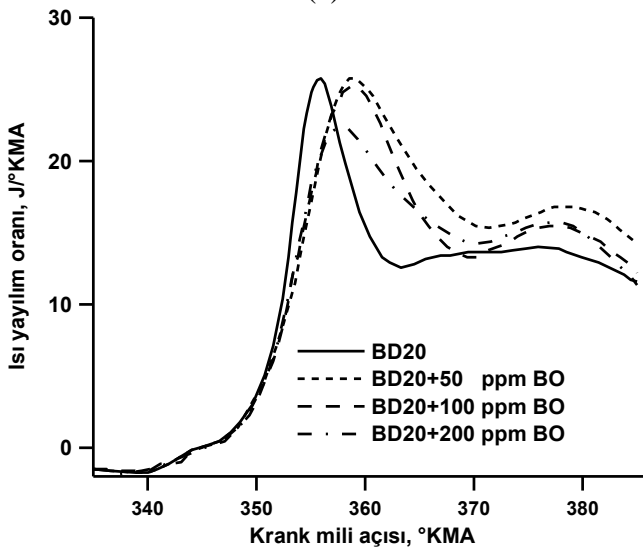
Şekil 3. Dizel yakıtına Al, Fe ve B nano parçacıkları katılması durumunda a) silindir basıncının KMA ile değişimi ve b) egzoz gazı sıcaklığının motor yükü ile değişimi [12]

Şekil 4(a-c)'de tam yükte %20 oranında biyodizel içeren dizel-biyodizel karışımına (BD20) farklı miktarlarda (50, 100 ve 200 ppm) bor oksit (BO) nano parçacıkları katılmasının silindir basıncı, basınç artış oranı ve ısı yayılım oranına etkileri verilmiştir. Şekil 4(a)'da görüldüğü gibi yanma başlamadan önce ve yanma başladıktan sonra kontrolsüz yanma aşamasının ortasına kadar nano parçacık içeren yakıtlar BD20 karışımına göre daha düşük silindir basıncı değerleri vermiştir. Bu durumun nano parçacıkların yakıtın ısı iletim

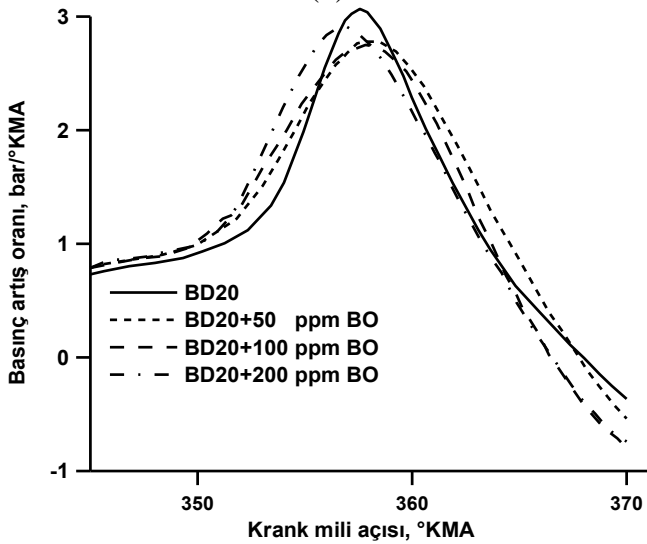
katsayısını dolayısı ile silindirdeki sıcak gazlardan ve sıcak motor parçalarından yakıt moleküllerine doğru olan ısı transferini arttırmasından kaynaklandığı ifade edilmiştir. BO nano parçacıklarının 100 ppm ve 200 ppm oranında kullanılması durumunda maksimum silindir basıncının az miktarda arttığı tespit edilmiştir. BD20, BD20BO50 BD20BO100 ve BD20BO200 yakıtları için maksimum silindir basıncı değerleri sırasıyla 48,69, 48,60 50,31 ve 50,61 bar olarak belirlenmiştir. Genişleme zamanında nano parçacık içerikli yakıtların BD20 karışımına göre silindir basıncının artmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun, Şekil 4(b)'de verilen ısı yayılım oranı grafiğinden de görüleceği gibi tüm yakıtlar için yanmanın aynı KMA'da başlamasına rağmen BO içeren yakıtlar kullanıldığında yanma işleminin gecikmesi ve ısı yayılımının genişleme zamanına doğru kaymasından kaynaklandığı ifade edilmiştir. Yanmadaki bu gecikmenin BO nano parçacıklarının kullanılan yakıtın kaynama ve distilasyon noktası sıcaklıklarını düşürmesi ve yüksek viskozite nedeniyle tutuşma gecikmesinden sonra karışım oluşum hızını yavaşlatmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Bunun sonucunda difüzyonlu yanma fazında yanan yakıt miktarının arttığı ifade edilmiştir. BD20, BD20BO50 BD20BO100 ve BD20BO200 yakıtları için maksimum ısı yayılım oranı değerleri sırasıyla 25,7, 25,93, 25,32 ve 22,41 J/°KMA olarak belirlenmiştir. Diğer taraftan, BO içeren yakıtların yanma hızını azaltmasının basınç artış oranının da düşmesine neden olduğu Şekil 4(c)'de görülmektedir. BD20, BD20BO50 BD20BO100 ve BD20BO200 yakıtları için maksimum basınç artış oranı değerleri sırasıyla 3,01, 2,77, 2,75 ve 2,89 bar/°KMA olarak belirlenmiştir. Tüm yakıtlar için tutuşma gecikmesi süresinin yaklaşık aynı olduğu (7° KMA) ancak BO nano parçacıkları kullanıldığında yanma süresinin uzadığı tespit edilmiştir. BD20, BD20BO50 BD20BO100 ve BD20BO200 yakıtları için yanma süreleri ise sırası ile 65, 77, 78 ve 78 °KMA olarak belirlenmiştir. Şekil 4(b)'de verilen ısı yayılımı grafiğinden görüldüğü gibi BO nano parçacıkları içeren yakıtlar kullanıldığında yanma işlemi genişleme zamanına doğru kaymasının yanma süresinin uzamasına neden olduğu ifade edilmiştir [13].



(a)



(b)

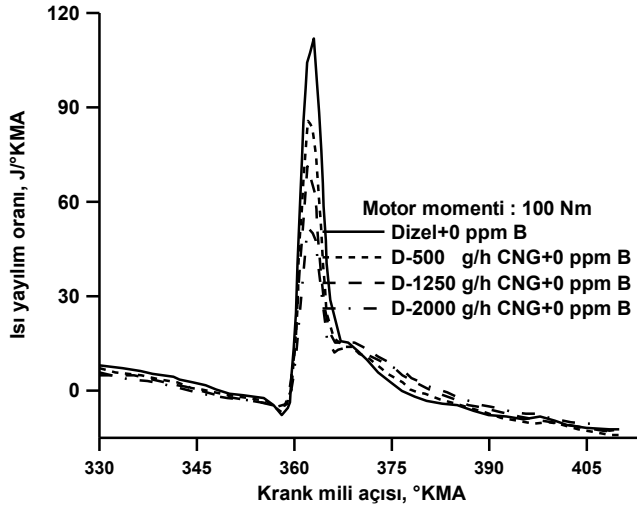


(c)

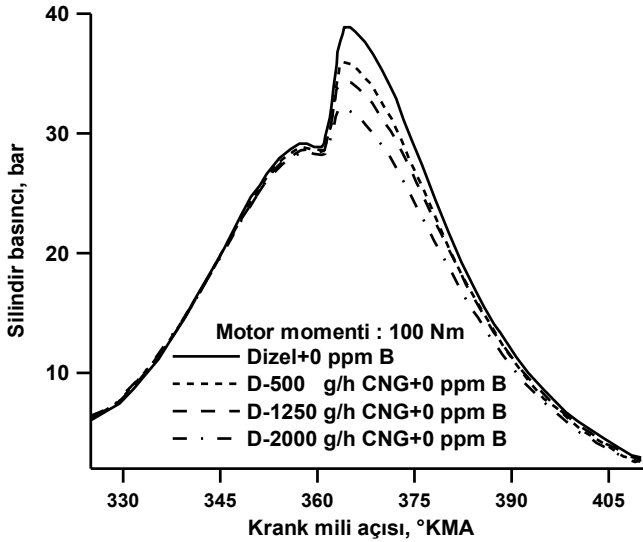
Şekil 4. Dizel-biyodizel (BD20) karışımına BO katılması durumunda a) silindir basıncının, b) ısı yayılım oranının ve c) basınç artış oranının KMA ile değişimi [13]

Şekil 5(a)–(b), 6(a)–(b) ve 7(a)–(b)’de dizel–doğalgaz (CNG) çift yakıtlı motorda saf dizel yakıtı ve farklı oranlarda (500, 1250 ve 2000 g/h) CNG ve farklı miktarlarda (0, 50 ve 100 ppm) nano B katkısı kullanılması durumunda ısı yayılımı oranının ve silindir basıncının KMA ile değişimleri verilmiştir. Çift yakıtlı çalışma durumunda CNG miktarının artmasının ısı yayılımı ve silindir basıncını azalttığı şekillerde açıkça görülmektedir. CNG miktarı arttıkça dizel yakıtının püskürtme zamanını geciktirilmesi sebebiyle CNG’nin tam yanmasını yeterli zaman kalmadığı ve bunun sonucunda ısı yayılımının ve silindir basıncının azaldığı ifade edilmiştir. Diğer taraftan, saf dizel yakıtı kullanıldığında üst ölü noktadan önceki ısı yayılım oranının arttığı çift yakıtlı çalışma durumunda ise CNG miktarı arttıkça üst ölü noktadan sonraki ısı yayılım oranının arttığı belirlenmiştir. Bu durumun, CNG’nin düşük setan sayısına sahip olması nedeniyle CNG miktarı arttıkça tutuşma gecikmesi süresinin uzamasından ve yanma işleminin gecikmesinden kaynaklandığı ifade edilmiştir. Şekil 8’de CNG miktarı arttıkça artan egzoz gazı sıcaklığının da geciken yani uzayan yanma işlemi süresinin bir göstergesi olduğu belirtilmiştir. Geciken bu yanma işlemi sonucunda ısı yayılım oranının ve silindir basıncının artan CNG oranı ile azaldığı ifade edilmiştir. Diğer taraftan, yanma işleminin başlangıcında yani tutuşma gecikmesi esnasında sıvı dizel yakıtının buharlaşabilmesi için ortamdan ısı çekmesi nedeniyle (344–360° KMA) negatif ısı yayılımının ortaya çıktığı ve tutuşma gecikmesi süresinin uzadığı belirtilmiştir. Deneyler sırasında dizel yakıtı püskürtme zamanının üst ölü noktadan önce 16° KMA olarak sabit tutulduğu ve maksimum negatif ısı yayılımının saf dizel yakıtla çalışma durumunda $-7,29 \text{ J/°KMA}$ olduğu belirtilmiştir. Dizel yakıtına 50 ve 100 ppm nano bor katkısı yapıldığında negatif ısı yayılımının azalarak $-6,78$ ve $-6,85 \text{ J/°KMA}$ değerlerine ulaştığı ve bunun sonucunda tutuşma gecikmesi süresinin de %7 ve %6 oranlarında azaldığı belirtilmiştir. Ayrıca, çift yakıtlı çalışma durumunda CNG miktarı arttıkça silindire püskürtülen dizel yakıtının azaltılmasının da tutuşma gecikmesi süresini azalttığı ifade edilmiştir. CNG miktarının artmasıyla silindire püskürtülen dizel yakıtı miktarının azalması ve nano B katkısı ile tutuşma gecikmesi süresinin azalmasını negatif ısı yayılım oranını azalttığı belirtilmiştir. 100 Nm motor yükünde; 0, 50 ve 100 ppm nano B katkısı

kullanıldığında ısı yayılım oranının 500 g/h CNG için $-6,36$, $-6,47$ ve $-6,39$ $J/^{\circ}KMA$, 1250 g/h CNG için $-6,04$, $-5,91$ ve $5,80$ $J/^{\circ}KMA$ ve 2000 g/h CNG için $5,12$, $4,97$ ve $5,03$ $J/^{\circ}KMA$ olduğu belirlenmiştir. Bu sayısal değerlere göre; nano B katkısının ve artan CNG miktarının tutuşma gecikmesi sırasındaki negatif ısı yayılımını azalttığı belirlenmiş ve negatif ısı yayılımının azalmasının efektif verimi artırıp özgül yakıt tüketimini azalttığı ifade edilmiştir. Ayrıca, 50 ppm nano B katkısının negatif ısı yayılımını 100 ppm'e kıyasla daha fazla azalttığı belirtilmiştir.



(a)

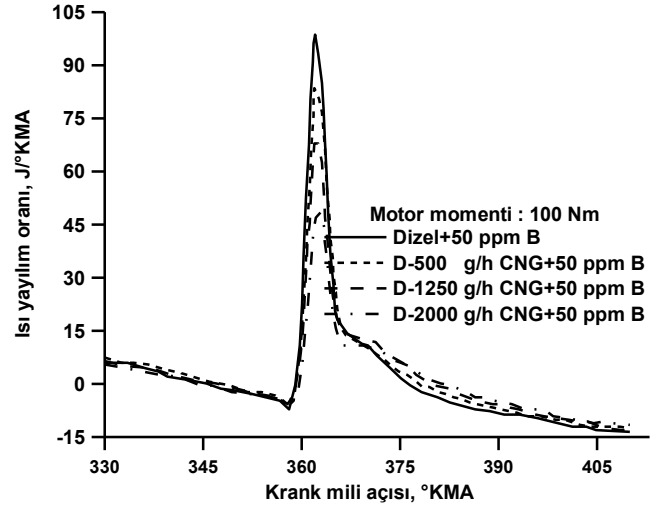


(b)

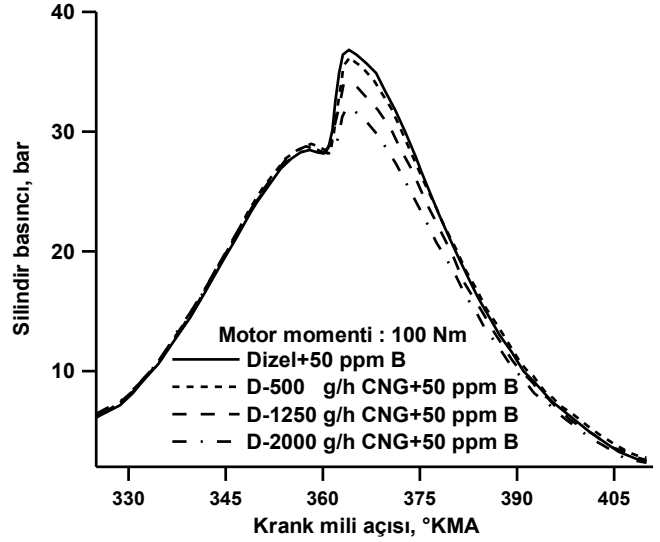
Şekil 5. Dizel-doğalgaz çift yakıtlı motorda farklı miktarlarda doğalgaz kullanılması durumunda ısı yayılımı oranının ve silindir basıncının KMA açısı ile değişimi [14]

Diğer taraftan, nano B katkısının ve artan CNG miktarının maksimum ısı yayılımını ve maksimum silindir basıncını azalttığı ifade edilmiştir. 100 Nm motor yükünde; 0, 50 ve 100 ppm nano B katkısı kullanıldığında maksimum ısı yayılımının saf dizel

yakıtı için 111,78, 98,04 ve 97,52 $J/^{\circ}KMA$, 500 g/h CNG için 86,17, 82,53 ve 86,97 $J/^{\circ}KMA$, 1250 g/h CNG için 70,59, 69,43 ve 68,48 $J/^{\circ}KMA$ ve 2000 g/h CNG için 51,37, 48,04 ve 51,55 $J/^{\circ}KMA$ olduğu belirlenmiştir. 100 Nm motor yükünde; 0, 50 ve 100 ppm nano B katkısı kullanıldığında maksimum silindir basıncının ise saf dizel yakıtı için 38,79, 36,74 ve 36,75 bar, 500 g/h CNG için 35,96, 36,09 ve 35,57 bar, 1250 g/h CNG için 34,45, 34,07 ve 33,67 bar ve 2000 g/h CNG için 32,18, 31,85 ve 31,84 bar olduğu belirlenmiştir.



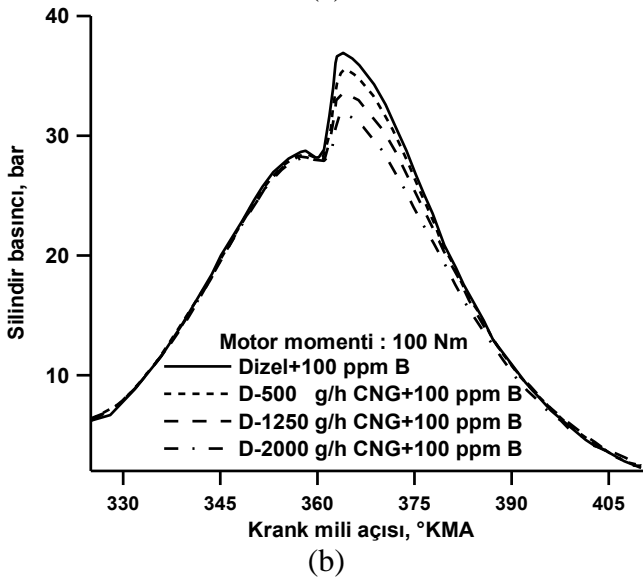
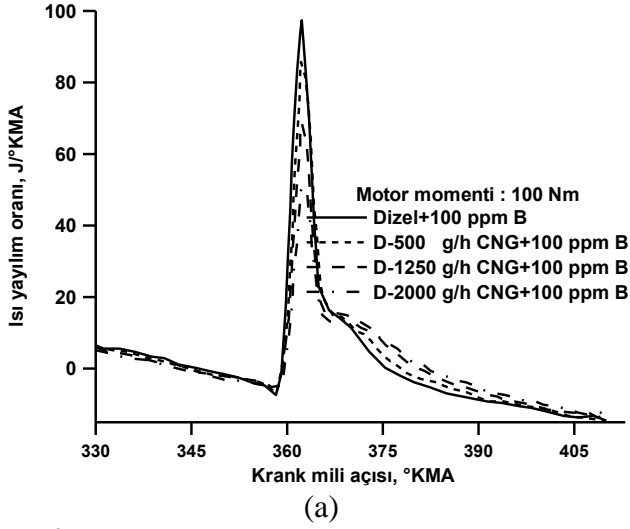
(a)



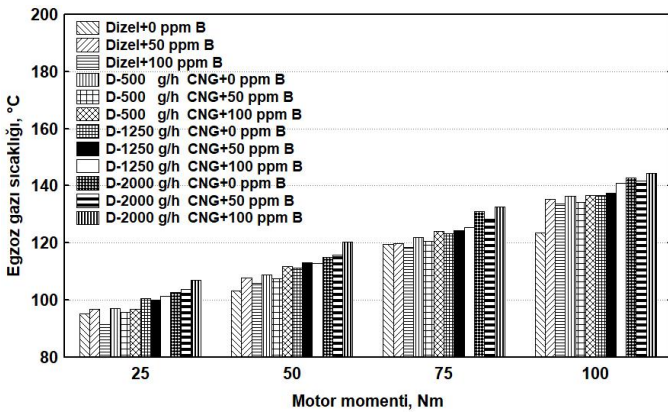
(b)

Şekil 6. Dizel-doğalgaz çift yakıtlı motorda farklı miktarlarda doğalgaz ve 50 ppm nano B kullanılması durumunda ısı yayılımı oranının ve silindir basıncının KMA açısı ile değişimi [14]

Çalışma sonucunda, dizel-CNG çift yakıtlı motorda dizel yakıtı püskürtme zamanının erkene alınmasının tutuşma gecikmesi süresini kısaltarak saf dizel yakıtına kıyasla daha verimli bir yanma ve daha düşük yakıt tüketimi sağlayabileceği belirtilmiştir [14].



Şekil 7. Dizel-doğalgaz çift yakıtlı motorda farklı miktarlarda doğalgaz ve 100 ppm nano B kullanılması durumunda ısı yayılım oranının ve silindir basıncının KMA açısı ile değişimi [14]



Şekil 8. Dizel-doğalgaz çift yakıtlı motorda nano B katkısı kullanılması durumunda egzoz gazı sıcaklığının motor momenti ile değişimi [14]

Şekil 8'de saf dizel yakıtı ile ve dizel-CNG çift yakıtla çalışma durumunda farklı miktarlarda (0, 50, 100 ppm) nano B katkısı kullanılması durumunda

egzoz gazı sıcaklığının motor momenti (yükü) ile değişimi verilmiştir. Şekil 8'de görüldüğü gibi dizel-CNG çift yakıtla çalışma durumunda CNG oranı arttıkça egzoz gazı sıcaklığı artmaktadır. Bu durumun, CNG oranı arttıkça yanmanın gecikmesi sonucunda yanmanın genişleme zamanında da devam etmesinden kaynaklandığı belirtilmiştir. Benzer şekilde, özellikle motor momenti arttıkça nano bor katkısı miktarının artmasının da egzoz gazı sıcaklığını artırdığı Şekil 8'de görülmektedir[14].

IV. SONUÇLAR

Sunulan derleme çalışmasında bor katkısının içten yanmalı motorların yanma karakteristiklerine etkileri literatüre dayalı olarak incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen bulguların ışığında aşağıdaki sonuçlar özetlenebilir.

- 20W40 dizel motor yağına %1 oranında bor nitrat (BN) katkısı katılması durumunda hareketli parçalar arasında yeterli yağ filminin oluşması sayesinde sürtünmelerin ve segmanlardan olan gaz kaçaklarının azaldığı, silindir basıncı ve motor yağlama yağı sıcaklığının arttığı tespit edilmiştir.
- %5 oranında etanol veya metanol içeren benzin-alkol karışımlarının yanma ve egzoz gazı sıcaklığını önemli oranda düşürdüğü tespit edilmiştir. Söz konusu benzin-alkol karışımlarına %5 oranında sodyum bor hidrat (SBH) katkısı katılması durumunda yanma ve egzoz gazı sıcaklığının bir miktar arttığı ancak saf benzine göre daha düşük sıcaklıkların ortaya çıktığı belirlenmiştir.
- Dizel yakıtına alüminyum (Al), demir (Fe) ve bor (B) nano parçacıkları katıldığında maksimum silindir basıncının azaldığı egzoz gazı sıcaklığının ise arttığı tespit edilmiştir. Tam yükte çalışma durumunda maksimum silindir basıncının Al, B ve Fe nano parçacık katkıları için %11, %5 ve %3 oranlarında azaldığı egzoz gazı sıcaklığının ise Al, Fe ve B nano parçacık katkıları için %9, %7 ve %5 oranlarında arttığı tespit edilmiştir.
- %20 oranında biyodizel içeren dizel-biyodizel karışımına (BD20) 50, 100 ve 200 ppm bor oksit (BO) nano parçacıkları katılması durumunda yanma işleminin gecikmeli olarak gerçekleştiği ve daha uzun sürdüğü, maksimum silindir basıncının bir miktar arttığı ancak ısı yayılım oranı ve basınç artış oranının azaldığı tespit edilmiştir. BD20 karışımına 100 ve 200 ppm BO

katkısının maksimum silindir basıncını %3,3 ve %3,9 oranlarında arttığı, maksimum ısı yayılımını %1,5 ve %12,8 oranlarında ve maksimum basınç artış oranını %8,6 ve %4 oranlarında azaldığı tespit edilmiştir. BD20 karışımı ve 50, 100 ve 200 ppm BO içeren yakıt karışımları için yanma süreleri ise sırasıyla 65, 77, 78 ve 78 °KMA olarak belirlenmiştir.

- Dizel–doğalgaz (CNG) çift yakıtlı motorda CNG miktarının artmasının tutuşma gecikmesi süresinin artmasına ısı yayılım oranı ve silindir basıncının azalmasına neden olduğu belirlenmiştir. Saf dizel yakıtla ve dizel–doğalgaz çift yakıtla çalışma durumunda farklı oranlarda (50 ve 100 ppm) nano bor katkısı kullanılmasının tutuşma gecikmesi süresinin kısaldığı, ısı yayılım oranı ve maksimum basınç artış oranının azaldığı, yanma veriminin arttığı ve yakıt tüketiminin azaldığı tespit edilmiştir. Dizel yakıtına 50 ve 100 ppm nano bor katkısı yapıldığında tutuşma gecikmesi süresinin %7 ve %6 oranlarında azaldığı belirtilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] A. A. Sertkaya and T. Akbıyık, “Operate with a gasoline internal combustion engine evaluation of different boron addition of the fuel additive inside performance and emissions impact,” *Journal of Polytechnic*, vol. 19(4), pp. 633–640, 2016.
- [2] T. Akbıyık, N. Kahraman and T. Taner, “Investigation of the effect of boron additive to lubricating oil on engine performance, exhaust, and emissions,” *Fuel*, vol. 312, paper no. 122931, 2022.
- [3] H. Bas and Y. E. Karabacak, “Investigation of the effects of boron additives on the performance of engine oil,” *Tribology Transactions*, vol. 57, pp. 740–748, 2014.
- [4] N. Wang, “Boron composite nanoparticles for enhancement of bio–fuel combustion,” Master of science theses, Louisiana State University, Agricultural and Mechanical College, Los Angeles, USA, 2012.
- [5] S. Karmakar, “Energetic nanoparticles as fuel additives for enhanced performance in propulsion systems,” Doctoral dissertation, Louisiana State University, Department of Mechanical Engineering, Los Angeles, USA, 2012.
- [6] P. K. Ojha and S. Karmakar, “Boron for liquid fuel engines–A review on synthesis, dispersion stability in liquid fuel, and combustion aspects,” *Progress in Aerospace Sciences*, vol. 100, pp. 18–45, 2018.
- [7] J. P. Smith, M. T. Montgomery, S. M. Masutani, B. A. Yoza, R. Kurasaki, C. Kinoshita and R. B. Coffin, “Aerolization during boron nanoparticle multi–component fuel group burning studies,” Naval Research Laboratory Report, 03–02–2014, 2014.
- [8] S. Simsek, S. Uslu, M. Sahin, F. Arlı and G. Bilgic, “Impact of a novel fuel additive containing boron and hydrogen on diesel engine performance and emissions,” *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, pp. 1–14, 2021.
- [9] S. M. Ramteke and H. Chelladura, “Effects of hexagonal boron nitride based nanofluid on the tribological and performance, emission characteristics of a diesel engine: An experimental study,” *Engineering Reports*, 2:e12216, 2020.
- [10] S. M. Ramteke and H. Chelladurai, “Examining the role of hexagonal boron nitride nanoparticles as an additive in the lubricating oil and studying its application,” *Journal of Nanomaterials, Nanoengineering and Nanosystems*, vol. 234(1–2), pp. 19–36, 2020.
- [11] A. Yakın, R. Behcet, H. Solmaz and S. Halis, “Testing sodium borohydride as a fuel additive in internal combustion gasoline engine,” *Energy*, vol. 254, paper no. 124300, 2022.
- [12] R. N. Mehta, M. Chakraborty and P. A. Parikh, “Nanofuels: Combustion, engine performance and emissions,” *Fuel*, vol. 120, pp. 91–97, 2014.
- [13] A. Çakmak and H. Özcan, “Investigation of the usability of boron oxide nanoparticles as diesel fuel additive,” *Boron*, vol. 7(1), pp. 420–429, 2022.
- [14] V. S. Kül and S. O. Akansu, “Experimental investigation of the impact of boron nanoparticles and CNG on performance and emissions of Heavy–Duty diesel engines,” *Fuel*, vol. 324, paper no. 124470, 2022.
- [15] E. Larsson, J. Heinrichs and S. Jacobson, “Tribological evaluation of a boric acid fuel additive in various engine fuels,” *Wear*, vol. 502–503, paper no. 204381, 2022.
- [16] L. A. Animashaun, “Tribochemistry of boron–containing lubricant additives on ferrous surfaces for improved internal combustion engine performance,” Doctoral dissertation, University of Leeds, School of Mechanical Engineering, Leeds, England, 2017.