

BUTANOL, ETANOL VE BENZİN KARIŞIMLARININ BUJİ İLE ATEŞLEMELİ MOTORLARDA ÖZGÜL YAKIT TÜKETİMİ VE EMİSYONA OLAN ETKİSİ

Ali KESKİN¹, İbrahim Aslan REŞİTOĞLU^{2*}

¹Mersin Üniversitesi, Tarsus Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, MERSİN

²Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, MERSİN

Özet

Son zamanlarda alkollerin benzin motorlarında alternatif bir yakıt olarak kullanımı büyük önem kazanmıştır. Biyokütle kaynaklarından üretilmeleri, fosil kökenli yakıtlara göre daha düşük karbon içermeleri, yüksek oktan sayısına sahip olmaları, çevreye yaydıkları emisyon değerlerinin daha düşük olması alkollere olan ilgiyi arttırmaktadır. Etanol ve butanol, biyokütle kaynaklarından üretilen alkoller arasında en fazla bilinen, çevreci, yenilenebilir, biyo kökenli enerji kaynakları arasındadır. Bu çalışmada, buji ile ateşlemeli bir motorda farklı oranlardaki benzin, butanol ve etanol karışımlarının alternatif yakıt olarak kullanımının yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Benzin, butanol ve etanol yakıtları sırasıyla %50-%40-%10, %50-%30-%20, %50-%20-%30 ve %50-%10-%40 oranlarında karıştırılarak test yakıtları elde edilmiştir. Her bir test yakıtının fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenip 4 zamanlı tek silindirli bir buji ateşlemeli motorda test edilerek egzoz emisyon ve özgül yakıt tüketimi değerleri belirlenmiştir. Elde edilen değerler benzin ile elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyokütle, etanol, butanol, benzin, alternatif yakıt, emisyon

EFFECTS OF BUTANOL-ETHANOL AND GASOLINE BLENDS ON SPECIFIC FUEL CONSUMPTION AND EMISSIONS IN A SI ENGINE

Abstract

Recently, the using of alcohols in SI engine as an alternative fuel has been important. Biomass sources produce lower carbon than fossil fuels, having high octane number and lower emissions, because of that their importance has been rising. Ethanol and butanol are renewable and antipollution energy sources which are produced from biomass sources. In this study, the effect of the use of butanol-ethanol-gasoline blends in an SI engine on specific fuel consumption and emissions were investigated experimentally. Gasoline, butanol, ethanol fuels are mixed respectively; %50-%40-%10, %50-%30-%20, %50-%20-%30, %50-%10-%40 and their physical and chemical specifications are designated. All of the fuel blends were tested in a single cylinder, four strokes, spark ignition research engine and the specific fuel consumption and emissions value are obtained. These values compared with gasoline's values.

Keywords: Biomass, ethanol, butanol, gasoline, alternative fuel, emission

1. Giriş

Biyokütle yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yolu ile kimyasal enerjiye dönüştürerek depolaması sonucu oluşan biyolojik kökenli madde kütlesidir. Ana bileşenleri, karbonhidrat bileşikler olan bitkisel veya hayvansal kökenli tüm doğal maddeler biyokütle enerji kaynağı, bu kaynaklardan elde edilen enerji ise, biyokütle enerjisi olarak tanımlanmaktadır. Enerji üretiminde kullanılan biyokütle şeker kamışı, mısır, arpa, patates, şeker pancarı gibi çeşitli bitkisel kaynaklardan, hayvansal atıklardan, şehir ve endüstri atıklarından elde edilebilmektedir [1].

* E-posta: aslanresitoglu@mersin.edu.tr

Butanol ve etanol gibi alkollerde biyokütle kökenli kaynaklarından elde edilmekte ve motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilirler. Biyoyakıt olarak adlandırılan bu alkoller yüksek oktan sayısına sahiptirler ve çevreye verdikleri zarar fosil kökenli yakıtlara göre daha düşüktür. Bu nedenle benzinin oktan sayısını yükseltmek ve emisyon kalitesini artırmak amacıyla kullanılmaktadırlar [2, 3]. Ayrıca alkoller benzine göre yüksek buharlaşma ısısına sahip olduklarından silindiri içerisine emilen karışım üzerinde soğutucu etki oluşturmakta ve bu da motorun volümetrik verimini arttırmaktadır. Buna karşın alkollerin ısı değerinin fosil kökenli yakıtlara göre düşük oluşu özgül yakıt tüketiminin artmasına neden olmaktadır. Bunun yanında, benzin motorlarında ve yakıt sistemlerinde bulunan bazı parçaların, alkollerle uyum sağlayamaması motorlarda ve yakıt sistemlerinde bazı modifikasyonların yapılmasına neden olabilmektedir [4].

Alkoller 19. yüzyıldan bu yana motorlarda tek başına ya da fosil kökenli yakıtlarla farklı oranlarda karıştırılarak kullanılmaktadırlar [2]. Geçmişte fosil kökenli yakıtların alkollere göre daha ucuz olması alkollerin kullanım alanını kısıtlamıştır. Günümüzde ise petrol fiyatlarındaki anormal artışlar ve temininde yaşanan sorunlar alkollere olan ilgiyi arttırmaktadır. Araştırmacılar ve üretici firmalar alkoller üzerine olan çalışmalarını yoğunlaştırmışlardır. BP ve DuPont gelecekteki enerji gereksinimini karşılamakta kullanılacak yenilenebilir yakıt araştırmaları için ortaklık kurmuşlardır. Çalışmalarında fosil kökenli yakıtlara alternatif olabilecek, yenilenebilir, ucuz, çevreci yakıtlar üzerine yoğunlaşmışlardır. Araştırmaları sonucunda, marketlerinde yer alacak ilk ürünün butanol olacağını savunmaktadırlar [5].

Butanol ve etanolun motorlarda alternatif bir yakıt olarak kullanımı üzerine çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Etanol ve butanol araçlarda farklı oranlarda benzinle karıştırılarak ya da tek başına kullanılabilir [6]. Koç ve arkadaşları [7] yapmış oldukları bir çalışmada etanolun kurşunsuz benzinle %50 ve % 85 oranındaki karışımlarının motor performans ve emisyonuna olan etkilerini araştırmışlardır. Farklı sıkıştırma oranları ve devirlerde gerçekleştirilen deneylerde etanolun kurşunsuz benzine katılmasıyla motor torku, gücü ve yakıt tüketiminde artış olduğu, buna karşı CO, NO_x ve HC emisyonlarında ise azalmalar olduğunu ortaya konmuştur.

Yücesu ve arkadaşları [8] farklı sıkıştırma oranlarında etanol ve benzin karışım yakıtının motor performans ve emisyonuna etkisini araştırmışlardır. Deneyler 2000, 3500 ve 5000 d/d olmak üzere 3 farklı devirde gerçekleştirilmiştir. Deney yakıtı olarak etanol benzinle %10, %20, %40 ve %60 oranlarında karıştırılarak dört farklı yakıt elde edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda torktaki en yüksek artış E40 ve E60 yakıtlarında elde edilmiştir. En yüksek özgül yakıt tüketimi değerleri 3500 ve 5000 d/d da E60 yakıtı ile ölçülmüştür. Etanol oranının yüksek olduğu E40 ve E60 yakıtlarının yanması sonucu oluşan emisyon değerlerinde benzine göre önemli azalmalar olmuştur.

Alasfour [9] %30 butanol oranına sahip benzin-butanol karışımının buji ile ateşlemeli bir motorda kullanılmasıyla hidrokarbon emisyonlarında meydana gelen değişimler üzerine bir araştırma yapmıştır. Motor hızının, tutuşma zamanının ve hava/yakıt oranının hidrokarbon emisyonları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuçlar aracın ulaşabileceği maksimum torka göre tutuşma süresinin geciktirilmesinin HC emisyonlarının azalmasında önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Fakir karışımlarda ateşlemenin 6 derece geciktirilmesiyle HC emisyonlarında %12 oranında azalmalar gözlenmiştir. Aynı zamanda soğutma suyu sıcaklığının 55 den 90 °C ye çıkarılmasıyla HC emisyonlarında % 30 oranında azalmalar saptanmıştır. Alasfour yapmış olduğu bir diğer çalışmada [10] metanol ve butanolun benzine karıştırılmasının özgül yakıt tüketimi, egzoz gazı sıcaklığı, ısı verim ve motor performansı üzerine olan etkilerini araştırmıştır. Bu araştırmalar sonucunda alkol-benzin karışımlarının kullanılmasıyla, özgül yakıt tüketiminde artış olduğu ve ayrıca butanol-benzin karışım yakıtının özgül yakıt tüketiminin, metanol-benzin karışımına göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Butanol-benzin karışım yakıtının kullanılmasıyla ısı veriminde %4,5 civarında bir azalma olmuştur.

Çelik ve Çolak [11] buji ile ateşlemeli bir motorda alternatif yakıt olarak saf etanolun kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Deneyler motorun 6/1, 8/1 ve 10/1 sıkıştırma oranlarında gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda 6/1 sıkıştırma oranında etanol kullanılmasıyla benzine göre önemli bir güç kaybı olmadan CO, CO₂ ve NO_x emisyonlarında azalma olduğu belirlenmiştir. CO, CO₂, NO_x emisyonlarında sırasıyla %41, %21 ve %26 azalma elde edilirken, HC emisyonunda %40 artış gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak değişik oranlardaki benzin, butanol ve etanol karışımlarının buji ile ateşlemeli bir motorda özgül yakıt tüketimi ve emisyonuna olan etkisi araştırılmıştır. Kurşunsuz benzin, butanol ve etanolun farklı oranlarda hacimsel olarak karıştırılmasıyla test yakıtları elde edilmiş ve her bir yakıtın kimyasal ve fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Özellikleri belirlenen bu yakıtların 4 zamanlı buji ateşlemeli tek silindri bir motorda değişik yük şartlarındaki emisyon (CO, HC, CO₂, O₂, NO_x) ve özgül yakıt tüketimi değerleri araştırılmıştır.

2. Deney ve tartışma

Bu çalışmada kurşunsuz benzin, etanol ve butanolden oluşan karışımlar test yakıtı olarak seçilmiştir. Kurşunsuz benzin, butanol ve etanol yakıtları sırasıyla %50-%40-%10, %50-%30-%20, %50-%20-%30 ve %50-%10-%40 oranlarında karıştırılmıştır. Her bir test yakıtı karışım oranına göre isimlendirilmiştir. Örneğin; F523-%50 benzin, %20 etanol, %30 butanol. Kurşunsuz benzin ise F100 olarak adlandırılmıştır.

Çizelge 1. Test Motoru Özellikleri

| | |
|-----------------------------------|-------------------|
| Üretici Firma/Model | Lombardini IM 359 |
| Silindir Sayısı | 1 |
| Silindir Hacmi (cm ³) | 349 |
| Silindir Çapı (mm) | 82 |
| Kurs (mm) | 66 |
| Sıkıştırma Oranı | 8.6:1 |
| Maksimum Tork | 10.6 Nm |
| Maksimum Güç (HP) | 7 kW at 3000 rpm |
| Soğutma sistemi | Hava Soğutmalı |

Deneyler tek silindirli, dört zamanlı buji ile ateşlemeli bir motorda gerçekleştirilmiştir. Test motorunun teknik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Testler 600, 1200, 1800 W olmak üzere motorun 3 farklı yükte çalıştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Yakıt tüketimi hacimsel olarak 40 ml. hacimde ölçülmüş ve daha sonra hesaplamalarla özgül yakıt tüketimi değerine dönüştürülmüştür. Testlerden önce motor 15 dakika yüksüz çalıştırılarak çalışma sıcaklığına getirilmiştir. Ayrıca testler sırasında motor sıcaklığı kontrol altında tutulmuştur.

Çizelge 2. Egzoz Gaz Analiz Cihazı Teknik Özellikleri

| Değişkenler | Ölçüm Aralığı | Duyarlılık |
|-----------------|---------------|------------|
| Hidro karbon | 0–20000 ppm | 1 ppm |
| Karbon monoksit | 0–15 % | 0,00% |
| Karbon dioksit | 0–20 % | 0,1% |
| Oksijen | 0–21,7% | 0,01% |
| Azot oksit | 0–5000 ppm | 1 ppm |

CO, NO_x, HC, O₂ ve CO₂ emisyonları Testo marka gaz analiz test cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Ölçümler egzoz çıkışından direk olarak proba ölçülerek gerçekleştirilmiştir. Her bir ölçüm üç defa yapılarak ortalama değer alınmıştır. Tablo 2’de egzoz gaz analiz cihazının teknik özellikleri verilmiştir.

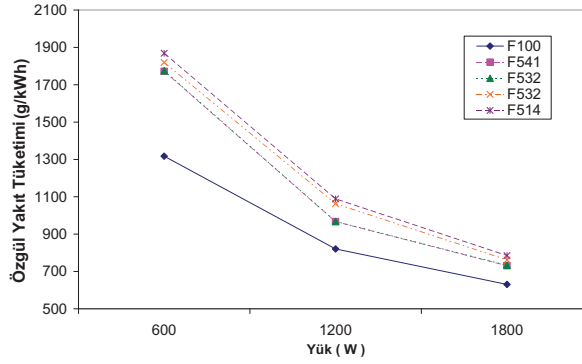
3. Bulgular ve tartışma

Hazırlanan test yakıtlarının özellikleri Tablo 3’de verilmiştir. Tabloda karışım yakıtlarının benzin yakıtıyla benzer özelliklere sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 3. Farklı oranlardaki etanol/butanol/benzin karışım yakıtlarının özellikleri

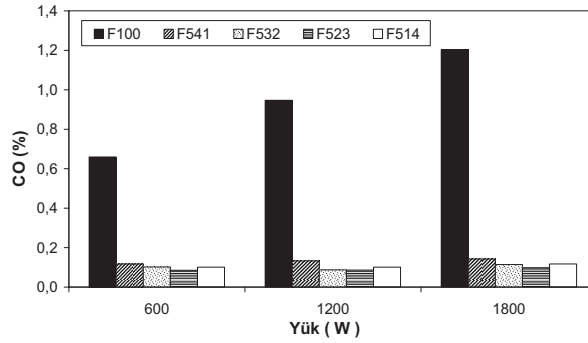
| | F100 | F541 | F532 | F523 | F514 |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Benzin Oranı (%) | 100 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Butanol Oranı (%) | 0 | 40 | 30 | 20 | 10 |
| Etanol Oranı (%) | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 |
| Yoğunluk (gr/cm ³) | 0,741 | 0,776 | 0,775 | 0,775 | 0,774 |
| Isıl Değer (j/gr) | 42062 | 38357 | 37900 | 36157 | 35696 |
| Korozyon | 1a | 1b | 1b | 1b | 1b |
| Oktan sayısı (RON) | 96,946 | 92,113 | 95,088 | 97,002 | 99,31 |
| Oktan Sayısı (MON) | 85,992 | 83,337 | 88,102 | 88,752 | 90,44 |

Karışım yakıtların ısı değeri benzinin ısı değerinden daha düşüktür. Karışımındaki etanol oranının butanol oranına göre artmasıyla ısı değeri düşme gözlenmiştir. Bu düşüş butanolün ısı değerinin etanolunkinden daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Oktan sayılarında ise etanol miktarının artışına bağlı olarak yükselme eğilimi gözlemlenmiştir.



Şekil 1. Farklı benzin/butanol/etanol yakıt karışımlarında özgül yakıt tüketiminin değişimi

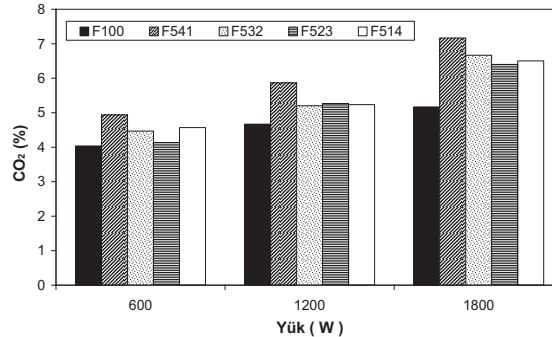
Şekil 1’de test yakıtları için farklı yüklerdeki özgül yakıt tüketimi (ÖYT) değerleri verilmiştir. Grafik incelendiğinde etanolun ve butanolun kullanılmasıyla ÖYT değeri benzin ile elde edilen değerlere göre artış göstermiştir. Bu artış butanol ve etanolun ısıl değerlerinin benzinin ısıl değerine göre daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Alkoller arasındaki oran dikkate alındığında etanol oranının artmasıyla ÖYT artış göstermektedir. En yüksek özgül yakıt tüketimi artışı F514 yakıtı ile ve 600 W motor yükte, %41,82 oranında olmuştur. Motor yükündeki artışla orantılı olarak karışım yakıtların ÖYT değerindeki yükselme oranı azalmıştır.



Şekil 2. Farklı benzin/butanol/etanol yakıt karışımlarında CO emisyonu değişimi

Karışım yakıtlar ile CO emisyonlarında önemli oranlarda azalmalar olduğu Şekil 2’de görülmektedir. Karışım yakıtların CO emisyonları her yük şartında benzine göre azalma göstermiştir. Etanolun ve butanolun moleküler yapısında var olan oksijen miktarı, yüksek oktan sayısı, içeriğinde kükürt bileşiklerinin olmaması temiz yanmada etkili olmaktadır [8, 11]. Etanol ve butanol CO emisyonu bakımından karşılaştırıldığında ikisi arasında büyük bir farkın olmadığı gözlenmiştir. Maksimum azalma F523 yakıtı ile 1800 W yükte %91,85 oranında olmuştur.

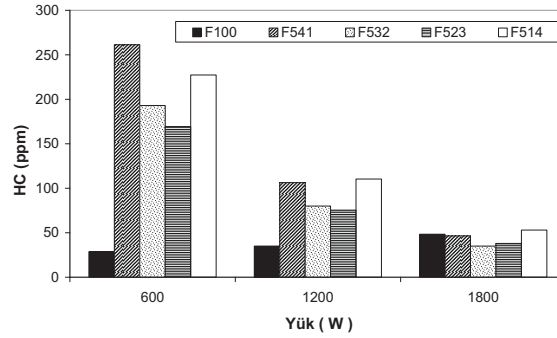
CO₂ emisyonu yakıtın ihtiva ettiği karbon miktarı, hava/yakıt oranı ve motor yüküne göre değişim göstermektedir. Şekil 3’de görüldüğü gibi karışım yakıtların CO₂ emisyonları benzin ile ölçülen değerlere göre artış eğilimi göstermiştir.



Şekil 3. Farklı benzin/butanol/etanol yakıt karışımlarında CO₂ emisyonu değişimi

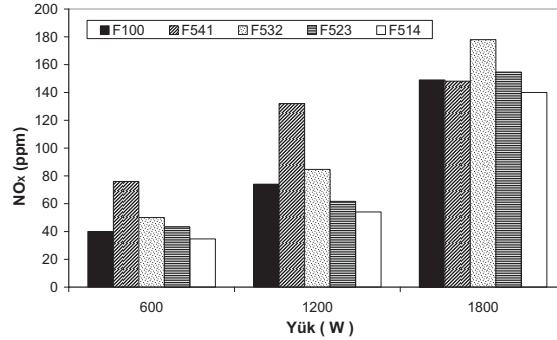
Maksimum artış 1800 W yükte F541 yakıtı ile %38,7 oranında olmuştur. Yük arttıkça CO₂ emisyonları oranlarında artış gözlenmiştir. F532, F523 ve F514 yakıtlarının CO₂ emisyonları arasında büyük bir farklılık

görülmemektedir. CO₂ emisyonundaki artışın, alkollerin içeriğinde ihtiva ettiği oksijenin yanma olayını iyileştirmesi sonucu kaynaklandığı tahmin edilmektedir.



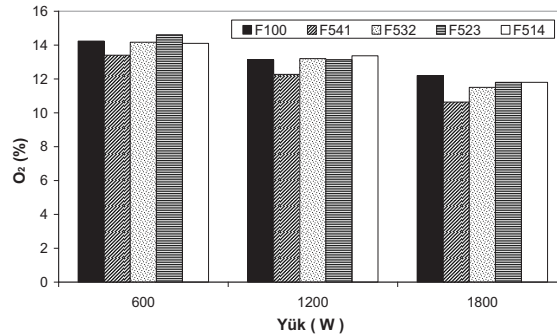
Şekil 4. Farklı benzin/butanol/etanol yakıt karışımlarında HC emisyonu değişimi

Hidrokarbon emisyonu tam yanmadan dışarı atılan eksik yanma ürünlerinden oluşmaktadır. Şekil 4’de 600 ve 1200 W yüklerde karışım yakıtların HC emisyonlarının benzinin değerlerine göre artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Bunun yanında 1800 W yükte karışım yakıtların emisyonlarının benzine göre daha düşük olduğu saptanmıştır. Maksimum artış 600 W yükte F541 yakıtı ile gerçekleşmiştir. Maksimum azalma ise 1800 W yükte F532 yakıtı ile %27,58 oranında olmuştur. Karışım yakıtlarının içerisindeki alkollerin buharlaşma ısısının yüksek olması yanma odasının ve yüzeylerinin soğumasına neden olmaktadır. Bu durum silindir duvarlarına yakın bölgelerde alev sönmeye neden olmakta ve karışım yakıtlarının HC emisyonları benzine göre artış göstermektedir. HC emisyonu sonuçları diğer araştırma sonuçları ile kıyaslandığında, [11, 12, 13] benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür.



Şekil 5. Farklı benzin/butanol/etanol yakıt karışımlarında NO_x emisyonu değişimi

Şekil 5’de görüldüğü gibi karışım yakıtlarının NO_x emisyonları benzine göre daha yüksek değerlerdedir. En yüksek NO_x emisyonu değeri 1800 W yükte F532 yakıtında 178 ppm. olarak gözlemlenmiştir. Yük artışıyla doğru orantılı olarak NO_x emisyonlarında da artış olmuştur. Benzine göre maksimum NO_x emisyonu artışı 600 W yükte F541 yakıtı ile gerçekleşmiştir. Karışımlardaki etanol oranının artmasıyla NO_x emisyonlarında benzine ve diğer karışım yakıtlarına göre düşüş gözlemlenmiştir. Maksimum azalma 1200 W yükte F514 yakıtı ile %27,02 oranında olmuştur. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara benzer sonuçları diğer araştırmacılarında elde ettiği görülmüştür [6, 14, 15].



Şekil 6. Farklı benzin/butanol/etanol yakıt karışımlarında O₂ emisyonu değişimi

Şekil 6’da egzoz emisyonlarındaki oksijen miktarı gösterilmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere benzin ve karışım yakıtların emisyonlarının içerdikleri O₂ miktarı birbirleriyle benzerlik göstermektedir. Karışım yakıtlarındaki etanol oranı arttıkça O₂ miktarında artış olduğu görülmektedir. Bunun nedeni de etanolün butanola göre içeriğinde ihtiva ettiği O₂ miktarının daha fazla olmasıdır.

4. Sonuçlar

Yapılan çalışmalar sonucu alkol karışımı yakıtların benzin yakıtına göre daha yüksek oktan sayısına sahip olduğu, buna karşın karışım yakıtların ısı değerlerinin benzin yakıtına göre düşük olduğu belirlenmiştir. Isıl değerlerinin düşük olmasından dolayı alkollerin benzine katılmasıyla özgül yakıt tüketiminde artış olmuştur. En yüksek özgül yakıt tüketimi artışı F514 yakıtı ile ve 600 W yükte, %41,82 oranında olmuştur. Emisyonlarda ise genel anlamda bir iyileşme gerçekleşmiştir. CO emisyonlarında önemli derecede düşüşler gözlenmiştir. Maksimum azalma F523 yakıtı ile 1800 W yükte %91,85 oranında olmuştur. CO₂ emisyonları benzin ile ölçülen değerlere göre artış eğilimi göstermiştir. Maksimum artış 1800 W yükte F541 yakıtı ile %38,7 oranında olmuştur. 600 ve 1200 W yüklerde karışım yakıtların HC emisyonları benzinin değerlerine göre artış gösterirken 1800 W yükte azalma gözlenmiştir. Maksimum artış 600 W yükte F541 yakıtı ile gerçekleşmiştir. Maksimum azalma ise 1800 W yükte F532 yakıtı ile %27,58 oranında olmuştur. NO_x emisyonlarında düşme eğilimi gözlenirken O₂ emisyonlarında önemli bir değişim gözlenmemiştir.

Kaynaklar

- [1] Agarwal, A. K., “Biofuels (alcohols and biodiesel) Applications as Fuels for Internal Combustion Engines”, *Progress in Energy and Combustion Science*, 33, 233-271, 2007.
- [2] Gibilisco, S., “Alternative Energy Demystified”, McGraw- Hill, London, 120-123, 2007
- [3] Bosch, R., “Gasoline-Engine Management”, Gmbh, Cambridge, 32-37, 2006.
- [4] Lee, S., Speight, J. G., Loyalka, S. K., “Handbook of Alternative Fuel Technologies”, Taylor&Francis Group, London, 297-343, 2007.
- [5] Mobile Sources Technical Review Subcommittee, “Butanol as a Gasoline Blending Bio-Component”, 2008.
- [6] Najafi, G., Ghobadian, B., Tavakoli, T., Buttsworth, D. R., Yusaf, T. F., Faizollahnejad, M., “Performance and Exhaust Emissions of a Gasoline Engine with Ethanol Blended Gasoline Fuels Using Artificial Neural Network”, *Applied Energy*, 86:630-639, 2009.
- [7] Koç, M., Sekmen, Y., Topgöl, T., Yücesu, H. S., “The Effects of Ethanol-Unleaded Gasoline Blends on Engine Performance and Exhaust Emissions in a Spark-Ignition Engine”, *Renewable Energy*, 1-6, 2009.
- [8] Yücesu, H. S., Topgöl, T., Çinar, C., Okur, M., “Effect of Ethanol-Gasoline Blends on Engine Performance and Exhaust Emissions in Different Compression Ratios”, *Applied Thermal Engineering*, 26:2272-2278, 2006.
- [9] Alasfour, F. N., “The effect of using 30% iso-butanol-gasoline blend on hydrocarbon emissions from a spark-ignition engine”, *Energy Research*, 21:37-94, 1999.
- [10] Alasfour, F. N., “Butanol-a single cylinder engine study: engine performance” , *Energy Research*, 1:21-30, 1997.
- [11] Çelik, M. B., Çolak, A., “Buji Ateşlemeli bir Motorda Alternatif Yakıt Olarak Saf Etanolün Kullanılması”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23:619-626, 2008.
- [12] Charalampos, A. I., Anastasios, K. N., Panagiotis, S. D., “Gasoline-Ethanol, Methanol Mixtures and a Small Four-Stroke Engine”, *Heat and Technology*, 22:69-73, 2004.
- [13] Magnusson, R., Nilson, C., “Emissions of Aldehydes and Ketones From a Two- Stroke Engine Using Ethanol and Ethanol-Blended Gasoline as Fuel”, *Environmental Science and Technology*, 36 (8):1656-1664, 2002.
- [14] Bayraktar H., “Experimental and theoretical investigation of using gasoline– ethanol blends in spark-ignition engines”, *Renewable Energy*, 30:1733–47, 2005
- [15] Hsieh W. D., Chen R. H., Wu T. L., Lin T. H., “Engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol–gasoline blended fuels” *Atmosphere Env*