

BENZİNLE ÇALIŞAN BİR MOTORDA TEREVENTİN KULLANIMININ MOTOR PERFORMANS VE EMİSYONLARINA ETKİSİ

Yusuf BAŞOĞUL^{1*} , Hüseyin BAYRAKÇEKEN²

¹Adiyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Adiyaman, Türkiye

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Adiyaman, Türkiye

Geliş tarihi: 12.03.2018 Kabul tarihi: 22.05.2018

ÖZET

Günümüzde enerji kullanımı arttıkça, sınırlı olan enerji kaynakları kendilerini yenilenebilir, tarımsal ve petrol kökenli olmayan (etanol, metanol, kanola, aspir vb.) kaynaklardan elde edilebilen, çevre dostu yakıtlara bırakılmaktadır. Diğer taraftan motorların verimlerinin yükseltilmesi, egzoz emisyonlarının düşürülmesi ve motorlar için uygun özelliklere sahip alternatif motor yakıtlarının bulunması ve geliştirilmesi için çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmada, içten yanmalı motorların performans ve veriminin yükselterek egzoz emisyonlarının iyileştirilebilmesi için benzine farklı oranlarda tereventin ilavesi yapılmıştır. Bu amaçla 4 zamanlı, buji ateşlemeli ve tek silindirli bir benzin motoru kullanılmıştır. Deneyler 2000-4000 min-1 motor hızlarında ve tam gaz kelebek açıklığında yapılmıştır. Kurşunsuz benzine %10 ve %20 oranlarında (hacimsel) tereventin ilave edilerek motor torku, motor gücü, özgül yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları deneysel olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Alternatif yakıt, Tereventin, Motor performansı, Emisyon ölçümü.*

THE EFFECT OF USING TURBENTINE ON ENGINE PERFORMANCE AND EMISSIONS OF A GASOLINE ENGINE

ABSTRACT

As the use of energy is increasing by each day, the limited energy resources are being replaced with eco-friendly fuels that can be acquired from renewable, agricultural and non-petroleum (ethanol, methanol, canola, safflower etc.) resources. On the other hand, works continue to increase the efficiency and reduce emissions of motors and to find and develop alternative motor fuels that have characteristics conforming to motors. In this study, turpentine in different ratios has been added to gasoline to increase the performance and efficiency and improve exhaust emissions of internal combustion engines. For this purpose, a spark ignited single cylinder 4-stroke petrol engine has been used. Trials have been conducted at 2000-4000 min-1 motor speeds and at full throttle opening. Motor torque, motor power, specific fuel consumption and exhaust emissions have been empirically analysed by adding 10% and 20% turpentine (in volume) to unleaded fuel.

Keywords: *Alternative fuel, Turpentine, Engine performance, Emission.*

1. Giriş

Günümüz dünyasında enerji kullanımına olan talep arttıkça, oldukça kısıtlı olan enerji kaynakları kendilerini sürdürülebilir, tarımsal ve petrole dayalı olmayan (methanol, etanol, soya, kanola vb.) kaynaklardan elde edilebilen yakıt türlerine bırakılmaktadır. Diğer taraftan motorlar için daha iyi

* e-posta: ybasogul@adiyaman.edu.tr

özelliklere sahip alternatif motor yakıtlarının bulunması, motorların verimlerinin yükseltilmesi ve geliştirilmesi, egzoz emisyonlarının düşürülmesi için çalışmalar sürdürülmektedir [1].

Terebentin geçmişte herhangi bir modifikasyon olmadan motorlarda kullanılmış ancak petrol kökenli yakıtların bolluğu nedeniyle kullanımı terk edilmiştir. Son yıllarda petrol kökenli yakıt kaynaklarının azalması ve maliyetlerinin artması nedeniyle alternatif yakıt arayışları sırasında terebentin kullanımı tekrar gündeme gelmiştir.

Hamdan ve Al-Subaih (2002) gerçekleştirdikleri çalışmada benzine MTBE (Metil Tersiyer Bütil Eter) ilavesinin oktan sayısına ve motor performansına etkisini incelemiştir. Çalışmada MTBE benzine hacimsel olarak %5, %10, %15 ve %20 oranlarında ilave edilmiştir. Oluşturulan karışımların oktan sayısı karışımdaki MTBE miktarına bağlı olarak lineer bir şekilde artış göstermiştir. Karışımların motor gücüne etkisi benzinle karşılaştırıldığında en yüksek artış %10 MTBE içeren karışımla elde edilmiştir. En düşük özgül yakıt tüketimi ve en yüksek termik verim yine aynı karışımda görülmüştür. Oksijen içeren bir bileşik olan MTBE, CO (Karbonmonoksit) ve HC (Hidrokarbon) emisyonlarının azalmasında etkili olduğu görülmüştür. En düşük kirletici emisyonlar MTBE10 kullanımında elde edilmiştir [2].

He vd. (2003) yapmış oldukları çalışmada deneylerde kurşunsuz benzin ve %10 etanol ve %30 etanol içeren etanol-benzin karışımları kullanmışlardır. Etanol kullanımı sonucunda motor çıkışındaki CO ve NO_x (Azotoksitler (ppm)) emisyon değerlerinde küçük bir azalma elde edilirken, HC emisyonlarındaki azalmanın oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Birçok çalışma şartlarında egzoz çıkışındaki CO, HC ve NO_x emisyonlarının daha az olduğu görülmüştür. Egzoz çıkışındaki emisyonlar motor çıkışındaki katalitik konvertör verimine, emisyon miktarına, motor hızına, motor yüküne, yakıt/hava eşdeğerlik oranına ve karışımdaki etanol miktarına bağlı olarak değişim göstermektedir. Etanolün düşük ısı değere sahip olmasından dolayı fren özgül yakıt tüketimi, karışımdaki etanol miktarına bağlı olarak artış göstermiştir. Bununla birlikte fren özgül yakıt tüketimi etanol içeren karışımlarda azalma göstermiştir [3].

Topgül vd. (2004) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, E 10 ve E 20 yakıtları kullanılarak motor performans ve emisyon testleri yapılmıştır. Motor momentinde en yüksek artış 2000 min-1 motor devrinde E10 yakıtında %0,5 (SO(Sıkıştırma Oranı): 11/1), E20 yakıtında %1,3 (SO: 10/1) ve özgül yakıt tüketiminde ortalama E10 için %5,5, E20 için %8,8 artış görülmüştür. 3500 min-1 motor devrinde motor momentinde E10 yakıtında maksimum %1,3 (SO: 8/1), E20 yakıtında %1,7 (SO: 8/1) ve FÖYT (Fren Özgül Yakıt Tüketimi) ortalama E10 yakıtında %4,4, E20 için %8,4 artış görülmüştür. Motor momentinde 5000 min-1 motor devrinde E10 yakıtında en fazla %0,3 (SO: 9/1), E20 yakıtında %1,7 (SO: 10/1) ve özgül yakıt tüketiminde ise; ortalama E10 için %3,6, E20 için %8,7 artış elde edilmiştir [4].

Acaroğlu vd. (2004) tarafından yapılan çalışmada çeşitli araçlarda biyoetanol ve benzin kullanılarak oluşan emisyon değerlerinin aynı zamanda lisanslı yazılım programı GEMIS (Global Emission Model for Integrated Systems) kullanılarak bir karşılaştırılması yapılmıştır. Etanolün CO ve NO_x değerlerinde sırasıyla %60- 65 ve %45'lik bir azalma olduğu tespit edilmiştir [5].

Yüksel ve Yüksel (2004), yapmış oldukları çalışmada benzinli bir motorda etanol-benzin kullanımının motor verimi ve emisyon değerleri üzerine etkisini incelemiştir. Benzin-alkol karışımının yakıt olarak kullanımındaki en ciddi sorunun yakıtı homojen sıvı fazda tutabilme olduğu ifade edilmiştir. Bu problemi çözmek için özel bir karbüratör tasarımı yapılmıştır. Deneyler farklı yük ve devir sayılarında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmaların neticesinde, etanol-benzin karışımı kullanımı ile motorun çıkış gücünde kısmi artış görülmüş, Kullanılan etanolün yanma performansını iyileştirmesi sonucu CO ve HC emisyon miktarında kayda değer bir azalma, CO₂ (Karbon dioksit) emisyon miktarında ise artış görülmüştür [6].

Choi vd. (2005), yapmış oldukları çalışmada tek silindri, farklı sıkıştırma oranlarına sahip bir motor geliştirmişler ve motorun performans ve emisyon özelliklerini araştırmak için deneyler yapmışlardır. Farklı tip yakıtla (LPG+hidrojen) çalışmanın termik verim, performans ve egzoz

emisyonları üzerindeki etkisi üzerine çalışılmıştır. Farklı tip yakıtla çalışmada hidrojen oranının artışıyla termik verimde önce düşme sonrasında bir artış olduğu görülmüştür [7].

Metil tersiyer-bütül eter (MTBE) içeren benzin karışımlarının motor performans ve emisyonlarına etkisinin incelendiği çeşitli çalışmalarda özellikle yüksek motor yüklerinde egzoz emisyonlarında belirgin bir azalma tespit edilmiştir. Düşük yüklerde ve soğuk ilk hareket koşullarında yakıttaki MTBE oranının artması ile HC ve CO emisyonlarında artış gözlenmiştir. En iyi motor performansı ve minimum egzoz emisyonu %10'luk MTBE-benzin karışımında elde edilirken ağırlık oranı olarak %8-11 MTBE içeren yakıtların kullanımı sonucunda katalitik konvertör çıkışında da MTBE maddesi belirlenmiştir [2,8].

Yumrutaş vd. (2008), buji ile ateşlemeli dört silindirli bir motorda sülfat terebentin ilavesinin motor performans ve emisyonlarına etkisini incelemiş, motor gücü, termal verim, ortalama basınç ve özgül yakıt tüketiminde olumlu etkileri olduğunu tespit etmişlerdir. NO_x, HC emisyonları ve egzoz sıcaklığı artarken CO konsantrasyonunda azalma gözlenmiştir [9].

Butkus vd. (2007), %5 terebentin içeren dizel yakıt karışımı kullanmış ve motor performans ve egzoz emisyonlarında terebentinin olumlu etkilerini gözlemiş, karışımında taneciklerin dizel yakıtına göre daha hızlı buharlaşması ve yanmasıyla özgül yakıt tüketiminde bir azalma olduğunu tespit etmişlerdir [10].

Kaplan vd. (2011), % 3 terebentin ve %97 dizel yakıtı oranındaki karışımla, dizel yakıtına yakın sonuçlar elde etmişlerdir. Egzoz emisyonlarında önemli ölçüde düşüş gözlenmiştir. Sülfat terebentinin viskozite değerinin dizel yakıtına yakın olmasına rağmen parlama noktasının daha düşük olması nedeniyle kış şartlarında ve direkt ateşleme ile kullanımında avantajlar sağladığını tespit etmişlerdir [11].

2. Deneyde Kullanılan Yakıtlar

Terebentin yenilenebilir biyo esaslı kaynak olması nedeniyle petrol yakıtlarına eklenen alternatif yakıtlardan olup buji ile ateşlemeli motorlarda petrol yakıtlarının tüketimini düşürme potansiyeli sağlayan bir biyo-yakıttır. Ormanlık bitkiler, tarımsal ve ormansal artıklar, kentsel katı atıklar ve endüstriyel atık çayların büyük bir bölümü olarak bol, yerli, selülozik biyo-kütle kaynaklarından üretilmektedir.

Ham reçine, çam sakızı ve terebentinin dünya üzerindeki üretimi Çizelge 1'de verilmiştir. Biyokütleden terebentin üretimi bazı ülkelerden ithal edilen ham petrolün tüketimini ve çevresel kirliliğini azaltmakta ve ayrıca ekonomik fayda sağlamaktadır.

Çizelge 1. Ham reçine, çamsakızı ve terebentinin dünya üretim(ton) kapasitesi [13].

Üretim (ton)	Yıl	Ham reçine	Çam sakızı	Türbentin
Toplam Dünya Üretimi		976 000	717 000	99 400
Çin	1993	570 000	430 000	50 000
Endonezya	1993	100 000	69 000	12 000
Rusya	1992	90 000	65 000	9 000
Brezilya	1993	65 000	45 000	8 000
Portekiz	1992	30 000	22 000	5 000
Hindistan	1994	30 000	21 000	4 000
Arjantin	1993	30 000	21 000	4 000
Meksika	1991	30 000	22 000	4 000

Honduras	1992	8 000	6 000	1 000
Venezuela	1993	7 000	5 000	800
Yunanistan	1993	6 000	4 000	600
Güney Afrika	1993	2 000	1 500	200
Vietnam	1990	2 000	1 500	200
Diğerleri	-	6 000	4 000	600

Terebentin benzine eklenerek buji ile ateşlemeli motorda kullanılabilen çevreye daha az zarar veren bir alternatif sıvı yakıttır. Modifikasyon dışında motorlarda kullanılır. Fakat ham petrolün bol olması içten yanmalı motorlarda terebentin kullanımını azaltmıştır. Bugün yaygın olarak petrol yakıtının fiyatının artması içten yanmalı motorlarda terebentinin kullanımını yeniden gündeme getirmektedir. %20 terebentin ve %80 dizel performans ve emisyon karakteristikleri açısından optimum karışım olduğunu bildirmiştir [12,13].

Yakıt katılmış olan terebentin kullanımının birçok avantajları vardır [14]:

- Yenilenebilir yakıt ve biomas kaynaklardan kolayca elde edilebilir,
- Oldukça çevresel ve dost bir potansiyele sahiptir,
- Kendiliğinden tutuşma ve kaynama sıcaklığı benzinden daha yüksektir,
- Benzine katılan bir yakıt olarak terebentin kullanımının çevre, ekonomiklik ve tüketici için birçok faydası vardır,
- Isıl değeri ve viskozitesi benzin ve biyo- yakıtların değerinden daha yüksektir.

Terebentin üretimi iğne yapraklı ağaçlardan sağlanmaktadır. Yanabilme özelliği olan ve endüstrinin farklı kollarında kimyasal solvent olarak kullanılmaktadır. Özütü %75-90 reçine ve %10-25 yağ içeren ağaçlardan elde edilir. Damıtıldığında kimyasal formülü (C₁₀H₁₆) olarak elde edilir [15].

Coğrafik konum, ağaç türleri ve damıtma işlemine temel alan yüzdede değışen terpenler ve gerekli yağların bir karışımıdır. Terebentin yağı, buharla damıtılmış terebentin, sülfat terebentin, sülfid terebentin ve destrüktif damıtılmış ağaç terebentin gibi beş farklı tipi vardır. Farlı alanlarda kullanılma özelliğinden dolayı tercih edilen bir üründür. Çizelge 2’de terebentin ve benzinin kimyasal ve fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2. Terebentin ve benzinin fiziksel ve kimyasal özellikleri [16].

	Benzin	Terebentin
Kimyasal Formülü	C ₄ -H ₁₂	C ₁₀ H ₁₆
Molekül Ağırlığı	105	136
Bileşimi (% wt)	C 88 H 15	C88.2 H11.8
Yoğunluk (kg/m ³)	780	860-900
Özgül Ağırlığı	0,78	0,86-0,9
Akma Noktası (°C)	-40	-
Kaynama Noktası (°C)	30-220	150-180
Buhar Basıncı (kPa)	48-103	<1
Viskozite cSt (30 °C)	-	2,5
Buharlaşma Gizli Isısı (kJ/kg)	350	285
Parlama Noktası (°C)	-43	38
Alt Isıl Değeri (kJ/kg)	43,890	44,400
Kendiliğinden Tutuşma Sıcaklığı (°C)	300-450	305
Alevlenme Sınırı (% hacim)	1,4	0.8

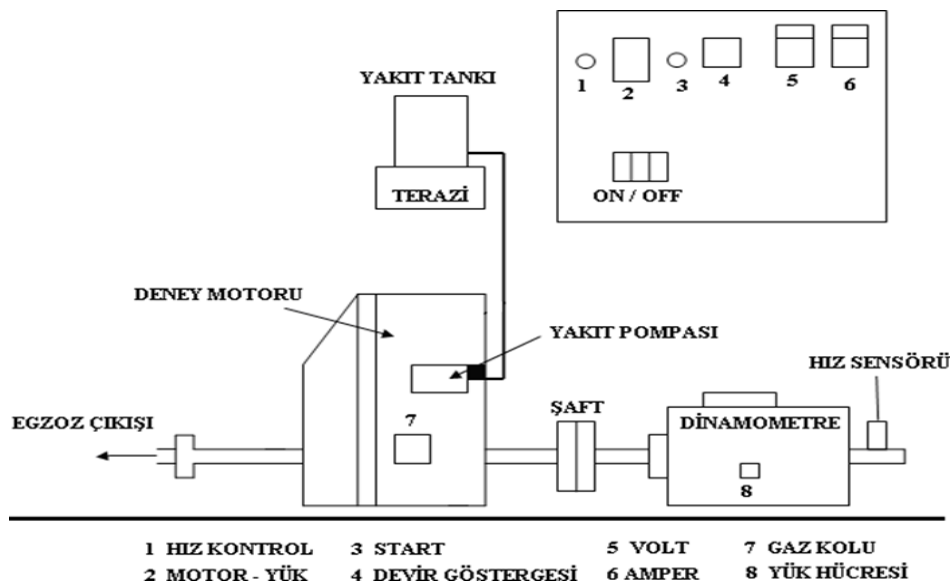
3. Deney Ekipmanları ve Yöntem

Deneyler tek silindirli benzinli bir motorda gerçekleştirilmiştir. Deneyde kullanılan motorunun teknik özellikleri Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Deney kullanılan motorun teknik özellikleri [1]

Motorun Markası ve Modeli	Honda GX 160
Motor Tipi	Hava soğutmalı, 4 stroklu, ateşleme avansı 25°
Silindir Sayısı	1
Silindir Hacmi	163 cm ³
Silindir Çapı	68 mm
Strok	45 mm
Sıkıştırma Oranı	8,5/1
Soğutma Sistemi	Hava Soğutmalı
Maksimum Motor Devri	3600 rpm
Maksimum Motor Gücü	3,6 kW

Kullanılan benzin, T10 ve T20 yakıtlarında 2000-4000 min⁻¹ motor devirlerinde ve tam gaz kelebek açıklığında, 1.2-1,6 hava fazlalık katsayısında ön deneyler yapılmış olup motorun 1.6 değerinde daha uygun çalıştığı tespit edilerek deneyler 1.6 hava fazlalık katsayısında ve 25° avans değerinde deneyler yapılmıştır. Deneylerde kullanılan ekipman ölçüm öncesi kalibre edilmiştir. Her yakıt için motor rölanti devrinde çalışırken egzoz emisyonları ölçülmüş, sonra tam yük değişken devir testi yapılarak motor karakteristik değerleri elde edilmiştir. Motor çalışma sıcaklığına getirildikten sonra gaz kolu tam gaz konumunda iken motor dinamometresi ile yükleme yapılarak motor devri istenilen değere getirilmiştir. Test motoru ile 2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000 min⁻¹ devir aralığında ölçüm sonuçları alınmıştır. Deneylerde her üç yakıt için motor momentleri 2500 min⁻¹’da en yüksek seviyededir. Benzin ile yapılan ölçümler sonrasında %10 ve %20 terebentin-benzin karışımları ile motor performans ve egzoz emisyon (CO, CO₂, O₂, HC) değişimleri ölçülmüştür. Ölçümler üç defa tekrarlanarak değerlerin ortalaması esas alınmıştır. Ortam sıcaklığı 18 °C olduğu belirlenmiştir. Deney düzeneği Şekil 1’de şematik olarak görülmektedir.

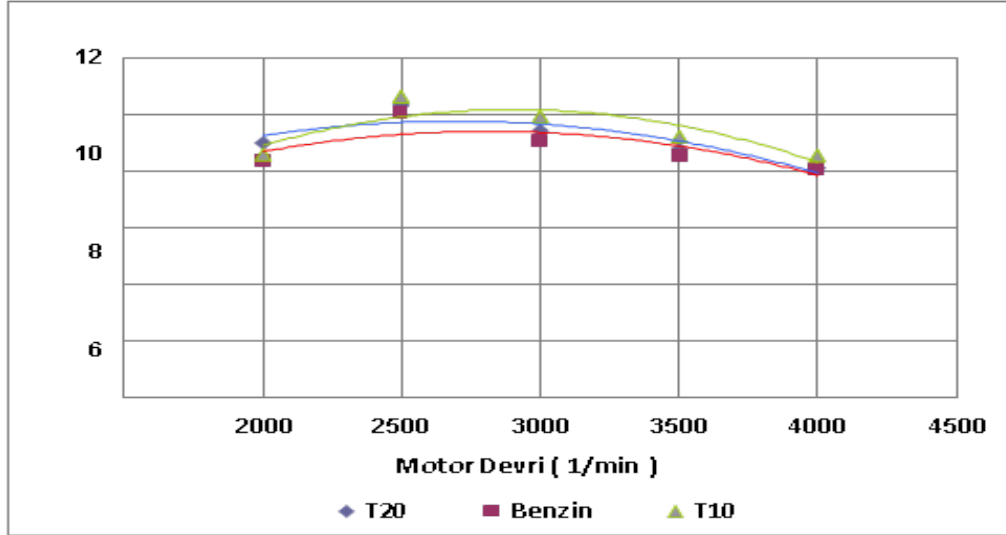


Şekil 1. Deney düzeneğinin genel şeması [1].

4. Deney Sonuçları ve Değerlendirme

4.1. Benzin, T10 ve T20 Yakıtlarının Motor Momentine Etkileri

Şekil 2’de 2000-4000 min⁻¹ aralığında 500 min⁻¹ aralıkla benzin, T10 ve T20 yakıtının motor momentini değişimleri görölmektedir.



Şekil 2. Terebentin benzin karışımları kullanımıyla motor momentinin motor devrine bağlı değişimi

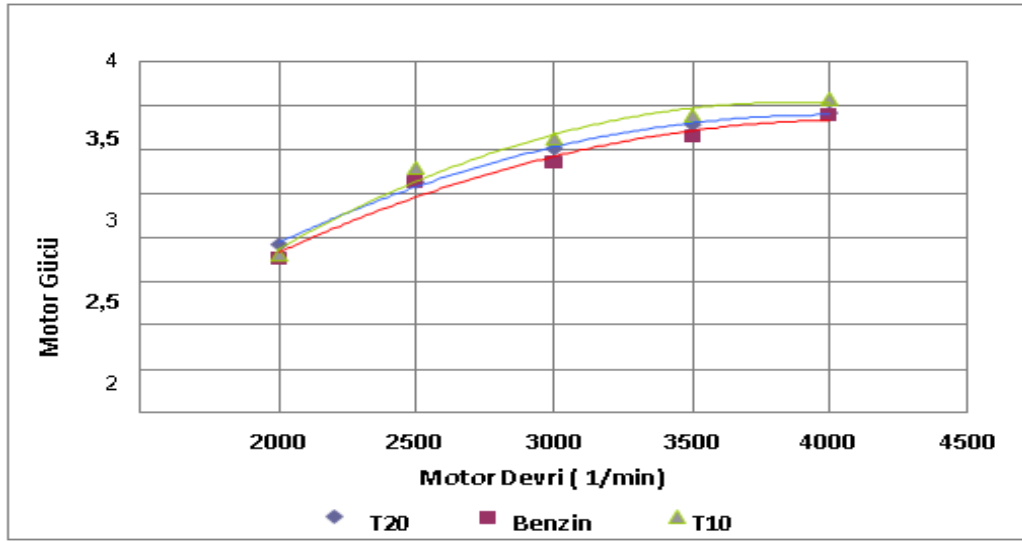
Benzin, T10 ve T20 kullanılarak yapılan deneylerde, en düşük devir olan 2000 min⁻¹’da, motor momentini kurşunsuz benzin yakıtı için 8,372Nm, T10 yakıtı için 8,60Nm ve T20 yakıtı için 9Nm olarak ölçölmüştür. Maksimum motor momentini her üç yakıt için 2500 min⁻¹ de ölçölmüştür. Bu devirden sonra moment de bir azalma eğilimi başlamıştır. Maksimum momentin elde edildiği 2500 min⁻¹’da benzine göre T10 yakıtının motor moment değerinde %5,67’lik bir artış ve T20 yakıtında %2,76’lık bir artış gözlenmektedir.

Hız artışına bağlı olarak karışım iyileşmekte gaz kaçakları ve ısı kayıplarında azalma gözlenmektedir. Bunun yanı sıra motor pompalama kayıplarının artması motor momentinde düşmeye neden olmaktadır. Moment değerlerinin en yüksek elde edildiği 2500 min⁻¹ de silindir içeresine maksimum seviye de yakıt alınmış böylelikle motor momentini bu devirde maksimum değerine ulaşmıştır.

Motor devrinin artması ile birlikte volümetrik verim de değişmekte ve yüksek devirlerde silindir içeresinde alınan hava-yakıt miktarında belirgin bir azalma görölmektedir. Bunun nedeni bir taraftan silindir içeresine alınan hava-yakıt miktarı için yeterli zamanın olmaması diğer taraftan da sıcaklığın yüksek olması gibi bir çok neden sayılabilir. Hava yakıt miktarından ki bu değişim motor gücü ve tork’unu olumsuz yönde etkilemektedir.

4.2. Benzin, T10 ve T20 Yakıtlarının Motor Gücüne Etkisi

Şekil 3’de 2000-4000 min⁻¹ aralığında 500 min⁻¹ aralıkla benzin, T10 ve T20 yakıtının motor gücü değişimleri görölmektedir.



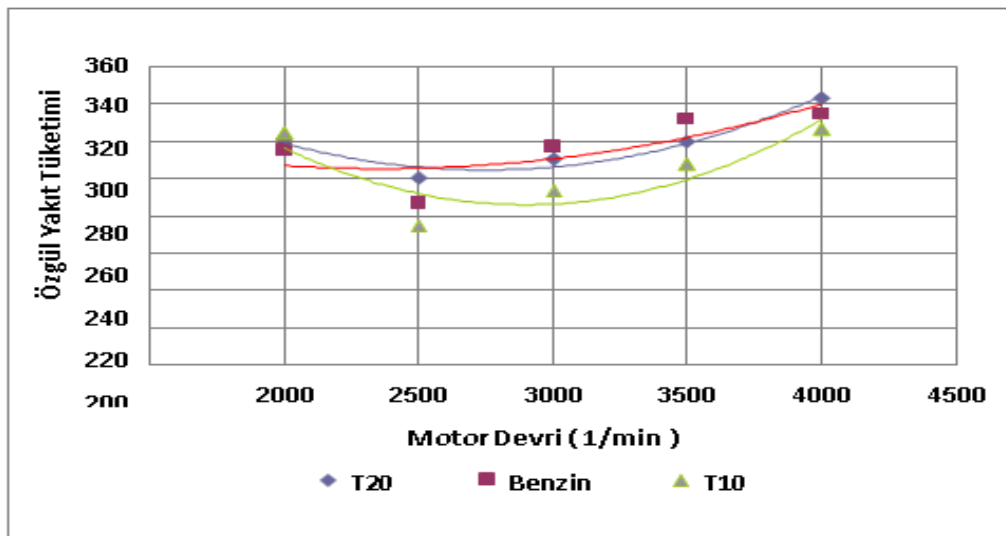
Şekil 3. Farklı yakıt kullanımıyla motor gücünün motor devrine bağlı değişimi

Motor gücü, deney yapılan üç yakıt için de motor devrine bağlı olarak artış göstermektedir (Şekil 3). En düşük devirde benzin yakıtı için güç değeri 1,753 kW, T10 yakıtı için 1,801 kW ve T20 yakıtı için de 1,920 kW olarak ölçülmüştür. En yüksek güç değeri kurşunsuz benzin, T10 ve T20 için 4000 min^{-1} 'de sırasıyla 3,387kW, 3,582kW ve 3,411kW olarak ölçülmüştür. Bu devirde benzine göre T10 yakıtında %5,91'lik bir artış ve T20 yakıtında ise %0,91'lik bir artış gözlenmiştir.

Motor gücü, motor devri, momentini, volümetrik verim gibi birçok faktöre bağlıdır. Deney motoru tek silindri olup diğer benzinli motorlarda olduğu gibi yüksek devirlere çıkıldıkça düşük devirlere oranla motor gücündeki artış göreceli olarak azalmaktadır. Maksimum gücün elde edildiği devir değerlerinde birim zamanda en fazla karışım silindirlere alınmaktadır.

4.3. Benzin, T10 ve T20 Yakıtları Kullanımının Özgöl Yakıt Tüketimine Etkisi

Şekil 4'te 2000-4000 min^{-1} aralığında 500 min^{-1} aralıkla benzin, T10 ve T20 yakıtlarının motor özgöl yakıt tüketimlerinin değişimi görülmektedir.



Şekil 4. Farklı yakıt kullanımıyla özgöl yakıt tüketiminin motor devrine bağlı değişimi

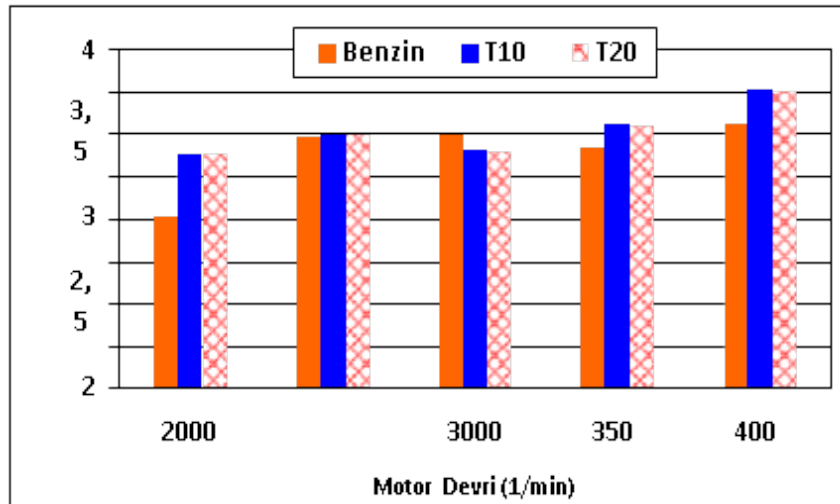
En düşük motor devrinde benzin yakıtı için ÖYT (Özgül Yakıt Tüketimi) değeri 315,124 g/kWh, T10 için 324,283 g/kWh ve T20 için ise 321,294 g/kWh olarak ölçülmüştür. Bütün yakıtlar için 2500 min-1 'da ÖYT en yüksek azalma gözlemiştir. Bu devirden sonra yakıtların ÖYT' de bir artış eğilimine girdiği gözlenmektedir. Özgül yakıt tüketiminin en az olduğu 2500 min-1' da benzin yakıtına göre T10 yakıtında %4,6'lık bir azalma ve T20 yakıtında ise %4.55'lik bir artış gözlenmiştir. Düşük devirlerdeki ÖYT deki artışın sebebi, kötü doldurma işlemi ve artık gazların silindir içerisindeki katsayılarının yüksek olması ve düşük devirlerde mekanik verimin düşük olması sonucunda ÖYT de artış göstermektedir. Devir artışına bağlı olarak motor gücü artmış yakıt tüketimi azalmıştır.

Benzinin alt ısı değeri 43890 kJ/kg terebentininin ise bu değere çok yakın olan 44400 kJ/kg olduğu Çizelge 2' de görülmektedir. Aynı zamanda benzin ve terebentin yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin birbirlerine oldukça yakın olmaları nedeniyle özgül yakıt tüketiminde fazla bir değişikliğin olmadığı ifade edilebilir. Buna karşın silindire alınan yakıt-hava karışımı, volümetrik verim, silindir içi türbülans vb faktörlere bağlı olarak Şekil 4 de ki gibi terebentin ilavesi ile özgül yakıt tüketiminde azalma görülebilmektedir.

4.4. Farklı Yakıt Kullanımının Egzoz Gazı Emisyon Değerlerine Etkisi

Şekil 5'te 2000-4000 min-1 aralığında 500 min-1 aralıkla benzin, T10 ve T20 yakıtlarının motor devrine bağlı olarak CO emisyonu değişimi görülmektedir. CO emisyon değeri en düşük devir olan 2000 min-1'da benzin yakıtı için %2,03, T10 yakıtı için %2,77 ve T20 yakıtı içinde %2,77 olarak gözlenmiştir.

Düşük devirlerde yanma kalitesinin düşük olması, yakıt içerisinde karbonun tamamının yanmadığı durumlarda CO emisyonu artmaktadır. Ancak bunun yanında da düşük motor devirlerinde zengin karışıma ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yüzden karışım zenginleştikçe silindir içerisine alınan yakıtın bünyesindeki karbon atomları tamamen yanarak CO₂ emisyonu oluşturacak O₂ (Oksijen) bulamaz ve CO emisyonu oluşturur. 2500 min-1 değerine kadar yani yanma iyileşinceye kadar CO emisyonu azalmış ancak devrin artmasına bağlı olarak yanma hızının artması ve silindir içerisine alınan karışımın homojenliğini kaybetmesinden dolayı karbon atomları yeterli oksijen bulamamış ve CO emisyonun da üç yakıt içinde artış gözlenmiştir. Ortalama CO değerlerine bakıldığında benzine göre T10 ve T20 yakıtlarında %8,6'lık artış olduğu gözlenmiştir.

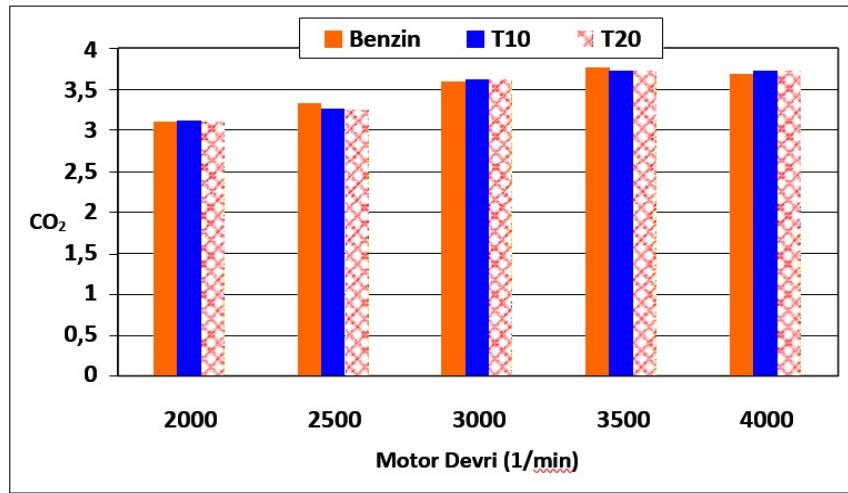


Şekil 5. Farklı yakıt kullanımıyla, CO emisyonunun Motor devrine bağlı değişimi

Şekil 6'te 2000-4000 min-1 aralığında 500 min-1 aralıkla benzin, T10 ve T20 yakıtlarının motor devrine bağlı olarak CO₂ emisyonu değişimi görülmektedir. CO₂ emisyon değeri en düşük devir olan

2000 min-1'da benzin yakıtı için %3,096, T10 yakıtı için %3,098 ve T20 yakıtı içinde %3,098 olarak gözlenmiştir.

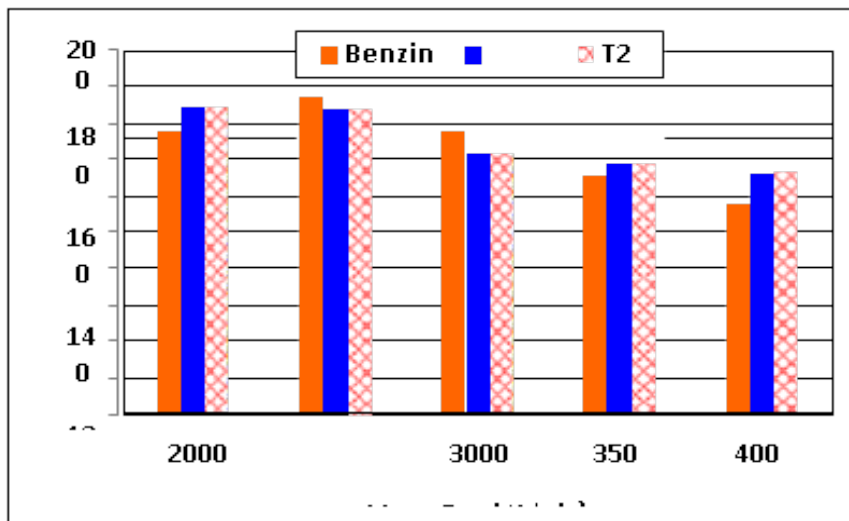
Düşük motor devirlerinde yanmanın kötü olması nedeniyle egzoz emisyonları daha çok zehirli gazlardan oluşmaktadır. Bu yüzden CO₂ değeri düşüktür. Ancak motor devri artmaya başladığında daha homojen bir karışım elde edilmektedir. Bu nedenle egzoz da görülen zararlı gazlar azalmakta onun yerine CO₂ emisyonu artmaktadır. Ortalama CO₂ değerlerine bakıldığında da benzin yakıtına göre T10 ve T20 yakıtlarında %0,3'lük azalma olduğu gözlenmiştir.



Şekil 6. Farklı yakıt kullanımıyla, CO₂ emisyonunun Motor devrine bağlı değişimi

Şekil 7'de 2000-4000 min-1 aralığında 500 min-1 aralıkla benzin, T10 ve T20 yakıtlarının motor devrine bağlı olarak HC emisyonu değişimi görülmektedir. HC emisyon değeri en düşük devir olan 2000 min-1'da benzin yakıtı için 155,812 ppm, T10 yakıtı için 169,2 ppm ve T20 yakıtı içinde 169,2 ppm olarak gözlenmiştir.

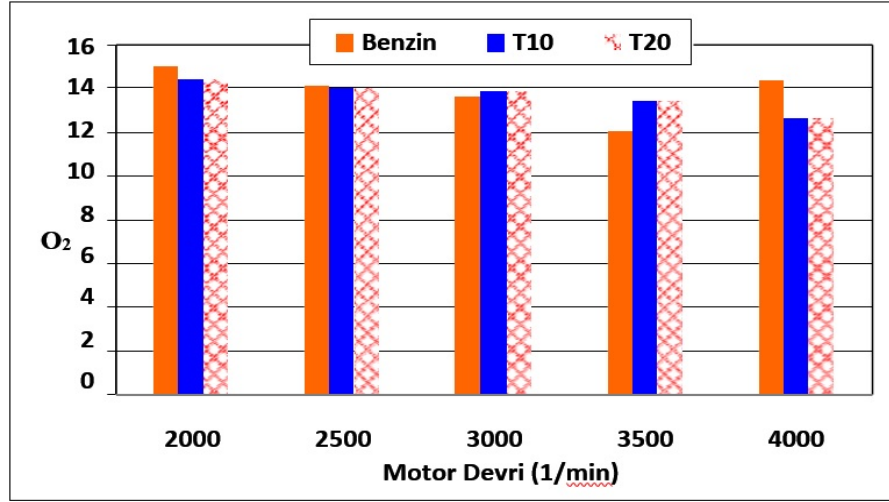
Düşük devirlerde yakıt tam olarak yakılamadığından HC oranı yüksektir. Devir arttıkça yanma odasına yeterli miktarda oksijen alındığından dolayı HC emisyonun da azalma görülmektedir. Ortalama HC değerlerine bakıldığında benzine göre T10 ve T20 yakıtlarında %2,21'lik artış olduğu gözlenmiştir.



Şekil 7. Farklı yakıt kullanımıyla, HC emisyonunun Motor devrine bağlı değişimi.

Şekil 8’de 2000-2000-4000 min⁻¹ aralığında 500 min⁻¹ aralıkla benzin, T10 ve T20 yakıtlarının motor devrine bağlı olarak O₂ emisyonu değişimi görölmektedir. O₂ emisyon değeri en düşük devir olan 2000 min⁻¹’da benzin yakıtı için 15,038 ppm, T10 yakıtı için 14,455 ppm ve T20 yakıtı içinde 14,455 ppm olarak gözlenmiştir.

Motor devrinin periyodik olarak düzenli aralıklarla artışına bağlı olarak oksijen emisyonunun da sıra dıőı bir değişim gözlenmemiştir. Egzoz emisyonunun da oksijenin görölmemesinin nedeni içeri alınan havanın bir kısmının yanma olayına karışmadan egzozdan dıőarı atılmasıdır. Ortalama O₂ değerlerine bakıldığında Benzin yakıtına göre T10 ve T20 yakıtlarında %1,22’lik azalma olduğu gözlenmiştir.



Şekil 8. Farklı yakıt kullanımıyla, O₂ emisyonunun Motor devrine bağlı değişimi.

5. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada buji ateşlemeli motorlarda benzin, T10 ve T20 katkılı yakıtların kullanılması sonucu 2000-4000 min-1 motor devir aralığında; motor momenti, motor gücü, özgül yakıt tüketimleri ve egzoz gazı emisyonlarına etkileri deneysel olarak araştırılmıştır.

Yakıt olarak benzin kullanılmasına göre terebentin karışımlarının moment değerleri daha yüksektir. Terebentinin benzinin ısıl değerini ve oktan sayısını arttırması da motor performansını arttırmaktadır. Motor gücü ise her üç yakıt için 4000 min-1’de en yüksek değerlere ulaşmıştır. Benzinli yakıtta göre terebentli yakıtlarda bir güç artışı görölmüştür. Motorun gücü, motor devri ve motor momentine bağlıdır. Sürtünme kayıplarının devre bağlı olarak artmasıyla momentin düşmesine ve aynı zamanda motor gücünde artış eğiliminin azalmasına neden olmuştur. ÖYT ise 2500 min-1’da en düşük çıkmıştır. Artan devre göre ÖYT yükselmiştir. Düşük devirlerde artışın sebebi kötü doldurma ve artık gazların silindir içerisindeki oranının yüksek ve düşük devirlerde mekanik verimin düşük olması sonucunda ÖYT artışı olmaktadır. Devir artışı ile bunların ortadan kalkmasının yanında motor gücü artmış ve ÖYT azalmıştır.

Egzoz emisyonları incelendiğinde yapılan çalışmada CO emisyonu benzinli çalışmaya göre 2000, 3500 ve 4000 min-1’larda yüksek, fakat 2500 ve 3000 min-1’larda düşük çıkmıştır. Düşük devirlerde yanma kalitesinin düşük olması ve yüksek devirlerde yanma odasında yetersiz oksijen olması nedeniyle CO miktarı artmıştır. Terebentinin çevrim sıcaklığının benzininkinden düşük olması ile yanma iyileştirilmektedir. Her üç yakıtta motor devri arttıkça HC değerleri düşmektedir. Supap bindirmesi, zengin karışımdan alevin yanma odası duvarlarına ulaşmadan sönmesi gibi nedenlerden dolayı düşük motor devirlerde HC miktarı artmaktadır.

Teşekkür

Bu makale, “Benzinli bir Motorda Terebentin Kullanımının Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisi” adlı yüksek lisans tezinden türetilmiştir, Mevcut çalışmada laboratuvar imkânlarından faydalandığımız Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölüm başkanlığına ve tüm çalışanlarına vermiş oldukları emekten dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Başoğul, Y., 2008, “Benzinli bir Motorda Terebentin Kullanımının Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- [2] Hamdan, M, A. and Al-Subaih, T. A., 2002, “Improvement of Locally Produced Gasoline and Studying its Effects on both the Performance of the Engine and the Environment”, *Energy Conversion and Management*, 43 (14), 1811-1820.
- [3] He, B., Wang, J., Hao, J., Yan, X. and Xiao, J., 2003, “A Study on Emission Characteristics of an EFI Engine with Ethanol Blended Gasoline Fuels”, *Atmospheric Environment*, 37 (7), 949-957.
- [4] Topgöl, T., Yücesu, S., Çınar, C., 2004, “Etanol Benzin Karışımlarının Buji ile Ateşlemeli Bir Motorda Farklı Sıkıştırma Oranlarında Motor Performansına Etkisinin Deneysel Olarak Belirlenmesi”, *Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi*, 8. Uluslar arası Yanma Sempozyumu, 345, Ankara.
- [5] Acaroğlu, M., Oğuz, H., Ünaldı, M., 2004, “Türkiye için Alternatif Bir Yakıt: Biyoetanol, Yakıt Olarak Kullanımı ve Emisyon Değerleri”, *Biyoenerji Sempozyumu*, İzmir.
- [6] Yüksel, F., ve Yüksel, B., 2004, “The Use of Ethanol-Gasoline Blend as a Fuel in a SI Engine”, *Renewable Energy*, 29, 1181-1191.
- [7] Choi, G., Chung, Y., Han, S., 2005, “Performance and Emissions Characteristics of a Hydrogen Enriched LPG Internal Combustion Engine at 1400 rpm”, *International Journal of Hydrogen Energy*, 30, 77-82.
- [8] Pouloupoulos S., Philippopoulos C., Influence of MTBE addition into gasoline on automotive exhaust emissions, *Atmospheric Environment*, 28, 34, 4781-4786, 2000.
- [9] Yumrutas R., Alma M. H., Özcan H., Kaşka Ö., Investigation of purified sulfate turpentine on engine performance and exhaust emission, *Fuel*, 87, 252–259, 2008.
- [10] Butkus, A., Pukalskas, S., Bogdanovicus, Z., The influence of turpentine additive on the ecological parameters of diesel engines, *Transport*, Vol. 22, No 2, pp. 80–82, 2007.
- [11] Kaplan, C., Alma, M.H., Tutuş, A., Çetinkaya M., Karaosmanoğlu, F., Engine Performance and Exhaust Emission Tests of Sulfate Turpentine and No:2 Diesel Fuel Blend, *Petroleum Science and Technology*, Vol.23 pp. 1333-1339, 2005.
- [12] Karthikeyan R, Mahalakshmi NV., 2005, “Internal Combustion Engine”, Division of ASME. 1 Technical Conference, ICEF2005, Ottawa, Canada.
- [13] Karthikeyana, R., Mahalakshmi, N.V., 2007, “Performance and Emission Characteristics of a Turpentine–Diesel Dual Fuel Engine”, *Energy* 32(7), 1202–1209.
- [14] Demirbas A., 2007, “Progress and Recent Trends in Biofuels”, *Prog Energy Combust Science*, 33, 1–18.
- [15] ACGIH, 1986, “Industrial Ventilation—a Manual of Recommended Practice”, Cincinnati (OH): American Conference of Governmental Industrial Hygienists.