
ALKOLLERİN İÇTEN YANMALI MOTORLARDA ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANILMASI

*Salih ÖZER **

Özet: Bu çalışma içten yanmalı motorlarda yakıt olarak alkol kullanımı ile ilgili yapılan çalışmaları özetleyen bir niteliktedir. Günümüzde içten yanmalı motorlarda bazen emisyonların azaltılması için bazen de alternatif yakıt olarak alkoller kullanılmaktadır. Hatta artık araç üreticileri direk alkollerle çalışan araçları üreterek piyasaya sürmektedir. Dünya üzerinde araçlarda kullanılacak nitelikte değişik saf alkol çeşitleri mevcuttur. Tüm bu alkol çeşitlerinin motorlarda kullanımı farklı motor emisyonu ve güç eğrilerinin oluşmasını sağlamıştır. Yapılan çalışmalar bu değişimlerin alkollerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışmada bu fiziksel ve kimyasal özelliklerin ne gibi sonuçlar doğurduğunu açıklamaya çalışmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alkol Yakıtları, İçten Yanmalı Motorlar, Egzoz ve Emisyon

Using Alcohols as an Alternative Fuel in Internal Combustion Engines

Abstract: This study summarizes the studies on alcohol use in internal combustion engines nature. Nowadays, alcohol is used in internal combustion engines sometimes in order to reduce emissions and sometimes as an alternative fuel. Even vehicle manufacturers are producing and launching vehicles that are running directly with alcohol. Many types of pure alcohol that can be used on vehicles are available on the world. Using all of these types of alcohol led to the formation of engine emissions and power curves. The studies reveal that these changes are because of the physical and chemical characteristics of alcohols. This study tries to explain what kind of conclusions the physical and chemical properties cause.

Keywords: Alcohol Fuels, Internal Combustion Engines, Exhaust and Emissions.

1. GİRİŞ

Dünyadaki taşıt sayısının giderek artması beraberinde fosil kökenli yakıt kullanımını da artırmaktadır. İçten yanmalı motorlarda (İ.Y.M) en çok kullanılan bir fosil yakıt olan petrolün yanması sonucunda bir çok zararlı emisyon atmosfere salınmaktadır. Fosil yakıtların yanması neticesinde açığa çıkan karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC) ve azot oksitler (NO_x) ve partikül emisyonları atmosferi kirleterek ciddi bir sağlık problemi oluşturmaktadır. Büyük şehirlerde yapılan çalışmalar zararlı emisyonların % 50'sini içten yanmalı motorların oluşturduğunu göstermektedir (Şen ve Şahin, 1996; Sharma ve Khara, 2001).

İçten yanmalı motorlarda alternatif yakıt kullanımını teşvik eden nedenler aşağıdaki gibi sıralanabilir. Bunlar, mevcut petrol kaynaklarının sınırlı olması, taşıt sayısının her geçen gün hızla artması ve son zamanlarda taşıtlardan kaynaklanan emisyonlara getirilen ciddi sınırlamalar ve

* Muş Alparslan Üniversitesi Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, 49000 Muş.
İletişim Yazarı: S. Özer (s.oz@alparslan.edu.tr)

yakıtların tedarik etme maliyetleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu problemlere çözüm olabilecek yaklaşımlardan birisi mevcut yakıtta veya yakma sistemi üzerinde değişiklik yapmaktır. Alternatif yakıt kullanımı doğrudan yakıtta değişiklik yaparak dolaylı olarak da yanma ve ürünlerini arzu edilene yaklaştırmayı amaçlamaktadır. Taşıtlarda kirletici egzoz emisyonlarının azaltılması yönünde alınan önlemler kaynak öncesi, kaynağında önlem ve kaynak sonrası olmak üzere üç ayrı grupta değerlendirilmektedir. Alternatif yakıt kullanımı kaynak öncesi kontrol yöntemi olarak değerlendirilmekte ve taşıt motorunda kullanılan yakıt bileşiminin kirletici emisyonu azaltıcı yönde hazırlanması olarak tanımlanmaktadır.

Son yıllarda motorlu taşıtların emisyonlarının azaltılması ile ilgili yasal düzenlemeler bu konulardaki çalışmaları da hızla artırmaktadır. Motor tasarımındaki değişiklikler emisyonların bir miktar azalmasını sağlamakta fakat bu tür çalışmalar maliyetli olmaktadır. Bunun yanında petrole göre daha az kirletici oluşturan alternatif yakıtların kullanılması daha az maliyetli olduğu için son zamanlarda daha çok araştırılmaya başlanmıştır (Can ve ark. 2005; Kaplan ve ark. 2009). Likit Petrol Gazı (LPG), doğal gaz, bitkisel içerikli yakıtlar (biyodizel) ve alkoller (metanol, etanol, bütanol) içten yanmalı motorlarda doğrudan ya da motor yakıtları ile belirli oranlarda karıştırılarak kullanılabilen alternatif yakıtlardır (Eyidoğan 2009; Ciniviz ve ark. 2001).

Bir biyokütle enerji dönüşümü olan alkol yakıtları petrol yakıtına alternatif olarak, bitkisel atıklar ve yenilenebilir biyolojik kaynaklardan da elde edilebilmektedir (Başçetinçelik ve ark. 2008). Alkol üretiminde arpa, patates, pirinç gibi nişastalı tarım bitkileri atıkları kullanılabilir (Mortimer 1992; Oğuzcan 2007). Bu yüzden tarım ülkesi olan Amerika ve Brezilya'da alkol kullanımı günden güne artmaktadır (Oğuzcan 2007; Topgül 2006). Diğer taraftan, patates, pirinç, çavdar ve değişik meyveler de (üzüm ve böğürtlen gibi) alkol üretiminde kullanılabilir (Solomon 1996; Mortimer 1992; Kaplan ve ark. 2009).

Alkoller $C_nH_{2n+2}O$ formülü ile sınıflandırılırlar. Renksiz, keskin bir kokuya sahiptirler. Gıda, temizlik, kozmetik ve boya sanayinde kullanılmaktadır. İçten yanmalı motorlarda doğrudan ya da motor yakıtlarının içerisine belirli oranlarda karıştırılarak kullanılabilirler. İçten yanmalı motorlarda kullanılabilen alkol çeşitleri metanol (CH_3OH), etanol (C_2H_5OH) ve bütanol (C_4H_9OH)'dür (Çanakçı 2006). Alkoller bünyelerinde belirli oranlarda oksijen içerirler. Alkoller motor yakıtlarına göre daha küçük moleküler yapıya sahip olmaları, yapılarında oksijen bulundurmaları, motor yakıtlarında bulunan kükürt, kanserojen maddeler ve ağır metalleri içermemelerinden dolayı egzoz emisyonlarında olumlu etkilere sebep olmaktadır (Akyaz 2007; Kulakoğlu 2008). Bu sayede daha parlak ve daha hızlı bir yanma sağlanmaktadır. Yanma hızının artırılması, yanma verimini iyileştirmekte ve motorun kararlı çalışması sağlanmaktadır. Ayrıca, hızlı bir yanma ile yüksek sıkıştırma oranlarına çıkarılarak motor vuruntu yapmadan verim artırılabilir (Çelik ve Çolak 2008). Yanma hızı motor performansına ve egzoz emisyonlarının değişiminde önemli bir etkidir (Çelikten 2004). Bu çalışmada, içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılan alkollerin genel özellikleri, üretim ve kullanıma yöntemleri, yarar ve zararları araştırılmıştır.

2. TÜRKİYE VE DÜNYADA ALKOL ÜRETİMİ VE KULLANIMI

Alkollerin motorlar üzerinde bir değişikliğe gidilmeden kullanılabilir olması alternatif yakıt olma potansiyellerini artırmaktadır. Bu sebeple başta Brezilya olmak üzere Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Kanada, Avrupa Birliği (AB) ve Hindistan'da saf olarak ya da motor yakıtlarının içerisine belli oranlarda karıştırılarak kullanılmasını devletler teşvik etmektedir (Karaosmanoğlu 2008; Taştan 2005).

Alkol üretimi ve kullanımında lider konumunda olan Brezilya şeker kamışından etanol üretimine 1975'de ekonomisini sarsan petrole bağımlılığını azaltmak için başlamıştır. Bu programın sonucu Brezilyada etanol üretimine 1975 ile 1989 arasında 4,92 milyar dolar üretim maksatlı yatırım yapılmıştır. Bu yatırıma karşılık 1975–2002 arasında Brezilyanın petrol

ithalinden tasarrufu 52,1 milyar dolar olmuştur. Bugüne kadar 321 adet etanol üretimi yapan fabrika kurulmuştur (Oruç 2008; Kaplan ve ark. 2009). Bu bakımdan dünya üzerinde alkol kullanımının en yüksek olduğu Brezilyada ulaşım taşıtlarında E100 (% 100 Etanol) ve E25 (% 25 Etanol, % 75 Benzin) olarak adlandırılan yakıtlar 1975'te kullanılmaya başlanmış ve günümüzde de kullanılmaya devam etmektedir (Oruç 2008; Salman ve Sümer 1999).

Amerika Birleşik Devletleri'nde 1980 ile 1990 arasında yaklaşık 20,000 adet yakıt olarak alkol kullanabilen taşıt üretilmiş ve alkol ile çalışan yüzlerce otobüs hatlara dağıtılmıştır (Topgül 2006; Ögüt 2009). Günümüzde alkol çeşidi olan metanolün yakıt olarak kullanıldığı taşıtlar bulunmakla birlikte, Amerika Birleşik Devletleri'nde İndianapolis 500 liginde yakıt olarak sadece metanol kullanan taşıtların yarışı devam etmektedir (Altınay 2008; Ejder 2007). Avrupa ülkelerinin çoğunda da taşıtlardan kaynaklanan emisyonların azaltılması amaçlı benzin içerisine % 2 oranında alkol kullanılması yaygınlaştırılmıştır (Can ve ark. 2005).

Motor yakıtı-alkol kullanımının artırılması için Ford ve Chrysler firmalarının geliştirdiği geleneksel taşıtlara göre daha düşük fiyatlı birden fazla yakıtla (benzin, metanol, etanol) çalışabilen esnek yakıtlı taşıtlar (FFVs: Flexible Fuel Vehicles) ABD ve birçok ülkede kullanılmaktadır. Günümüzde ABD'de yaklaşık 2 milyon, Brezilyada ise 4 milyon civarında böyle taşıt bulunmaktadır (Coelho ve Goldemberg 2004).

Türkiye'de de son yıllarda alkol (metanol, etanol, bütanol) üretimine yönelik çalışmalara başlanmış ve petrol fiyatlarındaki artışla birlikte bu çalışmalara hız verilmiştir. Buna karşın, biyobenzinin (benzin+alkol) kullanımı ise oldukça yenidir ve günümüzde satışı sadece Petrol Ofisi (PO) tarafından yapılmaktadır. Ancak gelecekte diğer yakıt üreticilerinin de biyobenzin üretimine başlamaları beklenmektedir. Türkiye'de etanol üretimi, yüksek kapasiteli yatırımlar bulunmasına rağmen, talep yetersizliğinden dolayı henüz düşük seviyededir (Kaplan 2009). Mevcut koşullarda üretim sadece tesisleri Bursa'da bulunan Tarkim tarafından yapılmaktadır. Tarkim tesislerinde üretilen etanolün büyük bir kısmı buğdaydan elde edilmektedir. Elde edilen etanolün tamamı PO tarafından kurşunsuz benzinde (95 oktan) katkı maddesi olarak biyobenzin üretiminde kullanılmaktadır (Taşdan 2005; Kaplan 2009).

Türkiye'de biyobenzin kullanımında alkol oranı % 5 ile sınırlandırılmaktadır. PO satışı sunduğu biyobenzin içerisinde % 2 alkol kullanılmaktadır. Bu oranın düşük tutulmasının nedeni, Maliye Bakanlığı tarafından yapılan düzenleme ile benzine katılan alkol için tanınan Özel Tüketim Vergisi muafiyetinin, % 2 ile sınırlandırılmış olmasıdır. Yapılan bu çalışmalar ile Türkiye de benzinin içerisine katılan alkol oranı ile her yıl en az 550 milyon dolar tasarruf yapılması hedeflenmektedir (Anonim 2005).

3. ALKOLLERİN İÇTEN YANMALI MOTORLARDA KULLANILMA YÖNTEMLERİ

Alkollerin içten yanmalı motorlarda kullanılması sırasında farklı yöntemler uygulanmıştır. Her bir yöntemin avantaj ve dezavantajları aşağıda açıklanmıştır.

- Motor yakıtlarının içerisine belirli oranlarda karıştırılması,

Bu metotta alkoller, motor yakıtlarının içerisine hacimsel ya da kütleli olarak karıştırılarak kullanılmaktadırlar. Bu tür çalışmalarda motorda herhangi bir değişikliğe gereksinim duyulmamaktadır (Jincheng ve ark. 2009; İlker ve ark. 2008; Yüksel ve Yüksel 2004; Eyidoğan 2009; Kulakoğlu 2008). Motor yakıtlarına yüksek oranlarda alkol ilavesi faz ayrışmasına neden olmaktadır. Faz ayrışmasının önlenmesi için belirli oranlarda başka kimyasallarında katıldığı görülmektedir (Çelikten 2003). Motor yakıtlarının içerisine farklı oranlarda ağır alkollerin ilavesinin yakıtların termodinamik aktivasyonunu artırdığı da görülmektedir (Satge de Caro ve Moloungui 2001; Soyuduru 2009).

- Emme manifolduna püskürtülerek ya da buhar halinde verilerek kullanılması,

Bu kullanım şekli manifoldtan direk olarak alkol kullanılması gibi, emme manifolduna motor yakıtına ilave olarak buhar halinde ya da püskürtme şeklinde alkol ilavesidir (Abu-Qudais ve ark. 2000; Ajav ve ark. 1999; Goering ve ark. 1992; Ajav ve Akingbehin 2002). Alkollerin buharlaşma ısısının yüksek olması emme manifoldunda buharlaşırken etrafından ısı çekerek havanın yoğunluğunu düşürmektedir. Bu da emme manifolduna daha çok hava girmesine neden olmakta ve volumetrik verimin artmasını sağlamaktadır (Ajav ve Akingbehin 2002; Ajav ve ark. 1999). Bu yöntemde artan devre göre alkollerin püskürtülmesi ve buhar olarak verilmesini ayrıca bir donanım ve maliyet oluşturmaktadır. Yine, alkollerin yüksek oranda su tutması korozyona sebep olduğundan emme manifoldlarının korozyona sebep olmayan malzemelerden yapılması gerekmektedir (Can ve ark. 2004).

- Alkol ve motor yakıtlarının bir karıştırıcıda belirli oranlarda karıştırılarak motora gönderilmesi,

Bu tür kullanımda alkol ve motor yakıtları için farklı iki tip depo vardır. Bu iki depodan alkol ve motor yakıtları bir karıştırıcı yardımı ile belirli oranlarda karıştırılarak motora gönderilir (Boruff ve ark. 1982; Asfar ve Hamed 1998). Bu tür sistemlerde artan motor devrine göre yakıtların ayarlanması, özgül yakıt tüketiminin ölçülmesi zordur. Bu tür sistemlerde alkollerin aniden motor yakıtları ile karıştırılması karışımın tam olarak karışmamasını da sağlamaktadır. Maliyeti yüksek bir sistemdir.

- Her bir yakıt için ayrı bir enjeksiyon sistemi kullanılması,

Bu tür sistemlerde alkol ve motor yakıtları için ayrı ayrı enjeksiyon sistemi oluşturulmakta ve silindir içerisine her iki yakıtta püskürtülmektedir (Noguchi ve ark. 1996; Rafiqul Islam ve ark. 1997). Bu sistemlerde köklü bir değişikliğe gereksinim duyulması maliyeti artırmaktadır. Ayrıca, basit bir donanıma sahip motorlarda sistemin karmaşıklılığı artmakta ve kontrolü zorlaşmaktadır.

Ayrıca, alkol-motor yakıtı karışımları ya da saf olarak alkol kullanımının motor parçaları üzerinde bazı istenmeyen etkiler oluşturduğu görülmüştür (Öğüt 2007). Bunların başında plastik malzemeler gelmektedir. Motor yakıtlarının içerisine % 10'dan fazla alkol ilavesi ile plastiklerin moleküler ve elastomer yapılarının bozulduğu bildirilmiştir (Ejder 2007). Bu sebeple alkol kullanılması sırasında motor parçalarının zarar görmemesi için plastik malzemelerin teflon ve flor malzemeler ile kaplanması, yakıt deposunun ve yakıtın geçtiği metal malzemelerin paslanmaz çelikten imal edilmiş olması gerekmektedir (Öğüt 2007).

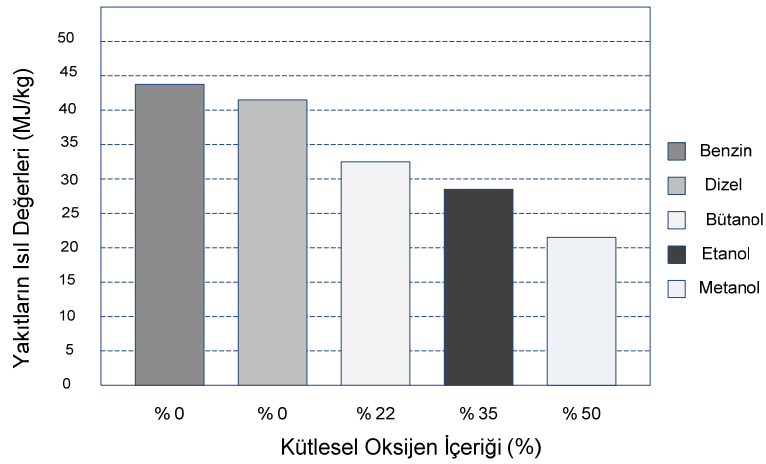
4. ALKOLLERİN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Alkollerin fiziksel ve kimyasal özellikleri farklılık göstermektedir. Etanol, metanol ve bütanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1'de benzin ve dizel yakıtı ile birlikte verilmiştir. Bu farklılıklar alkollerin motorlarda kullanılmasında bazı avantaj ve dezavantajlar doğurmaktadır. Bu bölümde bu özelliklerin karşılaştırılması ve etkilerinden bahsedilecektir.

Tablo 1. Alkol ve motor yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri (Çolak, 2006; Haşimoğlu ve ark. 2000; Topgül, 2006; Szwaja ve Naber, 2009; Anonim, 2009).

Özellik	Metanol	Etanol	Bütanol	Benzin	Dizel Yakıtı
Kimyasal formülü	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH	C ₄ H ₉ OH	C ₅ H ₁₀ - C ₁₂ H ₂₆	C ₁₂ H ₂₃ (C ₁₀ H ₂₀ - C ₁₅ H ₂₈)
Yaygın adı	Metil Alkol	Etil Alkol	Bütül Alkol	Benzin	Motorin
Mol kütlesi	32,04	46,06	74,12	91,4	173–220
C/H oranı	0,25	0,333	4,8	0,556	0,52
Yoğunluk (kg/m ³)	796	788	811	732	835–905
Isıl değeri (MJ/kg)	20,11	26,9	33	43,4	43,1
Stokiyometrik oran (H/Y oranı)	6,45	9	11,2	14,7	14,6
Buharlaştırma ısısı (kJ/kg)	1200	960	584	360	578
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	470	425	390	257	380
Oktan sayısı					
Araştırma oktan sayısı (AOS)	108,7	108,6	96	94	-
Motor oktan sayısı (MOS)	88,6	89,7	78	82–94	-
Kaynama noktası (°C)	64,5	78,3	117,2	27–255	190–280
Donma noktası (°C)	-97,8	-114,3	-89,2	-40	-10–(-20)
Viskozite (mPa s, 20°C)	0,64	1,52	2,55	4–9	2,9–3,5
Kinematik Viskozite (mm ² / s, 40°C)	0,59	1,19	3,6	0,37-0,44	2,6-4,1
Buhar basıncı (kPa, 38°C)	32	15,9	44	48–108	45–50

Motor yakıtlarından istenilen önemli özelliklerden biriside verimli bir yanma aralığına sahip olmasıdır. Motorlarda moment ve gücü, fren termik verimi, egzoz gazı sıcaklığı ve emisyonları etkileyen en önemli parametrelerden birisi yakıtların ısıl değeridir. Isıl değer, yakıtın birim kütlesinin yakıldığında ne kadarının ısıya dönüştüğünü gösteren ölçü birimidir (Çetinkaya 1999). Alkollerin ısıl değerleri benzin ve dizel yakıtına göre azdır. Bunun en önemli sebebi bünyelerinde oksijen bulundurmalarıdır.

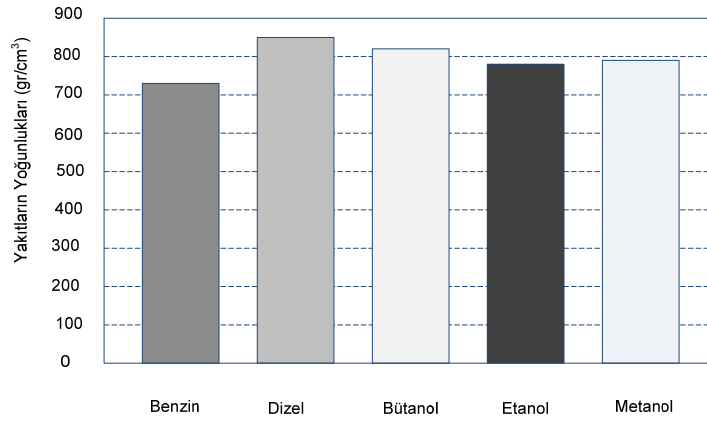
**Şekil 1:**

Alkol ve motor yakıtlarının oksijen miktarına göre ısıl enerjilerinin değişimi.

Şekil 1’de görüldüğü gibi yakıtların ısı değerlerinin oksijen miktarı ile değiştiği açıkça görülmektedir. Oksijenin yaptığı bağın bozulması sonucu açığa çıkan enerjinin, hidrojen ve karbonun yaptığı bağlardan az olmasından dolayı ısı enerjisinin az olduğu bilinmektedir (Topgül 2006; Sekmen 2007; Kulakoğlu 2009).

İçeriğinde oksijen bulunan alkol yakıtların içten yanmalı motorlarda kullanılmasının en büyük avantajlarından birisi silindir içerisinde yanmayı iyileştirerek kirletici emisyonları azaltıyor olmasıdır (Masjuki 2002). Fakat oksijen miktarının artması ısı verimi düşürdüğü için aynı zamana motor gücünü ve termik verimi düşürmektedir (İlkılıç ve ark. 2009). Fren özgül yakıt tüketimi (FÖYT) bir saatte bir kW yararlı iş elde edebilmek için yakılması gereken yakıt miktarıdır. Bu nedenle motor yakıtlarının FÖYT’leri karşılaştırılmasında yakıtların ısı değerlerinin etkisi oldukça önemlidir. Isıl enerjisi yüksek yakıtların içerisinde, ısı enerjisi düşük yakıtlar karıştırılırsa karışımların ısı enerjileri düşmekte ve FÖYT artmaktadır (Bayraktar 2005; Sekmen 2007).

Yakıtların içten yanmalı motorlarda kullanılmasında yakıt özelliklerinin getirdiği bazı kısıtlamalar ve avantajlar vardır. Bunlardan biriside yakıtların yoğunluklarının karşılaştırılmasıdır. Şekil 2’de alkol ve motor yakıtlarının yoğunlukları karşılaştırmalı olarak verilmektedir.



Şekil 2:

Alkol ve motor yakıtlarının yoğunluklarının karşılaştırılması

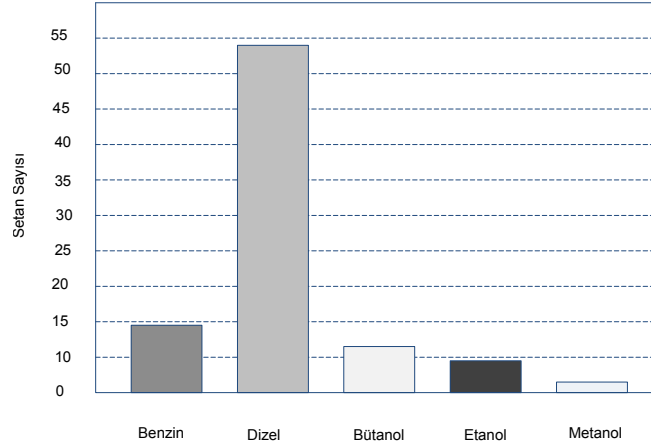
Yakıtın yoğunluğu, partikül ve NOx emisyonlarının oluşmasında en önemli faktörlerden biri olarak bilinmektedir. Özellikle dizel motorlarında, geçiş şartlarında yapılan deneylerde bu etki daha net görülebilir. Yoğunluğun fiziksel etkisi detaylı olarak incelendiğinde, daha yüksek yoğunluktaki motor yakıtlarının daha fazla miktarda yakıtın silindir içerisine gönderilmesine neden olduğu ve buna bağlı olarak da dinamik zamanlamanın değiştiği bilinmektedir. Buna bağlı olarak silindir içerisine daha fazla yakıt gönderimi ile yanma odası cidarlarının sıcaklığın arttığı için tutuşma gecikmesi süresi değişebilmektedir (Haşimoğlu ve ark. 2000). Dizel motorlarda püskürtülen yakıt miktarı, püskürtme hızını değil de püskürtme süresini değiştirmek suretiyle değiştirildiği takdirde, kısa tutuşma gecikmesi süresince daha az yakıt gönderilerek, yanmanın ikinci safhasında dp/dt (basınç değişimi/birim krank açısı) oranı azalma gösterecektir. Dizel motorlarında saf ya da motor yakıtlarının içerisine belirli oranlarda alkol ilavesinin etkilerinin incelendiği çalışmalarda yoğunluğun etkileri kısaca şu şekilde belirtilmektedir.

- Yakıtın atomizasyon çapını etkilediği için silindir içerisine difüzyonunu zorlaştırmaktadırlar (Pireli 2006, Sekmen ve ark. 2004).

- Aynı hacimde kütleli olarak daha fazla yakıt gönderildiği için FÖYT'ni artırmaktadırlar (Pireli 2006, Sekmen ve ark. 2004).

Benzinli motorlarda silindir içerisine gönderilen yakıt hava kelebekçığının konumuna göre değişmektedir. Gerek benzinli gerekse dizel motorlar için yakıtların yoğunlukları FÖYT ve yakıtların silindir içerisine gönderilmesinde etkilidirler.

Motor performansını ve emisyonlarını etkileyen bir diğer faktörde setan sayısıdır. Şekil 3'de alkol ve motor yakıtlarının setan sayısı ilişkileri verilmiştir. Setan sayısı dizel motorda aynı şartlarda aynı vuruntu şiddetini veren heptametilnanon ($C_{16}H_{34}$)+setan (Hegzadekan: $C_{16}H_{34}$) karışımındaki setan yüzdesine, setan sayısı denilmektedir. Bir yakıtın setan sayısı yükseldikçe motordaki tutuşma gecikme süresinin azalacağı vurgulanmaktadır. Yapılan araştırmaların çoğunda, setan sayısının motor emisyonlarında ve performansında etkili olduğu tespit edilmiştir (Karakuş 2000).

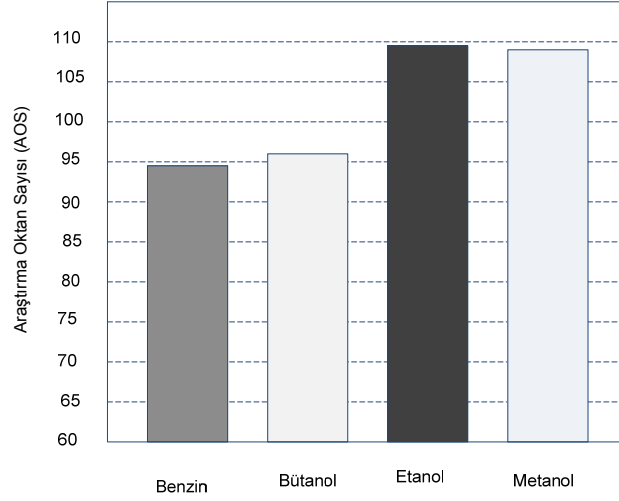


Şekil 3:

Alkol ve motor yakıtlarının setan sayısının karşılaştırılması.

Alkollerin dizel motorlarda daha az kullanılmasının en büyük sebeplerinden birisi düşük setan sayılarıdır. Şekil 3'te farklı alkollerin setan sayıları görülmektedir. Yapılan çalışmalarda dizel yakıtının içerisine alkol ilavesinin dizel yakıtlarının setan sayısını düşürdüğü bildirilmiştir (Uğurbilek 1998; Smith ve Workman 2004). Ayrıca, dizel motorlarda alkol kullanılmasının NOx ve is emisyonlarını azaltıcı etki ettiği de görülmektedir. Yine, setan sayısının alması tutuşma gecikmesini periyodunu uzatmaktadır (Uslu 2006).

Oktan sayısı yakıtların kendi kendine tutuşmasını ifade eden bir özelliktir. Oktan sayısı, yakıtların buji ateşlemeli motorlarda kullanılmasında kısıtlayıcı bir özelliktir. Çünkü sıkıştırma zamanı sonunda istenilen zamvea buji kıvılcımının çakılarak yanmanın düzenli olması istenirken, yakıtın kendi kendine tutuşması istenmeyen bir özelliktir. Şekil 4'de alkoller ve motor yakıtlarının oktan sayıları karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

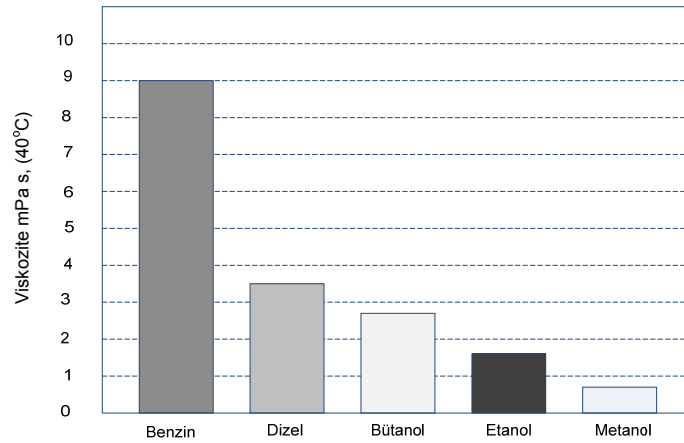


Şekil 4:

Alkol ve motor yakıtları araştırma oktan sayısı (AOS) değerlerinin karşılaştırılması

Alkol yakıtlarının geneline bakıldığında MOS'larının benzinden yüksek olduğu görülmektedir. Benzinin içerisine alkol ilavesi sonucunda karışımların oktan sayılarının arttığı görülmektedir. Bu da benzin-alkol karışımları ile vuruntu olmaksızın motor veriminde doğrudan etkili bir parametre olan sıkıştırma oranının artırılmasına imkân vermektedir (Çelik ve Çolak 2008).

Açık yanma odalı bir dizel motorun çalışması, yanma için uygun bir yakıt karışımı hazırlayacak iyi bir enjeksiyon sistemine bağlıdır. Yakıtın viskozitesi, silindir içerisine püskürtülmesi sırasında damlacık çapına doğrudan etki eden faktörlerden birisidir (Hışır 2009). Viskozite büyüdükçe yakıtın zerrelere ayrılması azalır, dolayısıyla iri yakıt zerreciklerinin nüfuzu zorlaşır (Borat, vd. 1994). Viskozitesinin çok düşmesi ise, yakıtın atomizasyon çapını çok küçülttüğü için yakıtların püskürtülmesi sırasında silindir çıdarlarına çarpmasına sebep olmaktadır (Sekmen ve ark. 2004). Ayrıca düşük viskoziteli yakıtlarsa enjektörlerden püskürtme sırasında kaçaklara yol açtığı bilinmektedir (Pireli 2006; Hışır 2009).

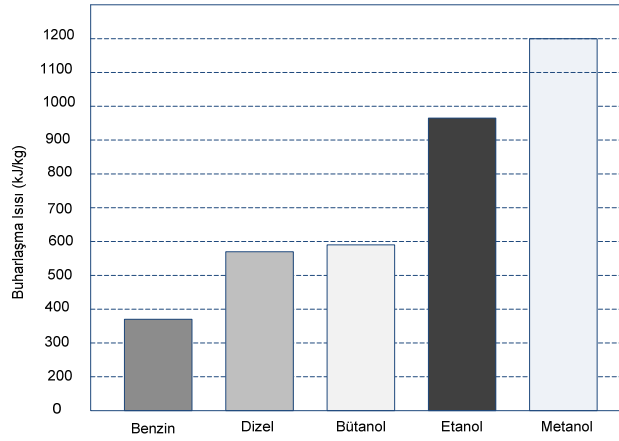


Şekil 5:

Alkol ve motor yakıtlarının viskozitelerinin karşılaştırılması

Şekil 5’te görüldüğü gibi alkollerin aynı sıcaklıkta viskoziteleri benzin ve dizel yakıtından azdır. Motor yakıtlarının içerisine alkol ilavesi ile karışımlarında viskozitelerinin düştüğü bildirilmiştir. Enjeksiyon sistemine sahip motorlarda alkol-motor yakıtı karışımları ile yapılan çalışmalarda azalan viskozite motor gücünde ve motor momentinde azalmaların olduğu görülmüştür. Bu azalmanın farklı sebepleri olmakla birlikte viskoziteye de yorulmuştur (Al-Hasan ve Al-Momany 2008).

Bir sıvının birim kütesinin sıvı halden gaz hale geçmesi için verilen ısıya buharlaşma ısısı denir (Çetinkaya 1999). Motor yakıtlarında buharlaşma ısılarının belirli bir aralıkta olması istenilmektedir. Şekil 6’da alkoller ve motor yakıtlarının buharlaşma ısuları görülmektedir.

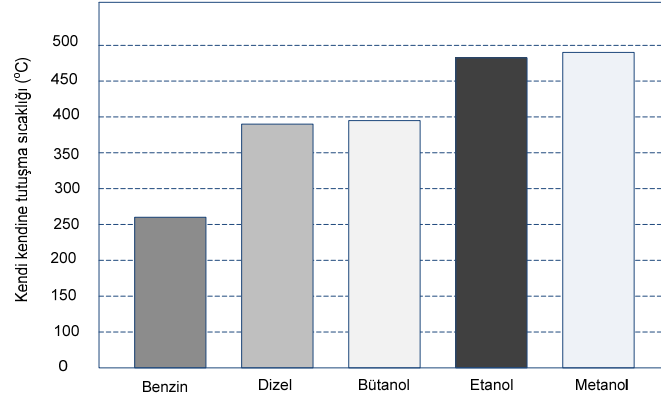


Şekil 6:

Alkol ve motor yakıtlarının buharlaşma ısılarının karşılaştırılması

Yakıtların buharlaşma ısılarının yüksek olması motorun ilk harekete geçişini zorlaştırdığından dolayı istenilmeyen bir fiziksel özelliktir (Karakuş 2000). Motor yakıtlarına ilave edilen alkoller motor yakıtlarının buharlaşma ısılarını yükseltmektedir Diğer taraftan, buharlaşma ısısı yüksek olan alkollerin kullanılma şekline göre volumetrik verimi de artırabildiği bildirilmiştir (Topgül 2006).

Bir yakıtın parlama noktası, bir kaptaki ısıtılan yakıtın üzerine yaklaştırılan alev ile geçici olarak tutuşacak halde yakıt buharı teşekkül ettiği en düşük sıcaklıktır. Alevlenme noktası ise tutuşma buharının sönmeden devam etme sıcaklığıdır. Alevlenme sıcaklığı parlama sıcaklığından biraz yüksektir (Ulusoy 1999; Topgül 2006). Kendi kendine tutuşma bakımından yakıtlar buldukları ortama son derece bağımlıdır. Benzinli motorlarda kendi kendine tutuşma istenmeyen bir fiziksel etkenken, dizel motorlarda da istenilen bir fiziksel etkidir. Şekil 7’de alkol ve motor yakıtlarının kendi kendine tutuşma sıcaklığı karşılaştırmaları verilmiştir.



Şekil 7:

Alkol ve motor yakıtlarının kendi kendine tutuşma sıcaklığının karşılaştırması.

Şekil 7’de de görüldüğü gibi alkollerin kendi kendine tutuşma sıcaklığı motor yakıtlarından fazladır. Alkollerin setan sayısının az olması kendi kendine tutuşma sıcaklığının yüksek olmasını sağlamaktadır (Pireli 2006). Kendi kendine tutuşma sıcaklığı benzin ve dizel motorlarında kullanımı açısından ters orantılıdır. Alkollerin kendi kendine tutuşma sıcaklığının yüksek olması benzinli motorlarda sıkıştırma oranının değiştirilerek kullanılmasını yaygınlaştıran bir özelliktir.

Yukarıda sayılan tüm özellikler karşılaştırıldığında alkollerin bu farklılıklarının İYM’larda kullanılmasında bazı avantaj ve dezavantajları oluşturmaktadır. Bu avantaj ve dezavantajlar göz önüne alındığında dizel ve benzinli motorlar için ideal yakıtlar olduğu, değiştirme yapılmadan ya da İYM’lar üzerinde küçük değişiklikler yapılarak kullanılabilenliği söylenebilir.

5. ALKOLLERİN İ.Y.M.’LARDA KULLANILMASI

5.1. Alkollerin sıkıştırma ateşlemeli motorlarda kullanılması

Yapılan çalışmalara bakıldığında şu anki mevcut teknoloji ile alkollerin saf olarak kullanıldığı herhangi bir çalışmaya rastlanamamıştır. Fakat dizel yakıtının içerisine belirli oranlarda alkol ilavesinin dizel motor performansına ve emisyonlara etkilerinin incelendiği çalışmalar görülmektedir (Karabektaş ve Hoşsoz 2009; Çetin ve ark. 2009; Sayın ve ark. 2009; Qi ve ark. 2010; István ve Adrian 2009; Kumar ve ark. 2006; Kwanchareon ve ark. 2007; Xiaoyan 2006; Bilgin ve ark. 2002; Uslu 2006; İlhan 2007).

Tablo 1’de de görüldüğü gibi alkollerin setan sayısı, ısıl değerleri, viskoziteleri ve yoğunlukları dizel yakıtından düşüktür. Dizel yakıtlarının içerisine alkol ilavesi sonucunda dizel yakıtlarının setan sayılarının da düştüğü tahmin edilmektedir. Düşük setan sayıları tutuşma gecikmesine etki etmekte ve dizel motorlarında kullanımı sınırlandıran en büyük etkenlerden biri olmaktadır (Lin ve Huang, 2003; Ejder 2007). Dizel yakıtlarının içerisine alkol ilavesi neticesinde dizel yakıtlarının yoğunluk ve viskoziteleri de düşmektedir (Hışır 2009; İlhan 2007). Düşen viskozite ve yoğunluk alkollerin dizel motorlarında kullanımı zorlaştırmaktadır. Ayrıca motor performansını ve emisyonlarını da etkileyebilmektedirler. Ayrıca alkollerin motorin yakıtına göre yüksek polariteye sahip olmaları, motorin içerisinde tam karışmasına engel olmakta ve yüksek oranlarda alkol ilavesi neticesinde motorin alkol karışımlarında faz ayrışması görülebilmektedir (Gautam ve ark. 2000; Usta ve ark. 2005). Alternatif yakıtlarla yapılan çalışmalarda faz ayrışması istenmeyen bir durumdur.

Dizel motorlarında alkol kullanılması egzoz emisyonlarına olumlu yönde etki etmektedir. Yapılan çalışmalar göstermektedir ki, dizel yakıtına alkol ilavesi, CO, HC, NO_x ve is emisyonları azalmakta, CO₂ emisyonu artmaktadır. Alkollerin bünyesinde bulunan oksijen yanma sırasında silindir içerisine salınarak silindir içerisinde kısmi bölgelerde yanmayı iyileştirebilmektedir. Buda HC ve CO emisyonlarının azalmasını sağlamaktadırlar (Hışır 2009). NO_x oluşumunu artıran parametreler gaz sıcaklığının ve oksijen konsantrasyonudur. İçten yanmalı motorlarda yanma odasındaki sıcaklık 1800 °C'nin üzerine çıktığında, hava içerisindeki azot ve oksijen kimyasal olarak birleşerek, NO_x oluşturmaktadırlar (İlkılıç 2009). Alkollerin alt ısıl değerlerinin, setan sayılarının, yoğunluğunun ve viskozitesinin dizel yakıtlarından az olması dizel motorlarında kullanımında yanmayı kötüleştirmekte ve bunun da yanma sonu sıcaklığını azalttığı bilinmektedir. NO_x emisyonu yanma sonu sıcaklığının bir fonksiyonudur. Yanma sonu sıcaklığının düşmesi ise NO_x emisyonlarını azaltmaktadır (Türkcan ve ark. 2009).

Dizel motorlarında yapılan çalışmalar incelendiğinde aşağıdaki gibi bir sonuç çıkmaktadır.

- Dizel yakıtı-alkol karışımlarının doğrudan dizel motorlarında kullanılması (Sayın 2010; Huang ve ark. 2009; Ejder 2008; Özer ve Özdayan 2013).

Yapılan çalışma sonuçları göstermektedir ki, dizel motorlarında alkol yakıtlarının kullanımı sonucunda motor gücü, motor moment ve egzoz gazı sıcaklığı azalmakta, özgül yakıt tüketimi artmaktadır. Ayrıca CO, NO_x, is emisyonlarında düşme, HC emisyonlarında artış görülmektedir. Genel olarak bakıldığında sonuçlar dizel motorlarda alkol kullanılması motor performansını azalttığını fakat emisyonlarda iyileşme sağladığını bildirmişlerdir.

- Dizel yakıtı-alkol karışımlarının dizel motorunun enjeksiyon basıncının değiştirilerek kullanılması (Silva ve ark. 2005; Kulakoğlu 2009).

Yapılan çalışma sonuçları göstermektedir ki, dizel yakıtına ilave edilen alkol ile birlikte silindir basıncının değiştirilmesinin sonucunda, genel olarak püskürtme basıncının motorun standart değerinin üzerine çıkarılması ya da azaltılması durumunda özgül yakıt tüketiminde artma, efektif verim de ise azalma olmaktadır. Püskürtme basıncının değiştirilmesi ile birlikte genel olarak NO_x emisyonlarında artma CO, HC ve is emisyonlarında azalma olduğunu bildirmişlerdir.

- Dizel yakıtı-alkol karışımlarının dizel motorunun enjeksiyon zamanlamasının değiştirilerek kullanılması (Sayın ve ark. 2009; Sayın ve ark. 2008; İlhan 2007).

Yapılan çalışma sonuçları göstermektedir ki, dizel yakıtına ilave edilen alkol ile birlikte yakıt püskürtme zamanlamasının değiştirilmesinin sonucunda, genel olarak püskürtme zamanlamasının motorun standart değerinin üzerine çıkarılması ya da azaltılması durumunda özgül yakıt tüketiminde artma, efektif verim de ise azalma olmaktadır. Püskürtme zamanlamasının değiştirilmesi ile birlikte genel olarak NO_x emisyonlarında artma CO, HC ve is emisyonlarında azalma olduğunu bildirmişlerdir.

- Dizel yakıtı-alkol-biyodizel karışımlarının dizel motorlarında kullanılması (Aydın ve İlkılıç 2010; Devan ve Mahalakshmi 2009; Rakopoulos ve ark. 2006).

Yapılan çalışma sonuçları göstermektedir ki, dizel motorlarında biyodizel/alkol yakıtlarının kullanımı sonucunda motor gücü, motor moment ve egzoz gazı sıcaklığı dizel yakıtına göre artış, özgül yakıt tüketimi ise azalmaktadır. Genel olarak bakıldığında ise CO, NO_x, is emisyonlarında da düşme görülmektedir.

- Dizel yakıtı-alkol karışımlarının değişik tip motorlarda (farklı yanma odalı, farklı enjektör sistemleri olan, katalitik konvektörlü) kullanılması (Rakopoulos ve ark. 2007; Can ve ark. 2007).

Yapılan çalışma sonuçları göstermektedir ki, farklı dizel motorlarında alkol yakıtlarının kullanımı sonucunda motor performansı ve motor emisyon değerleri kullanılan teknolojinin türüne ve aynı tür içerisindeki teknolojik araçlara ve kullanılan alkolün türüne göre farklılık göstermektedir.

5.2. Alkollerin buji ateşlemeli motorlarda kullanılması

Daha önceki bölümde de bahsettiğimiz gibi alkollerin benzin motorlarında kullanılan yakıtlara göre kendi kendine tutuşma sıcaklığı, oktan sayısı ve buharlaşma ısıları yüksektir. Tüm bu özellikler alkollerin benzinli motorlarda kullanılmasını yaygınlaştıran en önemli özelliklerdendir. Bu özelliklerinden dolayı dizel motorlarından farklı olarak benzinli motorlarda saf olarak da kullanılabilir. Bu sebeple alkoller benzinli motorlarda sıkıştırma oranları artırılarak aynı hacimli benzinli motorda daha yüksek güç elde edilebilmektedir (Çolak ve Çelik 2008; Bayraktar 2005; Örs 2007). Benzin alkol karışımları birbiri içerisinde faz ayrışması olmadan karışabilmektedirler. Benzine alkol ilave edilerek yapılan çalışmalardan bazıları (Çelik ve Çolak 2008; Kaini ve ark. 2010; Park ve ark. 2010; Liguang ve ark. 2003; Çolak 2006; Topgül ve ark. 2006; Yüksel ve Yüksel 2006; Bayraktar 2005) dır.

Eğer benzin motorlarında herhangi bir ayar ve değişiklik yapılmazsa benzinin içerisine alkol ilavesi sonucunda motor gücünde ve motor momentinde azalma olacaktır. Bunun en büyük sebebi alkollerin ısıl değerinin benzinden az olması ve karışımın ısıl değerinin karıştırılan alkol miktarı ile giderek azaltılmasıdır. Aynı zamanda benzin-alkol karışımlarının kullanımında FÖYT'ün arttığı görülmektedir. Bunun nedeni ise alkollerin ısıl değerlerinin ve yoğunluklarının düşük olmasıdır. Dolayısı ile aynı gücü vermek için daha fazla yakıtın yakılması gerekmektedir. Stokiyometrik hava-yakıt oranları farklılık gösterdiği için, benzin-alkol karışımlarının kullanılması durumunda mevcut yakıt sisteminde değişiklik yapılmalıdır. Bu değişiklik karbüratörlü sistemlerde ana meme çapının büyütülmesi olabileceği gibi, enjeksiyonlu yakıt sistemlerinde püskürtme süresinin artırılması olabilir (Yüksel ve Yüksel 2006). Alkolün benzin motorlarında saf (Alkan 2009; Szwaja ve Naber 2009; Çelik ve Çolak 2008; Shenghua ve ark. 2007), Benzin-alkol karışımları olarak (Kaini ve ark. 2010; Çalışır ve Gümüş 2009; Karabektaş ve Hoşöz 2009), değişik sıkıştırma oranlarında (Bayraktar 2005; Örs 2007) ve ateşleme avanslarında (Vezir 2006; Örs 2007; Sezer ve Bilgin 2002) kullanılmıştır.

SONUÇLAR

Artan nüfus oranına bağlı olarak mevcut enerji kaynakları giderek azalmakta ve artan nüfusun getirdiği enerji talebiyle birlikte çevre kirliliğinin de artması alternatif motor yakıtlarının kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Dünyadaki hızlı kirlenmede çevresel bir tehdit olan küresel ısınmayı birlikte getirmektedir. Bu bakımdan motor yakıtlarının çevreyi az kirlüten, çıkartılmasında ve üretilmesinde çevreye en duyarlı yakıt olması istenmektedir. Bu bakımdan bu çalışmada incelenen alkoller hem çevre dostu olması hem de çevreyle uyumlu olan bir yöntemle imal edilmesinden dolayı önümüzdeki dönemlerde kullanılması muhtemel alternatif yakıt olacaktır. Ülkemizde de var olan Eskişehir'deki üretim tesisinin yanında yakıt amaçlı alkol üretim tesislerinin sayısı artırılmalıdır. Alkol üretiminde kullanılan tarım malzemelerinin alt yapısı oluşturularak çiftçiler desteklenmeli ve topyekûn bir kalkınmanın başlangıcı oluşturulmalıdır. Ayrıca motor yakıtı için alkol üretimine ağırlık verilmeli ve bunların yasal kanunlarla düzenlenmesi gerekmektedir.

Kendi kendine tutuşma sıcaklığı, yüksek oktan sayısı, buharlaşma ısısının yüksek olması İYM'larda kullanımını yaygınlaştıran sebeplerden bir kaçıdır. Fakat alkollerin İYM'larda yaygınlaştırılması için; İYM'ların yakıt donanımlarının alkol yakıtlarına uygun hale getirilmesi, alkol yakıtlarının maliyetlerinin düşürülmesi, İYM'larda bazı küçük değişikliklerin yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Abu-Qudais, M. Haddad, O., Qudaisat, M. (2000) The Effect of Alcohol fumigation on Diesel Engine Performance and Emissions, *Energy Conversion and Management*, 41(4): 389–99.
2. Ajav, E. A. and Akingbehin, O. A. (2002) A study of some fuel properties of local ethanol blended with diesel fuel”, *Agricultural Engineering International: The CIGR Journal of Scientific Research Development*, 30(6): 25-36.
3. Ajav, E. A. Singh, B. Bhattacharya, T. K. (1999) Experimental Study of Some Performance Parameters of Constant Speed Stationary Diesel Engine Using Ethanol-Diesel Blends as Fuel, *Biomass and Bioenergy*, 17: 357-365.
4. Akyaz, S. (2007) Benzin–tersiyer bütül alkol ve benzin naftalin karışımlarının buji ateşlemeli motorun performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
5. Al-Hasan, M. I. and Al-Momany, M. (2008) The effect of iso-butanol-diesel blends on engine performance”, *Dept. of Mechanical Engineering, Al-Balqa’ Applied University, P.O. Box 15008 Amman, 11134 Jordan*, 23(4): 306-310.
6. Alkan, F. (2009) Benzinli bir motorda yüksek sıkıştırma oranlarında saf etanol kullanımının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkilerinin deneysel olarak araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
7. Altın, R. (1998) Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılmasının Deneysel Olarak incelenmesi”, *Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
8. Altınay, B. (2008) Metanol hakkında genel bilgi, *TAPDK Raporu*, 15-17,
9. Asfar, K. R. and Hamed, H. (1998) Combustion of fuel blends, *Energy Conversion and Management*, 39(10): 1081-1093.
10. Anonim (2011) Petrol Ofisi İnternet Sitesi, Yurtsever Benzin Biyobenzin, <http://www.poas.com.tr/www/html/benzin.asp>, (23.04.2011).
11. Anonim (2009) Güvenlik kataloğu, *Merc Kimya Endüstri Sanayi*.
12. Aydın, H. and İlkılıç, C. (2010) Effect of ethanol blending with biodiesel on engine performance and exhaust emissions in a CI engine, *Applied Thermal Engineering*, 30(10): 1199-1204.
13. Başçetinçelik, A. Öztürk, H. Karaca, C. (2011) Türkiye’de tarımsal biyokütleden enerji üretimi olanakları http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/32590c74a229a9f_ek.pdf?dergi=563 (29.03.2011).
14. Bilgin, A. Durgun, O. Sahin, Z. (2002) The effects of diesel ethanol blends on diesel engine performance”, *Energy Sources*, 24(4): 431-440
15. Borat, O. Balcı, M. A., Sürmen, A. (1994) İçten Yanmalı Motorlar Ders Kitabı, Cilt I., *Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Vakfı Yayınları-2*, İstanbul.
16. Boruff, P. A. Schwab, A. W. Goering, C. E. Pryde, E. H. (1982). Evaluation of Diesel Fuel - Ethanol Micro- Emulsions”, *Transactions of The ASAE*, 25(9): 47-53.
17. Bayraktar, H. (2005) Experimental and Theoretical Investigation of Using Gasoline Ethanol Blends in Spark Ignition Engines, *Renewable Energy* 30: 1733-1747.

18. Can, Ö. Çelikten, İ. Usta, N. (2004) Effects of ethanol addition on performance and emissions of a turbocharged indirect injection diesel engine running at different injection pressures, *Energy Conversion and Management*, 45: 2429–40.
19. Can, Ö. Çelikten, İ. Usta, N. (2005) Etanol karışımli motorin yakıtının dizel motoru egzoz emisyonlarına etkisi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 11(2): 219-224.
20. Ceviz, M. A. and Yüksel, F. (2005) Effects of Ethanol-Unleaded Gasoline Blends on Cyclic Variability and Emissions in an SI Engine, *Applied Thermal Engineering*, 25: 917-925.
21. Charalampos, A. I. Anastasios, K. N. Panagiotis, S. D. (2004) Gasoline-Ethanol, Methanol Mixtures and a Small Four-Stroke Engine”, *Heat and Technology*, 22(2): 69-73.
22. Chen, H. Shuai, S. J. Wang, J. X. (2007) Study on Combustion Characteristics and PM Emission of Diesel Engines Using Ester-Ethanol-Diesel Blended Fuels, *Proceedings of The Combustion Institute*, 31: 2981-2989.
23. Ciniviz, M. Salman, M. S. Çarman, K. (2001) Dizel motorlarında dizel yakıtı + LPG kullanımının performans ve emisyonu etkisi, *Selçuk-Teknik Online Dergisi*, 2(1): 1302-6178.
24. Coelho, S. T. Goldemberg, J. (2004) Alternative Transportation Fuels: Contemporary Case Studies. In: Cutler J. Cleveland (Ed.), *Encyclopedia of Energy*. Elsevier Inc., New York, Article Number: NRGY No: 00177.
25. Çalışır, A. Gümüş, M. (2009) Buji ateşlemeli bir motorda benzin-metanol karışımının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerine etkisi, 5. *Uluslar Arası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük, 1-5.
26. Çanakçı, M. (2006) Atık yağların biyodizelde kullanımı ve performansa etkileri, *Kocaeli Sanayi Odası*.
27. Çetin, M. Yüksel, F. Kuş, H. (2009) Emission characteristics of a converted diesel engine using ethanol as fuel”, *Energy for Sustainable Development*, 13(6): 250–254.
28. Çelik M. B. Çolak, A. (2008). Buji ateşlemeli bir motorda alternatif yakıt olarak saf etanol'un kullanılması”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Ankara, 23(3): 622–625.
29. Çelikten, İ., (2004) Tam yükte çalışan indirekt püskürtmeli bir dizel motorda, dizel ve dizel etanol yakıt karışımlarının performans ve emisyon değişimlerine etkisi, *Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Teknoloji Dergisi*, 7(1): 11-18.
30. Çelikten, İ., (2003). An Experimental Investigation of The Effect of The Injection Pressure On Engine Performance And Exhaust Emission In Indirect Injection Diesel Engines, *Applied Thermal Engineering*, 23(6): 2051-2060.
31. Çetinkaya, S. (1999) Termodinamik, *Nobel Yayınevi*, Ankara.
32. Çolak, A. (2006). Buji ateşlemeli motorlarda farklı sıkıştırma oranlarında etanol kullanımının performans ve emisyonlara etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
33. Devan, P. K. Mahalakshmi, N. V. A. (2009) Study of the performance, emission and combustion characteristics of a compression ignition engine using methyl ester of paradise oil–eucalyptus oil blends, *Applied Energy*, 86: 675–680.
34. Ejder, S. B., “Etanol - dizel, biyodizel - dizel yakıt karışımlarının kullanımının motor performansına etkilerinin deneysel araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2007).

35. Eyidoğan, M. (2009) Etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarının buji ateşlemeli bir motorun yanma karakteristiği ve egzoz emisyonlarına etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli.
36. Goering, C. E. Crowell, T. J. Griffith, D. R. Jarrett M. W. Savage, L. D. (1992) Compression-ignition, Flexible-fuel Engine, *Trans ASAE*, 35 (2): 423–8.
37. Haşımoğlu, C. Ciniviz, M. Uçar, G. (2000) Günümüzde İçten Yanmalı Motorlarda Alkol Yakıtının Kullanılması, *Selçuk Teknik Online Dergisi*, ISSN 1302/6178, Konya.
38. Hışır, V. (2009) Bütanol-benzin karışımlarının buji ile ateşlemeli motorların performans ve egzoz emisyonlarına etkilerinin deneysel olarak araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
39. Huang, J. Wang, Y. Li, S. Roskilly, A. P. Yu, H. Li, H. (2009) Experimental investigation on the performance and emissions of a diesel engine fuelled with ethanol–diesel blends, *Applied Thermal Engineering*, 29(11–12): 2484–90.
40. István, B. Adrian, T. I. (2009) Key fuel properties of biodiesel–diesel fuel– ethanol blends, *SAE*, 2009-01-1810.
41. İlker, Ö. Necmettin, T. Murat, C. (2008) Etanol-Benzin Karışımı Yakıtların Taşıtlı Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi, *10. Uluslararası Yanma Sempozyumu*, Sakarya.
42. İlkılıç, C. Behçet, R. Aydın, S. Aydın, H. (2009) Dizel motorlarında azot oksitlerin oluşumu ve kontrol yöntemleri, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük, 1: 2062-2066.
43. İlhan, M., (2007) Çift yakıtlı (Dizel Metanol) bir dizel motorda püskürtme avansının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
44. Jincheng, H. Yaodong, W. Shuangding, L. Anthony P. R. Hongdong, Y. Huifen L. (2009) Experimental investigation on the performance and emissions of a diesel engine fuelled with ethanol–diesel blends, *Applied Thermal Engineering*, 29(1): 2484–2490.
45. Jing P. L. (2009) Bench test investigations of gasoline engine fueled with butanol-gasoline blends, *SAE No: 2009-01-1891*.
46. Kaini, M. Ghobadian, B. Tavakoli, T. Nikbakht, A. M. Najafi, G. (2010) Application of artificial neural networks for the prediction of performance and exhaust emissions in SI engine using ethanol- gasoline blends”, *Energy* 35: 65–69.
47. Karabektaş, M. Hoşşöz, M. (2009) Performance and emission characteristics of a diesel engine using isobutanol–diesel fuel blends, *Renewable Energy*, 34(6): 1554–1559.
48. Karakuş, N. (2000) Yakıt özelliklerinin dizel motor performansına ve emisyonlarına etkisi, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
49. Kalam, M. A. Masjuki, H. H. (2002) Biodiesel from palm oil an analysis of its properties and potential, *Biomass Energy*, 23(6): 471-479.
50. Karaosmanoğlu, F. (2008) Yakıt Alkolü: Mevcut Durumu ve Geleceği”, *Su ve Çevre Teknolojileri*, 54-60.
51. Kaplan, M. Aydın, S. Fidan, S. (2009) Geleceğin Alternatif Enerji Kaynağı Biyoetanolün Önemi ve Sorgum Bitkisi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(1): 24-33.

52. Kumar, M. S. Kerihuel, A. Belltre, J. Tazerout, M. (2006) Ethanol animal fat emulsions as a diesel engine fuel – part 2: engine test analysis, *Fuel*, 85: 2646–52.
53. Kulakoğlu, T., (2008) Dizel-metanol karışımı kullanılan bir dizel motorda püskürtme basıncının performans ve emisyonlara etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
54. Kwanchareon, P. Luengnaruemitchai, A. Jai-In, S. (2007) Solubility of a diesel–biodiesel–ethanol blend, its fuel properties, and its emission characteristics from diesel engine, *Fuel*, 86: 1053–61.
55. Lin, C. Y. Huang, J. C. (2003) An Oxygenating Additive for Improving the Performance and Emission Characteristics of Marine Diesel Engines, *Ocean Engineering*, 30:1699-1715.
56. Liguang, L. Liu, Z. Wang, H. Deng, B. Xiao, Z. Wang, Z. Gong, C. Su, Y. (2003) Combustion and emissions of ethanol fuel (E100) in a small SI engine, *SAE No: 2003-01-3262*.
57. Mortimer, C. E. (1992) Modern üniversite kimyası, Cilt-2, *Çağlayan Kitap Evi*, İstanbul, 377-381, 385-387.
58. Noguchi, N. Terao, H. Sakata, C. (1996) Performance Improvement by Control of Flow Rates and Diesel Injection Timing on Dual-fuel Engine With Ethanol, *Bioresour Technol.*, 56(1): 35-39.
59. Oruç, N. (2008) Şeker pancarından alternatif yakıt kaynağı olarak Biyoetanol üretimi: Eskişehir şeker-alkol fabrikası Örneği, *VII Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, İstanbul, 333-334.
60. Oğuzcan, Z. (2007) Alternatif yakıtlar, *Akdeniz İhracatçı Birlikleri*, 46: 10.
61. Örs İ. (2007) Benzin Etanol karışımlarının taşıt performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
62. Özer, S., Özdayan, B. (2013) Dizel bir motorda izo
63. Park, C. Choi, Y. Kim, C. Oh, S. Lim, G. Moriyoshi, Y. (2010) Performance and exhaust emission characteristics of a spark ignition engine using ethanol and ethanol-reformed gas, *Fuel*, 89(9): 2188-2215.
64. Pireli, E. (2006) Biyodizel ve dizel ile çalışan tek silindirli dizel bir motorda püskürtme basıncının motor performansına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
65. Qi, D. H. Chen, H. Geng, L. M. Bian, Y. Z. H. Ren X. C. H. (2010). Performance and combustion characteristics of biodiesel–diesel–methanol blend fuelled engine, *Applied Energy*, 87(5): 1679–1686.
66. Rafiqul I. M. D. Subrahmanyam, J. P. Gajendra B. M. G. (1997) Computer Simulation Studies of an Alcohol-fueled, Low-heat-rejection, Direct- Injection Diesel Engine, *International Fall Fuels and Lubricants Meeting and Exposition*, *SAE No: 972976*.
67. Rakopoulos, C. D. Antonopoulos, K. A. Rakopoulos, D. C. (2007) Experimental heat release analysis and emissions of a HSDI diesel engine fueled with ethanol–diesel fuel blends, *Renewable Energy*, 32: 1791–1808.
68. Rakopoulos, C. D. Antonopoulos, K. A. Hountalas, D. T. Giakoumis, E. G. (2006) Comparative performance and emissions study of a direct injection diesel engine using blends of diesel fuel with vegetable oils or bio-diesels ethanol of various origins, *Energy Conversion and Management*, 47: 3272–3287.

69. Satgé De Caro, P. Moloungui, Z. (2001) Interest of Combining an Additive with Diesel-Ethanol Blends for Use in Diesel Engines, *Fuel*, 80: 565-574.
70. Sayın, C. Uslu, K. Çanakçı, M. (2008) Influence of injection timing on the exhaust emissions of a dual-fuel CI engine, *Renewable Energy*, 33:1314–23.
71. Sayın, C. Murat, İ. Çanakçı, M. Gümüş, M. (2009) Effect of injection timing on the exhaust emissions of a diesel engine using diesel–methanol blends, *Renewable Energy*, 34:1261–1269.
72. Sayın, C. (2010) Engine performance and exhaust gas emissions of methanol and ethanol–diesel blends, *Fuel*, 89(11): 3410-3415.
73. Sayın, C. Özsezen, A. N. Çanakçı, M. (2009) The influence of operating parameters on the performance and emissions of a DI diesel engine using methanol-blended-diesel fuel, *Fuel*, 35 (10): 1-7.
74. Sekmen, Y. (2007) Karpuz çekirdeği ve keten tohumu yağı metil esterlerinin dizel motorda yakıt olarak kullanılması, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Teknoloji Dergisi*, 10(4): 295-302.
75. Sezer İ. Bilgin A. (2002) Normal benzine metanol katılmasının motor performansına etkisi, *OTEKON' 02*, Bursa, 1-18, 207-209.
76. Sharma, P. Khara, M. (2001) Modeling of Vehicular Exhaust-A Review, *Transportation Research*, 179-198.
77. Shenghua, L. Eddy, R. Clemente, C. Tiegang, H. Yanjv, W. (2007) Study of Spark Ignition Engine Fueled With Methanol/Gasoline Fuel Blends, *Applied Thermal Engineering*, 27(11-12): 1904-1910.
78. Silva, R. Cataluña, R. Menezes, E. W. Samios, D. Piatnicki, C. M. S. (2005) Effect of additives on the antiknock properties and Reid vapor pressure of gasoline, *Fuel*, 84: 951–959.
79. Smith, J. L. Workman J. P. (2004) Alcohol for Motor Fuels, *Farm & Ranch series*, 5:010,
80. Solomons, G. T. W. (1996) Organic Chemistry, *University of South Florida, USA*.
81. Soyuduru, G. (2009) Fermentasyonla etanol üretiminde etanol veriminin artırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
82. Sümer, M. (1999) Buji Ateşlemeli Motorlarda Etanol Kullanımı, Performans ve Maliyet Analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
83. Şen, Z. and Şahin, A. (1996) Future Prospects of Fosil and Alternative Energy Sources, *Proceedings of The First International Energy and Environment Symposium*, 29-31, Trabzon.
84. Taşdan, K. (2005) Biyoyakıtların Türkiye tarım ekonomisine olası etkileri, *Tarım ve Mühendislik*, 75: 27-29.
85. Taşdan, K. (2005) Biyoyakıtların Türkiye Tarım Ürünleri Piyasalarında Olası Etkileri, Biyobenzin-Etanol, *Tarım ve Mühendislik*, 75: 27-29.
86. Topgül, T. (2006) Buji ile ateşlemeli motorlarda etil alkol-benzin karışımı kullanımında optimum çalışma parametrelerin araştırılması, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
87. Topgül, T. Yücesu, H. S. Çınar, C. Koca, A. (2006) The Effects of Ethanol-Unleaded Gasoline Blends and Ignition Timing on Performance and Exhaust Emissions, *Renewable Energy*, 31(15): 2534-2542.

88. Türkcan, A. Çanakçı, M. Özsezen, A. Sayın, C. (2009) Bir dizel motorda yanma karakteristiklerinin incelenmesi, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(1): 1-10.
89. Uğurbilek, M. R. (1986) Yüksek Hızlı Hafif Hizmet Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Metil Alkolün Kullanılması, Doktora Tezi, *Anadolu Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.
90. Ulusoy, Y. (1999) Ayçiçeği, Kolza, Pamuk ve Soya Yağlarının Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanım Olanaklarının belirlenmesi Üzerine Karşılaştırmalı Bir Araştırma”, Doktora Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa.
91. Uslu, K. (2006) Dizel motorlarında farklı püskürtme avanslarında dizel yakıtı+ethanol kullanımının performans ve emisyonlara etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
92. Usta, N. Can, Ö. Öztürk, E. (2005) Alternatif Dizel Motor Yakıtı Olarak Biyodizel Ve Etanolün Karşılaştırılması *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 11(3): 325-334.
93. Xiaoyan, S. Xiaobing, P. Yujing, M. Hong, H. Shijin, S. Jianxin, W. (2006) Emission reduction potential of using ethanol–biodiesel–diesel fuel blend on a heavy-duty diesel engine, *Atmospheric Environment*, 40(14): 2567–2574.
94. Yücesu, H. S. Topgül, T. Çınar, C. Okur, M. (2006) Effect of Ethanol–Gasoline Blends on Engine Performance and Exhaust Emissions in Different Compression Ratios, *Applied Thermal Engineering*, 26(9): 2272-2278.
95. Yüksel, F. Yüksel, B. (2004) The use of ethanol–gasoline blend as a fuel in an SI engine, *Renewable Energy*, 29(7): 1181–1191.
96. Vezir A. (2006) Metanol – benzin karışımlarının MgO – ZrO₂ termal bariyer çemberli bir motorda performans ve emisyonlara etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.

Makale 20.05.2013 tarihinde alınmış, 12.03.2014 tarihinde düzeltilmiş, 12.03.2014 tarihinde kabul edilmiştir.