

MOTORLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR

Hidrojenin Otto ve Dizel Motorlarında Kullanımı

Hidrojen enerjisi yeni bir kavram değildir. Hidrojenin üretimi, depolanması, taşınması ve kullanılması günümüzde teknik olarak uygulanabilmektedir. Son yirmi yılda hidrojen enerji sistemi ve teknolojilerinin incelenmesinde artan büyük bir araştırma faaliyeti görülmektedir.

Hidrojen, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardan , güneş enerjisi ve nükleer enerjiden, su gibi sonsuz bir kaynaktan elde edilebilir. Hidrojenin yakıt olarak kullanılmasında, yanma ürünü olarak su buharı açığa çıkarması nedeni ile çevreye hiçbir zararı yoktur. Sınırsız kaynaklara sahip olan ve havayı kirletmesi açısından içten yanmalı motorlarda kullanılan diğer alternatif yakıtlara göre daha iyi durumda olan hidrojenin, içten yanmalı motorlarda kullanım çalışmalarına 1900'lü yılların başlarında başlanmıştır ve 1970'den sonra bu çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Günümüzde bir çok otomotiv firması bu konuda araştırmaya büyük bütçeler ayırmaktadırlar. Her geçen gün bu konudaki bir çok yenilikler bulunmaktadır.

Hidrojenin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Kimyasal denklemi		H ₂
C/H oranı		0
Moleküler kütle		2.02
Özgül kütle		
Sıvı :	(kg / dm ³)	0.07
Gaz :	(kg / dm ³)	0.84*10 ⁻⁴
Isıl değeri		
Alt	(Mj/kg)	119.93
Üst	(Mj/kg)	141.86
	(Mj/litre)	8.41
Stokiyometrik karışım için		
hava/yakıt (kütlesel)		34.32
hava/yakıt (hacimsel)		2.38
	(kj/litre)	3.20
mol _{ürünler} / mol _{reaktantlar}		0.85
Buharlaşma ısısı	(Mj/kg)	0.447
Tutuşma sınırları		
%hacim		4.1-74
λ		0.15-4.35
Laminar alev hızı	(m/s)	2.91
Adyabatik alev sıcaklığı	(°C)	2110
Difüzyon katsayısı	(m ² /s)	0.61
Kaynama noktası	(°C)	-252.35
Donma noktası	(°C)	-259
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı	(°C)	574-591
Oktan sayısı		
ROS		130

Kokusuz, rensiz, tatsız ve saydam bir yapıya sahip olan hidrojen doğadaki en hafif kimyasal elementtir. Gaz halindeki hidrojen aynı hacimdeki havadan yaklaşık 15 kez daha hafiftir. Motorlarda kullanılmakta olan diğer alternatif yakıtlarla karşılaştırıldığında sıvı

hidrojenin, sıvı hidrokarbonlara oranla yaklaşık 10 kere daha hafif gaz halindeki hidrojenin ise metan gazından 10 kere daha hafif olduğu görülmektedir.

Hidrojenin motorlarda yakıt olarak kullanılması durumunda petrol kökenli motor yakıtlara oranla birçok önemli avantaja sahip bulunmaktadır. Yüksek alev hızı ve tutuşma yeteneği, düşük ateşleme enerjisi gerektirmesi, geniş tutuşma ve yanma sınırları, yüksek ısı değer ve termik verim, kirletici egsoz gazı emisyonlarının azlığı ve sahip olduğu yüksek oktan sayısı nedeni ile vuruntuya karşı dirençli olması hidrojeni çekici kılmaktadır. Ayrıca benzin ve dizeli birlikte çeşitli karışım oranlarında çift yakıtlı motor olarak çalışabilme olanağına sahip olması, geçiş döneminde mevcut motorlarda önemli değişiklikler yapılmadan hidrojen kullanımını olanaklı kılacaktır.

Hidrojenin yakıt olarak kullanılmasında yarar sağlayacak en önemli özelliklerden birisi, hidrojenin çok fakir karışımlardan, çok zengin karışımlara kadar uzanan geniş hava-yakıt karışım oranı aralığı içerisinde tutuşabilir olmasıdır. Hava fazlalık katsayısının 0.15 - 4.35 değerleri arasında tutuşma sağlanabilmektedir. Hidrojen hava karışımlarını ateşlemek için gerekli minimum enerji miktarı da diğer yakıtlara oranla daha düşüktür. Bu durum Otto prensibi ile çalışan motorlarda tutuşma garantisi yönünden bir avantaj gibi gözüksede erken tutuşma ve geri tutuşma gibi sorunlarada da neden olmaktadır. Hidrojenin kendi kendine tutuşma sıcaklığının oldukça yüksek olması (1 atm basınçta 574 - 591 °C) ve oktan sayısının yüksek olması Otto motorlarında kullanımında avantaj teşkil etmektedir. 1980 yılında yapılan bir çalışmayla hidrojen yakıtı dizel motorunda uygulanmaya çalışıldı. Hidrojenin kendi kendine tutuşma sıcaklığının yüksek olması nedeni ile dizel motorlarında kullanılmasında birtakım güçlüklerle karşılaşıldı. Yüksek yüklenme durumlarında eğer hava yakıt oranı stokiyometrik karışım oranına yaklaşıldığında erken tutuşma ve geri tutuşma meydana gelmekteydi. Erken tutuşma taşıt rölanti durumunda iken de olmaktadır. Bu durum hidrojenin dizel motorlarından çok, Otto ilkesi ile çalışan motorlar için daha uygun bir yakıt olacağını göstermektedir. Ancak dizel motorlarında hidrojenin tek başına veya dizelle birlikte kullanımının gerçekleştirildiği örnekler de bulunmaktadır.

Hidrojenin yanması sonucu elde edilen alev hızı oldukça yüksektir. Bu değer stokiyometrik karışımlar için benzin hava karışımlarındaki alev hızının yaklaşık dört katı düzeyindedir. Hidrojen ayrıca öteki mevcut motor yakıtlarından daha yüksek ısı değeri sahiptir. Ancak volümetrik olarak ele alındığında, hidrojenin ısı değerinin öteki yakıtlardan çok daha düşük olduğu görülecektir. Bu durum, bazı çözümler sağlanmadığında motorun maksimum gücü açısından, eşdeğer özellikteki benzin motoruna göre bazı kısıtlamalar getirecektir.

Hidrojenin difüzyon katsayısı da öteki yakıtlardan daha fazladır. Ayrıca gaz halindeki hidrojen kağıt, kumaş, kauçuk gibi malzemeslerden, platin, demir, çelik gibi bazı metallere difüzyon yolu ile geçebilmektedir. Hidrojenin bu özelliği ise depolanmasına ilişkin bazı sorunlar yaratmaktadır.

Metanolün Otto ve Dizel Motorlarında Kullanımı

Metanol içerisinde metil alkol bulunan, odun, kömür gibi fosil yakıtların ısı altında damıtılmaları yolu ile, doğalgaza birtakım distilasyon işlemleri uygulanarak veya CO ve H₂'nin katalitik ortamda sentezleri sonucunda elde edilir. Fakat doğal kaynakların yenilenebilir olamamasından dolayı metanolün alternatif bir yakıt olarak kullanılması geçici bir süre için söz konusu olacaktır. Ayrıca günümüzdeki metanol üretimindeki enerji dengesi negatiftir. Yani metanolün üretimi için, yanması sonunda vereceği enerjiden fazla enerjiye gereksinim vardır.

Metanolün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Kimyasal denklemi		CH ₃ OH
C / H oranı		0.25
Moleküler kütle		32.04
Özgül kütle		
Sıvı :	(kg / dm ³)	0.79
Isıl değeri		
	(Mj/kg)	20.1
	(Mj/litre)	15.9
Stokiyometrik karışım için		
hava/yakıt	(kütlesel)	6.44
hava/yakıt	(hacimsel)	7.14
	(kj/litre)	3.53
mol _{ürünler} / mol _{reaktantlar}		1.06
Buharlaşma ısısı	(Mj/kg)	1.10
Tutuşma sınırları		
% hacim		6-37
λ		0.24 - 2.22
Laminar alev hızı	(m/s)	0.52
Adyabatik alev sıcaklığı	(°C)	1878
Kaynama noktası	(°C)	65.1
Donma noktası	(°C)	-97.6
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı	(°C)	470
Oktan sayısı		
ROS		110
MOS		87

Metanolün kaynama sıcaklığı 65.1°C, donma sıcaklığı -97.6°C 'dir ve su ile her oranda karışabilir. Metanol taşıtlarda çok küçük değişikliklerle kolaylıkla kullanılır. Yapılan ilk metanollü prototiplerde benzin motorları metanol yakabilecek şekilde değiştirilmekteydi. Daha sonraları metanol yakıtı kullanabilecek yeni motorlar tasarlandı. Prototipler üzerinde yapılan araştırmalara göre, metanol yakıtlı taşıtların, gelişmiş teknolojiye sahip benzinli taşıtlara göre %5-10 oranında daha fazla verime ve olağanüstü ivmeye sahip olduğu görüldü.

Metanol yüksek oktan sayısına sahip olmasına karşın çok düşük setan sayısına sahiptir. Bu sebeple dizel motorlarında kullanımında birtakım problemler vardır. Metanol yakıtı düşük setan sayısı, yüksek ateşleme sıcaklığı ve kendi kendine tutuşma direnci nedeni ile dizel motorlarında sıkıştırma strokunun sonuna doğru, silindir içerisindeki sıkıştırılmış hava içerisine püskürtülmesi ile başlayacak yanmada, birtakım problemler yaratır. Yakıtın tutuşmasını geciktirir ve dizel motorunda vuruntuya sebep olur. Fakat kendi kendine tutuşma direnci, Otto motorlarında sıkıştırma oranının artırılmasına olanak sağladığından metanol Otto motorlarında rahatlıkla kullanılabilir. Bu sebepten dolayı metanol dizel motorlarında ancak buji kullanılması durumunda veya dizel yakıtla karıştırılması durumunda kullanılabilir. Düşük setan sayısına sahip olan yakıtların dizel motorlarındaki yanmasını düzeltmek için birtakım çalışmalar yapılmaktadır. Tablo 1'de uygulanabilecek metodlar ve bu metodların avantajları ve dezavantajları gösterilmektedir.

Metanolün belirli bir hacimdeki enerji yoğunluğu benzine göre daha düşük olduğundan benzin ile kat edilen bir mesafeyi kat etmek için daha fazla metanol kullanımına ihtiyaç vardır. 1.7 litre metanol 1 litre benzinin verdiği enerjiye eşit miktarda enerji vermektedir. Bu da yakıt tanklarının daha geniş ve ağır olması demektir. Böylece hem taşıtlardaki depoların büyütülmesi gerekecek ve yer kaybına neden olunacak, hemde taşıtta

benzine göre daha fazla bir yükün taşınmasına neden olunacaktır. Ayrıca standart yakıt pompalarının kullanılması durumunda dizel yakıtın verdiği enerjiye eşdeğer enerjiyi metanol yakıtından elde etmek için, daha fazla miktarda metanol yakıtın püskürtülmesi gerekmektedir. Bu sebeple pompa ve enjektörden geçen yakıt miktarı önemlidir.

Metanolün ısı değeri petrole göre daha düşüktür, buharlaşma ısısı yüksektir. Buharlaşma ısısının yüksek oluşu motorlarda soğukta ilk hareketi zorlaştırmaktadır. Metanolün buharlaşmasına yardım etmek amacı ile su ile ısıtılan emme manifoldu, 10 °C'tan düşük sıcaklıklarda ilk harekete yardımcı yakıt sistemleri kullanılmaktadır.

Tablo 1 Metanolün Dizel Motorlarında Kullanımı İçin Geliştirilen Metodlar

METOD	AVANTAJLAR	DEZAVANTAJLARI
Kimyasal Katkı Maddeleri	Motorda değişikliğe gerek yok	Katkı maddelerinin pahalı olması ve gerekli miktarının çokluğu
Emülsiyon	Motorda çok az değişiklik gerektirir	Yakıtın % 50'sinin dizel olması nedeni ile iki ayrı yakıt tankı gerektiriyor
Metanol ve Dizel Enjektörünün Ayrı Kullanımı	Pilot enjeksiyon için az miktarda dizel gereksinimi	Karmaşık kontrol sistemi ve iki ayrı enjeksiyon sistemi gereksinimi
Metanolün Dizel Yakıtla Beraber Kullanımı	İki ayrı enjektör kullanımından daha ucuz	Yakıtın % 50'sinin dizel olması nedeni ile iki ayrı yakıt gerektiriyor.
Yüzey Ateşlemesi	Tek bir yakıt gerektirmesi	Sıcak yüzey eldesi için gerekli enerji büyük olması
Buji Ateşlemesi	Tek bir yakıt gerektirmesi	Ateşleme sisteminin fiyatı

Metanolün kullanımında karşılaşılan diğer bir problem aşırı derecede korozyona neden olmasıdır. Bu sebeple kullanılabilmesi için özel yakıt püskürtme pompalarına, yakıt depolarına, yakıt sistemlerine ve yakıt istasyonlarında özel depolama tanklarına ihtiyaç vardır. Silindir duvarlarındaki yağın etkisini tamamen ortadan kaldıracı eğilimi olduğundan özel yağlama yağları kullanılması gerekir. Korozyonu önlemek için yakıt ve emme sistemi, koruyucu maddelerle kaplanmaktadır. Metanolün korozif özellikleri benzinden farklı olduğu için, benzinden farklı olarak alüminyum ve çinko karbüratör kullanılır. Yakıt tankı çinko alaşımı ile kaplanmaktadır. Ayrıca paslanmaz çelik kullanılan depolarda iyi sonuç vermektedir. Metanolün benzine göre daha fazla nem tutma özelliği vardır. Diğer yakıtların bir yerden bir yere nekedilmesi gibi taşınırsa bu durum nedeni ile kolaylıkla nemlenebilir. Nem de korozyonu hızlandırır. Bu sebeple gelecekteki metanol taşıyıcı ekipmanlar su geçirmez olacaklardır. Ayrıca metanolün nem tutuculuk özelliğinin yüksek olması ve kolaylıkla nemlenmesi, metanol benzin karışımı olan yakıtlarda faz ayrışmasına neden olabilir. İçerisinde su bulunmayan alkol ve benzini karıştırmak mümkün olmasına rağmen az miktarda su ihtiva eden karışımlarda bu mümkün olmamakta ve faz ayrışması oluşmaktadır.

Metanolün diğer olumsuz yönleri zehirli ve gözü tahriş eder bir nitelikte olmasıdır. Ama çevre koruma örgütü EPA zararlı seviyeye ulaşacak birikmenin ancak çok nedir şartlarda olabileceğini bunun da kolayca dağıtılacağını bildirmektedir.

Yapılan çalışmalar sonucu metil alkolün benzinli motorlarda daha verimli kullanılabilmesi için bazı değişikliklere ihtiyaç olduğu tespit edilmiştir. Bu değişiklikler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Metil alkolün alt ısı değeri benzine nazaran çok daha düşüktür. Aynı gücü elde edebilmek için motora daha çok yakıt sevkedilmelidir. Metil alkol için gerekli hava-yakıt oranı 8.5 : 1 olduğundan istenilen performans değerlerini elde etmek için yakıt meme çapı büyütülmelidir.
2. Metil alkolün buharlaşması için benzine nazaran daha fazla ısı enerjisine ihtiyaç duyulmakta ve buharı da daha düşük sıcaklıklarda yoğunlaşmaktadır. Bunun sonucu, motorun ilk harekete geçmesi için sıcak havaya ihtiyaç duyulmakta ve buharın yoğunlaşması için de ısının yüksek tutulması gerekmektedir.
3. Metil alkolün saflık derecesinin yüksek olması tercih edilmektedir. Saflık derecesi arttıkça enerji kapasitesi artar. Saflığın derecesinin yeterli olmadığı durumda karbüratörde korozyona sebep olunur.
4. Sıkıştırma oranı 8.5 olan bir motor, metil alkol kullanılması durumunda sıkıştırma oranı 11'e yükseltilmelidir.
5. Metil alkol kullanılması durumunda silindire alınan yakıt miktarının fazla olmasından dolayı volümetrik verimi arttırmak için emme subapı çaplarının büyütülmesi gereklidir.

Yukarıda belirtilen şartlar sağlandığı takdirde, metil alkol Otto motorlarda motor yakıtı olarak verimli ve temiz bir şekilde kullanılabilir.

Etanolün Otto ve Dizel Motorlarında Kullanımı

Etanol, içerisinde etil alkol bulunan, şeker, şekeri çevrilebilen selüloz veya nişasta gibi maddelerin fermantasyonu sonucu elde edilen alkol türüdür. Etanol patates, tahıllar, şeker kamışı ve şeker pancarı gibi tarım ürünlerinden elde edilir.

Etanolün motorlarda kullanımı düşüncesi tarım ürünlerinin bolca yetiştirildiği ülkeler için geçerlidir. Bu sebeple etanol yakıtının alternatif bir yakıt olarak motorlarda kullanılması dünya çapında sınırlı kalmıştır. Ayrıca günümüzdeki etanol üretimindeki enerji dengesi negatiftir. Yani etanolün üretimi için, yanması sonunda vereceği enerjiden fazla enerjiye gereksinim vardır.

Etanolün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Kimyasal denklemi		C_2H_5OH
C/H oranı		0.333
Moleküler kütle		46.07
Özgül kütle		
Sıvı :	(kg / dm ³)	0.79
Isıl değeri		
	(Mj/kg)	26.9
	(Mj/litre)	21.3
Stokiyometrik karışım için		
hava/yakıt (kütlesel)		8.96
hava/yakıt (hacimsel)		14.3
	(kj/litre)	3.61
mol _{ürünler} / mol _{reaktantlar}		1.06
Buharlaşma ısısı	(Mj/kg)	0.856
Tutuşma sınırları		
%hacim		3.5-19

λ		0.29-1.92
Adyabatik alev sıcaklığı	($^{\circ}\text{C}$)	1924
Kaynama noktası	($^{\circ}\text{C}$)	78.7
Donma noktası	($^{\circ}\text{C}$)	-117.7
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı	($^{\circ}\text{C}$)	392
Oktan sayısı		
ROS		106
MOS		89

Etanol temiz, renksiz ve zehirli olmayan bir sıvıdır. Etanolün ısıl değeri benzinden daha düşüktür. Etanol su ile her oranda karışabilme özelliğine sahiptir.

Etanolün, yüksek oktan sayısına sahip olmasına karşın çok düşük setan sayısına sahip olması ve kendi kendine tutuşma direnci nedeni ile dizel motorlarında kullanımında birtakım problemler yaratır. Fakat kendi kendine tutuşma direnci, Otto motorlarında sıkıştırma oranının artırılmasına olanak sağladığından etanolün Otto motorlarında kullanımı daha avantajlıdır. Bu sebepten dolayı etanol, dizel motorlarında ancak buji kullanılması durumunda veya dizel yakıtla karıştırılması durumunda kullanılabilir.

Düşük setan sayısına sahip olan yakıtların dizel motorlarındaki yanmasını düzeltmek için birtakım çalışmalar yapılmaktadır. Tablo 2’de uygulanabilecek metodlar ve bu metodların avantajları ve dezavantajları gösterilmektedir.

Tablo 2 Etanolün Dizel Motorlarında Kullanımı İçin Geliştirilen Metodlar

METOD	AVANTAJLAR	DEZAVANTAJLAR
Kimyasal Katkı Maddesi	Motorda Değişikliğe Gerek Yok	Katkı Maddelerinin Pahalı Olması ve Gerekli Miktarının Çokluğu
Emilasyon	Motorda Çok Az Değişiklik Gerektirir	Yakıtın % 50’sinin Dizel Olması Nedeni İle İki Ayrı Yakıt Tankı Gerektiriyor
Etanolün ve Dizel Enjektörlerinin Ayrı Kullanımı	Pilot Enjeksiyon İçin Az Miktarda Dizel Yakıtı Gereksinimi	Karmaşık Kontrol Sistemi ve İki Ayrı Enjeksiyon Sistemi Gereksinimi
Yüzey Ateşlemesi	Tek Bir Yakıt Gerektirmesi	Sıcak Yüzey Eldesi İçin Gerekli Enerjinin Büyük Olması
Buji Ateşlemesi	Tek Bir Yakıt Gerektirmesi	Ateşleme Sisteminin Fiyatı

Etanolün ısıl değeri petrole göre daha düşüktür, buharlaşma ısısı yüksek, buhar basıncı düşüktür. Buharlaşma ısısının yüksek oluşu motorlarda soğukta ilk hareketi zorlaştırmaktadır. Etanolün en önemli dezavantajlarından biri içinde bulunan suyun yakıt donanımı ve emme sistemi üzerindeki korozif etkisidir. Etanolün korozif özellikleri nedeni ile korozyonu önlemek için yakıt ve emme sistemi, koruyucu maddelerle kaplanmaktadır. Ayrıca etanolün nem tutuculuk özelliğinin yüksek olması ve kolaylıkla nemlenmesi etanol benzin karışımı olan yakıtlarda faz ayrışmasına neden olabilir.

İçerisinde su bulunmayan alkol ve benzini karıştırmak mümkün olmasına rağmen az miktarda su ihtiva eden karışımlarda bu mümkün olmamakta ve faz ayrışması oluşmaktadır.

Çeşitli deneyler sonucunda varılan sonuçlar şu şekilde sıralanabilir:

1. Benzine etil alkol katılması yanmayı iyileştirmekte vurutuya dayanıklılığı artırmaktadır. En iyi karışımın % 10 hacimsal oranlı etil alkol – benzin karışımı olduğu belirlenmiştir. Bu karışımında düşük sıkıştırma oranlarında ($\epsilon=7.5$ için) %7 ; yüksek sıkıştırma oranlarında ($\epsilon=9.5$ için) %15 verim artışı sağlanmaktadır. Ayrıca alkol kullanımı hava kirliliğini önemli düzeyde azaltmaktadır.
2. Alkollerin buhar basıncı düşük olduğundan alkol karışımları kullanıldığında özellikle soğuk havalarda ilk harekette emme sisteminde buharlaşmayı iyileştirici önlemler almak gerekir. Ayrıca alkolün (ve içinde bulunabilecek suyun) emme ve yakıt sistemi ve diğer motor elemanları üzerindeki korozif ve aşındırıcı etkileri incelenmeli , bu etkilere karşı gerekli önlemler alınmalıdır.
3. Güncel tekniklerde etil alkol üretimi pahalıdır ve genellikle gıda kaynaklarına dayanmaktadır. Ucuz alkol üretimi için yeni yöntemler geliştirilmelidir.

Etanolün motorlarda kullanımı düşüncesi daha çok geniş tarım alanlarına sahip ülkelerde yaygındır. ABD’de tarımla uğraşan eyaletlerde, %80 etanol %20 benzin karışımı olan E80 yakıtı, yıllardan beri otomobillerde yakıt olarak kullanılmaktadır. Petrol rezervlerinin hemen hemen olmadığı fakat özellikle şeker kamışının bol bulunduğu Brezilya’da otomobiller 15 yıldan fazla bir süredir etanolle çalışmaktadır.

LPG’nin Otto ve Dizel Motorlarında Kullanımı

LPG : Sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG), petrolün damıtılması ve parçalanması esnasında elde edilen ve sonradan basınç altında sıvılaştırılan başlıca propan, bütan ve izomerleri gibi hidrokarbonlar veya bunların karışımıdır.

Ticari Propan : Ticari propan, başlıca propan ve propilenden meydana gelen, fiziki metotlarla sıvılaştırılabilen gaz karışımıdır.

Ticari Bütan : Ticari bütan , başlıca bütan ve bütilden meydana gelen, fiziki metotlarda sıvılaştırılabilen gaz karışımıdır.

Ticari Propan-Bütan Karışımı : Ticari propan-bütan ve bütilden meydana gelen, fiziki metotlarda sıvılaştırılabilen gaz karışımıdır

Özel Hizmet Propanı : Esas itibariyle propandan meydana gelen bir hidrokarbondur. Kütlece % 92 saflıktadır.

LPG’nin (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı) Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Son zamanlarda ülkemizde motorlu taşıtlarda özellikle ticari taksilerde tüp gazlı uygulama başlatılmıştır. Bu çalışmanın amacı, ülkemizdeki yerli otomobillerde uygulama sahasına giren yakıt amaçlı tüpgazın, motorun bazı karakteristiklerine etkilerini belirlemektir. Bunun için, LPG’nin benzinli motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilirliği üzerinde durulmuştur. LPG petrolden ya da doğal gazdan damıtılarak elde edilir. Ham petrolün ancak %4’ü LPG’ye dönüştürülebilir. LPG, gaz karışımında bulunan ana hidrokarbon bileşenine göre; ticari bütan (C_4H_{10}), ticari propan (C_3H_8), özel hizmet propanı ticari propan-bütan karışımı olmak üzere dört sınıfta ayrılır. Japonya da LPG altı kaliteye ayrılmış olup, 1 ila 6 kalite arasından 4., 5. ve 6. kalite LPG otomobil yakıtı olarak kullanılır. LPG yaklaşık 50 yıldır motorlu taşıtlarda alternatif yakıt olarak kullanılmakta olup, yaklaşık olarak 8.2 bar basınç altında sıkıştırıldığında yoğunlaşarak sıvı hale geçebilir. Gaz durumundaki hacmi, sıvı durumundaki hacminin yaklaşık 250 katından daha fazladır. Sıvı halde az yer işgal etmesi nedeniyle depolamaya çok uygundur. Sıvı olarak depolanıp gaz olarak kullanılabilmesi önemli bir avantaj sağlamaktadır. Üzerine uygulanan basıncın kalkması ile birlikte

kaynamaya başlar. LPG depoları, 1.4-16 kg/cm² basınç altında tutacak şekilde sağlam ve sızdırmaz yapılmalıdır.

ÖZELLİKLER	TİCARİ PROPAN	TİCARİ BÜTAN	TİCARİ PROPAN BÜTAN KARIŞIMI	ÖZEL HİZMET PROPANI
İlk Kaynama Noktası (°C)	-46	-9	-	-46
Sıvı Fazın Özgül Isısı (kJ/kg°C)	1366	1276	-	1366
Bir Litre LPG'nin (sıvı fazdaki) buhar hacmi (m ³)	0.271	0.235	-	0.271
Hava-gaz Karışımında Patlama Sınırları (havada) hacimce buhar yüzdesi				
a) Alt	2.15	1.55	-	2.15
b) Üst	9.60	9.60	9.60	9.60
Kaynama Noktasındaki Buharlaşma Isısı				
a) Kj/kg	430	388	-	430
b) Kj/l	219	226	-	219
Alev Sıcaklığı (°C)	1980	2008	-	1980
Tutuşma Sıcaklığı (°C)	493-549	482-538	-	493-549
Kükürt Miktarı (mg/kg)	185	140	140	123
Oktan Sayısı	111	103	-	111
Alt Isıl Değeri (Mj/kg)	46.1	45.46	-	46.1

Tablo 3 LPG Özellikleri

LPG'nin Motor Yakıtı Olarak Avantaj ve Özellikleri

LPG'nin oktan sayısı yüksektir. Gaz fazında hava ile daha üniform karışması sonucu iyi bir yanma gerçekleşir. Benzin ve dizel yakıtına göre egsoz çıktısı daha temizdir. Karbon birikintisi yoktur. Motor yağı seyreltisi olmadığından motor yağı daha uzun ömürlüdür. Benzine göre dezavantajı ise, yüksek basınç deposuna gereksinim göstermesi, bununla beraber taşıt ağırlığının artması, bunun yanı sıra gaz formunda düşük molekül ağırlıklı yakıtın içeri verilmesi bunu da volümetrik verimi düşürmesi bunun sonucunda da motor gücünün düşmesi gibi etkenler sayılabilir.

Doğalgazın Otto ve Dizel Motorlarında Kullanımı

Doğalgazın taşıtlarda benzin ve motorine düşük emisyonlu bir alternatif olarak yaygınlaşması özellikle son senelerde dikkat çekmektedir. Doğalgazın birçok ülkede zengin kaynaklarının olması, diğer birçok ülkede ise boru hatları ile yaygınlaştırılmasına rağmen taşıtlarda yakıt olarak kullanılması, diğer uygulamalarına göre biraz yavaş kalmıştır. Son senelerde ise gerek doğalgazın yaygınlaşması, gerekse ekonomik ve çevresel faktörlerin tercihi, taşıtlarda doğalgaz kullanımını bir alternatif olarak gündeme getirmiştir.

Araçlarda doğalgaz kullanımını 50 yıldan daha fazla bir geçmişi vardır. Geçmişten bir örnek vermek gerekirse örneğin Fransa'da Lacq gaz üretim bölgesinde 1950'li yıllarda

yaklaşık 10000 araç doğalgazla çalıştırılmıştır. Bu günlerde de araçlarda doğalgaz kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır. Tablonun incelenmesinden de anlaşılacağı üzere elimizde istatistiki bilgileri olan bu 14 ülkede 1991 yılı sonu itibarı ile yaklaşık 440000 hafif araç ve 700 ağır araç doğalgaza dönüştürülmüştür. Bugün yaklaşık 1250 adet de doğal gaz dolmuş istasyonu vardır. Bu sayıya da ev dolmuş istasyonları dahil edilmemiştir. Tablo 4’de ülkelere göre doğalgaz yakıtlı araç sayısı verilmiştir.

Tablo 4 Dünyada Doğalgazla Çalışan Araçlar

ÜLKE	ARAÇ SAYISI			DOLUM İSTASYONU
	TOPLAM	AĞIR ARAÇ	HAFİF ARAÇ	
İTALYA	235000	20	235000	240
ARJANTİN	100000	10	100000	125
YENİ ZELANDA	60000	115	600000	350
ABD	30000	-	-	328
KANADA	26100	25	26075	173+500*
BREZİLYA	700	300	400	7
AVUSTRALYA	626	112	514	30+60*
HOLLANDA	303	18	285	14+70*
BANGLADEŞ	65	13	52	1
TAYLAND	31	11	20	2
BELÇİKA	24	0	24	1
JAPONYA	22	1	21	4
İNGİLTERE	112	7	105	24

* : Ev dolmuş istasyonu

Birçok batı ülkesinde doğalgazın araçlarda kullanımı ile ilgili çalışmalar ve araştırmalar büyük bir hızla devam etmektedir.

Bunlara bir örnek vermek istersek dünyada en fazla kara nakil aracı kullanılan ABD’yi incelemek gerekmektedir. Dünyada mevcut 520 milyon otomobil ve kamyonun 190 milyonu bu ülkededir. ABD’deki hava kirliliğinin ortalama % 50 sinin bu araçların egsozlarından ötürü ortaya çıktığı belirlenmiştir.

Petrol bağımlı bu araçlarda egsoz emisyonlarını azaltmak için ABD’de çeşitli önlemler alınmış tüm benzinli araçlara katalitik filitreler takılmış, araçların motor tasarımları geliştirilmiş, benzin ve dizel yakıtın yapıları değiştirilmiştir. Bu önlemlerin yeterli olmaması üzerine 1990 yılındaki Temiz Hava Yasası ve 1992 yılında kabul edilen Enerji Kanunu ile de alternatif yakıtlar için çalışmalar başlatılmıştır. Bu iki kanun ile başlatılan çalışmalar bugün 30 eyalette devam etmektedir ve bu yüzyılın sonuna kadar 5 milyon aracın doğalgazla çalışması planlanmaktadır. Bugün ABD’de son bir yılda konuda sadece standartları yaratmak için yapılan harcamaların tutarı 5 milyon Doları geçmiştir.

1992 yılında ABD’de hazırlanarak EBD Temsilciler Meclisine sunulan GAO/RCED 92-119 numaralı raporda, Kanada hükümetinin doğalgazlı araçların yaygınlaştırılması için 45 milyon doları doğrudan teşvik olmak üzere 58 milyon dolarlık bir harcama yaptığı belirtilmiştir.

Ülkemizde de Ankara ve İstanbul 'da taşımacılıkta kullanılan belediye otobüslerinin egsoz gazlarının neden olduğu hava kirliliğini azaltmak için birtakım projeler geliştirilmekte ve doğalgaza dönüşümleri tamamlanan otobüslerin kullanılmasına başlanmıştır.

Doğalgazın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Kimyasal denklemi		CH ₄
C/H oranı		0.25
Moleküler kütle		16.04
Özgül kütle		
Sıvı :	(kg / dm ³)	0.424
Gaz :	(kg/dm ³)	0.78*10 ⁻³
Isıl değeri		
	(Mj/kg)	50.8
	(Mj/litre)	20.8
Stokiyometrik karışım için		
hava/yakıt (kütlesel)		17.2
hava/yakıt (hacimsel)		9.53
	(kj/litre)	3.4
mol _{ürünler} / mol _{reaktantlar}		1.00
Buharlaştırma ısısı	(Mj/kg)	0.509
Tutuşma sınırları		
%hacim		5-15.4
λ		0.59-2.0
Laminar alev hızı	(m/s)	0.37
Adyabatik alev sıcaklığı	(°C)	1954
Difüzyon katsayısı	(m ² /s)	0.16
Kaynama noktası	(°C)	-161.3
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı	(°C)	632
Oktan sayısı		
ROS		130
MOS		105

Doğalgazın büyük bölümünü %90-96 CH₄ (metan) gazı oluşturmaktadır. Geri kalan bölümünü ise %2.411 C₂H₆ (etan), %0.736 C₃H₈ (propan), %0.371 C₄H₁₀ (bütan), %0.776 N₂ (azot), %0.164 C₅H₁₂ (pentan) ve % 0.085 CO₂ (karbondioksit) oluşturmaktadır.

Doğalgazın, Otto motorlarında yakıt olarak kullanılmasında yarar sağlayacak en önemli özelliği oktan sayısının yüksek oluşudur. Ayrıca ısıl değerinin benzin ve alkole göre yüksek olması da bir avantaj sağlamaktadır. Doğalgaz benzine oranla daha yüksek hava fazlalık katsayısı değerlerinde tutuşma olanağına sahiptir. Böylece motorun fakir karışımla çalıştırılıp, yakıt ekonomisi ve egsoz gazları emisyonu açısından yarar sağlanması da mümkün olmaktadır.

Ancak stokiyometrik karışım içindeki yakıtın hacimsel oranının yüksek oluşu (benzin için % 1.65, metan için %9.47) nedeniyle, motorun birim hacmindeki stokiyometrik karışımın ısıl değeri benzine göre %10 mertebesinde daha az olmaktadır. Ayrıca laminar alev hızının da benzin-hava karışımına göre düşük olması, benzin motorlarında, performans açısından olumsuz etkiler yaratmaktadır. Ancak doğalgazın motor performansı üzerindeki bu olumsuz etkisi, sahip olduğu yüksek oktan sayısı avantajlı kullanılarak motorun sıkıştırma oranının artırılması sonucunda giderilebilmektedir.

Doğalgazın difüzyon katsayısının benzine oranla iki kat fazla olması, hava ile daha kolay ve hızlı karışması, çift yakıtlı motorlarda kullanımı açısından yarar sağlamaktadır. Diesel ilkesine göre çalışan motorlarda doğalgaz, ortam içerisine yapılan pilot püskürtme yardımıyla tutuşturulabilmektedir. Bu özelliği nedeniyle doğalgaz, benzin ve dizel motorlarında önemli değişiklik yapılmadan kullanılabilir.

Yüksek performansa ve düşük emisyonlara sahip bir doğalgaz motorunun yapımı doğru sıkıştırma oranının tespiti ile sağlanmaktadır. Bu oran her motor için değişebilir. Sıkıştırma oranının artırılmasını motor vurunusu sınırlamaktadır. Doğalgazın yüksek oktan sayısına sahip olması sıkıştırma oranının artırılabilmesini sağlamaktadır. Genel olarak benzin motorlu taşıtlarda sıkıştırma oran 8:1 ve benzin oktan sayısı 90'dır. Fakat ortalama olarak doğalgaz motorunda sıkıştırma oranı 12:1 ve yakıtın oktan sayısı ROS 130, MOS 105'dir. Oktan sayısı yakıtın kalitesine göre daha da az olabilmektedir. Yüksek oktan sayısı demek; vurununun ortadan kalkması, daha uzun buji ömrü, yağlama yağının daha fazla kullanımı ve soğuk havalarda iyi çalışma demektir. Doğalgaz motorlarında sıkıştırma oranının yüksek tutulması önemlidir. Sıkıştırma oranının artırılması daha fazla termik verim sağlar. Termik verimin artması yakıt tüketiminde azalma demektir. Sıkıştırma oranında bir değişiklik yapılmadan doğalgazın benzin motorlarında kullanılması durumunda güçte %7'lik kayıp meydana gelecektir. Sıkıştırma oranını artırılması ile motorda benzin yerine doğalgaz yakılması sonucu oluşacak güç kayıplarının üstesinden gelinir. Doğalgaz daha hafif moleküler yapıya sahiptir ve silindire giren havanın %10'u teşkil etmektedir. Hava miktarının azaltılması genellikle güç kaybına neden olurken sıkıştırma oranının artırılması bu durumu azaltabilir. Ayrıca doğalgazın yanması sonucu oluşan maksimum basınç ve sıcaklıklar benzin motorlarından daha düşük olduğundan, sıkıştırma oranının artırılması sonucu artacak olan basınç ve sıcaklıklar tehlikeli boyutlara ulaşmayıp, ancak benzin motorlarındaki değerlere gelecektir. Dizel motorlarının yüksek sıkıştırma oranlarında çalışması ve doğalgazın oktan sayısının yüksek olması nedeni ile sıkıştırma oranının yüksek tutulabilmesinden dolayı, eğer dizel motorlarında uygun değişiklikler yapılırsa, doğalgazın dizel motorlarında rahatlıkla kullanılabilmesine yaygın olarak inanılmaktadır. Doğalgazın difüzyon katsayısının benzine oranla iki kat fazla olması, hava ile daha kolay ve hızlı karışması, çift yakıtlı motorlarda kullanımı açısından yarar sağlamaktadır. Dizel ilkesine göre çalışan motorlarda doğalgaz, ortam içerisine yapılan pilot püskürtme yardımıyla tutuşturulabilmektedir. Bu özelliği nedeni ile doğalgaz, benzin ve dizel motorlarında önemli değişiklik yapılmadan kullanılabilir.

Doğalgazın korozyif özellikleri yoktur. Fakat bazen dünyada değişik bölgelerde elde edilen doğalgaz içerisinde nem olabilmekte; bu da motoru aşındırıcı etki göstermektedir. İçten yanmalı motorlarda, yakıt olarak doğalgazın kullanılması durumunda yanma sonu sıcaklığında düşme olmaktadır. Yanma sonu sıcaklığın düşmesi NO_x emisyonlarında azalma sağlayacaktır. Bunun yanında doğalgazın kullanımı, motorlu taşıtların gürültü düzeyinde azalmalar temin edecektir.

Doğalgazın dağıtımı borularla kullanım yerine kadar yapılabilir. Çok temiz ve özellikleri sabit olan bir yakıt türüdür. Çevre kirliliği yapmaz. Doğalgazın depolanması, buharlaştırılması ve karbürasyonu farklı bir şekilde düzenlenmelidir. Ayrıca sıvı yakıtı gaz haline getirmek, basıncını düşürmek ve motora uygun şartlarda vermek için özel ekipmanlara ihtiyaç vardır.

Yağların Otto ve Dizel Motorlarında Kullanımı

Bitkisel yağların alternatif dizel yakıtı olarak kullanılabilmesi ile ilgili çalışmalar uzun süreden beri devam etmektedir. Geçmişte de bir çok araştırmada dizel yakıtı olarak bitkisel yağların kullanımı gerçekleştirilmiştir. 1920 'lerden daha önceden de bitkisel yağlar

denenmiştir. Fakat en yoğun çalışmalar 1970'li yılların petrol krizi boyunca petrol yerine kullanılması düşünülen alternatif yakıtların araştırılması ile başlamıştır. Bir çok devlette bu yönde bir teşvik vardı. Bu devletler, enerjiye gerekli önemi verip kendi memleketlerindeki petrol dışı enerji kaynaklarını kullanmaya çalışmıştır. Bitkisel yağlar ile ilgili başlıca çalışmalar; soya fasulyesi, ayçiçeği, yer fıstığı, pamuk çekirdeği, zeytin, kolza tohumu, palmiye ve susam yağları ile bunların karışımları veya bunların ayrı ayrı esterleri üzerinde yapılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları olarak araştırılan bu bitkisel yağların bir çoğu dizel motorları için kullanılabilir bir yakıt olarak görülmüştür; bu yağların kendisi veya diğer yakıtlar ile belli oranlardaki karışımları içten yanmalı motorlarda işler bir hale getirmeye yardımcı olacaktır.

Rafine Edilmiş Ayçiçek Yağının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Özgül kütle	(gr/ml)	0.917
Vizkozite 38 ⁰ C'de	(mm ² /s)	33.9
Parlama Noktası	(⁰ C)	275
Asit Değeri	(mg/g)	0.1
Nem Değeri	(%)	0.03
Isıl Değeri	(kj/kg)	40600

Değişik araştırmalar, büyük bir potansiyele sahip olan ayçiçek yağını dizel motorları için bir alternatif yakıt olarak kullanımının uygun olacağını göstermiştir. Bir alternatif yakıtın kolay elde edilmesi, onun istenilen derecede üretim miktarına bağlıdır. Ayçiçek yağının üretimi ekim yapılan alanların genişliğine bağlı olarak değişmektedir.

Ayçiçek yağının dizel motorlarında yakıt amaçlı olarak kullanılabilmesi için bazı özelliklerinin dizel yakıtınkine yakın olması gerekir. Bu sağlandığı takdirde motor üzerinde hiç bir değişiklik yapılmadan bu yağın motor yakıtı yerine geçebilmesi için çalışmalar yapılmıştır. Ayçiçek yağının yakıt olarak bazı avantajları vardır: Yakıtın sıvı oluşu ve sıvılar gibi taşınabilirliği, ısıl değerinin yüksek oluşu gibi. Tabi bunun yanında dezavantajları da vardır: Yüksek vizkozitesinden dolayı makina parçaları arasında yavaş akma, düşük uçuculuk ve doymamış hidrokarbon zincirinden dolayı reaksiyona girebilme yeteneğinin az olması. Ayçiçek yağının setan sayısı 35-40 civarında olup yağın kalitesine bağlı olarak değişmektedir.

Tablo 5 Alternatif Yakıtların Fiziksel ve Kimyasal Olarak Karşılaştırılması

	HİDROJEN	METAN	METANOL	ETANOL	BENZİN	DİZEL
Kimyasal Denklemi	H ₂	CH ₄	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH	(C ₈ H ₁₈) ^a	
C/H Oranı	0	0.25	0.25	0.333	0.556	0.520
Moleküler Ağırlığı	2.02	16.04	32.04	46.07	91.4	170
Özgül Ağırlığı sıvı (kg/dm ³) Gaz (kg/dm ³)	0.07	0.424	0.790	0.790	0.73 ^a	0.83
	0.84*10 ⁻⁴	0.78*10 ⁻³				
Isıl Değeri (Mj/kg) (Mj/litre)	119.93	50.8	20.1	26.9	43.4	43.1
	8.41	20.8	15.9	21.3	31.8	
Stokiyometrik karışım için						
	34.32	17.2	6.44	8.96	14.7	14.5
Hava/yakıt(kütlesel)	2.38	9.53	7.14	14.3	45.79	
Hava/yakıt(hacimsel) (kj/litre)	3.20	3.40	3.53	3.61	3.78	
Mol _{ürünler} /mol _{reaktantlar}	0.85	1.00	1.06	1.06	1.04	
Buharlaşma ısısı(mj/kg)	0.447	0.509	1.102	0.856	0.272 ^a	0.3
Tutuşma sınırları % hacim	4.1 – 74	5-15.4	6-37	3.5-19	1.3-7.6	
	0.15-4.35	0.59–2.0	0.24–2.22	0.29– 1.92	0.29– 1.67	0.48- 1.35
λ						
Laminar alev hızı (m/s)	2.91	0.37	0.52		0.37	
Adyabatik alev sıcaklığı (°C)	2110	1954	1878	1924	1993 ^a	
Difüzyon katsayısı (m ² /s)	0.61	0.16			0.08	
Kaynama noktası (°C)	-252.35	-161.3	65.1	78.7	32-221	170- 350
Donma noktası (°C)	-259		-97.6	-114.1	-56 ^a	
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	574-591	632	470	392	257	
Oktan Sayısı ROS MOS						
	130	130	110	106	91-100	
		105	87	89	82-94	

Tablo 6 Alternatif Yakıtları Kullanan Araçların Performansları

	BENZİN	DİZEL	HİDROJEN	METANOL	ETANOL	LPG	DOĞALGAZ
Hızlanma 0-100 km/h, saniye	12	14	18	10	10	11	12
Yakıt Tüketimi, litre/100 km	6.9	6.0	21.4	10.7	8.4	7.6	29.4
Menzil, km,57 litre Tank	820	935	275	565	675	755	205
Yakıt Doldurma Süresi, dakika	2	2	2	2	2	5	5

Tablo 7 Hava Kirliliği ve Güvenlik Etkileri Bakımından Karşılaştırılması

Yakıt	Hava kirliliğine etkilerdeki değişim	Çevresel ve Güvenlik Etkileri
Doğalgaz	Toplamda önemli düzelme fakat NO _x de az etki	Doğalgaz için yüksek sıkıştırma gerekli ve doğal kaynakların korunumu
LPG	Toplamda önemli düzelme fakat NO _x de az etki	Güvenlikli, ve en düşük sıcaklıkta depolama imkanı
Hidrojen	Çok az miktarda NO _x verir.	Eğer sudan elde edilirse doğal kaynak korunumu vardır. Ancak sıkıştırma veya soğutma gerekli
Metanol	Orta miktarda azalma	Suda çözünümü zehirleyici olabilir.
Etanol	Orta miktarda azalma	Doğal kaynak korunumu vardır.
Bitkisel yağ	CO çıkışı fazladır	Doğal kaynak korunumu vardır.