

# İÇTEN YANMALI MOTOR TEKNOLOJİLERİ

**2.1. Yakıtlar**

**2.2. Yanma**

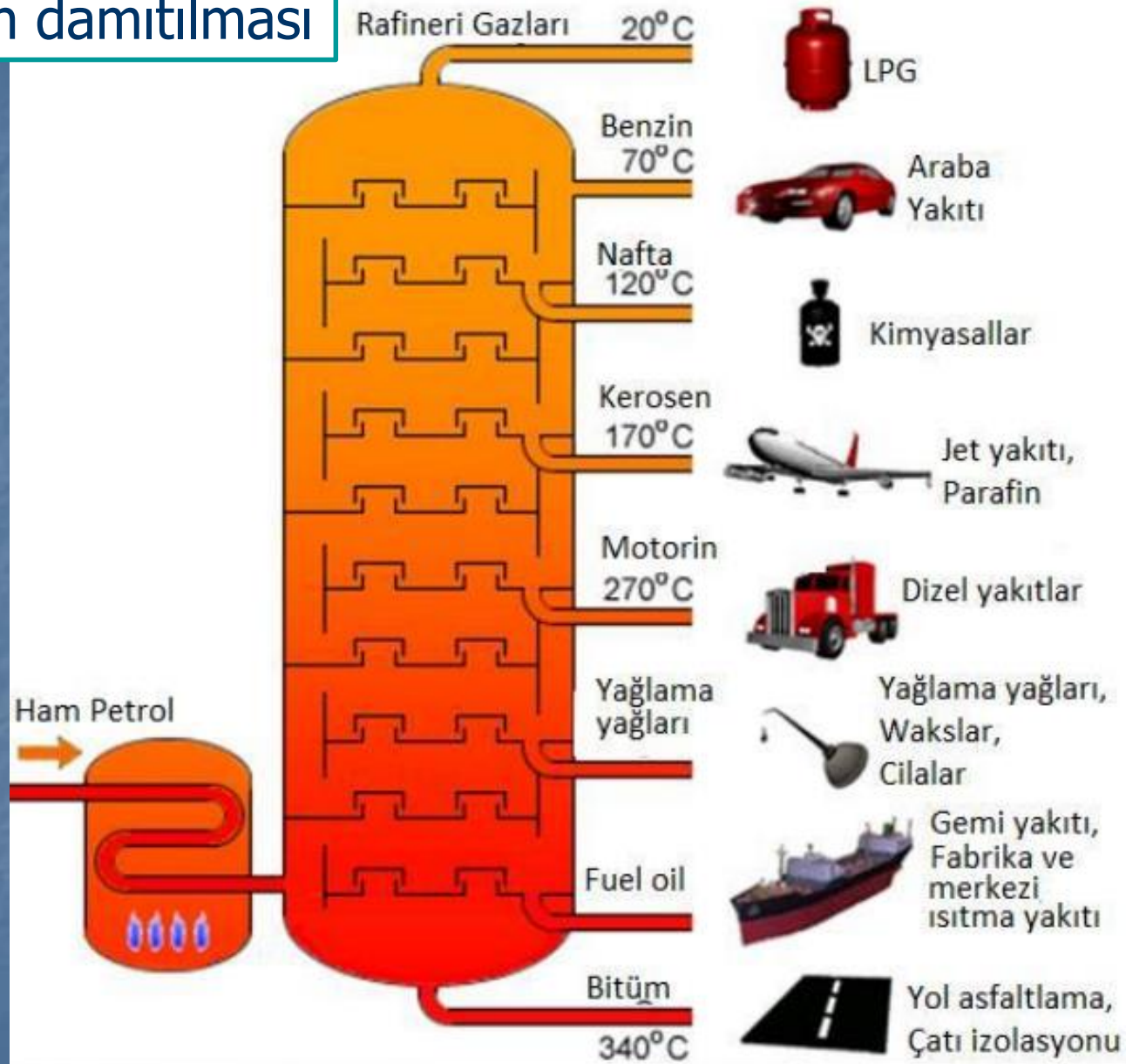
**Prof. Dr. Ayten ONURBAŞ AVCIOĞLU**  
**Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi**  
**Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği**  
**Bölümü**

## ■ 2.1. Yakıtlar

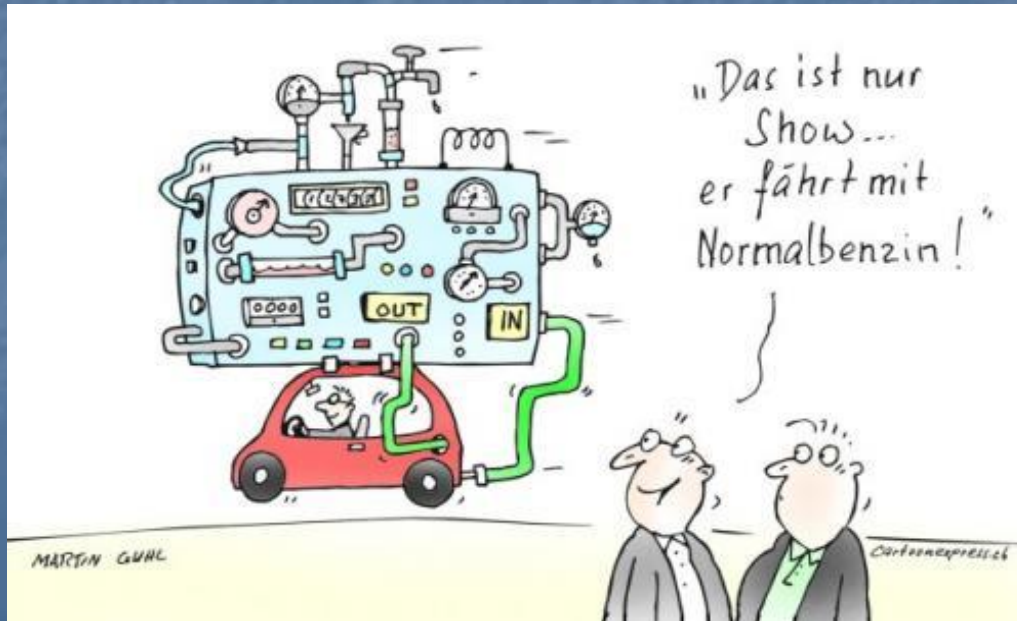
■ Katı, sıvı ve gaz halinde bulunan yakıtlardan, termik motorlarda en fazla kullanılan sıvı yakıtlar olmaktadır. Son yıllara kadar, **petrol ürünleri** termik motorların tek yakıtı olmuştur. Petrol fiyatlarında görülen hızlı artışlar, **doğal gaz, LPG, bitkisel yağlar, alkol ve biyogazı** motor yakıtı olarak kullanma araştırmalarını artırmıştır.



# Petrolün damıtılması



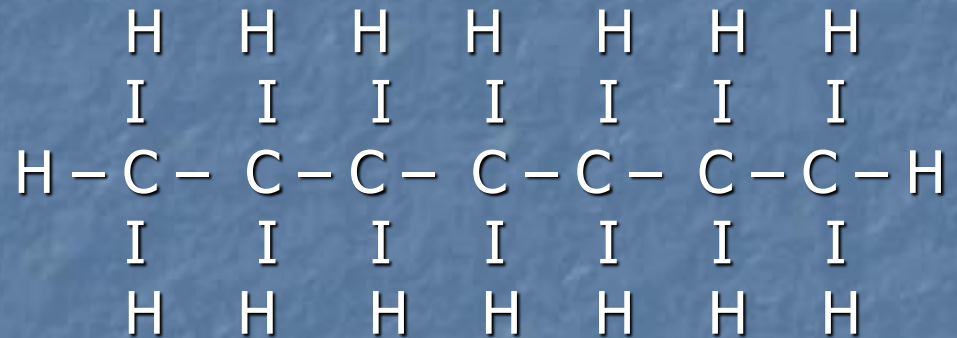
■ Motor yakıtlarının temel yapısını **hidrokarbonlar (HC)** oluşturmaktadır. Ham petrol içerisinde; % 80...85 oranında karbon, % 10...20 oranında hidrojen ve geri kalanı kükürt, azot ve bu gibi maddeler bulunmaktadır. Akaryakıtlarda bulunan önemli hidrokarbonlar genel olarak dört grup altında toplanmaktadır (**parafinler, olefinler, naftenler ve aromatlar**).



## 2.1.1. Parafinler

Genel formülleri  $C_nH_{2n+2}$ 'dir. Bu formülde  $n=1$  ise metan,  $n$  değeri 2,3,4....olduğunda da etan, propan, bütan... oluşmaktadır.

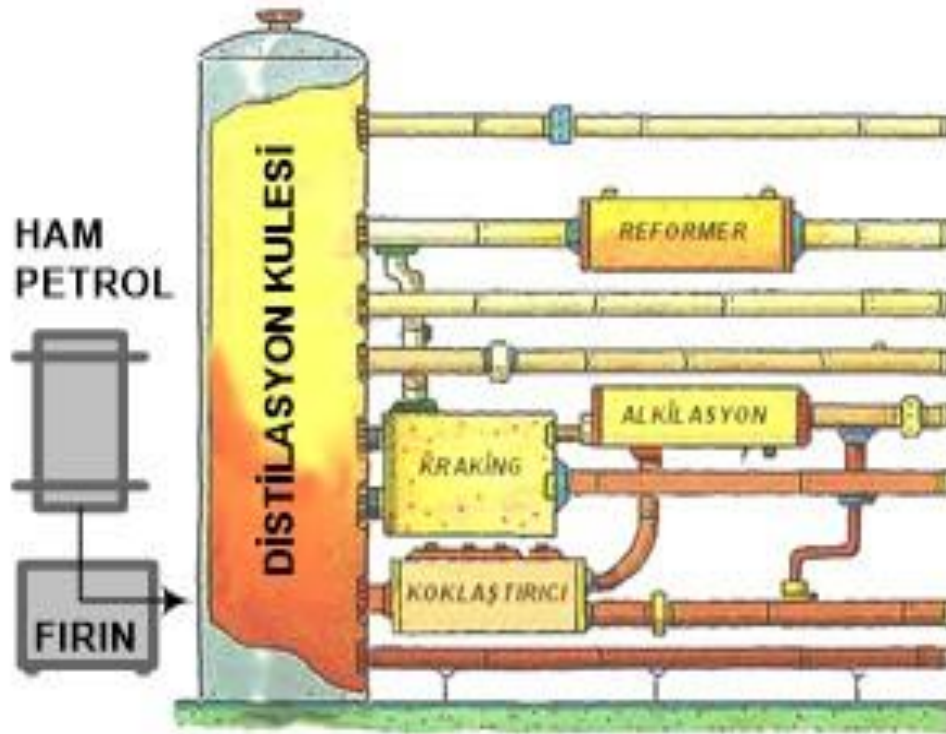
Heptan:  $C_7H_{16}$



**Karbon sayısı arttıkça, parafinlerin kendiliğinden tutuşmaya dayanımı azalmasına karşın, molekül ağırlıkları, ergime noktaları ve kaynama noktaları adım adım yükselir.**

Örneğin; metan ( $CH_4$ ), etan ( $C_2H_6$ ), propan ( $C_3H_8$ ) ve bütan ( $C_4H_{10}$ ) normal sıcaklıkta gaz halindedir. Pentan ( $C_5H_{12}$ ) ve daha çok karbona sahip olanlar sıvı halindedirler. Karbon sayısı çok yüksek parafinler ise, normal koşullarda katı halinde bulunurlar.

- Parafin sınıfı bileşiklerin hepsi ham petrolde vardır ve motor yakıtlarının ana kısmını meydana getirir. Sınıfın beş karbon atomluya kadar olan **ilk dördü gaz** halinde bulunur. Basınç altında sıvı hale gelen bu grup, günümüzde mutfak işlerinde, ısı ve aydınlatmada kullanılmaktadır.
- Metan  $C H_4$
- Etan  $C_2 H_6$
- Propan  $C_3 H_8$
- Bütan  $C_4 H_{10}$
- **Yirmi karbon** atomluya kadar olan bileşikler **sıvı** halindedirler. Bu bölüm içindeki guruplar şu şekilde belirlenir.
- $C_5 H_{10}$  -  $C_7 H_{16}$  : Uçak benzinleri
- $C_5 H_{10}$  -  $C_{12} H_{26}$  : Motor benzinleri
- $C_9 H_{20}$  -  $C_{14} H_{30}$  : Jet yakıtı (Kerosene)
- $C_{12} H_{26}$  -  $C_{16} H_{34}$  : Gaz yağı
- $C_{15} H_{32}$  -  $C_{18} H_{38}$  : Motorin
- $C_{16} H_{34}$  -  $C_{20} H_{42}$  : Madeni yağlar
- **Yirmiden daha fazla** karbon atomlu olanlar ise **katıdırlar**. Vazelin, parafin vb. bu bölümün üyeleridir.

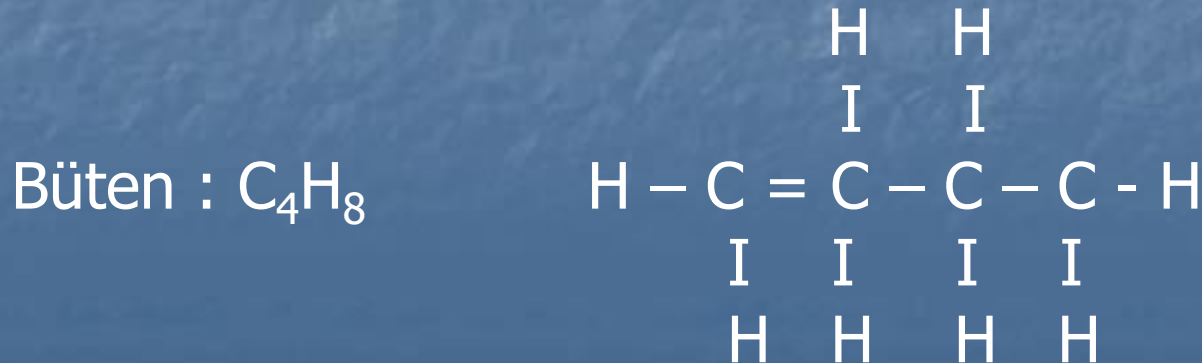


DİSTİLAT	K.N. °C	C
Gaz ürünler	< 30	1-4
Benzin	30-210	5-12
Nafta	100-200	8-12
Gazyağı, Jet Yakıtı	150-250	11-13
Dizel Oil, Fuel Oil	160-400	13-17
Atm. Gaz Oil	220-345	17-20
Ağır Fuel Oil	315-550	20-45
Atm. Kalıntı	> 540	> 30
Vakum Kalıntısı	> 625	> 60

<http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/sekil-3.html>

## 2.1.2. Olefinler

Genel formülleri  $C_nH_{2n}$ 'dir. Yapılarında karbonlar arasında çift bağ bulduklarından, **doymamış** hidrokarbonlardırlar. Çift bağın yerinin değişmesi izomerlerinin doğmasına neden olduğundan, çok sayıda izomerleri bulunmaktadır. Parafinlerden daha **az dayanıklıdırlar, oksidasyonla** kolayca reçineleşerek yakıt boru ve kanallarını tıkarlar. Bu nedenle, **pek uygun motor yakıtı sayılmazlar**. Ancak, **hidrojenleme, polimerizasyon, alkilleme** gibi yöntemlerle, **değerli yakıt elemanları elde etmede ham madde olarak kullanılırlar**. Olefinlere bir örnek olarak, büten'in kapalı ve açık formülü aşağıda verilmiştir:

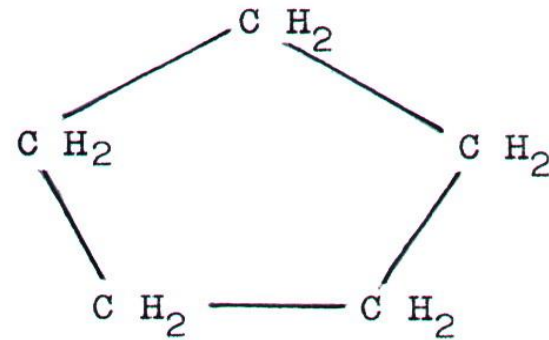




## ■ 2.1.3. Naftenler

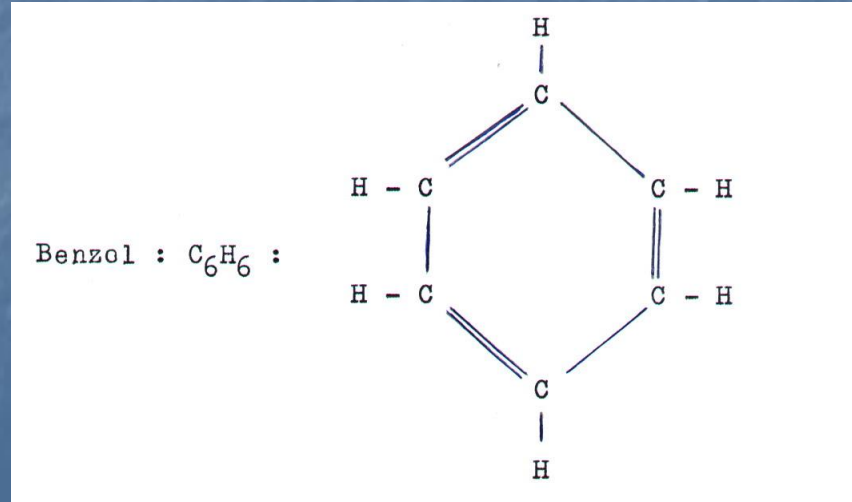
- Genel formülleri  $C_nH_{2n}$  olan, kapalı zincirli, **doymuş** hidrokarbonlardır. Bunlara **siklo parafinler** de denilmektedir. Naftenler tüm benzin ve mazot bileşimlerinde az çok bulunurlar. Kendiliğinden tutuşmaya dayanımları **iyi (oktan sayıları yüksek)** olduğu için benzin içinde bulunmaları istenmektedir. Kolay tutuşmadıklarından, içten yanmalı motorlar için uygun yakıt değildirler. Bu gruptan olan siklopentan'ın kapalı ve açık formülü örnek olarak aşağıdadır:

Siklopentan :  $C_5H_{10}$  :



## ■ 2.1.4. Aromatlar

- Genel formülleri  $C_nH_{2n-6}$  olup doymamış hidrokarbonlardandır. Kuvvetli bağ yapılarından dolayı kendiliğinden **tutuşmaya dayanımları** çok iyidir. Bu nedenle benzinin kalitesinin yükseltilmesinde kullanılırlar. İçten yanmalı motorlar için uygun yakıt değildirler. Aromatiklere iyi bir örnek olan **benzolün** kapalı ve açık formülleri aşağıdaki gibidir:
- Benzol, kömürün damıtılmasından bol miktarda elde edilen ülkelerde, **benzinin oktan sayısını arttırmak için karışım yakıtı olarak kullanılmaktadır.**



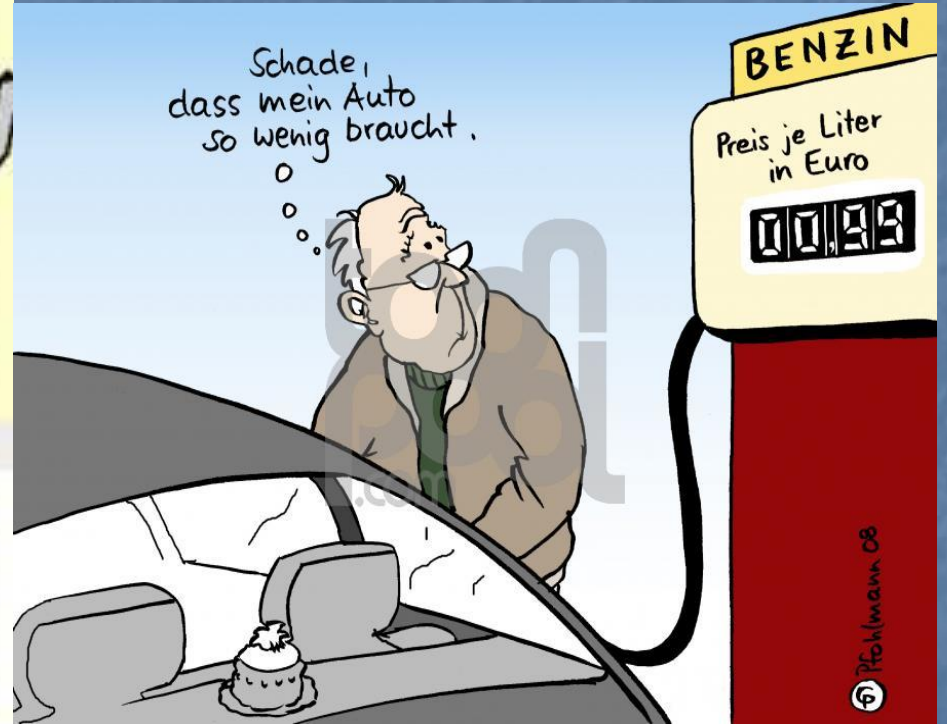
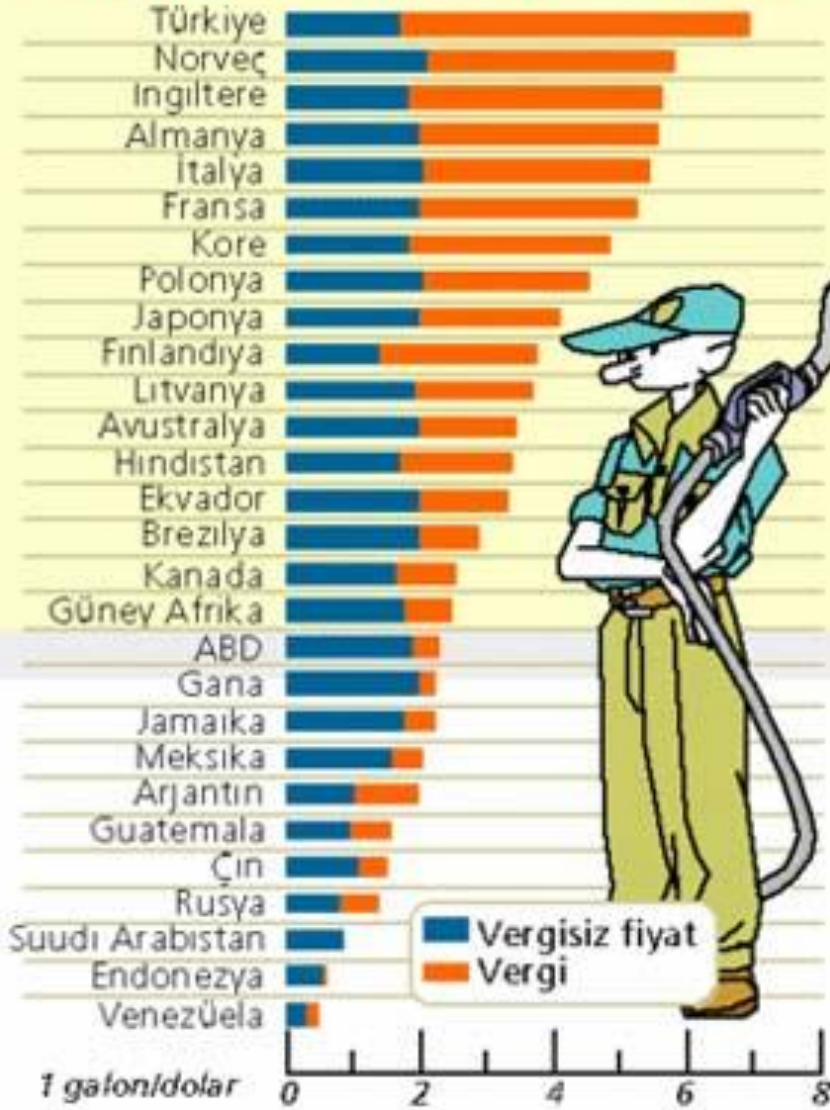
## ■ 2.1.5. Benzin

■ Benzin ham petrolün damıtılması sırasında, damıtma kulesinde, petrol gazlarının altından ve **40...200°C** sıcaklık arasında elde edilir. Genel yapı olarak, yukarıda sözü edilen, dört grup hidrokarbonların karışımından oluşmaktadır. Moleküllerindeki karbon **sayıları 5...12** arasında yer almaktadır. Benzin içten patlamalı motorların temel yakıtıdır.

■ **Ham petrolün damıtılması** sırasında ve rafineride daha sonra uygulanan yöntemlerle, petrolden alınacak benzin miktarını ve kalitesini ayarlamak mümkündür. Petrolden daha fazla benzin elde etmek için, **kraking, polimerizasyon ve hidrojenleme** gibi yöntemler kullanılmaktadır.

■ **Kraking**; büyük zincirli hidrokarbonların parçalanarak küçük zincirli hidrokarbonlara dönüştürülmesidir. **Polimerizasyon**; ilke olarak, küçük moleküllü gaz yakıtları birleştirerek benzin elde etmektir. Genellikle olefinler bu işleme daha elverişlidir. **Hidrojenleme** yöntemiyle de, doymamış büyük moleküllü hidrokarbonlar, hem doymuş hale getirilmekte, hem de parçalanarak benzine dönüştürülmektedir. **(fiyat)**

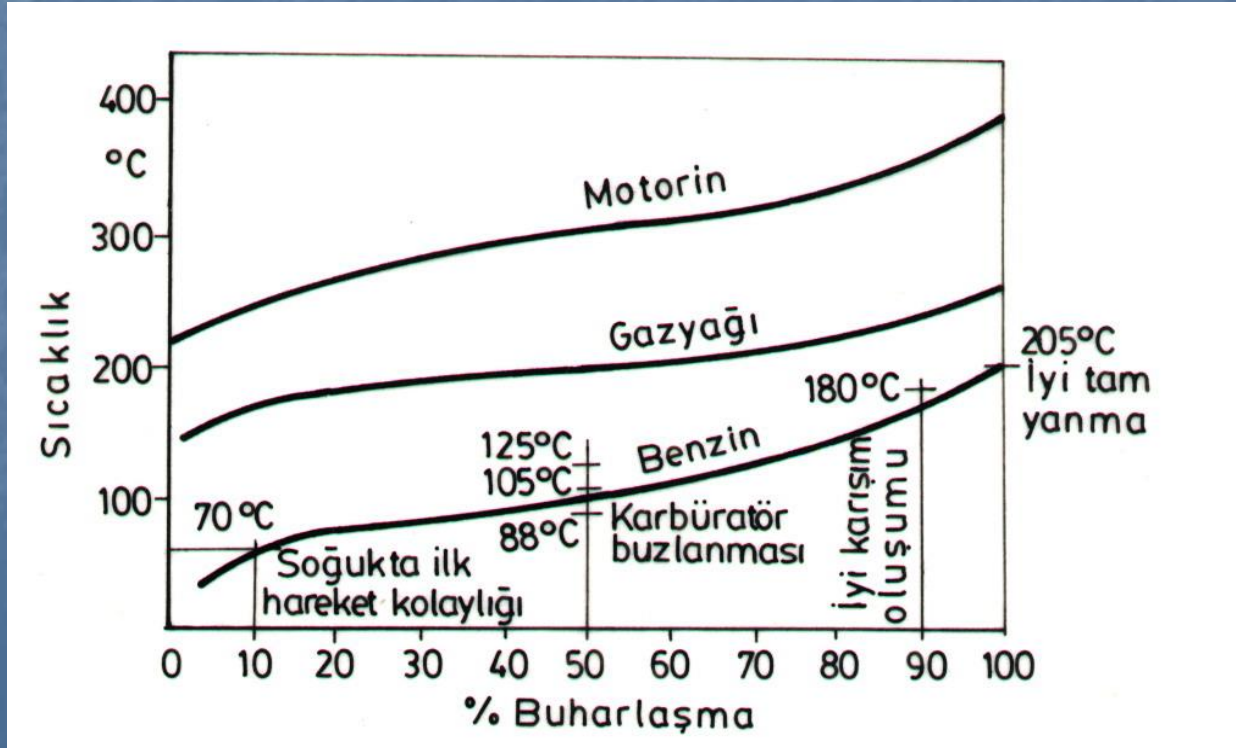
## En pahalı benzin Türkiye'de



# **Kaliteli bir benzinde aranan özellikler**

- Kaynama (buharlaşma) eğrisi**
- Buhar basıncı**
- Isıl değeri**
- Alevlenme ve yanma sıcaklığı**
- Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı**
- Oktan sayısı**

- **Kaynama (buharlaşma) eğrisi:** Benzin bir kaba konulup ısıtıldığında; kaynamaya (buharlaşmaya) 40°C civarında başladığı ve tđmđnđn kaynaması için 200°C'nin izerindeki sıcaklığa ulaşılması gerektiği gđrđlđr (şekil 2.1). Bu aradaki herhangi bir sıcaklıkta durulursa, kaynama da durmaktadır. Bunun nedeni; benzini oluşturan őrđnlerin kaynama noktalarının farklı oluşudur.
- Benzinin kaynama eğrisinde; % 10 buharlaşmanın olduğu noktadaki sıcaklığın dđřđk olması, soğukta ilk harekette (motorun çalıştırılmasında) kolaylık sağlar. % 90 buharlaşmanın olduğu sıcaklık yđksek ise, benzin hava içinde yoğuşabilir.



- **Buhar basıncı:** Benzinin kaynama başlangıcında  $37,8^{\circ}\text{C}$  ( $100^{\circ}\text{F}$ )'daki buharının basıncıdır. İçten patlamalı motorların yakıt donanımında, buharlaşmadan dolayı tıkanma (buhar tıkaçı) olasılığı buhar basıncına bağlı olmaktadır. Bu nedenle sıcak ülkelerde düşük buhar basınçlı benzinler, soğuk ülkelerde yüksek buhar basınçlı benzinler (**ilk harekette kolaylık için**) kullanılmalıdır.
- **Isıl değeri:** Birim ağırlığının tümünün yanması sonucu açığa çıkan enerji, yakıtın ısıl değerini belirler. Yakıtların ısıl değerlerini kimyasal yapılarından belirlemek olanaklıdır. Ancak, akaryakıtlar çok sayıda hidrokarbonun karışımı olduğundan, kalorimetreyle ölçüm yöntemi daha uygundur.
- Karbonhidratlardan oluşan akaryakıtlarda, yanma sonucu su açığa çıkmaktadır. Ölçme sırasında, su buhar halinde ise, ölçülen değer yakıtın alt ısıl değeridir. Su buharının tümünün yoğunlaşarak, buharlaşma ısını geri vermesi durumunda ölçülen değer ise, yukarı ısıl değeri olmaktadır. Hesaplamalarda genellikle yakıtların alt ısıl değeri kullanılmaktadır. Belli başlı yakıtlara ilişkin ısıl değerleri ve diğer önemli özellikler Çizelge 2.1'de verilmiştir.

- **Alevlenme ve yanma sıcaklığı:** Yanma sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta, yakıta alev yaklaştırıldığında, alevin parladığı, fakat yanmanın devam etmediği sıcaklık **alevlenme noktasıdır**. Benzin üzerinde birikmiş olan benzin buharı, bir anda parlar ve yanma devam etmez. Alev alma sıcaklığına kadar ısınmış yakıt, ısıtmaya devam edilirse, belirli bir sıcaklığa erişildiğinde, alev çekildikten sonra da yanma devam eder. Bu noktaya **yanma sıcaklığı** denilmektedir.
- Alevlenme sıcaklığı, yağ ve yakıtın alev alma tehlike sınırı yönünden önem taşımaktadır. Yanma sıcaklığı, alevlenme sıcaklığından 30...40°C daha yüksek olmaktadır.



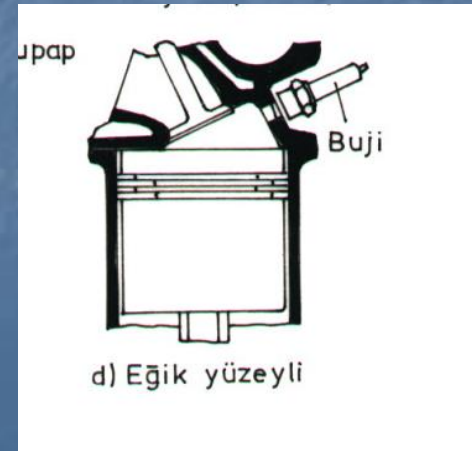


**Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı:** Motor yakıtlarının en önemli özelliklerinden olan bu sıcaklık, yakıtın kendi kendine tutuşma noktasıdır. Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı, **içten patlamalı motor yakıtlarında yüksek ve içten yanmalı motor yakıtlarında düşük olmalıdır.** Bazı önemli yakıtların kendiliğinden tutuşma sıcaklıkları Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Yakıtların kendiliğinden tutuşma sıcaklıkları.

Yakıt cinsi	Tutuşma sıcaklığı (°C)
Benzin	550 ve daha fazla
Benzol	490...700
Alkol (metil alkol+etil alkol)	400...470
Metan	600...650
Propan	520...590
Bütan	530...600
Hava gazı	600...630
Motorin	270...350

- **Oktan sayısı:** Oktan sayısı **yakıtların kendiliğinden tutuşmaya dayanıklılığının bir ölçüsüdür.** İçten patlamalı motorlarda, vuruntulu (düzensiz) çalışmanın başlıca nedeni, ateşleme kıvılcımı oluşmadan, yakıtın kendiliğinden tutuşmasıdır. Bu tutuşma olayı, yanma odasının değişik yerlerinde birden meydana gelir ve normal olarak 30 m/s dolayında olan yanma hızı 300 m/s'ye erişebilir.
- Bu şekilde ortaya çıkan kontrolsüz yanma, motorda vuruntulu bir çalışma meydana getirir. Şu halde; benzinin kendiliğinden tutuşmaya dayanımının bir ölçüsü olan oktan sayısı, aynı zamanda vuruntu olayı için de ölçü olmaktadır. Vuruntulu çalışma, silindir, silindir kapağı, piston ve yataklar başta olmak üzere motorun tüm işleyen organlarına zarar verebilmektedir.



- Rafineriden elde edilen benzinin oktan sayısı, genellikle, düşük olmaktadır. Tutuşmaya dayanıklı benzin elde etmek için iki yöntem uygulanmaktadır:
- a. Benzol, toluol, ksilol, alkol ve bunun gibi tutuşmaya dayanıklı yakıtları benzine önemli oranlarda karıştırmak: Bu yöntemde yakıtın fiziksel ve kimyasal özellikleri değişebilir. Yanma sonucu zararlı artıklar kalmaz.
- b. Kurşuntetraetil ve demir karbonil gibi vuruntu frenleyicilerden yakıtta çok az miktarda karıştırmak: Avrupa Birliğinde olduğu gibi, ülkemizde de bu yöntemin uygulanmasından vazgeçilmiştir.
- (n-benzin, süper benzin, kurşunsuz benzin)

## ■ 2.1.6. Motorin (Diesel yakıtı)

- Ham petrolün damıtılması sırasında, gaz yağının altından, **200...425°C** arasındaki sıcaklıklarda elde edilir. Ülkemizde, halk ağzında, **mazot** olarak adlandırılmaktadır. Motorin içten yanmalı motor yakıtıdır. İçten yanmalı motorlarda, sıkıştırılmış hava üzerine yakıtın püskürtülerek kendiliğinden tutuşması ve motorinin büyük zincirli hidrokarbonlardan oluşması, bu yakıtın önemli özelliklerini **benzinden farklı** kılmaktadır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Tortu maddeleri
- Kükürt miktarı
- Yakıtın donma sıcaklığı
- Yoğunluk
- Setan sayısı



**Tortu maddeleri:** Tortu maddeleri inorganik kaynaklı olabileceği gibi, yakıtın oksidasyonu sonucu ortaya çıkan organik kaynaklı da olabilir. Analizlerde su ve tortu maddeleri birlikte ele alınır ve bunların oranı % 0,10...0,50 arasında yer alır. İçten yanmalı motorların yakıt donanımlarının yapısı gereği, bu maddelerin, donanımdaki **filtreler** aracılığıyla, yakıttan ayrılması gerekmektedir. Yine bu nedenle, motorin kapalı kaplarda iyi muhafaza edilmeli ve bir süre dinlendirildikten sonra kullanılmalıdır.

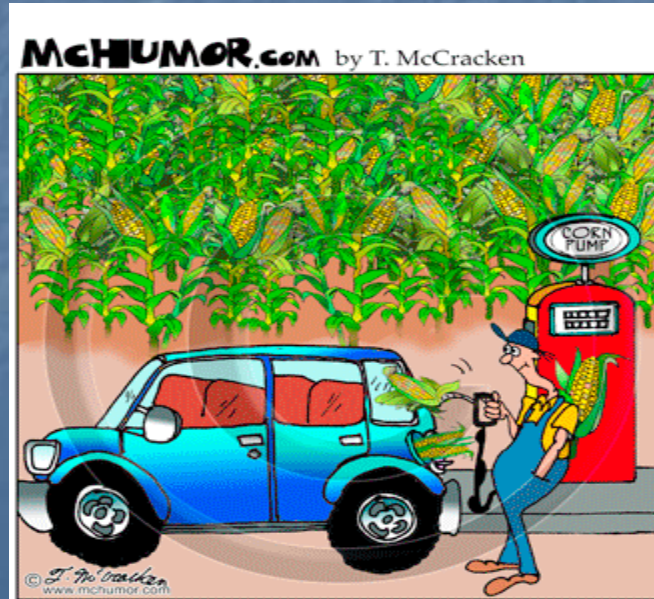
- **Kükürt miktarı:** Yakıt içerisinde bulunan kükürt oranının yüksek olması, çevre kirliliği ve motor aşınması yönünden çok önemlidir. Yanma sonucu ortaya çıkan kükürtdioksit ( $SO_2$ ) ve kükürtrtrioksit ( $SO_3$ ) gazları canlılara zarar vermektedir. Ayrıca, yanma sırasında meydana gelen **su buharı ile kolayca asit** oluşturan bu gazlar, temas ettikleri motor parçalarını kimyasal aşınmaya (korozyona) uğratırlar. Bu nedenlerden dolayı, motorin içerisinde % 0,05 oranından daha az kükürde izin verilmektedir.
- **Yakıtın donma sıcaklığı:** Yakıttan mumun (waksın) ayrışmaya başladığı sıcaklıktır. Yakıt borularının ve filtrelerin tıkanmaması için, yakıtın donma sıcaklığı, çevre sıcaklığından düşük olmalıdır.
- **Yoğunluk:** Yoğunluğu düşük olan yakıtlarda, yapıda bulunan **hidrojenin karbon atomuna oranı arttığından**, bunların ısı değeri daha **yüksek** olmaktadır. Bu nedenle motorinin hafif olması hem tutuşma kolaylığı hem de verim yönünden önem taşımaktadır.

- **Setan sayısı:** İçten yanmalı motor yakıtının **tutuşmaya elverişliliğinin** bir ölçüsüdür. Sıkıştırma zamanının sonuna doğru, sıcaklığı yükselmiş havanın üzerine püskürtülen yakıt, çok fazla gecikmeden kendiliğinden tutuşmalıdır. İyi bir yanmanın olabilmesi için, püskürtme başlangıcından kısa bir süre sonra tutuşma olmalı ve püskürtme süresince yanma devam etmelidir. **Tutuşmanın gecikmesi**, püskürtülen tüm yakıtın değişik noktalarda birden tutuşmasına ve vuruntulu çalışmaya neden olur. Setan sayısı, bu yönden, içten yanmalı motorlarda vuruntu önlemenin bir ölçüsü olmaktadır. Setan sayısı **en az 45** olmalıdır. Günümüz yakıtlarında genellikle 49...62 arasında yer almaktadır

- .
- Yakıtın setan sayısı saptanırken de, motor deneme yönteminden yararlanılmaktadır. Deneme sırasında, yakıt püskürtüldükten sonra, kendiliğinden tutuşması için geçen süre saptanır. Bunun için, motorun sıkıştırma oranı değiştirilerek, setan sayısı bulunmak istenen yakıtın tutuşma gecikmesinin,  $18^\circ$  anamili açısı olması (yani püskürme başlangıcı ile tutuşma başlangıcı arasındaki sürede ana milinin  $18^\circ$  dönmesi) sağlanır. Daha sonra denenen yakıt boşaltılarak yerine **setan** ( $C_{16}H_{34}$ : setan sayısı 100) ve  **$\alpha$ -metil naftalin** ( $C_{10}H_7CH_3$ : setan sayısı sıfır) karışımı yakıttan konulur. Oranları değiştirilerek, aynı tutuşma gecikmesini sağlayan yakıttaki setan yüzdesi, denenen yakıtın setan sayısını vermektedir. Motorine, bünyelerinde oksijen bulunan **amil nitrat ve etil nitrat** çok az oranda karıştırılarak, setan sayısı yükseltilebilmektedir.

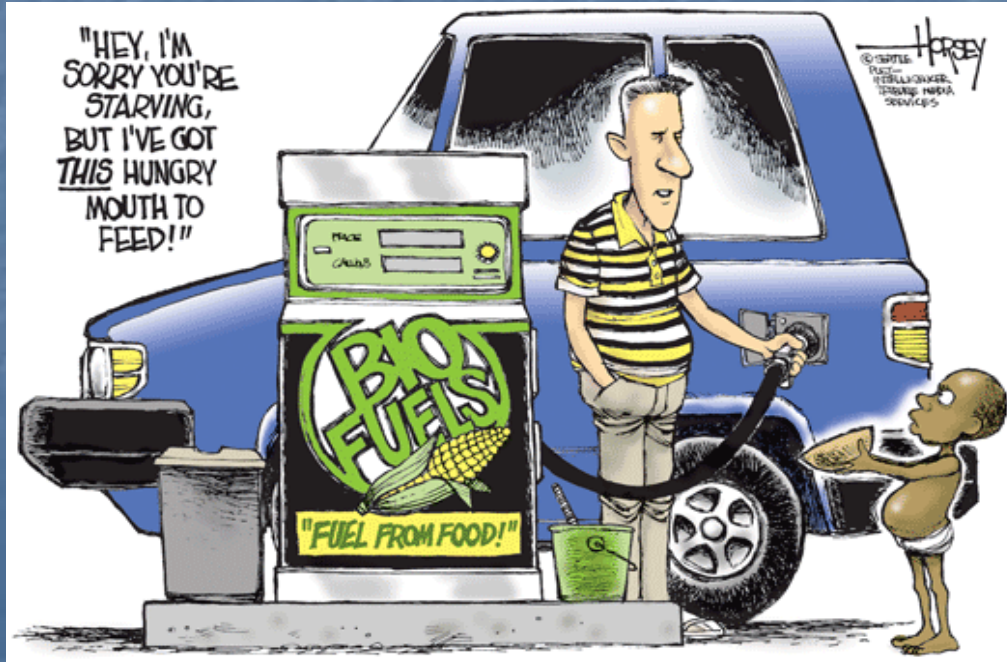
## ■ 2.1.7. Alkoller

- Hidrokarbonların, bir ya da birkaç hidrojeninin yerini, hidroksit (OH) kökünün almasıyla meydana gelmişlerdir. İçten patlamalı motor yakıtı olarak, **metil alkol (CH<sub>3</sub>OH) ve etil alkol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) (üretim?)** kullanılmaktadır. Karbon atomu sayısı az olan bu iki yakıt **temiz yanarlar** ve **vuruntuya dayanımları** iyidir (Çizelge 2.1).



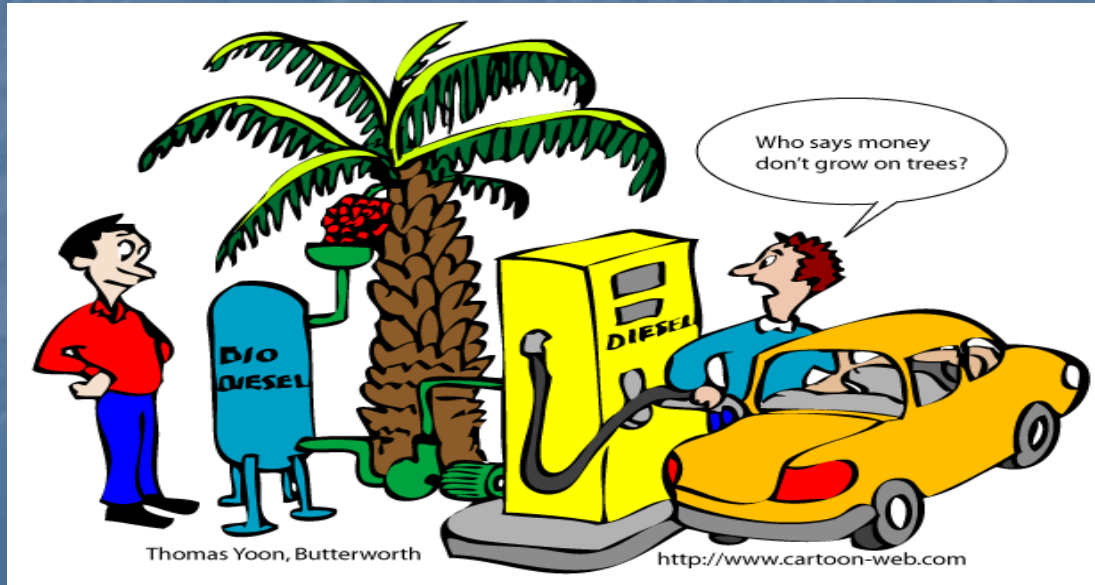


- Alkolün çok kolay su alması, ısıl değerinin düşük olması ve eritken özelliği, motor yakıtı olarak kullanılmasında sakıncalı yönleridir (**faz ayrışması**).
- Petrol fiyatlarının giderek artması sonucu, bol miktarda üretilen ülkelerde, alkol % 20 oranında **benzine** karıştırılarak (**E20**) kullanılmaktadır.



## ■ 2.1.8. Biyodizel

- Bitkisel yağların **içten yanmalı motor** yakıtı olarak kullanılması iki yönden önem taşımaktadır. Türkiye gibi petrolü dış alımla sağlayan ülkelerde, bitkisel yağ üretilip yakıt olarak kullanmak, dışa bağımlılığı ve döviz giderlerini azaltmaktadır. Ayrıca, yakıtın motorda yanması sonucu oluşan karbondioksitin, yağ bitkisi tarafından tüketilmesi (**geri dönüşüm**) ise, ileride bu yöntemi kullanmayı yaygınlaştıracaktır.
- Bitkisel kökenli motor yakıtlarının belirli bir oranda (**% 2**) tüketilmesi AB tarafından zorunlu hale getirilmiş olup, bu oran (**2010-10**)ilerde giderek artırılabacaktır.

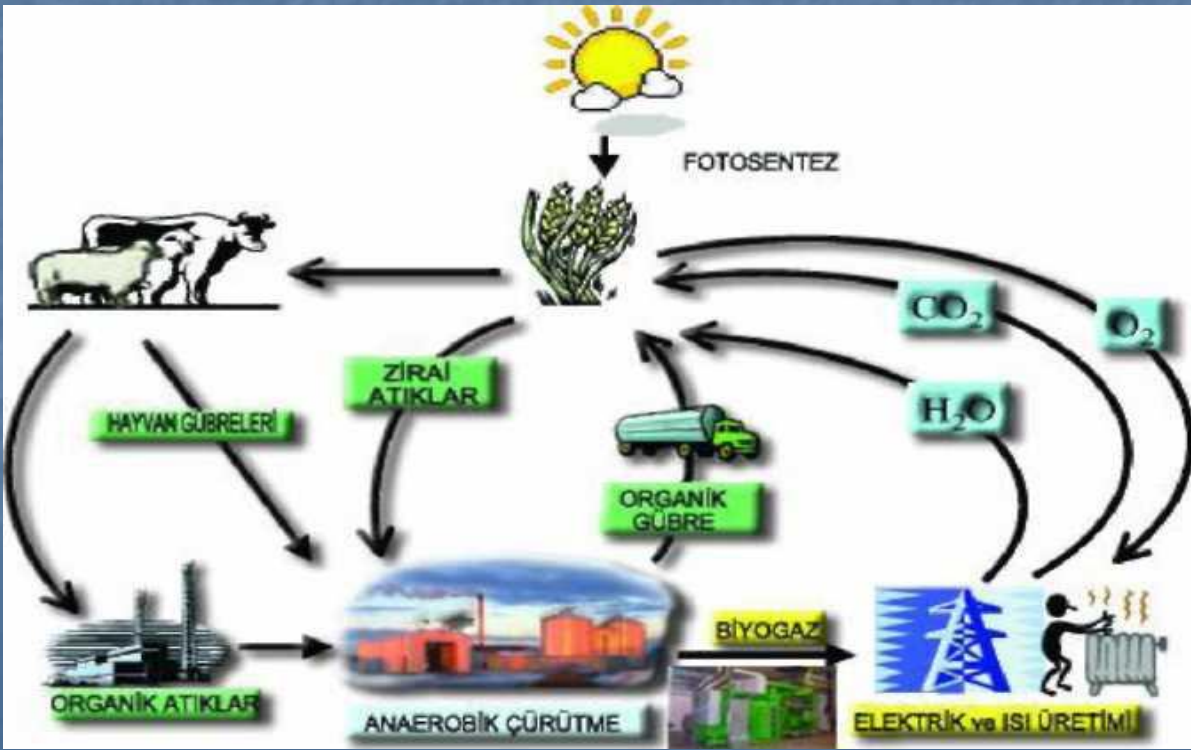


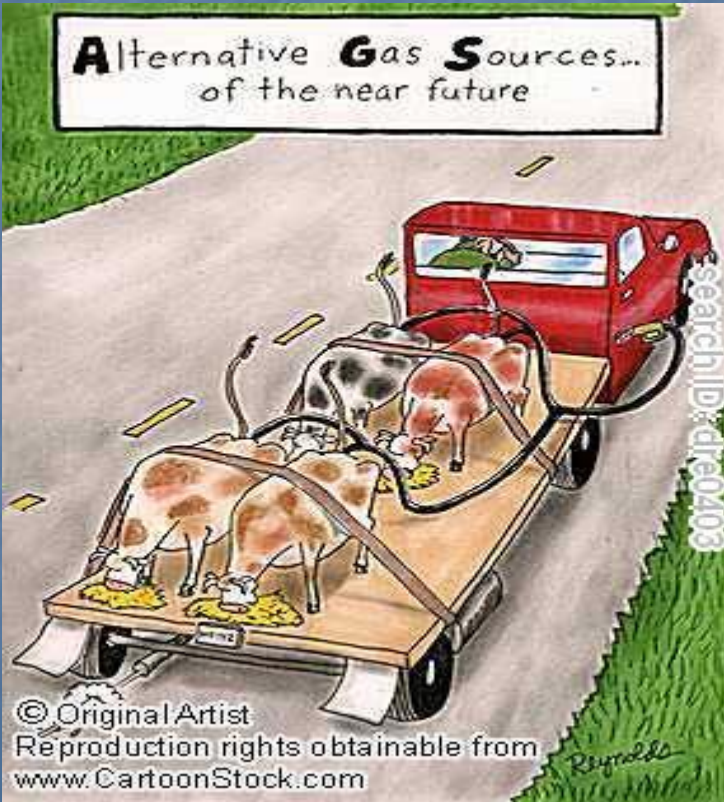
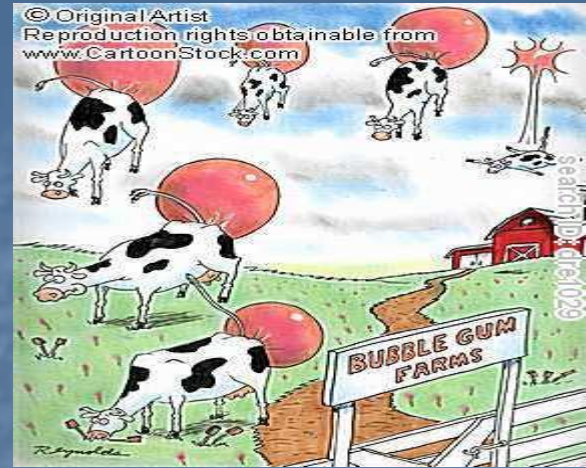
- Bitkisel yağlardan kolza yağı (kolza yağı metil ester) yaygın şekilde motor yakıtına karıştırılmaktadır. Motorun yakıt donanımı biyodizel kullanımına uygun olmalıdır. Çünkü, **sentetik borular ve contalar** zarar görmektedir.
- Biyodizel **nem alıcı ve eritken** olduğu için de, hem nemden korunmalı, hem de boyalı kısımlarla temas etmemelidir. Günümüzde içten yanmalı motor yakıtı olarak kullanılan **motorine göre, daha az karbonmonoksit ve partikül artığı bırakarak yanmaktadır.** Egzoz gazındaki azot oksitleri oranı biraz yüksek olmaktadır. Yanma sonucu oluşan karbondioksit ise, yağ bitkisi tarafından tekrar kullanılarak sera etkisi giderilmektedir.



## ■ 2.1.9. Biyogaz

- Hayvanların dışkıları ve bitkisel artıkların özel biyogaz tesislerinde metan bakterileri yardımıyla fermente edilmesinden elde edilen biyogaz, % 54-80 metan, % 20-45 karbondioksit ve % 1-10 hidrojen içermektedir. Bunlardan başka karbonmonoksit, oksijen ve azot az miktarda bulunabilir. % 60 metan ve % 40 karbondioksit içeren biyogazın ısı değeri 5350 kcal/m<sup>3</sup> olmaktadır. Ortalama değerler olarak, havaya göre yoğunluk oranı 0,83 ve **oktan sayısı 110 alınabilir.**





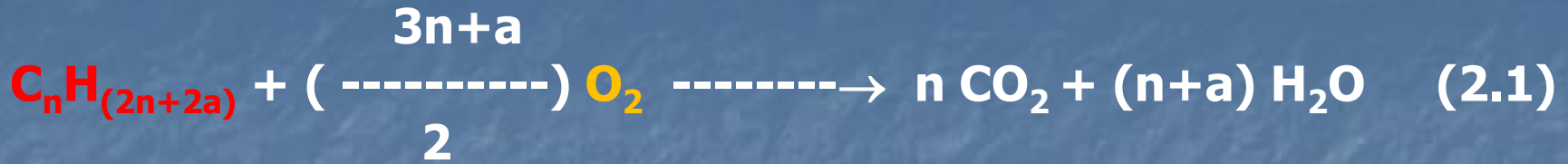
## Green Cars that Poop Flowers



## ■ 2.2. Yanma

- **Yakıtların** ısı ve ışık vererek oksijenle birleşmesine **yanma** denilmektedir. Yanmanın olabilmesi için, yakıt yeterli **oksijenle** temas etmeli ve **tutuşma sıcaklığına** ulaşmış olmalıdır. Yanma için gerekli oksijen genellikle, **havadan** sağlanmaktadır.

- Motor yakıtlarının esasını **hidrokarbonlar (HC)** oluşturmaktadır. Yapıda bulunan karbon ve hidrojenin, **karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve su (H<sub>2</sub>O)** meydana getirerek yanmasına tam yanma denilmektedir. Yanma artıkları içinde hidrojen ve karbonmonoksit (**CO**) gibi yanıcı gazların kalmış olması yanmanın tam olmadığını gösterir. **Tam yanmayı** sağlayacak en az oksijen ( $O_{min}$ ) miktarı, genel formülleri  $C_nH_{2n+2a}$  olan hidrokarbonlar için;



bağıntısından yararlanarak bulunabilir. Atom ağırlıkları yerlerine yazılırsa,  $12n+2n+2a$  gram hidrokarbonun tam yanması için,  $16(3n+a)$  oksijene gerek olduğu görülür. Şu halde 1 gram hidrokarbonun yanması için gerekli **en az oksijen miktarı**;

$$O_{\min} = \frac{16(3n+a)}{14n+2a} = \frac{8(3n+a)}{7n+a} \quad (\text{kg O}_2/\text{kg yakıt}) \quad (2.2)$$

olmaktadır. Normal olarak, ağırlık yönünden, hava içinde % 23,58 oksijen bulunmaktadır. Bu durumda, gerekli **en az hava miktarı**,

$$H_{\min} = \frac{100}{23,58} \cdot \frac{8(3n+a)}{7n+a} = 34 \frac{3n+a}{7n+a} \quad (\text{kg hava/kg yakıt}) \quad (2.3)$$



- Yakıtla karışan havanın bir kısmı, karışımın homojen olmaması nedeniyle, yanma sırasında, **yakıtla temas edemeyerek yanmış gazlarla dışarı atılabilir**. Bu aynı zamanda, bir miktar **yakıtın da tam yanmadan dışarıya atılması** demektir. Bu sakıncayı gidermek için, yanma için gerekli en az hava miktarından biraz daha **fazla hava** yakıtla karıştırılır. Bu hava miktarı  $H$  ise,

$$\lambda = \frac{H}{H_{\min}} \quad (2.4)$$

- $H_{\min}$  olmaktadır. Burada;
- $\lambda$  : Hava fazlalık katsayısı,
- $H$  : 1 kg yakıtla karıştırılan hava miktarı (kg),
  - $H_{\min}$  : 1 kg yakıtın tam yanması için gerekli en az hava miktarı (kg) dir.
- Yukarıda eşitlikte verilen  $\lambda$  değeri 1'den küçük veya büyük olabilir. Buna göre;
- $\lambda < 1$  ise, karışım "zengin karışım"dır (yani; hava az, yakıt fazladır).
- $\lambda = 1$  ise, karışım "normal karışım"dır.
- $\lambda > 1$  ise, karışım "fakir karışım"dır (yani; hava fazla, yakıt azdır).

**Örnek 1:** Önemli ölçüde benzinde bulunan oktanın 1 gramının tam yanması için kaç gram havaya ihtiyaç vardır? Benzinli motorlarda hava fazlalık katsayısını 1,1 alarak, 1 gram yakıt için silindir içine alınacak havayı bulunuz.

**Çözüm:** Oktanın formülü  $C_8H_{18}$  olduğuna göre,  $n=8$  ve  $a=1$  alınır ve aşağıdaki eşitlikte değerler yerine konulursa;

$$H_{\min} = 34 \cdot \frac{3n + a}{7n + a} = 34 \cdot \frac{3 \cdot 8 + 1}{7 \cdot 8 + 1} = 14,91 \text{ g}$$

bulunur. 1 gram yakıt için motora alınması gereken hava ise,  $\lambda = H/H_{\min}$  bağıntısından yararlanarak;

$$H = \lambda \cdot H_{\min} = 1,1 \cdot 14,91 = 16,40 \text{ g}$$

elde edilir.

**Sonuç:**  $H_{\min} = 14,91 \text{ g}$ ,  $H = 16,40 \text{ g}$ .

- SARAL, A. ve A.ONURBAŞ AVCIOĞLU, 2012. Motorlar ve Traktörler. Düzeltilmiş II. Baskı. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 1603, Ders Kitabı: 555, 299 s., Ankara.
- SARAL, A., ONURBAŞ AVCIOĞLU, A. ve K. ELİÇİN, 2008. Termik Motorlar Uygulama Örnekleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No: 1564, Ders Kitabı: 517, 111 s., Ankara.
- SARAL, A. ve A.ONURBAŞ AVCIOĞLU, 2006. Termik Motorlar (Yenilenmiş 4. Baskı). Ankara Üniversitesi Ziraat fakültesi Yayınları: 1550, Ders Kitabı: 503, 294 s., Ankara