



# YAKITLAR ve YANMA

# Rafinasyon Ürünleri

➤ Yakıt olarak kullanılan petrol ürünleri

❖ **Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG):** Endüstriyel yakıt, ev ısıtma, buhar kraking hammaddesi ve bujiyle ateşlemeli motorlarda yakıt olarak kullanılır.

LPG esas olarak propan ve bütan karışımından oluşur.

❖ **Benzin:** Molekül ağırlığı 100-110 arasında değişen ve 4-11 C'lu hidrokarbonlardan oluşur.

Temel özellikleri; anti-vuruntu (oktan sayısı), uçuculuk (damıtma ve buhar basıncı), stabilite ve yoğunluktur.

- ❖ **Kerosen ve Jet Yakıtı:** Kerosen aydınlatma için kullanılırken jet yakıtı jet motorlarında kullanılır. Kalitesini kükürt içeriği, soğuğa dayanımı, yoğunluk ve ateşlenme özellikleri belirler.
- ❖ **Dizel ve Isıtma yağları:** Motor yakıtı olarak kullanılır. Kalitesini ateşlenme, uçuculuk, viskozite, soğuğa dayanım, kükür içeriği (korozyon etkisi), yoğunluk ve parlama noktası belirler.
- ❖ **Artık yakıt:** Elektrik üretiminde, endüstriyel yakıt ve düşük devirli dizel motorlarda yakıt olarak kullanılır. Temel özellikleri; viskozite, kükürt içeriği, stabilite (tortu oluşmamalı), soğuğa dayanım ve parlama noktasıdır.

## ➤ Yakıt olarak kullanılmayan petrol ürünleri

- ❖ **Solvent (Çözücü):** Hafif petrolün (4-14 C) parçalanmasıyla elde edilir. Temel özellikleri; uçuculuk, saflık, koku ve zehirleyiciliktir. Örn; benzen, tolüen ve ksilenler yapıştırıcılar için solvent olarak kullanılır.
- ❖ **Nafta:** Kimyasal üretiminde kullanılır.
- ❖ **Yağlayıcılar:** Viskoziteleri ve viskozite indisleri (sıcaklığa göre viskozite değişimi) önemli özelliklerindedir. Viskozite indislerini geliştirmek için yağlayıcıların bünyesindeki aromatik bileşikler uzaklaştırılır.



## Yağlayıcı katkı maddeleri;

- ❑ **Viskozite indisi katkısı** (poliakrilatlar, olefinler)
  - ❑ **Aşınma önleyici** (yağ esterleri)
  - ❑ **Anti-oksidan** (alkilatlı aromatik aminler)
  - ❑ **Korozyon önleyici** (yağ asitleri)
  - ❑ **Köpük önleyici** (Polidimetilsiklosan)
- ❖ **Petrol waxları (mumsu yapı=parafin)**: Petrol ürünlerinin akma noktasını iyileştirmek için kullanılır ve **erime noktası yüksektir**. Düz zincirli alkanlardan ( $C_{18}-C_{36}$ ) oluşur. Gıda endüstrisinin yanı sıra mum, parlaticı cila, kaplama ve kozmetikte kullanılır.

➤ **Asfalt:** Uçucu olmayan asfalten bileşimini içerir. Asfalten, çok yüksek vakum şartlarında bile damıtılamaz. Bağlayıcı olarak kullanılır. Asfaltın kalitesi parlama noktası, bileşimi, viskozite, yumuşama noktası, havanın etkisi (weathering), yoğunluk/spesifik gravite, stabilite/kimyasal dayanım özellikleri ile belirlenir.

## Petrolün Fiziksel Özellikleri

➤ **Yoğunluk:** Belirli bir sıcaklık ve atm. basıncında petrolün birim hacminin kütesidir. Petrolün yoğunluğu 0.6-1 g/cm<sup>3</sup> arasındadır. Petroldeki hidrokarbon %'si, gaz miktarı, artık ve asfalt gibi ağır hidrokarbonların oranı, sülfür oranı, sıcaklık gibi parametreler petrolün yoğunluğunu etkiler.

Yoğunluk yerine «**spesifik yoğunluk**» ifadesi de kullanılmaktadır. Spesifik yoğunluk, petrolün belirli hacminin ağırlığının aynı sıcaklık ve aynı hacimdeki suyun ağırlığına oranıdır ve ham petrol ve ürünlerinin ağırlıklarını hesaplamada kullanılır.

Petrol ve türevi yakıtların **yoğunlukları ASTM (Amerikan Test Materyalleri Birliği), API (Amerikan Petrol Enstitüsü), Baume derecesi** ile ifade edilir.

- **API;** -1-11, 9-21, 19-31, 29-41 ...API aralığında ölçüm yapılır.
- **ASTM;** 0.600-0.650, 0.650-0.700, 0.700-0.750...g/ml aralığında ölçüm yapılır.
- **Baume derecesi;** 0-12, 9-21, 19-31, 29-41...Baume derecesi aralığında ölçüm yapılır.

**API ve Baume derecelerinin özgül ağırlığa göre hesaplanması için kullanılan formüller;**

$$API = \frac{141.5}{\text{Ö. Ax}(60^{\circ}F)} - 131.5$$

$$BAUME = \frac{140}{\text{Ö. Ax}(60^{\circ}F)} - 130$$

PETROL		
PETROL ÇEŞİDİ	ÖZGÜL AĞIRLIK	API DERCESİ
Çok hafif petrol	0.7-0.8	70-45
Hafif petrol	0.8-0.9	45-25
Ağır petrol	0.9-1.0	25-10

Dünya petroleri **27-35°API gravitesindedir**. API gravitesi, petrolün yoğunluğu ile ters orantılıdır. Yani, **gravite büyüdükçe yoğunluk küçülmekte ve petrolün kalitesi artmaktadır**.



✓ **Yüksek graviteye sahip hafif petrol ürünleri** (jet yakıtı, benzin, motorin vb.) açık kahve, sarı veya yeşil renklidir.

✓ **Düşük graviteli ağır petrol ürünleri** (fuel oil, asfalt) koyu kahve veya siyah renklidir.

## Petrolün Hacmi

Sıvı petrolün hacmi 60°F'da (15.6°C) ve 1 atm. basınçta ölçülür ve varil cinsinden ifade edilir.

Hacmi etkileyen faktörler; **sıcaklık, basınç, ve çözünmüş madde miktarıdır.**

## Petrolün Viskozitesi

Viskozite, **sıvının akmaya karşı gösterdiği direnci** ifade eder. Petrolün viskozitesi bileşimine bağlıdır ve petrolün üretim, rafine ve taşınmasında oldukça önemlidir.

**Yoğunluk ve ağır bileşen miktarı arttıkça viskozite de artar. Sıcaklık ve gaz miktarı arttıkça viskozite düşer.** Yüksek viskozite değeri petrolün taşınması ve üretilmesinde problem teşkil eder.

## Petrolün Kırılma (Refraktif) İndisi

Bir maddenin kırılma indisi, o madde de yol alan ışığa göre ne kadar yavaş ilerlediğini gösteren bir katsayıdır. **Kırılma indisi, petrolün kimyasal bileşimine bağlıdır.**

Refraktif indisi, 20°C ve 1 atm. basınçta refraktometre cihazıyla ölçülür ve petrolün bileşimini belirlemede kullanılır. **Kırılma indisi, hidrokarbonlara göre 1.35-1.6 arasında değişmektedir.**

Hidrokarbonların kırılma indisleri için aromatikler > naftenler > parafinler şeklinde sıralanabilir.

**Hafif hidrokarbonların kırılma indisleri daha küçüktür.**

Petrolün yoğunluğuna göre kırılma indisi değeri 1.4-1.5 arasında değişiklik gösterir.

## Petrolün Floresans Özelliđi

Petrol ultraviyole ışık altında sarı-yeşil-mavi renklerde floresans özellik gösterir. Bu özellik **eser miktardaki** petrolün kolayca belirlenmesini sağlar.

## Petrolün Renk ve Kokusu

Petrolün rengi yansıyan ışıkta yeşilimsi, içinden geçen ışıkta ise açık sarı, kırmızı ve bazen de siyahtır.

Özgöl ağırlık arttıkça renk de koyulaşır.

Hafif hidrokarbonlu petrol hoş kokulu; doymamış hidrokarbon ve kükürt içeren petrol ise kötü kokuludur.

Kükürt içeriği  $<0.5$  olan petrol «**kükürtsüz petrol**» olarak kabul edilir.



## Petrolün Isıl (Kalori) Değeri

Petrolün kalori değeri **özgül ağırlığı ile ters orantılıdır**. Örn; özgül ağırlığı 0.9 g/ml olan 17°API petrolün kalori değeri 10500 cal/g iken, özgül ağırlığı 0.7 g/ml olan 70°API petrolün kalori değeri 11700 cal/g'dır.

## Petrolün Parlama Noktası

Petrol üzerine alev tutulduğunda petrol buharının ilk ateşlenme anı petrolün parlama noktasıdır ve bu nokta petrolün bileşimine göre değişir.

## Petrolün Kimyasal Özellikleri

Petrol, alifatik (parafinler, olefinler, naftenler) ve aromatik hidrokarbonlardan oluşmaktadır.

- ❑ Parafinler (Alkan):  $C_nH_{2n+2}$
- ❑ Olefinler (Alken):  $C_nH_{2n}$
- ❑ Asetilen (Alkin):  $C_nH_{2n-2}$
- ❑ Aromatik (Benzen):  $C_nH_{2n-6}$

**Alifatik hidrokarbonlar;** açık zincirli veya halka yapısındadır. Karbon bağları arasında tek bağ olan bileşiğe «doymuş», çift veya üçlü bağ varsa «doymamış» olarak isimlendirilir.

Doymuş alifatik hidrokarbonların açık zincirlisine «parafinler» veya «alkanlar» denir.

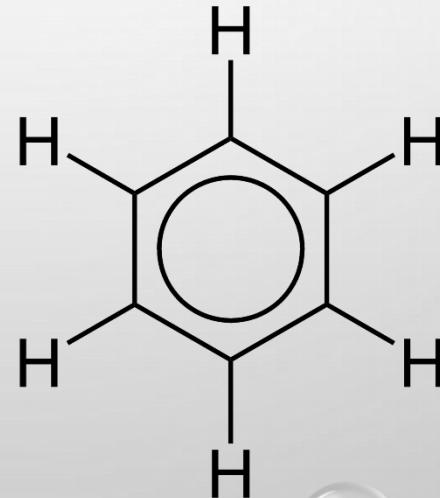
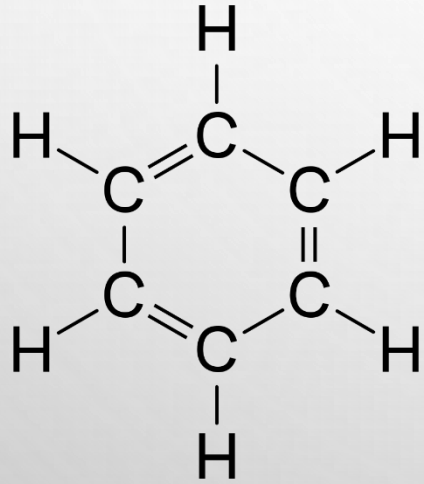
Parafinler, düz yada dallanmış zincir yapısındaki doymuş hidrokarbonlardır ve halkalı yapıları yoktur.

Doymuş alifatik hidrokarbonların halka yapısında olanlarına «naftenler» denir.

Çift bağı doymamış bileşiklere «olefinler (alkenler)» denir.

Karbonlar arasında tek veya daha fazla sayıda üçlü bağ olan bileşiklere ise «asetilen (alkinler)» denir.

Aromatik hidrokarbonlar ise halka yapılı olup halka içinde çift bağ içerir.





# YAKITLARIN ÖZELLİKLERİ

Motor yakıtlarından istenilen özellikler ve bu özelliklerin ölçülmesi ile ilgili standartlar mevcuttur. Bu standartların çoğu **ASTM (American Society for Testing Materials, SAE (Society of Automotive Engineers) ve API (American Petroleum Institute)** tarafından geliştirilmiştir.

Yakıtların özelliklerini ve bunlarla ilgili hesaplamalarda kullanılan bazı indis, sabit veya faktör vardır.

Bunlardan bazıları; **kritik sıcaklık ( $T_c$ ), kritik basınç ( $P_c$ ), kritik hacim ( $V_c$ )** gibi sabitlerdir ve termodinamik açıdan özellik belirlemede ve hesaplamalarda kullanılır.

**Yüzey gerilimi:** petrolün köpürme karakteristiklerini belirlemede kullanılır. Ayrıca deniz suyu üzerindeki petrolün dağılma hızının belirlenmesinde de kullanılır.

**Sıcaklık ve mol ağırlığı** yüzey gerilimini etkiler. Örn; sıcaklıktaki artış yüzey gerilimini azaltır, mol ağırlığındaki artış ise yüzey gerilimini azaltır.

Petrol içindeki çözünmüş hidrokarbon dışı materyallerin varlığı (sabun, yağ asidi vb.) yüzey gerilimini düşürür.

Dinamik yüzey gerilimi aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\text{Dinamik Yüzey Gerilimi} = \frac{681.3}{Kx \left( 1 - \frac{T}{13.488^{1.7654}} x (sg)^{2.125} \right)^{1.2056}}$$

**K:** Watson faktörü, **sg:** özgül ağırlık, **T:** Sıcaklık (K)

## Yakıtların Yoğunluğu-Özgül Ağırlığı

**Yoğunluk;** belirli bir sıcaklık ve basınçta (15°C ve 101.325 kPa) bir maddenin birim hacminin kütlesidir.

Boruların, valflerin, depolama tanklarının, güç gerektiren pompaların ve kompresörlerde akış hesaplamalarında kullanılır.

20°C'de yoğunluğu (g/ml) cinsinden verilen petrol ürününün 15.6°C sıcaklıktaki özgül ağırlığı yaklaşık olarak şu formülle hesaplanır;

$$SG=0.01044+0.9915 \times d_{20}$$

Özgül ağırlık (spesifik gravite); 15.6°C (60 F) sıcaklıktaki yakıtın yoğunluğunun, Aynı sıcaklıktaki suyun yoğunluğuna oranıdır. Suyun yoğunluğu 1 kg/l olduğundan Yakıtın özgül ağırlığının birimi de kg/l olmalıdır.

Özgül ağırlık terimi bağıl yoğunluk yerine de kullanılabilir.

Sıvıların yoğunluğu, sıcaklığın artması ile biraz düşer ve bu husus aşağıdaki denklemle ifade edilebilir.

$$d = d_{15.6} - k \times (T - 288.7)$$

**k: hidrokarbon türüne göre değişen sabittir.**

API'ya göre, özgül ağırlık özel bir ölçekle aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$API = (141.5 / \text{Ö.A}) - 131.5$$



Yakıtların özgül ağırlığı 0.8-1.0 (45.3-10 API) aralığındadır. Yoğunluk, özgül ağırlık veya **API gravitesi (ağırlığı) ASTM D287, D1298'e göre hidrometreyle veya ASTM D941, D1217'e göre piknometre (yoğunluk ölçer) ile ölçülür.**

Yoğunluk, sıcaklıkla az da olsa değiştiğinden teknik ölçümlerde ölçüm sıcaklığı 20°C olarak belirlenmesine rağmen pratikte 15°C ile hesaplanır. Bu nedenle farklı sıcaklıklarda yapılan ölçümler için aşağıdaki düzeltme faktörü kullanılır.

$$d_{15}=d_t + 0.0001(t-15)(15-10d_t)$$

t: Ölçüm sırasında yakıtın sıcaklığı

$d_t$ : Ölçülen yoğunluk

$d_{15}$ : 15°C'ye indirgenen yoğunluk

Yakıtın özgül ağırlığı ile kaynama sıcaklığı, uçuculuk, ısı değer ve oktan sayısı ile ilişkilidir.

Genel olarak özgül ağırlığı büyük olan yakıtlar **daha fazla karbon** ihtiva ettikleri için **daha yüksek ısı enerjisi** sahiptirler. Isı değer ile özgül ağırlık arasındaki ilişki aşağıdaki gibi formüle edilebilir;

$$Q = 12400 - 2100 \times d^2 \quad \text{veya} \quad Q = 10360 + 22(Be - 10)$$

**Q:** Sabit hacimde yanmada elde edilen toplam ısı miktarı

**d:** Özgül ağırlık (g/ml)

**Be:** Borne derecesi

**API derecesi artıkça yakıtın ısı değeri ve vuruntuya dayanımı artar.**  
Genel olarak 15.6°C'deki (60°F) API derecesi 20 ila 40 arasında değişen yakıtlar için;

$$\text{Üst ısı değeri} = 18010 + 57.5(API) - 0.35(API)^2$$

15.5°C'deki API derecesi 50 ila 80 arasında değişen yakıtlar için;

$$\text{Üst ısı değeri} = 18430 + 39.5(API) - 0.15(API)^2$$

**Özgül ağırlık ile yakıtın ihtiva ettiği % hidrojen miktarı arasındaki ilişki;**

*%H = 26 - (15d) formülüyle hesaplanabilir.*

## API değerinin özgül ağırlık, C, H ve C/H oranına etkisi

API	Ö.A	%C	%H	C/H
14	0.9725	88.59	11.41	7.76
16	0.9593	88.39	11.61	7.61
18	0.9465	88.20	11.80	7.47
20	0.9340	88.01	11.90	7.34
24	0.9100	87.65	12.35	7.10
28	0.8871	87.31	12.69	6.88
30	0.8762	87.14	12.86	6.78
34	0.8550	86.83	13.17	6.59



Bu tabloya göre;

- ✓ API gravitesi arttıkça özgül ağırlık azalmakta, %C, %H ve C/H oranı azalmaktadır.
- ✓ API derecesi arttıkça ısı değer ve vuruntuya dayanım artmaktadır.

Dizel yakıtların özgül ağırlıkları 0.815-0.934 g/ml arasındadır.

Damıtılmış dizel yakıtları 25-45 API arasındadır. Artık dizel yakıtları 0-21 API aralığında oldukları halde, genellikle 12 API'dan hafif veya 8 API'den ağırdır.

API değeri petrol sınıflandırmada kullanıldığından fiyatlar üzerinde de etkilidir.

En fazla tercih edilen petrol çeşitleri; işlenmesi kolay ve bol beyaz ürün ihtiva eden petrol türleridir. Bunların API graviteleri 30 ila 40 aralığındadır.

Ülkemizde çıkarılan ham petrol çeşitlerinin API graviteleri çok düşük olup suya yakın yoğunluktadır.

## Yakıtların Isıl Değerleri

Isıl değer; yakıttan elde edilen enerji miktarının bir göstergesidir.

Yakıtların birim hacminin içerdiği enerji miktarı «kalorik değer (kcal/m<sup>3</sup>)», birim yakıt kütesinin içerdiği enerji miktarı ise «kalorifik değer (kcal/kg)» olarak tanımlanır.

Yakıtların ısı değerleri yakıtın «kalorimetre bombasında» yakılması ile ölçülür. Yanma sonucu su açığa çıkar. Yakıtın enerjisi bu suyu buhar haline çevirmek için kullanılır.

Suyu buharlaştırmak için gerekli enerji hesaplanır ve yanma sonucu oluşan buhar tutularak su haline gelmesi sağlanır. Suyun buharlaşması için gerekli enerji ile alt ısı değerinin toplamına üst yada yakıtın ısı değeri denir.

Motor verimi hesaplamalarında yakıtın alt ısı değeri esas alınır. Çünkü bu değer en kötü şartlarda yakıtın verebileceği minimum değerdir. Böylece, pratikte elde edilen sonuç hesaplamalarda elde edilen sonuçtan daha kötü çıkmaz.

Yakıtların API derecelerine göre ısı değerlerinin belirlenmesi için aşağıdaki eşitlikler kullanılabilir.

$$H_o = 42860 + 93(\text{API}-10)$$

$$H_u = 0.719(H_o) + 10000$$

$H_o$ : Üst ısı değeri (ÜİD)(HHV) (kJ/kg)

$H_u$ : Alt ısı değeri (AİD) (LHV) (kJ/kg)

Eğer yakıttaki hidrojen miktarının kütleli olarak tüm yakıt miktarına oranı (%H) biliniyorsa üst ve alt ısı değerleri (kJ/kg) arasındaki ilişki;

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 0.22(\%H)$$



## Alt ve Üst Isıl Değerler

**Üst Isıl Değer:** katı veya sıvı yakıtın 1 kg'nın (gaz ise 1 m<sup>3</sup>),sabit basınç altında tam yanması ve yanma ürünlerinin normal şartlara getirilmesi (0°C ve 76 cmHg) sırasında meydana gelen **cal/kg** miktarına denir.

Kısaca üst ısıl değer, yanma sonrası soğutma esnasında gazların içerisindeki **su buharının tamamen yoğunlaşmasıyla** elde edilen değerdir.

**Alt ısıl değer** ise su buharı kalorimetrede yoğunlaşmadan çekilmesi durumunda elde edilen değerdir.

Yanma sonucu açığa çıkan enerji yakıtın alt ısı değerini verir. **Alt ısı değer** hesaplanırken yanma ürünü olan **su, buhar halindedir.**

Yani **üst ısı değer**, bir yakıtın yakılmasıyla elde edilebilecek **en yüksek ısı değeridir.** **Alt ısı değer ise yakıtın en kötü koşullarda yanmasıyla elde edilebilecek en düşük ısı değeridir.**

Alt ve üst ısı değer arasındaki fark yakıt içindeki **hidrojen miktarının bir fonksiyonudur.** Örn; H miktarı düşük olan taş kömüründe bu fark çok az iken, H miktarı yüksek olan doğalgazda bu fark oldukça fazladır.

Taşıtlarda yanma sonucu oluşan su, egzoz gazları ile birlikte buhar halinde dışarı atıldığından hesaplamalarda **yakıtın alt ısı değeri** kullanılır.

Isıl değer, katı yakıtlarda **kcal/kg**, gaz yakıtlarda **kcal/m<sup>3</sup>** ve sıvı yakıtlarda ise genellikle **kcal/l** olarak verilir.