

ENERJİ

Kimyasal, Isı, Mekanik, Elektrik, Nükleer v.b. enerji türleri

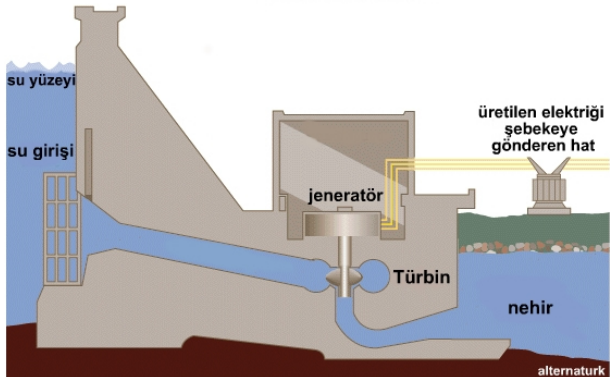
ENERJİ KAYNAKLARI

Yenilenebilir Enerji :

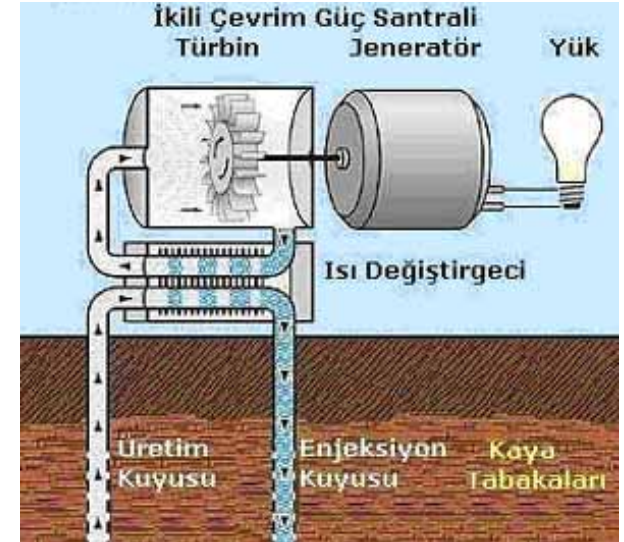
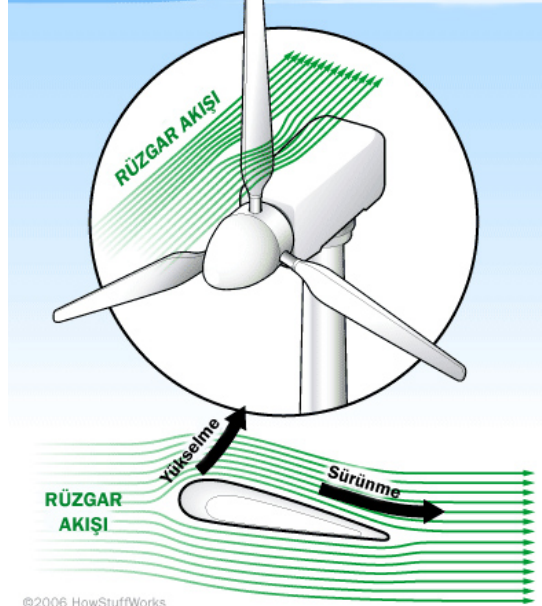
- Güneş enerjisi, güneşten gelen enerji elektriğe veya ısı enerjisine dönüştürülebilir.
- Rüzgar enerjisi,
- Yerküreden gelen jeotermal enerji,
- Bitkilerden üretilen biokütle enerjisi,
- Sudan elde edilen hidrogüç gibi.



HIDROLİK SANTRAL



Rüzgar Türbini Nasıl Çalışır? Türbin Aerodinamiği



Tükenebilir Enerji (Yenilenemeyen) :

Petrol,
Doğal gaz
Kömür gibi fosil yakıtlardır.



Enerji Kaynağının Tercih Edilmesindeki Kriterler :

- Fiyat
- Elde edilme kolaylığı
- Başka ülkelere bağımlılık
- Çevre ve insan sağlığı üzerine etkileri

DÜNYADA ve TÜRKİYEDE ENERJİ

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde toplumların gelişmişlikleri ve hayat standartları:

- Elektrik sistemlerinin gelişmesine,
- Kişi başına düşen elektrik enerjisi tüketimine,
- Enerji yoğunluğuna,

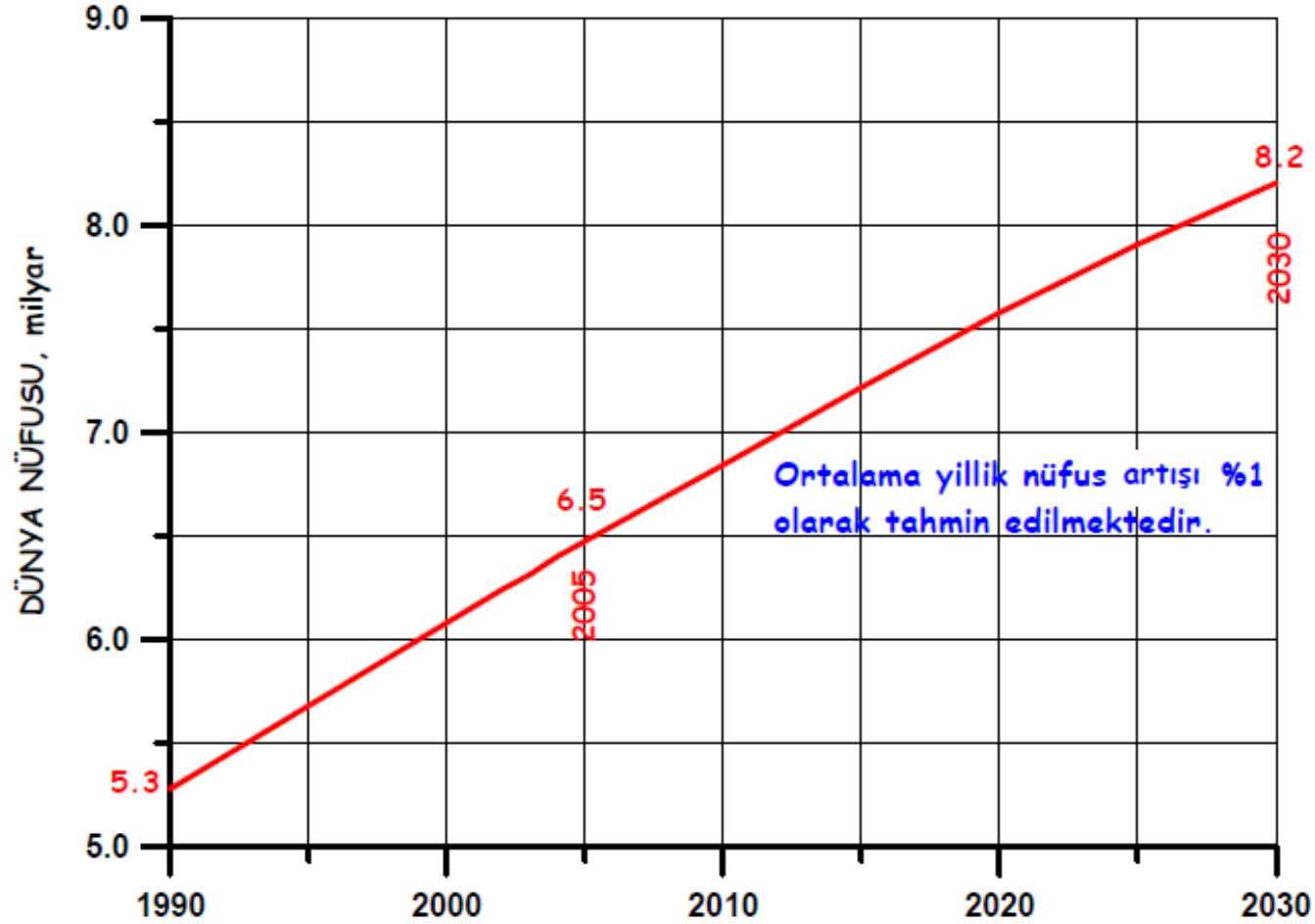
Dünyada en hızlı gelişme gösteren enerji türü, **ELEKTRİK ENERJİSİ**dir.

Kişi başına yıllık elektrik tüketimi (kWh);

ABD	→	12322
AB	→	6000
Türkiye	→	2200

Dünya nüfusunun;

- 4.5 milyarı dünya ortalamasından daha düşük elektrik enerjisi tükettiği;
- 2.4 milyarı ticari olmayan enerji kaynaklarına (odun, bitki-hayvan artıkları) bağlı olduğu;
- 1.6 milyara elektriğin ulaşmamış olduğu;
- Gelişmiş ülkelerde kişi başına enerji tüketiminin gelişmekte olan ülkelere göre 7 katı yüksek olduğu bilinmektedir.



Petrol ve doğal gaz dünya enerji tüketiminin %60'ını,

Petrol, doğal gaz ve kömürden oluşan fosil kaynaklar ise %85'ini karşılamaktadır.

Doğal gaza olan eğilimin süreceği ve doğal gazın toplam enerji tüketiminde %23 olan payının 2030 civarında %25'e çıkacağı düşünülmektedir.

ENERJİ TÜKETİMİ

Her bir enerji türünün üretim ve tüketim miktarları farklı ölçü birimleri ifade edilir.

Petrol →varil

Elektrik →kWh

Kömür →ton

Doğal Gaz →m³

Ton Eşdeğer Petrol (TEP): Enerji üretim veya tüketim hesaplamalarında kullanılan ortak ölçü birimi olup 1 ton ham petrol eşdeğeridir.

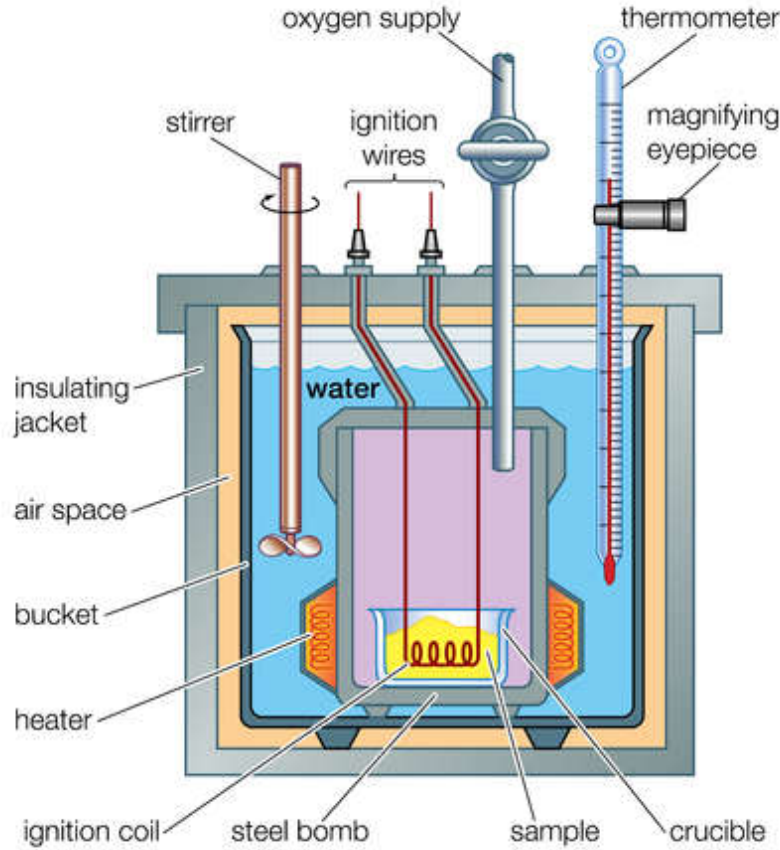
Enerji Kaynaklarının Alt Isıl Değerleri ve Petrol Eşdeğerine Çevrim Katsayıları

Miktar	Enerji Kaynağı	Yoğunluk	Alt Isıl Değer	Birim	TEP Çevrim Katsayısı
1 ton	Taşkömürü		6.100.000	kCal	0.610
1 ton	Kok Kömürü		7.200.000	kCal	0.720
1 ton	Briket		5.000000	kCal	0.500
1 ton	Linyit teshin ve sanayi		3.000.000	kCal	0.300
1 ton	Linyit santral		2.000.000	kCal	0.200
1 ton	Elbistan Linyiti		1.100.000	kCal	0.110
1 ton	Petrokok		7.600.000	kCal	0.760
1 ton	Prina		4.300.000	kCal	0.430
1 ton	Talaş		3.000.000	kCal	0.300
1 ton	Kabuk		2.250.000	kCal	0.225
1 ton	Grafit		8.000.000	kCal	0.800
1 ton	Kok tozu		6.000.000	kCal	0.600
1 ton	Maden		5.500.000	kCal	0.550
1 ton	Elbistan Linyiti		1.100.000	kCal	0.110
1 ton	Asfaltit		4.300.000	kCal	0.430
1 ton	Oğun		3.000.000	kCal	0.300
1 ton	Hayvan ve Bitki Artığı		2.300.000	kCal	0.230
1 ton	Ham Petrol		10.500.000	kCal	1.050
1 ton	Fuel Oil No: 4		9.600.000	kCal	0.960
1 ton	Fuel Oil No: 5	0.920 Kg/lt	10.025.000	kCal	1.003
1 ton	Fuel Oil No: 6	0.940 Kg/lt	9.860.000	kCal	0.986
1 ton	Motorin	0.830 Kg/lt	10.200.000	kCal	1.020
1 ton	Benzin	0.735 Kg/lt	10.400.000	kCal	1.040
1 ton	Gazyağı	0.780 Kg/lt	8.290.000	kCal	0.829
1 ton	Siyah Likör		3.000.000	kCal	0.300
1 ton	Nafta		10.400.000	kCal	1.040
bin m ³	Doğal Gaz	0.670 Kg/m ³	8.250.000	kCal	0.825
1 ton	Kok Gazı		8.220.000	kCal	0.820
bin m ³	Kok Gazı	0.490 Kg/m ³	4.028.000	kCal	0.403
1 ton	Yüksek Fırın Gazı		535.000	kCal	0.054
bin m ³	Yüksek Fırın Gazı	1.290 Kg/m ³	690.000	kCal	0.069
bin m ³	Çelikhane Gazı		1.500.000	kCal	0.150
bin m ³	Rafineri Gazı		8.783.000	kCal	0.878
bin m ³	Asetilen		14.230.000	kCal	1.423
bin m ³	Propan		10.200.000	kCal	1.020
1 ton	LPG		10.900.000	kCal	1.090
bin m ³	LPG	2.477 Kg/m ³	27.000.000	kCal	2.700
bin kWh	Elektrik		860.000	kCal	0.086
bin kWh	Hidrolik		860.000	kCal	0.086
bin kWh	Jeotermal		860.000	kCal	0.086

Yakıtın Isıl Değeri: 1 kg yakıtın yanması sonucu meydana gelen ısı miktarı.

Kalorimetre ile ölçülür.

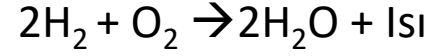
DIN51900, ISO1928 veya ASTM240-D



Üst Isıl Değer H_o :

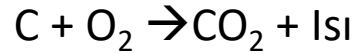
$$Q = m_s * C_s * (t_2 - t_1)$$

$$H_o = Q / m_y$$



Alt Isıl Değer H_u :

Kazanlarda yanma sonucu meydana gelen su buharı baca gazları ile birlikte atıldığından ısını geri bırakmaz dolayısıyla yoğunlaşmaz ve bu ısıdan istifade edilmez.

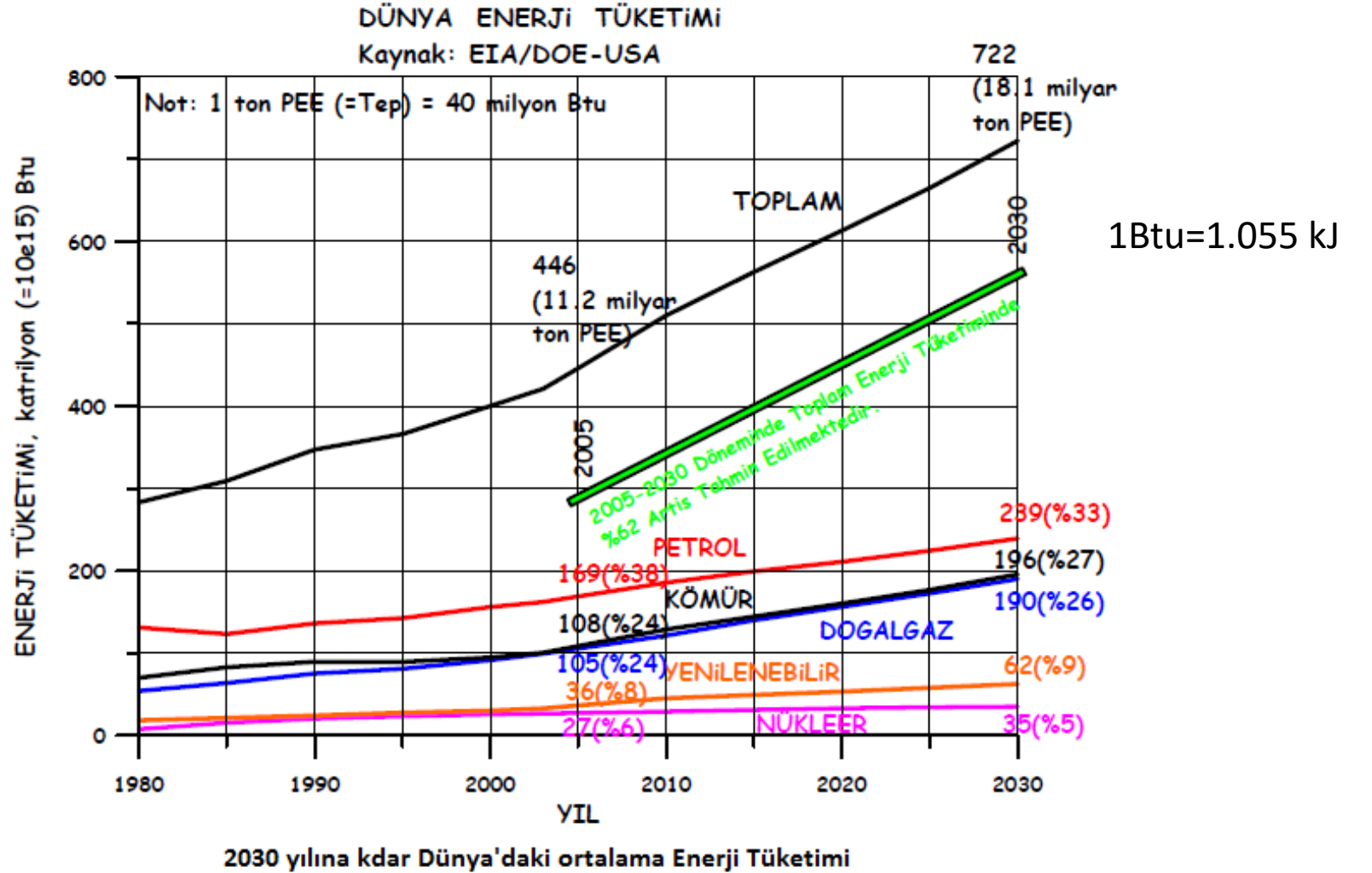


$$H_u = H_o - 2442 * W \quad (\text{kJ/kg})$$

W : yakıtın birim kütlesi için yanma ürünleri içinde oluşan su miktarı, [kg-su/kg-yakıt]

Tüm enerji kaynakları (petrol, doğal gaz, kömür, nükleer enerji, alternatif enerjiler) göz önüne alındığında dünyada her gün yaklaşık 29 milyon TEP (~204 milyon varil) enerji tüketilmektedir.

International Energy Agency (IEA) tarafından yapılan bir çalışmada elde edilen tahmini dünya enerji tüketiminin 2030 yılına kadar değişimi aşağıda görülmektedir.



ENERJİ YOĞUNLUĞU (ENERJİ VERİMLİLİĞİ)

Teknoloji, gittikçe enerjiyi daha verimli kullanmanın yollarını araştırmaktadır. Bu nedenle kişi başına enerji tüketimeinin yanında birim üretim maliyeti için harcanan enerji miktarı (enerji yoğunluğu) ülkelerin gelişmişlik düzeylerini açıklamak amacıyla tercih edilmektedir.

AB Ülkelerinde → 200 kgEP/bin euro

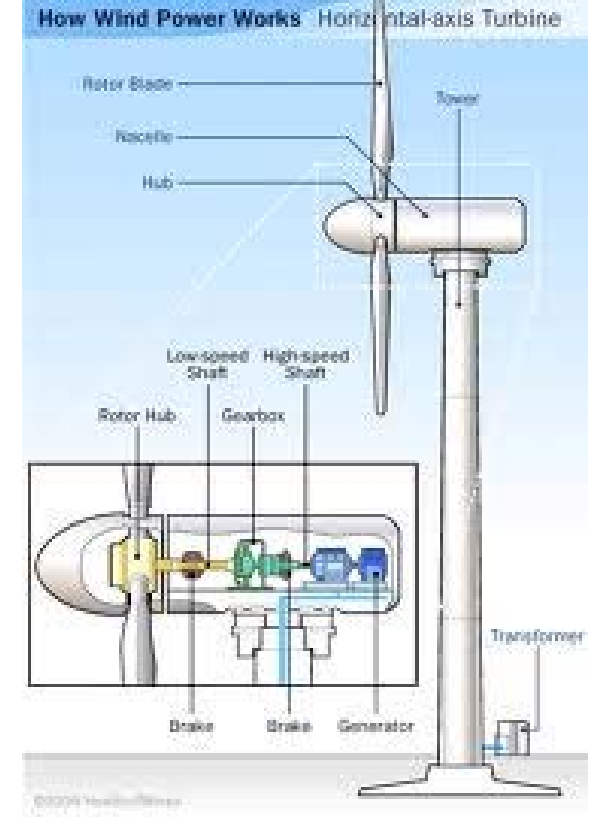
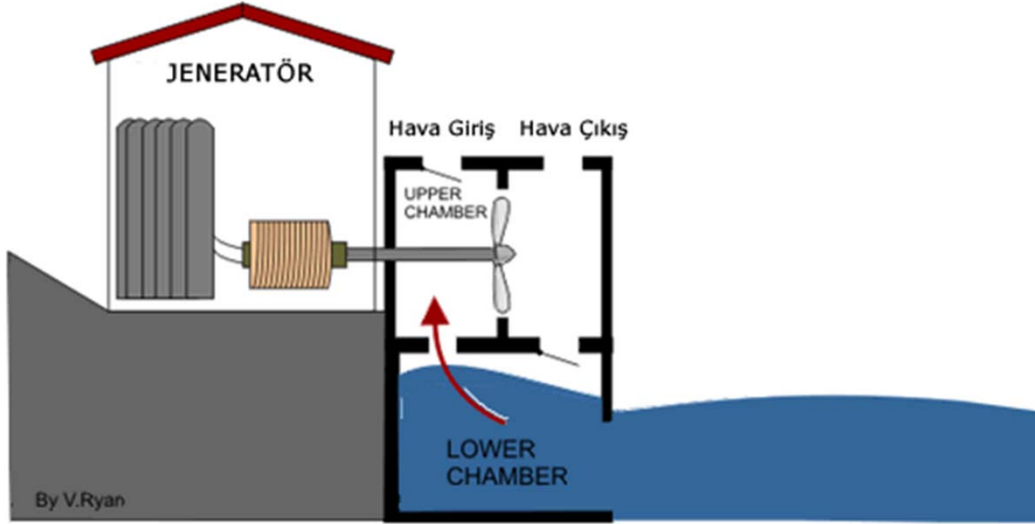
Türkiye'de → 500 kgEP/bin euro

ENERJİ TALEBİ ve YAKITLAR (2030a kadar)

Artan enerji talebinin karşılanması için,

- Rüzgar,
- Dalga,
- Güneş,
- Biokütle,
- Jeotermal ,

gibi, yenilenebilir ve alternatif enerji kaynakları dile getirilmektedir.



Fosil Kaynaklara Alternatif

Hidroelektrik
Nükleer Enerji
Yenilenebilir

ENERJİ TALEBİ ve YAKITLAR (2030 sonrası)

2030 ve sonrasında;

- Nükleer yakıtlar ve
- Hidrojenin

yenilenebilir enerjiye göre oranı artacaktır.

HİDROJEN

- Evrende oldukça bulunan ve en hafif olan element.
- Hem fosil kaynaklardan hem de yenilenebilir enerji kullanılarak elde edilebilir.
- Üretim esnasında CO ve CO₂ salınımı yapan yöntemlerden kaçınılmalıdır.

Dezavantajı

- Pahalı bir enerji kaynağı,
 - Üretimi,
 - İletimi,
 - Depolanması ve
 - Taşınması,
- açısından problemler vardır.

YAKIT

Isı enerjisini bünyelerinde depolamış ve uygun koşullarda bu enerjiyi serbest bırakan maddelere **YAKIT** denir.

Isı enerjisini depolama şekline göre yakıtlar 2 ana gruba ayrılır:

- Fosil Yakıtlar (Bünyelerinde karbon, hidrojen, oksijen ve kükürtün yanı sıra su, kül gibi bazı yabancı maddeleri içerirler.)
 - Katı Fosil Yakıtlar (Kömür)
 - Sıvı Fosil Yakıtlar (Petrol)
 - Gaz Fosil Yakıtlar (Doğal Gaz)
- Nükleer Yakıtlar (Fisyon, Füzyon, Yarılanma)

YAKITLARDA ARANAN GENEL ÖZELLİKLER

1. Maliyet
2. Kolay Tutuşma ve Yanma
3. Uygun Alev Sıcaklığı
4. Isıtma Yeteneği
5. Zararsız Olma
6. Termik Direnç, Mukavemet ve Reaktivite

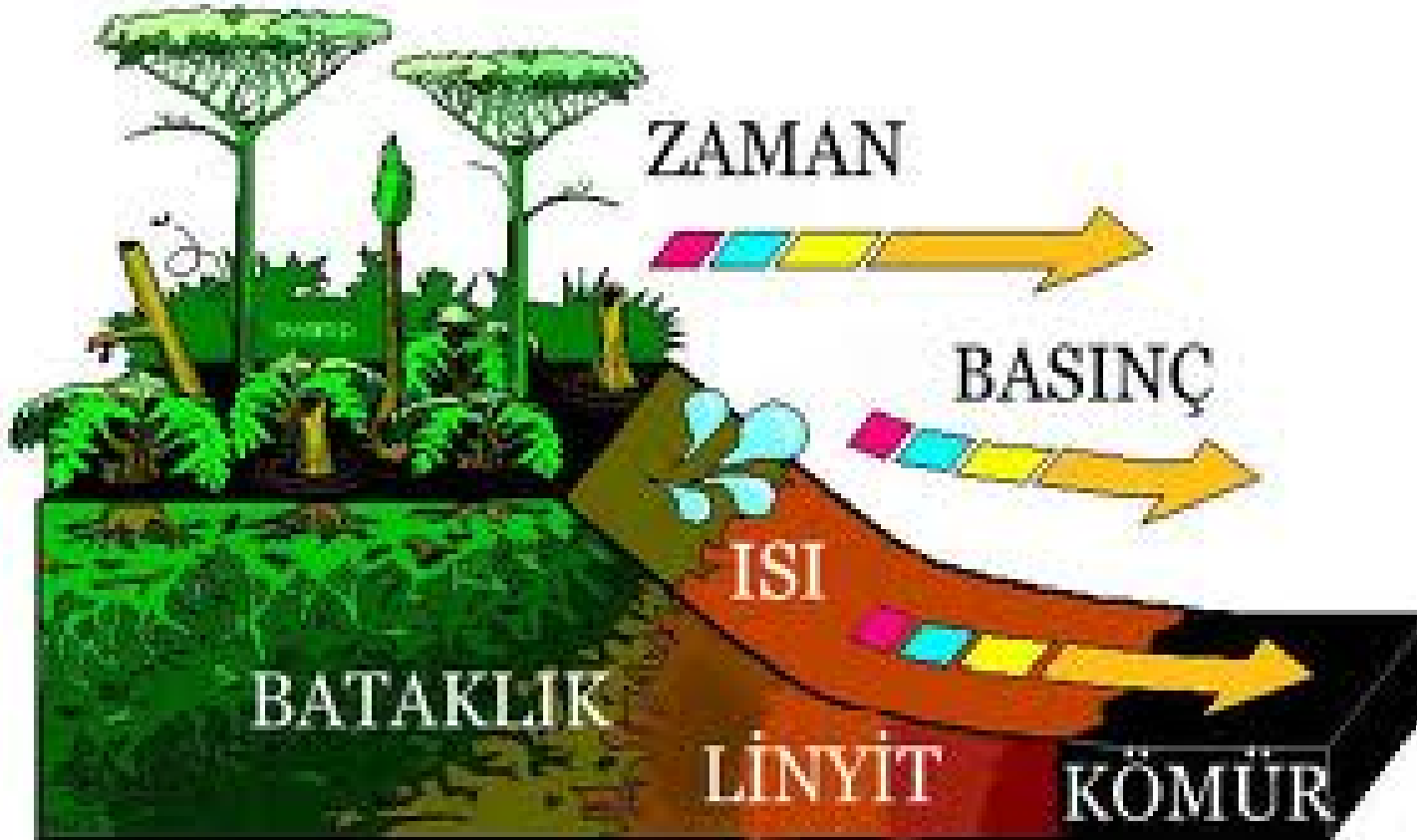
KATI FOSİL YAKITLAR

KÖMÜR

Yanabilen sedimanter (yer kabuğunun bir parçası olan) organik kayaya «**kömür**» denir.

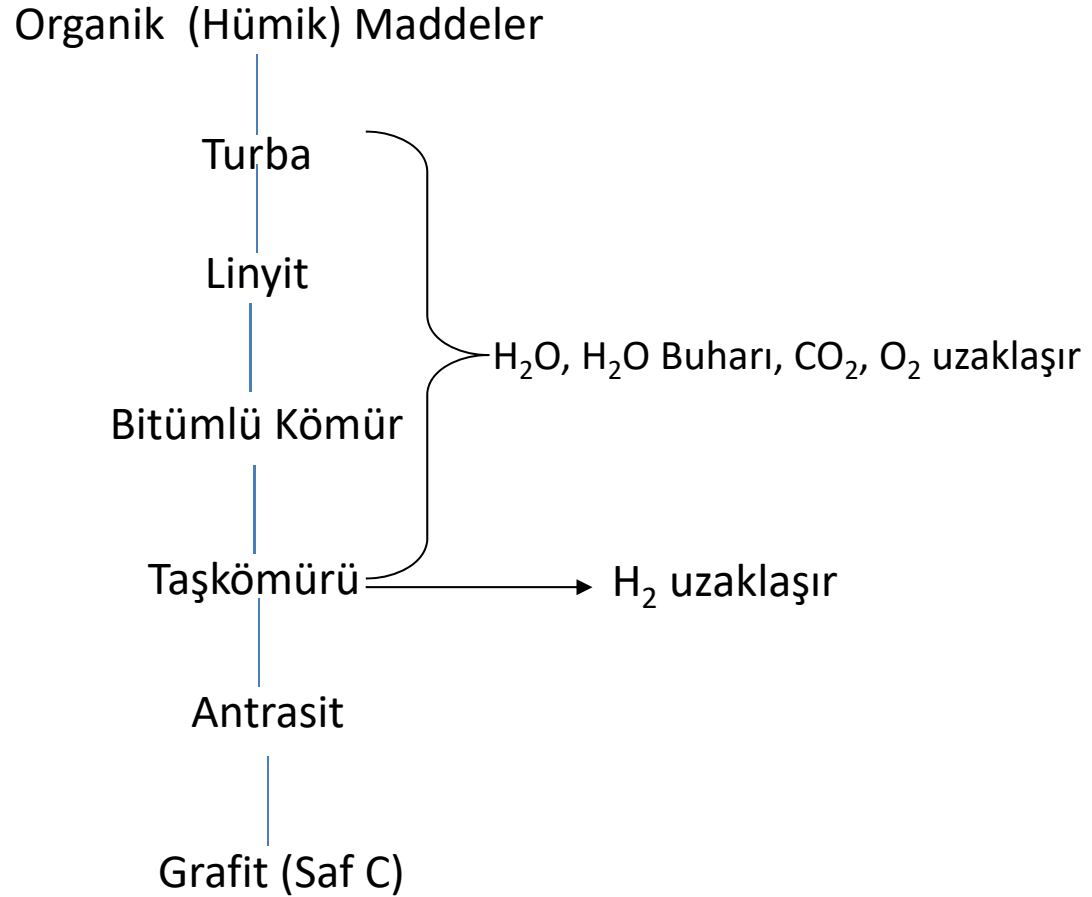
KÖMÜR OLUŞUMU

Karbon, hidrojen ve oksijen gibi elementlerin bileşiminden oluşmuş olup, kaya tabakalarının arasında damar halinde 300 milyon yıl ısı, basınç ve mikrobiyolojik etkilerin sonucu meydana gelmiştir.



KÖMÜRLEŞME (Coalification) veya KARBONİZASYON

Organik maddeler önce basınç şartlarından daha sonrada ortamın ısı şartlarından etkilenir. Bu etkilenme sonucunda organik maddelerin bünyesinde fiziksel ve kimyasal değişimler meydana gelir.



KÖMÜRLEŞME İNDEKSİ (DERECESİ)

$$K=1 - \frac{42h + 2.1o + 3n}{7c}$$

c : Karbonun kütleli yüzdesi.

h : Hidrojenin kütleli yüzdesi.

o : Oksijenin kütleli yüzdesi.

n : Azotun kütleli yüzdesi.

K=1 ise saf karbon yani grafit

KÖMÜRÜN KOKLAŞTIRILMASI

Taşkömürünün havasız ortamda tüm uçucu bileşenleri (H_2 , CO , CH_4 , C_2H_6 , H_2S , Benzen, Toluen, Fenol, N_2 , S) uzaklaştırılana kadar ısıtılmasından sonra kalan katı artık.

Kok kömürü başta C olmak üzere az miktarda H_2 , N_2 , S ve O_2 oluşur.

$H_u=28.000$ kJ/kg

Kömürün koklaştırılması 5 safhada gerçekleştirilir.

1. Ön Isıtma (Kurutma –Yüzey Nemin Uzaklaştırılması)

20°C – 100 °C

2. Suyun (Bağıl Nemin) Uzaklaştırılması

100°C – 250 °C. Kömür içerisindeki su tamamen uzaklaşır. 250 °C'ta katran oluşumu ve gazlaşma başlar .

3. Ön Gazlaşma

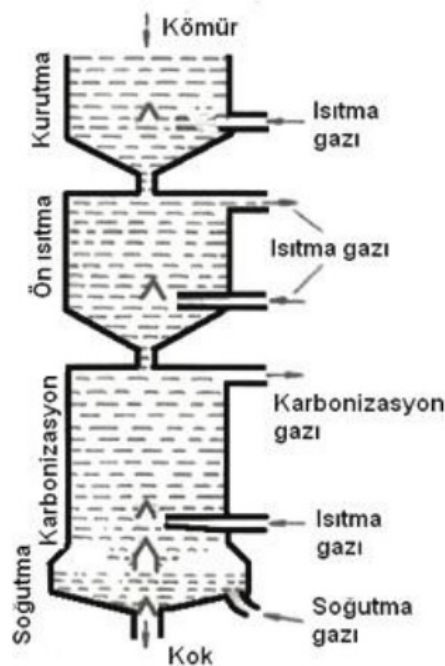
250°C – 450 °C 250°C'ta katran oluşumu başlar 400°C'ta maximeuma ulaşır

4. Esas Gazlaşma

450°C – 800 °C. 600°C'ta katran oluşumu sona erer.

5. Son Gazlaşma

800°C – 1200 °C. sadece gazlaşma

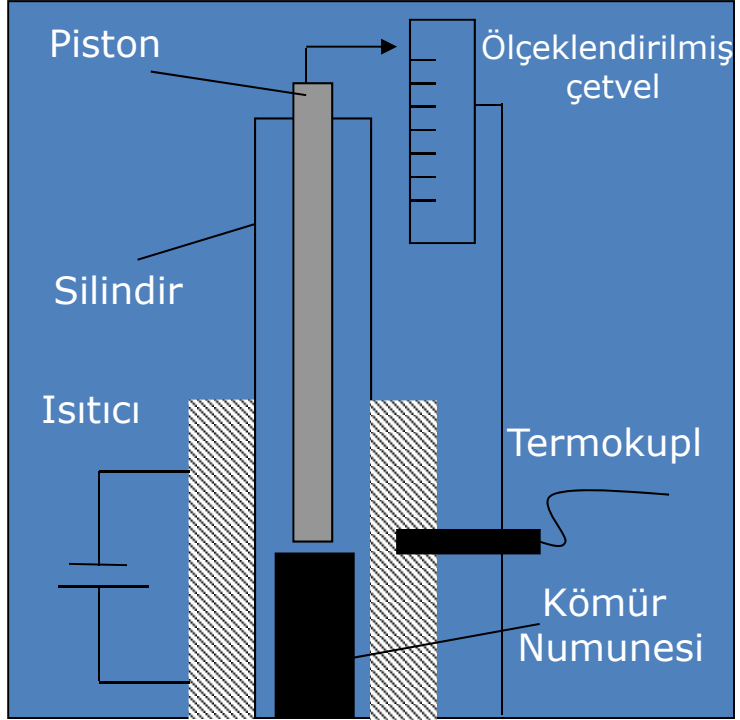


KÖMÜRÜN KOKLAŞMA ÖZELLİĞİNİ BELİRLEMEK İÇİN YAPILAN TESTLER

Taşkömürünün koklaşma özelliğinin belirlenmesinde kullanılan testlerdir. Ayrıca bu testler taşkömürlerinin sınıflandırılmasına da referans olur.

1. Dilatometre testi
2. Serbest Kabarma İndeksi
3. Gray-King Kok Tipi Testi
4. Roga İndeksi

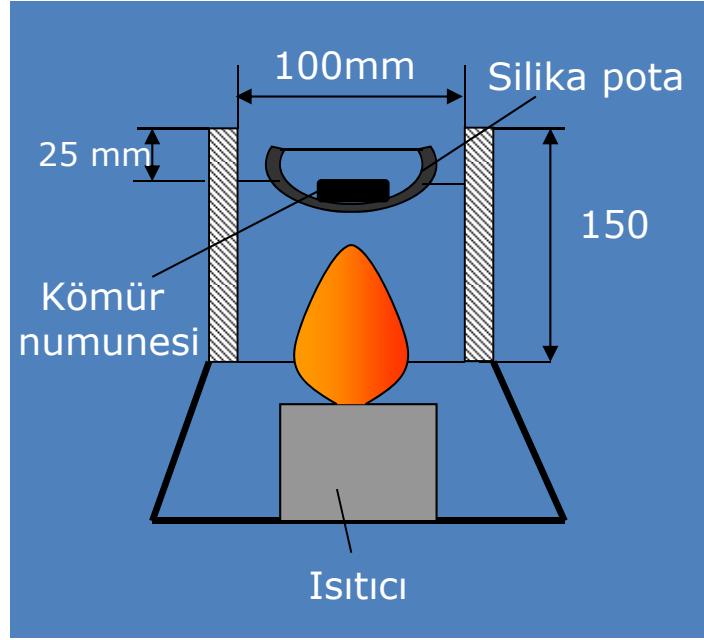
1. Dilatometre Testi



Arnu-Audibert Dilatometresi kullanılır.



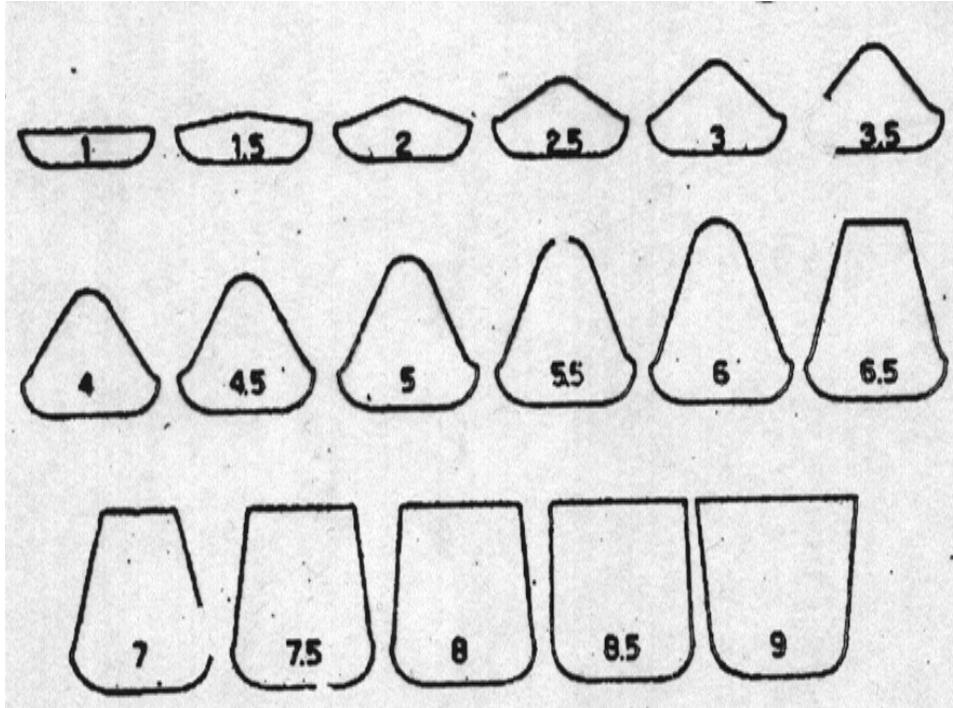
2. Serbest Kabarma İndeksi



0.2 mm elekten geçmiş 1 g
toz kömür numunesi

2.5 dk → 820°C

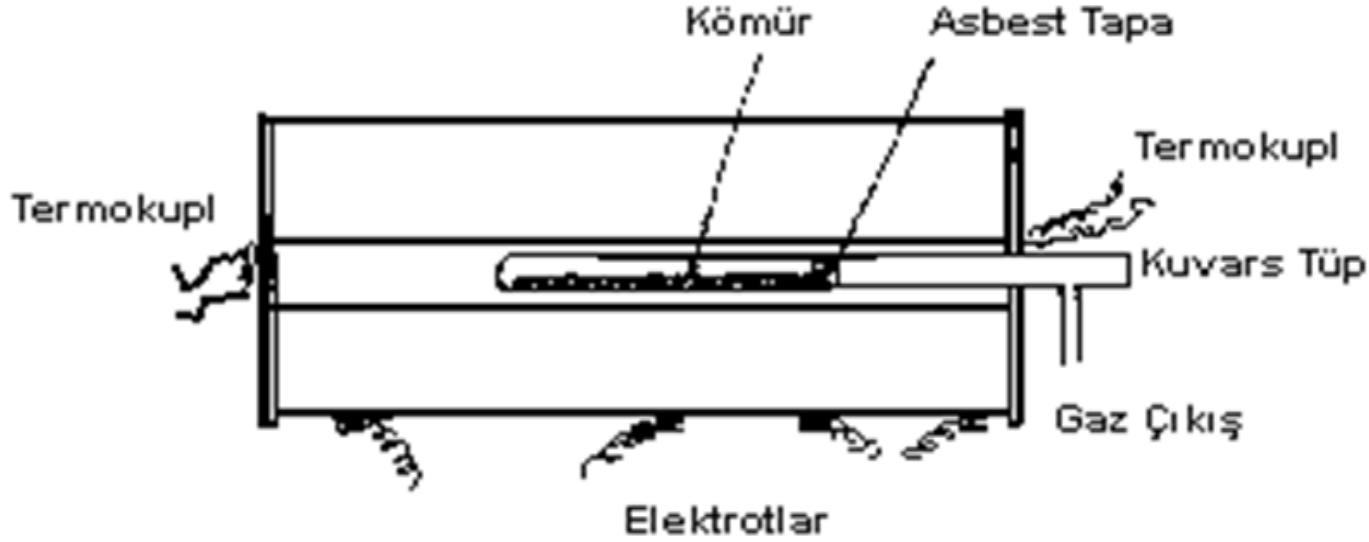
Standart Profiller



Serbest Kabarma İndeksine Göre Kömürün Uluslararası Sınıflandırılması

Grup No	Serbest Kabarma İndeksi	Anlamı
0	0	Koklaşmaz
1	1 - 2	Çok zayıf Koklaşma
2	2.5 - 4 4.5 - 6	Orta koklaşma Kuvvetli koklaşma
3	6.5 - 9	Çok kuvvetli koklaşma

3. Gray-King Kok Tipi Testi



0.2 mm elekten geçmiş
20 g toz kömür

Dakikada 5°C → 590°C

590°C → 15 dk

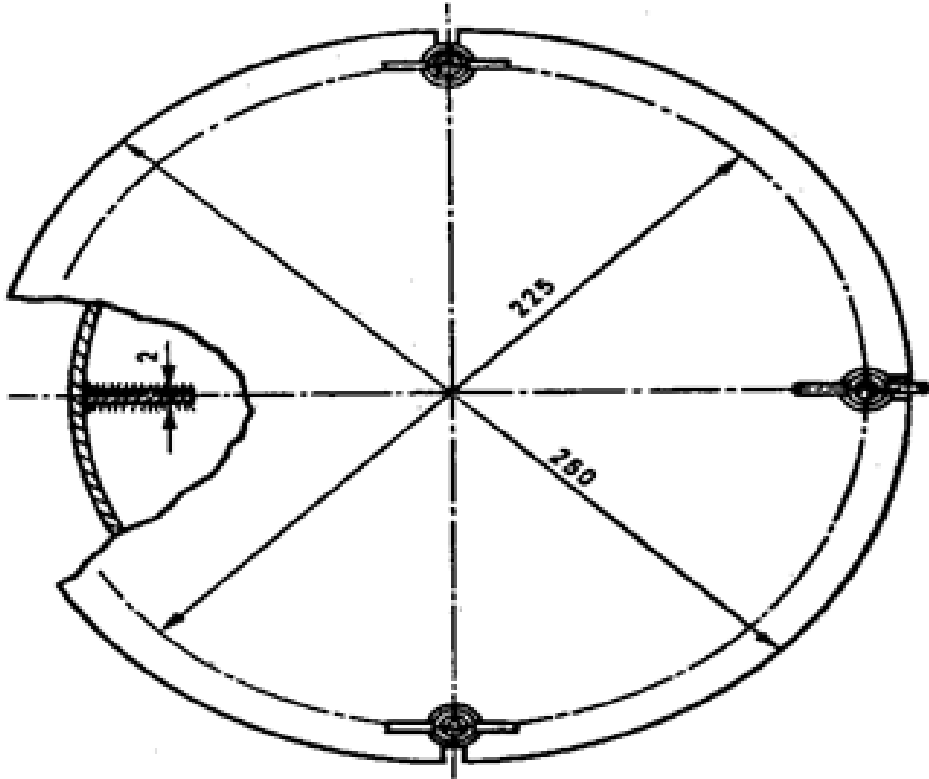
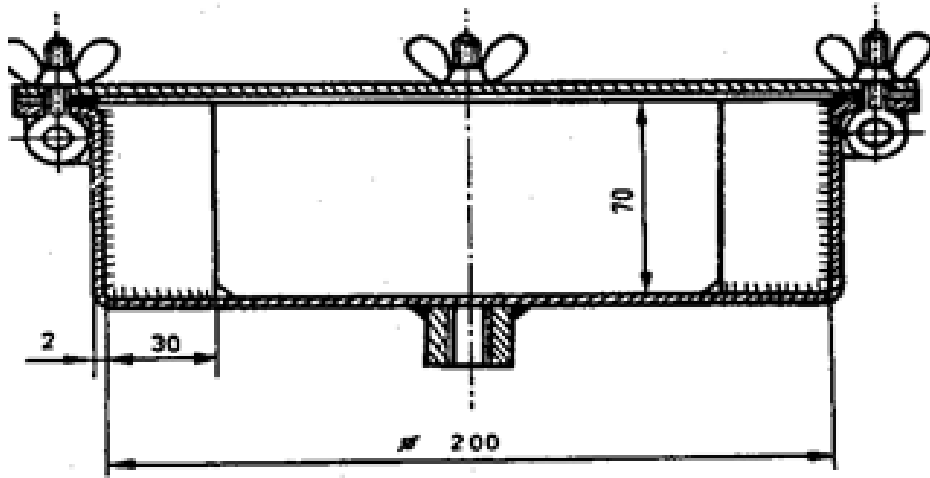
Gray-King Kok Tipi Tespitine Göre Kömürün Uluslararası Sınıflandırılması



G tipi iyi erimiş ancak ne şişmeye nede
büzülmeye uğramamış kok tipi demektir.

Grup No	Gray-King Kok Tipi	Anlamı
0	A	Koklaşmaz
1	B - D	Çok zayıf koklaşma
2	E - G	Zayıf koklaşma
3	G1 - G4	Orta koklaşma

4. Roga İndeksi



1 g toz kömür (taş kömürü) + 5 g antrasit

30 s 60 Pa basınç

850°C → 15 dk

1500 d/d → 8 dk (12000 devir)

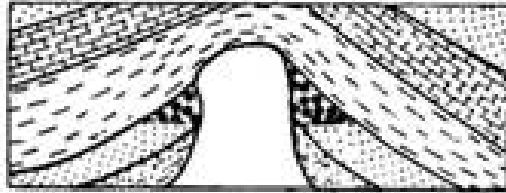
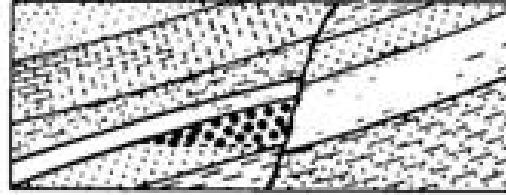
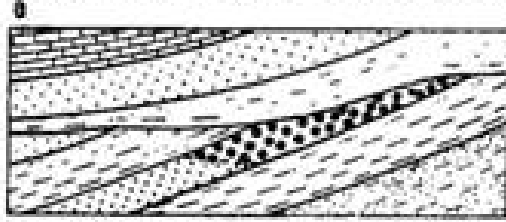
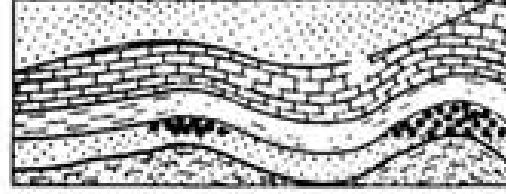
Roga İndeksine Göre Kömürün Uluslararası Sınıflandırılması

Grup No	Roga İndeksi [% kütle kaybı]	Anlamı
0	0 - 5	Koklaşmaz
1	5 - 20	Zayıf koklaşma
2	20 - 45	Orta koklaşma
3	45 - üstü	Kuvvetli koklaşma

SIVI FOSİL YAKITLAR

Petrol

Latince “petra (kaya)” ve “oleum (yağ)” sözcüklerinden türetilen “petroleum (petrol)” adı verilmiştir. Petrol doğada bulunan kompleks bir hidrokarbon karışımı olarak tanımlanır. Petrol, yerkabuğundaki çatlaklar ve kırıklardan sızarak bitüm (su geçirmeyen ya da su ile birleşmeyen yapışkan madde) olarak kayalar arasındaki boşluklarda toplanır.



■ Petrol veya Tabii Gaz **■** Geçirimsiz
■ Poröz

a- Antiklinal yatak c- Tektonik kapan
b- Stratigrafik kapan d- Tuz domu petrol yatağı
Petrol Yatakları

Organik Oluşum Teorileri

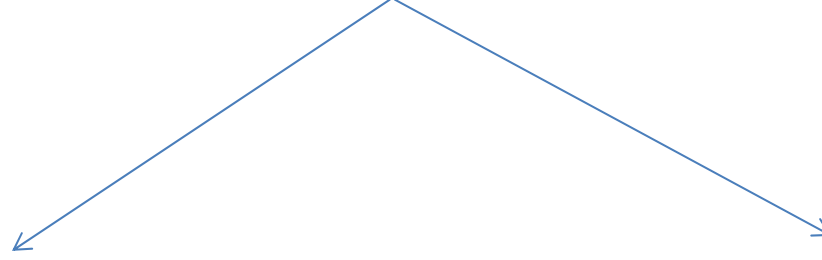
Yeraltı tabakalarında tortu veya birikintilerle karışık halde toplanan organik hammaddeler; basınç, sıcaklık ve zaman parametrelerine bağlı olarak çok çeşitli ve karmaşık fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal reaksiyonlarla transformasyona uğrayarak petrole dönüşür. Bir petrol yatağı, bu şekilde peş peşe gerçekleşen olaylar sonucu oluşan hidrokarbonlar topluluğudur.

Ham Petrolün Kimyasal Yapısı

Kimyasal yapısı çoğunlukla karbon ve hidrojenden oluşmaktadır ve kısaca hidrokarbon olarak adlandırılır. Ham petrolün içerisinde az miktarda S'de bulunur. S miktarının az olmasına rağmen ürün kalitesi üzerine etkisi önemlidir.

Element	Kütlesel Yüzde
C	82 - 87
H ₂	12 - 18
O ₂	0.1 – 7.4
N ₂	0.1 – 2.4
S	0.1 – 5.5
V, Fe, Mg, Ca, P, Zn, Co	0.1 – 1.2

Bağ Şekillerine Göre Ham Petrolün Yapısındaki Hidrokarbonlar



1. Alifatik (Zincir Yapılı HClar)

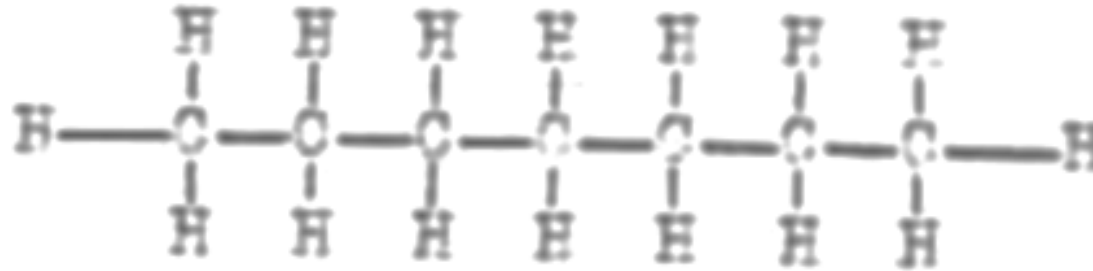
- Parafinler (Alkanlar) (Doymuş HClar)
 - Normal Parafinler (Düz Zincir Yapılı)
 - İso Parafinler (Dallanmış Zincir Yapılı)
- Olefinler (Alkenler)(Doymamış HClar)
 - Mono-olefinler
 - Di-olefinler
 - Asetilenler (Alkinler)

2. Karbosiklik (Halka Yapılı HClar)

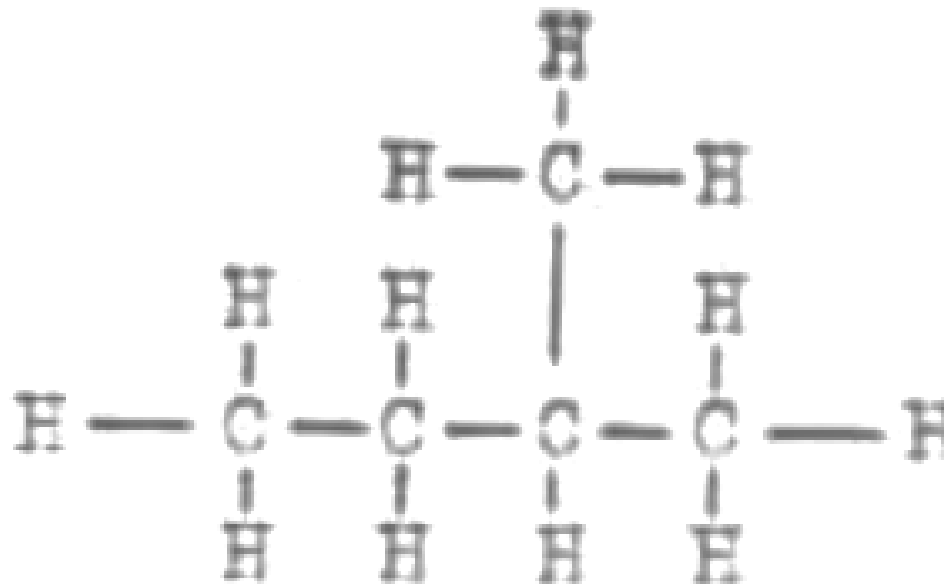
- Naftenler (Siklo-parafinler veya Siklanlar) (Doymuş HClar)
- Aromatikler (Aromatlar) (Doymamış HClar)

Alifatik Hidrokarbonlar (Zincir Yapı)

- Parafinler (Alkanlar) C_nH_{2n+2}

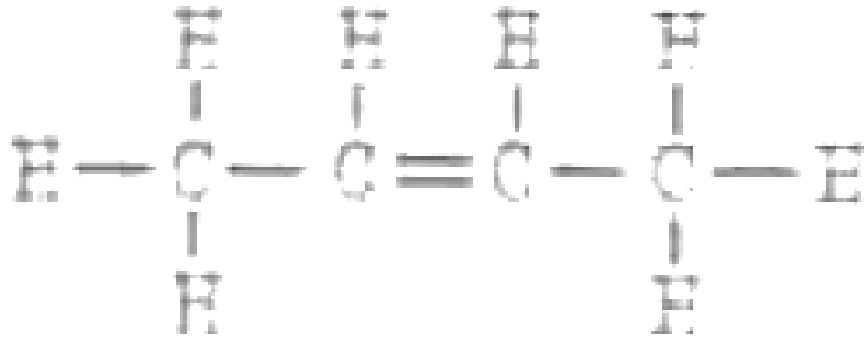


C_7H_{16} n-Heptan
(n-parafin) Doymuş HC

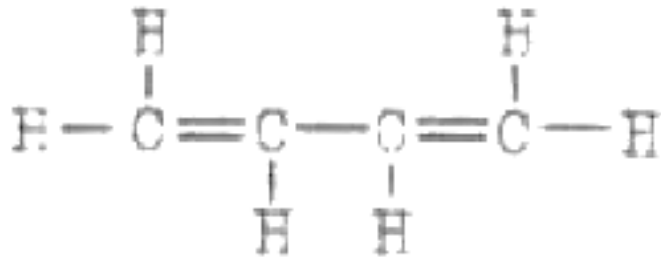


C_5H_{12} isopentan
(iso-parafin, yan zincir yapı,
normal parafinlerin izomerleri)
Doymuş HC

- Olefinler



C_4H_8 Bütlen (mono-olefin) C_nH_{2n}
Doymamış HC



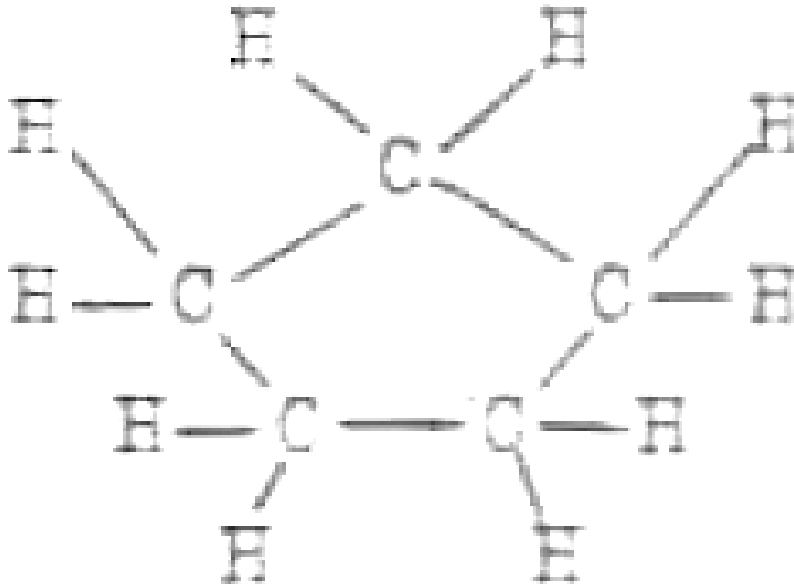
C_4H_6 Bütadien (di-olefin) $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$
Doymamış HC



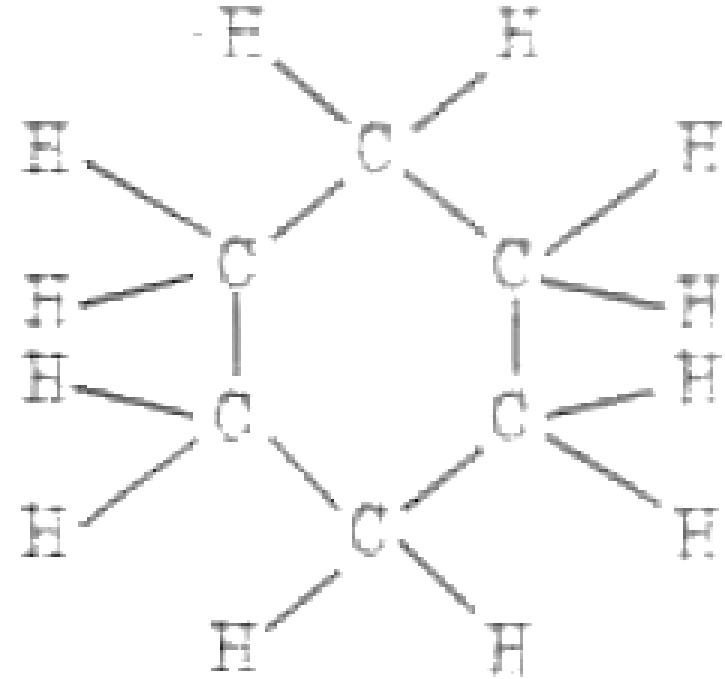
C_2H_2 Asetilen (asetilenler veya alkinler) $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$
Domamış HC

Karbosiklik Hidrokarbonlar (Halka Yapı)

- Naftenler (Siklo-parafinler veya Siklanlar) C_nH_{2n}

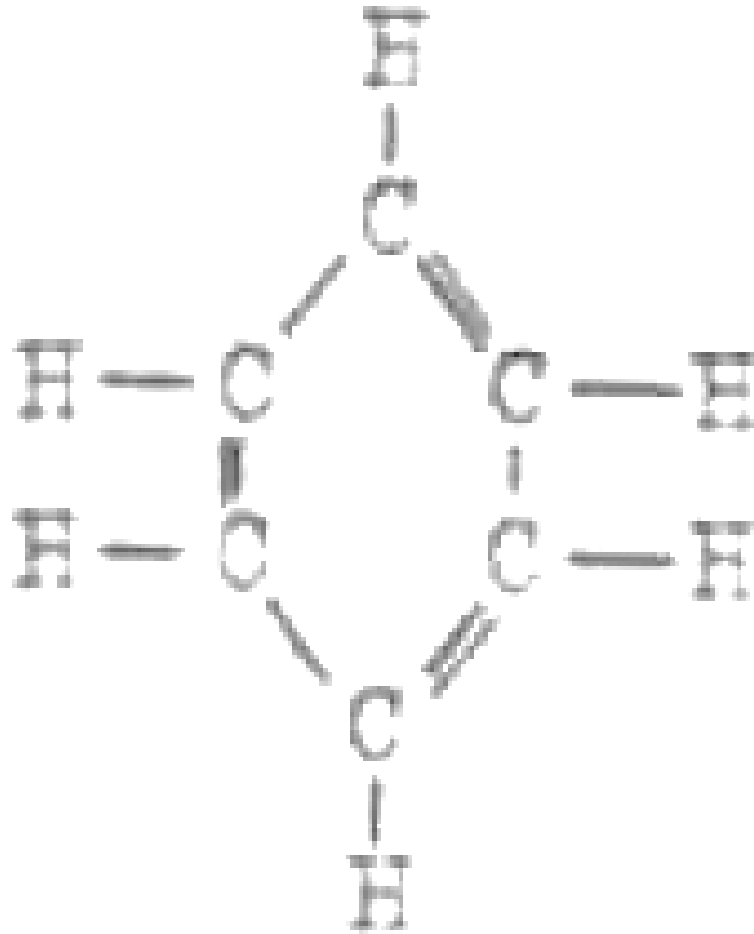


C_5H_{10} Siklopentan Doymuş HC



C_6H_{12} Sikloheksan Doymuş HC

- Aromatikler C_nH_{2n-6}



C_6H_6 Benzen Doymamış HC

Aromatlar

İso parafinler

Olefinler

Naftenler

Normal parafinler



ON azalma veya CN artma

Ham Petrol'ün Fiziksel Özellikleri

1. Yoğunluk (Özgül ağırlık)
2. Viskozite
3. Kırılma İndeksi
4. Isıl Değer
5. Parlama Noktası

1. Yoğunluk

Belirli sıcaklık (15.6°C) ve atmosfer basıncı (1atm) altındaki petrolün birim hacminin kütlesi.

Ham petrolün yoğunluğu onun kimyasal bileşimini yansıtır.

Petrol içerisindeki;

- Çözünmüş madde (gazlar: CH₄, CO, CO₂, H₂S, He, v.s.) miktarı,
- Ağır hidrokarbonların oranı,
- Sülfür oranı,

gibi faktörler petrolün yoğunluğu etkiler.

API ve BAUME Derecesi

$$A.P.I.^{\circ} = \frac{141.5}{d_{60/60^{\circ}F}} - 131.5$$

$$BAUME = \frac{140}{d_{60/60^{\circ}F}} - 130$$

$d_{60/60^{\circ}F}$ **Özgül kütle oranı:** 60°F (15.6°C) sıcaklıktaki petrolün özgül kütlelerinin (yoğunluğunun) aynı sıcaklıktaki saf suyun özgül kütlelerine (yoğunluğuna) oranı.

Özgül Ağırlık ve A.P.I.'ne göre Petrol Çeşitleri

Özgül Ağırlık (g/cm ³)	A.P.I. ^o	Petrol Çeşidi
0.7 – 0.8	70 - 45	Çok Hafif
0.8 – 0.9	45 - 25	Hafif
0.9 – 1.05	25 - 10	Ağır

2. Viskozite

Viskozite bir akışkanın (sıvı veya gaz) akmaya karşı direncini ifade eder. Akışkanlığın (akıcılığın) tersidir.

Petrolün viskozitesi onun bileşimine bağlıdır.

- Yoğunluk ve ağır HC bileşen miktarı arttıkça viskozite de artar.
- Sıcaklık arttıkça viskozite düşer.

Viskozitesinin yüksek olması petrolün taşınması (petrol boru hattı) ve yakıt üretiminde problem oluşturur.

3. Kırılma İndisi

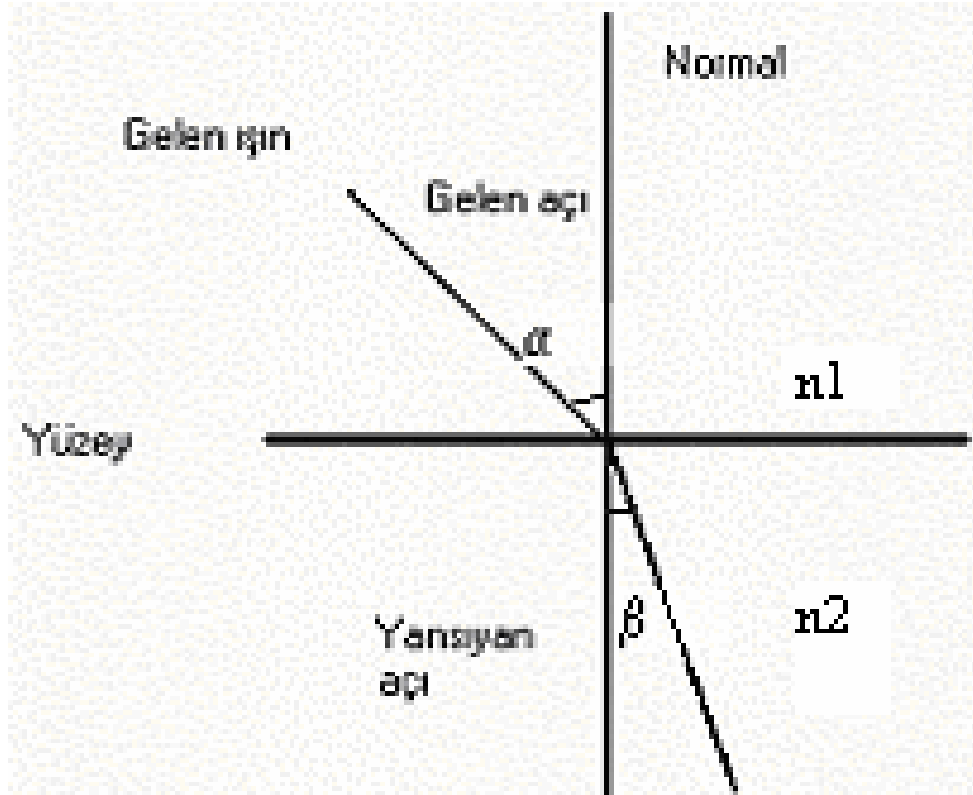
Bir maddenin **kırılma indisi**, o maddede yol alan ışığın, boşlukta yol alan ışığa göre ne kadar yavaş ilerlediğini gösteren bir katsayıdır.

$$n_i = c_v / c_i$$

c_v : Işığın boşluktaki hızı (300×10^6 m/s)

c_i : Işığın O madde ortamındaki hızı

n_i : Kırılma indisi



Snell Bağlantısı
 $\sin \alpha / \sin \beta = n_2 / n_1$

Kırılma indisleri maddelerin **türlerinin**, **saflık derecelerinin**, **konsantrasyonlarının** ve **kimyasal yapılarının** aydınlatılmasında kullanılmaktadır.

Petrolün kırılma indisi Refraktometrik Yöntemle (Abbe Refraktometresi) ölçülür.



Petrolün kırılma indisi onun kimyasal bileşimine bağlı bir özellik olup yoğunluğuna göre 1.40 ile 1.50 arasında değişir, hafif petrolerin kırılma indisi de küçüktür.

Aromatikler

Naftenler

Parafinler



Kırılma İndeksi azalma

4. Isıl Değer

Petrolün ısıl değeri (H_u) özgül ağırlığı ile ters orantılıdır.

Özgül ağırlığı 0.9 g/cm^3 API° 17 olan petrolün ısıl değeri : 10500 kcal/kg

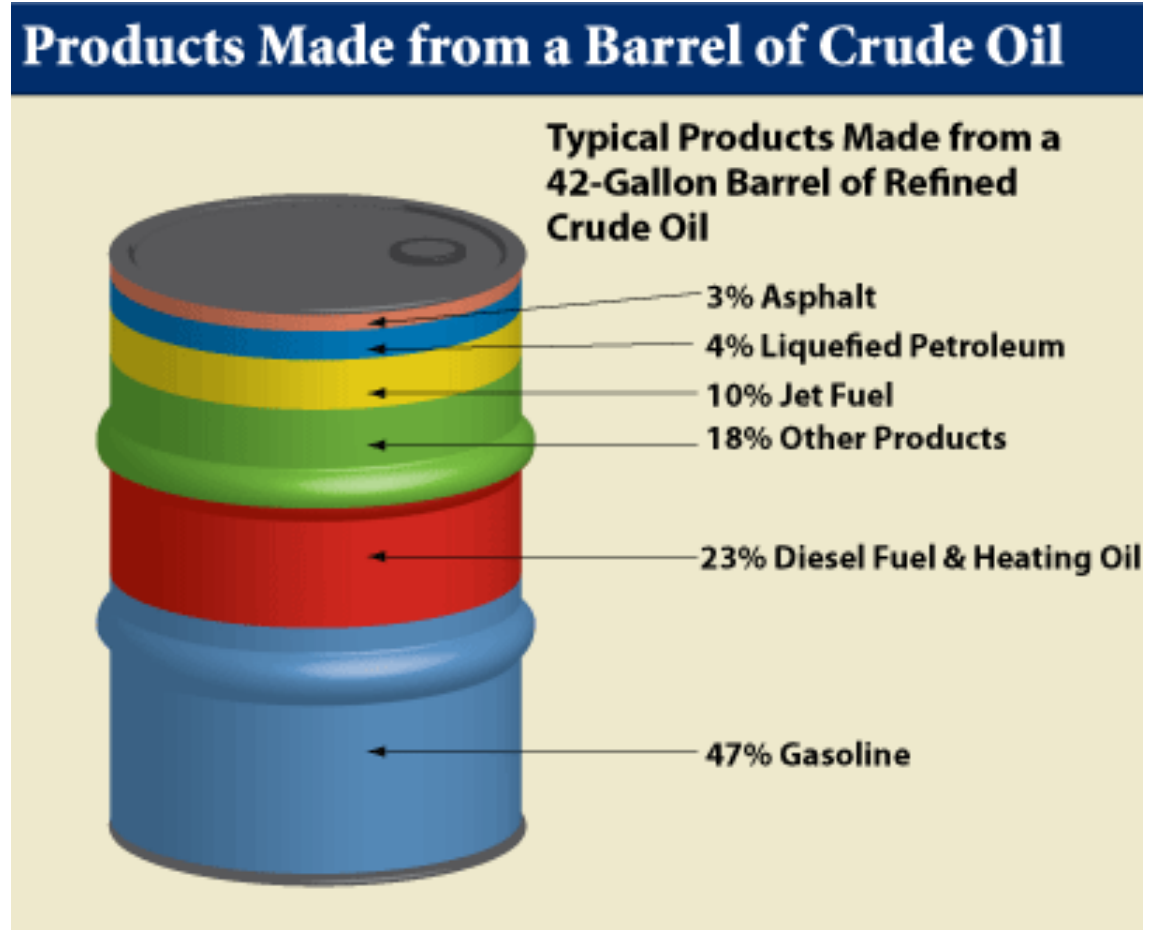
Özgül ağırlığı 0.7 g/cm^3 API° 70 olan petrolün ısıl değeri : 11700 kcal/kg

5. Parlama Noktası

Isıtılan petrol üzerine alev tutulduğunda; petrol buharının ilk alev alma anındaki petrolün sıcaklığı onun parlama noktasıdır. Bu nokta petrolün bileşimine göre değişir. Parlama noktası değişik sıcaklık derecelerinde damıtılabilen ürün oranlarının belirlenmesinde kullanılır.

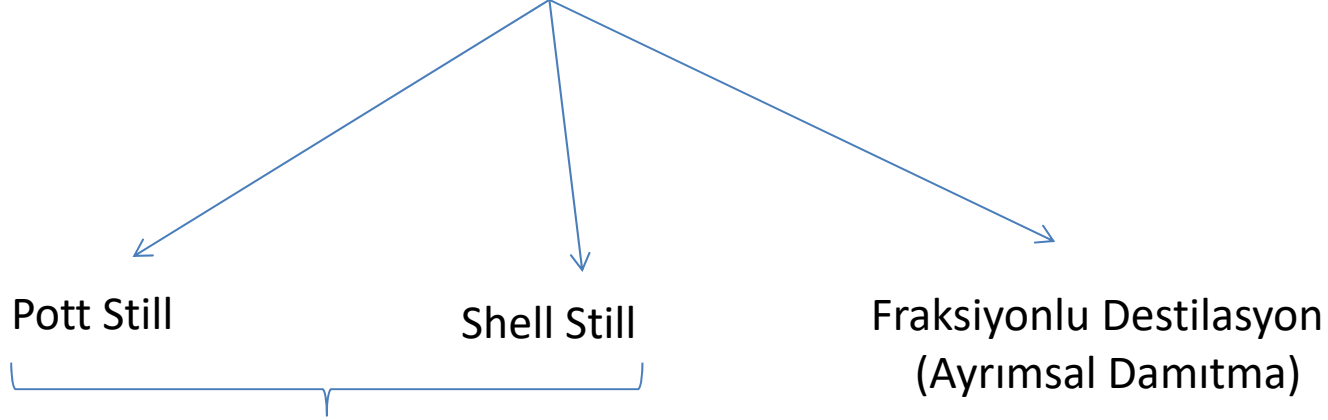
Ham Petrolden Elde Edilen Ürünler

- Benzin
- Motorin
- Kerosen (jet yakıtı üretimi)
- Petrol gazı (Lpg)
- Fuel oil (gemi, santral, ısıtma amaçlı yakıt)
- Asfalt
- Yağlama yağları
- Çeşitli kimyevi maddeler



Ham Petrolden Yakıt ve Petrol Türevi Ürünlerin Eldesi

I. Ham Petrolün Destilasyonu (Damıtılması)



Bu metotlar günümüzde kullanılmamaktadır.

II. Yarı ham türevlerin (Birincil Artıklar) iç yapılarının değiştirilmesi (Refinasyon işlemleri)

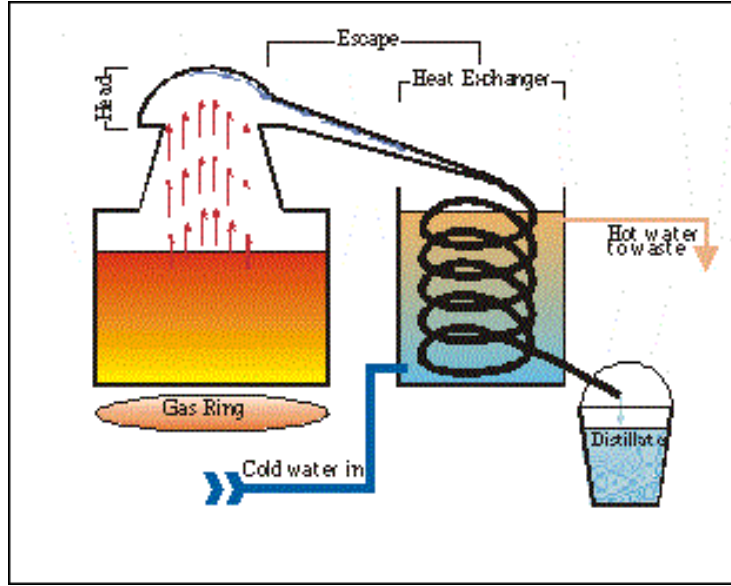
- Kraking
- Vakum Altında Destilasyon (damıtma)
- Birleştirme (Polimerizasyon)
- Alkilasyon (Düzeltilme veya Modifikasyon)
- Hidro işlem (Hydrotreating)
- Desülfürizasyon

I. Ham Petrolün Damıtılması (Destilasyonu)

Ham petrol değişik kaynama noktasına sahip kompleks hidrokarbonların karışımıdır. Destilasyon işlemi bu hidrokarbonların ayrılmasını ve farklı kaynama noktasına sahip yeni ürünlerin elde edilmesini sağlar.

Destilasyon Ürünü	Destilasyon Sıcaklığı [°C]
Petrol Gazları→LPG	10 - 35
Hafif Benzin (naphta)	35 - 95
Ağır Benzin	40 - 205
Kerosen (Gazyacağı)	160 - 250
Motorin	180 - 360
Yağlama Yağları	370 - 550
Artıklar	425 - üstü

1. Pott Still Destilasyon



Ham petrol ısıtıldıkça ilk olarak **BENZİN (~min.40°C)** buharı çıkar ve kondenserde yoğunlaştırulan bu buhar tanklara sıvı olarak pompalanır.



Bir miktar daha ısıtılan ham petrolden, **GAZYAĞI (~min.160°C)** buharı çıkar ve kondenserde yoğunlaştırulan bu buhar tanklara sıvı olarak pompalanır.



Kaba verilen ısının artırılması ile **MOTORİN (~min.180°C)** buharı çıkar ve kondenserde yoğunlaştırulan bu buhar tanklara sıvı olarak pompalanır.

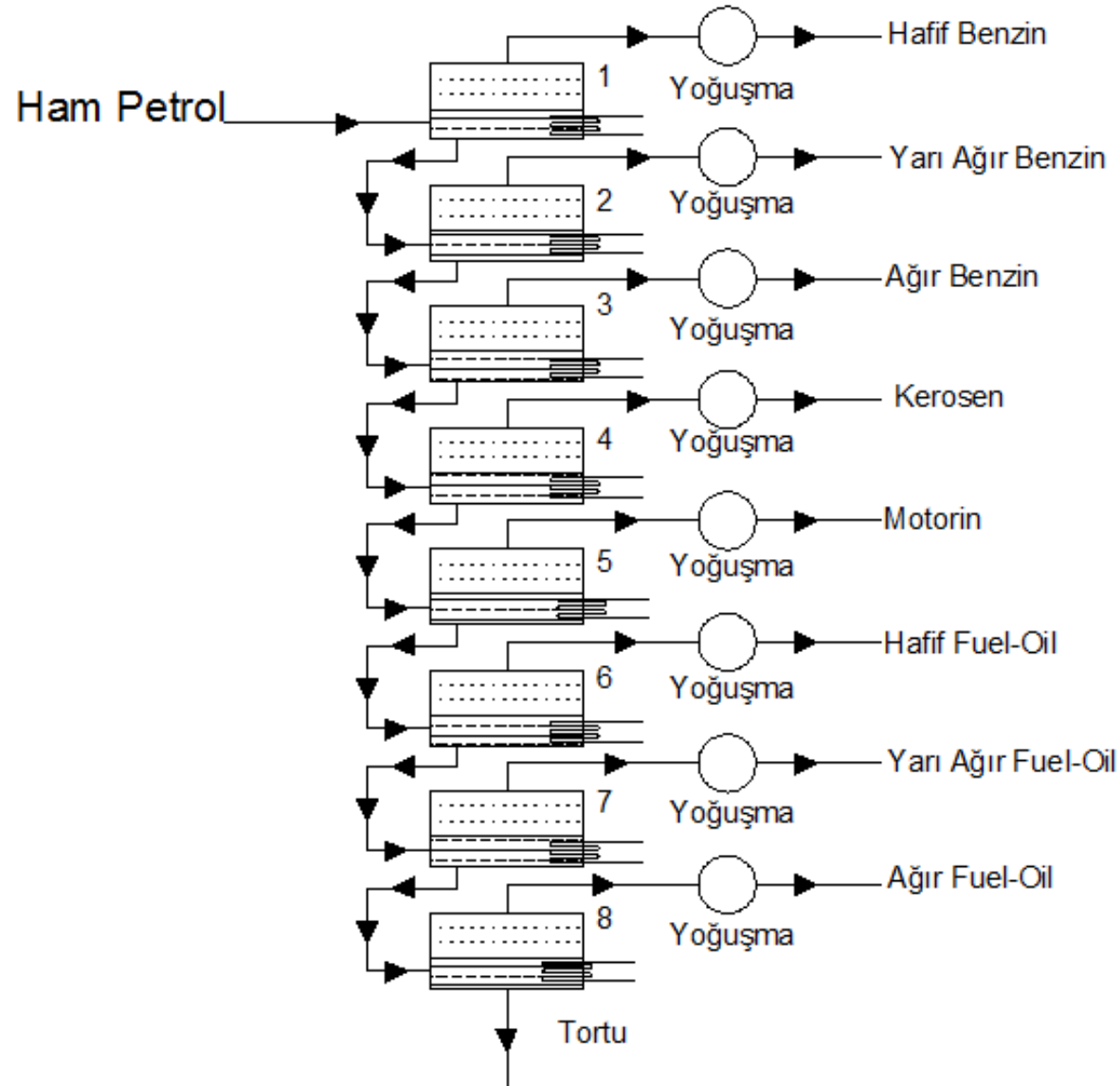


Isıtılmaya devam edilmesi ile **YAĞLAMA YAĞI (~min.370°C)** buharları çıkar ve yoğunlaştırularak depolanır.

Isıtma işlemi sonunda kaptaki kalan kalıntıya, yakıt kalıntısı (residue) olarak adlandırılır ve **FUEL OIL** olarak tanklarda depolanır.

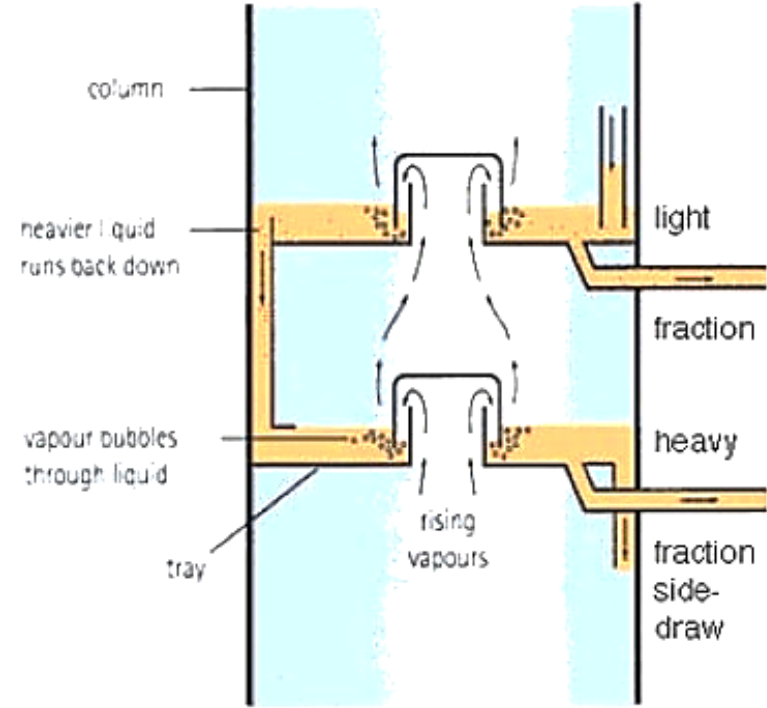
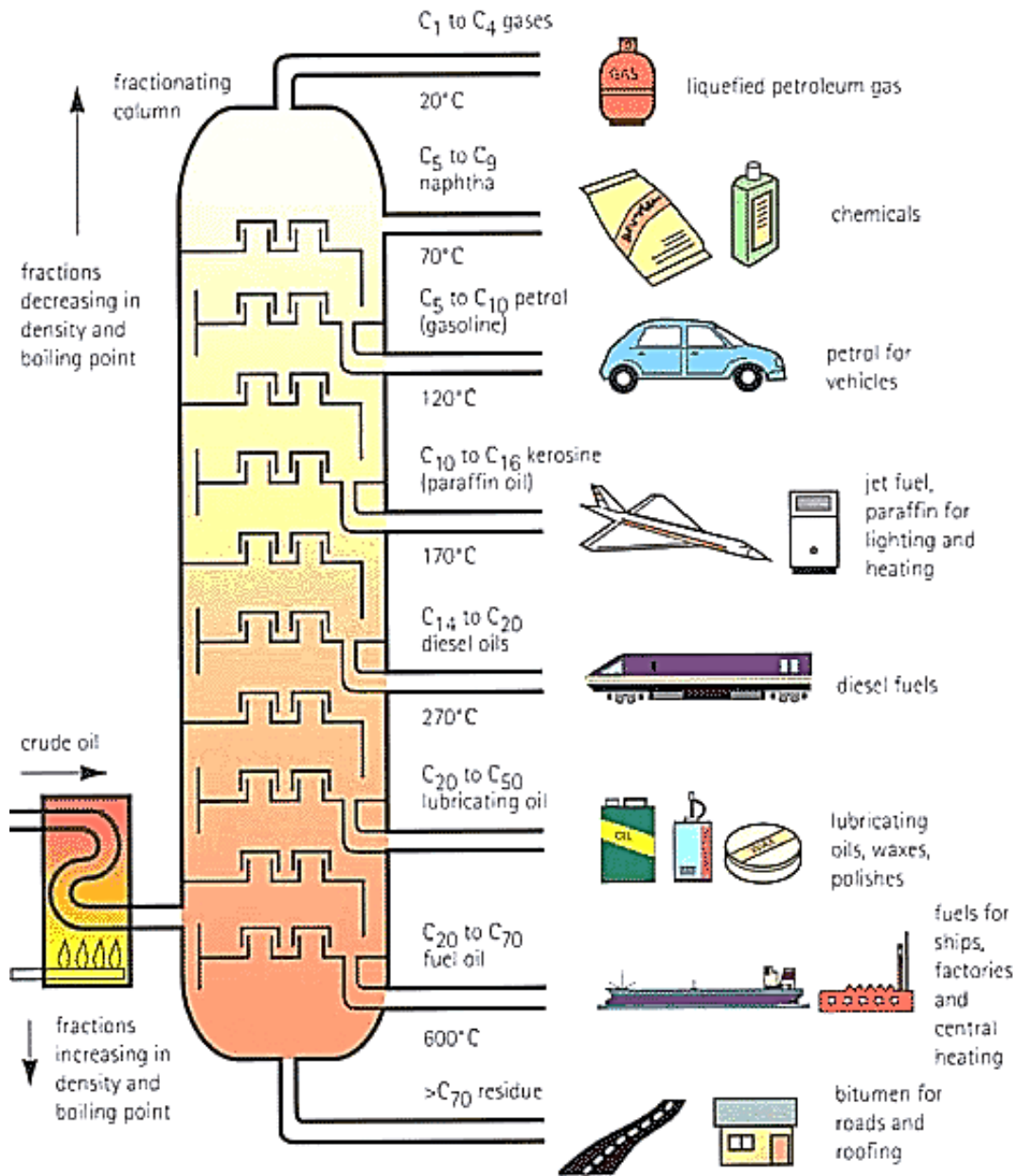
2. Shell Still Destilasyon

Prensip olarak Pott Still metodu ile aynıdır. 8 adet damıta ünitesi bulunur ve her ünite farklı destilasyon sıcaklığına ısıtılır. Böylece her üniteden farklı bir ürün elde edilir.



$$t_1 < t_2 < t_3 < t_4 < t_5 < t_6 < t_7 < t_8$$

3. Fraksiyonlu Destilasyon (Ayrımsal Damıtma)



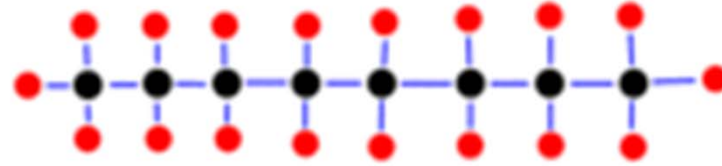
Fraksiyonlu Destilasyon

Birbiri içerisinde çözünebilen sıvıları kaynama noktası farklarından yararlanarak birbirinden ayırma işlemine fraksiyonlu destilasyon (ayrımsal damıtma) denir.

Bu yöntemde kaynama noktası en düşük olan sıvı doğal olarak en önce buharlaşır, en yüksek olan ise en sona kalır.

II. Yarı Ham Türevlerin İç Yapılarının Değiştirilmesi (Rafinasyon İşlemleri)

Kraking İşlemi



1. Termal Kraking
2. Katalizörlü Kraking
3. Hidrokraking

1. Termal Kraming

1.5 – 10 MPa basınç.
500 – 600 °C sıcaklık.

2. Katalizörlü Kraming

0.1 – 0.4 MPa basınç.
400 – 500 °C sıcaklık.
Katalizör.

Katalizörler

- Doğal Katalizörler
- Sentetik Katalizörler

Doğal Katalizörler

- Silika-Alümin bileşiminde olanlar
- İşlem görmüş bentonit kil.
- Fuller's Earths Kili.
- Alüminyum-Hidrosilikatlar.
- Boksit.
- Süper Filtrol.

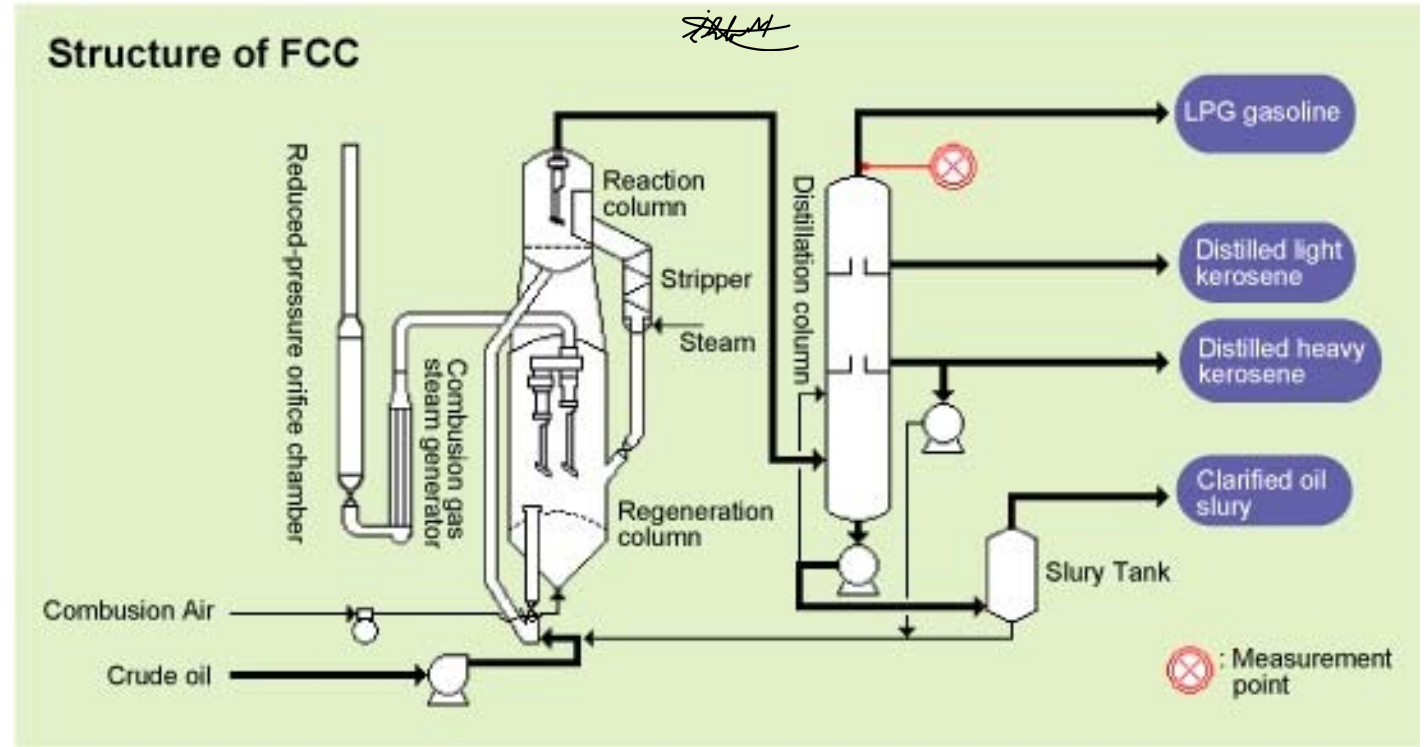
Sentetik Katalizörler

Sentetik Silika-Alümin ($AlSiO_3$). → En çok kullanılan

Sentetik Silika-Magnezyum.

Sentetik Alümin-Bor.

Sentetik Silika-Zirkonyum.



3. Hidrokraking

10 – 15 MPa hidrojen gaz basıncı.

350 – 450 °C sıcaklık.

Katalizör.

Parafin, naften ve aromatiklerin hidrojen eşliğinde ekzotermik tepkimeleri elde edilir.

Katalizör

Uygun asitlikte bir silika-alümin ($AlSiO_3$) üzerine yerleştirilmiş, molibden (Mo) ve nikel oksit (NiO) karışımından oluşur.

- Benzin, Kerosen ve hafif fuel-oil elde edilir.
- Daha çok hafif benzin elde edilir.
- Kraking koşulları değiştirilerek motorin de elde edilebilir ancak setan sayısı düşük olur.

Sıvı Yakıtlardan Beklenen Özellikler

Sıvı yakıtların özelliklerini belirleyebilmek için çeşitli deneyler yapılır. Bu özellikler ve deneyler şu şekildedir:

1. Özgül Kütle (Yoğunluk)
2. Elemanter Analiz
3. Alevlenme (Flash Point) ve Yanma Noktaları (Combustion Point)
4. Kendi Kendine Tutuşma Noktası
5. Donma (Bulutlanma) Noktası
6. Akma Noktası
7. Vizkozite ve Viskozite İndeksi

1. Özgöl Kütle (ρ)

Parafinik HC'ların (C_nH_{2n+2}) özgöl kütleleri en düşük.

Aromatik HC'ların özgöl kütleleri (C_nH_{2n-6}) en yüksek.

- Püskürtme karakteristiği (**Damlacık Çapı, Damlacık Ortalama Yolu**);
- Birim zamanda Püskürtülen Yakıt Kütlesi,

Benzin 735 kg/m³

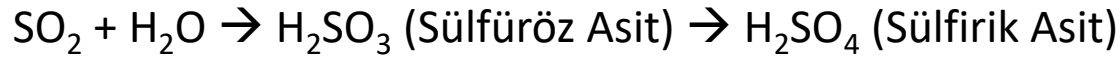
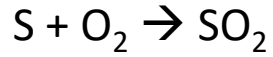
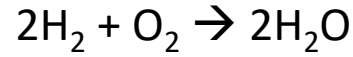
Motorin 820 kg/m³

2. Elemanter Analiz

C, H₂, O₂, S

$H_u = 34013c + 125600h + 10900(s-o) - 2512(9h+w)$ Mendeleyev ifadesi

Saf H₂'in $H_u = 120.000$ kJ/kg



H₂SO₃ yüksek sıcaklık etkisi ile parçalanır ve zararlı olmaz.

H₂SO₄ çığ (yoğuşma) noktası $\rightarrow 150^\circ\text{C}$

Ağır yakıtların motor yakıtı olarak kullanılmamasının sebebi içerisinde yüksek oranlarda S bulunmasıdır.

Ağır yakıtların içinde asfaltla birlikte bileşik halinde S bulunur.

- Normal koşullarda sert tanecikler halindedir.
- Yüksek sıcaklıklarda erir.
- Enjektörlerin tıkanmasına neden olur.

Yakıtın içerisindeki asfalt oranı %0.5 – 0.7 (kütlesel) arasında olmalıdır.

3. Alevlenme (Flash Point) ve Yanma Noktaları (Combustion Point)

Sıvı yakıtın yanabilmesi için;

- Buhar fazına geçmesi,
- Hava ile karışması,
- Yeter büyüklükte enerji kaynağı ile tutuşturulması,



Yakıt Türü	Alevlenme sıcaklığı [°C]
Benzin	20-25
Kerosen (Gazyağı)	38
Motorin	46-65

4. Kendi Kendine Tutuşma Noktası

- Yakıtta kendi kendine alev meydana gelmesi oksidasyonun sonucudur.
- Oksidasyon ekzotermik (dışarıya ısı veren) bir reaksiyondur.
- Oksidasyon sonucu açığa çıkan ısının ortama atılan ısıdan büyük olması halinde yakıt ısınmaya başlar.

5. Donma Noktası

Yakıt soğutuldukça giderek berraklığını kaybeder ve koyu bir renk alır. Bunun 2 sebebi vardır.

1. Viskozitenin artması yani akışkanlığını kaybetmesi.
2. Uzun zincir yapıya sahip parafinik HC moleküllerin kristalleşmesi yani **wax** oluşumu.

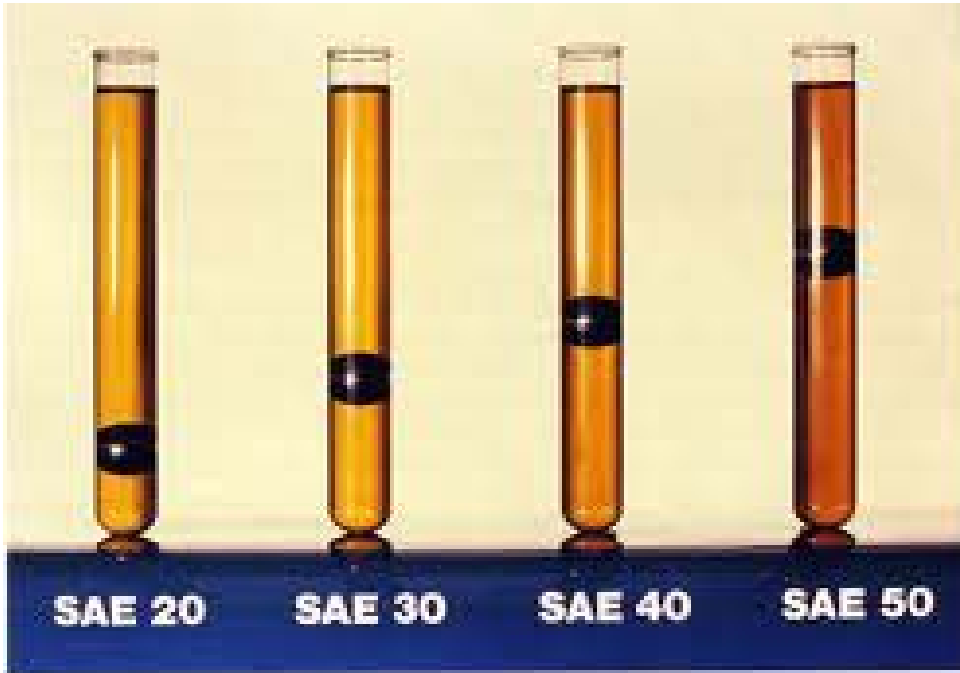
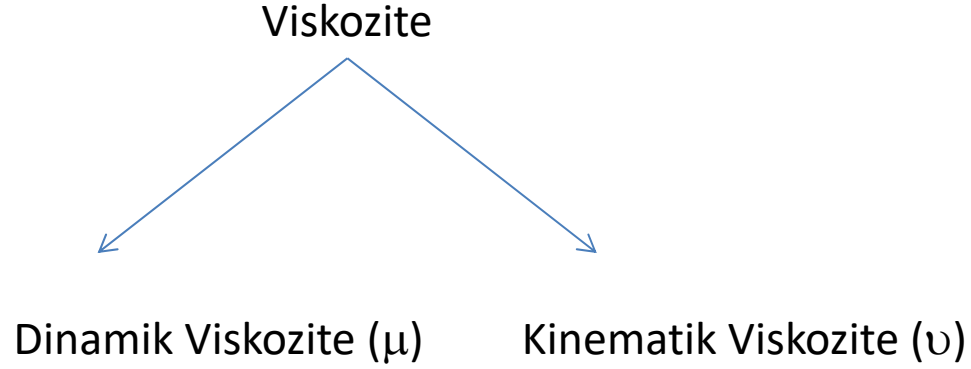
6. Akma Noktası

Donma noktası tespit edildikten sonra yakıt bir miktar daha soğutulduktan sonra tüp sarsılmadan soğutucudan çıkartılır ve yatay konuma getirilir.

7. Viskozite

Bir sıvının akmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır. Sıvı ne kadar az akıcı ise viskozitesi o kadar yüksektir.

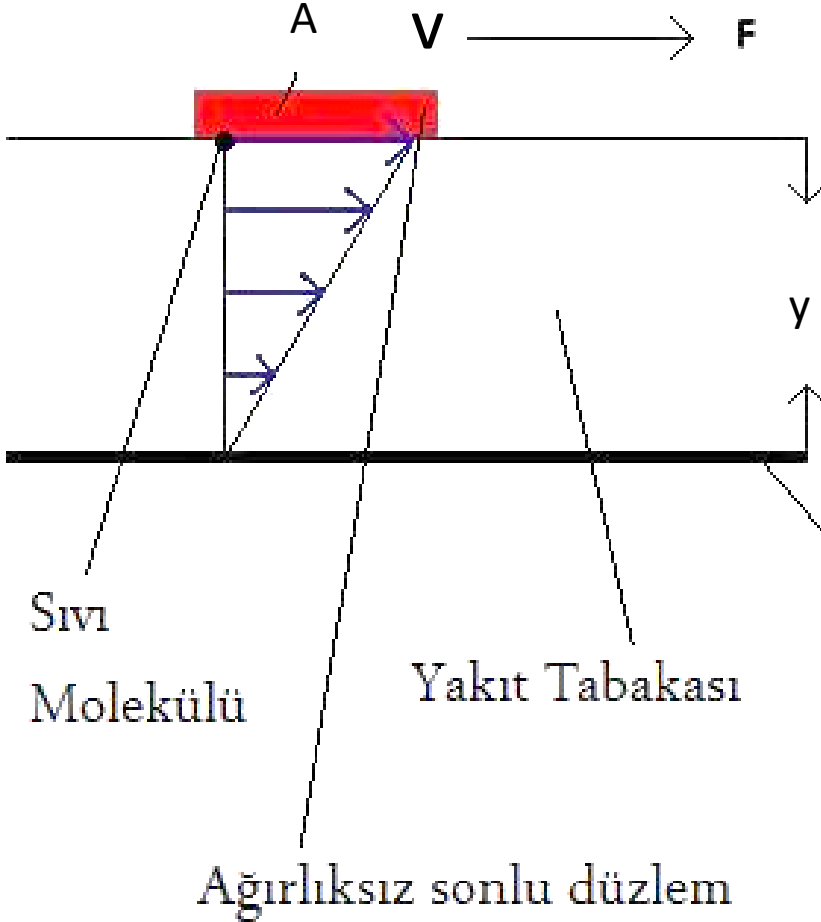
Viskozite yakıtların borulardan akışı ve püskürtme özelliklerinin belirlenmesinde kullanılır.



Dinamik Viskozite (μ)

Sıvı moleküllerinin iç sürtünmelerini karakterize eden bir katsayıdır.

Dinamik viskozite çekme kuvvetinin (F) birim yüzeye (S) düşen kısmının (yüzey gerilimi) hız gradyanına (dv/dy) bölümüne denir.

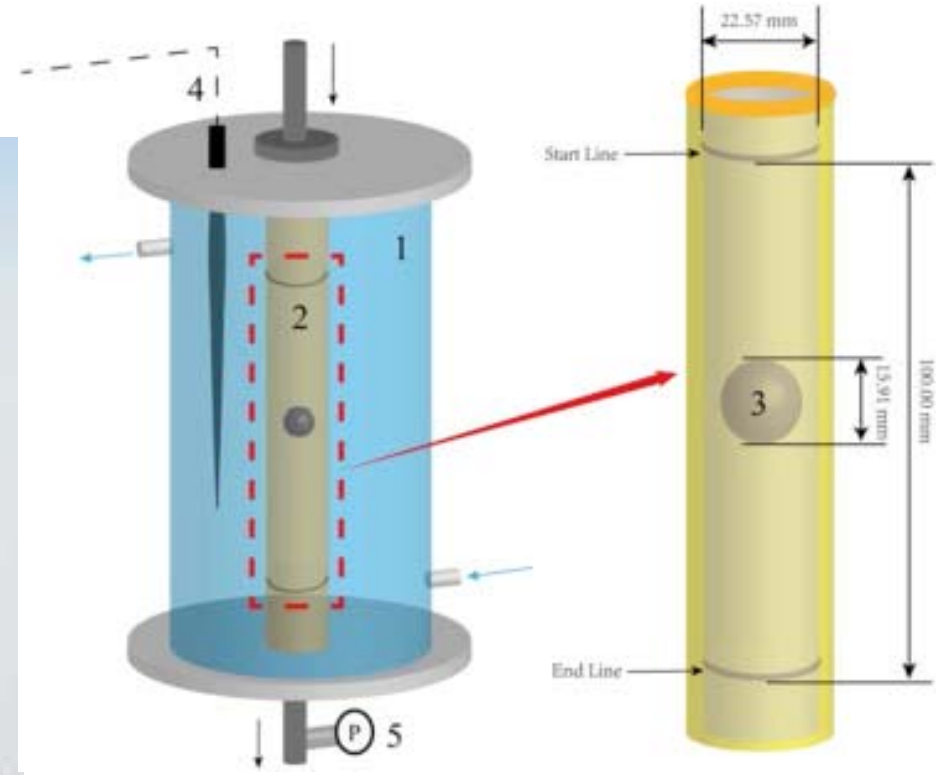


$$\mu = \frac{F}{A} \bigg/ \frac{dV}{dy}$$

Dinamik viskozite birimi: poise=[g/cm.s]

Uygulamada poise'in 100'de biri olan centipoise (cp) kullanılır.

Dinamik Viskozite Ölçümü Falling ball Viscometer



r : bilyenin yarıçapı (m)

v : limit hız (m/s)

$$v = h / t$$

h : iki çizgi arası mesafe (m)

t : bilyenin iki çizgi arasını kat ettiği süre (s)

g : 9,81 m/s² , yerçekimi ivmesi

d : yakıtın yoğunluğu (kg/m³)

d' : bilye malzemesinin yoğunluğu (kg/m³)

$$\mu = 2 g r^2 (d' - d) / 9v \quad (\text{kg/m.s})$$

Kinematik Viskozite(ν)

Dinamik viskozitedeki birimindeki (g/cm.s) kütle birimi (g) yok edilirse kinematik viskozite elde edilir.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

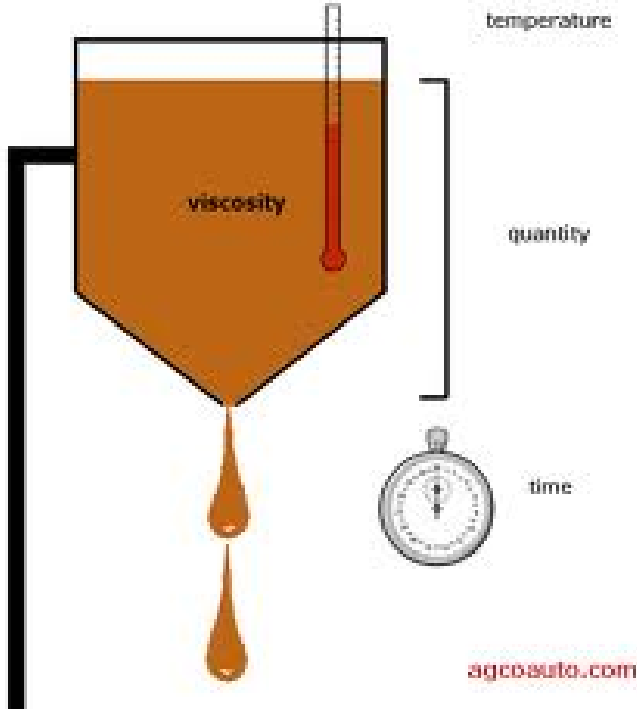
ρ : yakıtın özgül kütlesi [g/cm³]

Kinematik viskozite birimi: stokes=[cm²/s]

Uygulamada stokes'un 100'de biri olan centistokes (cs) kullanılır.

Viskozite Ölçmede Kullanılan Farklı Yöntemler

1. Saybolt Yöntemi (SSU): ABD'de 100 °F (37,8°C), 60 cm³
2. Redwood Yöntemi (RI): İngiltere'de 100 °F (37,8°C), 50 cm³
3. Engler Yöntemi (°E): Avrupa'da 20°C, 200 cm³



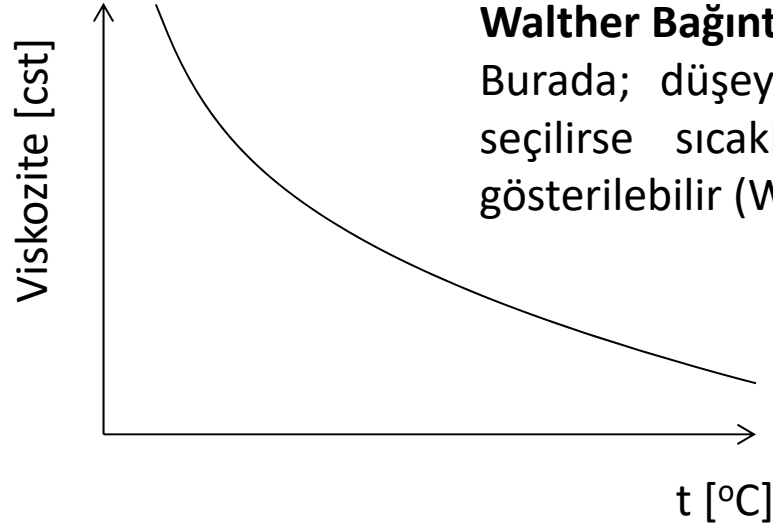
Belli sıcaklığa sahip bir yakıtın belli hacminin standart kaptan akış zamanı ölçülür.

Saybolt ve Redwood yöntemlerinde viskozite ölçme prensibi aynıdır. Ancak hacim farklıdır.

Engler yönteminde ise suyun viskozitesine göre oranlama yapılır.

Viskozite indeksi

Yakıtın viskozitesinin sıcaklıkla ne şekilde değiştiğini gösterebilmek için bulunmuş bir yöntemdir. Walther yaptığı çalışmalarda viskozitenin sıcaklıkla birlikte düştüğünü göstermiştir.



Walther Bağıntısı

Burada; dişey eksen çift logaritmik, yatay eksen tek logaritmik seçilirse sıcaklığın fonksiyonu olarak viskozite değişimi doğrusal gösterilebilir (Walther Bağıntısı).

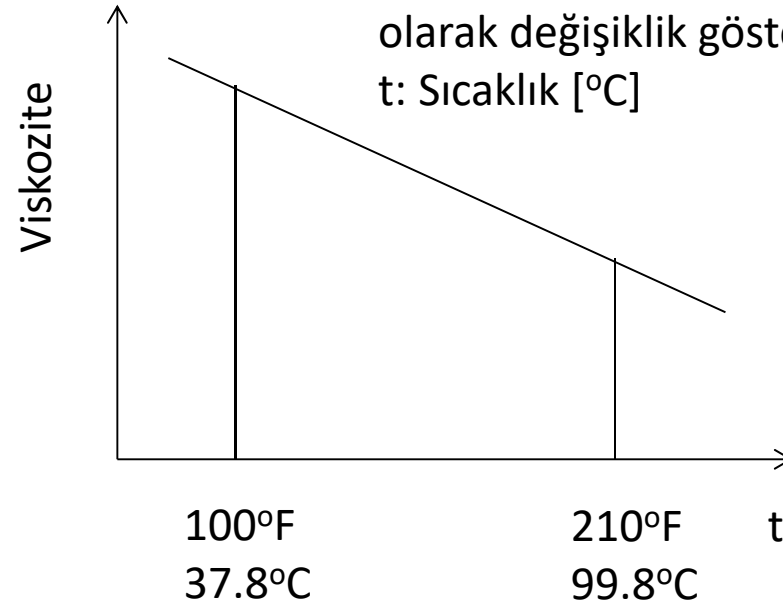
$$\log\log(\nu + k) = a \cdot \log(t) + b$$

ν : kinematik viskozite [cst]

$k=0.6 - 0.8$ yakıt için 0.6 alınabilir.

a, b : yakıtın parafinik veya naftenik olmasına bağılı olarak değışiklik gösteren katsayılar

t : Sıcaklık [°C]



$$VI = \frac{A - X}{A - B} \cdot 100$$

X gibi bir yakıtın viskozite indeksi (VI):

O yakıtın (X) kinematik viskozitesinin; A ve B gibi seçilen iki referans yakıtın kinematik viskozitesi ile karşılaştırılması esasına dayanır.

- A referans yakıtının viskozite indeksi 0,
- B referans yakıtının viskozite indeksi 100,
- X yakıtının viskozite indeksi bunların arasında kabul edilir.

VI bulunacak yakıt (**X**) ile referans yakıtların (**A ve B**) 210°F (99.8°C) sıcaklıktaki kinematik viskoziteleri eşit olmalıdır.

A : VI'i 0 olan yakıtın 100°F sıcaklıktaki kinematik viskozitesi.

X : VI'i bulunacak olan yakıtın 100°F sıcaklıktaki kinematik viskozitesi.

B : VI'i 100 olan yakıtın 100°F sıcaklıktaki kinematik viskozitesi.

HAM PETROLDEN ELDE EDİLEN YAKITLAR

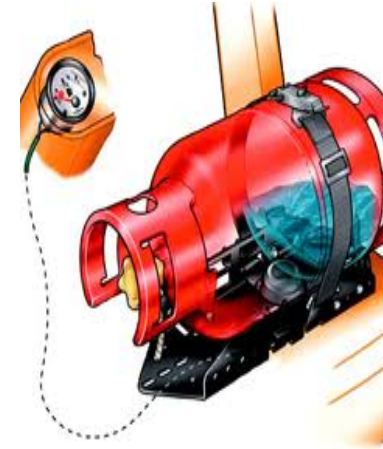
• **Benzin**
(Gasoline)



• **Diesel**
(Motorin)



• **LPG**



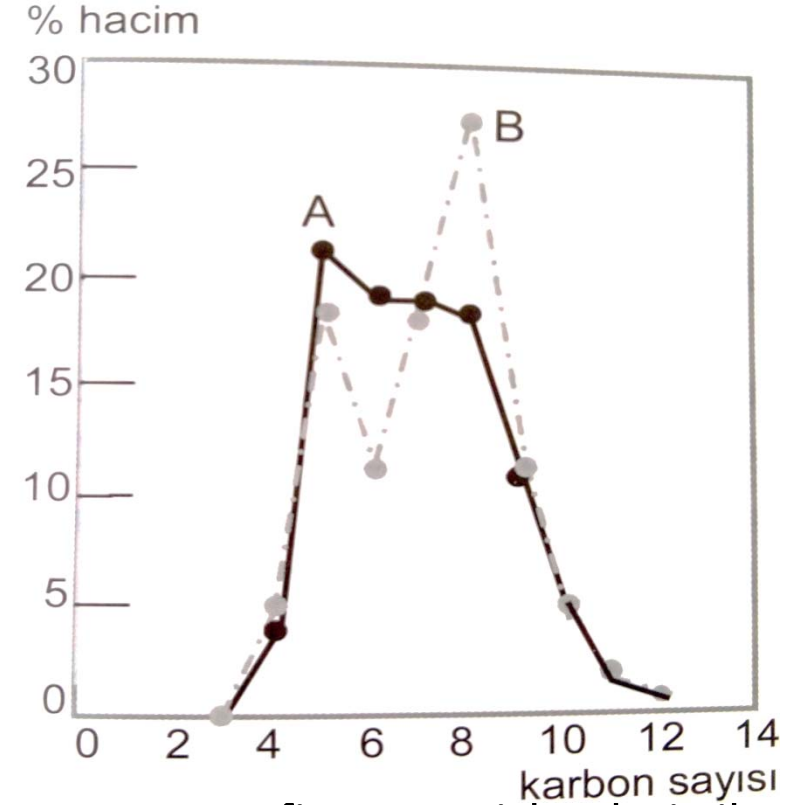
Sıvı Yakıtlar

Gaz Yakıt

BENZİN

Benzinin HC Yapısı

- C atomu sayısı 4 ile 12 arasında değişen 200 den fazla farklı hidrokarbondan oluşur.



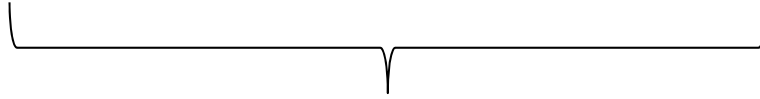
- Benzinin yapısı her zaman aynı değildir.
- Karmaşık kimyasal bileşimi rafineride destilasyon ve rafinasyon işlemleri ile belirlenir.
- Coğrafi bölgeye (iklim ve mevsim şartları) ve yerel gereksinimlere (emisyon sınırlarındaki değişim yani emisyon standartları) paralel olarak benzinin kimyasal bileşimi farklılık gösterir

Benzinde Bulunan HClar

1. Doymuş HClar

-Parafinler

Normal Parafinler (Düz Zincir Yapılı)
İso Parafinler (Dallanmış Zincir Yapılı)



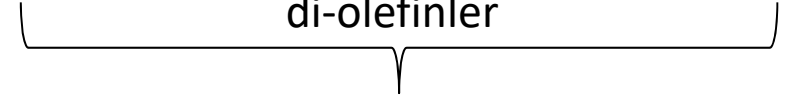
Ana bileşiklerdir is oluşturmaz

-Naftenler

2. Doymamış HClar

-Olefinler

mono-olefinler
di-olefinler



İs oluşturur

-Aromatikler

Bunların haricinde çok az miktarlarda asetilenler ile S, N₂, O₂ ve bazı metallerde bulunabilir.

Benzinin Yanma Özellikleri

- Benzin buharının yanıcı, parlayıcı olabilmesi için;

100 l. hava içinde 1,5-7,5 l.

1gr benzin 13-17gr hava ile en iyi yanmayı gerçekleştirir.

- 1l. Benzin buharlaştığında 300 l. Benzin buharı meydana gelir. Benzin buharı havdan 3-4 kat daha ağırdır.

Otto Motorlarında (Benzinli Motorlarda) Karışım Oranı ve Yanma

$$\frac{m_y}{m_h} = \frac{1}{9} - \frac{1}{18}$$

$$\frac{m_y}{m_h} = \frac{1}{15} \text{ Stokiyometrik karışım oranı}$$

Çok Fakir Karışımların Yanma Açısından Mahsurları

1. Egzozdan alev tepmesi (Yanmanın egzoz sürecinde devam etmesi)
2. Egzoz supabı oturma yüzeylerinde termik tahribat
3. Ön ateşleme ve vuruntu

Yanma hızının düşük olmasından

Çok Zengin Karışımların Yanma Açısından Mahsurları

1. İis (kurum) oluşumu
Aşınma
Isı transferinin azalması
Ön ateşleme ve vuruntu
2. Zararlı emisyonların (CO ve yanmamış HC) artışı
3. Yağlama yağının bozulması

Yakıta göre oksijen miktarının az olmasından

Otto Motor Yakıtı Olarak Benzinde Aranılan Nitelikler

1. Uygun uçuculukta olmalı,
2. Vuruntuya karşı direnci yüksek olmalı,

Destilasyon sonrası en önemli işlem oktan sayısı (ON) yükseltmedir.

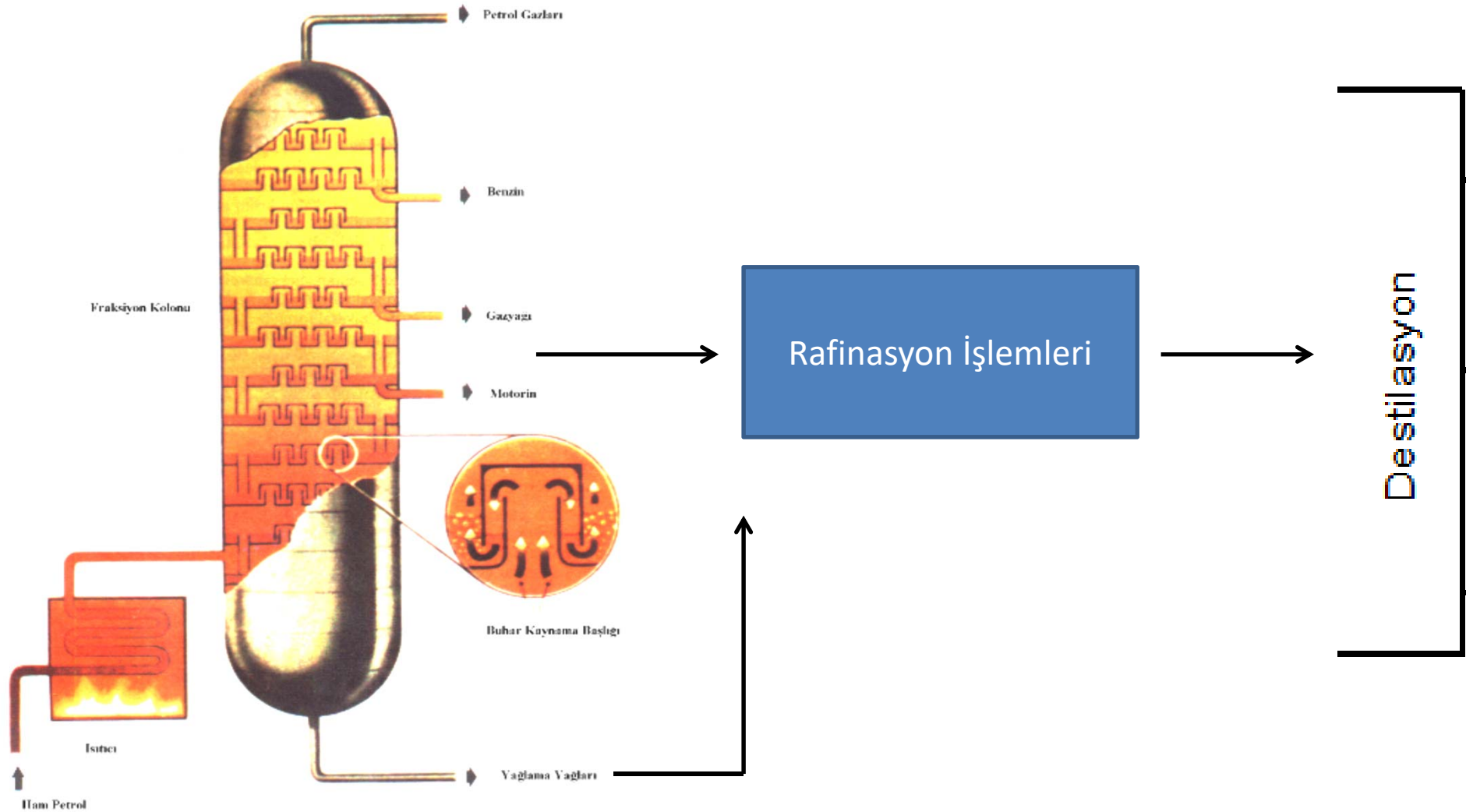
ON=95 – 97 (Türkiye)

ON azalma →

Aromatikler----- n-parafinler

3. Korozyon oluşturmamalı (su tutma özelliği olan benzinler için),
4. Tortu (gom) oluşturmamalı, (Düşük di-olefin miktarı)
5. Yanma sonucunda düşük kirletici emisyon oluşturmalı,

Benzin Üretimi



Benzinin Fiziksel, Kimyasal Özellikleri ve Yakıt Olarak Beklenenler

1. Özgül Kütle
2. Oktan Sayısı
3. Uçuculuk
4. İlk ve son kaynama noktası

1. Özgül Kütle

- Benzinin özgül kütlesi C/H atom oranına bağlıdır. Bu oran arttıkça özgül kütle de artar.
- Daha fazla aromatik (C_nH_{2n-6}) bileşik (C/H oranı fazla) içeren benzinler daha büyük özgül kütle ve daha yüksek ısı değere sahiptirler.
- Avrupa ülkelerinde benzinin özgül kütlesi ortalama $0,75 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$ 'tür.
- Özgül kütlerdeki artış **karbüratörlü** motorlarda **yakıt/hava** karışımının **fakirleşmesine**, **elektronik benzin püskürtmeli** motorlarda **zenginleşmeye** neden olmaktadır.

2. Oktan Sayısı (ON)

Benzinin vuruntuya karşı direncini belirleyen sayıdır. **ON yükseldikçe** benzinin **vuruntuya karşı direnci artar**.

Oktan Sayısının Tespiti

- C.F.R. (Committee of Fuel Research) motoru önce ON'ı belirlenecek yakıt ile çalıştırılır.
- Sıkıştırma oranı arttırılarak belli bir sıkıştırma oranında belli bir vuruntu şiddeti elde edilir.
- Daha sonra motora parafin grubu olan **n-heptan (C₇H₁₆)** ve **iso-oktan (C₈H₁₈)**'dan oluşan bir karışım yakıt konur.

n-heptan (C₇H₁₆)'ın vuruntuya karşı direnci **0**, **iso-oktan (C₈H₁₈)**'ın ise **100** kabul edilir.

- Burada amaç ON'ı tespit edilecek yakıtla aynı şartlarda aynı sıkıştırma oranında aynı vuruntu şiddetini verecek olan bir karışım elde etmektir.

ON'ı tespit edilecek yakıtla aynı şartlarda aynı sıkıştırma oranında aynı vuruntu şiddetini veren karışım yakıt içerisindeki **iso-oktan (C₈H₁₈)**'ın hacimsel yüzdesi o yakıtın ON'nı verir.

Standartlarda yakıtın oktan değeri RON ve MON olarak iki ayrı yöntemle tanımlanır.

RON : Research Octane Number

MON : Motor Octane Number

	<u>RON</u>	<u>MON</u>
Motor Devir Sayısı :	600 d/d	900 d/d
Ateşleme Avansı :	ÜÖN'dan önce 13°KMA	Değişken
Hava+Yakıt Sıcaklığı :	52.3°C	149°C
Soğutma Suyu Sıcaklığı :	100°C	100°C

$$ON = \frac{(RON + MON)}{2}$$

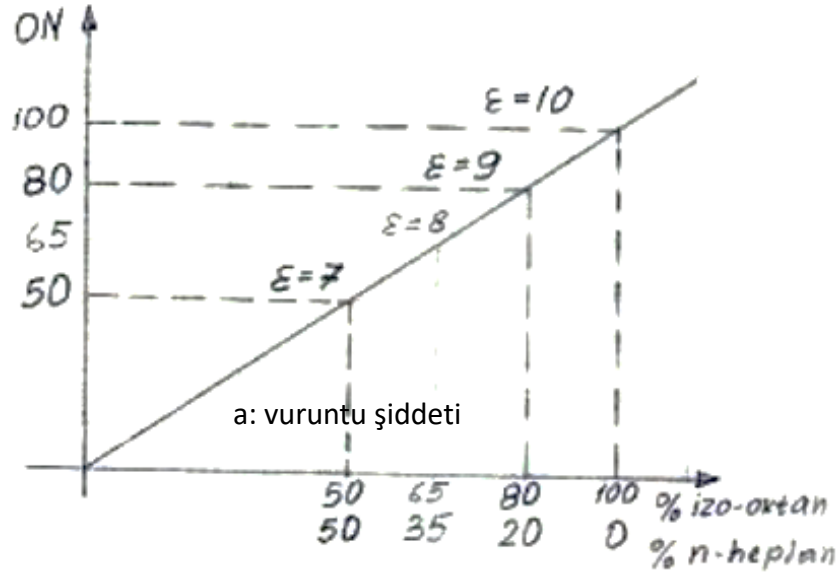
Türkiye'de sadece RON

RON > MON

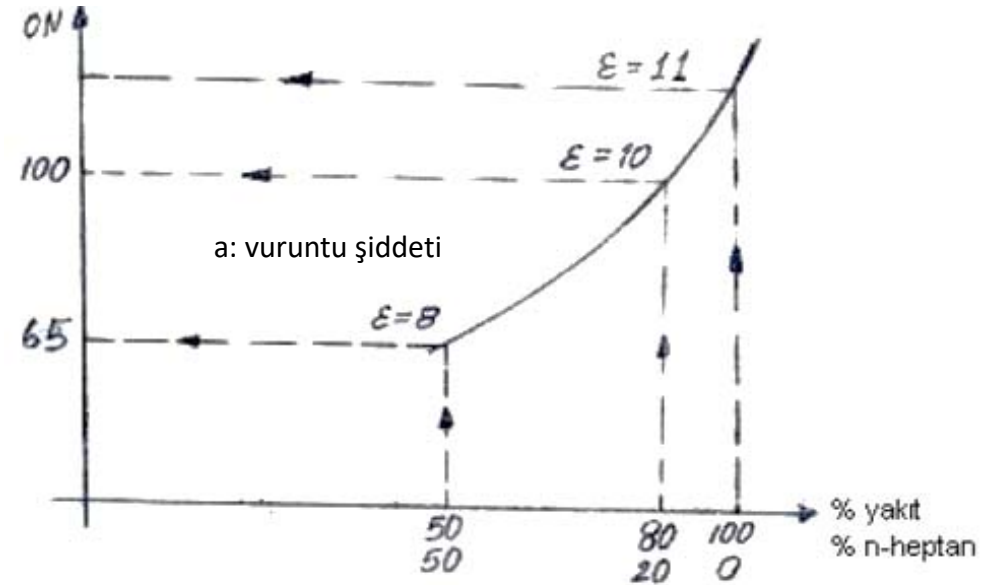
HASSASİYET (DUYARLILIK) = RON - MON

100'den Büyük Oktan Sayısının Tespit Edilmesi

- iso-oktan ve n-heptan parafinik HC'lardır.
- Sıkıştırma oranı parametre kabul edilerek değişik karışımların oktan sayısı değişim eğrisi çıkartılır.



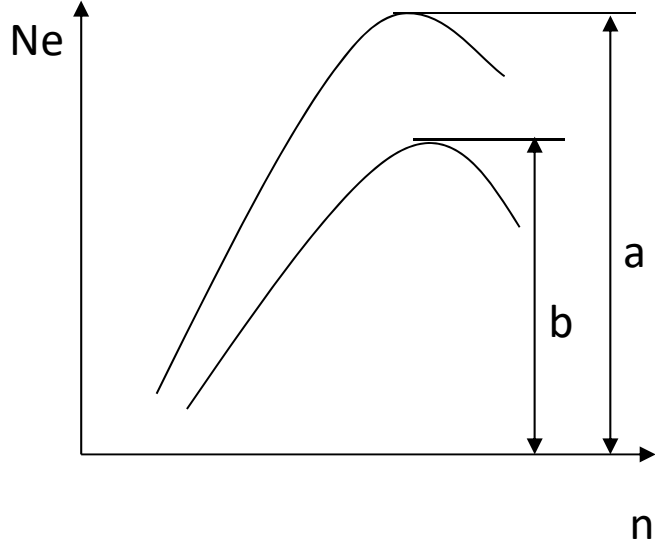
Motor saf iso oktan ile çalıştırılır. Aynı vuruntu şiddeti (a) sıkıştırma oranı 10 olduğunda elde edilmiş olsun. Bu durumda saf iso oktanın ON'ı 100'dür.



Bundan sonra 100'den büyük ON'ı tespit edilecek yakıt ile n-heptanın değişik karışımları hazırlanır. Yakıtı n-heptan karıştırıldığından ON'ı düşer.

Performans Sayısı

Bir motorun; performans sayısı tespit edilecek yakıt ile **vuruntusuz** olarak verebileceği maksimum gücün (**a kW**), aynı şartlar altında **iso-oktan (C₈H₁₈)** ile **vuruntusuz** olarak verebileceği maksimum güce (**b kW**) oranıdır.



$$PN = \frac{a}{b} \cdot 100$$

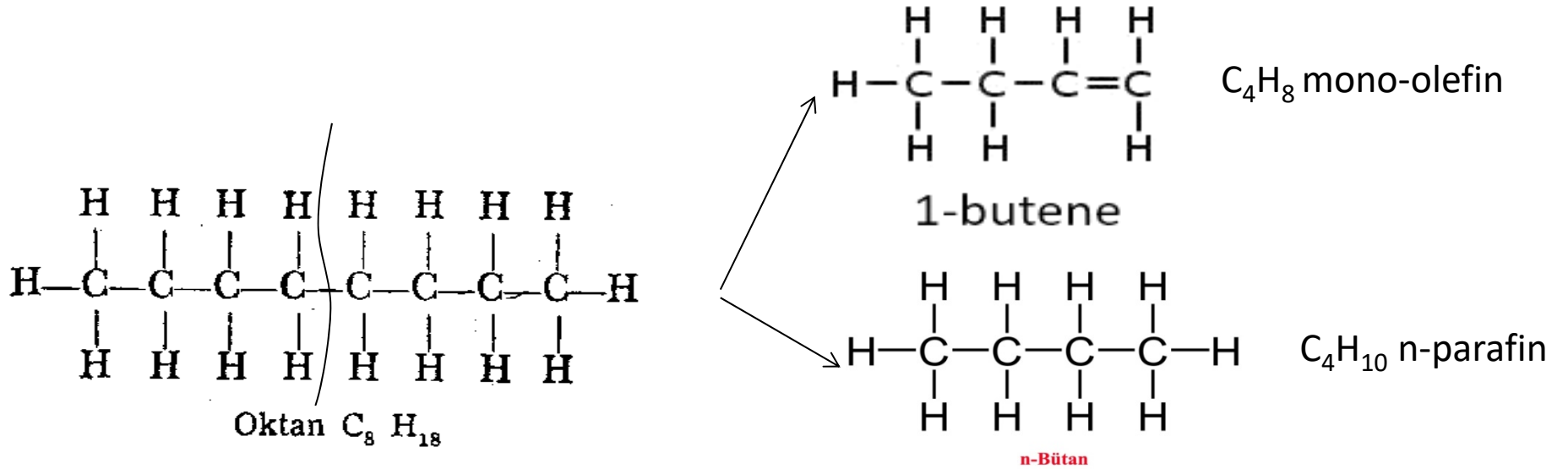
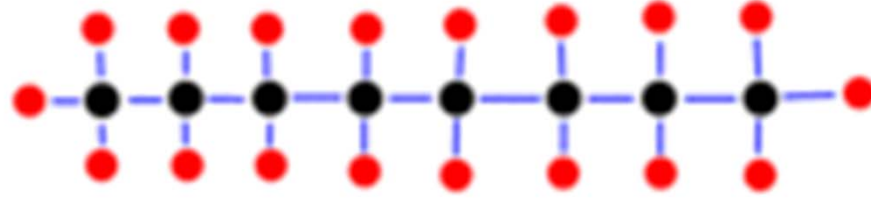
$$ON = 100 + \frac{PN - 100}{3}$$

Oktan Sayısını Arttırma Yöntemleri

1. Kraking
2. Reforming (Yeniden Şekillendirme)
3. Katık ilavesi

1. Kraking (Kırma)

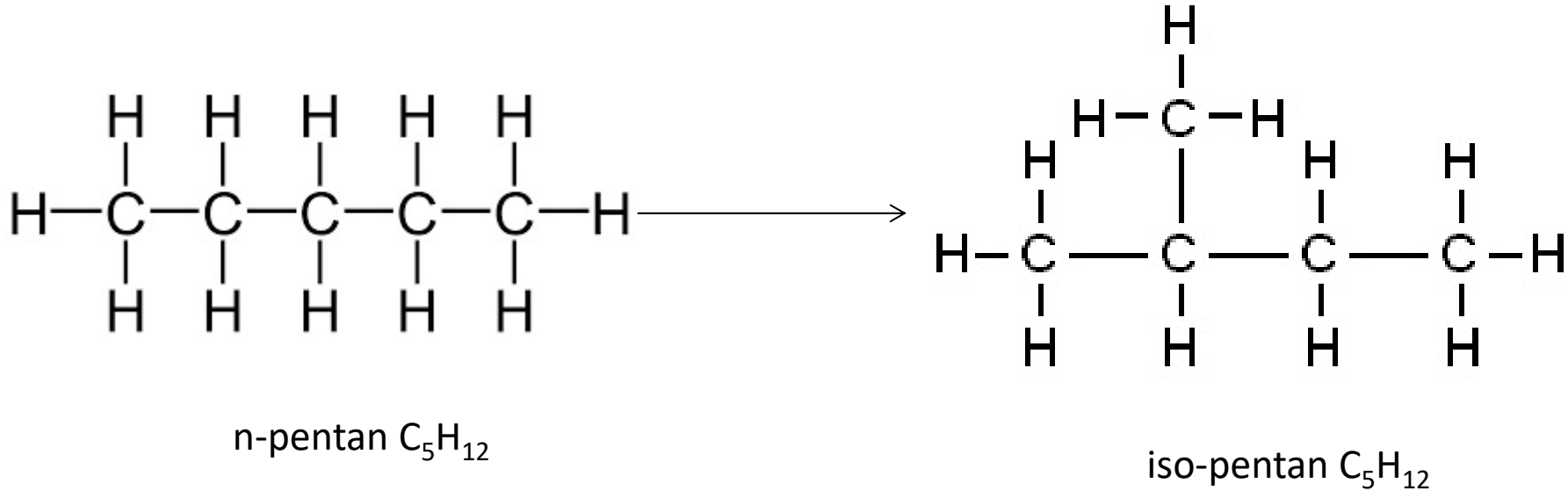
Uzun düz zincir yapılı normal parafin grubu HC bileşiklerdeki C atomları arasındaki bağlar kopartılarak daha kısa zincir yapıya ve yeni C atomu sayısına sahip **yeni HC bileşiklerin** oluşturulması.



2. Reforming (Yeniden Şekillendirme)

Düz zincir yapılı normal parafin grubu (C_nH_{2n+2}) HC bileşiklerin **dallanmış zincir yapılı iso parafin grubu** HC bileşiklere dönüştürülmesi işlemi.

İzomerizasyon Yöntemi ile Reforming : C5 ve C6 düz zincir yapılı normal parafin grubu HC bileşiklerin **atom sayıları değiştirilmeden** C atomunun molekül içerisindeki yeri değiştirilerek **dallanmış (iso)** yapının elde edilmesidir. Böylece n-parafinlerin izomerleri olan iso-parafinler elde edilmiş olur. (Hidrokraking ile yapılabilir.)



3. Katık İlavesi

Oktan Arttırıcı Katıklar

1. Organik Kurşun Bileşikleri

- Kurşun Tetra Etil: $Pb(C_2H_5)_4$ TEL
- Kurşun Tetra Metil: $Pb(CH_3)_4$ TML

2. Fosforlu Bileşikler

Tri tolin Fosfat (ICA)
 $(CH_3C_6H_4)_3PO_4$

3. Oksijenatlar

- Metanol
- Etanol
- Iso-propilalkol (IPA)
- Tetra Bütanol (TBA)
- Metil Tetra Butil Eter (MTBE)
- Etil Tetra Butil Eter (ETBE)
- Tetra Amil Metil Eter (TAME)

1. Organik Kurşun Bileşikleri

Araştırma Oktan Sayısı (RON)			
Hidrokarbonlar	Kurşunsuz	+ TEL % 0,025	+ TEL % 0,075
2-metil-pentan	73,4	84,6	93,1
2,4-dimetil-pentan	83,1	93,7	96,6
2,3-dimetil-hegzan	71,3	82,5	91,7
4-oktan	73,3	85,4	91,8
6-metil-2-hepten	71,3	84,6	90,2
İzopropilsiklopentan	81,1	89,6	94,3
Siklohegzan	83,0	92,9	97,4
Metil-siklohegzan	74,8	83,5	88,2
1,2dimetil-siklohegzan	80,9	89,8	94,5
1,1,3-Trimetil-siklohegzan	81,3	89,5	94,8
n-propylbenzen	110,5	117	118

Yandıkları zaman **PbO (kurşun oksit)** oluştururlar çevre ve insan sağlığı açısından zararlıdır.

Bir litre benzine ortalama 200-600 mg kurşunlu bileşik ilave edilmekte ve 100 km'de 10 litre yakıt tüketen bir araç bu mesafede 2-3 g kurşunu kurşun oksit olarak havaya atmaktadır.

Saatte 200 araçlık bir trafik yoğunluğunda 40-60 g/km-saat kurşun havaya aktarılır.

PbO₂'in Motor Üzerindeki Etkisi

- Motorda tahribata neden olur
- Bujide ark oluşumuna engel olur

2. Fosforlu Bileşikler: Tri tolin Fosfat (ICA) CH₃C₆H₄)₃PO₄

- Ergime sıcaklığı yüksek toz haline kalır
- Bujide ark oluşumuna **engel olmaz**

3. Oksijenatlar

Kaynama sıcaklıkları benzine göre yüksek (2 – 3 kat daha fazla).

Yakıt sisteminde korozyon etki

3. Uçuculuk

- Bir sıvı yakıtın, sıcaklıkla değişen bir buhar basıncı vardır.
- Bu basınç, atmosfer basıncına eşit olduğu anda yakıt kaynamaya (buharlaşmaya) başlar.
- Bir yakıt ne kadar uçucu ise, **kaynama noktası o kadar düşüktür** ya da başka bir deyişle **düşük sıcaklıktaki buhar basıncı o kadar yüksektir.**
- Sıvı yakıtların buhar basınçları, kapalı bir kaptaki oluşturdukları basınç ile ölçülür.
- Benzinin buhar basıncı “**Reid Buhar Basıncı (RVP)**” metodu (38°C /100F sıcaklıkta) ile ölçülür.

Reid Buhar Basıncı (RVP)



Soğuk ülkelerde ortalama yaklaşık 84 kPa

Sıcak ülkelerde ortalama yaklaşık 56 kPa

<u>Türkiye’de;</u> yazın	35 - 70 kPa
kışın	60 - 95 kPa
ortalama	63 - 66 kPa

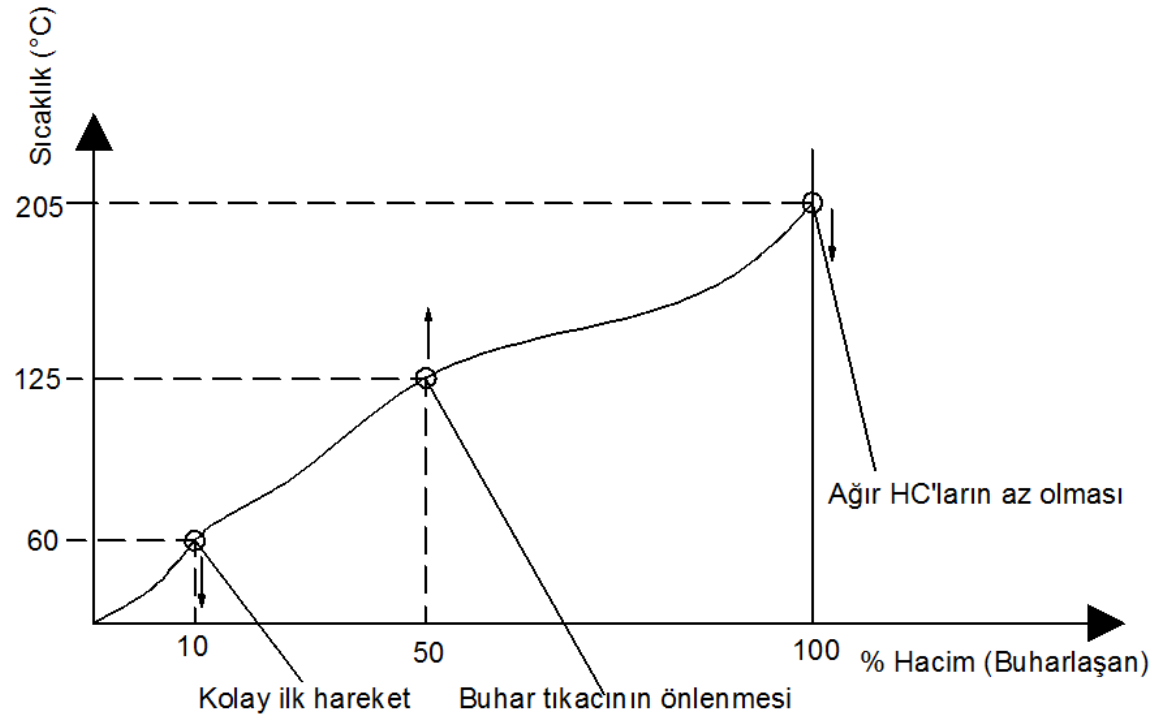
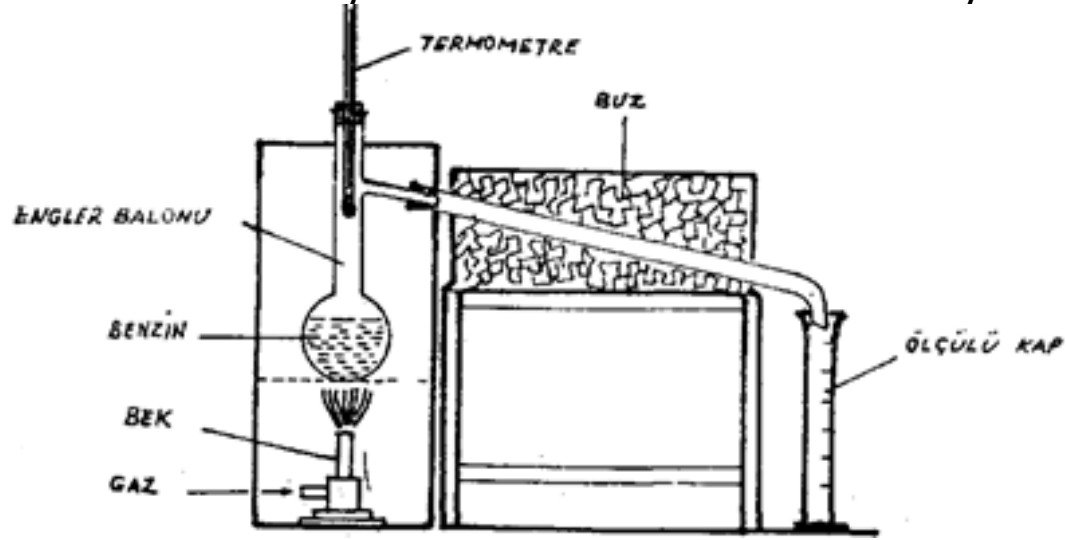
- Soğuk çalıştırmanın önem kazandığı kış aylarında, benzinin içerisinde bulunan **bütan (C₄H₁₀)** ve **pentan (C₅H₁₂)** gibi daha uçucu maddelerin konsantrasyonu yükseltilir ve bu tip benzine **kış benzini**, sıcak çalıştırma döneminde ise bu konsantrasyonlar düşürülür, bu tip benzine de **yaz benzini** denir.
- Eğer benzinin buhar basıncı depolandığı iklime göre yüksek ise, buharlaşmadan dolayı büyük kayıplar söz konusu olabilir.

Motor Yakıtı Olarak Uçuculuk Açısından Beklenen Özellikler

- Düşük ortam sıcaklıklarında kolay ilk hareket
- Motorun ivmelenme yeteneğinin yüksek olması
- Buhar tıkaçının önlenmesi

4. İlk ve Son Kaynama Noktası

- İlk ve son kaynama noktası benzinin destilasyon karakteri ile ilgili büyüklüklerdir.



Biyobenzin (Bioethanol) ve Eldesi

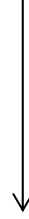
Kimyasal formülü C_2H_6O ya da C_2H_5OH olan buğday, patates, mısır, şeker pancarı gibi nişasta ve şeker bitkilerinden elde edilen susuz bir alkoldür.

- Renksiz, berrak, yanıcıdır, biyolojik olarak bozunur ve çevre açısından bir tehdit oluşturmaz.
- Yüksek oktanlı bir yakıttır. Benzinde oktan arttırıcı katık olarak da kullanılır.
- Ethanol ile benzini karıştırarak zararlı emisyonları (sera etkisi yaratan) azaltmak mümkündür.

Biyoeanol üç temel hammaddeden üretilebilmektedir:

- Şeker Bazlı Hammaddeler (şeker kamışı, şeker pancarı v.b.)
- Nişasta Bazlı Hammaddeler (mısır, buğday, arpa, patates v.b.)
- Selüloz ve Hemiselüloz Bazlı Hammaddeler (odun, saman, sap v.b. Yani biyokütle)

Bioethanol Eldesi



Fermantasyon (En çok kullanılan Yöntem)

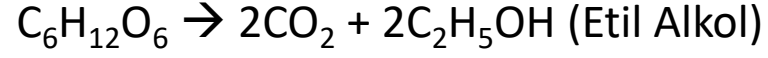
Şeker Bazlı, Nişasta Bazlı, Selüloz Bazlı Hammaddeler

Selülozdan (biyokütle) elde edilecekse;

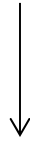
- Yüksek sıcaklıkta gazlaştırma ile CO, CO₂ ve H₂ gibi sentez gazları elde edilir,
- Oksijensiz ortamda yaşayan bakteriler (anaerobik bakteriler) bu sentez gazlarını fermantasyonla ethanole (C₂H₅OH) dönüştürür.

Şeker ve nişasta bazlı hammaddelerden elde edilecekse gazlaştırma işlemine **ihtiyaç yok,**

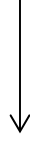
Şeker pancarı ve şeker kamışından etanol üretimi aşağıdaki temel reaksiyona dayanır. (Alkol Fermantasyonu)



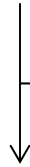
$C_6H_{12}O_6$ (Glükoz)



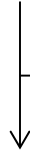
Fermantasyon



%8 - %10 Etil Alkol Çözeltisi



Destilasyon



%96 saflıkta Etil Alkol

Füzel Yağları (Fermantasyon sırasında yan ürün olarak elde edilen, başlıca bütül alkol (C_4H_9OH) ile izoamil alkolden ($C_5H_{11}OH$) oluşan karışım.)

İstenmeyen sıvı atıklar

Bioethanol'ün Avantajları

1. Yerli, yenilenebilir bir yakıt kaynağıdır.
2. Petrol için dışa bağımlılığı azaltır.
3. Toksik değildir.
4. Düşük maliyet ile benzinin oktan sayısını artırır.
5. Genelde bütün benzinli araçlarda yakıt olarak kullanılabilir.
6. Üretimi kolaydır.
7. Fosil yakıtlara göre % 40-80 daha az sera gazı (CO₂) yayar.
8. Asit yağmurunu azaltır.
9. Çevreye zarar vermez.

Özellik	Benzin	Bioethanol
Özgül Ağırlık, 15°C (g/cm ³)	0.72 – 0.78	0.791
Kinematik Viskozite 40°C (mm ² /s)	0.8	1.13
Stokiyometrik Hava/Yakıt Oranı	14.5	9
Alevlenme Noktası (Flash Point) (°C)	220	420
RON	91	109
MON	80	98
Buharlaştırma Gizli Isısı (kJ/kg)	376 - 502	903
Alt Isıl Değer (MJ/kg)	42	27

Bioethanol'ün Motor Yakıtı Olarak Kullanılması

1. Oktan Sayısı
2. Yakıt Filtresi
3. İlk Çalıştırma
4. Malzeme Uyumu
5. Motor Garantisi
6. Motor Karakteristik Değerleri
7. Egzoz Emisyonu

1. Oktan Sayısı

- Oktan arttırıcı katık olarak kullanılır.
- Benzine %10 (hacimsel) biyoethanol ilave edildiği zaman oktan sayı 2 birim artar.

2. Yakıt Filtresi

- Bioethanol çözücüdür. Aracın deposundaki ve yakıt hattındaki kalıntıları çözer.
- Bu sebeple bioethanol kullanıldığında yakıt filtresinin daha kısa aralıklarla değiştirilmesi gerekir.

3. İlk Çalıştırma

- Bioethanol'ün buharlaşma gizli ısısı benzinden daha fazladır.
- Bioethanol-Benzin karışımlarının özellikle soğuk ortamlarda ilk hareket zorluğu vardır. İlk hareket kolaylığı için saf benzine ihtiyaç vardır.

4. Malzeme Uyumu

- Alüminyum
Pirinç
Çinko KOROZYON
Kurşun
- Benzin içerisinde bioethanol miktarı artıkça (>E10) korozyon etkisi de hızla artmaktadır.
- Bu sorunu gidermek için bioethanolle uyumlu olan **TEFLON** ve **FLOR** kaplanmış termoplastik malzemeler kullanılmalıdır.
- Yine korozyonu önlemek için yakıt filtrelerinde paslanmaz çelik malzemeler kullanılmalıdır.

5. Motor Garantisi

- Motor garantisi açısından izin verilen maksimum karışım oranları (hacimsel)

İngiltere → %5 (E5)

ABD → %10 (E10)

- Bioetanol için özel üretilmiş motorlarda, %85 etanol - %15 benzin (E85) karışımı veya %100 etanol kullanılabilir. Bu motorlar %85 veya %100 etanol sınırına kadar her oranda etanol-benzin karışımı ile çalıştırılabilir.
- Ülkemizde sadece Petrol Ofisi bioetanol harmanlaması yapmakta ve istasyonlarında biobenzin adı ile satmaktadır. Bu benzinin içerisinde hacimsel olarak %2 oranında bioetanol vardır. Türkiyede %5'e kadar müsaade edilmektedir.

6. Motor Karakteristik Değerleri (Efektif Güç, Moment, Özgül Yakıt Sarfiyatı, Toplam Verim)

Hacimsel olarak düşük seviyedeki bioetanol karışımlarının kullanılması ile motor karakteristik değerlerinde kayda değer bir değişiklik olmamaktadır.

7. Egzoz Emisyonu

Tam seyir çevriminde (NEDC-New European Driving Cycle) bir litre % 100 benzin yerine E10 yakıtı kullanıldığında;

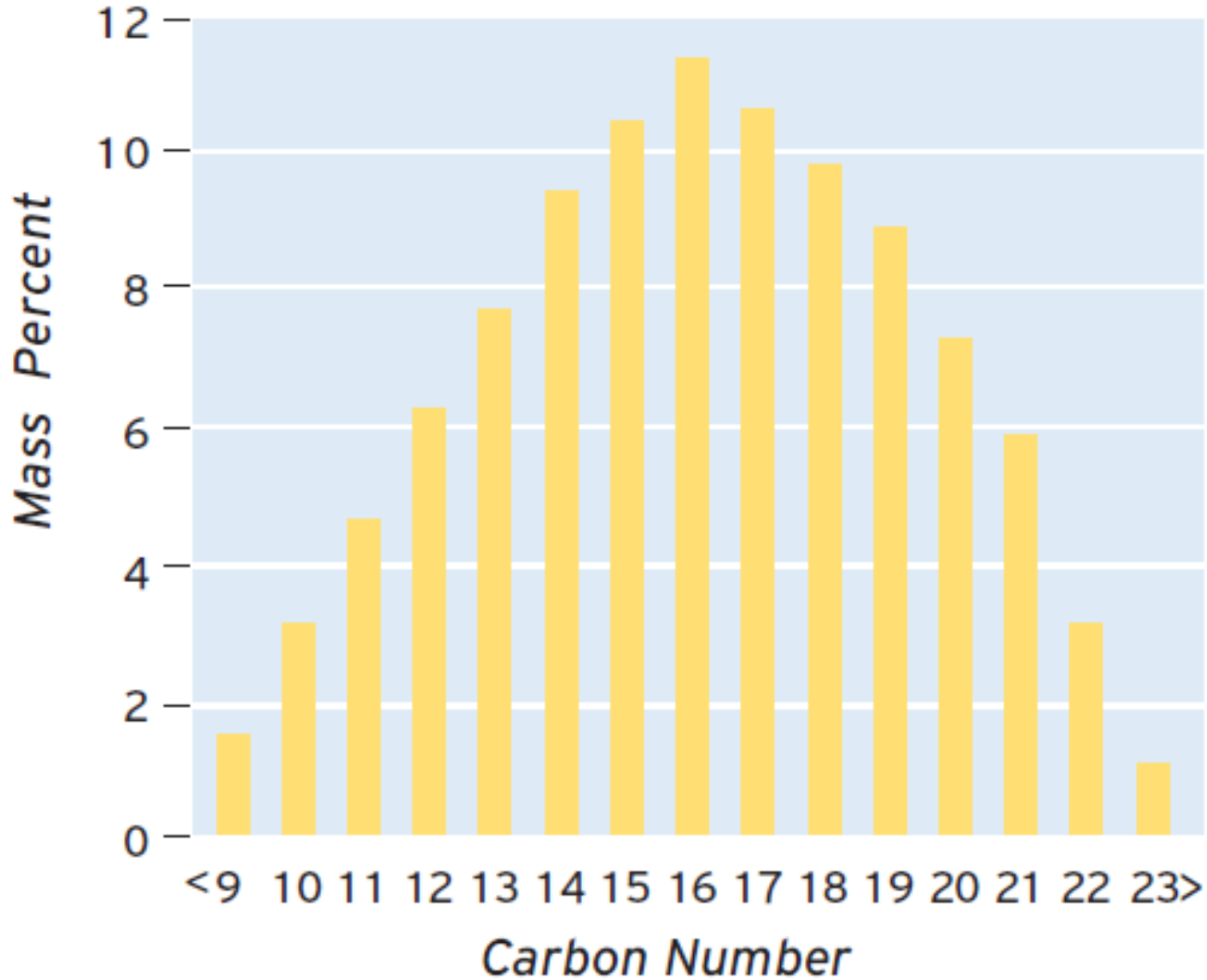
- Nişasta bazlı hammaddelerden üretilmişse; sera etkisi yapan gaz (CO₂) emisyonu % 3-4
- Selülozdan üretilmişse; sera etkisi yapan gaz (CO₂) emisyonu % 6-8 azalır.

%100 benzin yerine E85 yakıtı kullanımı emisyonları (CO₂) % 75'ye kadar düşürebilir.

Diesel Yakıtı (Motorin)

Ham petrolün damıtılması sırasında 180 – 360 °C kaynama aralığında alınan üçüncü ana üründür.

9 ile 23 arasında C atomu içeren kompleks bir HC yapısına sahiptir.



Motorinde Bulunan HClar

1. Doymuş HClar

-Parafinler

Normal Parafinler (Düz Zincir Yapılı)

- Setan sayıları **yüksek**
- Düşük sıcaklıklarda akıcı **değil**
- Isıl değerleri **düşük**

İso Parafinler (Dallanmış Zincir Yapılı)

- n-parafinlerle aromatikler arasında özelliklere sahip

-Naftenler

2. Doymamış HClar

-Aromatikler

- Setan sayıları **düşük**
- Düşük sıcaklıklarda **akıcı**
- Isıl değerleri **yüksek**

İçten Yanmalı Motorlarda Kullanılan Diesel Yakıtların Sınıflandırılması

ASTM (American Society for Testing and Materials) standartlarına göre dizel yakıtları üç derecede değerlendirilmektedir.

- **No.1-D**: Petrolün destilasyonu ile elde edilir ve sonrasında rafinasyon işlemleri ile yabancı maddelerden arındırılır. Değişik hızlarda ve yüklerde çalışan motorlarda (taşıt dizel motorları) kullanılan uçucu dizel yakıtıdır.
- **No.2-D**: Destilasyon ve kraking ürünlerini ihtiva eden , No.1-D'ye göre buharlaşma özelliği azdır. Ağır hizmet ve endüstri motorları (büyük sabit yükler altında çalışan motorlar) yakıtıdır.
- **No.4-D**: Destilasyon, kraking ürünlerinden ve bazı atıklardan oluşan düşük veya orta hız motorlarının (gemi dieselleri) yakıtıdır.

Özellik	1-D	2-D	4-D
Setan sayısı (CN) Minimum	40	40	40
Alevlenme Noktası (Flash Point) (°F)	100	125	130
Viskozite (SSU/100°F)	30 – 34 s.	33 – 45 s.	45 – 125 s.
Kül (% Kütlesel)	0.01	0.02	0.1
Kükürt (% Kütlesel)	0.5	1.0	2.0

Diesel Yakıtından Beklenen Özellikler

1. Viskozite
2. Akma Noktası
3. Uçuculuk
4. Setan Sayısı (CN)
5. Diesel İndeksi

1. Viskozite

İdeal yakıt-hava karışımının (homojen karışım) elde edilmesini ve buna bağlı olarak da silindir içerisinde meydana gelecek yanmayı doğrudan etkiler.

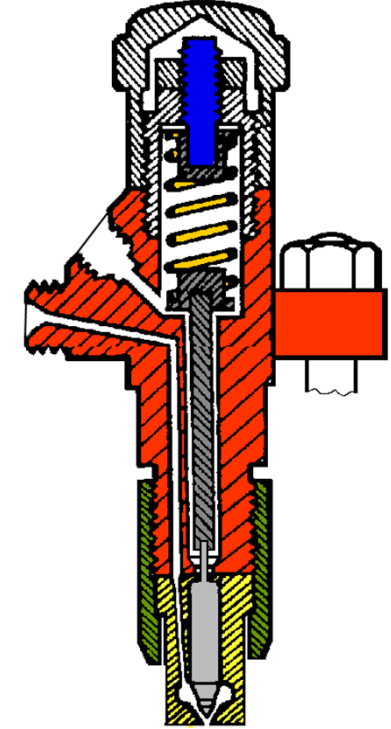
- Düşük Viskozite (Homojen karışım yüksek yanma verimi için istenen)
- Çok Düşük Viskozite (Düşük yağlayıcılık özelliği, yakıt kaçaqları)
- Yüksek Viskozite (Homojen olmayan karışım düşük yanma verimi yüksek yanmamış HC)
- Düşük çalışma sıcaklıklarında dahi serbestçe akacak kadar düşük olmalı,
- Sızıntıyı önleyecek ve enjektör sistemini yağlayacak kadar yüksek olmalıdır.

Diesel Motor yakıtlarının viskoziteleri 50°C sıcaklıkta 1 – 1.5 °E olmalıdır.

2. Akma Noktası

Diesel yakıt özellikle soğuk ortamlarda akıcılık özelliğini kaybetmemelidir.

- Akma noktasının yüksek olması (**çok soğuk olmayan ortamlarda yani daha yüksek bir sıcaklıkta yakıtın bulutlanmaya başlaması**) durumunda yakıt püskürtme sistemindeki borulardan geçemez. Ayrıca sürekli akma noktası civarındaki sıcaklıklarda çalışma yakıt filtresinin kısa sürede tıkanmasına neden olur.
- Soğuk bölgelerde çalışan diesel motorlarında yakıtın akma noktasını düşürmek için içerisine belirli oranlarda **kerosen** katılabilir.
- Diesel Yakıtları için akma noktasının alt sınır değeri -18°C'tır.



3. Uçuculuk

- Birim hacimdeki diesel yakıtın **%90'ını** buharlaştıran sıcaklık (yaklaşık 358 °C) olarak tanımlanır.

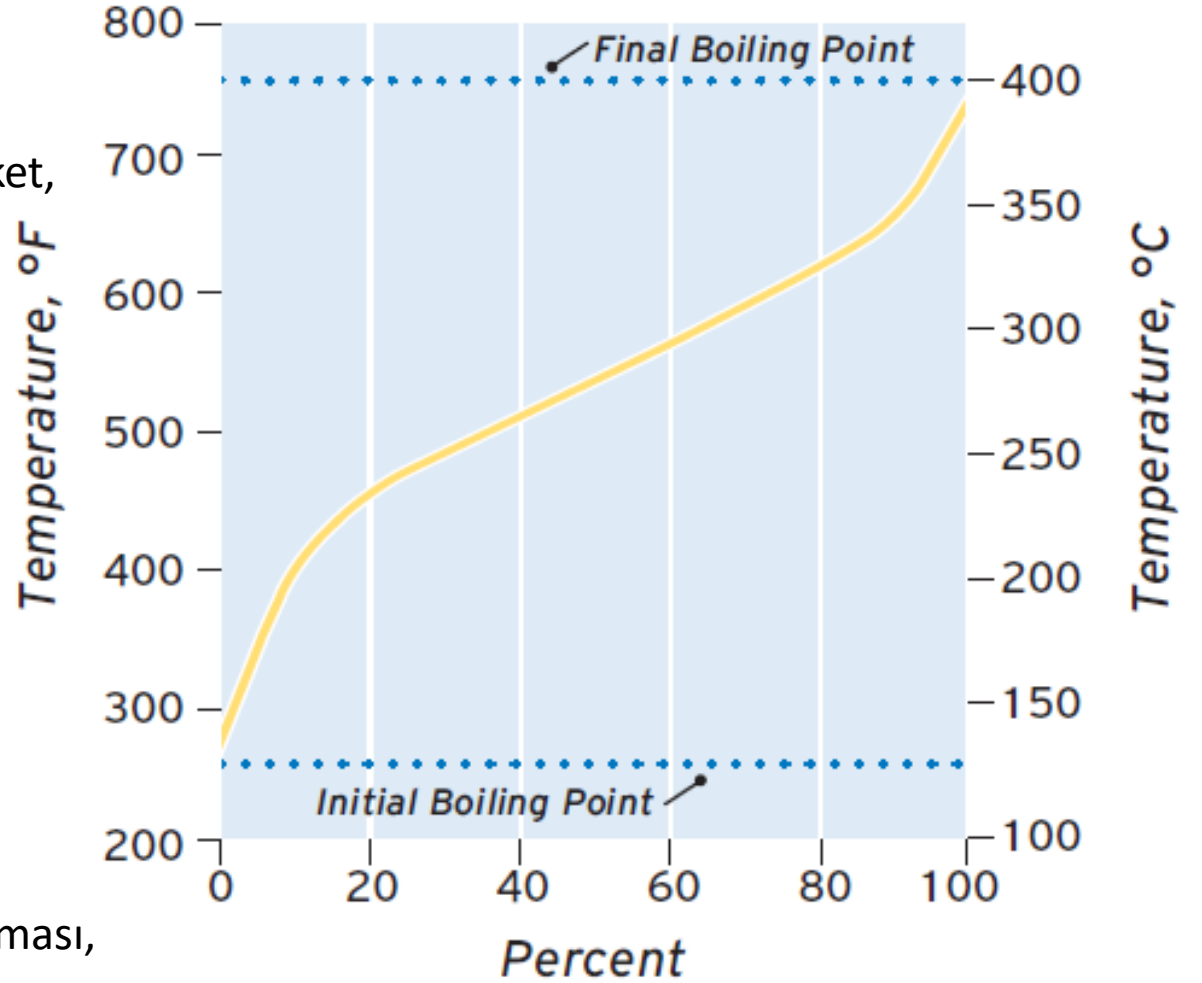
Yüksek uçuculuk:

- Soğuk ortamlarda kolay ilk hareket,
 - Daha verimli ve dumansız (issiz) yanma,
 - Özgül yakıt sarfiyatında azalma,
 - Az miktarda aşınma (yüksek uçuculuğun mahsuru),
- Düşük güçlü, yüksek hızlı taşıt motorlarında kullanılır.

Düşük uçuculuk:

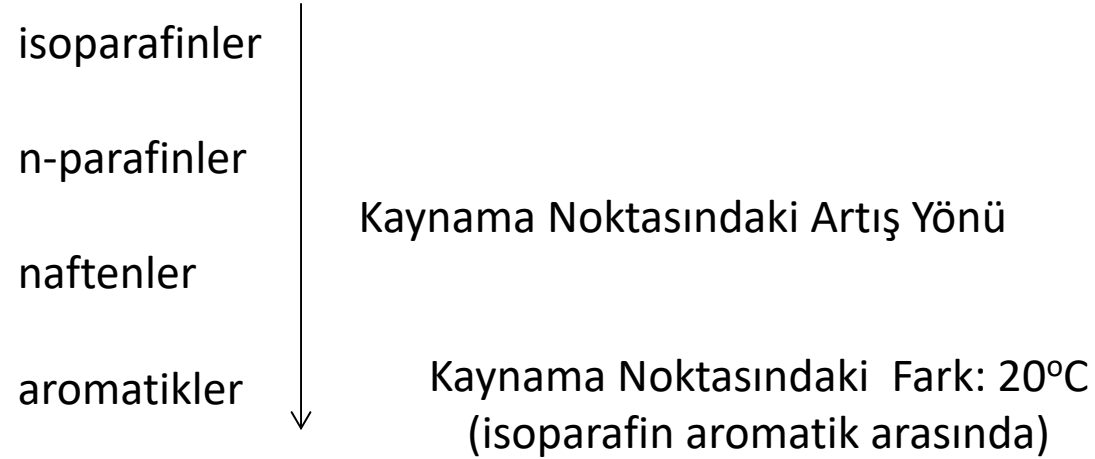
- Maksimum güç üretimini sınırlandırması,
- Özgül yakıt sarfiyatında artış,
- İslı yanmaya,
- Soğuk ortamlarda zor ilk hareket,

Yüksek güçlü, düşük hızlı gemi motorlarında kullanılabilir.



HC'lerin Diesel Yakıtının Kaynama Noktasına Etkisi

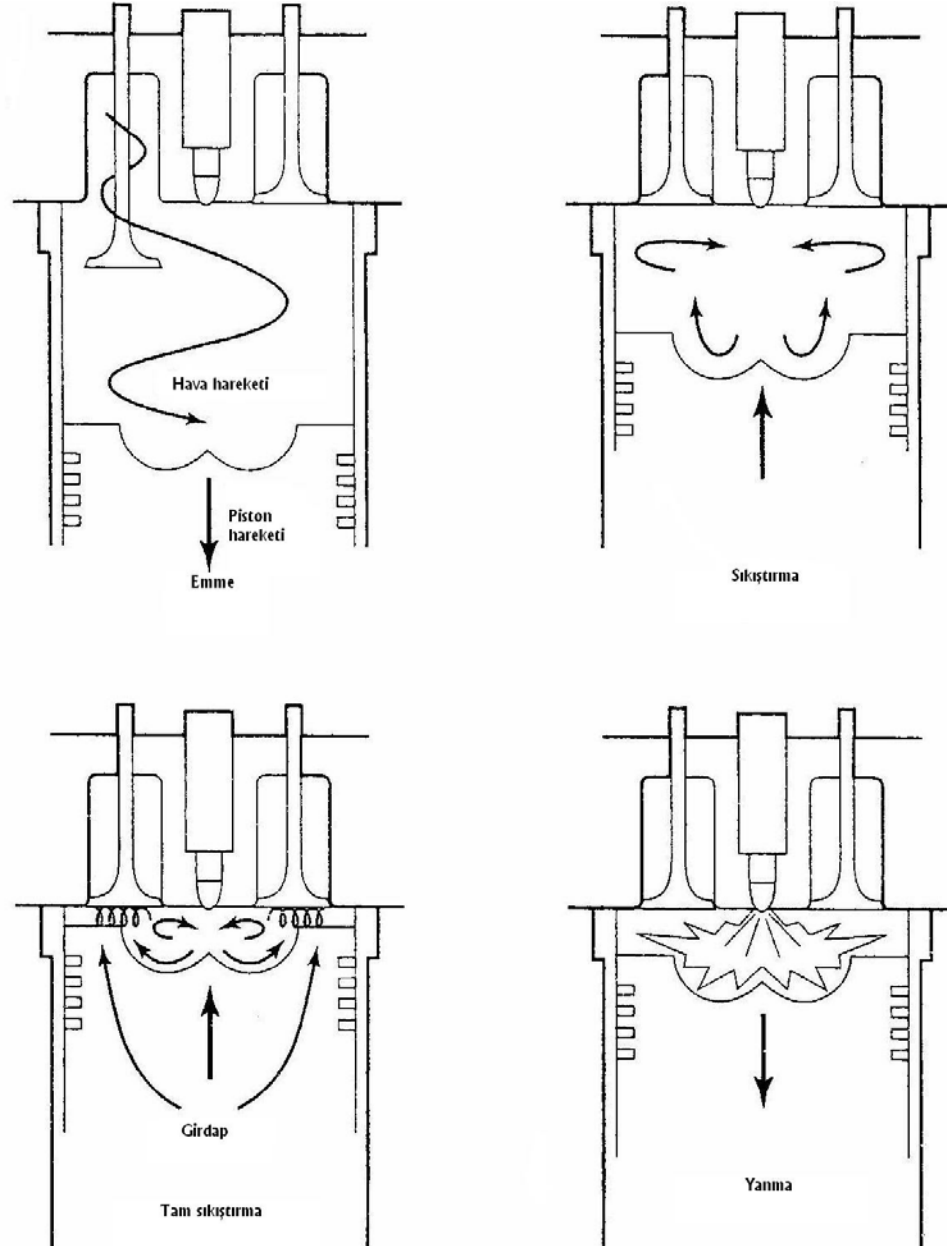
- C atom sayılarının artması (aynı gruptaki HC'lerin) diesel yakıtının kaynama noktasını artırır.
- Aynı C atomu içeren farklı gruptaki HC'lerin kaynama noktasına etkisi de şöyledir:



4. Setan Sayısı (CN)

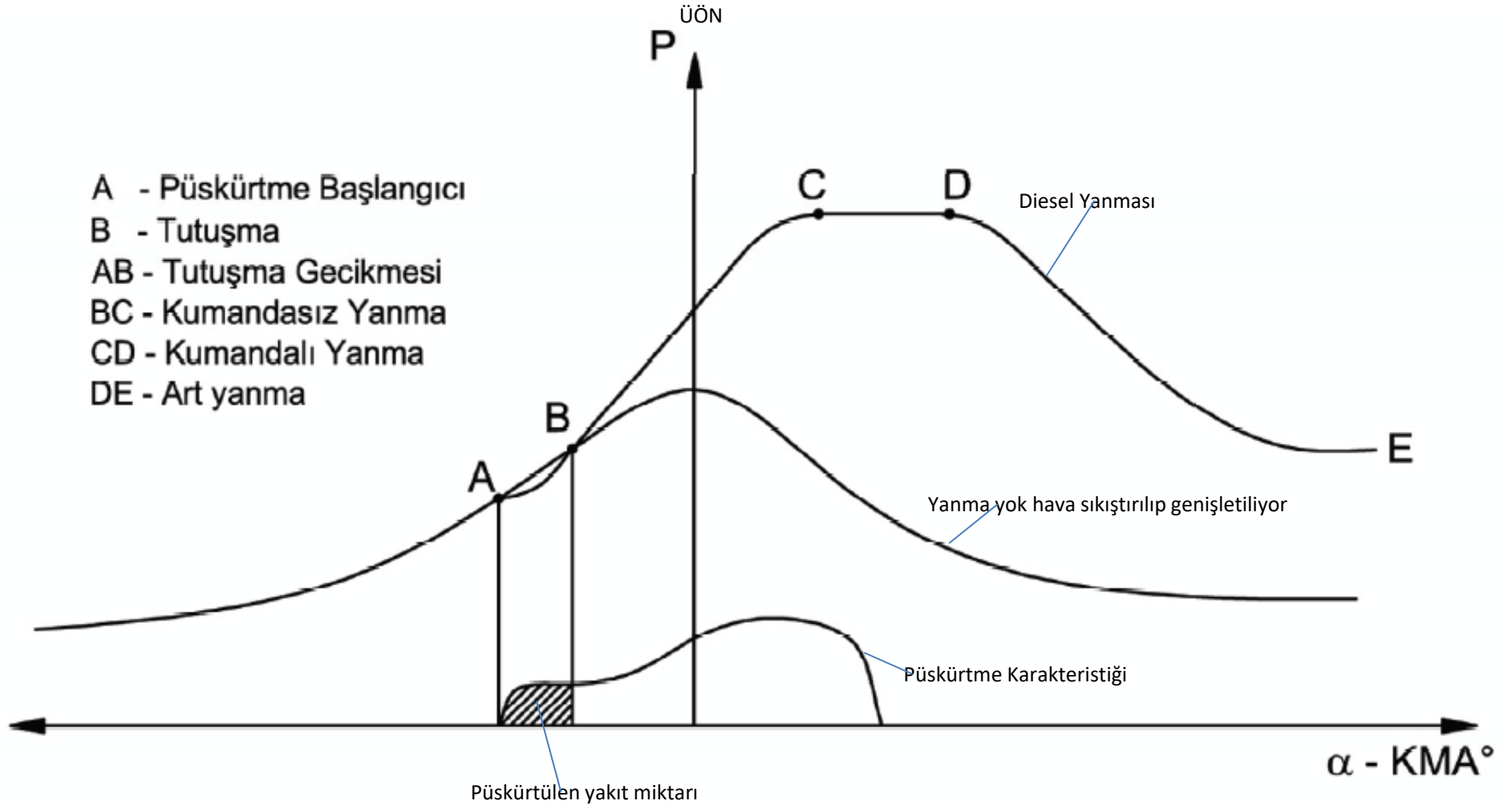
Sıkıştırma stroku sonunda basıncı ve sıcaklığı artmış olan havanın içerisine püskürtülen Diesel yakıtının kendi kendine tutuşma kabiliyetini (**yanma eğilimini**) gösteren bir ölçüdür.

Diesel Motorlarında Yanma

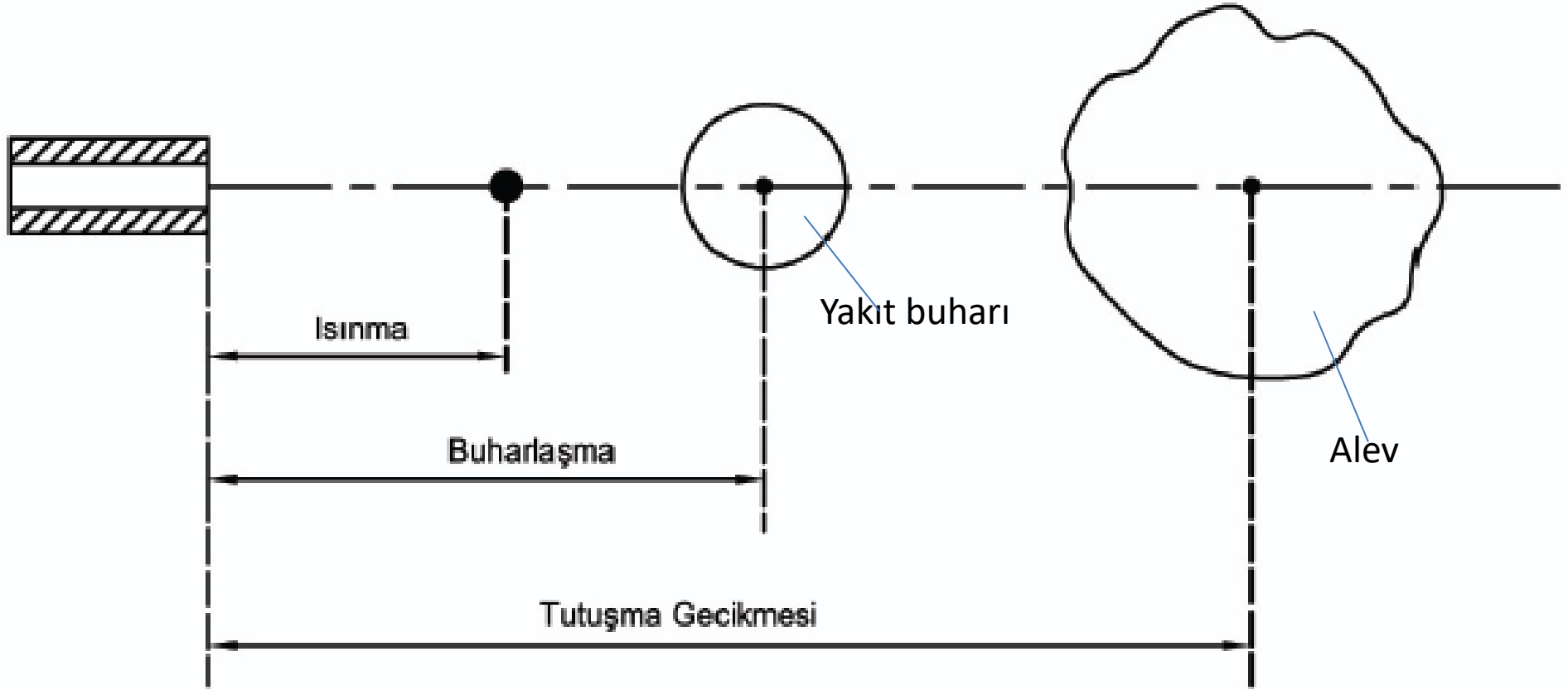


Ricardo'ya göre Diesel motorlarında yanma 4 kademede tamamlanır.

1. Tutuşma Gecikmesi
2. Kontrolsüz (kumandasız) Yanma
3. Kontrollü (kumandalı) Yanma
4. Art Yanma ve Genişleme



Tutuşma Gecikmesi



Bu süre 0.0002 – 0.002 s (0,2 – 2 ms) arasındadır.

Diesel Motorlarında Vuruntu

Tutuşma gecikmesinin mümkün olduğunca kısa olması istenir. Çünkü; Tutuşma gecikmesi süresince silindire giren yakıt sabit hacimde yanma oluyormuş gibi birden yanar ve basınç ani olarak artar.

Krank mili açısı başına basınç değişim hızı : $\frac{dP}{d\alpha}$

Meydana gelen bu ani basınç artışı ile, başta yanma odası olmak üzere tüm motor elemanları oluşan bu dik yöndeki kuvvetle zorlanarak mekanik rezonans ve titreşime maruz kalır.

$\frac{dP}{d\alpha} = (2 - 3) \times 10^5 \text{ Pa/}^\circ\text{KMA} \rightarrow \text{Normal değer}$

$\frac{dP}{d\alpha} = (4 - 5) \times 10^5 \text{ Pa/}^\circ\text{KMA} \rightarrow \text{Motorun fazla sert çalıştığı değer}$

$\frac{dP}{d\alpha} = 10 \times 10^5 \text{ Pa/}^\circ\text{KMA}'\text{den büyük ise vuruntulu çalışma}$

Vuruntusuz çalışma için kullanılan Diesel yakıtının tutuşmaya karşı eğiliminin yüksek olması yani kolay tutuşabilir olması gerekir.

Diesel Yakıtının tutuşmaya karşı eğilimi Cetan Sayısı (CN) veya Diesel İndeksi (DI) ile ifade edilir.

Setan Sayısının Tespiti

Test Kosulları:

Motor devri : 900 dev/dak

Soğutucu sıcaklığı : 100°C

Hava sıcaklığı : 65,6°C

Püskürtme basıncı : 10,3 MPa



- Motor setan sayısı bulunacak yakıt ile çalıştırılır.
- Tutuşma gecikmesi süresi 13°KMA oluncaya kadar sıkıştırma oranı arttırılır.
- Daha sonra motor, **setan (C₁₆H₃₄)** ve **α-metilnaftelen (C₁₁H₁₀)**'in farklı hacimsel karışımlarından oluşturulan yakıtlar ile çalıştırılır.
- Motorun çalışma şartları değiştirilmeden 13°KMA tutuşma gecikmesi süresi elde edilinceye kadar yakıt karışımı içerisindeki n-hexadecane (setan-C₁₆H₃₄) ve α-metilnaftelen (C₁₁H₁₀)'in oranları değiştirilir.
- 13°KMA tutuşma gecikmesi süresi veren karışımdaki setanın hacimsel yüzdesi bir önceki yakıtın setan sayısı olur.

Ticari diesel yakıtlarının setan sayıları: 49 – 55

Setan Sayısını Yükseltmek için Kullanılan Maddeler

Setan sayısını yükseltmek için diesel yakıtına özel sentetik maddeler ya da katıklar eklenir.

- Amil nitrat
- Etil nitrat
- Aldehitler
- Ketonlar
- Esterler
- Peroksitler

Katkı Maddesi	Katkı Eklendikten Sonra Setan Sayısı (Katkı Miktarı % Hacimsel)					
	0	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0
Aseton Peroksit	33	41	45	51	57	63
Etil Nitrat	33	39	44	49	53	57
İzo-amil nitrat	33	39	44	49	54	58

Düşük Setan Sayılı Yakıtın Kullanılmasının Motor Üzerine Etkileri

- TGS uzayacağından motor vurunutulu çalışarak güç kaybına uğrar, vurunutu aşınmaları arttırır, motor ömrü kısılır.
- Yakıt kolay tutuşamayacağından özellikle soğuk ortamlarda motor zor ilk harekete geçer.
- Motor rejim sıcaklığına ulaşınca kadar isli çalışır.
- Ralantide ve düşük yüklerde yanma odası cidarlarında karbon birikimi fazla olur.

5. Diesel İndeksi

$$DI = \frac{API^{\circ} \times \text{Anilin Noktası } (^{\circ}F)}{100}$$

$$A.P.I.^{\circ} = \frac{141.5}{d_{60/60^{\circ}F}} - 131.5$$

Anilin Noktasının Tespiti

Anilin çok eritici bir HC'dur. Parafinleri yüksek sıcaklıkta bünyesinde eritebilir, düşük sıcaklıklarda ise parafinlerden ayrışır.

- Amonyak molekülüne bir fenil grubu HC'un bağlanmasıyla oluşur $\rightarrow C_6H_5NH_2$

Anilin noktası yüksek ise yakıtta parafinik HC'ların miktarı yüksektir.

Parafinik HC'lar kolay yanmaya yatkındırlar dolayısıyla diesel yakıt içinde olmaları tercih edilir.

DI	30	35	40	45	50	55	60	65	70
CN	37	40	43	46	50	53	56	59	62

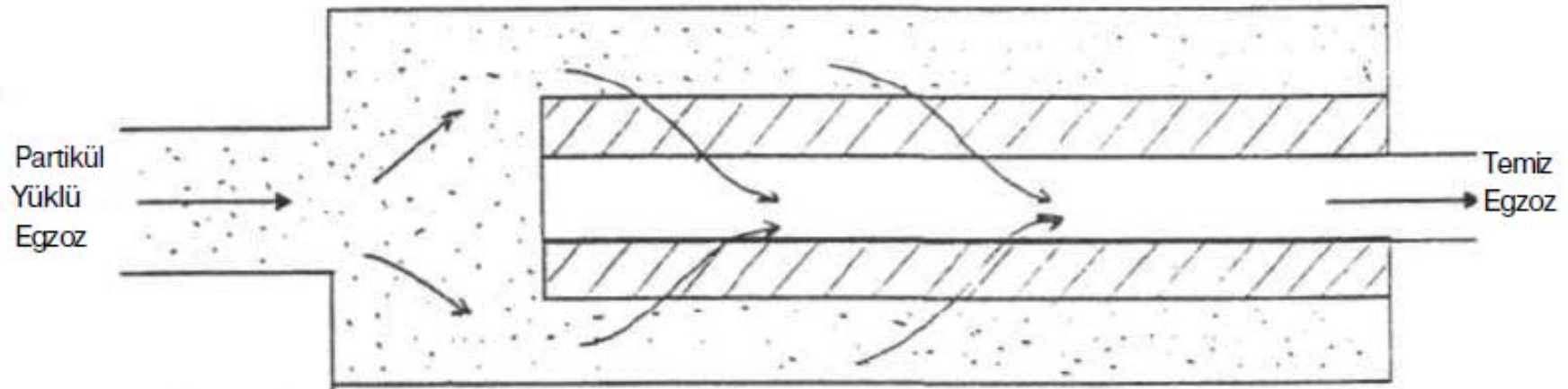
Yeni Nesil Diesel Motorların Yakıt Açısından Gereksinimleri ve Eurodiesel Yakıtı

Yeni nesil (Common rail sisteme sahip) diesel motorlarının ihtiyacı olan yakıtta istenmeyen maddeler:

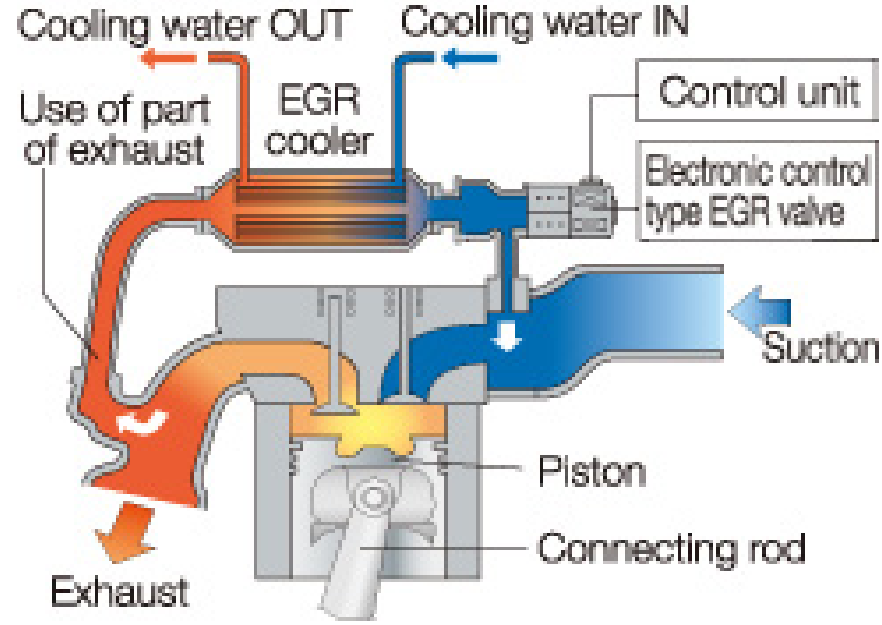
Kükürt
Partikül Madde
Su

Kükürt'ün Motor Üzerindeki Zararlı Etkileri

- Diesel partikül filitrenin (DPF) bozulması



- EGR sisteminde H_2SO_4 korozyonu ve katı partikül oluşumuna neden olur.



- Yağlama yağına karışarak yağda asit oluşturup yağın eskimesine neden olur. Yağlama kötüleşeceğinden motor ömrü azalır.

Bütün bu dezavantajın yanında S'ün yağlayıcı özelliği tek avantajını teşkil eder.

Partikül Maddenin Motor Üzerindeki Zararlı Etkileri

- Partikül maddeler metal metale çalışan yüzeyleri aşındırır.
- Filtre, pompa, enjektör ömrünü kısaltır. Hatta filtre patlamasına neden olur.

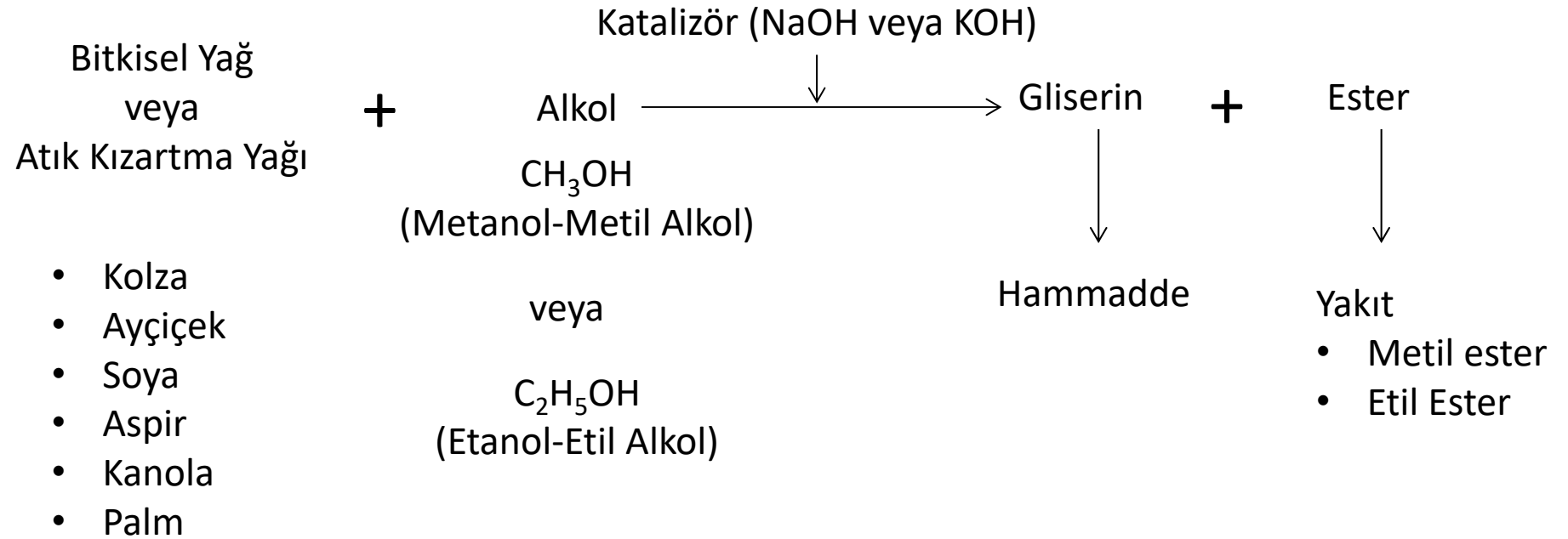
Suyun Motor Üzerindeki Zararlı Etkileri

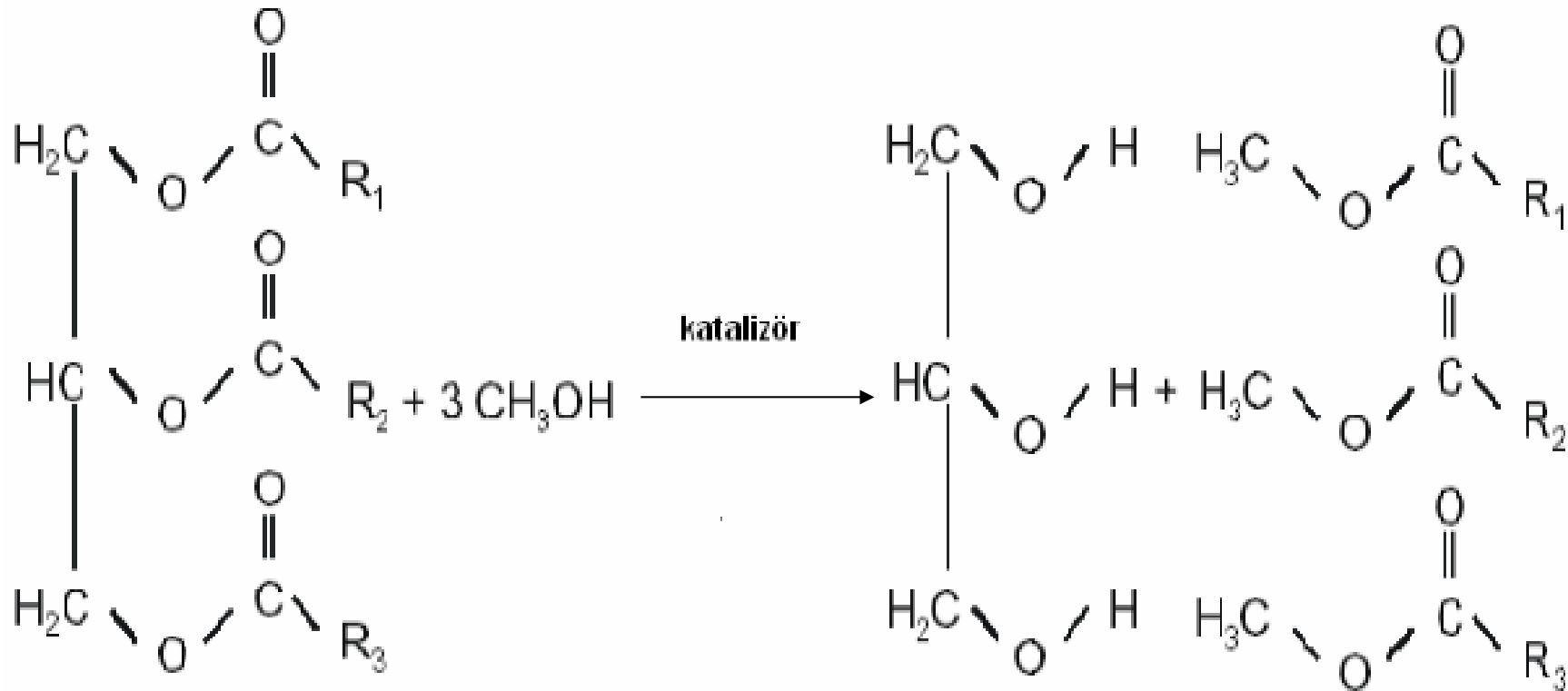
Korozyona, kavitasyona ve diesel yakıtının yağlayıcılık özelliğini düşürmeye sebep olur.

Özellik	Diesel Yakıtı (TS3082) (1 Temmuz 2008 itibari ile kaldırılan)	Eurodiesel (EN590)
Setan Sayısı (min.)	49	51
Özgül Kütle (15.6°C) [kg/m ³]	860	845
S Miktarı [mg/kg] (max)	7000	350

- S miktarı düşük olduğundan Eurodiesel içerisinde yağlayıcılık özelliğini iyileştiren katkı maddeleri üreticiler tarafından kullanılmaktadır.
- Yine kullanılan farklı katkı maddeleri sayesinde -20°C sıcaklığa kadar donmaz ve yakıt sisteminin (boruların ve enjektörlerin) uzun süre temiz kalmasını sağlar.

Biodiesel (Biomotorin)





1 Trigliserit + 3 Metanol = 1 Gliserol + 3 Yağ Asidi Metil Esteri

R : Radikal yani eşleşmemiş elektronu olan atom, molekül veya iyon.

Biodieselin Özellikleri

- Petrol kökenli diesel yakıtı: parafinler ve aromatikler
- Biodiesel: bitkisel yağlar ve yağ asitlerinin gliserinle yapmış oldukları esterler
- Orta uzunlukta (C16 – C18) yağ asidi zincirlerini içeren metil veya etil ester tipi yakıt olup oksijenli zincir yapısı vardır.

Avantajları

1. Temiz bir yakıttır biyolojik olarak bozunabilir.
2. Toksik değildir.
3. Yenilenebilir hammaddelerden elde edilebildiğinden petrole olan bağımlılığı azaltır.
4. Çok az oranlarda S içerir.
5. Yağlayıcı özelliği vardır.
6. Yanması sonucunda çevre için daha az miktarlarda zararlı emisyon (CO₂) oluşur.

Özellik	Biodiesel	Motorin
Molekül Ağırlık [g/mol]	296	120 - 320
Alt Isıl değer [MJ/kg]	37.1	42.7
Özgül Kütle [kg/l 15.6°C]	0.87 – 0.88	0.82 – 0.86
Kinematik Viskozite [mm ² /s 40°C]	4.3	2.5 – 3.5
Alevlenme Noktası [°C] (min)	100	55
Kükürt Miktarı [% Kütlesel] (max)	0.01	0.05
Su Miktarı [mg/kg] (max)	300	200
Setan Sayısı	55'in altında	49-55

Bitkisel Yağların Tek Başına Diesel Yakıtı Olarak Kullanımı

- Diesel yakıtına göre viskoziteleri 10 – 20 kat daha fazladır.
- Bitkisel yağların direkt püskürtmeli diesel motorlarında uzun süreli ve tek başına yakıt olarak kullanılmalarının sakıncaları;
 - ✓ Enjektörlerde tıkanma,
 - ✓ Yağlama yağında seyrelme,
 - ✓ Diesel yakıtına göre yüksek sıcaklıklarda donma,
 - ✓ Yanma odası cidarları, piston üst yüzeyi ve supap oturma yüzeylerinde is oluşturmaları ,

Bitkisel yağların viskozitelerini düşürmek için uygulanan yöntemler şunlardır:

1. Makroemülsiyon Oluşturarak Seyreltme : Bitkisel yağlar çeşitli oranlarda diesel yakıtı ile seyreltilir. Ancak iki farklı sıvı fazı meydana gelebilir.

2. Mikroemülsiyon Oluşturma : Metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkollerle bitkisel yağlar belirli oranlarda karıştırılarak böylece düşük viskoziteli faz ayırımına uğramayan bir çözelti (mikroemülsiyon) meydana gelir. Ancak bu alkollerin setan sayıları düşük olduğu için çözeltinin de setan sayısı düşük olur.

3. Piroliz Yöntemi : Uzun zincirli yağ molekülleri yüksek basınç ve sıcaklık altında daha kısa zincirli moleküllere parçalanır (kraking). Ancak maliyeti yüksek bir yöntemdir.

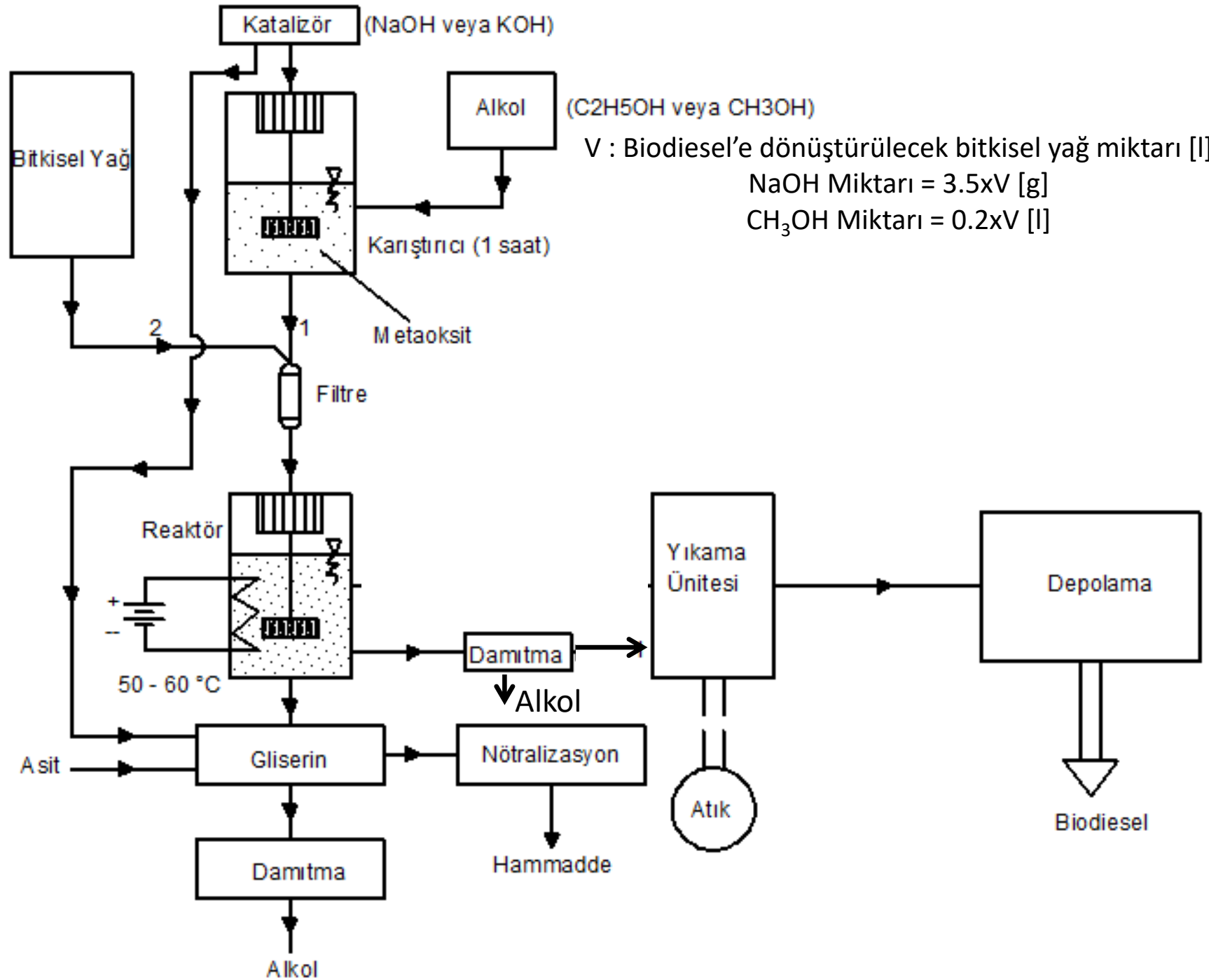
Biodiesel Üretimi

Transesterifikasyon Yöntemi



Baz Katalizörlü

- Daha hızlı ve yüksek verimlidir.
- Ara basamaklara gerek duymaz.
- Katalizör miktarının yetersizliği veya fazlalığı sabunlaşmaya yol açar.



Biodiesel'in Diesel Yakıtı Olarak Motorda Kullanılması

1. Malzeme Uyumu
2. İlk Hareket Kolaylığı
3. Yağlama Yağı Değişim Aralığı
4. Yakıt Filtresi
5. Egzoz Emisyonları

1. Malzeme Uyumu

UYUMLU

- Paslanmaz çelik
- Karbon çeliği
- Alüminyum

UYUMSUZ

- Pirinç
- Bronz
- Bakır
- Kurşun
- Kalay
- Çinko

- Kauçuk malzeme ile biodiesel reaksiyona girer.
- Kauçuk contaların sentetik kauçuktan (viton) yapılmış contalarla değiştirilmesi gerekir.
- %5'e kadar olan motorin biodiesel karışımlarında sorun yoktur.

2. İlk Hareket

- Yüksek karışım oranlarında özellikle de soğuk ortamlarda motor kolay ilk harekete geçmez.
- Soğuk ortamlarda viskoziteyi azaltacak katkı maddelerinin karışım içerisine katılması gerekir.

3. Motor Yağlama Yağı Değişim Aralığı

- Yapılan çalışmalar B20 karışımlarında motor yağlama yağı değişim aralığının azaldığını göstermiştir.
- Motorinde 21000 km'de olan yağ değişim periyodu bu karışımda 12000 km'ye düşmüştür.

4. Yakıt Filtresi Değişimi

Saf biodiesel kullanımda diesel yakıtının depo yüzeylerinde ve yakıt iletim hattında oluşturduğu kalıntıları çözer. Serbest kalan bu kalıntılar filtreyi çok kısa sürede tıkar. %20'ye kadar böyle bir etki söz konusu değildir.

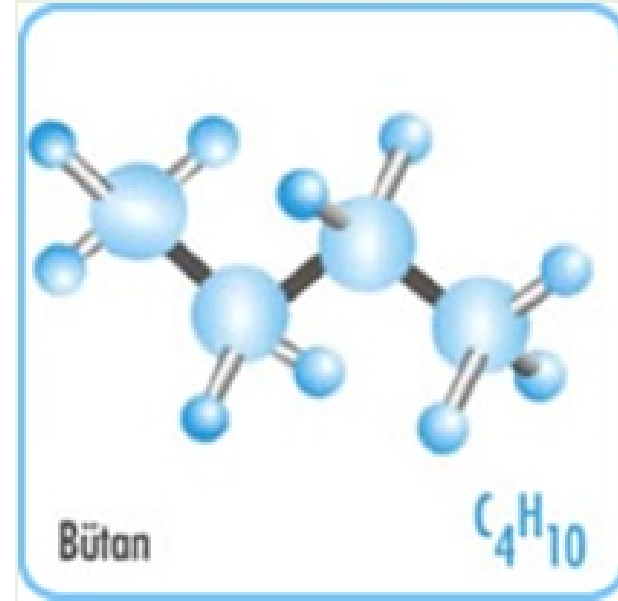
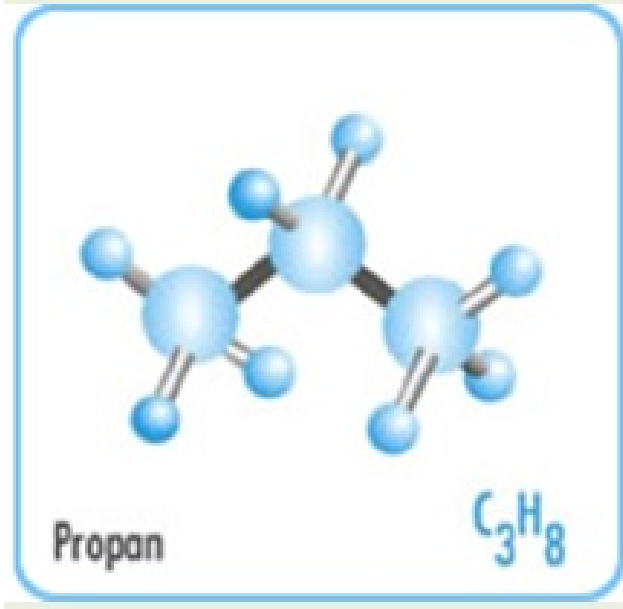
5. Egzoz Emisyonu

Biyolojik karbon döngüsü içinde; biodiesel üretiminde kullanılan bitkilerin fotosentezle CO₂'i O₂'ne dönüştürmesi sebebi ile ayrıca sera etkisini arttırıcı yönde bir etkisi yoktur.

GAZ FOSİL YAKITLAR

- Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG)
- Doğal Gaz

Sıvılaştırılmış Petrol Gazları (LPG)



- Temel olarak bir doymuş iki HC karışımıdır.

PROPAN (C_3H_8) + BÜTAN (C_4H_{10}) + Az miktarda PROPİLEN (C_3H_6), BÜTİLEN (C_4H_8) ve ETAN (C_2H_6)

- Oda sıcaklığında ve 1 atm basınçta gaz halinde olup, basınç uygulandığında sıvılaşır.

PROPAN (C_3H_8) → 7.5 bar

BÜTAN (C_4H_{10}) → 2 bar

LPG'nin Eldesi

Petrolün Destilasyonu ile

Yaklaşık 20 °C sıcaklıkta buharlaşan ve ana destilasyon kulesinin üstünden alınan ürün.

- 1 varil (159 litre) petrolün %3-4'ü LPG.
- Rafinasyon işlemleri ile bu oran %40'a kadar çıkabilmektedir.

Elde edilen LPG sudan arındırılır ve içerdiği kükürt miktarı standartlara uygun sınıra indirilir.

Doğal Gazdan

Petrol yatakları üzerinde bulunan doğal gazın %90'ı **Metan (CH₄)**, geri kalanı **Etan (C₂H₆)**, **Propan (C₃H₈)**, **Bütan (C₄H₁₀)** v.b. gazlardan oluşur.

NGL (doğal gaz sıvıları) prosesleri ile Bütan (C₄H₁₀) ve Propan (C₃H₈) doğal gaz karışımından ayrılır.

Türkiye'de Kullanılan LPG'nin Çeşitleri



1. Ticari Propan (C_3H_8)

- Esas olan propan (C_3H_8) ve propilenden (C_3H_6) meydana gelen gaz karışımıdır.
- Uçuculuğu yüksek olan bir hidrokarbondur.
- Soğuk iklimli bölgelerde daha homojen bir karışım oluşturur.
- Evlerde, ticari ve endüstriyel amaçlı yerlerde kullanılan ticari propan, kütleli % 95 saflıktadır.

2. Ticari Bütan (C₄H₁₀)

- Esas olarak bütan (C₄H₁₀) ve bütilenden (C₄H₈) meydana gelen gaz karışımıdır.
- Uçuculuğu düşük olan bir hidrokarbondur.
- Ilıman iklimli bölgelerde yakıt olarak kullanılan ticari bütan kütleli % 95 saflıktadır.

3. Ticari Propan (C₃H₈) – Bütan (C₄H₁₀) Karışımı

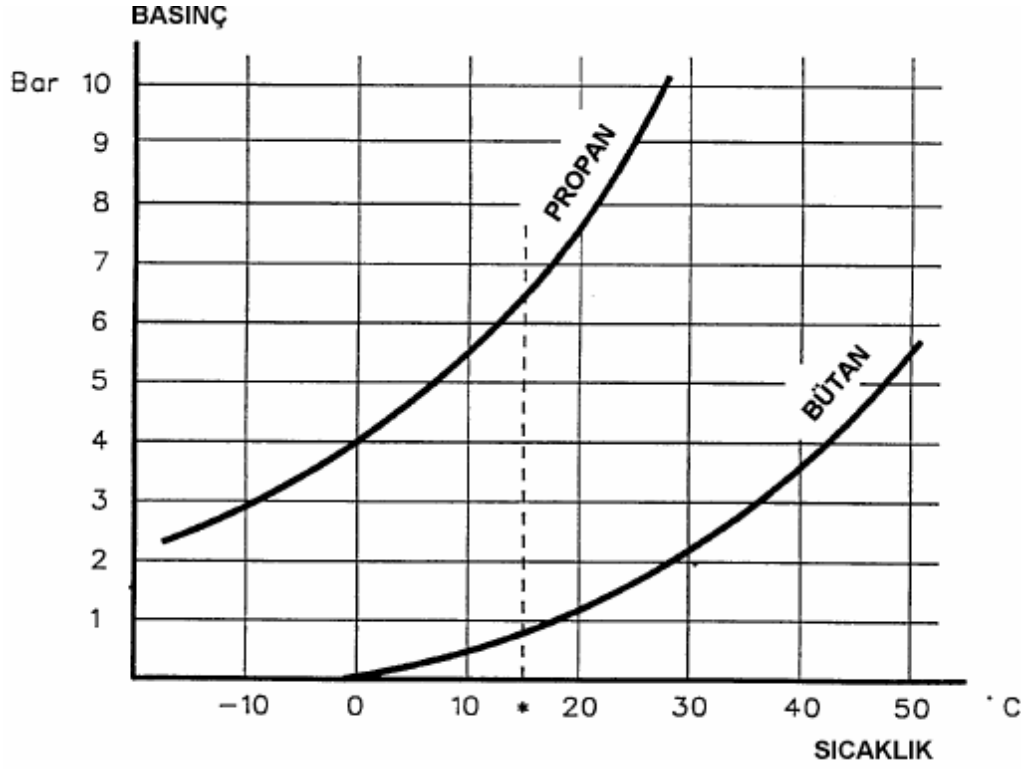
- Ticari propan – bütan karışımının uçuculuğu orta seviyededir.
- Karışım oranları geniş aralıklarda olabileceğinden belirli ihtiyaçları karşılayabilecek özellikte yakıt elde edilmesi mümkündür.
- Bu karışım evlerde, ticari ve endüstriyel amaçlı kullanımlarda geniş bir alanda uygulanır.
- Türkiye’de TÜPRAŞ rafineri işletmelerinde %30 Propan (C₃H₈) ve %70 Bütan (C₄H₁₀)’dan oluşan **Mix LPG** kullanılmaktadır.

%30 Propan (C_3H_8) ve %70 Bütan (C_4H_{10})'dan oluşan Mix LPG'nin Özellikleri.

Özellik	Değer
Sıvı Halde Özgül Kütle [kg/l]	0.56
Kaynama Noktası [$^{\circ}C$]	13
Gaz Hacminin Sıvı Hacme Oranı*	250
Tam Yanması İçin Gerekli Minimum Hava Miktarı [m^3/m^3]	28.8
	[kg/kg] 15.7
	[m^3/kg] 12
Buharlaştırma Isısı ($15^{\circ}C$ 'ta) [kcal/kg]	0.085
Buhar Basıncı ($15^{\circ}C$ 'ta) [bar]	2.5
Alt Isıl Değer [kJ/kg]	45560

*Bir litre sıvı LPG gaz faza geçtiğinde normal şartlarda yaklaşık 250 litre hacme ulaşır.

Propan ve Bütanın Buhar Basınçları



ÜLKE	Propan/Bütan Oranı	
	Yaz	Kış
Belçika	30/70	50/50
Almanya	Propan	
Danimarka	50/50	70/30
İngiltere	Propan	
Avusturya	20/80	80/20
Hollanda	30/70	70/30
İsveç	50/50	Propan
İsviçre	Propan	

4. Özel Hizmet Propanı (otogaz)

- Propandan meydana gelen, içten yanmalı benzinli motorlarda vuruntusuz çalışmayı sağlayan özel sıvılaştırılmış bir petrol gazıdır.
- Kütlesele % 98 saflıktadır.

LPG'nin Özellikleri

- Havadan ağırdır.
- Renksiz ve kokusuzdur. Rafineri tarafından etilmerkaptan (C_2H_5SH) ile kokulandırılır.
- Parlayıcı ve patlayıcıdır. Hava ile kütlesele %2 ile %8. 7 oranlarındaki LPG karışımı, yanıcı ve patlayıcı bir karışım oluşturur.
- Buhar basıncı yüksektir (benzine göre).
- % 100 temiz yanar (kurum bırakmaz).
- Bileşiminde çok az miktarda kükürt ihtiva eder. ($20 - 100 \text{ mg/m}^3$)
- Homojen bir yakıt - hava karışımı sağlar (benzine göre).
- Atmosferik basınçta ($\sim 1 \text{ bar}$) propan -43°C , bütan 0°C sıcaklıkta sıvı fazına geçer.

Otto Motorlarında LPG Kullanımı

Avantajları

- Soğuk ortamlarda ilk hareket kolaylığı,
- Kirletici egzoz emisyonları benzine göre daha düşük seviyelerde,
- Silindirde karbon birikimine sebep olmaz,
- Oktan sayısı benzine göre yüksektir,
- Yanma verimi benzine göre daha yüksektir,
- Motorun fakir karışımlarla çalışmasına olanak tanır,
- Yağlama yağı benzin kullanımına göre daha uzun ömürlü olur,
- Benzine göre fiyatı daha ekonomiktir,
- Temiz yanması buji kirlenmesini geciktirir,
- Egzoz sistemi daha uzun dayanır,
- Kolay sıvılaştır bu yüzden kolay depolanır,

Dezavantajları

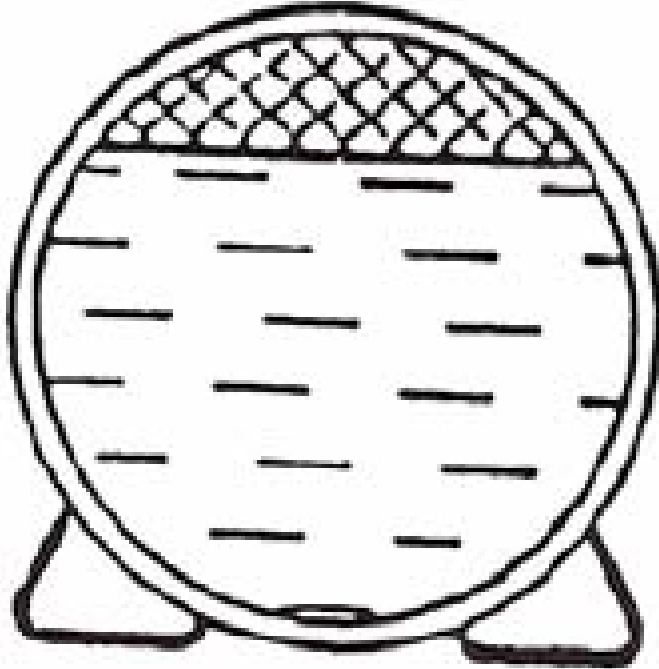
- Depolama tankının ağırlığı ve hacmi,
- Aynı sıkıştırma oranına motor gücünde %5-10 arasında azalma,
- LPG dönüşümü ek maliyet getirir LPG kullanımının ekonomik yönden avantaj sağlayabilmesi için taşıtın LPG ile yılda yaklaşık 20.000 km yol yapması gerekir,
- Setan sayısı düşük olduğundan diesel motorlarında kullanıma çok uygun değildir,
- Benzinde olduğu gibi yakıtta katık ilavesi yapılamaz,

LPG ve Benzinin Fiziksel Özelliklerinin Karşılaştırılması

Özellik	Propan	Bütan	Benzin
Özgül Kütle (15°C'ta) [kg/l]	0.508	0.584	0.73 – 0.78
Kaynama Noktası [°C]	-43	0	30
Buhar Basıncı (37.8°C'ta) [bar]	12.1	2.6	0.5 – 0.9
RON	111	103	95 - 98
MON	97	89	85 - 87
Alt Isıl Değer [kJ/kg]	46.100	45.460	44.030
Stokiyometrik Yakıt-Hava Oranı	15.8	15.6	14.7

LPG'nin Depolanması :

- 0°C sıcaklıkların altında buharlaşan LPG, buhar basıncının yüksek olması nedeniyle **4 ile 10** bar gibi basınç altında sıvı fazda saklanabilir.
- Tanklar yüksek kaliteli çelikten yapılmalı ve genelde üç parça su altı ark kaynağı ile birleştirilmelidir.
- 45 bar hidrolik basınçta 1 dakika boyunca test edilmeli, bu süre içerisinde şişme, sızıntı, akma, çatlama ve esneklik belirtileri olmamalıdır.
- LPG yakıtının depolanması sırasında yakıt tankları, LPG'nin buhar basıncı nedeniyle tamamen doldurulmamalıdır.



Sıcaklık : 15°C
Gaz : %20 (Hacim)
Sıvı : %80 (Hacim)
Basınç : 6.5 bar

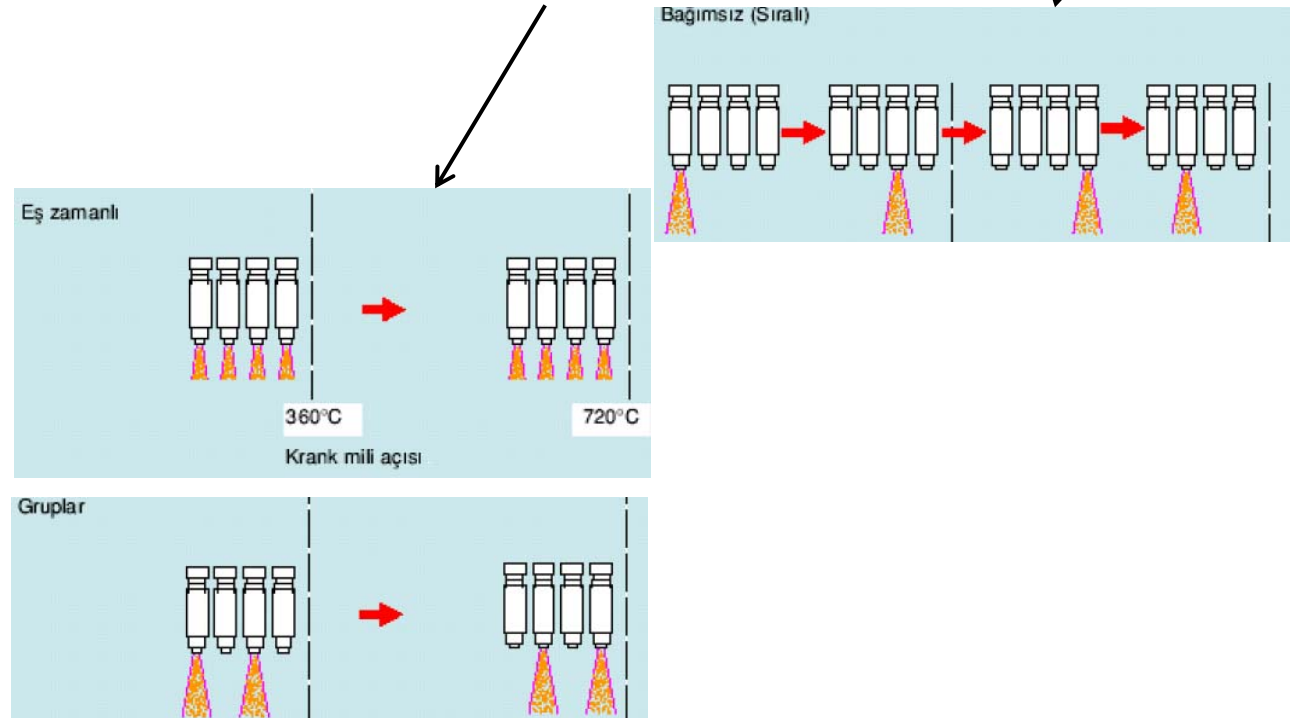
Benzinli Motorlarda Kullanılan LPG Sistemleri

I. Nesil
(Basit Karıştırıcı
Sistem-
Karbüratörlü)

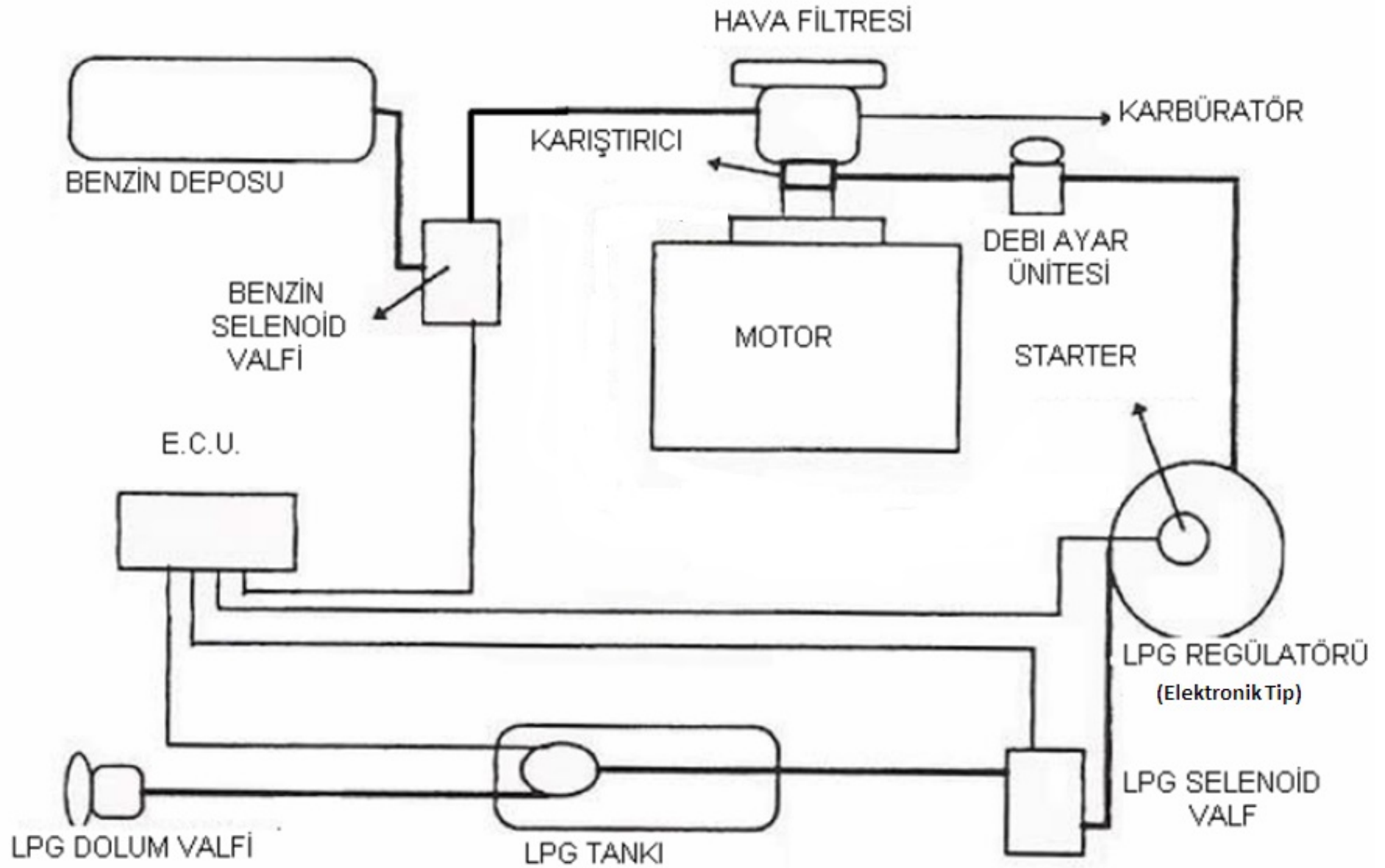
II. Nesil
(Elektronik Kontrollü
Sistem- Tek Noktadan
Enjeksiyonlu
Manifolda
Enjeksiyon)

III. Nesil
(LPG Enjeksiyonlu
Sistem Çok
Noktadan Emme
Kanalına Enjeksiyon
Eş Zamanlı veya
Grup Halinde)

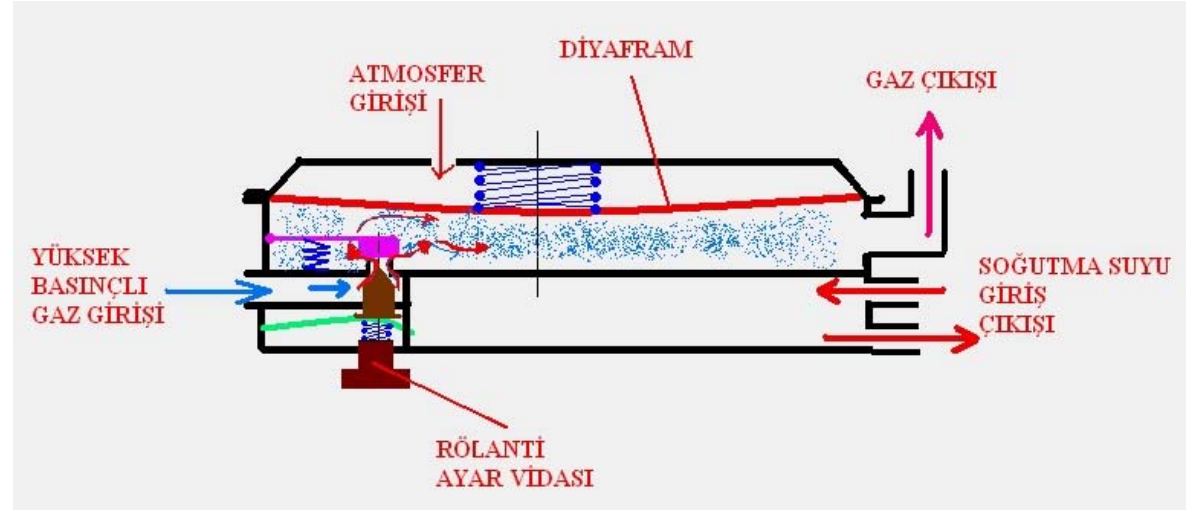
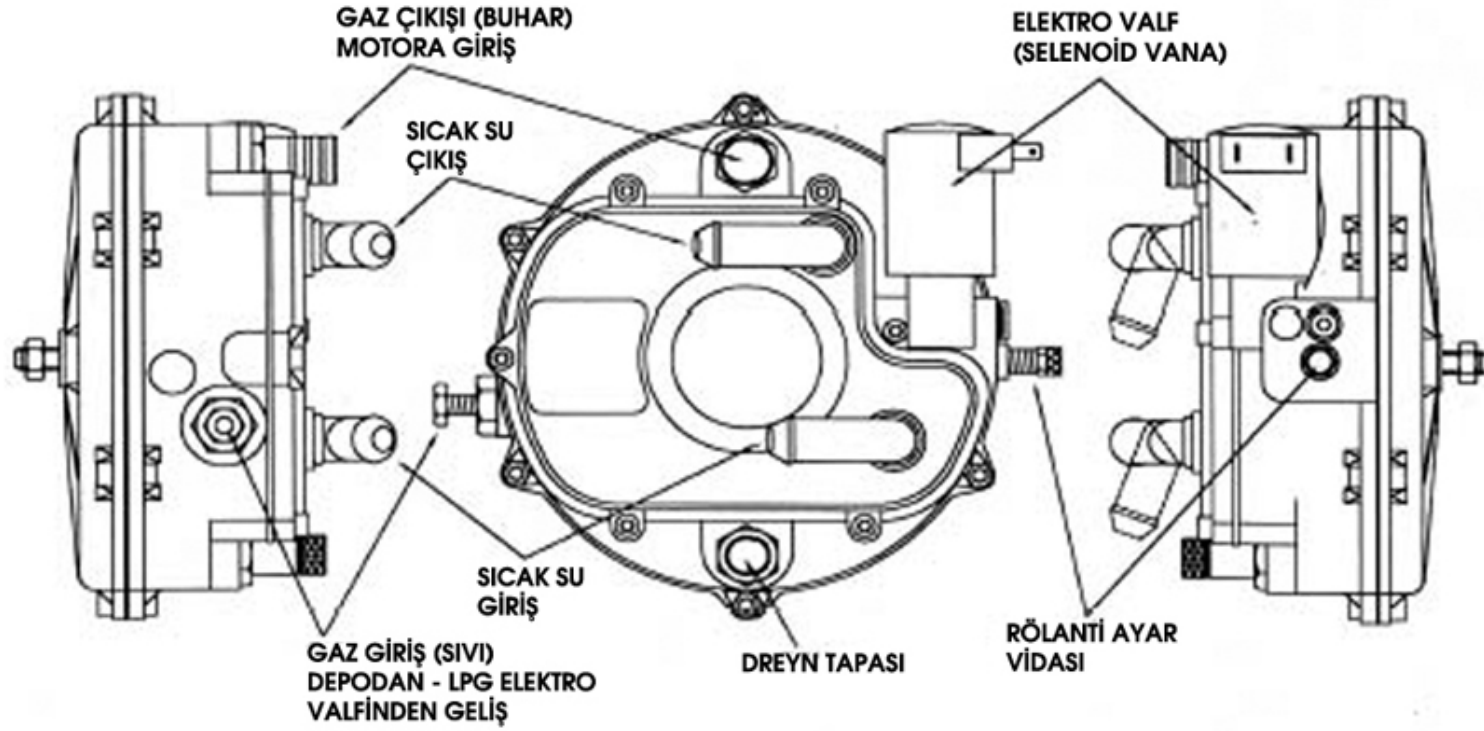
IV. Nesil
(Sıralı Gaz Fazı
LPG Enjeksiyonlu
Sistem- Bağımsız
Enjeksiyon)



I. Nesil (Basit Karıştırıcılı Sistem Karbüratörlü Motorlar için)



LPG Regülatörü



LPG Karıştırıcı



Dezavantajları:

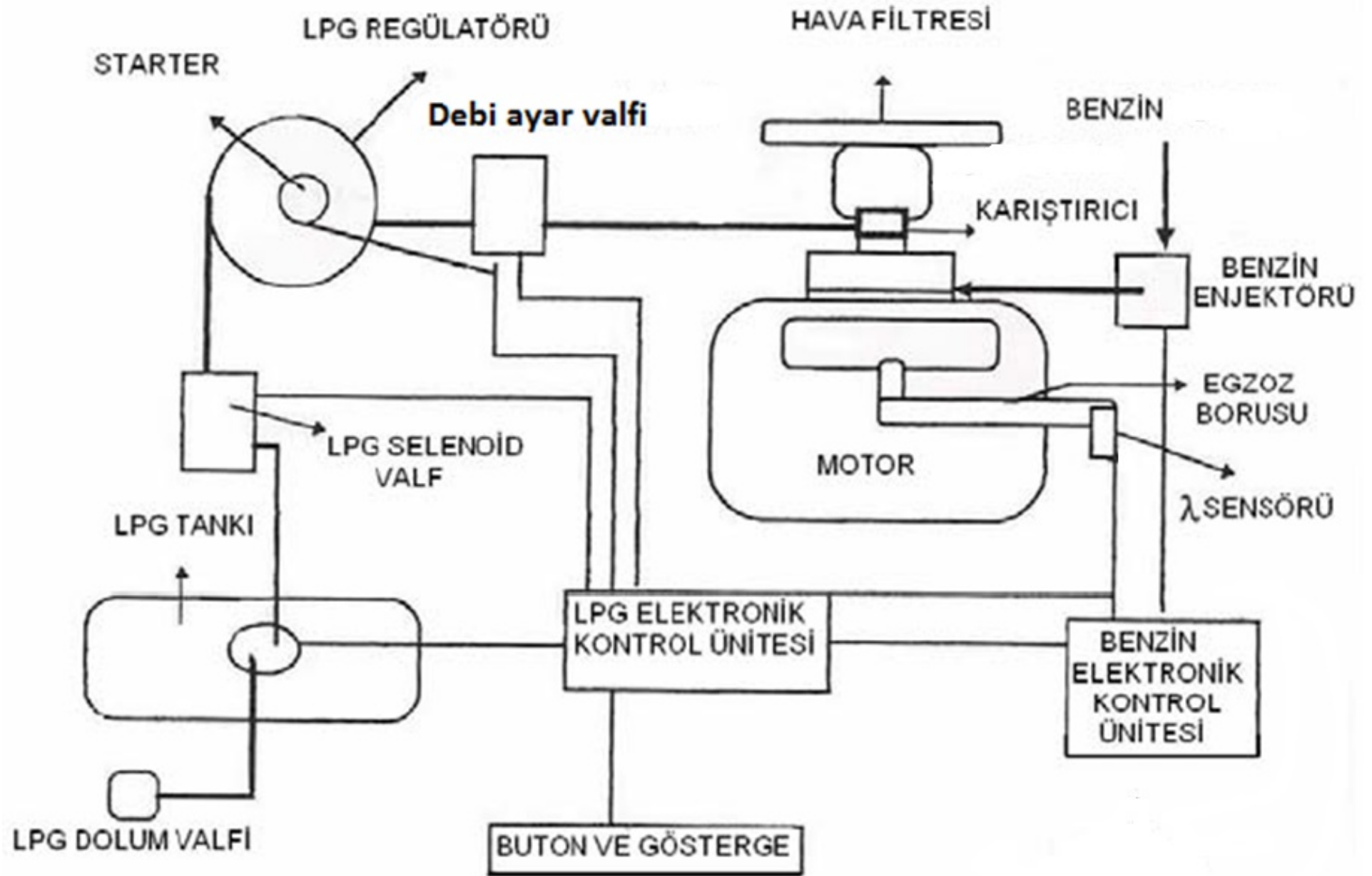
- Motor yükü arttıkça giderek zenginleşen bir yakıt-hava karışım oranına sebep olur.
- Hava fazlalık katsayısı, karıştırıcının (gaz karbüratörünün) sağladığı sınırlar dahilinde değişmekte ve hava fazlalık katsayısını sabit tutmak mümkün olmamaktadır.
- Karışım oranı;

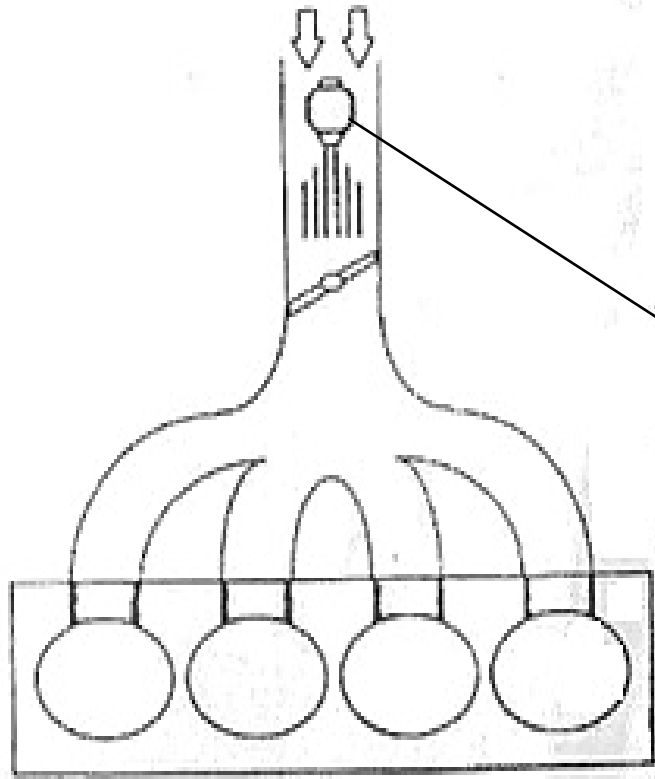
Kısmi Yük,
Tam Yük,

Sistemin düşük sürüş performansı ve fakir karışıma ayarlanması durumunda alev geri tepme eğilimi vardır.

Sürüş performansını iyileştirmek ve alev geri tepme eğilimini azaltmak üzere karışım zenginleştirildiğinde ise, kirletici emisyonlar ve LPG tüketimi artmaktadır.

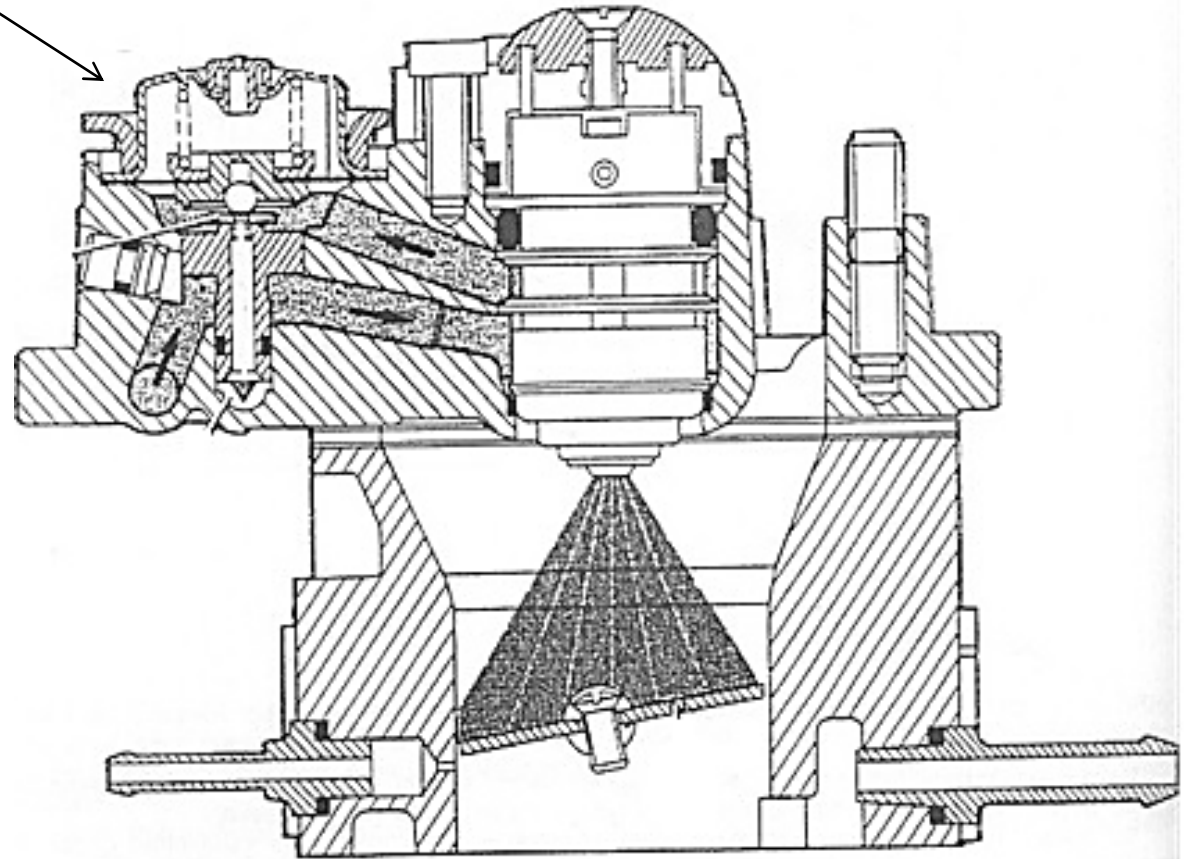
II. Nesil (Elektronik Kontrollü Sistem)





Emme Manifolduna

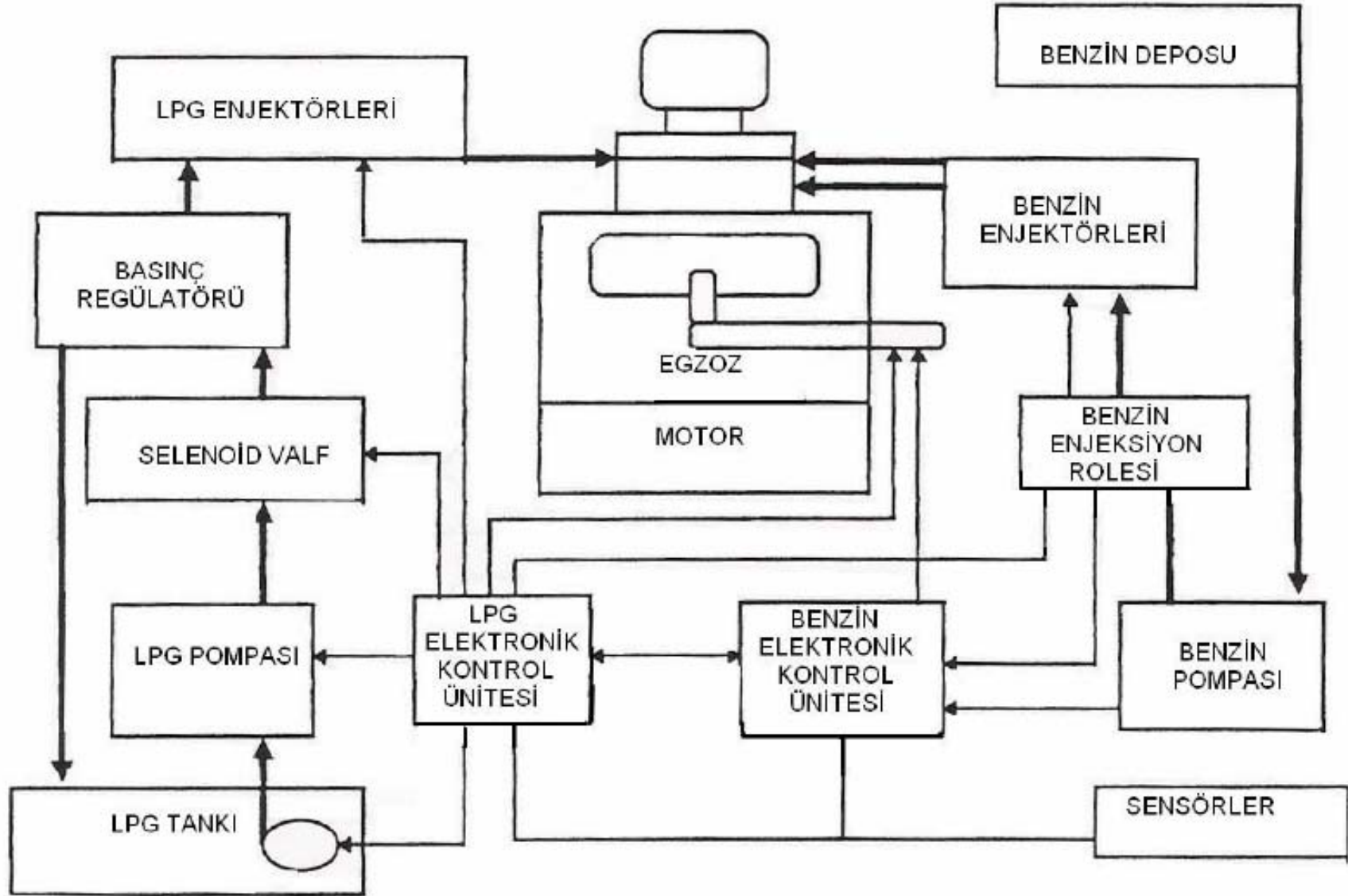
Benzin Enjektörü



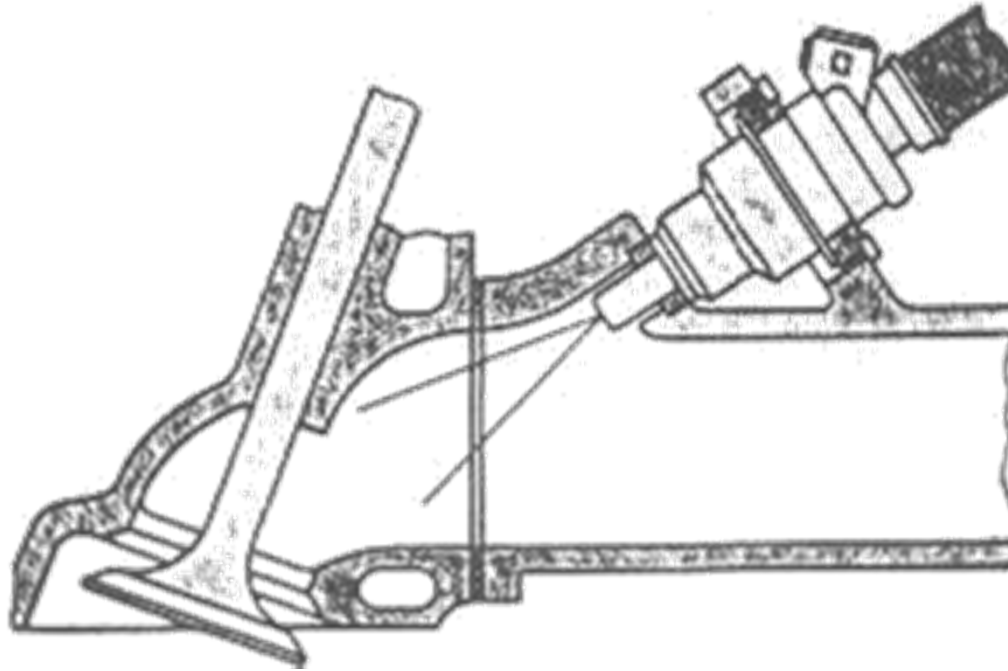
Tek noktadan enjeksiyon-Single point (SPI)

- Tek noktadan yakıt püskürtme sistemi bulunan taşıtlara uygulanan bu dönüşüm sisteminde,
 - ✓ λ sensörü (egzoz gazları içerisindeki O_2 miktarı için),
 - ✓ Motor devir sayısı, gaz kelebeği konumu, motor soğutma suyu sıcaklığı vb. parametreleri değerlendiren bir elektronik kontrol ünitesi,
 - ✓ Gaz debisini değiştiren debi ayar valfi, bulunmaktadır.
- Egzoz gazları içerisindeki oksijen miktarı λ sensörü ile ölçülerek, elektronik kumanda ünitesi yardımı ile yakıt miktarı uygun şekilde düzeltilmektedir. Böylece hava fazlalık katsayısı tam stokiometrik değerde tutulabilmektedir.
- Debi ayar valfi, $\lambda = 1$ şartını sağlayacak şekilde elektronik kontrol ünitesinden aldığı sinyaller ile çalışan elektrikli bir step motoru ile kumanda edilir.

III. Nesil (LPG Enjeksiyonlu Sistem-Çok Noktadan Enjeksiyonlu)

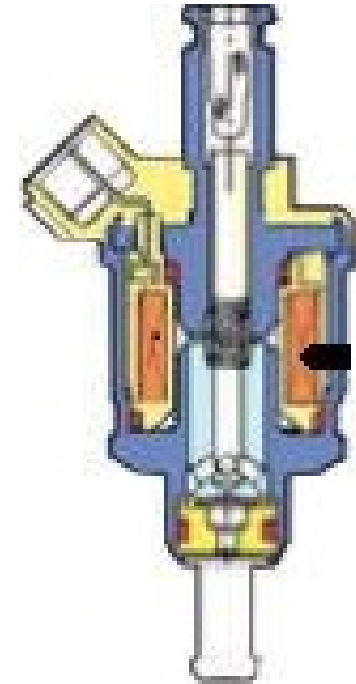
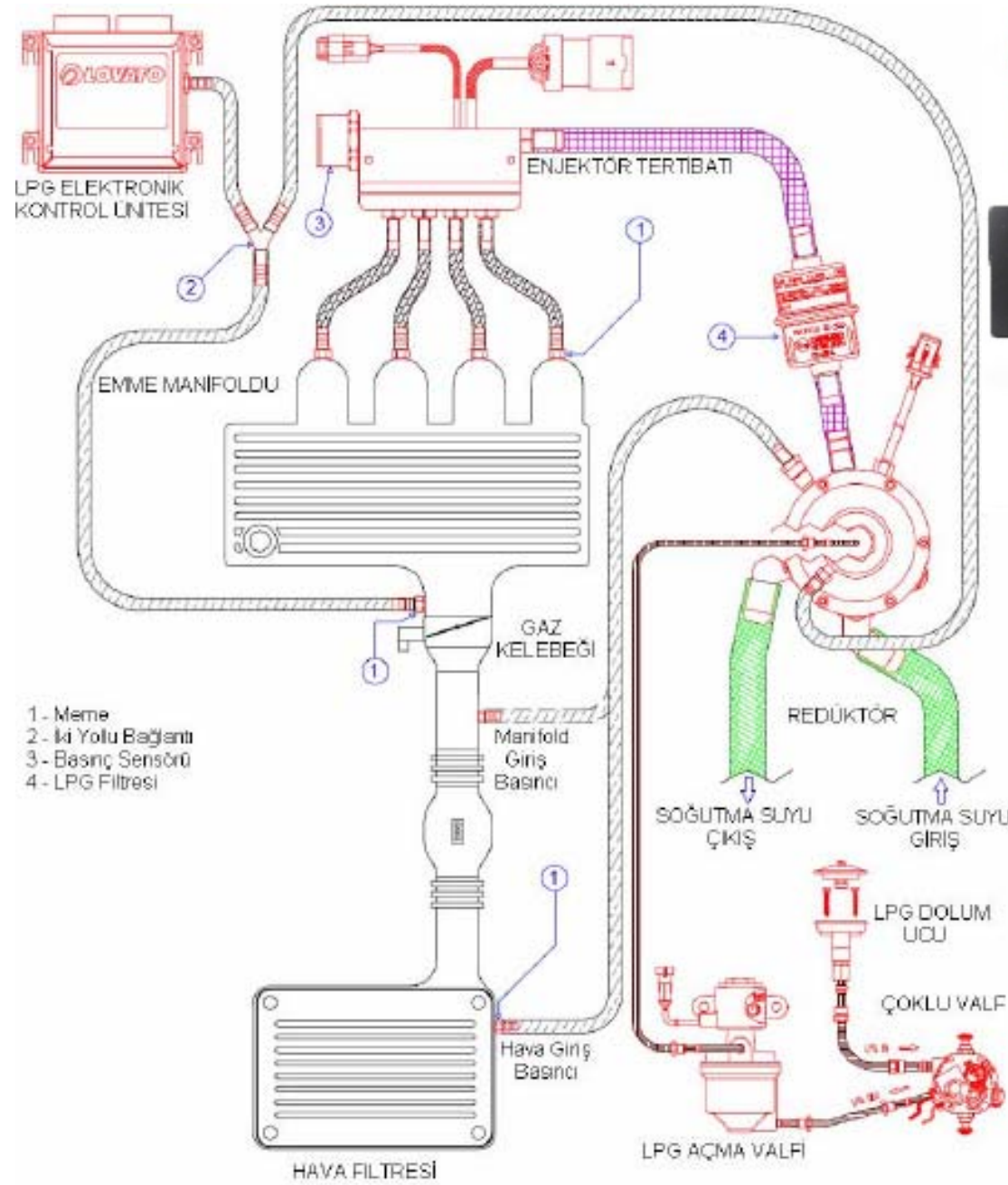


- Motorun ilk çalıştırılması benzin enjeksiyonu ile yapılır, daha sonra motor devri 2000 d/d ye ulaştığında sistem otomatik olarak LPG enjeksiyonlu çalışmaya geçer.
- Bu sistemlerde LPG sıvı olarak emme kanalında emme supabı üzerine püskürtüldüğü için yakıtın büyük bir kısmı silindire sıvı fazda girer.



- I. ve II. nesil sistemlerde LPG; silindir dışında gaz fazında hava ile karıştırılıp silindirlere alındığından volümetrik verimde düşüş buna bağlı olarak da güçte azalma olur.

IV. Nesil (Sıralı Gaz Fazı LPG Enjeksiyon Sistemi)



- Sistem kontrol sinyallerini kendine ait ayrı bir Elektronik Kontrol Ünitesi (ECU)'den almaktadır.
- Motorun her bir silindiri için bağımsız püskürtme yapan gaz enjektörü vardır. Her bir enjektör, LPG sisteminin elektronik kontrol ünitesi tarafından belirlenen miktardaki gazı diğer enjektörlerden bağımsız olarak pülverize eder. Her bir enjektörün püskürtme zamanı, LPG sisteminin kendi elektronik kontrol ünitesi tarafından çok hassas olarak hesaplanır.
- Emme kanallarının yanma odalarına en yakın yerlerindeki nozullardan enjekte edilen LPG yanma odası içinde maksimum verimde yanar.
- LPG ile çalışma esnasında benzin enjektörleri LPG sisteminin elektronik kontrol ünitesi tarafından devre dışı bırakılır.
- Benzin püskürtme sisteminin elektronik kontrol ünitesi LPG ile çalışmada fonksiyonlarını aynen devam ettirmekte motor ve araçla ilgili tüm sensörler devrede kalmaktadır.
- III. Nesil sistemlere göre silindirlere daha eşit yakıt dağılımını sağlar.

Enjeksiyon Sistemlerinin LPG Gaz Karıştırıcı Sistemlere göre Avantajları:

- Diğer sistemlerde kullanılan karıştırıcı (gaz karbüratörü) olmadığından motor benzinle çalışırken herhangi bir performans kaybına uğramaz.
- LPG enjektörleri her bir silindir için yanma odasına çok yakın monte edildiğinden ve püskürtme emme supapının açık olduğu sırada gerçekleştiğinden alev geri tepme (back fire) riski oluşmaz.

LPG'nin Motor Performansına (Gücüne) Etkisi

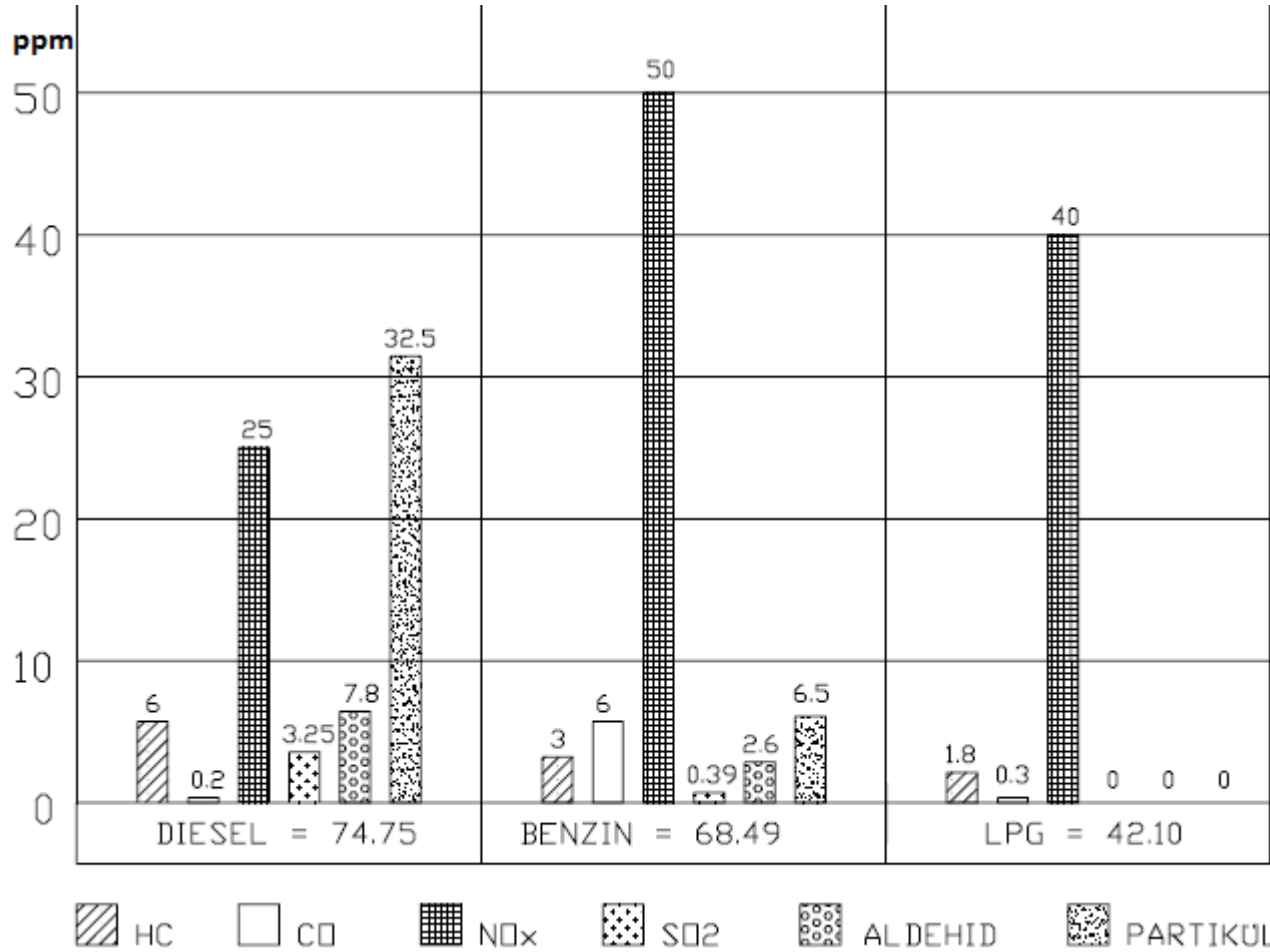
- Propan/bütan oranı 50/50 mertebesinde olan LPG'nin hava ile stokiometrik karışımının alt ısı değeri **3430** kJ/m³'tür. Stokiometrik karışım oranına sahip benzin/hava karışımının alt ısı değeri ise **3482** kJ/m³'tür Karışımın ısı değeri yönünden bakıldığında, yakıt olarak LPG kullanımı sonucunda, benzine oranla motorda kayda değer bir güç azalmasının söz konusu olamayacağı söylenebilir.
- LPG, benzinden farklı olarak, emme zamanında tamamen buharlaştırıldıktan sonra yanma odasına gaz fazında gönderilmektedir (**I. ve II. nesil sistemlerde**)

Bu nedenle benzine oranla silindir içerisinde daha fazla hacim kaplamakta, ancak benzine oranla daha homojen bir karışım elde edilmektedir.

LPG'nin gaz olarak emilmesi halinde volümetrik verimde ve buna paralel olarak maksimum güçte % 5-10 kadar azalma olmaktadır.

- LPG'nin oktan sayısı benzine oranla daha yüksektir ve motor tasarımı sırasında sıkıştırma oranı yüksek tutularak motor gücü ve verimi arttırılabilir. Örneğin 1.6 litre benzinli bir motorda tam yükte 8.2 sıkıştırma oranı için 50 kW olan motor gücü, sıkıştırma oranı 12.5'e yükseltildiğinde 55 kW'a kadar artmaktadır.

LPG'nin Egzoz Emisyonlarına Etkisi



- LPG'nin benzine göre CO emisyonlarında yaklaşık % 60, HC emisyonlarında % 30 ve NO_x emisyonlarında da fakir karışımla çalışma şartında % 20'ye kadar azalma gözlenmektedir.

Aldehit: $C_nH_m \cdot CHO$

Eksik yanmada (hava miktarının yetersiz olduğu durum) kısmen yanmış HC'lar. Yapılarında karbonil grubu (C=O) bulunan organik bileşiklerden, karbonil grubuna bir hidrojenin bağlı olduğu bileşikler.

Doğal Gaz

Rezervuardan çıkarıldığı haldeki doğal gaza **ham doğal** gaz denir; çeşitli miktarlarda

Metan	(CH ₄)	} Enerji verici gazlar.	Karbon-di-oksit (CO ₂)	} Enerjisiz gazlar
Etan	(C ₂ H ₆)		Hidrojen sülfür (H ₂ S)	
Propan	(C ₃ H ₈)		Azot (N ₂)	
Bütan	(C ₄ H ₁₀)		Helyum (He)	
Pentan	(C ₅ H ₁₂)		} Kondensatlar	Ayrıca buhar ve sıvı fazda su (H ₂ O)
Hekzan	(C ₆ H ₁₄)			
Dekan	(C ₁₀ H ₂₂)			

Bileşimi çıkartıldığı bölgeye göre değişir. Genel olarak,

- Hacimce %0.5'e kadar enerjisiz gazlar (karbondioksit, helyum, hidrojen sülfür ve azot)
- Hacimce %70-90 arasında değişen metan,
- Hacimce %20'ye kadar etan

Doğal gaz rafine edilerek diğer hidrokarbonlar ayrılır ve hemen hemen metan (CH₄) olarak pazarlanır.

Rafine Edilmiş Doğal Gazın Bileşimi

Bileşen	Oran [%-Hacimsel]
Metan – CH ₄	92
Etan – C ₂ H ₄	5.3
Propan – C ₃ H ₈	1.1
Azot – N ₂	0.6
Karbondiyoksit – CO ₂	0.6
Hidrojen Sülfür – H ₂ S	0.2
Helyum - He	0.2

Alt Isıl Değeri : 33400 – 40900 kJ/m³

Özgül Kütlesi : 0.6 – 0.8 kg/m³

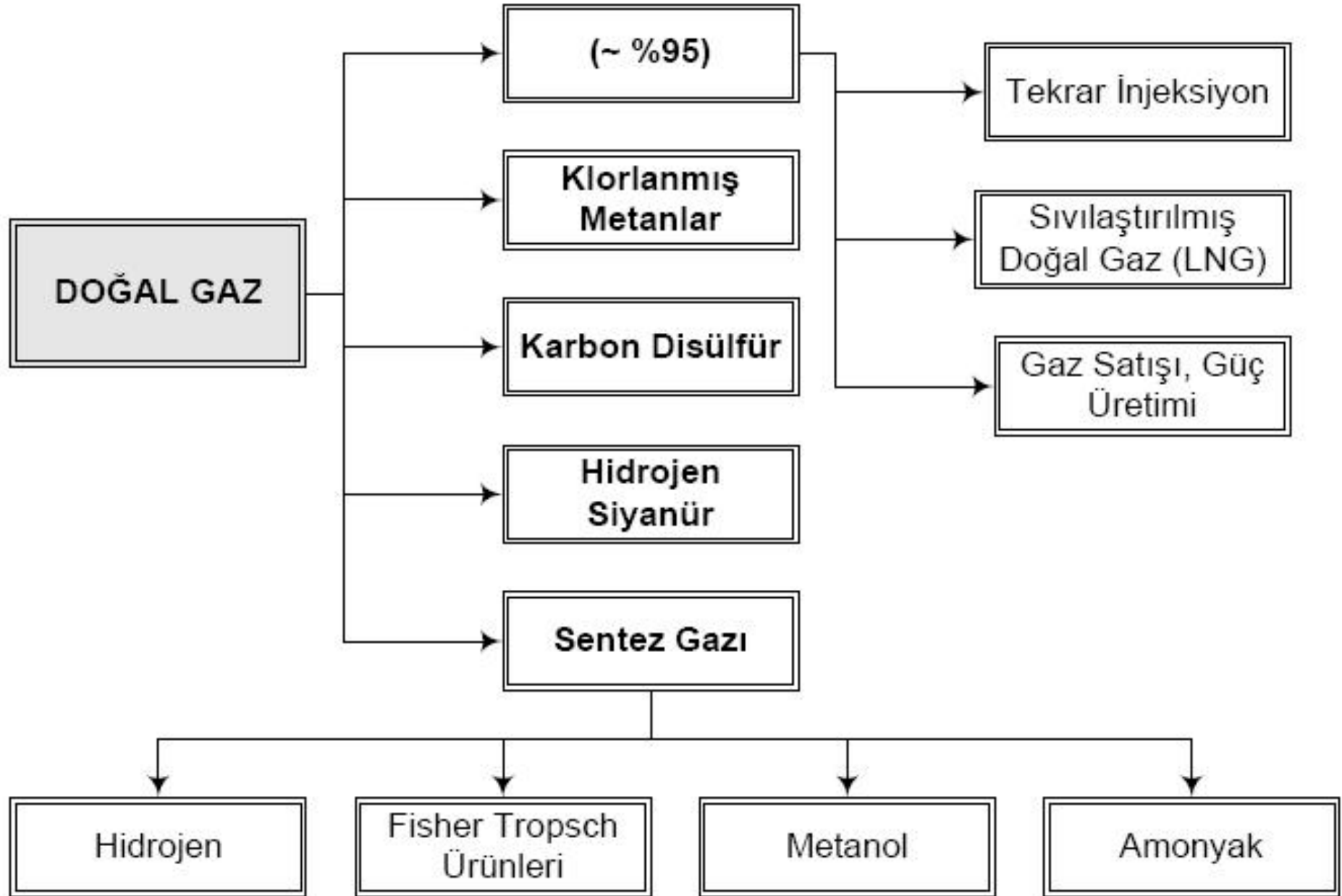
Tutuşma Sıcaklığı : 645°C

Doğal gazın yanabilmesi için hava ile % 5 - %15 arasında bir karışım yapması gerekir.

İdeal karışım oranı (stokiyometrik)

% 9 doğal gaz + % 91 hava

Doğal Gazdan Elde Edilen Ürünler

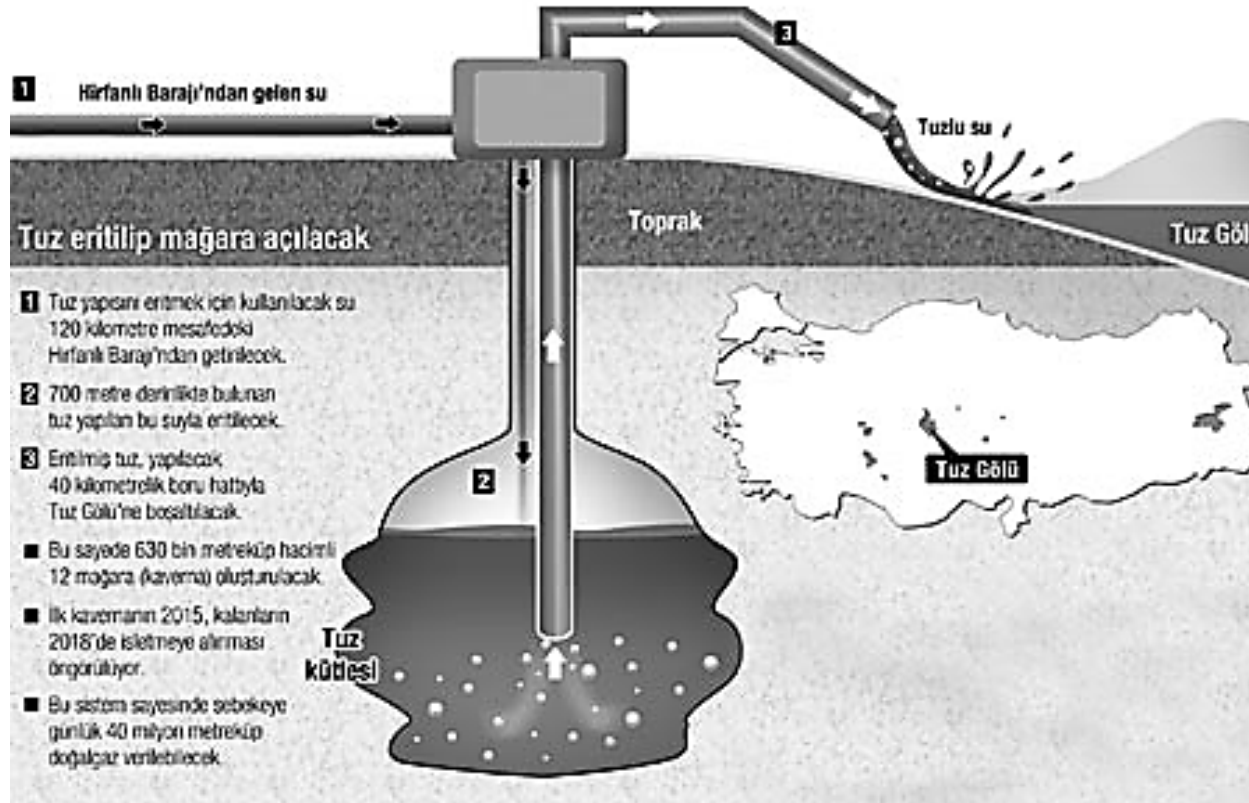


Doğal Gazın Depolanması

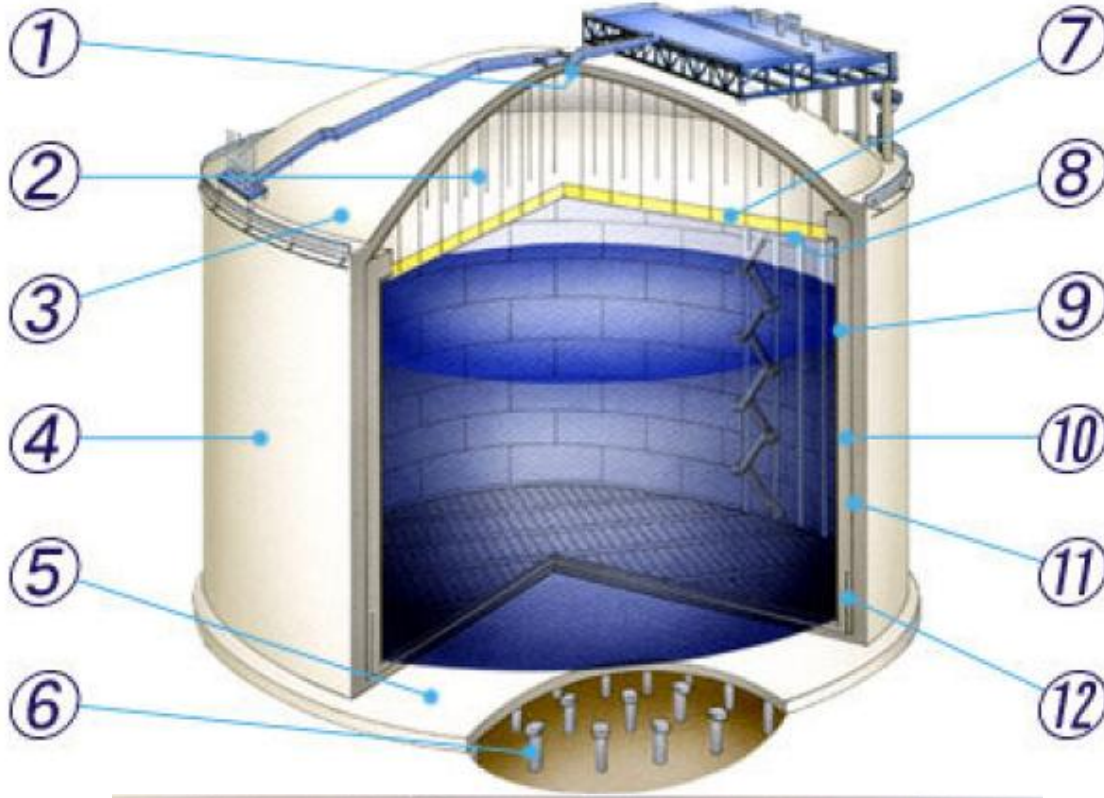
Doğal gaz depolaması iki genel grup altında toplanabilir;

- Gaz halinde depolama,
- Sıvılaştırılmış halde depolama (-162°C).

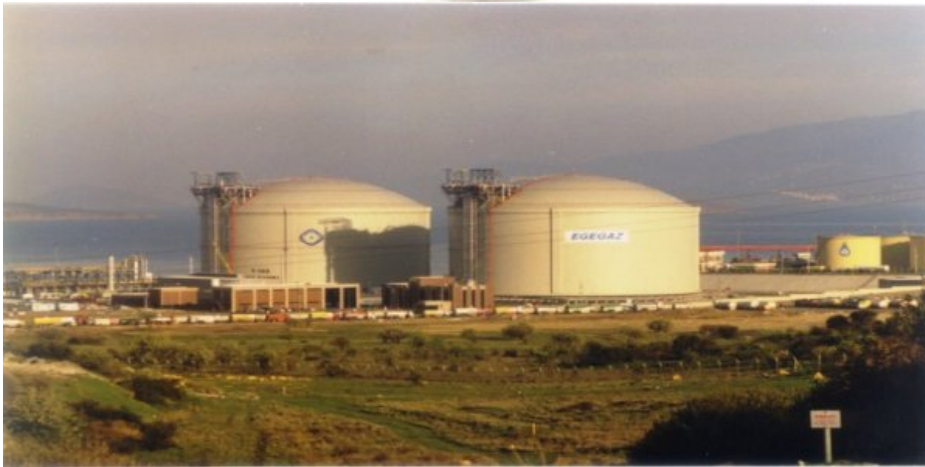
Gaz Halinde Depolama: Doğal gaz genellikle doğal yeraltı rezervuarlarında depolanır. Yeraltı depolamasına uygun olan oluşumlar önce depo olarak kullanılmak üzere şartlandırılır. Sonra doğal gaz enjekte edilir ve fazla gaz alması için basınçlandırılır. Bu durumda yer altı oluşumu basınçlı bir depo tankı haline gelir.



Sıvılaştırılmış Halde (LNG) Depolama: LNG daha az yer kaplaması nedeniyle gerek depolamada ve gerekse taşımada tercih edilir. LNG yerüstü veya yeraltına gömülü değişik kapasitedeki büyük tanklarda depolanır.



1. Çatı Astarı
2. Asma Çubuklar
3. Beton Çatı
4. Yan Duvarlar
5. Taban Plakası
6. Destekler
7. Çatı Yalıtımı
8. Asma Tavan
9. İç Kabuk
10. Yan Duvar Yalıtımı
11. Yan Yüzey Astarı
12. İkincil Bariyer



Doğal Gazın İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı

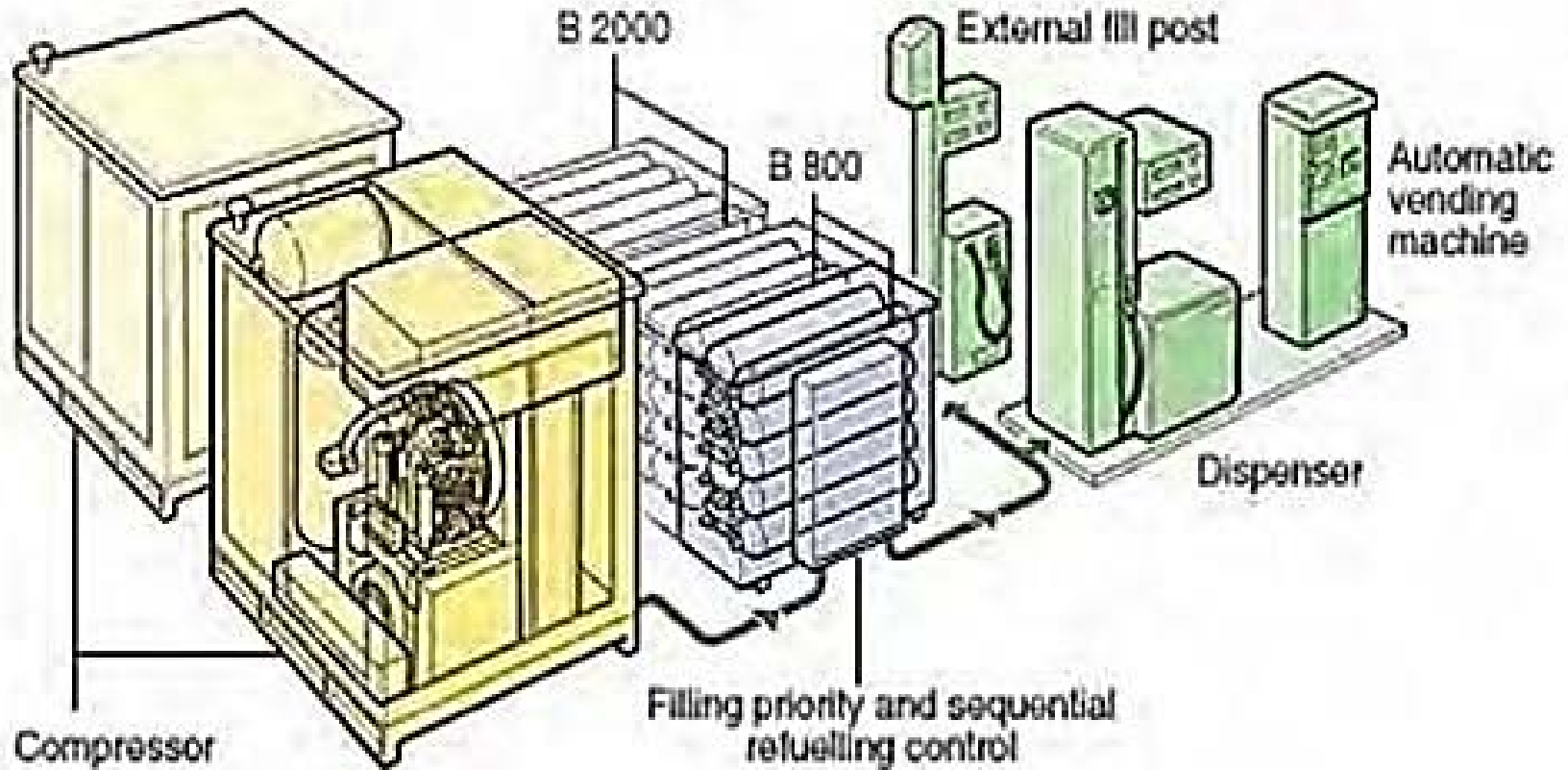
CNG (Compressed Natural Gas): Minimum 2 bar maksimum 20 bar basınçta doğal gaz Őebekesinden gelen gazın CNG kompresörü ile en az 200 bar basına sıkıştırılarak elik t¼plerde depolanması.

Avantajları:

- Benzin ve motorine göre ucuzdur. Bu sebeple özellikle benzinin yakıt ekonomisini karşılar veya geçer.
- Artık bırakmadan yanar. Bu sebeple benzinli motorlarda buji değişim aralıkları uzun olur.
- Gaz fazında olduğu için yağlama yağına karışmaz bu sebeple daha uzun periyotlarla yağ ve yağ filtresi değiştirilir (benzine ve motorine göre 2 katı).
- Silindir cidarlarında C birikimine sebep olmaz.
- Egzoz sistemi uzun ömürl¼ olur.
- LPG'ye göre daha güvenli bir yakıttır. Herhangi bir kaza anında havadan hafif olduğu için çabukça dağılır.
- En az kirletici emisyon yayan yakıttır. (sera gazı hariç)

Dezavantajları:

- Dolum istasyonları yaygın değildir ve kurulması pahalıdır. (Yavaş Doldurma veya Hızlı Doldurma)



Hızlı Doldurma

- Büyük hacimli yakıt tüpleri fazla yer kaplar ve bagaj hacmini küçültür.



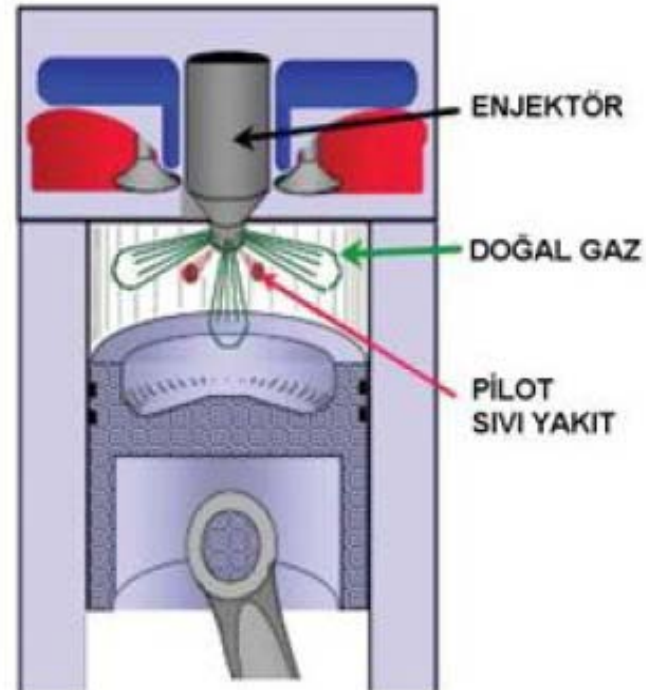
- Taşınması sıvı HC yakıtlara göre daha zor ve pahalıdır. Çünkü yüksek basınç , düşük sıcaklık, kompresörler, soğutucular ve ağır kaplar gerektirir.
- Metanın (CH_4) sera etkisi LPG'ye göre daha kötüdür (20 kat).
- Taşıtlardaki dönüşüm maliyetleri özellikle diesel motorlarında daha yüksektir.
- Motor performansında düşüşe neden olur (Hava-Yakıt karışımının silindir dışında oluşturulması).
- Gerek depolama gerekse düşük enerji yoğunluğundan dolayı benzin ve motorin ile aynı depolama hacmine sahip doğal gaz kullanılan taşıtların kat edebilecekleri menzil daha azdır.

Diesel Motorlarında Doğal Gaz Kullanımı

Tek Yakıt Uygulaması (Motor Modifikasyonu): Diesel motoru benzinli motor çalışma biçimine dönüştürülür. Sıkıştırma oranı düşürülür, bir ateşleme sistemi ile CNG yakıt sistemi yerleştirilir. Motor sadece tek yakıtla çalıştırılır.

Çift Yakıt Uygulaması (Doğal Gaz Dönüşüm Sistemi): Doğal gaz emme havasına karıştırılarak silindire gönderilmekte, sıkıştırma sürecinin sonunda silindire püskürtülen pilot diesel yakıtıyla tutuşma sağlanmaktadır. Bu tip motorlarda motor; hem çift yakıtla (Diesel-CNG) hem de istenildiğinde sadece diesel yakıtı ile çalıştırılabilir.

Çift yakıt uygulamasında doğal gazın çift yakıt enjektörü ile direkt olarak silindir içine püskürtülerek kullanılması da mümkündür.



Doğal Gaz Kullanımının Diesel Motorlarında Egzoz Emisyonları ve Güce Etkisi

1. Fakir Karışimli Doğal Gaz Motor
2. Stokiyometrik Karışimli Doğal Gaz Motoru

1. Fakir Karışimli Doğal Gaz Motoru: Hava fazlalık katsayısı **1.5 – 1.6**'ya kadar çıkabilmektedir. Bu durumda **NOx'lerde büyük oranda azalmalar olur.** Ancak fakir karışimde yanma hızları düşük olduğu için motor gücü azalır. Fakir karışimli motorlarda ön yanma odaları kullanılarak alevin yanma odası içerisindeki yolu kısaltılabilir ve böylelikle yanma hızı normal değerine kadar yükselir. Fakir karışımların güç düşürücü etkisini azaltmanın bir başka yöntemi de aşırı doldurmadır.

2. Stokiyometrik Karışimli Doğal Gaz Motoru: Bu durumda maksimum güç elde edilebilmektedir. Ancak bu karışım oranında **NOx emisyonu maksimum değerdedir.** Egzoz gazı resirkülasyonu (EGR) veya üç yollu katalizör kullanılarak egzoz emisyonu değerleri düşürülmektedir.

Fakir karışimli yüksek yanma hızlı motorlarda; stokiyometrik karışım oranlı motorlara göre yakıt tüketimi %15-20 daha azdır.

- Doğal gaz taşıtlarda kullanıldığında, partikül madde emisyonlarında geleneksel diesel yakıtlı motorlara oranla **%65-90** azalma sağlamaktadır.
- Doğalgazın ağır vasitalarda kullanımı, NOx'lerde **%67'**ye kadar azalma sağlamaktadır (fakir karışimli).

Alternatif Bir Enerji Kaynağı : Hidrojen (H₂)

3 izotopu vardır:

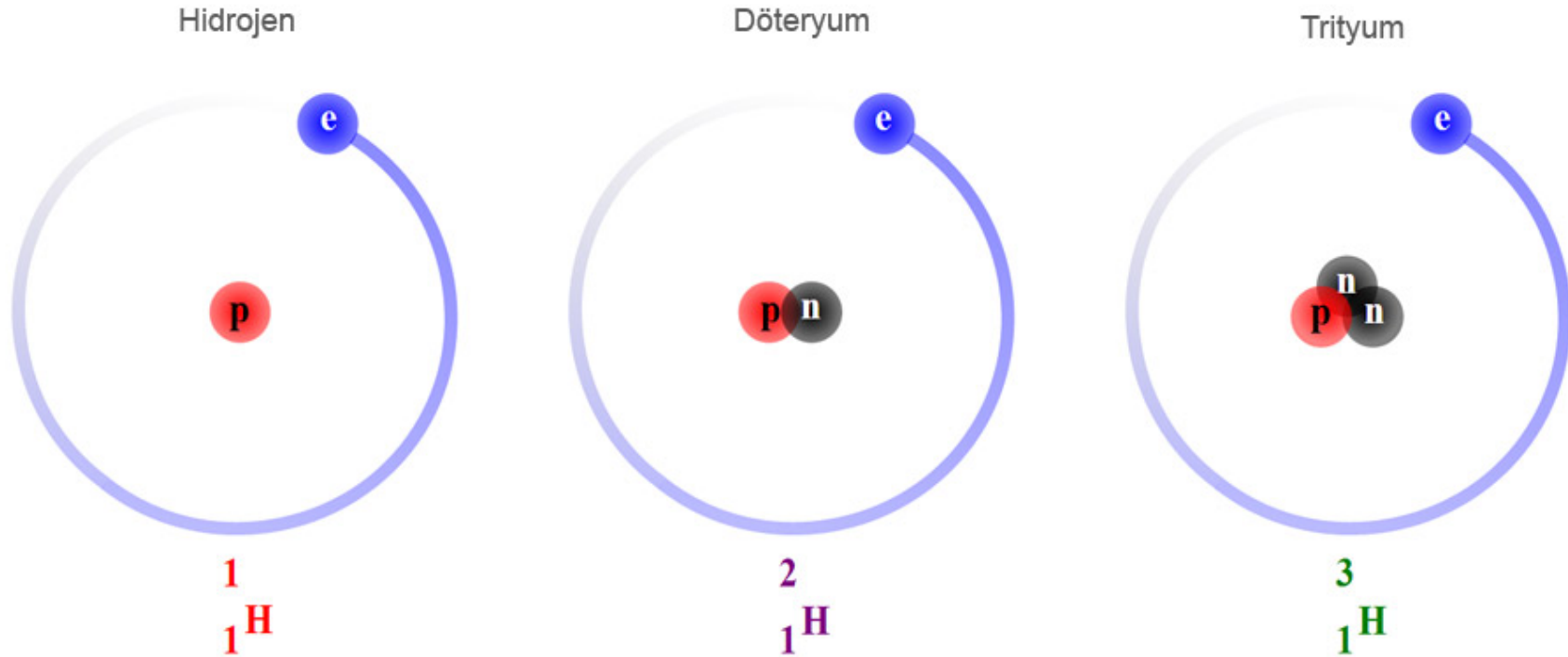
- Atom numarası (proton sayısı) aynı, kütle numarası (Proton Sayısı + Nötron Sayısı) farklı

Protium (¹H) : +1 değerli bir çekirdek ve 1 elektrondan oluşur, atom ağırlığı 1.008'dir.

Deuterium (²H) : 1 proton ve 1 nötron'dan oluşur.

Tritium (³H) : 1 proton ve 2 nötron'dan oluşur. Doğal olarak bulunmaz yapay olarak üretilir.

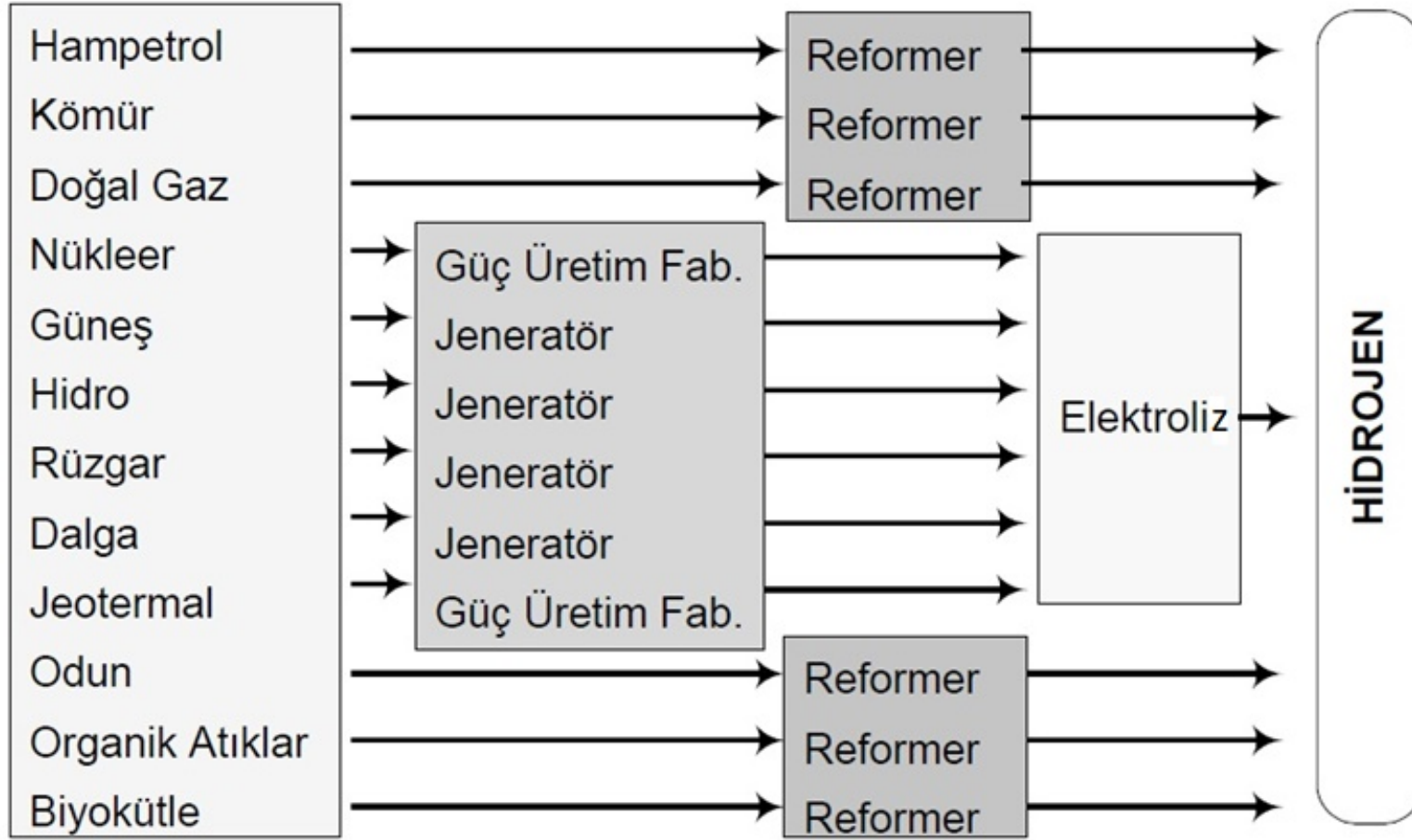
HİDROJENİN İZOTOPLARI



Fiziksel Özellikleri:

- Renksiz ve kokusuz bir gazdır.
- Molekül ağırlığı 2.016 kg (Döteryum) olup en hafif elementtir.
- Özgül kütlesi havadan 14 kat azdır (Normal şartlar altında 0.08376 kg/m³).
- 20.3 K (-252,7 °C) ve 1 atmosfer basınç altında sıvı hale geçmektedir.
- Bir çok yakıttan daha yüksek enerjiye sahip bir moleküldür. Hidrojenin enerji kapasitesi 141.9 MJ/kg olup benzinin yaklaşık 3 katına eşittir.
- Kendi kendine yanma sıcaklığı 585°C
- Hava içerisinde hacimsel %4-%75 oranlarında bulunması halinde yanar. Stokiometrik oran ise %29,53'dür.

Hidrojen Üretiminde Kullanılan Kaynaklar



Dünyada Hidrojen Üretimi

Doğal Gaz	: %48 (%48'in %90'dan fazlası CH ₄ 'dan geri kalan %10 doğal gazdaki etan ve propandan)
Rafineri Ürünleri (Benzin, LPG vb.)	: %30
Kömür	: %18
Suyun Elektrolizi	: %4

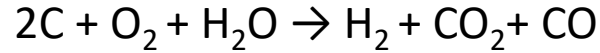
Hidrojen Üretimi

Üretim metotları;

- Hammaddeye,
- Elde edilmek istenen hidrojen miktarına,
- Elde edilmek istenen hidrojenin saflık derecesine,

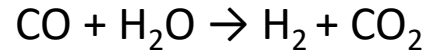
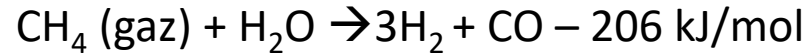
I. Fosil Hammaddeler Kullanılarak

1. Kömürün Gazlaştırılması (Koppers-Totzek Prosesi)

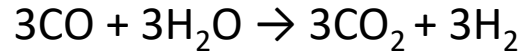
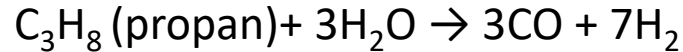


2. Buhar Reformingi

-Doğal Gaz Reformingi,



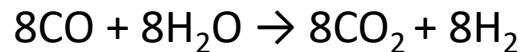
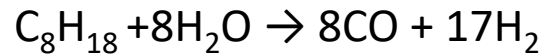
-LPG Reformingi,



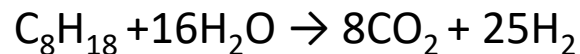
Toplam reaksiyon;



-Benzin Reformingi



Toplam reaksiyon

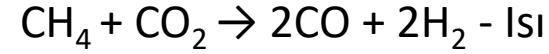
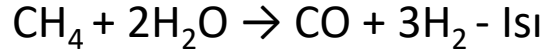


3. Ototermal Reforming (Doğal gaza uygulanan kısmen ekzotermik kısmen endotermik proses)

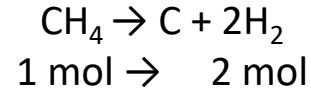
Yanma bölgesi (kısmı oksidasyon-ekzotermik reaksiyonlar)



Reforming bölgesi (endotermik reaksiyonlar)



4. Termal Disosiasyon (HC bileşiklerin oksijensiz ortamda yüksek sıcaklıkta ~2000°C'ta parçalanması)

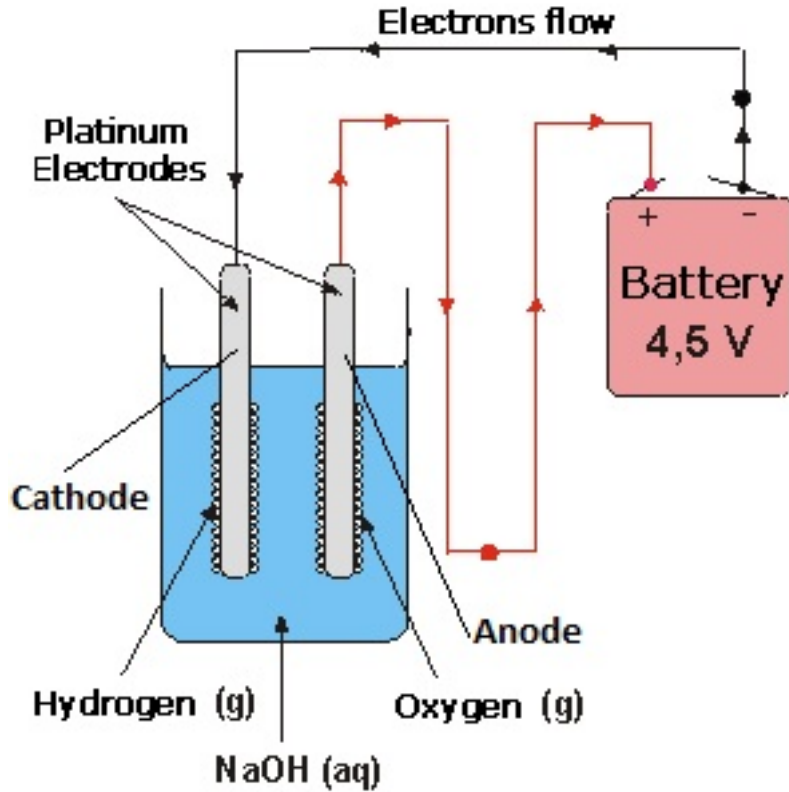


II. Yenilenebilir Enerji Kaynağı Kullanılarak Su'dan

Yeryüzünün %70'den fazla kısmı suyla kaplıdır ve suyun %11.2 si hidrojendir; dolayısıyla su çok bol bulunan bir hidrojen üretim kaynağıdır.

1. Suyun Elektrolizi
2. Fotoelektroliz
3. Suyun Termal Parçalanması

1. Suyun Elektrolizi



- Katot ve anot arasında oluşan elektron akımı ile su hidrojen ve oksijenine ayrılır.
- Su içine NaCl, KOH, NaOH katılarak elektrik iletkenliği artırılır.
- Elektroliz için min 1.75-2.05V gerilim yeterlidir.

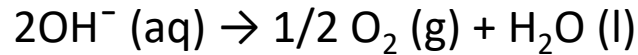
Çok bilinen ve yaygın olarak kullanılan elektroliz sistemi %25'lik potasyum hidroksit çözeltisi olan alkali elektrolizerlerdir.

İşlem basamakları :

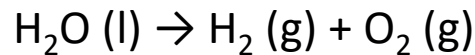
Katot reaksiyonu



Anot reaksiyonu

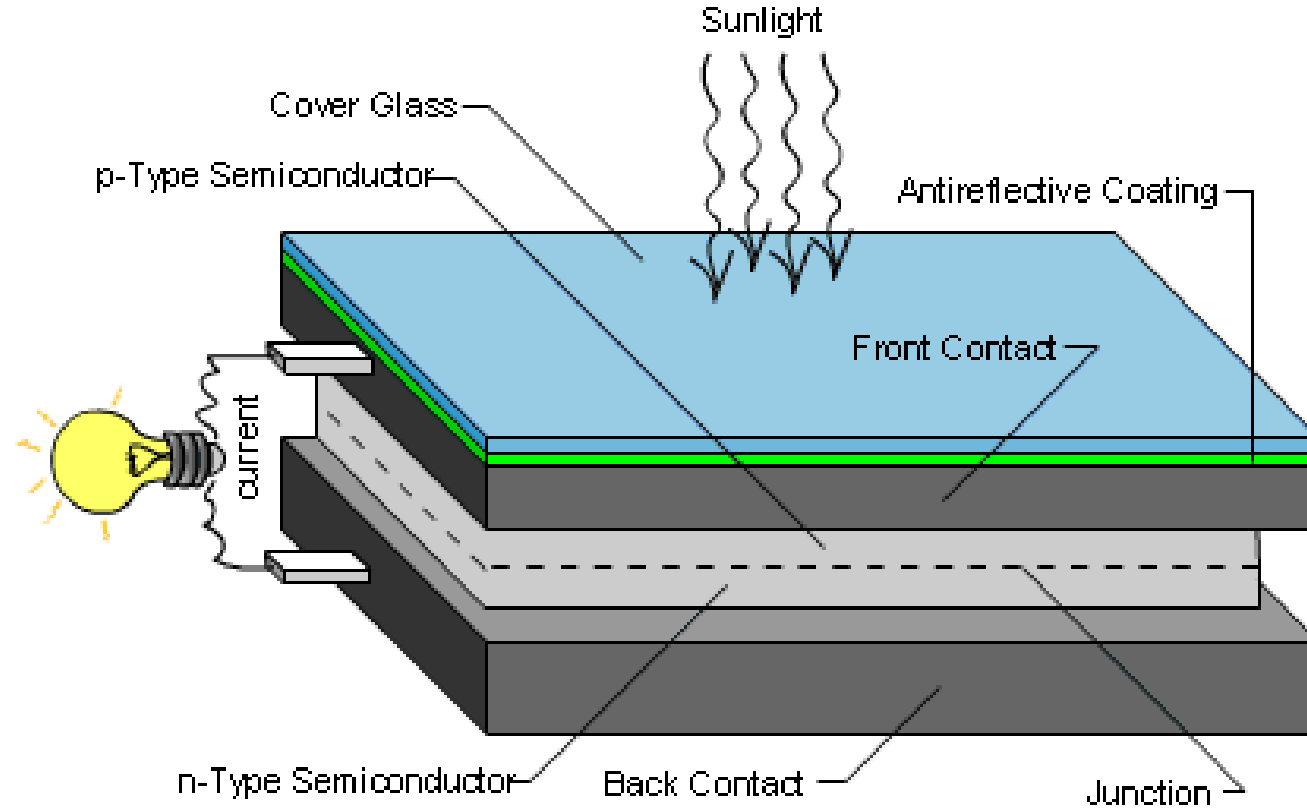


Toplam reaksiyon



2. Fotoelektroliz

- Güneş ışığından önce elektrik, sonra da bu elektriği kullanarak sudan hidrojen elde



Silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür anorganik yarı iletkenler;

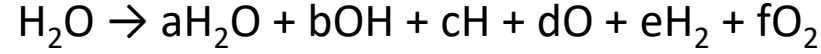
n tipinde (verici) fosfor katkı maddesi olarak kullanılır;

p tipinde (alıcı) alüminyum, iridyum, bor v.b. katkı maddesi kullanılır;

- Direk güneş ışığı kullanılarak da sudan hidrojen elde edilebilir. Su içerisine redox (indirgeme) görevi gören bir katalizör ve değişik mikro organizmalar katılarak güneş ışığında meydana gelen kimyasal reaksiyon sonucunda su ayrışır ve hidrojen üretilir.

3. Suyun Thermal Parçalanması

Güneş kolektörlerinden oluşan bir termal güneş gücü fabrikasında sıcaklık 3000 °C ye kadar çıkar. Oysa su 2000 °C nin üstünde ısıtıldığında hidrojen ve oksijene parçalanır. Isı arttıkça verimlilik artar 2000 °C %1, 2500 °C %8.5, 3000 °C %24.



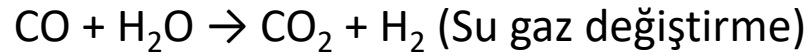
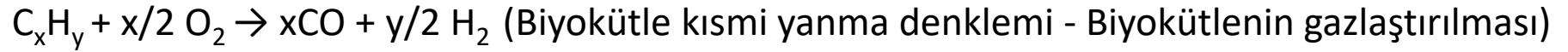
Direk ısıl ayrışmanın düşük sıcaklıklarda gerçekleşmesi için su içerisine katalizör ve bazı kimyasal maddeler katılır. Su içerisine kimyasal maddeler karıştırılarak düşük ısılarda direk ısıl ayrışma gerçekleştirilmesine **termokimyasal dönüşüm** denir. Ancak yüksek sıcaklıkta parçalanmaya göre verimliliği çok düşüktür.



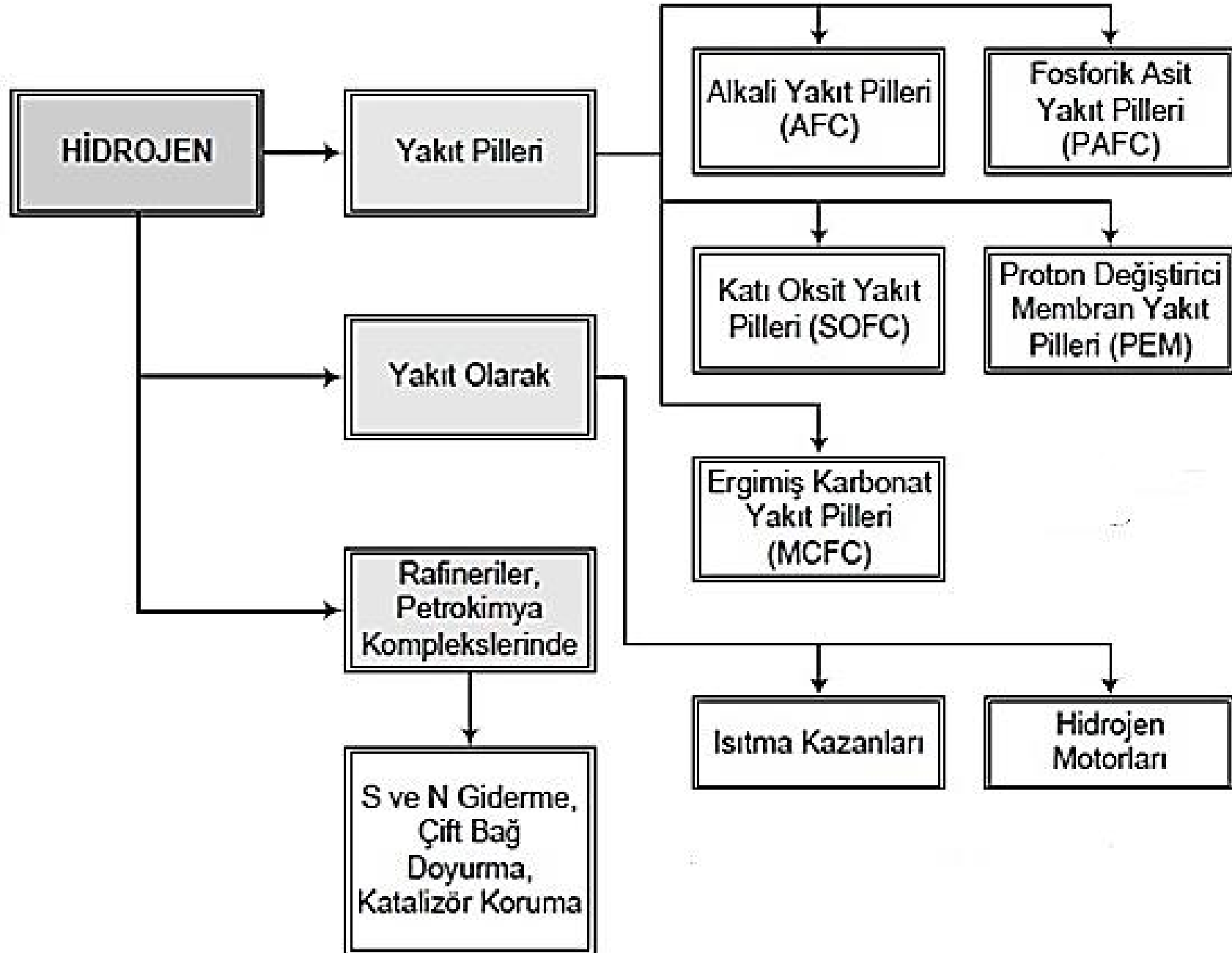
III. Biyokütle Gazlaştırması ile

Biyokütlerdeki hidrojen yaklaşık ağırlıkça %6-6.5 kadardır.

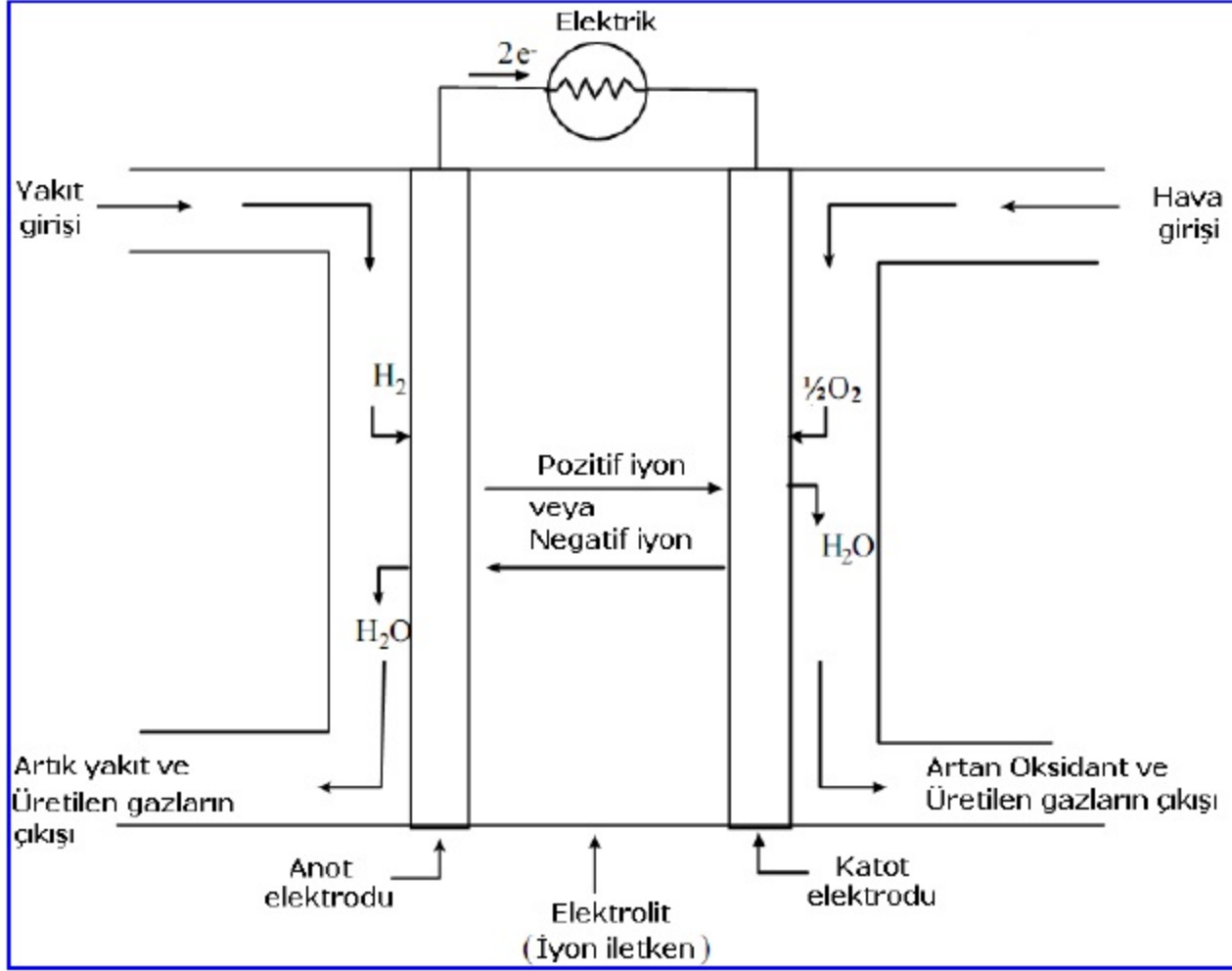
Biyokütlenin kısmi oksidasyonu:



Hidrojenin Kullanım Alanları



Yakıt Pilleri



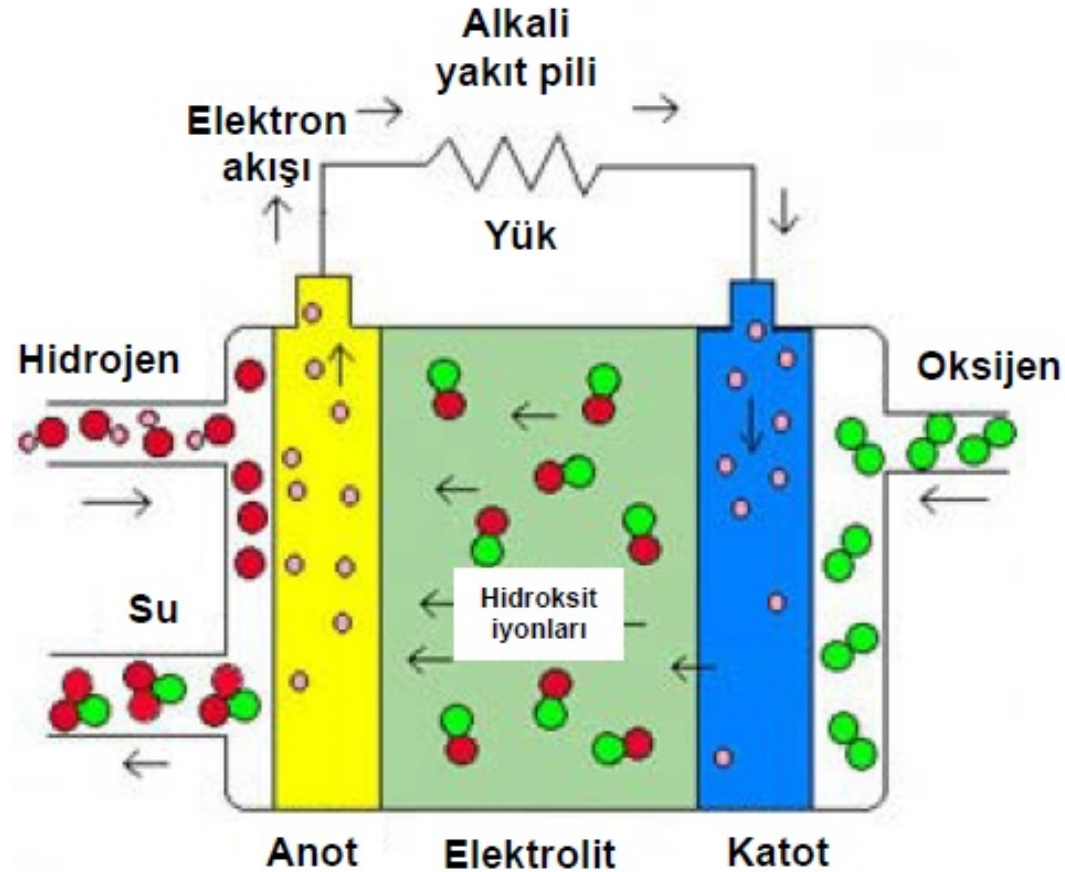
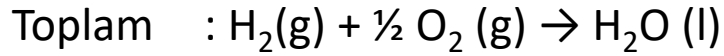
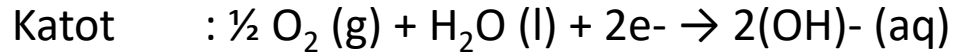
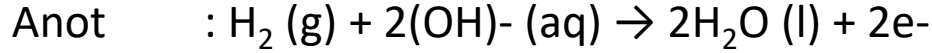
Genel olarak bir yakıt pili şöyle çalışır;

- Anotta hidrojen molekülü elektron verir ve H⁺ şekline dönüşür,
- Elektronlar dış hat ile katoda doğru ilerlerken bizim ihtiyacımız olan elektrik enerjisini üretirler,
- Hidrojen iyonları yakıt hücresinin tipine göre farklılık gösteren elektrolitten geçerek katoda ulaşır,
- Katoda geçen hidrojen iyonu ve havada bulunan oksijen dış hattan gelen elektronlarla birleşerek su oluşturur.

Alkali Yakıt Pili (AFC)

Elektrolit olarak %85 konsantrasyonunda KOH (potasyum hidroksit) kullanılır ve çalışma sıcaklığı 250°C dir. %35-50 konsantrasyonda KOH kullanıldığında çalışma sıcaklığı 120°C altına düşer.

Katalizör olarak daha çok Ni (nikel), Ag (gümüş) veya metal kullanılır.



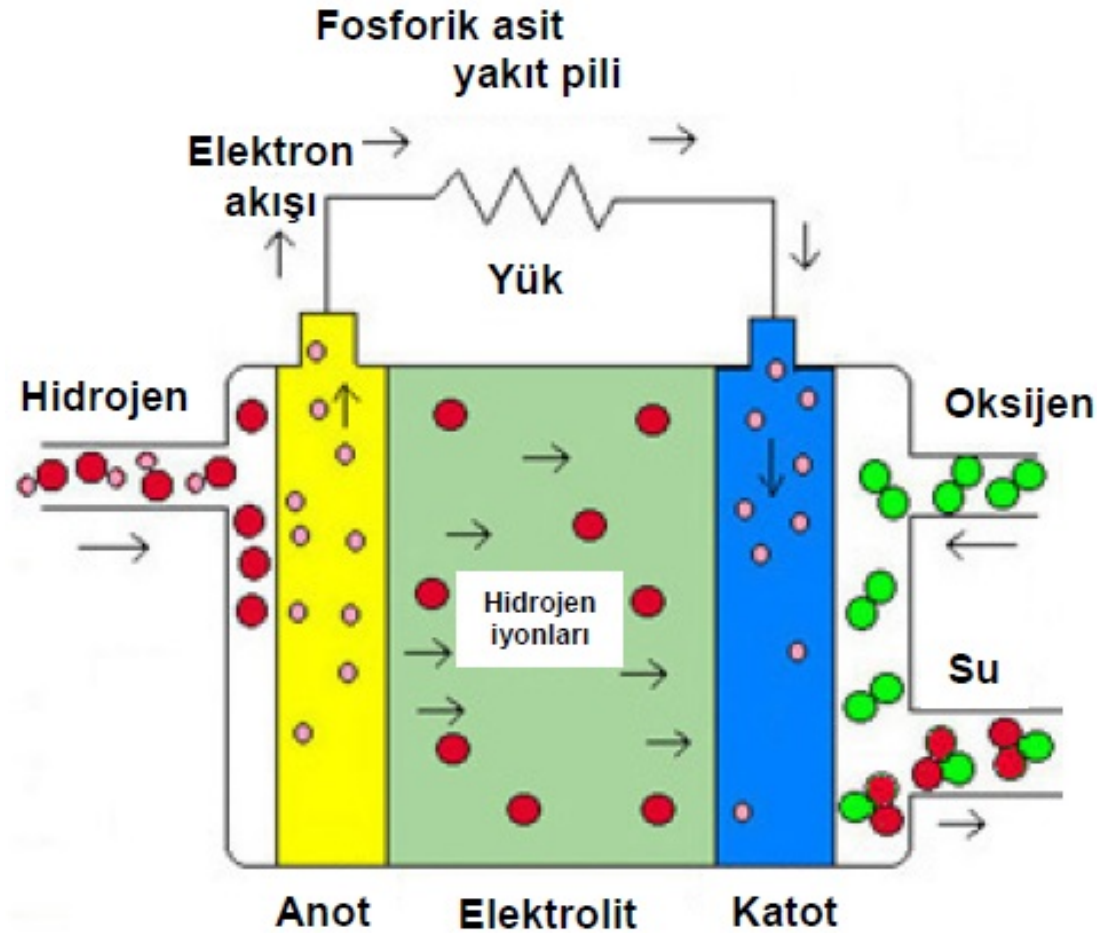
Fosforik Asit Yakıt Pili (PAFC)

Elektrolit olarak %100 fosforik asit kullanılır. Çalışma sıcaklığı 150-220°C dir. Katalizör olarak Pt (platinum) veya Pd (paladyum) kullanılmaktadır.

Anot : $H_2 (g) \rightarrow 2H^+ (aq) + 2 e^-$

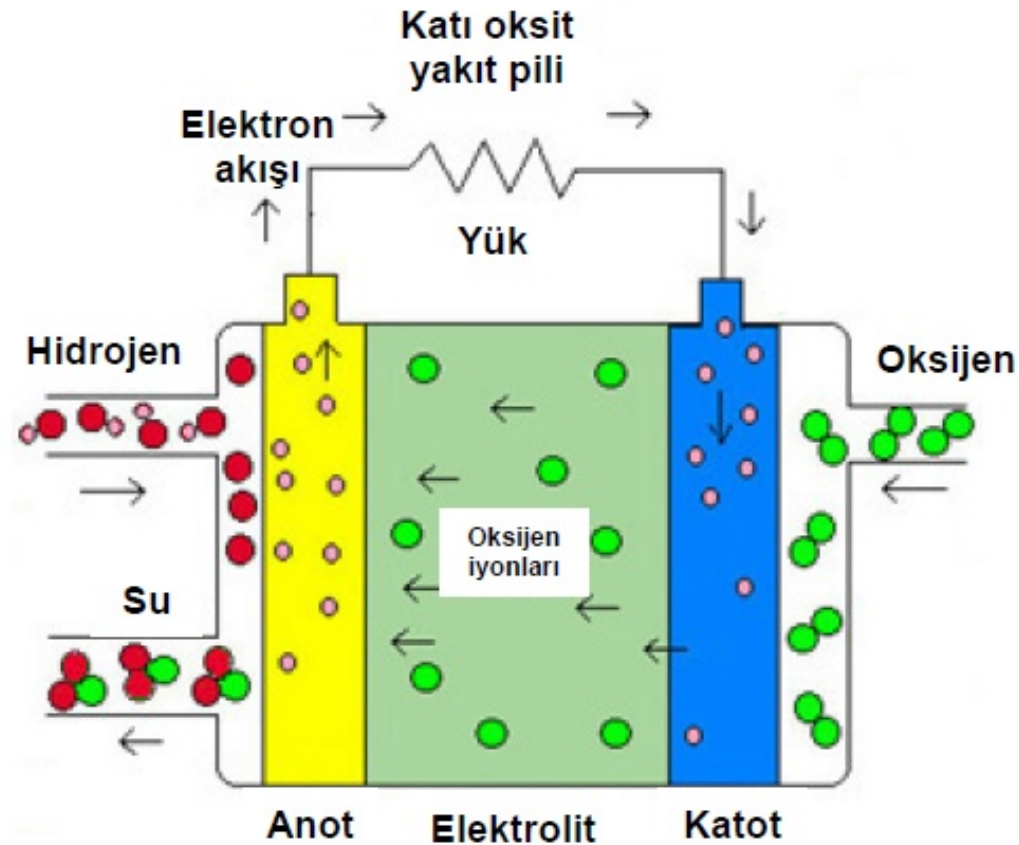
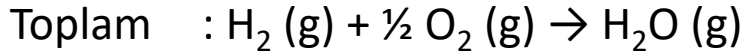
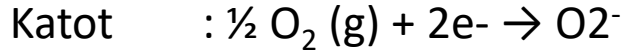
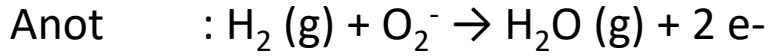
Katot : $\frac{1}{2} O_2 (g) + 2H^+ (aq) + 2e^- \rightarrow H_2O (l)$

Toplam : $H_2 (g) + \frac{1}{2} O_2 (g) + CO_2 \rightarrow H_2O (l) + CO_2$



Katı Oksit Yakıt Pili (SOFC)

Elektrolit olarak katı, gözeneksiz metal oksitler [genellikle de Y_2O_3 (itriyum tri oksit) ile desteklenmiş ZrO_2] kullanılır. Çalışma sıcaklığı $650-1000^\circ C$ dir. Katalizör olarak anotta $Co-ZrO_2$ veya $Ni-ZrO_2$, katotta ise Sr (Stronsiyum) ile desteklenmiş $LaMnO_3$ (Lantan-Mangan oksit) kullanılır.



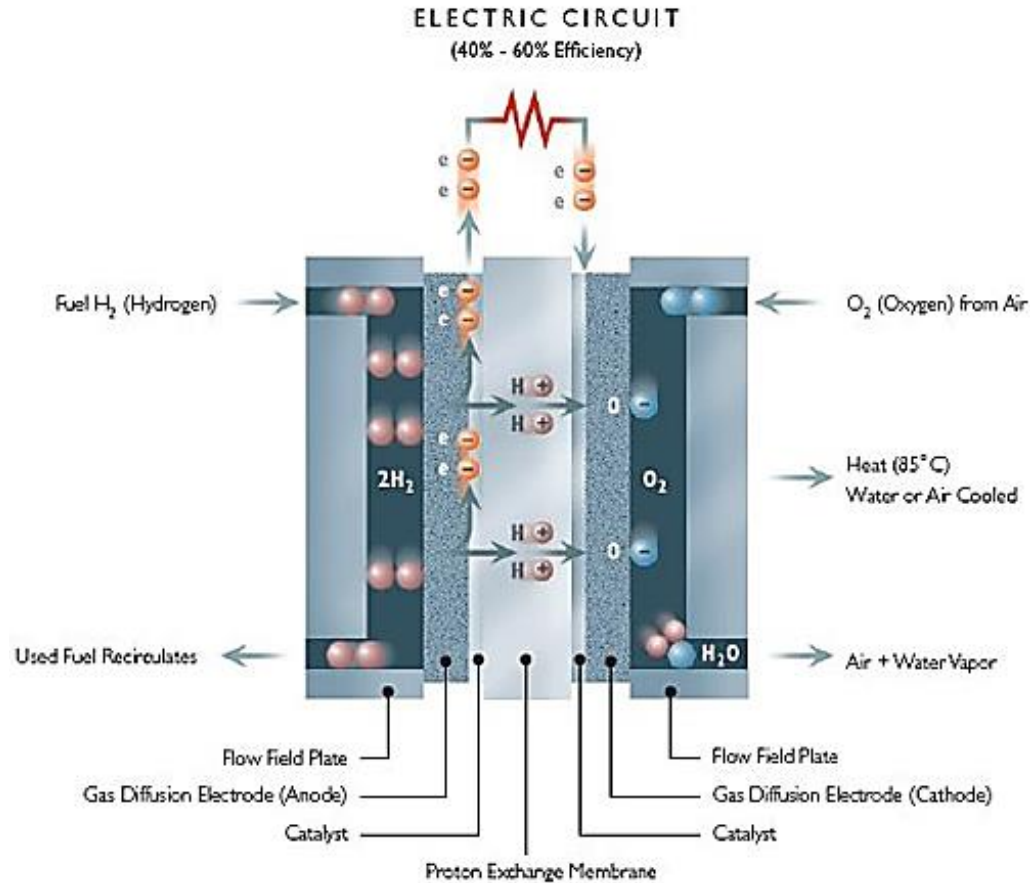
Proton Değiştirici Membranlı Yakıt Pili (PEM)

Elektrolit olarak yapısında flor bulunduran çok ince polimer bir zar kullanılır. Bu zarın 12-20 mikron seviyesinde kalınlıkları vardır. Zar incelidikçe verimlilik artar. Katalizör olarak Pt (platin) veya Pd (paladyum) gibi metaller kullanılmaktadır. Çalışma sıcaklığı genellikle 100°C altında olup tipik çalışma sıcaklığı 60-80°C dir.

Anot : $H_2 (g) \rightarrow 2H^+ (aq) + 2e^-$

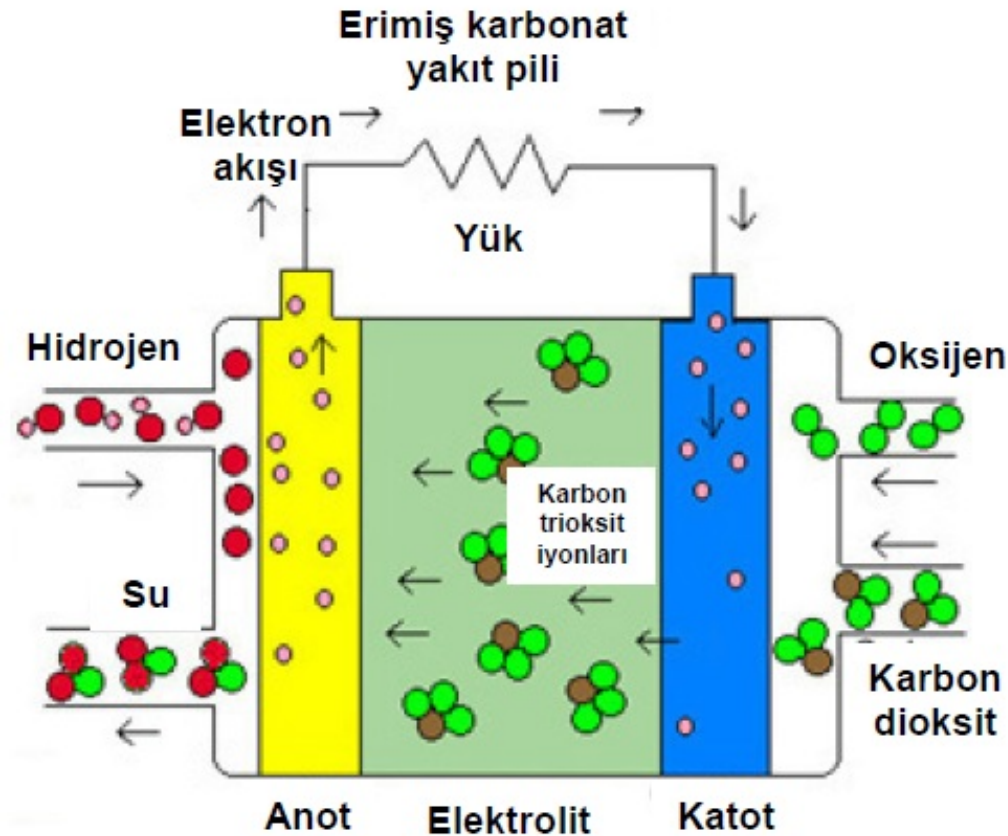
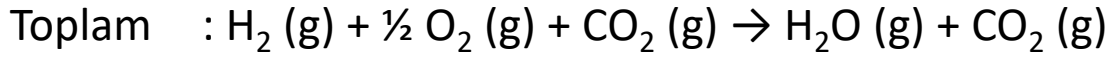
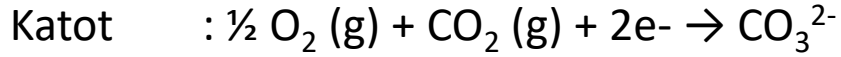
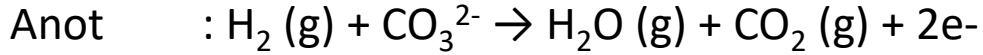
Katot : $\frac{1}{2} O_2 (g) + 2H^+ (aq) + 2e^- \rightarrow H_2O (l)$

Toplam : $H_2 (g) + \frac{1}{2} O_2 (g) \rightarrow H_2O (l)$

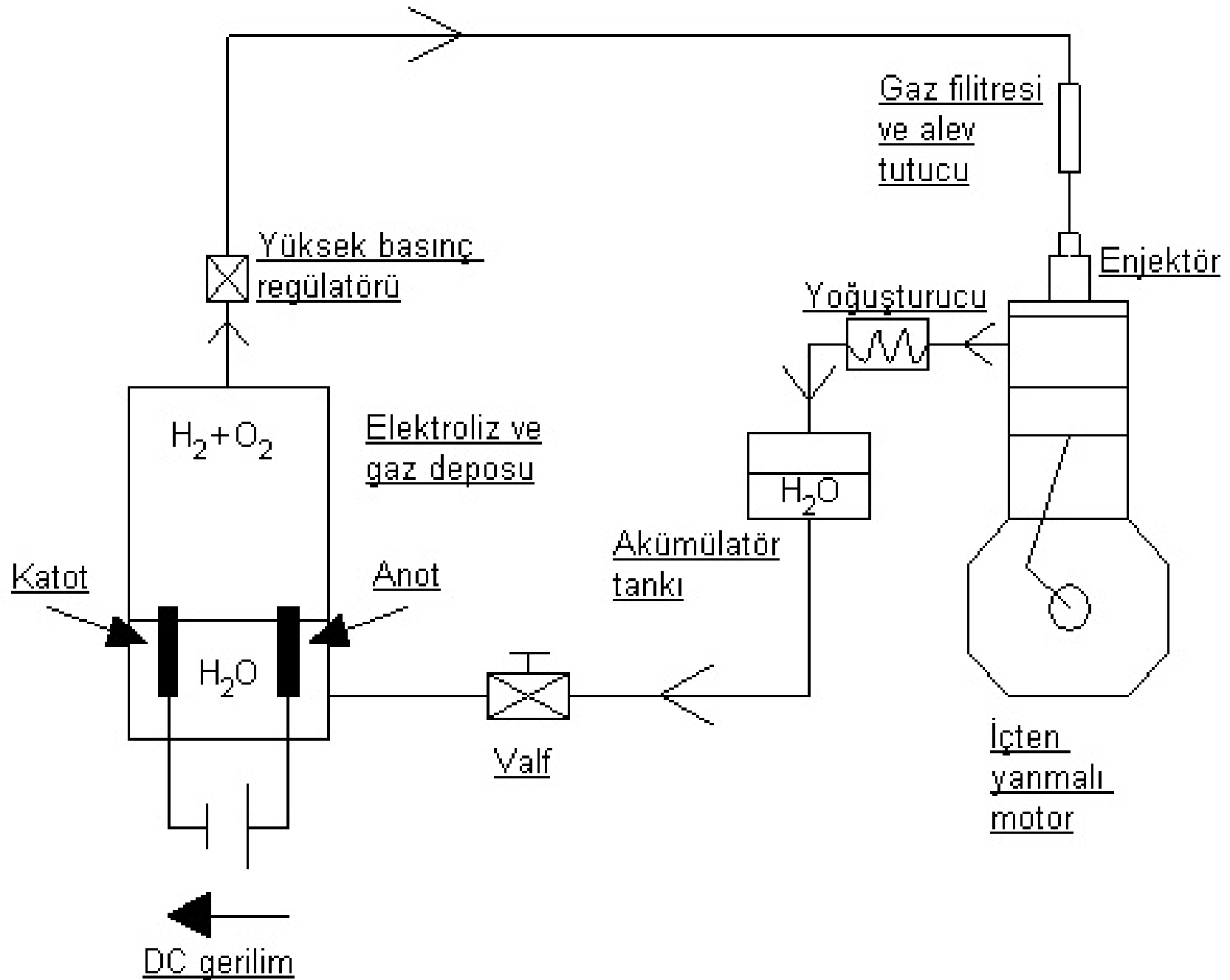


Ergimiş Karbonatlı Yakıt Pili (MCFC)

Elektrolit olarak Li (lityum), Na (sodyum), K (potasyum) gibi alkali karbonatlarının LiAlO_2 biçimindeki seramikleri kullanılır. Çalışma sıcaklığı $600-700^\circ\text{C}$ dir. Katalizör olarak anotta Ni (nikel) katotta ise nikel oksitler kullanılmaktadır.



Hidrojenin İçten Yanmalı Motorlarda Yakılması



Hidrojen yakıtlı motorlarda yanma açısından ortaya çıkan en önemli iki sorun;

- Geri tepme
- Erken ateşlemedir.

GERİ TEPME

Yanma odasına gönderilen yakıt hava karışımının silindire girmeden önce tutuşması sonucunda motorun emme manifoldu içinde geriye doğru alevin ilerlemesi geri tepme olarak tanımlanmaktadır. Geri tepme hava fazlalık kat sayısının 2 ile 3 arasında olduğu durumlarda oluşmaktadır. Bu olay emme sistemi elamanlarını tahrip etmekte ve emniyet açısından sorun oluşturmaktadır.

ERKEN ATEŞLEME

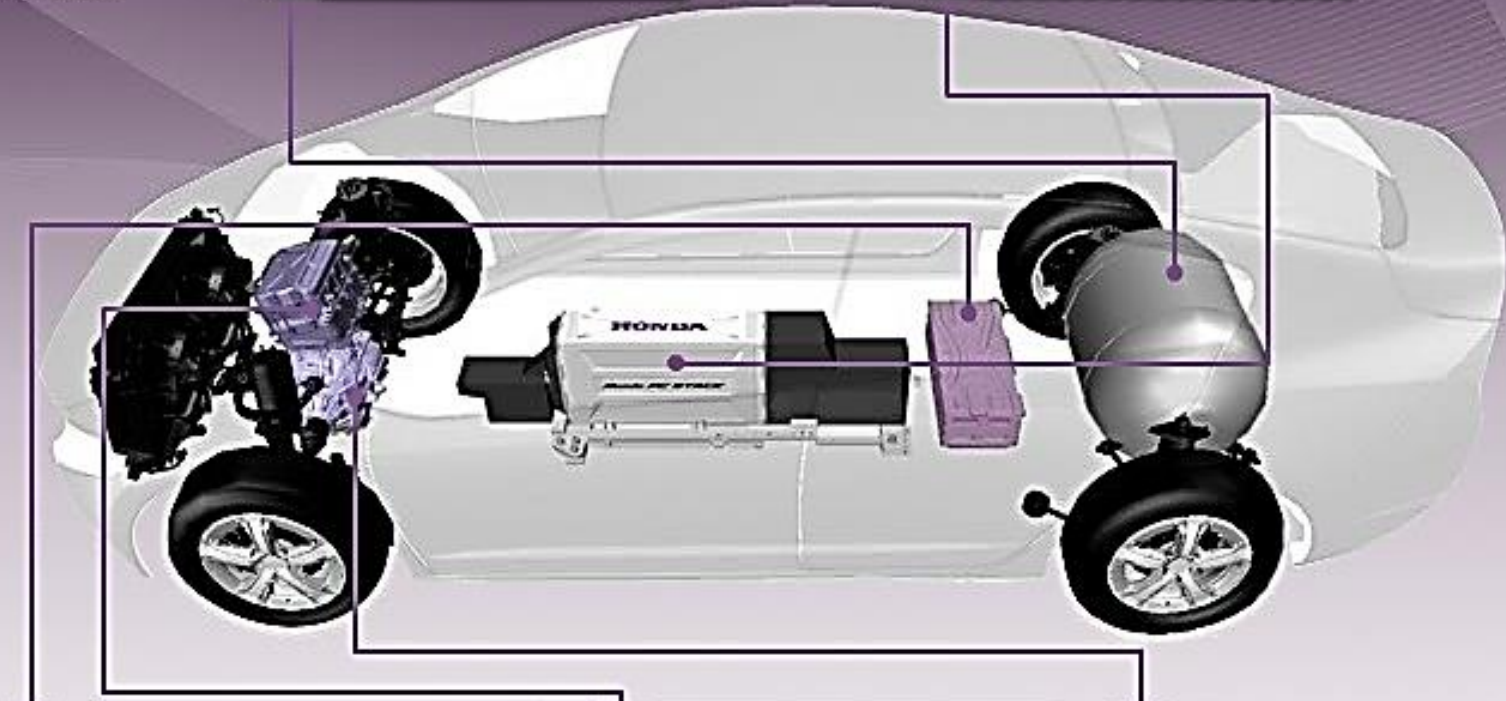
Yanma odasına gönderilen karışımın bujide kıvılcım çakmadan önce sıcak noktalar tarafından tutuşturularak yanmayı istenilenden önce başlatması da erken tutuşma olarak tanımlanmaktadır.

Hidrojenin tutuşma enerjisinin düşük olması bu iki sorunu ortaya çıkarmaktadır .

Roll over the numbered steps to learn about each stage of the process.

1 Hydrogen tank
Stores hydrogen

2 V Flow fuel cell stack
Generates electricity



3 Lithium-ion battery
Stores electricity

4 Power Drive Unit (PDU)
Governs electrical flow

5 Electric drive motor
Propels vehicle

Hidrojenin Depolanması

1. Sıkıştırılmış Depolama

2. Sıvılaştırılmış Depolama

3. Özel Katı veya Sıvı Maddeler İçinde Absorblatılarak (emdirilerek) Depolama

a) Metal Hidrürlerde

b) Karbon Nanotüplerde

1. Sıkıştırılmış Depolama

800 bar basınca kadar sıkıştırılarak depolanabilir.

Ayrıca, doğal gazın depolanmasında uygulanan teknolojiler (pistonlu kompresörler) hidrojen için de kullanılabilir.

Sıkıştırılmış hidrojen depolama tankları çelik, kompozitle kaplanmış alüminyum veya kompozitle kaplanmış plastik malzemelerden yapılıdır.

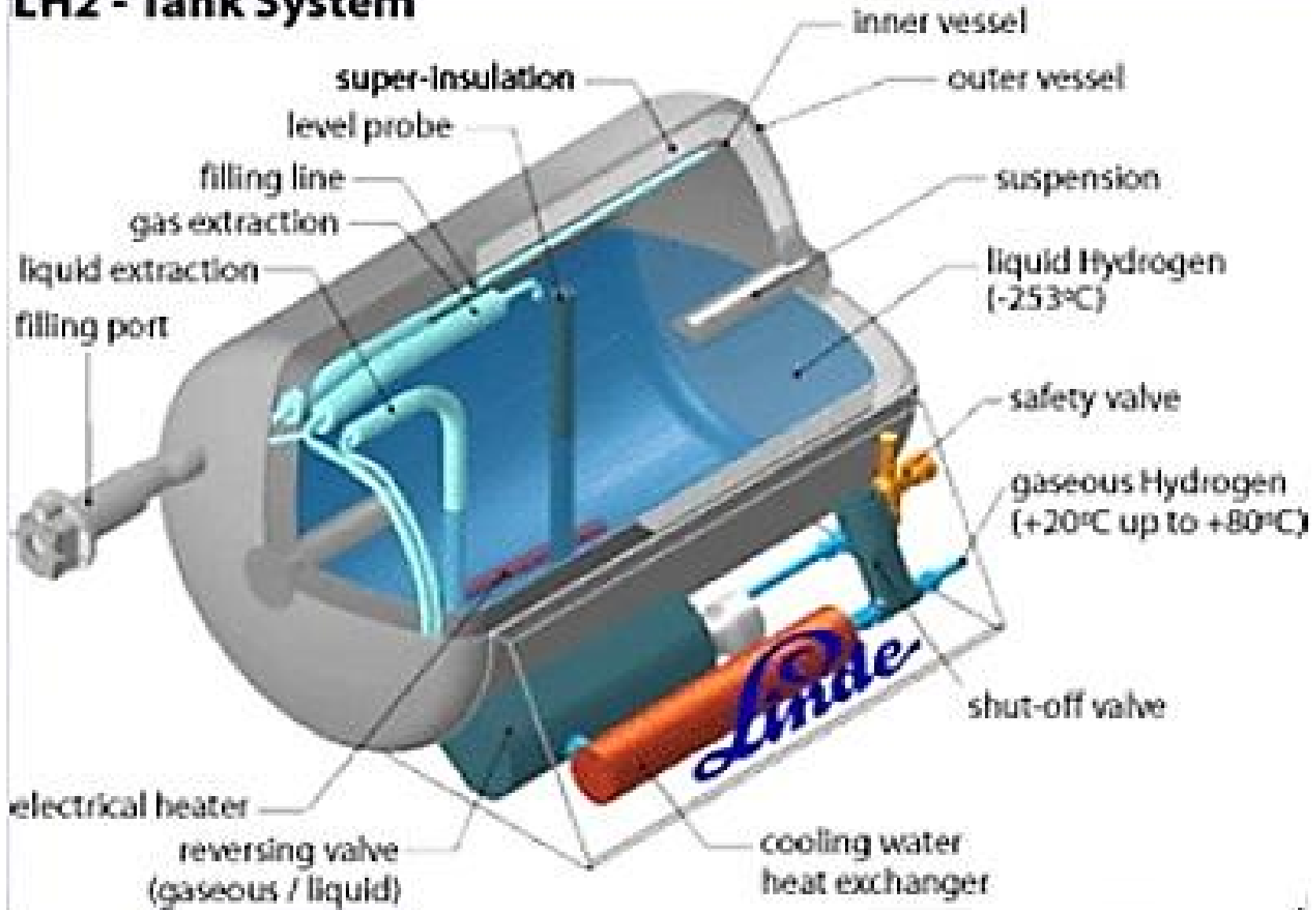
Taşıtlarda kullanılacak depo tanklarının hafif kompozit malzemelerden yapılması gerekir; bunlar 350 bar basınca kadar (ağırlıkça %10-12 hidrojen) güvenle kullanılabilir.



2. Sıvılaştırılmış Depolama

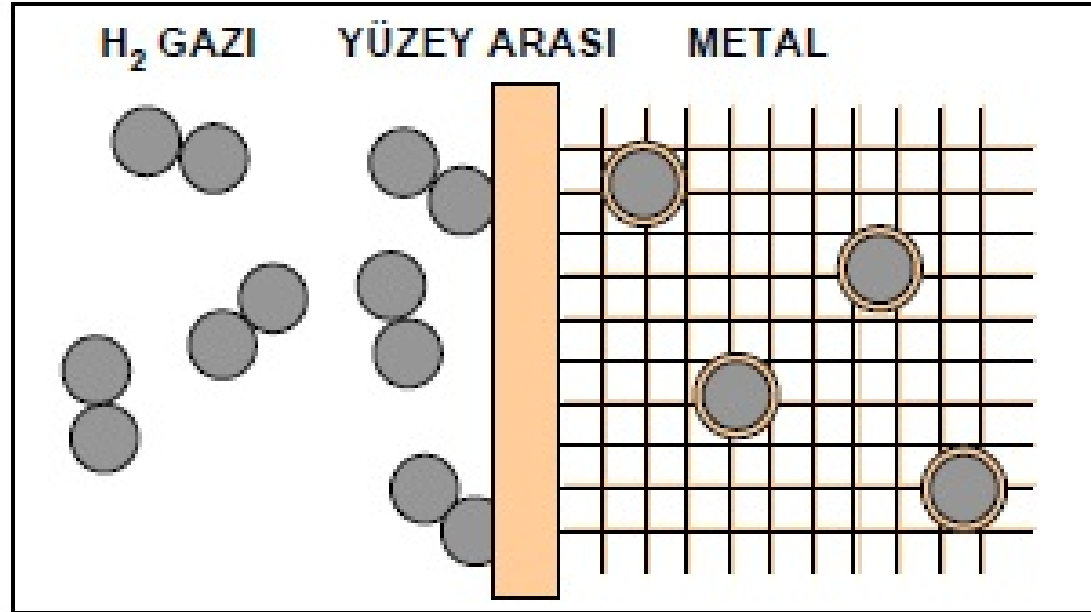
Hidrojen, süper izolasyonlu vakumlu tanklarda $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de sıvı halde (LH_2) depolanabilir. Sıvı hidrojen uzun mesafe yolcu araçlarında, uçaklarda ve uzay araçlarında çok avantajlı bir yakıttır.

LH2 - Tank System



3. Özel Katı ve Sıvı Maddeler İçinde Absorblatılarak (emdirilerek) Depolama

a. Metal Hidrürler

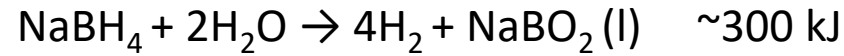


- Hidrürler, hidrojen ile bir veya daha fazla başka elementler (**NaAl** ve **NaB** v.b.) içeren kimyasal maddelerdir. Metal granüller, tıpkı bir süngerin suyu emmesi gibi hidrojeni absorblar. Tankta hidrojen doldurulurken ısı çekilir, tank boşaltılırken de ısı verilir.
- Bu tür depolamada en önemli dezavantaj depolanan hidrojene kıyasla metal hidrürün fazla ağır bir malzeme olmasıdır.

Hidrojen depolamada en çok kullanılan metal hidrürler:

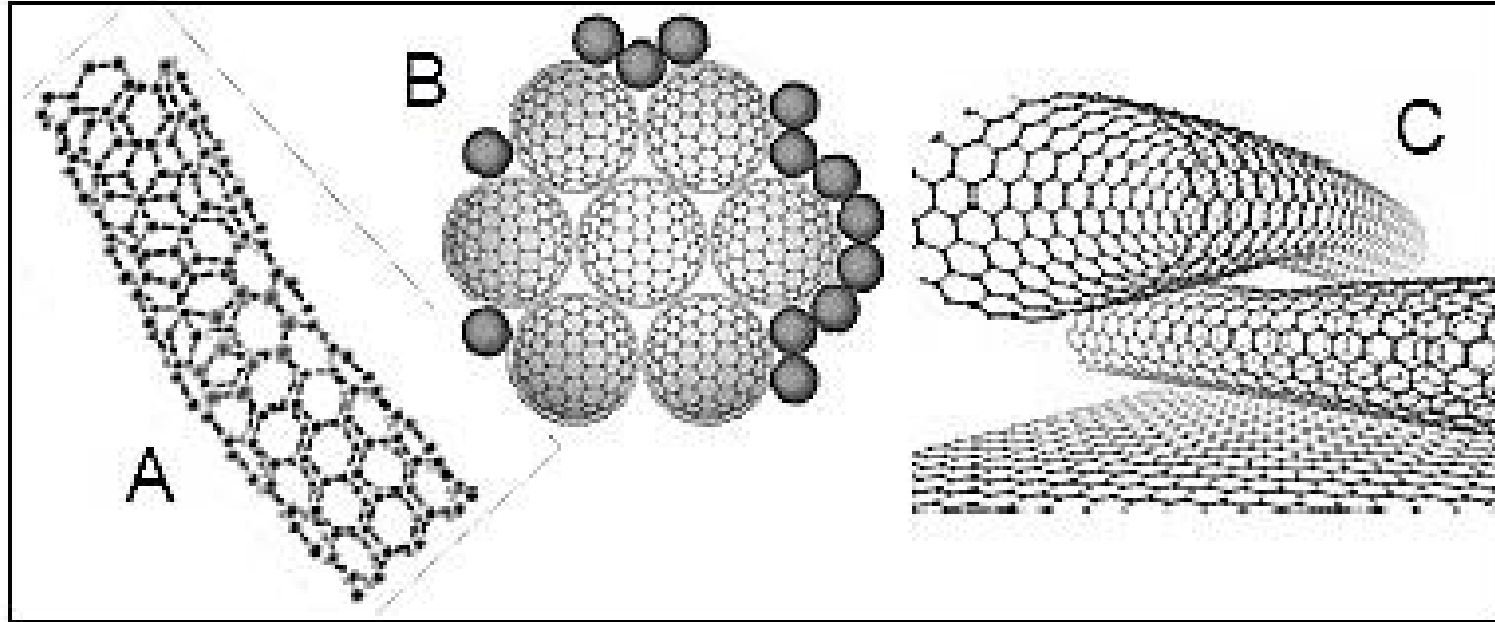
- **Sodyum alüminyum hidrür (NaAlH₄)** hidrojen absorblama kapasitesi %4, hidrojeni bırakma sıcaklığı 150 °C dir.
- **Sodyum bor hidrürdür (NaBH₄)** avantajı depoladığı hidrojenin katalizörlü ortamda kontrollü olarak geri alınabilmesidir.

Örneğin, hidrojen kullanan taşıtlarda ağırlıkça %30'luk NaBH₄ çözeltisinde %6.7 H₂ bulunur.
kat.



Ayrılan saf ve nemlendirilmiş hidrojen yakıt olarak kullanılır. Reaksiyonda oluşan sodyum borat hidrojenle reaksiyona sokularak tekrar sodyum borhidrüre dönüştürülür.

b. Karbon Nanotüp: Uzun ve ince karbon silindirlerdir; çapları birkaç nanometre ile 20 nanometre, boyları ise mikron seviyelerindedir. Nanotüpler; çapı, uzunluğu ve bükülme şekline göre çeşitli elektronik devre elemanı ve termal özellikler gösterirler. Örneğin; elektronik bir parça olan diod farklı elektronik özelliklerdeki iki nano boyutlu karbon tüpün birbirine bağlanmasıyla yapılır.



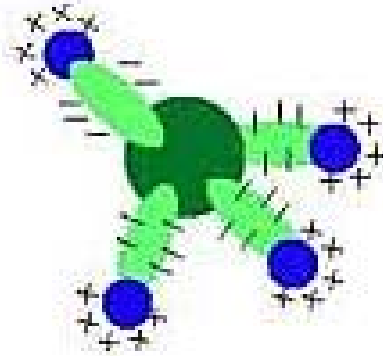
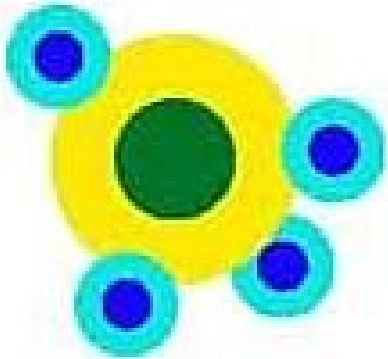
A: diod

B: hidrojen ve diğer bazı gazları depolanma,

C: transistör ve bilgisayar devresi, amaçlı kullanılan nanotüpler.

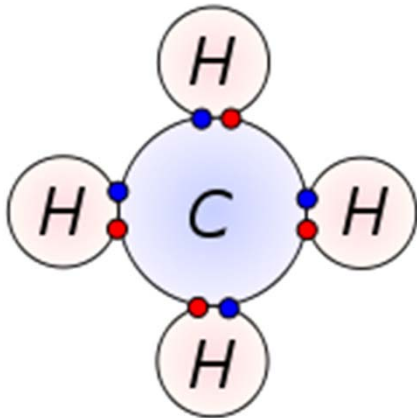
Karbon nanotüpde hidrojen depolama iki şekilde gerçekleşir:

- **Fiziksel depolama** : Zayıf Van der Waals kuvvetlerinin (moleküller arasındaki çekim kuvvetleri) etkin olduğu bir depolamadır; depolanan hidrojen etkin kuvvetlerin kaldırılmasıyla tekrar geri kazanılır. Depolama ve geri kazanma işlemleri sürekli olarak tekrarlanabilir.



Oda koşullarında gaz halindeki hidrojen molekülleri soğutulduğunda ve yüksek basınç uygulandığında karbon molekülleri ile birbirine yaklaşır ve Van der Waals bağları oluşur.

- **Kimyasal depolama** : Atomlar arasında kovalent bağlar (iki atom arasında bir veya birden fazla elektron paylaşımı) oluşur, yüklenen hidrojenin geri kazanılması için bu bağların kırılması gerekir. Bunun için yüksek sıcaklıklara gereksinim olur.



● Hidrojen elektronu
● Karbon elektronu

Nanotüplerde **ağırlıkça %4-14** arasında hidrojen depolanabildiğini göstermiştir.

Nanotüplerin hidrojen depolama kapasiteleri;

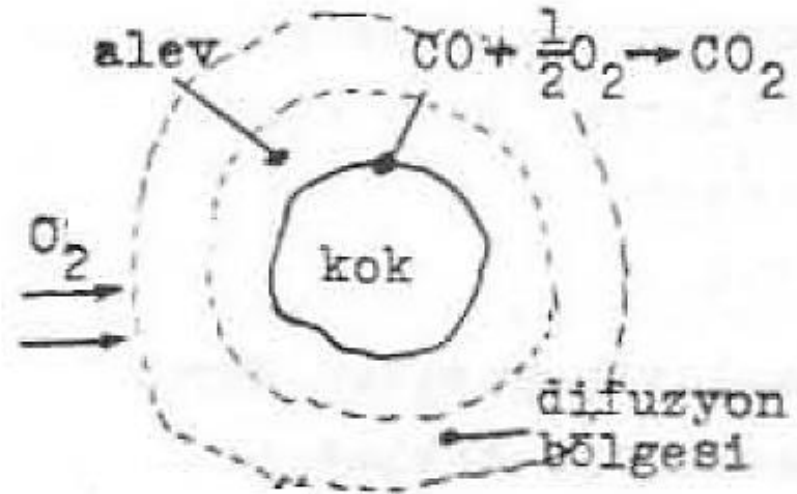
- Cinsine (tek duvarlı, çok duvarlı),
- Kapalı veya açık olmasına,
- Ölçülerine (tüp çapı ve uzunluğu)
- Yüzeylerinin aktifliğine göre değişir.

Katı Yakıt (Kömür) Yakma Sistemleri

Kömürün Yüksek Sıcaklık Karşısındaki Davranışı

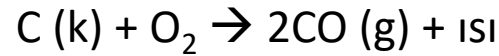
➤ Gazlaşma ve Kok Oluşumu

- Kömür içerisinde bulunan uçucu HC'lar (**CH₄(Metan)**, **C₂H₆(Etan)**, **C₆H₆(Toluen)**, **C₂H₆O(Fenol)** v.b.) buharlaşarak kömürden uzaklaşmaya başlar.
- Ancak bu buharlaşma sıvı yakıt buharlaşmasından farklı olarak ekzotermik bir kimyasal reaksiyon sonucu olmaktadır. Yani basit bir faz değişimi olayı değildir sıcaklığın düşmesi ile yoğunlaşma olmaz.
- Gazlaşma esnasında sıcaklık değişkendir, gazlaşma devam ettikçe sıcaklık artar.
- Gazlaşmadan sonra saf karbon bakımından zengin kok oluşur.



➤ Heterojen (katı-gaz fazında) yanma

- C gazlaşamayan bir element olduğundan ancak O₂'nin ona ulaşması ile yanar.
- O₂, C yüzeyinde toplanır ve yanma burada başlayarak reaksiyon sonucu açığa çıkan ısı yanma ürünü olan CO'in gaz fazında serbest kalmasını sağlar.

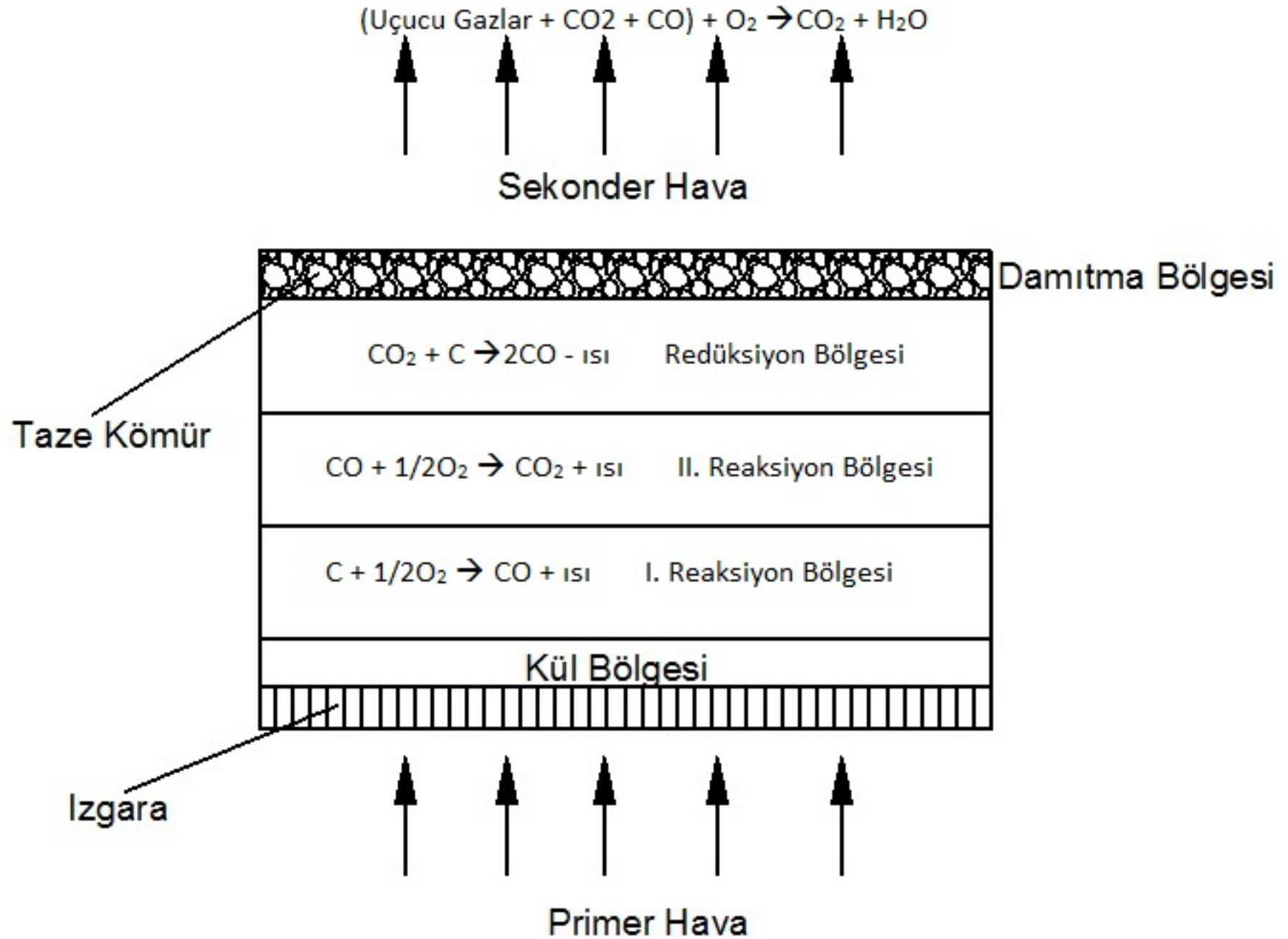


- CO, O₂ ile tekrar oksitlenir ve tam yanma ürünü olan CO₂ bacadan atılır.



Sonuç olarak karbonun yanması O₂ difüzyonunun bir fonksiyonudur.

Sabit Izgara Üzerinde Yakma



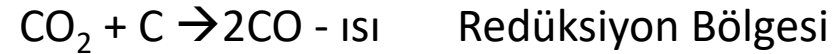
- Yanmamış taze kömür en üst yüzeyde bulunur.
- Izgara bölgesinden verilen primer hava önce kül bölgesine geçer. Kül yüksek sıcaklıktaki reaksiyon bölgeleri ile izgara arasında yalıtım yapar.



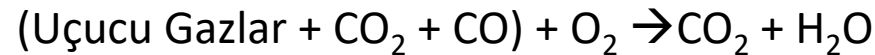
- CO serbest duruma geçer ve II. Reaksiyon bölgesinde O_2 ile reaksiyona girer.



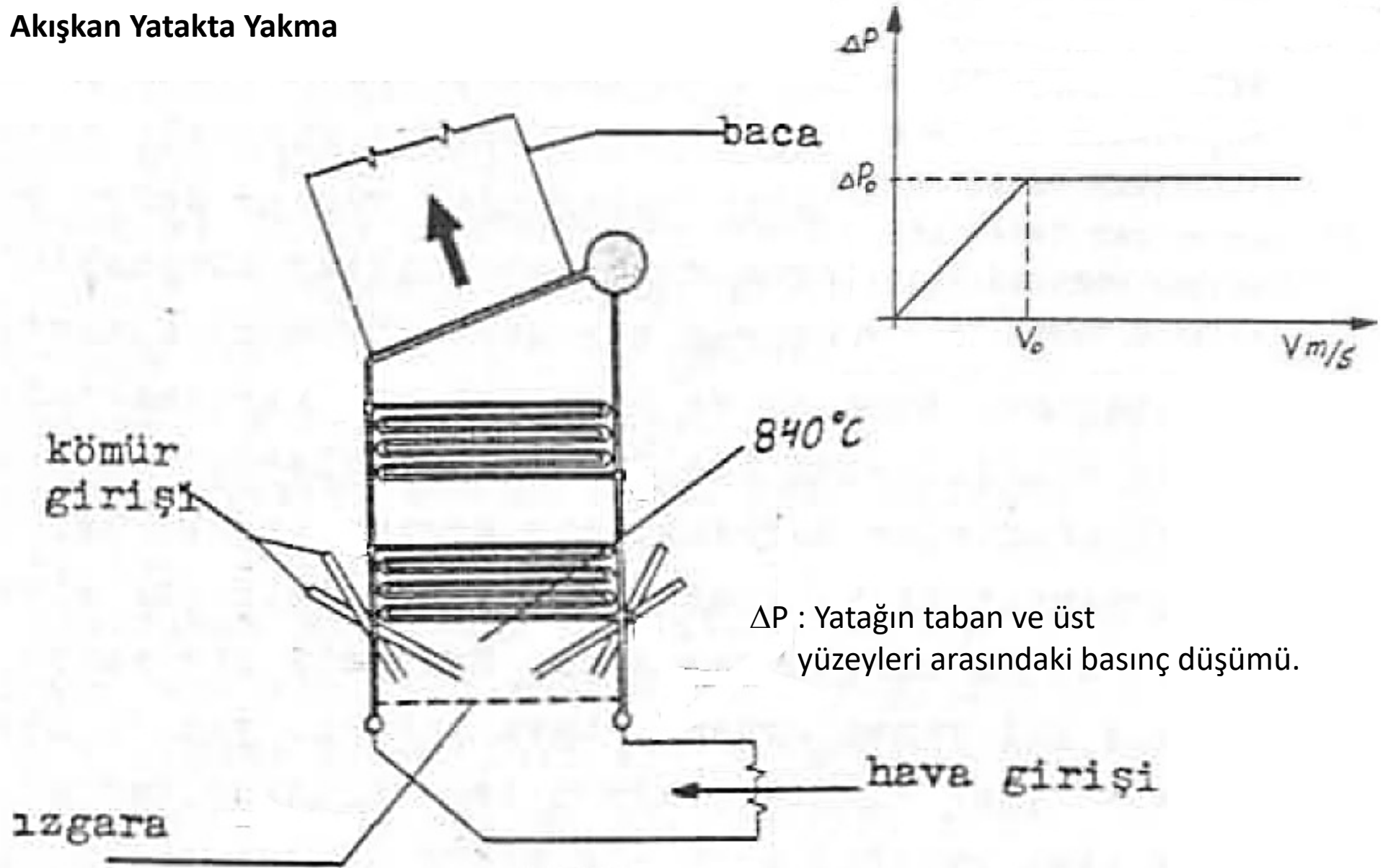
- Her iki reaksiyondan çıkan ısı kömür tanelerini ısıtır.
- I. ve II. Reaksiyon bölgeleri yakıt yatağının en sıcak bölgeleridir. Bu bölgede O_2 'nin büyük bir kısmı kullanıldığından redüksiyon bölgesinde CO_2 C ile reaksiyona girer.



- Bu reaksiyon endotermik olduğundan sıcaklık düşmeye başlar.
- CO_2 ve CO gazları kömür tabakaları arasından geçerek kömür içerisinde bulunan uçucu gazlarla birlikte uçar.
- Bu gazlar sekonder hava ile reaksiyona girerler.



Akışkan Yatakta Yakma



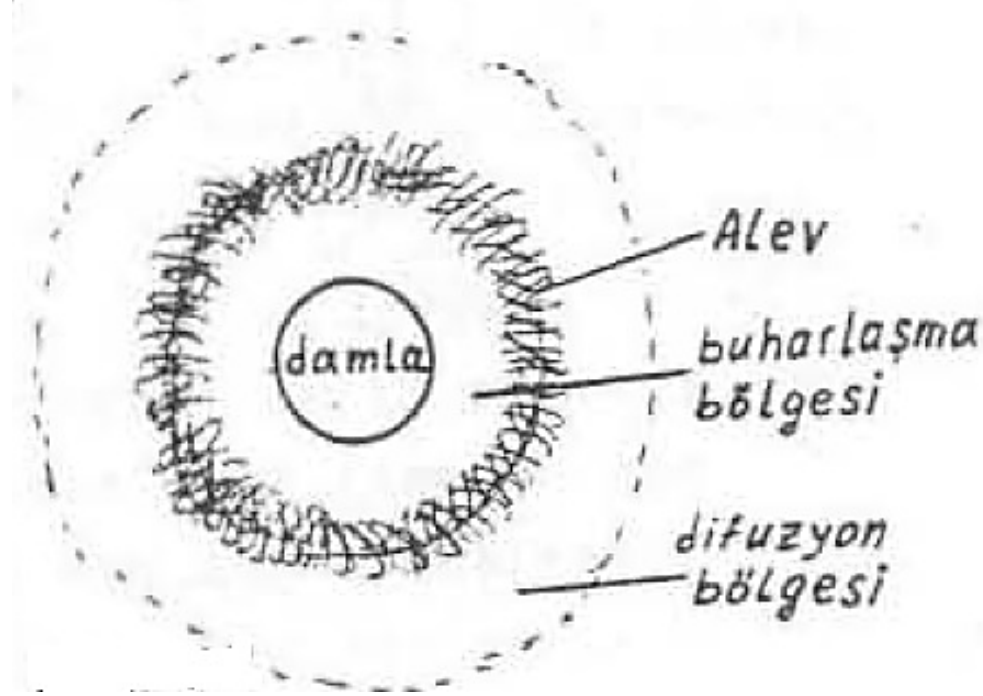
- Delikli ızgara üzerinde **kum, kireçtaşı, kül** gibi taneli akışkan yatak maddeleri bulunur.
- Izgaradan geçen hava düzgün olarak dağılır ve tanecikleri yukarı doğru iter.
- Hava hızı belli bir değeri geçince taneler hava akımı içerisinde asılı kalır.
- Akışkanlaşmanın başladığı hızdan (V_0) sonra basınç düşümü sabit kalır.
- Taneli hava kütlesi sıvı özellikleri gösterir ve yatak akışkanlaşmaya başlar. Bu durumdaki hava hızına «**minimum akışkanlaşma hızı**» denir.
- Hava hızı arttıkça sıvı özellikleri gösteren taneli hava kütlesinin içerisinde geçen hava yatak içerisinde kabarcıklar oluşturur.
- Hava hızı minimum akışkanlaşma hızından daha yüksek hızlara doğru gittikçe taneler vortexli hareket yapmakta ve yatağın tabanından yukarıya doğru yükselip parçalanan kabarcıklar oluşmaktadır. Yatak kaynayan bir sıvı görünümü alır.
- Kaynamakta olan akışkan yatak yanma için çok elverişli bir ortam oluşturmaktadır.
- Akışkan yatak maddeleri ve hava yakıcı, yatağa uygun bir biçimde verilen kırılmış kömür ise yanıcıdır.

Akışkan Yataklı Yakma Sistemlerinin Üstünlükleri

- %60'a kadar kül %2'ye kadar S içeren kalitesi düşük kömürler yakılabilir.
- Vortexli hava hareketinden dolayı yanma esnasındaki ısı transfer katsayısı büyüktür.
- Çevre kirliliği kontrol altında tutulabilir. Yüksek S oranlı yakıtlar yakılırken oluşan SO₂ yatakta bulunan kireçtaşı taneleri yardımı ile kül içinde tutulabilir. Ayrıca yanma esnasında sıcaklığın düşük olması (800 – 850°C) NO_x miktarlarını da azaltır.
- Yakıta bağımlılık yoktur. İster katı ister gaz ve küçük değişikliklerle istenirse sıvı yakıtlar yakılabilir.
- Kazan verimi çok yüksektir. Yanmayan C'nu baca çıkışından alıp tekrar beslemek koşulu ile yanma verimi %98'e kadar çıkartılabilir.
- Yanmanın yoğunluğu yüksektir. Yatağın birim yüzeyi başına üretilen ısı enerjisi yüksek olduğundan yakıcı ve kazan boyutları küçük tutulabilir.
- Korozyon ve diğer aşınmalar azdır. Düşük sıcaklıklarda yanma gerçekleştiği için K, Na gibi alkali tuzlar buharlaşamaz kül içinde kalır. Ayrıca kireçtaşı da SO₂'i tuttuğu için H₂SO₄ oluşmaz
- Yakıt hazırlama giderleri düşüktür. Bu sistemde kullanılan kömür taneleri 6 – 25 mm büyüklüğündedir. Dolayısıyla kömür öğütme masrafları azdır.
- Yatak sıcaklığı kül ergime sıcaklığının altında olduğundan cüruf oluşumu engellenir. Böylece kurum üfleme donanımına gerek duyulmaz.

Sıvı Yakıt Yakma Sistemleri

Sıvı Yakıt Damlasının Yanma Mekanizması



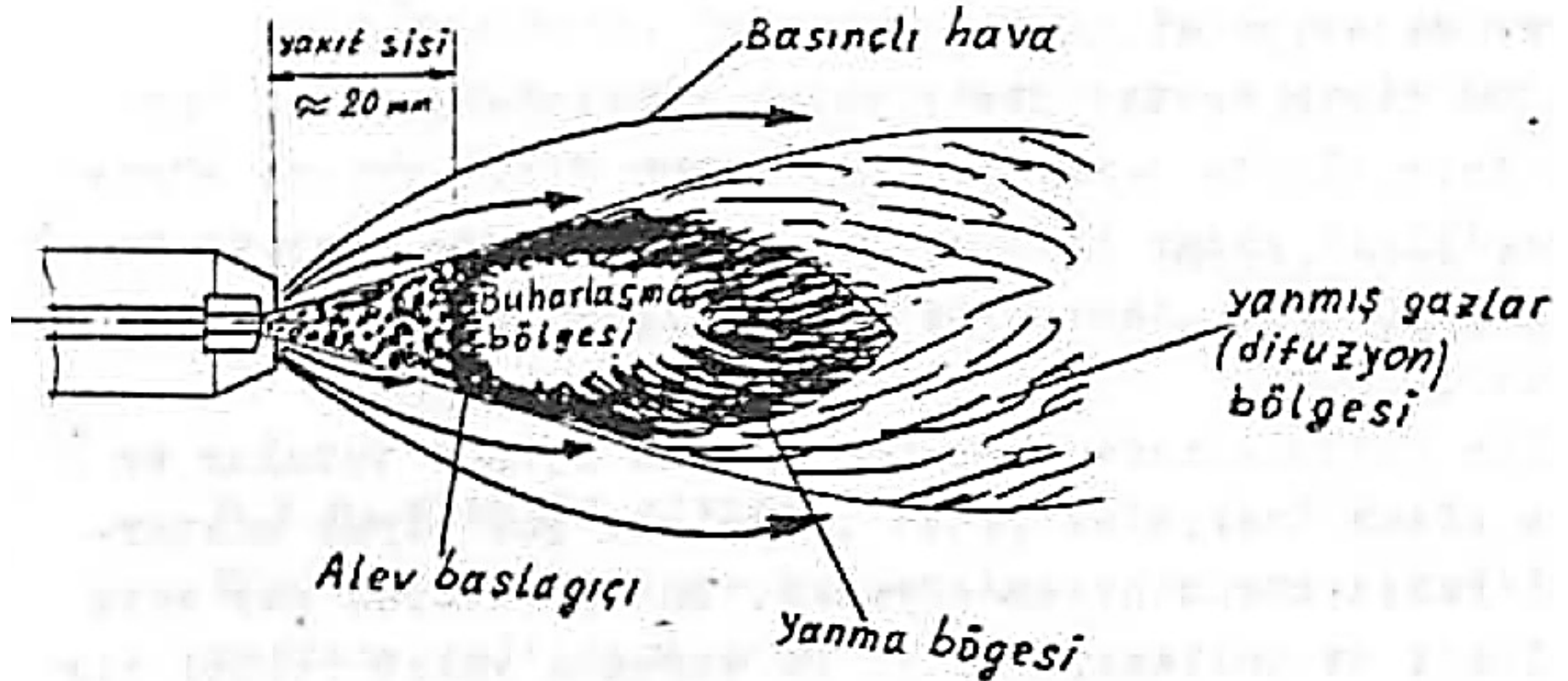
- Farklı HC'lerden oluşan sıvı yakıt damlası sıcaklığı yüksek ortama girdiğinde ısınmaya başlar.
- Önce hafif HC'lar buharlaşır. Buharlaşan hafif HC'ların O_2 ile yaptıkları ekzotermik reaksiyon sonucu açığa çıkan ısı damlanın sıcaklığını daha da arttırarak ağır HC'ların da buharlaşmasını sağlar.
- Buharlaşan ağır HC'ların yanması damla sıcaklığını arttırmaya devam eder. Böylece buharlaşma ve yanma hızı artar.
- Artan buharlaşma ve yanma hızı sonunda damla sıcaklığı o kadar yükselir ki buharlaşma olmadan damlayı oluşturan HC'lar ayrışır (C-H).

Sıvı Yakıt Brülörleri

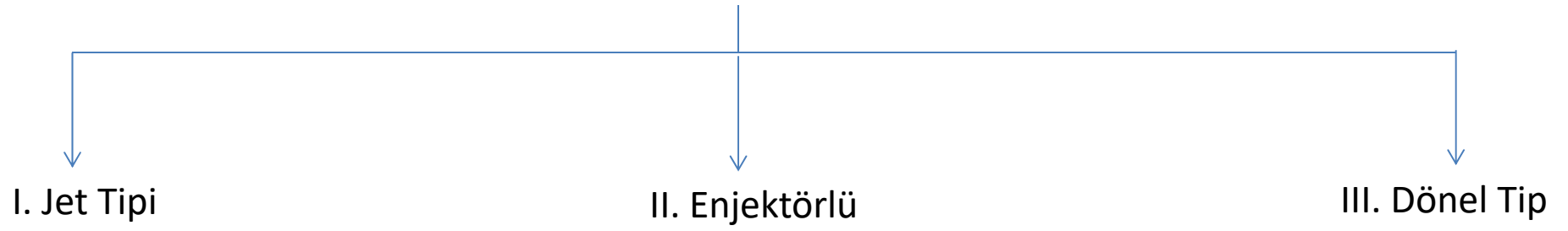
Sıvı yakıtın küçük zerreciklere (damlacıklara) ayrılması hava ile temas eden toplam yüzey alanının artmasına neden olur böylelikle buharlaşma kolaylaşır ve hızlanır.

50 cm³'lük küresel bir yakıt damlasını 25 cm³'lük iki damlaya ayıracak olursak toplam yüzeyde %26'lık bir artış sağlanmış olur ($A=4\pi r^2$).

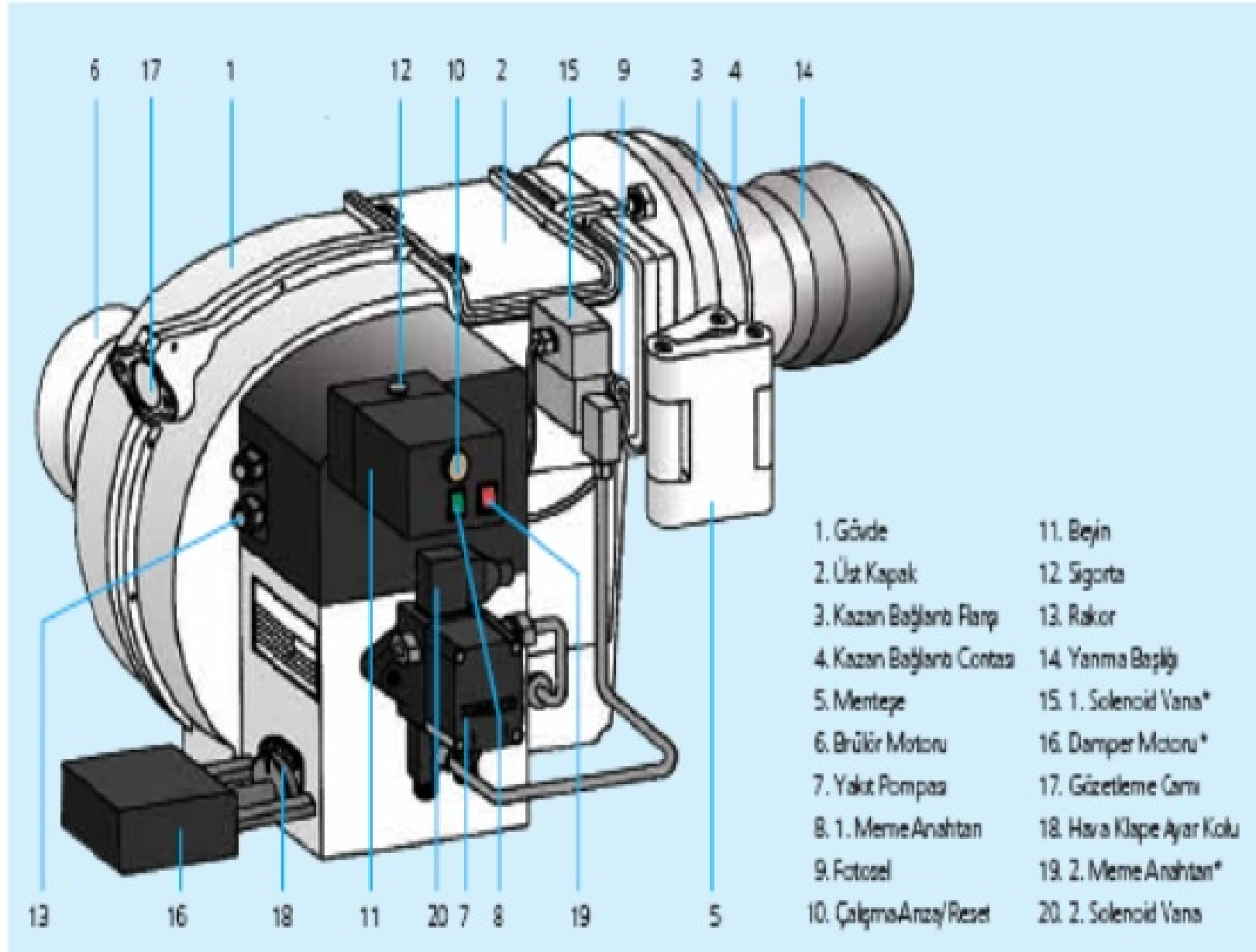
Endüstride fazla yakıtın yakılması gerektiğinden yakıtın küçük zerreciklere ayrılarak hızlı buharlaşması ve hava ile karışması ancak püskürtmeli brülörler ile sağlanır. Ağır yakıtların kullanılması durumunda püskürtme basınçları **20-30 bar**'a kadar çıkabilir.

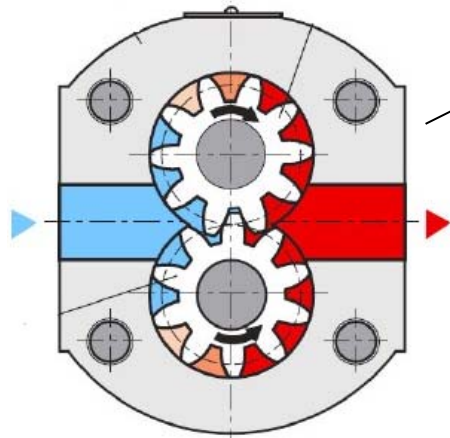
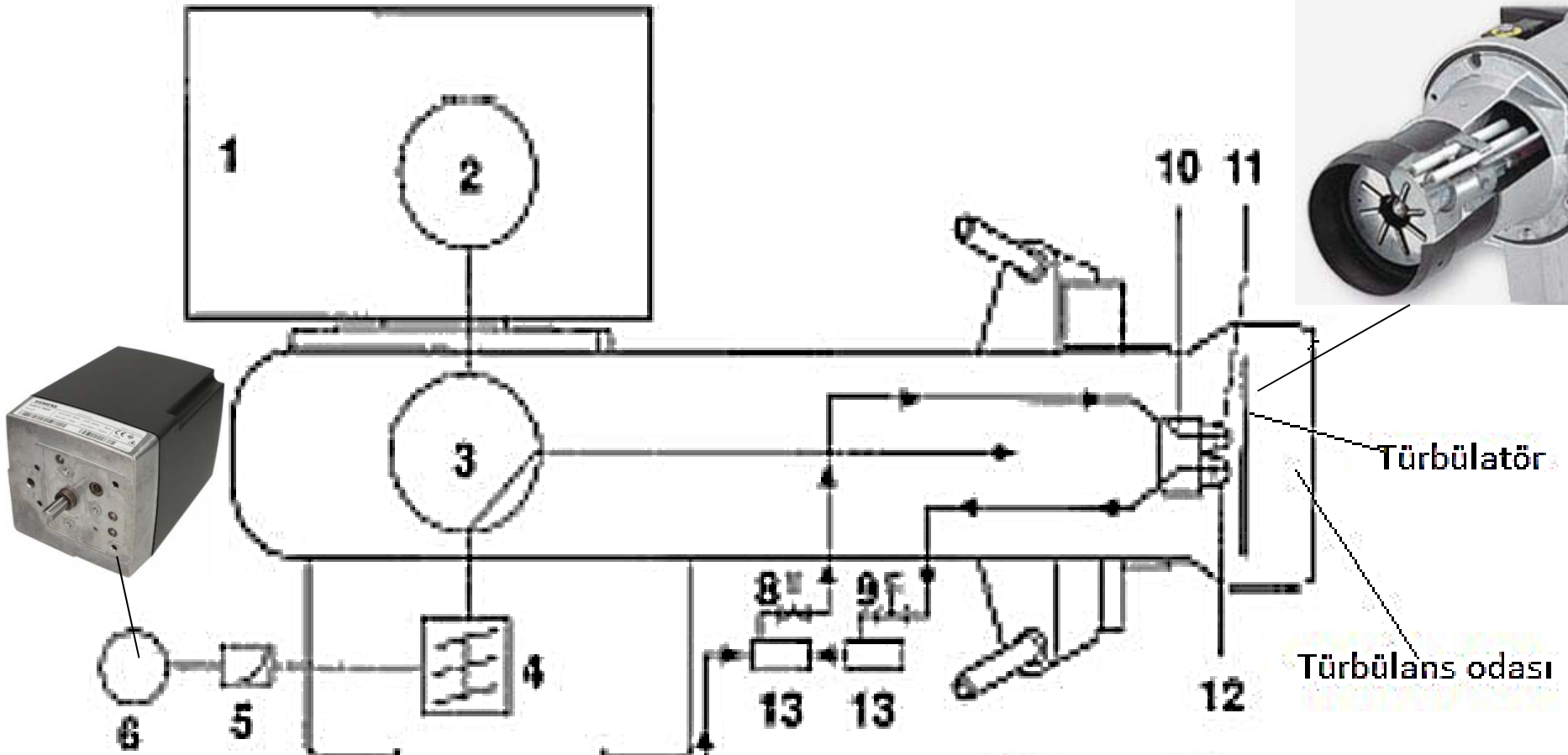


Püskürtmeli Brülörler



I. Jet Tipi Brülörler





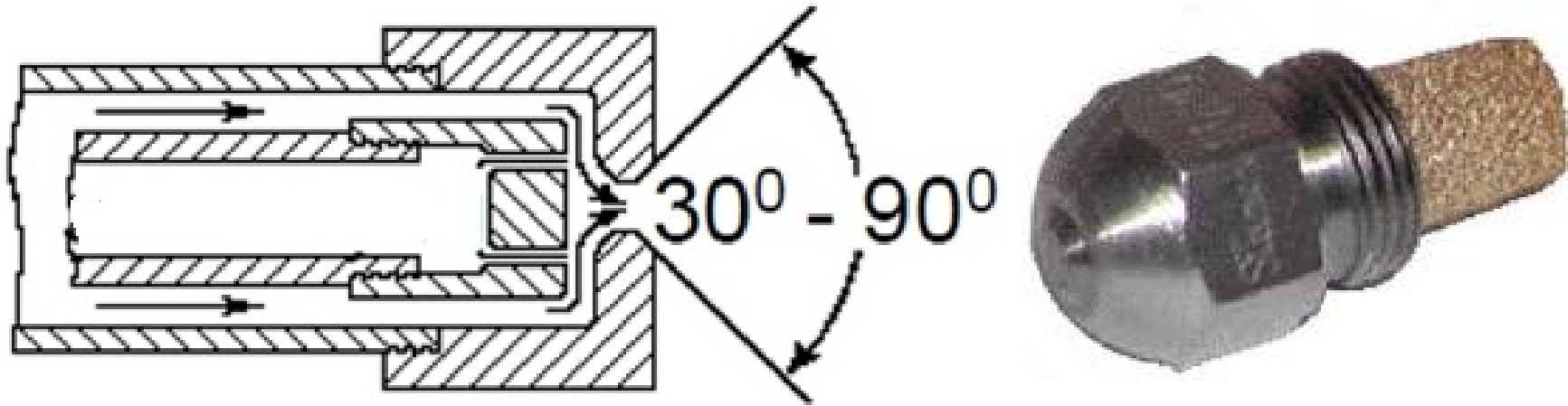
- 6 Damper Motor
 - 7 Yakıt Pompası
 - 8 1. Solenoid Ventil
 - 9 2. Solenoid Ventil
 - 10 Burun Parçası
 - 11 Meme 1
 - 12 Meme 2
 - 13 Solenoid Vana
- 1 Kumanda Panosu
 - 2 Motor
 - 3 Fan
 - 4 Hava Klapesi
 - 5 Elle Kumanda

Türbülötör

Türbülans odası



- Yakıt dişli tip pompa ile memeye yüksek basınçta ulaştırılır.
- Vantilatörün verdiği yanma havası bir türbülâtörden geçerek dönme hareketi kazanır.
- Yakıt türbülans odasına küçük damlacıklar halinde içi boş bir koni şeklinde girer ve hava ile karışır.



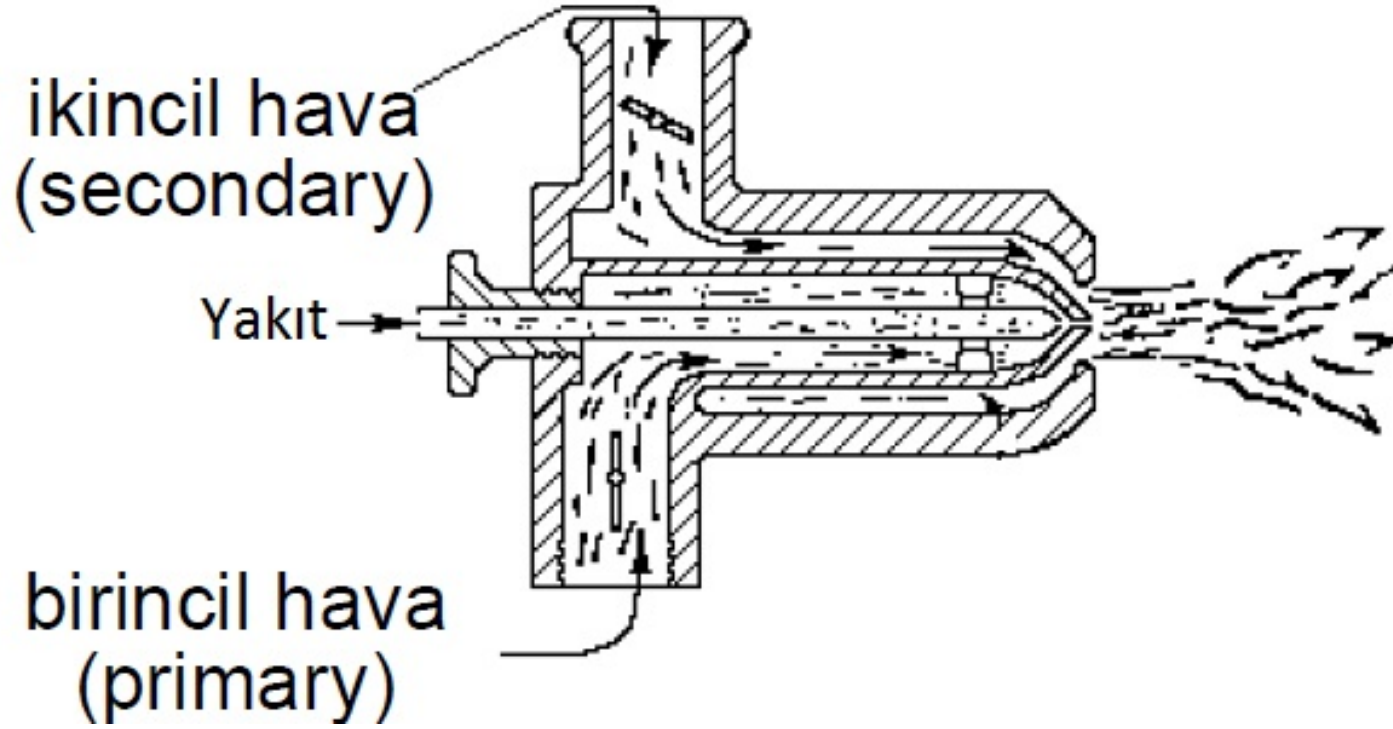
- Bir yüksek gerilim trafosundan alınan elektrik enerjisi yardımıyla tutuşturulan karışım yanmaya başlar.

- Meme çapları çok küçük olduğu için yakıt çok temiz ve tortusuz olmalıdır.
- Yakıtın viskozitesi 15°C'ta 2 – 2.5 °E olmalıdır. Viskozitesi yüksek ise yakıt brülöre girmeden önce bir elektrikli ısıtıcı ile ısıtılarak inceltilmelidir (viskozitesi düşürülmelidir).
- Püskürtülen hava yakıt karışımı içerisindeki damlacık çapları 10 – 200 µm'dir.

$$D_m = \frac{52.m^{0.28}.\nu^{0.2}}{P^{0.4}} \quad [\mu\text{m}]$$

m : Yakıt debisi [kg/h]
ν : Kinematik Viskozite [cst]
P : Püskürtme Basıncı [kp/cm²]

II. Enjektörlü Brülörler

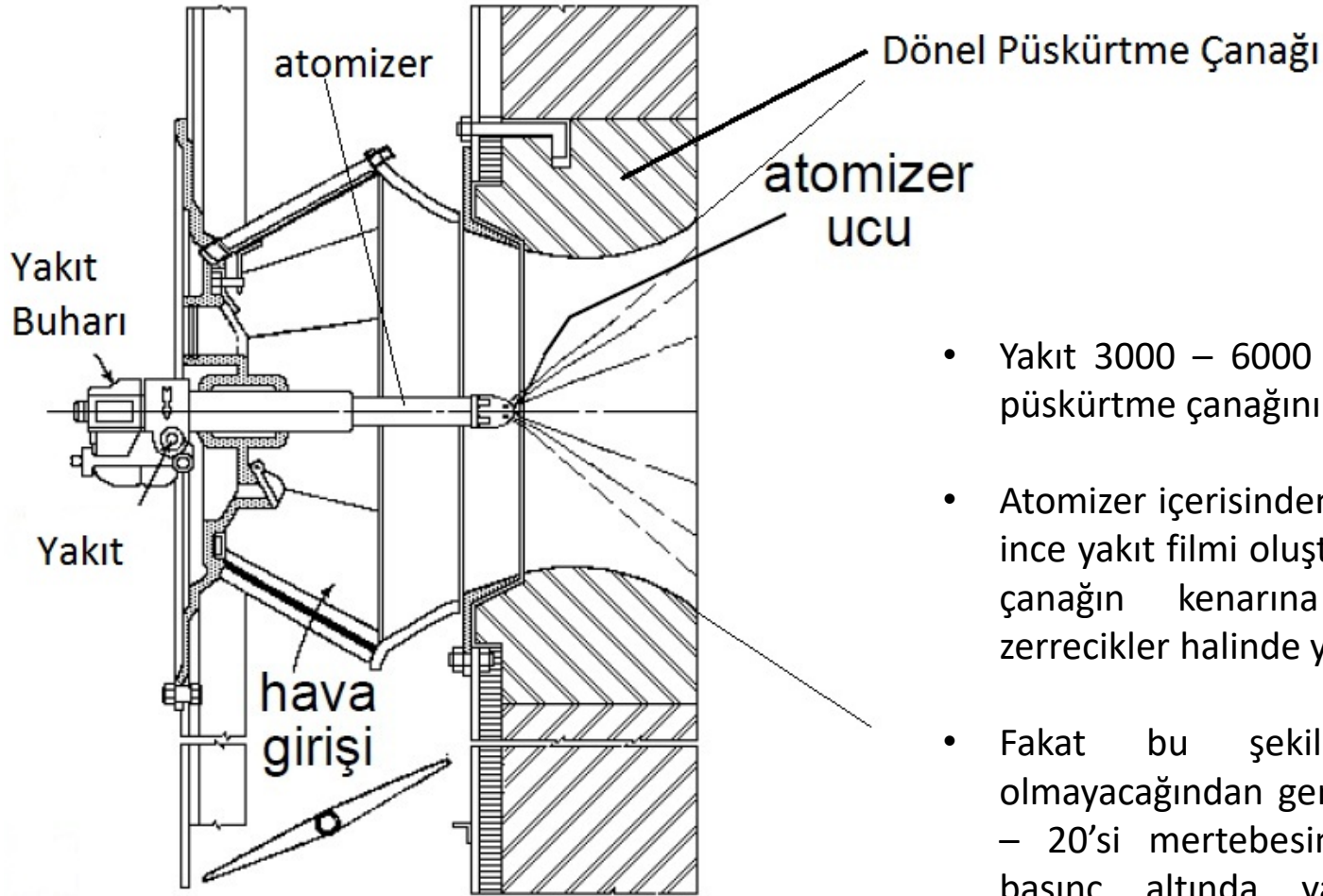


- Çok düşük basınçta meme ucuna ulaşan yakıtı yanma odasına hızlı püskürtebilmek için hava kullanılır.
- Her türlü sıvı yakıt yakılabilir.

Avantajları:

- Geniş bir debi ayar aralığı,
- Çok küçük çaplı enjektör deliklerinin bulunmaması.

III. Dönel Tip Brülörler



- Yakıt 3000 – 6000 d/d hızda dönen konik bir püskürtme çanağının yardımı ile püskürtülür.
- Atomizer içerisinden gelen yakıt, konik yüzeyde ince yakıt filmi oluşturur ve bu yakıt filmi dönel çanağın kenarına taşınarak çok küçük zerrecikler halinde yanma odasına fırlatılır.
- Fakat bu şekilde parçalanma yeterli olmayacağından gerekli yanma havasının %10 – 20'si mertebesinde, 0.01 – 0.07 kp/cm² basınç altında yakıt buharı gönderilerek parçalanma mertebesi artırılır.
- Püskürtme esnasında dönel konik yüzeyde oluşan yakıt filmi ne kadar ince ve teğetsel hız ne kadar yüksekse parçalanma o kadar kolay ve çabuk olur.

Gaz Yakıt Yakma Sistemleri

Gaz Yakıtların Yanması

- Gaz yakıtlar havada kolaylıkla dağıldığından bir ön hazırlığa gerek kalmadan yakılabilirler.
- Tutuşma sıcaklığına ulaşıldığında ve uygun bir türbülans sağlandığında yanma süresi kısalmır.

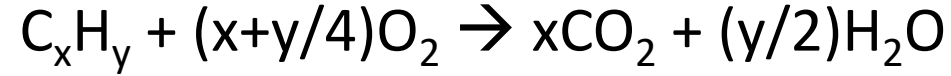
Yanma gaz ve havanın karıştırılma koşuluna göre iki yolla olur:

- Gaz ve havanın tutuşmadan önce karıştırılması (Bunzen Beki)
- Isıtılan HC'ların O_2 ilave edilerek parçalanması (Kraking)

Gaz ve havanın tutuşmadan önce karıştırılması (Bunzen Beki): Yanma hidroksilasyonla ilerler. Hidroksillenen HC'lar ve O_2 'den aldehitler oluşur. Isı ve ilave oksijen aldehitleri parçalar ve H_2 , CO , CO_2 , H_2O buharı meydana gelir. İlk oksidasyonda C aldehitlere dönüştüğü için is oluşmaz.



Isıtılan HC'ların O₂ ilave edilerek parçalanması (Kraking): HC'lar ısıtıldığında C ve H₂ vererek bozunur. Yeterli O₂ ilavesi halinde CO₂ ve H₂O meydana gelir. O₂'nin yeterli olmaması ve yanma işleminin tamamlanmadan kesilmesi halinde is oluşur.



Gaz Yakıt Brülörleri

I. Ön Karıştırmalı

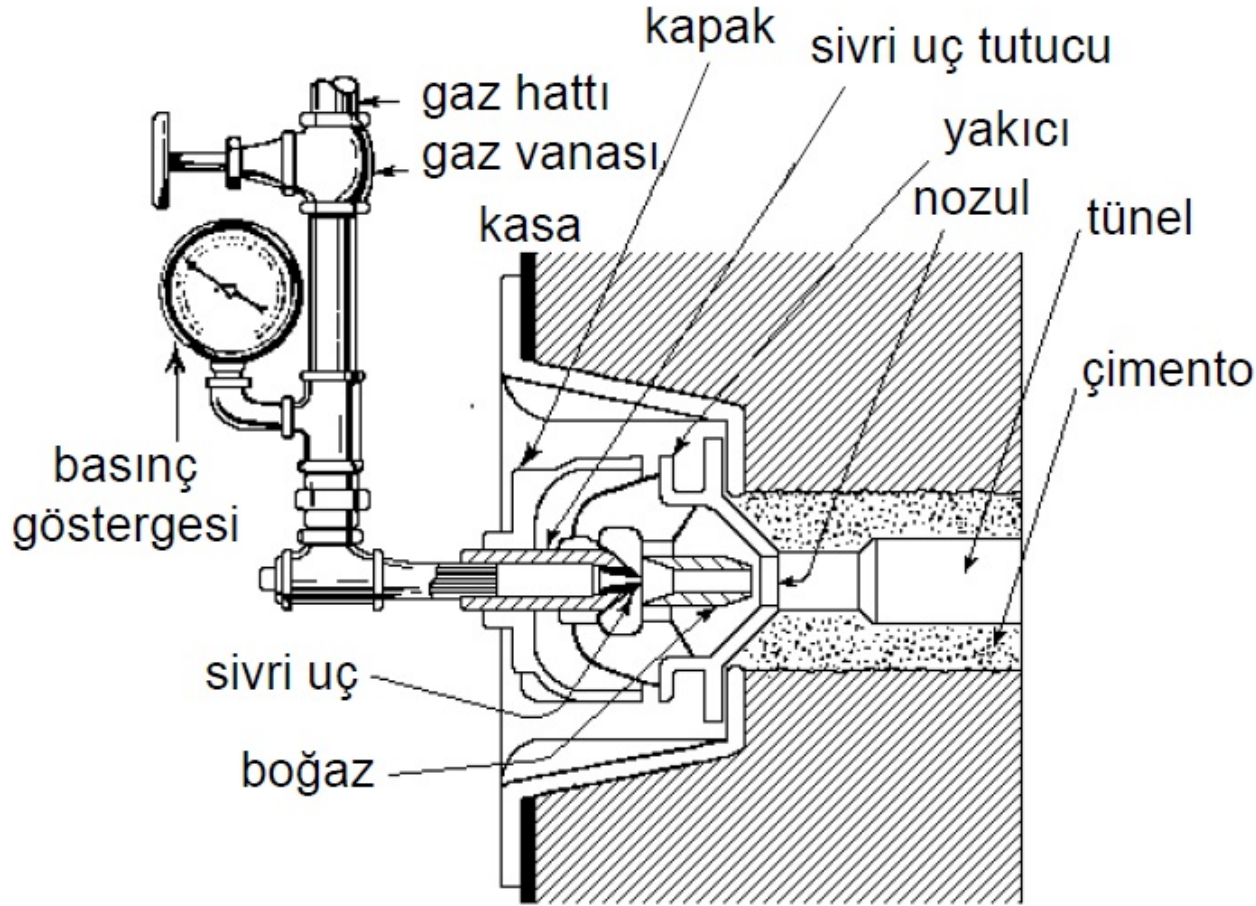
- Doğal Çekişli
- Zorlamalı

II. Nozul Karıştırmalı (Nozul yerleştirme şekline göre)

- Düz Boru Şeklinde Yerleştirme
- Çember Şeklinde Yerleştirme
- Türbin Şeklinde Yerleştirme

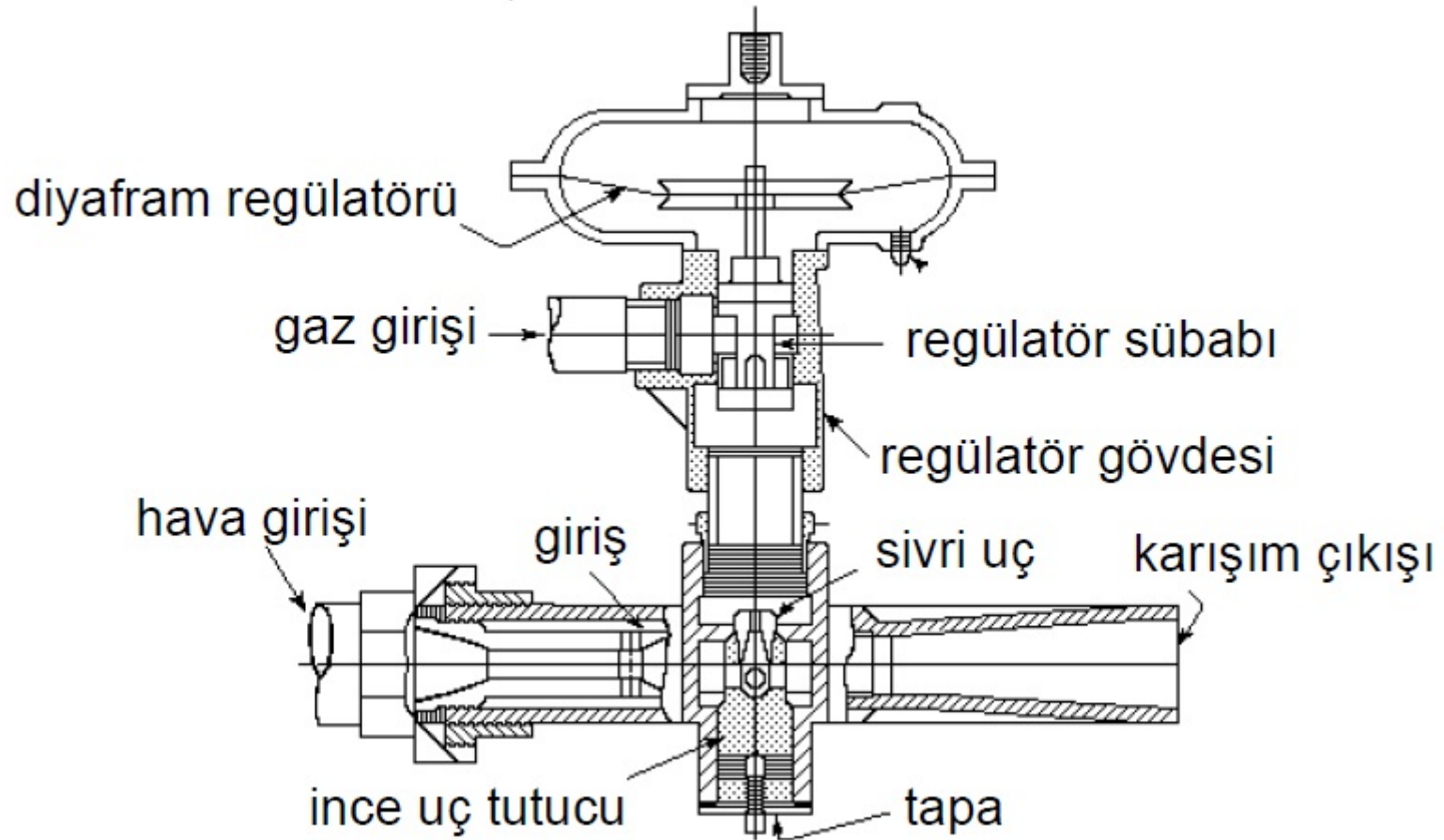
I. Ön Karıştırmalı

Doğal Çekişli Bek



Gaz deposundan veya şebekeden gelen gaz önce memede (sivri uç) ve boğazda bulunan hava ile karıştırılır ve bir yakıcı ile ateşlenir.

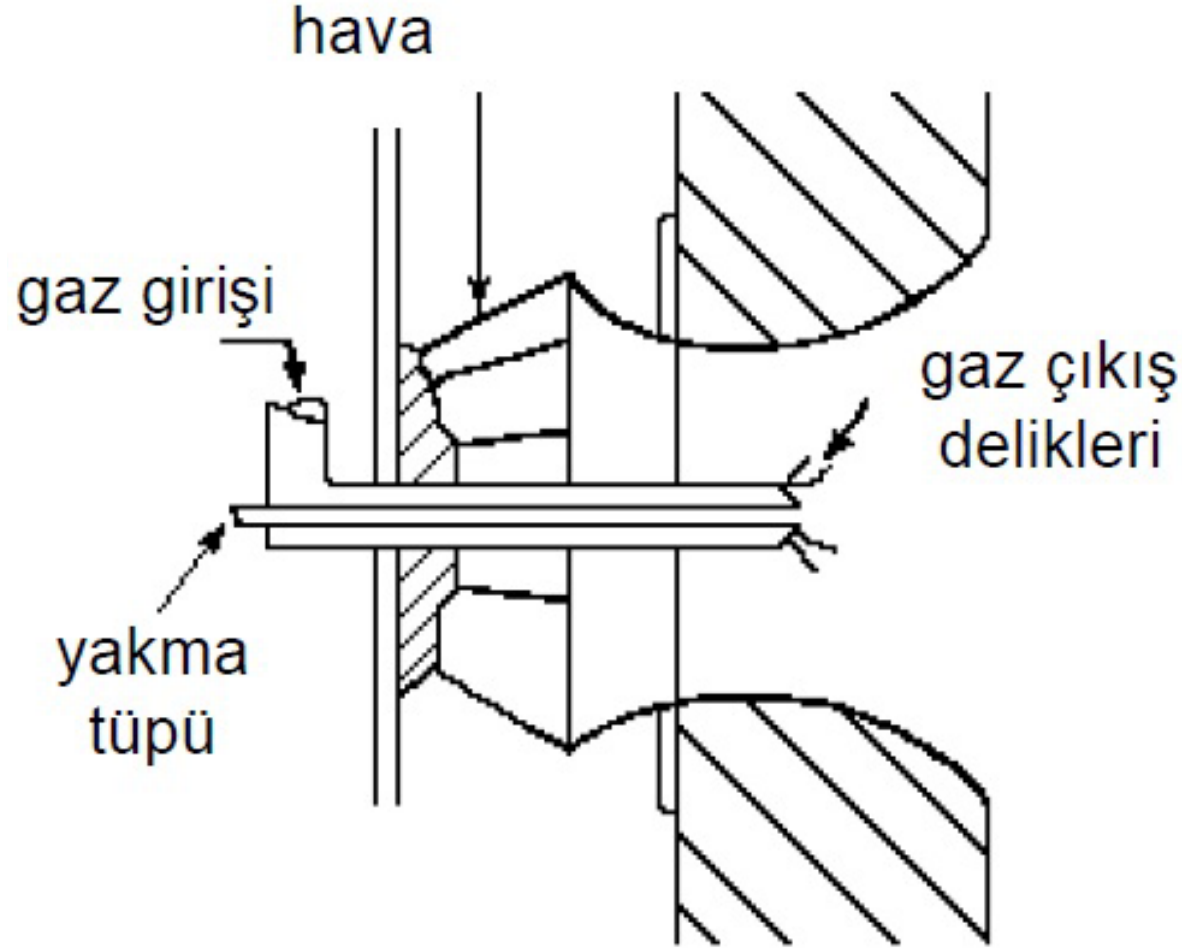
Zorlamalı Çekişli Bek



Gaz yüksek basınçlı hava ile karıştırılır. Vantilatör ile verilen hava bir diyaframlı regülatör ile kontrol edilir.

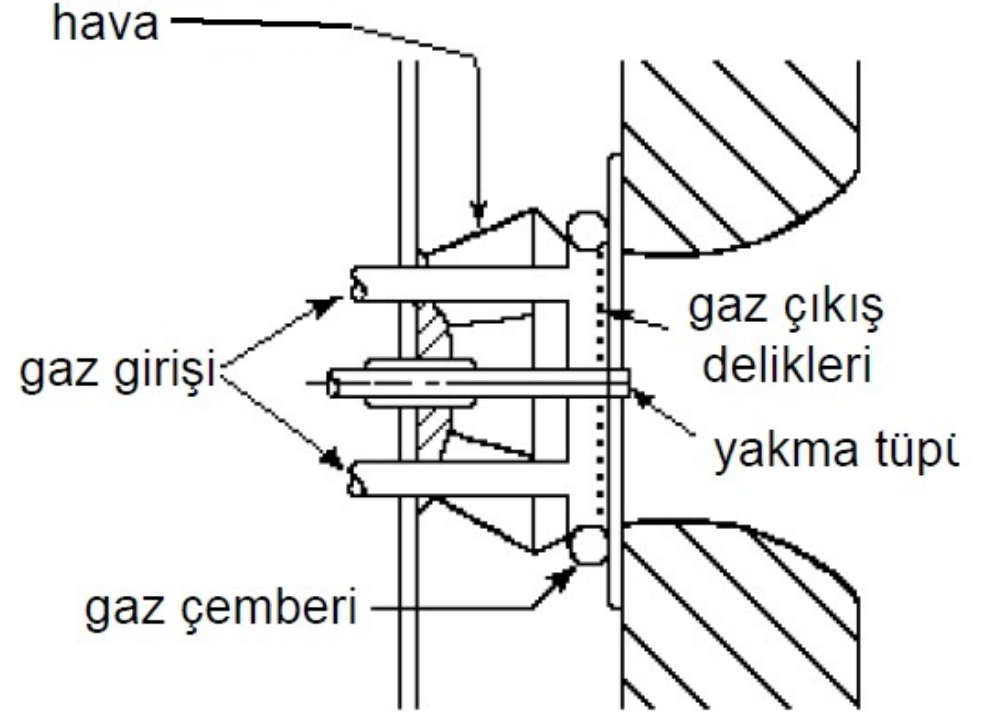
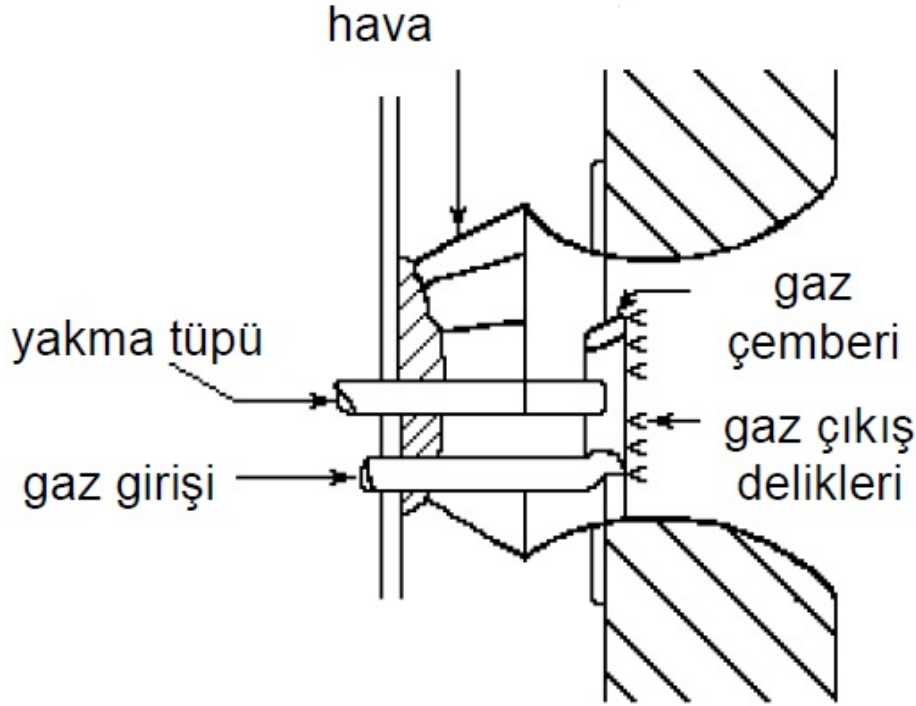
II. Nozul Karıştırmalı

Düz Boru Şeklinde Yerleştirme



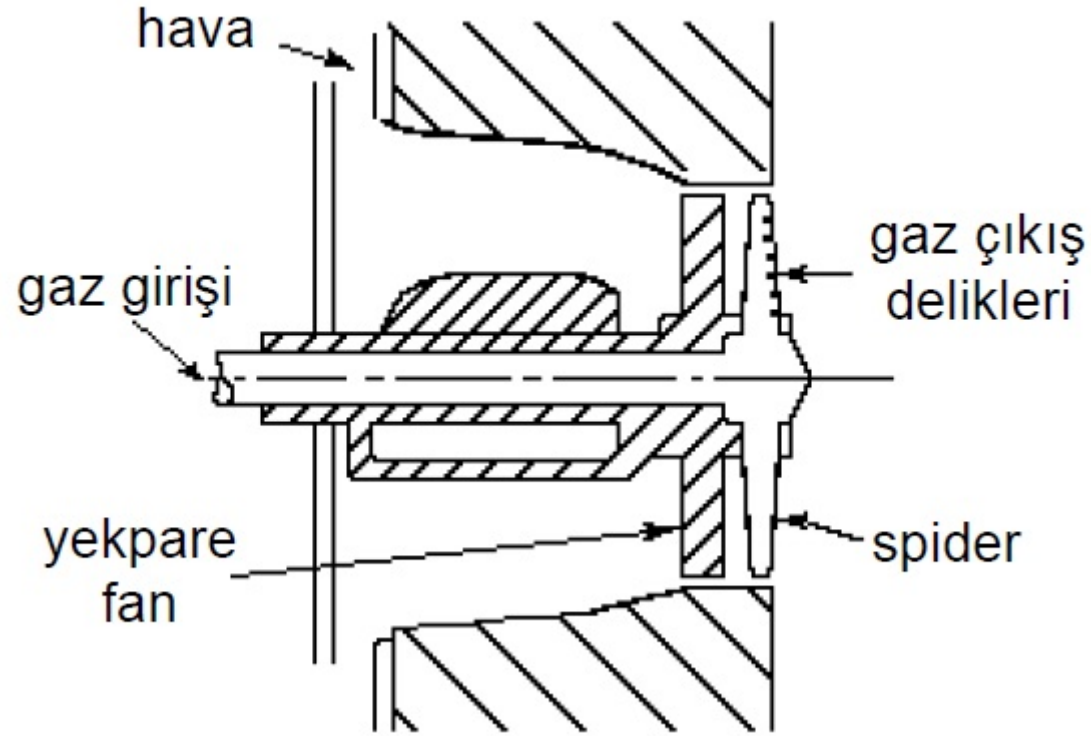
Gaz giriş borusunun sonundaki deliklerden alınır. B¼y¼k nozul delikleri kullanıldığından gaz ile havanın karıştırılması esnasında bazı sorunları ortaya çıkarabilir. Örneğin gazın hava içerisinde iyi dağılamaması sonucu homojen karışım oluşturulamaması.

Çember Şeklinde Yerleştirme



Düz boru şeklinde yerleştirmenin ortaya çıkartmış olduğu homojen karışım oluşturamama problemini önlemek için gaz çıkışı yayılır. Çemberlerde çok küçük delikler bulunur ve kolayca tıkanmasına rağmen gazı hava içinde daha iyi dağıtırlar.

Türbin Şeklinde Yerleştirme



Gaz birkaç radyal kol yoluyla verilir. Spider (örümcek) deliklidir, deliklerden çıkan yüksek basınçlı gazın etkisiyle döner. Fan hareketi sonucu zorlamalı çekiş oluşur. Bu tip bir yerleşim bir türbülans yaratır.

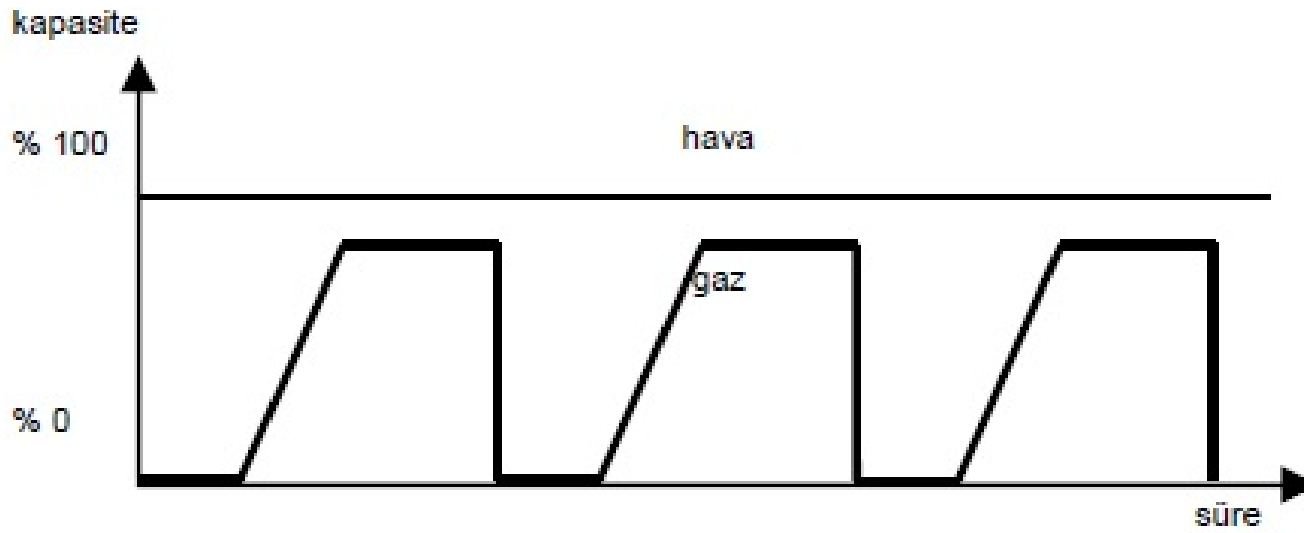
Kapasite Kontrolüne Göre Doğal Gaz Brülörleri

Üç tipe ayrılır;

- Tek Kademeli
- İki Kademeli
- Oransal Kontrollü

Tek Kademeli

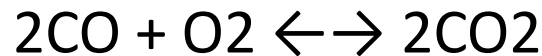
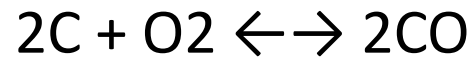
Çekilen ısıya bağlı olarak bir defa ayarlanır ve sürekli aynı miktarda yakıt yakılmasını sağlar. Brülör ON – OFF olarak çalışır. Max. 350 kw. kapasiteye kadar kullanılır.



YANMA

- Yanma, bir yakıtın hava ile oksitlenmesi sonucu ısının açığa çıktığı kimyasal bir işlemdir. Yakıtın bileşiminde esas olarak karbon (C) ve hidrojen (H₂) bulunur.
- Karbonun yanması, iki kademede tamamlanır. İlk kademede karbon monoksit (CO), ikinci kademede ise karbon dioksit (CO₂) oluşur. Yanma olayı, O₂ veya hava ile yapılabilir.

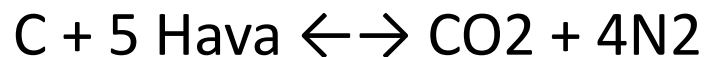
O₂ ile yanma,



veya,



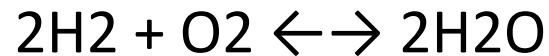
Hava ile yanma,



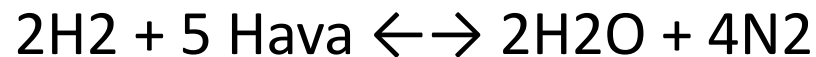
1 lb C un CO₂ vermek üzere yandığı zaman 14 100 Btu açığa çıktığı bilindiğine göre, C u gaz olarak düşündüğümüzde, 1 ft³ CO in CO₂ e dönüşmesinde ise 340 Btu enerji elde edilir. Bu durumda 1 ft³ C un CO e dönüşmek üzere yanması sonucu ancak 130 Btu açığa çıktığı görülür.

Bu basit örnek, C un tam yanmaması halinde gerçek enerjinin ancak üçte birinden faydalanılabileceğini göstermektedir.

Hidrojenin yanması,



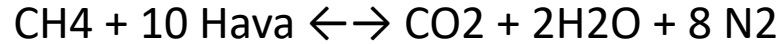
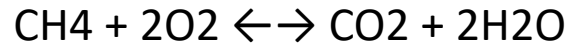
veya,



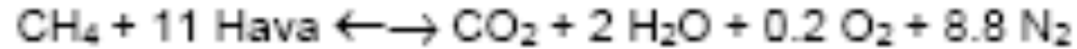
YAKIT-HAVA HESAPLARI

1. TAMAMIYLA YANABİLEN GAZ

Örnek olarak metan gazının yanma olayını izleyelim:



Yakma işlemi, hacimce %10 hava fazlasının bulunduğu ortamda yapılırsa, ilave %10 hava (0.2 O₂ + 0.8 N₂) olduğundan çıkış gazındaki oksijen, % 1.7 bulunur.



$$\text{O}_2 \% = \frac{0.2}{1 + 2 + 0.2 + 8.8} \times 100 = 1.7 \quad (\text{hacimce})$$

- Fazla hava" yanma ürünlerine (yani baca gazına) göre değil, yakılan yakıta göre ifade edilen bir kavramdır. Uygulamada çıkış gazındaki O2 tayini, havanın giriş sıcaklığından çok yüksek sıcaklıkta yapılır.
- Ancak % hacim hesabı yapıldığından sıcaklık ve basınç farkı, sonucu önemli derecede etkilemez. Bir gaz yakıtta kullanılan fazla hava miktarı, çıkış gazında bulunan % O2 miktarını, 5-6 gibi bir faktörle çarparak yaklaşık olarak hesaplanabilir. Burada, gaz yakıtın inert ve O2 içermemesi esastır.

Metan gazının yanması sonucu %1.7 O2 bulunduğundan,

$$\text{fazla hava} = 1.7 \times 5 - 1.7 \times 6 = \% 8.5 - 10.2$$

2. YANABİLEN GAZ VE İNERT GAZ KARIŞIMI

Gaz yakıt, yanabilen ve inert (yanamayan) gazlar karışımı olabilir.

Örneğin CO yanabilen, CO₂ ise yanamayan bir gazdır. Hacimce (% 30 CO + % 70 CO₂ ve (% 10 CO + % 90 CO₂) bulunan iki ayrı bileşimdeki gaz yakıtın %10 fazla havayla yakılmasını inceleyelim. CO in temel yanma denklemi,



(a) %30 CO + %70 CO₂ gaz karışımında, 2 hacim CO için 4.7 hacim CO₂ vardır. Buna göre karışım gazın yanma denklemi aşağıdaki gibidir.

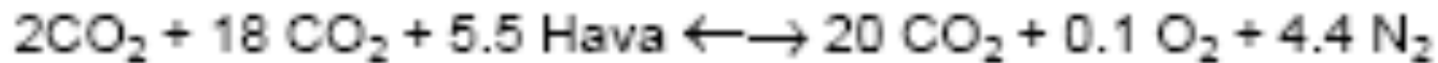
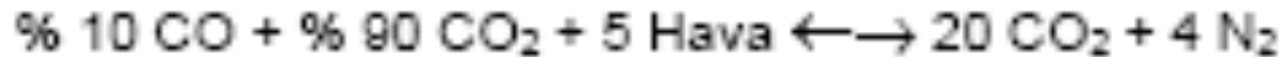


% 10 fazla hava olması durumunda, çıkış gazındaki O₂ % 0.9 dur.



$$\text{O}_2, \% = \frac{0.1}{6.7 + 0.1 + 4.4} \times 100 = 0.9 \quad (\text{hacimce})$$

(b) % 10 CO + % 90 CO₂ gaz karışımında, 2 hacim CO için 18 hacim CO₂ vardır. Karışımın normal hava ile yanma denklemleri ve çıkış gazındaki O₂ miktarı aşağı-daki gibidir.



$$\text{O}_2, \% = \frac{0.1}{20 + 0.1 + 4.4} = 0.4$$

- Buradaki örneklerde, baca gazındaki O₂ miktarları %0.9 ve %0.4 dür. Oysa her iki yakıt da % 10 hava fazlasında yakılmıştır.
- Yakıtta bulunan yanabilen gaz miktarının azalması, aynı miktarda fazla hava kullanılmasına rağmen baca gazında daha az % oksijen bulunmasına neden olur.
- Açıkça görülmektedir ki yanma gazlarında saptanan O₂ miktarı, fazla havanın bir ölçüsü olamaz. Veya %30 CO içeren yakıtın %10 fazla hava ile yanması sonucunda baca gazında %0.9 O₂ saptandığı için,
- %10 CO li bir yakıtın aynı koşullarda yanmasında da çıkış gazında aynı miktar oksijen bulunmasını beklemek yanlıştır.

CO + CO₂ karışımı yakıtta, CO miktarının %10 a düşmesi durumunda, çıkış ga-zında % 0.9 O₂ bulunması istenirse, yakıtın yakılmasında kullanılacak fazla hava miktarının ne kadar olması gerektiğini hesaplayabiliriz. Normal hava ile yanma denklemini, fazla havayı A ile göstererek yazalım, (1 hacim hava 0.2 hacim O₂, 0.8 hacim N₂ dur):

$$2\text{CO} + \text{CO}_2 + (5 + A) \text{Hava} \longleftrightarrow 20 \text{CO}_2 + 0.20 \times \text{O}_2 + (4 + 0.8 A) \text{N}_2$$

$$\text{O}_2, \% = 0.9 = \frac{0.2 A}{20 + 0.2A + 4 + 0.8A}$$

$$A = 1.13 \text{ (fazla hava)}$$

$$\text{fazla hava, \%} = \frac{1.13}{5} \times 100 = \%22.6 \text{ bulunur.}$$

Yanma gazında % 0.9 O₂ bulunabilmesi için, (% 30 CO + % 70 CO₂) karışımı bir yakıt %10 fazla havaya, (% 10 + % 90 CO₂) karışımı bir yakıt ise % 22.6 fazla havaya ihtiyaç gösterir. Proseste, iyi bir yanma için hesaplanan miktarın iki katının üstünde hava verilmesi gerekir.