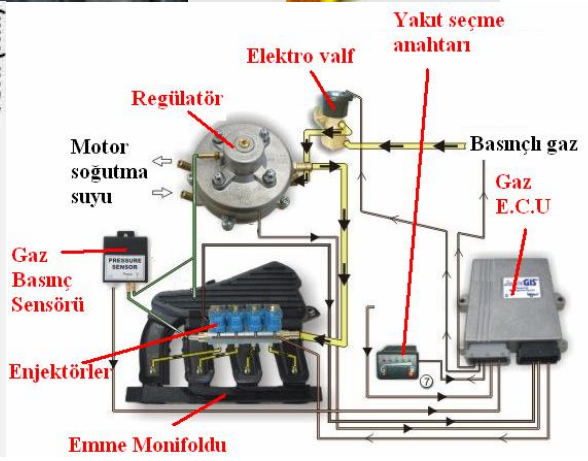
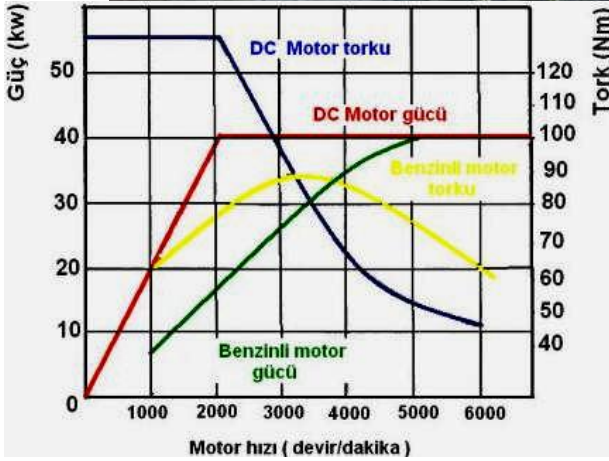
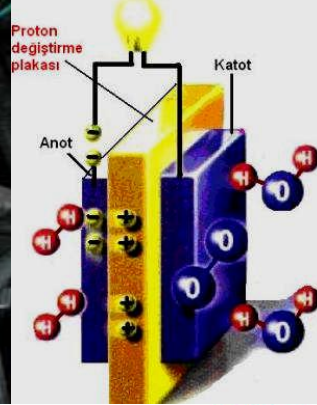


# ALTERNATİF MOTORLAR VE YAKITLAR



Öğr. Gör. HİCRİ YAVUZ

KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ  
AFYON MESLEK YÜKSEKOKULU

2018

NOT: Bu ders notu MEGEP dokümanlarından yararlanılarak hazırlanmıştır.

## BÖLÜM-1-

<b>1. BENZİN.....</b>	<b>7</b>
<b>1.1. Benzin.....</b>	<b>7</b>
1.1.1. Tanımı ve Tarihçesi.....	7
1.1.2. Yapısı.....	7
1.1.3. Benzinde Aranılan Özellikler.....	7
1.1.3.1. Soğuk Havalarda İlk Hareket ve Uçuculuk.....	8
1.1.3.2. Buhar Tamponunu Önleme.....	8
1.1.3.3. Motorun Ani Güç Değişimini Karşılama.....	8
1.1.3.4. Ekonomiklik.....	9
1.1.3.5. Reçine Oluşumu (Zamk ve Vernik).....	9
1.1.3.6. Korozyon.....	9
1.1.3.7. Yağlama Yağına Etkisi.....	9
1.1.3.8. Vuruntu Dayanımı.....	9
1.1.4. Benzine Katılan Katkılar.....	10
1.1.4.1. Oktan Sayısını Artırıcı Katkılar.....	10
1.1.4.2. Diğer Katkılar.....	10
1.1.5. Oktan Sayısı.....	10
<b>1.2. Vuruntu (Detanasyon).....</b>	<b>12</b>
1.2.1. Tanımı.....	12
1.2.2. Motora Etkisi.....	13
1.2.3. Vuruntunun Önlenmesi.....	13
<b>1.3. Erken Ateşleme.....</b>	<b>14</b>
1.3.1. Tanımı.....	14
1.3.2. Motora Etkisi.....	14
1.3.3. Vuruntunun Önlenmesi.....	14
<b>2. MOTORİN.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1. Yapısı ve Özellikleri.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2. Motorinde Aranılan Özellikler.....</b>	<b>15</b>
2.2.1. Vuruntu Dayanımı.....	16
2.2.2. Buharlaştırma.....	16
2.2.3. Viskozite.....	16
2.2.4. Korozyon.....	17
2.2.5. İş Miktarı.....	17
2.2.6. Çinkoya Karşı Aktivite.....	17
2.2.7. Akma Noktası.....	17
2.2.8. Alevlenme Tehlikesi.....	17
<b>2.3. Motorine Katılan Katkılar.....</b>	<b>17</b>
<b>2.4. Tutuşabilirlik ve Setan Sayısı.....</b>	<b>18</b>
<b>3. İÇTEN YANMALI MOTORLARDA KULLANILAN DİĞER YAKITLAR.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1. Doğal Gaz.....</b>	<b>20</b>
3.1.1. Tanımı.....	20
3.1.2. Özellikleri.....	21
<b>3.2. LPG (Likit Petrol Gazı).....</b>	<b>22</b>
3.2.1. Tanımı.....	22

3.2.2. Özellikleri.....	22
3.3. Diğer Yakıtlar.....	25
3.3.1. Hidrojen.....	25
3.3.2. Alkoller.....	25
3.3.3. Bitkisel Yağ Esterleri.....	25

## BÖLÜM-2-

<b>1. LPG VE DOĞAL GAZ YAKIT SİSTEMLERİ.....</b>	<b>28</b>
1.1. LPG/ Doğal Gazın Özellikleri .....	28
1.2. LPG/ Doğal Gaz Motorunun Çalışma Prensibi.....	29
1.2.1. LPG ve LNG Yakıt Sisteminin Çalışması .....	29
1.2.2. CNG Yakıt Sisteminin Çalışması .....	31
1.3 LPG / Doğal Gaz Yakıt Sisteminin Avantaj ve Dezavantajları.....	31
1.4. LPG/ Doğal Gaz Yakıt Sisteminde Emniyet Kuralları ve Güvenlik.....	32
1.5. Karbüratörlü Motorlarda LPG/ Doğal Yakıt Sisteminin Uygulaması.....	33
1.5.1. Yakıt Sistemin Parçaları ve Çalışması.....	33
1.5.1.1 Gaz Dolum Ağızı .....	33
1.5.1.2 Yüksek Basınç Boruları, Bağlantı Rekorları ve Sızdırmazlık Yüzükleri .....	34
1.5.1.3. LPG ve Doğal Gaz Tankı .....	35
1.5.1.3. Multivalf .....	37
1.5.1.4. Elektro Valfler ve Filtre .....	40
1.5.1.5. Buharlaştırıcı ( Regülâtör).....	40
1.5.1.6. Karıştırıcı (Mikser).....	45
1.5.1.7. Yakıt Seçme Anahtarı ve Elektrik Bağlantıları .....	46
1.5.1.8. Benzin Kesici Elektro Valf.....	47
1.5.1.9. Karbüratörlü Motorlarda LPG/doğal Gaz Yakıt Sistemlerinin Ayar ve Bakımı .....	47

<b>2. ENJEKSİYONLU MOTORLARDA LPG/DOĞAL GAZ YAKIT SİSTEMLERİ.....</b>	<b>50</b>
2.1. LPG/doğal Gaz Enjeksiyon Sisteminin Parçalarının Özellikleri ve Çalışma Prensipleri.....	51
2.1.1. Sensörler.....	51
2.1.2. Enjektör Rampası .....	52
2.1.3. Enjektör Boruları .....	53
2.1.4 Enjektörler .....	53
2.1.5 Elektronik Kontrol Ünitesi (ECU) .....	54
2.1.6. Elektrik Bağlantıları .....	55
2.2. LPG/Doğal Gaz Enjeksiyon Sisteminin Ayarları .....	55
2.2.1. Ayar Cihazının Motora Bağlanması .....	55
2.2.2. Ayarın Yapılması.....	57

## BÖLÜM-3-

<b>1.BİTKİSEL YAKITLARLA ÇALIŞAN MOTORLAR.....</b>	<b>59</b>
1.1.Motorlarda Kullanılan Bitkisel Yakıtlar .....	59
1.2.Bitkisel Yakıtların Özellikleri .....	59

1.3 Bitkisel Yakıtların Avantaj ve Dezavantajları.....	61
1.4.Bitkisel Yakıtların Motor Performansına Etkileri.....	62
1.5. Bitkisel Yakıtlı Motorların Bakımları.....	63
<b>2. WANKEL MOTORLARI .....</b>	<b>64</b>
2.1.Wankel Motorların Çalışma Prensibi .....	64
2.2. Motor Çalışma Zamanları.....	66
2.2.1. Emme Zamanı .....	66
2.2.2.Sıkıştırma Zamanı.....	67
2.2.3 Ateşleme (İş) Zamanı .....	67
2.2.3. Egzoz Zamanı .....	68
2.3.Wankel Motorların Avantaj ve Dezavantajları.....	68
2.4.Wankel Motorun Karakteristikleri .....	70
2.5 .Wankel Motorların Bakımları .....	71
<b>3. ELEKTRİKLİ HİBRİD MOTORLAR.....</b>	<b>72</b>
3.1. Elektrikli Hybrid Motorların Çalışma Prensipleri .....	72
3.2. Elektrikli Hybrid Motorların Avantaj ve Dezavantajları .....	73
3.3. Elektrikli Hybrid Motorların Türleri.....	74
3.3.1. Paralel Hibrid Tahrik Sistemi .....	74
3.3.2. Seri Hibrid Tahrik Sistemleri.....	75
3.4. Elektrikli Hybrid Taşıtlarda Kullanılan Elektrik Motor Tipleri .....	76
3.5. Elektrikli Hybrid Taşıtlarda Kullanılan Aküler .....	77
3.5.1. Nikel Metal Hidrit Aküsü .....	77
3.5.2. Kurşun-Asit Aküsü.....	78
3.5.3. Lityum Polimer Aküsü.....	78
3.5.4. Alüminyum Hava Aküsü .....	78
3.5.5. Lityum Hava Aküsü .....	78
3.5.6. Çinko Aküsü .....	79
3.5.7. Nikel Kadmiyum Aküsü .....	79
3.5.8. Sodyum Sülfür Aküsü .....	79
3.6. Elektrikli Hybrid Araçların Değerlendirmesi .....	79
3.6.1. Hibrid Taşıtların Performansı .....	80
3.6.2. Hibrid Taşıtların Verimi ve Yakıt Tüketimi .....	81
3.7. Örnek Bir Hibrid Taşıttın İncelenmesi.....	81
3.7.1. Nikel Metal Hidrid ( Ni-Mh ) Batarya.....	82
3.7.2. Elektrik Motoru.....	83
3.7.3. E-CVT Transmisyon .....	83
3.7.3.1 Düşük Hız Kullanımı .....	84
3.7.3.2 Şehir İçi Kullanımı .....	84
3.7.3.3 Otoyol Kullanımı .....	84
3.7.3.4 Yokuş Yukarı Çıkma.....	84
3.7.3.5 Yokuş Aşağı İnme, Yavaşlama, Durma .....	84

<b>4. YAKIT HÜCRELİ MOTORLAR .....</b>	<b>85</b>
<b>4.1 Yakıt Hücreli Motorların Çalışma Prensibi .....</b>	<b>85</b>
4.1.1 Yakıt İşleme Ünitesi .....	86
4.1.2 Güç Üretim Sistemi .....	86
4.1.3 Güç Dönüştürücü .....	87
<b>4.2 Yakıt Hücresi (Yakıt Pili) Çeşitleri.....</b>	<b>87</b>
4.2.1. Fosforik Yakıt Hücresi (PAFC) .....	87
4.3.2. Katı Polimer Yakıt Hücresi (SOFC).....	88
4.3.3. Alkali Yakıt Pili (AFC) .....	89
4.3.4. Proton Değişim Membranlı Yakıt Pili (PEM).....	89
4.3.5. Doğrudan Metanol Kullanılan Yakıt Pili (DMFC).....	90
<b>4.4 Yakıt Hücreli Motorların Avantaj ve Dezavantajları.....</b>	<b>91</b>
<b>4.5 Yakıt Hücreli Motorların Gelişme Perspektifleri .....</b>	<b>91</b>

# **BÖLÜM-1-**

# 1. BENZİN

## 1.1. Benzin

### 1.1.1. Tanımı ve Tarihçesi

Benzin, 32-204 °C'ler arasında kaynayan, özgül ağırlığı 0,680-0,760 g/cm<sup>3</sup> olan renksiz ve kendine özgü kokusu bulunan bir hidrokarbonlar karışımıdır, denebilir. Benzini oluşturan HC'lerdeki karbon sayısı 4-10 arasında değişir. Çok az olmakla beraber ağır ve hafif HC'ler ile petrolden gelen S (kükürt) ve N (azot) bulunduran, normal şartlar altında sıvı bir HC'dir. Benzinin içinde parafinik, etilenik, naftanik ve benzenik hidrokarbonlar bulunur. Benzin IX. yüzyılın son çeyreğinde Otto çevrimine göre çalışan motorlarda kullanılmıştır. Petrolün bulunmasından sonra ilk rafineri işlemleri ile elde edilen yakıtlardandır.

### 1.1.2. Yapısı

Benzin, genel formülü C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> kapalı formülü ile ifade edilen HC'lerden oluşmuşlardır. Benzinin yapısında özelliklerini artırmak ve renk vermek için katkı maddeleri kullanılmaktadır. Bunun yanında petrolden kaynaklanan çok az miktarda ve istenmeyen kükürt ve azot gibi elementlerde bulunmaktadır. Benzinin HC yapısında C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub> kapalı formülü ile gösterilen parafinik HC'ler, C<sub>n</sub>H<sub>n</sub> kapalı formülü ile gösterilen etilenik (hafif) HC'ler, C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub> kapalı formülü ile gösterilen naftanik HC'ler ve C<sub>n</sub>H<sub>2n-6</sub> kapalı formülü ile gösterilen benzenik HC'ler bulunur. Benzinli motorlarda en iyi çalışmayı sırasıyla; benzenik HC'ler, naftanik HC'ler, etilenik HC'ler ve son olarak da parafinik HC'ler sağlamaktadır. Bu cümleden anlaşılacağı gibi benzinin içinde ki benzenik miktarı ne kadar yüksek ise benzin motorlar için o kadar iyi demektir. Bunu temel nedeni ise benzeniklerin yüksek oktan sayısına sahip olmalarıdır. Benzinin yapısında en az miktarda olması istenen HC grubu ise parafinlerdir. Parafinlerden en çok kullanılanı olan heptanın oktan sayısının sıfır olması parafinlerin benzin içindeki miktarının neden düşük tutulması gerektiğini açıklamaktadır.

### 1.1.3. Benzinde Aranılan Özellikler

Motorlarda kullanılan benzinin bazı özelliklere sahip olması gereklidir. Bu özelliklerden bazıları motorun performansını iyileştirirken, bir kısmı motorun korunması bir kısmı da aracın emniyeti için gereklidir. Benzinde bulunması gereken özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

- Soğukta motorun kolay çalışmasını sağlamalıdır,
- Buhar tamponunu önlemelidir,
- Motorun ani güç değişikliklerine cevap verebilmelidir,
- Ekonomik olmalıdır,
- Reçine teşekkülü olmamalıdır,

- Korozyona neden olacak yanma sonu artıkları olmamalıdır,
- Yağlama yağlarının özelliğini bozmamalıdır,
- Vuruntuya dayanıklı olmalıdır.

#### **1.1.3.1. Soğuk Havalarda İlk Hareket ve Uçuculuk**

Benzinin ve diğer sıvıların, sıvı halden gaz haline geçebilme yeteneklerine uçuculuk denir. Her sıvının uçuculuğu sıcaklığa bağlı olarak değişiklik gösterir . Örneğin suyu ele alacak olursak bu sıvının uçuculuğu kaynama noktasına yaklaştıkça daha da artmaktadır. Benzinin uçuculuk kabiliyeti suya göre çok yüksektir. Bunun nedeni benzinin kaynama noktasının 32 °C gibi düşük bir değerden başlamasıdır. Benzinin içinde farklı yapılarda HC bulunduğunu belirtmiştik. HC'lerin kaynama noktaları 32-180 °C arasında değişmektedir. Buji ile ateşlemeli motorlarda kullanılacak yakıtın düşük sıcaklıklarda buharlaşması istenir. Sıvının kaynama noktası düşüğe uçuculuk yüksek, kaynama noktası yüksekse uçuculuk düşüktür. Yakıtta bulunan hafif hidrokarbonların düşük sıcaklıklarda buharlaşması istenir. Özellikle soğuk motorlarda ilk hareket için yeterli miktarda yakıtın sağlanması, yakıtın uçuculuğu ile direkt olarak ilgilidir. Yakıtın uçuculuğu ne kadar iyi ise ilk hareket o oranda kolay olur. Benzinin uçuculuğu, motorun değişik çalışma koşullarına uygun bir yakıt olmasını sağlar.

#### **1.1.3.2. Buhar Tamponunu Önleme**

Sıvı yakıtlarda uçuculuğun çok fazla olması istenmez. Çünkü ısınan motor, yakıt sistemi elemanlarının ısısını arttıracaktır ve artan sıcaklığın etkisiyle yakıt, motora ulaşmadan buharlaşacak, bu durum ise yakıt pompası veya borularında buhar tıkaçı oluşmasına neden olacaktır. Bu istenmeyen bir durumdur. Benzinin uçuculuğunun bir ifadesi olan buhar basıncı en çok 37,5 °C' de 0,8 atmosfer (reid –buhar) basıncı olmalıdır. Benzinin buharlaşması uçuculuğu ile bağlantılıdır. Uçuculuk yüksek olursa buhar tıkaçı oluşma olasılığı artmaktadır. Soğuk havalarda ilk hareket için yüksek uçuculuk istenirken, buhar tamponunu engellemek için düşük uçuculuk istenmektedir. Motorun çalışma şartlarına göre optimum bir uçuculuk değeri mevcuttur ve bu değer benzini iyi bir yakıt yapmaktadır.

#### **1.1.3.3. Motorun Ani Güç Değişimini Karşılama**

Yüksek hıza ani geçiş için gaz pedalına basıldığında, motorun emdiği hava miktarı ani olarak artar. Bu ani hava artışında motorun daha iyi hızlanabilmesi için hava içerisine daha fazla yakıt verilmelidir. Bu yakıt artışını sağlayabilmek için yakıtın uçuculuğunun yüksek olması gerekir. Benzin, ani güç değişikliklerine uyum sağlayabilecek bir uçuculuğa sahip olduğundan motorlar için uygun bir yakıttır.



#### **1.1.3.4. Ekonomiklik**

Motorun bütün çalışma koşullarına cevap verebilen yakıtın aynı zamanda ekonomik olması da gerekmektedir. Benzinin fazla uçucu olması buharlaşma ile yakıt kaybına neden olduğu için yakıt ekonomisi açısından dezavantaj doğurur. Bunun yanında yüksek uçuculuk, depolama zorluklarını da beraberinde getirmektedir.

#### **1.1.3.5. Reçine Oluşumu (Zamk ve Vernik)**

Sıvı yakıtlar, depolandıkları ortamda oksijenle reaksiyona girerek çöküntü oluştururlar. Bu çöküntülere reçine denir. Bu çöküntüler yakıt sisteminde tıkanmalara yol açabileceğinden dolayı istenmezler. Benzinin içindeki reçine oranı 5 mg/cm<sup>3</sup>' den az olmalıdır. Reçine motorda supapların yapışmasına ve yakıt kanallarının tıkanmasına neden olur. Benzin çok uzun süre bekletilirse reçine oluşumu artacağından uzun süre bekletilmemelidir.

#### **1.1.3.6. Korozyon**

Buji ile ateşlemeli motorlarda, yanma sonunda korozyon etkisi olan artıklar olmamalıdır. Korozif yanma sonu ürünleri kükürt miktarı ile doğru orantılı olarak artar. Bu yüzden benzindeki kükürt miktarı 0,001'den fazla olmamalıdır. Kükürt miktarının daha yüksek olması, yanma sonunda sülfüroksit (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>) oluşumuna sebep olur. Bu gibi asitler metallerde korozyona sebep olarak motor parçalarının ömrünü olumsuz etkiler.

#### **1.1.3.7. Yağlama Yağına Etkisi**

Motorda kullanılan yakıtın uçuculuğu yeterli olmaz ise silindirlere giren yakıtın bir kısmı sıvı halde olur. Benzinin sıvı hali, silindir cidarlarındaki yağın incelmeye sebep olarak yağın, yağlama görevini yapmasını engeller. Ayrıca kartere inerek yağı inceltir ve viskozitesinin düşmesine, dolayısıyla yağlama görevini yerine getirememesine neden olur. Görüldüğü gibi uçuculuk çok önemli bir özelliktir. Benzin, içeriğinde bulundurduğu farklı HC'ler sayesinde uçuculuk için değişen isteklere cevap verebilen bir yakıttır.

#### **1.1.3.8. Vuruntu Dayanımı**

Buji ile ateşlemeli dört zamanlı motorlarda, ikinci zaman sonunda, yanma odasında sıkışmış olan karışım buji kıvılcımı ile ateşlendiğinde karışımın normal zamanda yanmasına, normal yanma denir. Yanma odasındaki karışım tamamen yanmaya kadar bujiden başlayan alev, dairesel halkalar halinde diğer kısımlara yayılmalıdır. Alevin yayılmasını sağlayan alev hızına, alevin yayılma oranı denir. Alevin yayılma hızı normalden yüksek olursa ani basınç artışları meydana gelir. Bu olaya vuruntu denir. Vuruntu, yakıtın oktan sayısı ile ilişkilidir. Oktan sayısı yüksek yakıtların vuruntu dayanımı yüksektir. Benzinin oktan sayısı kullanıldığı motorlara göre değişmektedir.

#### **1.1.4. Benzine Katılan Katkılar**

Benzine katılan katkı maddelerini iki grupta incelenebilir. İlk grup olarak benzinin oktan sayısını yükseltmek için kullanılan katkı maddeleri, ikinci grup olarak koruyucu amaçla kullanılan katkı maddeleri olarak sınıflandırılabilir.

##### **1.1.4.1. Oktan Sayısını Artırıcı Katkılar**

Benzinin üretimi sırasında kraking, reforming, polimerizasyon, izomerizasyon gibi yöntemler kullanılarak oktan sayısı yükseltilmektedir. Üretimden sonra oktan sayısını arttırmak için;

Kurşun tetraetil bir litre benzinde en fazla 0,8 cm<sup>3</sup> bulunmasına izin verilen ve oktan sayısını 7-10 kadar artıran bir katkı maddesidir. Günümüzde gerek motor parçalarına olan olumsuz etkileri gerekse insan sağlığı ve çevreye verdiği zararlardan dolayı kullanımı çok azalmış, ülkemizde kullanımı yasaklanmıştır.

Benzen ilavesi ile oktan sayısı yükselir. Genelde % 10 kadar benzen ilave edilmektedir.

Demir penta karbonil,

Mono metil anilin,

Metanol ve etanol alkolleri katılarak da oktan sayısı yükseltilebilmektedir.

##### **1.1.4.2. Diğer Katkılar**

Motorun temizlenmesi, korunması için kullanılan katkıları ve benzine renk veren katılardır. Bunları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

Yanma odası ve bujilerdeki birikintileri temizlemek için fosfor bileşikleri ve bromür etilen,

Karbüratör ve manifoldlardaki birikintileri önlemek için deterjanlar,

Reçine teşekkülünü ve kurşun tetraetilin parçalanmasını önleyici antioksidanlar,

Supap ve silindirin üst kısmını yağlayıcı hafif yağlar,

Paslanmayı önleyici anti-pas maddeler,

Aşınıları engellemek için etilendibromit,

Buzlanmayı engellemek için %1 izopropilalkol, %0,005 amonyum tuzları % 0,2 glikol veya fosfatlar,

Benzinin donmasını engellemek için kullanılan %1 metilalkol kullanılmaktadır.

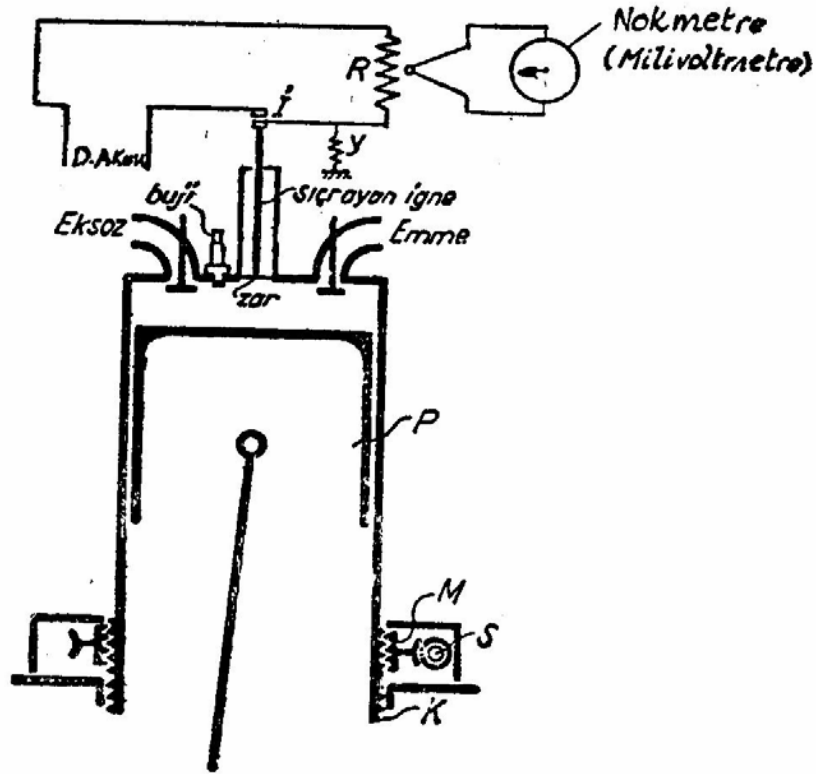
Günümüzde hızla gelişen rekabet ortamında daha kaliteli ve temiz bir benzin için bütün şirketler farklı miktarlarda katkı maddeleri kullanmaktadırlar.

##### **1.1.5. Oktan Sayısı**

Benzinde oktan sayısı, motorun sıkıştırma oranını, dolayısıyla da verimini çok yakından ilgilendiren bir özelliktir. Oktan sayısı ne kadar yüksek olursa yakıtın vuruntu dayanımı da o kadar yüksek olmaktadır. Oktan sayısı yakıtın fiziko-kimya özellikleri yanında motorun yapısal ve işletme özellikleri ile de değişmektedir. Oktan sayısının, yakıtın içindeki izo-oktan

oranına bağı olduğunu belirtmiştik. Oktan sayısını yol oktan sayısı YOS, motor oktan sayısı MOS, araştırma oktan sayısı AOS olarak üç farklı şekilde görmemiz mümkündür. YOS, normal yol şartlarında çalışan bir motorda vuruñu sınırları dikkate alınarak belirlenirken, MOS, CFR motorunda zor şartlar altında yapılan deneyler sonucunda elde edilir. AOS ise daha hafif şartlarda yapılan deneysel çalışmalar sonunda elde edilen oktan sayısıdır. AOS' si 85 olan bir yakıtın MOS' i 75 olabilir. Buradaki farka yakıt duyarlılığı denir ve deney şartlarındaki değişimden etkilenmeyi gösterir. YOS bulunurken deneylerin yol şartlarında yapılması söz konusudur. YOS genellikle, MOS'dan küçük AOS'dan büyük bir değerde olmaktadır.

Oktan sayısının belirlenmesi için yapılan deneylerde motordaki vuruñu ölçülmekte ve vuruñu eğiliminin başladığı nokta, referans yakıtla karşılaştırılarak yakıtın oktan sayısı belirlenmektedir. CFR (cooperative fuel research) yöntemi ile oktan sayısı belirlemede sıkıştırma oranı değiştirilebilen bir motor kullanılmaktadır. Bu motora CFR motoru denir. Oktan sayısı ölçülecek yakıt CFR motorunda farklı sıkıştırma oranlarında denir. Vuruntunun başladığı sıkıştırma oranı tespit edildikten sonra kimyasal yollarla elde edilmiş i-oktan ve n-heptan karışımının aynı sıkıştırma oranında vuruñu başlatacak karışım oranı tespit edilir. Çıkan sonuç MOS olarak yakıtın oktan sayısını verir. Şekil 1.1'de sıkıştırma oranı değiştirilebilen CFR motorunun şematik görünüşü verilmiştir.

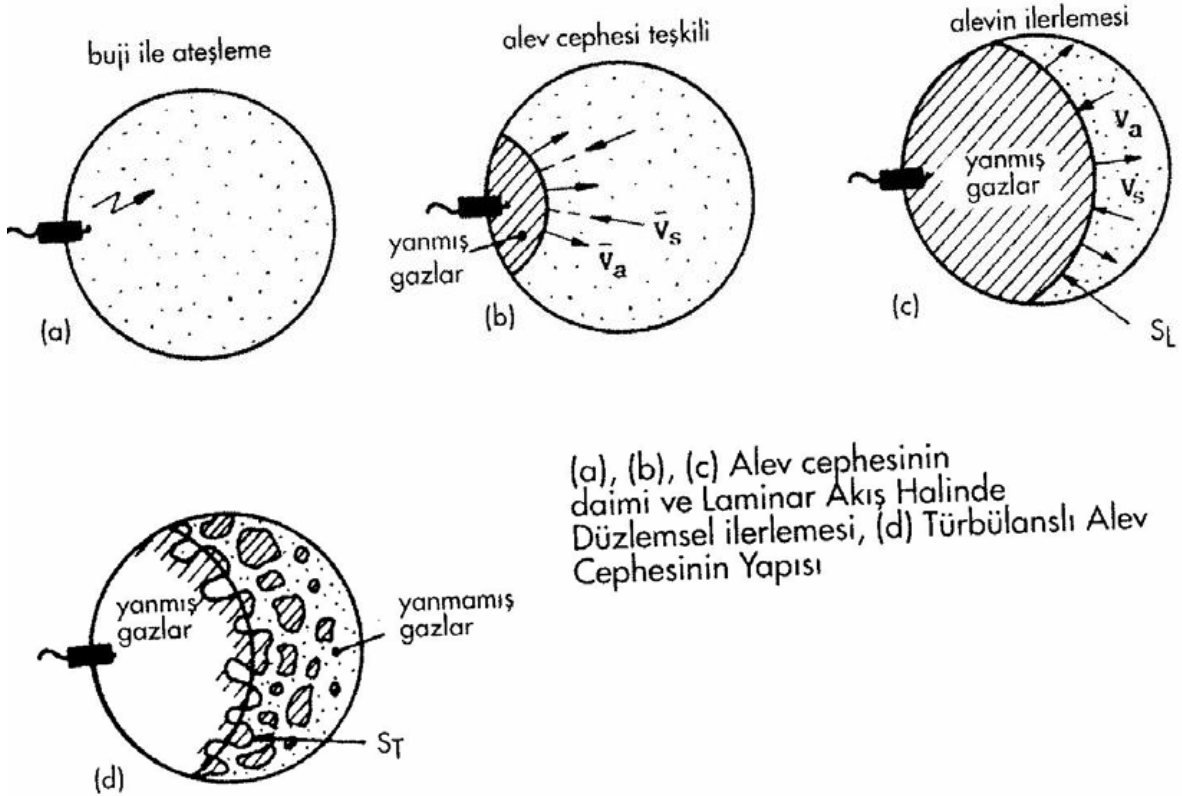


Şekil 8.1: CFR motoru basit şematik görünüşü

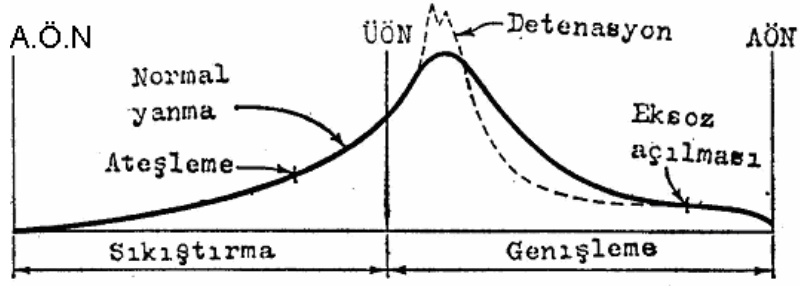
## 1.2. Vuruntu (Detanasyon)

### 1.2.1. Tanımı

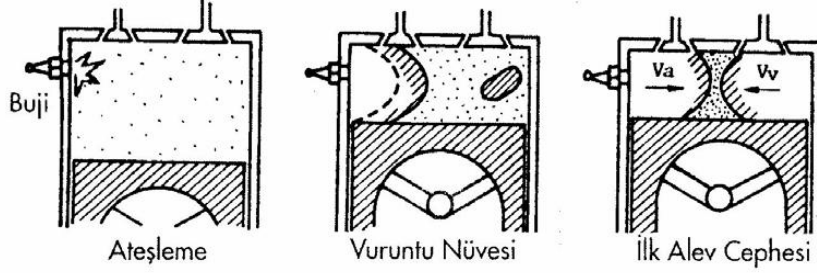
Buji ile ateşlemeli içten yanmalı pistonlu motorlarda, sıkıştırma zamanı sonunda silindirdeki hava/yakıt karışımı bir buji ile tutuşturuluyor ve açığa çıkan basınç artışı ile iş yapılmış oluyordu. Buji kıvılcımından sonra alev, dalgalar halinde yanma odasına yayılmaya başlar alevin yayılma hızı yaklaşık olarak 25-40 m/s'dir. Buji tarafından oluşturulan alev cephesi yayılırken, alev cephesinin dışında kalan alev cephesi yayıldıkça sıcaklığı ve basıncı artan henüz yanmamış karışıma son gaz denir. Son gaz bölgesine alev nüvesi ulaşmadan, oluşan sıcaklık ve basıncın etkisi ile son gazın tutuşması ve ikinci bir alev cephesi oluşturmasına vuruntu denmektedir. Son gazın oluşturduğu alev cephesinin hızı 500-700 m/s civarındadır. Bu yüksek alev yayılma hızı ve iki alev cephesinin çarpışması normalden çok daha hızlı basınç artışını beraberinde getirmektedir. İşte bu hızlı basınç artışı motorun piston ve silindir cidarlarına bir çekiçle vuruluyormuşçasına ses oluşturur. Bu ses vuruntunun anlaşılmasını sağlar. Şekil 8.2'de normal alev cephesinin ilerleyişi ve türbülanslı alev cephesinin şematik görüntüsü verilmiştir. Şekil 8.3'te ise basınç indikatör cihazı ile vuruntunun ölçülmesi sonucu elde edilen bir diyagramı gösterilmiştir. Şekil 8.4'te ise yanma odasında vuruntunun oluşumu şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 8.2: Alev cephelerinin ilerleyişi



**Şekil 8.3: Vuruntuda (detanasyon) basınç artışı**



**Şekil 8.4: Vuruntuda alev cephelerinin durumu**

### 1.2.2. Motora Etkisi

Vuruntu, motorda verim düşüklüğünün yanında, oluşturduğu hızlı basınç artışı ile de motor parçalarına zarar verebilmektedir. Vuruntunun sakıncalarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Sürücü tarafından duyulabilen rahatsız edici bir ses oluşturur,
- Oluşan yüksek basınç, piston yüzeyine ani yük binmesi dolayısıyla yüksek gerilmelere ve mekanik tahribatlara neden olur,
- Oluşan yüksek basınç segmanlardan gaz sızıntısına, sızan gazlar da yağlama yağı özelliklerinin bozulmasına sebep olur,
- Güç ve verim kaybına neden olur,
- Vuruntu, yanmanın kimyasını etkileyeceğinden egzoz gazlarının da etkilenmesi söz konusu olur.

### 1.2.3. Vuruntunun Önlenmesi

Yüksek sıkıştırma oranları vuruntu temayülünü artırır. Bundan dolayı yakıtın vuruntu dayanımını gösteren oktan sayısına göre sıkıştırma oranı belirlenmelidir. Motora alınan karışımın basınç ve sıcaklıklarının yüksek olması sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığının da yükselmesine, bu da tutuşma gecikmesinin azalması ile vuruntuya sebep olur. Giriş basınç ve sıcaklıkları düşük tutulmalıdır. Motor hızı, yanma hızını artırarak ve son gaz bölgesi basınç ve sıcaklığı değiştirerek, vuruntuyu etkilemektedir. Motor uygun devrinde çalıştırılmalıdır. Mümkün olan en düşük ateşleme avansı verilmelidir. Zira artan ateşleme avansı basınç ve sıcaklık değerlerini de artırarak vuruntu eğilimini ortaya çıkarmaktadır. Karışımdaki

hava/yakıt oranı da vuruntuyu etkilemektedir. Fakir karışımlarda vuruntu meyli fazladır. Yakıt/hava oranı da optimum değerlerinde olmalıdır. Egzoz gazların çıkış basıncı da vuruntuya etki etmektedir. Yüksek egzoz basıncı sıkıştırma sonu basıncı artırarak vuruntuya sebep olmakta, silindirde kalan egzoz gazları da miktarındaki artma vuruntu eğilimini azaltmaktadır. Egzoz supabı her zaman sıcak olacaktır. Buji, egzoz supabına uzak olursa buradaki sıcaklıktan dolayı ikinci bir ateşleme, yani vuruntu olabilir. Bujiler egzoz supabına mümkün olduğunca yakın olmalıdır. Yanma odasının şekli de vuruntuda önemlidir. Yanma odası yüzey/hacim oranı küçük olursa vuruntu eğilimi azalmaktadır. Örneğin küresel yanma odası gibi. Silindirler iyi bir şekilde soğutulmalıdır. Soğutulmayan silindirde oluşan sıcak noktalar vuruntu eğilimini artırmaktadır.

### **1.3. Erken Ateşleme**

#### **1.3.1. Tanımı**

Silindirdeki yakıt/hava karışımının buji ateşlemeden önce tutuşmasına erken ateşleme denilmektedir. Silindirin iyi soğutulmaması, bujilerin yanlış seçilmiş olması, supap tablalarının incelmış olması, kapak contasının yanlış takılması gibi nedenler belirtilen alanlarda ısı birikimine bu biriken ısı da erken ateşlemeye neden olmaktadır.

#### **1.3.2. Motora Etkisi**

Erken ateşleme motorda vuruntulu yanma meydana getireceğinden, vuruntunun motora verdiği zararlar erken ateşlemenin etkileriyle benzerdir.

- Sürücü tarafından duyulabilen rahatsız edici bir ses oluşturur,
- Oluşan yüksek basınç, piston yüzeyine ani yük binmesi, dolayısıyla yüksek gerilmelere ve mekanik tahribatlara neden olur,
- Oluşan yüksek basınç segmanlardan gaz sızıntısına, sızan gazlar da yağlama yağı özelliklerinin bozulmasına sebep olur,
- Güç ve verim kaybına neden olur,
- Vuruntu, yanmanın kimyasını etkileyeceğinden egzoz gazlarının da etkilenmesi söz konusu olur.

#### **1.3.3. Vuruntunun Önlenmesi**

Erken ateşleme problemlerinin büyük çoğunluğu silindirlerin iyi soğutulmamasından kaynaklanmaktadır. Öyleyse erken ateşlemenin önlenmesi için ilk olarak silindirlerin iyi bir şekilde soğutulması gerekmektedir. Silindir içinde oluşan karbon birikintileri de akkor haline gelerek erken ateşlemeye neden olmaktadır. Bu karbon birikintileri temizlenmeli veya oluşmasının önüne geçilmelidir. Uygun buji kullanılmalıdır. Aksi halde buji elektrotları aşırı ısınarak akkor haline gelir ve erken ateşlemeye neden olur.

## 2. MOTORİN

### 2.1. Yapısı ve Özellikleri

Dizel motorlarında kullanılan, ham petrolün 200-380 0C dereceler arasında damıtılmasında elde edilen, özgül ağırlığı 0,89 kg/dm<sup>3</sup> olan bir yakıttır. Yapısındaki HC'lerde karbon sayısı 8 ile 16 arasında değişmektedir. HC'lerin dışında %1 kükürt, %0,02 kül miktarına ve çok az azota müsaade edilir. Motorinlerin en düşük Setan sayısı 40 olmalıdır. Günümüzde üç farklı motorin kullanılmaktadır. Bunlar Nu.1-D numaralı motorin, Nu.2-D numaralı motorin ve Nu.3-D numaralı motorindir. Nu.1-D, petrolün damıtılması ile elde edilen ve değişik hızlarda çalışan dizel motorlarında kullanılan dizel yakıtıdır. Nu.2-D, petrolün damıtılması ve kraking ürünlerinden elde edilir. Nu.1-D'ye göre buharlaşması daha düşüktür ve daha düşük hızlı ağır hizmet ve endüstri motorlarında kullanılır. Nu.3-D, damıtma, kraking ve bazı atıklardan oluşur. Düşük veya orta hızlı dizel motorlarında kullanılır. Motorin petrolün bulunması ve rafineri işlemlerinin başlamasından hemen sonra kullanılmaya başlanmıştır. Benzinli motorlardaki verim ve benzinin fiyatı, daha ucuz ve daha verimli bir motor geliştirilmesini teşvik etmiştir. Geliştirilen dizel motorlarında yakıt olarak motorin kullanılmışlardır. Aşağıdaki tabloda üç motorinin bazı özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Özellik	1-D	2-D	3-D
Setan sayısı Minimum	40	40	40
Parlama noktası °F	100	125	130
Viskozite S (saybolt) 100 °F'da	30-34	33-45	45-125
% Kül kütlesele	0,01	0,02	0,10
% Kükürt kütlesele	0,50	1,0	2,0

### 2.2. Motorinde Aranan Özellikler

Dizel motorları yüksek hızlı, orta hızlı ve düşük hızlı olarak yapılmaktadırlar. Yüksek hızlı dizeller binek taşıtlarında, orta hızlı dizeller yük taşıtlarında ve düşük hızlı dizeller ağır iş makinelerinde kullanılmaktadırlar. Bu motorlarda kullanılan motorinde bazı özellikler önemlidir.

### 2.2.1. Vuruntu Dayanımı

Dizel motorlarda kızgın hava üzerine püskürtülen yakıtın tutuşma gecikmesinin düşük olması istenir. Tutuşma gecikmesi uzun olursa silindirde yakıt miktarı artacağından yanma daha şiddetli olur. Bu istenmeyen yüksek basınç dalgalarına ve sıcaklıklara neden olacağından motora zararlıdır. Tutuşma gecikmesi, motorinin setan sayısı ile ilişkilidir. Setan sayısı yüksek olursa tutuşma gecikmesi düşmekte, setan sayısı düşük olursa tutuşma gecikmesi artmaktadır. Setan sayısının artması is oluşumunu da artırdığından setan sayısı üst sınırı 70 alt sınırı 40 olarak belirlenmiştir. Dizel yakıtlarında dizel indeksi de setan sayısının belirtilmesinde kullanılan bir sayıdır. Aşağıdaki tabloda dizel indeksi ve setan sayısı arasındaki ilişki gösterilmiştir.

Dizel İndeksi	Setan Sayısı	Dizel İndeksi	Setan Sayısı
0	18	50	50
5	20	55	53
10	24	60	56
15	28	65	59
20	30	70	62
25	34	80	65
30	37	85	68
35	40	90	71
40	43	95	75
45	46	100	78

### 2.2.2. Buharlaşma

Soğuk havalarda ilk hareket için buharlaşma iyidir. Fakat buharlaşma kendiliğinden tutuşma özelliğini kötüleştirir. Optimum bir değer tespit edilmeli ve bu değeri sağlayacak bileşenler içeren dizel kullanılmalıdır.

### 2.2.3. Viskozite

Sıvıların akmaya karşı gösterdiği dirence viskozite denmektedir. Motorinde viskozite önemli bir parametredir. Çok yüksek viskozite, pompalama işini zorlaştıracığı gibi püskürtme sonrası taneciklerini iri olmasına neden olacağından tutuşma gecikmesini artırır. Ayrıca is miktarı da artar. Düşük viskozite ise iyi bir atomizasyon sağlamakla birlikte, sızdırmazlık sorunlarına ve pompa elemanlarının aşınmasına sebep olur.



#### **2.2.4. Korozyon**

Motorinin hem kendisinin, hem de yanma sonu ürünlerinin korozyona sebep olmayacak özelliklerde olması istenmektedir. Kükürt miktarı, yanma sonunda korozyon etkisine sahip asitler oluşturduğundan mümkün, olduğunca düşük olmalıdır. Yakıtta bulunan tuzlu suyunda korozyon etkisi vardır.

#### **2.2.5. İS Miktarı**

Motorin, yanma sonu ürünleri bakımından benzinden çok daha yüksek is ve kül ihtiva etmektedir. İS miktarını minimum düzeylerde tutmak için setan sayısının 70'in altında tutulması gerekirken, 40'ın altındaki setan sayısı da yanmayı kötüleştirerek kül ve is miktarının artmasına neden olmaktadır. Burada HC'lerin yanma sonucu kül ve is bırakmadan yandığı dikkate alınırsa motorinin içindeki istenmeyen fakat bulunan madeni tuzların kül ve is bırakmada etkili olduğu görülmüştür.

#### **2.2.6 Çinkoya Karşı Aktivite**

Motorin, çinko ile bileşik oluşturma temayülündedir. Çinko ile oluşturacağı bileşikler korozyon etkisine sahiptirler. Özellikle çinko ihtiva eden çelik depolarda saklanırken çinko ile reaksiyona girmemesi için çinko aktivitesi mümkün olduğunca düşük olmalıdır.

#### **2.2.7. Akma Noktası**

Sıvıların akıcılıklarını kaybetmeye başladıkları sıcaklığa akma noktası denir. Motorinin akma noktası çalışma şartlarında donmayı engelleyecek ve akma kabiliyetini kaybettirmeyecek düzeyde olmalıdır. Ülkemizde kullanılan motorine mazot ismi verilmektedir. Halbuki mazot daha düşük devirli dizel motorlarının yakıtı olarak kullanılır. Motorinin donma noktası -10 °C iken benzinin donma noktası -65 °C'dir.

#### **2.2.8. Alevlenme Tehlikesi**

Motorin, benzine nispeten daha düşük sıcaklıklarda tutuşma kabiliyetine sahip olmasına rağmen buharlaşma özeliği daha düşük olduğu için alevlenme tehlikesi de daha düşüktür. Motorinin alevlenmesi için sıcak bir yüzey gerekirken, benzinin alevlenmesi buhar tabakasının kıvılcım ile teması sonucu oluşur.

### **2.3. Motorine Katılan Katıklar**

Motorinlerde, yakıt sistemi elemanlarının temizlenmesini sağlamak amacıyla temizleyici karışımlar, yakıt içindeki suyun dağıtılmasını sağlayıcı katkılar, setan sayısını artırıcı katkı maddeleri, kış aylarında motorinin donmasını engelleyici antifrizler ve enjektörler ile yakıt pompasını temizleyici katkı maddeleri kullanılmaktadır.

#### 2.4. Tutuşabilirlik ve Setan Sayısı

Dizel motorlarının vuruntu özellikleri, yakıtın tutuşma kabiliyetine yani setan sayısına bağlıdır. Tutuşabilirlik, motorinin silindir içinde hava ile karışarak kendi kendine alev alabilme kabiliyetidir.

Dizel motorlarında kullanılan motorinin tutuşma kabiliyetinin yüksek olması istenir. Hatırlanacağı gibi benzinin tutuşma kabiliyetinin düşük olması istenmekte idi. Dizel motorlarının sıkıştırma zamanı sonunda kızgın hava içine püskürtülen motorinin kendi kendine tutuşması ile çalıştığını biliyoruz. Dizel motorlarında vuruntu; hava içerisine püskürtülen yakıtın tutuşma gecikmesinden dolayı birikmesi ve çok miktarda yakıtın aniden yanması sonucu oluşan yüksek basınç dalgaları ve sıcaklık olarak tanımlanır.

Motorinin tutuşma kabiliyeti; setan sayısına bağlı olarak değişmektedir. Setan sayısındaki artış tutuşma gecikmesini (TG) azaltmakta, düşük setan sayısı ise tutuşma gecikmesini artırarak dizel vuruntusuna neden olmaktadır. Setan (C<sub>16</sub>H<sub>34</sub>) düz zincirli bir parafindir ve tutuşma kabiliyeti 100 olarak kabul edilir. Alfametilnaften'in (C<sub>10</sub>H<sub>7</sub> CH<sub>3</sub>) tutuşma kabiliyeti "0" kabul edilmiştir. Motorinde bulunan setan ve alfametilnaften oranı motorinin setan sayısını vermektedir. % 65 setan ve % 35 alfametilnaften karışımının setan sayısı 65'tir. Motorin, kimya laboratuvarlarında üretilmediğinden muhteviyatındaki setan sayısı yapılan deneylerle belirlenir. Ölçülecek yakıtın setan sayısı standart motorda (CFR motoru) ölçülen TG tutuşma gecikmesi süresinin, setan alfametilnaften karışımlarının TG süreleri ile karışılaştırılması sonucu belirlenir. Aynı TG sürelerini veren karışımdaki Setan yüzdesi ölçülen yakıtın setan sayısını verir. TG setan sayısı ile birlikte sıkıştırma oranına da bağlıdır. Dolayısıyla karışılaştırma yapılırken sıkıştırma oranları aynı olmalıdır. Farklı sıkıştırma oranlarında vuruntusuz çalışma için gerekli olan setan sayısındaki değişmeler, yapılan bir dizi deney sonrasında belirlenir ve ölçülen yakıtın kullanıldığı sıkıştırma oranındaki setan sayısı bulunur. Şekil 9.1'de sıkıştırma oranı ve setan sayısı değişimi bir grafikte verilmiştir. Dizel motorlarda setan sayısı 70'in üzerinde olduğunda yanma kötüleşmekte ve is miktarı artmaktadır. Setan sayısı 40'in altında olduğunda ise TG süresi uzamakta ve dizel vuruntusu meydana gelmektedir. Çalışma Şartlarına göre dizel motorlarında kullanılacak motorinin setan sayısı 40 ile 70 arasında olmalıdır.

Setan sayısını ölçmenin daha basit bir yolu da dizel indeksini belirlemektir. Dİ (dizel indeksi) setan sayısı ilişkisi Şekil 2.1'de verilmiştir. Dİ hesaplanması için anilin noktası ve API özgül ağırlılığının bilinmesi gerekmektedir. Anilin noktası: Anilin, aromatik HC'leri her zaman eriten fakat parafinik HC'leri ancak ısıtıldığında eriten bir eriticidir. Bu eritici ile motorin eşit hacimlerde karıştırılır ve ısıtılır. Birbiri içinde iyice eritilen karışım soğumaya bırakılır.

Soğuyan eriyik ayrışır ve iki ayrı tabaka oluşmaya (aromatik HC'ler ile anilin eriyiği ve parafinik HC'lerin tabakası) başlar, bu andaki sıcaklığa yakıtın anilin noktası denir.

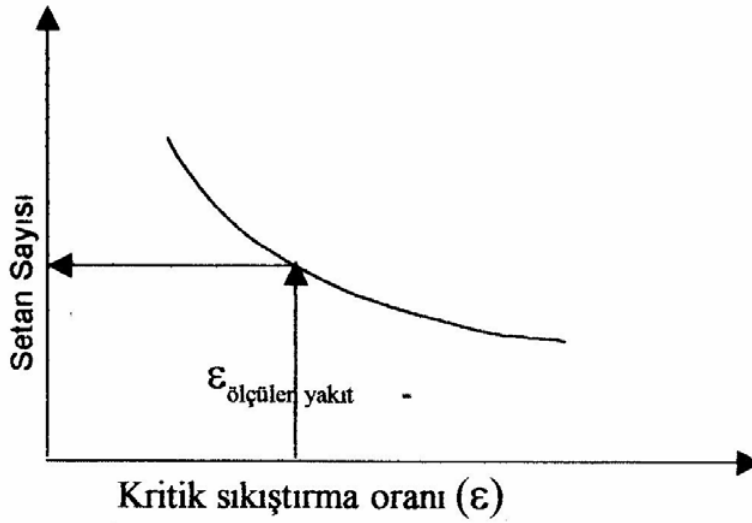
API ve anilin noktası kullanılarak aşağıda gösterilen 1.1 numaralı denklem Dİ belirlenir.

$$Dİ = \frac{\text{Anilin Noktası} \times API}{100}$$

Bugün petrol endüstrisinde petrolün özgül ağırlığı yerine A.P.I. gravite derecesi kullanılır. Petrolün özgül ağırlığı ile A.P.I. gravite derecesi arasında ters bir orantı vardır. Gravite büyüdükçe, yoğunluk küçülmekte ve petrolün kalitesi yükselmektedir. Gravite küçüldükçe, yoğunluk artmakta ve petrolün kalitesi düşmektedir. A.P.I. Gravite derecesi ile Ö.A. arasında aşağıdaki denklemde görüldüğü gibi bir ilişki vardır.

$$API = \frac{141,5}{\text{ÖA} / 60 F} - 131,5$$

1.2'deki denklemde ÖA özgül ağırlığı  $\text{gr/cm}^3$  olarak belirtmektedir



Şekil 9.1: Setan sayısı ve sıkıştırma oranı (ε) değişim

### **3. İÇTEN YANMALI MOTORLARDA KULLANILAN DİĞER YAKITLAR**

Artan dünya nüfusu, ekonomik büyüme, kişi başına enerji tüketiminin artması, yaşam tarzlarının değişmesi ve insanların büyük şehir merkezlerinde toplanması gibi etkenler dünyada kullanılan enerji miktarının her geçen gün artmasına neden olmaktadır. Enerji tüketimindeki bu artış başlıca iki problemi doğurmuştur. Yoğun enerji kullanımıyla oluşan çevre kirliliği ve enerji kaynaklarının sınırlılığından dolayı artan enerji fiyatlarıdır.

Dünyadaki enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılan en önemli kaynaklar: petrol, kömür, doğalgaz, hidroelektrik santraller ve nükleer santrallerdir. 1993 yılında yapılan bir araştırmada dünya enerji ihtiyacının %85'i fosil yakacıklardan, %14-15'i hidroelektrik santrallerinden ve %1'i nükleer yakıtlardan elde edilmektedir. Bu enerji kaynaklarının yanında rüzgar, güneş, dalga, biyokütle, gelgit ve jeotermal enerji gibi alternatif enerji kaynaklarının kullanımı da gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır.

İçten yanmalı motorlarda XIX. yüzyıl sonlarından itibaren yakıt olarak petrol ürünleri kullanılmaya başlanmıştır. Bu motorlarda yakıt olarak petrol ürünlerinin kullanılması, petrole dayalı içten yanmalı motor teknolojisinin hızla gelişmesini, yaygınlaşmasını ve büyük bir sektör haline gelmesini sağlamıştır. Bu gelişmelerde, petrolün motorlarda yakıt olarak kullanımının avantajlı oluşu, kolay bulunuşu ve nispeten ucuz oluşu etkili olmuştur.

Sınırlı petrol kaynaklarının ekonomik ve uzun ömürlü kullanılması, kirlenici emisyonların azaltılması amacıyla içten yanmalı motorların yapılarında çok fazla değişiklik yapılmadan kullanılabilecek alternatif yakıtların araştırılması ve/veya içten yanmalı motorların yerine alternatif motorların geliştirilmesi gerekmektedir. Günümüzde içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak LPG, doğal gaz, metanol, etanol, bitkisel yağ esterleri ve benzerleri kullanılmaktadır.

#### **3.1. Doğal Gaz**

##### **3.1.1. Tanımı**

Doğal gaz, doğal gaz kuyularında ve petrolün çıkarılması esnasında petrol kuyularında çıkan büyük çoğunluğunu metanın oluşturduğu (%90-96'sı metandır) içinde etan, propan ve bütanın da bulunduğu tabii bir gazdır. Ester miktarlarda azot, benzen, pentan ve karbondioksit de içermektedir. Genellikle elektrik santrallerinde ve ısınmada kullanılmasına karşın sentez yolu ile benzin ve yakıt yağlarının üretilmesinin yanında içten yanmalı Otto ve dizel motorlarda da kullanılmaktadır.

### 3.1.2. Özellikleri

Doğal gaz yanıcı, kokusuz, renksiz ve havadan hafif bir gazdır. Doğal gazı oluşturan ana unsur olan metanın oktan sayısı ROS 120 ve MOS 120'dir. Bu doğal gazın buji ile ateşlemeli motorlarda kullanımı için bir avantajdır. Doğal gazın, araçlarda yüksek basınçlı tanklarda sıkıştırılmış gaz olarak (sıkıştırılmış doğal gaz CNG) veya soğutulmuş sıvı olarak (sıvılaştırılmış doğal gaz LNG) maksimum çalışma basıncı 30-36 MPa mertebesindedir. CNG kullanımı, diğer gaz yakıtların kullanımı ile aynıdır. Aşağıdaki tabloda doğal gazın fiziksel ve kimyasal bazı özellikleri verilmiştir.

Özellik	Metan	Özellik	Metan
Molekül Ağırlığı	16,04	Özgül ısısı kJ/kgK	$C_p=2,2537$
Ergime sıcaklığı °C	-182,6	Özgül ısı oranı	1,113
Kaynama sıcaklığı °C	-161,4	Gaz sabiti	0,51835
Yoğunluk kg/m <sup>3</sup>	0,7167	Adyabatik alev sıcaklığı K	2285
Kritik sıcaklık ve basınç °C MPa	-82,5 4,58	Oluşum ısısı MJ/kmol	-74,90
Buharlaştırma ısısı kJ/kg	488,3	Oluşum entropisi MJ/kmol K	186,3
Yanma ısısı kJ/kg	48,114.567	Doğalgaz molekül ağırlığı	18,3

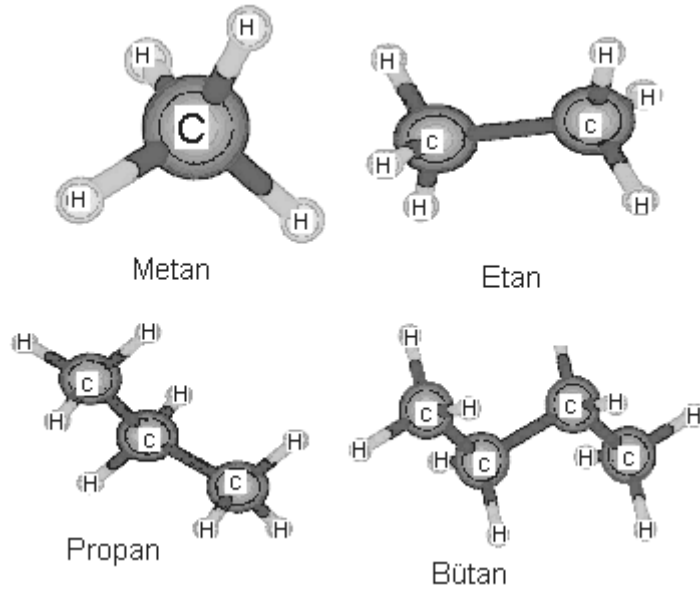
Doğal gaz Otto motorlarında emme manifolduna gaz halinde basıncı düşürülmüş olarak verilmektedir. Emme manifoldunda hava ile karışım oluşturularak silindire gönderilen doğal gaz sıkıştırma zamanı sonunda buji tarafından tutuşturulmakta ve iş elde edilmektedir. Yüksek oktan sayısı yanında yanma sonu ürünleri bakımından da benzinden daha avantajlı bir yakıt olmasına rağmen gaz halinde silindire alındığı için volümetrik (hacimsel) verimi düşürmek gibi bir dezavantajı vardır.

Dizel motorlarda çift yakıtlı sistemlerde kullanılmaktadır. Emme manifolduna gönderilen doğal gaz hava ile karışarak silindirlere ulaşır. Sıkıştırma zamanı sonunda yakıt enjektöründen tutuşturma amacı ile pilot dizel yakıtı enjekte edilmek süratiyle yanma sağlanır. Pilot dizel yakıt yerine belirli oranlarda dizel yakıtı püskürtülerek çift yakıtlı çalışmada yapılabilir.

### 3.2. LPG (Likit Petrol Gazı)

#### 3.2.1. Tanımı

LPG, Liquefied Petroleum Gases (Sıvılaştırılmış Petrol Gazları) sözcüklerinin baş harflerinden oluşan bir kısaltmadır. LPG, ham petrolün rafinerilerde benzin, mazot, gibi türevlere ayrıştırılmasıyla açığa çıkan veya bazı bölgelerde tabiatın serbest olarak çıkarılan propan ve bütan gazlarının karışımıdır. LPG, doymuş hidrokarbonlar grubundan parafinler(alkanlar) ve olefinler içinde yer almaktadır. Parafinlerin kapalı formülleri  $C_nH_{2n+2}$  şeklindedir. Parafin sınıfı bileşiklerin hepsi petrolde vardır ve motor yakıtlarının ana kısmını oluşturur. Grubun ilk dört karbonluya kadar olan kısmı gaz halinde bulunur, basınç altında sıvılaştırılabilirler; metan, etan, propan, bütan bu grubun üyeleridir. Aşağıdaki şekilde metan, etan, propan ve bütanın atom modelleri gösterilmiştir.



Şekil 10.1: LPG molekülleri atom yapıları

#### 3.2.2. Özellikleri

LPG genellikle doğal gazdan, ham petrolün kuyulardan çıkarılması sırasında veya petrolün rafinerilerde işlenmesi sırasında ayrıştırılarak elde edilebilen bir gazdır. Dünyadaki LPG üretiminin % 61'i doğal gaz, % 39'u petrolün rafinerilerde işlenmesi sırasında elde edilmektedir. Kömürden sentetik yollarla da LPG üretilebilir. Ülkemizde LPG yakıtları özel hizmet propanı, ticari bütan, ticari propan ve ticari propan/bütan olarak üretilmektedir. Kullanım alanına göre bu LPG'ler, belirli oranlarda karıştırılarak istenen özellikler elde edilir. Ülkemizde yaz aylarında, %70 bütan, %30 propan karışımı, kış aylarında bazı LPG üreticisi firmalar tarafından %50 bütan, %50 propan olarak değiştirilmektedir. Aşağıdaki tabloda LPG yakıtlarının bazı özellikleri verilmiştir.

Özellikler	Ticari propan	Ticari bütan	Ticari propan- bütan kr	Özel hizmet propanı	
İlk kaynama noktası atmosferik basınç °C	-46	-9	-	-46	
Sıvı fazın özgül ısısı (15,6°C) kJ/kg °C	1366	1276	-	1366	
Bir litre LPG'nin(sıvı) buhar hacmi(15,6 °C) m <sup>3</sup>	0,271	0,235	-	0,271	
Hava-gaz karışım patlama sınırı havada hacimce buhar yüzdesi	Alt	2,15	1,55	-	2,15
	Üst	9,60	9,60	9,60	9,60
Kaynama noktası buharlaştırma ısısı	kJ/kg	430	388	-	430
	kJ/l	219	226	-	219
Alev sıcaklığı havada °C	1980	2008	-	1980	

Otto motorlarında manifoldta gaz halinde verilen LPG hava ile karışım oluşturularak silindire ulaşır. Sıkıştırma zamanı sonunda buji ile ateşlenmesi sonucu iş elde edilir. Otto motorlarda LPG kullanımının avantaj ve dezavantajları aşağıda belirtilmiştir.

□ Avantajları:

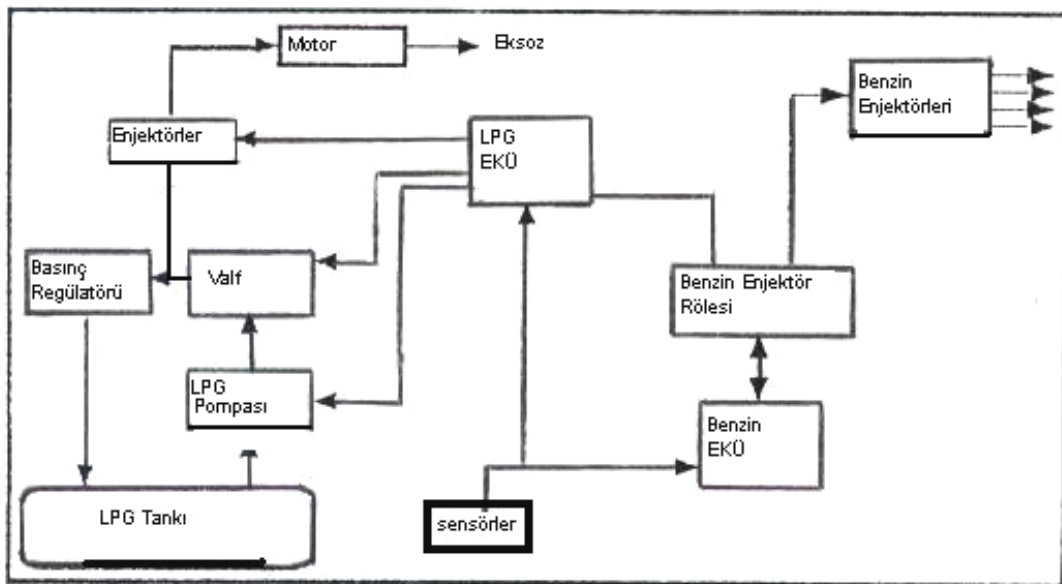
- Motora gaz formunda verilen LPG, homojen bir karışım oluşturacak ve emme fazında tamamen buharlaşacağından, motor içerisinde termodinamik proses yakıtın buharlaşma ısısından etkilenmez.
- LPG'nin oktan sayısının yüksek olması nedeni ile yanma hızı, benzine göre daha düşüktür. Silindirdeki basınç bölgesi daha düşük olacağından yumuşak bir yanma sağlar. Piston ve piston kolları üzerinde daha az kuvvet bırakır.
- Soğuk tutuşma nedeniyle silindir duvarlarında yıkanma olmaz. Burada karbon artıkları söz konusu olmadığından motorun ömrü kendiliğinden uzamış olur.
- Benzin yanmalarında karbon kristalleri ve diğer yabancı partiküller silindir yüzeyini aşındırıp motor yağına karışarak motor yağının ömrünü kısaltır. Oysa LPG yanmalarında karbon kristalleri olmadığından motor yağının ömrü en az iki katına çıkacaktır.
- LPG'nin oktan sayısının yüksek olması sıkıştırma oranının yükseltilmesine, dolayısıyla motor veriminin yükseltilebilmesine imkan verir.

- Silindirlere gönderilen yakıt dağılımı daha üniform olacağından silindirler arası güç dengesi karbüratörlü benzinli motorlara nazaran daha iyi olur.
- Egzoz emisyon değerleri benzin ve dizel yakıtına göre daha düşüktür.
- Sistemin bakımı az ve kolaydır.
- Egzoz sistemi ve bujilerin kullanım ömrü uzar.
- Herhangi bir kaza durumunda LPG tankının yangına dayanma süresi 9 dakika iken benzin depolarında bu süre 1,5 dakikaya kadar düşer.
- Atmosfere(ozon tabakasını) benzine göre daha az zarar verir.
- Yakıt ekonomisi sağlar.

□ Dezavantajları:

- Yakıt tankı ve diğer elemanlarından dolayı araca ek ağırlık getirir. Yakıt deposu bagaj hacminde daralmaya sebep olur.
- LPG dönüşüm sistemi ek maliyet getirir.
- Motor çıkış gücünde % 2 - % 3'lük bir kayıp oluşabilir.
- Depolanması; sıcaklıkla sıvı basıncındaki değişmelerin yüksek olmasından dolayı çok iyi yapılmalıdır ve hiçbir zaman % 80'den fazla doldurulmamalıdır.
- Birim hacminin enerjisi benzine nazaran daha az olduğundan aynı mesafede hacimce daha fazla LPG tüketilir.

Görüldüğü gibi Otto motorlarında LPG kullanımı avantajlıdır. Şekil 2.3'te benzinli motorlarda kullanılan üçüncü nesil (LPG enjeksiyonu) LPG sisteminin şematik resmi verilmiştir.



Şekil 10.2: Üçüncü nesil LPG sistemi (LPG enjeksiyonu)



### **3.3. Diğer Yakıtlar**

CNG ve LPG den başka motorlarda yakıt olarak hidrojen, bitkisel yağ esterleri, alkoller, biogaz kullanılmaktadır.

#### **3.3.1. Hidrojen**

Doğal gazdan veya kömürden üretilbildiği gibi suyun elektrolizi yolu ile de üretilmesi mümkündür. Oldukça yüksek alev hızı ve tutuşabilirlik özelliğine sahiptir. Son derece fakir karışımlarla çalışmayı sağlaması en büyük avantajlarından biridir. Diğer bir avantajı da yanma sonu ürünlerinin sadece su olmasıdır. Geleceğin yakıtı olmasına kesin bir gözle bakılan hidrojenin depolanması, taşınması ve alevlenmesi dezavantajları olarak görülmektedir. Bu problemler ortadan kaldırıldığında motorlarda kullanımının hızla yaygınlaşacağını düşünebiliriz. Hidrojenin yakıt pilleri ile hibrit motorlarda kullanımı artmaktadır. Otto motorlarında emme manifolduna verilerek, tek yakıtlı veya çift yakıtlı bir sistemde kullanılması mümkündür. Dizel motorlarda emme manifolduna verilerek yine çift yakıtlı veya pilot püskürtme ateşlemeli olarak kullanımı mümkündür. Dünyadaki büyük otomotiv şirketleri hidrojenin araçlarda kullanımı için çok yüksek bütçeli araştırma geliştirme çalışmaları yapmaktadırlar.

#### **3.3.2. Alkoller**

Motorlarda kullanılan alkoller etanol ve metanol'dür. Kullanımı XX. Yüzyılın başlarına rastlamaktadır. En yaygın olarak Brezilya'da kullanılmaktadır. Yakıtın oktan sayısını artırmaları, düşük egzoz emisyon değerleri, yakıt ekonomisinin iyileşmesi gibi faydalarının yanında; yakıt sistemi elemanlarının aşınması, motor veriminin düşmesi, daha büyük depo gereksinimi gibi dezavantajları mevcuttur.

#### **3.3.3. Bitkisel Yağ Esterleri**

Motorin ve benzine, bitkilerden elde edilen yağ esterleri katılarak egzoz emisyonları ve yakıt ekonomisi sağlanmaktadır. Ülkemizde de biomotorin, biobenzin gibi uygulamalar başlamıştır. Belirli miktarlarda benzin veya motorine ilave edilen bu esterler, bitkilerden elde edilmelerinden dolayı dışa bağımlılığı olmayan yakıtlardır. Aşağıdaki tablolarda alternatif yakıtlar ile benzin ve motorinin özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir ve bazı gazların termodinamik özellikleri verilmiştir.

<b>Özellikler</b>	<b>Propan</b>	<b>Bütan</b>	<b>Benzin</b>	<b>Doğal gaz</b>	<b>Metanol</b>	<b>Etanol</b>
Hava/yakıt oranı	15,1/1	15/1	14,6/1	17,2/1	6,5/1	9,0/1
Alt ısı değer (kJ/kg)	46400	45600	44000	50000	19900	26800
Fiziksel hal (NŞA)	gaz	gaz	sıvı	gaz	sıvı	Sıvı
Kaynama noktası (°C)	-42	-0,5	30-225	-162	65	78
Parlama noktası (°C)	-105	-60	200	540	400	380
Alev sıcaklığı (°C)	1980	2008	1977	1790	1890	1930
Stokiyometrik karışımı tutuşturma enrjisi (mJ,NŞA)	0,3	0,3	1	0,3	0,2	-
Stokiyometrik karışımın kimyasal enrjisi (kJ/m <sup>3</sup> )	3490	3450	3580	3240	3350	3490
Yanma limitleri (%)	2,2-3,2	1,8-9,5	5-16	5-15		
Max. Laminer yanma hızı m/s	0,4	0,4	0,35	0,37	0,44	-
Motor oktan sayısı	97	92	90	120	103	106

<b>Gaz</b>	<b>Formülü</b>	<b>Gaz sabiti R kJ/kgK</b>	<b>C<sub>p0</sub> kJ/kgK</b>	<b>C<sub>v0</sub> kJ/kgK</b>	<b>k</b>
Hava		0,280	1,005	0,718	1,400
Oksijen	O <sub>2</sub>	0,2598	0,918	0,658	1,395
Helyum	He	2,0769	5,1926	3,1156	1,667
Hidrojen	H <sub>2</sub>	4,1270	14,307	10,183	1,405
Metan	CH <sub>4</sub>	0,5182	2,2537	1,7354	1,299
Etilen	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0,2964	1,5482	1,2518	1,237
Etan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,2765	1,7662	1,4897	1,186
Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,1885	1,6794	1,4909	1,126
Bütan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,1433	1,7164	1,5734	1,091
Oktan	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0,0729	1,7113	1,6385	1,044

## **BÖLÜM-2-**

# 1. LPG VE DOĞAL GAZ YAKIT SİSTEMLERİ

## 1.1. LPG/ Doğal Gazın Özellikleri

Dünyanın her tarafında bulunabilen LPG (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı) ve Doğal gaz (NG) taşıtlarda son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. LPG petrol bileşeni rafineride açığa çıkmaktadır. Doğal gaz ise 200 milyon yıl önce yaşamış olan küçük bitki ve deniz canlılarının çürümüş artıklarından oluşmuş bir gazdır.

Araçlarda yakıt olarak iki tip gaz kullanılmaktadır.

□ LPG: Sıvılaştırılmış petrol gazı

□ Doğal gaz

• LNG: Sıvılaştırılmış doğal gaz

• CNG: Sıkıştırılmış doğal gaz

LPG büyük oranda propan (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) gazından oluşur. Propan düşük egzoz emisyonu verir, ani yanması sonucunda daha az miktarda zararlı bileşikler ortaya çıkar. Yüksek oktan sayısına sahiptir. LPG'nin en önemli üstünlüğü metana göre daha kolay sıvılaşabilmesidir. Örneğin; 21°C sıcaklıkta 110 Pa basınç altında sıvılaşabilmektedir. Bu özelliği nedeni ile daha kolay sıvılaştırılarak depolanabilmektedir. Sıvılaştırılmış petrol gazının 103- 105 gibi yüksek oktan sayısı vardır. LPG'nin en önemli yetersizliği ise petrole göre kütleli olarak %11, hacimsel olarak %33 az enerji bulundurmasıdır. Setan sayısı düşük olduğu için dizel motorlarında kullanılmaya uygun değildir. Günümüzde LPG araçlarda çelik depolarda ve basınç altında depolanmaktadır. Basınç altında depolanan LPG sıvı halde otomobil motorlarında ve evlerde mutfak tüpü olarak kullanılmaktadır.

Doğal gaz ise saf halinde iken renksiz, kokusuz ve tatsız bir gazdır. Güvenlik amacıyla kokulandırılmıştır. Doğal gaz hacimsel olarak % 70–99 metan (CH<sub>4</sub>) gazından oluşmaktadır. Metan gazının dışında en çok bulunan gazlar sırası ile etan (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), propan (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), bütan (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) ve diğer hidrokarbonlar (HC) içermektedir. Doğal gazı taşıtlarda yakıt olarak depolamak ve kullanmak için iki metot kullanılmaktadır. İlk yöntem basınç altında sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) dir. Sıkıştırılan doğal gaz taşıtlarda yakıt olarak kullanılabilir. Bu yöntem boru hattında bulunan doğal gaz standartlara uygun olarak filtrelenen, kurutulan ve sıkıştırılan araçlarda kullanılmaktadır.

Otomobillerde kullanılan doğal gazın depolama basıncı 200–250 bar kadardır. Sıkıştırılmış doğal gaz, atmosfer basıncı ve normal sıcaklıktaki gaza göre yaklaşık 1/200 hacim kaplar. Doğal gaz basınç altında çok yer kapladığı için tam yükte bir otomobilin kat edeceği mesafe tüpün basıncına ve hacmine bağlıdır.

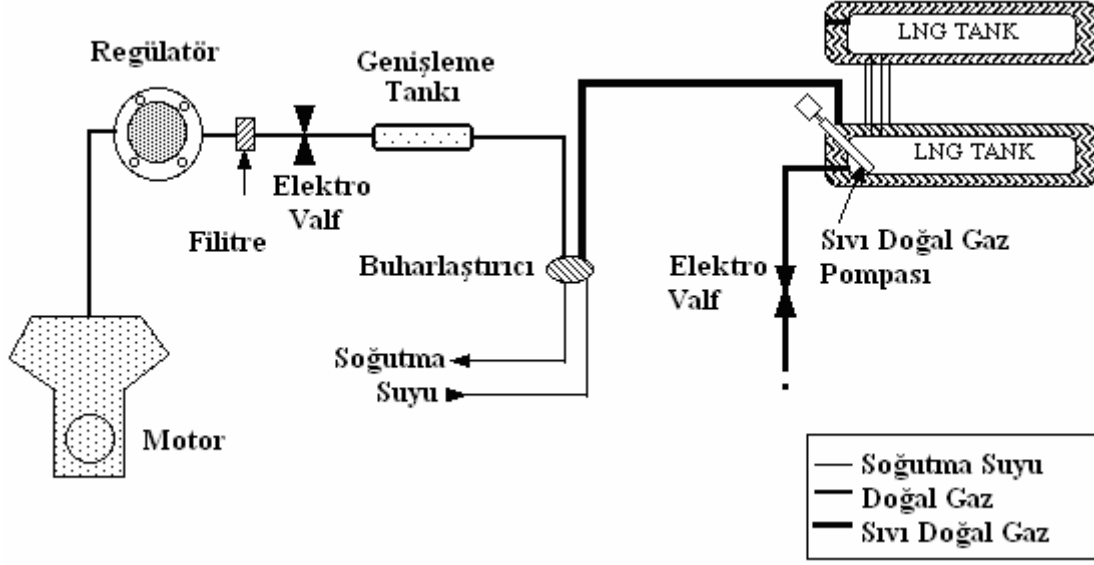
Doğal gazın depolanmasında ikinci yöntem ise sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) dir. Sıvılaştırılmış doğal gaz, atmosfer basıncında ve sıcaklığındaki normal gaza oranla 1/600 hacim yer kaplamaktadır. Sıvılaştırılmış doğal gaz, otomobilin döşemesi altında, düşük basınçta, kaynayan soğuk sıvı olarak 1 bar basınçta, – 160 °C sıcaklıkta çift duvarlı, vakum yalıtımlı tüplerde depolanır. Sıvılaştırılmış doğal gazın bu özelliğinden dolayı az hacme daha çok kütle depolanabilmektedir. LPG ve doğal gazı, taşıtlarda yakıt olarak kullanmak için birbirine benzeyen dönüşüm sistemleri kullanılmaktadır.

## **1.2. LPG/ Doğal Gaz Motorunun Çalışma Prensibi**

LPG benzinli motorlarda, doğal gaz ise hem benzinli hem de dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılmaktadır. LPG yakıt sisteminin doğal gaz yakıt sistemine göre yapısal farklılıkları vardır. LPG'nin alternatif yakıt olarak kullanılabilmesi için normal hava sıcaklığında ve belirli bir basınçta (2–5 bar) 30 ve 60 litre çelik tanklarda depo edilmesi gerekmektedir.. Doğal gaz ise iki yöntem ile depo edilmektedir. İlk olarak basınç altında sıkıştırılarak (yaklaşık 250 bar) çelik ve basınca dayanıklı tüplerde depo edilmektedir. Diğer bir yöntem ise normal atmosfer basıncında ve –160 °C sıcaklıkta kaynayan soğuk sıvı olarak depo edilmektedir. LPG ve Sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) çalışma şekillerine göre benzerlik oluşturmaktadır. Basınçlı depo edilen doğal gaz (CNG) daha farklı sistemler kullanılarak otomobil ve büyük araçlarda alternatif yakıt olarak kullanılmaktadır.

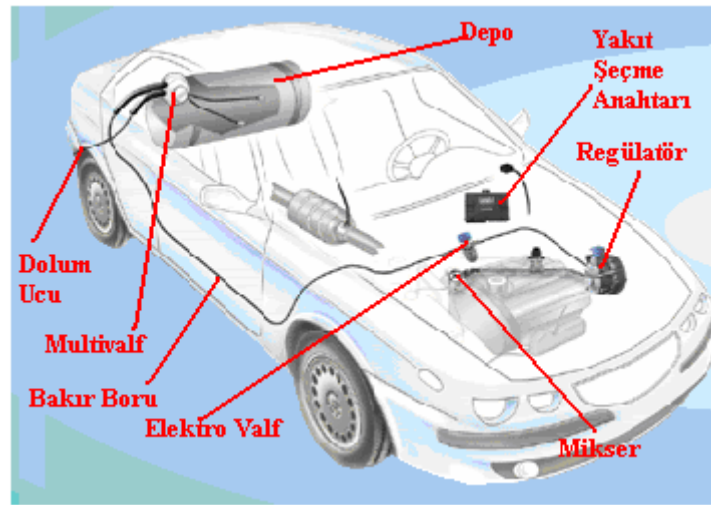
### **1.2.1. LPG ve LNG Yakıt Sisteminin Çalışması**

Yakıt seçme düğmesinden seçilen yakıt tipine göre sisteme monte edilmiş elektro valfler benzin veya LPG/LNG'ye yol vermektedir. Yakıt seçme düğmesi LPG/LNG pozisyonuna alındığında benzin hortumu üzerinde bulunan elektro valf benzinin karbüratör veya enjeksiyon sistemine gitmesini engeller. LPG depo içerisindeki sahip basınç sayesinde multivalften geçerek yüksek basınç borularına ve boru üzerinde bulunan elektro valfe ulaşır. LNG ise depo içerisinde bulunan bir elektrik motoru sayesinde sistemde dolaştırılır. Resim 1.1'de LNG yakıt sistemi şeması gösterilmiştir. Yüksek basınç hattında bulunan LPG (sıvı halde), kontak anahtarının açılması ile elektro valften geçer ve filtre edilerek buharlaştırıcıya (regülatör) ulaşır. Regülatör üzerinde bulunan elektro valf kontak anahtarına bağlı olduğu için açılır ve LPG/LNG regülatör içerisinde bulunan hazneye dolar.



**Resim 1.1: LNG yakıt sisteminin şematik resmi**

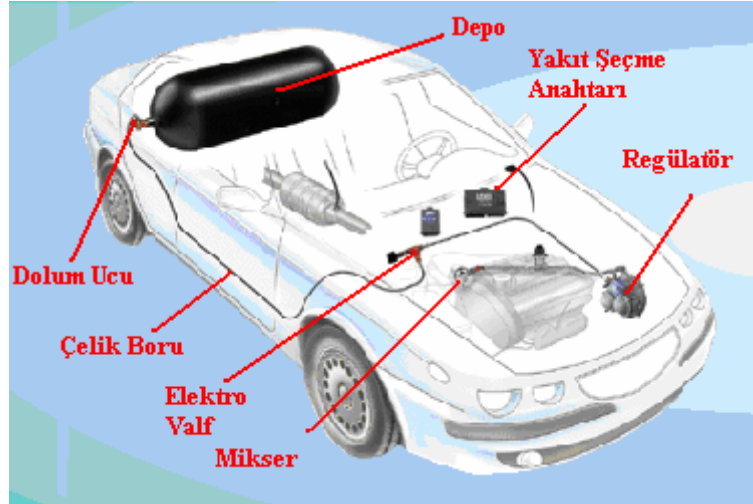
Regülâtöre dolan gazın basıncı düşürülerek alçak basınç borusu ve gaz ayar vidasından geçerek mikser (gaz karıştırıcı) ulaşır. Mikserde hava ile karışarak emme manifoldu içerisine dolar. Motora marş yapılması ile emme manifoldunda bulunan LPG/LNG silindir içerisinde yakılarak kullanılır. Eğer belirli bir süre marş yapılmazsa yüksek basınç hattına ve regülâtör üzerinde bulunan elektro valfler kapanarak gaz geçişi engellenir. Bu durum regülâtörün içinde bulunan gazın emme manifolduna dolmasını engellemek ve gaz kaçaqlarının önüne geçmek için yapılmaktadır. Kontak anahtarı açıldıktan 2 saniye sonra motor marş yapılır. Marş anında motorun yakıt sisteminin özelliğine göre mikser veya enjektörlerden gaz emme manifolduna verilir. Depoda bulunan LPG kendi basıncından dolayı buharlaştırıcıya gelir. LNG ise depoda bulunan pompa sayesinde regülâtöre gelir. Regülâtörde istenilen miktarda emme manifolduna girer. Resim 1.2’de LPG yakıt sistemi monte edilmiş bir otomobil gösterilmiştir.



**Resim 1.2: LPG yakıt sistemi monte edilmiş otomobil**

Sıvı halde bulunan LPG/LNG emme manifoldunda hemen buharlaşmaz ve silindir içine sıvı halde girebilir. Bu nedenle de motor çalışmayabilir. LPG sistemlerinde motor ilk çalıştırma anında bir müddet benzin ile çalıştırılır. Bu sayede motorun soğutma suyu ısınarak buharlaştırıcıyı ısıtır ve buharlaştırıcı içinde bulunan sıvı LPG/LNG manifold içine gaz halde girer. Regülatör ısındıktan sonra motor LPG ile daha rahat çalıştırılır.

### 1.2.2. CNG Yakıt Sisteminin Çalışması



Resim 1.3: CNG yakıt sistemi monte edilmiş otomobil

Sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) ile çalışan araçlarda yakıt tüplerin az yer kaplaması için döşeme altına monte edilmektedir. Yüksek basınçlı tüplerde bulunan sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) yüksek basınç borusunun üzerinde bulunan filtreden geçer. Gaz basıncının 12-15 bara düşürüldüğü yüksek basınç regülatörüne gönderilir. İkinci bir regüle edici valf olan düşük basınç regülatörü basıncı daha da düşürür ve gaz kontrol valfine uygun bir besleme basıncı düzeyine indirir. Kontrol valfi (buharlaştırıcı) gazı motorun soğutma suyundan yararlanarak ısıtır. Sistemde ani basınç düşüşü, gaz kaçağı gibi durumlar olduğunda otomatik olarak kapanacak şekilde tasarlanmıştır. Resim 1.3'te CNG ile çalışan bir otomobilin şematik resmi verilmiştir.

### 1.3 LPG / Doğal Gaz Yakıt Sisteminin Avantaj ve Dezavantajları

LPG/doğal gaz kullanılan yakıt sisteminin diğer petrol ürünleri kullanan yakıt sistemlerine göre avantajları şunlardır:

- Benzinli araçlara göre daha ekonomiktir. Doğal ve LPG, benzin ve motorinden litre fiyatı olarak oldukça ucuzdur. (1 m<sup>3</sup> doğal gaz 1 litre LPG'den %60 ucuzdur).
- LPG/doğal gaz içerisinde kurşun, vernik ya da karbon atığı çıkarmadığı için motor yanma odası ve karterini kirletmez.

- Otomobil üzerinde kullanılan orijinal yakıt sistemi arızalarını azaltır.
- Ateşleme bujisinin ömrü uzun olur.
- Motorun yağlaması için kullanılan yağın ömrü yaklaşık üç kat uzun olur.
- Tamamen kapalı bir sistem olduğu için çevreyi kirletmez. Akma ve buharlaşma yapmaz.
- Yakıt olarak kullanılmadan önce çok az rafine edilmektedir.
- Ekzoz borusu ve susturucuların ömrü uzun olmaktadır.
- Ekzoz emisyonları açısından daha çevrecidir.
- LPG renksiz, kokusuz ve toksit özelliği bulunmayan bir maddedir. Gaz kaçaklarının tespit edilmesi için sonradan kokulandırılmaktadır. Sıvı halde suya benzer.
- LPG basınç altında depolanabilir, kalın çelik tank ya da borularla taşınabilir. LPG/doğal gaz kullanılan yakıt sisteminin diğer petrol ürünleri kullanan yakıt sistemlerine göre dezavantajları şunlardır:
  - Büyük hacimli yakıt tüpleri fazla yer kapladığı için bagaj hacmini küçültür.
  - Uzun atmosferik süreklilik nedeni ile CH<sub>4</sub> (doğal gaz) sera etkisi ile ısınma etkisi bakımından CO<sub>2</sub>'ye oranla 20 kez daha etkilidir.
  - NO<sub>x</sub> emisyon problemleri olabilmektedir.
  - LPG/doğal gaz sistemi ekstra yapım maliyeti getirmektedir.
  - Karakteristik özelliklerine bağlı olarak motor performansı bir miktar düşmektedir.
  - Depolama sırasında dökülme ve sızıntı riski bulunmaktadır. Havalandırma gerçekleştirilmez ise tehlike yaratabilir.
  - LPG/doğal gaz zehirli değildir. Ancak miktarı fazlalaştıkça boğuculuk tehlikesi ortaya çıkar.
  - Düşük sıcaklıkta buharlaşması nedeni ile sıvı gazın insan vücudu ile teması sonucunda ciddi deri yanıkları oluşur.
  - Isı arttıkça basıncı artarak kritik bir sıcaklık ve basınçta içinde bulunduğu tankın patlamasına neden olabilir.

#### **1.4. LPG/ Doğal Gaz Yakıt Sisteminde Emniyet Kuralları ve Güvenlik**

LPG/doğal gaz güvenli bir motor yakıtıdır. LPG/doğal gaz havadan hafif olması nedeni ile çabucak yayılarak dağılır. Benzinden farklı olarak açık havada patlama yapmaz. Benzin ve motorinden farklı olarak havada sadece sınırlı bir konsantrasyon aralığında yanabilmektedir. Tablo 1.1'de bazı yakıtların yanma özellikleri verilmiştir.



Özellik	LPG / Doğal gaz	Benzin	Motorin
Yanabilirlik Sınırları (Havada Hacimsel Olarak %)	5-15	1,4-7,6	0,6-5,5
Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı (°C)	450	300	230
En az ateşleme enerjisi (10 <sup>-6</sup> kJ)	0,26	0,22	0,22
Maksimum Alev Sıcaklığı	1885	1977	2054

**Tablo 1.1: Yakıtların yanma özellikleri**

PG/doğal gaz montajında kullanılan elemanların tamamı ECER-67-01 ve TSE standartlarına uygun olmalıdır. LPG/doğal gaz tankının üzerinde bulunan multi valf, tankın %80 oranında doldurulmasını sağlayacak şekilde ayarı yapılmalıdır. LPG/doğal gaz tanklarının kullanım ömrü en fazla 10 yıldır. LPG basınç boruları 1 mm kalınlığında bakır ve üzeri PVC kaplı olmalıdır. Doğal gaz boruları ise 1 mm çelik boru ve üzeri PVC ile kaplı olmalıdır. LPG/doğal gazlı araçlar kapalı alan ve ateşe yakın bir yere kesinlikle park edilmemelidir. Eğer araç uzun süre kullanılmadan park edilecek ise depo üzerinde bulunan multi valfin giriş ve çıkış vanaları kapatılmalıdır. Aracın LPG/doğal gazlı olduğunu belirten uyarıcı etiketler mutlaka aracın ön ve arka camına yapıştırılmalıdır.

### **1.5. Karbüratörlü Motorlarda LPG/ Doğal Yakıt Sisteminin Uygulaması**

Karbüratörlü motorlarda LPG/doğal gaz kullanılması için karbüratörün alt veya üst kısmına mikser, içinde belirli çapta delik açılmış bilezik, kullanılmaktadır. Karbüratörün yapısından dolayı mikserler değişiklik arz etmektedir.

#### **1.5.1. Yakıt Sistemin Parçaları ve Çalışması**

LPG ve doğal gaz sisteminde kullanılan parçalar işlevsel olarak aynı görevi yapmaktadır. LPG sisteminde kullanılan dönüşüm kiti ile doğal gazda kullanılan dönüşüm kiti birbirlerinde kullanılmaz. LPG düşük basınçla çalıştığı için kullanılan bağlantı elemanları ve regülatör, doğal gaza yakıt sistemi parçalarına göre daha zayıf yapıdadır. Doğal gazdaki sistem basıncını emniyet altına almak daha dayanıklı ve pahalı malzeme ile sağlanmaktadır. LPG/doğal gaz yakıt sistemlerinin belli başlı parçaları şunlardır.

##### **1.5.1.1 Gaz Dolum Ağızı**

LPG/doğal gaz yakıt sistemlerinde tüpler içine basınçlı gazı pompalayabilmek için dolum kapağı konulmuştur. Dolum kapağı depo içerisine gaz girişini sağlar ve depo üzerinde bulunan multi valfe bağlıdır. Multi valf üzerinde depo içerisine gaz akışını sağlayan tek yönlü bir valften gaz dolumu sağlanmaktadır. Herhangi bir durumdan dolayı dolum kapağı gaz

kaçırırsa multi valf sayesinde sistem emniyet altına alınmıştır. Resim 1.4'te bazı araçlarda kullanılan dolun kapağı gösterilmiştir. Dolun kapağı tek yönlü çek valf gibi çalışmaktadır. Gaz dolunu sırasında gazın depo içerisine girmesini sağlar ve tabanca dolun ağızından çıkarıldığı anda depodan gelen gazın dışarı çıkmasını engeller.



**Resim 1.4: LPG/doğal gaz için araç üzerinde dolun kapağı**

Dolun kapakları araçlarda sağ arka tampon üzerinde olmalıdır. Dolun kapağı ağızının sürekli plastik bir kapak ile kapatılması gerekmektedir. Aksi takdirde dolun ağızına gelen çamur, toz ve pisikler gaz dolunu sırasında depo içerisine girerek sistemde arızalara yol açabilir. Resim 1.5'te dolun ağızı ve plastik kapağı verilmiştir.



**Resim 1.5: LPG/doğal gaz dolun ağızı ve kapağı**

#### **1.5.1.2 Yüksek Basınç Boruları, Bağlantı Rekorları ve Sızdırmazlık Yüzükleri**

LPG/doğal gaz dönüşüm sistemlerinde yüksek basınç boruları ve bağlantı elemanları çelik ve bakır borulardan yapılmaktadır. LPG/doğal gaz sisteminde dolun ağızından depoya, depodan regülatöre gaz götüren borular kesinlikle TSE kurumunun onay verdiği ECER 67-01 standartlarında olmalıdır. Yüksek basınç boruları LPG sistemi için 1 mm kalınlığında bakır boru ve üzeri PVC kaplı olmalıdır. Doğal gaz boruları ise, sistemde 250 bar basınç olduğu için, basınca dayanıklı 1 mm kalınlığında çelik boru ve üzeri PVC kaplı olmalıdır. Resim 1.6'da LPG/doğal gaz sistemlerinde kullanılan bakır boru verilmiştir.



**Resim 1.6: Bakır boru**

### 1.5.1.3. LPG ve Doğal Gaz Tankı



**Resim 1.7: Simit şeklinde LPG deposu**

LPG/doğal gaz tankları içerisinde bulunan gazın cinsine ve basıncına göre farklılık gösterirler. LPG için tasarlanmış tank, 2-4 bar basınca rahatlıkla dayanacak ve otomobil bagajında fazla yer kaplamayacak şekilde olmalıdır. LPG dönüşüm sistemlerinde tanklar genellikle silindirik uzun, silindirik kısa ve elips (simit) şeklinde çelikten yapılırlar. LPG montaj kurallarına göre bu tankların her 10 yılda bir yenisi ile değiştirilmesi gerekmektedir. Resim 1.7’de simit şeklinde LPG tankı verilmiştir. Simit şeklinde LPG depoları araçta Stepne yerine montaj edilmesinden dolayı bagajda yer kaplamamaktadır. Silindirik uzun ve kısa depolar ise bagajın ön veya yan kısmına monte edilerek kullanılmaktadır. Bu şekilde bagajın fazla küçülmesinin önüne geçilmiştir. Resim 1.8’de silindirik bir LPG deposunun montajı gösterilmektedir.



**Resim 1.8: Silindirik LPG deposu**

Doğal gaz depoları ise yüksek basınçtan dolayı daha dayanıklı ve kaliteli malzemeden yapılmak zorundadır. Araç üzerinde eş değer benzin deposunun kat edeceği miktarda doğal

gaz deposu konulmak istenirse aracın bagajında hiç yer kalmayabilir. Bu nedenden dolayı doğal gazlı sistemler daha çok büyük araçlarda tercih edilir. Resim 1.9'da CNG Doğal gaz deposu verilmiştir.



**Resim 1.9: Silindirik CNG doğal gaz deposu**

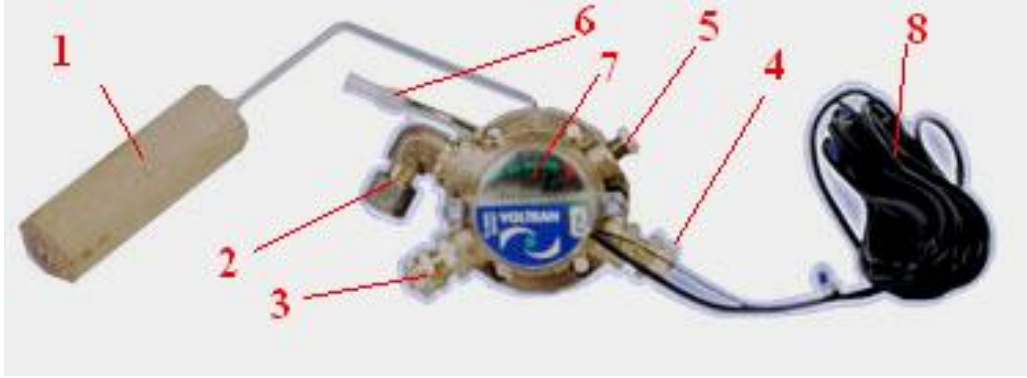
Sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG), sıkıştırılmış doğal gaz (CNG)'dan daha az yer kapladığı için küçük araçlarda sıvı doğal gaz kullanımı daha yaygındır. Resim 1.10'da sıvı doğal gaz kullanılan bir araçta LNG depoları verilmiştir. Bu tip depolar genellikle araçlarda döşeme altına konulmaktadır. Bu şekilde aracın bagajında herhangi bir küçülme olmamaktadır. LNG doğal gaz depoları diğer depolara nazaran daha pahalıdır.



**Resim 1.10: Silindirik LNG doğal gaz deposu**

### 1.5.1.3. Multivalf

Multivalf LPG/LNG gaz sisteminin en nemli parçalarından birisidir. Depo içerisinde bulunan gazın emniyeti bu valf tarafından sağlanmaktadır. Multivalf depo kapağı üzerindedir. Multivalfin parçaları Resim 1.11’de gösterilmiştir.



**Resim 1.11: LPG ve LNG multivalfi**

CNG sisteminde ise multivalf yerine emniyet supabı vardır, depo içerisine alınan gazın basıncını ayarlamaktadır. CNG doğal gaz sisteminde depo içerisinde bulunan gazın basıncı 250 bara ulaştığında sisteme dışarıdan gaz girişi yapılmaktadır. Resim 1.12’de CNG depolarında kullanılan emniyet valfleri gösterilmiştir.



**Resim 1.12: CNG multivalfi**

#### □ Giriş supabı ve vanası

Giriş supabı ve vanası dolum ucuna bağlıdır. Depo içerisine alınan gaz bu supap ve vanadan geçer. Resim 1.11’de 2 numaralı parça giriş supabını göstermektedir. Dolum ucu 2 nolu parçanın üzerinde bulunan rekora bağlanmaktadır. Depo içerisine gaz girişi 2 nolu parça üzerinden olmaktadır. Dolum ucunda ve borusunda meydana gelebilecek kaçak, kesik vb. arızalardan dolayı depodan ani gaz çıkışını giriş supabı önlemektedir. Giriş supabı bir çeşit emniyet valfidir. Multi valf üzerinde bulunan 3 nolu parça ise giriş vanasıdır. Bu vana el ile kapatılabilmektedir. Giriş vanası kapatıldığı zaman depo içerisine gaz girişi yapılamaz.

#### □ **Çıkış supabı ve vanası**

Resim 1.11'de 4 numara ile gösterilen, parça çıkış vanasıdır. Bu vana el ile kapatılabilmektedir. Vana kapalı olduğu zaman depodan regülatöre gaz çıkışı yapılamaz. Multivalf üzerinde 5 numara ile gösterilen para ise çıkış supabıdır. Çıkış supabı sisteme giden gazın emniyetli bir şekilde sisteme gitmesini sağlar. Yüksek basınç borusunda meydana gelebilecek kaçak, yırtılma vb. arızalarda çıkış supabı kendini kapatarak sistemi koruma altına almaktadır.

#### □ **Şamandıra**

Şamandıra, multivalf üzerine monta edilmiş depo içerisindeki gazın miktarını ölçmek ve deponun %80'en fazla dolmasını engellemek için konulmuştur. Resim 1.11'de 1 numaralı parça ile gösterilmektedir. Deponun içerisine dolmuş ucundan giren gaz giriş supabını geçerek şamandıranın açık tuttuğu kanaldan deponun içerisine dolar. İçeri alınan LPG ve LNG sıvı olduğu içi şamandıra yüzerek sıvının üstünde durur. Depo içerisinde seviyenin yükselmesi ile şamandıra yukarı kalkar. Depo içerisinde gaz miktar %80'e geldiğinde şamandıra depo içerisine gaz alınan kanalı kapatarak içeri gaz girişi engellenir. Resim 1.11'de 6 numaralı parçadan sisteme gaz gönderilmektedir. Kontak anahtarı açıldığı zaman yüksek basınç hattında ve regülatör girişinde bulunan elektro valfler açılarak 6 numaralı borudan sisteme gaz gider. Bu durumda depo içerisinde bulunan sıvının seviyesi düşer. Şoför mahallinde bulunan sürücü yakıt seçme anahtarı üzerindeki elektronik göstergeden depo içerisindeki, gaz miktarını görebilir. CNG depolarında şamandıra devresi bulunmamaktadır. Sistemdeki basınca göre depo içerisinde mevcut gaz seviyesi belirlenir.

#### □ **Gösterge**

Depodaki gaz miktarını sürücüye bildirmek için kullanılmaktadır. LPG ve LNG sistemlerinde aynı yöntem kullanılmaktadır. CNG sistemlerinde ise depo içerisindeki gaz miktarı sistemde bulunan bir manometre vasıtası ile yapılmaktadır. CNG yakıt sistemlerinde manometredeki basınç bize depodaki gaz miktarını vermektedir. Depodaki gaz miktarı maksimum 250 barı göstermektedir. Sistem basıncı 25 barın altına düştüğü zaman otomatik olarak diğer yakıt sistemi çalışmaya başlamaktadır.

LPG ve LNG gibi sıvı gazların ölçümünde şamandıra yöntemi kullanılmaktadır. Depo içerisindeki gaz miktarı tespiti elektronik veya mekanik olarak yapılmaktadır. Elektronik olarak göstergede gaz miktarını gösteren sistemde multivalf üzerine takılan sinyal alıcı ile yapılmaktadır. Sinyal alıcı, şamandıraya bağlı bir mıknatısın yönüne göre depo içerisindeki gaz miktarını elektronik olarak göstergeden vermektedir. Şamandıra aşağı yukarı hareket

ettikçe mıknatıs da aynı yönde hareket eder ve depo içerisindeki seviye ölçülmüş olur. Resim 1.13'te multivalf üzerine takılan sinyal alıcı gösterilmektedir.



**Resim 1.13: Elektronik gösterge**

Depo içerisinde LPG/LNG gaz miktarı mekanik olarak da ölçülür. Yine multivalf üzerinde bulunan şamandıranın hareketini bir gösterge üzerine verdiğimizde depo içerisindeki gaz miktarını bize vermektedir. Bu sistemin dezavantajı göstergenin deponun üzerinde olmasıdır. Resim 1.14'te multivalf üzerinde mekanik gaz göstergesi verilmiştir.



**Resim 1.14: Mekanik gösterge**

#### □ Havalandırma ve Hortumları

Havalandırma sistemi, bu tür yakıt sistemine sahip araçlar için çok önemli bir emniyet tedbiridir. Bagaj içerisinde bulunan deponun sürekli havalandırılması gerekmektedir. Depo üzerinde bulunan multivalf havalandırma kabının içerisine yerleştirilir. Havalandırma kabının ağzı bagajın altından dış havaya açılmaktadır. Sistemde her hangi bir gaz kaçağı olduğu zaman, sistem bu kapak üzerinde bulunan havalandırma hortumundan gazı tahliye eder. Resim 1.15'te havalandırma sistemi gösterilmektedir.



**Resim 1.15: Havalandırma kapağı**

#### **1.5.1.4. Elektro Valfler ve Filtre**

LPG/doğal gaz sisteminde iki çeşit elektro valf vardır. Depodaki gazı sisteme iletmek veya kesmek için kullanılan gaz valfi ve sistem gaz ile çalıştığı zaman motora giden benzini kesmek için kullanılan benzin elektro valfidir. Resim 1.16’da LPG/doğal gaz için kullanılan elektro valf gösterilmiştir. Elektro valf üzerine filitreleme sistemi monte edilmiştir. Bu şekilde LPG/doğal gaz deposundan gelen gazın regülatöre gitmeden gaz filtresinden geçmesini sağlamaktadır.



**Resim 1.16: LPG/LNG için elektro valf**

#### **1.5.1.5. Buharlaştırıcı ( Regülâtör)**

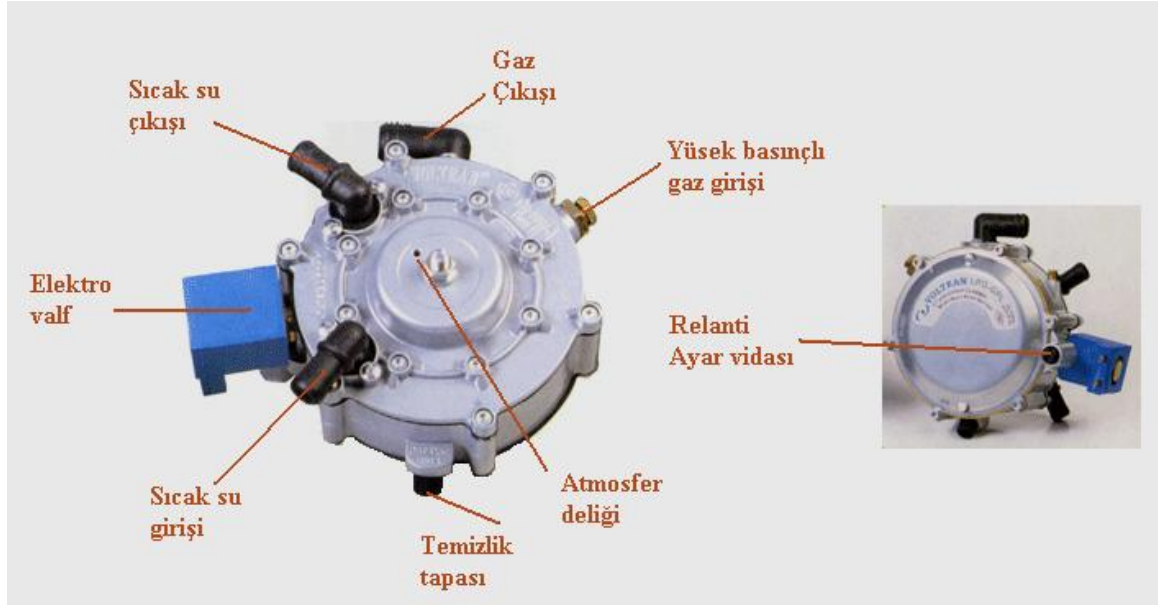
LPG/doğal gaz sistemlerinde motorun ihtiyacı olan yeterli miktarda gazı karbüratör üzerinde bağlı olan mikserle yollayarak motorun çalışmasını sağlamaktadır. LPG ve LNG sisteminde kullanılan buharlaştırıcı depodan gelen sıvı LPG ve LNG’yi motorun soğutma sisteminden aldığı ısı ile buharlaştırmak ve manifold vakumuna göre motorun ihtiyacı olan gaz miktarını ayarlamak için kullanılır.



### □ Regülâtörün Özellikleri

- Gövde ve kapak tamamen kompozit alüminyum malzemeden yapılmıştır.
- Su ısıtma odası, gaz odasından su/gaz muhafaza koşulu sağlanarak ayrılmıştır.
- Diyafram, contalar, yaylar, ECE-R 67. 01 standartlarına göre LPG kullanımına uygun materyalden yapılmıştır.
- Test basıncı 67,5 bardır. (LPG/LNG regülâtörü için)
- Kademe çıkışında gaz akımının tamamen kapatılması bir elektro valf ile yapılır.

Regülâtörün elektronik ve vakumlu olarak iki tipi vardır. Elektronik tipinde regülâtörden karbüratöre giden hattı kontak ile birlikte çalışır. Gaz hattı açık olsa bile elektro valf ile gazın motora akışı kesilir. Pnomatik tiplerde yani vakumlu regülâtörlerde alt basınçtan yararlanılır. Sadece motor çalıştığında (manifold da vakum oluştuğunda) regülâtör devreye girer. Resim 1.17’de LPG ve LNG sisteminde kullanılan buharlaştırıcı gösterilmiştir.



**Resim 1.17: LPG/LNG regülâtörü (elektronik)**

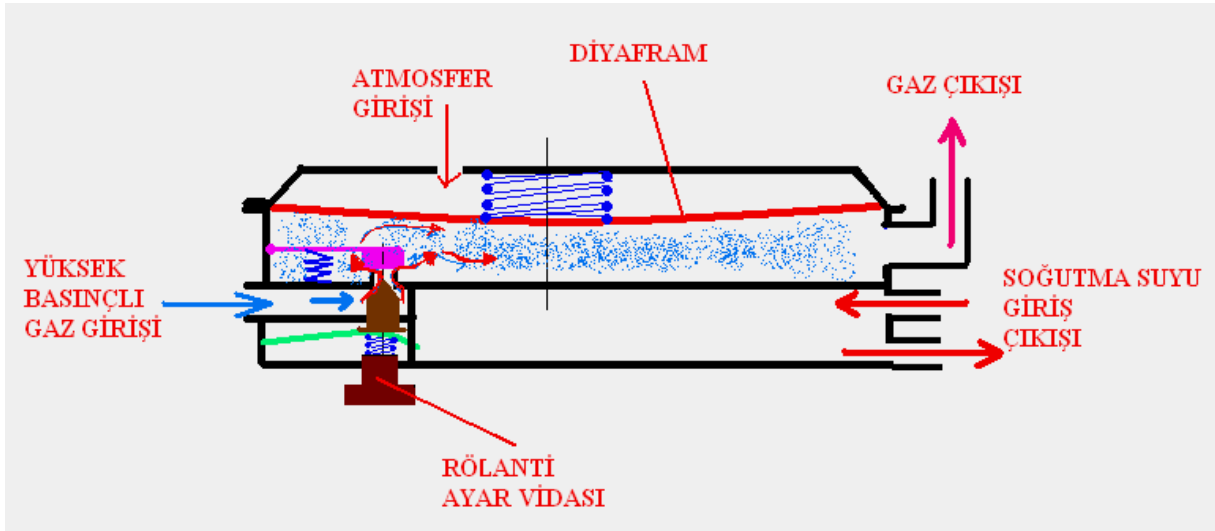
CNG regülâtörleri daha yüksek basınç için kullanılmaktadır ve özel olarak tasarlanmıştır. CNG regülâtörleri depoda bulunan gazın basıncını 3 kademe motorun kullanacağı 0,8 bar basınca indirgemektedir. LPG ve LNG sisteminde olduğu gibi CNG regülâtörleri hem elektronik hem de vakumlu olmak üzere iki tip üretilmektedir. Resim 1.18’de CNG sistemlerinde kullanılan regülâtör verilmiştir.



Resim 1.18: CNG regülatörü

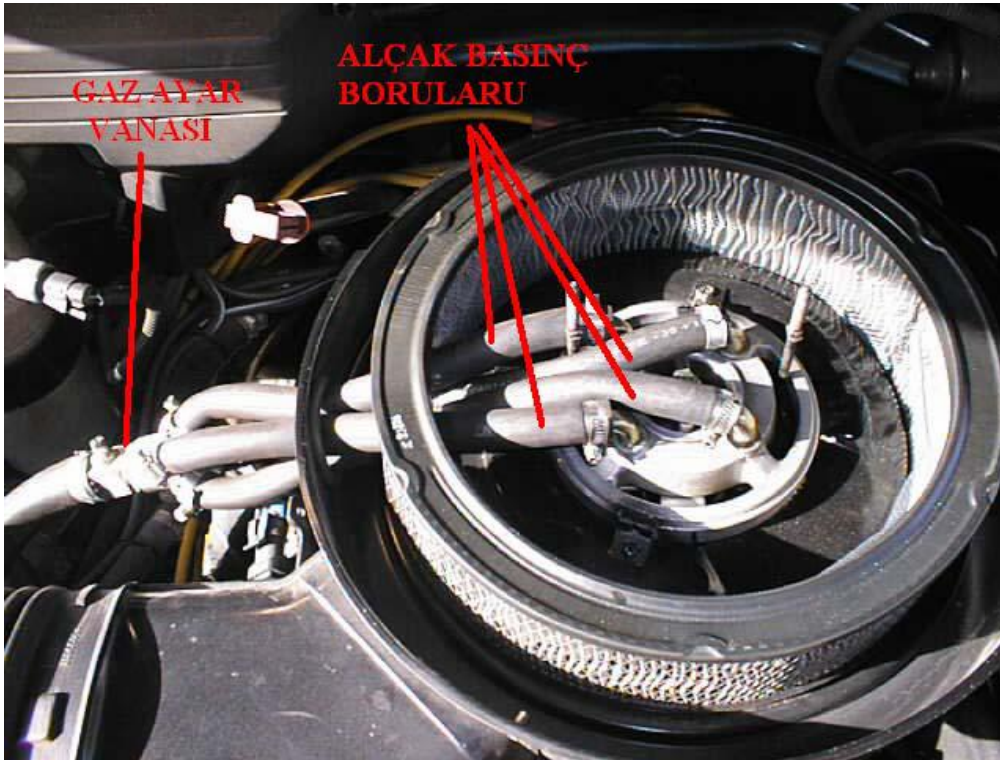
□ Yüksek basınç bölümü ve parçaları

Regülatör içine depodan gelen basınçlı LPG ve LNG (sıvı) bu bölüme dolmaktadır. Yüksek basınç bölümü girişi Resim 1.17’de gösterilen elektro valf ile kapatılmaktadır. Yüksek basınç bölümü çıkışında ise motorun manifold vakumunu algılayan küçük bir valf bulunmaktadır. Bu valf motor çalışmadığı zaman (manifold vakumu yok iken) bir yay vasıtası ile yüksek basınç bölümü çıkışını kapatmaktadır. Motor çalıştığı zaman regülatör gaz çıkış borusundan etki eden manifold vakumu ile yüksek basınç bölümünde bulunan valf açılarak burada bulunan sıvı gaz, diyaframın bulunduğu geniş hazneye ulaşarak bu bölümde buharlaşarak gaz haline geçmektedir. Resim 1.19’da basit bir regülatörün şematik resmi verilmiştir. Yüksek basınç bölümüne gelen sıvı gazın basıncı bu bölümde atmosferik basınca düşürülmektedir.



Resim 1.19: Regülatör iç yapısı

#### □ Alçak basınç bölümü ve parçaları



**Resim 1.20: Alçak basınç boruları ve gaz ayar vanası**

Alçak basınç bölümü diyafram ile soğutma suyu arasında kalan boş hacimdir. Yüksek basınç bölümüne gelen sıvı gaz, alçak basınç bölümüne geçerken sıvı halden gaz hale geçmektedir. Bu bölümde LPG ve LNG'nin hal değiştirmesinden dolayı ortamdan ısı çekmektedir. Bu durumdan dolayı regülatör bu ısı kaybını motor soğutma suyundan aldığı ısı ile karşılamaktadır. Alçak basınç bölümünde motorun yakabileceği LPG ve LNG bu bölümde hazırlanmaktadır. Regülatörde hazırlanan gaz alçak basınç borusunda bulunan gaz ayar vanasından geçerek karbüratör üzerinde bulunan miksera gelmektedir. Gaz, mikserde hava ile karışarak motorun içine girmektedir. Resim 1.20'de alçak basınç borusu ve gaz ayar vanası gösterilmiştir.

#### □ Selonoid valf

Regülatör üstünde bulunan ve kontak anahtarına bağlı olan gaz kesici valftir. Motor çalışmadığı zaman regülatördeki gazın kesilmesi gerekmektedir. Vakumlu tip regülatörler gazı, manifold vakumuna göre ayarlamaktadır ve motor çalışmadığı zaman regülatöre giren gaz kesilmektedir. Elektronik regülatörde ise motor çalışmadığı zaman veya kontak anahtarı açıldıktan 3-5 saniye sonra motorun çalışmaması durumunda gaz otomatik olarak kesilmektedir. Motor çalıştığı sürece regülatörün üstünde bulunan selonoid valf gaz girişini açık tutmaktadır. Resim 1.21'de regülatör üstünde bulunan selonoid valf verilmektedir.



**Resim 1.21: Selenoid valf**

□ **Radyatör suyu giriş-çıkış boruları**

Motor soğutma suyu regülatöre girerek içinde bulunan gazın buharlaştırılmasını sağlar. Motor soğutma suyu kauçuk esaslı plastik boru ile regülatörün sıcak su giriş ve çıkışına bağlanır. Soğutma suyu motor çalıştığı sürece regülatörden de devridaim eder. Resim 1.22’de regülatörde kullanılan sıcak su boruları verilmiştir.



**Resim 1.22: Sıcak su borusu ve kelepçeleri**

□ **Temizlik tapası**

Regülatörün içinde biriken pisliklerin periyodik olarak temizlenmesi gerekmektedir. Regülatör üzerinde bulunan temizlik tapası sökülerek içerisinde bulunan pislikler temizlenir. Resim 1.17’de verilen regülatörün üzerinde temizlik tapası gösterilmektedir.

□ **Rölanti ayar vanası**

Regülatörün yüksek basınç bölümünde bulunan gazın rölanti hızında motorun içerisine girebilmesini sağlar. Resim 1.19’de regülatörün şematik resminde rölanti ayar vidası gösterilmektedir. Şemada gösterilen rölanti vidasının önünde bulunan yayın tansiyonu değiştirilerek valfin açılması kontrol edilir. Rölanti ayar vidası sıkılarak yayın tansiyonu arttırılsa motorun rölanti devri düşer. Ayar vidası gevşetilerek yayın tansiyonu düşürülürse motorun rölanti devri artar.

#### □ Alçak basınç borusu

Regülatörün alçak basınç ucundan, karbüratörün üzerinde bulunan miksere gazın iletilmesi için kullanılan kauçuktan yapılmış plastik borudur. Motorun ısısından dolayı boruda her hangi bir delinme olmaması için alçak basınç borusunun dış kısmı çelik tellerden örülmüş koruma bulunmaktadır. Resim 1.23’de alçak basınç hattında kullanılan kauçuk boru verilmektedir.



**Resim 1.23: Alçak basınç borusu**

#### □ Gaz ayar vanası

Motorun düzenli bir şekilde LPG ve LNG’de çalışması için alçak basınç borusu üzerine gaz ayar vanası bulunmaktadır. Gaz ayar vanası motorun maksimum gaz ayarının yapılması için kullanılır. Gaz ayar vanası çok kısılırsa motorun yüksek devirde gaz ihtiyacını karşılayamaz ve motorun çekişi düşer. Gaz ayar vanası gerektiğinden fazla açılırsa LPG tüketimi artar. Resim 1.24’te karbüratörlü motorlar için kullanılan gaz ayar vanası gösterilmektedir.



**Resim 1.24: Gaz ayar vanası**

#### 1.5.1.6. Karıştırıcı (Mikser)

Karbüratörlü motorların gaz ile çalışması için karbüratörün üst veya alt kısmına takılan alüminyumdan yapılan ayardır. Gaz ayar vanasından gelen gazın mikserde hava ile karışması sağlanmaktadır. Karbüratör tiplerine göre mikser özeliği değişmektedir. Resim 1.25’te çeşitli karbüratörler için kullanılan mikser çeşitleri gösterilmektedir.



**Resim 1.25: LPG/doğal gaz mikserleri**

#### **1.5.1.7. Yakıt Seçme Anahtarı ve Elektrik Bağlantıları**

LPG/doğal gaz sistemlerinde aracın istenilen yakıt ile çalıştırılması için kullanılan bir elektronik kumanda sistemidir. Sürücü seyir halinde iken istenilen yakıt ile motoru çalıştırmak veya LPG ve LNG deposunda bulunan gaz miktarını öğrenmek için yakıt seçme anahtarını kullanmaktadır. Yakıt seçme anahtarı üzerinde bulunan yakıt seçme düğmesi LPG/doğal gaz pozisyonuna alındığında, benzin hortumu üzerinde bulunan elektro valf benzin akışını keserek LPG/doğal gaz akışını sağlamaktadır. Bu konumda regülatörün içine LPG/doğal gaz dolmaktadır. Eğer motor 3-5 saniye içerisinde çalıştırılmazsa yakıt seçme anahtarı içerisindeki elektronik devre LPG/doğal gaz hattı üzerinde bulunan LPG/doğal gaz elektro valflerini kapatarak gaz akışını keser. Yakıt seçme düğmesi benzin pozisyonuna alındığında, yakıt seçme anahtarı LPG/doğal gaz sistemi üzerindeki elektro valfleri kapatarak benzin valfini açar. Bu durumda motor sadece benzin ile çalışır. Yakıt seçme anahtarı, multivalf üzerinde bulunan yakıt seviyesi ölçme sensöründen aldığı sinyaller ile LPG/doğal gaz deposunda bulunan gaz miktarını yakıt seçme anahtarı üzerinde göstermektedir. Kontak anahtarı kapatıldığı zaman yakıt seçme anahtarı benzin ve LPG/doğal gaz yakıt sistemi üzerinde bulunan elektro valfleri kapatarak sistemde herhangi bir yakıt kaçağını engellemektedir. Resim 1.26’da yakıt seçme anahtarı ve elektrik bağlantıları gösterilmektedir.



**Resim 1.26: LPG/Doğal gaz yakıt seçme anahtarı**

### 1.5.1.8. Benzin Kesici Elektro Valf

Depodan gelen benzinin karbüratöre gitmesini engellemek için benzin pompası ile karbüratör arasına (Resim 1.27) benzin elektro valfi takılmaktadır. Elektro valf benzin akışını kestiği zaman diyaframlı tip yakıt pompası çıkışında basıncın artmasından dolayı diyafram askıya alınır ve yakıt pompası çalışmaz. Motor benzin ile çalıştırılmak istenildiğinde benzin elektro valfi yakıt kanalını açar ve benzin pompası tekrar çalışmaya devam eder.



**Resim 1.27: Benzin için elektro valf**

Benzin pompası elektrikli olan sistemlerde ise benzin elektro valfi yakıt akışını kestiği zaman elektrikli yakıt pompasının elektriği kesilerek sistemin korunması sağlanmaktadır.

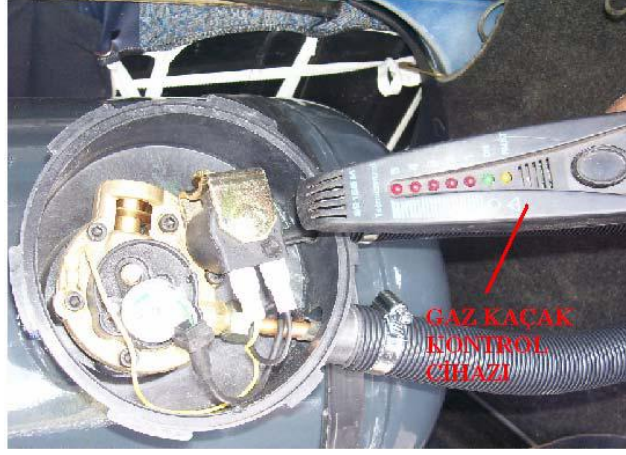
### 1.5.1.9. Karbüratörlü Motorlarda LPG/doğal Gaz Yakıt Sistemlerinin Ayar ve Bakımı

Karbüratörlü araçta LPG/doğal gaz yakıt sisteminde ateşleme avans ayarı, LPG/doğal gaz ayarı ve gaz kaçağı gibi ayar ve kontrol yapılmaktadır. Benzin ile LPG/doğal gazın yanma hızı farklı olduğu için ateşleme avans ayarının yakıt değiştiği zaman değişmesi gerekmektedir. Genelde ateşleme avans ayarı LPG/doğal gaz sistemine göre değiştirilmektedir. Karbüratörlü motorlar için yapılan ayar, bakımlar ve kontrolleri şunlardır.

#### **Karbüratörlü motorlarda LPG/doğal gaz yakıt sisteminde gaz kaçak kontrolü**

LPG/doğal gaz sisteminde kaçak ve sızdırmazlık kontrolleri çok önemlidir. LPG/doğal gaz yakıt sistemi kullanılan bir aracı olası bir gaz kaçağında kesinlikle çalıştırmamalıdır. Yakıt dönüşüm sistemi yapılmış araç Makine Mühendisler Odasından sızdırmazlık raporu almadan trafiğe çıkması kesinlikle yasaktır. LPG/doğal gaz dönüşümü yapılmış bir aracın güvenle kullanılması için sızdırmazlık kontrollerinden geçmesi gerekmektedir. LPG/doğal gaz dönüşümü yapılmış bir araç düz bir zemine alınarak gaz deposu normal şartlarda doldurulmalıdır. LPG/doğal gaz dolumu yapıldıktan sonra yakıt seçme anahtarı LPG/doğal gaz pozisyonuna getirilir ve motor çalıştırılır. LPG/doğal gaz yakıt sisteminin el tipi gaz detektörü ile sızdırmazlık kontrolü sırasında;

- El tipi gaz detektörü ile bagaj içerisinde bulunan deponun gaz giriş çıkış rekorları ve boruları kontrol edilmelidir. Resim 1.28'de bagaj içerisinde bulunan deponun gaz kaçak kontrolünün yapılması verilmektedir.



**Resim 1.28: Multivalf gaz kaçaklık kontrolü**

- El tip gaz dedektörü deponun bağlantılarında herhangi bir gaz kaçağı bulunduğu anda dedektör sinyal vermektedir. Bu şekilde hangi bağlantıda kaçak olduğu saptanmaktadır. Rakor yeniden anahtar ile sıkılır ve tekrar gaz kaçağı kontrol edilir. Eğer hala rakor gaz kaçırmaya devam ederse gaz kaçıran rakorun yenisi ile değiştirilmesi gerekmektedir. Değişim sonunda gaz dedektörü ile kontrol edilir. Eğer herhangi bir gaz kaçırmaya yok ise diğer bağlantılar kontrol edilir.
- LPG/doğal gaz elektro valflerinin gaz giriş ve çıkış rakorları kontrol edilir.
- Regülatörün gaz girişi, regülatör gövdesi ve alçak basınç borusu gaz kaçak kontrolü yapılmalıdır. Resim 1.29'da regülatörün rakor bağlantılarının gaz dedektörü ile kontrol edilmesi gösterilmektedir.



**Resim 1.29: Regülatör gaz kaçaklık kontrolü**

- LPG/doğal gaz yakıt sisteminde bütün bağlantı elemanları kontrol edilir. Gaz dedektörü kaçak gaz uyarısı yapıyor ise arızalı bağlantının mutlaka tamir edilmesi gerekmektedir.

### **Karbüratörlü motorlarda LPG/doğal gaz yakıt sisteminin ayarları**



LPG/doğal gaz dönüşümü yapılmış bir motorda bütün gaz bağlantıları kontrol edildikten sonra dönüşüm sisteminin gaz ayarları yapılır. LPG/doğal gaz yakıt sisteminde gaz motora iki yolla alınmaktadır.

□ Regülatörden sonra gaz ayar vidası el ile ayarlanarak motorun çalışması sağlanmaktadır. Bu sistemde gaz ayar vidası aracın ihtiyacı olan gazın bir kere ayarlanarak sistemin çalışması sağlanmaktadır. El ile ayarlanan sistemde hava filtresi tıkanıdığı zaman gaz ayarı değişmektedir. Bu durumda sürekli hava yakıt karışımı değişecektir ve sistemin verimliliği etkilenecektir. Bu sistem daha çok eski tip karbüratörlü sistemlerde kullanılmaktadır. Resim 1.24'te gaz ayar vanası gösterilmektedir.

□ Mevcut yakıt sisteminin sahip olduğu lamda sondası kullanılarak regülatörden sonra elektronik gaz valfi ile yapılmaktadır. Bu sistemde eksoz borusunda bulunan lamda sondasından alınan oksijen miktarına göre gaz ayarı elektronik olarak sürekli değiştirilmektedir. Bu sistemde hava filtresi tıkanrsa bile lamda sondasından aldığı verilere göre sistemin yakıt ihtiyacı sürekli değiştirilerek yapılmaktadır. Resim 1.30'da elektronik gaz ayar vanası ve elektronik sistemi verilmektedir. Elektronik gaz ayarı tek nokta enjeksiyon ve çok nokta enjeksiyonlu araçlarda kullanılmaktadır.



**Resim 1.30: Elektronik gaz ayar vanası ve elektronik kontrol ünitesi**

### **Karbüratörlü motorda LPG/doğal gaz yakıt sisteminin bakım ve onarımı**

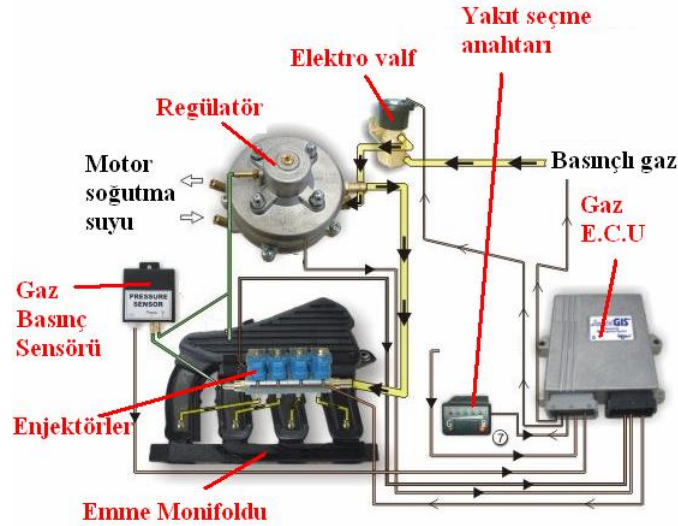
Karbüratörlü araçlarda belli başlı yapılan ayar ve bakımlar şunlardır:

- Elektro valfin içerisinde bulunan kağıt elemanlı gaz filtresi yenisi ile değiştirilir.
- Motorun hava filtresi yenisi ile değiştirilir.
- Bujiler sökülerek kontrol edilir değiştirilmesi gerekiyorsa yenisi ile değiştirilir.
- Motorun soğutma suyu seviyesi kontrol edilir.

Bütün bakımları yapılan motorun LPG/doğal gaz ayarı yapılır. Gaz ayarı yapılırken egzoz gazının CO, CO<sub>2</sub>, HC ve AFR(hava yakıt oranı) kontrol edilir.

## 2. ENJEKSİYONLU MOTORLARDA LPG/DOĞAL GAZ YAKIT SİSTEMLERİ

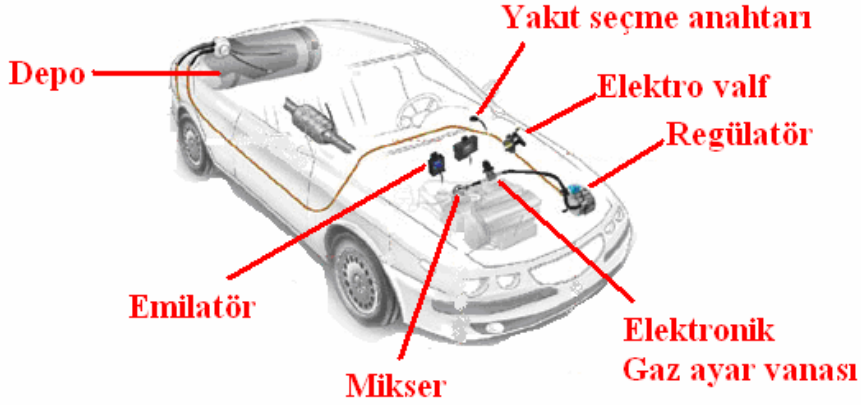
Teknoloji ilerledikçe otomobillerde elektronik sistemlerin kullanımı hızla artmaktadır. LPG/doğal gaz yakıt sistemleri günümüz teknolojisinde enjeksiyonlu araçlarda kullanılmaktadır. Karbüratörlü tip motorlara göre enjeksiyonlu araçlar yakıt tasarrufu bakımından daha ekonomik çalışmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı enjeksiyonlu araçlarda LPG/doğal gaz uygulamaları teknolojik bakımdan karbüratörlü araçlardan daha ileridedir. Enjeksiyon sistemlerde gaz kontrolü elektronik olarak yapılmaktadır. Benzin enjeksiyonlu sistemlerde, enjektörler vasıtası ile emme manifoldunun içine enjeksiyon sırasına göre püskürtülmektedir. Elektronik gaz enjeksiyonu da aynı tip enjektörler ile emme manifoldunun içine LPG/doğal gazın elektronik olarak püskürtülmesidir. Resim 2.1’de enjeksiyonlu motorlara uygulanan LPG/doğal gaz enjeksiyonu verilmiştir.



**Resim 2.1: Elektronik LPG/doğal gaz yakıt sistemi**

Elektronik gaz enjeksiyonunun çalışması için yakıt seçme anahtarının LPG/doğal gaz pozisyonunda olması yeterlidir. Enjeksiyonlu motor LPG/doğal gaz ile çalışması sırasında benzin elektro valfi, benzinin yakıt tüpüne gelmesini engellemektedir. Aynı zamanda benzin deposunun içerisinde bulunan elektrikli pompanın çalışması da durdurulmaktadır. Sistem LPG/doğal gaz ile çalışması esnasında benzin enjektörlerinin boşa çalışmaması için sisteme emilatör takılmaktadır. Emilatör, motorun kendi elektronik kontrol ünitesinden (ECU) benzin enjektörlerine giden sinyalleri emerek enjektörlerin çalışmasını engellemektedir. Emilatör benzin enjektörlerinin çalışmasını engellerken, gaz enjeksiyon beyinine sinyaller yollayarak gaz enjektörlerinin tıpkı benzin enjektörleri gibi çalışması sağlanmaktadır. Bu çalışma hiçbir zaman bire bir aynı anda olmamaktadır. Motor benzin ile çalıştırılmak istenirse yakıt seçme

anahtarı benzin pozisyonuna alınarak LPG/doğal gaz deposundan gelen gazın yolu elektronik valfler ile kapatılır. Emilatör devre dışı kalarak benzin enjektörlerinin çalışması sağlanır. Benzin elektro valfi benzin yolunu açar ve benzin pompası çalışır. Motorun normal olarak benzin ile çalışması sağlanır. LPG/doğal gaz sisteminde emme manifolduna püskürtülen gazın miktarının ayarlanması benzin enjektörlerinin açılma kapanma anına göre ayarlanmaktadır.



**Resim 2.2: Enjeksiyonlu sistemlerde mikser kullanılan LPG/doğal gaz yakıt sistemi**

LPG/doğal gaz yakıt sistemlerinde, karbüratörlü sistemlerde olduğu gibi enjeksiyonlu araçlarda da mikser kullanılarak dönüşüm yapılabilmektedir. Bu tip sistemlerde gaz enjektörleri yerine emme manifoldunun girişine mikser takılmaktadır. Motorun LPG/doğal gaz ile çalışması sırasında benzin enjektörlerinin yine bir emilatör vasıtası ile çalışması engellenmektedir. Miksere giden gaz miktarı el veya elektronik gaz ayar vanası ile yapılabilmektedir. Resim 2.2’de enjeksiyonlu motorlarda kullanılan mikserli LPG/doğal gaz sistemi gösterilmektedir.

## **2.1. LPG/doğal Gaz Enjeksiyon Sisteminin Parçalarının Özellikleri ve Çalışma Prensipleri**

Enjeksiyonlu motorlarda kullanılan LPG/doğal gaz yakıt sistemi çok karmaşık yapısı bulunmamaktadır. Karbüratörlü araçlarda olduğu gibi gaz ayarı el ile yapılmadığı için oldukça ekonomik bir karışım ayarı yapmaktadır. Dışarıdan kesinlikle gaz ayarı değiştirilememektedir. Motor üretici firmasının motorun çalışma koşullarına göre hazırladığı elektronik kontrol ünitesinin verilerini kullanarak LPG/doğal gaz enjektörlerinin açılması sağlanmaktadır. Enjeksiyonlu LPG/doğal gaz yakıt sisteminin başlıca parçaları şunlardır:

### **2.1.1. Sensörler**

LPG/doğal gaz sisteminde enjektör rampasında LPG ve doğal gazın basıncı ve sıcaklığını ölçen parçalardır. LPG/doğal gaz yakıt sisteminde regülatörden çıkan gazın sıcaklığını ölçmek için Resim 2.3’te LPG/doğal gaz sıcaklık sensörü kullanılmaktadır.



**Resim 2.3: LPG/doğal gaz sıcaklık sensörü**

Yakıt rampasında, regülatörden gelen gazın basıncını ölçmek, istenilen basınçta tutmak için Resim 2.4'te verilen basınç ayar regülatörü kullanılmaktadır. Basınç ayar regülatörü yakıt tüpünün içinde bulunan gazın basıncını ölçerek LPG/doğal gaz elektronik kontrol ünitesine iletir. Elektronik kontrol ünitesi emme manifolduna püskürecek olan LPG/doğal gazın basıncını aynı sensör üzerinde bulunan basınç ayar regülatörüne iletir. LPG/doğal gaz basınç ayar regülatörü yakıt tüpünde bulunan LPG/doğal gazın basıncı fazla ise bir miktar gazı emme manifolduna kaçırmak suretiyle yakıt tüpünde gazın basıncını istenilen seviyede tutmaktadır. Motor devir sensörü, mevcut sistemde bulunan krank mili devir sensöründen faydalanılarak motorun devri LPG/doğal gaz elektronik kontrol ünitesine iletilir.



**Resim 2.4: LPG/doğal gaz basınç ayar regülatörü ve basınç sensörü**

### 2.1.2. Enjektör Rampası

LPG/doğal gaz regülatöründen çıkan gazın geldiği ve enjektörlere iletiildiği plastik veya çelikten yapılmış yakıt tüpüdür. Üzerinde enjektörleri taşımaktadır. Yakıt rampası motorun silindir sayısına göre değişiklik arz etmektedir. Örneğin 4 silindirli bir motorda 4 enjektör kapasiteli yakıt rampaları kullanılmaktadır. V6 motorlarda ise yakıt rampaları ise üç enjektör bir tarafta üç enjektör diğer tarafta olmak üzere bölünebilmektedir. Resim 2.5'de LPG/doğal gaz yakıt rampası gösterilmektedir. Rail (rampa) emme manifolduna mümkün olduğunca yakın bağlanmalıdır. Rail egzozdan uzak olmalıdır.



**Resim 2.5: LPG/doğal gaz yakıt rampası ( rail )**

Basınç ayar regülatörü yakıt rampasının içerisinde bulunan gazın basıncını ayarlamaktadır. Yakıt rampasında gazın basıncı yaklaşık 0.65–0.85 bar arasındadır. Bazı LPG/doğal gaz enjeksiyon sisteminde kullanılan yakıt rampaları farklı olmaktadır.

### **2.1.3. Enjektör Boruları**

Enjektörlerden çıkan LPG/doğal gazın emme manifolduna ulaşmasını sağlayan ısıya dayanıklı plastik borulardır. Resim 2.6’da enjektör borusu verilmektedir. Bir ucu enjektör çıkışına bağlanacak özel rakorlu diğer ucu ise manifolda monte edilen nozula girecek şekilde kesilmiş olarak gelmektedir. Enjektörlerden çıkan hortumların aynı boyda kesilmesine dikkat edilmeli ve boyları 15 cm’den fazla olmamalıdır. Ø4 x10 mm çapında ve –30°C ile +120°C arasındaki sıcaklıklarda çalışmaya uygundur.



**Resim 2.6: LPG/doğal gaz enjektör borusu**

### **2.1.4 Enjektörler**

Yakıt rampasında bulunan LPG/doğal gazın emme manifolduna motorun çalışma sırasına göre iletilmesini sağlamaktadır. LPG/doğal gaz enjektörlerinin çalışması elektronik kontrol ünitesi tarafından sağlanmaktadır. Enjektör –35°C ile +120°C arasında çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. Mavi renkli enjektörler maksimum tip, portakal renkliler normal tipi temsil etmektedir. Resim 2.7’de enjektör ve diğer parçalar gösterilmektedir.



**Resim 2.7: LPG/doğal gaz enjektörü**

LPG/doğal gaz enjektörleri gazı emme manifoldunda benzin enjektörlerinin bulunduğu bölgeden püskürtmektedir. Resim 2.8’de LPG/doğal gaz yakıt sistemlerinde kullanılan enjektör gösterilmektedir.



**Resim 2.8: LPG/doğal gaz enjektörü**

### 2.1.5 Elektronik Kontrol Ünitesi (ECU)

Elektronik kontrol ünitesi; motorun değişik yük ve yol şartlarına göre en iyi karışım miktarını hazırlamak ve bu hazırlanan karışımın en doğru zamanda emme manifolduna iletmek için enjektörleri açar. LPG/doğal gaz miktarının hazırlanması için LPG/doğal gaz basınç sensöründen, LPG ısı sensöründen, motor devir sensöründen ve emilatörün benzin enjektörlerinden aldığı sinyaller LPG/doğal gaz elektronik kontrol ünitesine iletilir. Yeni tip LPG/doğal gaz elektronik kontrol ünitelerinde emilatör ECU’nun içerisine entegre edilmiştir. Resim 2.9’da LPG/doğal gaz sisteminde kullanılan elektronik kontrol ünitesi gösterilmektedir.



## **Resim 2.9: LPG/doğal elektronik kontrol ünitesi (ECU)**

### **2.1.6. Elektrik Bağlantıları**

Elektronik kontrol ünitesinden diğer bütün LPG/doğal gaz elemanlarına elektrik bağlantıları yapılmasında kullanılmaktadır. LPG/doğal gaz dönüşüm kitlerinin içinde kablo seti standart olarak hazırlanmıştır. Hazır olan kablo grubu daha kolay ve hızlı bir montaj sağlamaktadır. EMC standartlarına uymak için korumalı konnektörler kullanılmıştır. Kablo grubu üzerindeki konnektörler, IP54 standardında ve su geçirmez olmalıdır. Resim 2.10'da LPG/doğal gaz dönüşümünde kullanılan kablo grubu gösterilmektedir.



**Resim 2.10: LPG/doğal kablo grubu**

## **2.2. LPG/Doğal Gaz Enjeksiyon Sisteminin Ayarları**

LPG/doğal gaz yakıt sisteminde gaz ayarının yapılmasına gerek yoktur. Motor çalışma LPG/doğal gaz elektronik kontrol ünitesinden aldığı veriler ve bünyesinde bulunan sensörler vasıtası ile gaz ayarını yapmaktadır. Enjeksiyonlu yakıt sisteminde tek yapılan işlem kontroldür. Motorun çalışması diagnostik test cihazı ile kontrol edilerek sistemde meydana gelen arızalar tespit edilebilir. Motorun benzin enjeksiyonunda bir arıza meydana gelirse LPG/doğal gaz sistemi de bundan etkilenmektedir.

### **2.2.1. Ayar Cihazının Motora Bağlanması**

LPG/doğal gaz yakıt sisteminde kullanılan markaya göre diagnostik test cihazı değişiklik gösterebilir. Bu farklılıktan dolayı her sisteme uyum sağlayabilen ve bütün LPG/doğal gaz sistemlerini kontrol etme imkânı olan üniversal test cihazları bulunmaktadır. Üniversal test cihazları, LPG/doğal gaz sisteminde kullanılan ECU'nun bilgi giriş ucuna takılabilen farklı konnektör bağlantılarına sahiptir. Resim 2.11'de enjeksiyonlu bir motorun diagnostik cihazı ile kontrol edilmesi gösterilmektedir.



**Resim 2.11: LPG/Doğal enjeksiyon sisteminin test cihazı ile kontrol edilmesi**

Test cihazı LPG/doğal gaz ECU'suna takılmak sureti ile sistemin genel çalışması kontrol edilebilir. Test cihazı ile LPG/doğal gaz sisteminde şu verileri kontrol edebiliriz.

- Motorun devri
- LPG/doğal gazın regülatördeki sıcaklığı
- LPG/doğal gazın yakıt rampasında basıncı
- LPG/doğal gaz enjektörlerinin açılma süresi
- Benzin enjektörlerinin açılma süresi

Test cihazı ile sistemde bulunan sensörler ve enjektörlerin çalışması kontrol edilir. Sistemde meydana gelen arızalar buradan görülebilir. Arızalı parçanın yenisi ile değiştirilmesi ile arıza giderilebilir. LPG/doğal gaz dönüşümü yapılmış bir araçta ilk montaj anında, sistemin orijinal ECU ile LPG/doğal gaz ECU'sunun eşleştirilmesi yapılmalıdır. Eşleştirme esnasında benzin enjektörlerinin çalışması ve diğer verilerin daha doğru gelebilmesi için LPG/doğal gaz ECU'sunun yüklenmesi gerekmektedir. Bu yükleme sistem ilk kurulum esnasında yapılmaktadır. Test cihazı ile LPG/doğal gaz ECU'sunun işlemcisine gerekli bilgiler yüklenir ve sistem bundan sonra sürekli bu bilgileri kullanmaktadır. Aracın aküsü yerinden uzun süre çıkartılırsa bu bilgiler silinebilir ve tekrar test cihazı ile yüklenmesi gerekmektedir. Teknolojin ilerlemesi ile LPG/doğal gaz sisteminde kullanılan ECU'lar kendi kendini yüklemektedir. Sistemin montajı tamamlandıktan sonra sistem yakıt seçme anahtarında LPG/doğal gaz pozisyonuna alınır. Sistem motoru otomatik olarak benzin ile çalıştırır. Benzin ile çalışma esnasında ilk 60 saniye içinde LPG/doğal gaz sisteminde bulunan ECU sistem bilgilerini güncelleyerek motorun birkaç dakika içinde otomatik olarak LPG/doğal gaz ile çalışması sağlanmaktadır. Motorun her durdurulup çalıştırılmasında bu işlem tekrarlanır.



### 2.2.2. Ayarın Yapılması

Enjeksiyonlu sistemlerde gaz ayarı yapılmamaktadır. Sistem çalışma esnasında kendi gaz miktarını yol ve yük şartlarına göre otomatik ayarlamaktadır. Enjeksiyonlu LPG/doğal gaz sistemlerinde LPG ile motorun çalışması için ayar yapılmaktadır. Sistemde her hangi bir ayar yapılmassa da sistem kendini ilk çalıştırma işleminde otomatik olarak fabrika ayarlarına göre çalıştırır. LPG/doğal gaz sisteminde genellikle benzin ve LPG/doğal gaz geçiş ayarı yapılmaktadır. Geçiş ayarı her markada farklılık gösterebilir. LPG/doğal gaz sisteminde motoru ilk çalıştırma esnasında geçiş ayarı genelde şu iki senaryo üzerine kurulur.

□ Motorun soğuk olması durumunda LPG/doğal gaz sistemine geçiş aşağıdaki şartların gerçekleşmesi durumunda geçilir.

- Motorun çalışmasından en az 60 saniye sonra,
- Motor soğutma suyu sıcaklığının 40 dereceye ulaşması durumunda,
- Motor devrinin 2000 dev/dak ulaşması durumunda.

□ Motorun sıcak olması durumunda LPG/doğal gaz sistemine geçiş aşağıdaki şartların gerçekleşmesi durumunda geçilir.

- Motorun çalışmasından 10 saniye sonra,
- Motor sıcaklığının 40 derece veya üzerinde olması durumunda,
- Motor devrinin 2000 dev/dk ulaşması durumunda.

Test cihazı LPG/doğal gazın ECU'suna bağlanır ve motor çalıştırılır. Test cihazında motorun ilk çalıştırma verileri değiştirilebilir. Yukarıda bahsedilen geçiş senaryolarına ve aracı kullandığımız mevsim şartlarına göre ayarları değiştirilebilir. Örnek olarak bir motorun ilk çalıştırılması şu şekilde olmaktadır. Aracı ilk çalıştırma esnasında motor soğuk iken önce araç 60 sn benzin ile çalışmaktadır. Bu sürenin sonunda eğer motor soğutma suyu 40 dereceye ulaşmışsa yakıt seçim anahtarındaki kırmızı led sarıya dönecektir. Yakıt seçme anahtarında bulunan led sarı iken motoru 2000 devir/dakikanın üzerine çıkar ve gazdan ayak çekilirse yakıt seçme anahtarı üzerinde bulunan led yeşile döner ve motor LPG/doğal gaza geçmiş olur. LPG/doğal gaz enjeksiyonlu sistemlerde bu sistem geçiş ayarları mevsimlere göre farklılık arz edebilir. Yakıt sisteminde diğer ayarlar ile motorun buji, hava filtresi, yağ ve yağ filtresi gibi parçaların kontrol ve değişimi yapılabilir. Enjeksiyonlu motorlarda ateşleme avansı ECU kendisi otomatik olarak yaptığı için sistemde avans ayarı yapmaya ihtiyaç yoktur.

## **BÖLÜM -3-**

## 1.BİTKİSEL YAKITLARLA ÇALIŞAN MOTORLAR

Dizel motorlarda yakıt olarak kullanılan ve yenilenebilir biyolojik maddelerden üretilen yakıtlar biodizel veya biomotorin olarak adlandırılmaktadır. Benzinli araçlar içinde biyolojik yakıtlar üretilmesine rağmen dizel motorlarda sıkıştırma oranının yüksek olması sebebiyle daha iyi sonuçlar ve yanma performansı elde edilmektedir.

### 1.1.Motorlarda Kullanılan Bitkisel Yakıtlar

Motorlarda bitkisel yağların yanı sıra hayvansal yağlar da yakıt olarak kullanılabilir. Genellikle kolza, soya, mısır, pamuk ve ayçiçeği gibi bitkisel ürünlerin yağlarından biomotorin yakıt üretiminde faydalanılır. Biodizel saf olarak kullanılabilir gibi petrolden elde edilen motorinle karıştırılarak da kullanılmaktadır. İlk defa 1900'lü yıllarda Rudolf Diesel tarafından yer fıstığı yağı kullanılarak dizel motor çalıştırılmasına rağmen petrolün çok miktarda bulunması ve bu sektörün hızla gelişmesi insanları motorin kullanımına yönlendirmiştir. Ancak 1970 petrol krizi ve tüm dünyada çevre bilincinin artmasıyla alternatif yakıtlar araştırılmaya başlanmış ve ilk olarak da 1992 yılında Amerika Ulusal Soy Dizel Araştırma gurubu tarafından biodizel (biomotorin) üretimi yapılmıştır.

### 1.2.Bitkisel Yakıtların Özellikleri

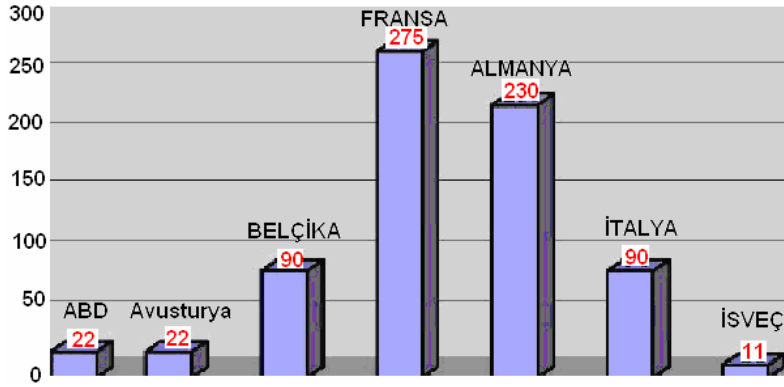
Bitkisel yağlar, organik olarak **metil** veya **etil** esteridir. Biodizel üretiminde en çok tercih edilen bitki ise soya fasulyesidir. Elde edilen bitkisel yağlar, alkol (metanol) ile karıştırılarak sodyum hidroksitle tepkime hızlandırılır. Bu kimyasal reaksiyon sonunda bir ester ve gliserin oluşur. Kimyasal olarak esterlemenin tanımı ise ortamdan tri-gliserin molekülü veya yağ asidi almak, serbest asitleri nötrleştirmek, gliserini çıkarmak ve bir alkol esteri oluşturmaktır. Yukarıdaki söylenenleri gerçekleştirmek için metanol (odun alkolü) sodyum hidroksitle karıştırılır ve sodyum metoksit elde edilir. Bu tehlikeli sıvı bitkisel yağla karıştırılıp dinlenmeye bırakılınca gliserin dibeye çöker ve metil ester (biomotorin) üstte kalır. Ester yakıt olarak kullanılırken gliserin de sabun, gübre ve daha birçok endüstriyel ürün yapımında kullanılmak üzere sevk edilir. Bu kimyasal yöntem **transesterifikasyon** yöntemi denilmektedir. Bir diğer yöntemde ise bitkisel yağlar veya kullanılmış eski yağlar süzülerek filtre edildikten sonra maksimum %20 oranında motorine karıştırılarak kullanılmaktadır. Biomotorin verim olarak ve motor performansı yönünden motorine eş değer bir yakıt türüdür. Tablo 1.1'de biomotorin üretilen bitkiler ve yağ verimleri görülmektedir.

**Tablo 1.1: Biomotorin üretilebilecek bitkiler ve yağ verimleri**

<b>Yağ Bitkisi</b>	<b>Kg Yağ/Hacim</b>	<b>Yağ İçeriği</b>
Acı Bakla	195	6-9
Aspir	655	25-37
Ayçiçeği	800	35-40
Badem	1125	25-50
Bal kabağı	449	24-30
Bezir Yağı	442	49-51
Ceviz	4500	60
Fındık	405	65-75
Hardal	481	27-35
Haşhaş	978	40-50
Jajoba	528	48-52
Jatropha	1590	50
Kakao	863	50
Kenevir	305	30-35
Keten	402	38
Kolza	1000	33-40
Mahun Cevizi	148	38-46
Mısır	145	5-6
Palm	189	50
Pamuk	273	20
Soya	375	17-26
Susam	585	50
Yer Fıstığı	890	36-50
Zencibar	1119	35-38
Zeytin	1019	35-70

1990 yılında Kanada’da CANOLA (Canada ve Oil isimlerinin birleşmesinden türetilmiş ve Kanada’nın genetik ıslah ile 1956 yılında geliştirdiği bir üründür) ekimine başlanmış fakat pahalılığı sorun olamaya başlayınca 1994 yılında Brassica Juncia çeşitlerine yönelmekle maliyeti düşürülmeye çalışılmıştır. Kanada, petrol rafine tekniğine benzer bir yöntem ile biodizel üretimi yapmaktadır. Bu yöntemle setan (dizel yakıt güçlendiricisi), NAFTA (benzin katkısı) gibi yan ürünler elde edilmektedir. Setan katkılı dizel yakıtı, yeşil dizel olarak bilinir. Emisyon ve performans testlerinin olumlu olması sebebiyle bu isim verilmiştir. Tüm üretimine rağmen Kanada’da biodizel yakıt olarak ticari bir sektör haline gelememiştir. Dünyadaki en büyük biodizel üretim tesisi California’daki Bakersfield tesisinde 1999 üretimi 500.000 galon ve 2002 üretimi 15 milyon galon iken 2003 üretiminin 35 milyon galon olarak belirtilmiştir. 17 Kasım 1997 tarihinde yakıt tankında soya fasulyesinden elde edilen biodizel bulunan küçük bir uçak Minnesota (USA) göklerinde gösteri uçuşu yapmış ve daha sonraki model uçaklar üzerinde yapılan uzun süreli testlerde, yakıt verimi ve yakıt temizliğinin

yanında yakıt borularında tıkanma ve korozyon problemlerinde azalma gözlenmiştir. Günümüzde Amerika'da üretilen biodizel yakıtın %90'lık kısmı soya fasulyesi esaslıdır. Smithfield isimli bir şirket çöp atıklarından biyogaz üretimi yapmaktadır. Bu gaz daha sonra biometanol hâline dönüştürülüp nakledilmekte ve kullanım yerlerinin yakınlarında biodizel hâline getirilmektedir. Aşağıdaki grafikte bazı ülkelerin yıllık biomotorin üretimleri milyon litre olarak görülmektedir.



**Grafik 1: Bazı ülkelerin yıllık biomotorin üretimleri (milyon litre)**

### 1.3 Bitkisel Yakıtların Avantaj ve Dezavantajları

Biomotorin, üretildiği ve kullanıldığı ülkelere birçok avantaj sağlamaktadır. Bu avantajları şu şekilde sıralayabiliriz:

- Ülkenin dışa bağımlılığını azaltır.
- Tarımsal alanın güçlenmesini ve şehre göçü azaltır.
- Tarımsal atıklardan üretilebilir ve üretimi kolaydır.
- Motorinle farklı oranlarda karıştırılabilir.
- Zehirli atıklar içermez ve doğaya zarar vermez (kükürt oksit SOX atılmaz, toksik etki gösteren PAH %80 azalır).
- Saf ve karışım hâlinde kullanılmasında egzoz gazı daha az zehirleyici olur ve kokusu daha iyidir. Hidrokarbon ve karbon monoksit yayılımında azalma (Biomotorinin yanması sonucunda çevreye atılan zararlı gazların dizel yakıtına göre; %15 daha az CO, CO2 oranında %78'lik bir azalma, %27 daha az HC, %22 daha az partikül, %50 daha az is ve %10 daha düşük ısı değeri, buna karşın sadece %5 daha fazla NOx ve ortalama yakıt tüketimi dizel motordan %3 daha fazladır).
- Biomotorin kış aylarında da kullanılabileceğini, kış aylarında çok düşük olmayan sıcaklıklarda motorun ilk çalışmasında sorun çıkarmamaktadır.
- Yakıt filtrelerinde veya yakıt pompalarında herhangi bir probleme rastlanmaz, ayrıca motor üzerinde bir değişiklik olmadan biodizel kullanılabilir.

Yukarıda verilen sayısal değerler biodizelin türüne göre ve motordan motora değişim gösterebilir. Aşağıdaki tabloda 10000 km’de farklı motorlara sahip taşıtların çevreye bıraktığı CO ve HC miktarları görülmektedir.

EMİSYONLAR	Benzinli Taşıt	Dizel Taşıt	Biodizel Taşıt
CO (10.000 km/g Karbon Monoksit)	21	7.5	4.9
HC (10.000 km/ppm (Hidro Karbon))	36	1.5	2.0

**Tablo 1.2: Biomotorin ve diğer yakıtların emisyon değerleri**

Biomotorinin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar;

- Maksimum %5’lik bir verim kaybına neden olurlar. Ancak aşırı yük gibi özel durumlarda belirlenebilmektedir.
  - Tarım sektöründe yeterli ekim yapılmaması ve vergilerin azaltılmaması, bu ürünün pahalı olmasına sebep olacaktır.
  - Yapılan araştırmalar devam etmekte olup, tam bir faydalı üretim şekli geliştirilememiştir.
- Biomotorin, Avrupa Birliği’nde çevre kirliliğini önlemek için kabul edilmiş olan Euro 3 normlarına göre zararsız yakıtlar sınıfına alınmıştır. Aynı standartlar ülkemiz tarafından da kabul edilmiş ve TSE tarafından TS-4236 ve TS-5648 numaralı standartlar olarak tüm araçlar için uygulanmaktadır. Ancak Avrupa’da Euro 4 normları yayınlanmış ve uygulanmaktadır. Bu standartlar, taşıtlar için oldukça ağır çevre koruma standartları getirmektedir.

#### **1.4.Bitkisel Yakıtların Motor Performansına Etkileri**

Bitkisel yakıtlar motor performansını fazla düşürmemektedir. Dezavantajlar kısmında anlatıldığı gibi yaklaşık olarak %5’lik bir performans düşüşü meydana gelmekte, bu durum da aşırı yüklenme durumunda anlaşılmaktadır. Belli bir süre kullanımdan sonra yakıt filtrelerinde veya yakıt pompalarında herhangi bir probleme rastlanmadığı gözlenmiştir. Ayrıca motor üzerinde teknik bir değişim olmadan biodizelin kullanılabilir. Biodizel, kış aylarında da kullanılabilir ve motorun ilk çalışmasında hiçbir sorunla karşılaşmamaktadır. Ancak motorinin pullanma sıcaklığı  $-7^{\circ}\text{C}$  iken, biomotorininki  $+3^{\circ}\text{C}$ ’dir. Bu derecelerde yakıt jel hâline geçmekte ve filtreleri tıkararak yakıt akışının kesilmesine neden olmaktadır. Bu durum çok soğuk ortamlarda sorun çıkarabileceği için çeşitli katkılarla donma derecesi yükseltilmelidir. Bununla birlikte hava ısısındaki değişimlerde motor performansını etkilememektedir. Biodiesel iyi bir yağlama yeteneğine sahip olduğundan yüksek derecede motor aşınması oluşturmamaktadır. Biomotorinin en büyük avantajı egzoz emisyon değerlerinin çok düşük olmasıdır.

Tablo 1.3'te biomotorin üretilen önemli ürünlerin yağlarından elde edilen biomotorin yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri görülmektedir.

Yakıtlar	Kalori (MJ/kg)	Yoğunluk (kg/dm <sup>3</sup> )	Viskozite (mm <sup>2</sup> /s)		Setan sayısı	Parlama noktası (°C)	Kimyasal formülü
			27°C	75°C			
<b>Motorin</b>	<b>43.35</b>	<b>0.815</b>	<b>4.3</b>	<b>1.5</b>	<b>47</b>	<b>58</b>	<b>C<sub>16</sub>H<sub>43</sub></b>
<b>Ayçiçeği</b>	<b>40.56</b>	<b>0.878</b>	<b>10</b>	<b>7.5</b>	<b>45 – 52</b>	<b>85</b>	<b>C<sub>55</sub>H<sub>105</sub>O<sub>6</sub></b>
<b>Pamuk</b>	<b>40.58</b>	<b>0.874</b>	<b>11</b>	<b>7.2</b>	<b>45 – 52</b>	<b>70</b>	<b>C<sub>54</sub>H<sub>101</sub>O<sub>6</sub></b>
<b>Soya</b>	<b>39.76</b>	<b>0.872</b>	<b>11</b>	<b>4.3</b>	<b>37</b>	<b>69</b>	<b>C<sub>53</sub>H<sub>101</sub>O<sub>6</sub></b>
<b>Mısır</b>	<b>37.83</b>	<b>0.915</b>	<b>46</b>	<b>10.5</b>	<b>37.6</b>	<b>270 – 295</b>	<b>C<sub>55</sub>H<sub>103</sub>O<sub>6</sub></b>
<b>Haşhaş</b>	<b>38.92</b>	<b>0.921</b>	<b>56</b>	<b>13</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>C<sub>57</sub>H<sub>103</sub>O<sub>6</sub></b>
<b>Kolza</b>	<b>37.62</b>	<b>0.914</b>	<b>39.5</b>	<b>10.5</b>	<b>37.6</b>	<b>275–290</b>	<b>C<sub>57</sub>H<sub>105</sub>O<sub>6</sub></b>

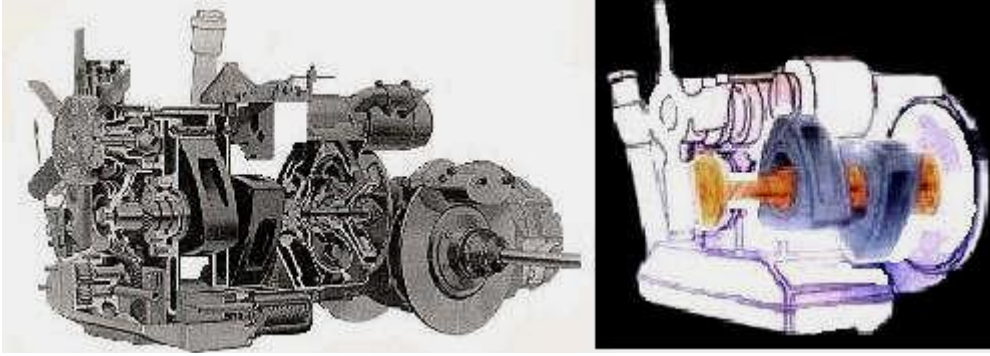
**Tablo 1.3: Biomotorine dönüştürülmüş bitkilerin fiziksel ve kimyasal özellikleri**

### 1.5. Bitkisel Yakıtlı Motorların Bakımları

Bitkisel yakıtlar, günümüzde en çok dizel motorlu araçlarda kullanılmaktadır. Sistemde genelde hiçbir değişiklik yapılmamaktadır. Bu sebeple motor bakım ve tamirleri için dizel motorlar modüllerinden yararlanabilirsiniz.

## 2. WANKEL MOTORLARI

Wankel motor veya diğerk adıyla **rotary** motor, 1954 yılında NSU firmasında tekniker olarak çalışan Felix Wankel tarafından icat edilmiştir. İlk defa NSU Spider isimli araçta kullanılan bu motor rallilerde büyük başarı kazanmasına rağmen motor segmanlarının yetersiz kalmasında dolayı çok sorun çıkardığı için üretimi durduruldu. Geçtiğimiz yıllarda Japon Mazda firması motoru geliştirerek Mazda RX7 isimli bir araç üretti. Fakat bu araç da pistonlu motorlar karşısında rekabet edemediği için üretimi durdurulmuştur. Ancak günümüzde malzeme ve üretim teknolojilerinin gelişmesi ve alternatif yakıt ile alternatif motor arayışları ile gündeme gelmiştir. Resim 2.1’de wankel motoru gösterilmektedir.



**Resim 2.1: Wankel motoru**

### 2.1.Wankel Motorların Çalışma Prensibi

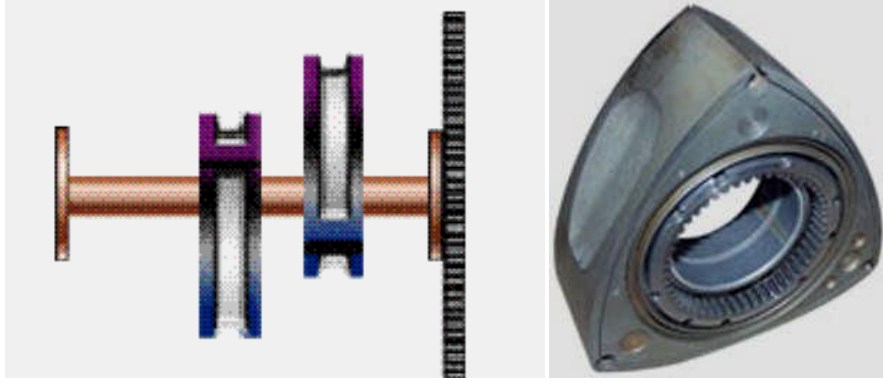
Wankel (Döner pistonlu) motorunun kullanışlı oluşunun en önemli sebebi mekanik olarak imalatının kolaylığıdır.

Motorun hareketli olarak iki kısmı vardır:

- Döner piston (rotor)
- Krank mili (eksantrik)

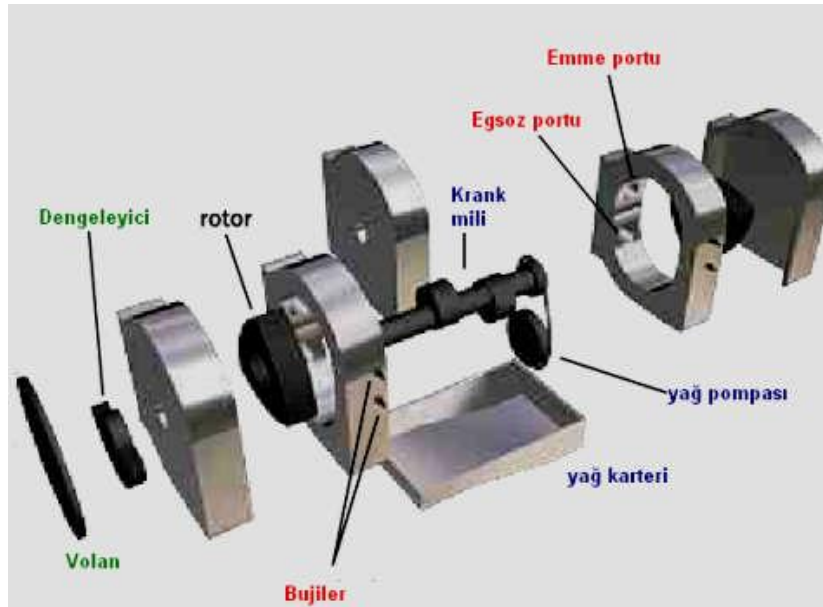
Döner piston; krank mili üzerinde döner. Krank mili, bir nokta yani merkeze göre dairesel hareketle dönmesine karşılık; üzerinde hareket eden döner piston silindir içerisinde eliptik bir hareket ile döner. Bu motorlarda supap mekanizması ve supap mekanizmasına hareket veren eksantrik (kam) mili yoktur. Emme ve egzoz supapları olmamasına rağmen motorun emme zamanında temiz hava ve yakıt karışımı hava giriş geçitlerinden (portları) girer ve yanma sonundaki zehirli gazlar, egzoz portundan atmosfere çıkar. Döner pistonlar üzerinde elde edilen güç, krank mili vasıtası ile vites kutusuna geçer. Döner pistonun içindeki dişliler, krank mili üzerindeki dişlilerle birlikte döner. Resim 2.2’de rotor görülmektedir.





**Resim 2.2: Rotor yandan ve önden görünüşü**

Pistonla gövde arasındaki izafi hareket redüksiyon oranı  $2/3$  olan bir çift iç ve dış dişli ile temin edilmektedir. Resim 2.2’de gösterilmiş bulunan bu dişlilerden küçük ve dış dişli olanı gövde üzerinde ve sabit; iç dişli ise pistonla beraber dönmekte ve gövde üzerindeki sabit dişli üzerinde yuvarlanmaktadır. Buna göre eksantrik mili aynı zamanda pistonu yatak vazifesi görmektedir. Eksantrik mili, bir devir döndüğü zaman piston, eksantrik miline nazaran  $120^\circ$  dönmektedir. Buna göre pistonun gövdeye nazaran bir devir dönüp yanma odasında cereyan eden olayların periyodunu tamamlaması için eksantrik milinin 3 defa dönmesi gerekir. Yani bir iş elde edebilmek için eksantrik mili dişlisi, dıştaki dişli etrafında  $3 \times 120^\circ = 360^\circ$  dönmelidir. Resim 2.3’te Wankel motorunun komple parçaları görülmektedir.



**Resim 2.3: Wankel motor parçaları**

Pistonun her devrinde yanma odalarındaki iş çevrimlerinin tamamlanmış olması nedeniyle, bu motora zaman bakımından bir isim vermek gerekirse iki zamanlı demek gerekir. Ancak yanma odalarındaki olayların her birisi yani emme, sıkıştırma, ateşleme ve egzoz eşit açılar işgal etmektedir. Buna göre klasik pistonlu motorlara benzer olarak, bu motora dört zamanlı

demek gerekirdi. Zaten ne olursa olsun bu motorda pistonla ve eksantrik miline ait olmak üzere iki devir sayısı tarif etmek mümkündür. İş; eksantrik milinden alındığına göre ve dışarıya sadece bu milin uçları çıktığına göre eksantrik mili devir sayısının mukayese için kullanılması daha uygun olacaktır.



**Resim 2.4: Wankel motorunun kesit resmi**

## **2.2. Motor Çalışma Zamanları**

Döner pistonlu motorlarda da dört zamanlı pistonlu motorların çalışma prensibi uygulanmaktadır. Pistonlu motorlarda bulunan alt ölü nokta ile üst ölü nokta arasında pistonun kat ettiği yola strok denilmektedir. Ancak bu motorlarda piston olmadığı için bu motorlara 4 zamanlı (stroklı) motor yerine, 4 fazlı motor da denilmektedir.

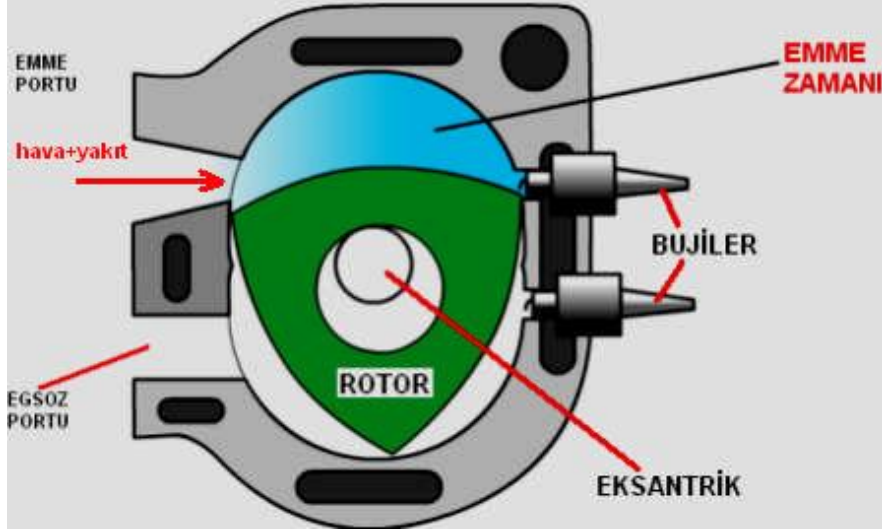
Wankel motorlarında zamanlar:

- 1. zaman: Emme,
- 2. zaman: Kompresyon (sıkıştırma),
- 3. zaman: Ateşleme (iş),
- 4. zaman: Egzoz olarak isimlendirilmektedir.

Bu motorlarda döner piston, motor bloğu içinde yaptığı bir dönme hareketi ile dört zamanı tamamlar. Fakat döner piston üzerinde 120°'lik açı farkı ile üç ateşleme yüzeyi vardır. Yani döner piston, bir devrini tamamladığında emme, sıkıştırma, ateşleme zamanlarını yapar. Böylece bu çalışma prensibi ile az hacimde, çok güç elde edebilmektedir.

### **2.2.1. Emme Zamanı**

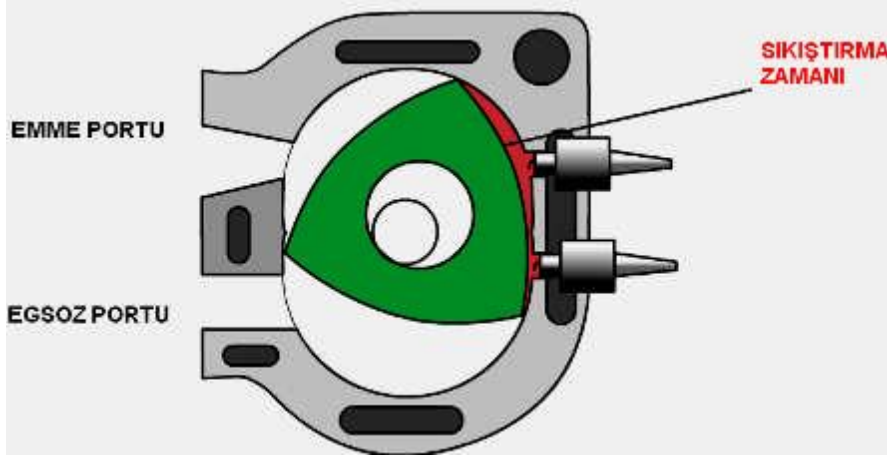
İçten yanmalı motorlarda olduğu gibi emme zamanında hava yakıt karışımı silindir içerisine emme portundan alınır. Şekil 2.1'de emme zamanı görülmektedir.



Şekil 2.1: Emme zamanı

### 2.2.2.Sıkıştırma Zamanı

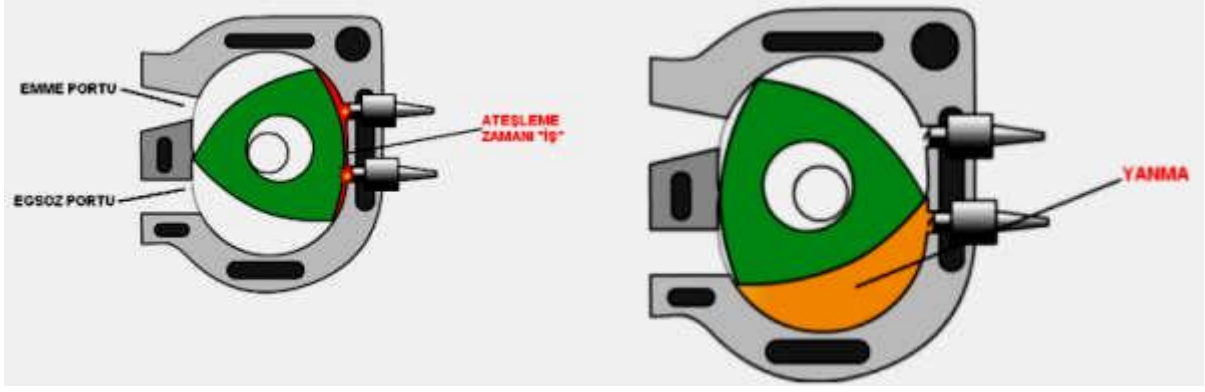
Bu zamanda içeri alınan yakıt-hava karışımı, rotorun iki ucu tarafından silindir yüzeyine sıkıştırılarak basıncı yükseltilir. Rotor döndükçe silindir içerisindeki karışımı sıkıştırır ve dolguyu ateşlemeye hazır hâle getirir. Şekil 2.2’de hava-yakıt karışımının sıkıştırma zamanı görülmektedir.



Şekil 2.2: Sıkıştırma zamanı

### 2.2.3 Ateşleme (İş) Zamanı

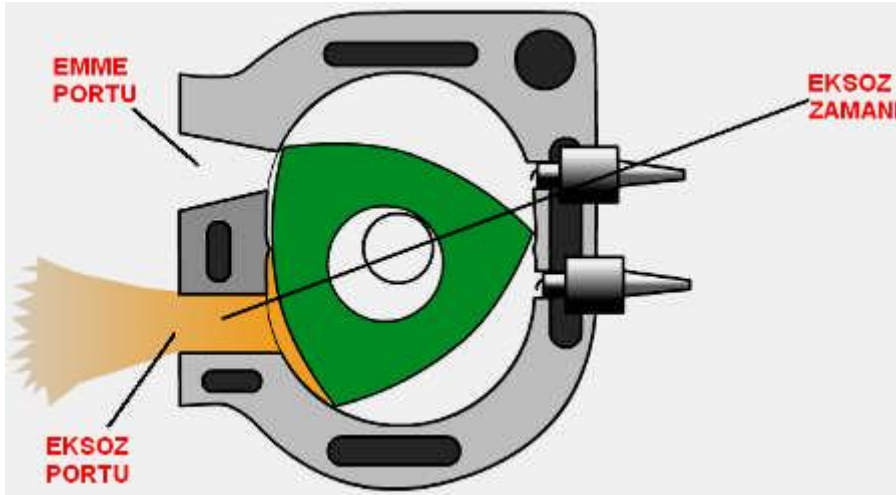
Sıkıştırılan hava-yakıt karışımı, bujiler tarafından ateşlenerek yanma olayı gerçekleşir. Yanmayla birlikte oluşan genişleme ve basınç dalgası ile rotor dönmeye başlar ve bu sayede istenilen güç sağlanmış olur. Şekil 2.3’te ateşleme zamanı ve motor içerisindeki yanma olayı görülmektedir.



**Şekil 2.3: Ateşleme (iş) zamanı**

### 2.2.3. Egzoz Zamanı

Egzoz zamanında hava-yakıt karışımının yanması sonucu meydana gelen yanmış gazlar, egzoz portu üzerinden, egzoz manifoldu ve borular aracılığıyla atmosfere gönderilir. Bu esnada rotorun bir ucu egzoz gazların dışarı gönderirken, diğer ucu emme portunu kapatmaktadır. Şekil 2.4'te egzoz zamanında motorun iç kısmı görülmektedir.



**Şekil 2.4: Egzoz zamanı**

### 2.3.Wankel Motorların Avantaj ve Dezavantajları

Wankel motorun bazı avantajları olmasına rağmen halen giderilmeyi bekleyen birçok dezavantajı bulunmaktadır.

Bu dezavantajları şu şekilde sıralayabiliriz:

- Bu zorlukların içerisinde en önemlisi yanma (ateşleme) odasının sızdırmazlık durumudur. Çünkü normal pistonlu motorlarda yuvarlak piston üzerinde yine yuvarlak segmanlar ile kompresyonun kartere kaçması önlenirken ateşleme odasının sızdırmazlığı ise silindir kapağının, silindir gövdesine özel conta ve civatalarla sıkılmasıyla sağlanır. Fakat döner pistonlu motorlarda ise döner pistonun her 120°deki pistonun ucunda ve döner pistonun yan yüzeylerinde kompresyonun sızması en önemli problemdir. Bunun yanında döner pistonun

(rotor) yağlanması esnasında yağın ateşleme hücresine kaçmaması için özel yağ keçelerinin veya yağ segmanların bulunması lazımdır. Döner pistonlu motorun sızdırmazlık sağlayan segman, keçelerinin toplamı normal pistonlu motorlarınkinden daha azdır. Fakat bu motorların yapısı ve verimliliğini sağlayan keçelerin, segmanların imalatı daha zor ve pahalıdır.

□ Wankel motorun önemli sorunlarından birisi olan gürültülü çalışma rotorun hızla açılan egzoz portu önünden kayarak geçmesiyle oluşmaktadır. Ancak bazı wankel motorlarında kullanılan egzoz sistemi ile ses dalgalarının dağıtılmasıyla egzozun ses tonu geliştirilmiştir.

□ Döner pistonlu motorlarda önemli problemlerden biriside sıkıştırılmış yakıtı hava karışımının ateşleme hücresinde iki kademe art arda yanma yaparak ısı ve basınç dalgasının bujiler üzerinden egzoz portlarına doğru akması esnasında malzeme üzerinde istenmeyen fazla ısının kalmasıdır. Her ne kadar emme portları yönünden ateşleme odasına temiz ve soğuk bir hava akımı girdiği zaman soğutmaya yardımcı oluyorsa da, yine de silindir ve döner piston üzerinde kalan istenmeyen sıcaklık malzemelerin aşırı derecede genişlemesine sebep olduğundan bu malzemelerin sızdırmazlık sağlamasında büyük güçlükler meydana getirmektedir.

□ İçten yanmalı motorların 100 yılı aşkın süredir kullanılıyor olmasından dolayı, sürekli geliştirilerek bugün bu motorlar üzerine yaygın bir tecrübenin bulunması alternatif motorların rekabet gücünü azaltan ve büyük bir dezavantaj oluşturan en mühim etkidir.

Wankel motorunun avantajları ise şu şekilde sıralanabilir:

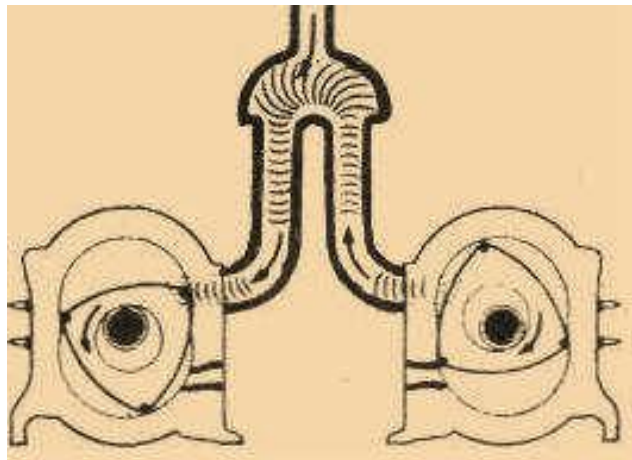
□ Döner pistonlu motorlarda kompresyon (sıkıştırma oranı); diğer pistonlu motorlara nazaran daha yüksek olup ateşleme sonunda yüksek basınçlı alev kat ettiği yol da daha uzundur. Bunun için her ateşlemede daha fazla yanma gücü elde edilir. Bu motorlarda ateşleme odası iki kısımlı olup, ikinci kısım yanma hücresi daha küçüktür. Böylece ateşleme hücresinin birinci kısmında başlayan yanma, ikinci kısımda daha dar bir ateşleme hücresine girince yanma basıncı daha yüksek bir değere çıkar ve bu anda alev dalgası türbülans şeklinde döner pistonun yüzeyine basınç yaparak dönme hareketini sağlar.

□ Döner pistonlu motorlar, çeşitli oktan sayılı benzinlere ve farklı özellikteki yakıtlara göre değişik kompresyonlara uygun imal edilebildiklerinden her türlü yakıtla kullanılabilir.

□ Bu motorların bazı eksikleri giderildiğinde yüksek hızlar ve torkların elde edilmesi daha kolay olacaktır. Çünkü içten yanmalı motorlara nazaran ağırlıklar dolayısıyla meydana gelen atalet kuvvetleri daha azdır.

## 2.4.Wankel Motorun Karakteristikleri

Wankel motorlar hız, tork, performans gibi karakteristikler yönünden, içten yanmalı motorlarla karşılaştırıldığında birçok üstünlüğe sahiptir. Çünkü bu motorların ağırlıkları daha az ve direkt olarak dairesel hareket üretilmektedir. Bu sebeple motor milinden az yakıtla daha çok güç alınabilmektedir. Ancak rotor kısmındaki yağ ve kompresyon segmanlarının yetersizliği sebebiyle oluşan kaçakların engellenememesi büyük dezavantajlar oluşturmaktadır. Malzeme teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte ve hidrojen enerjisinin taşıtlarda kullanılmasıyla wankel motorların tekrardan taşıtlarda kullanılması düşünülecektir. Motorda rotor başına üç adet emme girişi bulunmaktadır. Dinamik etkili emme sistemi ile bir rotorun basınç dalgalarını diğerinin doldurulmasında kullanmakta ve her rotor için çift yakıt enjektörü bulunmaktadır. Yeni döküm teknikleri ile rotorların ağırlığı % 14 oranında hafifletilirken, daha ince üç parçalı apex contalar ile sızdırmazlık ve sürtünme azaltılmaktadır. Ayrıca rotor muhafazalarının delikli krom yüzeyi de sızdırmazlığa katkıda bulunmaktadır. Wankel motorda egzoz portundaki çok odalı kısım motorun ses yoğunluğunu kontrol amacıyla tasarlanmıştır. Wankel motorun önemli sorunlarından birisi olan gürültülü çalışma rotorun hızla açılan egzoz portu önünden kayarak geçmesiyle oluşmaktadır. Ancak ses dalgalarının dağıtılmasıyla egzozun ses tonu geliştirilmiştir. Wankel motorlarında dinamik etkili emme sistemi ile motora eklenen turbo kompresörle güç artışı sağlanabilmektedir. İki salyangoza sahip turbo ve intercooler ile normal motora oranla daha fazla tork elde edilmektedir. Egzozda primer ve sekonder (daha geniş) olmak üzere iki adet port bulunmaktadır. Emme vakumu, geniş olan sekonder portu düşük devirde kapalı tutarak egzoz portundan gelen sıcak hava ile dışarıdan gelen havayı ısıtmaktadır. Şekil 2.5'te wankel motorunda turbo sistemi görülmektedir.

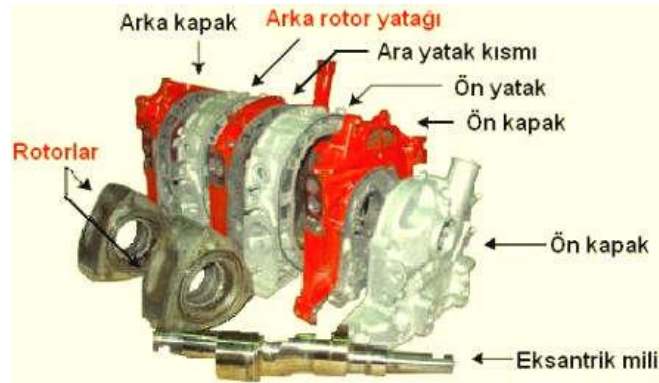


Şekil 2.5: Wankel motorunda turbo sistemi

Hidrojen geleceğe damgasını vuracak bir alternatif yakıttır. Hidrojenin yararlı olarak kullanılmasını sağlayacak motorlar da geleceğin motorları olarak görülen Wankel motorlarının olabileceği düşünülmektedir. Wankel rotorlarının döndüğü odacık içerisinde hareketli bir yanma hacmi meydana gelmekte ve diğer motorlara oranla daha fazla olan yüzey alanı ortaya çıkan ısıyı dağıtmaktadır. Wankel emme, kompresyon, genişleme ve egzoz bölgelerinin birbirinden farklı olması sonucu hidrojenin hızlı hareket eden alevi hiçbir problem yaratmamaktadır. Wankel motoru ile hidrojenin birbirine çok uygun olduğunu düşünmektedir. Wankel motor, hidrojen kullanımına yatkındır.

## 2.5 .Wankel Motorların Bakımları

Bu motorlar, geçmiş yıllarda sadece iki araç modelinde kullanıldıktan sonra engellenemeyen dezavantajları yüzünden üretimden kaldırılmıştır. Bu zorlukların en önemlisi, ateşleme odasını sızdırmazlık durumudur. Çünkü normal pistonlu motorlarda yuvarlak piston üzerinde yine yuvarlak segmanlar ile kompresyonun kartere kaçması önlenirken ateşleme odasının sızdırmazlığı ise silindir kapağı ile silindir gövdesi arasına özel conta ve civata sıkılarak sağlanır. Fakat döner pistonlu motorlarda ise döner pistonun her 120°'deki pistonun ucunda ve döner pistonun yan yüzeylerinde kompresyonu tutacak sızdırmazlık en önemli problemdir. Bunun yanında döner pistonun (rotor) yağlanması esnasında yağın ateşleme hücrelerine kaçmaması için özel yağ keçelerinin veya yağ segmanların bulunması lazımdır. Bu motorlarda ateşleme sistemi, yakıt sistemi ve aktarma organları pistonlu içten yanmalı motorlarla aynı özelliklere sahiptir. Resim 2.5'te bir Wankel motorun sökülmüş halde parçaları görülmektedir.



**Resim 2.5: Wankel motor sökülmüş halde parçaları**

### **3. ELEKTRİKLİ HİBRİD MOTORLAR**

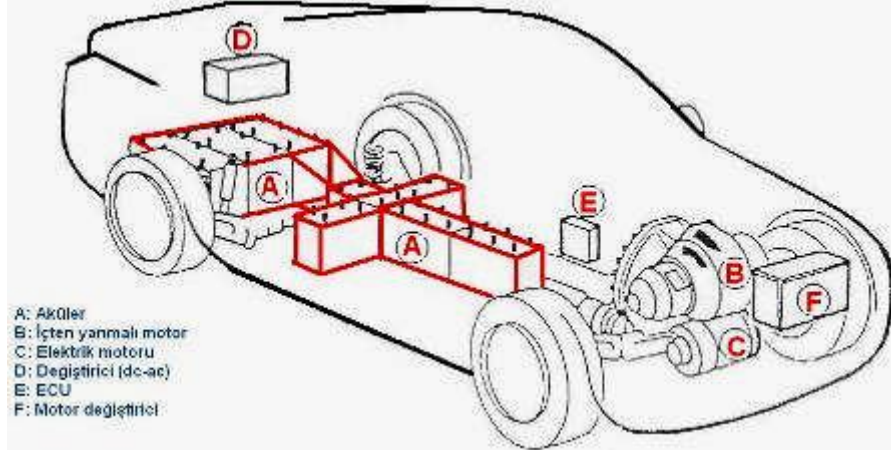
Hibrid motorlarla ilgili ilk çalışmalar 20. yüzyılın başlarına 1905 yılına gitmektedir. Bir Amerikalı mühendis olan H. Piper; 23 Kasım 1905'te önce hibrid taşıtını bir patent için düzenledi. Taşıtı 10 saniyede 25 mile (40 km/h) ivmelenebilmiştir. Piper bugün standart hibrid taşıt olarak bilinen bir elektrik motoru ve bir benzin motorundan oluşan sistem ile bunu gerçekleştirdi. Ancak içten yanmalı motorlarla mücadele edememiştir. 1970'lerde petrol krizinin gerçekleşmesinden önce geçen 50 yıl çeşitli deneysel hibrid taşıtlarının üretilmesine önderlik etmiştir. Daha sonra petrol kaynaklarının azalması ve çevre kirliliğine karşı önlem alınmasıyla birlikte 1990'larda hibrid teknolojileri üzerinde temel çalışmalar başlatılmıştır. Halen tüm gelişmiş ülkelerde araştırmalar devam etmektedir.

#### **3.1. Elektrikli Hybrid Motorların Çalışma Prensipleri**

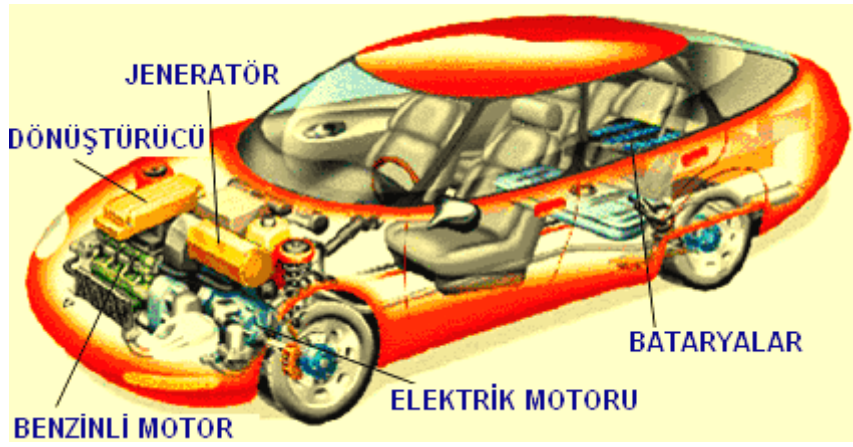
Elektrikli taşıtların menzillerinin kısa oluşu hibrid taşıtları gündeme getirmiştir. Bir elektrik motoru yardımcı güç ünitesi olarak içten yanmalı motor ile birlikte kullanılmak suretiyle menzili artırılmıştır. Yardımcı güç ünitesi olarak benzinli, dizel, sıvı petrol gazlı, doğal gazlı bir içten yanmalı motor kullanılabilirdiği gibi; gaz türbini veya jeneratör de kullanılabilir. İçten yanmalı motor genellikle taşıt üzerindeki aküleri şarj etmek için kullanılmaktadır. Ayrıca şehir içi kullanımlarda düşük hızlarda ve daha az egzoz emisyonu sağlamak için elektrik motoru ile hareket edilirken, yüksek hızlarda ve şehir dışı mekânlarda içten yanmalı motorla hareket sağlanmaktadır. Şekil 3.1 ve 3.2'de elektrikli hibrid taşıtın genel yapısı görülmektedir.

Bu tip taşıtlarda şoför, taşıt hareketinin elektrikle, yardımcı güç ünitesi ile veya her ikisini birlikte kullanarak sağlanmasını seçebilmektedir. Bu sisteme elektrikli hibrid taşıt adı verilmektedir. Ancak hibrid tahrikli taşıtlar; elektrikli taşıtın bazı dezavantajlarını azaltmak amacıyla elektrikli taşıta geçiş aşaması olarak düşünülmüş ve geliştirme aşamasında olup, yardımcı güç ünitesinin (içten yanmalı motor) emisyonlarının azaltılmasına çalışılmaktadır. Ayrıca bu taşıtlarda, iki güç ünitesinin olması maliyeti artırmaktadır. Bu tip taşıtlarda sürücü; taşıt hareketinin elektrikle, yardımcı güç ünitesi ile veya her ikisini birlikte kullanarak sağlanmasını seçebilmektedir. Bu sisteme elektrikli hibrid taşıt adı verilmektedir. Ancak hibrid tahrikli taşıtlar; elektrikli taşıdın bazı dezavantajlarını azaltmak amacıyla elektrikli taşıta geçiş aşaması olarak düşünülmüş ve geliştirme aşamasında olup, yardımcı güç ünitesinin (içten yanmalı motor) emisyonlarının azaltılmasına çalışılmaktadır. Ayrıca bu taşıtlarda iki güç ünitesinin olması maliyeti artırmaktadır.





**Şekil 3.1: Hibrid taşıtın genel yapısı**



**Şekil 3.2: Hibrid bir taşıt**

### 3.2. Elektrikli Hibrid Motorların Avantaj ve Dezavantajları

Elektrikli hibrid motorların, içten yanmalı motorlara kıyasla birçok avantajı olmasına rağmen, geliştirme aşamasında oldukları için birtakım dezavantaj ve problemleri bulunmaktadır.

Elektrikli hibrid motorun avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz;

- Çevreyi daha az kirletir, yani egzoz emisyonunun daha düşük seviyededir.
- Yakıt tüketimi yönünden daha ekonomiktir. Bir depo yakıt ile gidebileceği mesafe içten yanmalı ve elektrikli motorlu taşıtlara göre daha fazladır.
- Motor boyutlarına göre araca yerleştirilişi en uç noktalara değil; ortaya ve yanlara olduğundan araç dengesi daha iyi sağlanabilmektedir.
- Elektrik motoru ilk harekete geçiş ve hızlanma karakteristikleri yönünden, içten yanmalı motora göre daha avantajlıdır.
- Elektrik motoruyla kullanımda çok sessiz çalışma sağlanır.
- Ülke ekonomisinin dışa bağımlılığını azaltır. Elektrikli hibrid motorun dezavantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz:

- İçten yanmalı motora göre daha pahalıdır.

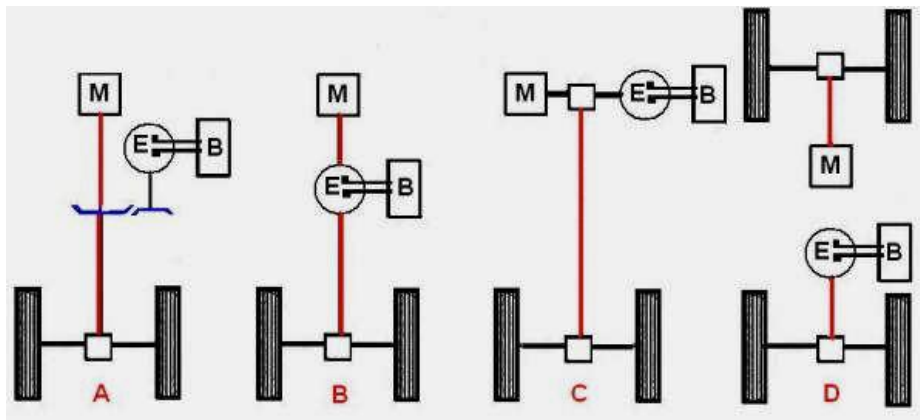
- Motordan bağımsız şarj süreleri uzun sürmektedir.
- Bu tip taşıtlar direkt olarak havayı kirletmemelerine rağmen, yeniden şarj edilebilmeleri için gerekli enerji termik santrallerden sağlandığı için, fosil yakıtlarından dolayı, santrallerden yayılan sülfüroksit ve karbondioksit miktarlarında artma olmaktadır. Kısacası dolaylı olarak hava kirliliği devam etmektedir.
- Elektrikli taşıtların en büyük dezavantajı menzillerinin kısa oluşudur. Akünün fiziksel durumu ve taşıdım çalışma koşulları menzil üzerinde etkili olmaktadır.
- Akü ömrünün kısa olması ve ağırlıklarının fazla olması nedeniyle geliştirme çalışmaları devam etmektedir.
- Elektrik motoruyla kullanımda yüksek hız ve yüksek tork elde edilememektedir.

### 3.3. Elektrikli Hybrid Motorların Türleri

Bu sistemde tahrik için kullanılan elektrik motoru ile içten yanmalı motorun birbiri ile bağlantı şekline göre paralel hibrid tahrik sistemi ve seri hibrid tahrik sistemi olarak ikiye ayrılır.

#### 3.3.1. Paralel Hibrid Tahrik Sistemi

Bu sistemde elektrik motoru ile içten yanmalı motor birbirine paralel olacak şekilde bağlanmıştır. Paralel sistemde taşıtı tahrik etmek için gerekli olan gücün ( $P_{max}$ ) yarısı elektrik motorunda, diğer yarısı da içten yanmalı motorda üretilecek şekilde tasarlanmıştır. Seri sistemde aynı koşullarda elektrikli ve içten yanmalı motorunda üretilecek güç, aracı tahrik etmek için gerekli olan gücün iki katı ( $2P_{max}$ ) olması gerekir. Çünkü seri hibrid tahrik sisteminde ayrıca bir jeneratöre gerek vardır. Jeneratör, içten yanmalı motordan aldığı mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirir. Paralel motorda elektrik motoru, jeneratör görevi yaparak aküyü şarj eder. Paralel sistem, bunun yanı sıra jeneratör olmadığı için ağırlık ve maliyet yönünden de avantajlıdır. Ayrıca paralel sistemde içten yanmalı motordan alınan tahrik gücü direkt tahrik aksa iletiğinden enerji kaybı ve yakıt tüketimi de azdır.

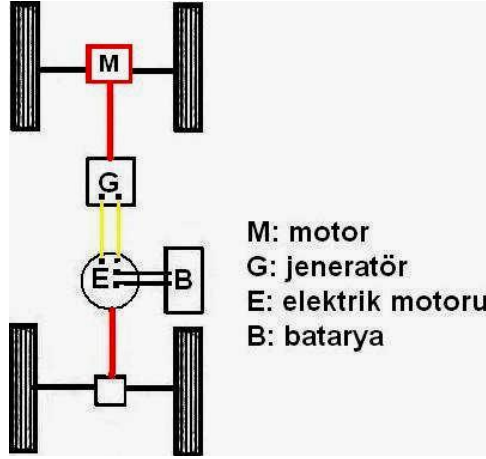


Şekil 3.3: Paralel hibrid sistemleri

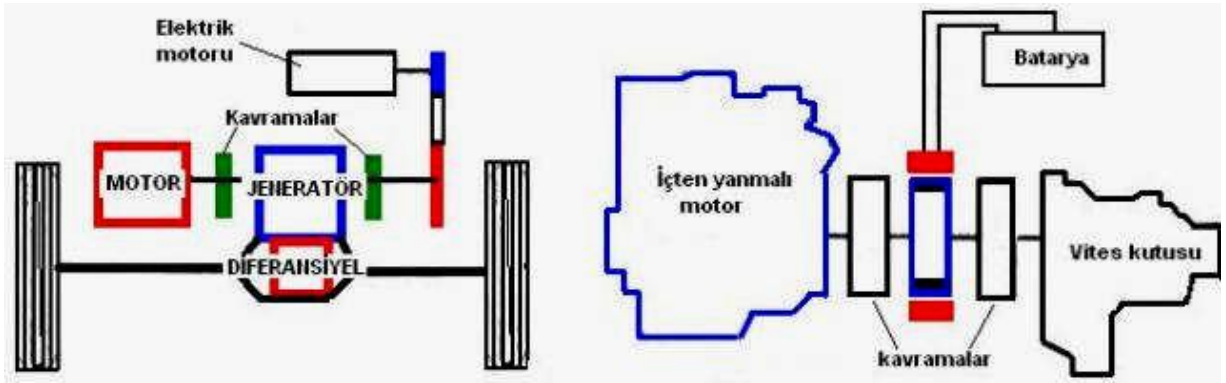
Şekil 2.3'te içten yanmalı motor ve elektrik motorunun değişik biçiminde birleştirildiği paralel hibrid tahrik sistemleri şematik olarak görülmektedir. Şekil 3.3.A'da içten yanmalı motor ve elektrik motoru için ayrı ayrı şaft kullanılmıştır. Şekil 3.3.B'de içten yanmalı motor ve elektrik motoru tek bir şafta birleştirilmiştir. Şekil 3.3.C'de iki motor bir vites kutusu ile birleştirilmiştir. Gerekli güç iki motorun dönme hareketinin araya yerleştiren bir vites kutusu ile birleştirilmesi sayesinde elde edilir. Sistemde hız paylaşımında esneklik söz konusu olduğu için gerekli tork karakteristiği her iki güç kaynağı için de aynı olmalıdır. Şekil 3.3.D'deki içten yanmalı motor ve elektrik motorunun birbirine mekanik bağlantısı yoktur. Elektrik motoru, arka aksı; içten yanmalı motor ise ön aksı tahrik etmektedir.

### **3.3.2. Seri Hibrid Tahrik Sistemleri**

Seri hibrid tahrik sistemi; içten yanmalı motor, elektrik motoru ve jeneratör olmak üzere üç ana kısımdan oluşur. İçten yanmalı motor tarafından oluşturulan mekanik enerji, jeneratör tarafından elektrik enerjisine dönüştürülerek elektrik motoru çalıştırılır ve tahrik (hareket) sağlanır. Bu sistemde enerji dönüşümleri sırasında meydana gelen kayıplardan dolayı verim düşüktür. Sistemin avantajı, düşük emisyon ve yüksek verim amacına göre içten yanmalı motorun değişik çalışma koşullarına adapte edilebilmesidir. Fakat dizaynından dolayı sistemin toplam verimi, paralel sisteme göre daha düşüktür. Seri sistemde tahrik aksından maksimum hız için istenilen güç ( $P_{max}$ ); elektrik motorunun, içten yanmalı motorun ve jeneratörün ürettiği gücünün toplamıdır. Bu da toplam gerekli gücün 3  $P_{max}$  olması demektir ve bu sebeple güçten büyük bir kayıp söz konusudur. Seri hibrid tahrik sistemi; vites kutusu, içten yanmalı motor ve jeneratörün birbirleri ile birleştirilmesiyle taşıtlarda kullanılabilir. Bu üniteler arasında uyumu sağlamak, yüksek hız jeneratörlerinin içten yanmalı motorlarla manyetik olarak birleşmeleri ile sağlanabilir. Enerji kaybının fazla oluşu ve aracın pahalı ve de ağır oluşu bu sistemi cazip hâle getirmemektedir. Seri hibrid düzeneğine sahip olan aracın 220V'luk şehir elektrik voltajı ile şarj edilen akülerle elektrik motoru çalıştırılır. Motor ve jeneratör şehir içi için yeterlidir ve batarya boşaldığı an devreye girerek şarj edilir. Böylece aracın menzili artırılmış olur. Bu tip araçlar günlük 40 kilometreden daha az olan yolculuklar için uygun olabilmektedir. Şekil 3.4 ve şekil 3.5'te seri hibrid düzeneği ve içten yanmalı motorla birleştirme şekilleri görülmektedir.



Şekil 3.4: Seri hibrid sistemi



Şekil 3.5: Seri hibrid sisteminin yerleşimi

### 3.4. Elektrikli Hibrid Taşıtlarda Kullanılan Elektrik Motor Tipleri

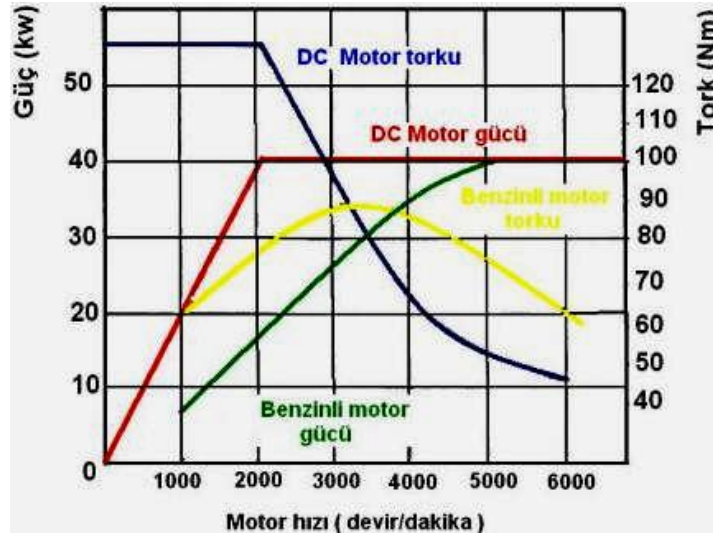
Taşıtlarda kullanılan motorlardan yüksek randıman, uzun ömür, havaya kirletici madde yaymaması istenilmektedir. Kullanılan elektrik motorunun; stator (sabit) ve rotor (hareketli) olmak üzere iki esas parçası vardır. Bakır sargılar oluşan stator silindir biçiminde olup sargılardan akım geçirilmesiyle elektromanyetik indükleme oluşturularak rotoru harekete geçirir. Elektrik motorunda sürtünen parçalar az olduğu için çalışması sessizdir ve aşınma olmaz. Bu sistemde verim kaybı da sadece dişli çark sisteminden oluşmaktadır.

Taşıtlarda kullanılan elektrik motorları;

- Doğru akım (DC) motoru (çift fazlı)
- Alternatif akım (AC) motoru (üç fazlı) olarak iki tiptir.

Son zamanlarda geliştirilen prototiplerde DC motor yerine AC motor kullanılmaktadır. Ancak her iki tipte de avantajlar ve dezavantajlar vardır. Firmaların yaptığı açıklamalara göre AC motor daha hafif, verimi daha yüksek ve daha az bakım gerektirir. Aynı zamanda AC motorun şanzıman ve akslara daha kolay birleştirildiği açıklanmaktadır. Fakat AC motorlarda ayrı bir kontrol ünitesine gerek vardır. DC motorda akım, iki fazlı olduğundan anahtarlar ile kontrol edilebilmektedir. Ayrıca AC motorun kontrol ünitesi DC motorun kontrol ünitesine göre

oldukça pahalıdır. Bu sebeplerle bazı firmalar DC motoru tercih etmektedir. Aşağıdaki grafikte, benzinli motorla elektrikli motorun temel karakteristikleri karşılaştırılmaktadır.



**Grafik 3.1: Doğru akım (DC) elektrik motoru ve benzin motorunun tork ve güç eğrilerinin karşılaştırılması**

Grafik 3.1’de görüldüğü gibi içten yanmalı motor ile elektrik motorunun tork karakteristiği birbirinden tamamen farklıdır. Bu sebepten dolayı çekiş gücü için büyük avantaj olan elektrik motorunun düşük devirdeki yüksek torkunun kullanılması imkânsızdır.

### 3.5. Elektrikli Hybrid Taşıtlarda Kullanılan Aküler

#### 3.5.1. Nikel Metal Hidrit Aküsü

Ovenic Batery firmasını 1993 yılında yaptığı açıklamaya göre geliştirilen nikel metal hidrit akü (NİMH), tahmini olarak 500 defa yeniden şarj edilerek taşıta 200 bin kilometre menzil kazandırmaktadır. Proje Amerikan Elektrikli Taşıt Batarya Araştırma Kuruluşu (USABC) tarafından da desteklenmiştir. Akünün performansı, negatif elektrodun geliştirilmesiyle elde edilmiştir. Negatif elektrot hidrojeni kolaylıkla absorpsiyon eden metal hidrit alaşımıdır. Pozitif elektrot nikel hidroksittir. Elektrolit ise elektronların hareketini kolaylaştıran potasyum hidroksittir. Akü şarj edilirken suyla zengin olan elektrolit içerisinde su, hidrojen ve hidroksil iyonlarına ayrılır. Hidrojenin negatif elektrot tarafından absorpsiyonu ile bu elektrot metal halden metal hidrit hale geçer. Aynı zamanda hidroksil iyonları, nikel hidroksit olan pozitif elektroda doğru hareket ederek onu nikel oksihidroksit’e dönüştürür. Akülerin boşalması sırasında; hidrojen negatif iyondan, hidroksil iyonları da pozitif elektrottan ayrılır. Hidrojen ve hidroksil iyonları elektrolit içerisinde birleşerek su oluştururken açığa bir elektron çıkar. Bu elektronla taşıdın tahriki için gerekli elektrik enerjisi elde edilmiş olur. ABD’de ödül alan bu akünün özgül enerjisi 150 Wh/kg’dır. Taşıtın menzili ise 368-400 km arasındadır.

### **3.5.2. Kurşun-Asit Aküsü**

Elektrikli taşıtlar için en çok geliştirilmeye çalışılan akü tipidir. Bu aküde negatif elektrot kurşun, pozitif elektrot kurşun oksit ve kullanılan elektrolit de sülfürik asittir. Akünün %80'i kullanıldıktan sonra şarj edilmesi gerekir. 300 kez şarj edilebilen akünün şarj süre 6-8 saattir. Akülerin fazla bakım gerektirmemesi ve kullanım sırasında gaz çıkarmaması da avantaj sayılır. Günümüzde Fransa'da 1000 kadar taşıtta kurşun-asit aküsü kullanılmaktadır. Tek şarjda 160 km'ye kadar menzil sağlayan akülerin toplam menzili 50.000 km'ye kadar çıkmakta olup fiyatları da diğerlerine göre uygundur.

### **3.5.3. Lityum Polimer Aküsü**

Geliştirilmekte olan ve dikkat çekici avantajlara sahip olan lityum polimer aküsünde sıvı elektrolit yerine, katı esnek polimer elektrolitler kullanılmaktadır. Böylece sıvı elektrolitli akülerde görülen korozif etkiler açığa çıkan gazların havalandırılması ve akü kabının sağlamlığını gerektiren dezavantajlar da ortadan kaldırılmaktadır. ABD'de birçok firma tarafından geliştirme çalışmaları süren bu akülerin çalışmaları (USABC) tarafından desteklenmektedir.

### **3.5.4. Alüminyum Hava Aküsü**

Alupower Kanada ve Unique Mobility şirketleri tarafından geliştirilen akü; alüminyum ve havadaki oksijenin kimyasal bir reaksiyona girmesi sonucunda elektrik üretir. Elektrik alüminyumun okside olması ile elde edilir. Alüminyum anot, hava ise katot görevi yapar. Reaksiyon için elektrolit de kullanılır. Reaksiyon için gerekli oksijen, akü çevresinde meydana getirilen hava akımı tarafından sağlanır. Alüminyum plakalar tükendiğinde yenisi takılarak yeniden elektrolit doldurulur. Sistem ömrü yaklaşık 10 yıl olup, 350 Wh/kg gibi yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmasına rağmen güç yoğunluğu düşüktür. Bu yüzden alüminyum hava aküsü, kurşun asit aküsü gibi başka bir güç kaynağı ile birlikte kullanılmaktadır. Alupower firması 48 adet alüminyum hava aküsünü, 18 adet 6 voltluk kurşun asit aküsü ile birleştirerek 60 kW'lık DC motoru tahrik eden bir enerji sistemi oluşturdu. Chrysler marka mini van'a uygulanan sistem ile taşıtın menzili 80 km'den 305 km'ye çıkarmıştır. Taşıtın hızı 100km/h'dir. Sistem kısa mesafelerde kurşun asit aküsü ile uzun mesafede alüminyum hava akülerini devreye sokarak tahrik edilmektedir.

### **3.5.5. Lityum Hava Aküsü**

Enerji yoğunluğu benzine göre 3 kat fazla olan bu akülerin şehir içi menzili 640 km, şehirlerarasında ise 1600 km'dir. Bu tip akülerin yapısı çok karmaşık olup, yeniden şarj edilemezler. Lityumun hava ile reaksiyona girerek lityum karbonat oluşturması ile elektrik elde edilir. Bu akünün yeniden kullanılabilir hâle gelmesi, lityum karbonatın alınarak yerine

yeniden lityum konulması ile olmaktadır. Lityum karbonat birtakım elektriksel işlemle lityuma dönüştürülebilir.

### **3.5.6. Çinko Aküsü**

Bu aküler sayesinde kurşun asit aküsü kullanılan taşıtların menzilleri iki katına kadar çıkarılabilmektedir. Exxen firması hâlen geliştirme çalışmalarını sürdürmektedir.

### **3.5.7. Nikel Kadmiyum Aküsü**

Nikel kadmiyum (NİCD) aküleri, kurşun asit akülerine göre %40 daha fazla enerji yoğunluğuna sahiptir. Ancak kadmiyumun zehirli oluşu yeniden kullanımda güçlük oluşturmaktadır. Şarj süreleri çok kısa olup, taşıda 160-230 km menzil kazandırmaktadır.

### **3.5.8. Sodyum Sülfür Aküsü**

General Motor tarafından 60'lı yıllarda geliştirilmeye başlanan sodyum sülfür aküsünün geliştirilmesini 70'li yıllarda Ford Motor üstlendi. Kurşun asit akülerine göre 4 kat daha fazla enerji depolayabildiklerinden kullanımları yaygınlaşmıştır. Bu aküde sodyum, erimiş hâlde seramik elektrolit kaplar içerisinde bulunur. Sülfür bloklar seramik kaplar etrafına yerleştirilir ve bütün sistem alüminyum kutu içerisine yerleştirilerek kapatılır ve ısı yalıtımı yapılır. Erimiş hâldeki sülfür, pozitif elektrot; sodyum, negatif elektrot görevi yapmaktadır. Erimiş sodyumu konulduğu seramik beta alüminyum oksit kaplar, katı bir elektrolit görevi yaparak sodyum ve sülfürün birbirinden ayrı olmasını sağlar. Günümüzdeki piller gibi dizayn edilen bu aküler, çok miktarda seri ve paralel bağlanarak taşıdı tahrik için gerekli enerji elde edilir. Akünün kullanımı sırasında sodyum iyonları, sülfüre doğru hareket ederek sodyum sülfat oluşturur. Bu esnada açığa çıkan elektronlar sayesinde elektrik üretilir. Çalışma sıcaklığı 350-380oC'dir. Böylece iyonlar elektrolitten geçerken herhangi bir dirençle karşılaşmaz ve sodyum sülfatın erimiş halde bulunmasını sağlar. Çalışma sıcaklığının elde edilmesi için akü ısıtıcısına ihtiyaç vardır. Şarj süresi 4-5 saat olup, ömürleri kurşun asit aküsünden daha fazladır. Kolay bakım yapılabilmesi ve sıcaklığın tehlike oluşturmaması için yalıtmanın iyi yapılması gerekir. Sodyum sülfür aküsünün ömrü 160.000 km olup taşıda sağladığı menzil 280 km'dir. Ancak akünün yapımında kullanılan maddeler sağlığa zararlıdır. Yukarıda belirtilen sayısal değerler firmalara, kullanılan malzeme kalitesi ve batarya kapasitelerine göre değişiklik göstermektedir.

## **3.6. Elektrikli Hibrid Araçların Değerlendirmesi**

Aşağıdaki parametreler, bir elektrikli hibrid taşıdın kat edeceği mesafe ve sağlayacağı avantajlar bakımından önemlidir.

Akünün fiziksel durumu belirleyen parametreler:

- Akü sıcaklığı

- Akünün şarj durumu
- Akü özgül yoğunluğu, toplam akü ağırlığına oranı, yani güç yoğunluğudur.

Taşıt çalışma koşullarını belirleyen parametreler ise;

- Taşıt toplam ağırlığı
- Taşıt toplam hızı
- Taşıdın kaç kere durup-kalktığı
- Taşıt rüzgâr direnç kat sayısına bağlı olarak incelenmesi
- Yol durumu ve yol yapısının değişkenliğidir.

Elektrikli taşıt kullanımını gerekli kılan en büyük nedenlerden biri daha önce de belirtildiği gibi taşıtların çevre dostu niteliğidir. Elektrikli taşıt ve çevre ilişkisini ortaya koymak amacı ile bu konuda önder ülke konumundaki ABD’deki son verileri değerlendirilirse;

Kaliforniya hava kaynakları heyeti tarafından hava kirliliğini azaltan taşıtlar dört sınıfa ayrılırlar;

- Düşük emisyon geçiş taşıtları (Transitional low –emission vehicle, TLEV)
- Düşük emisyon oluşturan taşıtlar (Low emission vehicle, LEV)
- Çok düşük emisyon oluşturan taşıtlar (Ultra low – emission vehicle, ULEV)
- Sıfır emisyonlu taşıtlar (Zero emission vehicle, ZEV)

Tablo 3.1’de normal dizel taşıtla hibrid dizel taşıdın egzoz emisyon değerleri görülmektedir.

**Tablo 3.1: Dizel taşıtla hibrid taşıt emisyon değerleri**

Dışarı Atılan Gazlar	NO <sub>x</sub>	CO	HC
<b>Standart Dizel Taşıt</b>	<b>0,9 g/km</b>	<b>0,9g/km</b>	<b>0,18 g/km</b>
<b>Hibrid Dizel Taşıt</b>	<b>0,22g/km</b>	<b>0,4g/km</b>	<b>0,1 g/km</b>

### 3.6.1. Hibrid Taşıtların Performansı

Benzinli motorun ve jeneratör motorunun toplam gücü 50 KW (72 HP) kadardır. Özellikle düşük ve orta hızlarda taşıdın hareket torkunun çoğunu tahrik motoru sağlar ve içten yanmalı motor bir enerji kaynağı olarak çalışır. Bu tip bir taşıdın maksimum hızı 120 km/h kadardır. Tablo 3.2’de benzinli, elektrikli ve hibrid motorlu taşıtların ivmelenme yakıt tüketimleri ve diğer özelliklerinin karşılaştırılmaları görülmektedir. Burada hibrid taşıdın 0’dan 100 km/h’ye ve 400 m’yi kaç saniyede aldığı belirtilmektedir.



**Tablo 3.2: Farklı motorlara sahip taşıtların teknik özellikleri**

Özellikler	Elektrik Motoru	İçten Yanmalı Benzinli Motor	Hibrid Motor
<b>Yük (kg.)</b>	136	363	240
<b>Motor gücü (HP)</b>	30	70	72
<b>Bir dolun mesafesi</b>	79,2	450,5	150,1
<b>0-100 km/h</b>	21,3	19,5	17,2
<b>0-400 m Hızlanma</b>	36,3	35,3	20,4
<b>Yakıt maliyeti</b>	0,68	0,68	0,68
<b>Taşıt maliyeti</b>	5,18	3,50	5,52

### 3.6.2. Hibrid Taşıtların Verimi ve Yakıt Tüketimi

Günümüzde araçlarının çoğunun maksimum gücü 100 kW'tır. Fakat anayol ve şehir içi trafiğinde kullanılan ortalama güç gerçekte sadece 7,5 kW dolaylarındadır. Bu hafif yükte motor verimliliği %20 gibi düşük bir değerdedir. HEV (Hybrid Electrical Vehicle) taşıtında maksimum verimlilikte çalışan çok küçük bir motor bu küçük güç seviyesini üretir. Tekrar üretimli frenleme bu gibi durumlarda değişen yol, yük ve güç gibi ihtiyaçların karşılanması için taşıtın frenleme enerjisinin bir kısmını bataryaları yeniden şarj etmek için kullanılır. Alternatif motorlar klasik buji ile ateşlemeli motorlardan, hibrid güç freni verimlilik kazancını artırdığı için daha fazla verime sahiptir. Günümüzde hibrid motorlu araçların yakıt ekonomisi iki veya üç katına çıkarılarak taşıt yakıt ekonomisi önemli ölçüde artırılmıştır. Hibrid taşıtlar çok düşük petrol tüketim seviyelerine sahiptir. M 85'te (%85 metanol ve %15 benzin) çalışan hibrid taşıtlar klasik otomobillere göre %90 daha az bir petrol tüketimine sahiptir. Düşük petrol tüketim seviyeleri doğal gaz, etanol, hidrojen gibi alternatif yakıtlı taşıtlarda da benzer şekildedir. Günümüzde üretilen hibrid motorlu araçların testlerinde 100 km'de 3 lt benzin tüketimine kadar düşülmüştür. Sürücü, alternatif yakıtı kullanamadığı zaman benzini yedek yakıt olarak kullanabilir. Ancak maksimum yakıt ekonomisi, hibrid taşıtların ağırlığının azalması ile sağlanır ve bu sayede hibrid taşıtların egzoz emisyonları da azaltılacaktır.

### 3.7. Örnek Bir Hibrid Taşıtın İncelenmesi

Gelişmiş bir elektrik motoru ile birleşik yüksek verimli benzinli motoru Toyota Priusu hareket ettirecek gücü vermektedir. Sürüş şartlarına dayalı olarak biri ya da her ikisi yakıt verimini

maksimuma ulaştırmak ve emisyonları minimuma dūřürmek için kullanılır. Toyota hibrid sisteminde bataryaların řarj durumu dūřtūğünde tekrar řarj etmek için motoru jeneratör olarak kullandığından ve aracın yokuş aşağı inerken oluşan enerjiyi de elektriğe döndürdüğünden bu taşıdın asla elektrikli taşıtlar gibi fiře takılmaya ihtiyaçı yoktur. Sürücü aşağı doğru yavaşlarken ve frene basarken oluşan fazla enerjiyi rejeneratif (tam etkili tekrar devreye giren) fren sistemi algılar ve bu kazanılan enerji daha sonra bataryaları yeniden řarj etmek için kullanılır.



**Şekil 3.6: Toyota hibrid taşıtı**

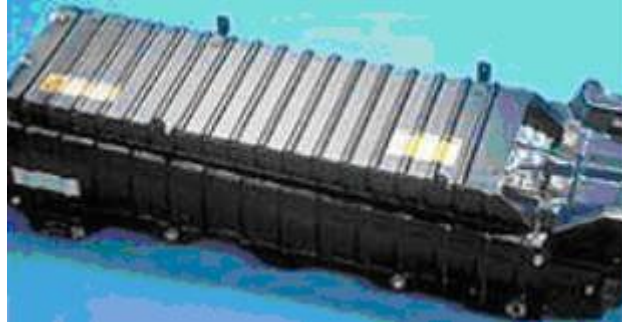
Toyota hibrid sistemin parçalarını sıralarsak:

- Nikel metal (Ni-Mh) hibrid batarya
- Benzinli veya dizel motor
- Elektrik motoru
- ACS (Avans kontrol Sistemi)
- Jeneratör
- ECVT transmisyon

### **3.7.1. Nikel Metal Hidrid ( Ni-Mh ) Batarya**

Komple hafif ağırlıklı batarya kutusuna sahip olan Toyota Prius; 38 contalı nikel– metal hibrid modüllerden meydana gelmiştir. Harici bir güç kaynağı olmaksızın 10 binlerce kez şarj edilebilmek için tasarlanmıştır.

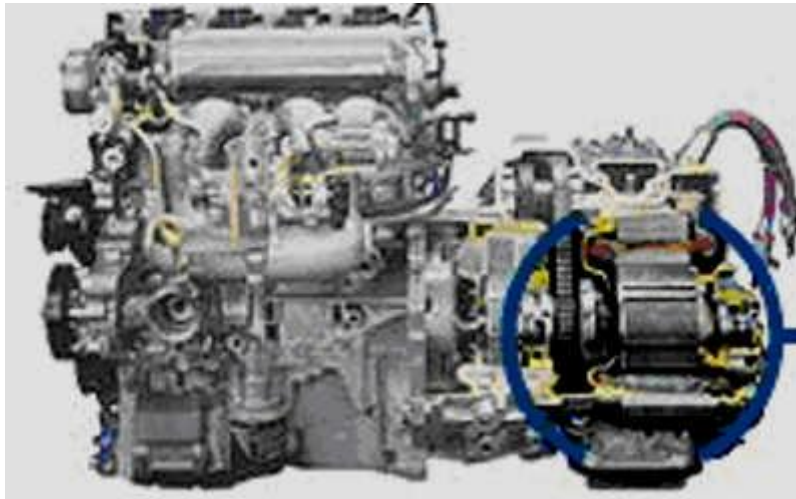
Güvenlik açısından bakıldığında bir karbon kompozit muhafaza içinde tamamen sızdırmazlık sağlanmış ve otomobilin koruyucu tek kütlesi içinde arka koltuğun arkasına yerleştirilmiştir. Aynı zamanda üretimleri basit ve yanıcı-yakıcı olmadığından günümüzde çok kullanılan kurşun asit bileşimli bataryalar için güvenilir bir alternatif de teşkil etmektedir.



**Şekil 3.7: Nikel metal hidrid (Ni-Mh) batarya**

### **3.7.2. Elektrik Motoru**

Bir içten yanmalı motorla karşılaştırıldığında daha iyi enerji dönüşümü ve daha düşük emisyon ile daha büyük bir tahrik aralığını sağlamaktadır. Bu motor; 1040'dan 5000 d/d 'ya kadar bir aralıkta maksimum 40 beygir güç ve 0 ila 400 d/d aralığında ise maksimum 305 Nm ( $\approx 225$  lb-ft) tork üretmektedir. Bu değer 4400 d/d'da benzinli Toyota Camry V6'nın ürettiği maksimum tork değerinden 21 N1 ( $\approx 16$  lb-ft) daha fazladır.



**Şekil 3.8: İçten yanmalı motor ile birleştirilmiş elektrik motoru**

### **3.7.3. E-CVT Transmisyon**

Toyota hibrid sisteme sahip olan Prius'da vites sistemi olarak değişken oranlı E-CVT transmisyon kullanılır. Bu sistem CVT (sürekli değişken transmisyon) transmisyonlar gibi çalışmaktadır. Bu transmisyonun özelliği; sürekli değişken hız yeteneğine sahip olması ve en yüksek ile en düşük vites arasında oranları sabit olmayan sürekli ve sonsuz sayıda olasılıkla aktarma sağlamasıdır. Değişken oranlı transmisyon kullanan motorların performans haritaları incelendiğinde, normal transmisyon sistemlerine oranla düşük motor devrinde daha yüksek tork elde edildiği görülür. Bu transmisyonun verimli kullanılabilmesi için mikro işlemcili yani elektronik kontrol ünitesi (ECU) kullanılmaktadır.

Benzinli motorun, elektrik motorunun ve jeneratörün kullanım safhaları:

### **3.7.3.1 Düşük Hız Kullanımı**

İlk hızlanma sırasında elektrik motoru temel güç kaynağıdır. Benzinli motor, bataryayı dolduran jeneratörü çalıştırır ya da yüksek ivmelenme koşulu altında çalışır.

### **3.7.3.2 Şehir İçi Kullanımı**

İşletimin beyni; ileri kontrol sistemi (ACS) ile temsil edilir ve şehir içi sürüş şartlarında seyrederken yakıt tüketimini minimize etmek için özel olarak programlanmıştır. Hem benzinli motoru hem de elektrik motoru eşit olarak kullanılır.

### **3.7.3.3 Otoyol Kullanımı**

Yüksek hızlardaki otoyol sürüşünde ve yüksek hızlar için benzinli motor başlıca güç kaynağı olarak kullanılır. Elektrik motoru ise; taşıt hızının değiştirilmesine yardımcı olmaktadır.

### **3.7.3.4 Yokuş Yukarı Çıkma**

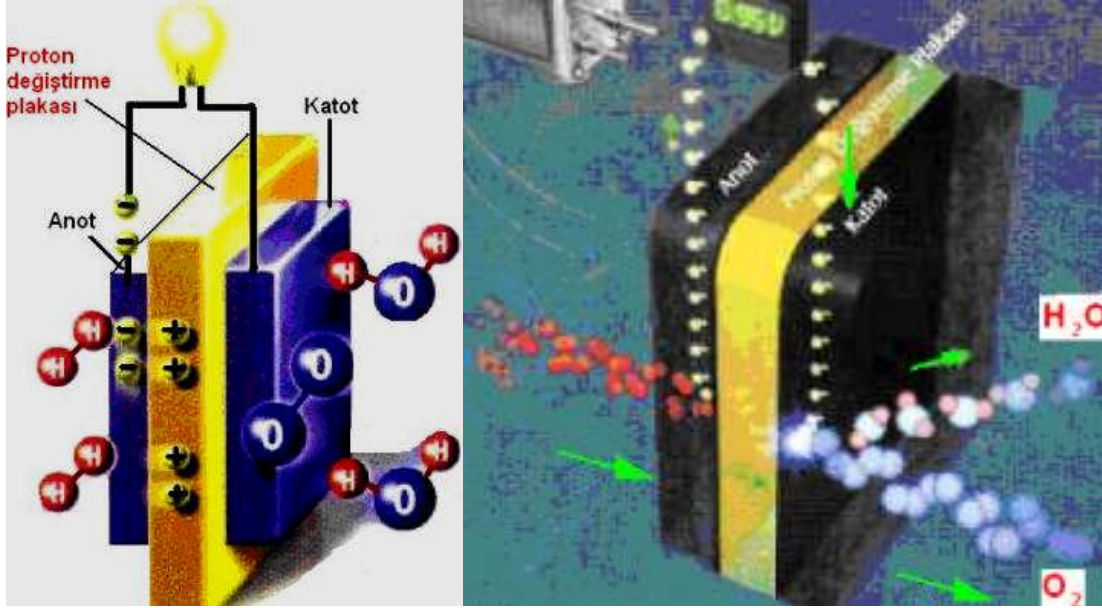
Taşıt, yüksek yerlere tırmanırken elektrik motoru hem batarya enerjisinden hem de jeneratörden aldığı gücü kullanır. Benzinli motor jeneratör ile tekerlekler arasındaki güç iletimini keser.

### **3.7.3.5 Yokuş Aşağı İnme, Yavaşlama, Durma**

Yokuş aşağı inme ya da frenleme sırasında elektrik motoru bataryayı doldurmak için bir jeneratör gibi görev yapar. Taşıt durdurulduğunda benzin motoru da otomatik olarak durur ve elektrik motoru otomobile güç vermek üzere hazır olarak bekletilir. Bu durumda yakıt korunur ve rölanti devri nedeniyle oluşan egzoz emisyonlarını da ortadan kaldırır.

## 4. YAKIT HÜCRELİ MOTORLAR

Yakıt pili olarak da adlandırılan bu sistemler ilk olarak 1839 yılında William Grove tarafından bulunmuş ve yaklaşık olarak 120 yıl ilgi görmeden kalmıştır. Ancak uzay programları çerçevesinde tekrar ele alınmış ve geliştirilmiştir. Yakıt pilleri; elektrikli ve hibrid taşıtlarda tahrik için kullanılan elektrokimyasal akülerdir. Taşıtta tek başına da kullanılmakta olan yakıt hücreleri enerjiyi kimyasal olarak depo eder. Akülere benzer olarak üretilen yakıt hücrelerinde; anot, katot ve elektrolit bulunmaktadır.



Şekil 4.1: Yakıt hücresi şematik resmi

Yakıt hücrelerinde zaman geçtikçe kullanım performansında bir azalma meydana gelmez ve yeniden şarj gerektirmezler. Yakıt ve bunu oksitleyici tedarik edildiği sürece elektrik üretmeye devam eder. Elektrik üretimi anot ve katot yardımı ile hidrojen ve oksijenin reaksiyonu ile sağlanır. Reaksiyon sonunda su ve ısı enerjisi açığa çıkar. Gerekli oksijen havadan sağlanırken, hidrojen ise kullanılan yakıttan sağlanır. Dünya çapında; Japonya, ABD, Almanya, İtalya, Belçika, Kanada ve Hollanda'da yakıt hücreleri deneme amaçlı kullanılmakta ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Şekil 4.1'de yakıt hücresinin şematik resmi görülmektedir.

### 4.1 Yakıt Hücreli Motorların Çalışma Prensibi

Yakıt pillerinde elektrik, hidrojen sayesinde elde edilir. Yakıt pilleri sistem itibarı ile bir akü bataryasına, çalışması prensibi ile de içten yanmalı motorlara benzemektedir. Akü gibi kutuplarından elektrik enerjisi alınmasına rağmen, bu enerjiyi akü gibi depolanmış olan enerjiden değil, ürettiği enerjiden verir. Enerjiyi hidrojen sağlandığı sürece verir. Bu durum içten yanmalı motora yakıt verilip, üzerinde birleşik olan jeneratörden elektrik elde

edilmesine benzemektedir. Bu sisteme benzin verdiğiniz sürece elektrik elde edersiniz ayrıca ortaya çıkan egzoz gazı, motor gürültüsü ve aşınan parçalarda önemli bir dezavantajdır. Yakıt pilinde ise hidrojen verildikçe elektrik alınır. Atık olarak sadece saf su ve ısı geriye kalır. Ayrıca motor gürültüsü, hareketli parçalar ve egzoz gazı gibi dezavantajlar olmaz. Tamamen sessiz çalışan sistem, kimyasal reaksiyonlardan ibarettir. Yakıt pillerinde verim, içten yanmalı motorlara nazaran iki kat daha yüksektir. Yakıt pilinin plaka yüzeyi akım şiddetini, plakaların seri bağlanması ise voltajı etkiler. Birçok plakanın yan yana bağlanması ile elde edilen sisteme stak (yığın) adı verilir. Staklar kendi aralarında seri ve paralel bağlanmaları ile istenilen voltaj doğru akım olarak elde edilir. Konvertörler (dönüştürücü) ile alternatif akıma çevrilir. Bir yakıt hücresi (yakıt pili):

- Yakıt işleme ünitesi
- Güç üretim sistemi
- Güç dönüştürücü olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır.

#### **4.1.1 Yakıt İşleme Ünitesi**

Yakıt beslemesinin olduğu ve dolaylı beslemede ön işlemin gerçekleştirildiği ünedir.

#### **4.1.2 Güç Üretim Sistemi**

Bir yakıt pili, anot (negatif, hidrojen elektrot), katot (pozitif, oksijen elektrot) ve elektrolit çözeltisinden oluşur. Hava, katot yüzeyi üzerinden geçerken hidrojen veya hidrojen zengin gaz da anot yüzeyinden geçer. Elektronlar katoda doğru bir dış devre yoluyla taşınırlarken, hidrojen iyonları da elektrolit yoluyla oksijen elektroda geç ederler. Katotta oksijen ve hidrojen iyonları ile elektronların reaksiyona girmesiyle su elde edilir. Elektronların dış devre yoluyla akışı elektrik üretir. Yakıt kullanımındaki yüksek verim nedeniyle bu elektrokimyasal işlemde çıkan yan ürün sadece su ve ısıdır. Yakıt pili sistemi bir yanma reaksiyonu vermediği için çok daha fazla elektrik üretmektedir. Bu sistemi pilden ayıran en büyük özellik, güç üretimi için şarj gereksinim olmaması ve yakıt sağlandıkça güç üretiminin devam edeceği olmasıdır. Tüm yakıt pillerinde su, pil çalışma sıcaklığına göre sıvı veya buhar şeklinde ürün olarak açığa çıkar. Oksitleyici olarak oksijen kullanılıyorsa su; hava kullanılıyorsa azot ve su; bileşimde karbon bulunan yakıt kullanılması durumunda ise karbondioksit oluşur. Su, pili terk eder ve böylece pil kendini soğutmuş olur. Ancak çok yüksek sıcaklıkta çalışan pillerde soğutma donanımı kullanılması gerekir. Yakıt pili temel bileşenlerinin seçiminde kısıtlamalara neden olan en önemli nokta, seçilen malzemenin sisteme uyumluluğudur. Seçilmiş malzeme çok uzun süre istikrarlı kalacak şekilde olmalıdır. Performans belirleyici polarizasyon grafikleri yardımıyla yakıt pillerindeki enerji kaybının malzeme seçimiyle ilişkisi belirlenir. Yapılan çalışmalar sonucunda pratikte bir yakıt pilinin

polarizasyonlardan kaynaklanan enerji kayıpları 0.5–0.9 V kadar olduğu belirlenmiştir. Performans, pilin sıcaklığı ve maddelerin kısmi basınçlarının arttırılmasıyla gerçekleştirilir.

Yakıt pillerinde:

- Fosforik asitli
- Ergimiş karbonatlı
- Katı oksitli
- Proton geçiren zarlı (PEM) elektrolitler kullanılabilir.

Elektrolitler pil çalışma sıcaklığı, basıncı, reaktantların cinsi ve safsızlıkların niteliğine göre seçilir. Yakıt pillerinde gözenekli, gözeneksiz ve hidrofob elektrotlar kullanılabilir. Katalizörlerle aktifleştirilmiş karbon yapılı elektrotlar, ekonomik olup az yer kaplarlar. Tek bir hücre gerilimi 1 volttan daha az olduğundan gerekli elektrik enerjisini üretmek için birden fazla yakıt pilini seri veya paralel bağlayarak kullanmak gereklidir. Bütün bir yakıt pili güç üretim sistemi, yakıt kaynağı, hava kaynağı, soğutma ünitesi ve kontrol ünitesi içeren bir otomobil motoruna benzetilebilir.

#### **4.1.3 Güç Dönüştürücü**

Hücrede üretilen doğru akımı ticari kullanım için alternatif akıma çeviren ünedir.

#### **4.2 Yakıt Hücresi (Yakıt Pili) Çeşitleri**

Yakıt pilleri; yakıt ve oksitleyicinin bileşimine, yakıtın dolaylı veya doğrudan beslenmesine, kullanılan elektrot ve elektrolit cinsine, operasyon sıcaklığına bağlı olarak farklı şekillerde oluşturulabilir. Yakıt hücreleri isimlerini genelde kullandıkları elektrolitten alır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan yakıt pilleri;

- Fosforik asit yakıt pili (PAFC),
- Katı polimer (solid polymer) yakıt pili (SOFC),
- Alkali yakıt pili (AFC),
- Proton değişim membranlı yakıt pili (PEM),
- Doğrudan metanol kullanılan yakıt pili (DMFC) dir.

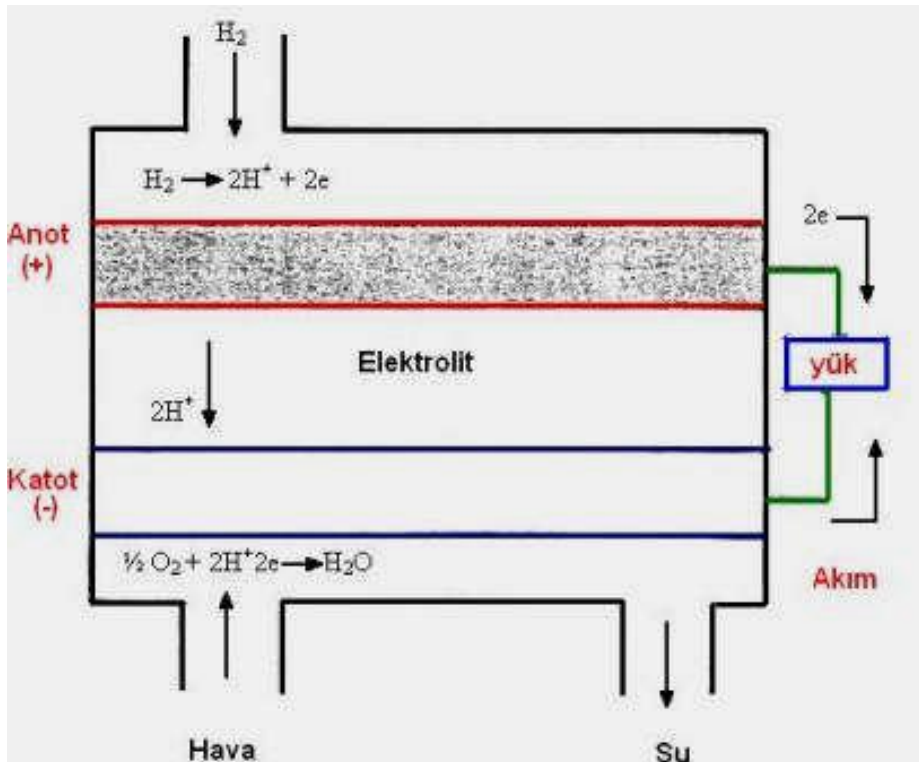
##### **4.2.1. Fosforik Yakıt Hücresi (PAFC)**

Yakıt hücreleri içerisinde kullanıma en elverişli olanıdır. Geliştirme çalışmaları 30 yılı aşkın bir süredir devam etmektedir. Günümüzde güç santrali uygulamalarında kullanımı hedeflenmektedir. ONSI Corporation PC25 Şirketi 200 kW'lık üniteleri ticaretleştirmeyi hedeflemektedir. Şirket, bu sistem ile eş zamanlı elektrik ve ısı temini ile absorpsiyonlu piller tarafından soğutma sağlayabilmektedir. Tokyo Electric Power tarafından 11 MW'lık bir sistem geliştirilmiş olup, fizibilite ve ucuzlatma çalışmaları devam etmektedir. 200 MW'lık hedefe günümüzde hâlâ ulaşamamıştır.

Fosforik asit yakıt hücrelerinde anot ve katotta meydana gelen reaksiyonlar şu şekildedir:

<b>Anot</b>	$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e$
<b>Katot</b>	$\frac{1}{2} O_2 + 2H^+ + 2e \rightarrow H_2O$
<b>TOPLAM</b>	$H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$

Şekil 4.2’de görüldüğü gibi anot ve katot yardımı ile hidrojen ve oksijenin reaksiyona girmesi sonucu elektrik enerjisi üretilir. Hidrojen gazı bünyesindeki iki elektron serbest kalır ve (+) yüklü hidrojen iyonları oksijenle birleşerek su oluşur. Reaksiyon ısısı oldukça yüksektir. Ancak yüksek sıcaklıkta sistem hücre ısınısını daha iyi dışarı atar ve verim daha iyidir. Yakıt hücresinin soğutulması sıvı ve hava soğutmalı olarak iki ayrı tipte olur. Sıvı soğutmalı yakıt hücreleri daha yüksek güç yoğunluklarında kullanılabilir ve açığa çıkan ısı enerjisi yakıtı buharlaştırmada daha verimli kullanılabilir. Yakıt pillerinde gerçekleşen reaksiyonlar temel olarak şekil 4.2 ile aynıdır.



Şekil 4.2: Fosforik asit yakıt hücresi kimyasal reaksiyonları

#### 4.3.2. Katı Polimer Yakıt Hücresi (SOFC)

General Motor ve Allied Signal firmaları tarafından geliştirilmekte olan bu yakıt hücresinde, anot için gerekli hidrojen metan gazından sağlanmaktadır. Elektrolit olarak katı polimer kullanılabilmektedir. Reaksiyon sonucunda su ve CO (karbonmonoksit) gazı oluşmaktadır.



Ancak CO zehirli bir gazdır. Her iki elektrotta da pahalı bir element olan platin kullanılmaktadır. Bu tip yakıt pillerinde karşılaşılan en büyük sorun, saf hidrojen dışında kullanılan yakıtlar ile birlikte oluşan kükürt kirliliğidir.

Yakıt hücresinin 0,25 Mpa basınçta ve 600- 800 °C'de çalışan katı oksit yakıt pilinde yığın ısı eşanjörü ve bir hava pompasına ihtiyaç vardır. En ince kalınlıkta elektrolit tabakalarının kullanılması gerekmektedir. İtrium–zirkonyum veya seryum–gadolinyum oksit karışımları ile yapılan çalışmalarda olumlu sonuçlar vermektedir. Bu sistemlerde ulaşılan verim % 46 mertebesindedir. Küçük ve büyük ölçekte enerji üretimi için geliştirilen katı oksit yakıt pili ile ilgili BMW hidrojen–benzin yakıtı ile beslenen aracı prototip olarak üretmiş olup, araç geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Ayrıca Allison gas Turbine şirketi önderliğinde kurulan şirketler birliği 80 kw'lık katı polimer yakıt hücresini bir otobüste kullanılmıştır.

#### **4.3.3. Alkali Yakıt Pili (AFC)**

Bu tip yakıt pilleri, ilk olarak uzay gemilerinde kullanılmıştır. ZETEC isimli bir firma tarafından geliştirilmeye ve taşıtlara uyarlanmaya çalışılmaktadır. Ancak bu yakıt hücrelerinin üretim ve kullanımlarında birtakım güçlükler bulunmaktadır. Bu güçlükler:

- KOH elektrolit sirkülasyonu ve CO<sub>2</sub> absorpsiyonu nedeniyle mobil uygulamalarda pratik değildir.
- Anot olarak nikel ve katot olarak gümüş kullanılmakta olup, bu katalizörler ile güç üretimi düşüktür.

#### **4.3.4. Proton Değişim Membranlı Yakıt Pili (PEM)**

1950'li yıllarda General Elektrik tarafından bulunan PEM teknolojisi, o yıllarda ilk defa NASA tarafından Gemini uzay aracında güç ünitesi olarak kullanılmıştır. Günümüzde PEM yakıt pilleri, otomotiv sektöründe içten yanmalı motorlara alternatif olarak geliştirilmekte ve kullanılmaktadır. Polimer elektrolit membranlı, katı polimer elektrolit ve polimer elektrolit yakıt pilleri olarak da adlandırılan PEM yakıt pillerinde elektrotlar karbon yapılı olup, kullanılan elektrolit ise ince bir polimer membrandır. Bu membran, poli-asit (perflorosulfonik) veya Nafiondur. Bu ince polimer tabakadan protonlar kolayca diğer tarafa geçebilirken elektronların geçişi mümkün değildir. Hidrojen anot üzerine akarken, elektrolit yüzeyinde hidrojen iyonlarına (proton) ve elektronlarına ayrılır. Oluşan hidrojen iyonları ince membrandan katoda doğru ilerlerken geçişi engellenen elektrotlar dış devreden geçerek güç oluştururlar. Havadan sağlanan oksijen katot üzerinde hidrojen iyonları ve dış devreden gelen elektronlar ile birleşerek suyun oluşmasını sağlar.

PEM yakıt pili elektrotları üzerinde gerçekleşen reaksiyonlar aşağıdaki gibidir:

<b>Anot</b>	$2 \text{H}_2 \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$
<b>Katot</b>	$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$
<b>TOPLAM</b>	$2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{Enerji}$

PEM yakıt pilleri 80 °C sıcaklıkta çalışır. Bu sıcaklık, gerçekleşen elektrokimyasal reaksiyonlar için düşük olduğundan elektrotlar ince platin tabakaları ile desteklenmektedir. PEM yakıt pillerinin otomotiv sektöründe kullanımını sağlayan önemli avantajları şunlardır:

- Küçük boyutta uygulanabilir olmaları,
- Düşük sıcaklıklarda çalışmalarına rağmen bu sıcaklıklardan kolayca yüksek güç üretimine geçebilmeleri,
- Yüksek verimde çalışmaları; % 40-50 seviyesinde maksimum teorik voltaj üretebilmeleri ve güç ihtiyacındaki değişikliklere hızlı cevap verebilmeleridir.
- Günümüzde 50 ila 250 kw'ya kadar güç üretimi yapan yakıt pilleri üretilmektedir. Bu teknolojinin geniş bir kullanım alanına sahip olabilmesi için birkaç engelleyici özelliği üzerinde çalışmalar da sürmektedir. Bu özelliklerin başında katalizör ve membran malzemelerinin pahalılığından dolayı meydana gelen yüksek fiyata ve düşük sıcaklıklarda çalışmalarından dolayı CO ve diğer safsızlıkların etkisiyle zehirleyici özelliği bulunan saf hidrojen kullanımını zorunlu kılmasıdır.

#### 4.3.5. Doğrudan Metanol Kullanılan Yakıt Pili (DMFC)

Doğrudan metanol kullanılan yakıt pili (DMFC), PEM yakıt pillerinin bir çeşidi olmakla beraber bir ön reformlamaya ihtiyaç duyulmadan metanolün doğrudan kullanımına imkân tanıyan bir yapıya sahiptir. Metanol, anotta CO<sub>2</sub> ve hidrojen iyonlarına dönüştürüldükten sonra hidrojen iyonları standart PEM yakıt pillerinde izledikleri yoldan oksijen ile reaksiyona girer. DMFC tipi yakıt pillerinde anot ve katotta gerçekleşen reaksiyonlar aşağıda verilmiştir:

<b>Anot</b>	$\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 6 \text{H}^+ + 6 \text{e}^-$
<b>Katot</b>	$3/2 \text{O}_2 + 6 \text{H}^+ + 6 \text{e}^- \rightarrow 3 \text{H}_2\text{O}$
<b>TOPLAM</b>	$\text{CH}_3\text{OH} + 3/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$

Bu hücreler, PEM yakıt pillerinden daha yüksek bir çalışma sıcaklığına sahip olup, 120 °C civarında çalışabilmektedirler. Verimleri ise % 40 civarındadır. Metanolün düşük sıcaklıkta CO<sub>2</sub> ve hidrojene dönüşümü, PEM yakıt pillerinden farklı olarak daha yüksek miktarda platin katalizörüne ihtiyaç duyulmasına neden olmaktadır. Platin katalizörün miktarındaki artış,

fiyatta artışa neden olmakta ve bu özellik DMFC için önemli bir dezavantaj oluşturmaktadır. Sıvı yakıt kullanımına imkân sağlaması ve yenileme ünitesi olmadan çalışabilir olması ise önemli avantajlarıdır. Geliştirme aşamasında olan DMFC teknolojisi gelecekte cep telefonu, dizüstü bilgisayarlar ve taşınabilir güç kaynakları için potansiyel bir güç kaynağı olarak görülmekte ve bu tip yakıt pilleri üzerindeki çalışmalar devam etmektedir.

#### **4.4 Yakıt Hücreli Motorların Avantaj ve Dezavantajları**

Taşıtlarda yakıt hücresi kullanımı ile birlikte hidrojen enerjisi ve elektrikli taşıt fikri sağlam bir yapıya kavuşmuştur. Yakıt hücreleri en çok gelecek vadeden sistemler olup, günümüzde firmaların üzerinde en çok çalıştıkları ve araştırmalar yaptıkları konuların en başında gelmektedir. Geliştirme aşamalarının tamamlanmasıyla birlikte en çok rağbet göreceğ olan ve yüksek avantajlar sağlayacak bir sistemdir. Yakıt hücrelerinde kimyasal reaksiyonlar için kullanılan plakalarında bor madeninden yapılması ülkemiz ekonomisine de katkı sağlayacaktır.

Yakıt hücresine sahip bir motorun avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz:

- Çevre dostudur ve reaksiyonlar sonunda dışarıya egzoz olarak oksijen atılır.
- Yakıt tüketimi yönünden çok daha ekonomiktir.
- Ülke ekonomisinin dışa bağımlılığını azaltır.

Yakıt hücresine sahip bir motorun dezavantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz:

- İçten yanmalı motora göre daha pahalıdır.
- Kullanım ömrü şu an için düşüktür.
- Farklı tiplerde yakıt hücreleri gelişmiş ülkelerde deneme aşamasında olup, yaygınlaşması uzun sürebilir.

#### **4.5 Yakıt Hücreli Motorların Gelişme Perspektifleri**

Günümüzde yeni tipte yakıt pilleri üzerinde çalışılmaktadır. Bunlara örnek olarak proton iletkenliğine sahip seramik elektrolitli yakıt pilleri ve çinko/hava karışımının yakıt olarak kullanıldığı yakıt pilleri sayılabilir. Yakıt pili teknolojisinde yakıt pilinin güç yoğunluğunu, gazlardaki safsızlıklara karşı direncini ve ömrünü uzatmak ve optimize etmek amacıyla elektrot malzemesinin iyileştirilmesi; yığınlar oluşturarak 250 kW'a kadar elektrik üretiminin tek bir modülden sağlanması; katalizör olarak kullanılan değerli metallerin miktarında azaltmalar gerçekleştirilerek gerek veriminde artış gerekse maliyette düşüşün sağlanması; sistemin performansını, sağlamlığını, ömür ve maliyetini artırıcı tasarımların geliştirilmesi; hidrojen depolama sistemlerinin geliştirilmesi; hidrojen dışında başka yakıtların kullanımına olanak tanıyacak dönüşüm sistemlerinin geliştirilmesi üzerinde çalışmalar devam etmektedir.

Yakıt pilleri; suyla çalışan, hidrojen enerjili taşıtların üretilmesinde bir geçiş aşaması oluşturmaktadır.

Yakıt pilleri şu alanlarda da kullanılmaktadır;

- Uzay çalışmaları / askeri uygulamalar
- Evsel uygulamalar
- Sabit güç üretim sistemi / yüksek güç üretim sistemi uygulamaları
- Taşınabilir güç kaynağı uygulamaları
- Atık / atık su uygulamaları



**Resim 4.1: Yakıt hücreli değişken şasi**

Otomobil fabrikaları, yakıt pili teknolojilerine büyük önem verirken, Toyota ve Honda gibi şirketler üretime şimdiden başlamış durumdadır. 2020 yılına kadar bir milyon yakıt pilli araç satarak bu alanda bir ilki gerçekleştirmeyi hedefleyen General Motor şirketinin tasarladığı “Hy-Wire Yakıt Pili Konsepti” ile geleceğin müşterileri gerek kamyonet gerekse de spor arabalarında aynı şasiyi kullanabilecekler. Tasarlanan şasi sayesinde bir aracın üst kısmı değiştirilerek istenilen model ve türde araca dönüştürülebilecek. Yakıt pili ile çalışan tahrik sistemi 28 cm kalınlığında olup, sabit olarak üretilerek üst kısmın ayrı üretilmesi ile gelecekte otomobil fiyatlarının bugünden daha ucuz olması hedefleniyor. Hazırlanan bir gösteri filminde "Hy-Wire Yakıt Pili Konsepti" ile çalışan bir araç garaja sokulduktan sonra aracın fişe takılması sonucunda ev için gerekli elektrik de araçtan sağlanabilmektedir. Honda firmasının FCX modeli ise dünyada günlük kullanım için devletçe onaylanan ilk yakıt pilli araç olma özelliğini taşımaktadır. Honda Firması 1975 yılında ürettiği Civic CVCC marka araç, dünyada "Clean Air Act" emisyon standartlarını katalitik dönüştürücü kullanımı gereksizdir karşılayan ilk araç olmuştur. Bu araçtan sonra doğal gaz ile çalışan Civic GX modeli üretilmiştir. Sıfıra yakın emisyon değerleri ile "Environmental Protection Agency" tarafından dünyanın en temiz motoru olarak tanımlanan, Civic GX modelinin ardından 1999

yılında Honda gaz- elektrik hibrid sistemi ile tüketicinin karşısına çıkmıştır. Bu sene de Honda Civic, ABD'de hibrid güç üretim sistemi opsiyonuna sahip ilk model oldu. FCX modeli "Environmental Protection Agency" ve "California Air Resources Board" tarafından onaylanmış olup, Los Angeles'da tüketici ile buluşmaktadır. Bu model ile Honda'nın gelecekteki sıfır emisyon hedeflerini gerçekleştirmiş oluyor.



**Resim 4.2 Yakıt hücresi ile çalışan ilk taşıt**