

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOĞALGAZIN SIKIŞTIRILMIŞ FORMLARININ  
ARAÇLARDA MOTOR YAKITI OLARAK  
KULLANILMASI ve UYGULAMA ŞARTLARININ  
İNCELENMESİ**

Makina Mühendisi Koray TEKİNER

**FBE Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı Isı-Proses Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Doğan ÖZGÜR**

**İSTANBUL, 2006**

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ .....	v
KISALTMA LİSTESİ .....	vi
ŞEKİL LİSTESİ .....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	viii
ÖNSÖZ.....	ix
ÖZET .....	x
ABSTRACT .....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. DOĞALGAZIN GERÇEKLERİ .....	2
2.1 Doğalgazın Oluşumu ve Keşfi.....	2
2.2 Dünya Doğalgaz Tüketimi ve Rezervleri .....	3
2.3 Ülkemizde Doğalgaz Kullanımı .....	4
2.4 Doğalgazın Depolanması.....	8
2.4.1 Yeraltı Depolama.....	8
2.4.2 Sıvılaştırılmış Doğalgaz (LNG) .....	9
3. YAKIT SİSTEMLERİNE GENEL BİR BAKIŞ ve ALTERNATİF YAKIT TÜRLERİ .....	16
3.1 Yakıt Sistemleri.....	16
3.2 Günümüzde Alternatif Yakıt Türleri .....	17
3.2.1 Doğalgaz (CNG ve LNG).....	17
3.2.2 Likit Petrol Gazı (LPG).....	22
3.2.3 Biodizel.....	24
3.2.4 Metanol.....	28
3.2.5 Etanol.....	30
3.2.6 Di-Metil Eter (DME).....	32
3.2.7 Hidrojen.....	33
4. MOTOR TEKNOLOJİLERİ ve DOĞALGAZIN FARKLI MOTOR TÜRLERİNDE ARAÇ YAKITI OLARAK KULLANILMASI .....	39
4.1 Benzinli Motor Teknolojileri.....	40
4.2 Dizel Yakıtlı Motor Teknolojileri.....	40
4.3 Katalitik Konvertörlü (Dönüştürücülü) Araçlar .....	40

4.4	Doğalgazın Benzinli ve Dizel Motor Türlerinde Araç Yakıtı Olarak Kullanılması.....	40
4.4.1	Benzinli Araçlarda Doğalgaz Kullanımı .....	43
4.4.2	Dizel Araçlarda Doğalgaz Kullanımı .....	43
4.5	Araç Dönüşümünde Kullanılan Sistemler .....	44
4.5.1	Regülatör .....	50
4.5.2	Mikser.....	50
4.5.3	Yüksek Basınçlı Depolama Tüpleri.....	51
4.5.4	Tüp Valfi .....	52
4.5.5	Doğalgaz Valfi.....	53
4.5.6	Benzin Valfi.....	53
4.5.7	Yüksek Basınç Boruları.....	53
4.5.8	Dolum Ucu .....	54
4.6	Doğalgazın Yanma Süreci Sonunda Meydana Getirdiği Emisyonlar .....	55
5.	DOĞALGAZIN YAKIT OLARAK ARAÇLARDA TÜKETİLMEMEYE HAZIR HALE GETİRİLMESİ .....	58
5.1	CNG Uygulamaları.....	58
5.2	LCNG Uygulamaları .....	63
5.3	LNG Uygulamaları .....	67
5.4	HCNG Uygulamaları.....	69
6.	CNG ve LNG BAZLI SİSTEMLERE KURULUM, İŞLETME MALİYETLERİ ve YATIRIMIN GERİ DÖNÜŞÜ YAKLAŞIMLARI.....	70
6.1	Boru Hattı Gazı ve LNG Temin Maliyetleri .....	70
6.2	İstasyon İlk Yatırım Maliyetleri .....	71
6.2.1	CNG İstasyonları İlk Yatırım Maliyetleri .....	71
6.2.2	LCNG ve LNG İstasyonları İlk Yatırım Maliyetleri.....	72
6.3	İşletme Maliyetleri.....	73
6.3.1	CNG İstasyonları İşletme Maliyetleri .....	73
6.3.2	LCNG ve LNG İstasyonları İşletme Maliyetleri .....	76
6.4	Bakım Maliyetleri.....	77
6.4.1	CNG İstasyonları Bakım Maliyetleri.....	77
6.4.2	LCNG ve LNG İstasyonları Bakım Maliyetleri .....	81

6.5	Yatırımların Geri Dönüşü.....	81
6.5.1	CNG İstasyon Yatırımlarının Geri Dönüşü.....	81
6.5.2	LCNG ve LNG İstasyonları Yatırımlarının Geri Dönüşü.....	81
KAYNAKLAR.....		89
ÖZGEÇMİŞ.....		91

## SİMGE LİSTESİ

$\lambda$  Hava/Yakıt oranı

## **KISALTMA LİSTESİ**

CI	Compression Ignition
CNG	Compressed Natural Gas
DME	Di-Metil Eter
ETBE	Etil Tersiyer Bütil Eter
FC	Fuel Cell
HCNG	Hydrogen/Compressed Natural Gas Blend
IEA	International Energy Agency
IHEC	International Hydrogen Energy Congress
LCNG	Liqified Compressed Natural Gas
LNG	Liqified Natural Gas
LPG	Liqified Petroleum Gas
MTBE	Metil Tersiyer Bütil Eter
NGV	Natural Gased Vehicles
OECD	Organisation of Economic Co-operation and Development
PEM	Proton Exchange Membrane
RME	Rapeseed Methly Ester
SI	Spark Ignition
THT	Tetrahydrothiophen
ULEV	Ultra Low Emission Values

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Doğalgazın doğada oluşumu .....	2
Şekil 2.2 Türkiye gaz ticareti.....	5
Şekil 2.3 Pig istasyonları .....	6
Şekil 2.4 Basınç ve ölçüm istasyonları.....	7
Şekil 2.5 Doğalgaz yeraltı depolanması .....	9
Şekil 2.6 LNG depolama tankları.....	12
Şekil 2.7 LNG depolama tankı enstürmanları .....	13
Şekil 3.1 Araçların birim enerji başına gereksinim duyduğu birim yakıt tankı kütlesi.....	20
Şekil 3.2 Biodizel proses akım şeması .....	26
Şekil 3.3 Tek bir yakıt hücresinin iç yapısı .....	35
Şekil 4.1 Direkt ve emme kanalınayakıt püskürtmeli motorlar.....	42
Şekil 4.2 Common-rail injeksiyon teknolojileri .....	43
Şekil 4.3 Katalitik konvertör .....	45
Şekil 4.4 Bi-Fuel bir araç.....	46
Şekil 4.5 Tek yakıt doğalgaz olarak dönüştürülmüş dizel motoru .....	48
Şekil 4.6 Dual-Fuel sistem işleyişi .....	49
Şekil 4.7 Karbüratörlü bir araçta CNG dönüşümü .....	53
Şekil 4.8 İnjesiyonlu, katalitik konvertörlü bir araçta CNG dönüşümü .....	55
Şekil 5.1 Bir doğalgaz sıkıştırma sisteminin genel görünümü .....	58
Şekil 5.2 Son kullanıcı basınç ve ölçümlendirme istasyonları .....	59
Şekil 5.3 Bir sıkıştırma sistemini teşkil eden ekipmanlar .....	61
Şekil 5.4 Bir LCNG sisteminin genel görünümü .....	63
Şekil 5.5 Bir LNG sisteminin genel görünümü .....	67
Şekil 6.1 CNG, LNG ve LCNG istasyonları yatırım geri dönüşüm ve kazanç tablosu .....	87

## ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Doğalgaz ülke rezervleri .....	3
Çizelge 2.2 Enerji tüketim profili .....	4
Çizelge 2.3 Türkiye doğalgaz alım anlaşmaları .....	5
Çizelge 2.4 Zemine göre LNG buharlaşma hızları .....	10
Çizelge 2.5 LNG depolama tankları karakteristikleri .....	12
Çizelge 3.1 Yakıtlara göre motor sistemleri .....	16
Çizelge 3.2 Doğalgaz fiziksel ve kimyasal özellikleri .....	17
Çizelge 3.3 CNG kullanımında dünya sıralaması .....	18
Çizelge 3.4 CNG kullanımında Avrupa sıralaması .....	18
Çizelge 3.5 Yakıt eşlenik tablosu .....	19
Çizelge 3.6 Yakıt tüketim tablosu .....	19
Çizelge 3.7 LPG fiziksel ve kimyasal özellikleri .....	23
Çizelge 3.8 Biodizel fiziksel ve kimyasal özellikleri .....	25
Çizelge 3.9 Metanol fiziksel ve kimyasal özellikleri .....	29
Çizelge 3.10 Etanol fiziksel ve kimyasal özellikleri .....	31
Çizelge 3.11 Hidrojen fiziksel ve kimyasal özellikleri .....	33
Çizelge 4.1 Çeşitli CNG araç depo konfigürasyonları .....	51
Çizelge 4.2 Hafif araçlar için benzinle mukayese edildiğinde kaynaktan tekerleğe emisyonlar .....	57



## **ÖNSÖZ**

Öncelikle bu çalışmayı hazırlama ve sunma şansını elde etmemde büyük katkıları bulunan ve almış olduğum eğitimin her kademesinde yer alan, bilgi ve birikimlerini öğrencileri ile paylaşan başta Trakya Üniversitesi ve Yıldız Teknik Üniversitesi saygıdeğer hocaları ve akademik personeli olmak üzere, şahsıma emeği geçmiş bütün hoca ve öğretmenlerime teşekkürü bir borç bilirim. Çalışmalarım öncesi ve esnasında şahsıma her türlü yardım ve manevi desteği esirgemeyen Tez danışmanım Prof. Dr. Sn. Doğan ÖZGÜR ve Prof. Dr. Sn. İsmail TEKE'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Bu çalışmanın ilerleyen yıllarda konu üzerinde araştırma ve çalışma yapan bütün lisans ve yüksek lisans öğrencilerine bir kaynak ve yol gösterici olabilmesi, sağlıklı bilgiler sunabilmesi en büyük temennimdir.

## **ÖZET**

Petrol rezervlerinin her geçen gün azalıyor olması, dünya ülkelerinin önümüzdeki yıllarda petrol temini konusunda bir çıkmaza sürükleneceğinin kaçınılmaz olması ve bütün bunların yanı sıra fosil kaynaklı yakıtların çevre üzerinde sahip olduğu olumsuz etki ve tahrip edici özellikler, birçok ülkeyi ve kuruluşu alternatif enerji kaynakları konusunda arayış içerisine itmiştir.

Doğalgaz 1970’li yıllarda yaşanan bir enerji darboğazından sonra birçok ülke tarafından gündeme gelmiş ve alternatif bir enerji kaynağı olarak kendine yer bulmaya başlamıştır. Rezerv ve temin bakımından bol olması, bunun neticesinde maliyetler yönünden fosil kökenli yakıtlardan çok daha avantajlı olması, hem çok temiz, hem de çok verimli yanma özelliklerinin olması bu yakıt türünün kullanımını oldukça arttırmıştır. Doğalgazın araçlarda alternatif bir yakıt olarak kullanılması da, zaman içerisinde gelişmiş ve pratikte kendine ciddi oranda yer bulmaya başlamıştır.

Doğalgaz’ın rezervler, depolama yöntemleri v.b. genele dair bir takım bilgileri ile beraber, tüm alternatif yakıt türlerine, doğalgazın saf halden araçlarda tüketilmeye hazır hale gelene kadar uğradığı süreçlere ve farklı motor teknolojilerinde ki uygulamalarına, farklı formlarının bireylerin kullanımına sunulması için inşa edilmesi gereken tesislerin ilk yatırım, işletme ve bakım maliyetlerine değinilmiş, bunların arasından CNG tesislerinin kurulum ve işletim açısından en avantajlı olduğu ortaya konmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Sıkıştırılmış doğalgaz, sıvılaştırılmış doğalgaz, CNG, LNG, LCNG

## **ABSTRACT**

As the petroleum reserves have been decreasing at all, the facts that, in the future, most of the countries are going to suffer inevitably from the lack of petroleum reserves and the petroleum's bad effects on the nature and environment in emission point of view, they are going to look for some new ways into the alternative fuels.

Natural gas has been introduced to the whole world after an energy crisis which exploded on the 1970's, and only then it has started to become an important alternative fuel resource. Since it is abundant in the nature in terms of reserves and supply, remained as a reasonable alternative fuel when compared to the other fossil fuels and always became a preferable one by large of the majorities since it always possessed the advantage of being the most cleanest and the most efficient combustibile. Its usage as an alternative fuel for vehicles has started gradually by being a part of this process.

Some general information about natural gas like the reserves and its storage methods, entire alternative fuel types, all the processes from well to the engine, its application on different type of engines, the initial investment, operation, service/maintenance costs of the stations for each natural gas forms, which are needed to establish in order to present the natural gas to the use of the individuals, have been emphasized and CNG is underlined as being the most advantageous one among them.

**Keywords:** Compressed natural gas, liquified natural gas, CNG, LNG, LCNG.

## 1. GİRİŞ

Doğalgaz günümüzde konut ve sanayilerde, ısınma ve proses amaçlı olarak kullanılan en yaygın yakıt türüdür. Doğalgazın diğer yakıt türleri karşısında sahip olduğu birçok üstün özelliği, araçlarda kullanımının yaygınlaşmasını da kaçınılmaz kılmaktadır. Ülkemize bakarsak, uzun yıllar boyunca izlenmiş politikaların bir neticesi olan, yurt dışından yüksek kapasitelerde gaz alımını öngören anlaşmalar, doğalgazın kullanımının özellikle yaz ayları için daha da çeşitlendirilmesi gerektiğini açıkça ortaya koymuştur.

Mevcut kaynaklar, potansiyeller ve durum göz önüne alındığında doğalgaz, araçlar için en büyük kullanım potansiyeline sahip alternatif yakıt türlerinden birisidir. Eğer, hidrojenin geleceğin yakıt türü olduğu gerçeğini yadsımasak, azalan petrol rezervleri ile ortaya çıkacak enerji açığının, çevreye olan minimum kirlenici emisyon değerleri ve diğer yakıt türleri ile karşılaştırıldığında ortaya çıkan üstün performans özellikleriyle doğalgaz tarafından doldurulacağı açıktır. Bu iki kritere, doğalgaz rezervlerinin ömrünün petrol rezervlerine kıyasla daha uzun olduğu gerçeğini de eklersek yukarıda ki savımızı daha da güçlendirmiş oluruz.

Araç uygulamalarını ele aldığımızda, motorda yakma prosesinde doğalgazı kullanmak için, gerekli miktarda gazı araç deposunda muhafaza edebilmek gereklidir. Bunun içinde yaygın olarak gazın sıkıştırılması metoduna başvurulur. Sıkıştırma metodu sayesinde, araç deposunda makul miktarlarda menzil alabilmek için gerekli doğalgaz mevcut bulunacaktır. Bir diğer yöntem gazın sıvı formunda araç deposunda muhafaza edilmesi ve sonra yanma prosesi için uygun hale getirilmesi sonrası araç motorunda tüketilmesi prosesidir. Bu uygulama daha çok büyük tonajlı araçlar ve bazı özel şartların yerine getirilmesi durumunda uygun olmakta, çoğunluklarda uygulamanın getirmiş olduğu zorluklardan dolayı da kendine yer bulamamaktadır.

Çalışmamda yakıt türleri arasındaki bu farklılıkları daha iyi anlamamıza yardımcı olacak olan analizleri gerek emisyonlar, gerek enerji gereksinimleri ve gerekse de kaynaktan tekerleğe tüketim maliyetleri bakış açısından değerlendirip, sonuç bölümünde de konumuz olan doğalgazı tüketime hazır hale getiren sistemlerinin ilk yatırım, işletme ve bakım maliyetleri yönünden analizlerini yapmaya çalıştım.

Bu çalışmada yukarıda sözü edilen değerlendirmelerin yanı sıra, başta doğalgaz olmak üzere alternatif ve fosil yakıt piyasasında ve teknolojisinde yer alan son güncel olaylar ve gelişmelere de yer vermeye çalıştım.

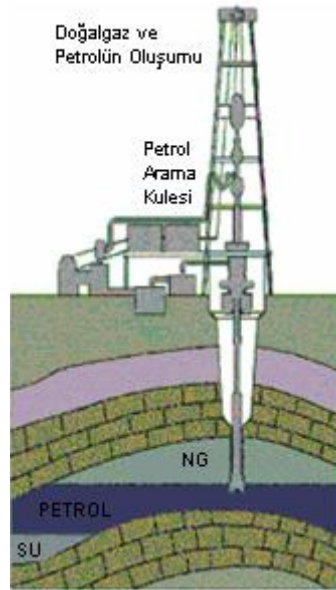
## 2. DOĞALGAZIN GERÇEKLERİ

### 2.1 Doğalgazın Oluşumu ve Keşfi

Doğalgaz doğa tarafından yer kabuğunda meydana getirilen, tabiattan çıkarıldığı haliyle kullanılabilen, renksiz, kokusuz ve havadan hafif bir gazdır.

Milyonlarca yıl önce denizde yaşayan mikroskobik canlılar ölüp, okyanusların altında kıta kenarlarında birikmişlerdir. Zamanla küçük taşlarla ve bitkilerle karışıp yeni bir katman oluşturmuşlardır. Bu şekilde doğalgaz ve petrol oluşumu başlamıştır. Oluşan doğalgaz bulunduğu yerdeki boşluklardan yukarı doğru yükselmiş ve bu yükselme geçirgen olmayan tabakaya ulaşıncaya kadar devam etmiştir. Geçirgen olmayan tabakalar arasında sıkışmış olan doğalgaz bekleyişini teknik olarak kullanımı başlayıncaya kadar sürdürmüştür.

Doğalgaz petrolden hafif olduğundan dolayı petrolün üstündeki katmanda bulunan boşlukları doldurur. Alt tarafta petrol, en alt katmanda ise tuzlu su bulunmaktadır. Doğalgaz petrolün üzerindeki katmanlarda bulunabileceği gibi, petrolün sürüklenmesi sonucu yalnız olarak da bulunabilir.



Şekil 2.1 Doğalgazın doğada oluşumu

Doğalgaz insanlar tarafından yüzyıllardır bilinmektedir. Günümüzden 5 bin yıl önce ateşe tapan insanların (Mecusilerin) taptıkları sönmeyen alev aslında doğalgaz alevinden başka birşey değildi. Ayrıca doğalgazın yine günümüzden 3 bin yıl önce Çin'de bambu boruları ile taşınarak tuz üretiminde kullanıldığı da bilinmektedir.

Doğalgazda modern üretim ve tüketim tekniklerine ilk olarak ABD’de rastlanmaktadır. Yeryüzüne yakın kaynaklardan elde edilen doğalgaz borularla tüketim yerlerine taşınarak şehir aydınlatmasında kullanılmıştır. İnsanlar tarafından yüzyıllardır bilinen doğalgazın yaygın olarak kullanımı ise 1973 yılında patlak veren petrol krizinden sonra ortaya çıkmıştır.

## 2.2 Dünya Doğalgaz Tüketimi ve Rezervleri

Çizelge 2.1 Doğalgaz ülke rezervleri (Kaynak: Botaş, 1996)

Ülke	Trilyon Sm <sup>3</sup>	Toplam Rezerv İçi Payı %	Ülke	Trilyon Sm <sup>3</sup>	Toplam Rezerv İçi Payı %
Rusya Fed.	48,1	32,1	Malezya	2,3	1,5
İran	23	15,3	Endonezya	2,1	1,4
Katar	11,2	5,7	Özbekistan	1,9	1,2
B.A.E	6	4	Kazakistan	1,8	1,2
S. Arabistan	6,1	3,8	Kanada	1,8	1,2
ABD	4,7	3,1	Hollanda	1,8	1,2
Cezayir	4,5	3	Kuveyt	1,5	1
Venezuela	4,2	2,7	Çin	1,4	0,9
Nijerya	3,5	2,3	Meksika	0,9	0,6
Irak	3,1	2,1	Diğer Ülkeler	17,4	13,8
Türkmenistan	2,9	1,9	*Türkiye	0,0201	<0,1
			<b>Dünya</b>	150,2	100
			<b>Üretici 20 Ülke</b>	129,4	86,2

Bugün dünya doğalgaz tüketimi hızla artış göstermekte olup, doğalgaz tüketiminin dünya enerji kaynakları tüketimi içerisindeki payı da yükselmektedir. 2020 yılına kadar doğalgaz

tüketiminin 4,72 trilyon Sm<sup>3</sup>'e ulaşması beklenmektedir. Ortadoğu ve Afrika kıtaları dışındaki ülkelerde doğalgaz talebi gün geçtikçe artmaktadır.

Doğalgaz ısıtma, soğutma ve proses amaçlı kullanımının yanı sıra elektrik üretiminde de artan oranlarda kullanılmaktadır. 2020 yılına kadar elektrik enerjisi üretmek için kullanılan doğalgaz miktarının toplam doğalgaz tüketiminin %33'üne ulaşması beklenmektedir.

Petrol rezervlerinin ömrünün gün geçtikçe azaldığı da bilinen bir diğer gerçektir. Çin ve Hindistan gibi aşırı yüksek nüfusa sahip ülkelerdeki günden güne artan tüketim hızı göz ardı edilse dahi, mevcut tüketim hızıyla petrol rezervlerinin en fazla 40 yıl daha ihtiyacı karşılayabileceği bilinmektedir. Buna karşılık doğalgaz rezervlerinin ise petrol rezervlerinden 25 yıl mertebelerinde daha uzun ömürlü olacağı çeşitli çalışmalar ile ortaya konmuştur.

Bunun yanı sıra dünya doğalgaz kaynaklarının bölgesel dağılımına bakıldığında rezervlerin petrole göre daha geniş bir alanda dağıldığı görülmektedir. Ortadoğu Bölgesi petrol rezervlerinin %65'ine sahip olduğu halde doğalgaz rezervlerinin sadece %35'ine sahip bulunmaktadır. Sınırlı petrol rezervlerine sahip bazı ülkeler doğalgaz kaynaklarının daha büyük bir kısmına sahiptir. Doğalgaz bir enerji kaynağı olarak petrolden daha sonra literatüre girdiğinden ve kendine yer bulduğundan dolayı bugün hala yeni doğalgaz yataklarının bulunmasına devam edilmektedir.

### 2.3 Ülkemizde Doğalgaz Kullanımı

Türkiye'nin yıllık enerji tüketim profili Çizelge 2.2 ile belirtildiği şekilde gelişmektedir.

Çizelge 2.2 Enerji tüketim profili (Kaynak: Botaş, 1996)

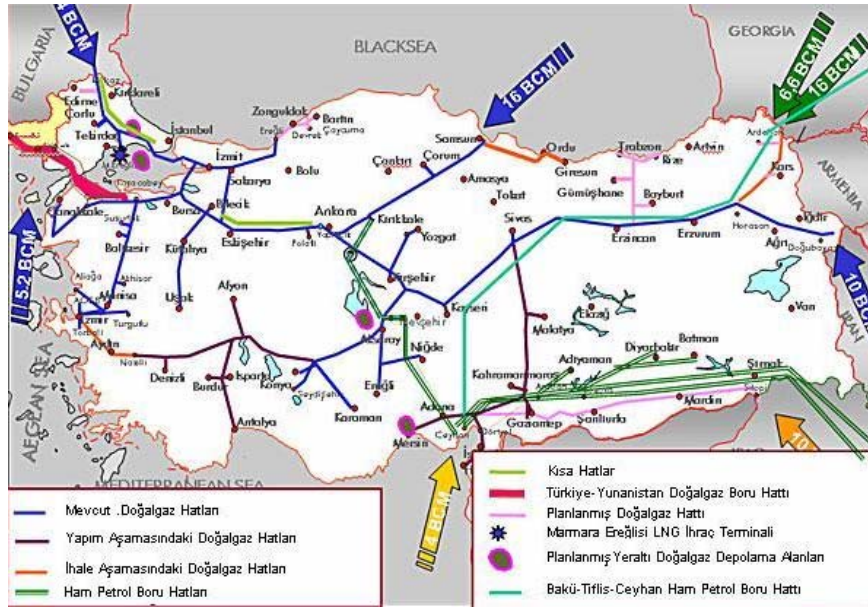
No	Kaynak	%
1	Petrol	38,5
2	Kömür	26
3	Doğalgaz	19
4	Su	16
5	Güneş+Rüzgar	0,5
6	Nükleer	0
TOPLAM		100,0

Bugün ülkemiz doğalgaz ihtiyacının karşılanması yönünden nerdeyse tamamen yurtdışı kaynaklara bağımlı hale gelmiştir. İlki 1986 yılında imzalanan anlaşmalar ile başlayan yurtdışı gaz alımları, yeni kaynak arzlarının ülkeye sokulması ile devam etmektedir. Bu bağlamda, Türkiye'nin yurtdışı ile olan doğalgaz ticareti, Çizelge 2.3 ile belirtilen rakamlar ışığında gelişmektedir.

Çizelge 2.3 Türkiye doğalgaz alım anlaşmaları (Kaynak: Botaş)

Mevcut Anlaşmalar	Miktar (milyar Sm <sup>3</sup> /yıl)	İmza Tarihi	Süre (Yıl)	Durum
Rusya Fed.	6	14 Ağustos 1986	25	Devrede
Cezayir (LNG)	4	14 Nisan 1988	20	Devrede
Nijerya (LNG)	1,2	9 Kasım 1995	22	Devrede
İran	10	8 Ağustos 1996	25	Devrede
Rusya Fed. (Karadeniz)	16	15 Aralık 1997	25	Devrede
Rusya Fed. (Batı)	8	18 Şubat 1998	23	Devrede
Türkmenistan	16	21 Mayıs 1999	30	2005
Azerbaycan	6,6	12 Mart 2001	15	2005

Bu hatlar arasında en büyük önemi teşkil eden ve yakın geçmişte devreye alınmış olan hat Karadeniz'i aşarak Rusya'dan gelen Samsun-Ceyhan mavi akım doğalgaz boru hattıdır. Bu hat, yakın bir geçmişte tamamlanmış olup, Rusya'dan gelen doğalgazın Akdeniz üzerinden diğer üçüncü dünya ülkelerine pazarlanmasına olanak sağlamayı ve boğazlardan gerçekleşen tanker trafiğini de önemli ölçüde azaltmayı hedeflemektedir.



Şekil 2.2 Türkiye gaz ticareti (Kaynak: Botaş)

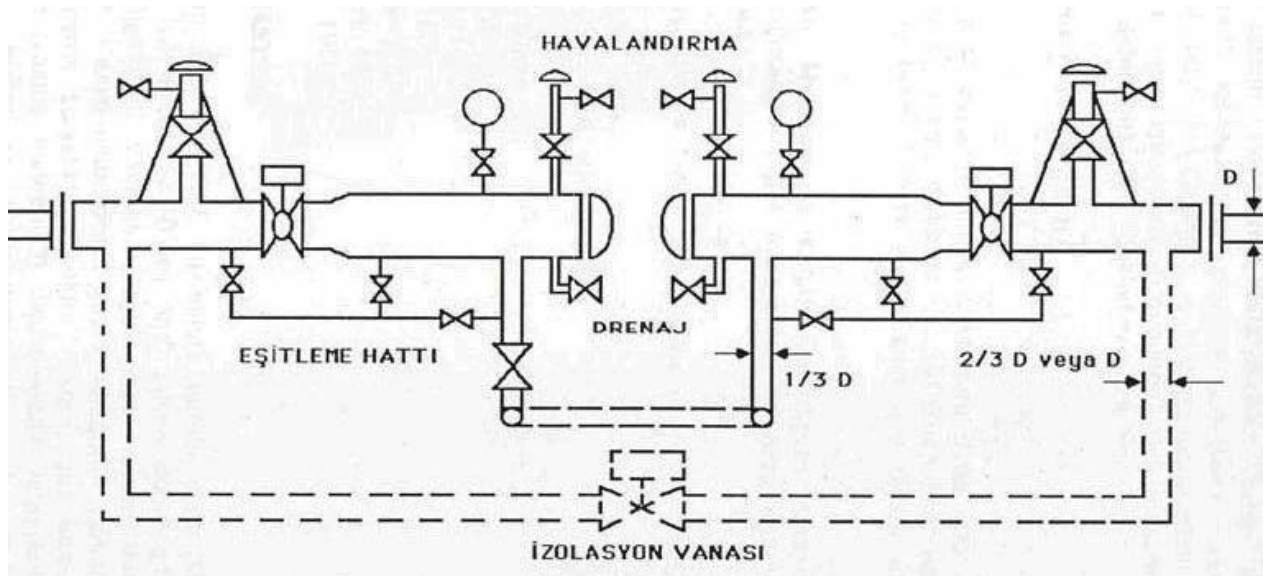
Doğalgaz, boru hatları ile belirli bir noktadan bir diğerine taşındığında, hat üzerinde yer alan diğer tüketim noktalarına da gazı sevk edebilecek şekilde tasarlanır. Bu tüketim noktalarına ulaşıncaya kadar geçen süreçte gaz, hazır hale getirilmesi için bir takım ekipmanların prosesinden geçmektedir.



Ülkemize boru hattı ile beraber taşınan doğalgaz maksimum 75 bar işletme basıncına ve 50 °C dizayn sıcaklığına sahiptir. Boru hatlarının pig istasyonları dışındaki büyük bir kısmı toprak altında kalmaktadır. Boru hattı boyunca yine hat vanaları da bulunmaktadır. Rusya-Türkiye Batı doğalgaz boru hattını ele aldığımızda, iki adet boru hattından meydana gelen bu hattın Marmara Denizi geçişinin 80-100 m derinliğinde, 50 km uzunluğunda ve iki boru hattı arasındaki mesafenin 10-15 metre civarında olduğunu görmekteyiz. Bu boru hattı boyunca 31 adet hat vanası bulunmaktadır. İki vana arasındaki mesafe 5 km ile 20 km arasında değişmektedir. Bu hat vanalarının üç temel görevi vardır:

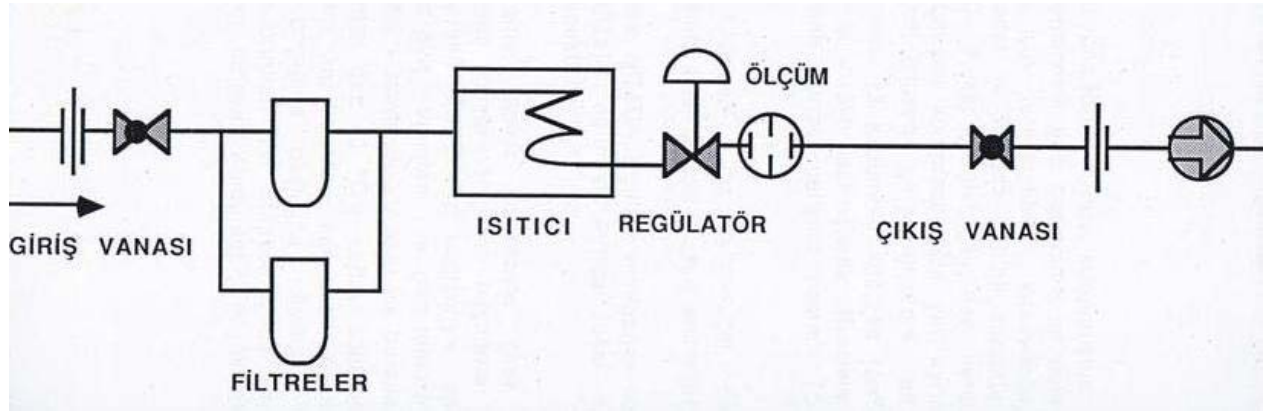
1. Doğalgaz akışını durdurmak. Herhangi bir kaza veya bakım çalışmaları sırasında iki hat vanası arasındaki kısım boru hattının diğer kısımlarından ayrılır. Boru hattının diğer kısımlarındaki basınç seviyesi düşmez ve böylece arızalı kısım altında veya üstündeki gaz akımını devam ettirmek mümkündür.
2. Hat vanaları ile izole edilen boru hattını kısmen veya tamamen boşaltmak ve boru hattının izoleli kısmını hava ile doldurmak.
3. İzole edilen kısmı gazla doldurmak, boru hattının diğer kısımları ile basıncı eşitlemek.

Yine boru hatları üzerinde pig istasyonları bulunmaktadır. Rusya-Türkiye doğalgaz hattı boyunca dokuz adet pig istasyonu mevcuttur. Pig istasyonları boru hattının yapımını müteakip devreye alma çalışmalarında veya işletme sırasında boru iç yüzeylerinin temizlenmesi amacıyla kurulmaktadır. Boru hatlarında biriken tozlar, kompresör yağları ve çeşitli kondensatlar piglerle temizlenir.



Şekil 2.3 Pig istasyonları (Kaynak: Botaş,1996)

Pig istasyonlarının dışında boru hattı boyunca büyük tüketicilere doğalgaz vermek amaçlı doğalgaz işletme istasyonları mevcuttur. Rusya-Türkiye doğalgaz boru hattında on adet basınç ve ölçüm istasyonu ile bir adet ana ölçüm istasyonu bulunmaktadır. Ana ölçüm istasyonunun amacı Rusya'dan Türkiye'ye giren doğalgazın miktar ve kalitesini ölçmek ve doğalgaza koku verici madde katmaktır. Bunun yanı sıra su ve hidrokarbon yoğunlaşma sıcaklıkları, kükürt miktarı, gaz kompozisyonu ve kalori değeri ölçülmektedir. İstasyonda sıvı toplayıcılar, filtreler, ölçüm ve kokulandırma elemanları bulunmaktadır. Basınç ve ölçüm istasyonları ise büyük tüketicilere giden doğalgazın ölçümünü yaparken aynı zamanda basıncını tekrar düzenlerler. Her bir istasyonda filtreler, ısıtıcılar, basınç düşürücüler ve ölçüm cihazları bulunmaktadır.



Şekil 2.4 Basınç ve ölçüm istasyonları (Kaynak: Botaş 1996)

Boru hattı boyunca yine belli noktalarda kompresör istasyonları mevcuttur. Bu istasyonların tesisi boru hattı içerisindeki gaz basıncının ve dolayısıyla kapasitesinin artırılması için gerekmektedir. Bu ekipmanların yanı sıra yine hat boyunca gaz kurutucular mevcuttur. Gaz kurutucuların amacı ise gerekli basınç ve nem düzeyindeki gazı sağlamak, daha sonra aktüatör ve enstrüman gazı olarak kullanmak üzere ayırıp gerekli kısımlara göndermektir.

Ülkemizin içinden geçtiği süreçlerden bir diğeri de benimsenen enerji politikalarının bir parçası olarak, söz konusu doğalgaz dağıtım hatlarının neredeyse tamamının üçüncü taraflara devri yani özelleştirilmesi sürecidir. Bu konu belki de ülkenin enerji geleceğini tayin edecek mertebede önemli bir konudur. Doğalgaz piyasasında gün geçtikçe artan doğalgaz ve LNG sağlayıcısı kuruluş sayısı, bu firmaların kendi doğalgazlarını satma imkanını yakalamasıyla birlikte konuya olan ilgi ve yatırımlarını daha da arttıracaklar ve böylelikle hidrojene geçiş sürecinde doğalgazın tüketim miktarı, kullanımının çeşitlendirilmesi ile giderek artacaktır. Bu husus aynı zamanda ülke ekonomisinin gelişmesine katkıda bulunulmasını sağlayacak, gelişen hidrojen teknolojisi sürecinin gerisinde kalınmaması da mümkün kılacaktır.

## 2.4 Doğalgazın Depolanması

Doğalgaz, tüketilmek istendiği her yerde boru dağıtım hatları vasıtası ile mevcut olmayabilir. Sadece araç uygulamalarında değil, gazın farklı amaçlarla (ısıtma, soğutma, proses v.s.) endüstriyel kullanımına olanak sağlamak amacı ile boru dağıtım hatlarının mevcut olmadığı yerlere sıkıştırılmış veya sıvılaştırılmış formda nakil edilmesi söz konusu olabilmektedir. Doğalgaz, gerek bu nakil süreci boyunca veya nakledildiği tüketim noktalarında kullanılmak üzere, gerek tüketimdeki pik talepleri karşılamak, gerekse de stratejik miktarları her zaman hazır bulundurmak maksatlı olarak depolanabilmektedir. Doğalgazın depolanması aşağıda bahsedilen iki yöntem ışığında gelişir.

### 2.4.1 Yeraltı depolama

Doğalgaz için en tercih edilen depolama şekli yeraltındaki tabii boşluklar ve süngerimsi tabakalarda basınç altında depolanmasıdır. Bu yöntem hem pik talebin hem de en az stratejik miktarın saklanması bakımından sağlıklı bir yöntemdir. Aşağıda sıralanan yeraltı oluşumlarından faydalanarak bu depolama türü gerçekleştirilir.

#### a. Yeraltı Su Gölleri/Dereleri

Gaz basınçla buralara tatbik edilir ve su yeryüzüne çıkarılır. Şüphesiz ki, “göl” gazın sıkıştırma basıncına dayanıklı kil tabakası ile çevrili olmalıdır.

#### b. Yeraltı “Kaya Tuzu” Yatakları

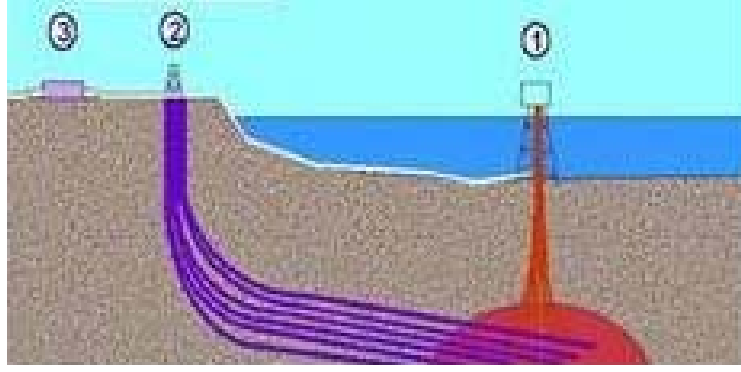
Önce su tatbik edilerek tuzun çözünürlüğü sağlanır ve yeryüzüne alınır. Böylece oluşan boşluğa doğalgaz basınç altında depolanır.

#### c. Yeraltında Yapay Boşluklar

Bu tip boşluklar kayalık bölgelerde yapay olarak açılır. Burada kaya kelimesi ile genelde granit, kireç taşı, tebeşir, dolomit gibi maddelerden oluşmuş yer katmanları kastedilmektedir. Madencilik teknikleri ile yapay olarak oluşturulduğundan pahalıdır. Diğer doğal olanakların sınırlı olduğu yerler için çözüm olabilir. Genelde sıvı yakıtlar için tercih edilir. Gaz için sızdırmazlık sağlanması maliyeti arttırıcı bir unsurdur.

#### d. Terkedilmiş Madenler

İşlevi bitmiş maden yatakları da izolasyon ve sızdırmazlık sağlandığı durumlarda kullanılabilir.



Şekil 2.5 Doğalgaz yeraltı depolanması (Kaynak: Başbakanlık Müsteşarlığı)

Bugün Türk Petrolleri Anonim Ortaklığı, yabancı ortaklığı ile geliştirdiği bir proje ile İstanbul'un Silivri Bölgesinde biri deniz altında biri karada olmak üzere toplam 1,6 milyar  $\text{Sm}^3$  kapasiteli Türkiye'nin ilk yeraltı depolama tesislerini 2007 yılı içerisinde devreye almayı planlamaktadır.

#### 2.4.2 Sıvılaştırılmış doğalgaz (LNG)

Doğalgaz bilindiği üzere genel olarak boru hatları ile taşınır, ancak boru hatlarının ulaşmasının mümkün olmadığı yerlere sıvı formda da nakil edilebilir. Doğalgazın sıvı formda kullanımı arz kaynaklarının çeşitlendirilmesi yönünden de büyük bir önem teşkil etmektedir.

LNG kaynayan sıvı şeklinde, ısı yalıtımı yapılmış büyük tanklar içerisinde depolanır. Fakat bu uygulamalarda bazı zorluklara rastlanılmaktadır. Uygulamanın zorluğu yakıtı bu kadar düşük sıcaklıklarda muhafaza etmekten kaynaklanır. Doğalgaz atmosferik şartlarda ancak  $-163,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye soğutulduğu zaman sıvılaşmaktadır ve bu formu ile doğalgazın normal hacminin  $1/600$ 'ünü teşkil eder.  $-163,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de ki LNG sıvısının gazlaşması sonucu oluşan soğuk gaz  $-112\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar olan sıcaklıkta iken atmosferik şartlardaki havadan daha ağırdır.

LNG uygulamaları için sıklıkla kryojenik tabiri telafuz edilmektedir. Bu tanımlama  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altında çalışılan sıvılar için kullanılmaktadır. Kryojenik sıvıların çalışmak diğer uygulamaların genelinde olduğu gibi çok dikkatli olmayı gerektirmektedir. Oldukça düşük sıcaklıktaki LNG, deri ile temas ettiği anda yanmaya benzer bir etki meydana getirir. LNG'nin gazlaşması ile oluşan gaz da aşırı derecede soğuk olduğu için cilt üzerinde yanma etkisi yapar. Kryojenik sıvıların yapılan çalışmalarda vücudun herhangi bir korumasız kısmının kryojenik sıvı içeren yalıtımsız boru veya kaplarla temasa geçmesine asla müsaade edilmemelidir. Aşırı derecede soğuk metal hızla yapışır ve kurtulmaya çalışıldığı anda korumasız et kısmını yırtar. Soğuk yanık olarak tabir edilen bu gibi yanık tehlikelerine ve derinin soğuk malzemelere yapışmasına ek olarak, oda sıcaklığında yumuşak ve kolay

bükülebilen nesnelere kryojenik sıvılarla temas edince genellikle sert ve kırılabilir olurlar, kolaylıkla kırılabilirler ve/veya ufalanabilirler. Kryojenik sıvı ile çalışacak ortamlarda bu tip malzemelere çok dikkat edilmeli ve kesinlikle kullanılmamalıdır.

LNG bir zemine döküldüğünde önce bir çabuk kaynama periyodu başlar. Bundan sonra buharlaşma hızı, dökülen zeminin ısı özelliği ve çevre havasından kazanılan ısı miktarı ile belirlenen sabit bir değere düşer. Buharlaşma hızının azaltılması için, LNG dökülme ihtimali olan yerlerde ısı izolasyonu yapılmış yüzeyler kullanılabilir.

Çizelge 2.4 Zemine göre LNG buharlaşma hızları

Malzeme	60 saniye sonra birim alan başına buharlaşma hızı ( kg/m <sup>2</sup> /h)
Yığın Halinde	480
Islak Kum	240
Su	195
Standart Beton	190
Hafif Beton	130

Diğer kryojenik sıvılarda rastlanıldığı gibi, LNG'nin atmosfere yayılması durumunda ortaya çıkan yoğun buhar, havanın nemi olup gazın kendisi değildir. Bu tip durumlarda ortaya çıkacak gazın gözlemlenmesi mümkün değildir.

Bu uygulama türünde karşılaşılması muhtemel durumlardan bir tanesinde hızlı faz dönüşümü olayıdır. Farklı sıcaklıklardaki iki sıvının teması sonucu patlayıcı kuvvetler meydana gelir. Hızlı faz dönüşümü olarak adlandırılan bu durum LNG ile suyun temas etmesi sonucu olabilir. Çok farklı sıcaklıklardaki iki sıvı temas ettirilirse ve sıcak olanın sıcaklığı (Kelvin cinsinden) diğerinin kaynama noktası sıcaklığının 1,1 katından büyük ise ikinci sıvının sıcaklığındaki yükselme, yüzey tabakasının sıcaklığı çekirdek kaynama noktası sıcaklığını aşabilecek kadar hızlı olacaktır. Bu aşırı kızmış sıvı buharlaşırken patlama şeklinde buhar oluşturur. Bunda metanın su içerisinde çok miktarlarda çözünebilir bir madde olmamasının ve daha ilerleyen bölümlerde söz edileceği gibi belirli çevre şartları dışında bio-degrade olma özelliğine sahip olmamasının da payı vardır.

Doğalgazın kaynaktan çıktıktan sonra sıvılaştırılması ise büyük soğutucu ünitelerde gerçekleşmektedir. Bu üniteler 150 MW kadar bir sıkıştırma gücüne sahip sıvılaştırıcılardır. Kaynaktan elde edilen doğalgaz önce saflaştırıcı üniteye girer, daha sonra da içerisindeki su

ve ağır organik maddeleri uzaklaştırmak için sıkıştırma ve soğutma prosesine tabi tutulur. Uzaklaştırılan su ve ağır organik maddeler alev kulesinde yakılır. Saflaştırılmış gaz içerisindeki herhangi bir kimyevi içeriği arındırmak için absorpsiyon yataklarına alınır. Son kirletici maddelerde uzaklaştırılır ve alev kulesinde yakılıp yok edilir. Artık CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, ve CO<sub>2</sub>'den meydana gelen temiz doğalgaz sıvılaştırıcı üniteye alınabilir durumdadır. Kryojenik sıvılaştırıcı, saflaştırma ve sıvılaştırma işlemini sürdürür. Bu süreç sırasında saf CO<sub>2</sub> başka kaynaklarda kullanılmak üzere ayrıştırılır ve ayrı bir yerde depolanır, böylece artık geriye CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub> kalmıştır. Bu CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>'de birbirinden ayrılır. Tüm bu sürecin sonunda yüksek saflıktaki metan sıvı formda yani LNG olarak dağıtımaya hazır hale gelmiştir.

Ayrılan N<sub>2</sub>'nin büyük kısmı atmosfere serbest bırakılırken, CO<sub>2</sub>'in serbest bırakılması sonucunda elde edilen temiz gaz ve bir kısım N<sub>2</sub> karışımlarından meydana gelen bir karışım ısı ve yakıt kaynağı olarak tüm bu üniteyi tahrik eden motor ve kompresörlerde kullanılır.

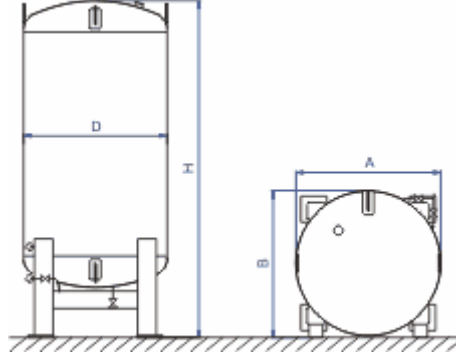
LNG, dağıtım yapılmadan önce büyük kryojenik depolama terminallerinde muhafaza edilir. Bu depolama terminallerinden, özel olarak imal edilmiş ve ısı izolasyonu iyice sağlanmış gemiler vasıtasıyla sıvı yakıt ihtiyacı olan ülkelere, oradan da aynı özel tasarıma sahip tanklar ve çekicileri vasıtasıyla müşteri kullanıcı sahalarına LNG'yi ulaştırmak mümkün olmaktadır.

LNG'nin bir yerden diğer bir yere transferinin yapılması işlemi de oldukça zordur. Bu işlem dolum kolları vasıtasıyla gerçekleştirilir. Dolum sırasında gözlemlenen zorluklar termal şok ve dolum kolu üzerinde meydana gelebilecek karlanma ve buzlanmadır. Söz konusu termal şok olayının önüne geçmek için dolum kolu dolum öncesinde sıvı nitrojen veya LNG'nin kendiliğinden oluşan buharı yani gaz fazı ile soğutulmalıdır. Bu dolum kolları paslanmaz çelik malzemeden meydana gelmektedir ve 16" çapındadır. Tasarımı sırasında dikkat edilmesi gereken husus bağlanacağı gemi veya tank çekicilerinin pozisyonuna uyum sağlayabileceği şekilde her yöne hareket edebiliyor olması gerektiğidir.

LNG'nin nakil ve depolamasının söz konusu şekiller de gerçekleştirilebilmesi için öncelikle bir LNG zincirinin kurulması gereklidir. Bu LNG zincirinde; satıcı pozisyonundaki doğalgaz sıvılaştırma tesislerinden başlayarak, LNG nakliyesini yapacak taşıyıcı ve alıcı konumundaki LNG alım terminalinin bulunması gerekmektedir. Bu zincir boyunca sıvılaştırma tesisleri öncesindeki saha işlemleri safhasında sırasıyla üretim, gazın toplanması, su, LPG ve benzin gibi ağır maddelerin doğalgazdan ayrılması, boru hattı ile sıvılaştırma tesislerine taşınması işlemleri gerçekleştirilirken, sıvılaştırma tesislerinde doğalgaz içerisindeki su ve karbondioksitin ayrılması, sıvılaştırma, LNG'nin alınması ve LNG'nin depolanması işlemleri

gerçekleştirilmelidir.

Kullanıcı sahasına aktarılmış olan LNG, yeniden gazlaştırma ve sonrasında gaz formunda dağıtım hattına verilmesi süreci öncesinde Şekil 2.8 ile gösterilen depolama tanklarında muhafaza edilir.



Şekil 2.6 LNG depolama tankları (Kaynak: Chart-Ferox)

Bu tanklara LNG dolumu gerçekleştirilirken, LNG depolama tankının doldurulmadan önce genellikle azot veya bir başka inert gazı ile soğutulup temizlendiğinden ve havanın tanktan uzaklaştırıldığından emin olunmalıdır. Kryojenik sıcaklığa soğutulmamış kryojenik tank/kapların dolusunda meydana gelebilecek termal şokları mümkün olduğunca en aza indirmek için dolum işlemi yavaşça gerçekleştirilmelidir. Bütün LNG tankları ve hatları topraklanarak statik elektrik birikmesine engel olunmalıdır. Çizelge 2.5 ilerleyen bölümlerde tekrar üzerinde duracağımız Amerika menşeli Chart-Ferox firmasının ürün gamında yer alan belirli tipteki depolama tankları ve karakteristiklerine ait fikir vermektedir.

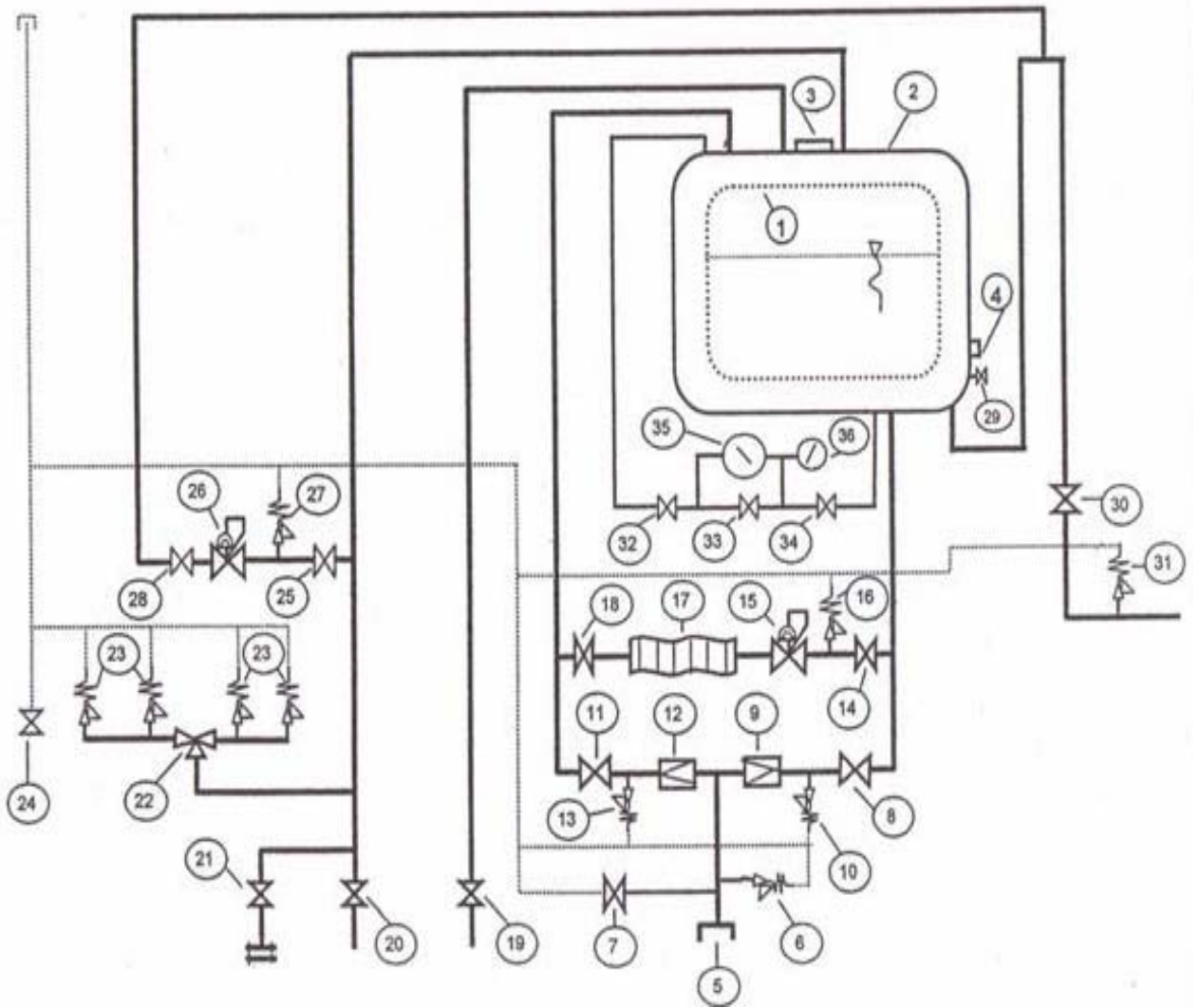
Çizelge 2.5 LNG depolama tankları karakteristikleri (Kaynak: Chart-Ferox)

Depolama Tankları	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 4	Tip 5	Tip 6	Tip 7	Tip 8
Brüt Hacim	2000	8700	11200	25400	25700	43400	31900	59500
LNG (kg)	850	3690	4740	10750	10880	18360	13500	25170
Boş Ağırlık	2700	6000	7000	12500	14200	21600	15900	25700
Çap (D)	1800		2200		2500		3000	
Genişlik (A)	2050		2200		2500		3000	
Derinlik (B)	2100		2240		2540		3040	
Yükseklik (H)	3140	7600	6100	11590	9880	15370	8320	13810

Oksijen gibi oksitleyici bir gaz ile dolu tanka yanlışlıkla LNG doldurulmasının da felaketlere yol açabileceği unutulmamalıdır. Gerekli olduğu takdirde tank içerisindeki oksijen gazı seviyesi

ölçülmelidir. Oksitleyici maddeler, halojenler ve asit gibi maddelerin buharlaştığına dair şüphe uyandıran tanklara temizleme işlemi yapılmadan LNG dolumu yapılmamalıdır. Pozitif basınç bulunmayan, içerisine atmosfer havası girmiş olan tanka kesinlikle direkt olarak LNG dolumu yapılmamalı, tank inert gaz ile yıkama yapıp içerisindeki hava uzaklaştırıldıktan sonra LNG dolumu yapılmalıdır.

Böyle bir LNG depolama tankı üzerinde yer alan enstrümanlar Şekil 2.9 ile gösterildiği üzere olmaktadır.



Şekil 2.7 LNG depolama tankı enstrümanları (Kaynak: Habaş, 2004)



1. İç tank
2. Dış tank
3. Vakum bölgesi emniyeti
4. Vakum tapası
5. Dolum çenesi
6. Dolum çenesi emniyet ventili
7. Dolum çenesi drain vanası
8. Sıvı hattı dolumu kumanda vanası
9. Sıvı hattı dolumu II. kumanda vanası
10. Sıvı hattı dolum vanaları emniyet ventili
11. Gaz hattı dolumu kumanda vanası
12. Gaz hattı dolumu II. kumanda vanası
13. Gaz hattı dolum vanaları emniyet ventili
14. Tank basınçlandırma evaporatörü kontrol vanası
15. Tank basınç kontrol regülatörü
16. Tank basınçlandırma hattı emniyet ventili
17. Tank basınçlandırma evaporatörü
18. Tank basınçlandırma evaporatörü gaz çıkışı kontrol vanası
19. Taşma vanası
20. Gaz tahliye hattı
21. Müşteri hattı gaz kullanım kontrol vanası
22. Basınç tahliye kontrol vanası
23. Basınç tahliye emniyet ventilleri
24. Gaz tahliye hattı drain vanası
25. Ekonomayzer hattı kontrol vanası
26. Basınç kontrollü ekonomayzer regülatörü
27. Ekonomayzer hattı emniyet ventili
28. Ekonomayzer hattı gaz çıkışı kontrol vanası
29. Vakum ölçme kumanda vanası
30. Müşteri sıvı kullanım hattı kontrol vanası
31. Müşteri sıvı kullanım hattı emniyet ventili
32. Seviye göstergesi gaz hattı kumanda vanası
33. Seviye göstergesi by-pass hattı kumanda vanası
34. Seviye göstergesi sıvı hattı kumanda panosu
35. Tank sıvı seviye göstergesi
36. Tank basınç göstergesi

Bu sistemi üzerinde barındıran dış tank ayrıca içerisinde içsel bir tanka sahiptir. İç kısımda da yekpare bir tankın yerine birbirinden vakum ortamı ile ayrılmış 304L kalite paslanmaz çelikten imal edilmiş iki adet tank bulunmaktadır. Bu vakum ortamı daha sonra iyi bir izolasyon sağlamak amacı ile cam tozu yani perlit ile doldurulmuştur. Dış tank ise ST 37 kalite karbon çeliğinden imal edilmiştir. Tankın üzerindeki sistemin sağ tarafı tamamen sıvı operasyon ile sol tarafı ise tamamen gaz operasyonu ile ilgilidir. Tankın çalışma basıncı maksimum 5,5 bar olarak ayarlanmıştır. Bu değerin üzerine çıktığında sistem yirmi numara ile gösterilen hat ile beraber gazı hemen tahliye etmeye başlar.

Bu tankların çalışmasında karşılaşılan bir sorun, boil-off adı verilen ve sürekli gaz fazına

geçiş nedeniyle oluşan ve ilerleyen bölümlerde daha etraflıca bahsedilecek olan gazın kendisidir. Uzun süre tüketimin yaşanmaması durumunda sıvı formdaki gaz buharlaşarak bir gaz fazı meydana getirmektedir ve artan basınç dolayısıyla da sistem bu gazı tahliye etmek istemekte, bu da bir süre sonra gazın tamamen ortadan kaybolmasına neden olmaktadır.

LNG'nin gaz fazına geçiş sürecinde kullanılan bir diğer ekipman evaporatördür. Bu üniteler ile tanktan yeterli miktarda gaz çekimi yapılabilir. Evaporatörler genellikle tek tip malzemedeki tek tip kaynak metodu ile temin edilmektedir. Standart ve yüksek basınçlı evaporatörler de kapasite 20 Sm<sup>3</sup>/h ile 3000 Sm<sup>3</sup>/h arasında değişir. Standart tipler 50 bar işletme basıncına, yüksek basınçta olanlar ise 300 bar işletme basıncına sahiptir.

Sonuç olarak, Türkiye'de iki adet ana LNG depolama terminali bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi İzmir Aliğa bölgesinde kuruludur, diğeri ise şu an faal olarak kullanılan tek terminal olan Marmara Ereğlisi terminalidir. Bu tesis 255.000 Sm<sup>3</sup> (3 x 85.000 Sm<sup>3</sup>) depolama, 780.000 Sm<sup>3</sup>/h gönderme kapasitesine ve 75 bar azami gönderme basıncı niteliklerine sahiptir. Doğalgaz ihtiyacı pik değerlere yaklaştığında sıvı yakıtı tekrar gazlaştırmak amacı ile kurulmuş olup, bugün nerdeyse hiç tekrar gazlaştırma işlemi için kullanılmaksızın tamamen LNG ticareti için kullanılmaktadır. Çok kısa bir süre önceye kadar, sıvı doğalgaz dağıtıcısı konumundaki firmalara sahip olduğu tek dolum rampası üzerinden 25 tanker/gün kapasite besleme ile çalışan bu tesis, bugün bu sayıyı 45 tanker/gün'e çıkartabilmiştir. Bu uygulama türü hız kesmeksizin her gün artan oranlarda kullanılmaya devam etmektedir.

### 3. YAKIT SİSTEMLERİNE GENEL BİR BAKIŞ ve ALTERNATİF YAKIT TÜRLERİ

#### 3.1 Yakıt Sistemleri

Günümüzde konvansiyonel yakıt türleri ile çalışan ve alternatif yakıt türleri ile çalışması içinde üzerinde uygulamalar geliştirilen iki farklı motor seçeneği vardır. Bunlardan birincisi ateşlemeli motorlar olarak adlandırılan (SI-Spark Ignited) ve bir ateşleme sistemi vasıtasıyla yakıtın alev almasını sağlayan sistemlerdir. Bugün benzinli araçlarda kullanılan motor tipidir. Öte yandan, sıkıştırılmalı motorlar (CI-Compressed Ignited) olarak adlandırılan ve bir ateşleme sistemine gerek olmaksızın sıkıştırılan havanın ulaşılmış olduğu sıcaklığın püskürtülen yakıtın alev alması için yeterli olduğu sistemler bulunmaktadır ve dizel yakıtla çalışan motor teknolojilerinin temelinin teşkil ederler.

Yakıt hücreleri ise, hidrojen ile oksijen (havadan elde edilen) arasındaki bir kimyasal reaksiyon sayesinde elektrik üretir. Hidrojen yakıt hücreleri sadece su buharı ve kullanılmamış hava yayar. NO<sub>x</sub> emisyonlarını, çalışma sıcaklıkları NO<sub>x</sub> formlarının oluştuğu sıcaklığın altında kaldığı müddetçe üretmezler. Hidrojen araç üzerinde üretilebilir veya depolanabilir.

Esnek yakıtlı olarak adlandırılan araçlarda ise iki veya daha fazla yakıt karışımını kullanılabilir (Örneğin, Benzin-Etanol karışımı ve Benzin-Metanol karışımı gibi). Şu anda pazarda birçok dizel yakıtlı araç herhangi bir modifikasyona ihtiyaç kalmadan Dizel-Biodizel karışımı ile çalışabilir.

Çizelge 3.1 Yakıtlara göre motor sistemleri

Yakıt Türü	Motor Tipi	Yakıt Sistemi	Sıkıştırma Oranı
Benzin	SI	mono**	<11
Dizel	CI	mono	18 (di) ; 22 (idi) *****
LPG	SI	mono, bi-fuel***	11-13
Doğalgaz	SI,CI	mono, bi-fuel, dual-fuel****	11-13
Metanol	SI, CI, FC	mono, ffv*	9 (ffv) ; <19 (mono)
Etanol	SI, CI, FC	mono, ffv	9 (ffv) ; <18 (mono)
Biodizel	CI	mono (ffv)	dizel ile aynı
Hidrojen	SI, FC	mono, bi-fuel	14-17
DME	CI	mono	dizel ile aynı

\* ffv : esnek yakıtlı araçlar

\*\* Mono: Motorda tek bir yakıt türünün tüketildiği sistemler

\*\*\* Bi-fuel: Motorda benzinle beraber aynı anda ikinci yakıtın tüketilebildiği sistemler

\*\*\*\* Dual-fuel : CI motorlarda doğalgazın dizel ile belli karışım oranlarında karıştırılarak yakıldığı sistemler

\*\*\*\*\* di : direkt injeksiyon / idi : indirekt injeksiyon

### 3.2 Günümüzde Alternatif Yakıt Türleri

#### 3.2.1 Doğalgaz (CNG ve LNG)

Kimyasal kompozisyonunda en büyük ağırlığı Metan ( $\text{CH}_4$ ) teşkil etmektedir ve doğada bulunan en basit karbon yapısı olmasından dolayı yanma verimi çok yüksektir. Sadece kurutulmayı ve  $\text{H}_2\text{S}$  (hidrojen sülfid)'in yapısından kaldırılmasını gerektirir. Kuru ve temiz içerikli bir doğalgazın kimyasal kompozisyonu, fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.2 ile gösterildiği gibi olmaktadır;

Çizelge 3.2 Doğalgaz fiziksel ve kimyasal özellikleri

<b>Komponent</b>	<b>Hacim (%)</b>	<b>Fiziksel ve Kimyasal Özellikler</b>		<b>Metan</b>
Metan	96.31	Kimyasal Denklemi		$\text{CH}_4$
Etan	1.40	Yanma Verimi		93%
Propan	0.54	Molekül Ağırlığı		16,04
Isobütan	0.20	Yoğunluk ( $\text{kg/m}^3$ )		0,65-0,80
N-Bütan	0.11	Isıl Değeri	Üst (kcal/kg)	9.155
I-Pentan	0.06		Alt (kcal/kg)	8.250
N-Pentan	0.03	Tutuşma Sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )		550-600
Hekzan	0.03	Alev Alma Aralığı	hava / yakıt (%)	5-15
Nitrojen	0.40	Max. Laminar Alev Hızı (m/s)		0,38
$\text{CO}_2$	0.92	Kaynama Sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )		-161,5
		Min. Tutuşma Enerjisi (Mj)		0,28
		Oktan Sayısı		125

İtalya, Arjantin, Yeni Zellanda, Rusya Federasyonu ve A.B.D. gibi ülkeler büyük doğalgazlı araç filolarına sahiptirler. OECD ülkelerinde kara taşımacılığında kullanılan enerjinin şimdilik küçük bir bölümünü teşkil etmektedir. Hali hazırda gelişmiş doğalgaz dağıtım hattına sahip ülkeler doğalgazı bir araç yakıtı olarak kolayca lanse edebilirler ancak belirli bir altyapıdan yoksun ülkeler için bu sistemleri kurmak hayli masraflı olmaktadır.

Çizelge 3.3 CNG kullanımında dünya sıralaması (Kaynak: ENGVA)

No	Ülke	NGV	Yakıt İstasyonları	Benzine göre doğalgaz fiyatı (%)
1	Arjantin	1.300.000	1270	25,9%
2	Brezilya	803.600	910	39,4%
3	Pakistan	475.000	500	51,0%
4	İtalya	381.250	490	41,5%
5	Hindistan	222.300	190	33,3%
6	ABD	130.000	1300	72,7%
7	Çin	82.200	310	42,9%
8	Mısır	55.800	90	31,6%
9	Ukrayna	55.000	140	26,7%
10	Kolombiya	47.900	90	41,5%

Çizelge 3.4 CNG kullanımında Avrupa sıralaması (Kaynak: ENGVA)

No	Ülke	NGV	Yakıt İstasyonları	Benzine göre doğalgaz fiyatı (%)
1	İtalya	381.250	490	41,5%
2	Ukrayna	55.000	140	26,7%
3	Rusya	41.000	210	30,6%
4	Almanya	25.000	530	39,5%
5	B. Rusya	5.500	25	-
6	Fransa	7.200	105	63,9%
7	İsveç	4.200	50	75,7%
8	Bulgaristan	2.100	10	31,1%
9	İsviçre	1.250	55	75,3%
10	Mısır	55.800	90	31,6%

LPG'de olduğu gibi doğalgazda yüksek oktan sayısına sahiptir ve benzin motorlarıyla karşılaştırıldığında, doğalgazla çalışan bir motorun ısıl verimliliği % 10 civarında daha fazladır. Bu her iki özelliği de, doğalgazla çalışan araçların iyi bir kalkış yapmasına ve sessiz çalışmasına olanak sağlar. Diğer motorlarla karşılaştırıldığında gürültü emisyonlarında % 30 oranında azalma meydana getirdiği tespit edilmiştir. Yanma veriminin yüksekliği ve kimyasal yapısının basitliği aynı zamanda motorda temiz bir yanma gerçekleşmesini de sağlar. Böylelikle araç motoru daha az yıpranmış olur ve bakım giderlerinde ciddi miktarlarda tasarruf sağlanmış olur (örneğin, yağ değişiminde 35.000-40.000 km'ye kadar olanak tanır).

Diğer yakıtlar ile karşılaştırıldığında doğalgazın tüketim maliyetleri konusunda sağladığı avantajları gözler önüne sermek için Çizelge 3.5 ve 3.6 bize yardımcı olacaktır.

Çizelge 3.5 Yakıt eşlenik tablosu

	NG (Sm <sup>3</sup> )	Benzin (lt)	Motorin (lt)	LPG (lt)	LNG (kg)
1 Sm <sup>3</sup> NG	<b>1</b>	1,1	1,0	1,3	0,706
1 lt Benzin	0,909	<b>1</b>	0,910	1,205	1,193
1 lt Motorin	1,0	1,1	<b>1</b>	0,755	1,005
1 lt LPG	0,769	0,830	0,652	<b>1</b>	0,655
1 kg LNG	1,416	0,817	0,995	1,525	<b>1</b>

Çizelge 3.6 Yakıt tüketim tablosu

No	Yakıt	Birim	Birim Fiyat (YTL)	100 km'de yakıt harcamı
1	Benzin	lt	2,75	9 lt x 2,75 YTL = 24,75 YTL
2	Motorin	lt	2	8,0 lt x 2 YTL = 16,00 YTL
3	LPG	lt	1,41	10,4 lt x 1,41 YTL = 14,66 YTL
4	Doğalgaz	Sm <sup>3</sup>	1,15	8,0 Sm <sup>3</sup> x 1,15 YTL = 9,02 YTL
5	Biyodizel	lt	1,2-1,4	9,20 lt x 1,3 YTL = 11,96 YTL
6	*Metanol	lt	-	-
7	*Etanol	lt	-	-

Her iki çizelgeden de görüldüğü üzere doğalgaz verimlilik yönünden getirdiği avantajların yanı sıra tüketim maliyetleri yönünden de birçok avantajlar sunmaktadır.

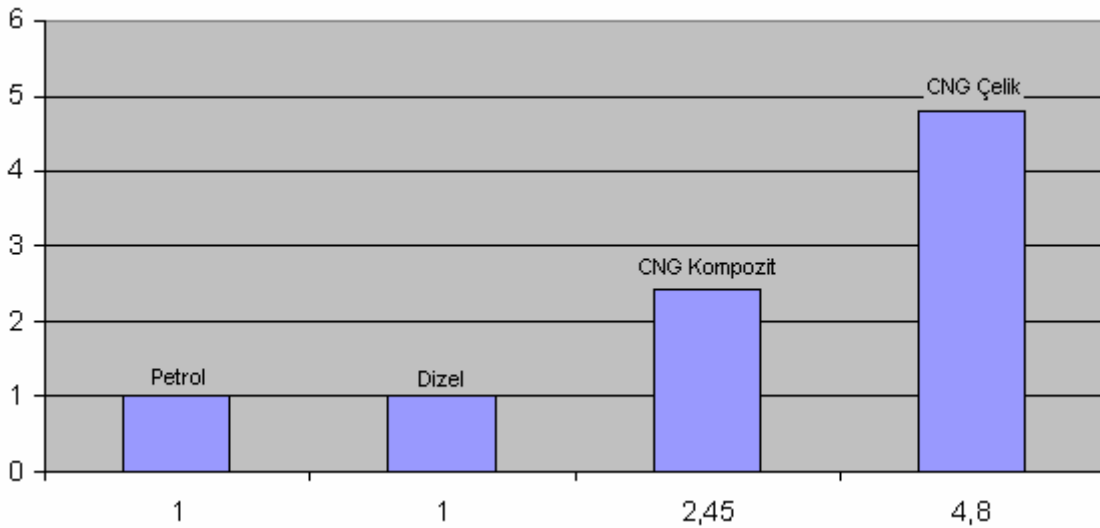
Doğalgaz yakıt zinciri boyunca doğalgaz sızıntıları sırasında atmosfere karışan hidrokarbonlar sayılmazsa ana kaynaktan tüketim noktasına gelene kadar düşük emisyon değerlerine sahiptir. Bunun yanı sıra doğalgazın araçlarda kullanılması ile NO<sub>x</sub> emisyonlarını % 90, CO emisyonlarını % 25 oranında düşürmek mümkün olmaktadır. Kapalı alanlarda ufakta olsa bir patlama riski taşısa da, havadan hafif olması özelliği herhangi bir sızıntı anında dahi doğalgazın bulunduğu ortamı hemen terk etmesine olanak sağlar. Ayrıca geniş bir alev alma aralığına sahip olması, böyle bir tehlike anında bile patlayıcı ortamın oluşmasını zorlaştırmaktadır.

\*Alkol türü yakıtlara dair sağlıklı veriler bulunmamaktadır.

Yine diğer yakıtlarla mukayese edildiğinde, yüksek tutuşma sıcaklığı sayesinde, bir çarpışma anında doğalgazın alev alması kolay olmamaktadır. Bu yüzden LPG'den çok daha iyi güvenlik karakteristiklerine sahiptir. Güvenlik tedbirleri LPG tanklarıinkiyle mukayese edilebilir ancak çok daha yüksek tank basınçları söz konusu olduğundan çok daha sıkıdır.

Doğalgaz çevre koşulları altında nispeten düşük bir enerji içeriğine sahiptir fakat sıvı formda iken LPG ile mukayese edilebilir. Bu özelliğinden dolayı doğalgaz genellikle 200-250 bar basınç aralığında sıkıştırılmış olarak depolanır. Doğalgazın bu şekildeki kullanımı CNG (Compressed Natural Gas) adını almaktadır. CNG genellikle söz konusu basınç değerleri altında ağır çelik tanklarda depolanmaktadır. Şekil-3.1'den de görüleceği üzere bir CNG yakıt tankı aynı miktarda enerjiyi taşıyabilmek için bir benzin veya dizel tankının dört-beş katı fazla hacme gereksinim duymaktadır. Bu, kullanılan malzemenin çelik olması durumunda, araç üzerinde yine dört-beş kat daha fazla ağırlık ve netice itibarıyla daha fazla yer kaplayan bir araç tankı demek olacaktır. Gelinek teknoloji noktasında kompozit malzemeden yapılmış araç depolama tanklarının kullanılması, uygulamanın bu negatif yönünü ortadan kaldırmaya büyük yardımda bulunmaktadır. Çelik malzemelerle bir arada kullanılan fiber katkılı plastik malzemeler veya çeliğin yarı ağırlığındaki karbon fiber malzemelerin kullanılması bu depolama tanklarının ağırlıktan dolayı doğan problemleri ortadan kaldıracaktır. Ancak bu tür malzemelerin kullanılması doğal olarak bu tankların maliyetini arttırmaktadır. Aracın toplam ağırlığının azaltılması, alacağı menzil ve yakıt ekonomisine olumlu yönde katkıda bulunacaktır.

Şekil 3.1 Araçların birim enerji başına gereksinim duyduğu birim yakıt tankı kütlesi (Kaynak: Caddet Iea, 1998)



Gazın sıkıştırılması yöntemi daha verimli ve daha yaygın olsa da sıvı formda da doğalgazı depolamak ve sonra araçlarda kullanmak mümkündür. Doğalgazın bu türlü kullanımını LNG (Liquified Natural Gas) adını almaktadır. Ancak bu uygulama atmosfer basıncında  $-161,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  gibi çok düşük bir sıvı sıcaklığını gerektirmektedir. Sıvı doğalgaz için kullanılacak yakıt tankı bir CNG yakıt tankından çok daha küçük olmakla beraber aynı zamanda daha az bir ağırlığa sahiptir. Çok düşük sıcaklıklarda gazı muhafaza etmek araç tankının çok iyi izole edilmiş olmasını gerektirir ki bu durum maliyetleri oldukça arttırmaktadır. Buna ek olarak, bu tanklar doğalgazı, yakıtın kaynayan formda olmasından dolayı gerçekleşen sürekli gaz formuna geçiş ve sonra atmosfere karışması özelliğinden dolayı uzun süreler depolayamamaktadır.

CNG genellikle hafif araçlar ve kısa menziller için uygun olmakla beraber LNG daha fazla yakıt tüketimine neden olan ağır araçlar ve daha uzun menziller için uygundur. LNG yüksek basınçta depolanmayı gerektirmediğinden araç tankları basitçe izole edilmiştir ve bu nedenle daha hafiftir. Tüketim arttığından dolayı şehir içi yollarda doğalgaz kullanmak oldukça ekonomik olmaktadır.

Doğalgazın araçlarda kullanımının temel olarak şu metotları vardır ; direkt olarak fabrika çıkışlı doğalgaz ile çalışmak üzere imal edilmiş olabilirler. Bu durumda hafif araç uygulamalarında aracın motor aksamı benzinli olarak kalmakta iken, ağır tonajlı araç uygulamalarında bu dizel motor olarak gerçekleşmektedir. Bunun yanı sıra sonradan dönüşümün gerçekleştirildiği uygulamalardan, benzin motoruna bir takım modifikasyonların yapılması ile Bi-Fuel adı verilen ve tek seferde sadece bir yakıt ile çalışan, ancak iki farklı yakıt ile çalışma altyapısına sahip bir sistemle de çalışabilirler. Bu uygulama LPG'nin benzin motorlu araçlara uygulanması yönteminin aynısıdır. Dizel motorlu araçlar için ise iki farklı durum söz konusudur. Birincisi, gerçekleştirilen bir takım ciddi modifikasyonlar ile motorun artık dizel operasyonundan çıkıp sadece doğalgaz ile çalışmaya adapte edilmesi ve diğer yandan da Dual-Fuel adı verilen dizel yakıtı ile doğalgazın belli karışım oranlarında kullanıldığı uygulama türüdür. Bu uygulamada motorun ilk çalıştırılması dizel ile gerçekleştirilirken belli bir devir değeri (1500-2300 dev/dak.) aşıldıktan sonra motor doğalgaza geçmektedir. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki, dual-fuel sistemlerinin yüklenmesi hem  $\text{NO}_x$ , hem de partiküler emisyonlarda ciddi düşüşlerle sonuçlanmaktadır. Bu uygulama yöntemleri ile ilgili daha detaylı bilgiler ilerleyen bölümlerde sunulacaktır.



Doğalgaz, çok basit olan araç üzerindeki bir takım dönüşüm işlemlerinin gerçekleştirilmesinden sonra kolaylıkla kullanılabilir hale gelmektedir. Bu dönüşüm işlemleri araç üzerine yeni bir yakıt tankı, basınç düşürücü regülatör, yakıt pompası, hortumları, injeksiyonları, valfleri v.s. gibi bir takım ekipmanların tesis edilmesi ile gerçekleştirilir. Bugün dünya üzerinde dört milyondan fazla araç motorlarında doğalgaz yakarak sokaklarda dolaşmaktadır ve bu araçları besleyecek 8 bin kadar istasyon mevcut bulunmaktadır.

### 3.2.2 Likit petrol gazı (LPG)

Benzin motorlarında yakıt olarak sıvılaştırılmış petrol gazı kullanımı genelde yakıt maliyetlerinin ve kirletici egzoz emisyonunun azaltılması amacıyla uygulanmaktadır. LPG fiyatlarının benzine göre daha düşük düzeyde olması, dönüşüm sisteminin getirdiği ek maliyetlere rağmen, genelde ekonomik yönden bir avantaj sağlamaktadır. Benzin motorlu taşıtlarda LPG kullanımının getireceği en önemli fayda, egzoz gazları emisyonunun genelde daha düşük seviyede kalmasıdır.

LPG, ateşlemeli motorlar için en yaygın alternatif yakıt türlerinden biri olmasına rağmen yollarda tüketilen enerji bakımından – OECD ülkelerinde % 1- küçük roller oynar. LPG ile ilgili en çok dikkat çeken noktalardan birisi ise arzın talepten fazla olmasından dolayı fiyatının düşük kalmasıdır.

LPG, propan ( $C_3H_8$ ) ve bütanın ( $C_4H_{10}$ ) belirli oranlardaki karışımından oluşmaktadır. Propan ve bütanın farklı kaynama noktalarına sahip olmaları, diğer bir deyişle atmosfer basıncı altında gaz fazından sıvı fazına geçiş sıcaklıklarının farklı olması dolayısıyla, depolamada iklim koşullarına göre farklı karışım oranları uygulanmaktadır. Atmosfer basıncında, propan  $-43\text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta sıvı fazda bulunurken, bütan  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta sıvı fazda bulunmaktadır. Bu nedenle, özellikle soğuk iklimlerde ve soğuk mevsimlerde karışım içindeki propan oranı artırılarak sıvı fazından gaz fazına geçiş kolaylaştırılmaktadır. Karışım oranındaki bu değişikliklere bağlı olarak yakıtın özellikleri de değişim göstermektedir.

LPG, benzin v.b. sıvı yakıtlardan farklı olarak, emme zamanında tamamen buharlaştıktan sonra yanma odasına gaz fazında gönderilmektedir. Bu nedenle silindir içerisinde daha fazla hacim kaplamakta ve sıvı yakıtlara oranla daha homojen bir karışım elde edilmektedir.

Çizelge 3.7 LPG fiziksel ve kimyasal özellikleri

Fiziksel ve Kimyasal Özellikler		Propan	Bütan
Kimyasal Denklemi		C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>
Yanma Verimi		90-92 %	
Molekül Ağırlığı		44,08	59
Yoğunluk (kg/dm <sup>3</sup> )		0,55	
Isıl Değeri	Üst (kcal/kg)	11.800	
	Alt (kcal/kg)	10.600	
Tutuşma Sıcaklığı (°C)		450-510	
Alev Alma Aralığı	hava / yakıt (%)	2,2-9,5	
Max. Laminar Alev Hızı (m/s)		4	
Kaynama Sıcaklığı (°C)		-43	0
Min. Tutuşma Enerjisi (Mj)		0,25	
Oktan Sayısı		104-105	

LPG yakıtı sıvı olarak bulunduğu tanktan buharlaştırıcıya ulaştığında burada buhar fazına geçer ve karıştırıcıda hava ile karışarak silindire gönderilir. LPG yakıtlı motorların emme manifoldu sıcaklığı daha düşük olduğu için daha yüksek verimle çalışırlar. Eğer emme manifoldu soğutuluyor ise bu durumda silindire giren LPG buharı daha yoğun olacağından motorun hacimsel veriminde artış olacaktır. Bu nedenle özel soğutma aparatları kullanılarak LPG-Hava karışımının silindire daha soğuk girmesi sağlanır. LPG yakıtından optimum gücü ve ekonomikliği elde etmek için, motorun uygun sıkıştırma oranına sahip olması gerekir. Benzinli motorlardaki sıkıştırma oranı 8:2:1 dolayındadır ve LPG'nin oktan sayısı benzine oranla daha yüksektir. LPG ile çalışan motorlar vuruntusuz olarak **10:5:1** sıkıştırma oranında çalışabilmektedir. Yüksek oktan sayısı, LPG ile çalışan motorların daha yüksek verimliliğe sahip olmasına olanak tanır.

LPG çevre sıcaklık ve basıncında gaz formundadır ve makul bir basınç değeri olan 6-8 bar mertebelerinde sıvı olarak depolanır. Araç üzerinde, basınç tankı benzine karşılık gelen enerji miktarı için gerekli tankın neredeyse iki katı kadar yer kaplamakta ve 1,5 katı kadar ağırlık teşkil etmektedir. Bir basınç tahliye vanası, basınç 20 barın üzerine çıktığında LPG'yi serbest bırakır. Tankın kendisi ise yalnızca 100 barın üstüne çıktığında patlayacaktır. Bir araç içerisindeki LPG tankı asla kapasitesinin % 80-85'inden fazlasına genişmiş yakıtı yer bırakmak düşüncesiyle doldurulmamalıdır.

LPG dönüşümü sonucu genelde egzoz emisyonlarında azalma olmaktadır. Özellikle CO emisyonları benzin motoruna oranla daha düşük değerlere inerken, HC ve NO<sub>x</sub>'de ki azalma ise daha az olmaktadır. LPG'nin diğer bir avantajı da motorun fakir karışımla çalışmasına olanak tanınmasıdır. Fakir karışımın getirdiği güç azalmasını karşılayacak şekilde motor strok hacmi artırılıp sıkıştırma oranı da artırıldığında, enerji bazında yakıt tüketimi düşerken emisyon değerleri de önemli ölçüde azalmaktadır.

Elektronik sistemli ve LPG püskürtmeli sistemlerde elektronik kumanda modülünün yardımıyla emisyon değerleri çok düşük seviyelere indirilebilmektedir. LPG yakıtlar içerisinde, benzine oktan sayısını arttırmak için eklenen kurşun tetraetil ile benzin v.b. gibi aromatik hidrokarbonlar da bulunmaktadır. Bu da ayrıca kirletici emisyonlarının azalmasını sağlamaktadır.

Genel olarak emniyetli bir yakıt olarak düşünülse de, LPG havadan ağır gazdır. Sızıntı veya benzeri bir durum olması durumunda, bu özelliğinden dolayı yer seviyesine çöküp, her an bir tutuşma kaynağı ile yüz yüze gelmesi durumunda da patlama tehlikesiyle karşı karşıya kalacaktır. Bu nedenle kapalı ve yeraltı otoparklarında LPG'li araçlara müsaade edilmez. Aynı zamanda alev alma aralığı ve tutuşma sıcaklığı doğalgaz ile karşılaştırıldığında çok düşüktür. Bulunduğu ortamın %2'sini kapladığı andan itibaren patlama riski taşımaktadır. Buna bir çarpışma anında oluşabilecek yaklaşık 450°C'lik bir sıcaklığın LPG'yi ateşlemek için yeterli olacağını da eklersek, LPG pek güvenli emniyet şartları sunmamış olmaktadır.

### 3.2.3 Biodizel

Biodizel, en önemlileri kanola (kolza), soya, aspir, ay çiçeği, hurma olan ve yağ içeren farklı mahsüllerden üretilen bir grup esterleştirilmiş bitkisel yağa hitap etmektedir. Yağ asitlerinin bir katalizör eşliğinde (bazik veya asidik ortamda) kısa zincirli bir alkol ile (metanol, etanol) reaksiyonu sonucu oluşan esterlerdir. Kullanılan yağ yeni veya atık olabilir. Ayrıca hayvansal yağlarda bu zincir içerisinde kendine yer bulmaktadır.

En çok donenin mevcut olduğu; birim alanda diğer yağ bitkilerine kıyasla daha yüksek oranda ürün ve yağ veren, yağ bitkileri arasında en ucuza elde edilen yağı sağlayan, yetiştirme devresi oldukça kısa olan ve hem kışa hem yaza uyumlu çeşitleri olan kolza (kanola) metil esteri, kısaca RME olarak adlandırılır ve bu tür esterleştirilmiş yağları tanımlamak için kullanılır.

Çizelge 3.8 Biodizel fiziksel ve kimyasal özellikleri

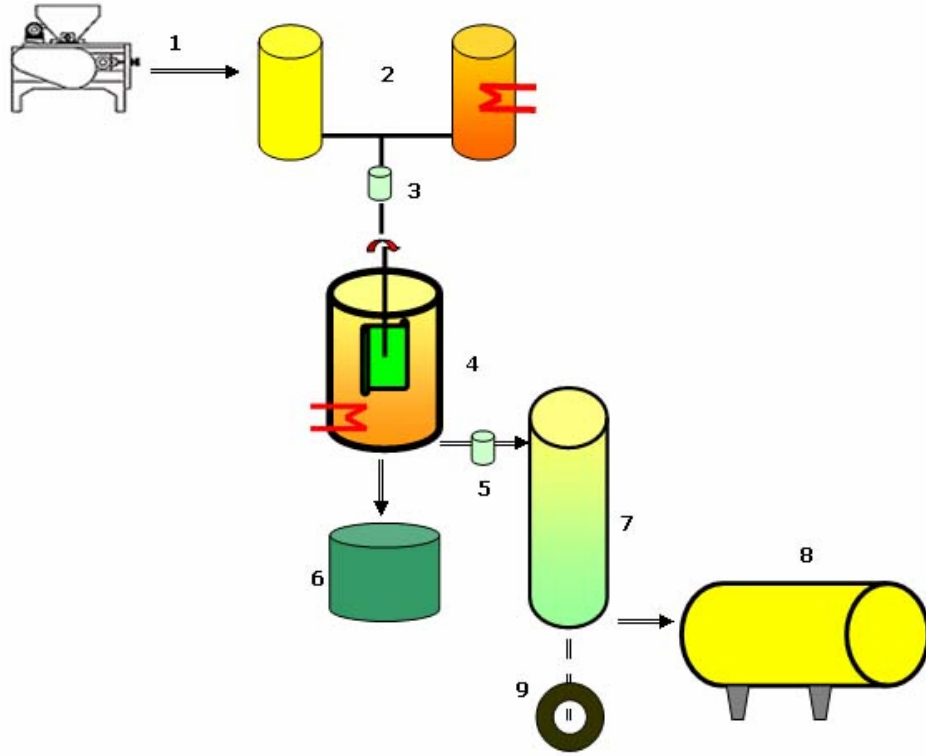
Fiziksel ve Kimyasal Özellikler		Biodizel
Kimyasal Denklemi		C16-C18
Molekül Ağırlığı (g/mol)		296
Özgül Ağırlığı (kg/lt)		0,87-0,88
Alt Isıl Değeri	(kcal/kg)	8.875
	(kcal/kg)	7.780
Tutuşma Sıcaklığı (°C)		>100
Su Miktarı (mg/kg)		250-255
Kükürt İçeriği		< 0,01
Setan Sayısı		>55

Esterleştirme bitkisel yağ moleküllerini dizel hidrokarbonlarına dönüştürmek için (bu tür biodizel'in maliyetleri fosil dizelinkini aşıyor olsa da) düşük maliyetli yollar önermektedir. Fosil dizellerin özelliklerine çok yakın olan, hatta birçok noktada daha üstün özellikler gösteren biodizel neredeyse direkt olarak, hiçbir ayar veya değişiklik gerektirmeden dizel araç motorlarına girebilir ve fosil dizel ile her oranda karışabilir. Motorin ile kolayca karıştığı için saf veya karışım halinde kullanılabilir. B5, B20, B50, B100 gibi yanındaki rakamların içerdiği biodizel oranını ifade ettiği tanımlamalar, biodizel yakıtlara verilen genel adları teşkil etmektedir.

Biodizel'i enerji içeriği fosil dizele oranla % 8 kadar daha düşüktür ancak daha yüksek setan sayısı sayesinde, daha yüksek yakıt yoğunluğuna ve daha iyi bir tutuşma kalitesine sahiptir. %30'lara varan miktarlarda yakıt ekonomisi sağlar. Alev alma sıcaklığı dizel yakıtı nazaran daha yüksektir. Bu nedenle taşınması ve depolaması daha güvenli bir yakıttır. Biodizel'in ayrıca çözücü özelliği vardır. Yakıt deposu ve borularındaki kalıntı ve tortuları çözeceğinden dolayı, araç içerisinde filtrelerin tıkanmamasına yönelik önlemler alınmalıdır.

Biodizel'in üretimi, aşağıda kademeleri ile tanımlanan ve Şekil 3.2 ile de proses akım şeması gösterilen süreç neticesinde gerçekleşmektedir.

1. Yağ Çıkarma Makinası
2. Bitkisel ve Atık Yağ Depolama Tankları
3. Filtre
4. Reaktör ve Ayırıştırma Tankı
5. Filtre
6. Gliserin Depolama Tankı
7. Biodizel Yıkama Ünitesi
8. Biodizel Depolama Tankı
9. Rögar



Şekil 3.2 Biodizel proses akım şeması (Kaynak: Elektrik İşleri Dairesi Başkanlığı)

1. Alkol ve Katalizörün Karıştırılması : Alkol olarak metanol veya etanol kullanılmaktadır. Katalizör olarak ise sodyum hidroksit (kostik soda) veya potasyum hidroksit kullanılmaktadır.
2. Reaksiyon : Alkol-Katalizör karışımı kapalı reaksiyon kabı içerisine doldurulur ve bitkisel veya hayvansal yağ ilave edilir.
3. Ayırma : Reaksiyon tamamlandıktan sonra iki ana ürün biodizel ve gliserindir. Gliserinin yoğunluğu biodizel'in yoğunluğundan çok daha fazla olduğundan gravite ile ayrılabilir ve gliserin fazı çöktürme kabının dibinden kolayca çekilebilir.
4. Alkolün Uzaklaştırılması : Gliserin ve biodizel fazları ayrıldıktan sonra her bir fazdaki fazla alkol bir flaş buharlaştırma veya distilasyon prosesi ile uzaklaştırılır ve reaksiyon karışımı nötralize edilir.
5. Gliserin Nötralizasyonu : Yan ürün gliserin, kullanılmamış katalizör ve bir asit ile nötralize edilmiş sabunlar içerir ve ham gliserin olarak depolanmak üzere depolama tankına gönderilir.
6. Metil Ester Yıkama İşlemi : Gliserin ayrıldıktan sonra biodizel kalıntı katalizör ve sabunları uzaklaştırmak amacıyla ılık su ile yıkanır, suyu uzaklaştırılır ve depolamaya gönderilir. Bazı proseslerde bu basamak gereksizdir.

Biodizel üretilirken, ham madde üretimi süreci sonunda, süt ve sürü hayvanlarının beslenmesi açısından önemli vitaminler içeren küspe diye adlandırılan bir atık madde ile tarımsal amaçlı kullanılacak gübre de yan ürün olarak ortaya çıkmaktadır.

Biodizel'in ana kaynağından alınıp son kullanım noktasına getirilene kadar ki enerji gereksinimi fosil dizelinkinden daha yüksek, ancak benzininkinden daha düşüktür. Emisyon bakımından ise dizel emisyonları ile benzerlik göstermektedir.

Biodizel, tarımsal bitkilerden elde edilmesi dolayısıyla, biyolojik karbon döngüsü içinde, fotosentez ile CO<sub>2</sub>'i dönüştürüp karbon döngüsünü hızlandırdığı için sera etkisini artırıcı yönde etki göstermez. Yani biodizel CO<sub>2</sub> emisyonları için doğal bir yutak olarak düşünülebilir ve dizele oranla %80 mertebelerinde CO<sub>2</sub> emisyonlarını azalttığı söylenebilir. Ayrıca CO, SO<sub>x</sub> emisyonlarının, partikül madde ve yanmamış hidrokarbonların (HC) daha az salındığı kanıtlanmıştır. Biodizel'in NO<sub>x</sub> emisyonları dizel yakıtı göre daha fazladır, %13 oranında bir artış gösterdiği tespit edilmiştir. Emisyon miktarı motorun biodizel yakıtı uygunluğuna bağlı olarak değişir. Bununla birlikte biodizel kükürt içermez. Bu yüzden NO<sub>x</sub> kontrol teknolojileri biodizel yakıtı kullanan sistemlere uygulanabilir. Konvansiyonel dizel yakıtı ayrıca kükürt içerdiği için NO<sub>x</sub> kontrol teknolojilerine uygun değildir.

Ozon tabakasına olan olumsuz etkiler, biodizel kullanımında dizel yakıtı nazaran %50 daha azdır. Asit yağmurlarına neden olan kükürt bileşenleri biodizel yakıtlarda yok denecek kadar azdır. Yine biodizel yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan CO (zehirli gaz) oranı dizel yakıtların yanması sonucu oluşan CO oranından %50 daha azdır.

Dizel yakıtı gibi depolonabilen biodizel, dizel yakıtlı diğer araçların sahip olduğu menzil için yaklaşık % 15 daha fazla yakıt ağırlığına sahip olmalıdır. Tank hacminin ise % 9 kadar fazla olması yeterlidir. Biodizel'in oluşturduğu artıklar daha sık filtre değişimlerini ve daha kısa tank temizleme zaman aralıklarını gerektirir ve motor yapısı içerisindeki elastomerler biodizele karşı dayanıklı olmalıdır. Eğer biodizel RME ise, yakıt taşmasının araç dış yüzüne vereceği zararlardan korunmak üzere RME dirençli dış kaplamalar kullanılmalıdır. Bu durum B20 ve daha düşük oranlı biodizel-dizel karışımlarında ise görülmez.

Biodizel pazarını etkileyen en önemli faktör, biodizel üretim maliyetinin yüksek olmasıdır. Birim üretim maliyetinde belirleyici bir faktör ise yan ürün olarak elde edilen gliserinin ekonomik olarak kullanılmasıdır. Yan ürün olarak elde edilen gliserin sabun ve kozmetik sanayisinde değerlendirilebildiği gibi ilaç sektöründe de kullanılabilir. Ülkedeki gliserin fiyatlarının yarıya düşmesi nedeniyle ekonomikliğini yitiren ve kapatılan biodizel tesislerinin mevcudiyeti bilinmektedir.

Biodizelin toplumsal faydaları da göz ardı edilemeyecek bir alternatif yakıt türüdür;

- Daha temiz yanma ürünleri nedeniyle sürdürülebilir ve sağlıklı bir kalkınma için katkıları büyüktür.
- % 91-92 oranlarındaki yabancı kaynaklı petrole bağımlılığın azaltılması nedeniyle ekonomik ve stratejik katkı sağlar (biodizel üretimi için ağırlıklı olarak kendi öz kaynaklarımızın kullanılacağı düşünülürse).
- Kırsal kesimin sosyal ve ekonomik yapısında iyileşmeler sağlayacaktır.
- İş imkanları yaratır ve yan sanayinin gelişmesine de katkıda bulunacaktır.
- Ekonomide katma değer yaratır.

### 3.2.4 Metanol

Metanol, içerisinde metil alkol bulunan, odun, kömür gibi fosil yakıtların ısı altında damıtılmaları yolu ile, doğalgaza bir takım distilasyon işlemleri uygulanarak veya CO ve H<sub>2</sub>'nin katalitik ortamda sentezlenmeleri sonucu elde edilir. Bu yöntemlerden en makul ve yaygın olanı doğalgazın kullanıldığı yöntemidir. İlk adım olarak doğalgaz istenilen CO/H<sub>2</sub> oranına getirilir, ikinci adımda ise kirletici maddelerin kaldırılmasından sonra, CO ve H<sub>2</sub> katalizörler yardımıyla metanol'e dönüştürülür.

Bir diğer yöntemde ise ana madde olarak kömür kullanılmaktadır ancak sürecin geneline bakıldığında bu pek bir anlam ifade etmemektedir. Zira proses sırasında ortaya çıkan CO<sub>2</sub> emisyonu egzoz gazlarından oluşan emisyonlardan çok daha fazla olacaktır. Biokütleden (odun, selülozik materyal v.s.) metanol üretimi teknik açıdan olsa da ticari açıdan pek makul değildir. Ham maddenin önce öğütülmesi, sonra çekilmesi ve kurutulması gibi prosesleri gerektirmektedir. Ayrıca görünmektedir ki, doğal kaynaklarının yenilenebilir olmamasından dolayı metanol'ün alternatif bir yakıt olarak kullanılması kısa bir süre için olacaktır. Bunun yanı sıra günümüzdeki metanol üretiminin enerji dengesi negatiftir. Yani metanol'ün üretimi için, yanması sonunda vereceği enerjiden daha fazlasına gereksinim vardır. Bu da bize metanol'ün benzin üretiminde kullanılan bir katkı maddesi olan MTBE (Metil Tersiyer Bütil Eter) üretiminde kullanılmasından öteye gitmesinin çok zor olduğunu göstermektedir.

Metanol'ün kaynama sıcaklığı 65,1 °C, donma sıcaklığı -97,6 °C'dir ve su ile her oranda karışabilir. Metanol taşıtlarda çok küçük değişikliklerle kolaylıkla kullanılır. Prototipler üzerinde yapılan araştırmalara göre, metanol taşıtlı yakıtların gelişmiş teknolojiye sahip benzinli taşıtlara göre % 5-10 oranında daha fazla verime ve olağanüstü ivmeye sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 3.9 Metanol fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal Denklemi	CH <sub>3</sub> OH	
C/H oranı	0,25	
Moleküler Ağırlığı	32,04	
Özgül Ağırlığı (sıvı kg/dm <sup>3</sup> )	0,79	
Isıl Değeri	(kcal/kg)	4.800
	(kcal/kg)	3.800
Stokiyometrik Karışım İçin	hava / yakıt (kütlesel)	6,44
	hava / yakıt (hacimsel)	7,14
	(kj/litre)	3,53
Buharlaştırma Isısı (Mj/kg)	1,102	
Tutuşma Sınırları	% hacim	6-37
	$\lambda$	0,24-0,22
Laminar Alev Hızı (m/s)	0,52	
Adyabatik Alev Sıcaklığı (°C)	1878	
Kaynama Noktası (°C)	65,1	
Donma Noktası (°C)	-97,6	
Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı (°C)	470	
Oktan Sayısı	110	

Metanol benzinden daha fazla maliyetli, daha düşük enerji yoğunluğuna sahip ancak oldukça yüksek oktan sayısına sahiptir. Yüksek oktan sayısı daha yüksek sıkıştırma oranlarının seçilebilmesine ve veriminin yükselmesine olanak sağlamaktadır.

Metanol yüksek oktan sayısına sahip olmasına karşın çok küçük setan sayısına sahiptir. Bu sebeple dizel motorlarında kullanımında problemler vardır. Bu problemler düşük setan sayısı, yüksek alev alma sıcaklığı ve kendi kendine tutuşma direnci nedeni ile dizel motorlarında sıkıştırma strokunun sonuna doğru, silindir içerisinde sıkıştırılmış hava içerisine püskürtülmesi ile başlayacak yanma sürecinde meydana gelmektedir. Yakıtın tutuşmasını geciktirir ve motorda vuruntuya neden olur. Fakat kendi kendine tutuşma direnci, otto motorlarında sıkıştırma oranının artırılmasına olanak sağladığından bu tip motorlarda kolaylıkla kullanılabilir. Bu sebepten dolayı dizel motorlarında ancak buji sistemi kullanılması durumunda veya dizel yakıtı ile karıştırılması durumunda kullanılabilir.

Metanol'ün belirli bir hacimdeki enerji yoğunluğu benzine göre daha düşük olduğundan benzin ile kat edilen mesafeyi almak için daha fazla metanol kullanımına ihtiyaç vardır. 1,75 litre metanol, 1 litre benzinin verdiği enerjiye eşit miktarda enerji vermektedir. Bu da yakıt tanklarının daha geniş ve ağır olması demektir. Böylece hem taşıtlardaki depoların büyütülmesi gerekecek ve yer kaybına neden olunacak, hem de taşıtta benzine göre daha fazla



bir yükün taşınmasına neden olunacaktır.

Metanol benzine göre daha düşük buharlaşma basıncına ve daha yüksek buharlaşma ısısına sahiptir. Bu nedenden dolayı buji ateşlemesi olmadan çalışması güçtür. Özellikle kışın çalışma güçlükleri göstermektedir (buharlaşma sırasında benzinin üç katı kadar fazla enerji kullanır). Bu sebepten dolayı % 15 benzin ve % 85 metanol ile çalışması daha caziptir. Birçok otomobil üreticisi bu oranda bir karışım ürünü olan M85 yakıtı yakabilecek motorlar üzerinde çalışmaktadır.

Metanol gazının yanması sonucu oluşan bazı egsoz emisyonları benzinle aynı olmaktadır. Metanolün yanması sonucu CO, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gazları oluşmaktadır. Ayrıca metanol'ün benzine göre daha düşük alev sıcaklığının olması, yanmanın iyileşmesini, yanma ürünleri içerisindeki CO ve NO<sub>x</sub>'in azalmasını sağlamaktadır. Sera etkisini önemli ölçüde etkileyen CO<sub>2</sub> emisyonlarında % 7-15 azalma olmaktadır. Doğalgazdan üretilen metanol içerisinde HC emisyonları yüksektir. Fakat biokütleden üretilen metanol için CO<sub>2</sub> emisyonları çok düşük olabilir. Metanol benzinin aksine yanmamış HC üretmez.

Metanol'ün yanması tam olarak gerçekleşmekte olup partikül oluşmamaktadır. NO<sub>x</sub> motor silindiri içinde yüksek sıcaklık ve basınç altında, havadaki azot ve oksijenin birleşmesi ile oluşur. Metanol'ün yanması ile oluşan ısı azdır; dolayısıyla çok fazla miktarda NO<sub>x</sub> meydana gelmesi için gerekli koşul oluşmaz.

### 3.2.5 Etanol

Etanol, içerisinde etil alkol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) bulunan, şeker, şekerle çevrilebilen selüloz veya nişasta gibi maddelerin fermentasyonu sonucu elde edilen bir alkol türüdür. Etanol patates, tahıllar, şeker kamışı ve şeker pancarı gibi tarım ürünlerinden elde edilir. Bu özelliğinden dolayı etanol'ün yakıt olarak üretimi bu mahsulleri, diğer gıda ürünleri üretimini azaltmadan, yetiştirmek için gerekli alanların, toprağın sağlanması şartı ile mümkündür. Etanol'ün içten yanmalı motorlarda kullanımı düşüncesi tarım ürünlerinin bolca yetiştirildiği ülkeler için geçerli olduğundan, alternatif bir yakıt olarak dünya çapında kullanılması sınırlı kalacaktır.

Etanol'ü ana kaynak maddesi maliyetlerine büyük oranda bağlı olarak, benzin gibi üretmek için üç-beş defa daha fazla maliyet gözden çıkarılmalıdır. Ateşlemeli motorlarda da sıkıştırılmalı motorlarda da etanol kullanılabilir ve metanol'de olduğu gibi çoğunlukla benzin ile karışım halinde ya da vuruntuya karşı ilave bir madde olarak ETBE (Etil Tersiyer Bütil Eter)'ye dönüşümünden sonra motora girmektedir. Biokütle içerisindeki yenilenebilir orjinleri MTBE yerine kullanılmasının ana nedenidir.

Çizelge 3.10 Etanol fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal Denklemi	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	
C/H oranı	0,333	
Moleküler Ağırlığı	46,07	
Özgül Ağırlığı (sıvı kg/dm <sup>3</sup> )	0,79	
Isıl Değeri	(kcal/kg)	6.435
	(kcal/kg)	5.100
Stokiyometrik Karışım İçin	hava / yakıt (kütlesel)	8,96
	hava / yakıt (hacimsel)	14,3
	(kJ/litre)	3,61
Buharlaştırma Isısı (Mj/kg)	0,856	
Tutuşma Sınırları	% hacim	3,5 - 19
	$\lambda$	0,24-1,92
Adyabatik Alev Sıcaklığı (°C)	1924	
Kaynama Noktası (°C)	78,7	
Donma Noktası (°C)	-117,1	
Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı (°C)	392	
Oktan Sayısı	106	

Etanol'ün yüksek oktan sayısına sahip olmasına karşın çok düşük setan sayısına sahip olması ve kendi kendine tutuşma direnci ile, dizel motorlarında kullanımında bir takım problemler vardır. Fakat kendi kendine tutuşma direnci, otto motorlarında sıkıştırma oranının artırılmasına olanak sağladığından etanol'ün otto motorlarında kullanılması daha avantajlıdır. Bu sebepten dolayı etanol, dizel motorlarında ancak buji kullanılması durumunda veya dizel yakıtla karıştırılması durumunda kullanılabilir.

Etanol'ün enerji yoğunluğu metanol'den fazla, benzinden düşüktür. Enerji yoğunluğu benzinden daha düşük olduğu için benzine kat edilen mesafeyi kat etmek için daha fazla etanol kullanımına ihtiyaç vardır. Bu da yakıt tanklarının daha geniş ve ağır olması demektir.

Etanolün petrole göre buharlaştırma ısısı yüksek, buhar basıncı düşüktür. Buharlaştırma ısısının yüksek oluşu motorlarda soğukta ilk hareketi zorlaştırmaktadır. Etanol'ün en önemli dezavantajlarından biri içinde bulunan suyun donanım ve emme sistemi üzerindeki korozif etkisidir. Etanol'ün korozif özellikleri nedeni ile korozyonu önlemek için yakıt ve emme sistemi koruyucu maddelerle kaplanmaktadır.

Etanol, biokütleden elde edildiğinde benzin ve dizele göre daha düşük kaynaktan tekerleğe CO<sub>2</sub> emisyonlarını son ürün olarak çıkarmaktadır. Benzine hafif araçlarla karşılaştırıldığında düşük CO ve HC emisyonları üretmektedir. Dizelli ağır araçlarla karşılaştırıldığında ise daha

yüksek CO ve HC emisyonları üretmektedir.

Emniyet ile ilgili olarak ise, hem metanol hem de etanol benzin ve dizel ile karşılaştırıldığında daha geniş tutuşturulabilir hava-yakıt karışımlarına sahiptir. Çevre sıcaklıklarında alkoller tank içerisindeki yakıt üzerinde kolaylıkla patlayıcı buhar oluşturabilir. Ancak kazalarda ise alkollerin düşük buharlaşma hızı, hava içerisindeki konsantrasyonlarını düşük ve patlayıcı olmayan seviyede tuttuğundan benzinden daha az tehlike teşkil etmektedir. Metanol tüketildiğinde veya solunduğunda toksiktir ancak etanol ise az miktarda maruz kalındığında zararlı değildir.

### 3.2.6 Di-metil eter (DME)

DME'nin bir otomobil alternatif yakıtı olarak ortaya çıkması çok kısa bir süreç içerisinde olmuştur. Metanol üretimine çok benzeyen imal şekli, metanol'de olduğu gibi doğalgazı veya biokütleyi sentetik gaz ( $H_2$ , CO,  $CO_2$ 'in bir karışımı.  $CH_4$  gibi bazı kirleticileri içerebilir) oluşturmak için ana kaynak olarak kullanır ve sonra "oxygenate synthesis" adı verilen bir proses ile de DME'yi oluşturur.

Elde ediliş şekli ve kullanım bakımından LPG'ye benzemektedir. DME, atmosfer şartlarında gaz formundadır ve sıvı olarak makul bir basınç değerinde (6 bar) LPG'dekine benzer emniyet önlemlerinin alınması ile depolanabilir. Dizel yakıtının yarısı bir enerji yoğunluğuna sahip olduğundan dolayı belli bir kullanım menzili için büyük depolama tanklarına ihtiyaç duyar. Dizelden de yüksek setan sayısı DME'yi sıkıştırılmalı tip motorlar için çok uygun yapar ve motor verimliliği dizel yakıtınki ile rekabet edebilir. Uçuculuğu ve kolay tutuşmaya hazır durumu hava/yakıt karışımı hazırlanmasında dizele karşı bir avantaj sağlar.

DME benzinden daha pahalıdır ve büyük ihtimalle de öylede kalacaktır. Bu özelliğinden dolayı kullanımının yaygınlaşmasını beklemek pek gerçekçi bir hedef olmayacaktır.

DME çok kısa bir süreç öncesine kadar alternatif bir otomobil yakıtı olarak gündeme gelmediğinden, enerji tüketimleri ve emisyonlarına dair veriler çok kısıtlıdır. Üretim safhasındaki enerji gereksiniminin metanol'e yaklaştığı kabul edilebilir. DME'li araç emisyonlarına dair veriler CO ve HC için dizel ile olandan,  $NO_x$  ve partiküller açısından benzin ile olandan oldukça aşağıda kalmaktadır. DME insanlar açısından toksik içermez ancak gözler ve solunum sistemleri üzerinde olumsuz etkilere yol açar.

DME, LPG'nin depolandığı gibi depolanabilir. Yapılan deneyler aşırı tank basıncından kaçınmak için tahliye vanalarının kullanıldığı dokuz barlık tanklar ile yapılmıştır. Yapılan çalışmalara göre DME tank yükleri benzin tanklarından % 66 daha büyük hacme sahip olacak

ve % 47 kadar daha ağır gelecektir.

### 3.2.7 Hidrojen

Hidrojen, kömür ve doğalgaz gibi fosil yakıtlardan, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, dalga veya hidrolik enerjisi, nükleer enerji ve su gibi sonsuz bir kaynaktan elde edilebilir. Şu an doğalgazdan elde edilmesi yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Hidrojenin yakıt olarak kullanılmasında, yanma son ürünü olarak su buharı açığa çıkarması nedeni ile çevreye hiçbir zararı yoktur. Yanarken alevi görülemeyecek kadar şeffaftır.

Kokusuz, renksiz, tatsız ve saydam bir yapıya sahip olan hidrojen doğadaki en hafif kimyasal elementtir. Gaz halindeki hidrojen aynı hacimdeki havadan yaklaşık 15 kez daha hafiftir. İçten yanmalı motorlarda kullanılmakta olan diğer alternatif yakıtlarla karşılaştırıldığında sıvı hidrojenin, sıvı hidrokarbonlara oranla yaklaşık 10 kat daha hafif, gaz halindeki hidrojenin ise metan gazından 10 kat daha hafif olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.11 Hidrojen fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal Denklemi	H <sub>2</sub>	
C/H oranı	0	
Moleküler Ağırlığı	2,02	
Özgül Ağırlığı	sıvı : kg/dm <sup>3</sup>	0,07
	gaz : kg/dm <sup>3</sup>	0,084 x 10 <sup>-4</sup>
Isıl Değeri	Üst (kcal/kg)	33.950
	Alt (kcal/kg)	28.700
Isıl Değeri (Mj/litre)	8,41	
Stokiyometrik Karışım İçin	hava / yakıt (kütleli)	34,32
	hava / yakıt (hacimsel)	2,38
	(kj/litre)	3,2
Buharlaştırma Isısı (Mj/kg)	0,447	
Tutuşma Sınırları	% hacim	4,1 - 74
	$\lambda$	0,15 - 4,35
Laminar Alev Hızı (m/s)	2,91	
Adyabatik Alev Sıcaklığı (°C)	2110	
Difüzyon Katsayısı (m <sup>2</sup> /sn)	0,61	
Kaynama Noktası (°C)	-252,35	
Donma Noktası (°C)	-259	
Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı (°C)	574 - 591	
Oktan Sayısı	130	

Hidrojenin motorlarda yakıt olarak kullanılması durumunda petrol kökenli motor yakıtlarına oranla başka birçok önemli avantaja daha sahiptir. Yüksek alev hızı ve tutuşma yeteneği, düşük ateşleme enerjisi gerektirmesi, geniş tutuşma ve yanma sınırları, yüksek ısı değer ve termik verim, kirletici egzoz gazı emisyonlarının azlığı ve sahip olduğu yüksek oktan sayısı nedeni ile vuruntuya karşı dirençli olması hidrojeni çekici kılmaktadır. Ayrıca benzin ve mazotla birlikte çeşitli karışım oranlarında çift yakıtla çalışmaya olanak vermesi, geçiş dönemlerinde mevcut motorlarda önemli değişiklikler yapılmadan hidrojen kullanımını olanaklı kılacaktır.

Hidrojenin yakıt olarak kullanılmasında yarar sağlayacak bir diğer önemli özellik, hidrojenin çok fakir karışımlardan, çok zengin karışımlara kadar uzanan geniş hava-yakıt karışım oranı aralığı içerisinde tutuşabiliyor olmasıdır. Hava fazlalık katsayısının 0,15-4,35 değerleri arasında tutuşma sağlanabilmektedir. Hidrojen/hava karışımlarını ateşlemek için gerekli minimum enerji miktarı da diğer yakıtlara oranla daha düşüktür. Bu durum Otto prensibi ile çalışan motorlarda tutuşma garantisi yönünden bir avantaj gibi gözükse de, erken tutuşma ve geri tutuşma gibi sorunlara neden olmaktadır. Hidrojenin kendi kendine tutuşma sıcaklığının oldukça yüksek olması (1 atm. Basınçta 574-591°C) ve oktan sayısının yüksek olması Otto motorlarında kullanımında bir diğer avantajı teşkil etmektedir.

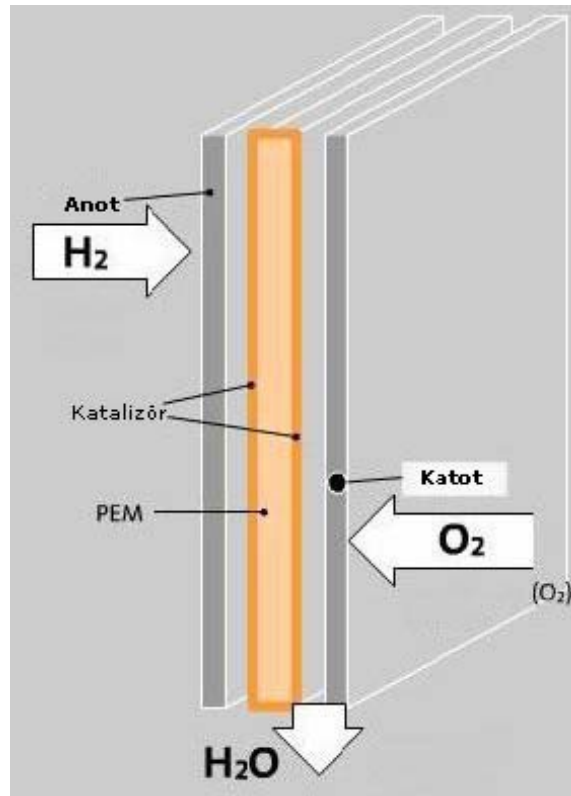
Hidrojenin dizel motorlara uygulanması çalışmalarında ise, hidrojenin kendi kendine tutuşma sıcaklığının yüksek olması bir takım güçlüklerle karşılaşılmasına neden olmaktadır. Yüksek yüklenme durumlarında hava/yakıt oranının stokiometrik karışım oranına yaklaştığı durumlarda veya araç rölantide iken erken ve geri tutuşma durumları ile karşılaşmaktadır.

Hidrojenin sıvı halde depolanması, düşük sıcaklıklarda gerçekleştiğinden kullanılacak yakıt tankının ısı yalıtımının çok iyi yapılmış olması gerekmektedir. Depo yalıtımının tam anlamı ile yapılmaması nedeni ile oluşan ısı transferi, depo hacminin artmasına neden olur. Basıncın artmasını önlemek için buharlaşan hidrojenin atmosfere atılması gereklidir. Minimum tutuşma enerjisinin düşük olması ve yüksek alev alma hızına sahip olmasından dolayı en ufak gaz kaçağında dahi ortama yayılması kapalı hacimlerde tehlike teşkil etmektedir. Öte yandan yayılma kabiliyetinin yüksek olması nedeni ile meydana gelecek karışım, ortama yüksek hızla yayılacağından dolayı yanıcı olmayan bir oranda olacaktır ve bu da bir avantaj olarak değerlendirilebilir. Herhangi bir kıvılcım ile tutuşma meydana gelmesi durumunda ise zayıf bir alev meydana gelecektir. Hidrojenin kendi kendisine tutuşma sıcaklığının yüksek olduğunu belirtmiştik ve alev süresinin kısa olmasından dolayı ortaya çıkan radyasyon ısısı düşüktür ve bunun sonucunda alev sıcaklığı yüksek olur.

Buraya kadar söylenenler hidrojenin içten yanmalı motorlu araçlarda benzinin yerine kullanıldığı durumlar için geçerli olmaktadır. Bunun yanı sıra yakıt teknolojisinin geldiği son nokta olan ve dünya üzerindeki bütün fosil yakıt rezervlerinin tükendiği noktada alternatifsiz kalacak gibi gözükken yakıt pili teknolojisi de hidrojen ile gerçekleştirilen uygulamaların bir diğer parçasıdır.

Yakıt pili uygulamasında yanma diye bir süreç söz konusu değildir. Sadece kimyasal bir reaksiyon gerçekleşir. Basınçlı olarak depolanan gaz formundaki saf hidrojen bir yakıt pili içerisinde havadan alınan oksijen ile kimyasal bir reaksiyon vasıtasıyla birleştirilir. Bu reaksiyon neticesinde aracın mekanik hareketini sağlamak amacıyla kullanılacak olan elektrik ve son ürün olarak da su buharı elde edilir.

Bir yakıt hücresi ortalama olarak 0,7 voltluk elektrik üretir. Bir aracı çalıştırmak için ise bu yakıt hücrelerinden 1500-2000 adet arası seriler halinde bir araya getirilir ve ürettikleri elektrik birleştirilir. Yakıt hücresi grubu ürettiği bu elektriği elektrik motorlarına gönderir. Motorlarda aracı enerjilendiren ve tekerlekleri döndüren mekanik enerjiyi meydana getirir. Yakıt deposunda saf hidrojen yerine benzinde depolanabilir. Örneğin General Motors'un ürettiği ve S-10 adını verdiği bir yakıt hücresi, temiz benzinden hidrojen içeriklerini toplar ve hidrojeni öylece kullanır.



Şekil 3.3 Tek bir yakıt hücresinin iç yapısı (Kaynak: Hidroner)

Yakıt pilleri pil türü ve elektrolite (polimer) göre beş farklı türde mevcut olup bunlardan en yaygın olarak kullanılanı PEM (Proton Exchange Membran) olarak adlandırılan proton değişim membranı pilli olandır. Bir yakıt pili şu elemanların bir araya gelmesi ile fonksiyon gösterir ;

1. Anot : Negatif yüklenen anot üzerinde katalizör yüzeyi üzerine eşit olarak hidrojen gazı yayan kanalları vardır.
2. Katalizör : Hidrojen ile oksijen arasında kimyasal reaksiyona yol açar. En yaygın olarak kullanılan katalizör türleri paladyum ve platinyum'dur.
3. PEM : Reaksiyon zamanları çok hızlıdır. Katalizör aracılığıyla ayrılan hidrojenin sadece pozitif yüklü iyonlarını iletir. Protonlar yakıt hücresi zarı ya da başka bir deyişle elektrolitten geçerler ancak elektronlar geçemezler.
4. Katot : Pozitif yüklü katodun içerisinde oksijeni katalizörün yüzeyine dağıtan ve reaksiyon boyunca üretilen suyu ortamdan uzaklaştıran kanalları vardır.

Yakıt hücresinin çalışma şekli ise basınçlı hidrojen gazının negatif yüklü anoda doğru pompalanması ile başlar. Gaz katalizör boyunca itilir. H<sub>2</sub> molekülü katalizöre dokunduğu zaman iki hidrojen iyonuna (H<sup>+</sup>) ve iki elektrona (e<sup>-</sup>) ayrılır. Anotta biriken elektronlar, anot ile katot arasında dışarıdan kurulan bir kapalı devre üzerinden akarak katotta oksijen ile birleşmesi sonucu protonlar suyu, elektronlar elektriği meydana getirir. Bu süreç esnasında bir miktarda ısı meydana gelmektedir.

Yakıt pilleri sistem itibarı ile akü bataryasına, çalışma prensibi ile içten yanmalı motorlara benzer. Çoğu enerji dönüştürücü sistemin verimi orta derecededir. Hidrojen ile çalışan yakıt pilleri ile sağlanan enerji sistemlerinde verim yaklaşık olarak %50 civarındadır ki, bu verim elektro-dizel jeneratör ve türbinlerden çok daha fazladır.

Konuya giriş yaparken belirtildiği üzere araçlarda kullanılmak istenilen hidrojeni üretmenin belli başlı yöntemleri vardır. Bunlardan öne çıkanı, hiçbir CO<sub>2</sub> emisyonuna sebep olmayan, suyun elektroliz metodu ile bileşenlerine ayrılması yolu ile elde edildiği türdür. Süreci başlatmak için gerekli elektrik enerjisi rüzgar, güneş veya hidrolik enerjisi gibi düzensiz elektrik kaynaklarından yararlanılarak üretilebilir ve istenildiği zaman kullanılmak üzere depolanabilir. Böylelikle çok düşük emisyon değerleri elde etmek de mümkün olacaktır. Ancak, aynı zamanda yakıtı elde etmek için gerekli enerjinin tüketilmesi bakımından yaklaşımda bulunursak pek avantajlı bir durum ortaya çıkarmamaktadır.

Yakıtı emisyonlar açısından değerlendirecek olursak, hava ile yanması neticesinde içeriğinde

karbon bulunmamasından dolayı yanma ürünleri arasında CO, CO<sub>2</sub> ve HC'ler bulunmayacaktır. Sadece yüksek yanma sıcaklıkları ve havanın kimyasal reaksiyonu sonucu NO<sub>x</sub>'ler bol miktarda üretilecektir. Üretilen NO<sub>x</sub>'lerin büyük kısmını oluşturan NO'lar egzoz sistemi içerisinde veya atmosfere çıktıktan sonra NO<sub>2</sub>'ye dönüşmektedir. NO<sub>x</sub>'lerin miktarı, yanma odası sıcaklıklarının azaltılması, oksijen konsantrasyonunun azaltılması veya yanma süresinin kısaltılması sonucu düşürülebilmektedir.

Hidrojenin taşıtlarda kullanılması için bir diğer yöntem de metal hibrit uygulamalarıdır. Metal hibrit uygulamaları, hidrojen gazının bir takım metal alaşımları üzerine gönderilmesi ve bu alaşımlarla egzotermik reaksiyona girerek tüketilmesi şeklindedir. Bu yöntemde hidrojenin küçük moleküllere sahip olmasından ve yüksek difüzyon özelliğinden faydalanılır. Bu özelliğe sahip olan gaz formundaki hidrojen katı metallerin kafes şeklindeki iç yapılarına nüfuz ederek kristal yapının çeşitli yerlerine bağlanır. Metal hibrit uygulamalarında kullanılacak metallerin seçiminde şu özellikler aranır: düşük ayrışma ısısı, hızlı ayrışma, düşük ayrışma basıncı, hidrojen depolama miktarının fazlalığı. Sistem ağırlığının büyük olması metal hibrit depolama şeklinin araçlar için kullanılmasını sınırlamaktadır.

Hidrojen yakıtının araçlarda alternatif yakıt olarak kullanılmasının en önemli sorunlarından bir tanesi hidrojenin depolanmasıdır. Hacim bazında enerji içeriği nispeten düşük olduğundan, araç depolaması büyük tanklar gerektirmektedir ve bu durum küçük araçlar için sorunlar doğurmaktadır.

Dünya ve Türkiye'de ki uygulamalar ve uygulama koşullarına bakarsak şu durumlarla karşılaşırız. Gerek içten yanmalı motorlar olsun gerek yakıt hücreleri uygulamaları olsun, hem yakıtın kendisinin hem de aracın konvansiyonel olanlara kıyasla daha pahalı olduğunu söylemek mümkündür. Örneğin yakıtın bugün Amerika'da benzine oranla üç kat daha pahalıya satıldığı bilinmektedir. Daimler Chrysler firması bugün CITARO adı verilen ve 600 volt 200 kW'lık bir elektrik motoru ile hareket etmekte olan otobüsler üretebilmektedir. Bu otobüsler dokuz adet çelik tüp deposu içerisinde 350 barda 40 kg hidrojen taşımaktadır. Yine başka bir uygulamada Kanada'nın Quebec eyaleti ile Avrupa topluluğu başka bir iş birliktelik geliştirmişlerdir. Bu uygulama Quebec eyaletinin sahip olduğu 100 MW bir hidroelektrik güç fazlalığını hidrojene çevirerek Avrupa'ya naklini ön görmektedir.

Ülkemizde ise hidrojen uygulamalarının yaygınlaşması, gelişmesi ve ülkenin bunu çıkarları doğrultusunda kullanması amaçlı her türlü alt yapıya sahip olduğunu söyleyebiliriz. Hidrojen üretmekte kullanılacak olan rüzgar ve güneş enerjisi için Türkiye çok güzel verimlilik değerlerine sahiptir. Örneğin; ülkemiz bugün %28 oranında rüzgar enerjisi verimliliğine ve



metrekareye aldığı dik güneş enerjisi miktarı ile Avrupa'nın birçok ülkesinden çok daha güzel doneye sahiptir. Yine aynı zamanda hidrojen taşıyıcısı ve emicisi konumundaki en önemli madde olan Bor'un yataklarının %90 oranındaki bir bölümünün ülkemiz sınırları içerisinde olduğu bilinmektedir.

Bütün bu kriterler bugün ülkemizin Birleşmiş Milletler Uluslararası Hidrojen Araştırma Merkezi'ne yine bir Türk'ün başkanlığında ev sahipliği yapmasına olanak sağlamıştır. Bu gelişmelerin neticesinde yakın geçmişte yapılan mutabakatlar neticesinde 2006-2007 yılları içerisinde İstanbul Toplu Taşıma hizmetlerini gerçekleştiren İETT on iki adet hidrojen ile çalışan aracı iki sene boyunca test etmek amacı ile İstanbul trafiğine çıkaracaktır. Karşılaştırma amaçlı olarak bu araçların sekiz tanesi yakıt pili teknolojisi ile çalışacak, dört tanesi de içten yanmalı motor prensibi ile çalışmaya devam edecektir.

#### 4. MOTOR TEKNOLOJİLERİ ve DOĞALGAZIN FARKLI MOTOR TÜRLERİNDE ARAÇ YAKITI OLARAK KULLANILMASI

Günümüz motor teknolojileri iki ana sistem üzerine kurulmuştur. Birincisi, 1876 yılında Alman mühendis Nikolaus August Otto tarafından icat edilen ve kendi adıyla Otto motoru olarak adlandırıldığı, bugün benzinli araçlarda kullanılan motorlardır. Ateşlemeli motorlar (SI-Spark Ignition) olarak da adlandırılan ve silindir içerisine alınan ve sonrasında sıkıştırılan hava/yakıt karışımının ateşleme bujileri yardımıyla tutuşturulduğu motorlardır. Hava/yakıt karışımının sıkıştırılıyor olması motor sıkıştırma oranını kısıtlamaktadır. Günümüz modern ateşlemeli motorları hava/yakıt oranını düzgün şekilde kontrol edebilmek için yakıt injeksiyon sistemlerine sahiptir ve ateşleme zamanlamasını edinmek için motor yönetim aparatları tarafından kontrol edilir. Bunun yanı sıra günümüzde terk edilmeye başlanan karbüratörlü araçlarda ise karbüratör sayesinde yakıtın buharlaşması ve hava ile karışması sağlandıktan sonra motor silindirlerine verilir. Günümüze kadar sürmüş bir diğer motor teknolojisi ise 1892 yılında Alman mühendis Rudolf Diesel tarafından icat edilen, kendi adıyla Diesel motor olarak adlandırıldığı, motor silindirleri içerisine alınan havanın, dizel yakıtın kendiliğinden tutuşma sıcaklığını aşana kadar sıkıştırılması ve böylelikle injeksiyonlar aracılığı ile püskürtülen dizel yakıtın sıkıştırılmış havanın sıcaklığı ile herhangi bir ateşleme aracına gerek kalmaksızın alev alması ve motor için gerekli gücü üretmesi sistemiyle çalışan sıkıştırılmalı motorlardır (CI-Compressed Ignition). Tutuşma, yakıt sprayi ile sıkıştırılmış havanın beraber yanabilir bir karışım oluşturdukları anda meydana gelecektir. Bu noktada motor yönetim sistemi zamanlamayı ve yakıt püskürtme miktarını ayarlar. Yanma birçok noktada eş zamanlı olarak başlar. Dizel motorlarda motor soğukken ilk çalıştırma bir zorluk teşkil etmektedir. Bu durumda, sıkıştırma prosesi havayı yakıtın ateşlemesini sağlayacak ısıya ulaştıramayabilir. Bu sorunun üstünden gelmek ve sıcaklığı yükseltmek için kızdırma bujisi kullanılır. Kızdırma bujisi, motor soğukken yakıtın alev almasını sağlayarak motorun çalışmasını sağlayan elektrikle ısıtılan tel bir kablodur. Daha çok küçük ve gelişmiş bilgisayar kontrolüne sahip olmayan motorlarda kullanılır. Dizel motorlarda, Otto motorlarından farklı olarak ateşleme için buji ve hava/yakıt karışımı için karbüratöre ihtiyaç duyulmaz.

Ateşlemeli ve sıkıştırılmalı motorlarda kullanılan yakıtlar kendilerine göre uygun bir kaliteye sahip olmalıdır. Ateşlemeli motorlarda yakıtın alev alması elektriksel bir kıvılcım ile kontrol edilir. Bu motorlarda kullanılan yakıtlar Oktan Sayısı (sıkıştırma sırasında yakıtın tutuşmaya karşı olan direncini ifade eder) adı verilen bir orana sahiptir. Yüksek oktan sayısına sahip olan yakıtlar daha yüksek verimliliğe ve daha yüksek sıkıştırma oranına ulaşılmasına müsaade

eder. Ateşlemeli motorlar, sıkıştırılmalı motorlardan daha düşük bir sıkıştırma oranına sahiptir. Bu tip motorlarda, hava/yakıt karışımının düzgün olmayan bir şekilde tutuşması vuruntu olarak adlandırılır. Vuruntuya, havanın çok fazla sıkışması ve hava/yakıt karışımının aniden alev alması neden olur. Dizel motorunda ise yakıt, silindir içerisine püskürtüldüğü anda alev almalıdır. Dizel yakıtları da Setan Sayısı adı verilen bir orana sahiptir ve setan sayısı ne kadar yüksek olursa püskürtme ve tutuşma süresi arasındaki süre o kadar kısa olur ve bu da tutuşma üzerinde daha iyi bir kontrol ile sonuçlanır.

#### **4.1 Benzinli Motor Teknolojileri**

Günümüzde ciddi boyutlara ulaşan hava kirliliği ve dünya üzerindeki petrol rezervlerinin azalması nedeniyle içten yanmalı motorlarda egsoz emisyonlarının azaltılması ve yakıt ekonomisi üzerine yapılan çalışmalar, silindirlere alınan hava/yakıt karışım oranının optimize edilmesi ve bütün devir aralıklarında ideal yanmayı gerçekleştirecek dolgu miktarının sağlanması üzerine odaklanmıştır. Bundan dolayı içten yanmalı buji ile ateşlemeli motorlarda kullanılan teknolojilerin başlangıç noktasını teşkil eden ve karışım teşkilinde kullanılan karbüratörler zamanla yerini port yakıt injeksiyon sistemlerine bırakmıştır.

Buji ile ateşlemeli motorlarda motor gücü zengin karışıma doğru gidildikçe artmakta iken, özgül yakıt sarfiyatı da karışım fakirleştikçe azalmaktadır. Karbüratörlü sistemlerde geçiş şartlarında silindir içerisine gereğinden daha zengin karışım girmekte ve buna paralel olarak içeri giren yakıttan ideal şekilde istifade edilemediği için yakıt sarfiyatında ve egsoz emisyon değerlerinde artma görülmektedir. Karışım teşkili için karbüratör yerine enjeksiyon sistemine geçiş ile birlikte hava/yakıt karışımı hemen hemen her çalışma koşulunda stokiyometrik oran civarında tutulabilmekte ve daha iyi bir yanma meydana gelmektedir. Böylece aynı özelliklere sahip karbüratörlü motora göre injeksiyonlu motordan daha yüksek verim ve daha düşük egsoz emisyon değerleri elde edilmektedir.

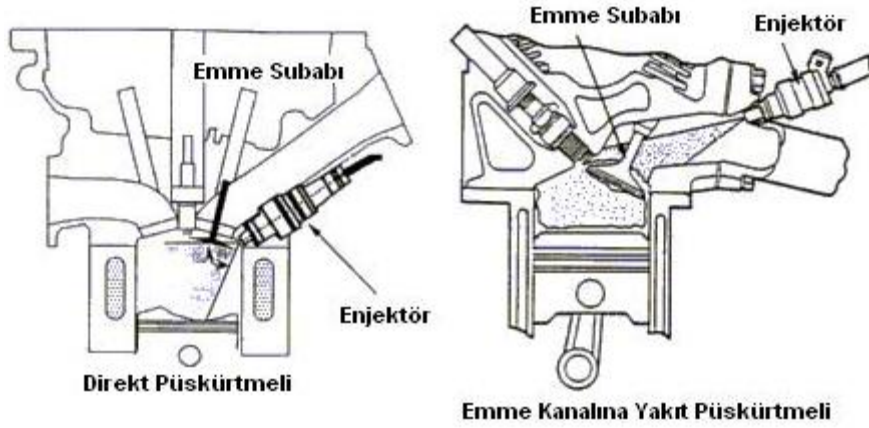
Tek port injeksiyonlu (emme kanalına yakıt püskürtmeli) sistemlerde ise yakıt, emme kanalının hemen gerisine ve yüksek basınçla en uygun zamanda püskürtülmektedir. Hacimsel verim açısından bakıldığında bütün motor devirlerinde injeksiyonlu sistemler karbüratörlü sistemlerden daha üstündür. Motor gücü açısından bakıldığında ise, karbüratörlü sistemlerde hava/yakıt karışımı daha zengin olduğundan dolayı motor gücü daha yüksektir. Bunun yanı sıra, injeksiyonlu sistemlerde özgül yakıt tüketimi ise daha düşüktür. Emisyon değerleri yönünden bakıldığında ise özellikle HC ve CO emisyonları karbüratörlü sistemlerde daha yüksektir. Özellikle rölanti ve düşük devirlerde bu HC ve CO değeri çok yükselmektedir. Çünkü bu bölgede karbüratör, motorun ilk çalışma ve düşük devirlerde teklemesini önlemek

için hava/yakıt oranını zengin bölgede tutmaktadır. İnjesiyonlu sistemlerde ise hava/yakıt oranı motorun bütün çalışma koşullarında stokiyometrik orana çok yakındır. Bu sebeple yanma oranı daha iyi ve yanma sonrası kirletici emisyonlar da daha azdır.

İnjesiyonlu motorlarda hava/yakıt oranının stokiyometrik orana yakın tutulması elektronik kontrol ünitesi tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu, sistemin en önemli üstünlüklerinden birisidir. Stokiyometrik oranda en mükemmel yanma meydana gelmektedir. Bu sebeple en temiz egsoz emisyonları da bu oranda gerçekleşmektedir (yanma çok daha iyi ve yanma sonu atıkları daha temizdir). Buji ile ateşlemeli motorlarda port enjesiyon sisteminin kullanılması egsoz emisyonlarını ve özgül yakıt tüketimini iyileştirmesine rağmen, motor gücünü azaltmaktadır. Bu nedenle, daha yüksek hacimsel verim sağlayan, motor momentini dolayısıyla motor gücünü arttıran çok noktadan enjesiyonlu sistemlerin tercih edilmesi gerekmektedir.

Günümüzde daha yaygın olarak kullanılmaya başlanan direkt püskürtmeli motorlarda ise yakıt, emme ve sıkıştırma zamanında direkt olarak silindirin içerisine püskürtülmekte ve karışım burada oluşturulmaktadır. Silindirlere hava herhangi bir kısılmaya maruz kalmadan alındığı için pompalama işi en aza indirilmektedir. Ayrıca fakir çalışma şartları oluşturularak, özgül yakıt tüketimi azaltılmıştır. Bu motorlarda, düşük ve orta yüklerde yakıt bujide kıvılcım çakmadan hemen önce silindir içerisine püskürtülmektedir. Bu durumda silindir içerisindeki yakıt/hava oranı değişmekte, bujiye yakın yerlerde karışım zengin, silindirin diğer kısımlarında ise fakir olmaktadır. Dolayısıyla silindirin içerisi bütün olarak düşünüldüğünde motor fakir karışımla çalışmaktadır. Rölanti çalışma şartlarında karışım oranı 1/40'lara kadar düşmektedir. Tam yük çalışma şartlarında ise yakıt silindir içerisine emme zamanında püskürtülmeye başlanmakta, böylece karışım homojen dağılımlı ve stokiyometrik oranda olmaktadır. Direkt püskürtmeli motorlarda kademeli olarak yakıt, önce emme zamanında silindire püskürtülerek içeriye alınan hava soğutmakta ve hacimsel verimi arttırmaktadır (ön enjesiyon). Esas püskürtme ise sıkıştırma zamanında piston üst ölü noktaya ulaştığında, ateşlemeden hemen önce yapılmaktadır.

Direkt püskürtmeli motorlar da, özel şekilli pistonlar ve emme manifoldlarının pistonlara uygun şekilde eşlenmesiyle, yanma odasında türbülans oluşturularak yakıt ile hava mükemmel şekilde karışmaktadır. Böylece yanma verimi iyileşmekte, kirletici emisyonlar azalmakta ve yakıt/hava oranı çok geniş bir aralıkta değişebilmektedir.



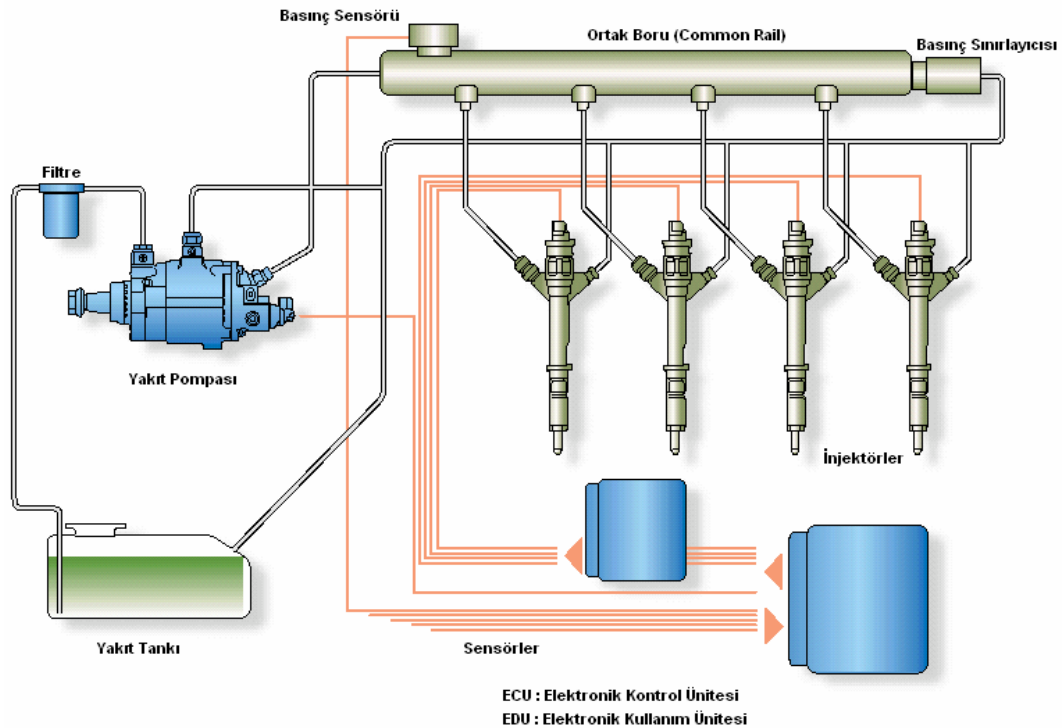
Şekil 4.1 Direkt ve Emme Kanalına Yakıt Püskürtmeli Motorlar (Kaynak: Çınar, 2006)

Direkt püskürtmeli ve emme kanalına yakıt püskürtmeli (port yakıt enjeksiyonlu) motorlar arasındaki temel fark karışımın hazırlanmasındadır. Emme kanalına yakıt püskürtmeli motorlarda yakıt her bir silindirin emme portuna püskürtülür ve püskürtme ile yakıt/hava karışımının silindire alınması arasında bir zaman farkı vardır. Özellikle, soğukta ilk hareket esnasında, emme subabı port yüzeylerinde sıvı yakıt taneciklerinin oluşturduğu geçici bir film tabakası veya birikinti oluşur. Bu durumda yakıtın dağıtılması gecikir ve yakıtın kısmi buharlaşmasından dolayı, doğal bir ölçme hatası olarak ideal stokiyometrik oranı yakalamak için püskürtülen yakıt miktarı önemli miktarda artırılır. Bu yakıt birikintisi ve zaman gecikmesi, motorun ilk 4-10 çevrimde kısmi yanma sebebiyle yanmamış hidrokarbon (HC) emisyonlarında önemli bir artışa sebep olur. Alternatif olarak yakıtın direkt olarak silindirlerin içerisine püskürtülmesi ile yakıtın port duvarlarını ıslatması problemini tamamen ortadan kaldırılmaktadır. Silindirlere giren gerçek yakıt miktarı, direkt enjeksiyon sistemi ile port yakıt enjeksiyonlu sistemlere göre çok daha gerçekçi bir şekilde kontrol edilebilmektedir. Port yakıt enjeksiyonlu motorlarda diğer bir sınırlamada, yük kontrolünün kelebek vana ile yapılmasıdır. Ayrıca bu motorlarda emme portunda sıvı yakıt filmi oluşumu sorunun devam etmektedir. Bu iki temel çalışma gereksinimi, port yakıt enjeksiyonlu motorlarda yakıt ekonomisi ve emisyonlara karşı yapılan çalışmaların önünde büyük engel oluşturmaktadır. Port yakıt enjeksiyonlu motorlarda motor teknolojisinde sürekli geliştirmeler yapılsa dahi, hem yakıt ekonomisi hem de emisyonları birlikte iyileştirmek mümkün gözükmemektedir. Direkt püskürtmeli motorlarda teorik olarak, hem bu iki önemli problem ortadan kaldırılmakta hem de performans sınırları genişletilmektedir, dolayısıyla bu uygulama türü hem yakıt ekonomisi, hem de egzoz emisyonları açısından sağladığı faydalar sayesinde giderek yaygınlaşmaktadır. Nasıl ki karbüratörlerin yerini port yakıt enjeksiyon sistemleri aldıysa, gelecekte de bu sistemlerin yerini tamamen direkt püskürtmeli motorların alması

beklenmektedir.

#### 4.2 Dizel Yakıtlı Motor Teknolojileri

Dizel motorları direkt ve indirekt yakıt injeksiyon türlerinin her ikisine de sahiptir. Direkt injeksiyon motorları yakıtı direkt olarak silindir içerisine püskürtürken indirekt injeksiyon motorları yanmanın başladığı küçük bir yanma odasına sahiptir. İndirekt injeksiyonlu motorlar daha az verimlidir ancak daha yüksek hızlarda çalışmaya, daha az ses üretmeye ve daha ucuz injeksiyon ekipmanı kullanmaya olanak sağlar. Dizel motorlarda bugün gelinen en son teknolojiyi ifade eden teknoloji ise Common-Rail adı verilen ve Mercedes-Benz tarafından geliştirilen teknolojidir. Common-Rail teknolojisi ile dizel yakıt 1350 bar gibi yüksek bir basınç altında yanma odasına püskürtülmektedir. Bu yüzden injeksiyonlar yüksek basınç ve sıcaklığa karşı dayanıklı olmalıdır. Common-Rail sisteminde her enjektörden sistemin o anlık ihtiyacı kadar dizel yakıt geçmektedir. Bu fonksiyonu yerine getiren eleman ise motorun devir ve yük donelerinden faydalanan elektronik kontrol ünitesidir. Böylelikle, yakıt tüketimi azaltılmış olurken performans da artırılmış olur.



Şekil 4.2 Common-Rail İnjeksiyon Teknolojisi (Kaynak: Otomotiv Bilim ve Teknoloji Topluluğu)

Common-Rail sistemlerinde bir başka önemli husus ise basınç üretimi ve yakıt püskürtülmesi olaylarının birbirinden ayrılmasıdır. Yüksek basınç pompaları vasıtasıyla konvansiyonel dizel motorlardan daha yüksek basınç seviyelerine çıkartılan yakıt, motor silindirlerine ortak bir silindir üzerinden püskürtülür. Kısaca common-rail teknolojisi hava/yakıt karışımının oluşumunu iyileştirir, enjeksiyon basıncının geniş limitler içerisinde serbestçe seçilebilmesine olanak tanır, yakıt enjeksiyonunun başlangıcı ve enjekte edilen yakıt miktarını da serbestçe belirlenmesine olanak tanır, ekonomik bir yanma gerçekleşmesine olanak tanırken yanmadan dolayı kaynaklanan gürültülerin azaltılmasına da yardımcı olur.

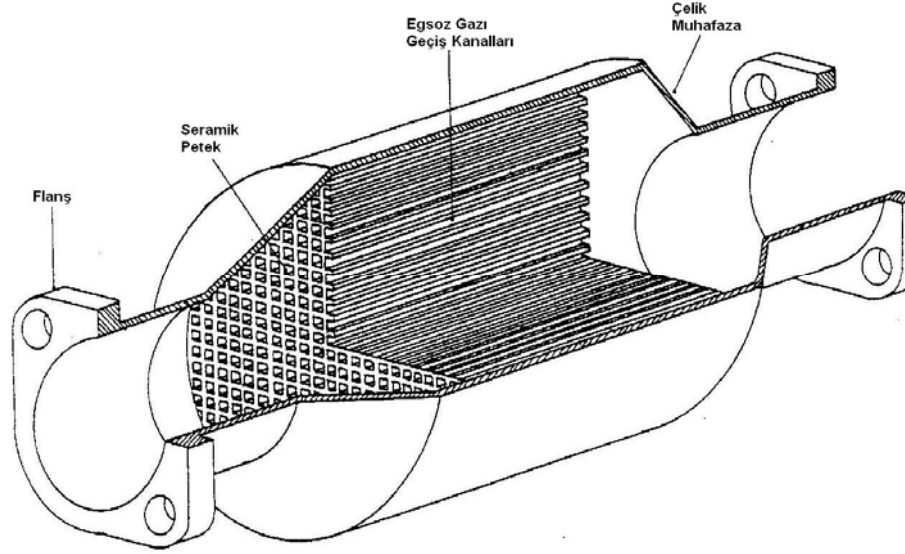
### 4.3 Katalitik Konvertörlü (Dönüştürücü) Araçlar

Taşıtlarda katalitik dönüştürücülerin kullanılmasıyla CO emisyonlarından %90 oranında azalma sağlanmaktadır. Ülkemizde de taşıtlardan kaynaklanan kirleticileri azaltma çalışmaları Avrupa Topluluğu ülkelerindeki çalışmalar ile birleştirilmiş ve diğer tüm kirleticilere oranla taşıtlardan kaynaklanan kirleticilere daha fazla önem verilmeye başlanmıştır. Bunlar 1995 yılından sonra ithal edilecek tüm otomobillerde katalitik dönüştürücü bulundurma zorunluluğu ile, 1996 yılından başlayarak toplam silindir hacmi 2 lt.'den büyük olan benzin motorlu taşıtlardan başlamak üzere katalitik dönüştürücülerin kullanılması zorunluluğu sayılabilir. Ayrıca 2000 yılından sonra yerli olarak üretilen tüm motorlu taşıtlarda katalitik dönüştürücülerin kullanılmasının mecburi tutulması, verilen değerin ayrı bir değer taşıması anlamında yorumlanmaktadır.

Katalitik konvertörün kullanılmasının sebebi otomobilden çıkan zararlı gazları minimize etmek suretiyle insan ve çevre sağlığını korumaktır. CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO, NO<sub>x</sub> ve HC'ye dönüşen yanma sonu gazlarından CO, NO<sub>x</sub> ve HC doğa ve insan sağlığı için zararlı gazlardır. Bu zararlı gazları zararsız hale dönüştürmek katalitik konvertörün görevidir. Bu olay CO ve HC'lerin oksidasyonu yöntemiyle gerçekleşir. Yani CO ve HC molekülleri CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O oluşturmak için yeniden düzenlenir. Bunun yanı sıra NO<sub>x</sub>'ler, CO ve N<sub>2</sub>'ye dönüştürülerek azaltılır. Bu kimyasal reaksiyonlar şayet sistemde katalist varsa hızlandırılabilir. Bu şekilde kimyasal reaksiyon oranını yükseltmek için seçilen katalitik malzemesi egzoz gazları için en uygun olan soy metallerdir. Genel olarak ihtiyaçlara cevap veren soy metaller ise platin, paladyum ve rodyum'dur.

Bir katalizör sistemi üç tabakadan oluşmaktadır. En altta katalizörün şeklini veren taşıyıcı matris, bunun üzerinde gözenekliliği sağlayan ve özgül dış yüzeyi çok büyük olan ara tabaka ve en üstte mikron mertebesinde çok ince soy metal tabakası bulunmaktadır. CO, NO<sub>x</sub> ve HC molekülleri taşıyıcı matrisin kanallarından geçerken ara tabaka gözeneklerinde tutulmakta ve

soy metal tabakası yüzeyinde oksidasyon yöntemi ile azaltılmaktadır.



Şekil 4.3 Katalitik Konvertör (Kaynak: Obitet)

Konvertör'ün içerisinde bulunan ve seramik malzemeden imal edilmiş olan özel filtreler sayesinde zararlı olan her bir gazın kimyasal tepkimeye girmesi sağlanır. Böylece bu zararlı gazlar, zararsız olan  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  ve  $\text{N}_2$  haline dönüşür. Oksijen sensörleri ile konvertörlerin verimli çalışıp çalışmadığı ECU tarafından kontrol edilir. Katalitik konvertörlerin kimyasal tepkimeye girebilmesi için en az  $400^\circ\text{C}$  sıcaklık olması gerekir, ancak  $500^\circ\text{C}$  en idealidir. Bu tip araçlarda kesinlikle kurşun katkılı benzin kullanılmamalıdır. Aksi takdirde kurşun molekülleri mekanik yoldan gözenekleri kapatarak katalizörün etkinliğini ve dönüşüm verimini azaltmakta ve böylece katalitik konvertöre zarar verecek arızalara neden olmaktadır.

Hali hazırda kullanılmakta olan iki yollu (oksidasyon) ve üç yollu katalizörler mevcuttur. İki yollu katalizörler araçlardan kaynaklanan CO ve HC emisyonlarını azaltırken, üç yollu katalizör ise CO, HC,  $\text{NO}_x$  emisyonlarını hafifletir.

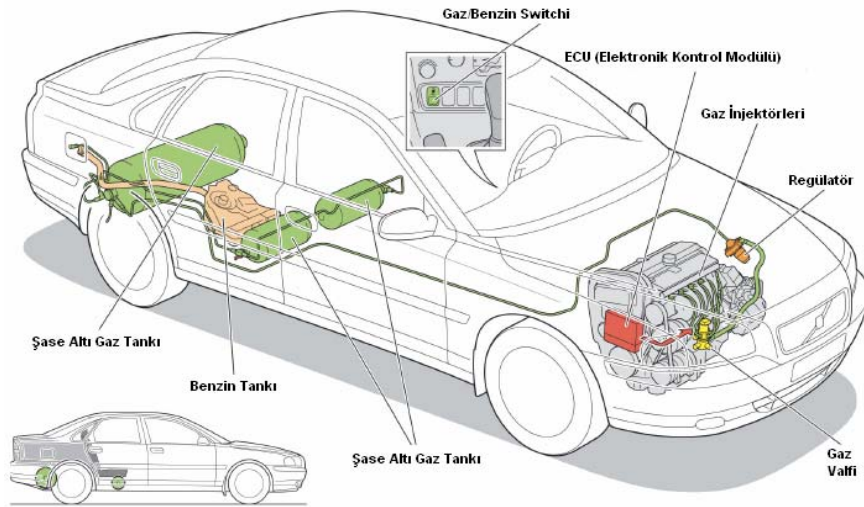
Üç yollu bir katalizörde motorun hava/yakıt oranı ( $\lambda$ -lambda) serbestçe seçilemez. Bu uygulama tipinde CO ve HC okside edilirken, eş zamanlı olarak  $\text{NO}_x$  de azaltılmakta,  $\lambda=1$  olduğu dar bir aralıkta tutulmalıdır. Egzoz sistemindeki bir lambda sensörünün yakıt yönetim sistemine (hava/yakıt oranını yönlendiren) bir sinyal göndermesi prensibi ile çalışır. İki yollu bir katalizör sistemleri ise geniş bir hava/yakıt karışım oranında çalışabilir. Üç yollu katalizörler sadece ateşlemeli motorlarda çalışabiliyor iken, iki yollu katalizörler hem ateşlemeli hem de sıkıştırılmalı motorlarda çalıştırılabilir. Halen geliştirilmekte olan ve gittikçe daha çok ilgi toplayan üçüncü bir katalizör türü ise dizel motorlarındaki  $\text{NO}_x$  emisyonlarını azaltan de- $\text{NO}_x$  (denox) katalizördür.



#### 4.4 Doğalgazın Benzinli ve Dizel Motor Türlerinde Araç Yakıtı Olarak Kullanılması

##### 4.4.1 Benzinli araçlarda doğalgaz kullanımı

Daha önceki bölümlerde de bahsedilen ve Bi-Fuel uygulamaları olarak adlandırılan, CNG ile benzin alternatiflerinden birinin seçilmesi ve o yakıt üzerinden aracın çalışması esasına dayanan metod bugün en çok karşımıza çıkan uygulama türüdür. Bi-Fuel uygulamalarında motorun ilk çalışması benzin ile gerçekleştirilirken, daha sonra şoför mahalinde yer alan bir buton aracılığı ile istenildiği zaman CNG'ye geçiş sağlanabilmektedir. Eğer motor fabrika çıkışında doğalgaz ile çalışmaya adapte edilmemiş, yani direkt olarak benzinli ise motorun doğalgazla çalışması için üstünde bir takım modifikasyonların yapılması gerekir ve bu modifikasyonların yapılması dizel motorlara göre çok daha kolaydır. Bu modifikasyonlar yakıt deposu, yakıt hortumu, basınç regülatörü v.b. gibi bir sonraki bölümde fonksiyonlarına dair detayları da okuyacağımız bazı ekipmanların ek olarak tesis edilmesi ile gerçekleştirilir.



Şekil 4.4 Bi-Fuel Bir Araç (Kaynak: ENGVA)

Doğalgaz yüksek bir oktan sayısına sahip olduğundan dolayı motorun sıkıştırma oranı artırılarak daha yüksek bir sıkıştırma oranı elde edilebilir. Böylece daha yüksek verim ve daha düşük yakıt tüketimi elde edilmiş olur. Bi-Fuel uygulamalarının yaygın olması, bir yandan kullanım ve dönüşüm şartlarının kolay olmasından kaynaklanmakla beraber, öte yandan doğalgaz altyapı dağıtım ağının gelişmemiş olması ve sadece doğalgaza bağımlı olarak çalışmanın bu bakımdan bir takım riskler taşıyor olmasından dolayı kaynaklanmaktadır. Yapılacak olan dönüşümler aynı zamanda yüksek maliyetli olmamaktadır. Aracın hem benzinle hem de doğalgaz ile çalışıyor olması doğalgaz dağıtım

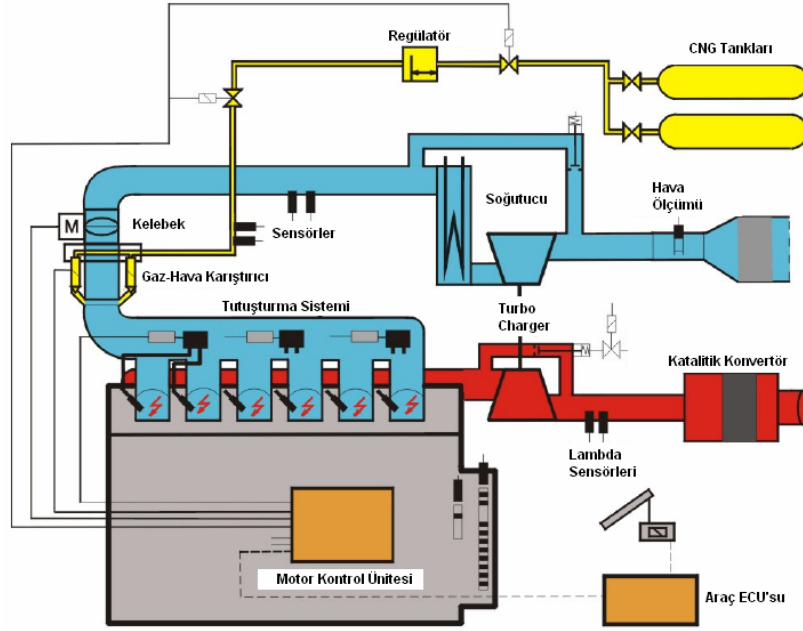
alt-yapısına bağılı olmaması avantajını sağlıyor olmasının yanı sıra daha uzun menzil kat edilmesi de mümkün olmaktadır. Bunun yanı sıra motor teknolojisindeki risklerin süregelmeleri ve aracın iki farklı depolama tankı taşıyor olması, yani optimum bir depolama çözümünün olmaması sistemin dezavantajlarından gözükmektedir.

Fabrika çıkışında direkt olarak doğalgazla çalışmaya adapte edilmiş araçlar ise, üzerinde dönüşüm gerçekleştirilmiş motorlara göre daha yüksek verimlilik, daha düşük yakıt tüketimi ve dolayısıyla daha düşük emisyon değerleri sunma avantajına sahiptir. Direkt doğalgazla çalışan araçlarda genellikle ayrı bir benzin deposuna da rastlamak mümkündür ama bu durumda sadece 15 lt.'ye kadar depolamaya müsaade edilir. Bu aracın doğalgaz rezervi tükendiğinde sorunsuz olarak benzinle çalışmaya devam etmesi esnekliğini sağlar ancak motor aksamı sadece doğalgaza adapte edildiğinden uzun menziller boyunca benzinle çalışmak sorun yaratabilmektedir.

#### **4.4.2 Dizel araçlarda doğalgaz kullanımı**

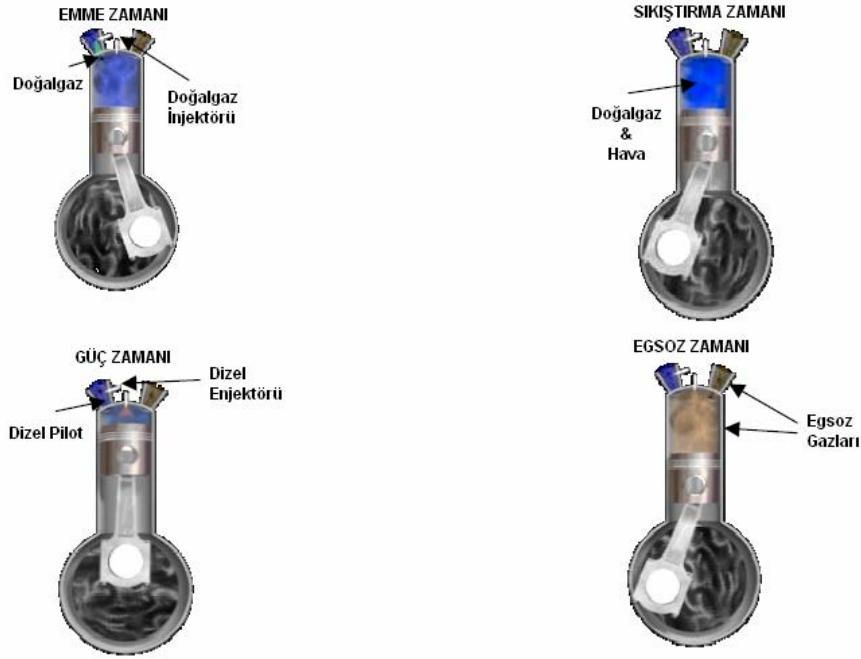
Doğalgazın dizel motorlarda kullanılması ve düzgün bir yanmanın gerçekleştirilmesi için motor üzerinde bir takım modifikasyonların yapılması gerekmektedir ve bunlar uygulamada pek kolay değildir. Bir dizel motorunu CNG ile çalıştırmanın iki temel yolu vardır. Birincisi motorun sıkıştırma oranını azaltmak ve bir ateşleme tertibatı tesis etmektir. Böyle bir dönüşüm sonunda kullanılan tek yakıt doğalgaz olacaktır. Bir diğer metot ise hem dizel yakıtın hem de doğalgazın motorda belli karışım oranında kullanıldığı Dual-Fuel adı verilen çözümlerdir. Bu uygulama tekniğinde doğalgaz %80-85 mertebelere kadar dizel yakıtın yerini almakta yani motorda bu oranda doğalgaz tüketilmektedir. Geri kalan %15-20 kadar enerji ihtiyacı, araç ilk çalıştırma veya rölantide iken veya ön püskürtme sırasında harcadığı dizel yakıt sayesinde sağlanır.

Doğalgazın dizel motorda tek yakıt olarak kullanıldığı çözüm optimum güç eldesi ve emisyon değerleri bakımından olumlu sonuç verse de, motor üzerine bir ateşleme sisteminin tesis edilmesi gibi bir modifikasyonun yapılması hem çok yüksek maliyetli olmaktadır hem de motor teknolojisi bakımından riskler taşımaktadır. Ateşleme sistemi doğalgazın ilk alev almasını kolaylaştırmak için tesis edilmektedir. Ayrıca motorun sıkıştırma oranı da düşürülmelidir çünkü hava ve yakıt karışımı 11,5:1 sıkıştırma oranının üzerine sıkıştırılırsa kıvılcımla tutuşturma yöntemi yakıtı ateşlemede başarılı olamaz. Bu sebepten ötürü kıvılcım ile ateşlemeli doğalgaz motorları, bugün dizel motorları güçlü ve verimli kılan yüksek sıkıştırma oranlarını kullanamaz. Ayrıca bu sistemler hava kelekli bir emme sisteminin tesis edilmesini de gerektirir.



Şekil 4.5 Tek Yakıt Doğalgaz Olarak Dönüştürülmüş Dizel Motoru (Kaynak: ENGVA)

Dual-Fuel teknolojisi ise daha iyi çözümler sunmaktadır. Dizel motorun normal şartlar altında sıkıştırma oranı olan 16:1 sıkıştırma oranında kullanılabilir. Ufak miktarlarda gerçekleştirilen dizel yakıt injeksiyonunu ateşlemenin kaynağı olarak kullanarak doğalgaz ile çalışma sağlayabilir. Bu uygulamada belli bir miktar doğalgaz silindire girmeden önce hava ile karıştırılır. Bu fakir hava-yakıt karışımı daha sonra motorun verimliliğini koruyarak aynı sıkıştırma oranına kadar sıkıştırılır. Silindir içerisinde sıkıştırılan hava, yakıtın kendiliğinden alev almasını sağlayacak kadar ısınmadığından dolayı, yani doğalgazın sıkıştırma ile olan tutuşmaya direncinden dolayı (doğalgazın kendiliğinden alev alma sıcaklığı dizel yakıtından yüksektir) doğalgaz karışımı sıkıştırma altında hemen alev almaz. Bunun yerine, bu yakıt hava karışımını tutuşturmak için toplam enerjinin %10'u kadar bir miktar dizel yakıtının pilot püskürtülmesi (sıkıştırma zamanından önce ön püskürtme) gerçekleştirilir. Bu yöntem sonucunda yaklaşık olarak %90 oranında dizel yakıtın yerini alan doğalgaz tüketilmiş olsa da, yanma sonucunda orijinal dizel motorundan elde edilebilecek verimlilik ve güç elde edilebilmektedir. Motor ilk çalıştırma anında dizel ile çalışmakta iken optimum devir sayısı olan 1500-2000 devirden sonra doğalgaza geçmektedir. Bu yöntem sayesinde dizel yakıttan önemli miktarlarda kazanç elde edilmiş olur.



Şekil 4.6 Dual-Fuel Sistem İşleyişi (Kaynak: ENGVA)

Püskürtülen yakıt miktarının ayarlanması veya doğalgaza geçiş; Dual-Fuel sistemlerde bir elektronik aktüatör dizel pompasının üzerine yerleştirilmektedir. Çift yakıtlı çalışma esnasında pompa üzerindeki aktüatör yardımıyla enjektörlere giden dizel yakıt miktarı kısılmaktadır. Bu aktüatörün kullandığı veriler motor hava girişine yerleştirilen ikinci bir aktüatörle paylaşılmaktadır. Elektronik kontrol ünitesi istenen motor gücüne, motor devrine, gaz pedalının pozisyonuna bağlı olarak her iki aktüatöre komutlar göndermektedir. Şoför mahaline konulan bir yakıt seçici anahtar marifetiyle istenildiği zaman sadece dizel yakıtla çalışmak mümkün olmaktadır.

Bu uygulama yöntemi sayesinde doğalgazın sahip olduğu düşük karbon içeriği nedeniyle CO<sub>2</sub> emisyonlarında %25'e varan oranlarda bir düşüş olur. Bunun yanı sıra partiküler emisyonlarda ise doğal olarak tek yakıt olarak doğalgazın yakıldığı uygulamalara kıyasla daha kötü sonuçlar elde edilir.

#### 4.5 Araç Doğalgaz Dönüşümünde Kullanılan Sistemler

Dönüşüm gerçekleştirilen araç motorlarında ise günümüzde gelinen her bir farklı araç teknolojisi için bir takım farklı uygulamalara rastlanmaktadır. Önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi araçlarda gerçekleştirilen modifikasyonlar ekseriyetle ek bir yakıt deposu ve yakıt hatlarının eklenmesi, bunun yanında regülatör ve bir takım valflerin tesis edildiği yeni bir yakıt sisteminin adaptasyonundan meydana gelmektedir.

Dönüşüm işlemi gerçekleştirilmiş ve doğalgaz ile çalışan araçlarda motorun ihtiyacı olan gaz, silindirden (depodan) çıkarak elle kapama vanası arasından yüksek basınçlı yakıt hattına ve buradan da motor bölümüne gelir. Buradaki regülatör vasıtasıyla atmosferik basınca düşme sağlanır. Regülatörden sonra tesis edilmiş bir solenoid valf, gazın regülatörden mikser (gaz karıştırıcıya) veya yakıt enjektörlerine girmesine olanak tanır. Motorun çalışmadığı veya benzin seçeneğinin kullanıldığı zamanlarda solenoid vana kapanır.

İlk olarak araç teknolojilerinde geline dört nesilden ilkinin ifade eden ve diğer sistemlerinde temelini teşkil eden katalitik konvertörsüz karbüratörlü bir aracın yakıt sisteminde yer alan ekipmanlar ve görevleri aşağıda özetlenmiştir.

#### **4.5.1 Regülatör**

Tüm sistemin en önemli ekipmanı konumundadır. Sadece basıncı düzenlemekle kalmaz, aynı zamanda atmosferik değerlerde tutar ve yakıtın motor tarafından emilebilmesini sağlar. Yüksek basınç depolama tankından gelen yaklaşık 250 bar mertebelerinde olan gazın üç kademede atmosferik basınç seviyelerine düşürülmesini sağlar. 250 bar mertebelerindeki gaz regülatörün içerisindeki diyaframlar sayesinde önce 5 bar seviyelerine düşürülür. Bu kademedan sonra da, önce 1,5/2,5 bar seviyelerine ve son olarak da motorun çıkış gücüne bağlı olarak ayarlanan 800 mbar ile 1,8 bar aralığında değişen bir aralığa kadar düşürülür. Basınç düşürülmesi işlemi esnasında sıcaklık ani olarak ciddi miktarlarda düşer ve ekipman donma tehlikesi ile karşı karşıya kalır. Bu durumu önlemek için regülatör üzerinde motorun soğutma suyundan faydalanarak gazı ve regülatörü ısıtmak için tesis edilmiş su giriş ve çıkış hatları vardır. Motordan ısınmış olarak gelen su, ekipman ve sıkıştırılmış gazı ısıtır. Regülatörler, motor aksamı içerisinde dik konumda ve aracın gidiş istikametine paralel olarak tesis edilir.

Regülatörün ikinci ve üçüncü kademesi arasında bir elektronik valf bulunmaktadır. Bu valf motorun kazara stop etmesi halinde motora giden gaz akışını keser.

Yine, regülatörlerin girişine araç depolama tankı çıkışındaki gazın basıncını ölçen bir manometre tesis edilmektedir. Bu manometre sayesinde ve değişik komitatörler yardımıyla araç deposunda kalan gaz miktarı şoför mahalinde gösterilir.

#### **4.5.2 Mikser**

Regülatör çıkışında bir vakum ortamı yaratarak yakıtın emilmesini kolaylaştırır. Aynı zamanda hava-yakıt karışımının ayarlanmasına da yardımcı olur. Bazı uygulamalarda karbüratörün üzerine tesis edilirken, bazı uygulamalarda karbüratör kaldırılarak onun yerine

tesis edilir. Birkaç farklı tipte tasarlanmaktadır. Bunların bazıları borulu mikser, çatal mikserler, plaka mikserler ve klasik mikserlerdir.

#### 4.5.3 Yüksek basınç depolama tüpleri

Araç tesisatının en önemli elemanlarından biridir. Genellikle Çelik ve CrMo alaşımlı malzemeden üretilmektedirler ve ciddi yer ve hacim kaplanmasına yol açmaktadırlar. İlerleyen kompozit malzeme teknolojisi ile beraber bu tanklar fiber malzemelerden de üretilmeye başlamışlardır ve ortaya çelik tüplerle aynı hacimde gazı taşıma kabiliyetinde, çok daha hafif tanklar çıkmaya başlamıştır. Günümüzde dört farklı tipte CNG depolama tüpleri üretilmektedir. Birinci tip sözü edildiği gibi tamamıyla çelik malzemeden üretilmektedir. İkinci tipte tanklarda iç taraf çelik malzemeden yapılmaya devam edilirken, dış taraf alüminyum veya cam elyaf malzemeden kasnak sargılı olacak biçimde kaplanır. Üçüncü tipte ise tank çelik iç malzemeden üretilmeye devam edilirken dış yüzey yine alüminyum ve cam elyaf malzemeden bu sefer tamamıyla sargılanır. Dördüncü ve son tip tanklarda ise termo-plastik iç kaplamaya sahip olan tankların dış yüzeyi yine termo-plastik karbon ve cam elyaf malzemeden kaplanmaktadır.

Ancak bu tür depolama tüpleri teknolojik ve uygunluk açısından en iyi kullanımı sunuyor olsa da maliyetlerinin çelik tüplerden 2-3 kat fazla olmasından dolayı henüz pratikte pek yaygınlaşmamıştır. Çizelge 4.1 yaygın olarak kullanılan, farklı kapasite ve ebatlarda üretilen çeşitli çelik tüp konfigürasyonlarına yer vermektedir.

Çizelge 4.1 Çeşitli CNG Araç Depo Konfigürasyonları (Kaynak: Inflex)

Çap (mm)	Eş Değer Hacim (Litre)	Kapasite (m <sup>3</sup> )	Uzunluk (m)	Nominal Ağırlık (Kg)	Benzin Eşdeğeri (Litre)
323	50	12.5	0.78	57	14.2
323	54	13.5	0.84	61	15.3
323	58	14.5	0.89	64	16.4
323	60	15	0.92	66	17
323	65	16.3	0.98	70	18.4
323	75	18.8	1.12	78	21.3
323	80	20	1.19	83	22.7
323	100	25	1.46	99	28.3
323	120	30	1.72	116	34
355	60	15	0.79	68	17
355	65	16.3	0.82	73	18.4
355	70	17.5	0.9	79	19.8
355	75	18.8	0.95	84	21.3
355	80	20	1.01	90	22.7
355	90	22.5	1.12	100	26.5
355	100	25	1.23	108	28.3

CNG depolama tankları çalışma basınçlarının 1,5 katı kadar yüksek basınç değerlerinde test edildiklerinden dolayı son derece emniyetli ve dayanıklıdırlar. Bagaja, karoser altına ve genelde otobüslerde olduğu gibi aracın üzerine de monte edilebilirler. Bağlantı kuşakları ile araca tuttururlar, kıvılcım ve korozyon oluşumunun önüne geçilmesi için bu bağlantı kuşaklarının PVC kaplı olmaları istenir. Aracın üzerine monte edildiği zaman direkt olarak güneş ışığından zarar görmemesi için bir muhafaza içine alınması gerekmektedir. Karoser altına monte edildiği zamanlarda ise araç tam yüklüken bile yoldan en az 20 cm yüksekte olması istenir. Eğer bagaj içerisinde ise mutlaka vent boruları yardımıyla dış atmosferle en az iki noktadan teması, uygun bir havalandırmasının sağlanması ve ayrıca üzerine koruyucu kapak monte edilmesi istenir.

Bir güvenlik unsuru olan koruyucu kapak tank valfini çevreler ve olası bir gaz kaçağını engeller. Havalandırma borularının en az 30 mm çapında olması istenmektedir ve havalandırma delikleriyle beraber olası bir gaz kaçağını aracın dışına tahliye eder. Depolama tankları üzerilerindeki tüp valfine kolayca erişilebilir şekilde monte edilmelidir ve tanklar 5 yılda bir test edilmelidir. Avrupa'da ki uygulamalarda tankın son kullanma tarihi plastik bir etiketle dolum ucuna bağlanmakta ve dolum yapılan istasyonda bu etiket kontrol edilmektedir. Beş yılda bir yapılması gereken periyodik testi yapılmamış bir tanka yapılacak dolumdan ve olası kötü sonuçlardan istasyon yetkilileri sorumlu tutulmaktadır. Test edilmiş olan tank beş yıl süreyle daha kullanılabilir. Bu prosedür her beş yılda bir tekrarlanır ve tank sağlam olduğu müddetçe kullanılmaya devam edilmektedir.

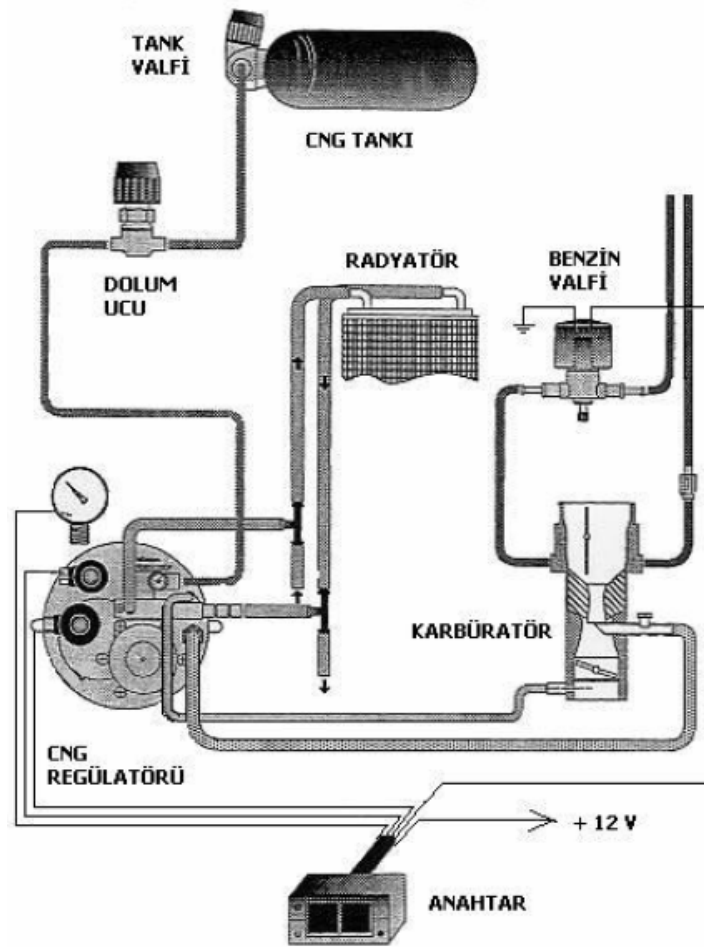
#### **4.5.4 Tüp valfi**

Depolama tankının üzerinde yer almaktadır. Sızdırmazlık ve elle açma/kapama sağlamak olağan görevlerindedir. Tüp üzerine vidalanarak monte edilir ve iki adet girişi vardır. Biri dolum gerçekleştirilmesine, diğeri ekstra tüp bağlanmasına yarar. Bu ikinci giriş kullanılmadığı takdirde kör tapa ile kapatılır. Dolum yapılmasını gerçekleştiren ağız aynı zamanda motora giden çıkış hattını da teşkil eder. Güvenlik önlemlerini artırma amacına yönelik olarak aşağıda yer alan ek bir takım elemanlar daha ilave edilebilir.

Aşırı akım valfi : Kırılma veya buna benzer sıra dışı bir durum olduğunda gaz akışını kesmeye yarar.

Termik sigorta : Bir yangın söz konusu olması durumunda eriyerek tüp içindeki gazın tahliyesini sağlar ve ekstra önlem sağlamış olur.

Emniyet valfi : Yüksek basınç durumunda açarak basıncı düşürür.



Şekil 4.7 Karbüratörlü Bir Araçta CNG Dönüşümü (Kaynak: 2a Mühendislik)

#### 4.5.5 Doğalgaz valfi

Yüksek basınç hattı üzerinde açma/kapama görevi yapmaktadır. Motor bölümünde yer alır ve tüple regülatör arasına yerleştirilir. Regülatöre giden gazı açma ve kapamaya yarar. Motor stop edince veya diğer yakıtı geçince gazı kapatmaktadır.

#### 4.5.6 Benzin valfi

Benzin akışını durdurmak içindir. Normalde kapalı bir valf olup sadece enerji verilirse açılır. Benzin hattı ile karbüratör arasına ok yönüne dikkat edilerek bağlanır. Dik pozisyonda ve sıcak bölgelerden uzak olması gerekmektedir. Kolay ulaşılabilecek yerlere tesis edilmelidir.

#### 4.5.7 Yüksek basınç boruları

Yüksek basınç boruları tüp valfi ile motor bölümündeki regülatör arasındaki gaz naklini sağlar. Dikişsiz soğuk çelik çekme borudandır. 330 bar çalışma basıncına sahip olup esneyebilme özelliğine sahiptir. Kaynak yapılmasına müsaade edilmez. Tüm bağlantı



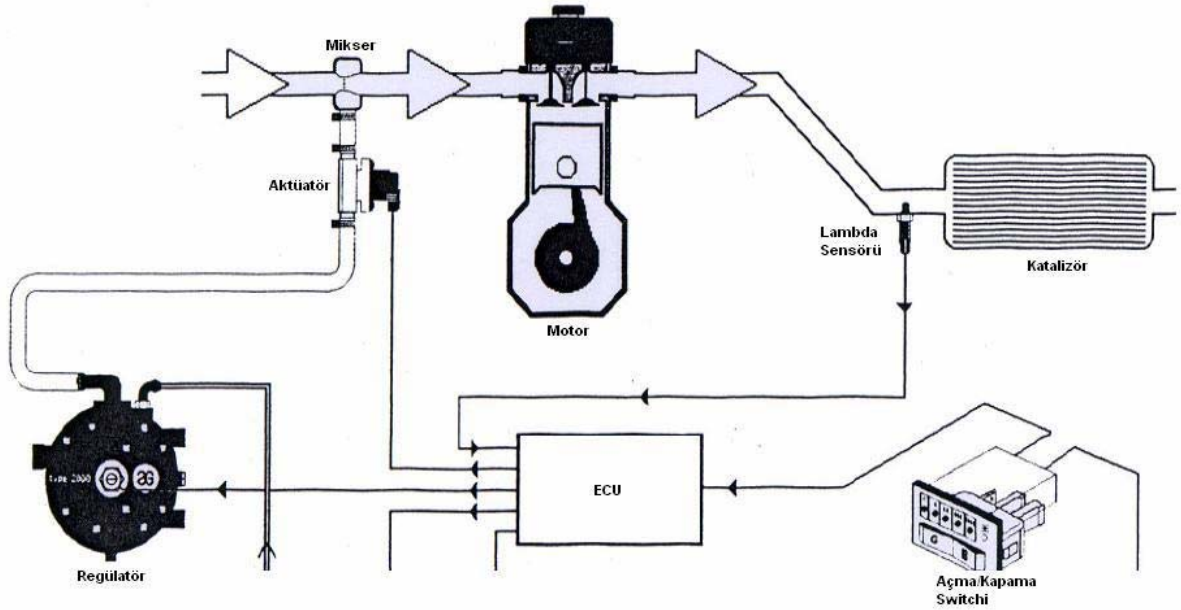
elemanları çeliktir. Araçların altına ve egzozdan uzak bir noktaya tesis edilmeli, vibrasyon noktalarından uzak olmasına özen gösterilmelidir. Araç gövdesine özel bağlantı elemanlarıyla sabitlenir.

#### 4.5.8 Dolum ucu

Dolum uçları ise ülkeden ülkeye değişmektedir ve araca yakıt ikmalinin gerçekleştirilmesine olanak tanır. Tampona bağlanan tip, benzin depo kapağının yanına koyulan tip ve araç ön kaputunun içerisine yerleştirilen tip olmak üzere temelde üç çeşittir. Bir yay/bilya mekanizmasının açıp/kapama gerçekleştirmesi ile dolum gerçekleştirilir.

Avrupa terminolojisinde Euro 1/2 tip araçlar olarak da adlandırılan ikinci jenerasyon kapalı devre karbüratörlü ve hava keleşinden tahrikli tek noktadan injeksiyonlu araçlardan başlayarak basınç kontrolü, daha fazla teknolojik fonksiyonlar eklenmiş olan elektronik regülatörlerle sağlanmaya (bu tip elektronik regülatörlerde kademe sayısı ikiye kadar düşer) ve bunun yanı sıra bir takım başka ekipmanlarda baş göstermeye başlar. Örneğin, modern motorlardaki elektronik sistemlerin en önemli elemanı konumunda olan ECU (Elektronik Kontrol Ünitesi)'nin görevi motor sıcaklığı, yağ ısısı, motor devri gibi motorla ilgili tüm fonksiyonları yönetmek ve oksijen sensörlerinden gelen verileri değerlendirmektir. Her enjektörün püskürtme zamanını her bir silindir için büyük bir hassasiyetle tek tek hesaplamakta ve ihtiyaç duyulan gaz miktarının diğer enjektörlerden bağımsız olarak subabın açık olduğu bir sırada silindirlere püskürtülmesini sağlamaktadır. ECU, çevre ısısını algılar ve soğuk havalarda motorun zamanlamasını da geciktirir. Bu tür modern sistemlerde benzin elektrovalfi yoktur ve onun yerine emülatörler tesis edilir. Emülatörler, motor gaz ile çalışırken benzin girişini önler ve injektörleri kontrol altında tutan elemanların doğru çalışmasını sağlar. İnjesiyonlu araçlar da, Lambda Sensörlü ve Lambda Sensörsüz olmak üzere iki farklı türde olabilir. İnjesiyonlu araçlarda boru tipi ve plaka tipi olmak üzere değişik tiplerde mikserler tesis edilir.

Katalitik konvertörlü araçlarda lambda sensörü muhakkak kullanılmalıdır. Böylelikle HC, CO, NO<sub>x</sub> emisyonları kontrol edilmiş olacaktır. Şekil 4.7'de yer aldığı gibi tek noktadan injeksiyonlu bir araçta motor milinin her dönüşünde bir püskürtme sağlanmaktadır ve yakıt miktarı ECU tarafından ayarlanır. ECU, bunu yaparken değişik sensörlerden aldığı sinyallerden faydalanır.



Şekil 4.7 İnjektörlü, Katalitik Konvertörlü Bir Araçta CNG Dönüşümü (Kaynak: 2a Mühendislik)

Euro 2/3 olarak adlandırılan üçüncü nesil araçlarda ise motor silindirlerine yakıt püskürtülmesi çoklu noktadan enjektörlerle gerçekleştirilir. Burada tüm enjektörlere tek bir kablo ile komut gider. Motor milinin her dönüşünde ise enjektörler bir miktar püskürtme yapar. Dönüşüm teknolojisinde gelinen son nokta olan ve Euro 3/4 nesil araçlar olarak adlandırılan sıralı (sequential) enjektörlü sistemlerde ise modern dizel motorlarda görülen common rail (ortak boru) teknolojisi kullanılmıştır. Bu sistemler gelişmiş bir kablolu sistemine sahiptir. Diğer enjektör sistemlerinden farkı, her silindir için ECU'nun enjektörlerin açma ve püskürtme zamanını bir diğerinden bağımsız olarak kontrol etmesidir. Ayrıca değişikliklere anında yanıt vererek araç performansını benzinliler ile aynı tutar. Bu sistemlerde mikser yoktur ve emme manifolduna püskürtme yapıldığı için geri ateşleme meydana gelmez. Böylelikle daha iyi yakıt tüketimi, çevreci ve uygun emisyonlar sağlanmış olur. Daha önce de belirtildiği gibi her enjektör ayrı ayrı komut alır ve ekstra enjektör emülatörleri kullanılır. Bu sistemler avans varyatörü ile kendi yakıt avansını verebilir. Avans varyatörü gerekli olduğu durumlarda yakıt ayarlamasını yapar ve böylece aracın çekiş gücünde herhangi bir azalma yaşanmaz.

#### 4.6 Doğalgazın Yanma Süreci Sonucunda Meydana Getirdiği Emisyonlar

Araç egsozlarından kaynaklanan emisyonlar, her ne kadar yakıt zincirinin diğer kademesindeki emisyonlar görmezden gelinemesse de, bütün kirleticiler arasında en önemli oranı teşkil etmektedir. Herhangi bir taşıt, yakıtın motorda yanmasından sonra zararlı yan

ürünler olarak bir takım gazlar oluşturur. Bu gazlar da hava kirliliğine ve küresel ısınmaya yol açar. Benzin ve dizel yakıtları, hidrokarbon olarak anılan hidrojen ve karbon içeren bileşiklerdir. Kuramsal olarak kusursuz bir motorda havadaki oksijenle yakıttaki hidrojen birleşerek suya dönüşürken, yakıttaki karbon ile birleşen oksijende CO<sub>2</sub>'e dönüşür. Motorda gerçekleşen bu yanma sürecinden havada ki azot hiç etkilenmez. Ne var ki gerçekte yanma süreci bu kadar kusursuz değildir ve bu sırada motorda birkaç çeşit zararlı gazda meydana gelir. Bu gazlar HC, NO<sub>x</sub>, CO'dir. HC'ler motorda yanmayan ve kısmen yanan yakıt molekülleridir. NO<sub>x</sub> ise motorun yüksek basınç ve sıcaklık ortamında havada ki azot ve oksijen atomlarının tepkimeye girmesi yoluyla meydana gelir. Bunların arasında en fazla kaygıya küresel ısınmaya yol açtığından dolayı CO<sub>2</sub> neden olur.

Benzinli araçlardan meydana gelen en büyük emisyon kaynağı işte bu CO<sub>2</sub>'dir. Bu nedenle küresel ısınmaya olumsuz yönde en çok katkıda bulunan yakıt türü benzin olmaktadır. Günümüz teknolojisinde geline üç yollu katalizörlü sistemlerin kullanılması bu emisyonları kayda değer ölçüde azaltmıştır. Dizel yakıtta ise HC ve CO emisyonları çok fazla kaygıya neden olmazken NO<sub>x</sub> ve partiküler emisyonlar yüksek mertebelerde gerçekleşmektedir. Dolayısıyla küresel ısınmaya olan negatif etkisi daha azdır. Hidrojen bir kenara koyulduğunda ise diğer bütün alternatif yakıtlar ve gazlı yakıtlar arasında olumlu yönde en iyi kirletici emisyon değerlerine ise doğalgaz sahiptir.

Doğalgazın meydana getirdiği emisyonlar göz önüne alınırken öncelikle doğalgazın doğadan çıkarıldığı hali ile kullanıma hazır olduğunu, ne herhangi bir kimyasal prosese ne de bir rafineri sürecine maruz kalmadığından dolayı meydana getirdiği emisyonların yakıt zinciri boyunca sadece araçlardan meydana geldiğini hatırlamakta fayda vardır. Bu da doğalgazın bir başka avantajını teşkil etmektedir. Partiküler emisyonlar diye bir şey ise söz konusu değildir. HC emisyonları diğer emisyon kaynaklarına göre nispeten yüksek kalmakla beraber daha düşük CO ve CO<sub>2</sub> emisyonları meydana getirmektedirler. Yapılan araştırmalar göstermektedir ki, dizel ve LPG yakıtlı araçlar sera etkisi emisyonlarını azaltmakta benzinli araçlara göre %16 mertebelerinde başarılı olurlarken bu oran CNG'li araçlar için %25 mertebelerindedir. NO<sub>x</sub> emisyonları yönünden bakıldığında ise doğalgazın benzin ile yaklaşık aynı mertebelerde emisyonlara neden olduğu gözlemlenmişken, dizel yakıt ile karşılaştırıldığında ise çok daha iyi sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır. İlk çalıştırma veya soğuk başlatmanın bir problem olduğu Bi-Fuel veya Dual-Fuel araçlarda ise söz konusu durumlarda motor ısınma sürecini atlatıp normal bir rejime ulaşana kadar geçen sürede ise doğalgazın emisyonlar yönünden olan bu avantajlarından söz etmek mümkün olmamaktadır. Çünkü bu anlarda motor doğalgaz ile

çalışmamaktadır.

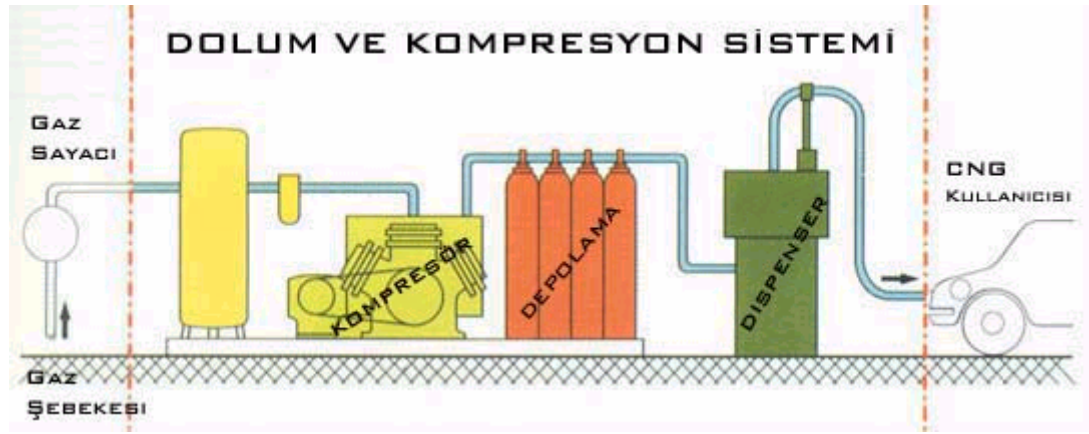
Çizelge 4.2 Hafif araçlar için benzinle mukayese edildiğinde kaynaktan tekerleğe emisyonlar  
(Kaynak: International Energy Agency)

Yakıt Türü		NOx	CO	HC	Pm	CO2
Benzin		100	100	100	0	100
Dizel		130-221	7-21	15-40	100	52-74
LPG	Saha	96-110	25-47	17-71	1	71-82
	Rafineri	114-117	25-47	65-66	1	78-93
Doğalgaz		56-79	23-25	111-115	0	65-78
Metanol	Doğalgaz	158	101	155	v.y.	80
	Sellüloz	119-142	71-102	76-117	11	30-110
Etanol	Sellüloz	81-117	17-24	27-41	v.y.	10-16
	Şeker/Nişasta	122-154	22-52	32-104	24-45	24-55
Biodizel		189-346	8-26	12-47	112-120	13-32
Hidrojen		79-864	0-12	2-339	0-113	5-362

## 5. DOĞALGAZIN YAKIT OLARAK ARAÇLARDA TÜKETİLMEMEYE HAZIR HALE GETİRİLMESİ

### 5.1 CNG Uygulamaları

Araçların motorlarında doğalgaz tüketerek kayda değer mesafeler alabilmesi için öncelikle araç deposunda belli miktarda ve yoğunlukta gaz bulunması gerekmektedir. Bu kriteri sağlamaya yönelik uygulamalar arasında doğalgazın sıkıştırılarak araca teslim edilmesi yöntemi ön plana çıkmaktadır. Doğalgazı bu forma getirmek için gerekli sistem içerisindeki en önemli ekipman kompresör olmakla beraber, gaz genel olarak ayrı bir takım diğer ekipmanlarında prosesine uğramaktadır. Bu ekipmanlar aşağıda Şekil 5.1 ile sıralandığı gibidir.



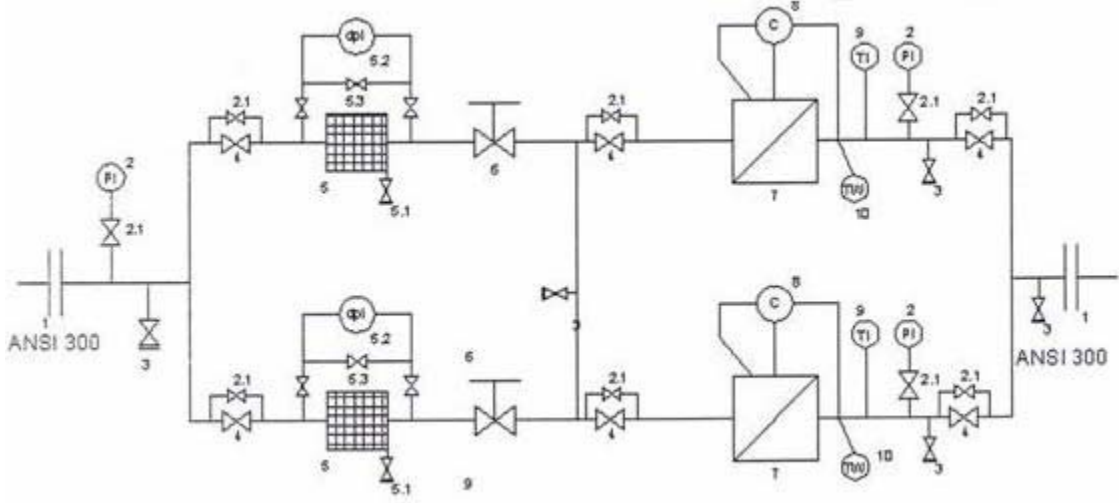
Şekil 5.1 Bir doğalgaz sıkıştırma sisteminin genel görünümü (Kaynak : Inflex)

- |                                    |                             |
|------------------------------------|-----------------------------|
| 1. Ölçüm İstasyonu                 | 5. Sıralı Depolama Tankları |
| 2. Genleşme Tankı (Blow-Down Tank) | 6. Dispenserler             |
| 3. Doğalgaz Kompresörü             |                             |

Tercihe ve uygulama lokasyonunda ki çevre şartlarına da bağlı olmak üzere gaz giriş sisteminde “Kurutucu” ve kompresör çıkışında da ekstra olarak “Su Soğutmalı Sistemler” kullanılabilir. Kurutucunun sistem içerisindeki görevi doğalgazı içerdiği su buharından ayırıp kuru hale getirmektir. Gazın kuru formda olması ekipmanların kullanım ömrü açısından önemli bir kriteri teşkil etmektedir. Aksi durumlar için kompresörlerin sık periyotlar ile bakım masrafları ortaya çıkaracağı aşikardır. Su soğutmalı sistemler ise, kompresör çıkışında sıkıştırılmış ve belli bir sıcaklığa ulaşmış olan gazın soğutulması metodu ile araç depolarına daha fazla miktarda ve yoğunlukta gaz gönderilmesini amaçlamaktadır.

Bir ölçüm istasyonunun temel fonksiyonu; ana dağıtım boru hattından alınan gazın

ölçümlendirilip ücretlenmesini sağlamakla beraber, gerekli olduğu durumlarda basıncının tekrar düzenlenmesini sağlamaktır. Bir basınç ve ölçümlendirme istasyonunu meydana getiren ekipmanlar ise aşağıda Şekil 5.2 ile belirtildiği gibidir ;



Şekil 5.2 Son kullanıcı basınç ve ölçümlendirme istasyonları (Kaynak: Botaş, 1996)

- |                                 |                               |
|---------------------------------|-------------------------------|
| 1. İzolasyon contası flanş kiti | 5.2. Fark manometresi         |
| 2. Manometre (0-40 bar)         | 5.3. Üç yollu manifold        |
| 2.1. Vent ve By-pass vanaları   | 6. Global vana                |
| 3. Boşaltma vanası              | 7. Sayaç                      |
| 4. Küresel vana                 | 8. Elektronik hacim düzeltici |
| 5. Filtre                       | 9. Termometre                 |
| 5.1. Filtre boşaltma vanası     | 10. Termovel                  |

Bu sistemin en önemli iki elemanı ölçüm işlemini gerçekleştiren sayaç ve elektronik hacim düzelticidir. Sayaç olarak genellikle türbin veya rotary tipi olanlar kullanılmaktadır. Elektronik hacim düzelticinin sistem içerisindeki görevi ise sıcaklık ve basınç farklarından doğan ölçüm hatalarını gidermektir. Ülkemizde dolaşan doğalgaz hatlarında üç farklı basınç kademesi söz konusudur. Birincisi 35/75 bar basınç mertebeleri olan ana dağıtım hatlarıdır. Ancak şehir dışı çelik dağıtım hatlarında bu basınçta gaz dolaşımına müsaade edilir. Yine çelik hatlarda rastlanan ikinci kademe basınç değeri 19/20 bar mertebeleridir. Şehir içi hatlarda her yerde olmasa da sıklıkla tecrübe edilen bir basınç değeridir. Son kademe ise polietilen malzemeden teşkil, şehir dolaşım hatlarında ziyadesiyle görülen ve ekseriyetle konut ve endüstriye gazın teslim edildiği hatlardaki gaz basınç değeri olan 4 bar mertebesidir. Gazın bu söz konusu kademeler arasındaki basınçlandırılması şehir girişlerine ve dağıtım bölgelerine tesis edilen bu basınç ve ölçüm istasyonları ile olmaktadır.

Sıkıştırma sistemlerinin girişine kompresörün çıkış hattından alınan gazı by-pass edebilecek genişleme tankları tesis edilir. Bu tankın amacı hem pistonlu silindir tarafından üretilen basınç darbelerini azaltmak, ki bu durum sıkıştırma sistemi girişindeki ölçüm istasyonunun sağlıklı çalışmasını engeller, hem de kompresör giriş hattındaki basınç dalgalanmalarını sınırlandırır. Bunu dolunun gerçekleşmediği anlarda kompresörde bulunan birikmiş gazı kompresörden tahliye ederek gerçekleştirir.

Doğalgaz sıkıştırma sistemlerinin en önemli elemanı hiç şüphesiz ki kompresörlerdir. Bu sistemler iki farklı tipte kompresörlerden teşkil edebilir.

#### 1. Pistonlu Kompresörler

#### 2. Hidrolik Kompresörler

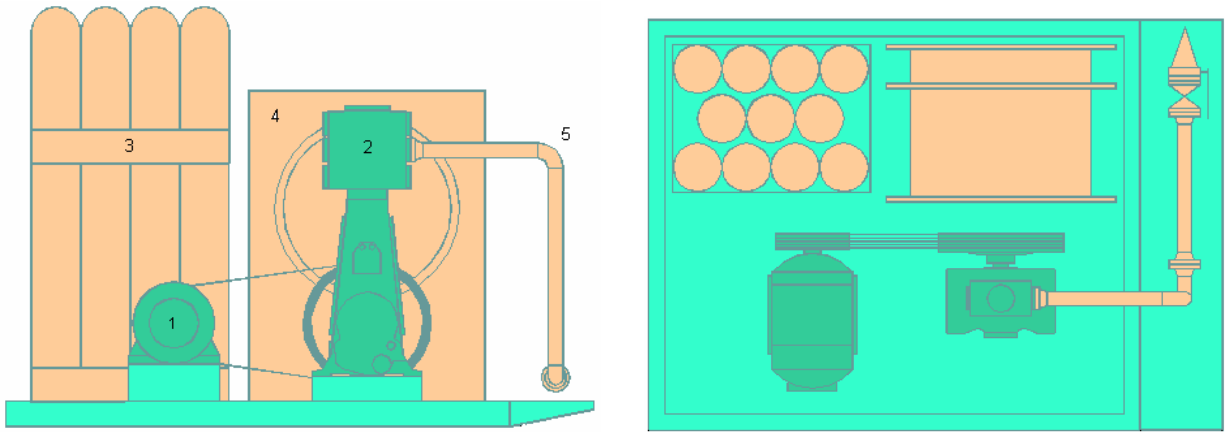
Uygulamada kendilerine daha çok yer bulduklarından ve daha pratik olduklarından dolayı burda sadece pistonlu kompresörlere değineceğiz.

Pistonlu kompresörler, bu uygulamalarda kendilerine daha çok yer bulmaktadırlar. Kompresör silindirlerinin skidler üzerine yatay veya dikey konumda tesis edilmesinden meydana gelir. Gaz bu silindirlerin içerisinde bir, iki, üç veya dört kademenin sonunda 200-250 basınç mertebelerine getirilir. İstenen kapasiteleri elde ettiğinde aşırı yüksek basınçlara ulaşmış olan kompresör silindirlerinin yağlama tatbiki gerektirmemesi, işletme maliyetleri açısından çok gerekli olup yine bu silindirlerin soğutulması kapalı devre su sistemi ve bazı durumlarda da yağ ile gerçekleştirilmektedir. Gazın kompresörlere giriş basıncı ise 1 ile 100 bar arasında değişebilmektedir. Giriş basınç değeri ne kadar yüksek olursa ekipman ilk yatırım maliyetide o kadar azalmaktadır.

Pistonlu kompresörler genelde 1:4 prensibi ile çalışırlar. Her bir kademe sonunda yaklaşık 170 °C'ye kadar ısınan gaz daha fazla ısınmasını engellemek için bir hava soğutucudan geçirilir. Bu hava soğutucular çevre havasından faydalanır. Hava, havalandırma fanı sayesinde soğutucunun kanatlı yüzeylerinden geçer ve soğutma sonrası yaklaşık 100 °C civarında olan gaz sıcaklığı en sonunda çevre sıcaklığının 15 °C üstü mertebelerine kadar düşürülür. Çevre etkenleri ve gürültü emisyonlarına önlem olarak kompresörler akustik kabinler ile beraber tesis edilebilir. Sert iklim koşullarının yaşandığı yerlerde tesis edilen kompresör sistemleri akustik kabinler ile muhafaza edilmiyorsa hava soğutucular yerine su soğutucu ünitelerin tesis edilmesi gerekmektedir. Bu su soğutucular kapalı veya açık devre su sistemini kullanabilir. Kapalı devre su sistemi kullanıldığında ısınan su, dışsal bir hava soğutucu ünite vasıtası ile soğutulur. Akustik kabin içerisinde tesis edildiğinde ise soğutucuya

bir takım cihazlar (ısıtıcı, ön yağlama pompası v.b.) ilave edilerek hava soğutucu kullanılmaya devam edilebilir.

Sıkıştırma sistemi kompresör ünitesinin dışında sözünü ettiğimiz hava soğutucu ünitelerden, kompresör silindirlerini tahrik edecek elektrik motoru ve bir takım emniyet ekipmanlarından meydana gelir. Elektrik motorundan elde edilen mekanik gücün kompresör silindirlerine iletilmesi için genelde V-kayışlı sistemler yeterli olup, çok yüksek kapasiteli elektrik motorları tesisinde bu güç sisteme direkt olarak veya dişliler vasıtası ile aktarılır.



Şekil 5.3 Bir sıkıştırma sistemini teşkil eden ekipmanlar (Kaynak :Dresser Wayne Pignone)

- |                     |                    |
|---------------------|--------------------|
| 1. Elektrik motoru  | 4. Hava Soğutucu   |
| 2. Kompresör        | 5. Gaz Giriş Hattı |
| 3. Depolama Ünitesi |                    |

Bir sıkıştırma sisteminin çıplak halde ebatları yaklaşık olarak 2500x3500x2500 mm şeklinde olmaktadır. Bir akustik kabin ile tesis edildiğinde ise bu ebatlar yaklaşık olarak 3600x4000x3800 mm olarak değişmektedir.

Bu sıkıştırma sistemleri, bütün sistem parametrelerinin otomatik veya manuel olarak kontrol edilmesine olanak sağlayacak bir PLC elektrik panosu ile entegre haldedir. Bazı durumlarda sistemden belli bir mesafe uzağa ayrıca tesisi edilmesi de gerekebilir. Bu sistem vasıtası ile sistem parametrelerine bağlı olarak kompresörün otomatik olarak durdurulması ve başlatılmasına olanak sağlanmakla birlikte, sistem hatalarını ve gaz kalitesini takip etmek mümkün olmaktadır.



Bir sıkıştırılmış doğalgaz istasyonunun diğer önemli ekipmanları depolama üniteleri ve dispenserlerdir. Kompresörler ile dispenser üniteleri arasına tesis edilen depolama üniteleri pik anlarda yaşanabilecek gaz ihtiyacının karşılanmasının yanında, her dolum öncesi ve sonrası kompresör kalkış ve duruş periyotlarını kontrol altına alarak işletim maliyetleri açısından tasarrufa geçmeyi amaçlamaktadır.

Dispenser üniteleri ise, sıkıştırılmış formdaki gazı hem araçlara teslim etmek amaçlı olarak, hem de bu işlemi gerçekleştirirken ölçümlendirmek için tesis edilmektedir. Sıkıştırılmış gaz araca, dispenser içerisindeki bir coriolis kütle sayacından geçtikten sonra ulaşmaktadır. Bu sayaçlar gazı hacim cinsinden değil kütle cinsinden ölçebilir. Coriolis kuvveti prensibi, bir boru içerisinde geçen akışkanın boruda titreşime neden olması ve bir tork meydana getirmesi prensibine dayanır. Giriş ve çıkış arasındaki bu titreşim farkları ölçülerek kütle tespit edilir.

Dispenser ünitelerinden yapılan dolum, depolama üniteleri ile paralel gerçekleşen bir, iki veya üç kademeli bir süreçten sonra gerçekleşir. Tek kademede dolum işlemi gerçekleşirken dispenser tek bir pnömatik veya solenoid valf vasıtasıyla sabit bir basınç değerinde gaz içeren bir dolum deposu tarafından beslenir. İki veya üç kademeli dolum işleminde ise gaz, kademe sayısına göre yüksek, orta ve alçak basınç seviyelerinde depolandığı depolama üniteleri tarafından bu sefer iki veya üç adet pnömatik veya solenoid valf üzerinden beslenir.

Dispenser ünitelerinin içerisinde sözünü ettiğimiz kütle sayacı, solenoid veya pnömatik valflerin dışında doğal olarak filtreler ve basınç transducer adı verilen dispenserin operasyon ve çalışması istenen maksimum ve minimum basıncının ayarlanmasına olanak sağlayan cihazlar ve sıkıştırılmış gazın karakteristiklerini çevre hava şartlarından bağımsız hale getiren sıcaklık kompenzasyon özelliği bulunmaktadır.

Sıkıştırma süreci sonunda elde edilen gazın araçlara teslim sürecinde iki farklı uygulama söz konusudur. Gaz Yavaş Dolum veya Hızlı Dolum adı verilen süreçler sonunda araçlara teslim edilebilir. Yavaş dolum kompresör ünitesi sonrasında herhangi bir depolama ünitesinin var olmadığı, kompresörde sıkıştırılan gazın direkt olarak araçlara verildiği ve daha çok büyük filolara ait araçların 6-10 saat arasında değişen bir periyot içerisinde sırası ile doldurulması sürecidir. Hızlı dolum ise günlük hayattaki uygulamalardan bilindiği üzere bir aracın dört-beş dakikalık bir periyot içerisinde dolum işleminin gerçekleştirilip dolum tesisinden ayrıldığı uygulamalardır.

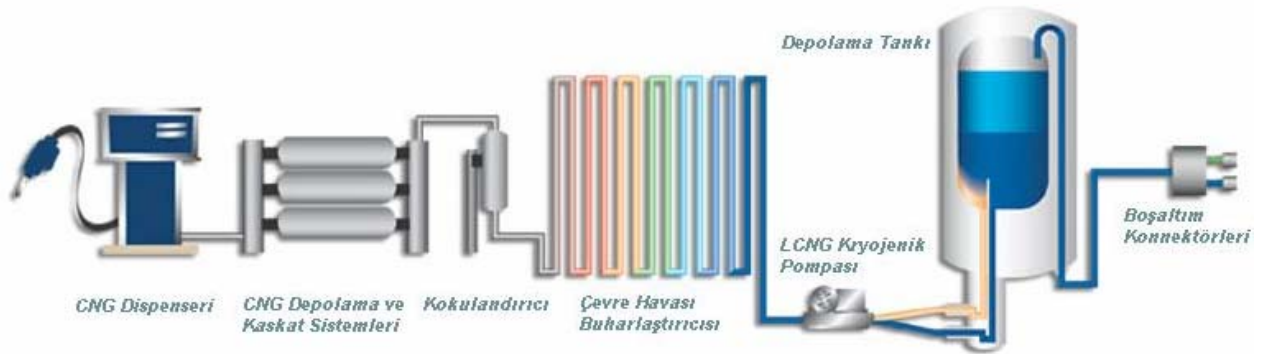
Dolum işleminin gerçekleştirildiği tesisler ise üç farklı türde olmaktadır. On-line istasyonlar, Ana İstasyonlar ve Kız istasyonlar. On-line istasyonlarda gaz bir dağıtım hattından alınır,

sıkıştırıldıktan sonra bir miktar depolanır veya direkt dispenserlere sevk edilir ve oradan da araçlara dolun işlemi gerçekleştirilir. Ana istasyonlar genellikle daha yüksek kapasitelerde gaz teslim etme yeteneğine sahip istasyonlar olup, dağıtım hattından alınıp sıkıştırılan gaz araçlara sevk edilebilmekle birlikte kız istasyonlara sevk etmek üzere çeşitli depolama ünitelerine de doldurulabilir. Kız istasyonlar ise dağıtım hatlarının mevcut olmadığı yerlerde, sıkıştırılmış gazın bir ana istasyondan depolama üniteleri içerisinde geldiği ve buradan araçlara dolunu gerçekleştirildiği istasyonlardır. Bu tip istasyonlar doğal olarak ana istasyonlardan belli bir mesafe uzağa tesis edilir.

Güvenlik bakış açısından bakıldığında araçlara teslim edilen gaz olarak her ne kadar yüksek basınç değerlerini telafuz etsek de CNG, LPG ve diğer muadillerine nazaran çok daha güvenli bir yakıttır ve bugüne kadar kayıt altına girmiş herhangi bir kaza veya olay gerçekleşmemiştir. Kaza unsurunu teşkil eden en büyük unsur araç üzerinde bulunan depolama tankı ve bu tanktan meydana gelebilecek sızıntılardır. Araç depolama tankları imalat süresince birçok testten geçirilir ve testlerden başarıyla geçemeyen ekipmanlar pazarda yerini alamaz. Bu testlerden bazıları belirli bir yükseklikten bırakma testi, çarpışma testi ve kurşun testidir.

## 5.2 LCNG Uygulamaları

Doğalgazın araçlarda motor yakıtı olarak kullanılabilmesi için öncelikle deposunda belli bir menzili alabileceği miktarda gazı bulundurması gerektirdiğinden ve en çok kullanılan yöntemlerden birinin de gazı sıkıştırılmış formda depolamak olduğundan bir önceki konu başlığında söz etmiştik. Sıkıştırma prosesi için gerekli olan gaz, dağıtım boru hatlarından temin edilebileceği gibi, boru hatlarının ulaşmasının mümkün olmadığı yerlerde veya motorlarında LNG yakan araçlara aynı çatı altında LNG teslim ederek hizmet vermek amaçlı ve bunun için kaynak teşkil etmesi için tesis edilen LNG tanklarından da temin edilebilir. Bu proses LCNG (Liquified Compressed Natural Gas) olarak adlandırılır.



Şekil 5.4 Bir LCNG sisteminin genel görünümü (Kaynak: Nexgen Fuelling)

LCNG uygulamaları genel itibari ile CNG uygulamalarında geçerli olan ve gaz dağıtım hatlarının uzağında tesis edilmek istenen istasyonlar için başvuru ana-kız istasyonları yönteminin bir farklı uygulaması olmaktadır. Bu noktada LCNG uygulamalarını CNG uygulamalarından ayıran özelliklere değinmek gerekmektedir. CNG kompresör bazlı bir sistem ile genellikle yakıt ikmal sahasında üretilirken LNG büyük sıvılaştırıcılarda üretilir ve sonra yakıt ikmal sahasına aktarılır. Hem CNG hem de LNG araçları üzerlerinde 3,5-8 bar mertebelerindeki gazı tüketmek için ek bir sisteme veya bir dönüşüm sistemine sahiptirler. CNG tüketen araçlar regülatör bazlı sistemler kullanırlarken, LNG tüketen araçlar düşük sıcaklıktaki sıvıyı gaz fazına ısıtmak için ısı değıştirici sistemlerini ihtiva ederler.

Bir LCNG istasyonundan da 300 bar mertebelerindeki gaz servis edilebilecektir. Gazı bu basınç mertebelerine getirmek için kryojenik pompalar ve yüksek basınç buharlaştırıcılarından faydalanılır. Şekil 5.4'ten görüleceği gibi CNG dispenserı öncesi depolama ünitelerine gelinceye kadar kısımda sıvı formdaki yakıt, önce bir kryojenik pompadan geçirilerek 300 bar mertebelerine basınçlandırılır ve sonrasında buharlaştırıcıdan geçirerek yine 300 bar mertebelerindeki sıkıştırılmış gaz elde edilmiş olur. Bu LCNG ve CNG uygulamaları arasındaki en büyük farklardan bir tanesini teşkil eder. Bir başka deyişle LCNG uygulamalarında kryojenik bir pompa sıvı yakıtı basınçlandırırken, CNG uygulamalarında bir kompresör gaz formundaki yakıtı sıkıştırmaktadır. Dispenser dolum esnasında, önce depolama ünitelerinde yedeklenmiş gazdan faydalanır ve dolum gerçekleşirken kryojenik pompa devreye girer. Depolama ünitelerine gitmeden önce buharlaştırıcı sonrasında gazın kokulandırılması gerekmektedir.

Bu noktada söz edilmesi gereken bir başka fark CNG kompresörünün LCNG pompasının gerektirdiğinden 3-5 kat kadar daha büyük bir tahrik gücünü gerektiriyor olmasıdır. Örneğin, 25 kW'lık bir LCNG pompası 500 Sm<sup>3</sup>/h'lik bir akış üretebilecek iken, aynı miktarda akış oranını sağlamak için 75-110 kW'lık bir CNG kompresörü gerekli olacaktır. Hem CNG istasyonlarına hem de LCNG istasyonlarına maliyet ekleyen ve iki istasyon tipi arasındaki farklılıkları ortaya koyan benzer diğer unsurlar şu şekilde olmaktadır;

- LCNG istasyonlarının LNG tankerleri ile sahaya getirilen sıvı yakıtı boşaltmak için geniş yer gereksinimlerine ihtiyaçları vardır.
- LCNG uygulamalarında LNG'den üretilen CNG'nin kokulandırılması gerekmektedir.
- LCNG kryojenik pompalarının çok düşük sıcaklıklarda çalışıyor olmalarından dolayı kısa ömürlü olmaları beklenebilir.

- LCNG sistemlerinin ilk yatırım maliyeti konvansiyonel sistemlerden (CNG) daha yüksek olmaktadır.
- CNG uygulamalarında meydana gelen gürültüyü minimize etmek amaçlı akustik kabin tesis edilmesi gerekli olabilmektedir.
- CNG uygulamalarında boru hattı gaz kalitesine ve çevre hava şartlarına bağlı olarak ekstra kurutucuların tesisine veya ekstra olarak gaz temizleme işlemi gerçekleştirilmesine gerek duyulabilmektedir.

Bir LCNG istasyonunu meydana getiren ekipmanlar Şekil 5.4'te görülebileceği gibi LNG yakıt depolama tankı, LCNG kryojenik pompası, yüksek basınç buharlaştırıcısı ve bir CNG dispenserinden meydana gelmektedir. Kullanılan LNG tankları genellikle 60.000-140.000 lt. kapasiteye sahip olmaktadır ve daha önceki bölümlerde bahsettiğimiz LNG tanklarının kendisidir. Bu, istasyonun verebileceği gaz miktarından bağımsız olarak gerektirdiği bir ön yatırımdır.

LCNG kryojenik pompası sıvı yakıtı 3-4 bar mertebelerinden alıp 250-300 bar mertebelerine sıkıştıran ünitelerdir. Bir sistem için gerekli olacak pompa ünitesini tespit ederken öncelikle CNG uygulamalarında olduğu gibi istenen basınç ve akış oranı değerleri göz önüne alınır. Kryojenik pompa tesisinde yüksek basınçtan dolayı meydana gelebilecek darbe ve ses problemlerinden kaçınmak için pompa çıkışına bir Basınç Kontrol Tankı tesis edilebilir. Kryojenik pompa LNG depolama tankına mümkün olduğunca yakın tesis edilmelidir.

Sıvı formdaki yakıtı sıkıştırılmış forma dönüştürmek için kullanılan yüksek basınç buharlaştırıcıları ise iki tipte olmaktadır.

#### 1. Atmosferik Tip Buharlaştırıcılar

Bu tip buharlaştırıcılar çevre havasından faydalanır. Basit bir yapıları vardır ve işletme maliyetleri düşüktür. Atmosferik çevre sıcaklığı bu ünitelerin performansını etkileyeceğinden üretilen CNG'nin sıcaklığı sürekli olmayabilir. Genellikle çevre sıcaklığının 10 °C altındadır. Bu CNG uygulamalarında olanların tersine bir göstergedir. CNG uygulamalarında bu sıcaklık sıkıştırma prosesi neticesinde çevre sıcaklığının 15 °C kadar üstünde olabilmektedir. Atmosferik Tip Buharlaştırıcıların performansında yaşanan bir sorun ünitenin uzun süre çalışması durumunda kanatlı yüzeylerinde meydana gelen buzlanma ve karlanmadır. Yine çevre sıcaklık ve nemliliğine bağlı olarak sis oluşumunu da meydana getirebilirler. Bu sis çevrede bulunan cihazların doğru çalışmasını etkileyebilir.

## 2. Sıcak Su Tip Buharlaştırıcılar

Bu tip ünitelerde sıcak su kullanılır ve sıcak suyun meydana gelmesi içinde başka ısı kaynaklarına ihtiyaç duyulur. Bundan dolayı buharlaştırıcıya ek olarak sıcak su kazanı, sıcak su sirkülasyon pompası gibi cihazların ayrıca tesis edilmesi gerekmektedir. Ancak ısı kaynağı olarak diğer cihazlardan gelen ısıyı da kullanmak mümkündür. Örneğin yakıt ikmalde kullanılmayan boil-off gazının sıcak su kazanı yakıtı olarak kullanılması gibi. Bu tip buharlaştırıcılar sürekli çalışsalar dahi performanslarında bir düşme yaşanmaz ve sis oluşumuna meydan vermez.

LCNG uygulamalarında kokulandırma ünitelerine olan gereksinim ise şehir gaz dağıtım hattında dolaşan ve hali hazırda kokulandırılmış olan gazın aksine LNG'nin kokusuz ve renksiz bir gaz olmasından kaynaklanmaktadır. Kokulandırıcı olarak ise birçok şehir gazı uygulamasında olduğu gibi Tetrahidrotiofen -çürük sarımsak kokusu- (THT) kullanılmaktadır. Bu maddenin donma noktası  $-96,1^{\circ}\text{C}$ 'dir ve LNG içerisinde pıhtılaşmaktadır. Kryojenik pompalarda meydana gelebilecek böyle bir problemin önüne geçmek için kokulandırıcıyı LNG içerisine karıştırmaktan kaçınılmalıdır.

Yakıtın sıvı formda kullanılması gerektiği durumlarda ortaya çıkan bir diğer farklı durum ise boil-off gazı adı verilen ve LNG'nin transferi ve depolanması sırasında ekipman ve enstrümanlara olan ısı transferinden dolayı LNG içerisindeki hafif maddelerin buharlaşması sonucu oluşan gazın kendisidir. Bu gazın ana içeriği de yine büyük oranla metandır. Endüstriyel uygulamalarda (fabrikalarda yer alan yakma cihazlarında tüketmek üzere) ve şehir gazını sağlayan LNG tesislerinde ihtiyaç olan basınç 3-4 bar mertebelerinde olduğundan dolayı bu boil-off gazı esas gaza karıştırılabilir. Ancak sürecin sonunda sıkıştırılmış gaz ve bu gaz türü ile çalışan araçlar söz konusu olduğunda bir kere buharlaşmış olan gazı işlemenin zor olduğunu ve LNG tankında geriye kalan sıvı yakıtın madde konsantrasyonunun ağır içerikli olanlardan meydana geldiği de hatırlanmalıdır. Metan gazı netice itibari ile küresel ısınmaya yol açan bir elementte olduğundan dolayı atmosfere de rahatlıkla serbest bırakılmamalıdır. Sonuç olarak boil-off gazının varlığı bir sorun teşkil etmektedir. Az miktarlarda dolunun gerçekleştiği büyük istasyonlarda bu gazın oluşumuna sıklıkla rastlamak oldukça olasıdır. Bu tip durumlarda bu gazı toplayabilecek bir Boil-Off Tankı tesis edilir. Böyle bir tank LNG depolama tankında meydana gelebilecek boil-off gazını toplayacağı gibi kryojenik pompa öncesinde meydana gelecek boil-off gazını da toplayacaktır.

### 5.3 LNG Uygulamaları

LNG, CNG'nin 200 barda sahip olduğu enerji yoğunluğunun neredeyse 2,4 katına sahiptir. Bir başka deyişle 200 bar mertebelerindeki LNG'nin yoğunluğu  $435 \text{ kg/Sm}^3$  iken CNG yoğunluğu  $175 \text{ kg/Sm}^3$  olmaktadır. Bu belirli bir yakıt tankı kapasitesi için LNG tahrikli bir aracın CNG tahrikli muadilinin alacağı mesafenin 2,4 katını alacağı ya da belirli tespit edilmiş bir menzil için LNG tahrikli araç CNG muadilinin gerektirdiğinden 2,4 defa daha az yakıt tankı kapasitesini gerektireceği anlamına gelmektedir.

LNG sıvı formda iken daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi kokusuz, renksiz, korozif olmayan, zehirli ve tutuşabilir olmayan bir yakıt türüdür. Ancak çok kolay buharlaşıp havaya karışır ve ciddi büyüklükte hacimleri kaplar. 1 birim sıvı gaz 600 katı büyüklüğüne genleşeceğinden en ufak bir sızıntıda dahi tehlike içeren durumlar ortaya çıkabilir.

Doğalgaz kaynağından çıkarıldığında bilindiği üzere % 90'dan fazla metan içeriğine sahiptir. Sıvılaştırma süreci sırasında oksijen, karbondioksit, sülfür ve su içerikleri kaldırılarak daha saf hale getirilir ve metan içeriği neredeyse % 100 mertebelerine çıkarılır.

Bir LNG sistemini meydana getiren ekipmanlar ise Şekil 5.5'te görüldüğü gibi LCNG uygulamalarında da kullanılan ekipmanlardır. Farklı olarak sıvı yakıt araca da sıvı formda teslim edileceğinden dolayı yakıtı veya gazı yüksek basınçlara sıkıştırmak gerekli olmayacaktır. Buradaki çalışma basıncı aralığı 3-7 bar basınç aralığıdır. Bundan dolayı LNG kryojenik pompasının da sıvıyı yüksek basınçlara çıkarma gereksinimi yoktur ve maliyet olarak da LCNG kryojenik pompalarından daha makuldür. Gerek sistem çalışma hatları olsun gerekse de dispenser içindeki hatlar olsun hepsi paslanmaz çelik mamulden imal edilmiştir. Paslanmaz çelik malzeme kryojenik yakıtı taşımak için gerekli düşük sıcaklık dayanımına sahip bir malzeme türüdür.

Sistemin şematığı çalışma prensipleri aşağıda ifade edildiği gibi gerçekleşmektedir;



Şekil 5.5 Bir LNG sisteminin genel görünümü (Kaynak: Nexgen Fuelling)

LNG taşıma tankerleri ile sahaya varan 3-5 bar mertebelerindeki LNG, boşaltma konektörleri vasıtasıyla öncesinde sıvı azot veya sıvı nitrojen ile soğutulmuş olan depolama tankına transfer edilir. Bu noktada yakıtı araca servis edebilmek için gerekli basınç değerine ulaştırabilmek için doyurma adı verilen bir süreç uygulanır. Bu süreç LNG pompasının yakıtı depolama tankından bir buharlaştırıcıdan geçirerek çekmesi ve basıncını 5,5-7 bar mertebelerine gelinceye kadar basması sürecidir. Böylece depolama tankındaki yakıtın basıncı artmış olur. Daha sonra dispenser her dolum anında 5,5-7 bar mertebelerindeki yakıtı depolama tankından çekecek LNG pompasını aktif hale getirerek dolum işlemini gerçekleştirecektir. Dispenserde belli bir miktarda tutulacak LNG hemen yapılacak bir doluma yanıt verecektir.

Bu uygulama çeşidinde dikkat edilmesi gereken iki nokta ; öncelikle LNG’de diğer sıvı yakıtlar gibi yakıt içerisinde olabilecek katı madde ve kalıntıları taşıyıp hem araç hem de kendi yakıt sistemlerinde soruna yol açabileceğinden her istasyonun yakıt hattında 100 mikron veya daha ince gözenekli bir filtre bulundurulması gerektiğidir. Bir diğer nokta ise, depolama tankları girişinde tesis edilmiş Birincil Tahliye Valfleri 16 bar değerine set edildiğinden dolayı yakıt teslim basıncı 15 bar mertebesini aşmamalıdır.

LNG bugüne kadar araç yakıtı olarak kendisine daha çok büyük tonajlı dizel araçlarda dizel yakıtı alternatif olarak yer bulmuştur. Daha çok bu tür araçlara uygulanabilir olmasının birkaç nedeni vardır. Öncelikle daha çok büyük tonajlı araçlara sahip filolar tarafından rağbet gördüğünden bugün çalışan LNG istasyonlarının hepsi sadece bu tür araçlara hizmet vermektedir ve halk kullanımına açık değildir. Bunun ana nedeni güvenlidir. Kapalı bir ortamda park edilmiş veya bir haftadan uzun süre hareketsiz kalmış LNG’li bir araç tutuşabilir miktardaki bir gazı blöf edecektir ve bu da herhangi bir kıvılcım kaynağı çevresinde patlama riski oluşmasına neden olabilecektir. Bu sebepten ötürü LNG kullanımı sıklıkla kullanılan araçlara veya devamlı açık ortamda tutulan ve park halinde bulunan araçlarla kısıtlanmalıdır. LNG’nin hafif araçlarda kendisine yer bulamamasının bir diğer sebebi de araç üzerindeki depolama tanklarının kompleks yapısının bu yakıt türünü pek de uygulanabilir kılmamasıdır. Ancak yine de daha önce vurgulandığı gibi LNG dizel yakıtın yerini, özellikle büyük tonajlı araçlar için, almaya başlamaktadır. Bunda her iki yakıt türünün de aynı menzili almaya olanak sağlamasını yanından LNG’nin daha ucuz, çevreye daha saygılı ve daha az kirletici emisyonlara neden oluyor olması ve yine dizel motorlarından daha az gürültü emisyonlarına sebep oluyor olmasının katkıları vardır.

LNG kullanımında ise bugüne kadar yaşanmış ve kayıt altına girmiş birkaç kaza söz konusu olmuştur. Örneğin, A.B.D’de 1979 yılında sistem kryojenik pompasından meydana gelen bir sızıntının sistem elektrik devrelerine sızması ve orada hapis kalması, görevli bir işçinin de o esnada sistem şalterlerinden birini kapatması sonucu meydana gelen patlamada işçi yaşamını kaybetmiş ve ağır hasar ortaya çıkmıştır. Yine yakın geçmişte 2004 yılında sıvı gaz sağlayıcılarından biri konumundaki Cezayir’de ve Belçika’da gaz sızıntılarından dolayı meydana gelen ve sonuçları ağır olan olaylar kayıt altına geçmiştir.

#### **5.4 HCNG Uygulamaları**

Bu uygulama türü henüz olgunlaşma ve şekil alma safhasında bulunmakla beraber hidrojene geçiş teknolojisinin başlangıç ayağını oluşturmaktadır. Uygulamanın temeli hidrojen ve sıkıştırılmış doğalgazın belirli karışım oranlarında araç motorlarında yakılmasına dayanmaktadır. HCNG’li araçlar emisyonlar bakımından, NO<sub>x</sub> emisyonlarını % 50 mertebelerinde azaltılması gibi, çok iyi sonuçlar önerebilmektedir. Bu uygulamaların bir diğer artısı da yakıt hücresi uygulamalarına geçişte gerekli alt yapıyı tesis ederek bu sürece katkısının bulunacak olmasıdır.

Bugün HCNG kullanımını teşvik edecek uygulamalar hız kazanmaya ve kendine yer bulmaya başlamıştır. A.B.D. Enerji Bakanlığı bugün hafif ve ağır taşıtlarda HCNG kullanımını teşvik etmektedir. Phoenix, Arizona eyaletinde Bakanlığın endüstriyel sağlayıcılarla geliştirdiği işbirliği neticesinde hidrojen ve CNG üretimi ve yakıt ikmali yapabilecek bir tesis kurmak için çalışmalar başlamıştır. Tesis saf hidrojeni, CNG’yi ve HCNG karışımlarını, bu yakıt türlerini tüketmesi için modifiye edilmiş hafif test araçlarında kullanmak üzere sağlamaktadır. Yine aynı Bakanlık bir başka projede ağır yük HCNG araçlarının ve transit otobüslerinin geliştirilmesini desteklemektedir. Yapılan testler sonucunda % 20 hidrojen ve % 80 CNG karışımları ile çalışan araçların daha düşük emisyonlar gösterdiği ve CNG ile yakıt ikmali yapılan aynı kapasitedeki motorlara göre yakıt verimliliğinden hiçbir şey kaybetmediği gözlemlenmiştir.



## 6. CNG ve LNG BAZLI SİSTEMLERE KURULUM, İŞLETME MALİYETLERİ ve YATIRIMIN GERİ DÖNÜŞÜ YAKLAŞIMLARI

Sıvı veya gaz formunda olsun, araçlara doğalgaz dolumunu gerçekleştirmek ve yakıtı araca teslim edildiği forma getirmek için uygulanan yöntemlere dair son kullanıcı tüketici fiyatı aşağıdaki unsurların bir yansımasıdır ;

1. İstasyona teslim edilen şebeke hattı gazı veya LNG maliyeti
2. İstasyon ilk yatırım tesis maliyeti
3. Sistem pompa veya kompresör ve bunların yardımcı ekipmanlarından kaynaklanan işletme (elektrik tüketim) maliyetleri
4. İstasyon bakım maliyetleri

### 6.1 Boru Hattı Gazı ve LNG Temin Maliyetleri

Bugün ülkemiz gaz dağıtım otoritesi olan BOTAŞ'ın gaz dağıtıcı kurumlara uyguladığı katma değer vergisi hariç gaz satış fiyatı 0,356699 YTL/Sm<sup>3</sup>'dür. Aynı zamanda LNG satıcısı ve dağıtıcısı konumunda da olan BOTAŞ'ın LNG için uyguladığı satış fiyatı ise 0,415064 YTL/Sm<sup>3</sup>'dür.

Gaz dağıtım şirketleri tarafından son kullanıcıya teslim edilen gazın satış fiyatı şu şekilde hesaplanmaktadır ;

Abone satış tarifesi = BOTAŞ toptan satış fiyatı + Birim Hizmet ve Amortisman Bedeli + ÖTV + KDV

Yukarıdaki formülüzasyon ile ilgili oran ve rakamların değerlendirilmesinden sonra örnek olarak İstanbul ili ele alındığında, konut ve sanayide gerçekleşen gaz satış fiyatının 0,416622 YTL/Sm<sup>3</sup> (01.02.2006 itibari ile) olduğu, araçlara gerçekleşen doğalgaz ikmali için satış fiyatının ise 0,891642 YTL/Sm<sup>3</sup> olduğu gözlemlenmektedir. Bu kabul ve hesaplamalar araştırmamın son bölümünde değineceğim doğalgaz satış istasyonları ilk yatırım maliyetlerinin geri dönüşünü hesaplamakta bize yardımcı olacaktır. Rakamlar, formülüzasyon ve somut pazar verilerinden bilinmektedir ki, otomobiller için doğalgaz satışı söz konusu olduğunda uygulanan ÖTV oranı kayda değer oranda artmaktadır ve LPG gibi alternatif yakıtlarda dahil olmak üzere bütün yakıt türleri arasında en yüksek seviye olan satış fiyatının yaklaşık %55'i mertebelerini bulmaktadır.

## 6.2 İstasyon İlk Yatırım Maliyetleri

### 6.2.1 CNG istasyonları ilk yatırım maliyetleri

Bir CNG istasyonunu meydana getiren ekipmanlar daha önceki bölümlerde de sözü edildiği gibi başlıca ; Kompresör, Genleşme Tankı, Depolama Tankları, Dispenserler ve bunlara ek olarak Ölçüm İstasyonu ve opsiyonel olarak da Kurutucu ve Su Soğutma Ünitelerinden meydana gelmektedir.

Bir CNG istasyonunun kurulum maliyetini belirleyen en önemli unsur kompresör maliyeti, kompresör maliyetini belirleyen en önemli unsurda gaz giriş basıncı ve sistemden sağlaması istenen kapasitedir. Sisteme giriş yapan gaz basıncı değeri ne kadar yüksek olursa tesis edilecek ekipman boyutları o kadar azalmakta ve ilk yatırım maliyeti de bir o kadar düşmektedir. Kompresörler nihai basıncı değil, kapasiteyi sağlayan ekipmanlardır, sistem için ne kadar yüksek basınç değerinde gaz teslim alırsak onu istenilen kapasite ve çıkış basıncına ulaştırmak o kadar kolay olacaktır.

Ekipmanların ilk yatırım maliyetlerine yaklaşımlarda bulunmak için önce belirli bir giriş basınç değeri ve kapasite belirlenmesi gerekir. Ülkemiz şehir içi gaz dağıtım hatlarında bulunan en yaygın ve en makul basınç aralığı olan 10-19 bar değerleri göz önüne alınarak, 500 Sm<sup>3</sup>/h akış oranını sağlayabilecek (ortalama bir değer olarak her biri yaklaşık 20 Sm<sup>3</sup> gaz depolama hacmine sahip olan araçlardan 25 taneyi bir saat içinde doldurabilecek) ve 15 bar giriş tasarım basıncında çalışabilecek bir kompresör ile diğer teçhizatlarını göz önüne alarak çeşitli mali yaklaşımlarda bulunalım. Bu yaklaşımlarda bulunmak için sistem içerisindeki en önemli ekipman olan Kompresör ve diğer ekipmanlar için İtalya menşeli üretici Dresser Wayne Pignone firması ürün gamından teknik özellikleri aşağıda belirtilmiş olan P45-A sistemi ve üzerinde ihtiva ettiği 2AVTN/3 (iki silindirli, üç kademeli) kompresörünü seçtim.

Kabul edebilir min. giriş basınç değeri :	10 bar
Kabul edebilir max. giriş basınç değeri :	24 bar
Bu aralıkta sağlayabileceği akış oranı :	340 – 800 Sm <sup>3</sup> /h
Absorbe edeceği güç :	61-100 kW
Rotasyonel hız :	1200 RPM

Böyle bir sistemi elde etmek için yapılması gereken ilk yatırım maliyeti şu şekilde olmaktadır;

2AVTN/3 Kompresör :	€ 95.000
Genleşme Tankı :	€ 8.000
Depolama Tankları (1200 lt su hacmi) :	€ 10.000
Dispenser (Çift Sayaçlı) :	€ 16.000
Devreye Alma ve Kurulum :	€ 10.000 - € 15.000

Sistem maliyetlerine gürültü ve görüntü kirliliğini önleyici özellikleri olan kompresör akustik kabini maliyeti dahil edilmemiştir. Bu karakteristiklerde bir tesis için şehir dağıtım hattından alınacak gazın ölçümlendirilmesi ve faturalandırmasına yarayacak ölçüm istasyonu kurulum maliyeti ise € 20.000-30.000 aralığında olacaktır. Sonuç olarak görüleceği üzere bu büyüklükte bir sistemin ilk yatırım maliyeti € 159.000 – 174.000 mertebelerini bulmaktadır.

### 6.2.2 LCNG ve LNG istasyonları ilk yatırım maliyetleri

Bir LCNG istasyonunu teşkil eden ekipmanlar daha önceki bölümlerde de sözü edildiği gibi; LNG Depolama Tankı, Buharlaştırıcı, Kryojenik Pompa, Kokulandırıcı, Dispenser ve Depolama Ünitelerinden meydana gelmektedir.

Böyle bir sistem de yer alacak LNG Depolama Tankı kapasitesi için çalışmamın başında Çizelge 2.5 ile verilen farklı LNG depolama tanklarından tip-8 ile belirtilmiş olan 60 Sm<sup>3</sup> yani 60.000 lt su hacmine sahip olan tankı yeterli gördüm. Bu tür tankların % 80 oranında bir doluluk oranına ulaşmasına müsaade edilmektedir. Geriye kalan % 20'lik kısım güvenlik ve donmadan kaynaklanabilecek problemlerin önüne geçebilmek için doldurulmamaktadır.

500 Sm<sup>3</sup>/h'lik akışa uygun Atmosferik Tip Buharlaştırıcı ve söz konusu kapasitede LNG depolama tankı için yine A.B.D. menşeli bir imalatçı olan Chart-Ferox firmasını seçtim.

Böyle bir sistem için yapılması gereken ilk yatırım maliyetleri şu şekilde olmaktadır ;

LNG Depolama Tankı (60 Sm <sup>3</sup> ) :	€ 72.000
Atmosferik Tip Buharlaştırıcı :	€ 12.000
Kryojenik Pompa :	€ 25.000
Kokulandırıcı :	€ 20.000
Dispenser :	€ 16.000
Depolama Ünitesi :	€ 10.000
Devreye Almaya Hazır Hale Getirilmesi :	€ 15.000 - € 20.000

---

Not: LCNG uygulamalarında yer alan Dispenser ve Depolama Üniteleri maliyetleri için Dresser Wayne Pignone firmasına ait ekipmanların fiyatları referans alınmıştır. Kryojenik Pompa ve Kokulandırıcı için ise münferit sağlayıcıların söz konusu kapasiteler için ortalama maliyetleri göz önüne alınmıştır.

Sonuç olarak görülmektedir ki böyle bir sistemin ilk yatırım maliyeti asgari € 170.000 – 175.000 mertebelerini bulmaktadır.

Aynı kapasitede ve yakıtı araca direkt sıvı formda teslim eden bir LNG istasyonu için ise bu maliyetler şu şekilde olmaktadır ;

LNG Depolama Tankı (60 Sm <sup>3</sup> ) :	€ 72.000
Atmosferik Tip Buharlaştırıcı :	€ 12.000
Kryojenik Pompa :	€ 15.000
Dispenser :	€ 20.000
Devreye Almaya Hazır Hale Getirilmesi :	€ 15.000
 Σ Yatırım Maliyeti =	 € 134.000

### 6.3 İşletme Maliyetleri

#### 6.3.1 CNG istasyonları işletme maliyetleri

Günümüzde birçok ekipman üreticisinin sahip olduğu teknoloji, gazın içerisinde sıkıştırıldığı kompresör silindirlerinin soğutulması ve meydana gelen sürtünmelerin azaltılması için yağlama operasyonunun yapılmasını gerektirmektedir. Bu durum sistem içerisine yağ partiküllerden ayırmak için yağ filtrelerinin tesis edilmesini gerektirmekle beraber, sıkıştırılmış gaza karışabilecek yağ partiküllerinden sistemi arıtmak için bir miktar sıkıştırılmış gazın da tahliyesini gerektirmektedir. Böylece ortaya öngörülmesi gereken bir takım işletme maliyetleri daha çıkabilmektedir. Ekipman sağlayıcısı olarak göz önüne aldığım Dresser Wayne Pignone firmasının sıkıştırma sistemlerinde kullandığı teknoloji ise kompresör silindirlerinin soğutulması ve sürtünmelerin azaltılması için yağlama yapılmasını gerektirmemektedir. Isınan kompresör silindirlerinin soğutulması kapalı devre bir su sistemi ile gerçekleştirilirken, kompresörün krank mekanizması dışında başka herhangi bir noktada yağlama yapılması gerekmemektedir. Bu sebepten ötürü işletme maliyetleri hesaplamaları yapılırken olası yağlama ürünü sarfiyatı bir maliyet unsuru olarak göz önüne alınmamıştır.

Bir CNG istasyonunda ortaya çıkan işletme maliyetleri, o sistemin elektrik sarfiyatından dolayı kaynaklanmaktadır. Bir sistemin absorbe ettiği güç, dolayısıyla da gerekli olacak elektrik motoru kapasitesi tasarlanırken kompresörün kalkış ve duruş anlarındaki ani güç gereksinimlerini de karşılamak için bu değer %10 oranında bir tolerans göz önüne alınarak seçilir. Bir sıkıştırma sisteminde elektrik sarfiyatı gerçekleştiren ve bu sarfiyatları göz önüne alınması gereken diğer ekipmanlar ise dispenser, kontrol ve güç paneli, hava soğutucusu

elektrik motoru olmaktadır. Bu durumda söz konusu 500 Sm<sup>3</sup>/h kapasiteyi sağlamak için boyutlandırılması gereken elektrik motoru, giriş tasarım basıncı değerleri için yaklaşık 90 kW güç sağlayabiliyor olmalıdır.

Sistemin gerçekleştireceği elektrik sarfiyatını bulmamız için şu kriterleri göz önüne almamız gerekmektedir ; 500 Sm<sup>3</sup>/h kapasitesine sahip bir kompresör ile her birinin 20 Sm<sup>3</sup> (80 lt. su hacmi) gaz depolayabilme yeteneğine sahip olduğunu bildiğimiz tanklara 25 araç/saat dolun gerçekleştirilebilir. Bu dolunun gerçekleştirilebilmesi için gaz teslimini yapacak olan dispenserin eş zamanlı doluma müsaade edecek çift sayaçlı bir dispenser olması gerekmektedir. Yine 25 araç/saat'lik bir doluma istasyonun tesis edileceği yerde yaşanacak pik saatlerde rastlanılacağı kabulünü yapmakta fayda vardır. Sonuç olarak, 25 araç/saat dolun için elektrik sarfiyatını hesaplamak istersek ;

$$(2000 \text{ lt}) \times (250 \text{ bar}) / (500 \text{ Sm}^3/\text{h}) = 1 \text{ saat} \quad (6.3.1)$$

$$75 \text{ kW} \times 1 \text{ saat} = 75 \text{ kWh} \quad (6.3.2)$$

$$(1 \text{ kWh} = 0,152 \text{ YTL}) \text{ ve } 75 \text{ kWh} \times 0,152 \text{ YTL/kWh} = 11,4 \text{ YTL} \quad (6.3.3)$$

Yani 500 Sm<sup>3</sup>/h kapasiteli bir istasyonun pik saatleri için 11,4 YTL/h elektrik sarfiyatı gerçekleştireceğini tespit edebiliriz.

Böyle bir istasyonun normal çalışma saatlerini ve pik çalışma saatlerini ise şu şekilde tayin edelim ;

Gün Boyunca Çalışma Saatleri 07.<sup>00</sup> – 22.<sup>00</sup>

Pik Kapasitede Çalışma Saatleri 07.<sup>00</sup> – 09.<sup>00</sup> ve 18.<sup>00</sup> – 20.<sup>00</sup> arası

Böylece pik saatler sonunda meydana gelecek elektrik sarfiyatının 6.3.4 ile aşağıda belirtildiği gibi olacağını tespit edebiliriz ;

$$11,4 \text{ YTL/saat} \times 4 \text{ saat/gün} = 45,6 \text{ YTL/gün} \quad (6.3.4)$$

Böyle bir istasyonun günün geri kalan bölümünde de 10 araç/saat kapasite ile çalışmaya

devam edeceğini düşünürsek, meydana gelecek dolun süreleri ve buna müteakip elektrik sarfiyatları şu şekilde olacaktır ;

$$(800 \text{ lt}) \times (250 \text{ bar}) / (500 \text{ Sm}^3/\text{h}) = 0,4 \text{ saat} \quad (6.3.5)$$

$$75 \text{ kW} \times 0,4 \text{ saat} = 30 \text{ kWh} \quad (6.3.6)$$

$$(1 \text{ kWh} = 0,152 \text{ YTL}) \text{ ve } 30 \text{ kWh} \times 0,152 \text{ YTL} = 4,56 \text{ YTL} \quad (6.3.7)$$

Yani 500 Sm<sup>3</sup>/h kapasiteli bir istasyonun normal çalışma saatleri için 4,56 YTL/h elektrik sarfiyatı gerçekleştireceğini tespit edebiliriz.

Böylece normal çalışma saatleri sonunda meydana gelecek elektrik sarfiyatının 6.3.8 eşitliği ile aşağıda belirtildiği gibi olacağını tespit edebiliriz ;

$$4,56 \text{ YTL/h} \times 11 \text{ h/gün} = 50,16 \text{ YTL/gün} \quad (6.3.8)$$

6.3.4 ve 6.3.8 eşitlikleri ile tespit edilen pik saatlerde ve normal çalışma saatleri sonunda gerçekleştirilecek toplam elektrik sarfiyatının aşağıda 6.3.9 eşitliği ile belirtildiği şekilde olacağı sonucuna varabiliriz.

$$(45,6 \text{ YTL/gün}) + (50,16 \text{ YTL/gün}) = 95,76 \text{ YTL/gün} \quad (6.3.9)$$

Sonuç olarak bu sistemin yıllık elektrik sarfiyatı (6.3.10) ile belirtildiği gibi olacaktır ;

$$\Sigma \text{ İşletme Maliyeti} = 95,76 \text{ YTL/gün} \times 30 \text{ gün/ay} \times 12 \text{ ay/yıl} = 34.473,6 \text{ YTL/yıl} \quad (6.3.10)$$

Mukayese yapma yetimizi arttırmak için bu maliyet oranını Avrupa Para Birimi Avro cinsinden düşünmek ister ve hesaplamaların yapıldığı tarih olan 01.02.2006 itibari ile 1 € = 1,62 YTL olduğunu göz önüne alırsak ;

$$\Sigma \text{ İşletme Maliyeti} = € 21.280/\text{yıl} \quad (6.3.11)$$

Bu hesaplamaların yanı sıra bu maliyetler Debelak'a (2002) göre bir CNG istasyonu için € 40.650/yıl mertebelerinde olmaktadır.

Böyle bir sistem netice itibari ile 95,76 YTL/gün elektrik sarfiyatı ile 4 saat pik kapasitede ve 11 saat x (0,4 saat) = 4,4 saat normal çalışma saatlerinde devrede kalarak toplamda 8,4 saat/gün çalışacaktır.

Burada dikkat edilmesi gereken iki husustan birincisi ; istasyonun normal çalışma süreleri içerisinde belirli fasıllarla çalışacak olması ve sisteme tesis edilecek olan depolama üniteleri ile sistem kompresörünün devamlı dur/kalk yapmasının ve dolayısıyla her seferinde normalin üç katı bir elektrik tüketimi yapılmasının önüne geçilecek olması, ikinci önemli nokta ise maliyet ve sarfiyatları tespit edilen böyle bir sistem ile (6.3.14) eşitliği ile belirtildiği sayıda dolun yapılabileceği ve bu sayıdaki araç dolumunun günümüz modern istasyonları için asgari seviyeyi teşkil ettiğini göz önüne almak gerektiğidir.

$$(25 \text{ araç/saat}) \times (4 \text{ saat}) = 100 \text{ araç/gün} \quad (6.3.12)$$

$$(10 \text{ araç/saat}) \times (11 \text{ saat}) = 110 \text{ araç/gün} \quad (6.3.13)$$

$$\Sigma \text{ Araç Sayısı} = 100 + 110 = 210 \text{ araç /gün} \quad (6.3.14)$$

Son olarak yukarıda tespit edilen sarfiyatların yanında ihmal edilebilir mertebelerde kalan, kompresör sistemi içerisindeki pnömatik valflere 4-10 bar mertebelerindeki sıkıştırılmış havayı sağlayan hava kompresöründen kaynaklanacak elektrik sarfiyatı ve eğer tesis edilseydi, sıkıştırılmış ve dolayısıyla ısı artmış olan gazın kompresör çıkışında ekstra olarak bir miktar daha soğutulmak için kurulacak olan su soğutma grupları elektrik sarfiyatı da göz önüne alınabilirdi.

### 6.3.2 LCNG ve LNG istasyonları işletme maliyetleri

Aynı dolun kapasitesi (210 araç/gün) ve çalışma saati (8,4 saat/gün) gerçekleştiği göz önüne alınarak, daha önceki bölümlerde de bahsedildiği üzere aynı kapasitede ki (500 Sm<sup>3</sup>/h) gazı sağlamak için daha küçük elektrik tüketimine ihtiyaç duyan bir kryojenik pompa tesis etmenin yeterli olacağını anımsayacağız. Bu unsur farklı iki tip istasyon (CNG ve LNG bazlı) arasındaki temel işletme maliyetleri farkını ortaya çıkarmaktadır.

500 Sm<sup>3</sup>/h kapasite için 25 kW bir elektrik motorunun yeterli olacağını düşündüğümüzde böyle bir sistem için işletme sarfiyatı ;

$$25 \text{ kW} \times 8,4 \text{ saat} = 210 \text{ kWh} \quad (6.3.15)$$

$$(1 \text{ kWh} = 0,152 \text{ YTL}) \text{ ve } 210 \text{ kWh} \times 0,152 \text{ YTL} = 31,92 \text{ YTL/gün} \quad (6.3.16)$$

Sonuç olarak bu sistemin yıllık elektrik sarfiyatı (6.3.17) eşitliği ile belirtildiği gibi olacaktır ;

$$\Sigma \text{ İşletme Maliyeti} = 31,92 \text{ YTL/gün} \times 30 \text{ gün/ay} \times 12 \text{ ay/yıl} = 11.491,2 \text{ YTL/yıl} \quad (6.3.17)$$

Avrupa para birimi Avro cinsinden;

$$\Sigma \text{ İşletme Maliyeti} = \text{€ } 7.093,4/\text{yıl} \quad (6.3.18)$$

Bu maliyetler ise Debelak'a (2002) göre bir LCNG istasyonu için € 8.130/yıl ve € 48.780/yıl mertebelerinde olmaktadır.

Sistemde buharlaştırıcı ünite olarak sıcak sulu üniteler kullanılıyor ve sıcak su kaynağı olarak sistemde üretilen bir ısıdan faydalanılmıyor olsaydı (örneğin boil-off gazı), ayrıca sıcak su meydana getirmek için de bir enerji sarfiyatının gerçekleşeceği göz önüne alınabilirdi.

Bu tür sistemlerde işletme maliyetlerini etkileyecek bir başka husus ise kokulandırıcı ünite kullanılması gereken kimyevi madde (THT) tüketimidir.

## 6.4 Bakım Maliyetleri

### 6.4.1 CNG istasyonları bakım maliyetleri

Bir sıkıştırma sisteminin sürekli olarak ve ağır yükte çalışan ekipmanı önceki bölümlerde de değindiğimiz gibi kompresördür. Bu nedenden dolayı en fazla bakıma gereksinim duyacak ekipmanın kompresör olması da doğaldır. Bir kompresörü ve silindirlerini teşkil eden ekipmanlar ve bunların kullanım ömürleri neticesinde yol açtıkları yıllık bakım masrafları aşağıdaki hesaplamalarda belirtildiği gibidir.

Ancak bunun öncesinde değerlendirmeye aldığımız ekipmanın bir yılda ne kadar süre devrede kalacağını tespit etmemiz gerekmektedir. Bu 6.3.19 eşitliği ile tespit edildiği şekilde olmaktadır;



$$8,4 \text{ saat/gün} \times 30 \text{ gün/ay} \times 12 \text{ ay/yıl} = 3024 \text{ saat /yıl} \quad (6.3.19)$$

Piston Ringleri : 8000 saat kullanım ömrü

€ 843 birim fiyatı

Piston ringlerinin değişiminin yıllık maliyeti aşağıda 6.3.21 eşitliği ile verildiği gibidir ;

$$3024 / 8000 = 0,378 \text{ defa/yıl} \quad (6.3.20)$$

$$0,378 \times (\text{€ } 843) = \text{€ } 318,7/\text{yıl} \quad (6.3.21)$$

Bu piston ringlerini değiştirmek için 3 işçi 3 saat boyunca € 3/saat olmak üzere çalışanlar ise bu aksiyonun işçilik maliyeti ile beraber toplam maliyeti 6.3.24 eşitliği ile belirtildiği gibi olur.

$$3 \text{ saat} \times (\text{€ } 3/\text{saat}) \times 3 \text{ işçi} = \text{€ } 27 \quad (6.3.22)$$

$$0,378 \times \text{€ } 27 = \text{€ } 10,26/\text{yıl} \quad (6.3.23)$$

$$\Sigma \text{ Maliyet} = \text{€ } 318,7/\text{yıl} + \text{€ } 10,26/\text{yıl} = \text{€ } 328,96/\text{yıl} \quad (6.3.24)$$

Sızdırmazlık Ringleri : 8000 saat kullanım ömrü

€ 752 birim fiyat

Sızdırmazlık ringleri değişiminin yıllık maliyeti aşağıda 6.3.26 eşitliği ile verildiği gibidir ;

$$3024 / 8000 = 0,378 \text{ defa/yıl} \quad (6.3.25)$$

$$0,378 \times (\text{€ } 752) = \text{€ } 284,3 / \text{yıl} \quad (6.3.26)$$

Bu sızdırmazlık ringlerini değiştirmek için yine 3 işçi 3 saat boyunca € 3/saat olmak üzere çalışanlar ise, ekipmanın kullanım ömrü değişmediğinden, bu aksiyonun işçilik maliyeti de 6.3.23 eşitliği ile belirtildiği gibi olacaktır ve sonuç itibari ile toplam maliyet 6.3.27 eşitliği ile belirtilen hali olacaktır.

$$\Sigma \text{ Maliyet} = \text{€ } 284,3/\text{yıl} + \text{€ } 10,26/\text{yıl} = \text{€ } 294,56 \quad (6.3.27)$$

Kompresör Pnömatik Valfleri : 8000 saat kullanım ömrü  
€ 2.520 birim fiyat

Kompresör pnömatik valfleri değişiminin yıllık maliyeti aşağıda 6.3.29 eşitliği ile verildiği gibidir ;

$$3024 / 8000 = 0,378 \text{ defa/yıl} \quad (6.3.28)$$

$$0,378 \times (\text{€ } 2.520) = \text{€ } 952,7 / \text{yıl} \quad (6.3.29)$$

Bir sıkıştırma sisteminde ortalama beş adet pnömatik valfin tesis edilmiş olduğu durum göz önüne alınırsa bu rakam ;

$$\text{€ } 952,7 / \text{yıl} \times 5 = \text{€ } 4.763,5 / \text{yıl} \quad (6.3.30)$$

mertebelerinde olmaktadır.

Bu pnömatik valfleri değiştirmek için 3 işçi 6 saat boyunca € 3/saat olmak üzere çalışırlar ise bu aksiyonun işçilik maliyeti ile beraber toplam maliyeti 6.3.33 eşitliği ile belirtildiği gibi olur.

$$6 \text{ saat} \times (\text{€ } 3 / \text{saat}) \times 3 \text{ işçi} = \text{€ } 54 \quad (6.3.31)$$

$$0,378 \times \text{€ } 54 = \text{€ } 20,41 / \text{yıl} \quad (6.3.32)$$

$$\Sigma \text{ Maliyet} = \text{€ } 4.763,5 + \text{€ } 20,41 = \text{€ } 4.783,91 \quad (6.3.33)$$

Kompresör Ana Yatakları : 30.000 saat kullanım ömrü  
€ 1.357 birim fiyat

Kompresör ana yatakları değişimi yıllık maliyeti aşağıda 6.3.35 eşitliği ile verildiği gibidir ;

$$3024 / 30.000 = 0,1 \text{ defa/yıl} \quad (6.3.34)$$

$$0,1 \times (\text{€ } 1.357) = \text{€ } 135,7 / \text{yıl} \quad (6.3.35)$$

Bu ana yatakları değiştirmek için 3 işçi 8 saat boyunca € 3/saat olmak üzere çalışırlar ise bu aksiyonun işçilik maliyeti ile beraber toplam maliyeti 6.3.38 eşitliği ile belirtildiği gibi olur.

$$8 \text{ saat} \times (\text{€ } 3/\text{saat}) \times 3 \text{ işçi} = \text{€ } 72 \quad (6.3.36)$$

$$0,1 \times \text{€ } 72 = \text{€ } 7,2/\text{yıl} \quad (6.3.37)$$

$$\Sigma \text{ Maliyet} = \text{€ } 135,7 + \text{€ } 7,2 = \text{€ } 142,9 \quad (6.3.38)$$

Yağlama Maliyetleri : 1 lt/gün yağ sarfiyatı  
€ 3,70 birim fiyatı

Toplam yağlama sarfiyatı aşağıda (6.3.39) eşitliği ile verildiği üzere olacaktır.

$$\Sigma \text{ Sarfiyat} = \text{€ } 3,70/\text{gün} \times 30 \text{ gün/ay} \times 12 \text{ ay/yıl} = \text{€ } 1.332/\text{yıl} \quad (6.3.39)$$

Bu yağlama işlemini gerçekleştirmek için 1 işçi 1 saat boyunca € 3/saat olmak üzere çalışır ise bu aksiyonun işçilik maliyeti ile beraber toplam maliyeti 6.3.42 eşitliği ile belirtildiği gibi olur.

$$1 \text{ saat} \times (\text{€ } 3/\text{saat}) \times 1 \text{ işçi} = \text{€ } 3 \quad (6.3.40)$$

$$365 \text{ gün/yıl} \times \text{€ } 3 = \text{€ } 1.095/\text{yıl} \quad (6.3.41)$$

$$\Sigma \text{ Maliyet} = \text{€ } 1.332 + \text{€ } 1.095 = \text{€ } 2.427/\text{yıl} \quad (6.3.42)$$

İşletme maliyetleri bölümünde bahsedildiği gibi hesaplamalar için göz önüne aldığımız makine imalatçısı firma teknolojisi kompresör silindirlerinin soğutma veya sürtünmeleri azaltma amaçlı olarak yağlanması gerektirmemektedir. Bu nedenden dolayı bu tür teknolojik sistemlerin yağlama ve dolayısıyla işletme maliyetlerinin düşük olması normaldir.

Bütün bu veriler neticesinde 8,4 saat/gün alışan 500 Sm<sup>3</sup>/h kapasiteli bir gaz sıkıştırma istasyonunun yıllık bakım maliyeti aşağıda 6.3.44 eşitliği ile gösterildiği gibi olmaktadır.

$$\Sigma \text{ Bakım Maliyeti} = \text{€ } 328,96 + \text{€ } 294,56 + \text{€ } 4.783,91 + \text{€ } 142,9 + \text{€ } 2.427 \quad (6.3.43)$$

$$\Sigma \text{ Bakım Maliyeti} = \text{€ } 7.977,33 / \text{yıl} \quad (6.3.44)$$

Debelak'a (2002) göre bir CNG istasyonu için bu maliyetler € 20.325/yıl ve € 25.000/yıl mertebelerinde olmaktadır.

#### 6.4.2 LCNG ve LNG istasyonları bakım maliyetleri

CNG'nin saha içerisinde, LCNG'nin ise kısmen saha dışında üretiliyor olmasından dolayı LCNG istasyonlarının çalışma saatinin daha düşük ve buna paralel olarak da işletme ve bakım maliyetlerinin daha düşük olması beklenebilir.

Debelak'a (2002) göre bu maliyetler aşağıda (6.3.45) ile belirtildiği mertebeleri bulmaktadır.

$$\Sigma \text{ Bakım Maliyeti} = \text{€ } 8.130 / \text{yıl} \quad (6.3.45)$$

### 6.5. Yatırımların Geri Dönüşü

#### 6.5.1 CNG istasyon yatırımlarının geri dönüşü

Daha önce 8,4 saat/gün çalıştığı tespit edilen 500 Sm<sup>3</sup>/h kapasiteli bir CNG istasyonu 4.200 Sm<sup>3</sup>/gün gaz tüketim ve satışı gerçekleştirecektir. Böylesi bir istasyonun daha önceden üzerinde tartışıldığı gibi İstanbul ili sınırları içerisinde tesis edilmesi ön görüldüğünde satış noktasındaki gaz fiyatı, katma değer vergisi hariç, günümüz rakamları ile 0,891642 YTL/Sm<sup>3</sup> olarak gerçekleşmektedir.

“Abone satış tarifesi = BOTAS toptan satış fiyatı + Birim Hizmet ve Amortisman Bedeli + ÖTV + KDV”

formülü tekrar göz önüne getirildiğinde ve bilinen değerleri yerine koyduğumuzda (satış fiyatının yaklaşık %55'i oranındaki ÖTV dahil, katma değer vergisi hariç) ;

$$0,891642 \text{ YTL/Sm}^3 = 0,356699 \text{ YTL/Sm}^3 + x + 0,490403 \text{ YTL/Sm}^3 \quad (6.5.1)$$

Yaklaşık birim hizmet ve amortisman bedeli (x) için ;

$$x = 0,04454 \text{ YTL/Sm}^3 \quad (6.5.2)$$

(6.5.2) eşitliği ile bulunan yaklaşık birim hizmet ve amortisman bedelinin, ele alınan gaz tedarikçi firma için yaklaşık %12,48 mertebelerinde bir oran olduğunu tespit edebiliriz.

Gaz satışını gerçekleştirecek müteşebbis kendisine 0,891642 YTL/Sm<sup>3</sup>'den faturalandırılacak doğalgazın araçlara satışını, şu anda normal piyasa koşullarında geçerli bir fiyat olan 1,15 YTL/Sm<sup>3</sup> ile gerçekleştirir ise ;

$$(4.200 \text{ Sm}^3/\text{gün}) \times (0,891642 \text{ YTL/Sm}^3) = 3.744,89 \text{ YTL/gün} \quad (6.5.3)$$

kadar bir gaz sarfiyatı gerçekleştirirken (6.5.4) eşitliği ile belirtilen miktarda da gaz satışı gerçekleştirecektir.

$$(4.200 \text{ Sm}^3/\text{gün}) \times (1,15 \text{ YTL/Sm}^3) = 4.830 \text{ YTL/gün} \quad (6.5.4)$$

Böyle bir tablo karşısında böylesi bir müteşebbisin günlük ve yıllık kazançları (6.5.5) ve (6.5.6) eşitlikleri ile belirtildiği gibi olacaktır.

$$(4.830 \text{ YTL/gün}) - (3.744,89 \text{ YTL/gün}) = 1.085, 11 \text{ YTL/gün} \quad (6.5.5)$$

$$(1.085, 11 \text{ YTL/gün}) \times (365 \text{ gün}) = 396.065, 15 \text{ YTL/yıl} \quad (6.5.6)$$

Bu müteşebbisin CNG istasyonları için, daha önce de tespit edilen ortalama ilk yatırım bedeli olan € 160.000'ya karşılık gelen Türk Lirasını bu istasyon için harcadığını ele alırsak ;

$$(\text{€ } 160.000) \times (1,62 \text{ YTL/€}) = 259.200 \text{ YTL} \quad (6.5.7)$$

Bu müteşebbis daha önce (6.3.11) ve (6.3.44) eşitlikleri ile tespit edilen miktarlarda yıllık işletme ve bakım maliyetlerine sahiptir.

$$\Sigma \text{ İşletme/Bakım Maliyeti} = \text{€ } 21.280 + \text{€ } 7.977,33 = \text{€ } 29.257,33 \quad (6.5.8)$$

$$(\text{€ } 29.257,33) \times (1,62 \text{ YTL/€}) = 47.396,87 \text{ YTL} \quad (6.5.9)$$

Bu yıllık sabit maliyetlere eklemek üzere iki kişiden meydana gelecek yıllık istasyon personel yatırımını da (€ 3/saat ; işçilik ve sigorta maliyetine sahip) göz önüne alırsak ;

$$(\text{€ } 3/\text{saat}) \times (8,5 \text{ saat/gün}) \times (365 \text{ gün/yıl}) \times (2 \text{ kişi}) = \text{€ } 18.615/\text{yıl} \quad (6.5.10)$$

$$(\text{€ } 18.615/\text{yıl}) \times (1,62 \text{ YTL/€}) = 30.156,30 \text{ YTL} \quad (6.5.11)$$

Bir istasyon için sabit bir gider olarak düşünebileceğimiz yıllık bu masraf (6.5.12) eşitliği ile belirtildiği kadar olacaktır ;

$$\Sigma \text{ Gider} = (47.396,87 \text{ YTL}) + (30.156,30 \text{ YTL}) = 77.553,17 \text{ YTL} \quad (6.5.12)$$

Müteşebbisin bir yıl sonunda yapmış olacağı bütün yatırım (6.5.7) ve (6.5.12) eşitlikleri ile verilen değerlerin toplamı olacaktır.

$$\Sigma \text{ Yatırım} = (259.200 \text{ YTL}) + (77.553,17 \text{ YTL}) = 336.753,17 \text{ YTL} \quad (6.5.13)$$

(6.5.6) eşitliği ile verilen müteşebbisin böylesi bir istasyondan bir yılda elde ettiği kazanç olan 396.065,15 YTL/yıl ile bir yıllık yaptığı toplam yatırım miktarı 336.753,17 YTL/yıl oranlanırsa (6.5.14) eşitliği ile verilen sürede bu yatırımın geri döneceğini anlarız.

$$(336.753,17 \text{ YTL/yıl}) \times 12 / (396.065,15 \text{ YTL/yıl}) = \mathbf{10,20 \text{ ay}} \quad (6.5.14)$$

Müteşebbis'in bu yatırımının 10,20 aylık bir süre zarfında kendini karşılamasından sonra (6.5.6) ve (6.5.12) eşitlikleri ile verilen yıllık gelir gider dengesinin aşağıdaki eşitlik ile verildiği gibi olacağını tespit edebiliriz.

$$(396.065,15 \text{ YTL/yıl}) - (77.553,17 \text{ YTL/yıl}) = 307.511,98 \text{ YTL/yıl} \quad (6.5.15)$$

## 6.5.2 LCNG ve LNG istasyon yatırımlarının geri dönüşü

Bu her iki tür istasyon tipinin ilk yatırım maliyetlerinde daha önceki bölümlerde de özetlenen aşağıdaki şu özelliklerden dolayı farklılıklar vardır ;

- LNG istasyonlarında LCNG istasyonlarında olduğu gibi kokulandırıcı ünite tesis edilememektedir. Bunun nedeni, kokulandırıcı madde olan THT'nin atmosferik

şartlarda – 163,5°C’de bulunan LNG’nin içinde -96,1°C’de pıhtılaşmaya başlaması ve sistem elemanları üzerinde sorunlar ortaya çıkarmaya başlaması

- LNG istasyonlarında tesis edilecek kryojenik pompaların LCNG uygulamalarında ki 250 bar gibi yüksek basınç değerlerine erişmesi gerekmediğinden, dolayısıyla ekipmanların LCNG’de olduğu gibi kompleks bir yapıya sahip olmaması

Bundan dolayı her iki uygulama türünün de ilk yatırım maliyetleri farklı olmakla beraber ana madde kaynağı aynı, yani sıvı doğalgaz olduğu için işletme ve bakım maliyetleri aynı olmaktadır.

LNG istasyonları için ilk yatırım maliyeti önceki bölümlerde € 134.000 olarak tespit edilmişti.

$$(\text{€ } 134.000/\text{yıl}) \times (1,62 \text{ YTL}/\text{€}) = 217.080 \text{ YTL}/\text{yıl} \quad (6.5.16)$$

Bu değer LCNG istasyonlar için ise ortalama € 170.000 olarak tespit edilmişti.

$$(\text{€ } 170.000/\text{yıl}) \times (1,62 \text{ YTL}/\text{€}) = 275.400 \text{ YTL}/\text{yıl} \quad (6.5.17)$$

Boru Hattı Gazı ve LNG Temin Maliyetleri başlığı altında LNG’nin BOTAŞ toptan satış fiyatının 0,415064 YTL/Sm<sup>3</sup> olduğu belirtilmişti.

“Abone satış tarifesi = BOTAŞ toptan satış fiyatı + Birim Hizmet ve Amortisman Bedeli + ÖTV + KDV” formülü tekrar göz önüne alındığında ve (6.5.2) eşitliği sayesinde gaz dağıtım firmalarının yaklaşık %12,48 oranında bir Birim Hizmet ve Amortisman Bedeli uygulandığı gerçeğini (söz konusu uygulama LNG olduğunda, sıvı formdaki yakıtın özel tanklar içerisinde dağıtım noktalarına çekiciler vasıtası ile karayoluyla nakil edileceği ve bunun ekstra bir maliyet unsuru olarak bu bedele yansıyabileceği de düşünülebilir), ayrıca yine söz konusu uygulama araçlara gaz satışını ilgilendirdiğinden yaklaşık 55 oranındaki satış fiyatı üzerinden ÖTV miktarının da değerlendirmeye alınması zorunluluğu göz önüne alındığında, LCNG istasyonu müteşebbisinin gaz temin fiyatının aşağıda (6.5.18) eşitliği ile belirtildiği gibi olacağını bulabiliriz. “Abone Satış Tarifesi”ni “x” olarak adlandırırsak ;

$$x = (0,415064 \text{ YTL}/\text{Sm}^3) + (0,051799 \text{ YTL}/\text{Sm}^3) + 0,55 x$$

$$\text{Abone Satış Tarifesi} = x = 1,037473 \text{ YTL/Sm}^3 \quad (6.5.18)$$

Görülmektedir ki, daha öncede önemle vurgulandığı üzere müteşebbis LCNG istasyonu kurmak istediğinde gaz teminini daha pahalıya gerçekleştirecektir. Ancak günümüz pazar şartlarında rekabetçileri ile rekabetini sürdürebilmek için gazı son kullanıcıya €1,15 YTL/Sm<sup>3</sup> olan aynı birim fiyat ile satmak zorunda kalacaktır. Bu şartlar altında müteşebbis (6.5.19) ve (6.5.20) eşitlikleriyle belirtilen rakamlarda gaz tedarik ve satışı gerçekleştirecektir ;

$$(4.200 \text{ Sm}^3/\text{gün}) \times (1,037473 \text{ YTL/Sm}^3) = 4.357,38 \text{ YTL/gün} \quad (6.5.19)$$

$$(4.200 \text{ Sm}^3/\text{gün}) \times (1,15 \text{ YTL/Sm}^3) = 4.830 \text{ YTL/gün} \quad (6.5.20)$$

Böyle bir tablo karşısında böylesi bir müteşebbisin günlük ve yıllık kazançları (6.5.21) ve (6.5.22) eşitlikleri ile belirtildiği gibi olacaktır.

$$(4.830 \text{ YTL/gün}) - (4.357,38 \text{ YTL/gün}) = 472,62 \text{ YTL/gün} \quad (6.5.21)$$

$$(472,62 \text{ YTL/gün}) \times (365 \text{ gün/yıl}) = 172.506,3 \text{ YTL/yıl} \quad (6.5.22)$$

Bu müteşebbis daha önce (6.3.18) ve (6.3.45) eşitlikleri ile tespit edilen miktarlarda yıllık işletme ve bakım maliyetlerine sahiptir.

$$\Sigma \text{ İşletme/Bakım Maliyeti} = € 7.093,4 + € 8.130 = € 15.223,4/\text{yıl} \quad (6.5.23)$$

$$(€ 15.223,4/\text{yıl}) \times (1,62 \text{ YTL/€}) = 24.661,9 \text{ YTL/yıl} \quad (6.5.24)$$

(6.5.10) ve (6.5.11) eşitlikleri ile daha önce değerlendirmeye alınan, iki kişiden meydana gelen istasyon personel yatırımı miktarı ise değişmeyecektir.

$$(€ 3/\text{saat}) \times (8,5 \text{ saat/gün}) \times (365 \text{ gün/yıl}) \times (2 \text{ kişi}) = € 18.615/\text{yıl}$$

$$(€ 18.615) \times (1,62 \text{ YTL/€}) = 30.156,30 \text{ YTL/yıl}$$



Bir LCNG istasyonu için sabit gider olarak düşünebileceğimiz yıllık gider (6.5.25) eşitliği ile belirtildiği kadar olacaktır ;

$$\Sigma \text{Gider} = (24.661,9 \text{ YTL/yıl}) + (30.156,30 \text{ YTL/yıl}) = 54.818,20 \text{ YTL/yıl} \quad (6.5.25)$$

Müteşebbisin bir yıl sonunda bir LCNG istasyonu için yapmış olacağı bütün yatırım (6.5.17) ve (6.5.25) eşitlikleri ile verilen değerlerin toplamı olacaktır.

$$\Sigma \text{Yatırım} = (275.400 \text{ YTL/yıl}) + (54.818,20 \text{ YTL/yıl}) = 330.218,2 \text{ YTL/yıl} \quad (6.5.26)$$

(6.5.22) eşitliği ile verilen müteşebbisin böylesi bir istasyondan bir yılda elde ettiği kazanç olan 172.506,3 YTL/yıl ile bir yıllık yaptığı toplam yatırım miktarı 330.218,2 YTL/yıl oranlanırsa (6.5.27) eşitliği ile verilen sürede bu yatırımın geri döneceğini anlarız.

$$(330.218,2 \text{ YTL/yıl}) \times 12 / (172.506,3 \text{ YTL/yıl}) = \mathbf{22,97 \text{ ay}} \quad (6.5.27)$$

Müteşebbis'in bu yatırımının 22,97 aylık bir süre zarfında kendini karşılamasından sonra (6.5.22) ve (6.5.25) eşitlikleri ile verilen yıllık gelir gider dengesinin aşağıdaki eşitlik ile verildiği gibi olacağını tespit edebiliriz.

$$(172.506,3 \text{ YTL/yıl}) - (54.818,20 \text{ YTL/yıl}) = 117.688,10 \text{ YTL/yıl} \quad (6.5.28)$$

Bir LNG istasyonu için ise bütün yıllık gelir ve giderler aynı olmak üzere farklı olan ilk yatırım maliyeti göz önüne alındığında müteşebbis'in bir yıl sonunda yapmış olacağı bütün yatırım (6.5.16) ve (6.5.25) eşitliklerinden faydalanarak aşağıda (6.5.29) eşitliği ile tespit edildiği gibi olacaktır.

$$\Sigma \text{Yatırım} = (217.080 \text{ YTL/yıl}) + (54.818,20 \text{ YTL/yıl}) = 271.898,12 \text{ YTL} \quad (6.5.29)$$

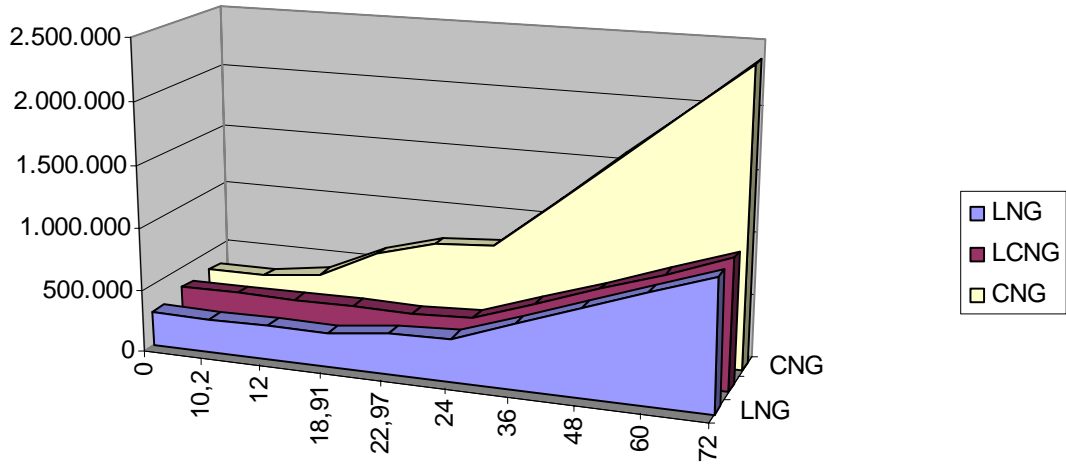
(6.5.22) eşitliği ile verilen müteşebbisin böylesi bir istasyondan bir yılda elde ettiği kazanç olan 172.506,3 YTL/yıl ile bir yıllık yaptığı toplam yatırım miktarı 271.898,12 YTL oranlanırsa (6.5.30) eşitliği ile verilen sürede bu yatırımın geri döneceğini anlarız.

$$(271.898,12 \text{ YTL/yıl}) \times 12 / (172.506,3 \text{ YTL/yıl}) = \mathbf{18,91 \text{ ay}} \quad (6.5.30)$$

Müteşebbis'in bu yatırımının 18,91 aylık bir süre zarfında kendini karşılamasından sonra, daha önce de (6.5.22) ve (6.5.25) eşitlikleri ile verilen ve bir LCNG istasyonu ile yaklaşık olarak aynı olan yıllık gelir gider dengesinin daha önce (6.5.28) eşitliği ile verildiği gibi olacağını tespit edebiliriz.

$$\Sigma \text{ Gelir-Gider Dengesi} = 117.688,10 \text{ YTL/yıl} \quad (6.5.31)$$

Çizelge 6.1 CNG, LNG ve LCNG istasyonları yatırım geri dönüşüm ve kazanç tablosu



## SONUÇ

İlk yatırım maliyetleri bakımından bir değerlendirme yapıldığında görülmektedir ki LNG istasyonları muadilleri arasında en avantajlı olandır ve onu CNG takip etmektedir. Ancak, teknik yönden sağladığı birçok avantajından dolayı sadece CNG ve LCNG odaklı çözümler üzerinde durmak fayda getirecektir. Özellikle düşük ve orta kapasiteler için CNG istasyonları LCNG istasyonlarına kıyasla daha makul olabilmektedir. LCNG istasyonları kurulumu, çok

yüksek kapasitelere çıkıldığı zaman bir alternatif olarak gündeme gelebilmektedir. Ayrıca boru dağıtım hatlarının her geçen gün yaygınlaştığı ve sonradan ulaştığı yerlerde LCNG ve LNG’de kullanılan sıvı depolama tanklarının bir gün atıl duruma düşeceği de göz ardı edilmemelidir.

Duruma işletme maliyetleri yönünden bakıldığında ise, LCNG sistemlerinin daha düşük kapasiteli elektrik motorları ile çalıştığından dolayı bu maliyetleri 3 kat kadar daha aşağı düşürebildiği gözlemlenmiştir. Ancak bu sistemler için bir takım görülmez maliyetlerde yok değildir. Örneğin, kimyevi madde kullanılmasının zorunluluğu ve sıcak su buharlaştırıcıları için sıcak su temin edecek sistemlerin enerjiye duyacağı gereksinim bunlardan bazılarıdır.

Bakım maliyetleri yönünden ise LCNG’nin kısmen saha dışında üretilebiliyor olması, sisteme kurulacak ekipmanların CNG’ye nispeten daha az kompleks ve daha düşük maliyetlerde olmasını doğal hale getirmektedir.

Yukarıdaki grafikten de anlaşılmaktadır ki CNG istasyonları 10,2 ay gibi kısa bir süre zarfında kendi maliyetlerini karşılayabilmekteyken, LNG istasyonları 18,91 ay, LCNG istasyonları da 22,97 ay gibi bir süre de kendi maliyetlerini karşılayabilmektedir. Bu zaman zarfından sonra ise yıllık işletme, servis/bakım maliyetleri bir kenara koyulduğunda grafikten de görüldüğü üzere yüksek bir karlılık oranı ile çalışmaya devam etmektedir.

LNG ve LCNG istasyonları daha önceki bölümlerde de özetlendiği gibi işletme ve bakım maliyetleri yönünden yaklaşık olarak aynı mertebelere sahiptir. Aynı zamanda her ikisi de sıvı formadaki yakıttan elde ediliyor olmaları nedeniyle, grafikten de anlaşılacağı üzere, birbirleriyle aynı mertebelere ancak CNG’nin çok gerisinde bir karlılık getirmektedirler. Bunun nedeni yakıtı satın alırken LNG, CNG’den yani boru doğalgaz hattındaki gazdan önemli mertebede daha pahalıdır. Bu sebepten ötürü CNG istasyonları yatırımında bulunmak çok daha kazançlıdır. Ayrıca, yapılacak yatırımın gelecekte uygulanabilirliği düşünüldüğünde de CNG sistemleri oldukça avantajlı olacaktır.

**KAYNAKLAR**

Barclay A. J. (2001), “Near Term Availability of Cost-Effective Liquid Natural Gas”, Cryo Fuel Systems Presentation, 25 July 2001

BOTAŞ, (1996), “Doğalgaz”, Boru Hatları ile Petrol Taşıma A.Ş.

CADDET IEA, (1998), “Saving Energy with Alternative Fuels for Vehicles”, Maxi Brochure 10

Can Çınar, Otomotiv Bilim ve Teknoloji Topluluğu (2006), “Direkt Püskürtmeli Buji İle Ateşlemeli Motorlar”

Debelak D., (2002), “LNG as a Feedstock for CNG”, Prepared for Presentation at the NGVC Show, Fall of 2002

Dresser Wayne Pignone , (2005), Dresser Wayne Pignone CNG Ekipmanları Eğitimi, Prezentasyonlar, Floransa 2005

ENGVA European Natural Gased Vehicles Association, (2005), “Natural Gased Vehicle Technology”

HABAŞ, (2004), “Sıvı Doğalgaz Uygulamaları ve Ekipmanları El Kitabı”

İGDAŞ, (2002), “Basınç ve Ölçüm İstasyonları Şartnamesi”, İstanbul Gaz Dağıtım A.Ş.

IHEC, (2005), Uluslararası Hidrojen Enerjisi Kongresi, Kongrede Alınan Notlar, 13-16 Temmuz 2005

International Energy Agency, (1999), “Automotive Fuels for the Future-The Search for the Alternatives”, Report

NexGen Fueling, “Vehicle Fuel Tank Systems”, Operations Manual

Politeknik Dergisi Cilt:6 Sayı :1, (2003), “Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Tek Nokta Yakıt İnjeksiyon ve Karbüratör Sistemlerinin Performansa Etkileri Üzerine Deneysel Bir Araştırma”

Tekser Gaz ve Gaz Ürünleri Ltd. Şti, (2003), “CNG Uygulamaları, Doğalgaz, LPG & Fuel Oil Dergisi”, Nisan 2003, 86

Tmmob Makine Mühendisler Odası İstanbul Şubesi (2005), “Araçların CNG’ye Dönüşümü Mühendis Yetkilendirme Kursu”

Türkiye LPG Derneği, (2005), Doğalgazın Ulaşımında Kullanılması Kongresi, “Doğalgazın Ulaşımında Kullanılması”, Kongre Kitapçığı

U.S. Enviromental Protection Agency, (2002), “Clean Alternative Fuels: Liquefied Natural Gas”, March 2002 Bulletin

Yonezawa M., (2002) “The Development of LCNG Charging Systems”, Chiyoda Kikai Works

**INTERNET KAYNAKLARI**

[1] [www.aritas.com.tr](http://www.aritas.com.tr)

[2] [www.botas.gov.tr](http://www.botas.gov.tr) ; Boru ile Petrol Taşıma A.Ş.

[3] [www.chart-ferox.com](http://www.chart-ferox.com)

[4] [www.chive-ltd.co.uk](http://www.chive-ltd.co.uk)

[5] [www.cleanairpower.com](http://www.cleanairpower.com)

- [6] [www.dtm.gov.tr](http://www.dtm.gov.tr) ; Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Müsteşarlığı
- [7] [www.eere.energy.gov](http://www.eere.energy.gov) ; U.S.Department of Energy
- [8] [www.eie.gov.tr](http://www.eie.gov.tr) ; Türkiye Elektrik İşleri Dairesi Başkanlığı
- [9] [www.elimsan.com](http://www.elimsan.com)
- [10] [www.engva.org](http://www.engva.org)
- [11] [www.guneydogalgaz.com](http://www.guneydogalgaz.com)
- [12] [www.hidrener.com](http://www.hidrener.com)
- [13] [www.hidrojenforumu.com](http://www.hidrojenforumu.com)
- [14] [www.hidroner.com](http://www.hidroner.com)
- [15] [www.lusas.com/case/analysis](http://www.lusas.com/case/analysis) : [www.lusas.com/case/civil\\_lng\\_tank\\_design](http://www.lusas.com/case/civil_lng_tank_design)
- [16] [www.nexgenfueling.com](http://www.nexgenfueling.com)
- [17] [www.obitet.gazi.edu.tr](http://www.obitet.gazi.edu.tr)
- [18] [www.tpao.gov.tr](http://www.tpao.gov.tr) ; Türkiye Petrol Anonim Ortaklığı
- [19] [www.wikipedia.org/wiki/Lng](http://www.wikipedia.org/wiki/Lng)
- [20] [www.2a.com.tr](http://www.2a.com.tr)

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi 06.09.1979

Doğum yeri İstanbul

Lise 1993-1996 İstanbul Şehremini Lisesi

Lisans 1997-2002 Trakya Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fak.  
Makine Mühendisliği Bölümü

**Çalıştığı kurum(lar)**

2004-Devam Ediyor Tekser Akaryakıt İstasyonları Org. A.Ş.