

# Benzin ve Diesel Motorların Doğal Gaz Motoruna Dönüştürülmesi<sup>(\*)</sup>

Selim Çetinkaya\*

## Özet

Sıkıştırılmış doğal gaz (CNG), gelecekte taşıtların enerji ihtiyacını daha büyük oranda karşılayabilecek olan çevreci ve önemli bir alternatif yakıt olarak görülmektedir. Deneysel çalışmalar, doğal gazın hem buji ile ateşlemeli hem de sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda önemli modifikasyonları gerektirmeksizin ve dikkate değer performans kaybına yol açmaksızın kullanılabilceğini göstermektedir. Bu çalışmada, doğal gazlıya dönüştürülen buji ile ateşlemeli bir motor ile pilot diesel yakıtlı doğal gazlıya dönüştürülen bir diesel motorunda, doğal gazın motor karakteristiklerine etkisi değerlendirilmiştir. Doğal gaza dönüşüm için regülatör, gaz karıştırıcı ve yüksek basınca dayanıklı doğal gaz tüpü kullanılmıştır.

Yapılan araştırmada, benzin motorunun doğal gazla çalıştırılmasının tork ve güç değerlerini bir miktar azalttığı, ancak özgül enerji maliyetinin düşük olması nedeniyle, hem benzin motorunda, hem de diesel motorundaki çift yakıtlı kullanımında, benzinli ve diesel çalışmalarına göre daha ekonomik olduğu tespit edilmiştir.

Bu aşamada, doğal gazın motor yakıtı olarak daha yaygın bir biçimde kullanılmasının önündeki en önemli darboğazlar; gerek kullanım öncesindeki ve gerekse taşıttaki depolama güçlükleri ile servis ağının ülke düzeyinde yaygınlaştırılması olarak görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Buji ile ateşlemeli motor, doğal gaz, CNG, LNG, doğal gaz yakıtlı motor, çift yakıtlı motor, alternatif yakıtlar, doğal gazlı taşıt.

## 1. GİRİŞ

Ulaşım sektörü için alternatif yakıtlar aramanın başlıca nedenleri; süratle tükenmekte olan petrol rezervleri, sınırlı sayıdaki petrol üreticilerine (Körfez ülkeleri ve OPEC) bağımlılığın azaltılması, uluslararası ticari açıkların azaltılması ve çevrenin korunması şeklinde özetlenebilir [1]. Son yıllarda artış gösteren taşıt sayısı ile birlikte etkin hale gelen hava kirliliği de, daha temiz bir yanma sağlayabilecek alternatif yakıt arayışlarındaki diğer bir faktördür [2,3]. Yüz yılı aşkın bir süredir, Otto ve Diesel ilkelerine göre çalışan otomobil

motorlarının ana yakıtı petrol kökenli yakıtlar olmuştur. Halen, hiçbir enerji tüketim sektörünün petrole bağımlılığı % 30' ları aşmazken, bu oran ulaşımda % 90' lar düzeyindedir. Uygarlığın devamının; ulaşım amaçlı, ucuz, temiz ve kararlı yakıt teminiyle çok yakından ilişkili olduğu söylenebilir.

Alternatif yakıtların; kaynak ve potansiyel yakıt temini, emniyet, zehirlilik ve sağlığa zararlılık, motor performansı ve emisyonları, depolama, yakıt deposu ve tekrar yakıt temini gibi kriterler

Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Makina Eğitimi Bölümü, Teknikokullar - Ankara

açısından incelenmesi gerekir. Doğal gaz, bu kriterler bakımından olumlu ve motor yakıtı olarak kullanılacak en önemli alternatif yakıtlardan birisidir. Bolluk, düşük maliyet ve temiz yanma karakteristikleri ve dağıtım sistemlerinin var oluşuna ek olarak daha düşük araç emisyonlarına imkan vermesi, doğal gazı son derece elverişli bir alternatif yakıt yapmaktadır [4, 5]. Doğal gaz ve Metanol, enerji kaynağı olarak, gelecek 40 - 50 yıl için en cazip alternatif yakıtlar olarak görülmektedir. Güvenli olan ve temiz yanan doğal gaz, korozif de değildir. Yandığında formaldehit emisyonu da vermez [6].

Yerkürede en çok bulunan birincil enerji kaynaklarından birisi de doğal gazdır. 1991 yılı sonu itibarıyla, dünya doğal gaz rezervlerinin 125 trilyon m<sup>3</sup> kadar olduğu tespit edilmiştir. Ülkemizin toplam doğal gaz rezervi ise 34 milyar m<sup>3</sup> dolayındadır. Halen keşfedilmemiş gaz rezervleri de dikkate alınacak olursa, doğal gazın gelecekte petrolden daha zengin bir enerji kaynağı olacağı söylenebilir. Günümüzde 7587,3 milyon ton petrol eşdeğeri olan dünya birincil enerji tüketimi içerisinde doğal gazın payı % 25 düzeyindedir. Diğer enerji kaynaklarının payları ise; petrol % 39, kömür % 25, nükleer % 8 ve hidro % 3 kaddır, Şekil 1. Doğal gaz yakıt olarak evlerde, iş yerlerinde, taşıtlarda, endüstride ve güç santrallerinde kullanılmakta, gelecek 20 yıl boyunca, doğal gaz tüketiminin % 50 kadar artması beklenmektedir.

Bu araştırmada, doğal gazın; buji ile ateşlemeli bir taşıt motorunda, yapısal önemli bir değişiklik yapmaksızın, yakıt sistemi ve motor ayarları değiştirilerek kullanılabilmesi olanağının, güç, moment, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları bakımından belirlenmesine ilişkin deneysel bir çalışma yapılmıştır. Deney sonuçları; doğal gazın, dikkate değer bir performans kaybına yol açmaksızın, yakıt sisteminin değiştirilmesi ve motorda

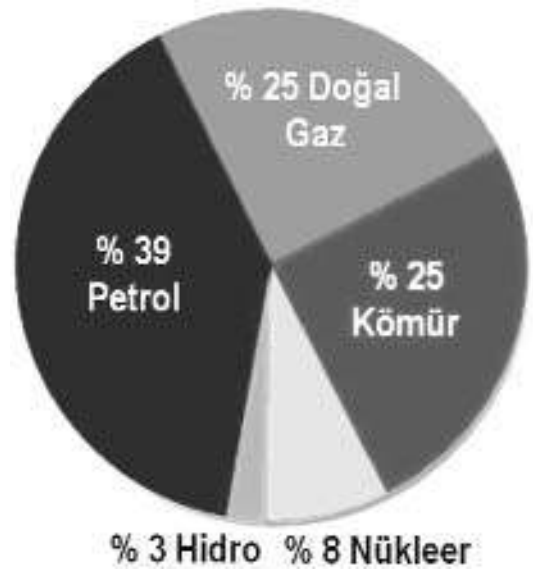
yapılacak küçük ayar değişiklikleriyle, buji ile ateşlemeli motorlarda rahatlıkla kullanılabileceğini göstermektedir. Kullanımı olumsuz olarak etkileyen en önemli sorun, deneyler sırasında da karşılaşılan, depolama sorunudur.

## 2. DOĞAL GAZIN ÖZELLİKLERİ

Doğal gaz, 200 milyon yıldan daha fazla zaman önce küçük bitki ve deniz canlılarının çürümüş artıklarından oluşmuş bir gazdır. Basınç ve ısı altında yavaşça çürüyerek oluşan —bazen binlerce metre kalınlıktaki kum ve çamur tabakaları arasında— bu enerjice zengin materyaller, kaya tabakaları arasında doğal gaz konsantrasyonları oluşturmuşlardır [26].

Doğal gaz yerin derinliklerinden kayalara kuyular açılarak ve borularla yüzeye taşınarak çıkarılır. Gazın basıncı çoğu kuyularda kendiliğinden yüzeye çıkaracak ve merkezi toplama noktalarına ulaştıracak kadar yüksektir.

Doğal gaz, saf halinde iken renksiz, kokusuz ve



Şekil 1. Dünya enerji tüketimi. Doğal gaz dünyanın enerji ihtiyacının dörtte birini karşılamaktadır.

**Tablo 1.** Bazı ülkelerde çıkarılan doğal gazın bileşenleri (Hacimsel %)

Ülke	Bileşikler								
	Metan	Etan	Propan	Bütan	Pentan	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	He	H <sub>2</sub> S
A. B. D.	73,2	6,1	3,2	1,6	0,6	0,3	14,3	0,7	-
Eski SSCB	94,8	2,7	0,8	0,4	0,3	0,2	0,8	-	-
Fransa	96,3	3	0,9	0,6	0,8	9,3	0,2	0,001	15,8
Cezayir	79,6	7,4	2,7	1,4	3,6	0,2	5,1	-	-
İran	81,4	11,9	3,4	0,5	0,2	2,1	-	-	0,2
İtalya	99,5	-	0,1	-	-	-	-	0,4	-
İng. Kuz.D.	83,8	6,0	-	2,0	1,0	1,7	4,5	-	-

**Tablo 2.** Türkiye'de kullanılan BDT doğal gazının garanti edilen ve fiili özellikleri (Hacimsel %) [10, 24].

Bileşikler	Metan (min.)	Etan (mak.)	Propan (mak.)	Bütan (mak.)	Pentan (mak.)	CO <sub>2</sub> (mak.)	N <sub>2</sub> (mak.)	O <sub>2</sub> (mak.)
Garanti edilen değerler	85	7	3	2	1	3	2,6	0,002
Fiili değerler	98,86	0,211	0,043	0,017	0,033	0,035	0,829	-

Üst ısıl değer: Maksimum: 39190 kJ/m<sup>3</sup> , Ortalama: 37680 kJ/m<sup>3</sup> , Minimum: 36636 kJ/m<sup>3</sup>  
Yoğunluk: 0,74 kg/m<sup>3</sup>

(m<sup>3</sup>: 15°C ve 1013 mbar mutlak basınçtaki 1 m<sup>3</sup> gazın hacmine tekabül eder.)

tatsız bir gazdır. Güvenlik amacıyla merkaptanla kokulandırılmaktadır. Ana maddesini hacimsel olarak %70-99 metan (CH<sub>4</sub>) gazı oluşturmaktadır ve bu da onu temiz bir yakıt yapmaktadır. Metan gazından başka en çok bulunan gazlar sırasıyla etan (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), propan (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), bütan (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) ve diğer hidrokarbonlardır. Petrol, kömür ve diğer fosil yakıtlar ise kimyasal olarak daha karmaşık yapıdadırlar ve daha yüksek oranlarda karbon, kükürt ve nitrojen içerirler. Doğal gazın bileşenleri de, tıpkı ham petrol gibi, çıkarıldığı bölgelere göre farklılıklar göstermektedir. Tablo 1'de, bazı ülkelerde çıkarılan doğal gazın bileşenleri verilmiştir.

Ülkemiz tarafından ithal edilen Rusya doğal gazının, garanti edilen bileşenlerinin hacimsel % leri, Tablo 2' de verilmiştir.

## 2.1 Dünya doğal gaz rezervleri

Doğal gaz rezervleri dünya üzerinde petrole oranla daha düzgün bir dağılıma sahiptir. BP

Global' e göre, 2001 yılı sonunda dünya doğal gaz rezervleri toplam 154,240 trilyon metreküp tür ve bunun % 36,2'si Eski Sovyetler Birliği'nde, % 36,1'i Orta Doğu'da ve geri kalan dünyanın geri kalan bölgelerine dağılmış vaziyettedir. Bunun aksine, ham petrol rezervleri Orta Doğu' da yoğunlaşmıştır ve 2001 yılı sonu itibariyle tüm petrol rezervlerinin % 65,3 üne sahiptir. Doğal gaz, özellikle gelişmekte olan ülkelerin ödemeler dengesini iyileştirecek kadar önemli potansiyele sahip bir yakıt olarak görülmektedir.

2001 yılı itibariyle global ispatlanmış doğal gaz rezervleri 2001 üretim oranıyla, 60 yıldan daha uzun süre yeterli olabilecektir. Üretim ve tüketim zamanla artarken, geçmiş eğilimler, özellikle tespit ve üretim konusundaki teknolojik gelişmelere bağlı olarak, rezervlerin de artacağını göstermektedir.

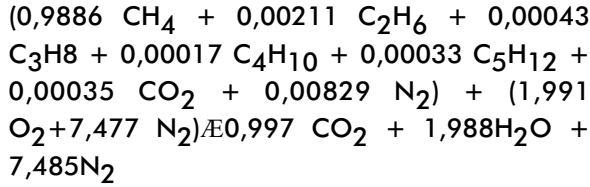
Türkiye'de doğal gaz ilk olarak 1988 yılında Ankara'da konutlarda kullanılmaya başlanmıştır.

Türkiye'de 1996 yılında tüketilen 7700 milyon m<sup>3</sup> doğal gazın %53'ü elektrik, %18'i sanayi, %19'u konut ve %10'u gübre sektöründe kullanılmıştır [9].

Çevre kirliliği açısından doğal gaz birçok teknik ve ekonomik üstünlüklere sahiptir. Teknik üstünlükler; fotokimyasal reaktivitesinin son derece düşük olması, buharlaşıcı emisyonlarının olmayışı, daha az soğuk ilk hareket ve düşük sıcaklık emisyonları ve yakıt etkili fakir yanma teknolojisine uyumluluğu şeklinde özetlenebilir. Ekonomik üstünlükleri ise; hazır biçimde elde edilebilir oluşu, düşük fiyatı, halen var olan iletim ve dağıtım sistemlerinden yararlanılabilir olmasıdır.

## 2.2 Doğal gazın tam yanma koşulları

Denemelerde kullanılan doğal gazın fiili değerleriyle teorik tam yanma denklemi;



olarak kurulmuştur.

Hacimsel olarak tam yanma için gerekli teorik hava miktarı;

$$1,991 \text{ O}_2 + 7,477 \text{ N}_2 = 9,468 \text{ mol}$$

hava yakıt oranı; A/F = 9,468/1 mol hava/mol doğal gaz

yakıtın moleküler kütlesi;

$$m_y = (0,9886m \text{ CH}_4 + 0,00211m \text{ C}_2\text{H}_6 + 0,00043m \text{ C}_3\text{H}_8 + 0,00017m \text{ C}_4\text{H}_{10} + 0,00033m \text{ C}_5\text{H}_{12} + 0,00035m \text{ CO}_2 + 0,00829 \text{ N}_2) = 16,181 \text{ kg d.gaz/mol doğalgaz}$$

Reaksiyona giren havanın kütlesi;

$$m_h = 9,468 * m_{\text{hava}}$$

$$m_h = 9,468 * 28,851 = 273,161 \text{ kg hava/kmol doğal gaz}$$

Hava/doğal gaz kütleli oranı;

$$A/F = 273,161/16,181 = 16,88/1 \text{ olur [8].}$$

## 3. TAŞITLARDA DOĞAL GAZ KULLANIMI

Doğal gaz, geleneksel ve gelişmiş içten yanmalı motorlar için mükemmel denilebilecek bir yakıttır. Basit kimyasal yapısı ve enerjisinin çoğunun hidrojenden kaynaklanıyor olması onu süper bir yakıt yapmaktadır. Sıkıştırılmış doğal gaz (CNG), uygun kitlelerle ve belirli değişikliklerle, hem buji ile ateşlemeli, hem de sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda başarıyla kullanılmaktadır. Yüksek oktan numarası sayesinde (130'un üzerinde) motorların sıkıştırma oranları yükseltilebilmekte ve modern yakıt enjeksiyonlu doğal gaz motorları, benzeri geleneksel yakıtlı motorlu taşıtlarla oranla daha iyi yakıt ekonomisi sağlamaktadır.

Buji ile ateşlemeli motorlar genellikle sadece doğal gaz veya herhangi bir zamanda, doğal gaz ve benzinden sadece bir tanesini kullanan çift yakıt sistemleriyle donatılmaktadırlar. Çift yakıtlı sistemlerde yakıt seçimi, sürücü tarafından kontrol edilen bir seçici anahtarla yapılmaktadır.

Doğal gazı yakıt olarak kullanarak şehirlerdeki kirlilik düzeylerini azaltmak için, birçok ülke taşıtlarda kullanımını teşvik etmekte, doğal gaz projelerini desteklemektedir. Doğal gazın yakın gelecekteki kirlenme sorununa çözüm olmasının sebeplerinden biri de teknolojisinin olgunlaşmış olmasıdır. Halen dünyada, sıkıştırılmış doğal gazla çalışan ve çoğunluğu buji ile ateşlemeli olmak üzere, iki milyondan fazla taşıt bulunmaktadır

**Tablo 3.** Bazı ülkelerin dönüşümü yapılmış taşıt ve dolum istasyonu sayıları [26]

Ülke	Dönüşüm yapılan taşıt sayısı	Dolum istasyonu sayısı	Güncelleme tarihi
Arjantin	721,830	969	Kasım 2001
İtalya	380,000	369	Kasım 2001
Pakistan	280,000	333	Eylül 2002
Brezilya	232,973	284	Mayıs 2002
USA	102,430	1,250	Ocak 2001
Hindistan	84,150	116	Mart 2002
Venezuela	40,962	170	Ocak 2002
Mısır	39,895	62	Ağustos 2002
Çin	36,000	70	Ocak 2001
Ukrayna	35,000	87	Aralık 2001
Rusya	31,000	208	Aralık 2001
Kanada	20,505	222	Ağustos 2001
Japonya	12,539	181	Haziran 2002
Yeni Zelanda	12,000	100	Ağustos 2000
Almanya	10,000	146	Ocak 2001
Fransa	4,550	105	Ekim 2000
İran	1,000	3	Mart 2002
Büyük Britanya	835	18	Ağustos 2000
Hollanda	874	42	Mayıs 2002
İsviçre	520	26	Nisan 2002
İspanya	300	6	Ağustos 2000
Belçika	300	5	Ağustos 2000
Portekiz	238		Mayıs 2002
Türkiye	189	3	Ağustos 2000
Avusturya	182	6	Kasım 2001

[26]. Tablo 3'te bazı ülkelerin dönüşüm yapılmış taşıt ve dolum istasyonu sayıları verilmiştir.

Orta ve uzun mesafeli taşımacılık yapan yük taşımacılık sektörünün, CNG ile karşılaştırıldığında (yaklaşık 300 kilometre) uzun dolum aralığı (yaklaşık 600 kilometre) ve yakıt tasarrufu gibi ekonomik yararlarına ek olarak sunduğu çevresel yararları nedeniyle, LNG yakıt kullanımına büyük ilgi gösterdiği belirtiliyor [14].

İspanya'da diğer bir uygulamanın forkliftlerde başlatıldığı, halen toplam on üniteyi kapsayan bir uygulamanın Navarre'de devam ettiği, Cobe-ga - Coca Cola firmasının ilk aşamada 20 forkliftlik bir uygulamayı başlatmayı planladığı, proje planlandığı gibi giderse, firmanın İspanya'daki

1,500 forkliftini doğal gazla dönüştüreceği belirtiliyor [14].

#### 4. DOĞAL GAZ YAKIT SİSTEMLERİ

Doğal gazı taşıtlarda yakıt olarak depolamak ve



**Şekil 2.** CNG depolama tüpü

kullanmak için iki metot bulunmaktadır [15]:

### 1. Sıkıştırılmış Doğal Gaz (Compressed Natural Gas - CNG)

- Boru doğal gazının standartlara uygun olarak filtrelediği, kurutulduğu ve sıkıştırıldığı bir yerel yakıt istasyonunda üretilir.
- Taşıtlarda yüksek-basınç sıkıştırılmış gaz tüplerinde depolanır (Şekil 2). Depolama basıncı, 200 - 250 bar kadardır ve 250 barda atmosfer basıncı ve sıcaklığındaki doğal gaza oranla yaklaşık 1/200 hacim kaplar.
- CNG yakıtlı taşıtın tam yükte kat edeceği mesafe, tüplerin basınç ve hacmine bağlıdır.



### 2. Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (Liquefied Natural Gas - LNG)

- LNG, atmosfer basıncı ve sıcaklığındaki doğal gaza oranla 1/600 hacim kapladığından, sıvı olarak taşıtların döşeme altında, düşük basınç fakat kaynayan soğuk sıvı (boiling cryogen) olarak atmosfer basıncında -160°C sıcaklıkta çift duvarlı, vakum yalıtımlı tüplerde depolanır (Şekil 3) [23].
- Daha yüksek depolama yoğunluğuna ek olarak, motor yakıtı olarak CNG ile aynı avantaj-



Şekil 4. Benzinli bir motor için tipik bir doğal gaz dönüşüm kiti



Şekil 5. Diesel motoru için tipik bir çift yakıt doğal gaz dönüşüm kiti

lara sahiptir.

Şekil 3. Tipik bir LNG depolama tüpü[28]

#### 4.1 Doğal gaz yakıt sisteminin elemanları

Tipik bir doğal gaz yakıt sistemi esas olarak şunlardan oluşmaktadır (Şekil 4 ve Şekil 5):

##### Yakıt tüpü

Gazı yüksek basınçta (200 bar veya daha fazla) depolayan yakıt deposudur. Gazın basıncı 250

bara kadar ulaşabilir. Taşıt tipi 2 karbon-fiber-kaplanmış çelik tüp yaklaşık 24 litre benzin eşdeğeri (kullanılabilir) gaz. Rijit olarak bagaja veya döşeme altına monte edilir ve üzeri kapatılarak gizlenir. Üzerinde bir kapatma (shut-off) valfi ve bir güvenlik patlama diskisi bulunur. Şekil 6 da, döşeme altına yerleştirilmiş tüpler görülmektedir.

#### **Buhar torbası**

Tüpün üzerine monte edilir, buhar torbası tüp valfi ve bağlantı borularının üzerini kapatır ve taşıtın dışına havalandırılır.

#### **Aşırı sıcaklık kaçırma valfi**

Bu valf, CNG tüpü yüksek sıcaklığın etkisinde kaldığında (sıcaklık 102°C 'nin üzerine çıktığında), doğal gazı CNG tüpünden atmosfere havalandırarak CNG yakıt sistemini otomatik olarak korur.

#### **Yüksek-basınç yakıt kapatma valfi (elektrik / tüp içinde)**

Tüp içinde bulunan yüksek-basınç kilitleme solenoid valfi, motor CNG modunda çalışmazken veya sistemde önemli bir yakıt sızıntısı olduğunda CNG yakıt akışını otomatik olarak kapatır.

#### **Doldurma valfi**

Doldurma valfi CNG tüplerine yakıt doldurmada kullanılır.

#### **Yüksek basınç borusu**

Yüksek basınç borusu, doldurma valfini CNG tüpüne ve tüpü de basınç regülatörüne bağlar.

#### **Yüksek-basınç regülatörü**

Bu regülatör, tüpten sağlanan CNG basıncını yaklaşık 12 bara düşürür. Sistemin optimum performansı için, en yüksek akış debisini ve ısıl verimini sağlayacak biçimde tasarlanır.

#### **Düşük-basınç regülatörü**

Bu iki-kademeli eleman, yüksek-basınç regülatöründen sağlanan basıncı yaklaşık olarak 0,015 bar/150 mm H<sub>2</sub>O basınca düşürür.

#### **Gaz kütle sensörü ve akış kontrol valfi**

Mümkün olan en düşük emisyon düzeyinde taşıt performansını en yüksek düzeyde tutmak için, akış kontrol valfi motora yakıt akışını ölçerken, bir sıcak-telli anemometre akış ölçer de yakıt akışını doğru olarak yönetir.

#### **Düşük-basınç yakıt kesme (shut-off) valfi (elektrik)**

Bu ilave güvenlik valfi, motor CNG ile çalışmazken sitemdeki elemanlara doğal gaz akışını otomatik olarak kapatmak amacıyla tasarlanmıştır.

#### **Yakıt seviyesi transduseri**

Bu sıcaklık-düzeltilmeli basınç-gönderme elemanı CNG sistemindeki tüp basıncını doğru olarak yakıt miktarına çevirir ve gösterge panosundaki yakıt göstergesinde gönderir.

#### **Otomatik kapatma**

Basınç 24 bara düştüğünde doğal gaz beslemesi otomatik olarak kapatılır ve taşıt sadece benzine çalıştırılabilir.

#### **Marş kesici güvenlik anahtarı**



**Şekil 6.** Döşeme altına yerleştirilmiş basınç tüpleri

Yakıt dolumu sırasında motorun çalışmasını önleyen bir güvenlik anahtarıdır (isteğe bağlı).

### Benzin Solenoid Valfi

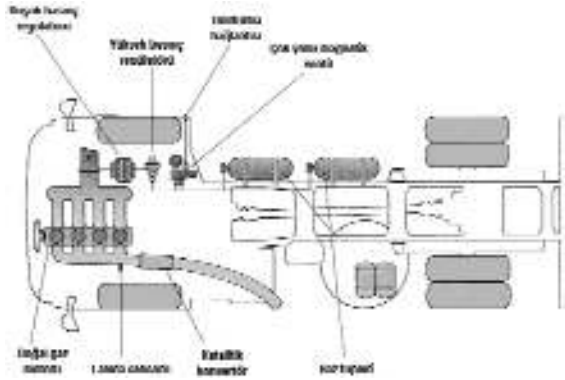
Benzin-solenoid valfi, CNG çalışması sırasında motora benzin sağlamayı kesen valftir.

### Seçici Anahtar

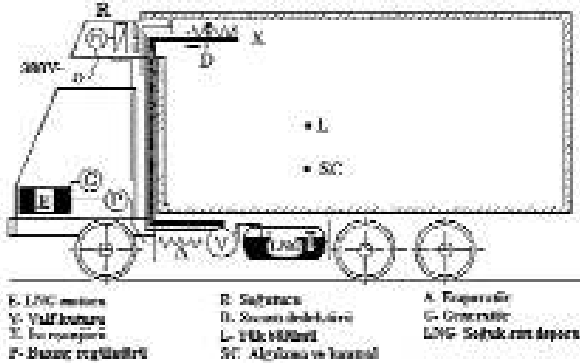
Seçici anahtar kontrol paneline yerleştirilir ve CNG veya benzin çalışma modunun seçilmesini sağlar. Aynı zamanda tüpteki CNG miktarını gösteren bir yakıt göstergesi görevi yapar.

## 4.2 Doğal gaz yakıt sisteminin çalışması

Tüplerde bulunan yüksek basınçlı gaz, bir filtre-



Şekil 7. Tipik CNG taşıt yakıt sistemi



Şekil 8. Tipik LNG taşıt yakıt sistemi[28]

den geçirilerek, önce gaz basıncının, 12-15 bara düşürüldüğü yüksek basınç regülatörüne gönderilir. İkinci bir regüle edici valf olan düşük-basınç regülatörü, bu basıncı daha da düşürerek, gaz kontrol valfine uygun bir besleme basıncı düzeyine indirir. Kontrol valfi, motorun soğutma suyundan yararlanılarak ısıtılabilir. Sistem, herhangi bir anormal basınç artışı, gaz kaçağı vb. olduğunda, otomatik olarak kapanacak biçimde tasarlanmıştır. Şekil 7 ve Şekil 8'de sırasıyla tipik CNG ve LNG doğal gaz taşıt yakıt sistemleri görülmektedir.

Doğal gaz yakıt kullanan taşıtların problemlerin-



Şekil 9. CNG yakıtla çalışan Honda Civic GX den bir tanesi, gerekli yakıtı taşımak için kullanı-



lan ağır yüksek basınç tüpleridir. 58 litre benzine eşdeğer yakıt depolanan modern hafif bir doğal



gaz tüpünün ağırlığı 70 kg kadardır. Taşıtların çoğunda sadece iki –  c t pl k yer bulunmaktadır. 58 litre benzine eşdeğer doğal gaz taşıyan tüpler taşıta yaklaşık 225 kg ağırlık eklemekte ve bagajın yaklaşık yarısını kaplamaktadır. Buna,  ift yakıtlı taşıtların taşımak zorunda olduğu benzin dahil değildir. 1150 - 1600 kg'lık bir taşıta eklenecek ilave 135 kg yakıt ekonomisini % 6 kadar kötüleŐtirmektedir.

Şekil 9 ve Şekil 10'da standard benzin motorları sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) ile çalıŐacak biçimde modifiye edilmiş olan iki otomobil görülmektedir.

**Şekil 10.** CNG yakıtla  alıŐan Nissan AD Van

#### 4.3 Doğal gazın avantajları

Doğal gazı cazip bir alternatif yakıt haline getiren faktörlerden bazıları Őöyle  zetlenebilir:

##### Ekonomi

- Pahalı değildir (Benzin, motorin ve LPG'den ucuz. Kasım 2002 ayı KDV'li birim fiyatları: kurŐsunsuz benzin 1.637.000 TL/litre, süper benzin 1.641.000 TL/litre, motorin 1.246.000 TL/litre, LPG 983.000 TL/litre iken, doğal gazın konut aboneleri için birim fiyatı 374,556TL/m<sup>3</sup>).
- Boru hatlarıyla daha kolay taşınabilir. Gerekli olan yerde küçük bir doğal gaz kompresörü eklenerek dolum yapılabilir.
- Kullanımdan önce çok az rafinasyon gerektirmektedir.
- Yakıt dolum iŐlemi kolay ve temizdir.
- Doğal gazlı taşıtlar, benzinin yakıt ekonomisini

karŐılar veya geçer. Yeni doğal gaz motorları, halen kullanılmakta olan yüksek-kompresyonlu diesel motorları kadar verimlidir.

- CNG kullanımı daha düşük bakım maliyeti demektir, zira;
  1. Bujiler daha geç deęiŐtirilmektedir.
  2. Daha seyrek yağ ve yağ filtresi deęiŐimi (yaklaşık iki katı).
  3. Silindir yüzeylerinde  amurlaŐan artıklar oluŐmaz
  4. Egzoz boru ve susturucuları daha uzun ömürlü olmaktadır.

##### Güvenlik

Doğal gaz doğal olarak güvenli bir motor yakıtıdır. Doğal gazlı taşıtlarda yakıt kökenli kaza ve yangın olasılığı, geleneksel taşıtlara oranla çok daha düşüktür. Doğal gazı böyle güvenli bir yakıt yapan iki özelliği vardır:

1. Yakıtın kendi  zellikleri (Havadan hafif olması nedeniyle çabucak yayılarak dağılır. Benzinden farklı olarak, açık havada patlama yapmaz). Benzin veya diesel yakıtından farklı olarak, doğal gaz havada sadece sınırlı bir konsantrasyon aralığında yanabilir (Tablo 4). Hava ile % 5 in altında veya % 15 in üzerindeki konsantrasyonlarda yanmaz. Benzin ve diesel yakıtı ise çok daha düşük konsantrasyonlarda ve düşük sıcaklıklarda yanabilmektedir. Doğal gaz, benzin, veya diesel yakıtının hava ile karıŐımlarını tutuŐturmak için çok az bir enerji gerekli olduğu halde, doğal gaz biraz daha düşük sıcaklıkta yanmaktadır.
2. Yakıt sistemine çok sıkı standartlar uygulan-

**Tablo 4.** Doğal gaz, benzin ve diesel yakıtının özellikleri[19]

Özellik	Doğal gaz	Benzin	Diesel yakıtı
Yanabilirlik sınırları (havada hacimsel %)	5-15	1,4-7,6	0,6-5,5
Kendi kendine tutuŐma sıcaklığı (�C)	450	300	230
Havada en az ateşleme enerjisi (10-6 kJ)	0,26	0,22	0,22
Maksimum alev sıcaklığı (�C)	1885	1977	2054

**Tablo 5.** Çift yakıtlı hafif hizmet taşıtlarının ortalama emisyonları [22]

a) Şehir içi dinamometre çevrimi

	Doğal Gaz (CNG) (g/km)	Benzin (g/km)	CNG ile azalma (%)
Metan olmayan Hidrokarbonlar	0,012	0,21	94
Karbon Monoksit (CO)	1,43	2,13	33
Nitrojen Oksitleri (NOx)	0,40	0,39	-3

b) Otoyol yakıt ekonomisi çevrimi

	Doğal Gaz (CNG) (g/km)	Benzin (g/km)	CNG ile azalma (%)
Metan olmayan Hidrokarbonlar	< 0,006	0,056	88
Karbon Monoksit (CO)	0,61	0,89	31
Nitrojen Oksitleri (NOx)	0,30	0,34	9

**Tablo 6.** Çift yakıtlıya dönüştürülen IVECO 8220i'nin partikül emisyonları [27]

DIESEL	ÇİFT/YAKIT	AKOUSTİK TESTLER
1ci test: ortalama değer = %82,46	1ci test: ortalama değer = %27,53	Dieselde gürültü = 84,8 dB (A)
2ci test: ortalama değer = %52,66	2ci test: ortalama değer = %17,60	Çift/Yakıtta gürültü = 81,8 dB (A)
Toplam ortalama değer = %67,56	Toplam ortalama değer = %22,56	
Gaz egzoz emisyon azalması %66,6		Gürültü azalması = 3,0 db (A)

maktadır. Taşıtlar için doğal gaz yakıt tüpleri benzin depolarından çok daha kuvvetli yapılmaktadır. Böylece büyük kazalarda bile sağlam kalabilir, senelerce kullanılabilirler.

### Emisyonlar

Doğal gaz en az kirlenici yanan yakıttır.

- Doğal gaz hafif ve orta hizmet taşıt filolarında, taksiler gibi ve dağıtım kamyonlarında kullanıldığında, ozon oluşturan kimyasallar emisyonunu önemli düzeyde düşürme potansiyeline sahiptir,
- Doğal gaz yakıt sistemleri tamamen yalıtılmıştır ve dolun sırasında hiçbir şey yamazlar. Oysa ki benzinin doldurma sırasındaki buharlaşmasıyla önemli miktarda ozon oluşturan kimyasal çıkmaktadır.
- Egzoz emisyonları, henüz yasal zorunluluğu bulunmayan Ultra Low Emisyonlu Taşıtlar (ULEV) standardının çok altındadır.
- Doğal gazlı taşıtların çoğu Super Ultra Low Emisyonlu Taşıtlar (SULEV) standardını karşıla-



**Şekil 11.** Büyük hacimli yakıt tüpleri bagaj hacmini küçültmektedir.

makta ve üretilen güç başına emisyonlar dikkate alındığında elektrikli taşıtlardan bile temiz bulunmaktadır.

- Doğal gaz taşıtlarda kullanıldığında, partikül emisyonlarında geleneksel diesel yakıtlı motora oranla % 65-90 azalma sağlamaktadır, Tablo 6.
- Doğal gaz kullanan otobüs ve kamyonlar güncel emisyon standartlarını kolayca karşılarlar.

**Tablo 7.** Depolama sırasındaki bağıl dökülme potansiyeli [16]

Alternatif yakıt	Bağıl dökülme potansiyeli (Benzin/diesel kamyonu oranla)	Sebebi
Benzin/Diesel	Referans yakıtlar	
Etanol/Etanol karışımları	Hafifçe yüksek	Potansiyel paslanma etkisi
Metanol/Metanol karışımları	Bir miktar yüksek	Potansiyel paslanma etkisi
Propan	Yüksek	Yüksekçe basınç ve cihaz arızası
CNG	Yüksek	Yüksek basınç ve cihaz arızası
LNG	Yüksek	Kryojenik sıcaklıkları korumak için gerekli depo sisteminin karmaşıklığı

**Tablo 8.** Depolama sırasındaki bağıl sızıntı potansiyeli [16]

Alternatif yakıt	Bağıl sızıntı potansiyeli (Benzin/diesel kamyonu oranla)	Sebebi
Benzin/Diesel	Referans yakıtlar	
Etanol/Etanol karışımları	Hafifçe yüksek	Potansiyel paslanma etkisi
Metanol/Metanol karışımları	Bir miktar yüksek	Potansiyel paslanma etkisi
LNG	Yüksek	Sıcaklık farkları
Propan	Yüksek	Yüksekçe basınç
CNG	Yüksek	Yüksek basınç

- Doğal gazın ağır-kamyonlarda ve otobüslerde kullanımı, diesel motorların iyi bilinen problemlerinden biri olan NOx' lerde 2/3 kadar azalma sağlamaktadır.
- Benzinli taşıta göre daha basit emisyon ekipmanı gereklidir.

Tablo 5'te çift yakıtlı hafif hizmet taşıtlarının ortalama emisyonları verilmiştir.

#### 4.3 Doğal gazın dezavantajları

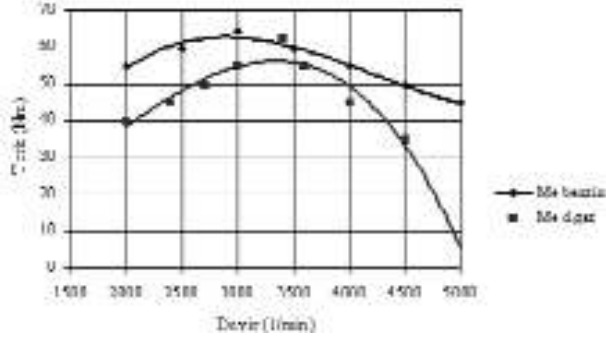
- Dolum istasyonları yaygın değil ve kurulması daha pahalıdır.
- Büyük hacimli yakıt tüpleri fazla yer kaplıyor, bagaj hacmini küçültmekte ve sınırlı sürüş mesafesi sağlamaktadır (Şekil 11).
- Taşınması sıvı hidrokarbonlara göre daha az uygundur—yüksek P ve düşük T, kompresörler/soğutucular ve ağır kaplar gerekmektedir (pahalı).
- Uzun atmosferik süreklilik nedeniyle CH<sub>4</sub> sera

etkisi ile ısınma etkisi bakımından CO<sub>2</sub>'ye oranla 20 kez daha kötüdür.

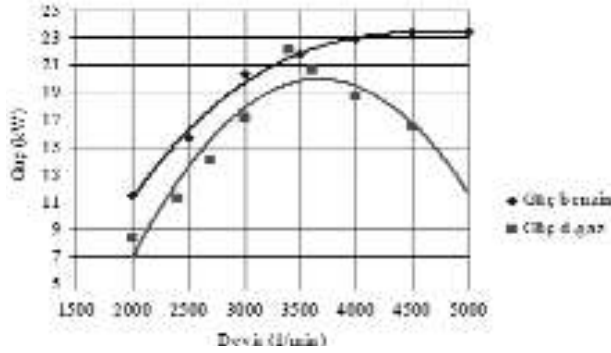
- NOx emisyon problemleri olabilmektedir.
- Doğal gaz kullanan taşıtlar karşılaştırılabilir rakiplerine oranla daha pahalıdır. Diğer bir belirleyici faktör olan dönüşüm maliyetleri de diesellerde biraz daha fazla olmak üzere, pahalıdır.
- Karakteristiklerine de bağlı olarak taşıt performansını bir miktar düşürmektedir.
- Depolama sırasında dökülme ve sızıntı riski bulunmaktadır, Tablo 7, 8. Sızıntı olduğunda havalandırılmazsa, bir kıvılcım durumunda yanma ve patlama tehlikesi vardır.

#### 5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada, doğal gazlıya dönüştürülen buji ile ateşlemeli bir motor ile pilot diesel yakıtlı doğal gazlıya dönüştürülen bir diesel motorunda, doğal gazın motorların performansına etkisi değerlendirilmiştir. Murat 124 marka 4 silindri buji ile



**Şekil 12.** Benzin ve doğal gazlı çalışmada motor torku-motor devri ilişkisi



**Şekil 13.** Benzin ve doğal gazla çalışmada motor gücü-motor devri ilişkisi

ateşlemeli bir motor doğal gazlıya [5]; Super Star 7710 marka, dört zamanlı, 1 silindirli direkt püskürtmeli sıkıştırma ile ateşlemeli bir motor da çift yakıtlıya (pilot diesel enjeksiyonu ve doğal gaz) dönüştürülmüştür [8]. Diesel motorunda herhangi bir değişiklik yapılmamış, ancak doğal gazın oktan sayısının yüksek olmasından dolayı, tasarımının müsaade ettiği ölçüde motorun sıkıştırma oranını artırmak ve daha yüksek verim almak düşüncesiyle, benzin motorunun silindir kapağında motorun katalogunda müsaade edilen maksimum miktar olan 1 mm kadar talaş kaldırılarak sıkıştırma oranında 0,9/1 kadar artış sağlanmıştır. Deneyler Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Laboratuvarında yapılmıştır.

### 5.1 Doğal gazlıya dönüştürülen benzin motoru

#### deneyleri

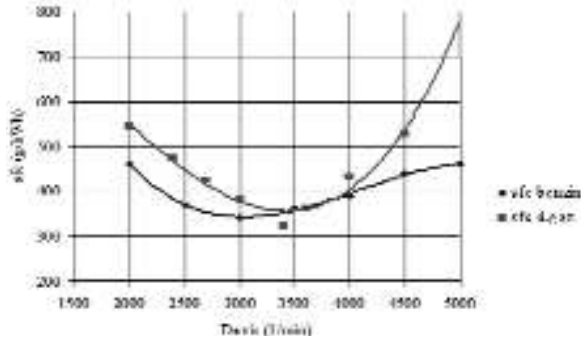
Tam yük ve farklı devirlerde motorun benzin ve doğal gazla çalıştırılması sırasında yapılan ölçmelerde motorun tork ve yakıt tüketimleri ölçülerek, motor gücü, özgül yakıt tüketimi, özgül enerji tüketimi ve özgül enerji maliyeti değerleri hesaplanmış ve grafik olarak gösterilmiştir.

#### 5.1.1 Performans

Benzin ve doğal gazla çalışmalarda motor torklarının devir sayısına bağlı değişimleri Şekil 12'de, gösterilmiştir. Doğal gazla çalışmada elde edilen tork değerleri, benzinle çalışmada elde edilen değerlerin altında kalmıştır. Benzinle yapılan denemede tork 3000 1/min'e kadar sürekli yükselmiş, bu devirde 64,13 Nm ile maksimum değerine ulaşmış ve sonra düşmeye başlamıştır. Doğal gazla yapılan denemede ise, tork 3400 1/min'e kadar yükselmiş, bu devirde 62,13 Nm ile maksimum değerine ulaşmış ve sonra düşmeye başlamıştır. Doğal gazla çalışmada meydana gelen düşüş benzinliye oranla biraz daha hızlı olmuştur.

Benzin ve doğal gazla çalışmayla ilgili motor gücü eğrileri, Şekil 13'te gösterilmiştir. Doğal gazla çalışmada elde edilen güç eğrisi, benzinle çalışmada elde edilenin altında kalmıştır. Motor gücü, benzinle çalışmada 4500 1/min'e kadar sürekli artış gösterirken, doğal gazla yapılan denemede 3400 1/min'e kadar artmış, bu devirden sonra azalmıştır. Doğal gazla çalışmada maksimum güç, 3400 1/min'de 22,122 kW, benzin ile çalışmada 4500 1/min'de 23,42 kW olarak belirlenmiştir.

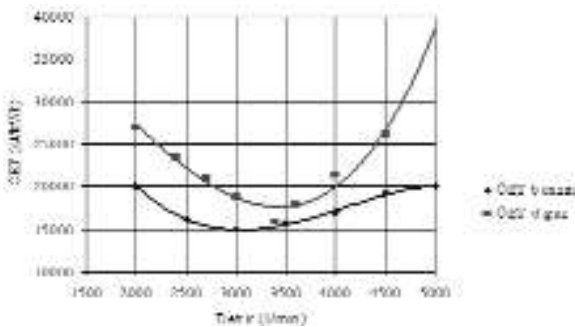
Motor gücü ve momentinin doğal gaz ile çalışmada daha düşük olmasının sebebi, muhtemelen doğal gazın yanma hızının düşük olmasıdır. Motor gücü ve momentini artırmak için motorun emme manifoldu ve yanma odası, hava-gaz karışımına daha yüksek türbülans sağlayacak bi-



**Şekil 14.** Benzin ve doğal gazla çalışmada özgül yakıt tüketimi-motor devri ilişkisi

çimde düzenlenebilir. Ayrıca doğal gazın oktan sayısı yüksek olduğundan sıkıştırma oranını artırarak da motor performansını iyileştirmek mümkündür. Yapılan literatür araştırması da, doğal gaz ve benzin aynı motorda test edildiğinde, moment ve güç eğrilerinin doğal gaz deneylerinde hep benzin eğrisinin altında kaldığını göstermekte, dolayısıyla elde edilen sonuçları doğrulamaktadır [11,13,19,20].

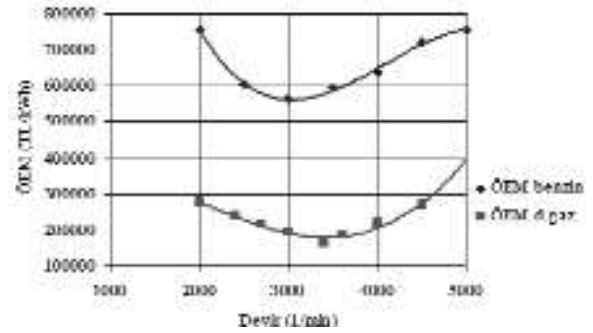
Doğal gazlı taşıtlarla ilgili olarak yapılan çalışmalarda genellikle yakıt ekonomisinin iyileştiği veya kötüleştiği ifade edilmiştir. Esas olarak, doğal gazla çalışmak üzere tasarlanan bir taşıtın diesel veya benzin kullanımına, oranla benzinliye göre % 5 – 15 verim artışı beklenmektedir. Ancak, çift yakıtlı taşıtlarda sonuçlar oldukça karışıktır. Bazıları her iki yakıtla da daha kötü ekono-



**Şekil 15.** Benzin ve doğal gazla çalışmada özgül enerji tüketimi-devir ilişkisi

mi, bazıları sadece doğal gazda kötü ekonomi, bazıları sadece benzinde kötü ekonomi, bazıları her iki yakıtla da aynı ekonomi, bazıları doğal gazda daha iyi ekonomi, vb. göstermektedir. En iyimser tahmin, her iki yakıtla çalışmada da yakıt ekonomisinin aynı kalacağıdır [17].

Benzin ve doğal gazla çalışmayla ilgili özgül yakıt tüketimi eğrileri Şekil 14'te gösterilmiştir. Doğal gazla çalışmada elde edilen özgül yakıt tüketimi eğrisi, 3400 1/min motor devri dışında, benzinle çalışmada elde edilen özgül yakıt tüketimi eğrisinin üzerinde kalmıştır. Minimum özgül yakıt

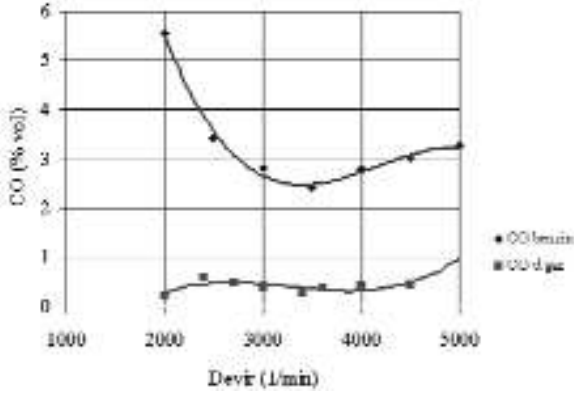


**Şekil 16.** Benzin ve doğal gazla çalışmada özgül enerji maliyeti-devir ilişkisi

tüketimi, doğal gazla çalışmada 3400 1/min' de 320,9 g/kWh, benzinle çalışmada, 3000 1/min'de 342,87 g/kWh olarak belirlenmiştir.

Minimum özgül yakıt tüketiminin elde edildiği devirden uzaklaşıldıkça, motorun doğal gazla çalışmadaki ekonomisi benzinle çalışmaya oranla bundan daha olumsuz etkilenmiştir.

Doğal gaz ve benzinle çalışmayla ilgili özgül enerji tüketimi eğrileri Şekil 15'te gösterilmiştir. Doğal gazla çalışmada elde edilen özgül enerji tüketimi eğrisi benzinle çalışmada elde edilen özgül enerji tüketimi eğrisinin üzerinde kalmıştır. Benzinle yapılan deneylerde minimum özgül enerji tüketimi 3000 1/min' de 14941 kJ/kWh

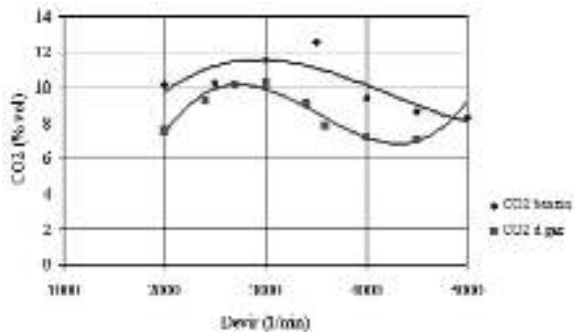


**Şekil 17.** Motorun, doğal gaz ve benzinle çalışması sırasındaki CO değişimleri

iken, doğal gazla çalışmada 3400 1/min' de 15885 kJ/kWh olarak belirlenmiştir.

Benzin ve doğal gazla çalışmayla ilgili özgül enerji maliyeti eğrileri Şekil 16'da gösterilmiştir. Doğal gazla çalışmada elde edilen özgül enerji maliyeti eğrisi devamlı olarak benzinle çalışmada elde edilen özgül enerji maliyeti eğrisinin altında kalmıştır. Minimum özgül enerji maliyetleri, Kasım 2002 tarihinde geçerli olan birim perakende satış fiyatlarına göre doğal gazla yapılan çalışmada 3400 1/min'de 162459 TL/kWh iken, benzinle yapılan çalışmada 3000 1/min'de 562634 TL/kWh olmuştur.

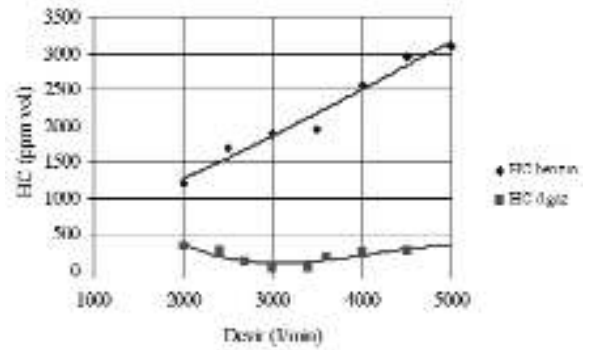
### 5.1.2 Emisyonlar



**Şekil 18.** Motorun, doğal gaz ve benzinle çalışması sırasındaki CO<sub>2</sub> değişimleri

Emisyon olarak, HC, CO, CO<sub>2</sub> emisyonları benzinle ve doğal gazla çalışmada ayrı ayrı ölçülmüş ve değerlendirilmiştir. Doğal gazla çalışmada ölçülen bütün emisyon değerleri, benzinle çalışmada ölçülen değerlerin altında kalmıştır. Özellikle CO, HC emisyonlarında önemli ölçüde azalma görülmüştür.

Doğal gaz ve benzinle çalışmada elde edilen CO emisyonu eğrileri Şekil 17' de gösterilmiştir. Bütün devir sayılarında elde edilen CO değerlerinin, doğal gazla yapılan çalışmada, benzinle ya-

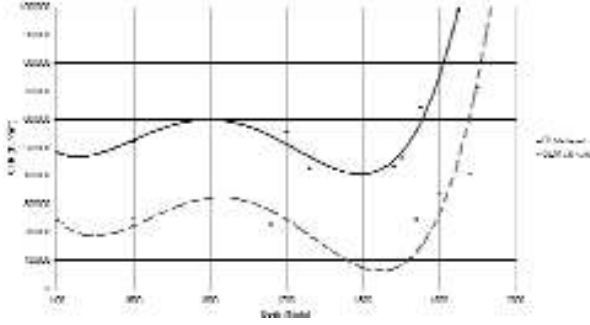


**Şekil 19.** Motorun, doğal gaz ve benzinle çalışması sırasındaki HC değişimleri

pılan çalışmada elde edilen değerlere oranla düşük olduğu tespit edilmiştir. Minimum CO emisyonu, hacimsel olarak doğal gazla çalışmada 2000 1/min'de % 0,24, benzinle çalışmada 3500 1/min'de % 2,42 olmuştur. Doğal gazla çalışmanın ortalama CO emisyon değerleri, benzinle çalışmanın yaklaşık % 17 si kadar olmuştur.

Doğal gaz ve benzinle çalışmada elde edilen CO<sub>2</sub> emisyonu eğrileri Şekil 18'de gösterilmiştir. Bütün devir sayılarında elde edilen CO<sub>2</sub> değerlerinin, doğal gazla yapılan çalışmada, benzinle yapılan çalışmada elde edilen değerlere oranla düşük olduğu görülmüştür. Minimum CO<sub>2</sub> emisyonu hacimsel olarak, doğal gazla çalışmada 4500 1/min'de % 7,01, benzinle çalışmada 5000 1/min'de % 8,32 olmuştur. Doğal gazla çalışmanın ortalama CO<sub>2</sub> emisyon değerleri, benzinle

Özgül yakıt sarfiyatı, diesel yakıtıyla çalışmada,



**Şekil 23.** Motorun, diesel ve çift yakıt ile çalışması sırasındaki özgül enerji maliyeti değişimleri

1730 1/min'da 342,47 g/kWh değeriyle minimum, 1925 1/min'da ise 791,32 g/kWh değeriyle maksimum olmaktadır. Özgül yakıt sarfiyatı, çift yakıtlı çalışmada, 1680 1/min'da 2038,43 1/min değeriyle maksimum olmaktadır. Motor devri düşük olduğu zaman çift yakıtlı çalışma ile diesel yakıtında yapılan tasarruf az olmakta ancak devir yükseldikçe tasarruf artmaktadır. Şekil 20'de 2000 1/min'da minimum tasarruf devrinde, çift yakıtlı çalışmada harcanan enerjinin % 87'lik kısmı doğal gaz tarafından karşılanırken, maksimum tasarrufun sağlandığı 1900 1/min'da bu oran % 92'ye çıkmakta ve 1680 1/min'da ise bu oran % 88,16 olmaktadır.

Şekil 22'de tam yükte ve değişik motor devirlerindeki özgül enerji tüketim grafikleri görülmektedir.

Her devirde çift yakıtlı çalışmanın özgül enerji tüketimi diesel çalışmasındaki özgül enerji tüketiminden daha düşüktür. 1700 1/min'da çift yakıtlı çalışmada 9,9 MJ/kWh enerji sarf edilirken, diesel çalışmasında 18,8 MJ/kWh enerji sarf edilmektedir. 1900 1/min'da ise, diesel çalışmasının özgül enerji sarfiyatı 22 MJ/kWh, çift yakıtlı çalışmanın 15 MJ/kWh olmaktadır. Bir başka de-

yimle çift yakıtlı çalışmanın özgül enerji sarfiyatı, diesel yakıtıyla çalışmaya göre % 50-70 daha az olmaktadır.

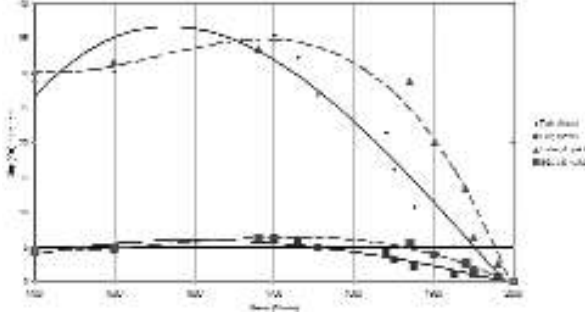
Motorun, diesel ve çift yakıt ile çalışması sırasındaki özgül enerji maliyeti değişimleri Şekil 23'te görülmektedir.

Bu değerlendirme, diesel yakıtı ve doğal gazın Kasım 2002 satış fiyatları dikkate alınarak yapılmıştır. Şekilde görüldüğü gibi çift yakıtlı çalışmadaki özgül enerji maliyeti, her durumda diesel çalışmasındakinden daha düşüktür. Devir arttıkça, diesel yakıtlı çalışma ile çift yakıtlı çalışma arasındaki enerji maliyet farkı büyümektedir. Çift yakıtlı çalışmanın özgül enerji maliyeti, diesel yakıtıyla çalışmaya göre yaklaşık % 50 daha az olmuştur.

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Doğal gaz, yakıt temini ve depolama problemlerinin çözümü ve sülfürlü bileşiklerinden de arıtılması halinde, petrolün yerini doldurabilecek önemli bir alternatif yakıt olarak görülmektedir. Doğal gazın özgül enerji maliyetinin düşük olması, ekonomik yönden onu cazip hale getirmektedir.

Benzin motorunun doğal gazla çalıştırılmasında maksimum motor momenti % 3 kadar, maksimum motor gücü de % 6 kadar azalmıştır. Motor momenti ve gücündeki azalmanın sebebi, muhtemelen doğal gazın yanma hızının düşük olmasıdır. Motor momenti ve gücünü artırmak için motorun emme manifoldu ve yanma odası, hava-gaz karışımına daha yüksek türbülans sağlayacak biçimde düzenlenebilir. Ayrıca doğal gazın oktan sayısı yüksek olduğundan sıkıştırma oranını artırarak da motor performansını iyileştirmek mümkündür. Doğal gazın oktan sayısının benzinin oktan sayısından daha yüksek oluşu, sıkıştır-



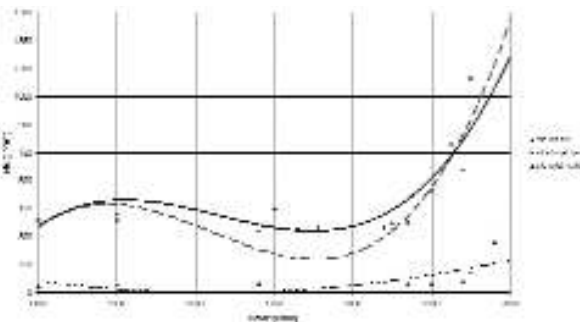
**Şekil 20.** Tam yükte ve değişik motor devirlerindeki tork ve güç değişimleri

çalışmanın yaklaşık % 90 ı kadar olmuştur.

Doğal gaz ve benzinle çalışmada elde edilen HC emisyonu eğrileri Şekil 19'da gösterilmiştir. Bütün devir sayılarında elde edilen HC değerlerinin, doğal gazla yapılan çalışmada, benzinle yapılan çalışmada elde edilen değerlere oranla oldukça düşük olduğu görülmüştür. Minimum HC emisyonu hacimsel olarak, doğal gazla çalışmada 3000 l/min'de 39 ppm, benzinle çalışmada 2000 l/min'de 1200 ppm olmuştur. Doğal gazla çalışmanın ortalama HC emisyon değerleri, benzinle çalışmanın yaklaşık % 12 si kadar olmuştur.

### 6.1 Çift yakıtlıya dönüştürülen diesel motoru deneyleri

Tam yük ve farklı devirlerde motorun diesel ve çift yakıtlı (doğal gaz ve pilot diesel yakıtı enjeksiyo-



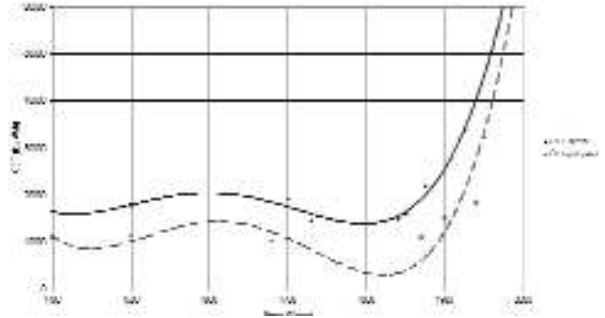
**Şekil 21.** Tam yükte ve değişik motor devirlerindeki özgül yakıt tüketimi değişimleri

nu) çalıştırılması sırasında yapılan ölçmelerde motorun tork ve yakıt tüketimleri ölçülerek, motor gücü, özgül yakıt tüketimi, özgül enerji tüketimi ve özgül enerji maliyeti değerleri hesaplanmış ve grafik olarak gösterilmiştir.

#### 6.1.1 Performans

Şekil 20'de, çift yakıtlı çalışmanın motor devrine bağlı olarak efektif güç ve tork değişim eğrileri görülmektedir.

Her iki çalışmada da güç ve tork değişimleri yaklaşık aynı olmaktadır. 1500 l/min 'da çift yakıtlı çalışmada efektif güç 4,98 kW ve tork 31,70 Nm, diesel çalışmada ise 4,53 kW ve 28,84 Nm olmuştur. 1700 l/min'da diesel çalışmasının efek-



**Şekil 22.** Tam yükte ve değişik motor devirlerindeki özgül enerji tüketim değişimleri

tif gücü 6,2 kW ve torku 35,47 Nm iken, çift yakıtlı çalışmada bu değerler 6,15 kW ve 33,50 Nm olmuştur. 1870 l/min'da diesel çalışmasının efektif gücü 2,21 kW ve torku 10,75 Nm, çift yakıtlı çalışmanın efektif gücü 5,66 kW ve torku da 28,85 Nm olarak gerçekleşmiştir

Şekil 21'de tam yükte ve değişik motor devirlerindeki özgül yakıt tüketimi grafikleri görülmektedir. Tam yükteki deneylerde, aynı motor devirleri için motorun çift yakıtlı çalışmasındaki özgül diesel yakıtı sarfiyatı, diesel çalışması sırasında doğal olarak daha düşüktür.



ma oranının artırılarak aynı hacimli benzin motora göre daha fazla güç alınabilmesine imkan sağlamaktadır. Buji ile ateşlemeli bir motorda kullanılması halinde, stoikiyometrik karışımlarla en avantajlı ateşleme avansı benzinle çalışmaya oranla 2° kadar fazla olduğu ve 15:1 sıkıştırma oranında en yüksek indike ısı verim sağlandığından [18], kullanılan motorun sıkıştırma oranının artırılabilmesi, başarı oranını yükseltecektir.

Egzoz emisyonları bakımından da benzin ve diesel yakıtından daha üstün özelliklere sahiptir.

Çift yakıtlı çalışmada gaz yakıtı ateşlemek için 0,0033-0,0091 g/çev pilot diesel yakıtı kullanılmış, çevrim başına % 80-92 arasında diesel yakıtı tasarrufu sağlanmıştır.

Doğal gazın sıkıştırma ile ateşlemeli motorda yakıt olarak kullanılması ile birim enerji maliyetinde diesel çalışmasına göre % 65 civarında azalma olmuştur.

Çift yakıtla tam yükteki en ekonomik çalışma 1750 1/min civarında elde edilmiş, bu devirdeki özgül enerji tüketimi, diesel çalışmasından % 65'den daha düşük olmuştur.

Araştırma sonuçlarına göre doğal gazın, uygun dönüşüm kitleri kullanılarak benzin ve diesel motorlarında kullanılabileceği söylenebilir.

Doğal gazın depolanması probleminin çözümünün yanı sıra, diesel pilot yakıtını ve gaz yakıtı motor performans haritasına uygun olarak koordineli bir şekilde kontrol edecek, pahalı olmayan çift yakıt kontrol sistemlerinin geliştirilmesiyle, doğal gaz sıkıştırma ile ateşlemeli motorlar için önemli bir alternatif yakıt olabilecektir.

LNG atmosfer basınç ve sıcaklığındaki doğal ga-

za oranla 1/600 hacim kapladığından, yüksek depolama yoğunluğu ile depolama probleminin çözümüne çok önemli bir katkı sağlayabilecektir.

Doğal gazın taşıtlarda yaygın olarak kullanılabilmesi, sistemin avantajlarının araç sahiplerine tanıtılmasına, dönüşüm işlemlerinin teşvik edilmesine ve dolmuş istasyonlarının yurt genelinde yaygınlaşmasına bağlıdır.

#### KAYNAKLAR

1. Tekin, M. ve Çavuşoğlu, Y., Bir Dizel Motorunun Doğal Gazlıya Dönüşümü, 1. Uluslararası Katılımlı Otomotiv Teknolojisi Kongresi, s,103-106, Adana, 1997.
2. Albay, O. A., Fakir Karışimli Benzin Motorlarında Hidrojen veya Doğal Gazın Ek Yakıt Olarak Kullanılması, Y.Lisans Tezi, İTÜ. Fen Bil. Enst., İstanbul, 1993.
3. Alderson, B. Transport to Clear the Air, Australian Energy News, Issue 10, December 1998 ([www.isr.gov.au/resources/net-energy/aen/a..0transport.html](http://www.isr.gov.au/resources/net-energy/aen/a..0transport.html)).
4. Gandhidasan, P., Ertas, A. ve Andersan, E.E., Review of Methanol ve CNG as alternative for transportation Fuels, Journal of Energy Resources Technology, v,113, p,101-107, 1991.
5. Keskin, A., Buji İle Ateşlemeli Bir Motorun Doğal Gazlıya Dönüşümünün Performans ve Emisyonlara Etkisi, Y. Lisans Tezi, DPÜ Fen Bil. Enst., Kütahya, 1997.
6. Öncül, N., Geleceğin Yakıtları, Bilim ve Teknik Dergisi, Temmuz 1990 sayısı, s. 6-7,1990.
7. Genceli, Ö. F., Doğal Gazın Özellikleri, Doğal Gaza Dönüşüm Semineri, İTÜ Makina Fak., İstanbul, 1989.
8. ALTIN, R., "Diesel Motorlarında Yakıt Olarak Doğal Gazın Kullanılması Üzerine Bir Araştırma", Y. Lisans Tezi, (Danışman S. Çetinkaya) G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1991.
9. Ateş, A., Doğal Gazın Avantaj ve Dezavantajları, Kütahya'da Hava Kirliliği ve Çözüm Yolları,

- rı Konferansı, s. 52-55, Kütahya, 1998.
10. Aksoy, N., Doğal Gaz ve Yanma, Botaş Doğal Gaz Sempozyumu Tebliğleri, Ankara, 1988.
  11. Yücesu, H. S., Doğal Gazın Benzin Motorlarında Kullanımı ve Performans Testleri, GÜ Fen Bil. Enst. Dergisi, c,11 s,4, s. 675-686, Ankara, 1998.
  12. Onurbaş, A., Tarımda Kullanılan Sabit Patlamalı Motorlarda Çeşitli Gaz Yakıtların Kullanımını Sağlayacak Karıştırıcının Geliştirilmesi, Doktora Tezi, AÜ Fen Bil. Enst., Ankara, 1990.
  13. Kındıroğlu, K., Demirsoy, M. ve Kuralay N. S., Doğal Gazın Benzinli Motorlarda Kullanılması, Makina Magazin Dergisi Ekim sayısı, s. 20-26, 1996.
  14. <http://www.gaznaturalsdg.es/grupo/english/noticias/Vehicular.htm>
  15. [http://delivery.keyspanenergy.com/ps\\_business/products/energy\\_perspectives.cfm](http://delivery.keyspanenergy.com/ps_business/products/energy_perspectives.cfm)
  16. Clean Air Program <http://www.fta.dot.gov/library/technology/AFRISKS.htm#prod>
  17. French, M. "Compressed Natural Gas Vehicles" Department Of Natural Resources Technical Note, March 2, 1990.
  18. Fleming, R. D. ve O'NEAL, G. B. "Potential for Improving the Efficiency of a Spark Ignition Engine for Natural Gas Fuel". SAE Paper No: 852073. 1986.
  19. <http://www.ngvc.org/ngv/ngvc.nsf/bytitle/techbull2.html>
  20. Jones, A. L. ve EVANS, R. L. "Comparison of Burning Rates in a Natural-Gas- Fueled Spark Ignition Engine". J of Eng. for Gas Turbines and Power, Transactions of the ASME, Vol. 107, Ekim. 1985.
  21. The International Association for Natural Gas Vehicles of Auckland, New Zealand, 2000.
  22. <http://www.creditvalley.com/canuki/advanced.htm>
  23. <http://www.westport.com/natural/lng.php>
  24. Ankara, EGO dağalgaz fiyatları [http://www.ego.gov.tr/gdb/gaz\\_2.asp](http://www.ego.gov.tr/gdb/gaz_2.asp)
  25. The official web site of the Natural Gas Vehicle Coalition <http://www.ngvc.org/ngv/ngvc.nsf/bytitle/fastfacts.htm>
  26. Latest International NGV Statistics. International Association for Natural Gas Vehicles <http://statistics.iangv.org/>
  27. Diesel to Diesel-Methane Conversion System <http://www.etra-spa.com/english/etradual.htm>
  28. What is LNG? <http://www.westport.com/natural/lng.php>
  29. Bünger, U. HyWeb - Neue Entwicklungen der LH2- und LNG-Kryotechnik für den Einsatz in Kraftfahrzeugen. VDI-Seminar Kryotechnik, Karlsruhe, 24.-26. Februar 1999.

#### ÖZGEÇMİŞ:

Prof. Dr. Selim ÇETİNKAYA 1948 yılı Sivas Karacahisar doğumlu. 1972 yılında Ankara Erkek Teknik Yüksek Öğretmen Okulu Motor Bölümünü bitirdi. 1974 yılında Ankara Yüksek Teknik Öğretmen Okuluna asistan olarak atandı. Yüksek lisansını 1977 yılında University of Wisconsin-Stout U.S.A. 1. doktorasını 1988 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Eğitimi Anabilim Dalında, 2. doktorasını 1989 yılında Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Mekanizasyon Anabilim dalında tamamladı. G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi. Makina Eğitimi Bölümü Otomotiv Anabilim Dalında 1988 yılında Y. Doçentliğe, 1995 yılında Doçentliğe ve 2000 yılında Profesörlüğe atandı. Halen Otomotiv Anabilim Dalı Başkanlığı görevini sürdürmektedir.

(\*) LPG ve CNG Uygulamaları Sempozyumu Bildirilerinden alınmıştır.