

## Toplu Taşımacılıkta Alternatif Yakıt Olarak Doğalgaz Kullanımı

Mehmet TEKTANIL<sup>1</sup>, Anıl DİLER<sup>2</sup>, Cem SORUŞBAY<sup>3</sup>,  
Metin ERGENEMAN<sup>4</sup>

İTÜ Makina Fakültesi, Otomotiv Anabilim Dalı, Ayazağa Yerleşkesi, Maslak, İstanbul  
[tektanilm@itu.edu.tr](mailto:tektanilm@itu.edu.tr), [anildiler1@yahoo.com](mailto:anildiler1@yahoo.com), [sorusbay@itu.edu.tr](mailto:sorusbay@itu.edu.tr), [ergene@itu.edu.tr](mailto:ergene@itu.edu.tr)

### Özet

Sanayi devriminden sonra fosil yakıtların daha fazla kullanılması ve ormanların tahrip edilmesi, insanlar tarafından üretilen sera gazlarında ciddi bir artışa neden olmuştur. Bu nedenle temiz ve ucuz alternatif enerji kaynakları araştırılmaya başlanmıştır. Doğalgaz, motor yakıtı olarak kullanılabilir en önemli alternatif yakıtlardan birisidir. Bu çalışmada, doğalgazın toplu taşımacılıkta kullanılan otobüslerde kullanılmasının hem emisyon hem de maliyet açısından avantajları irdelenecektir. Bu çalışmada ayrıca, belli bir güzergaha sahip otobüs konum ve hız verisi toplama donanımlarına sahip bir araç ile takip edilerek (chase car metodu) otobüsün seyir çevrimi oluşturulmuştur. Yapılan hesaplamalar sonucunda alternatif enerji olarak doğalgazın belediye otobüslerinde kullanımının, hem yakıt maliyeti açısından hem de CO<sub>2</sub> emisyonları açısından önemli bir avantaj getirebileceği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Doğal gaz, Alternatif enerji, Küresel ısınma, Yakıt tüketimi.

### Abstract

A significant increase in greenhouse gases produced by human activities has begun after the industrial revolution due to more fossil fuel consumption and destroying of forrests. Therefore, clean and cheap energy sources are searched. With this respect natural gas is one of the most possible alternative fuels that can be used as an engine fuel. In this study, the advantages of natural gas usage in Diesel buses of public transportation, in terms of costs and emissions will be examined. In addition to this, a public bus cycle is created and used for simulation. Simulation shows that natural gas usage in public transportation as an alternative energy source can bring significant advantages in terms of costs and emissions.

**Keywords:** Natural gas, Alternative energy, Global warming, Fuel consumption.

## 1. GİRİŞ

Dünyada kullanılan enerjinin çoğu fosil yakıtlardan sağlanır. Fosil yakıtların yanması sera gazları ve kirletici emisyonlar üretir. Fosil yakıtlar içinde doğal gaz bu açıdan en uygun yakıttır. Buna karşın doğal gaz, mobil kullanım amaçları için depolama ve doldurma tesisleri açısından problemlere sahiptir. Ancak sıkıştırılmış doğal gaz (CNG), kısıtlı bir seyir bölgesine sahip olan toplu taşıma otobüslerin içten yanmalı motorları için ideal yakıt olabilir.

## 2. ARAÇLARIN CNG'YE DÖNÜŞÜMÜ İÇİN OPSİYONLAR

Bir benzin motorunun doğal gaz motoruna çevrilmesi tek tür yakıtla çevirme olarak adlandırılır. Hem benzinle hem de doğal gazla ile çalışan bir motor ise çift yakıtlı (bi-fuel, dual fuel) olarak isimlendirilir. Benzer şekilde dizel motoru da hem dizel yakıtı hem de CNG ile çalışabilen bir motora dönüştürülebilir. Bir dizel motorunun sadece doğal gazla çalışacak şekilde çevrilmesi ise ancak bu motoru buji ateşlemeli şekilde dönüştürülmesi ile mümkündür. Dizel motorlarının bu şekilde dönüştürülmesi ekonomik olmadığı için ağır hizmet motorları orijinal buji ateşlemeli olarak (Dedicated Engine) imal edilmektedir.

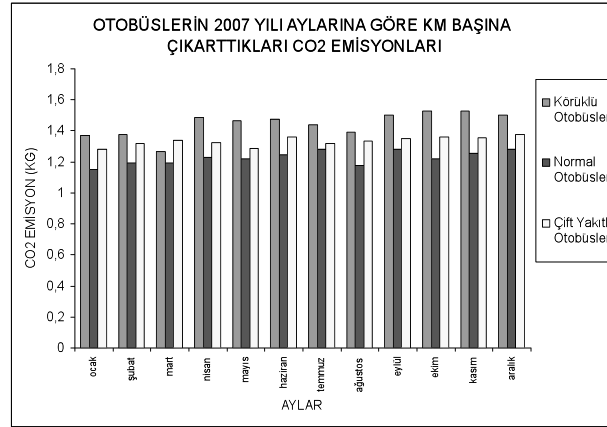
Dizel motorlarını doğal gazlı motorlara çevirmenin avantajları ve dezavantajları vardır. Dizel motorunun buji ateşlemeli motora çevrilmesi, %100 doğal gaz kullanımı ve düşük egzoz emisyonları gibi avantajlarının yanında kısmi yüklerde yakıt tüketiminin artması gibi bir dezavantaja da sahiptir. Dizel motorunu çift yakıtlı bir sisteme dönüştürme ise motorda çok az değişiklik gerektirmesi ve göreceli olarak daha az yakıt tüketmesi avantajı dışında sırf doğalgazla çalışan motorlara göre daha yüksek emisyon (özellikle partikül emisyonu) ve gürültü gibi dezavantajlara sahiptir.

## 3. HASANPAŞA GARAJINDAKİ DOĞALGAZLI OTOBÜSLERDEN KAYNAKLANAN KARBONDİOKSİT EMİSYONLARI

İETT Hasanpaşa Garajında çift yakıtlı, körüklü ve normal olmak üzere üç çeşit otobüs bulunmaktadır. Normal ve körüklü otobüsler dizel motoru ile tahrikli olup, çift yakıtlı otobüsler ise hem dizel yakıtı hem de doğalgaz kullanmaktadır. Hasanpaşa Garajında her otobüse ve her güne ait tüketilen yakıt miktarları ve kat edilen yol kayıtları tutulmaktadır. Bu çalışmada otobüslerin kilometre başına ürettikleri CO<sub>2</sub> miktarları ve tükettikleri yakıtın maliyeti aylara göre

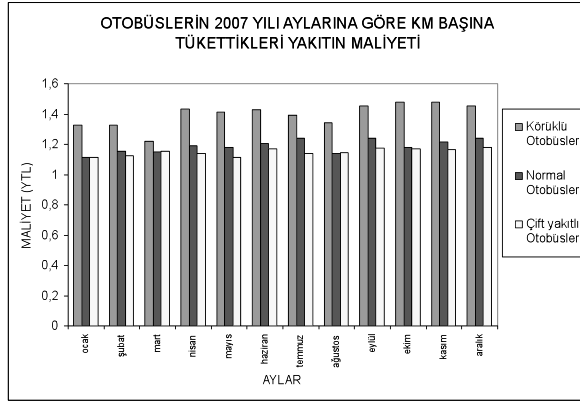
hesaplanmıştır. Hesaplamalarda CO<sub>2</sub> emisyonları IPCC birinci yaklaşım (IPCC, 1996) yöntemi ile tüketilen yakıt miktarından hareket edilerek hesaplanmış maliyet hesabı için ise motorin fiyatı 2,64 YTL/litre, oto doğal gazın fiyatı 1,2 YTL/m<sup>3</sup> alınmıştır. Şekil 1 de otobüslerin 2007 yılında aylara göre kilometre başına çıkarttıkları CO<sub>2</sub> emisyonları görülmektedir. Grafikten anlaşılacağı üzere körüklü otobüsler, diğer otobüslerden daha ağır ve yolcu kapasitesi bakımından daha büyük olduğu için, CO<sub>2</sub> emisyonları daha fazladır. Fakat çift yakıtlı otobüslerin CO<sub>2</sub> emisyonlarının normal otobüslere göre daha fazla olması doğal gazdan beklenen avantajlara ters düşmektedir. Bu otobüslerin motorlarının normal otobüslere göre daha verimsiz olduğu anlaşılmaktadır. Bunun nedeni, doğal gaz kullanımı için dizel püskürtme avansının azaltılması ile motorun verimli çalışma ayarlarından uzaklaşmasıdır. Bu ayar değişikliği silindir içi sıcaklıkları düşürerek vuruntuya (hava ile karışım halinde silindir içine giren doğal gazın kontrolsüz yanmasına) engel olmak amacıyla zorunlu olarak yapılmıştır.

Ancak, çıkan sonuçlara göre, bütün otobüs türleri binek araçlarına göre kişi başına yaklaşık 2,5 kat daha az emisyon oluşturmaktadır.



**Şekil 1.** Otobüslerin 2007 Yılı Aylarına Göre Kilometre Başına Çıkarttıkları CO<sub>2</sub> Emisyonları

Otobüslerin kilometre başına tükettikleri yakıtın maliyetine bakıldığında ise, Şekil 2’de de görüldüğü gibi çift yakıtlı otobüslerde doğalgaz kullanımının, doğalgazın fiyatının düşük olmasından dolayı, avantaj sağlamakta olduğu görülmektedir.



**Şekil 2.** 2007 Yılında Otobüslerin Kilometre Başına Tükettikleri Yakıtın Maliyeti

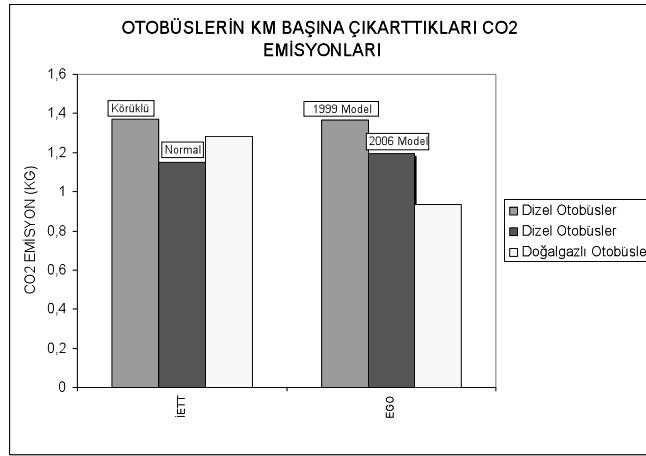
#### 4. ANKARA EGO MÜDÜRLÜĞÜNE AİT OTOBÜSLERİN CO<sub>2</sub> EMİSYONLARININ İNCELENMESİ

Ankara EGO Genel Müdürlüğünden 3 tip otobüsün günlük yakıt tüketimleri alınıp, kilometre başına CO<sub>2</sub> ve maliyet hesapları yapılmış ve daha önce Hasanpaşa Garajı için yapılan değerlerle karşılaştırılmıştır. EGO Genel Müdürlüğünden 1999 ve 2006 model dizel otobüslerin günlük yakıt tüketimleri ile doğalgazlı otobüslerin 2007 yılına ait günlük yakıt tüketimleri alınmıştır.

**Tablo 1.** 100 km'deki Yakıt Tüketim Değerleri

	Otobüs Türleri	Motorin	Doğalgaz
		lt /100 km	m <sup>3</sup> /100km
<b>İETT</b>	Körüklü Otobüsler	50,20	
	Normal Otobüsler	42,10	
	Çift Yakıtlı Otobüsler	32,25	21,80
<b>EGO</b>	1999 Model	49,95	
	2006 Model	43,78	
	2007 Model CNG		50,73

Tablo 1’de araçların 100 km başına tükettikleri yakıt miktarları hesaplanıp, gösterilmiştir. İETT’nin körüklü otobüsleri 100 km de 50,20 litre motorin tüketirken, EGO’nun 1999 model otobüsleri 49,95 litre motorin tüketmektedir. Körüklü otobüsler daha ağır olmasına ve daha çok yolcu taşımaya rağmen 1999 model otobüslerle hemen hemen aynı yakıtı tüketmektedir. İETT’nin çift yakıtlı otobüsleri 100 km de 32,25 litre motorin ile 21,80 m<sup>3</sup> doğalgaz tüketirken, EGO’nun sadece doğalgazla çalışan otobüsü 50,73 m<sup>3</sup> doğalgaz tüketmektedir. Bu otobüslerin yolcu sayıları aynı mertebededir.

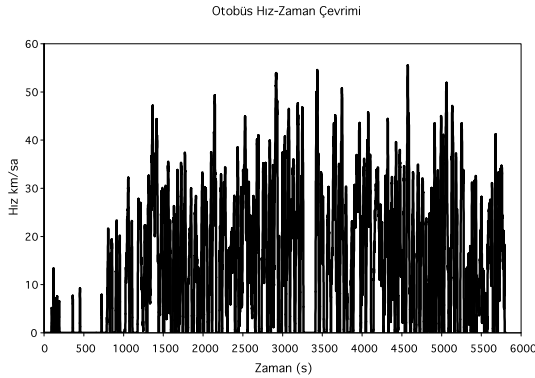


**Şekil 3.** Otobüslerin Kilometre Başına Çıkarttıkları CO<sub>2</sub> Emisyonları

Otobüslerin kilometre başına çıkarttıkları CO<sub>2</sub> emisyonları Şekil 3’de gösterilmiştir. İlk sütunlardan İETT için olan körüklü dizel otobüslerin, EGO için olan ise 1999 model dizel otobüslerin CO<sub>2</sub> emisyonlarını göstermektedir. İETT’nin körüklü otobüslerinin, daha ağır ve daha çok yolcu taşımaya rağmen, EGO’nun 1999 model otobüsleri kadar çevreci olduğu görülmektedir. Doğalgazlı otobüslerde ise, açıkça görülmektedir ki EGO’nun sadece doğalgazla çalışan otobüsleri, İETT’nin hem dizel hem doğalgazla çalışan çift yakıtlı otobüslerinden daha az CO<sub>2</sub> emisyonu vermektedir.

## 5. TAKİP ARACI YÖNTEMİ İLE OTOBÜS SEYİR ÇEVİRİMİNİN ÇIKARTILMASI

Çalışmanın bu kısmında seyir hattı boyunca hesaplanan yakıt tüketiminden hareketle IPCC birinci yöntemi kullanılarak karbon dioksit emisyonları hesaplanacaktır. Otobüsün trafikteki hareketi (hızı ve konumu) otobüs hattı boyunca veri toplama sistemi ile donatılmış bir takip aracı (Chase car) tarafından izlenerek belirlenmiş ve bu verilerden yararlanılarak oluşturulan seyir çevrimi yardımı ile modellenmiştir. Otobüsün kullanımı sırasında dizel motorunun ve doğalgaz motorunun ayrı ayrı yakıt tüketimleri hesaplanmış, bu hesaptan yola çıkarak karbondioksit emisyonları ve yakıt maliyeti açısından değerlendirme yapılmıştır. Veri sistemi ile donatılmış (Renault Megane) ölçüm aracı ile 8A Kadıköy - Fikir Tepe - Barbaros Mah. güzergâhında seyir eden doğalgazlı bir otobüs takip edilip, veri toplanmıştır. Şekil 4'de otobüsün belirlenen gidiş-dönüş seyir çevrimi görülmektedir. Görüldüğü üzere aracın maksimum hızı 55 km/saat'dir. Seyir çevrimi genelde ivmelenmeler ve sonra durağa yaklaşırkenki yavaşlamalardan oluşmaktadır. Her durakta belli bir süre yolcu indirme-bindirme için beklenmiştir. 3300 ile 3450 saniyeleri arası otobüs son durakta belli bir süre beklemiştir. Çevrim belirlenirken takip işlemi 4 kere tekrarlanmıştır.



**Şekil 4.** Otobüs Seyir Çevrimi

Çevrim boyunca her iki motor da (Dizel ve Doğal gaz) 37,5 km yol kat etmişlerdir. Bu hat boyunca dizel tahrikli taşıt 14,19 kg yakıt tüketirken doğalgaz motoru 14,33 kg yakıt tüketmiştir (Tablo 2.). Bu değerler 100 km'de, sırasıyla, 44 litre motorin ve 56,2 m<sup>3</sup> doğalgaza denk gelmektedir. Çıkarıdıkları karbon dioksit emisyonlarına bakıldığında dizel tahrikli otobüsün 45,08

kg, Nonox marka doğalgaz motorunun ise 38,80 kg karbon dioksit çıkardıkları hesaplanmıştır. Yapılan karşılaştırmaya göre doğalgazlı motor Dizel Raba Man motoruna göre yaklaşık %16,1 oranında daha az karbon dioksit emisyonu oluşturmaktadır. Bu sonuçlara göre, ayrıca, doğalgaz motorunun Dizel motoruna göre yakıt maliyeti açısından %72,24 oranında daha avantajlı olduğu görülmektedir.

**Tablo 2.** Dizel ve Doğal gaz Motorunun Çevrim Boyunca Karşılaştırılması

Motor Cinsi	Yapılan Toplam Yol (km)	Tüketilen Toplam Yakıt (kg)	Tüketilen Yakıt	Toplam CO <sub>2</sub> Emisyonu (kg)	Maliyet (YTL)
Raba Man Dizel Motoru	37,5	14,19	44,00 (litre/100 km)	45,08	43,56
Nonox Doğal gaz Motoru	37,5	14,33	56,20 (m <sup>3</sup> /100 km)	38,80	25,29

## 6. SONUÇLAR

Dünya çapında alternatif yakıtlar konusunda çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Alternatif yakıtların arasında en çok ön plana çıkanlardan biri, düşük CO<sub>2</sub> salımı nedeniyle, doğalgazdır. Doğalgaz gerek maliyeti, gerekse çıkardığı emisyon bakımından fosil yakıtlar arasında en uygun olan yakıtlardandır. Bu da doğalgazı içten yanmalı motorlar için avantajlı kılmaktadır. Şehir havasının daha temiz tutulması ve trafik yoğunluğunun azalması için toplu taşımacılığın kullanımı özendirilmektedir. Çoğu toplu taşıma filosu da dizel motorlu otobüslerden oluşmaktadır. Bu otobüslerin doğalgazlı otobüslere dönüştürülmesi, CO<sub>2</sub> emisyonu açısından ciddi getiriler sağlayabilir.

Bu çalışmanın sonuçları ışığı altında doğalgazlı motorun karbondioksit emisyonları açısından ve dolayısıyla küresel ısınma sorunu açısından dizel motoruna göre oldukça üstün olduğu görülmektedir. Ayrıca doğalgazlı motor işletmesi dizel eşdeğerine göre, doğalgazın

fiyatının düşük olması nedeniyle çok daha düşük maliyetlidir. Şehir içi toplu taşımacılıkta kullanılan otobüsler için sıkıştırılmış doğalgaz potansiyel yakıt olarak görülmelidir.

## 7. TEŞEKKÜRLER

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından “Ulaştırma Sektöründe Sera Gazı Azaltımı” projesi kapsamında desteklenmektedir. Ulaştırma Bakanlığına, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığına, TÜİK’e, İETT’ye ve EGO’ya veri sağlamada göstermiş oldukları destek nedeniyle teşekkür ederiz.

## 8. KAYNAKLAR

1. Nylund, N.O., Erkkila, K., Lappi, M., Ikonen, M., 2004 Transit Bus Emission Study: Comparison of Emissions From Diesel and Natural Buses, Research report, VTT Process
2. Diler, A., 2006. Şehir İçi Toplu Taşımacılıkta Kullanılan Otobüslerde, Doğalgaz Kullanımının Karbondioksit Emisyonlarına Etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
3. Tektanlı, M., Toplu Taşımadaki Doğalgazlı Otobüslerin Karbondioksit Emisyonlarına Etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 2008
4. Diler, A., Tektanlı, M., Soruşbay, C., Ergeneman, M., 2008. Doğal gaz Yakıtlı Otobüslerin Sera Gazlarına Etkisi, *Hatay Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu*, 22-25 Ekim