

DOĞALGAZ YAKITLI OTOBÜSLERİN SERA GAZI EMİSYONLARINA ETKİSİ

Anıl DİLER^(*), Mehmet TEKTANIL, Cem SORUŞBAY, Metin ERGENEMAN

İTÜ Makina Fakültesi, Otomotiv Anabilim Dalı, Ayazağa Yerleşkesi, Maslak/ İstanbul

ÖZET

Günümüz taşıt teknolojisinde, yakıt tüketimine ve kullanılan yakıt özelliklerine bağlı olarak üretim miktarı değişim gösteren karbon dioksit, sera etkisinden büyük oranda sorumlu olan gazdır. Bu çalışmada, şehir içi toplu taşımacılıkta kullanılan otobüslerde konvansiyonel yakıtlar yerine doğalgaz kullanımının karbondioksit emisyonlarına etkileri incelenmiştir. Ayrıca belirli bir otobüs hattı boyunca, otobüsün trafikteki davranışları, taşıt hızı, konumu, zaman, motor dönme sayısı vb verileri toplama sistemi ile donatılmış bir takip aracı (Chase car) tarafından izlenerek belirlenmiş ve bu verilerden yararlanılarak oluşturulan seyir çevrimi yardımı ile modellenmiştir. Bu çevrime göre otobüsün kullanımı durumunda diesel motorunun ve doğalgaz motorunun ayrı ayrı yakıt tüketimleri hesaplanmış, bu hesaptan yola çıkarak karbondioksit emisyonları ve yakıt maliyeti açısından değerlendirme yapılmıştır. Hesaplamalar doğalgazı yakıt olarak kullanan otobüsün hem karbon dioksit emisyonları hem de yakıt maliyeti açısından daha avantajlı olduğunu ortaya çıkartmaktadır. Çalışmada ayrıca, doğalgazın konvansiyonel yakıtlara göre birim enerji ve birim kilometre başına emisyonlar ve maliyet açısından da karşılaştırması yapılmıştır.

ABSTRACT

In this study, carbon dioxide emissions resulting from the city buses utilizing natural gas have been investigated. For a specific bus route in the city of Istanbul, vehicle behaviour in real traffic conditions are recorded using a chase car method. For this route the fuel consumption of a diesel engine and a natural gas engine are calculated separately by applying a mathematical model for cycle calculations and from these calculations the carbon dioxide emissions and operational costs are evaluated. The results show that natural gas engine has considerable advantages on both carbon dioxide emissions and cost, over the diesel engine. In this study also the comparison of CO₂ emissions from natural gas and conventional fuels per unit energy and per unit distance have been considered.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Doğal gaz, Karbondioksit, Küresel ısınma, Yakıt tüketimi

GİRİŞ

Dünyanın sıcaklığının uzun vadede artması, küresel ısınma veya sera gazı etkisi olarak bilinmektedir. Sanayi devriminden sonra fosil yakıtların daha fazla kullanılması ve ormanların tahrip edilmesi, insanlar tarafından üretilen sera gazlarında ciddi bir artışa neden

* anildiler1@yahoo.com

olmuştur. Bu gazlar içinde CO₂ (Karbondioksit), sera etkisinin yaklaşık %60'ına neden olmaktadır. (Tunç vd., 2006) Dünya enerji tüketiminin en hızlı büyüyen bileşkesinin doğal gaz olması beklenmektedir. Çünkü petrol ve kömürden daha temiz bir yakıttır ve nükleer güç gibi tartışmalı da değildir. Gelecekte doğal gazın birçok ülke için tercih edilen bir yakıt olması beklenmektedir. (Balat, 2007) Otobüsler için alternatif yakıtlar içinde en popüler olanı CNG'dir. Amerika Toplu Taşımacılık Kurumu, dizel yakıtına en iyi alternatifin sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) olduğunu rapor etmiştir.

İETT'YE AİT DOĞALGAZLI OTOBÜSLER

İETT İdaresi'ne, ilk kez 1993 yılında, doğalgazla çalışan Macar malı 100 adet İkarus Solo tip (IK-260.25) otobüs katılmıştır. Araç filosunun tamamı, Kadıköy'deki "Hasanpaşa İETT Garajı"na bağlanmıştır. Doğalgaz tüpleri dolun üniteleri de bu garaj bünyesinde oluşturulmuştur. İstanbul Teknik Üniversitesi Otomotiv Anabilim Dalı tarafından yapılan çalışmada Hasanpaşa garajında bulunan 100 adet İkarus otobüs motoru (Raba Man 2156 HM6UT) Deltec D-CNG pilot püskürtme sistemi kullanılarak çift yakıtlı bir motora dönüştürülmüştür. Deltec firmasının geliştirdiği dizel-doğalgaz dönüşüm sistemi geneldeki bütün sistemler gibi silindire alınan hava+doğalgaz karışımını tutuşturmak için belli miktarda dizel yakıtını pilot püskürtme miktarı olarak kullanmaktadır. Bu düzenek motor içinde herhangi bir değişiklik yapmadan motorun mevcut yakıt sistemine eklenir. Tam yükte dizel yakıtı harcanması orijinal dizelinkinin %20'sine kadar düşürülebilmektedir. Bu dönüşüm şekli ile tamamen yeni bir motor için yatırım yapmaya gerek yoktur. Mevcut klasik dizel motoru özellikle is emisyonu yönünden oldukça iyi bir duruma getirilmiştir. Ayrıca motor performansında, yakıt tüketiminde ve is emisyonunda kötüleşmeye neden olmadan püskürtme başlangıcı geçe alınarak NO_x emisyonunda bir iyileşme sağlamak mümkündür. Doğalgazın eksik yanması nedeniyle CO ve HC emisyonunda bir miktar artma beklenebilir. Ancak HC'nun büyük bir kısmı zararsız olarak kabul edilen yanmamış metandır. Bazı ülkelerde düşük doğalgaz birim fiyatı sayesinde, işletme masraflarından da tasarruf mümkün olmaktadır. Orijinal püskürtme sistemi korunduğu için işletme sırasında gerektiğinde doğalgaz çalışmasından %100 dizel yakıtı çalışmasına geçmek olanaklıdır. Sistemin en büyük dezavantajı %20-25'lik pilot püskürtme miktarı genellikle sabit kaldığından motor yükü azaldıkça doğalgaz kullanım oranının azalmasıdır. Bu durumda, dizel yakıt oranı %50-60 üstüne çıktıkça sistemin is emisyonu yönünden avantajı giderek kaybolmaktadır.(Kutlar vd., 1998)

HASANPAŞA GARAJINDAKİ DOĞALGAZLI OTOBÜSLERDEN KAYNAKLANAN KARBONDİOKSİT EMİSYONLARI

Yakıtların Birim Enerji Bazında IPCC Birinci Yaklaşımına Göre Karbondioksit Emisyonlarının ve Maliyetinin İncelenmesi

Yakıtların ekonomiklik karşılaştırması için en kolay yöntem enerji bazında fiyatlarının karşılaştırılmasıdır. Diğer bir deyimle aynı miktar enerjinin ne kadar fiyata alındığıdır. Tablo 1'de 1 MJ enerjiye denk gelen yakıt miktarı göz önüne alındığında doğalgazın en ucuz yakıt olduğu görülmektedir.

Tablo 1. Yakıt maliyetinin ve CO₂ emisyonlarının karşılaştırılması

Yakıt Cinsi	1 MJ yakıt kütlesi	Birim maliyet		1 MJ yakıt maliyeti		CO ₂ emisyonları	
	kg	YTL l ⁻¹	YTL m ⁻³	YTL	%	kg	%
Motorin	23,08	2,64	-	70,85	194	73,33	131
Doğalgaz	20,62	-	1,2	36,39	100	55,82	100
LPG	21,14	1,71	-	64,55	177	62,75	112
Benzin	22,32	3,1	-	92,51	254	68,61	122

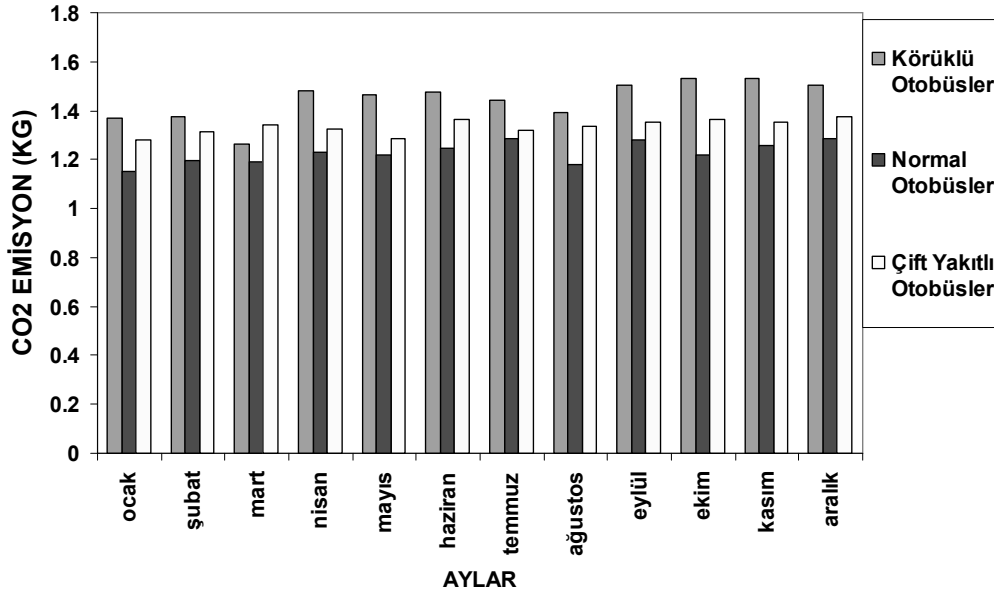
Yaklaşık olarak 1 MJ'e denk gelen yakıt tüketildiğinde doğalgazlı motor dizel eşdeğerine göre sadece 3 km daha az yol kat ederken 34 YTL daha az maliyet çıkarmakta ve 18 kg daha az karbon dioksit emisyonu çıkarmaktadır. 1 MJ enerjiye denk gelen yakıt göz önüne alındığında doğalgazın en çevreci fosil kökenli yakıt olduğu belirlenmektedir.

Aylara Göre Otobüslerin Ortalama Yakıt Tüketimlerinin Bulunması

İETT Hasanaşa Garajında çift yakıtlı, körüklü ve normal olmak üzere üç çeşit otobüs bulunmaktadır. Normal ve körüklü otobüsler dizel tahrikli olup, çift yakıtlı otobüsler ise hem dizel yakıtı hem de doğalgaz kullanmaktadır. Hasanaşa Garajında her bir otobüse ve her bir güne ait tüketilen yakıt miktarları ve kat edilen yol mesafeleri bilinmektedir. Ayrıca bu otobüs çeşitlerine ait 2007 yılı yakıt ve kilometre bilgileri de rahatlıkla bulunabilmektedir. Otobüs türleri göre belirlenen bu değerlerden her ay için ortalama yakıt tüketimleri hesaplanabilmekte ve bu hesaplanan ortalama yakıt tüketiminden de yola çıkarak tüm otobüs çeşitleri için 100 km de tükettikleri yakıt miktarı bulunabilmektedir.

Otobüslerin kilometre başına oluşturdukları CO₂ emisyonları ve tükettikleri yakıtın maliyeti aylara göre hesaplanmıştır. Hesaplamalarda CO₂ emisyonları için IPCC birinci yaklaşım (IPCC, 1996) yöntemi tüketilen yakıt miktarından hareket ederek kullanılmış, maliyet hesabı için ise motorin fiyatı 2,64 YTL, oto doğalgazın fiyatı 1,2 YTL taban alınmıştır. Şekil 1 de otobüslerin 2007 yılında aylara göre kilometre başına çıkarttıkları CO₂ emisyonları görülmektedir. Aşağıdaki grafikten anlaşılacağı üzere körüklü otobüsler, diğer otobüslerden daha ağır ve yolcu kapasitesi bakımından daha büyük olduğu için CO₂ emisyonları daha fazladır. Fakat çift yakıtlı otobüslerin normal otobüslere göre CO₂ emisyonlarının daha fazla olması doğalgazdan beklenen avantajlara ters düşmektedir. Bu otobüsler normal otobüslere göre daha verimsizdir. Bunun nedeni otobüslerde kullanılan motorun orijinalinde dizel yakıtlı olması ve doğal gaz kullanımı için dizel püskürtme avansının azaltılması ile motorun verimli çalışma ayarlarından uzaklaşmasıdır. Bu ayar değişikliği silindir içi sıcaklıkları düşürerek 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 araçlara göre kişi başına yaklaşık 2,5 kat daha az emisyon oluşturmaktadır.

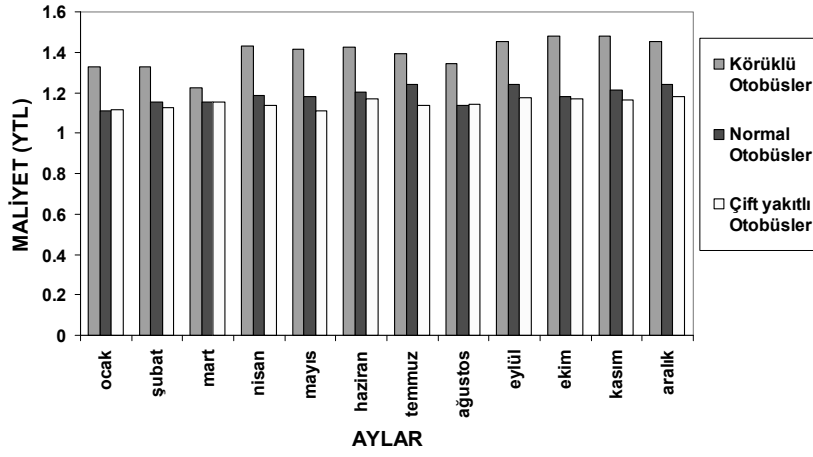
OTOBÜSLERİN 2007 YILI AYLARINA GÖRE 1 KM'DE ÇIKARTTIKLARI CO2 EMİSYONLARI



Şekil 1. Otobüslerin 2007 yılı aylarına göre kilometre başına çıkarttıkları CO₂ emisyonları

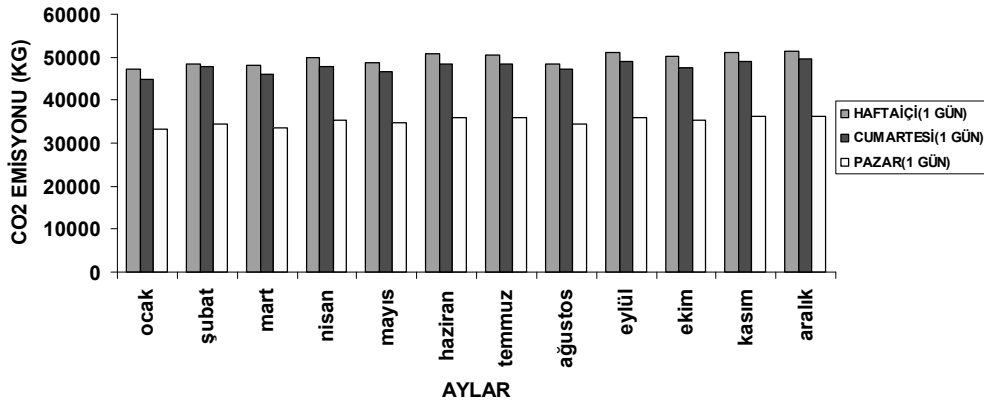
Otobüslerin kilometre başına tükettikleri yakıtın maliyetine bakıldığında, Şekil 2’de de görüldüğü gibi çift yakıtlı otobüslerde doğalgaz kullanımı, doğalgazın yakıt fiyatının düşük olmasından dolayı, avantaj sağlar. Çift yakıtlı otobüsler yaklaşık olarak her ayda körüklü otobüslere göre kilometre başına 30 Yeni Kuruş, normal otobüslere göre de 10 Yeni Kuruş daha az maliyetlidir. Bu otobüsler her ne kadar CO₂ açısından kötü bir senaryo ortaya çıkarsa da, her ay yaklaşık olarak 500 bin km yol aldığı varsayıldığı için yakıt maliyeti olarak çok büyük bir avantaj sağlamaktadır. Şekil 3 ve Şekil 4’te 2007 yılı aylarına göre Hasanpaşa garajında bulunan bütün otobüslerin CO₂ emisyonları toplamı görülmektedir. Hafta içi 50000 kg CO₂ üreten bu otobüslerin CO₂ emisyonları cumartesi ve pazar günleri sırası ile yaklaşık olarak 45000 ve 33000 kg dır. Hafta içi çalışan otobüslerin sefer sayıları daha fazla olduğu için kullandıkları yakıtın maliyeti ve karbondioksit emisyonları daha fazla çıkmaktadır. Pazar günleri ise sefer sayıları çok düşmekte ve emisyonlarda azalmaktadır. Körüklü otobüsler kişi başına düşen emisyonlar düşünüldüğü zaman diğer tip otobüslere göre daha avantajlı otobüslerdir. Taşıyabildikleri yolcu sayısı fazla olduğundan hem kişi başına karbon dioksit emisyonları düşük, hem de kişi başına yakıt maliyetleri azdır.

OTOBÜSLERİN 2007 YILI AYLARINA GÖRE 1 KM'DE TÜKETTİKLERİ YAKITIN MALİYETİ



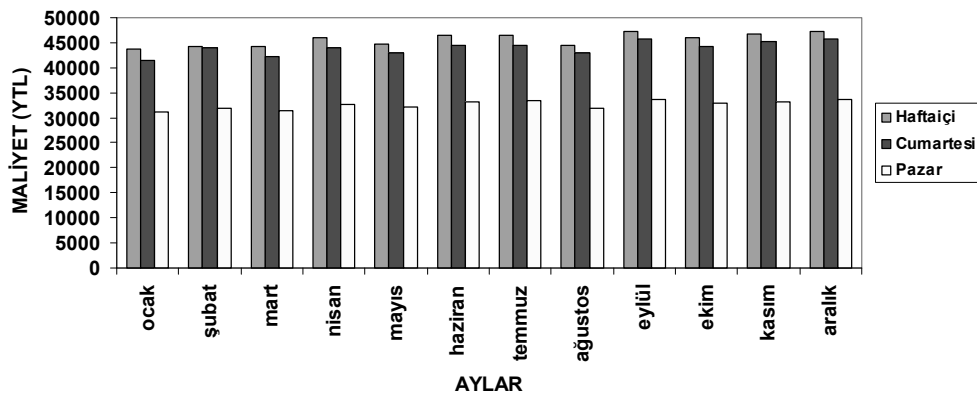
Şekil 2. 2007 Yılında otobüslerin kilometre başına tükettikleri yakıtın maliyeti

2007 YILI AYLARINA GÖRE TOPLAM KARBONDİOKSİT EMİSYONLARI



Şekil 3. 2007 Yılı aylarına göre toplam karbondioksit emisyonları

2007 YILI AYLARINA GÖRE TOPLAM MALİYET



Şekil 4. 2007 Yılı Aylarına Göre Toplam Maliyet

Bu sonuçlara göre toplu taşıma araçlarının kullanılmasının küresel ısınma açısından öneminin büyük olduğu ortaya çıkmaktadır. Herkesin kendi özel aracıyla trafiğe çıkması hem trafikte yoğunluğa hem de çok ciddi emisyon artışlarına neden olmaktadır.

ANKARA EGO MÜDÜRLÜĞÜNE AİT OTOBÜSLERİN CO₂ EMİSYONLARININ İNCELENMESİ

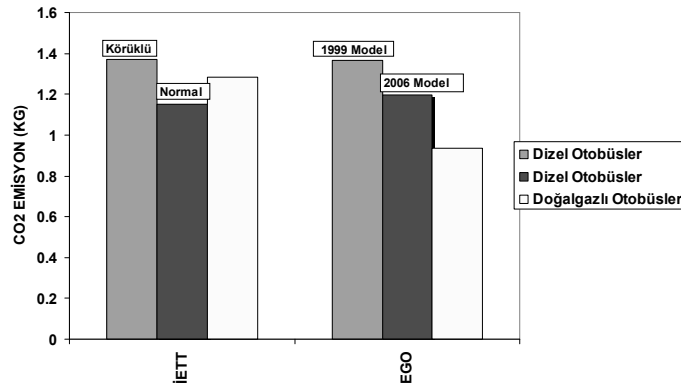
Ankara EGO Genel Müdürlüğünden 3 tip otobüsün günlük yakıt tüketimleri alınıp, kilometre başına CO₂ ve maliyet hesapları yapıp, daha önce Hasanpaşa Garajı için yapılan değerlerle karşılaştırılmıştır. EGO Genel Müdürlüğünden 1999 ve 2006 model dizel otobüslerin günlük yakıt tüketimleri ile 2007 yılına ait doğalgazlı otobüslerin günlük yakıt tüketimleri alınmıştır.

Tablo 2. 100 km'deki yakıt tüketim değerleri

	Otobüs Türleri	Motorin	Doğalgaz
		lt 100 km ⁻¹	m ³ 100km ⁻¹
İETT	Körüklü Otobüsler	50,20	
	Normal Otobüsler	42,10	
	Çift Yakıtlı Otobüsler	32,25	21,80
EGO	1999 Model	49,95	
	2006 Model	43,78	
	2007 Model CNG		50,73

Yukarıdaki tabloda araçların 100 km de tükettikleri yakıtlar hesaplanıp, gösterilmiştir. İETT'nin körüklü otobüsleri 100 km de 50,20 lt motorin tüketirken, EGO'nun 1999 model otobüsleri 49,95 lt motorin tüketmektedir. Yani körüklü otobüsler daha ağır olmasına ve daha çok yolcu taşımaya rağmen 1999 model otobüslerle hemen hemen aynı yakıtı tüketmektedir. Yine İETT'nin normal dizel otobüsleri de EGO'nun otobüslerinden daha az yakıt tüketmektedir. İETT'nin çift yakıtlı otobüsleri 100 km de 32,25 lt motorin ile 21,80 m³ doğalgaz tüketirken, EGO'nun sadece doğalgazla çalışan otobüsü 50,73 m³ doğalgaz tüketmektedir. Bu otobüslerin yolcu sayıları aynı mertebededir.

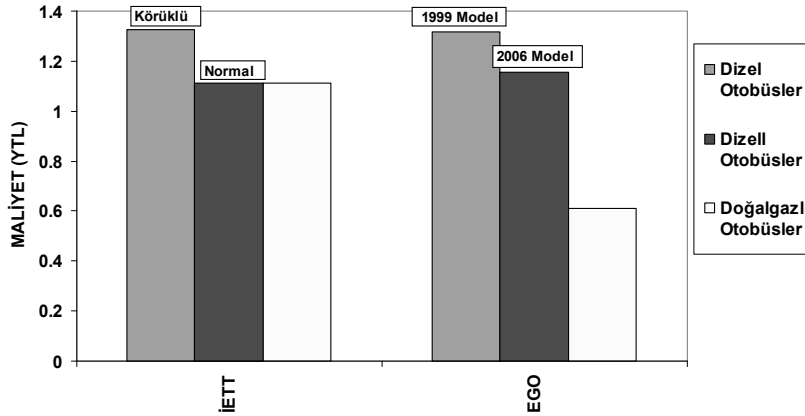
OTOBÜSLERİN 1 KM'DE ÇIKARTTIKLARI CO₂ EMİSYONLARI



Şekil 5. Otobüslerin kilometre başına çıkarttıkları CO₂ emisyonları

Otobüslerin kilometre başına çıkarttıkları CO₂ emisyonları Şekil 5’de gösterilmiştir. En başta gösterilen sütunlardan İETT için olanı körüklü dizel otobüsleri, EGO için olanı ise 1999 model dizel otobüslerin CO₂ emisyonlarını göstermektedir. İETT’nin körüklü otobüsleri kilometre başına yaklaşık 1,37 kg CO₂ emisyonu çıkarırken, EGO’nun 1999 model otobüsleri kilometre başına yaklaşık 1,36 CO₂ emisyonu çıkarmaktadır. İETT’nin körüklü otobüslerinin daha ağır ve daha çok yolcu taşıdığı düşünülürse EGO’nun 1999 model otobüslerinden daha çevreci olduğu görülmektedir. İETT’nin normal dizel otobüsleri ise kilometre başına yaklaşık 1,15 kg CO₂ emisyonu çıkarırken, EGO’nun 2006 model otobüsleri yaklaşık aynı miktarda, (1,19 kg) CO₂ emisyonu çıkarmaktadır. Doğalgazlı otobüslerde ise, açıkça görülmektedir ki; sadece doğalgazla çalışan EGO’nun doğalgazlı otobüsleri, çift yakıtla çalışan İETT’nin hem dizel hem doğalgazla çalışan çift yakıtlı otobüslerinden daha az CO₂ emisyonu vermektedir. İETT’nin çift yakıtlı otobüsleri 1,28 kg CO₂ emisyonu çıkarırken, EGO’nun doğalgazla çalışan otobüsleri yaklaşık 0,93 kg CO₂ emisyonu çıkarmaktadır.

OTOBÜSLERİN 1 KM'DE TÜKETTİKLERİ YAKITIN MALİYETİ



Şekil 6. Otobüslerin kilometre başına tükettikleri yakıtın maliyeti

Yukarıdaki grafikte de emisyondaki benzer durum görülmektedir. Hem İETT’de hem de EGO’da dizel otobüsler birbirine yakın maliyetlerle çalışmaktadır. Doğalgazlı otobüslerde ise EGO’nun sadece doğalgazla çalışan otobüslerinin, İETT’nin çift yakıtlı otobüslerine göre yarı yarıya maliyet çıkardığı görülmektedir. Bu iki grafikten çıkan sonuç, doğalgazın hem maliyet açısından hem de emisyon açısından motorine oranla daha iyi bir yakıt olduğudur.

TAKİP ARACI YÖNTEMİ İLE OTOBÜS SEYİR ÇEVİRİMİNİN ÇIKARTILMASI

Çalışmanın bu kısmında Matlab programı yardımıyla hesaplanan yakıt tüketiminden hareketle IPCC birinci yöntemi kullanılarak karbon dioksit emisyonları hesaplanacaktır. Daha sonra modelleme çalışması ile bu hesaplar karşılaştırılacaktır. Bu hesaplamalardaki amaç teknik özellikleri aynı olan bir taşıt bir doğalgaz bir de diesel motoru ile tahrik ediliyormuş gibi düşünülüp yakıt tüketimi sonuçları elde etmek ve çıkan sonuçlardan doğalgaz ve motorin kullanımının karbondioksit emisyonları üzerine etkisini incelemektir.

Hesaplama yapılacak olan taşıtın özellikleri Tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo 3. Ikarus 260.25 taşıtının teknik özellikleri

Aracın Boş Kütlesi		10300 (kg)						
Faydalı yük		5600 (kg)						
Aks Yükleri		Ön			Arka			
		5900 (kg)			10000 (kg)			
Yolcu kapasitesi		97+1 (kişi)						
		11.00R-20 STC						
Tekerlek yarıçapı		0,5 m						
Lastik Basınçları		Ön			Arka			
		7,25 (bar)			6,75 (bar)			
Jant boyutları		8,00-20''						
Yuvarlanma direnci katsayısı f_r		0,015						
Ön yüzey alanı A		8,5 m ²						
Rüzgâr direnç katsayısı C_w		0,65						
Vites	I	II	III	IV	V	VI	R	Diferansiyel
Vites Oranı	7,03	4,09	2,70	1,84	1,4	1,00	6,48	5,75
Dönen Küteller için atalet katsayıları	1,6	1,25	1,15	1,09	1,08	1,05		

Tablo 4. Karşılaştırmada kullanılacak motorların özellikleri

Motor	RABAMAN D 2156 HM6UT Diesel	Nonox Doğalgaz Motoru
Çalışma Prensibi	4 Stoklu, Direkt püskürtmeli, Aşırı doldurmalı	Buji Ateşlemeli
Strok/Çap	121/150 (mm mm ⁻¹)	145/132 (mm mm ⁻¹)
Sıkıştırma oranı	17:1	13,5:1
Hacim	10,5 litre	11,906 litre
Silindir sayısı	6	6
Çıkış gücü	155 (kW) / 2100 (d d ⁻¹)	300 (kW) / 1850 (d d ⁻¹)
Moment	819 Nm / 1600 (d d ⁻¹)	1780 Nm / 900 (d d ⁻¹)

Metodun Tanımı Ve Seyir Çevriminin Çıkarılması

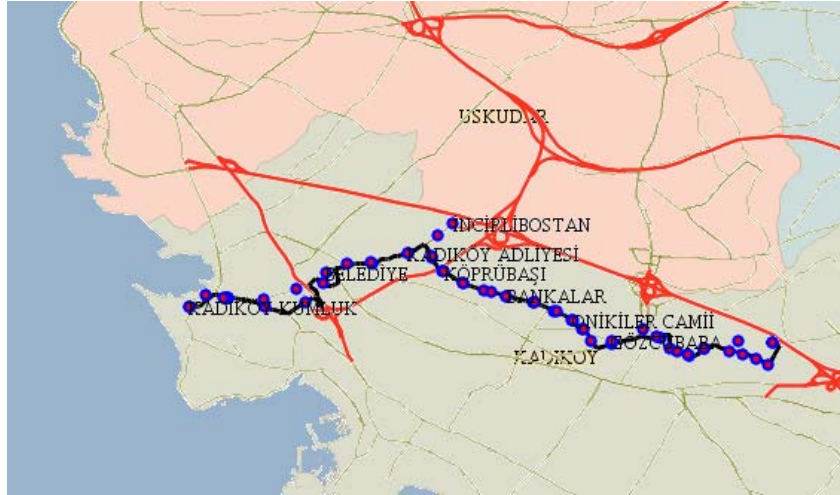
Belirli bir otobüs hattı boyunca, otobüsün trafikteki hareketi (hızı ve konumu), veri toplama sistemi ile donatılmış bir takip aracı (Chase car) tarafından izlenerek belirlenmiş ve bu verilerden yararlanılarak oluşturulan seyir çevrimi yardımı ile modellenmiştir. Otobüsün kullanımı sırasında diesel motorunun 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. Başlangıç noktası Kadıköy'dür. Otobüs son durağa kadar takip edilmiş ve son duraktan başlangıç noktası olan Kadıköy'e geri dönmüştür. Otobüs ivmelenirken ivmelenilmiş, duraklarda durduğunda ise durulmuştur. Gidiş-dönüş süresi yaklaşık bir buçuk saattir. Şekil 9'da otobüsün belirlenen gidiş-dönüş seyir çevrimi görülmektedir. Görüldüğü üzere aracın maksimum hızı 55 km saat⁻¹'dir. Otobüs önce

ivmelenmiş, sonra durağa gelirken yavaşlamış ve her durakta belli bir süre yolcu indirme-bindirme için beklemiştir. 3300 ile 3450 saniyeleri arası otobüs son durakta belli bir süre beklemiştir. Çevrim belirlenirken takip işlemi 4 kere tekrarlanmıştır.



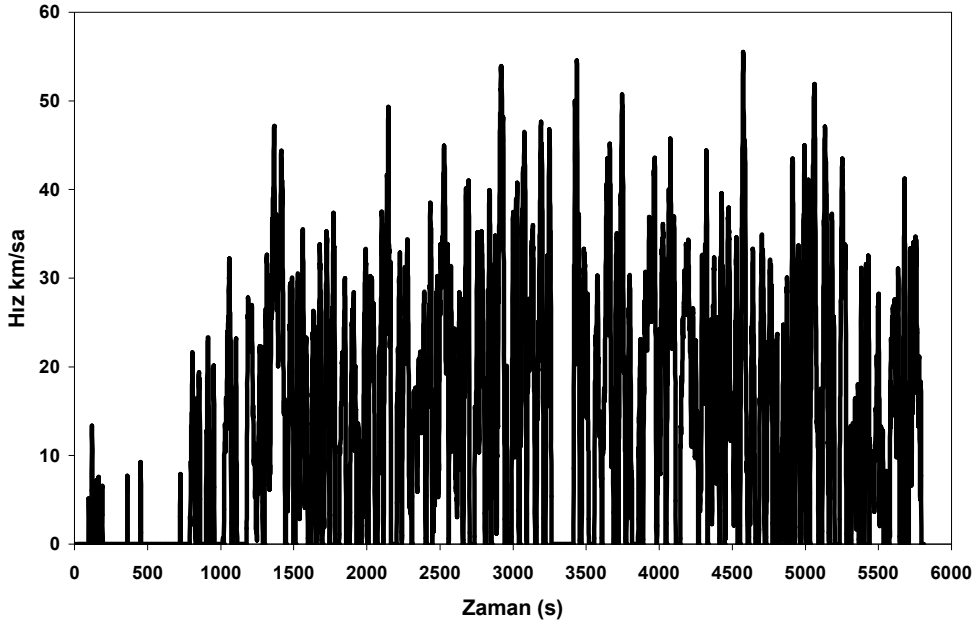
Şekil 7. Test aracı

Takip işlemi sırasında kullanılan araç şekil 7’de görülmektedir. 8-A hattının güzergâhı şekil 8’de görülmektedir.



Şekil 8. Takip edilen otobüsün güzergâhı

Otobüs Hız-Zaman Çevrimi



Şekil 9. Otobüs seyir çevrimi

DeneySEL Çalışma ile Modellemenin Karşılaştırılması

Çevrim boyunca her iki motorda 37,5 km yol kat etmişlerdir. Bu hat boyunca diesel tahrikli taşıt 14,19 kg yakıt tüketirken doğalgaz motoru 14,33 kg yakıt tüketmiştir (Tablo 5.). Bu değerler 100 km'de sırasıyla 44 litre motorin ve 56,2 m³ doğalgaza denk gelmektedir. Çıkarıdıkları karbon dioksit emisyonlarına bakıldığında diesel tahrikli otobüsün 45,08 kg, nonox doğalgaz motorunun ise 38,80 kg karbon dioksit çıkardıkları hesaplanmıştır. Yapılan karşılaştırmaya göre doğalgazlı motor diesel Raba Man motoruna göre yaklaşık %16,1 oranında daha az karbon dioksit emisyonu oluşturmaktadır. Bu sonuçlara göre doğalgaz motorunun diesel motoruna göre yaklaşık olarak %72,24 oranında daha az maliyetli olduğu görülmektedir.

Tablo 5. Diesel ve doğalgaz motorunun çevrim boyunca karşılaştırılması

Motor Cinsi	Yapılan Toplam Yol (km)	Tüketilen Toplam Yakıt (kg)	Tüketilen Yakıt	Toplam CO ₂ Emisyonu (kg)	Maliyet (YTL)
Raba Man Diesel Motoru	37,5	14,19	44,00 (litre 100 km ⁻¹)	45,08	43,56
Nonox Doğalgaz Motoru	37,5	14,33	56,20 (m ³ 100 km ⁻¹)	38,80	25,29

2006 yılında yapılan modellemeye göre Avrupa çevrimine benzer bir çevrim üzerinden sürücü davranışları, aracın hızlanma ve yavaşlama ivmeleri, yokuş dirençleri tahmin edilerek otobüsün yakıt tüketimi ve karbondioksit emisyonları hesaplanmıştır. Modelde seyir çevriminin her saniyede hızının bilindiğine göre aracın toplam çevrim oranlarından ve

tekerlek yarıçapından da yaralanılarak her saniyedeki devir sayısı hesaplanmıştır. Aynı şekilde hareket dirençlerinden ve hızdan yoldan çıkarak motordan çekilen güce birim zamanda ulaşılmıştır. Ortalama efektif basınç gücü, hız, devir ve motor hacmi kullanılarak hesaplanır. Motorların yakıt tüketim eğrileri (motor yumurta eğrileri) ortalama efektif basınca ve motor devrine bağlı grafiklerdir. Bu grafikler küçük karelere bölünüp yakıt tüketim modelinin içine yerleştirilir. Her noktadaki özgül yakıt tüketimi küçük karelere bölünmüş grafikten g/kWh olarak okunur. Bu okunan değer daha önce bulunan güç değerine zaman aralığı ile çarpılarak her saniyedeki yakıt tüketimi gram cinsinden bulunmaktadır. Bulunan değerler toplanarak toplam yakıt tüketimine ulaşılmaktadır. (Diler, 2006)

Tablo 6'da bu modelleme ile takip aracı yöntemi yapılan deneysel çalışmanın karşılaştırılması verilmektedir.

Tablo 6. Kilometre başına CO₂ ve maliyet karşılaştırmaları

Motor Cinsi	Yapılan Yol (km)	Tüketilen Yakıt (gram)	Tüketilen Yakıt	CO ₂ Emisyonları (gram)	Maliyet (YTL)
Raba Man Diesel Motoru	1	378	44,00 (litre 100 km ⁻¹)	1200	1,16
Nonox Doğalgaz Motoru	1	382	56,20 (m ³ 100 km ⁻¹)	1030	0,67
Raba Man Diesel Motoru (Modelleme)	1	390	45,6 (litre 100 km ⁻¹)	1250	1,20
Nonox Doğalgaz Motoru (Modelleme)	1	410	61 (m ³ 100 km ⁻¹)	1112	0,73

Yukarıdaki tablolara bakıldığında deneysel çalışmanın teorik çalışmaya göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

SONUÇLAR

Dünyayı tehdit eden en büyük unsurlardan biri küresel ısınmadır. Özellikle son yıllarda küresel ısınma sorunu daha çok kendini göstermiştir. Türkiye'de de, özellikle bu sene, küresel ısınmanın etkileri belirgin bir biçimde ortaya çıkmaya başlamıştır. . Bu etkiler en çok da büyük kentlerde kendini göstermiştir. Aşırı sıcaktan barajların kurumması ve susuzluk, insanların sağlığını ve sosyal yaşantılarını olumsuz etkilemiştir. Tüm bunlara atmosferdeki sera gazlarının artışı neden olduğu iddia edilmektedir. Özellikle CO₂ gazı küresel ısınmayı en çok etkileyen gazdır.

Şehir havasının daha temiz tutulması ve trafik yoğunluğunun azalması için toplu taşımacılığın kullanımı özendirilmektedir. Çoğu toplu taşıma filosu da dizel tahrikli otobüslerden oluşmaktadır. Bu otobüslerin doğalgazlı otobüslere dönüştürülmesi, CO₂ emisyonu açısından ciddi getiriler sağlayabilir.

Bu sonuçların ışığı altında doğalgazlı motorun karbondioksit emisyonları açısından ve dolayısıyla küresel ısınma sorunu açısından dizel motora göre oldukça yararlı olduğu görülmektedir. Çift yakıtlı sistemin istenilen düzeyde bir yarar sağlamamasına karşılık sadece doğalgazı yakıt olarak kullanan motorlarda hem karbondioksit emisyonlarında hem de yakıt maliyetinde büyük kazançlar ortaya çıkmaktadır. Ayrıca doğalgazlı motor dizel eşdeğerine göre, doğalgazın fiyatının düşük olmasından dolayı çok daha az maliyetlidir. Şehir içi toplu taşımacılıkta kullanılan otobüsler için sıkıştırılmış doğalgaz en potansiyelli alternatif yakıt olarak görülmektedir. Fosil kökenli yakıtlar arasında en ucuzu ve karbondioksit emisyonları açısından en avantajlı yakıt doğalgazdır. Doğalgazla çalışan belediye otobüslerinin kullanımı hem yakıt maliyeti açısından hem de CO₂ emisyonları açısından önemli bir avantaj getirebilir.

Çalışmanın bir sonraki aşamasında bir otobüsün üzerine GPS ile veri toplama sistemi yerleştirilerek toplanacak verilerin takip aracı ile kaydedilen verilerle ilişkisi saplanacaktır. Böylece takip aracı yöntemi ile GPS ile veri toplama sistemi arasındaki farklarda ortaya konulabilecektir.

TEŞEKKÜRLER

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

KAYNAKLAR

Balat, M. Status of Fossil Energy Resources: A Global Perspective, *Energy Sources, Part B*, 2, 31- 47, 2007

Diler, A. Şehir İçi Toplu Taşımacılıkta Kullanılan Otobüslerde, Doğalgaz Kullanımının Karbondioksit Emisyonlarına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 2006

IPCC. Revised 1996 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, IPCC, 1997

IPCC. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, IPCC, 2000

Kutlar, A., Ergeneman, M. ve Arslan H. Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler, Birsen Yayınevi, İstanbul 1998

Tektanıl, M. Toplu Taşımadaki Doğalgazlı Otobüslerin Karbondioksit Emisyonlarına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 2008

Tunç, İ., Türüt, S. ve Akbostancı E. CO₂ vs CO₂ Responsibility: An Input-Output Approach for Turkish Economy, *Energy Policy, Elsevier*, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Ekonomi Bölümü, 2006