

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AĞIR TİCARİ ARAÇLARDA YAKIT TÜKETİMİNİN  
MODELLENMESİ VE DOĞRULANMASI**

**AKIN ATAY**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ENERJİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
DOÇ. DR. MUAMMER ÖZKAN**

**İSTANBUL, 2011**

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AĞIR TİCARİ ARAÇLARDA YAKIT TÜKETİMİNİN**  
**MODELLENMESİ VE DOĞRULANMASI**

Akın ATAY tarafından hazırlanan tez çalışması 30.09.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Doç. Dr. Muammer ÖZKAN  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Doç. Dr. Muammer ÖZKAN  
Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Prof. Dr. Ertuğrul ARSLAN  
İstanbul Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Yrd. Doç. Dr. Tarkan SANDALCI  
Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

## ÖNSÖZ

---

Günümüz ağır ticari araçları her geçen gün yakıt tüketimlerini ve egzost emisyonlarını düşürmek adına yeni teknolojiler ile donatılmaktadır. Bu teknolojilerin yanında sürücülerin eğitim seviyelerinde yükseltilmesi ve bilinçli araç kullanılması ile bahsi geçen değerler daha da iyileştirilmektedir. Çalışma sırasında filusunda deneysel çalışma imkanı sağlayan DemTrans nakliye şirketine, deney cihazlarının teknik desteğini sağlayan ve yazılım desteği sağlayan Goblin yazılım şirketine, motor testlerinin gerçekleştirilmesinde destek sağlayan Borusan Makine ve DAF-Tırsan Otomotiv A.Ş.'ye ve çalışmalarım sırasında desteğini esirgemeyen Sn. Hocam Doç. Dr. Muammer ÖZKAN' a tüm yardımlarından ötürü teşekkürü bir borç bilirim.

Ekim, 2011

Akın ATAY

## İÇİNDEKİLER

---

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTIMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ .....	1
1.1    Literatür Özeti .....	1
1.2    Tezin Amacı .....	9
1.3    Hipotez .....	9
BÖLÜM 2	
KULLANILAN MATERYAL VE YÖNTEM .....	10
2.1    Kullanılan Materyal .....	10
2.1.1    Motor Test Düzenegi.....	10
2.1.2    Test yakıtı.....	12
2.1.3    Test araçları teknik özellikleri.....	14
2.1.4    Araç üstü anlık veri toplama .....	15
2.1.4.1    FMS standartları.....	17
2.1.5    Güzergah özellikleri.....	19
2.2    Kullanılan yöntem.....	20
2.2.1    Yakıt tüketiminin modellenmesi .....	20
2.2.1.1    Yakıt tüketimi .....	20
2.2.1.2    Enerji kayıpları ve güç ihtiyacı .....	21
2.2.1.2.1    Yuvarlanma direnci ( $F_R$ ) .....	21
2.2.1.2.2    Yokuş direnci ( $F_s$ ).....	22
2.2.1.2.3    Hava direnci ( $F_L$ ) .....	22

2.2.1.2.4	İvme direnci ( $F_b$ ) .....	23
2.2.2	Aracın modellenmesi .....	24
2.2.3	Motorun modellenmesi .....	24
2.2.4	Aktarma organlarının modellenmesi.....	25
2.2.4.1	Kavrama .....	25
2.2.4.2	Şanzıman .....	25
2.2.4.3	Şaft .....	26
2.2.4.4	Diferansiyel .....	26
2.2.4.5	Tekerlek .....	27
2.2.5	DeneySEL çalışmalar .....	27
2.2.5.1	Motor testleri .....	27
2.2.5.2	Yol testleri .....	29
2.2.6	Yazılım çalışmaları .....	31
2.2.6.1	Programın akış şeması ve ara yüz görüntüleri .....	33
2.2.6.2	Doğrulama .....	36
2.2.6.2.1	Korelasyon .....	36
2.2.6.2.2	Ortalama karesel hata .....	36
2.2.6.2.3	Determinasyon katsayısı .....	37
2.2.6.2.4	Modelin doğrulama değerleri .....	38

### BÖLÜM 3

ÖLÇÜM SONUÇLARI ve PROGRAM ÇIKTILARI .....	40
--	----

3.1	Karşılatırmalı minimum yakıt tüketimleri .....	40
3.2	Sürüş dirençleri .....	43

### BÖLÜM 4

SONUÇ ve ÖNERİLER.....	45
------------------------	----

KAYNAKLAR.....	47
----------------	----

#### EK-A

ÖRNEK DOĞRULAMA VE TÜKETİM DEĞERLERİ.....	49
---	----

#### EK-B

ÖRNEK SİMÜLASYON TÜKETİM ÇIKTILARI.....	52
---	----

#### EK-C

ARAÇTAN TOPLANAN VERİ FORMATI.....	55
------------------------------------	----

#### EK-D

GÜZERGAH YÜKSELTİLERİ .....	55
-----------------------------	----

ÖZGEÇMİŞ .....	62
----------------	----

## SİMGE LİSTESİ

---

A	Projeksiyon alanı
app	Gaz pedal pozisyonu yüzdesi
$B_e$	Yakıt tüketimi
be	Özgül yakıt tüketimi
CD	Aerodinamik direnç katsayısı
epl	Motor yük yüzdesi
etfu	Kullanılan yakıt miktarı
es	Motor hızı
eth	Motor çalışma saati
$F_b$	İvme direnç katsayısı
$F_L$	Hava direnç kuvveti
$F_R$	Yuvarlanma direnç kuvveti
$F_S$	Yokuş direnç kuvveti
$fr$	Yuvarlanma direnç katsayısı
fr	Yakıt oranı
G	Ağırlık
hetfu	Yüksek çözünürlüklü kullanılan yakıt miktarı
hrvd	Araç odometresi
$I_t$	Toplam çevrim oranı
ifr	Anlık yakıt oranı
m	Taşıt kütlesi
$N_e$	Güç
Ne	Efektif motor gücü
R	Korelasyon katsayısı
S	Mesafe
t	Süre
VT	Seyir hızı
ws	Araç hızı
V	Araç hızı

$\alpha$	Eđim açısı
$\varphi$	İvme direnç katsayısı
$\rho_h$	Havanın özgül kütlesi
$\eta_m$	Mekanik verim
$\lambda$	Kütle atalet katsayısı
$\rho_h$	Hava yoğunluğu
$\varphi_m$	İvmelenme direnç katsayısı
$\frac{dV_T}{dt}$	İvme

## KISALTMA LİSTESİ

---

CAN	Control Area Network
CAN-Bus	Control Area Network Data Bus
EEC	European Economic Community
FMS	Fleet Management Systems Interface
GPS	Global Positioning System
GPRS	General Packet radio service
GSM	Global System for Mobile Communications
MATLAB	Matrix Laboratory
OKH	Ortalama karesel hata
PGN	Parameter Group Number
PTO	Power Take Off
TCP/IP	Transmission Control Protocol/ Internet Protocol
SAE	Society of Automotive Engineers
SMS	Short Message Service
SPN	Suspect Parameter Number



## ŞEKİL LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 1.1	Üç farklı tonaj grubunda yük-tüketim değişimi ..... 3
Şekil 1.2	Karayolu ve otopan çevrimlerinde üç farklı markanın yakıt tüketim değişimi .. 5
Şekil 1.3	Motor yakıt oranının ölçülen ve model arasındaki ilişki ..... 8
Şekil 2.1	Motor yakıt tüketimi ölçümü için test düzeneği ..... 10
Şekil 2.2	Dinamometre ölçüsel büyüklükleri ..... 11
Şekil 2.3	Motor test odası görüntüsü ..... 12
Şekil 2.4	Test araçları görünüşleri..... 14
Şekil 2.5	Cihaz bağlantıları..... 16
Şekil 2.6	Cihazdan PC' ye aktarılan datanın görüntüsü ..... 17
Şekil 2.7	Güzergah yükseltilerinin grafiği ..... 19
Şekil 2.8	Deney güzergahı uydu ve yol görüntüsü ..... 19
Şekil 2.9	Araç üzerine etkiyen dirençler..... 24
Şekil 2.10	Araç aktarma organlarının yerleşimi ..... 25
Şekil 2.11	Araç şanzımanın kısımları ..... 26
Şekil 2.12	Motor test yazılımı kullanıcı ekranı..... 28
Şekil 2.13	Motor testleri sonucunda oluşturulan özgül yakıt tüketim haritası ..... 28
Şekil 2.14	Boş seferlerde aracın anlık hız değişimleri..... 29
Şekil 2.15	Dolu seferlerde aracın anlık hız değişimleri..... 30
Şekil 2.16	Dolu seferlerde aracın anlık yakıt tüketimi ..... 30
Şekil 2.17	Boş seferlerde aracın anlık yakıt tüketimi ..... 31
Şekil 2.18	Programın doğrulama akış şeması ..... 33
Şekil 2.19	Programın minimum yakıt akış şeması ..... 34
Şekil 2.20	Programın arayüz görüntüleri ..... 35
Şekil 2.21	Korelasyon katsayısı yakınsama değerleri i ..... 37
Şekil 2.22	Ölçülen ve hesaplanan anlık tüketim dağılımı ..... 38
Şekil 2.23	Örnek doğrulama için yakıt tüketim değerleri..... 39
Şekil 3.1	Seferlerin ölçülen ve elde edilebilecek minimum yakıt tüketimleri..... 40
Şekil 3.2	Toplam ağırlığın yakıt tüketimi üzerine etkisi ..... 41
Şekil 3.3	Hava direnç değişkenlerine göre yakıt tüketim değişimi ..... 42
Şekil 3.4	Hava direnç değişkenlerine göre yakıt tüketim değişimi ..... 42
Şekil 3.5	Seyir simülasyonunda anlık güç ihtiyacının dağılımı..... 43
Şekil 3.6	Seyir simülasyonunda anlık güç ihtiyacının yüzde dağılımı ..... 44
Şekil 3.7	Örnek bir sefer için hızdeğişimleri optimum vites kademeleri ..... 44

## ÇİZELGE LİSTESİ

---

	Sayfa
Çizelge 1.1	Tam eğitimli sürücü grubunun her bir testteki yakıt sarfiyatı, fren uygulama ve vites kademe değiştirme sayılarının ortalaması ve standart sapması..... 2
Çizelge 1.2	Yük miktarının ton başına yakıt tüketimine etkisi..... 5
Çizelge 1.3	Yol kaplama tiplerine göre yakıt tüketiminin değişimi ..... 7
Çizelge 2.1	Motor test düzeneğinde ölçülen değerler..... 12
Çizelge 2.2	Motorin yakıtının EN 590' a göre özellikleri ve test yöntemleri..... 13
Çizelge 2.3	Çekici aracın teknik özellikleri..... 15
Çizelge 2.4	Araç üzerinden toplanan veriler, sıklık ve büyüklükleri ..... 17
Çizelge 2.5	FMS verilerinin PGN ve SPN değerleri ile yayınlanma sıklığı..... 18
Çizelge 2.6	Çeşitli tip araçların ortalama yuvarlanma direnç katsayıları ..... 22
Çizelge 2.7	Çeşitli marka çekici araçların hrsaplanmış CD değerleri ..... 23
Çizelge 2.8	Doğrulama karşılaştırma değerleri ..... 38
Çizelge 2.9	Doğrulama seferlerine ait yakıt tüketim değerleri ..... 39
Çizelge 3.1	Örnek sefere ait araç özellikleri ve simülasyon parametreleri..... 43

**AĞIR TİCARİ ARAÇLARDA YAKIT TÜKETİMİNİN  
MODELLENMESİ VE DOĞRULANMASI**

Akın ATAY

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mammer ÖZKAN

Avrupa Birliği (AB) üye ülkeleri, ekonomik, sosyal ve kültürel gelişmeler yanında teknik alanlarda da bütünleşme çabaları Hava kirliliği metropoliten kentlerin en ciddi problemlerinden biridir. Hava kirliliği ve doğal kaynaklardaki azalmanın büyük tehdit haline geldiği günümüzde üretici firmalar hergün araçların yakıt tüketimlerini düşürmek adına araştırma ve geliştirme çalışmalarına tüm hızıyla devam etmektedir.

İçten yanmalı motorlarda gün geçtikçe eksoz emisyon değerlerinde düşüş kaydedilmektedir. Bunun yanında kullanım karakteristiğinin de yakıt tüketimi ve eksoz emisyonlarına etkisi yadsınamayacak kadara fazladır. Özellikler ağır ticari araçlar gerek motor hacimlerinin büyüklüğü gerekse uzun çalışma saatleri sebebiyle yüksek yakıt sarfiyatı ve emisyon değerlerine sahiptir.

Bu çalışmada ağır ticari araç filolarına ve firmalarına yakıt tüketimlerini azaltmak adına kullanıma uygun araç seçimi ve doğru araç kullanımı tavsiyelerini belirlemek amacıyla, belirli bir güzergahta çalışan 50 araçlık bir filonun yakıt tüketimleri araştırılmış ve güzergah ve araç özelliklerine göre araçların yakıt tüketimleri modellenmiştir. Model, araç üzerinden elektronik olarak kaydedilen gerçek tüm araç verileri ve yakıt tüketim verileri ile karşılaştırılıp doğrulaması yapılmıştır.

Sonuç olarak filodaki araçlar için araç teknik özellikleri değiştirilerek simulasyon programında değiştirildi. Elde edilebilecek minimum yakıt tüketimleri hesaplandı ve gerçek tketimlerle karşılaştırıldı. Ayrıca sürücüler için sürüş tavsiyeleri elde edildi.

**Anahtar kelimeler:** Ağır ticari araçlar, yakıt tüketiminin modellenmesi, dizel motorlar.

**MODELLING HEAVY-DUTY VEHICLE FUEL CONSUMPTION AND  
VALIDATION OF MODEL**

Akın ATAY

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Muammer ÖZKAN

European Union (EU) member countries are thriving to unify in economical, social, and cultural fields as well as in technical developments, yet air pollution is one of the most serious issues of metropolitans. Air pollution and diminishing of natural resources have become a big threat and producer companies are putting research and development studies in full force in order to decrease the oil consumption of vehicles every day. In internal combustion engines, exhaust emission values are getting lower. On the other hand, usage characteristic also has an undeniable effect on fuel consumption and on exhaust emissions. Especially heavy machinery and commercial vehicles have high fuel consumption and emission values due to their long operating hours and vast engine sizes.

In this study, fuel consumption of a 50-vehicle fleet operating on a certain route has been reviewed and fuel consumptions of vehicles have been modeled based on route and vehicle characteristics, in order to decrease the fuel consumption of heavy commercial vehicle fleets and companies, and to identify suggestions for choosing the correct vehicle for the job and correct vehicle usage. The model has been formed by compiling all the real data recorded electronically on the vehicles and have been validated by comparison to fuel consumption of the same vehicles.

As a result, appropriate powertrain units for the vehicles in the fleet have been resized with the simulation program. Modeled fuel consumption compared with measured values. And suggestions for the drivers have been made regarding correct usage.

**Keywords:** Heavy-duty vehicles, modelling fuel consumption, diesel engines.