



NEDC ve WLTC SÜRÜŞ TESTLERİ ÜZERLERİNDEKİ CO₂, NO_x
EMİSYONLARI İLE YAKIT TÜKETİMİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ

Kadir YILDIRIM



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NEDC ve WLTP SÜRÜŞ TESTLERİ ÜZERLERİNDEKİ CO₂, NO_x
EMİSYONLARI İLE YAKIT TÜKETİMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

KADİR YILDIRIM

Orcid No: 0000-0002-9791-0144

Prof. Dr. İHSAN KARAMANGİL

Orcid No: 0000-0001-5965-0313

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FEN BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

BURSA - 2019

TEZ ONAYI

Kadir YILDIRIM tarafından hazırlanan "NEDC ve WLTP SÜRÜŞ TESTLERİ ÜZERLERİNDEKİ CO₂, NO_x EMİSYONLARI İLE YAKIT TÜKETİMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. M.İhsan KARAMANGİL
Orcid No:0000-0001-5965-0313

Üye : Prof. Dr. M.İhsan KARAMANGİL
Orcid No: 0000-0001-5965-0313

Üye : Prof. Dr. Ali SÜRMEŒ
Orcid No: 0000-0002-1045-6779

Üye : Prof. Dr. Hakan GÖKDAĞ
Orcid No: 0000-0003-3070-6365

İmza
İmza
İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Akşel EREN
Enstitü Müdürü

.././....

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

.././....

Kadir YILDIRIM

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

NEDC ve WLTC SÜRÜŞ TESTLERİ ÜZERLERİNDEKİ CO₂, NO_x EMİSYONLARI İLE YAKIT TÜKETİMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Kadir YILDIRIM

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İhsan KARAMANGİL

Kirletici emisyonların sağlık ve çevre üzerindeki etkisi zamanla büyük bir problem haline gelmiştir. İnsanoğlu son yüzelli yıldan fazla sürede atmosferdeki sera gazlarının artışının neredeyse hepsinden sorumludur. Sera gazlarının oluşumunda ulaşım sektörünün azımsanmayacak bir payı bulunmaktadır.

Avrupa komisyonu hafif otomobiller için Dünya Çapında Test Döngüsü (WLTC) ve buna karşılık gelen test prosedürü (WLTP) hakkındaki gelişmelerin içinde aktif olarak yer almış ve bunları avrupa tipi onaylı prosedürü olarak kullanımına başlamıştır.

Uzun çabalardan sonra (Birleşmiş Milletler Avrupa için Ekonomi Komisyonu) UNECE-WP29 tarafından (Küresel Teknik Yönetmelikler) GTR15 olarak yayımlanan WLTP, hafif ticari araçların yakıt tüketimi ve CO₂ emisyonunu belirlemek için tasarlanmıştır. Gerçek sürüş şartlarını daha iyi yansıtan bu test prosedürü 2017 Ekim ayından itibaren geçerli olmak üzere 2020 yılı itibariyle NEDC olarak anılan eski prosedürün yerini tamamen alacaktır.

Bu çalışmanın amacı, NEDC (New European Driving Cycle) ve WLTC (Worldwide Light-duty Test Cycle) olarak anılan farklı sürüş döngüleri kullanılarak yakıt tüketimi, CO₂ ve NO_x performanslarını değerlendirmektedir.

2017 Eylül ayından itibaren CO₂ emisyonları ve yakıt tüketimi konusunda zorunlu hale gelen WLTP ile yakın gelecekte eski versiyon olacak olan NEDC test döngüsü arasındaki kıyaslanabilir farkları rakamlar ile anlamak için ve analiz edildi.

Euro-4 emisyon standartlarına sahip olan her iki araç ta aynı aktarma organlarına sahip olup, 5 ileri manuel vitesli, 1.3L doğal emişli dizel motoruna ancak farklı yol yüklerine neden olan farklı şasi karakteristiklerine sahiptirler. Her iki araç hem NEDC hem de WLTC döngüleri için MATLAB programı ile matematik olarak modellendi.

Sonuçlar gösteriyor ki her bir teknolojinin CO₂, NO_x ve yakıt tüketimi üzerindeki etkileri NEDC ve WLTP döngülerinin farklı karakteristiklere sahip olmaları nedeniyle farklıdır. Örneğin, NEDC test döngüsünün CO₂, NO_x emisyonları ile yakıt tüketimi değerleri üzerindeki durk-kalk etkisi, WLTC'ye kıyasla daha uzun rölanti süresine sahip olması nedeniyle fazladır.

Anahtar Kelimeler: Sürüş Çevrimi (NEDC, WLTC), İçten Yanmalı Motor, Yakıt Tüketimi, Egzoz Emisyonu, Modelleme

2019, x+67 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

EVALUATION CO₂, NO_x EMISSIONS WITH FUEL CONSUMPTION OVER NEDC
and WLTC CYCLES

Kadir YILDIRIM

Bursa Uludağ Üniversitesi
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Automotive Engineering

Supervisor: Prof. Dr. İhsan KARAMANGİL

Pollutant emissions effect becomes a great problem on health and environment in progress of time. Humankind activities are responsible for increase in greenhouse gasses in the atmosphere over the last 150 years. Transportation sector substantially has a place in formation of the greenhouse gasses. The European Commission has been actively involved in development of the World-wide harmonized Light duty Test Cycle (WLTC) and corresponding Test Procedure (WLTP) and started to introduce them in the European type approval (TA) procedure.

After significant efforts, namely WLTP new test procedure was designed to check fuel consumption and CO₂ emission was issued by UNECE-WP29 as GTR15. This test procedure, which is more representative real driving conditions, is valid from 2017 September and will be replaced entirely NEDC driving cycle by year of 2020.

The aim of this study is to evaluate fuel consumption, CO₂ and NO_x performances by using different driving cycles which is referred to as WLTP and NEDC.

It was analysed in order to understand with values comparable differences between WLTP, which has been mandatory regarding CO₂ emission and fuel consumption and NEDC.

However, in order to see beneficial effect of "Cut-off", "Stop&Start" and Regenerative Braking technologies which are adapted in system, are evaluated.

Both cars have same power-train, also have 5 gears manual transmission 1.3L naturally aspirated diesel engine, but different chassis characteristics, that give rise to different coast down coefficient and road loads. These two vehicles were mathematically modelled with MATLAB programme for both NEDC and WLTC cycles.

The results show that the influences of each technology over CO₂, NO_x emissions and fuel consumption are different between NEDC and WLTP, owing to different characteristics of each cycle. For instance, the effect of start-stop over CO₂, NO_x emissions and fuel consumption values are larger in NEDC, due to longer idling periods compared to WLTP.

Keywords: Driving Cycle (NEDC, WLTC), Internal Combustion Engine, Fuel Consumption, Exhaust Emission, Modelling

2019, x+67 pages

ÖNSÖZ VE/VEYA TEŞEKKÜR

Hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen annem Şenel Esen'e ve ailemin diğer üyelerine, yüksek lisans eğitimim boyunca akademik anlamda örnek olup yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. İhsan Karamangil'e teşekkür ederim.

Kadir YILDIRIM

.././....



İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ VE/VEYA TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1 GİRİŞ	1
2 KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1 Sürüş Çevrimleri	3
2.2 Araç Enerji Analizi	5
2.2.1 Hareket Denklemleri	6
2.2.2 İleri ve Geri Modelleme Yaklaşımları	7
2.2.3 Enerji Dengesi	8
3 MATERYAL ve YÖNTEM	11
3.1 Metodoloji	11
3.2 Test Kütleleri	16
3.3 Vites Mekanizması Profili	17
3.4 Manuel Vitesli Araçlardaki Vites Değişim Noktalarının Değerlendirilmesi ve Seçimi	17
3.4.1 Gerekli Data ve Hesaplamalar	17
3.5 YAKIT TÜKETİMİ TEST PROSEDÜRÜ	21
4 BULGULAR	22
4.1 Güç Profilleri	27
4.2 NEDCAraç-1 ve Araç-2 Mekanik ve Geri Kazanımlı Frenleme Gücü . . .	27
4.3 WLTC Araç-1 ve Araç-2 Mekanik ve Geri Kazanımlı Frenleme Gücü . .	28

4.4	Kümülatif Enerji İhtiyacı	29
4.5	Kümülatif Frenleme Enerjisi	30
4.6	Kümülatif Yakıt Tüketimi	31
4.7	Kümülatif NO _x Emisyonu	32
4.8	Anlık Yakıt Tüketimi	33
4.9	Yakıt Tüketimi Haritası	34
4.10	NO _x Haritası	35
4.11	Net Kuvvet Hız Profili	36
4.12	Çekiş Kuvveti	37
4.13	Yakıt Kesme	38
4.14	Dur-Kalk Stratejisi	41
4.15	Enerji Dengesi	44
5	SONUÇ	45
	KAYNAKLAR	47
	EK1	48
	EK2	51
	EK3	57
	ÖZGEÇMİŞ	67

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar	Açıklama
NEDC	Yeni Avrupa Sürüş Döngüsü
WLTP	Hafif Otomobiller için Dünya Çapında Test Prosedürü

Simgeler	Açıklama
ρ	Havanın yoğunluğu [kg/m^3]
J_w	Lastik atalet kuvveti [kgm^2]
J_e	Motor atalet kuvveti [kgm^2]
m_e	Etkin araç kütlesi [kg]
m_a	Aracın anma kütlesi [kg]
m_v	Aracın Kütlesi [kg]
τ_d	Differensiyel Dişli Oranı [–]
τ_g	Dişli Oranı [–]
V	Motor hacmi [cm^3]
η	Dişli Verimi [-]
ω_e	Motor açısal hızı [rad/s]
ω_w	Tekerlek açısal hızı [rad/s]
R	Tekerlek yarıçapı [mm]
v	Araç Hızı [km/h]
F_R	Toplam Direnç Kuvveti [N]
F_Y	Yuvarlanma Direnci [N]
F_A	Aerodinamik Direnç Kuvveti [N]
F_G	Eğim Kuvveti [N]
F_N	Normal Kuvvet [N]
F_a	Atalet Kuvveti [N]
F_T	Çekiş Kuvveti [N]
W_T	Toplam Ağırlık [N]
α	Eğim Açısı [$^\circ$]
A	Araç Ön Yüzey Alanı [m^2]
F_0	Sabit Yol Yüğü Katsayısı [N]
F_1	Doğrusal Yol Yüğü Katsayısı [$N/(km/h)$]
F_2	İkinci Dereceden Yol Yüğü Katsayısı [$N/(km/h)^2$]
c_d	Aerodinamik Sürüklenme Direnci [–]

E_m	Mekanik Enerji [$kJ/(km)$]
E_F	Faydalı Fren Enerjisi [$kJ/(km)$]
μ_r	Yuvarlanma direnci katsayısı [–]
FÖYT	Fren Özgül Yakıt Tüketimi [g/kWh]
l_{100km}	100 kilometredeki yakıt tüketimi
km_{top}	Toplam kat edilen mesafe [km]
y_{top}	Toplam yakıt tüketimi [g/km]
ρ_y	Havanın yoğunluğu [kg/m^3]
$NO_{x_{top}}$	Toplam NO_x emisyonu [g]
NO_{x_s}	Özgül NO_x emisyonu [g/km]
M_{CO_2}	CO_2 molekül ağırlığı [$kg/kmol$]
M_{CO}	CO molekül ağırlığı [$kg/kmol$]
M_{HC}	HC molekül ağırlığı [$kg/kmol$]
M_y	Yakıt molekül ağırlığı [$kg/kmol$]
TM_{NEDC}	NEDC test kütlesi [kg]
TM_{WLTC}	WLTC test kütlesi [kg]
m_U	Yüksüz araç kütlesi [kg]
m_{RO}	Aracın çalışma sırasındaki kütlesi [kg]
m_O	Opsiyonel kütle [kg]
MVL	Maksimum yok yükü [kg]
ϕ	Araç Sınıfına Göre Araç Yükünün Yüzdesi [%]
RM_H	En ağır referans kütle [kg]
P_a	Üretici tarafından tanımlanan maksimum motor gücü [kW]
n_a	Maksimum motor gücünün karşılık geldiği motor devri [d/d]
n_r	Motor rölanti devri [d/d]
n_{min}	Minimum motor hızı [d/d]
ng_{vmaks}	Aracın ulaştığı maksimum hızın vites aralığı [–]
$n_{maks-95}$	Anma gücünün %95'ine ulaşıldığı andaki maksimum motor devri [d/d]
P_T	Direnç ve atalet kuvvetini yenmek için gerekli güç [kW]
P_{av}	Her sürüş fazındaki mümkün olan bütün viteslerde motor tarafından sağlanan güç [kW]
P_{agk}	Açık gaz kelebeği durumundaki [kW]

ŞEKİLLER LİSTESİ

1	NEDC ve WLTP Zaman Yönetimi (Stellato ve Betti, 2018)	1
2	NEDC Hız Profili	3
3	WLTC Hız Profili	4
4	Aracın Üzerine Etkiyen Direnç Kuvvetleri	6
5	İleri Modelleme Yöntemi	7
6	Geri Modelleme Yöntemi	8
7	Aracın modellenmesi	11
8	Manuel Vitesli Yolcu Aracının Güç Aktarma Mekanizması	13
9	Dizel Yakıtın Egzoz Gaz Bileşenleri	15
10	Taşıt Test Ağırlığının ve Kademesiz Atalet Yaklaşımının Gösterimi Birleştirilmiş Gösterimi (Mock, 2011)	16
11	Maksimum Hızın En Yüksek Viteste Olduğu Durum	19
12	Maksimum Hızın En Yüksek İkinci Viteste Olduğu Durum	19
13	NEDC Hız Profili ve Vites Aralığı	22
14	WLTC Hız Profili ve Vites Aralığı	22
15	NEDC Test-Araç.1 ve Araç.2 Hız Profili	23
16	WLTC Test-Araç.1 ve Araç.2 Hız Profili	23
17	NEDC Çevrimi İvme Grafiği	24
18	WLTC Çevrimi İvme Grafiği	24
19	NEDC Test-Araç.1 ve Araç.2 Güç Profili	25
20	WLTC Test-Araç.1 ve Araç.2 Güç Profili	25
21	NEDC Test-Araç.1 ve Araç.2 Ortalama Efektif Basınç Grafiği	26
22	WLTC Test-Araç.1 ve Araç.2 Ortalama Efektif Basınç Grafiği	26
23	NEDC Test-Araç.1 Çekiş ve Geri Kazanımlı Frenleme Güç Profili	27
24	NEDC Test-Araç.2 Çekiş ve Geri Kazanımlı Frenleme Güç Profili	27
25	WLTC Test-Araç.1 Çekiş ve Geri Kazanımlı Frenleme Güç Profili	28
26	WLTC Test-Araç.2 Çekiş ve Geri Kazanımlı Frenleme Güç Profili	28
27	NEDC Test-Araç.1 ve Araç.2 Kümülatif Enerji İhtiyacı	29
28	WLTC Test-Araç.1 ve Araç.2 Kümülatif Enerji İhtiyacı	29
29	NEDC Test-Araç.1 ve Araç.2 Teorik Kümülatif Rejeneratif Frenleme Enerjisi	30

30	WLTC Test-Araç.1 ve Araç.2 Teorik Kümülatif Rejeneratif Frenleme Enerjisi	30
31	NEDC Test-Araç.1 ve Araç.2 Kümülatif Yakıt Tüketimi	31
32	WLTC Test-Araç.1 ve Araç.2 Kümülatif Yakıt Tüketimi	31
33	NEDC Test-Araç.1 ve Araç.2 Kümülatif NO _x Emisyonu	32
34	WLTC Test-Araç.1 ve Araç.2 Kümülatif NO _x Emisyonu	32
35	NEDC Test-Araç.1 ve Araç.2 Anlık Yakıt Tüketimi	33
36	WLTC Test-Araç.1 ve Araç.2 Anlık Yakıt Tüketimi	33
37	NEDC Test-Araç.1 ve Araç.2 Özgül Yakıt Tüketimi Haritası	34
38	WLTC Test-Araç.1 ve Araç.2 Özgül Yakıt Tüketimi Haritası	34
39	NEDC Test-Araç.1 ve Araç.2 Özgül NO _x Haritası	35
40	WLTC Test-Araç.1 ve Araç.2 Özgül NO _x Haritası	35
41	NEDC Test-Araç.1 ve Araç.2 Kuvvet-Hız Haritası	36
42	WLTC Test-Araç.1 ve Araç.2 Kuvvet-Hız Haritası	36
43	NEDC Test-Araç.1 ve Araç.2 Çekiş Kuvveti-Zaman Haritası	37
44	WLTC Test-Araç.1 ve Araç.2 Çekiş Kuvveti-Zaman Haritası	37
45	Araç.1 Yakıt Kesme Özelliğinin NEDC ve WLTC Üzerindeki Etkisi . . .	38
46	Araç.2 Yakıt Kesme Özelliğinin NEDC ve WLTC Üzerindeki Etkisi . . .	38
47	NEDC Test-Araç1. Kümülatif Yakıt Tüketimi [Normal ve Yakıt Kesme Modu]	39
48	WLTC Test-Araç1. Kümülatif Yakıt Tüketimi [Normal ve Yakıt Kesme Modu]	39
49	NEDC Test-Araç1. Kümülatif NO _x Emisyonu [Normal ve Yakıt Kesme Modu]	40
50	WLTC Test-Araç1. Kümülatif NO _x Emisyonu [Normal ve Yakıt Kesme Modu]	40
51	Araç.1 Dur Kalk Özelliğinin NEDC ve WLTC Üzerindeki Etkisi	41
52	Araç.2 Dur Kalk Özelliğinin NEDC ve WLTC Üzerindeki Etkisi	41
53	NEDC Test-Araç1. Kümülatif Yakıt Tüketimi [Normal ve Dur-Kalk Modu]	42
54	WLTC Test-Araç1. Kümülatif Yakıt Tüketimi [Normal ve Dur-Kalk Modu]	42
55	NEDC Test-Araç1. Kümülatif NO _x Emisyonu [Normal ve Dur-Kalk Modu]	43
56	WLTC Test-Araç1. Kümülatif NO _x Emisyonu [Normal ve Dur-Kalk Modu]	43
57	NEDC-WLTC Mekanik Enerji ve Faydalı Frenleme Enerjilerinin Kıyaslanması	44

TABLÖLAR LİSTESİ

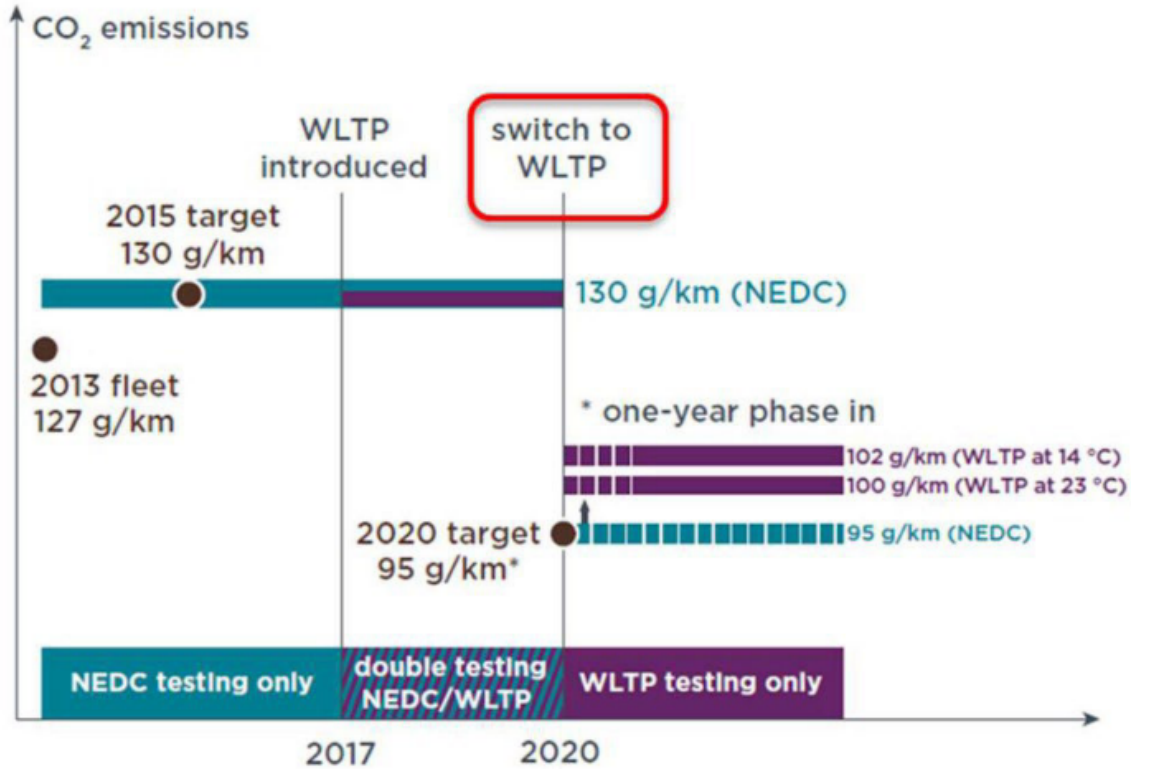
1	NEDC ve WLTC Test Döngüleri için Anahtar Parametreler	5
2	Araç.1 Yol Yükleri ve Test Ağırlıkları	20
3	Araç.2 Yol Yükleri ve Test Ağırlıkları	20
4	Araç.1 ve Araç.2 Test Koşulları	20
5	Araç-1 ve Araç-2 Baz Model Kümülatif Sonuçlar	45
6	NO _x Haritası Verileri [g/h]	49
7	Yakıt Tüketimi Haritası Verileri [kg/h]	51



1 GİRİŞ

Yıllardır hafif ticari araçlar için şasi dinamometre üzerinde test prosedürlerini uygulamak ve yeni test ve prosedüre uymak için çalışmalar yapıldı (Pavlovic ve diğ., 2018). 2017 yılının Ekim ayına kadar Avrupa genelinde NEDC (New European Driving Cycle) adı verilen sürüş döngüsü araçların kirletici emisyonlarını ve yakıt tüketimini hesaplamak için kullanıldı. WLTP (Worldwide Harmonized Light-Duty Test Procedure), 2017 Ekim ayından itibaren CO₂ ve kirletici emisyonların belirlenmesinde binek ve hafif ticari araçların yeni test prosedürüdür ve 2020 yılına kadar WLTP testi kademeleli olarak NEDC'nin yerini alacaktır (Ligterink ve diğ., 2016). Bu test, modern şartlara göre ortalama günlük sürüş alışkanlığını temsil etmektedir.

Bir aracın yakıt tüketimi ve ürettiği emisyon, sürücünün aracı kullanma alışkanlığına bağlıdır. Birçok çalışma gösteriyor ki mevcut kara yolu emisyonları ve yakıt tüketimi, test laboratuvarlarında şasi dinamometre üzerinde ölçülüp rapor edilen değerlerden büyük ölçüde fazladır (Ntziachristos ve diğ., 2014) (Tietge ve diğ., 2015). Bu nedenle, dünya üzerinde WLTP için sürüş verileri toplanıp bu verilerin ışığında düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere dört örnek aşamanın belirlenmesinde kullanılmıştır. Bu aşamaların her birisi günlük sürüş alışkanlığına göre uygun durumları belirleyen farklı hızlanma, frenleme, sabit hızda ilerleme sıklıklarına sahiptir. Bu aşamaların ortalaması da sürüş döngüsünün ortaya çıkmasına yardımcı olmuştur.



Şekil 1: NEDC ve WLTP Zaman Yönetimi (Stellato ve Betti, 2018)

1970 li yıllarda kullanılmaya başlanan NEDC tip sürüş testi birçok eleştiri aldıktan sonra miadını doldurmuş olarak ele alındı. Nedeni, NEDC sürüş döngüsü aracın trafikteki gerçek sürüş tarzını temsil etmemekte ve böylece kirletici emisyon ve yakıt tüketimi ölçümlerini doğru olarak yansıtamamasıdır (Joumard ve diğ., 2000). CO₂ emisyonlarını ölçmek için farklı sürüş senaryoları olan farklı sürüş döngüleri kullanılmıştır. 2017 yılına kadar NEDC kullanılıyorken, 2020 sonrasında sadece WLTP test prosedürü olarak kullanılacaktır. Geçiş aşaması araç üreticileri için zaman alacağından 2017-2020 (Şekil 1) yılları arası hem NEDC hem de WLTP sürüş döngüleri beraber kullanılmaktadır. WLTP test prosedüründe herbir aracın kendi ağırlığı olacaktır ve araçlar NEDC testine göre daha ağır olmaktadır. Artan test ağırlığı gerekli motor işini artıracak böylelikle WLTP CO₂ emisyonları artacaktır. Ayrıca artan test ağırlığı aracın yuvarlanma direncini de artıracaktır.

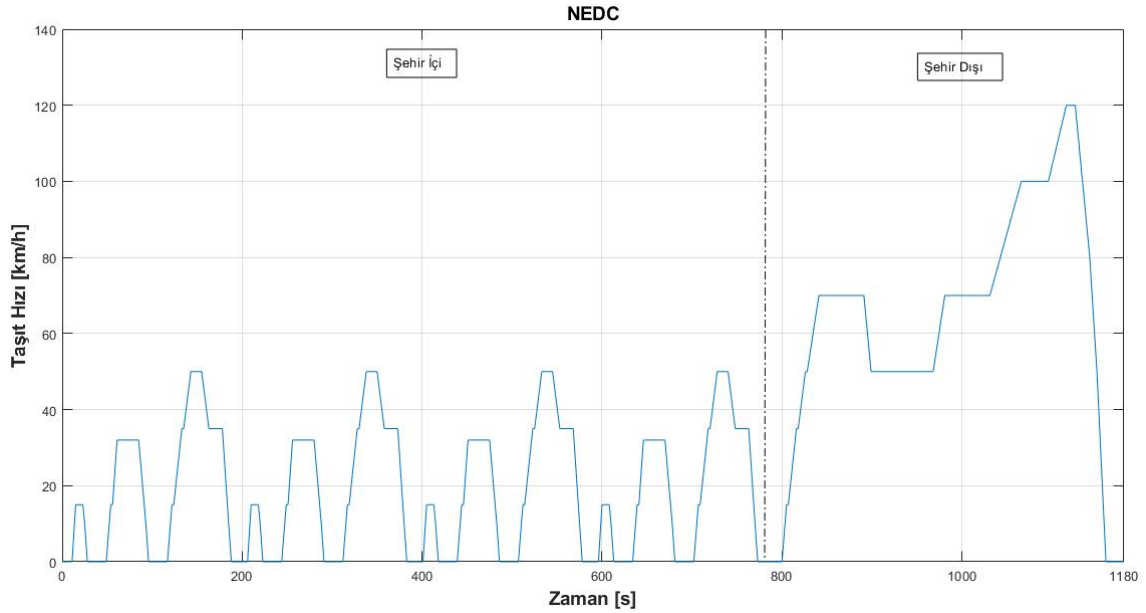


2 KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde kıyaslanan iki sürüş çevrimi arasındaki temel farklara değinilecektir. Bu iki çevrimin hız profillerinin ve test ağırlıklarının farklı olmasından dolayı yol yükü katsayıları da farklılık gösterecektir. Yol yükü katsayıları bulunurken aracın üzerine düşen direnç kuvvetleri bu katsayılarla eşit olarak kabul edilmektedir. Newton'un 2. yasası kullanılarak her iki çevrimde maksimum hıza çıktığı andan itibaren boş viteste yavaşlayan bir hareket yapan aracın hız eğrisiyle yol yükü katsayıları bulunacaktır. Bu katsayılar bulunduğundan sonra ortalama efektif basınç, sürüş çevrimi ve aktarma oranı karakteristikleri ile motor devri hesaplanacak, sonrasında yakıt tüketim haritası ortaya çıkarılarak test edilen araçların ne kadar yakıt tükettikleri bulunacaktır.

2.1 Sürüş Çevrimleri

Bu iki test çevrimi arasındaki ana fark hız profillerinin farklı olmasıdır. NEDC döngüsü yavaş araç hızı, düşük motor yükü ve düşük egzoz gazı sıcaklığı ile karakterize edilen (UDC) Urban Driving Cycle dört özdeş şehir içi sürüş fazını ve bunu takip eden daha agresif ve yüksek hıza sahip (EUDC) Extra-Urban Driving Cycle şehir dışı sürüş fazını içermektedir (Şekil 2). Şehir içinde NEDC birbirini izleyen dört özdeş faza sahiptir. Şehir dışında ise, döngü daha dinamik bir profile sahiptir. WLTC ise, dört farklı faza sahip olup artan ortalama ve maksimum hızlara sahiptir (Şekil 3).

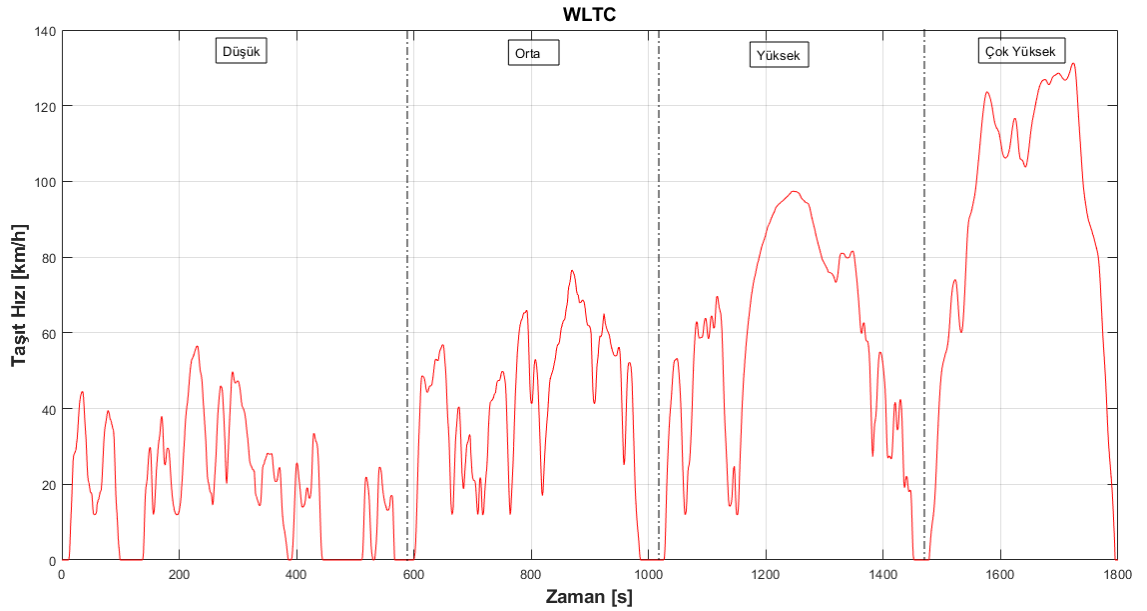


Şekil 2: NEDC Hız Profili

WLTC anma gücünün (üretici tarafından belirlenen maksimum güç) aracın kütlesine oranı en yüksek olan, Avrupa'da sayıca en yoğun araç sınıfı için tahsis edilmiştir. (Sınıf 3)

Sınıf 1	$P_a/m \leq 22$ [W/kg]
Sınıf 2	$22 < P_a/m \leq$ [W/kg]
Sınıf 3	$P_a/m \geq 34$ [W/kg]

Daha dik hızlanmalar, yüksek hızlar ve daha az olan rölanti modundaki çalışma zamanı nedeniyle WLTC'nin, NEDC'ye göre yol yükleri daha fazladır. Test süresi 1800 saniye olan WLTC, daha dinamik hız profiline sahip olmakla birlikte test mesafesi NEDC'ye oranla daha fazladır. Böylelikle motor soğuk iken çalıştırma sırasında meydana gelen CO₂ emisyonlarının tüm yakıt ekonomisi üzerindeki etkisi daha azdır (Marotta ve diğ., 2015). Ek olarak WLTC hızlanarak ve yavaşlayarak ivmelenme süresi bütün sürüş döngüsünün %84'ünden fazla olmakla birlikte sadece %13'ü rölanti ve %4'ü sabit hızla hareket ederken, bu oran NEDC'de %24'tür. Tablo 1'de iki sürüş döngüsünün dinamiği ile ilgili ana parametreler gösterilmektedir. WLTC ve NEDC arasındaki detaylı kıyaslamalar Giakoumis (2017)'de bulunabilir.



Şekil 3: WLTC Hız Profili

Genel olarak NEDC ve yeni WLTP benzer tasarıma sahiptir:

1. Aracın yol yükü katsayıları ve test ağırlığı belirlenir. Yol yükü katsayıları aracın yuvarlanma ve hava direncini temsil etmektedirler. Bunlar sırasıyla F0, F1 ve F2'dir.
2. Test ağırlığı ve yol yükü katsayısı labaratuvar ortamındaki şasi dinamometrenin ayarlarını ayarlamak için kullanılırlar.
3. Test aracı şasi dinamometreye bağlanır.
4. Test döngüsü çalıştırılır.

5. Emisyonlar toplanır ve CO₂, resmi yakıt tüketimi ve kirletici emisyon sonuçları hesaplanır.

Daha fazla detaylandırılmak isrenirse WLTP'nin NEDC'den ayrılan bütün ana unsurları aşağıdaki gibidir.

1. Yol Yüğü Katsayıları
2. Test Ağırlığı
3. Test döngüsü

Tablo 1: NEDC ve WLTC Test Döngüleri için Anahtar Parametreler

Parametreler	NEDC	WLTP
Süre [s]	1180	1800
Mesafe [km]	11,03	23,27
Ortalama Hız [km/h]	33,6	46,5
Maksimum Hız [km/h]	120	131,3
Durma Süresi Yüzdesi [%]	23,7	12,6
Sabit Hız Yüzdesi [%]	40,3	3,7
Hızlanarak İvmelenme Yüzdesi [%]	20,9	43,8
Yavaşlayarak İvmelenme Yüzdesi [%]	15,1	39,9
Ortalama Hızlanma [m/s^2]	0,59	0,41
Maksimum Hızlanma [m/s^2]	1,04	1,67
Ortalama Pozitif "Hız*ivme" [m^2/s^3]	1,04	1,99
Maksimum Pozitif "Hız*ivme" [m^2/s^3]	9,22	21,01
Ortalama Yavaşlama [m/s^2]	-0,82	-0,45
Maksimum Yavaşlama [m/s^2]	-1,39	-1,5

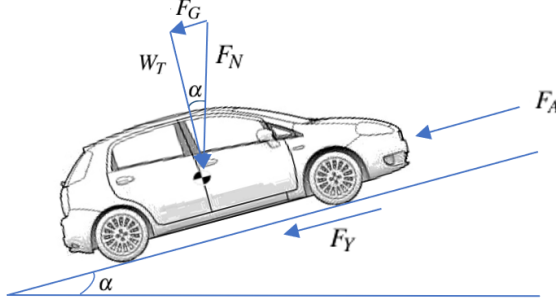
NEDC ve WLTP test çevrimleri üzerinde farklı test koşulları uygulanmaktadır. WLTC test tekniğı NEDC' ye göre daha fazla ağırlık ve yol yüğü katsayısı ile test edilmektedir. Manuel vitesli araç durumuna göre, NEDC test çevriminde tekil bir vites mekanizması kullanılırken, WLTC kendine özgü vites mekanizması, araç karakteristiklerinin (motor, dişli oranları vs.) ve test koşullarının (kütle ve yol yüğü katsayısı) bir fonksiyonu olarak dizayn edilmektedir. Bu iki araç için test koşulları ve vites mekanizmaları iki farklı test sürüş tekniğı üzerinde uygulanmıştır. Ayrıca bu iki test sisteminin test süreleri de birbirlerinden farklıdır. NEDC testi 20 dakika sürerken bu süre zarfında aracın aldığı yol 11 km'dir. WLTC testinde bu süre 30 dakika ve aracın aldığı yol ise 23,25 km'dir (Tablo 1).

2.2 Araç Enerji Analizi

Yol yüğü katsayıları, aracın kütlesi ve hızın zaman ile değışimi kullanılarak Newton'un 2.yasasından hesaplanır.

$$F = m \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (2.1)$$

2.2.1 Hareket Denklemleri



Şekil 4: Aracın Üzerine Etkiyen Direnç Kuvvetleri

Aracın üzerine etkiyen direnç kuvvetlerini göstermektedir (Şekil 4). Bu kuvvetler hava direncinden kaynaklanan aerodinamik kuvvet (F_A), yuvarlanma direnç kuvveti (F_Y) ve yerçekiminden kaynaklanan eğim kuvveti (F_G) ve atalet kuvvetidir (F_d). Ayrıca yeryüzü merkezine doğru etkiyen aracın toplam ağırlığı (W_T), zemin yüzeyine etkiyen normal kuvvet (F_N), m_e etkin araç kütlesi, v eksenel araç hızı ve eğim açısı (α) gösterilmiştir 4).

$$-m_e \frac{dv}{dt} = F_a = F_T - F_Y - F_A - F_G \quad (2.2)$$

$$F_A = \frac{1}{2} C_d \rho_{hava} A_f v^2, \quad (2.3)$$

ρ_{hava} (Normal şartlar altında $1,25 \text{ kg/m}^3$), A_f aracın ön cephe alanı, C_d aerodinamik sürüklenme katsayısıdır.

$$F_Y = \mu_r(v, \text{plastik}, \dots) m_e g \cos \alpha, \quad (2.4)$$

g yerçekim ivmesi, α eğim açısı (böylece $m_e g \cos \alpha$ araç ağırlığının düşey bileşenidir), μ_r yuvarlanma direnci katsayısıdır. Prensipite araç hızının, lastik basıncının ve ortam sıcaklığının bir fonksiyonudur. Birçok durumda μ_r sabit olarak veya araç hızının fonksiyonu olarak kabul edilir.

$$\mu_r = \mu_{r0} + \mu_{r1} v \quad (2.5)$$

$$F_G = m g \sin \alpha \quad (2.6)$$

$$F_R = F_Y + F_A + F_E = \mu_r m g \cos \alpha + \frac{1}{2} C_d \rho A v^2 + m g \sin \alpha \quad (2.7)$$

$$-m_{et} \frac{dv}{dt} = F_0 + F_1 v + F_2 v^2 \quad (2.8)$$

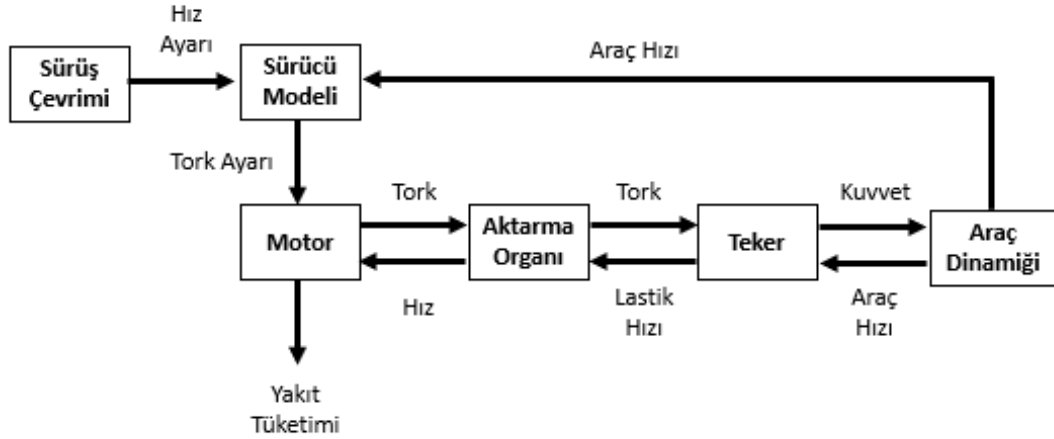
$$F_R = F_0 + F_1 v + F_2 v^2 \quad (2.9)$$

2.2.2 İleri ve Geri Modelleme Yaklaşımları

Denklem 2.2 aktarma organının üretmek zorunda olduğu çekiş kuvvetini hesaplamak için tekrar düzenlenebilir.

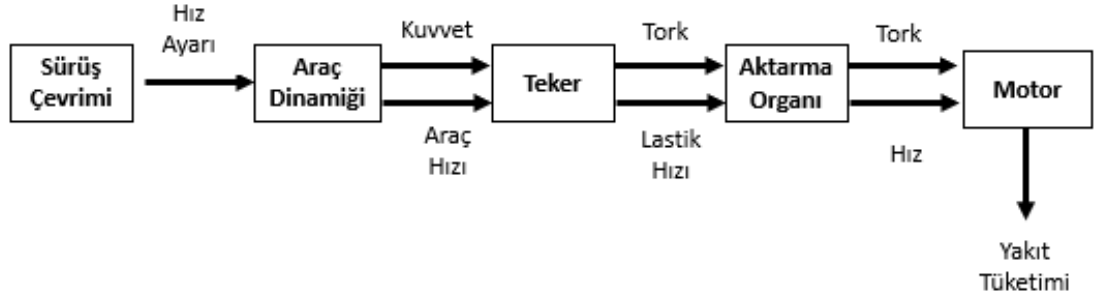
$$F_T = F_{ak} - F_f = F_a + F_G + F_Y + F_A \quad (2.10)$$

Denklem 2.2 ve 2.10 arasındaki fark ileri ve geri modelleme yaklaşımlarına karşılık gelmektedir. İleri modelleme yaklaşımında denklem 2.2’de aktarma organları tarafından üretilen çekiş kuvveti ile hesaplanan $\frac{dv}{dt}$ hızlanarak ivmelenen aracı gösterir ve hız ivmenin integrali alınarak hesaplanır. Diğer taraftan geri yaklaşım modeli denklem 2.10’un modellenmesiyle elde edilir. Kuvvet hızı takip eder ve çekiş kuvveti (F_T) atalet kuvvetinden (F_a) başlanarak hesaplanır.



Şekil 5: İleri Modelleme Yöntemi

İleri yaklaşım birçok simülatör tarafından kullanılır (Şekil 5). Örneğin, verilen araç profilini takip etmek için hybrid araçlardan istenilen hız ile mevcut araç hızı kıyaslanır, frenleme veya gaz pedalı ayar komutları sürücü modeli oluşturularak kullanılır (PID hız kontrolü). Sürücü komutu, aktüatörlerin ayar noktalarını (motor, elektrik makineleri ve frenleme torkları) tanzim etmede sorumlu denetleyici bloğa olan girdidir. Son olarak kuvvet hesaba katılan yol yükü bilgileriyle birlikte ivmenin belirlendiği (Eşitlik 2.2) araç dinamik modeline uygulanır.



Şekil 6: Geri Modelleme Yöntemi

Geri yaklaşım simülatöründe sürüş modeli gerekli değildir. Nedeni, motor torku ve yakıt tüketimi çıktı olduğunda, istenilen hız simülatöre olan direkt girdidir. Bu simülatör araç karakteristikleri boyunca hıza, taşıma kapasitesine ve yol eğim profiline bağlı olan net çekiş kuvvetini belirler. Motor çalışma koşullarını belirlemek için çeşitli komponentlerin tork/hız karakteristikleri hesaba katılarak yakıt tüketimi elde edilir.

Her iki simülasyonun da kendilerine ait avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Yakıt tüketimi simülasyonu önceden belirlenmiş sürüş çevrimine uygulanır ve bu yüzden geri modelleme yöntemi simülasyon sonuçlarında tutarlıdır. İleri modelleme simülasyonunda istenilen ve mevcut sinyaller arasında küçük hatalar görülebilir. Ancak sürücü bloğunun uygun ayarı bu farklılıkları azaltabilir. Diğer taraftan geri modelleme yöntemi, araç ve aktarma organının hız profilini takip edilebilir olarak varsayar ve önceden belirlenmiş araç hızını hesaplayan aktarma organları aktüatörlerinin limitlerini hesaba katmaz. Bu da istenilen çevrimi değerlendirirken aktarma organının üretebileceğinden daha fazla güce gerek olabileceği problemini meydana getirir. İleri modelleme yönteminde böyle bir problem yoktur. Çünkü hız aktarma organının sınırlarına göre tork/kuvvet çıktısından hesaplanır. Bu sebepten dolayı ileri modelleme yöntemi ivmelenme testlerinde kullanılır.

2.2.3 Enerji Dengesi

Yakıt tüketimi ölçümü aktarma organlarındaki enerji akışları analiz edilerek yönetilir. Denklem 2.10'dan aracın hızlanarak ivmelendiği durumlarda atalet kuvveti (F_a) pozitif, yavaşlayarak hareket ettiği durumlarda ise negatif değer alır. (F_G) eğim kuvveti; eğer araç yokuş yukarı hareket ediyor ise pozitif, yokuş aşağı hareket ediyorsa ise negatiftir. (F_Y) yuvarlanma kuvveti ve (F_A) aerodinamik kuvvet her zaman pozitif değer alır.

(F_Y) yuvarlanma kuvveti ve (F_A) aerodinamik kuvvet kaybedilen kuvvet olarak görülür, nedeni, her zaman hareket yönüne ters olarak etki etmesidir. Atalet ve eğim kuvvetleri ise araç durumuna bağlı olarak sırasıyla hız ve rakıma göre değişebilmektedir. Bu yüzden çekiş kuvvetinin bir kısmı aracın kinetik ve potansiyel enerjilerinin artması ile (aracın yokuş yuvarı artan ivme ile hareket ettiği durumlarda) aktarma organı tarafından üretilirken, bir kısmı yuvarlanma ve aerodinamik dirençler tarafından kaybedilir. Aracın yokuş aşağı hareket ettiği veya yavaşlayan ivme ile hareket ettiği durumlarda kinetik ve potansiyel

enerji değerleri ters yönde etki ederek enerjinin tüketilmesine neden olmaktadır. Araç hızının daha fazla olduğu durumlarda fren kullanılmaktadır. Genel olarak toplam enerji üç formda emilmektedir; yuvarlanma direnci, aerodinamik direnç ve mekanik fren ile emilir. Kinetik enerji iki nokta arasında her zaman sıfır değerini almaktadır (başlangıç ve bitiş noktalarındaki hızları sıfır olduğunda) ve potansiyel enerjideki değişim ise rakıma bağlıdır.

Denklem 2.10'deki bütün değerler araç hızı (v) ile çarpıldığında denklem 2.11 elde edilir.

$$P_T = P_a + P_E + P_Y + P_A \quad (2.11)$$

P_T tekerlerdeki çekme gücünü göstermektedir, pozitif veya negatif bir değer alabilir. Pozitif P_T aracı ilerletmek için aktarma organı tarafından üretilirken, negatif P_T (yavaşlama ivmesiyle oluşan) aktarma organının veya frenlerin ya da her ikisinin kullanımıyla elde edilir. İçten yanmalı motor kullanılan araçlarda aktarma organının absorbe ettiği negatif güç miktarı oldukça kısıtlıdır: motorda pompalama kayıplarını ve çeşitli komponentlerdeki sürtünme kayıplarını oluşturur. Hibrit elektrikli araçlarda elektrikli aktarma organları tersinir olarak kullanılabilirlerinden dolayı negatif güç miktarı daha fazladır. Ve bu aktarma organı hem hızlanan ivme hem de yavaşlayan ivme ile hareket durumlarında kullanılabilir. $P_a = m_{et}av$ sadece aracın hızlanan ivme ile hareket etmesi için gereken güç miktarını ifade eder. $P_Y = F_Yv$ ve $P_A = F_Av$ sırasıyla yuvarlanma ve aerodinamik direnç kuvvetlerini yenme için ihtiyaç duyulan güç miktarlarını ifade etmektedirler. $P_G = F_Gv$ eğim etkisini yenmek için ihtiyaç duyulan güç olarak ifade edilir. Eğer 2.11'deki ifadeler hareket süresi üzerinde ifade edilirse (zaman aralığı $[t_0 t_s]$), aşağıdaki enerji dengesi elde edilir:

$$E_T = \int_{t_0}^{t_s} P_T dt = P_Y + P_A + P_{kin} + P_{pot}; \quad (2.12)$$

$$E_{kin} = \int_{t_0}^{t_s} P_a dt = m_{et} \int_{t_0}^{t_s} v(t) a_{veh}(t) dt; \quad (2.13)$$

$$E_{pot} = \int_{t_0}^{t_s} P_E dt = m_{et} g \int_{t_0}^{t_s} v(t) \sin \alpha(t) dt; \quad (2.14)$$

$$E_Y = \int_{t_0}^{t_s} P_Y dt = m_{et} g \int_{t_0}^{t_s} \mu_r v(t) \cos \alpha(t) dt; \quad (2.15)$$

$$E_A = \int_{t_0}^{t_s} P_A dt = \frac{1}{2} C_d \rho A \int_{t_0}^{t_s} v(t)^3 dt. \quad (2.16)$$

Atalet gücü P_a kinetik enerjideki değişim (E_{kin}), P_G potansiyel enerjideki (E_{pot}) değişimi göstermektedir.

Yuvarlanma direncinin bir miktarı, aerodinamik direnç ve frenleme enerjisi sürüş çevriminin karakteristiğini tanımlamaktadır. Özellikle, potansiyel geri besleme enerjisinde kullanılan frenleme enerjisi harcanması gereken potansiyel ve kinetik enerji miktarlarından aerodinamik ve yuvarlanma dirençlerinin çıkarılmasıyla elde edilir.

Bu konsepti anlamak için enerji dengesini hızlanan ivmeli hareketlerde ($a \geq 0$) "+" işaretini yavaşlayan ivmeli hareketlerde ($a \leq 0$) "-" işaretini olarak ayırmak faydalı olacaktır.

Her iki durumdaki kinetik enerji miktarı sürüş çevrimindeki net kinetik enerji değişiminin sıfır olmasında dolayı ters işareti fakat eşit olacaktır.

$$E_{kin}^- = -E_{kin}^+ \quad (2.17)$$

Hızlanarak ivmelenme durumundaki aktarma organından elde edilmesi gereken enerji şekil 2.18'te gösterilmektedir.

$$E_{ak}^+ = E_Y^+ + E_A^+ + E_{pot}^+ + E_{kin}^+ \quad (2.18)$$

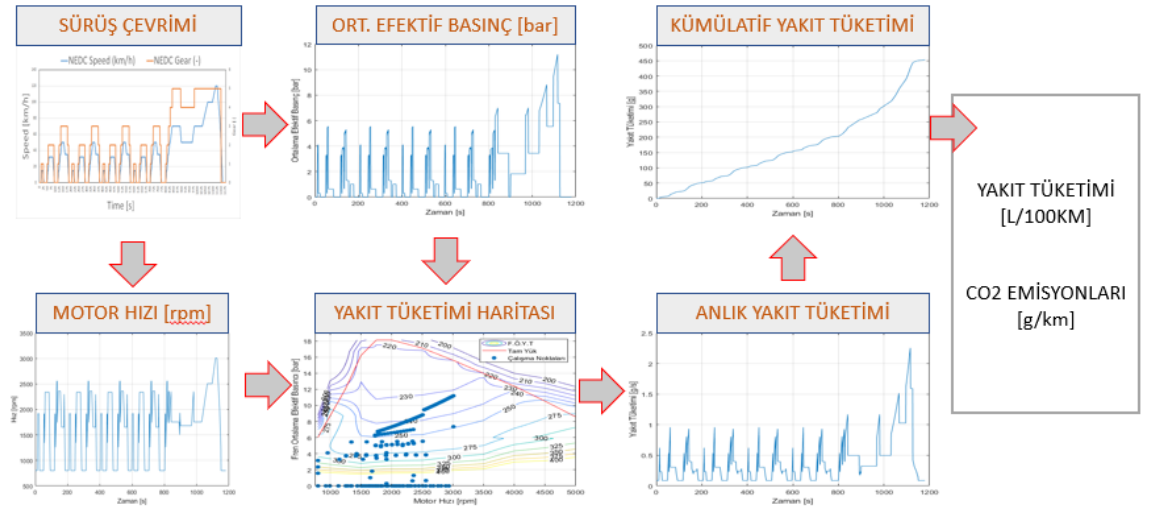
Aracın yavaşlayarak ivmelenmesi durumunda, hızlanarak hareketlenmeden elde edilen enerjinin tamamı harcanacaktır. Ayrıca kinetik enerji miktarı yuvarlanma ve aerodinamik enerjilerinden bir miktar fazla olabilir. Bu durumda ek aktüatörlere başvurmak gerekebilir. Örneğin frenler veya hibrit araçlarda kullanılan negatif tork üreten elektrik motorları. Regeneratif enerji miktarı hızlanmadan dolayı elde edilen kinetik ve potansiyel enerji miktarından, yavaşlanarak ivmelenme fazındaki kayıplar, yuvarlanma ve aerodinamik enerji miktarlarının çıkarılmasıyla elde edilir.

$$E_{regen,pot} = E_{kin}^+ + E_{pot}^+ - E_Y^+ - E_A^+ - E_{pot}^- \quad (2.19)$$

3 MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Metodoloji

Araç şasi dinamometre üzerine oturtulduktan sonra hem NEDC hem de WLTC sürüş çevrimleri sürücü tarafından takip edilerek çevrim tamamlanır. Sonrasında araç her iki çevrimin maksimum hızına ulaştıktan sonra vites boşa alınır ve yavaşlayan ivme ile durması sağlanır. Maksimum hızdan aracın hızının sıfır olduğunu ana kadar geçen zamanda F0, F1 ve F2 olarak bilinen aracın direnç kuvvetlerinin katsayıları bulunur. Şekil 7’de görüldüğü üzere sürüş çevriminden motor hızı elde edilir. Akabinde ortalama efektif basıncın bulunması için denklem 3.8 ve 3.9’dan yararlanılır. Yakıt tüketim haritasının elde edilmesi için denklem 3.2 ve denklem 3.9 kullanılarak ek-2 matrisindeki her efektif basınç ve devir değerlerine karşılık gelen yakıt tüketimleri $[kg/h]$ cinsinden bulunur. Ara değerler için ikili interpolasyon yöntemi kullanılarak yakıt tüketimi değerleri elde edilir. Sonrasında yakıt tüketimi değerlerinin $P[kW]$ motor gücüne bölünmesiyle yakıt tüketimi $[g/kWh]$ cinsinden elde edilerek yakıt tüketimi haritası çıkarılır. Daha sonra anlık yakıt tüketimi ve kümülatif yakıt tüketim değerleri elde edilir. Denklem 3.12 yardımıyla yüz kilometredeki tüketilen yakıt miktarı bulunur. Bilindiği üzere hidrokarbonlu yakıtların yakılması sonucu CO_2 emisyonu meydana gelmektedir. Yakıt tüketimi ile direkt bağlantısı olan CO_2 emisyonunun bulunması için karbon denge metodu kullanılmaktadır. Açığa çıkan diğer kirlenici gazların (NO_x , CO ve HC) oranları CO_2 gazına göre çok daha az olması sebebiyle (Şekil 9) ihmal edilmektedir. Denklem 3.32, 3.33, 3.34, 3.35 ve 3.36 ile bulunur.



Şekil 7: Aracın modellenmesi

Yakıt Tüketimi Haritası

```
1 pq=dlmread('fuel_cons_kg_h_vers_matlab.pqm','\t'); % FC map
2 rpm_pq=pq(1,2:end); % [rpm] engine speed vector
3 bmep_pq=pq(2:end,1); % [bar] engine bmep vector
4 fc_pq=pq(2:end,2:end); % [kg/h] FC matrix
```

```

1 %% FUEL CONSUMPTION
2 if (rpm(i)<850 && bmep(i)<0.5)
3     fc(i)=fc_idle; %[kg/h]
4 elseif (rpm(i)<850)
5     fc(i)=interp2(rpm_pq,bmep_pq,fc_pq,850,bmep(i)); %[kg/h]
6 elseif (bmep(i)<0.5)
7     fc(i)=interp2(rpm_pq,bmep_pq,fc_pq,rpm(i),0.5); %[kg/h]
8 else
9     fc(i)=interp2(rpm_pq,bmep_pq,fc_pq,rpm(i),bmep(i)); %[kg/h]
10 end
11 fc_plot(i,1)=fc(i)*1000/3600; %[g/s]

```

Her bir çalışma noktasındaki yakıt tüketimini elde etmek için yakıt tüketimi haritasından elde edilen değerler arasında interpolasyon yöntemi ile yakıt tüketimi bulunur.

- Motor Hızı < 850 [*dev/dk*] ve $BMEP < 0,5$ [*bar*] ise;
Rölanti devrindeki yakıt tüketimi hesaplanır. Çünkü performans haritası bu değerler arasında tanımlanmamıştır.
- Motor Hızı < 850 [*dev/dk*] BMEP değeri performans haritasında tanımlı bir değer ise;
Motor hızı $850 =$ [*dev/dk*] BMEP haritadaki mevcut değerini alır.
- $BMEP < 0,5$ [*bar*] motor hızı değeri değeri performans haritasında tanımlı bir değer ise;
 $BMEP = 0,5$ [*bar*] motor hızı yakıt tüketimi haritadaki mevcut değerini alır.

NO_x Haritası

```

1 nox_map=dlmread('nox_g_h.txt','\t'); % NOx map
2 rpm_nox=nox_map(1,2:end); % [rpm] engine speed vector
3 bmep_nox=nox_map(2:end,1); % [bar] engine bmep
4 nox_pq=nox_map(2:end,2:end); % [g/h] NOx emission matrix

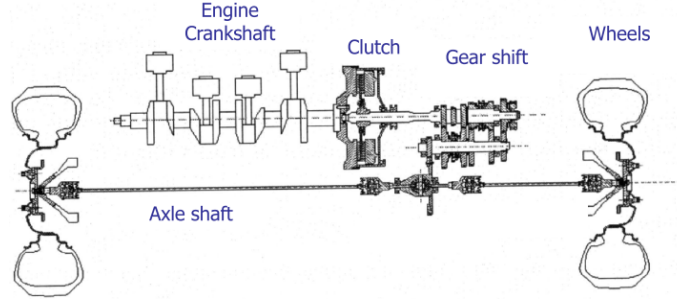
```

- Motor Hızı < 1000 [*dev/dk*], BMEP değeri performans haritasında tanımlı bir değer ise;
Motor hızı $1000 =$ [*dev/dk*], BMEP haritadaki mevcut değerini alır.
- $BMEP < 1$ [*bar*], motor hızı değeri değeri performans haritasında tanımlı bir değer ise;
 $BMEP = 1$ [*bar*], motor hızı NO_x haritasındaki mevcut değerini alır.

```

1 %% NOx EMISSIONS
2 if (rpm(i)<1000 && bmep(i)<1)
3     nox(i)=interp2(rpm_nox,bmep_nox,nox_pq,1000,1); %[g/h]
4 elseif (rpm(i)<1000)
5     nox(i)=interp2(rpm_nox,bmep_nox,nox_pq,1000,bmep(i)); %[g/h]
6 elseif (bmep(i)<1)
7     nox(i)=interp2(rpm_nox,bmep_nox,nox_pq,rpm(i),1); %[g/h]
8 else
9     nox(i)=interp2(rpm_nox,bmep_nox,nox_pq,rpm(i),bmep(i)); %[g/h]
10 end
11 nox_plot(i,1)=nox(i)*1000/3600; %[mg/s]

```



Şekil 8: Manuel Vitesli Yolcu Aracının Güç Aktarma Mekanizması

Manuel vitesli bir araçta bulunan aktarma mekanizması şekil 8’te gösterilmiştir (Grimaldi ve Millo, 2015). Bunlar, krank mekanizması, kavrama, vites kolu, aks mili ve tekerleklerdir.

```

1 %% ENGINE SPEED
2 rpm(i)=speed(i)*60/2/pi/R/3.6*tr_fd*ratio;    %[rpm]
3 if rpm(i)<rpm_idle
4     rpm(i)=rpm_idle;                          %[rpm]
5 end
6 speed_plot(i,1)=rpm(i);

```

Motor hızı hesaplanırken bazı safhalarda araç hızı sıfırdır böylece motor hızı da matlab uygulamasındaki iterasyondan dolayı sıfır olacaktır. Ancak motor rölantı modunda çalıştığından dolayı bu durumlarda motor hızı manuel olarak rölantı hızına sabitlemiştir.

$$\omega_e = \omega_w \tau_d \tau_g \quad (3.1)$$

$$n = \frac{v60}{2\pi R 3,6} \tau_d \tau_g \quad (3.2)$$

Denklem 3.1 ve 3.2 ’deki gibi vites ve diferansiyel dişli oranları ile birlikte test döngüsü bilgilerinin elde edilmesi ile birlikte motor devri hesaplanır.

Etkin Kütle

$$\frac{1}{2} m_{etkin} v^2 \approx \frac{1}{2} m_a v^2 + \frac{1}{2} J_w \omega_w^2 + \frac{1}{2} J_e \omega_e^2 + \frac{1}{2} J_d \omega_d^2 + \frac{1}{2} J_{aks} \omega_{aks}^2 \quad (3.3)$$

$$m_{etkin} v^2 \approx m_a v^2 + J_w \omega_w^2 + J_e \omega_e^2 \quad (3.4)$$

$$\omega_w = \frac{v_w}{R} \quad (3.5)$$

$$\omega_e = \frac{v_w}{R} \tau_{dif} \tau_d \quad (3.6)$$

$$m_{etkin} \approx m_a + J_w \frac{1}{R^2} + J_e \frac{\tau_{dif} * \tau_d}{R^2} \quad (3.7)$$

Anlık Güç

$$P_m \eta_T = F_{res} v + m_{etkin} \frac{dv}{dt} v \quad (3.8)$$

Fren ortalama efektif basınç (bmep) hesaplanırken motor gücünün negatif olduğu durumda bmep değeri sıfıra eşitlenir.

$$bmep[bar] = 1200 \frac{P_m[kW]}{n[d/d]V_d[dm^3]} \quad (3.9)$$

```
1  %% BMEP COMPUTATION
2  bmep(i)=1200*pwr(i)/(rpm(i)*V*eta); % [bar]
3  if (bmep(i)>interp1(rpm_max,bmep_max,rpm(i)))
4      bmep(i)=interp1(rpm_max,bmep_max,rpm(i));
5  end
6  if (bmep(i)<0 || eta==0)
7      bmep(i)=0; % [bar]
8  end
9  load_plot(i,1)=bmep(i);
```

Kat Edilen Mesafe

$$km_{top} = km_{top} + v(i) \frac{(zaman(i) - zaman(i-1))}{3600} \quad (3.10)$$

Kümülatif Yakıt Tüketimi

$$yt_{top} = yt_{top} + yt(i) \frac{(zaman(i) - zaman(i-1))}{3,6} \quad (3.11)$$

Yakıt Tüketimi

$$l_{100km} = \frac{yt_{top}}{\rho_y} km_{top} 100 \quad (3.12)$$

NO_x Emisyonu Oranı

$$NO_{x_{top}} = \frac{NO_{x_r}}{3600} \quad (3.13)$$

Kümülatif NO_x Emisyonu

$$NO_{x_{top}} = NO_{x_{top}} + NO_x(i) * \frac{(zaman(i) - zaman(i-1))}{3600} \quad (3.14)$$

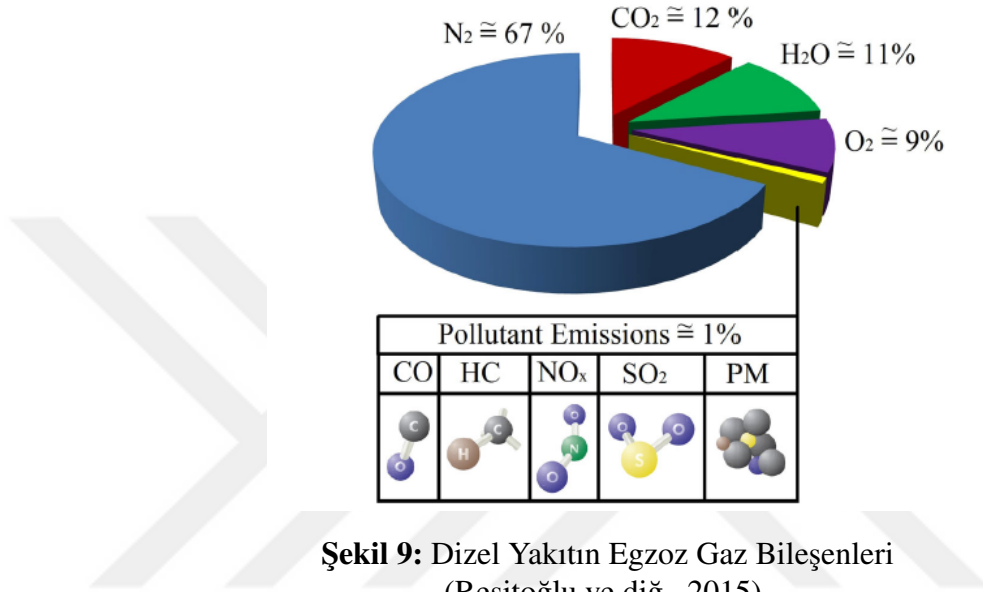
Özgül NOx Emissionları

$$NO_{x_s} = \frac{NO_{x_{top}}}{km_{top}} \quad (3.15)$$

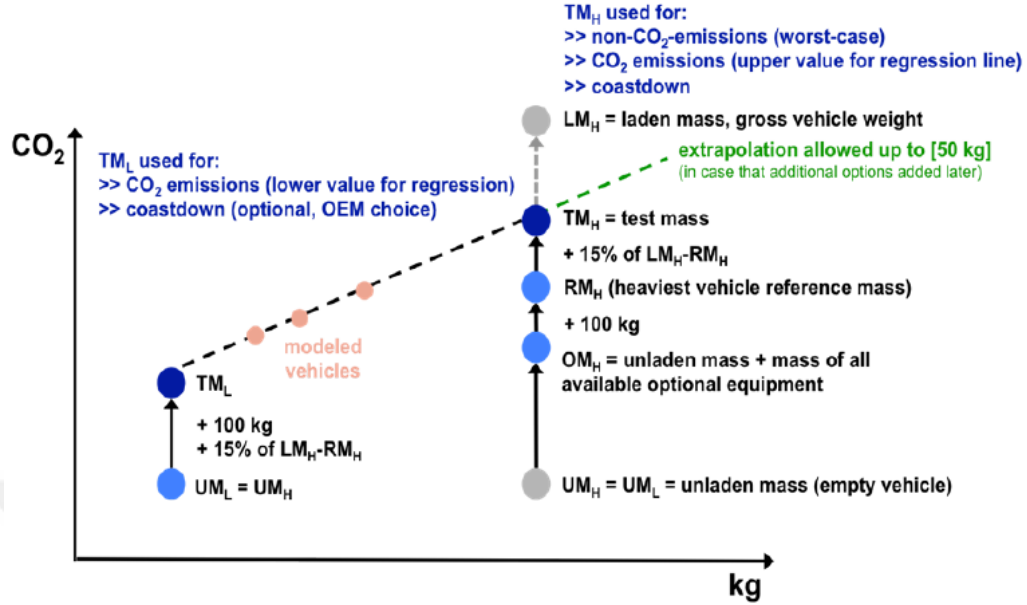
CO₂ Emisyonları

İçten yanmalı motorlarda petrol bazlı yakıtların tam yanma sonucu ortaya çıkan ana ürünleri; nitrojen (N₂), karbondioksit (CO₂), su buharıdır. (H₂O) (International Agency for Research on Cancer by the Secretariat of the World Health Organization, 1989).

Trafikte öncelikli olarak iki emisyon türü bulunmaktadır. Bunlardan ilki sera gazı etkisine yol açan ve yakıt tüketimi ile direkt bağlantısı olan CO₂ emisyonu, diğer taraftan NO_x ve partikül madde gibi kirletici emisyonlardır.



3.2 Test Kütleleri



Şekil 10: Taşıt Test Ağırlığının ve Kademesiz Atalet Yaklaşımının Gösterimi Birleştirilmiş Gösterimi (Mock, 2011)

WLTP test kütlesine ilişkin iki test kütlesi değeri belirlemiştir (Şekil 10). Bunlardan ilki yüksek test kütlesi (TM_H) diğeri düşük test kütlesidir (TM_L) ve yol yükü de paralel olarak NEDC'ye kıyasla artmaktadır. (TM_H) ve (TM_L) UNECE GTR15'in Ek 4'e göre hesaplanmaktadır (United Nations Global Registry, 2014) .

$$TM_{NEDC} = m_U + 100 \quad (3.16)$$

$$TM_{HWLTC} = m_{RO} + m_O + 25 + \phi MVL \quad (3.17)$$

$$TM_{LWLTC} = m_{RO} + 25 + \phi MVL \quad (3.18)$$

Yüksüz araç ağırlığı (m_U), aracın çalışma sırasındaki kütlesi ¹(m_{RO}), opsiyonel ekipmanların kütlesi (m_O). Aracın çalışma sırasındaki kütlesi, yakıt tankı kapasitesinin en az %90'ı, sürücünün kütlesi (75kg), müşteri şartnamesine göre standart ekipmanlar, karoser, kabin, yedek lastik ve yedek ekipmanların toplamıdır. Opsiyonel ekipmanlar, araç üreticisinin sorumluluğunda üretilen standart ekipmanlara eklenmeyen, satış sonrasında son kullanıcı tarafından sipariş edilen bütün özelliklerdir. (MVL)² aracın maksimum yükünü tanımlamakta olup teknik olarak izin verilen maksimum kütlenin ³ en ağır referans kütleden ⁴ çıkarılmasıyla elde edilir. Aracın sınıfına göre tanımlanan araç yükünün yüzdesi (ϕ)'dir. M1 sınıfı araçlar için (yolcu araçları) %15, N1 sınıfı araçlar için (hafif ticari araçlar) %28 olarak tanımlanmaktadır (United Nations, 2017).

¹ $m_{RO} = m_u + 75kg$

² $MVL = LM - RM_H$

³ LM

⁴ $RM_H = m_{RO} + m_O + 25$

3.3 Vites Mekanizması Profili

Hafif ticari araçlar genellikle standartlaştırılmış labratuvar koşulları altında şasi dinamometre kullanılarak test edilir (CHLOPEK ve diğ., 2017). Sürücü sürüş döngüsünü takip ederken yol yükünü simule etmek için aracın tamamı silindirler üzerine oturtulur. Araç hızı ve vites dişlisi zamanın bir fonksiyonu olarak tanımlanır (Boulter ve diğ., 2009). Bu iki test döngüsünün vites değişim stratejileri birbirinden farklıdır. NEDC önceden belirlenmiş vites değişim noktaları barındırırken (Şekil 13), WLTC ise vites değişim kriterleri ilgili sürüş döngüsüne karşılık gelen vites tasarımı ile birlikte değişmektedir (Şekil 14). Vites değişim noktaları seçiminin detaylı yöntemi, UN/ECE Global technical regulation No. 15 (GTR 15) Küresel Teknik Yönetmelik No.15 (GTR 15) Annex 2 kısmında bulunan şasi dinamometre üzerindeki test araçları için kullanılmak üzere WLTP içerisinde geliştirilmiştir (United Nations Global Registry, 2014) Araç karakteristiğine bağlı olan bu metodu kullanmak için; anma gücü (P_a) ve bu güce karşılık gelen motor hızı (n_a), rölanti modundaki motor hızı (n_r), tam yükte çalışma modundaki güç eğrisi, ileri vites sayısı (n_g), dişli oranları (τ_g), differensiyel dişli oranı (τ_d), lastik çapı (R), araç test kütlesi (TM) ve yol yükü katsayıları (F_0, F_1, F_2) gereklidir. n_{min} , araç hareket halindeyken minimum motor hızını tanımlamaktadır. Bu değer vites aralığına bağlı olarak denklem 3.19, 3.20, 3.21 ve 3.22 ile belirlenir. İlk vites için minimum motor hızı rölanti motorun rölanti modundaki hızına eşittir.

3.4 Manuel Vitesli Araçlardaki Vites Değişim Noktalarının Değerlendirilmesi ve Seçimi

WLTP çevriminde manuel vitesli araçlarda vites değişim noktaları araç karakteristiklerine bağlıdır. Bunları belirlemek için denklem de 3.19 - 3.27 kullanılmaktadır. NEDC için böyle bir durum söz konusu değildir. Test edilen araçlarda aynı tekil vites mekanizması kullanılmaktadır. Hesaplama adımlarında sırasıyla birinci, ikinci ve daha üzerindeki vites aralıklarındaki minimum motor hızları belirlenmiştir.

3.4.1 Gerekl Data ve Hesaplamalar

(i) $n_g = 1$,

$$n_{min} = n_r \quad (3.19)$$

(ii) $n_g = 2$,

(a) Birinci vitesten ikinci vitese geçiş sırasında:

$$n_{min} = 0,9 \times n_r \quad (3.20)$$

(b) Durma yavaşlamaları sırasında:

$$n_{min} = n_r \quad (3.21)$$

(c) Diğer bütün koşullar için:

$$n_{min} = 0,9 \times n_r \quad (3.22)$$

(iii) $n_g > 2$,

$$n_{min} = n_r + 0.125 \times (n_a - n_r) \quad (3.23)$$

$$n_{maks,WLTP}(ng_{maks}) = ndv(ng_{maks}) \times v_{maks,WLTP} \quad (3.24)$$

$$P_{av,i,j} \geq P_{T_j} \quad (3.25)$$

Vites dişlileri ve vites değişim noktaları, direnç kuvvetleri ve ivmeyi yenebilmek için ihtiyaç duyulan güç (P_{T_j}) ile her sürüş döngüsü fazındaki mümkün olan bütün viteslerde motor tarafından sağlanan güç ($P_{av,i,j}$) arasındaki dengeye bağlıdır (European Commission, 2016). Verilen araç hızındaki mümkün olan en yüksek vites seçilir. Çünkü sağlanabilirlik motor hızı ile sınırlandırılmış olup, şu iki kriter ile sonuçlandırılabilir (Lasocki 2018).

(a) Bütün vitesler için, $i < ng_{vmaks}$

$$n_{min} \leq n_{i,j} \leq n_{maks-95} \quad (3.26)$$

(b) Bütün vitesler için, $i \geq ng_{vmaks}$

$$n_{min} \leq n_{i,j} \leq n_{maks}(ng_{vmaks}) \quad (3.27)$$

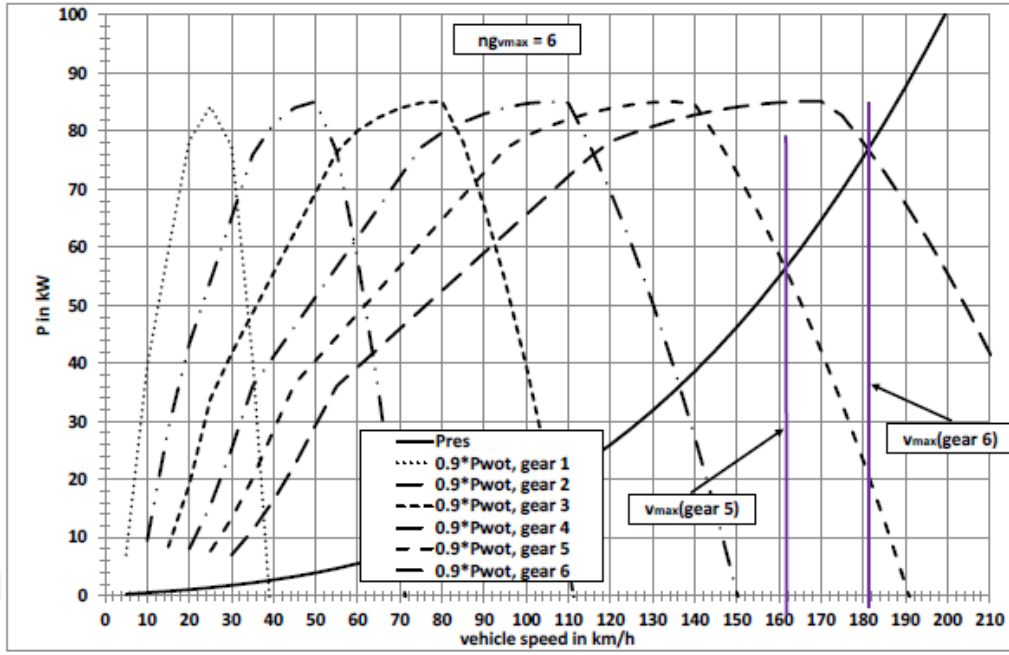
ng_{vmaks} ve v_{maks} Tanımı

ng_{vmaks} , aracın ulaştığı maksimum hızın vites aralığını ifade eder.

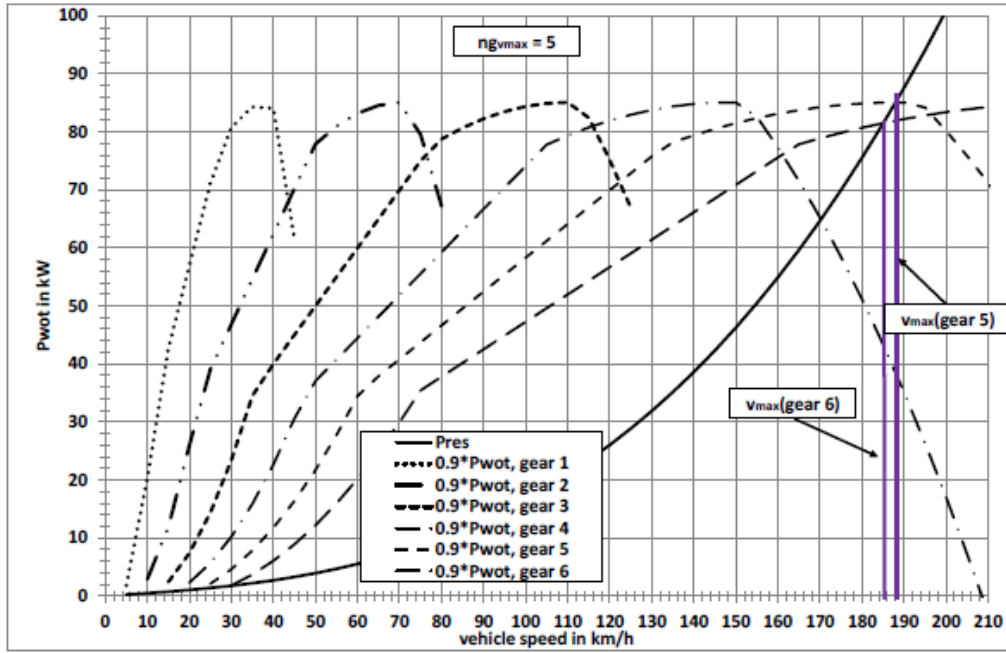
```
1 if
2   vmax(ng) >= vmax(ng-1) || vmax(ng-1) >= vmax(ng-2);
3   ngvmaks=ng || vmax = vmax(ng);
4 if
5   vmax(ng) < vmax(ng-1) || vmax(ng-1) >= vmax(ng-2);
6   ngvmaks = ng-1 || vmax = vmax(ng-1),
7 elseif
8   ngvmaks = ng -2 || vmax = vmax(ng-2);
```

$v_{maks}(ng)$, gerekli yol yükü gücünün açık gaz kelebeği durumundaki motor gücüne eşit olduğu durum maksimum vites aralığına karşılık gelen hız (Şekil 11).

$v_{maks}(ng - 1)$, gerekli yol yükü gücünün açık gaz kelebeği durumundaki motor gücüne eşit olduğu durum maksimum vites aralığından bir sonra vitese karşılık gelen hız (Şekil 12).



Şekil 11: Maksimum Hızın En Yüksek Viteste Olduğu Durum



Şekil 12: Maksimum Hızın En Yüksek İkinci Viteste Olduğu Durum

$$P_{re(j)} = \left(\frac{F_0 \times v_{(j)} + F_1 \times v_{(j)}^2 + F_2 \times v_{(j)}^3}{3600} \right) + \left(\frac{kr \times a_{(j)} \times v_{(j)} \times TM}{3600} \right) \quad (3.28)$$

$$a_{(j)} = \frac{v_{(j+1)} - v_{(j)}}{3,6 \times (t_{(j+1)} - t_{(j)})} \quad (3.29)$$

n_{maks_95} ; anma gücünün (P_a) %95'ine ulaşıldığındaki maksimum motor devrini gösterir, kr ise; aktarma organlarının atalet direnç kaktörüdür, değeri 1,03 olarak alınır (United Nations Global Technical Regulation, 2018). Eğer araç 1 km/h hızından daha yavaş ise, araç duruyor olarak kabul edilir ve motor hızı rölanti hızında çalışıyor olarak set edilir, debriyaj kavranarak vites kolu boş vites moduna geçirilir. Diğer durumlarda ise, denklem 3.30 kullanılır (European Commission 2016).

$$n_{i,j} = (n/v)_i \times v_j \quad (3.30)$$

$$P_{av,i,j} = P_{agk}(n_{i,j}) \times (1 - SM) \quad (3.31)$$

SM sabit tam yük koşullarındaki güç eğrisi ile geçiş durumundaki elden edilen güç arasındaki güvenlik katsayısı olarak ele alınır ve %10 olarak set edilir.

Tablo 2: Araç.1 Yol Yükleri ve Test Ağırlıkları

(Araç1)	NEDC	WLTP
Test Ağırlığı [kg]	1168	1360
F0 [N]	124,7	186
F1 [N/(km/h)]	0	0
F2 [N/(km/h) ²]	0,0364	0,0419

Tablo 3: Araç.2 Yol Yükleri ve Test Ağırlıkları

(Araç2)	NEDC	WLTP
Test Ağırlığı [kg]	1063	1210
F0 [N]	114,2	166
F1 [N/(km/h)]	0	0
F2 [N/(km/h) ²]	0,0344	0,039

NEDC ve WLTP F0,F1 ve F2 değerleri bulunurken bulunurken araçlar her iki döngünün maksimum hızlarına karşılık gelen hıza ulaştıktan sonra vites boşa alınır ve kendi ataleti ile yavaşlayan hareket yapar.

Tablo 4: Araç.1 ve Araç.2 Test Koşulları

Motor Anma Gücü [kW]	51,5	Anma Gücündeki Motor Devri	4000 [d/d]
Vites Kutusu [–]	5	1. Dişli Oranı	3,909
Yakıt Özkütlesi [g/l]	835	2. Dişli Oranı	2,238
Motor Rölanti Devri [rpm]	800	3. Dişli Oranı	1,444
Rölanti Devrindeki Yakıt Tüketimi [g/h]	315	4. Dişli Oranı	1,029
Lastik Yarıçapı [mm] (1. ve 2. Araç)	289,3; 285,4	5. Dişli Oranı	0,767
Lastik Atalet Kuvveti [kgm ²]	23,7	1. Dişli Verimi	0,94
Motor Atalet Kuvveti [kgm ²]	0,183	2. Dişli Verimi	0,94
Motor Hacmi [dm ³]	1,248	3. Dişli Verimi	0,94
Differensiyel Dişli Oranı [–]	3,563	4. Dişli Verimi	0,94
Differensiyel Dişli Verimi [–]	1	5. Dişli Verimi	0,94

Tablo 4'te aynı aktarma organlarına ve motor hacmine sahip olan iki aracın test koşulları görülmektedir. Aralarındaki tek fark lastik çaplarıdır.

3.5 YAKIT TÜKETİMİ TEST PROSEDÜRÜ

Trafikte öncelikli olarak iki emisyon türü bulunmaktadır. Bunlardan ilki sera gazı etkisine yol açan ve yakıt tüketimi ile direkt bağlantısı olan CO₂ emisyonu, diğer taraftan NO_x ve partikül madde kirletici emisyonlarıdır.

Karbon denge metodu Avrupa Birliği, Amerika, ve diğer ülkelerin CO₂ emisyonları ve yakıt tüketimi hesaplama yöntemi olarak kullanılmaktadır. Bu metot egzoz gazında CO₂, CO ve HC olarak adlandırılan carbon bileşenlerine dayalıdır (Gis ve Bielaczyc, 1999).

Hidrokarbonlu yakıtların yakılması sonucu karbondioksit emisyonu meydana gelmektedir. Ortaya çıkan bu karbondioksit emisyonu ile tüketilen yakıt miktarı arasındaki karbon denge ilişkisi yanma prosesine uygulanarak bulunur (Heywood, 1988).

$$n_y = n_{CO_2} + n_{CO} + n_{HC} \quad (3.32)$$

$$m_y = n_y M_y = \left(\frac{m_{CO_2}}{M_{CO_2}} + \frac{m_{CO}}{M_{CO}} + \frac{m_{HC}}{M_{HC}} \right) M_y \quad (3.33)$$

$$m_{CO_2} \approx m_y \frac{M_{CO_2}}{M_y} \quad (3.34)$$

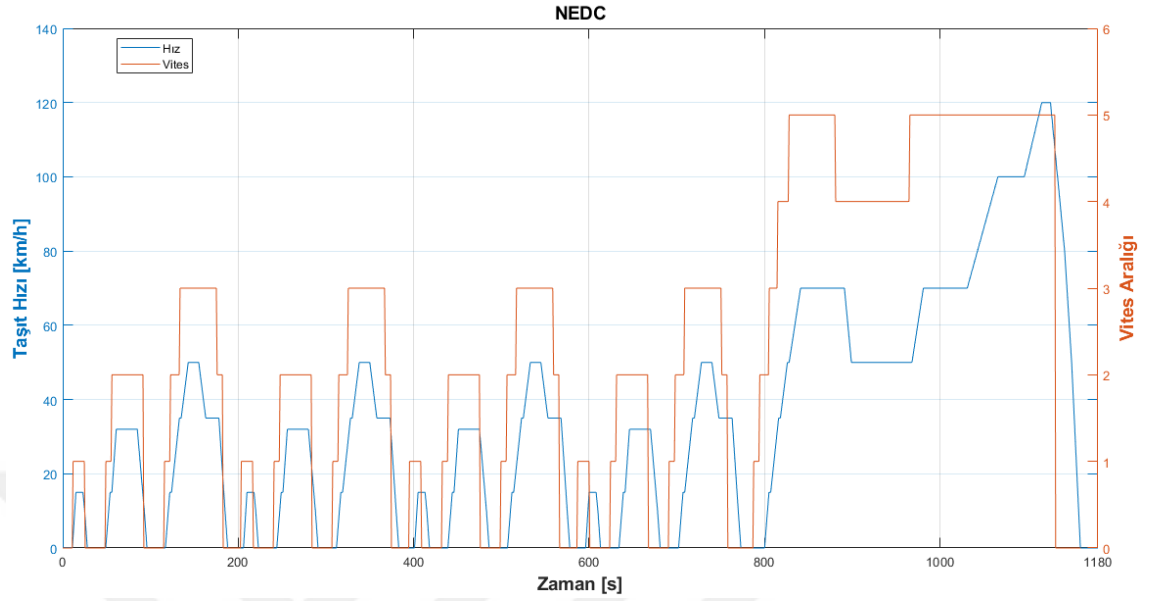
$$m_{CO_2} [gr/km] = \rho_y [kg/l] \frac{V_y [l/100km]}{0,0315} \quad (3.35)$$

Dizel motorlar için; **(United Nations Regulation 2013)**

$$V_y = \frac{0,116}{\rho_y} (0,273m_{CO_2}) + (0,429m_{CO}) + (0,861m_{HC}) \quad (3.36)$$

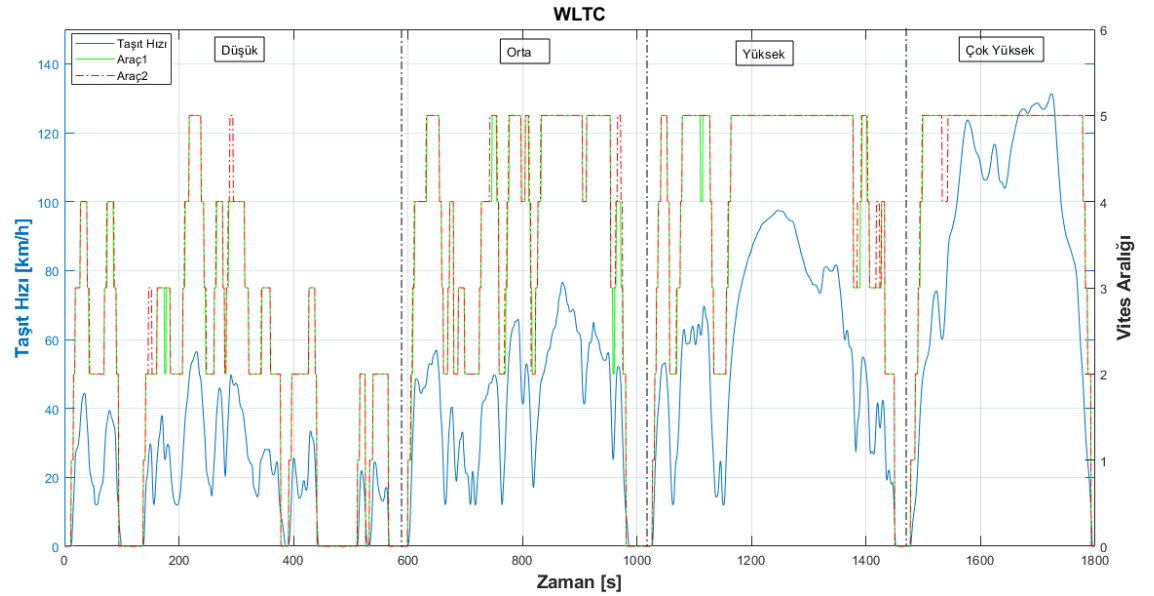
V_y yüz kilometredeki tüketilen yakıt miktarı [l/100km], m_{CO₂}, m_{CO}, m_{HC} sırası ile CO₂, CO ve yakılmamış hidrokarbonları göstermektedir. Egzoz emisyonlarından m_{CO}, m_{HC} karbon denge denkleminde dizel motorlu araçlara oksidasyon katalizörü ile ekipmanlandırıldığı/donatıldığı için bu kirletici emisyonlar %90'ın üzerinde CO₂ ve H₂O'ya dönüşecektir (Gis ve Bielaczyc, 1999).

4 BULGULAR



Şekil 13: NEDC Hız Profili ve Vites Aralığı

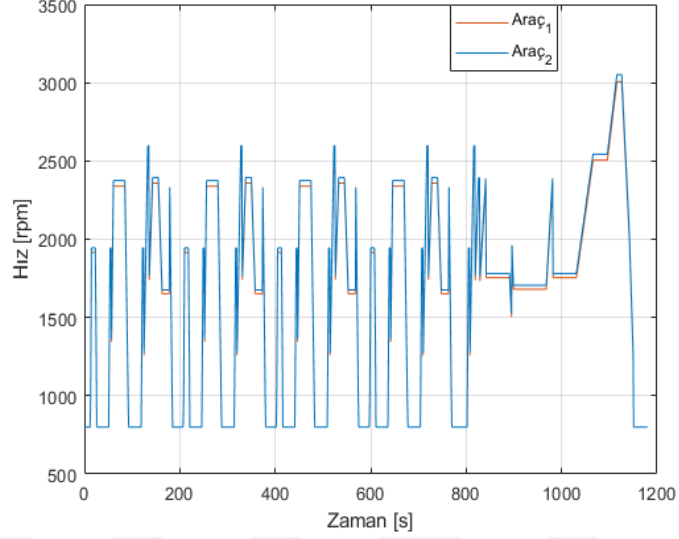
Şekil 13'te vites değişim noktaları önceden belirlenmiş NEDC çevrimi için zamana bağlı hız profili ve vites aralığı grafiği görülmektedir. Her iki aracın da vites değişim noktaları aynıdır.



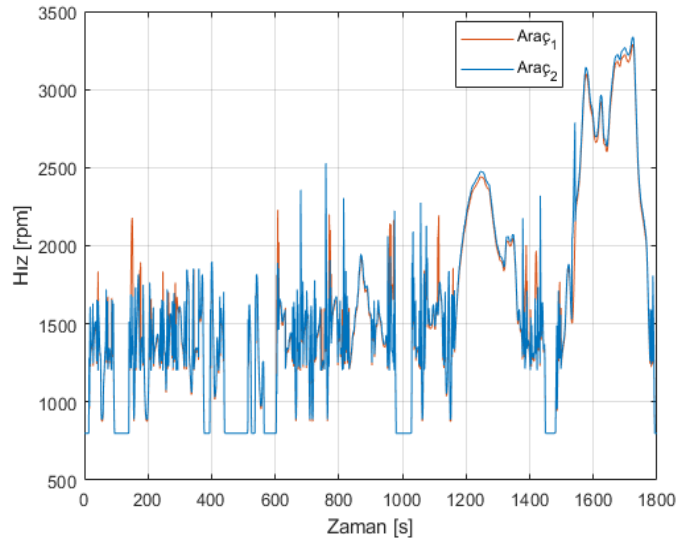
Şekil 14: WLTC Hız Profili ve Vites Aralığı

Her iki aracın kütleleri [TM] hem de direnç kuvvetleri birbirlerinden farklı olduğundan yukarıdaki formüller kullanıldığında her iki aracın vites değişim noktalarının birbirinden farklı olduğu 14'da görülmektedir.

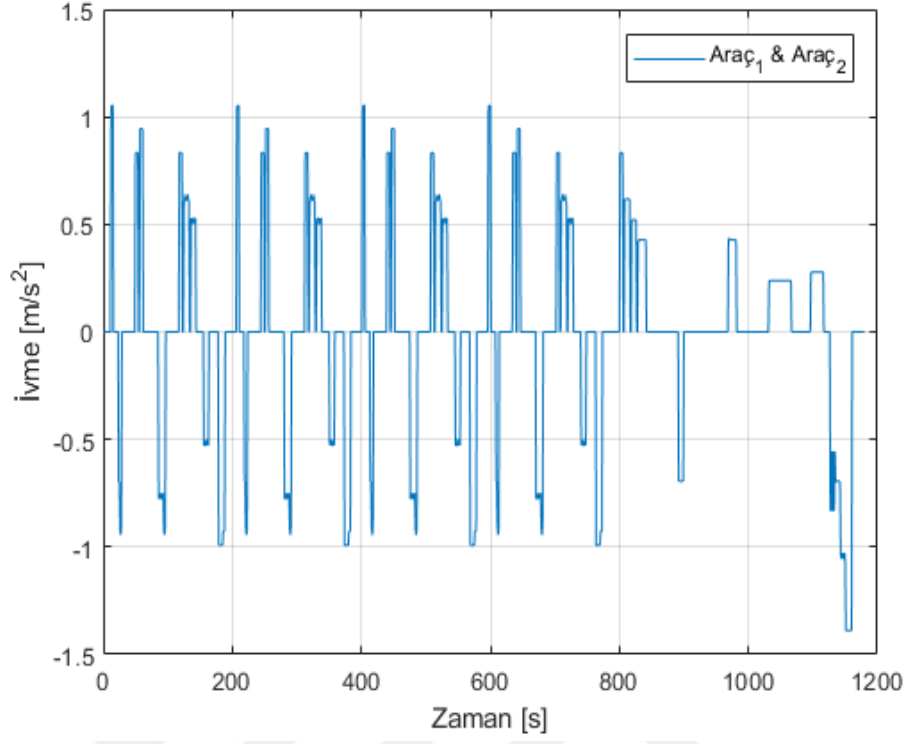
İki test döngüsünde de aynı metod kullanılır. Araç şasi dinamometre üzerine oturtulur. Sürücü gaz ve fren pedalını hız profillerini takip edecek şekilde kontrol eder. Test edilen araç belirli bir hıza kadar ivmelendikten sonra vites boşa alınır. Kendi ataleti ile yol alan araç yavaşlayan ivme ile hareket eder. Bu yavaşlayan harekete bağlı yol yükü katsayıları (F0, F1, F2) elde edilir (Tablo 2 ve 3).



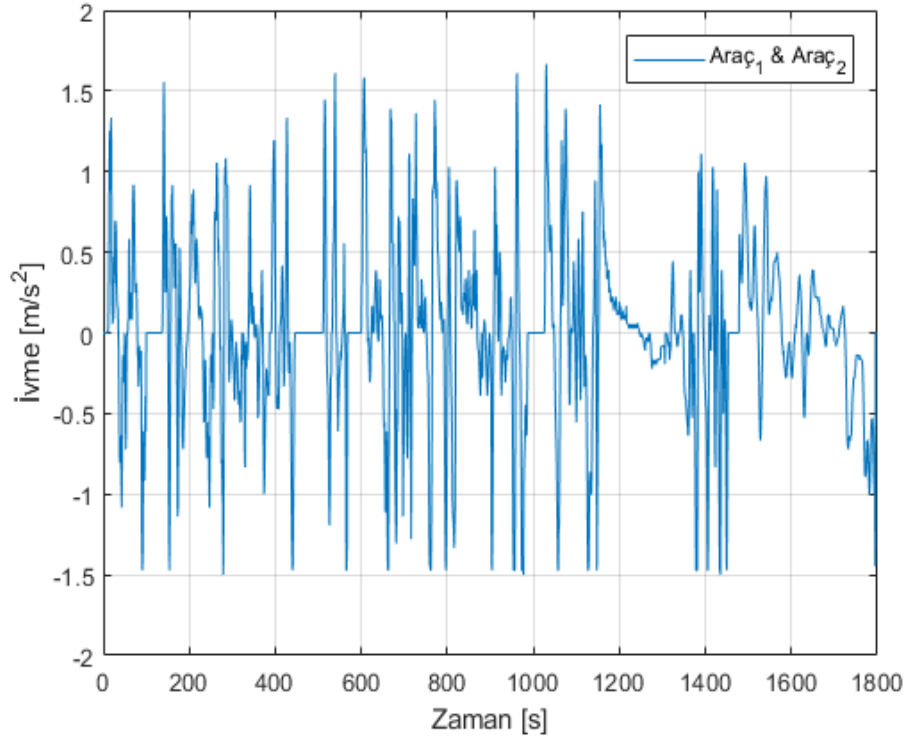
Şekil 15: NEDC Test-Araç.1 ve Araç.2 Hız Profili



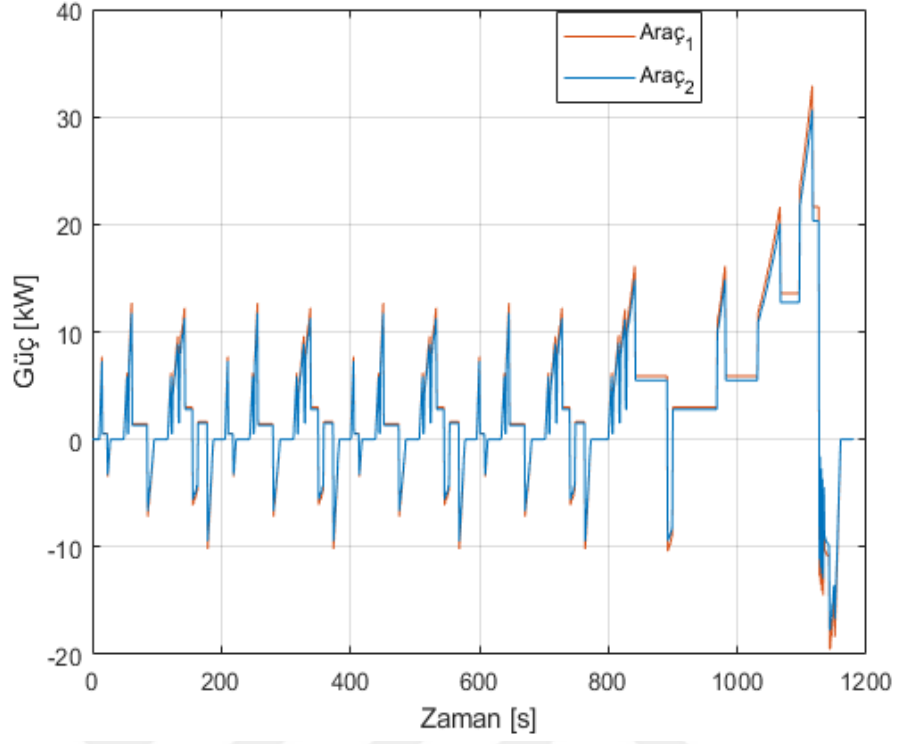
Şekil 16: WLTC Test-Araç.1 ve Araç.2 Hız Profili



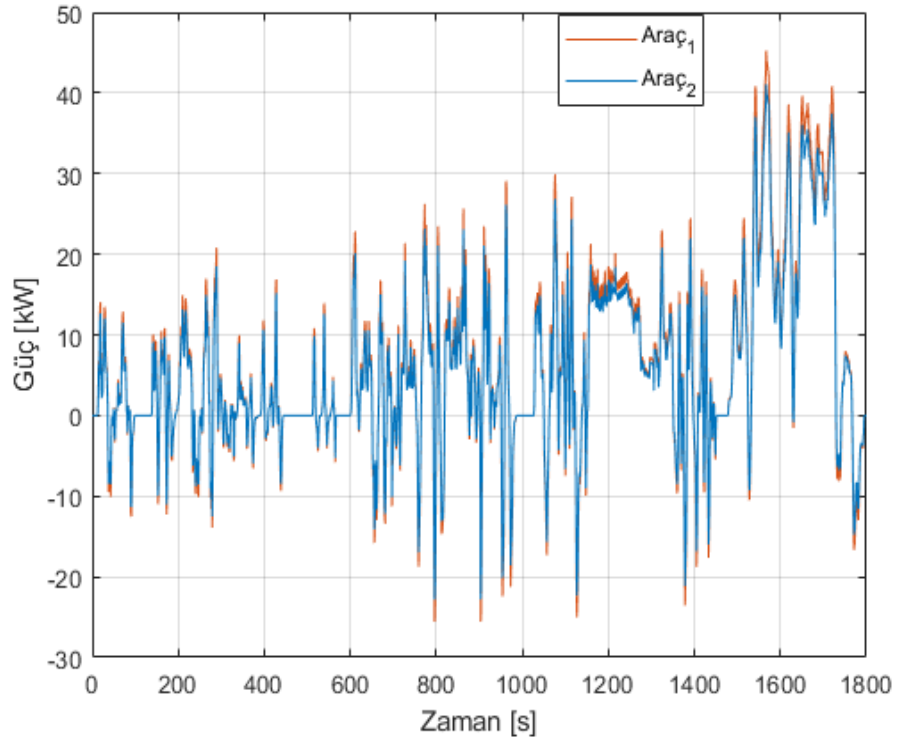
Şekil 17: NEDC Çevrimi İvme Grafiği



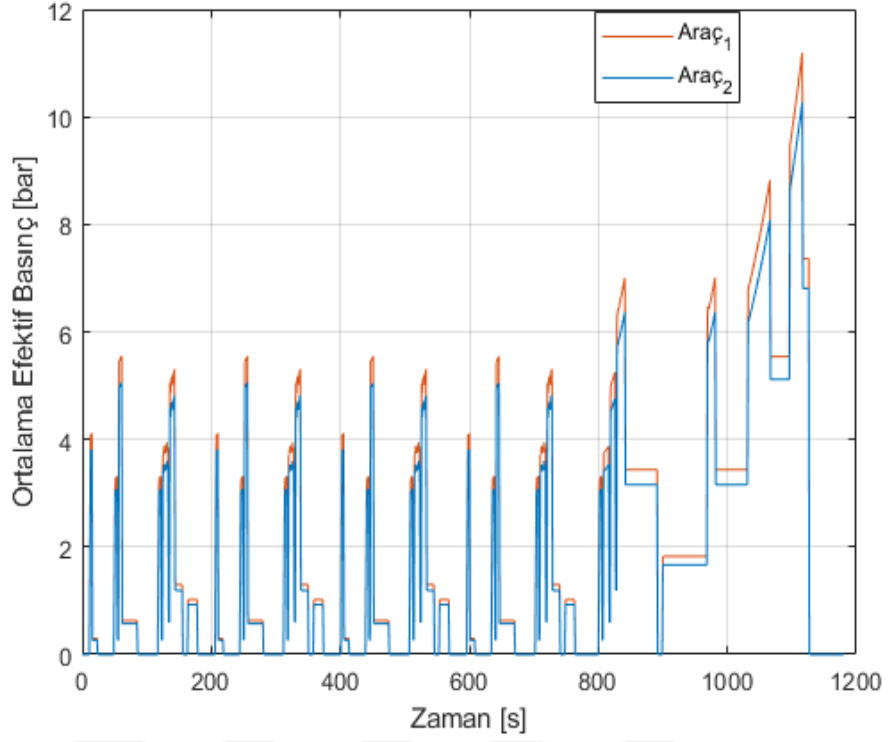
Şekil 18: WLTC Çevrimi İvme Grafiği



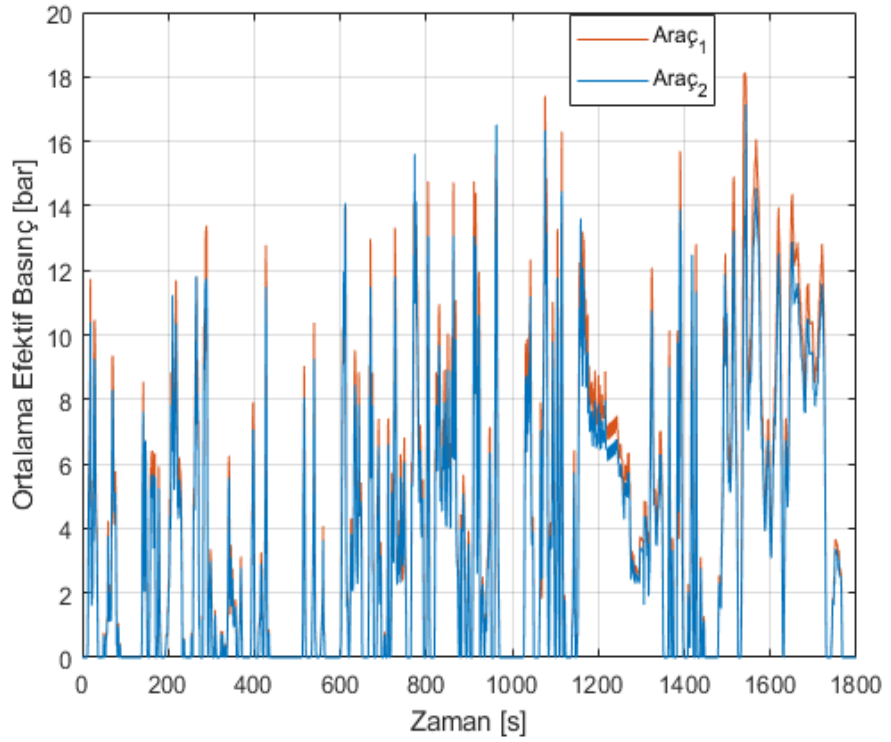
Şekil 19: NEDC Test-Araç.1 ve Araç.2 Güç Profili



Şekil 20: WLTC Test-Araç.1 ve Araç.2 Güç Profili



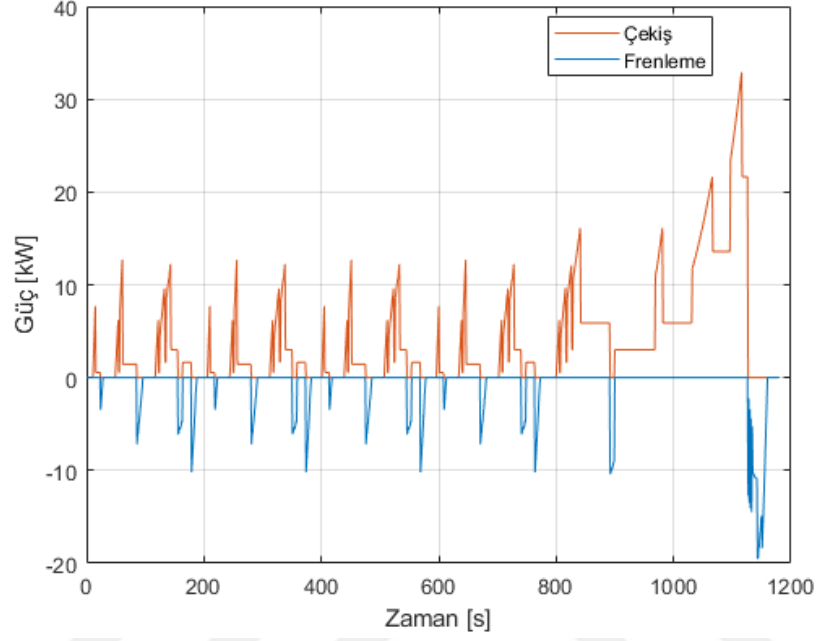
Şekil 21: NEDC Test-Araç.1 ve Araç.2 Ortalama Efektif Basınç Grafiği



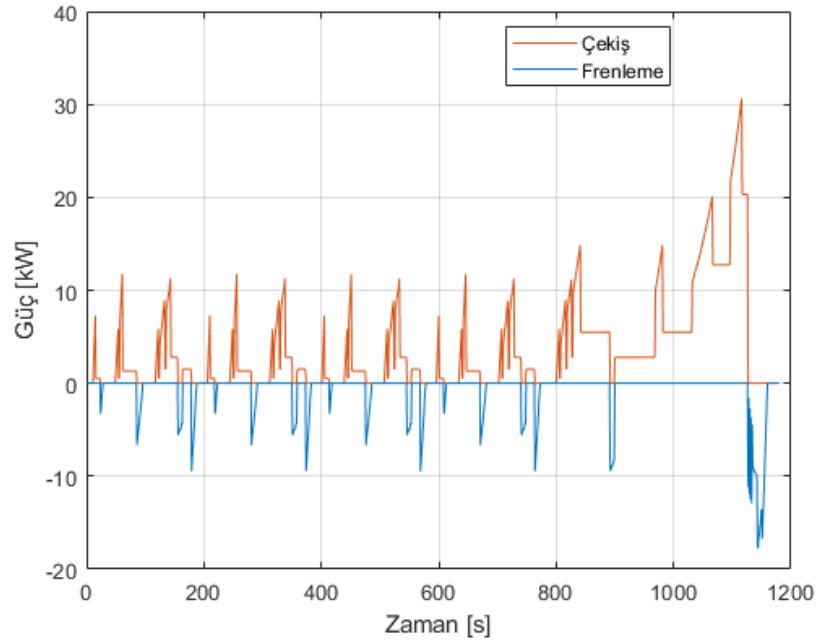
Şekil 22: WLTC Test-Araç.1 ve Araç.2 Ortalama Efektif Basınç Grafiği

4.1 Güç Profilleri

4.2 NEDCAraç-1 ve Araç-2 Mekanik ve Geri Kazanımlı Frenleme Gücü

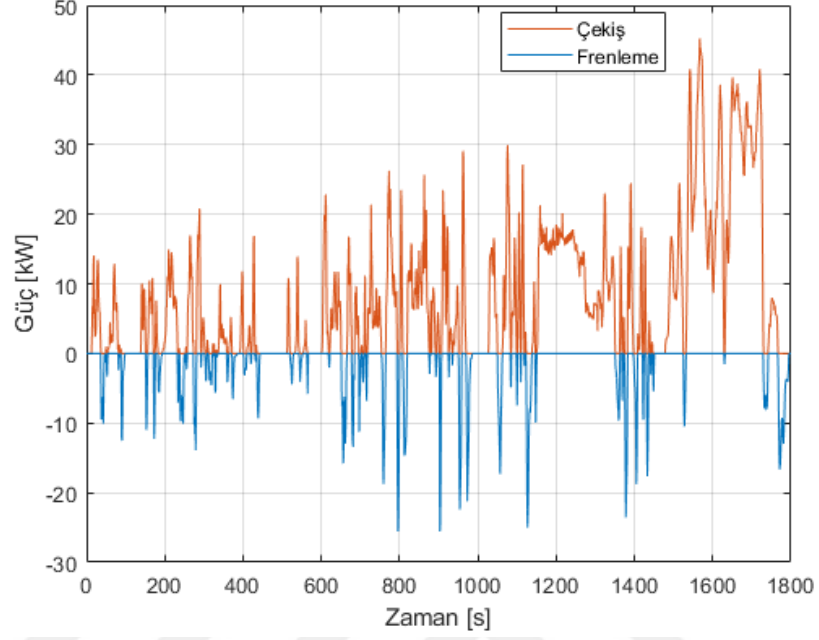


Şekil 23: NEDC Test-Araç.1 Çekiş ve Geri Kazanımlı Frenleme Güç Profili

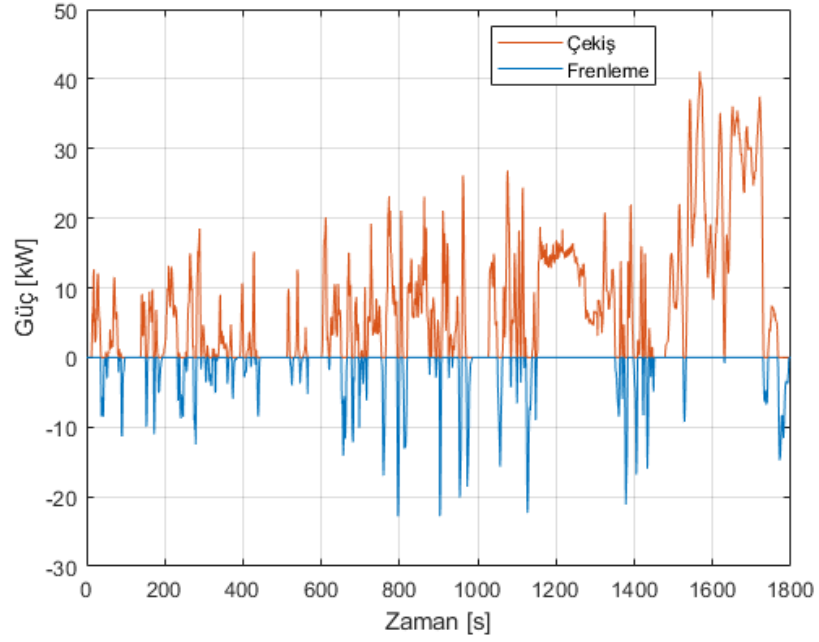


Şekil 24: NEDC Test-Araç.2 Çekiş ve Geri Kazanımlı Frenleme Güç Profili

4.3 WLTC Araç-1 ve Araç-2 Mekanik ve Geri Kazanımlı Frenleme Gücü

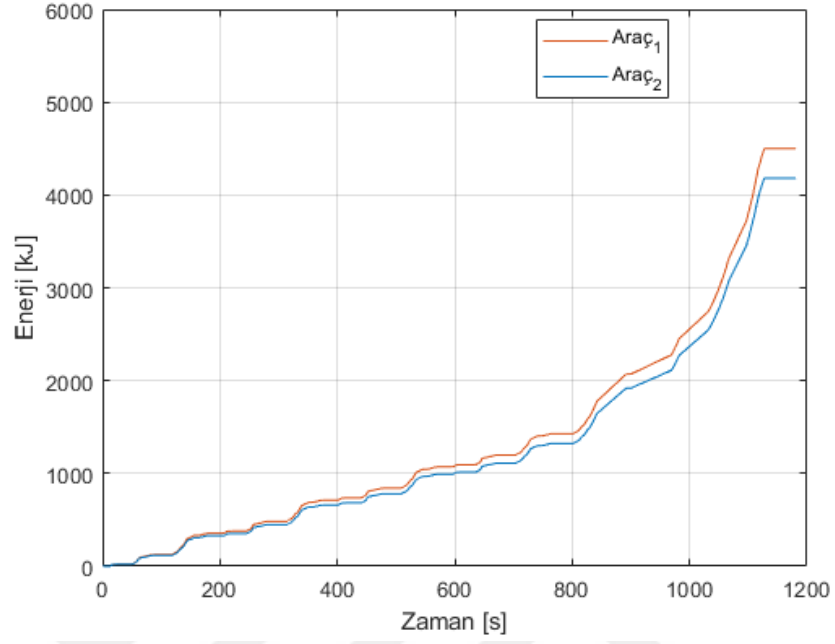


Şekil 25: WLTC Test-Araç.1 Çekiş ve Geri Kazanımlı Frenleme Güç Profili

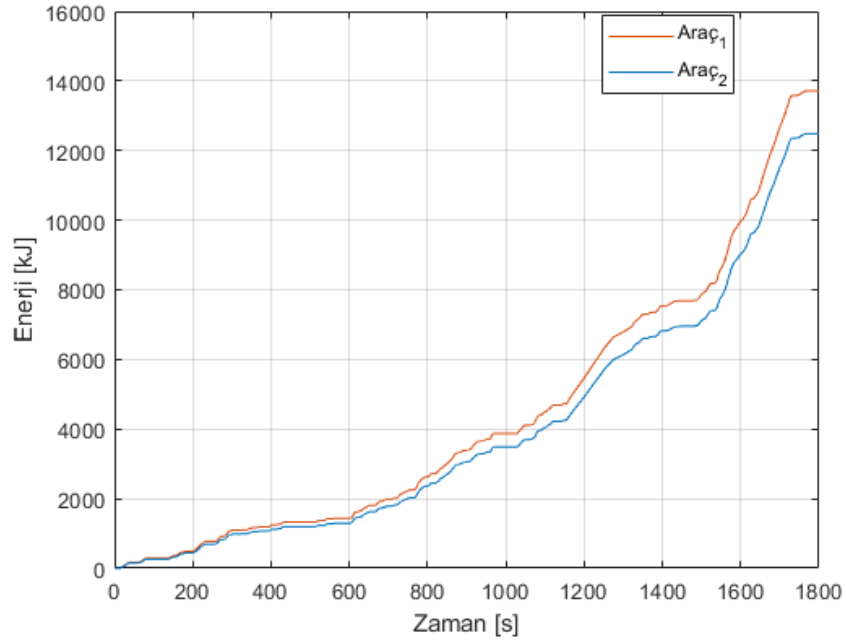


Şekil 26: WLTC Test-Araç.2 Çekiş ve Geri Kazanımlı Frenleme Güç Profili

4.4 Kümülatif Enerji İhtiyacı

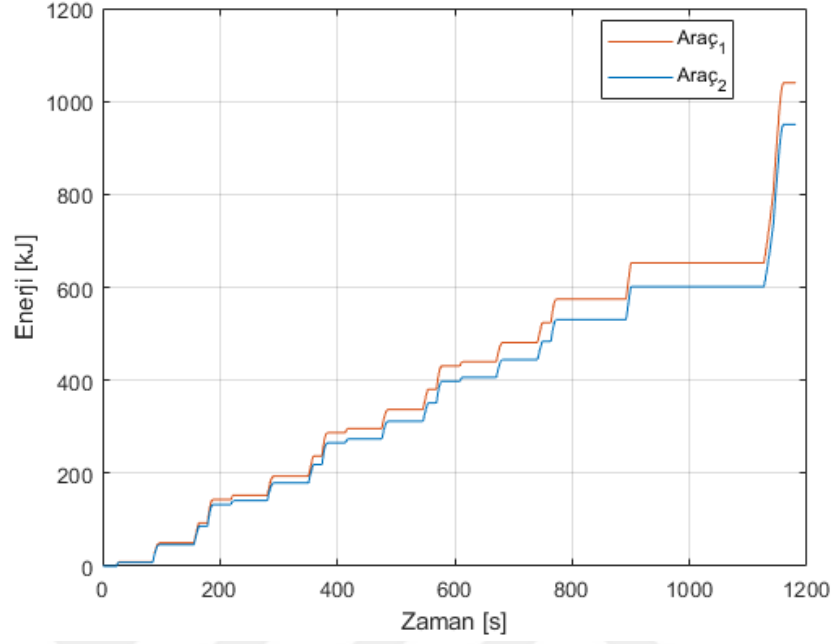


Şekil 27: NEDC Test-Araç.1 ve Araç.2 Kümülatif Enerji İhtiyacı

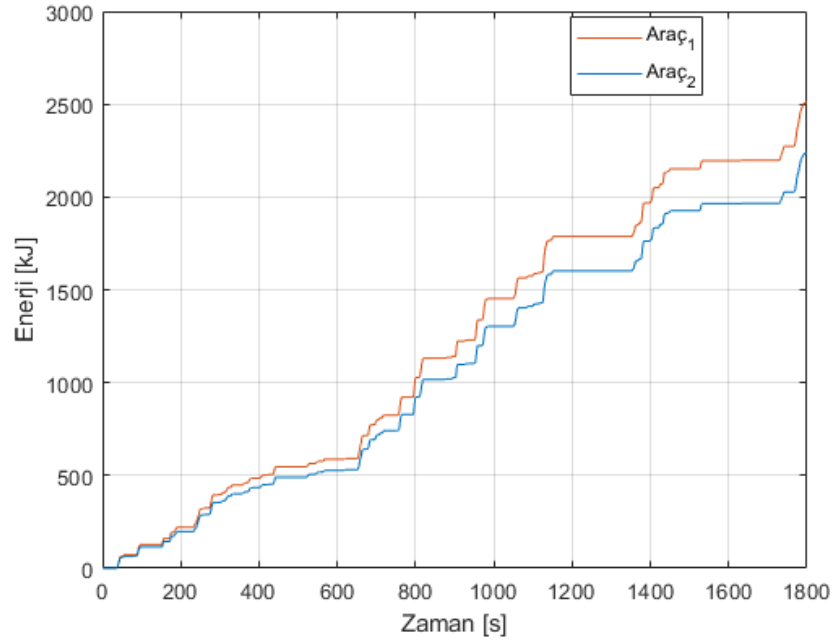


Şekil 28: WLTC Test-Araç.1 ve Araç.2 Kümülatif Enerji İhtiyacı

4.5 Kümülatif Frenleme Enerjisi

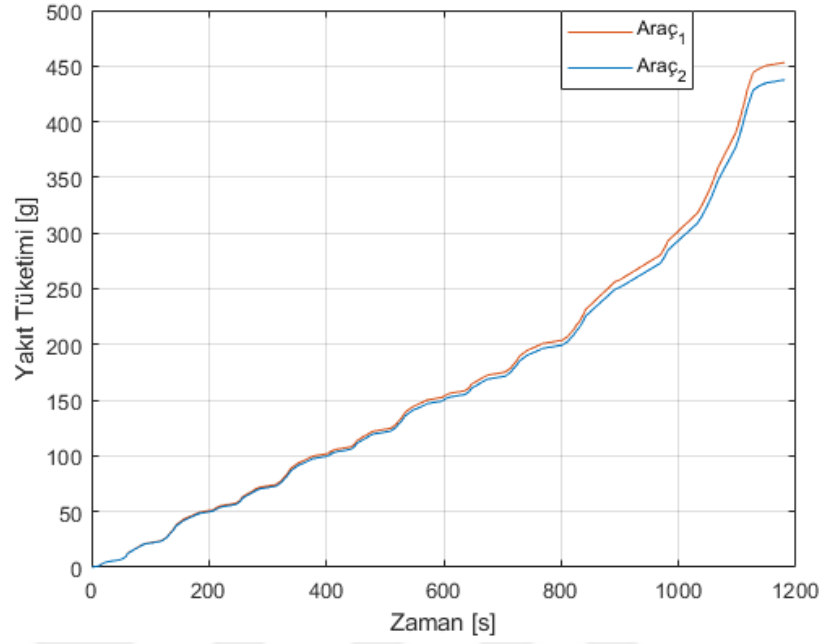


Şekil 29: NEDC Test-Araç.1 ve Araç.2 Teorik Kümülatif Rejeneratif Frenleme Enerjisi

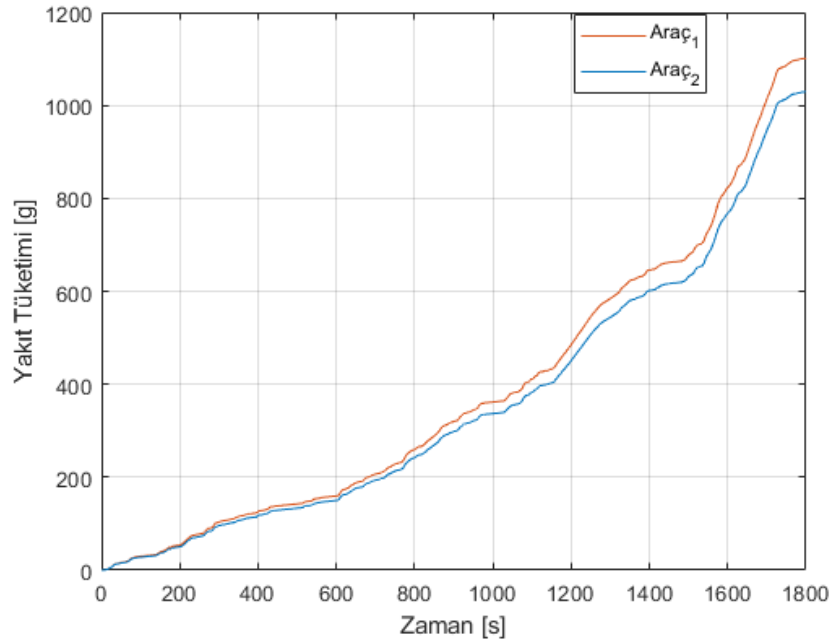


Şekil 30: WLTC Test-Araç.1 ve Araç.2 Teorik Kümülatif Rejeneratif Frenleme Enerjisi

4.6 Kümülatif Yakıt Tüketimi

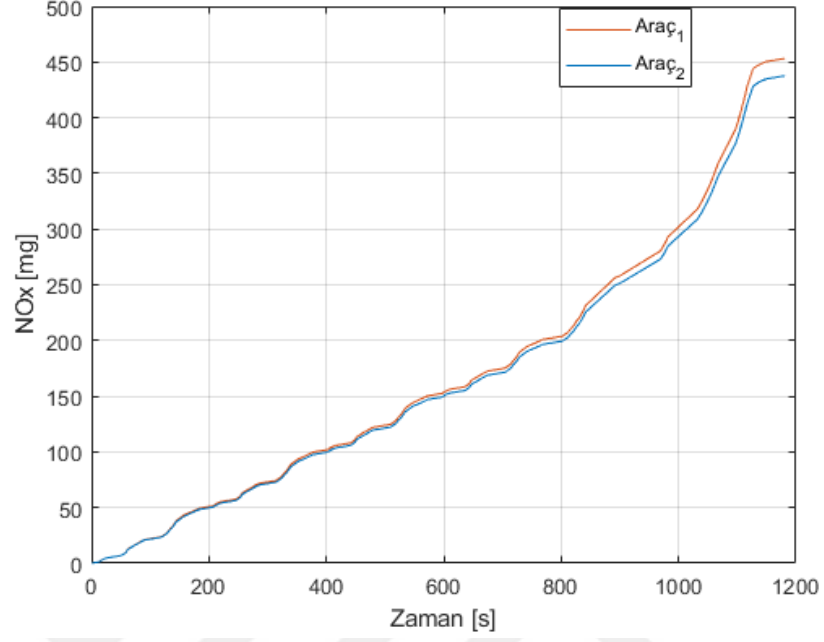


Şekil 31: NEDC Test-Araç.1 ve Araç.2 Kümülatif Yakıt Tüketimi

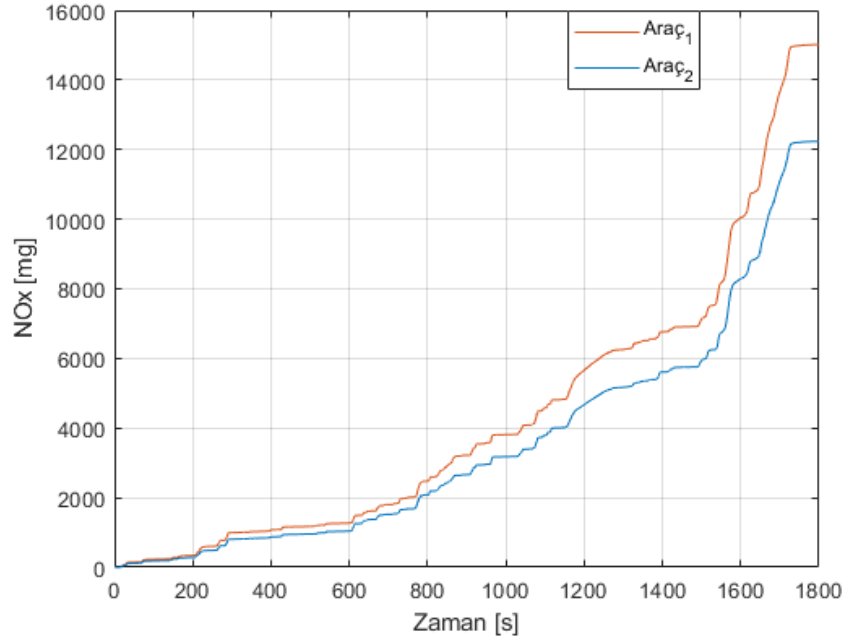


Şekil 32: WLTC Test-Araç.1 ve Araç.2 Kümülatif Yakıt Tüketimi

4.7 Kümülatif NO_x Emisyonu

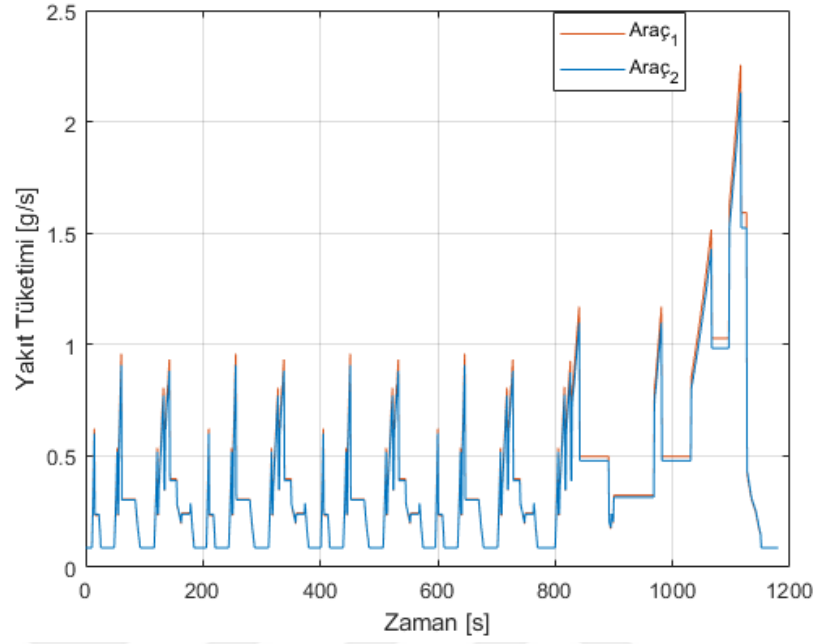


Şekil 33: NEDC Test-Araç.1 ve Araç.2 Kümülatif NO_x Emisyonu

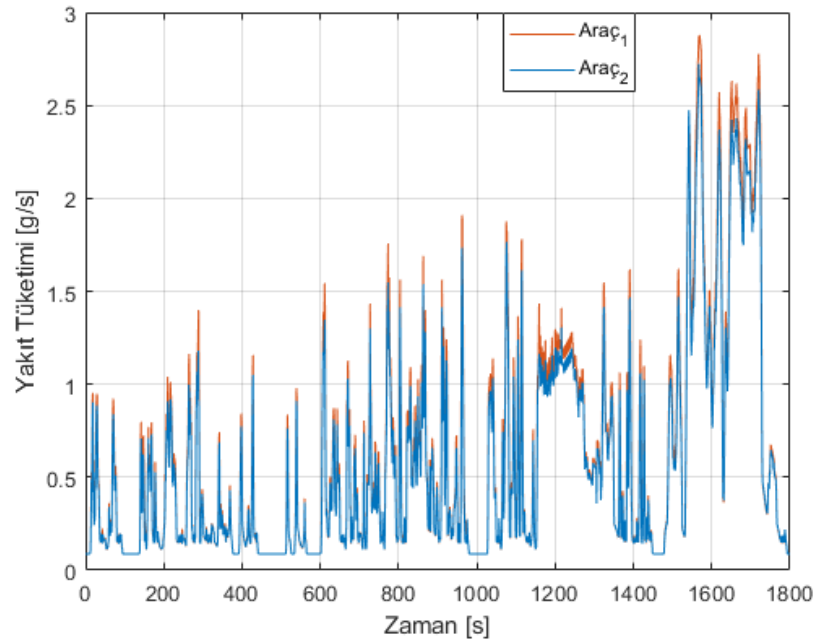


Şekil 34: WLTC Test-Araç.1 ve Araç.2 Kümülatif NO_x Emisyonu

4.8 Anlık Yakıt Tüketimi

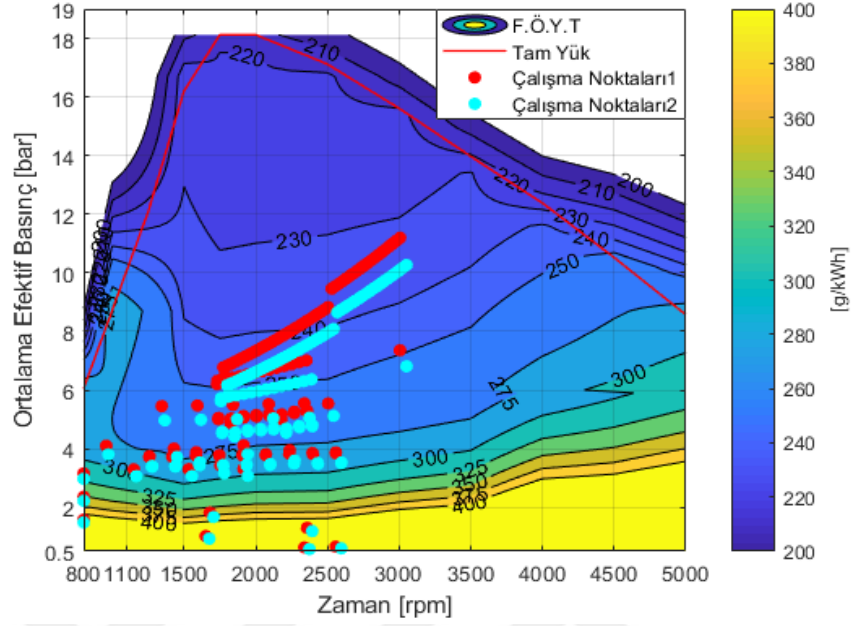


Şekil 35: NEDC Test-Araç.1 ve Araç.2 Anlık Yakıt Tüketimi

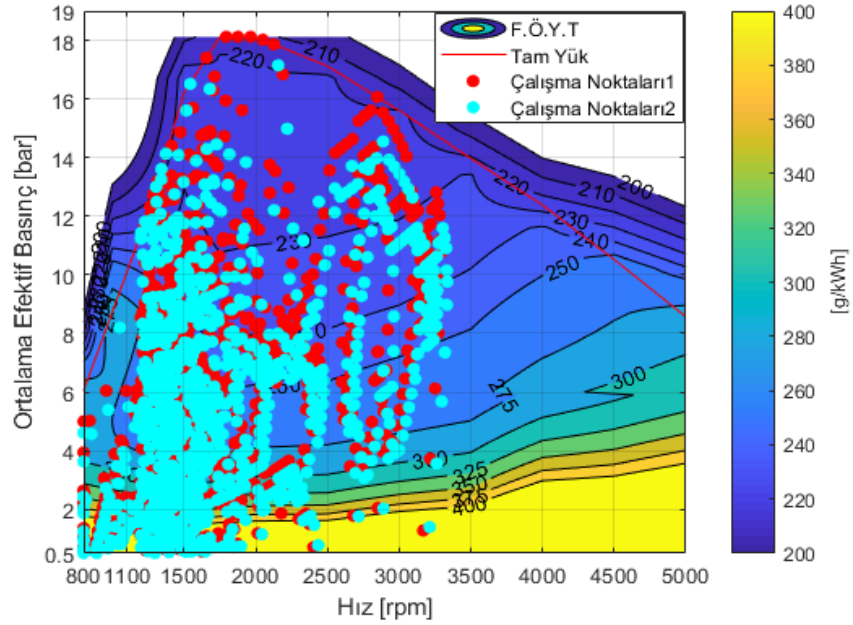


Şekil 36: WLTC Test-Araç.1 ve Araç.2 Anlık Yakıt Tüketimi

4.9 Yakıt Tüketimi Haritası



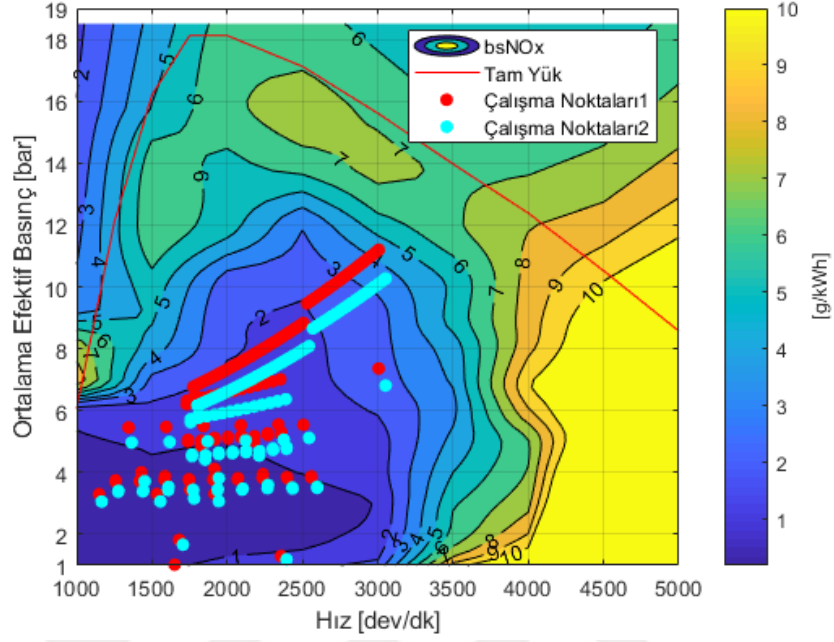
Şekil 37: NEDC Test-Araç.1 ve Araç.2 Özgül Yakıt Tüketimi Haritası



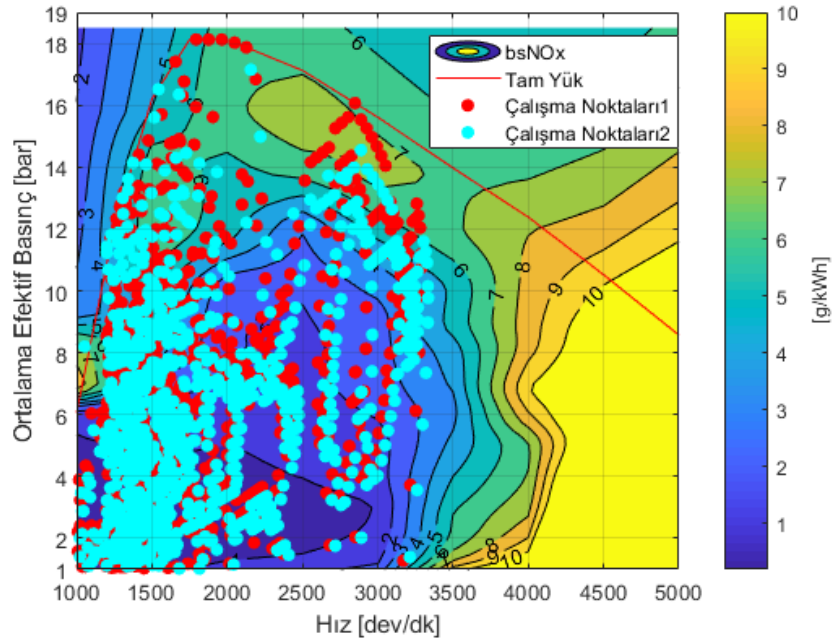
Şekil 38: WLTC Test-Araç.1 ve Araç.2 Özgül Yakıt Tüketimi Haritası

Şekil 37 ve 38’de her iki araç için yakıt tüketim haritaları görülmektedir. Hem yol yüklerinin hem de araçların ivmelenmelerinin farklı olduklarından dolayı WLTC döngüsünde NEDC’ye oranla çalışma noktalarının ne denli fazla olduğu görülmüştür.

4.10 NO_x Haritası



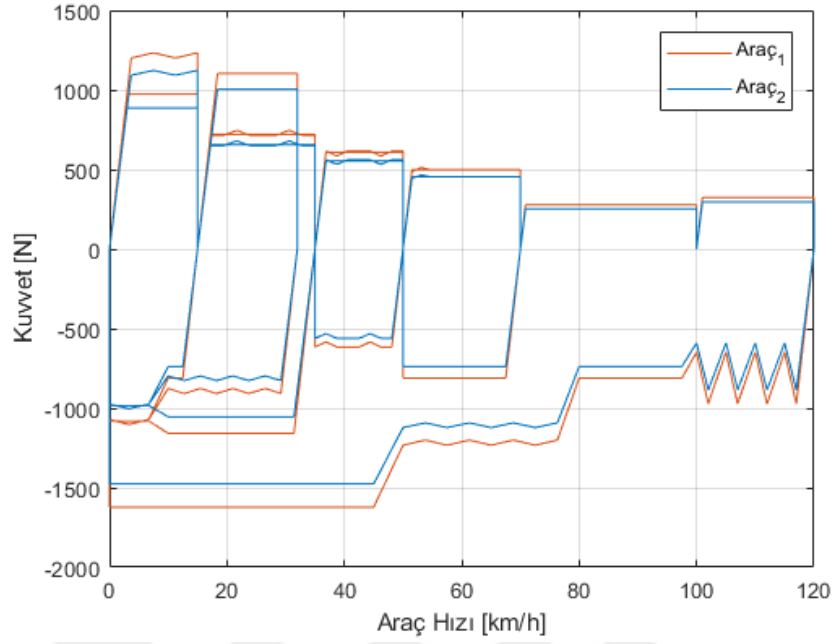
Şekil 39: NEDC Test-Araç.1 ve Araç.2 Özgül NO_x Haritası



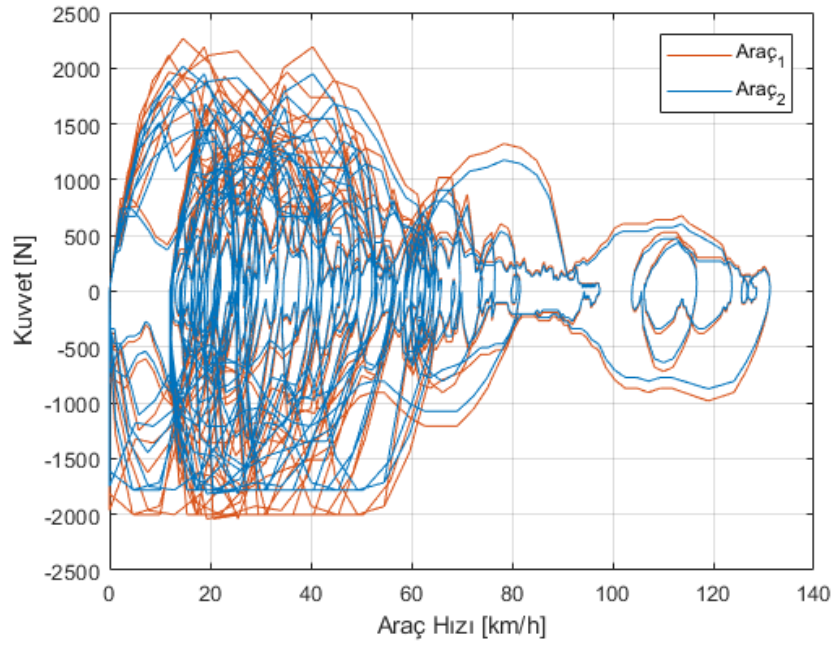
Şekil 40: WLTC Test-Araç.1 ve Araç.2 Özgül NO_x Haritası

Şekil 39 ve 40'de her iki araç için NO_x haritaları gösterilmektedir. NEDC çevrimdeki araçların (Şekil 39) NO_x emisyonlarındaki azlığı açıkça görülmüştür.

4.11 Net Kuvvet Hız Profili

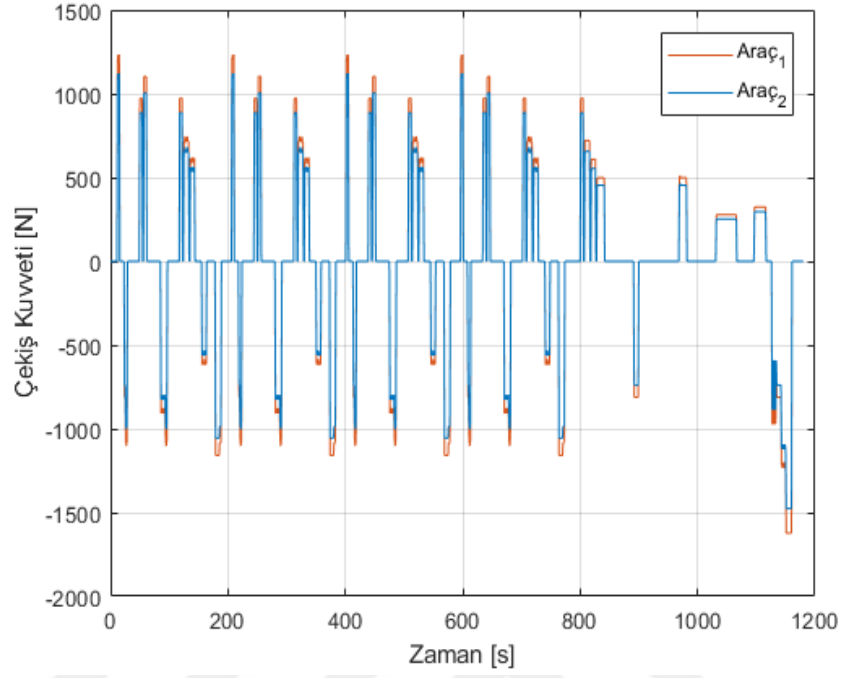


Şekil 41: NEDC Test-Araç.1 ve Araç.2 Kuvvet-Hız Haritası

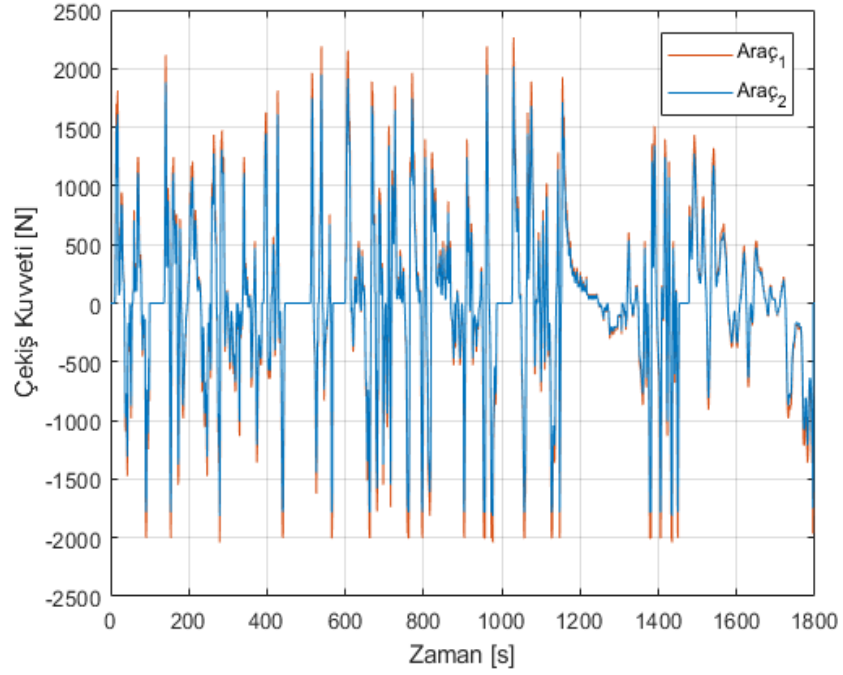


Şekil 42: WLTC Test-Araç.1 ve Araç.2 Kuvvet-Hız Haritası

4.12 Çekiş Kuvveti



Şekil 43: NEDC Test-Araç.1 ve Araç.2 Çekiş Kuvveti-Zaman Haritası

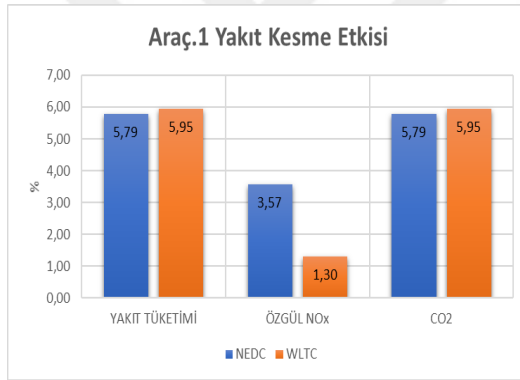


Şekil 44: WLTC Test-Araç.1 ve Araç.2 Çekiş Kuvveti-Zaman Haritası

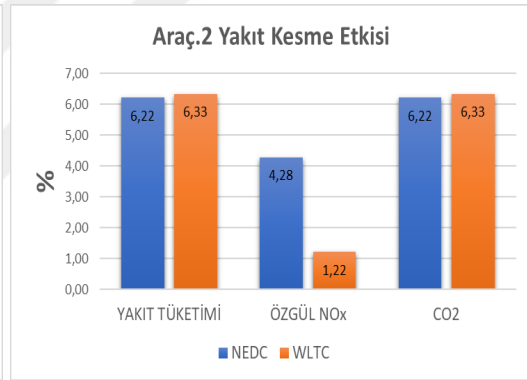
4.13 Yakıt Kesme

```
1 %% FUEL CUT-OFF
2 if (bmep(i)<=0 && rpm(i)>=1000) % CUT-OFF
3     fc(i)=0; % [kg/h]
4 elseif
5     ...
6 end
7
8 if (bmep(i)<=0 && rpm(i)>=1000) % CUT-OFF
9     nox(i)=0; % [g/h]
10 elseif
11     ...
12 end
```

Yakıt kesme, motorun belirli çalışma noktasında yakıt tedarığının kesilmesidir. Motorun belirli çalışma bölgesi motorun yavaşlama bölgesinin bir parçası ve de hem motor yükü hem de motor devri bu bölgeyi tanımlamaktadır. Yakıt kesme sisteminin amacı yakıt ekonomisini artırıp yakıt tüketimini azaltmaktır. Yakıt besleme devri motor rölanti devrinden daha büyük olarak ayarlanması gerekmektedir. Aksi halde motor stop eder.

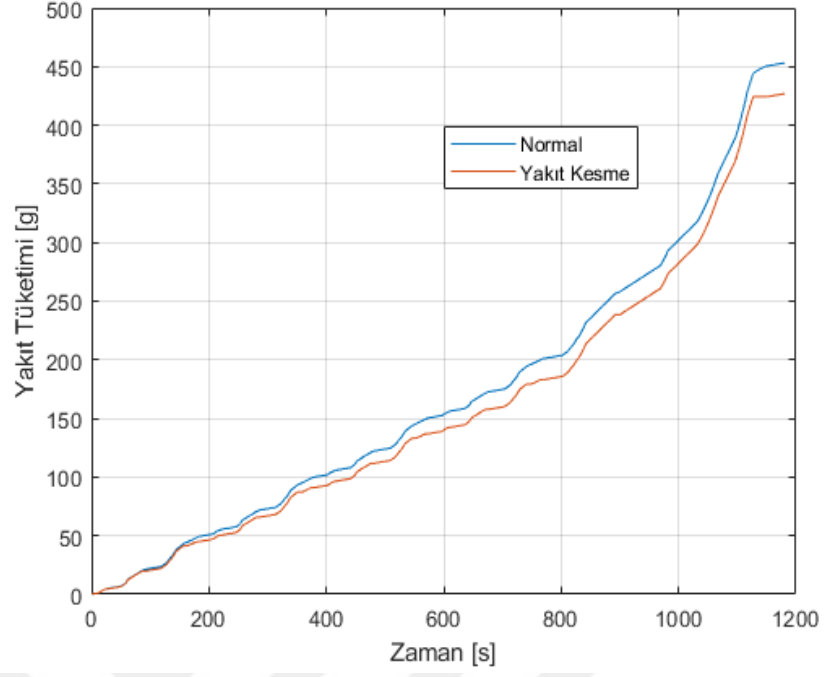


Şekil 45: Araç.1 Yakıt Kesme Özelliğinin NEDC ve WLTC Üzerindeki Etkisi

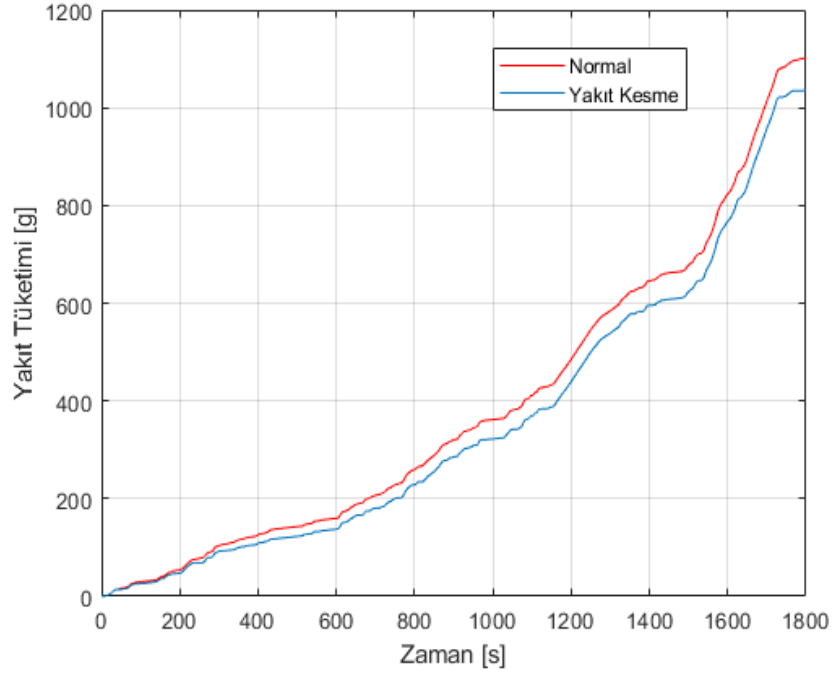


Şekil 46: Araç.2 Yakıt Kesme Özelliğinin NEDC ve WLTC Üzerindeki Etkisi

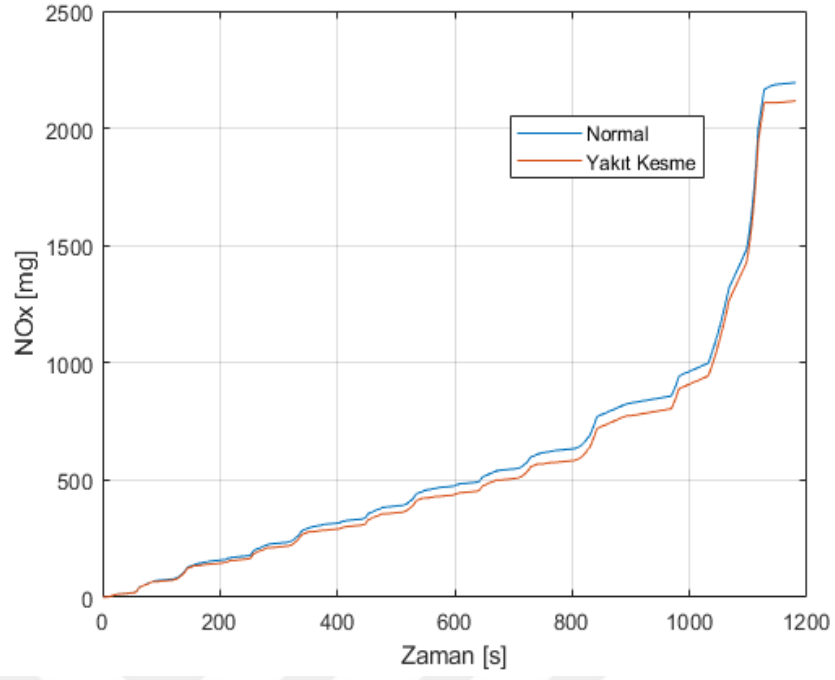
Şekil 45 ve 46’de Yakıt kesme teknolojisinin hem NEDC hem de WLTC sürüş çevrimleri üzerlerindeki etkileri gösterilmektedir. Bu teknoloji kullanıldığında baz modele göre sırasıyla yakıt tüketimi, NOx ve CO2 emisyonu üzerlerinde NEDC için yaklaşık olarak %6, %4 ve %6’lık bir iyileşme gözlemlenirken, WLTC için bu oran NOx emisyonu haricinde bu oranlara yaklaşık olarak aynı kalmaktadır.



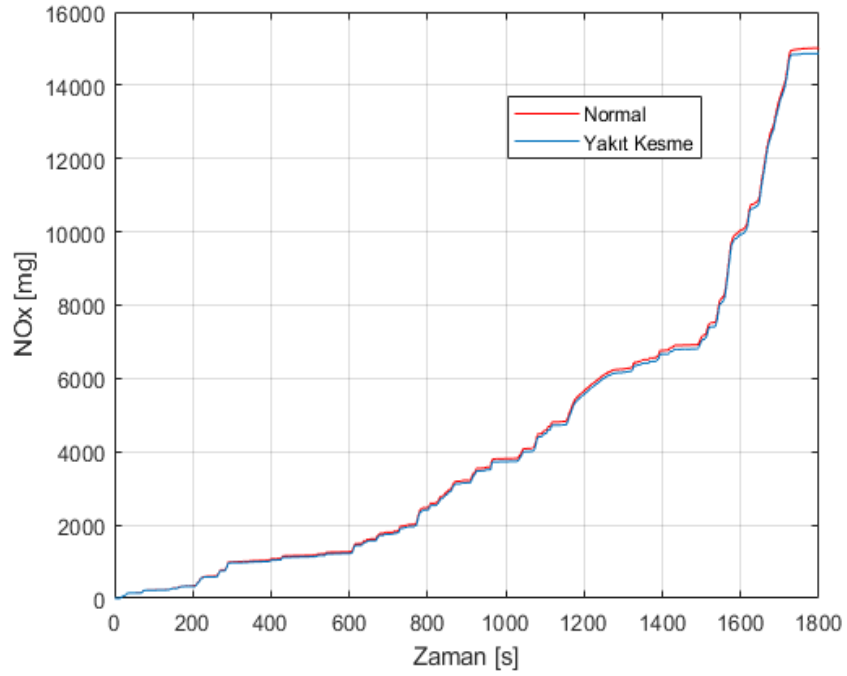
Şekil 47: NEDC Test-Araç1. Kümülatif Yakıt Tüketimi [Normal ve Yakıt Kesme Modu]



Şekil 48: WLTC Test-Araç1. Kümülatif Yakıt Tüketimi [Normal ve Yakıt Kesme Modu]



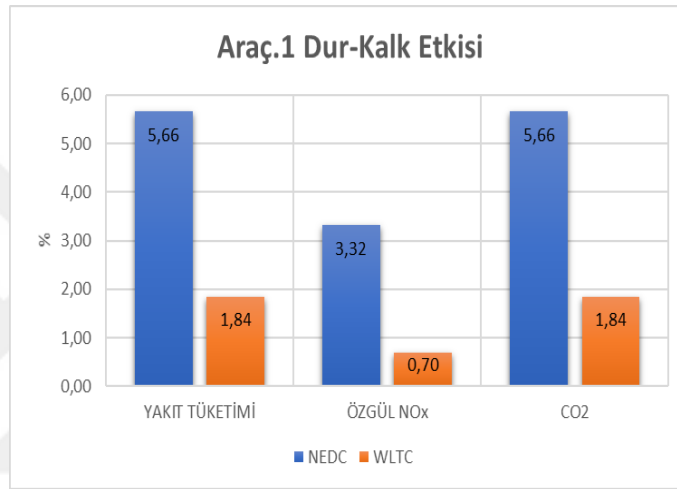
Şekil 49: NEDC Test-Araç1. Kümülatif NO_x Emisyonu [Normal ve Yakıt Kesme Modu]



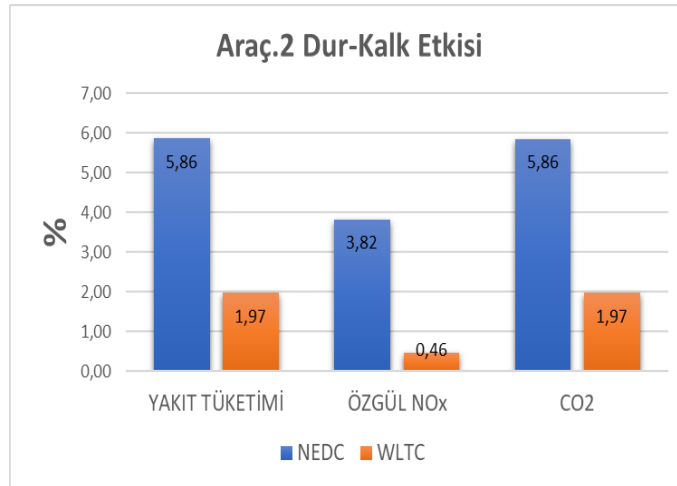
Şekil 50: WLTC Test-Araç1. Kümülatif NO_x Emisyonu [Normal ve Yakıt Kesme Modu]

4.14 Dur-Kalk Stratejisi

```
1 %% STOP&START
2 if (speed(i)<=0 && ratio<=0) % START&STOP
3     nox(i)=0; % [g/h]
4 else
5     ...
6 end
7
8 if (speed(i)<=0 && ratio<=0) % START&STOP
9     fc(i)=0; % [kg/h]
10 else
11     ...
12 end
```

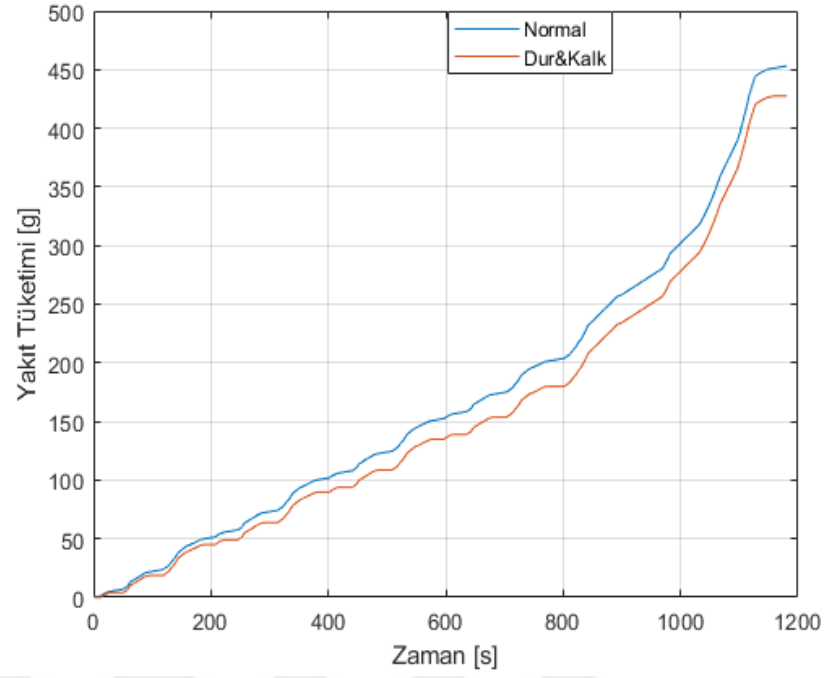


Şekil 51: Araç.1 Dur Kalk Özelliğinin NEDC ve WLTC Üzerindeki Etkisi

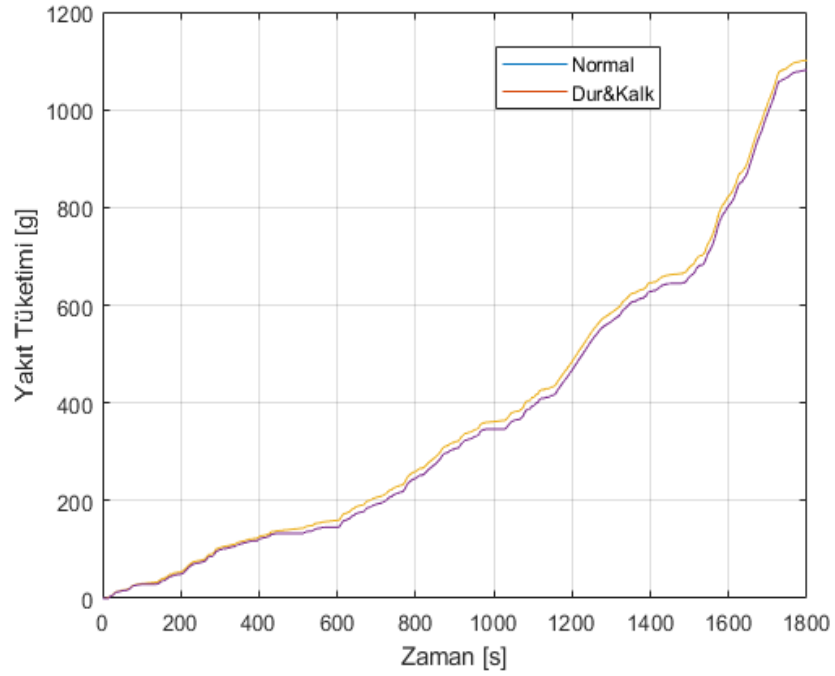


Şekil 52: Araç.2 Dur Kalk Özelliğinin NEDC ve WLTC Üzerindeki Etkisi

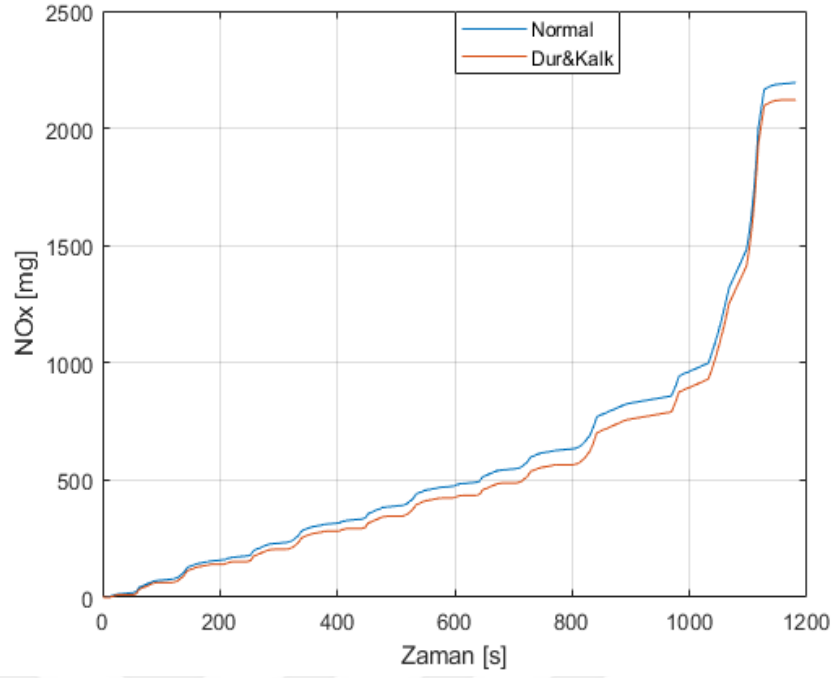
Dur Kalk modu NEDC’de rölanti süresinin daha fazla olmasından dolayı WLTC’ye oranla, hem kümülatif yakıt tüketimi (Şekil 53 ve 54) hem de kümülatif NO_x emisyonlarındaki (Şekil 55-56) etkisi daha fazladır.



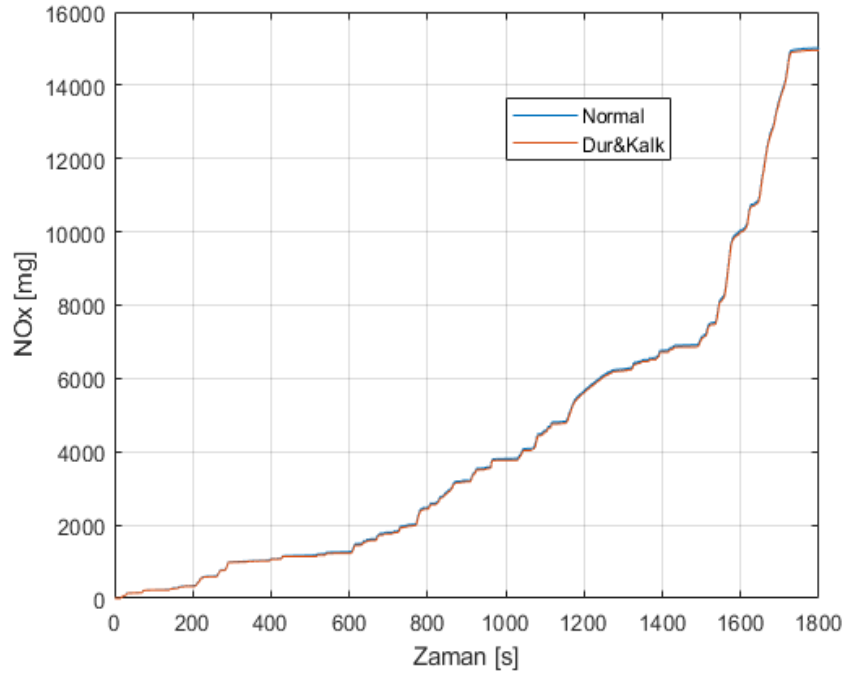
Şekil 53: NEDC Test-Araç1. Kümülatif Yakıt Tüketimi [Normal ve Dur-Kalk Modu]



Şekil 54: WLTC Test-Araç1. Kümülatif Yakıt Tüketimi [Normal ve Dur-Kalk Modu]



Şekil 55: NEDC Test-Araç1. Kümülatif NO_x Emisyonu [Normal ve Dur-Kalk Modu]

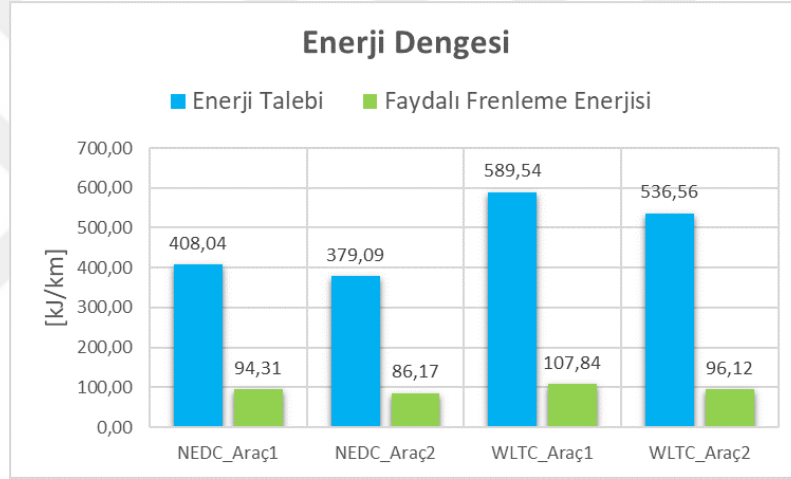


Şekil 56: WLTC Test-Araç1. Kümülatif NO_x Emisyonu [Normal ve Dur-Kalk Modu]

4.15 Enerji Dengesi

```
1 %% MECHANICAL ENERGY DEMAND
2
3 if i==1
4
5     mechanical_energy=mechanical_energy+pwr_pos(i)*(time(i)-0);           % [kJ]
6 else
7     mechanical_energy=mechanical_energy+pwr_pos(i)*(time(i)-time(i-1)); % [kJ]
8 end
```

```
1 %% BRAKE ENERGY
2 if i==1
3     brake_energy=brake_energy+pwr_neg(i)*(time(i)-0);           % [kJ]
4 else
5     brake_energy=brake_energy+pwr_neg(i)*(time(i)-time(i-1)); % [kJ]
6 end
```



Şekil 57: NEDC-WLTC Mekanik Enerji ve Faydalı Frenleme Enerjilerinin Kıyaslanması

Şekil 57’te görüldüğü gibi WLTC sürüş döngüsü için gerekli olan enerji ihtiyacı NEDC sürüş döngüsünden daha fazladır. Faydalı frenleme enerjisinin WLTC sürüş döngüsüne olan katkısı fazla olmasına rağmen enerji ihtiyacı fazla olduğundan dolayı çevrime olan etkisi daha az olacaktır.

5 SONUÇ

Bu çalışmada NEDC ve WLTP adıyla bilinen iki farklı sürüş çevrimin CO₂, NO_x emisyonları ile yakıt tüketimi üzerindeki farklar ele alınmıştır. Daha dinamik ve gerçek sürüş çevrimine yakınlığı nedeniyle, WLTC çevrimindeki yakıt tüketimi ve kirlenici emisyonlar NEDC'ye göre daha yüksek değerlerde çıkmıştır. Hız profillerinin ve test sürelerinin farklı olması, WLTC'nin daha dinamik bir sürüş profiline sahip olması, WLTC döngüsünün NEDC'ye nazaran daha yüksek motor yüküne sahip olması, emisyon ve yakıt tüketiminin daha düşük çıkmasına sebebiyet vermiştir. Dahası, WLTC çevrimindeki araç test ağırlığını NEDC'ye göre daha yüksek olması da yakıt tüketimi ve kirlenici emisyonların fazla çıkmasında önemli rol oynamıştır.

Ayrıca yakıt ekonomisinde kullanılan teknolojilerden bazıları NEDC ve WLTP sürüş döngüleri üzerindeki etkileri de görülmüştür. NEDC sürüş döngüsünde CO₂ emisyonu üzerindeki dur-kalk etkisi araç-1 ve araç-2 için sırasıyla %5,66 ve %5,86 iken, WLTC test döngüsü çalıştırıldığında bu etki araç-1 için %1,84, araç-2 için %1,97'dir. Bu teknoloji WLTC'ye kıyasla NEDC üzerinde daha güçlü bir etkiye sahiptir. Nedeni, WLTP sürüş döngüsünde rölanti devrinin süresi NEDC'ye göre çok daha kısa olmasıdır.

Tablo 5: Araç-1 ve Araç-2 Baz Model Kümülatif Sonuçlar

	ARAÇ-1		ARAÇ-2	
	NEDC	WLTP	NEDC	WLTP
Yakıt Tüketimi [L/100km]	4,9213	5,6674	4,7515	5,2982
Özgül NO _x [g/km]	0,1990	0,6474	0,1727	0,5259
CO ₂ [g/km]	130,4537	150,2315	125,9512	140,4440
Özgül Mekanik Enerji [kJ/kg]	408,0356	589,5356	379,0880	536,5591
Özgül Frenleme Enerjisi [kJ/kg]	-94,3115	-107,8410	-86,1679	-96,1206
Yakıt Kesme Etkisi				
Yakıt Tüketimi [L/100km]	4,6365	5,3303	4,4561	4,9628
Özgül NO _x [g/km]	0,1919	0,6390	0,1653	0,5195
CO ₂ [g/km]	122,9043	141,2958	118,1233	131,5547
Dur-Kalk Etkisi				
Yakıt Tüketimi [L/100km]	4,6429	5,5629	4,4730	5,1937
Özgül NO _x [g/km]	0,1924	0,6429	0,1661	0,5235
CO ₂ [g/km]	123,0730	147,4616	118,5705	137,6741
Her İki Sistemin Toplam Etkisi				
Yakıt Tüketimi [L/100km]	4,3581	5,2258	4,1777	4,8583
Özgül NO _x [g/km]	0,1853	0,6365	0,1586	0,5170
CO ₂ [g/km]	115,5235	138,5259	110,7425	128,7848

Tablo 5’te görüldüğü üzere WLTP sayesinde yakıt tüketimi ve CO₂ emisyonunun orta seviyede olan bir aracın gerçek sürüş şartlarına yakınlığı nedeniyle daha yüksek yakıt tüketimi ve CO₂ emisyonuna sahip olduğu anlaşılmaktadır. Yakıt ekonomisinde kullanılan teknolojiler NEDC sürüş döngüsü üzerindeki etkisi WLTP’ den çok daha fazladır. Bu durum belli bir oranda kabul edilebilir, çünkü araç üreticileri bu teknolojileri mevcut ve çok yakın gelecekte eski olacak olan yönetmeliğe göre geliştirdiler. Görünen o ki ya mevcut teknolojiler daha da iyileştirmeli ya da ya da yeni konseptler geliştirilmelidir.



KAYNAKLAR

- [1] PG Boulter, TJ Barlow, S Latham, and IS McCrae. Emission factors 2009: Report 1-a review of methods for determining hotexhaust emission factors for road vehicles. *TRL Published Project Report*, 2009.
- [2] Z. CHŁOPEK, J. BIEDRZYCKI, J. LASOCKI, and Et Al. CE-2017-426 Modelling of motor vehicle operation for the evaluation of pollutant emission and fuel consumption. 171(4):156–163, 2017.
- [3] European Commmission. Method for Data Evaluation and Calculation. Technical report, Commission, European Parliament, Brussels, Brussels, 2016.
- [4] E. G. Giakoumis. *Driving and Engine Cycles*. Springer International Publishing, Cham, Switzerland, 2017.
- [5] Wojciech Gis and Piotr Bielaczyc. SAE TECHNICAL Emission of CO2 and Fuel Consumption for Automotive Vehicles. 1999.
- [6] Carlo N Grimaldi and Federico Millo. *Internal Combustion Engine (ICE) Fundamentals*.
- [7] John B Heywood. Combustion engine fundamentals. 1ª Edição. Estados Unidos, 1988.
- [8] International Agency for Research on Cancer by the Secretariat of the World Health Organization. IARC MONOGRAPHS ON THE EVALUATION OF CARCINOGENIC RISKS TO HUMANS. In *Diesel and Gasoline Engine Exhausts and Some Nitroarenes*, 1989.
- [9] Jakub Lasocki. Gearshift Strategy in the Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure. 1(115):113–123, 2018.
- [10] Norbert E. Ligterink, Pim van Mensch, and Rob F.A. Cuelenaere. Tno 2016 R11285. Technical report, 2016.
- [11] Alessandro Marotta, Jelica Pavlovic, Biagio Ciu, Simone Serra, and Georgios Fontaras. Gaseous Emissions from Light-Duty Vehicles : Moving from NEDC to the New WLTP Test Procedure. 2015.
- [12] Author Peter Mock. Development of a Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure (WLTP). 2011.
- [13] Leonidas Ntziachristos, Dimitris Tsokolis, Stefan Hausberger, and Norbert E Ligterink. Author ' s personal copy In-use vs . type-approval fuel consumption of current passenger cars in Europe. *Energy Policy*, pages 403–411, 2014.
- [14] J Pavlovic, B. Ciuffo, G Fontaras, V Valverde, and A Marotta. How much difference in type-approval CO2 emissions from passenger cars in Europe can be expected from changing to the new test procedure (NEDC vs. WLTP). *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 111(February):136–147, 2018.

- [15] R. Joumard, M. Andre, R. Vidon, P. Tassel, and C. Pruvost. Influence of driving cycles on unit emissions from passenger cars. *Atmospheric Environment*, 34:4621–4628, 2000.
- [16] Global Registry. Addendum 15 : Global technical regulation No . 15. (15), 2014.
- [17] Ibrahim Aslan Reşitoğlu, Kemal Altinişik, and Ali Keskin. The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 17(1):15–27, 2015.
- [18] Marco Stellato. FCA Full Scale Wind Tunnel: WLTP and Coast Down Test Performed With Wind Tunnel Method. (May):1–10, 2018.
- [19] Uwe Tietge, Sonsoles Díaz, Peter Mock, Anup Bandivadekar, Jan Dornoff, and Norbert Ligterink. From Laboratory to Road 2018 Update. 2015.
- [20] United Nations. Economic and Social Council. Technical Report April, 2017.
- [21] United Nations Global Technical Regulation. Addendum 15 : United Nations Global Technical Regulation. Technical Report September, 2018.
- [22] United Nations Regulation. Addendum 100: Regulation No. 101. Technical Report April, 2013.

EK1

Tablo 6: NO_x Haritası Verileri [g/h]

BMEP [bar]	Motor Hızı [dev/dk]								
	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
1	0,9	1	2,9	4,3	7,3	34,3	51,6	180,2	257,8
1,25	0,8	1	2,7	4,1	7,3	36,8	57,7	188,6	267,6
1,5	0,7	1,1	2,4	3,9	7,4	39,6	63,7	197,1	277,1
1,75	0,6	1,2	2,2	3,7	7,5	42,8	69,6	205,5	286,3
2	0,6	1,3	2,1	3,7	7,7	46,2	75,2	213,9	295,2
2,25	0,6	1,5	2,2	3,8	7,9	50,4	80,6	222	304,3
2,5	0,6	1,7	2,4	3,9	8,4	55,4	85,9	230	313,3
2,75	0,6	2,1	2,7	4,2	9	60,2	91	238,1	321,6
3	0,6	2,5	3,1	4,5	9,7	64	96,3	247	328,4
3,25	0,7	3	3,6	5,4	11,2	66,7	101,5	257,7	333,1
3,5	1,1	3,8	4,5	7	13,8	69	106,7	270,4	336,7
3,75	1,5	4,6	5,5	8,9	16,6	71	112	282,3	340,5
4	2	5,5	6,5	10,6	18,9	72,8	117,7	290,9	346
4,25	2,5	6,2	7,4	11,9	20,4	74,3	123,5	295,6	356,5
4,5	3,2	6,9	8,3	13,2	21,5	75,7	129,2	298,9	373
4,75	3,9	7,7	9,2	14,5	22,8	76,9	135,9	302,3	391,8
5	4,7	8,7	10,4	16	24,4	78,1	144,4	307,3	409,2
5,25	5,3	10,1	11,8	17,5	27,1	79,1	158,1	316,5	425,2
5,5	5,9	11,8	13,4	19,2	30,8	79,9	178,3	329,6	441,2
5,75	6,8	13,9	15,3	21	35	80,8	200,9	344,1	457,4
6	8,2	16,3	17,2	22,9	39	82,2	221,3	357,3	474
6,25	18,6	19	19,1	24,8	42,9	85,6	240,7	368,9	492,1
6,5	36,4	22,1	21,1	27	46,8	91,5	261	380,2	511,5
6,75	53,9	25,7	23,2	29	50,7	98,5	277,7	391,1	530,1
7	63,2	29,9	25,4	30,8	54,3	105,2	286,2	401,4	545,7
7,25	63,4	35,3	27,8	32,1	57,5	111	287,9	411,2	558,7
7,5	63,3	42,1	30,5	33,1	60,7	116,7	288,9	420,6	570,7
7,75	63,1	49,1	32,9	34,2	63,6	122,9	289,7	429,5	580,9
8	62,8	55,1	34,7	35,5	66	130,2	291,2	437,9	588,2
8,25	61,4	59,9	35,9	37,3	67,9	140,6	295,3	446,6	593,1
8,5	57,1	64,2	36,6	39,5	69,3	153,9	302,4	455,4	597,5
8,75	50,7	68,1	37,5	42	70,7	166,7	311	462,8	600,9
9	42,6	71,8	38,6	44,5	72,9	175,3	319,2	467,3	602,8
9,25	33,5	75,5	40,3	46,8	76,9	179,3	326,9	470,2	602,8
9,5	33,5	79,2	42,7	49,1	83,7	182	334,9	472,7	602,8
9,75	33,5	83	45,7	51,7	91,9	184,6	342,8	474,7	602,8
10	33,5	87,2	49,3	54,8	100,6	188,4	350,1	476,2	602,8
10,25	33,5	91,9	55,1	59	109,6	195,9	356,8	476,9	602,8
10,5	33,5	97,2	64,6	64,3	119,6	208	363,2	476,9	602,8
10,75	33,5	102,9	76,6	70	130,7	223,3	369,4	476,9	602,8
11	33,5	108,6	90,1	75,6	142,7	240,5	375,4	476,9	602,8

11,25	33,5	114,1	103,8	80,4	156,1	258,1	381,1	476,9	602,8
11,5	33,5	119,2	116,8	85	171,5	274,7	386,5	476,9	602,8
11,75	33,5	123,6	127,9	90,2	188,1	288,9	391,5	476,9	602,8
12	33,5	127	135,9	97,2	205,5	299,3	396,1	476,9	602,8
12,25	33,5	129,6	141,3	108,8	223,1	306,5	396,1	476,9	602,8
12,5	33,5	132,2	145,7	125,9	240,3	313,5	396,1	476,9	602,8
12,75	33,5	134,7	149,5	145,4	256,5	320,2	396,1	476,9	602,8
13	33,5	136,9	152,9	164,2	271,2	326,3	396,1	476,9	602,8
13,25	33,5	138,7	156,1	183	286,2	331,7	396,1	476,9	602,8
13,5	33,5	140,1	159,5	202,8	301,8	336,2	396,1	476,9	602,8
13,75	33,5	141	163,4	221,4	314,8	339,6	396,1	476,9	602,8
14	33,5	141,3	168,1	236,5	322,3	341,7	396,1	476,9	602,8
14,25	33,5	140,8	174,1	249,6	324,4	341,7	396,1	476,9	602,8
14,5	33,5	139,6	181,5	262,6	326	341,7	396,1	476,9	602,8
14,75	33,5	137,8	190	275,2	327,4	341,7	396,1	476,9	602,8
15	33,5	135,3	198,8	286,8	328,4	341,7	396,1	476,9	602,8
15,25	33,5	132,2	207,4	296,8	329,2	341,7	396,1	476,9	602,8
15,5	33,5	128,5	215,4	304,7	329,7	341,7	396,1	476,9	602,8
15,75	33,5	124,4	222,1	309,9	330	341,7	396,1	476,9	602,8
16	33,5	124,4	227	312	330	341,7	396,1	476,9	602,8
16,25	33,5	124,4	230,6	312	330	341,7	396,1	476,9	602,8
16,5	33,5	124,4	234,2	311,7	330	341,7	396,1	476,9	602,8
16,75	33,5	124,4	237,6	310,8	330	341,7	396,1	476,9	602,8
17	33,5	124,4	240,7	309,1	330	341,7	396,1	476,9	602,8
17,25	33,5	124,4	243,6	306,2	330	341,7	396,1	476,9	602,8
17,5	33,5	124,4	246,2	306,2	330	341,7	396,1	476,9	602,8
17,75	33,5	124,4	248,3	306,2	330	341,7	396,1	476,9	602,8
18	33,5	124,4	250	306,2	330	341,7	396,1	476,9	602,8
18,25	33,5	124,4	251,1	306,2	330	341,7	396,1	476,9	602,8
18,5	33,5	124,4	251,7	306,2	330	341,7	396,1	476,9	602,8

Tablo 7: Yakıt Tüketimi Haritası Verileri [kg/h]

BMEP [bar]	Motor Hızı [dev/dk]										
	800	1000	1500	1750	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
0,5	0,37251	0,44092	0,62287	0,75728	0,88425	11,107	15,816	19,935	28,261	31,793	35,326
0,6	0,38953	0,46219	0,65277	0,79233	0,92485	11,619	16,392	20,606	33,439	37,526	42,391
0,7	0,40656	0,48347	0,68267	0,82738	0,96544	1,213	16,967	21,277	34,114	3,836	48,208
0,8	0,42358	0,50475	0,71257	0,86244	1,006	12,642	17,543	21,948	3,479	39,194	49,114
0,9	0,44061	0,52602	0,74247	0,89749	10,466	13,154	18,118	22,619	35,466	40,028	50,019
1	0,45763	0,5473	0,77238	0,93254	10,872	13,665	18,694	2,329	36,142	40,862	50,925
1,1	0,47466	0,56858	0,80228	0,96759	11,278	14,177	19,269	23,961	36,817	41,696	51,831
1,2	0,49169	0,58986	0,83218	10,026	11,684	14,689	19,844	24,632	37,493	4,253	52,737
1,3	0,50871	0,61113	0,86208	10,377	1,209	1,52	2,042	25,303	38,169	43,364	53,642
1,4	0,52574	0,63241	0,89198	10,727	12,496	15,712	20,995	25,974	38,844	44,198	54,548
1,5	0,54276	0,65369	0,92188	11,078	12,902	16,224	21,571	26,645	3,952	45,032	55,454
1,6	0,55979	0,67496	0,95178	11,429	13,308	16,735	22,146	27,316	40,196	45,866	5,636
1,7	0,57681	0,69624	0,98168	11,779	13,714	17,247	22,722	27,987	40,871	4,67	57,265
1,8	0,59384	0,71752	10,116	1,213	1,412	17,759	23,297	28,659	41,547	47,534	58,171
1,9	0,61087	0,73879	10,415	1,248	14,526	1,827	23,872	2,933	42,223	48,367	59,077
2	0,62789	0,76007	10,714	12,831	14,932	18,782	24,448	30,001	42,898	49,201	59,983
2,1	0,64492	0,78135	11,013	13,181	15,338	19,293	25,023	30,672	43,574	50,035	60,888
2,2	0,66194	0,80263	11,312	13,532	15,744	19,805	25,599	31,343	4,425	50,869	61,794
2,3	0,67897	0,8239	11,611	13,882	1,615	20,317	26,174	32,014	44,926	51,703	6,27
2,4	0,69599	0,84518	1,191	14,233	16,556	20,828	2,675	32,685	45,601	52,537	63,606
2,5	0,71302	0,86646	12,209	14,583	16,962	2,134	27,325	33,356	46,277	53,371	64,512
2,6	0,73004	0,88773	12,508	14,934	17,368	21,852	2,79	34,027	46,953	54,205	65,417
2,7	0,74707	0,90901	12,807	15,284	17,774	22,363	28,476	34,698	47,628	55,039	66,323
2,8	0,7641	0,93029	13,106	15,635	1,818	22,875	29,051	35,369	48,304	55,873	67,229
2,9	0,78112	0,95157	13,405	15,985	18,586	23,387	29,627	3,604	4,898	56,707	68,135
3	0,79815	0,97284	13,704	16,336	18,992	23,898	30,202	36,711	49,655	57,541	6,904
3,1	0,81517	0,99412	14,003	16,686	19,398	2,441	30,777	37,382	50,331	58,375	69,946

3,2	0,8322	10.154	14.302	17.037	19.804	24.922	31.353	38.053	51.007	59.208	70.852
3,3	0,84922	10.367	14.601	17.387	2.021	25.433	31.928	38.724	51.683	60.042	71.758
3,4	0,86625	1.058	1.49	17.738	20.615	25.945	32.504	39.395	52.358	60.876	72.663
3,5	0,88327	10.792	15.199	18.088	21.021	26.457	33.079	40.066	53.034	6.171	73.569
3,6	0,90003	11.005	15.498	18.439	21.427	26.968	33.655	40.738	5.371	62.544	74.475
3,7	0,91733	11.218	15.797	18.789	21.833	2.748	3.423	41.409	54.385	63.378	75.381
3,8	0,93435	11.431	16.096	1.914	22.239	27.992	34.805	4.208	55.061	64.212	76.286
3,9	0,95138	11.643	16.395	1.949	22.645	28.503	35.381	42.751	55.737	65.046	77.192
4	0,98464	11.605	16.694	19.841	23.051	29.015	35.956	43.422	56.412	6.588	78.098
4,1	1.006	11.859	16.993	20.191	23.457	29.527	36.532	44.093	57.088	66.714	79.004
4,2	10.277	12.117	17.292	20.542	23.863	30.038	37.107	44.764	57.764	67.548	79.909
4,3	10.496	12.377	17.591	20.892	24.269	3.055	37.683	45.435	58.439	68.382	80.815
4,4	10.718	12.642	1.789	21.243	24.675	31.062	38.258	46.106	59.115	69.215	81.721
4,5	10.943	12.909	18.189	21.594	25.081	31.573	38.833	46.777	59.791	70.049	82.627
4,6	1.117	1.318	18.488	21.944	25.487	32.085	39.409	47.448	60.467	70.883	83.532
4,7	1,14	13.455	18.787	22.295	25.893	32.596	39.984	48.119	61.142	71.717	84.438
4,8	11.633	13.732	19.086	22.645	26.299	33.108	4.056	4.879	61.818	72.551	85.344
4,9	11.868	14.014	19.385	22.996	26.705	3.362	41.135	49.461	62.494	73.385	8.625
5	12.107	14.298	20.253	23.641	27.111	34.131	41.711	50.132	63.169	74.219	87.155
5,1	12.348	14.586	20.582	24.012	27.517	34.643	42.286	50.803	63.845	75.053	88.061
5,2	12.591	14.878	20.912	24.384	27.923	35.155	42.861	51.474	64.521	75.887	88.967
5,3	12.838	15.173	21.242	24.756	28.329	35.666	43.437	52.145	65.196	76.721	89.873
5,4	13.087	15.471	21.571	25.127	28.735	36.178	44.012	52.817	65.872	77.555	90.778
5,5	13.339	15.773	21.901	25.499	29.141	3.669	44.588	53.488	66.548	78.389	91.684
5,6	13.593	16.078	22.231	25.871	29.547	37.201	45.163	54.159	67.223	79.223	9.259
5,7	1.385	16.387	2.256	26.242	29.953	37.713	45.739	5.483	67.899	80.056	93.496
5,8	1.411	16.699	2.289	26.614	30.359	38.225	46.314	55.501	68.575	8.089	94.401
5,9	14.373	17.014	2.322	26.985	30.765	38.736	46.889	56.172	69.251	81.724	95.307
6	14.638	17.333	23.549	27.357	31.443	39.434	48.698	5.846	72.896	8.583	10.045

6,1	14.638	17.655	23.879	27.729	31.867	39.965	49.319	59.189	73.671	86.764	10.148
6,2	14.638	17.981	24.209	2,81	3.229	40.496	49.941	59.919	74.447	87.698	10.25
6,3	14.638	1.831	24.539	28.472	32.714	41.027	50.563	60.649	75.223	88.632	10.353
6,4	14.638	18.643	24.868	28.844	33.138	41.558	51.184	61.379	75.998	89.566	10.455
6,5	14.638	18.979	25.198	29.215	33.561	42.089	51.806	62.109	76.774	9,05	10.558
6,6	14.638	19.318	25.528	29.587	33.985	4.262	52.427	62.839	7.755	91.434	10.66
6,7	14.638	19.661	25.857	29.958	34.409	43.151	53.049	63.569	78.325	92.368	10.763
6,8	14.638	20.007	26.187	3.033	34.833	43.682	53.671	64.299	79.101	93.302	10.865
6,9	14.638	20.357	26.517	30.702	35.256	44.213	54.292	65.029	79.877	94.236	10.968
7	14.638	2.071	26.846	31.073	3.568	44.744	54.914	65.758	80.652	9.517	11.071
7,1	14.638	21.066	27.176	31.445	36.104	45.274	55.536	66.488	81.428	96.104	11.173
7,2	14.638	21.426	27.506	31.817	36.527	45.805	56.157	67.218	82.204	97.038	11.276
7,3	14.638	2.179	27.835	32.188	36.951	46.336	56.779	67.948	8.298	97.972	11.378
7,4	14.638	22.156	28.165	3.256	37.375	46.867	5.74	68.678	83.755	98.906	11.481
7,5	14.638	22.527	28.495	32.932	37.799	47.398	58.022	69.408	84.531	9.984	11.583
7,6	14.638	2,29	28.824	33.303	38.222	47.929	58.644	70.138	85.307	10.077	11.686
7,7	14.638	23.277	29.154	33.675	38.646	4.846	59.265	70.868	86.082	10.171	11.788
7,8	14.638	23.658	29.484	34.046	3.907	48.991	59.887	71.598	86.858	10.264	11.891
7,9	14.638	24.041	29.814	34.418	39.493	49.522	60.508	72.328	87.634	10.358	11.993
8	14.638	24.429	30.143	3.479	39.917	50.053	6.113	73.057	88.409	10.451	12.096
8,1	14.638	24.819	30.473	35.161	40.341	50.583	61.752	73.787	89.185	10.544	12.199
8,2	14.638	25.213	30.803	35.533	40.765	51.114	62.373	74.517	89.961	10.638	12.301
8,3	14.638	25.611	31.132	35.905	41.188	51.645	62.995	75.247	90.736	10.731	12.404
8,4	14.638	26.012	31.462	36.276	41.612	52.176	63.617	75.977	91.512	10.825	12.506
8,5	14.638	26.416	31.792	36.648	42.036	52.707	64.238	76.707	92.288	10.918	12.609
8,6	14.638	26.824	32.121	37.019	42.459	53.238	6.486	77.437	93.064	11.011	12.711
8,7	14.638	27.235	32.451	37.391	42.883	53.769	65.481	78.167	93.839	11.105	12.814
8,8	14.638	27.235	32.781	37.763	43.307	5.43	66.103	78.897	94.615	11.198	12.814
8,9	14.638	27.235	3.311	38.134	43.731	54.831	66.725	79.626	95.391	11.292	12.814

9	14.638	27.235	3.344	38.506	44.154	55.362	67.346	80.356	96.166	11.385	12.814
9,1	14.638	27.235	3.377	38.878	44.578	55.893	67.968	81.086	96.942	11.479	12.814
9,2	14.638	27.235	34.099	39.249	45.002	56.423	6.859	81.816	97.718	11.572	12.814
9,3	14.638	27.235	34.429	39.621	45.425	56.954	69.211	82.546	98.493	11.665	12.814
9,4	14.638	27.235	34.759	39.992	45.849	57.485	69.833	83.276	99.269	11.759	12.814
9,5	14.638	27.235	35.088	40.364	46.273	58.016	70.454	84.006	10.004	11.852	12.814
9,6	14.638	27.235	35.418	40.736	46.697	58.547	71.076	84.736	10.082	11.946	12.814
9,7	14.638	27.235	35.748	41.107	4.712	59.078	71.698	85.466	10.16	12.039	12.814
9,8	14.638	27.235	36.078	41.479	47.544	59.609	72.319	86.195	10.237	12.132	12.814
9,9	14.638	27.235	36.407	41.851	47.968	6.014	72.941	86.925	10.315	12.226	12.814
10	14.638	27.235	36.737	42.222	48.391	60.671	73.563	87.655	10.392	12.319	12.814
10,1	14.638	27.235	37.067	42.594	48.815	61.202	74.184	88.385	10.47	12.413	12.814
10,2	14.638	27.235	37.396	42.965	49.239	61.732	74.806	89.115	10.547	12.506	12.814
10,3	14.638	27.235	37.726	43.337	49.663	62.263	75.427	89.845	10.625	12.506	12.814
10,4	14.638	27.235	38.056	43.709	50.086	62.794	76.049	90.575	10.703	12.506	12.814
10,5	14.638	27.235	38.385	4.408	5.051	63.325	76.671	91.305	10.78	12.506	12.814
10,6	14.638	27.235	38.715	44.452	50.934	63.856	77.292	92.035	10.858	12.506	12.814
10,7	14.638	27.235	39.045	44.824	51.357	64.387	77.914	92.765	10.935	12.506	12.814
10,8	14.638	27.235	39.374	45.195	51.781	64.918	78.536	93.494	11.013	12.506	12.814
10,9	14.638	27.235	39.704	45.567	52.205	65.449	79.157	94.224	11.09	12.506	12.814
11	14.638	27.235	40.034	45.938	52.629	6.598	79.779	94.954	11.168	12.506	12.814
11,1	14.638	27.235	40.363	4.631	53.052	66.511	8.04	95.684	11.246	12.506	12.814
11,2	14.638	27.235	40.693	46.682	53.476	67.042	81.022	96.414	11.323	12.506	12.814
11,3	14.638	27.235	41.023	47.053	5.39	67.572	81.644	97.144	11.401	12.506	12.814
11,4	14.638	27.235	41.353	47.425	54.323	68.103	82.265	97.874	11.478	12.506	12.814
11,5	14.638	27.235	41.682	47.797	54.747	68.634	82.887	98.604	11.556	12.506	12.814
11,6	14.638	27.235	42.012	48.168	55.171	69.165	83.509	99.334	11.633	12.506	12.814
11,7	14.638	27.235	42.342	4.854	55.595	69.696	8.413	10.006	11.633	12.506	12.814
11,8	14.638	27.235	42.671	48.911	56.018	70.227	84.752	10.079	11.633	12.506	12.814

11,9	14.638	27.235	43.001	49.283	56.442	70.758	85.373	10.152	11.633	12.506	12.814
12	14.638	27.235	43.331	49.655	56.866	71.289	85.995	10.225	11.633	12.506	12.814
12,1	14.638	27.235	4.366	50.026	57.289	7.182	86.617	10.298	11.633	12.506	12.814
12,2	14.638	27.235	4.399	50.398	57.713	72.351	87.238	10.371	11.633	12.506	12.814
12,3	14.638	27.235	4.432	5.077	58.137	72.881	8.786	10.444	11.633	12.506	12.814
12,4	14.638	27.235	44.649	51.141	58.561	73.412	88.482	10.517	11.633	12.506	12.814
12,5	14.638	27.235	44.979	51.513	58.984	73.943	89.103	10.59	11.633	12.506	12.814
12,6	14.638	27.235	45.309	51.884	59.408	74.474	89.725	10.663	11.633	12.506	12.814
12,7	14.638	27.235	45.638	52.256	59.832	75.005	90.346	10.736	11.633	12.506	12.814
12,8	14.638	27.235	45.968	52.628	60.255	75.536	90.968	10.809	11.633	12.506	12.814
12,9	14.638	27.235	46.298	52.999	60.679	76.067	9.159	10.882	11.633	12.506	12.814
13	14.638	27.235	46.627	53.371	61.103	76.598	92.211	10.955	11.633	12.506	12.814
13,1	14.638	27.235	46.957	53.743	61.527	77.129	92.833	11.028	11.633	12.506	12.814
13,2	14.638	27.235	47.287	54.114	6.195	7.766	93.455	11.101	11.633	12.506	12.814
13,3	14.638	27.235	47.617	54.486	62.374	78.191	94.076	11.174	11.633	12.506	12.814
13,4	14.638	27.235	47.946	54.858	62.798	78.721	94.698	11.247	11.633	12.506	12.814
13,5	14.638	27.235	48.276	55.229	63.221	79.252	95.319	11.247	11.633	12.506	12.814
13,6	14.638	27.235	48.606	55.601	63.645	79.783	95.941	11.247	11.633	12.506	12.814
13,7	14.638	27.235	48.935	55.972	64.069	80.314	96.563	11.247	11.633	12.506	12.814
13,8	14.638	27.235	49.265	56.344	64.492	80.845	97.184	11.247	11.633	12.506	12.814
13,9	14.638	27.235	49.595	56.716	64.916	81.376	97.806	11.247	11.633	12.506	12.814
14	14.638	27.235	49.924	57.087	6.534	81.907	98.428	11.247	11.633	12.506	12.814
14,1	14.638	27.235	50.254	57.459	65.764	82.438	99.049	11.247	11.633	12.506	12.814
14,2	14.638	27.235	50.584	57.831	66.187	82.969	99.671	11.247	11.633	12.506	12.814
14,3	14.638	27.235	50.913	58.202	66.611	8.35	10.029	11.247	11.633	12.506	12.814
14,4	14.638	27.235	51.243	58.574	67.035	8.403	10.091	11.247	11.633	12.506	12.814
14,5	14.638	27.235	51.573	58.945	67.458	84.561	10.154	11.247	11.633	12.506	12.814
14,6	14.638	27.235	51.902	59.317	67.882	85.092	10.216	11.247	11.633	12.506	12.814
14,7	14.638	27.235	52.232	59.689	68.306	85.623	10.278	11.247	11.633	12.506	12.814

14,8	14.638	27.235	52.562	6.006	6.873	86.154	10.34	11.247	11.633	12.506	12.814
14,9	14.638	27.235	52.892	60.432	69.153	86.685	10.402	11.247	11.633	12.506	12.814
15	14.638	27.235	53.221	60.804	69.577	87.216	10.464	11.247	11.633	12.506	12.814
15,1	14.638	27.235	53.551	61.175	70.001	87.747	10.527	11.247	11.633	12.506	12.814
15,2	14.638	27.235	53.881	61.547	70.424	88.278	10.589	11.247	11.633	12.506	12.814
15,3	14.638	27.235	5.421	61.918	70.848	88.809	10.651	11.247	11.633	12.506	12.814
15,4	14.638	27.235	5.454	6.229	71.272	8.934	10.713	11.247	11.633	12.506	12.814
15,5	14.638	27.235	5.487	62.662	71.696	8.987	10.713	11.247	11.633	12.506	12.814
15,6	14.638	27.235	55.199	63.033	72.119	90.401	10.713	11.247	11.633	12.506	12.814
15,7	14.638	27.235	55.529	63.405	72.543	90.932	10.713	11.247	11.633	12.506	12.814
15,8	14.638	27.235	55.859	63.777	72.967	91.463	10.713	11.247	11.633	12.506	12.814
15,9	14.638	27.235	56.188	64.148	7.339	91.994	10.713	11.247	11.633	12.506	12.814
16	14.638	27.235	56.518	6.452	73.814	92.525	10.713	11.247	11.633	12.506	12.814
16,1	14.638	27.235	56.848	64.891	74.238	93.056	10.713	11.247	11.633	12.506	12.814
16,2	14.638	27.235	57.177	65.263	74.662	93.587	10.713	11.247	11.633	12.506	12.814
16,3	14.638	27.235	57.507	65.635	75.085	94.118	10.713	11.247	11.633	12.506	12.814
16,4	14.638	27.235	57.837	66.006	75.509	94.649	10.713	11.247	11.633	12.506	12.814
16,5	14.638	27.235	58.167	66.378	75.933	95.179	10.713	11.247	11.633	12.506	12.814
16,6	14.638	27.235	58.496	6.675	76.356	9.571	10.713	11.247	11.633	12.506	12.814
16,7	14.638	27.235	58.826	67.121	7.678	96.241	10.713	11.247	11.633	12.506	12.814
16,8	14.638	27.235	58.826	67.493	77.204	96.241	10.713	11.247	11.633	12.506	12.814
16,9	14.638	27.235	58.826	67.864	77.628	96.241	10.713	11.247	11.633	12.506	12.814
17	14.638	27.235	58.826	68.236	78.051	96.241	10.713	11.247	11.633	12.506	12.814
17,1	14.638	27.235	58.826	68.608	78.475	96.241	10.713	11.247	11.633	12.506	12.814
17,2	14.638	27.235	58.826	68.979	78.899	96.241	10.713	11.247	11.633	12.506	12.814
17,3	14.638	27.235	58.826	69.351	79.322	96.241	10.713	11.247	11.633	12.506	12.814
17,4	14.638	27.235	58.826	69.723	79.746	96.241	10.713	11.247	11.633	12.506	12.814
17,5	14.638	27.235	58.826	70.094	8.017	96.241	10.713	11.247	11.633	12.506	12.814
18,12	14.638	27.235	58.826	70.466	8.017	96.241	10.713	11.247	11.633	12.506	12.814

EK3

```

1 close all
2 clear all
3 clc
4 %% VEHICLE1 FIAT IDEA DATA_noCROSS
5 nedc=xlsread('NEDC_WLTP_data.xlsx','NEDC'); %matrix,time,speed,gear
6 time=nedc(:,1); %[s],time vector
7 speed1=nedc(:,2); %[km/h], speed vector
8 gear1=nedc(:,3); %[-], gear vector
9
10 J_eng1=0.183; %[kg*m^2],dynamic moment of inertia of the engine
11 J_wheel1=2.7794; %[kg*m^2],dynamic moment of inertia of the wheels
12 tr1(1,1)=3.909; % 1st gear trans. ratio
13 tr1(2,1)=2.238; % 2nd gear trans. ratio
14 tr1(3,1)=1.444; % 3rd gear trans. ratio
15 tr1(4,1)=1.029; % 4th gear trans. ratio
16 tr1(5,1)=0.767; % 5th gear trans. ratio
17 tr_fd1=3.563; % final drive ratio
18 eff_tr1=0.94; %[-],gearshift efficiency
19 eff_fd1=1; %[-],{final drive efficiency}
20 fc_idle1=0.315; %[kg/h],{F.C @idle speed}
21 rpm_idle1=800; %[rpm],{idle speed}
22 rho1=0.835; %[kg/l],{fuel density}
23 R1=0.2893436865; %[m],{wheel radius}
24 V1=1.248; %[dm^3],{engine displacement}
25 V_x=1.248;
26
27 pq1=dlmread('fuel_cons_kg_h_vers_matlab.pqm','\t'); % fuel consumption map
28 rpm_pq1=pq1(1,2:end); % [rpm] engine speed vector
29 bmep_pq1=pq1(2:end,1); % [bar] engine bmep vector
30 fc_pq1=pq1(2:end,2:end); % [kg/h] F.C. matrix
31
32 nox_map=dlmread('nox_g_h.txt','\t'); % NOx map
33 rpm_nox=nox_map(1,2:end); % [rpm] engine speed vector
34 bmep_nox=nox_map(2:end,1); % [bar] engine bmep
35 nox_pq=nox_map(2:end,2:end); % [g/h] NOx emission matrix
36
37 fc_tot1=0;
38 nox_tot1=0;
39 km_tot1=0;
40 mechanical_energy1=0;
41 brake_energy1=0;
42 speed_plot1=zeros(length(speed1),1);
43 load_plot1=zeros(length(speed1),1);
44 fc_plot1=zeros(length(speed1),1);
45 nox_plot1=zeros(length(speed1),1);
46
47 %% NEDC PARAMETERS
48 m1=1168; %[kg], {mass}
49 F01=124.7; %[N], {Coastdown}
50 F11=0; %[N/(km/h)], {Coastdown}
51 F21=0.0364; %[N/(km/h)^2], {Coastdown}
52
53
54 %% CHOICE OF THE GEAR RATIO
55 for i=1:length(speed1)
56     if gear1(i)==0
57         ratio1=0;
58         eta1=0;

```

```

59     elseif gear1(i)==1
60         ratio1=tr1(1,1);
61         eta1=eff_tr1;
62     elseif gear1(i)==2
63         ratio1=tr1(2,1);
64         eta1=eff_tr1;
65     elseif gear1(i)==3
66         ratio1=tr1(3,1);
67         eta1=eff_tr1;
68     elseif gear1(i)==4
69         ratio1=tr1(4,1);
70         eta1=eff_tr1;
71     elseif gear1(i)==5
72         ratio1=tr1(5,1);
73         eta1=eff_tr1;
74     end
75
76     %% ENGINE SPEED
77     rpml(i)=speed1(i)*60/2/pi/R1/3.6*tr_fdl*ratio1;    %[rpm]
78     if rpml(i)<rpm_idle1
79         rpml(i)=rpm_idle1;                            %[rpm],
80         %{This is done because
81         %during the cycle we have some phases in which the vehicle is stopped
82         %so the engine speed will be null for matlab (due to the iteration).
83         %Null engine speed means that the engine is switched off,
84         %but actually it is still running at n_idle during 'stop phases',
85         %so we need to fix this condition by ourselves}
86     end
87     speed_plot1(i,1)=rpml(i);
88
89     %% RESISTANCE FORCE
90     Fres1(i)=F01+F11*speed1(i)+F21*speed1(i)^2;      %[N]
91
92     %% EQUILIBRIUM MASS
93     meq1(i)=m1+J_wheel1/R1^2+J_eng1/R1^2*ratio1^2*tr_fdl^2;    %[kg]
94
95     %% Acceleration
96     if i==1
97         acc1(i)=0;                                        %[m/s^2]
98     else
99         acc1(i)=((speed1(i)-speed1(i-1))*1000/3600)/(time(i)-time(i-1)); %[m/s^2]
100     end
101
102     %% POWER
103     pwr1(i)=(Fres1(i)+meq1(i)*acc1(i))*speed1(i)/3600;    %[kW]
104     if pwr1(i)>0
105         pwr_pos1(i)=pwr1(i);                            %[kW]
106     else
107         pwr_pos1(i)=0;                                    %[kW]
108     end
109     if pwr1(i)<0
110         pwr_neg1(i)=pwr1(i);                            %[kW]
111     else
112         pwr_neg1(i)=0; %[kW]
113     end
114
115     %% BMEP COMPUTATION
116     bmep1(i)=1200*pwr1(i)/(rpml(i)*V1*eta1);            %[bar]
117     if (bmep1(i)<0 || eta1==0)
118         bmep1(i)=0;                                      %[bar]
119     end

```



```

120     load_plot1(i,1)=bmep1(i);
121
122     %% FUEL CONSUMPTION
123     if (rpm1(i)<850 && bmep1(i)<0.5)
124         fc1(i)=fc_idle1; %[kg/h]
125     elseif (rpm1(i)<850)
126         fc1(i)=interp2(rpm_pq1,bmep_pq1,fc_pq1,850,bmep1(i));    %[kg/h]
127     elseif (bmep1(i)<0.5)
128         fc1(i)=interp2(rpm_pq1,bmep_pq1,fc_pq1,rpm1(i),0.5);    %[kg/h]
129     else
130         fc1(i)=interp2(rpm_pq1,bmep_pq1,fc_pq1,rpm1(i),bmep1(i));    %[kg/h]
131     end
132     fc_plot1(i,1)=fc1(i)*1000/3600;    %[g/s]
133
134     %% NOx EMISSIONS
135     if (rpm1(i)<1000 && bmep1(i)<1)
136         nox1(i)=interp2(rpm_nox,bmep_nox,nox_pq,1000,1);    %[g/h]
137     elseif (rpm1(i)<1000)
138         nox1(i)=interp2(rpm_nox,bmep_nox,nox_pq,1000,bmep1(i));    %[g/h]
139     elseif (bmep1(i)<1)
140         nox1(i)=interp2(rpm_nox,bmep_nox,nox_pq,rpm1(i),1);    %[g/h]
141     else
142         nox1(i)=interp2(rpm_nox,bmep_nox,nox_pq,rpm1(i),bmep1(i));    %[g/h]
143     end
144     nox_plot1(i,1)=nox1(i)*1000/3600;    %[mg/s]
145
146     %% MECHANICAL ENERGY DEMAND
147
148     if i==1
149
150         mechanical_energy1=mechanical_energy1+pwr_pos1(i)*(time(i)-0);    %[kJ]
151     else
152         mechanical_energy1=mechanical_energy1+pwr_pos1(i)*(time(i)-time(i-1));    %[kJ]
153     end
154
155
156     %% BRAKE ENERGY
157     if i==1
158         brake_energy1=brake_energy1+pwr_neg1(i)*(time(i)-0);    %[kJ]
159     else
160         brake_energy1=brake_energy1+pwr_neg1(i)*(time(i)-time(i-1));    %[kJ]
161     end
162
163     %% CUMULATIVE VALUES (Fuel Consumption, NOx, Travelled Distance)
164     if i==1
165         fc_tot1=fc_tot1+fc1(i)*(time(i)-0)/3600;    %[kg]
166         nox_tot1=nox_tot1+nox1(i)*(time(i)-0)/3600;    %[g]
167         km_tot1=km_tot1+speed1(i)*(time(i)-0)/3600;    %[km]
168     else
169         fc_tot1=fc_tot1+fc1(i)*(time(i)-time(i-1))/3600;    %[kg]
170         nox_tot1=nox_tot1+nox1(i)*(time(i)-time(i-1))/3600;    %[g]
171         km_tot1=km_tot1+speed1(i)*(time(i)-time(i-1))/3600;    %[km]
172     end
173
174 end
175
176 diary('output.txt');
177 diary on;
178 l_100km1=fc_tot1/rho1/km_tot1*100    %[l/100km]
179 nox_spec1=nox_tot1/km_tot1    %[g/km]
180 m_CO21=rho1*l_100km1/0.0315    %[g/km]

```

```

181 specific_mechanical_energy1=mechanical_energy1/km_tot1           % [kJ/km]
182 specific_brake_energy1=brake_energy1/km_tot1                    % [kJ/km]
183 diary off;
184
185
186 %% VEHICLE2_FIAT PUNTO DATA_noCROSS
187 nedc2=xlsread('NEDC_WLTP_data.xlsx','NEDC');                    %matrix,time,speed,gear
188 time=nedc2(:,1);                                                % [s],time vector
189 speed2=nedc2(:,2);                                              % [km/h], speed vector
190 gear2=nedc2(:,3);                                              % [-], gear vector
191
192 J_eng2=0.183;                                                    % [kg*m^2],dynamic moment of inertia of the engine
193 J_wheel2=2.7794;                                                % [kg*m^2],dynamic moment of inertia of the wheels
194 tr2(1,1)=3.909;                                                 % 1st gear transmission ratio
195 tr2(2,1)=2.238;                                                 % 2nd gear transmission ratio
196 tr2(3,1)=1.444;                                                 % 3rd gear transmission ratio
197 tr2(4,1)=1.029;                                                 % 4th gear transmission ratio
198 tr2(5,1)=0.767;                                                 % 5th gear transmission ratio
199 tr_fd2=3.563;                                                  % final drive transmission ratio
200 eff_tr2=0.94;                                                  % [-],gearshift efficiency
201 eff_fd2=1;                                                      % [-],{final drive efficiency}
202 fc_idle2=0.315;                                                 % [kg/h],{fuel consumption @idle speed}
203 rpm_idle2=800;                                                  % [rpm],{idle speed}
204 rho2=0.835;                                                     % [kg/l],{fuel density}
205 R2=0.285;                                                       % [m],{wheel radius}
206 V2=1.248;                                                       % [dm^3],{engine displacement}
207
208 pq2=dlmread('fuel_cons_kg_h_vers_matlab.pqm','\t');            % fuel consumption map
209 rpm_pq2=pq2(1,2:end);                                           % [rpm] engine speed vector
210 bmep_pq2=pq2(2:end,1);                                          % [bar] engine bmep vector
211 fc_pq2=pq2(2:end,2:end);                                        % [kg/h] F.C matrix
212
213 nox_map2=dlmread('nox_g_h.txt','\t');                            % NOx map
214 rpm_nox2=nox_map2(1,2:end);                                     % [rpm] engine speed vector
215 bmep_nox2=nox_map2(2:end,1);                                    % [bar] engine bmep
216 nox_pq2=nox_map2(2:end,2:end);                                  % [g/h] NOx emission matrix
217
218 fc_tot2=0;
219 nox_tot2=0;
220 km_tot2=0;
221 mechanical_energy2=0;
222 brake_energy2=0;
223 speed_plot2=zeros(length(speed2),1);
224 load_plot2=zeros(length(speed2),1);
225 fc_plot2=zeros(length(speed2),1);
226 nox_plot2=zeros(length(speed2),1);
227
228 %% NEDC PARAMETERS
229 m2=1063;                                                         % [kg], {mass}
230 F02=114.2;                                                      % [N], {Coastdown}
231 F12=0;                                                          % [N/ (km/h) ], {Coastdown}
232 F22=0.0344;                                                    % [N/ (km/h) ^2], {Coastdown}
233
234 %% CHOICE OF THE GEAR RATIO
235 for i=1:length(speed2)
236     if gear2(i)==0
237         ratio2=0;
238         eta2=0;
239     elseif gear2(i)==1
240         ratio2=tr2(1,1);
241         eta2=eff_tr2;

```

```

242     elseif gear2(i)==2
243         ratio2=tr2(2,1);
244         eta2=eff_tr2;
245     elseif gear2(i)==3
246         ratio2=tr2(3,1);
247         eta2=eff_tr2;
248     elseif gear2(i)==4
249         ratio2=tr2(4,1);
250         eta2=eff_tr2;
251     elseif gear2(i)==5
252         ratio2=tr2(5,1);
253         eta2=eff_tr2;
254     end
255
256     %% ENGINE SPEED
257     rpm2(i)=speed2(i)*60/2/pi/R2/3.6*tr_fd2*ratio2; % [rpm]
258     if rpm2(i)<rpm_idle2
259         rpm2(i)=rpm_idle2; % [rpm]
260     end
261     speed_plot2(i,1)=rpm2(i);
262
263     %% RESISTANCE FORCE
264     Fres2(i)=F02+F12*speed2(i)+F22*speed2(i)^2; % [N]
265
266     %% EQUILIBRIUM MASS
267     meq2(i)=m2+J_wheel2/R2^2+J_eng2/R2^2*ratio2^2*tr_fd2^2; % [kg]
268
269     %% Acceleration
270     if i==1
271         acc2(i)=0; % [m/s^2]
272     else
273         acc2(i)=((speed2(i)-speed2(i-1))*1000/3600)/(time(i)-time(i-1)); % [m/s^2]
274     end
275
276     %% POWER
277     pwr2(i)=(Fres2(i)+meq2(i)*acc2(i))*speed2(i)/3600; % [kW]
278     if pwr2(i)>0
279         pwr_pos2(i)=pwr2(i); % [kW]
280     else
281         pwr_pos2(i)=0; % [kW]
282     end
283     if pwr2(i)<0
284         pwr_neg2(i)=pwr2(i); % [kW]
285     else
286         pwr_neg2(i)=0; % [kW]
287     end
288
289     %% BMEP COMPUTATION
290     bmep2(i)=1200*pwr2(i)/(rpm2(i)*V2*eta2); % [bar]
291     if (bmep2(i)<0 || eta2==0)
292         bmep2(i)=0; % [bar]
293     end
294     load_plot2(i,1)=bmep2(i);
295
296     %% FUEL CONSUMPTION
297     if (rpm2(i)<850 && bmep2(i)<0.5)
298         fc2(i)=fc_idle2; % [kg/h]
299     elseif (rpm2(i)<850)
300         fc2(i)=interp2(rpm_pq2,bmep_pq2,fc_pq2,850,bmep2(i)); % [kg/h]
301     elseif (bmep2(i)<0.5)
302         fc2(i)=interp2(rpm_pq2,bmep_pq2,fc_pq2,rpm2(i),0.5); % [kg/h]

```

```

303     else
304         fc2(i)=interp2(rpm_pq2,bmep_pq2,fc_pq2,rpm2(i),bmep2(i));           % [kg/h]
305     end
306     fc_plot2(i,1)=fc2(i)*1000/3600;                                         % [g/s]
307
308     %% NOx EMISSIONS
309     if (rpm2(i)<1000 && bmep2(i)<1)
310         nox2(i)=interp2(rpm_nox2,bmep_nox2,nox_pq2,1000,1);               % [g/h]
311     elseif (rpm2(i)<1000)
312         nox2(i)=interp2(rpm_nox2,bmep_nox2,nox_pq2,1000,bmep2(i));       % [g/h]
313     elseif (bmep2(i)<1)
314         nox2(i)=interp2(rpm_nox2,bmep_nox2,nox_pq2,rpm2(i),1);           % [g/h]
315     else
316         nox2(i)=interp2(rpm_nox2,bmep_nox2,nox_pq2,rpm2(i),bmep2(i));    % [g/h]
317     end
318     nox_plot2(i,1)=nox2(i)*1000/3600;                                       % [mg/s]
319
320     %% MECHANICAL ENERGY DEMAND
321
322     if i==1
323
324         mechanical_energy2=mechanical_energy2+pwr_pos2(i)*(time(i)-0);     % [kJ]
325     else
326         mechanical_energy2=mechanical_energy2+pwr_pos2(i)*(time(i)-time(i-1)); % [kJ]
327     end
328
329
330     %% BRAKE ENERGY
331     if i==1
332         brake_energy2=brake_energy2+pwr_neg2(i)*(time(i)-0);              % [kJ]
333     else
334         brake_energy2=brake_energy2+pwr_neg2(i)*(time(i)-time(i-1));      % [kJ]
335     end
336
337     %% CUMULATIVE VALUES (Fuel Consumption, NOx, Travelled Distance)
338     if i==1
339         fc_tot2=fc_tot2+fc2(i)*(time(i)-0)/3600;                         % [kg]
340         nox_tot2=nox_tot2+nox2(i)*(time(i)-0)/3600;                     % [g]
341         km_tot2=km_tot2+speed2(i)*(time(i)-0)/3600;                      % [km]
342     else
343         fc_tot2=fc_tot2+fc2(i)*(time(i)-time(i-1))/3600;                 % [kg]
344         nox_tot2=nox_tot2+nox2(i)*(time(i)-time(i-1))/3600;             % [g]
345         km_tot2=km_tot2+speed2(i)*(time(i)-time(i-1))/3600;             % [km]
346     end
347
348 end
349
350 diary('output.txt');
351 diary on;
352 l_100km2=fc_tot2/rho2/km_tot2*100                                         % [l/100km]
353 nox_spec2=nox_tot2/km_tot2                                               % [g/km]
354 m_CO22=rho2*l_100km2/0.0315                                             % [g/km]
355 specific_mechanical_energy2=mechanical_energy2/km_tot2                  % [kJ/km]
356 specific_brake_energy2=brake_energy2/km_tot2                             % [kJ/km]
357 F_net1=acc1*m1
358 F_net2=acc2*m2
359 diary off;
360
361
362
363     %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

364 %% Engine Speed vs Time
365 figure(1)
366 plot1=plot(time,rpm1,time,rpm2)
367 set(plot1(1),'DisplayName','NEDC1');
368 set(plot1(2),'DisplayName','NEDC2');
369 grid on
370 legend('Ara_1','Ara_2')
371 xlabel('Zaman [s]')
372 ylabel('Hz [rpm]')
373 print(gcf,'1.png','-dpng','-r1000');
374
375 %% Acceleration vs Time
376 figure(10)
377 plot1=plot(time,acc1,time,acc2)
378 %%set(plot1(1),'DisplayName','NEDC1');
379 set(plot1(2),'DisplayName','NEDC2',);
380 grid on
381 legend('Ara_1 & Ara_2')
382 xlabel('Zaman [s]')
383 ylabel('vme [m/s^2]')
384 print(gcf,'1.png','-dpng','-r1000');
385
386
387 %% Vehicle Speed vs Time
388 figure(2)
389 plot1=plot(time,speed1,time,speed2)
390 set(plot1(1),'DisplayName','NEDC1');
391 set(plot1(2),'DisplayName','NEDC2');
392 grid on
393 legend('Ara_1','Ara_2')
394 xlabel('Zaman [s]')
395 ylabel('Ara Hz [km/h]')
396 axis([0 1200 0 130])
397 print(gcf,'2.png','-dpng','-r1000');
398
399 %% Power vs Time
400 figure(11)
401 plot1=plot(time,pwr1,time,pwr2)
402 set(plot1(1),'DisplayName','NEDC1');
403 set(plot1(2),'DisplayName','NEDC2');
404 grid on
405 legend('Ara_1','Ara_2')
406 xlabel('Zaman [s]')
407 ylabel('G [kW]')
408 print(gcf,'3.png','-dpng','-r1000');
409
410
411 %% BMEP vs Time
412 figure(3)
413 plot1=plot(time,bmep1,time,bmep2)
414 set(plot1(1),'DisplayName','NEDC1');
415 set(plot1(2),'DisplayName','NEDC2');
416 grid on
417 legend('Ara_1','Ara_2')
418 xlabel('Zaman [s]')
419 ylabel('Ortalama Efektif Bas n [bar]')
420 print(gcf,'3.png','-dpng','-r1000');
421
422 %% Instantaneous FC vs Time
423 figure(4)
424 plot1=plot(time,fc_plot1,time,fc_plot2)

```

```

425 set(plot1(1), 'DisplayName', 'NEDC1');
426 set(plot1(2), 'DisplayName', 'NEDC2');
427 grid on
428 legend ('Ara_1', 'Ara_2')
429 xlabel('Zaman [s]')
430 ylabel('Yakt Tketimi [g/s]')
431 print(gcf, '4.png', '-dpng', '-r1000');
432
433 %% Instantaneous NOx vs Time
434 figure(5)
435 plot1=plot(time, nox_plot1, time, nox_plot2)
436 set(plot1(1), 'DisplayName', 'NEDC1');
437 set(plot1(2), 'DisplayName', 'NEDC2');
438 grid on
439 legend ('Ara_1', 'Ara_2')
440 xlabel('Zaman [s]')
441 ylabel('NOx [mg/s]')
442 print(gcf, '5.png', '-dpng', '-r1000');
443
444 %% BSFC MAP
445 figure(6)
446 P=bmep_pq2*rpm_pq2*V2/1200; % [kW],
447 % {matrix power of the engine}
448 bsfc=fc_pq2./P*1000; % [g/kWh]
449 V2=[200 210 220 230 240 250 275 300 325 350 375 400]; % {Defines BSFC curves}
450 [c,h]=contourf(rpm_pq2, bmep_pq2, bsfc, V2);
451 clabel(c,h); % {Add label to isocurves}
452 rpm_max=[800;1000;1250;1500;1750;2000;2500;3000;3500;4000;4500;5000];
453 bmep_max=[6.05;8.73;12.08;16.20;18.12;18.12;17.12;15.61;13.97;12.38;10.52;8.57];
454 hold on
455 plot(rpm_max, bmep_max, '-r') % {Full Load Curve}
456 hold on
457 scatter(speed_plot1, load_plot1, 'filled', 'red')
458 hold on
459 scatter(speed_plot2, load_plot2, 'filled', 'cyan')
460 grid on
461 axis([800 5000 0.5 19])
462 xticks([800 1100 1500 2000 2500 3000 3500 4000 4500 5000])
463 yticks([0.5 2 4 6 8 10 12 14 16 18 19])
464 xlabel('Zaman [rpm]')
465 ylabel('Ortalama Efektif Bas n [bar]')
466 colorbar
467 c=colorbar;
468 c.Label.String = '[g/kWh]'
469 legend('F. .Y.T', 'Tam Yk', ' alma Noktalar1', ' alma Noktalar2')
470 print(gcf, '6.png', '-dpng', '-r1000');
471
472 %% NOx MAP
473 figure(9)
474 P_x=bmep_nox*rpm_nox*V_x/1200;
475 bsnox=nox_pq./P_x; % [g/kWh]
476 V_x=[0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10]; % {It defines bsNOx curves}
477 [c,h]=contourf(rpm_nox2, bmep_nox2, bsnox, V_x); % {plots the iso-BSFC curves}
478 clabel(c,h); % {Add label to the isocurves}
479 rpm_max_nox=[1000;1250;1500;1750;2000;2500;3000;3500;4000;4500;5000];
480 bmep_max_nox=[6.05;12.08;16.20;18.12;18.12;17.12;15.61;13.97;12.38;10.52;8.57];
481 hold on
482 plot(rpm_max_nox, bmep_max_nox, '-r') % {Full Load Curve}
483 hold on
484 scatter(speed_plot1, load_plot1, 'filled', 'red')
485 hold on

```

```

486 scatter(speed_plot2,load_plot2,'filled','cyan')
487 grid on
488 axis([1000 5000 1 19])
489 xticks([1000 1500 2000 2500 3000 3500 4000 4500 5000])
490 yticks([1 2 4 6 8 10 12 14 16 18 19])
491 xlabel('Hz [dev/dk]')
492 ylabel('Ortalama Efektif Bas n [bar]')
493 colorbar
494 c=colorbar;
495 c.Label.String = '[g/kWh]'
496 legend('bsNOx','Tam Yk',' alma Noktalar1',' alma Noktalar2')
497 print(gcf,'6.png','-dpng','-r1000');
498
499
500 %% Cumulative FC
501 figure(7)
502 cs_dis1 = cumsum(fc_plot1);
503 plot(cs_dis1,'Color',[0.850980392156863 0.329411764705882 0.101960784313725])
504 hold on
505 cs_dis2 = cumsum(fc_plot2);
506 plot(cs_dis2,'Color',[0 0.450980392156863 0.741176470588235])
507 grid on
508 legend('Ara_1','Ara_2')
509 xlabel('Zaman [s]')
510 ylabel('Yakt Tketimi [g]')
511 print(gcf,'7.png','-dpng','-r1000');
512
513 %% Cumulative NOx
514 figure(8)
515 cs_dis1 = cumsum(fc_plot1);
516 plot(cs_dis1,'Color',[0.850980392156863 0.329411764705882 0.101960784313725])
517 hold on
518 cs_dis2 = cumsum(fc_plot2);
519 plot(cs_dis2,'Color',[0 0.450980392156863 0.741176470588235])
520 grid on
521 legend('Ara_1','Ara_2')
522 xlabel('Zaman [s]')
523 ylabel('NOx [mg]')
524 print(gcf,'8.png','-dpng','-r1000');
525
526 %% Cumulative Mechanical Energy
527 figure(12)
528 cs_dis1 = cumsum(pwr_pos1);
529 plot(cs_dis1,'Color',[0.850980392156863 0.329411764705882 0.101960784313725])
530 hold on
531 cs_dis2 = cumsum(pwr_pos2);
532 plot(cs_dis2,'Color',[0 0.450980392156863 0.741176470588235])
533 grid on
534 legend('Ara_1','Ara_2')
535 xlabel('Zaman [s]')
536 ylabel('Enerji [kJ]')
537 axis([0 1200 0 6000])
538 print(gcf,'8.png','-dpng','-r1000');
539
540 %% Cumulative Brake Energy
541 figure(13)
542 cs_dis1 = cumsum(abs(pwr_neg1));
543 plot(cs_dis1,'Color',[0.850980392156863 0.329411764705882 0.101960784313725])
544 hold on
545 cs_dis2 = cumsum(abs(pwr_neg2));
546 plot(cs_dis2,'Color',[0 0.450980392156863 0.741176470588235])

```

```

547 grid on
548 legend ('Ara_1','Ara_2')
549 xlabel('Zaman [s]')
550 ylabel('Enerji [kJ]')
551 %axis([0 1800 0 16000])
552 print(gcf,'8.png','-dpng','-r1000');
553
554 %% Force vs Speed
555 figure(14)
556 plot1 = plot(speed1,F_net1,speed2,F_net2);
557 set(plot1(1),'DisplayName','NEDC1');
558 set(plot1(2),'DisplayName','NEDC2');
559 grid on
560 legend ('Ara_1', 'Ara_2')
561 xlabel('Ara H z [km/h]')
562 ylabel('Kuvvet [N]')
563 print(gcf,'2.png','-dpng','-r1000');
564
565 %% Traction Force vs Time
566 figure(15)
567 plot1 = plot(time,F_net1,time,F_net2);
568 set(plot1(1),'DisplayName','NEDC1');
569 set(plot1(2),'DisplayName','NEDC2');
570 grid on
571 legend ('Ara_1', 'Ara_2')
572 xlabel('Zaman [s]')
573 ylabel('eki Kuvveti [N]')
574 print(gcf,'2.png','-dpng','-r1000');
575 %% Traction and Regenerative Power vs Time _Vehicle1
576 figure(16)
577 plot1 = plot(time,pwr_pos1,time,pwr_neg1);
578 set(plot1(1),'Color',[0.850980392156863 0.329411764705882 0.101960784313725]);
579 set(plot1(2),'Color',[0 0.450980392156863 0.741176470588235]);
580 grid on
581 legend ('eki ', 'Frenleme')
582 xlabel('Zaman [s]')
583 ylabel('G [kW]')
584 print(gcf,'2.png','-dpng','-r1000');
585
586 %% Traction and Regenerative Power vs Time _Vehicle2
587 figure(17)
588 plot1 = plot(time,pwr_pos2,time,pwr_neg2);
589 set(plot1(1),'Color',[0.850980392156863 0.329411764705882 0.101960784313725]);
590 set(plot1(2),'Color',[0 0.450980392156863 0.741176470588235]);
591 grid on
592 legend ('eki ', 'Frenleme')
593 xlabel('Zaman [s]')
594 ylabel('G [kW]')
595 print(gcf,'2.png','-dpng','-r1000');

```


ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Kadir YILDIRIM
Doğum Yeri ve Tarihi : BURSA - 05.03.1989
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Cumhuriyet Lisesi
Lisans : Uludağ Üniversitesi
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi

Çalıştığı Kurumlar : Bplas A.Ş, Yazaki Otomotiv.:

İletişim(e-posta) : kadir.yildirim@email.com

Yayımları : -