

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİBRİT ARAÇLARDA YAKIT TÜKETİMİ VE EMİSYONLARIN
MODELLEMESİ

Emre ÇAYIR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Makine Teorisi ve Kontrol Mühendisliği Programı

Danışman

Doç. Dr. Semih SEZER

Temmuz, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİBRİT ARAÇLARDA YAKIT TÜKETİMİ VE EMİSYONLARIN
MODELLEMESİ

Emre ÇAYIR tarafından hazırlanan tez çalışması 17.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Makine Teorisi ve Kontrol Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Semih SEZER
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Semih SEZER, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Tarkan SANDALCI, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üy. Yasin KARAGÖZ, Üye

İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Danışmanım Doç. Dr. Semih SEZER sorumluluğunda tarafımda hazırlanan Hibrit Araçlarda Yakıt Tüketimi Ve Emisyonların Modellemesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Emre ÇAYIR

İmza

*Rahmetli arkadaşım
Özgür KOL'a*



TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının gerçekleştirilmesinde, engin bilgi birikimiyle bana yol gösteren, sabırlı, anlayışlı ve saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Semih SEZER'e, hayatımın her evresinde bana destek olan annem Fatma ÇAYIR ve babam Orhan ÇAYIR'a, yüksek lisansa başlamamı teşvik eden ve bu çalışmanın tamamlanması hususunda beni sürekli motive eden değerli arkadaşım İhsan OTMAN'a, tez çalışması boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Özgün BALCI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Emre ÇAYIR

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ.....	VIII
KISALTMA LİSTESİ.....	IX
ŞEKİL LİSTESİ.....	X
TABLO LİSTESİ.....	XII
ÖZET.....	XIV
ABSTRACT.....	XVI
1 Giriş.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	8
1.3 Hipotez.....	9
2 Deneysel Veriler ve Yöntem.....	11
2.1 Deneysel Veriler ile Teorik Model Oluşturulması.....	11
2.2 1-D Motor Teorik Model Oluşturulması.....	12
2.3 Deneysel Verilerden Elde Edilen Motor Performans Sonuçları.....	12
2.3.1 Motorin Performans Sonuçları.....	12
2.3.2 %50 Metan ve %50 Motorin Performans Sonuçları.....	17
2.4 Örnek Taşıt Modelinin Kurulması.....	20
2.5 Seyir Çevrimi.....	22
2.6 Seyir Dirençleri ve Örnek Taşıt Alt Modeli.....	24
2.6.1. Aerodinamik Direnç.....	26
2.6.2. Eğim Direnci.....	26
2.6.3. Yuvarlanma Direnci.....	26

2.6.4. İvmelenme Direnci	27
2.7 Örnek Taşıt İçin Çevrim Oranları.....	27
2.8 Motorin Yakıt İçin Oluşturulan Motor-Performans Haritaları	29
2.9 Metan Yakıt İçin Oluşturulan Motor-Performans Haritaları.....	39
2.10 Motor Performans Haritalarının Modele Girilmesi	49
3 Seri Hibrit Taşıt Modeli	50
3.1 Motorin-Hibrit Örnek Taşıt Modeli	50
3.1.1 Konvertör Giriş Gücü Hesaplaması	52
3.1.2. Motorin-Hibrit Örnek Taşıt Modelinde Çalışma Noktalarının Belirlenmesi	53
3.1.3. Batarya Ünitesi Modelleme	54
3.2 Metan-Hibrit Örnek Taşıt Modeli.....	55
3.2.1 Metan-Hibrit Örnek Taşıt Modelinde Çalışma Noktalarının Belirlenmesi	57
3.2.2 Metan-Hibrit Motor Haritaları	57
4 Sonuçlar.....	59
4.1 Geliştirilen Örnek Taşıt Modelinde Toplam Direnç ve Motor Hızı Sonuçları.....	59
4.2 Yalnız Motorin İçin Geliştirilen Taşıt Modelinde Anlık Yakıt Tüketimi ve Emisyon Verileri	62
4.3 %50 Motorin-%50 Metan Yakıtı için Oluşturulan Teorik Modelde Anlık Sonuçlar.....	66
4.4 Motorin-Hibrit İçin Oluşturulan Teorik Modelde Anlık Sonuçlar	69
4.5 Metan-Hibrit İçin Oluşturulan Teorik Modelde Anlık Sonuçlar	73
5 Değerlendirme.....	77
5.1 Sonuçların Karşılaştırılması ve Analiz	77
Kaynakça.....	80

Tezden Üretilmiş Yayınlar	82
---------------------------------	----



SİMGE LİSTESİ

C_D	Aerodinamik direnç katsayısı
F_a	Aerodinamik direnci [N]
A	Araç ön cephe alanı [m ²]
V_{ref}	Bağıl Hız
θ	Eğim açısı
ρ	Hava yoğunluğu [kg/m ³]
W	Örnek taşıt ağırlığı [N]
F_i	Yokuş direnci [N]

KISALTMA LİSTESİ

BSFC	Brake Specific Fuel Consumption
CBD	Central Business District
İYM	İçten Yanmalı Motor
RED	Yenilenebilir Enerji Direktifi



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Seri hibrit tahrik sistemi	4
Şekil 1.2	Kuzey Amerika'daki Orion otobüs üretim firmasının seri hibrit tahrik sistemi	5
Şekil 1.3	İYM performans haritası ve maksimum verimli çalışma bölgesi	6
Şekil 2.1	Motorun Boost programındaki 1-D modeli	12
Şekil 2.2	Matlab/Simulink ortamında geliştirilen motorin yakıtlı taşıt modeli ...	21
Şekil 2.3	Örnek taşıt modeli için girilen hız sinyali verisi	23
Şekil 2.4	Örnek taşıt modeli için girilen ivme sinyali verisi	24
Şekil 2.5	Örnek taşıt modeli için toplam direnç kuvvetleri alt modeli	25
Şekil 2.6	Örnek taşıt modeli için vites oranları ve toplam çevri oranları modeli.	28
Şekil 2.7	Tork ve devire bağlı BSFC haritası	30
Şekil 2.8	Yalnız motorin yakıtı için CO emisyon grafiği	31
Şekil 2.9	Yalnız motorin yakıtı için HC emisyon grafiği	31
Şekil 2.10	Yalnız motorin yakıtı için NOx emisyon grafiği	32
Şekil 2.11	Yalnız motorin yakıtı için İs (Smoke) emisyon grafiği	33
Şekil 2.12	Metan yakıtı için BSFC grafiği	40
Şekil 2.13	Metan yakıtı için CO grafiği	40
Şekil 2.14	Metan yakıtı için HC grafiği	41
Şekil 2.15	Metan yakıtı için NOx grafiği	42
Şekil 2.16	Metan yakıtı için İs (Smoke) grafiği	43
Şekil 2.17	Modele girilen haritaların blok diyagram gösterimi	49
Şekil 3.1	Seri hibrit taşıt modelinin matlab simulink şematiği	51
Şekil 3.2	Örnek hibrit taşıt modelinde konvertör giriş gücü hesaplaması	53
Şekil 3.3	Hibrit taşıt batarya verim katsayıları blok diyagramı	55
Şekil 3.4	Metan-Hibrit taşıt modelinin Matlab Simulink şematiği	56
Şekil 3.5	Metan-Hibrit motor haritaları alt model	58
Şekil 4.1	Yuvarlanma direnci	59
Şekil 4.2	Aerodinamik direnç	60
Şekil 4.3	İvmelenme direnci	60
Şekil 4.4	Toplam direnç kuvveti	61
Şekil 4.5	Anlık güç gereksinimi	61

Şekil 4.6	Anlık motor hızı	62
Şekil 4.7	Anlık yakıt tüketimi	63
Şekil 4.8	Anlık HC emisyonu.....	63
Şekil 4.9	Anlık CO emisyonu	64
Şekil 4.10	Anlık NOx emisyonu.....	64
Şekil 4.11	Anlık İs emisyonu	65
Şekil 4.12	Anlık yakıt tüketimi-(Metan).....	66
Şekil 4.13	Anlık HC emisyonu-(Metan)	67
Şekil 4.14	Anlık CO emisyonu-(Metan)	67
Şekil 4.15	Anlık NOx emisyonu-(Metan)	68
Şekil 4.16	Anlık İs emisyonu-(Metan)	68
Şekil 4.17	Anlık yakıt tüketimi-(Motorin-Hibrit)	70
Şekil 4.18	Anlık HC emisyonu-(Motorin-Hibrit).....	70
Şekil 4.19	Anlık CO emisyonu-(Motorin-Hibrit).....	71
Şekil 4.20	Anlık NOx emisyonu-(Motorin-Hibrit)	71
Şekil 4.21	Anlık İs emisyonu-(Motorin-Hibrit)	72
Şekil 4.22	Anlık yakıt tüketimi-(Metan-Hibrit).....	73
Şekil 4.23	Anlık HC emisyonu-(Metan-Hibrit).....	74
Şekil 4.24	Anlık CO emisyonu-(Metan-Hibrit).....	74
Şekil 4.25	Anlık NOx emisyonu-(Metan-Hibrit).....	75
Şekil 4.26	Anlık İs emisyonu-(Metan-Hibrit).....	75

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	1.5ms motorin yakıtı ile motor performansının teorik sonuçları.....	13
Tablo 2.2	1.5ms motorin yakıtı ile CO ve NOx emisyonlarının teorik sonuçları.....	15
Tablo 2.3	1.5ms metan yakıtı ile motor performansının teorik sonuçları.....	17
Tablo 2.4	1.5ms metan yakıtı ile CO ve NOx emisyonlarının teorik sonuçları	18
Tablo 2.5	Örnek taşıt parametreleri.....	20
Tablo 2.6	CBD seyir çevrimi parametreleri.....	22
Tablo 2.7	Yalnız motorin için eğri uydurma metoduyla elde edilen katsayılar-BSFC	29
Tablo 2.8	Yalnız motorin için eğri uydurma metoduyla elde edilen katsayılar-CO emisyonu	30
Tablo 2.9	Yalnız motorin için eğri uydurma metoduyla elde edilen katsayılar-HC emisyonu	31
Tablo 2.10	Yalnız motorin için eğri uydurma metoduyla elde edilen katsayılar-NOx emisyonu.....	32
Tablo 2.11	Yalnız motorin için eğri uydurma metoduyla elde edilen katsayılar-İs (Smoke) emisyonu	33
Tablo 2.12	Yalnız motorin için motor gücü ve motor hızına bağlı olarak yakıt tüketimi verilerinin matrisi.....	34
Tablo 2.13	Yalnız motorin için motor gücü ve motor hızına bağlı olarak CO emisyon verilerinin matrisi.....	35
Tablo 2.14	Yalnız motorin için motor gücü ve motor hızına bağlı olarak HC emisyonu verilerinin matrisi	36
Tablo 2.15	Yalnız motorin için motor gücü ve motor hızına bağlı olarak NOx emisyonu verilerinin matrisi	37
Tablo 2.16	Yalnız motorin için motor gücü ve motor hızına bağlı olarak İs (Smoke) verilerinin matrisi.....	38
Tablo 2.17	Eğri uydurma metoduyla elde edilen yakıt tüketimi (BSFC) için elde edilen katsayılar.....	39
Tablo 2.18	Eğri uydurma metoduyla elde edilen CO emisyonu için elde edilen katsayılar	40
Tablo 2.19	Eğri uydurma metoduyla elde edilen HC emisyonu için elde edilen katsayılar	41
Tablo 2.20	Eğri uydurma metoduyla elde edilen NOx Emisyonu için elde edilen katsayılar	42

Tablo 2.21	Eğri uydurma metoduyla elde edilen İs emisyonu için elde edilen katsayılar	43
Tablo 2.22	Metan için motor gücü ve motor hızına bağlı olarak yakıt tüketimi verilerinin matrisi	44
Tablo 2.23	Metan için motor gücü ve motor hızına bağlı olarak CO emisyon verilerinin matrisi	45
Tablo 2.24	Metan için motor gücü ve motor hızına bağlı olarak HC emisyonu verilerinin matrisi	46
Tablo 2.25	Metan için motor gücü ve motor hızına bağlı Olarak NOx emisyonu verilerinin matrisi	47
Tablo 2.26	Metan için motor gücü ve motor hızına bağlı olarak İs (Smoke) verilerinin matrisi	48
Tablo 3.1	Örnek hibrit taşıt parametreleri	52
Tablo 3.2	Batarya ünitesi parametreleri	54
Tablo 4.1	Yalnız motorin çalışma şartı için simülasyon sonuçları	65
Tablo 4.2	Yalnız metan çalışma şartı için simülasyon sonuçları	69
Tablo 4.3	Motorin-Hibrit çalışma şartı için simülasyon sonuçları	72
Tablo 4.4	Metan-Hibrit çalışma şartı için simülasyon sonuçları	76
Tablo 5.1	Geliştirilen örnek taşıt modellerinin simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması	77

Hibrit Araçlarda Yakıt Tüketimi ve Emisyonların Modellemesi

Emre ÇAYIR

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Teorisi ve Kontrol Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Semih SEZER

Şehir içi ulaşımında fosil yakıt tüketimine bağlı etkenlerin atmosfere bırakılmasının çevre ve doğal yaşamın sürdürülebilirliği açısından tehdit arz etmesi, emisyon regülasyonlarının bu çerçevede belirlenmesi gerektiği hibrit tahrik sistemleri ve geleneksel yakıtlara göre daha temiz olan alternatif yakıt kullanan taşıtları zorunlu kılmaktadır. Günümüzde elektrik tahrikli taşıtların, batarya teknolojisinin gelişmeye ihtiyaç duyması (güç gereksiniminin arttırılması gerekliliği, şarj süreleri vb.) gibi sebeplerden dolayı elektrikli araçlara geçiş döneminde seri hibrit tahrik sistemleri ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada seri hibrit tahrik sistemleri Matlab/Simulink programı yardımıyla modellenmiş, elde edilen deneysel verilerle analiz edilerek emisyon değerleri ile yakıt tüketimi değerleri karşılaştırılması, elektrik araçlara geçiş aşamasında özellikle toplu taşıma araçlarında seri hibrit tahrik sisteme sahip dizel ve doğalgaz yakıt tipine sahip araçlara göre avantajları ve dezavantajlarının ortaya çıkarılması hedeflenmekte ve seri hibrit tahrik sistemlerinin otobüslerde kullanılması ile hem yakıt ekonomisi, hem de emisyonlar

açısından büyük oranda iyileşme gözleneceği öngörülmektedir. Bu amaçla, seri hibrit taşıt modeli kurularak, motorin yakıtlı, metan yakıtlı ve seri motorin-hibrit tahrikli olarak çalıştırılma durumunun ve seri metan-hibrit tahrikli olarak çalıştırılma durumunun yakıt tüketimi ve emisyonlardaki etkisi incelenmiştir. Ayrıca, çalışma kapsamında gerek minimum yakıt tüketimi, gerekse de termik verim-güç açısından en uygun çalışma noktaları belirlenerek, seri hibrit araçlara uygun elde edilen deneysel verilerin bilgisayar ortamında modelleyerek ve eğri uydurma metoduyla performans haritaları oluşturulmuş ve İYM'nin ve hibrit tahrik sisteminin çalışma aralığı belirlenmiştir. Sonuç olarak, seri hibrit sistemin seçilen örnek taşıtta görüldüğü gibi kullanılması ile emisyon normlarında ve yakıt tüketiminde iyileşmeler olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Seri hibrit, motorin-metan yakıtı, yakıt tüketimi, simülasyon, eğri uydurma

The Modelling of Fuel Consumption And Emissions In Hybrid Vehicles

Emre ÇAYIR

Department of Mechanical Engineering

Program of Machine Theory and Control

Master of Science Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Semih SEZER

In urban transportation, the factors related to the consumption of fossil fuel is a threat to the sustainability of the environment and it is required using alternative fuels that are cleaner than conventional fuel vehicles. Today, series-hybrid driving systems come to the forefront because of the need for the development of battery technology in electric driven vehicles. In this study, the series- hybrid driving system is modeled via Matlab/Simulink Programme and fuel consumption and emission values are analyzed with the obtained experimental data, comparing the advantages and disadvantages of diesel and natural gas fuel type vehicles within public transport vehicles during the transition to electric vehicles, series-hybrid driving the system is expected a great improvement in terms of fuel economy and environment. In accordance with this purpose by configuring series-hybrid vehicle model, the effect of the operation of diesel fuel, natural gas and series-diesel-hybrid, series-gas-hybrid drive on fuel consumption and emissions are investigated. On the other hand, the performance maps by specifying the most suitable operating points and modelling in computer environment with regards to both minimum fuel consumption and thermal efficiency-power are created and the operating range of the ICE and the hybrid driving system is determined. As a result,

it is concluded that the improvements in emission norms and fuel consumption as is seen from a specified vehicle model.

Keywords: Series-hybrid, diesel engine, fuel consumption, simulation, curve-fitting



1.1 Literatür Özeti

Dünya genelinde çevreye salınım yapan emisyon oranlarının %17'si karayolu ulaşımı kaynaklıdır [1]. “Kyoto Protokolü ile United Nations Framework Convention on Climate Change” de bünyesinde alınan kararlara rağmen çevreye salınan CO₂ emisyon değerleri ulaşım sebebiyle %37 oranında artış gösterdiği görülmüştür [2]. Avrupa Birliği Komisyonu Direktifi (2009/28/EC), 2020 yılı hedeflerinde karayolu taşımacılığı ve diğer ulaşım sebebiyle harcanan yakıtların %10'unun biyolojik alternatif yakıtlardan oluşmasını sağlamak olduğu görülmektedir [3]. Ulaşım sektöründe özellikle konvansiyonel dizel motorların etkin rol aldığı göz önünde bulundurulduğunda, düşük HC, CO ve CO₂ emisyon değerleri ve yüksek termik verim gibi üstün özelliklere sahip olmalarına karşın, yüksek miktarda PM ve NO_x emisyonu salınımı yapmaları dezavantaj olarak değerlendirilebilir[4]. Özellikle kritik olarak değerlendirilen NO_x emisyonu asit yağmurları oluşumuna neden olabilmesi ile, İS emisyonları da solunum yollarında ciddi sağlık problemlerine neden olduğu görülmektedir [5]. 2013 Air quality report in Europe'a göre, meydana gelen NO_x ve özellikle partikül madde artışının temel nedeni, son yıllardaki dizel motorlu araç sayısındaki artıştır [6].

Karayolu taşımacılığı ve özellikle toplu taşıma ve şehir içinde kullanılan otobüslerin çevre kirliliği ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri vardır ve toplu taşıma araçlarında kullanılan motorlar, gerektirdiği karakteristik özellikler güç ve tork gereksinimi maksadıyla kullanılan motorin yakıtlı dizel motorlardır. Örneğin Çin'in Beijing şehrinde toplu taşıma otobüsleri, toplam taşıt popülasyonunun yalnızca %0.5'ini oluşturmalarına rağmen, taşıt kaynaklı NO_x emisyonlarının %19'unu oluşturmaktadırlar [7]. Özellikle şehir içi yük ve yolcu taşımacılığında otobüs, midibüs, kamyon gibi ağır ve hafif ticari araçlarda alternatif tahrik

sistemleri (hibrit tahrik sistemleri, elektrikli tahrik sistemleri vs) teknolojilerine ve mevcut motorlarda alternatif yakıtların kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır [8].

Zhang vd. [9] çalışmalarında, farklı yükler ve hızlar altında doğalgaz ve dizel yakıt karışımıyla çalışan dizel motorunda, yakıtın doğalgaz içeriği değiştirilerek analiz yapılmıştır. Düşük yüklerde, özgül yakıt tüketimi (BSFC) yakıttaki doğal gaz oranının artmasıyla önce artan, önce azalan bir profil izlemekte iken, yüksek yüklerde kayda değer değişim görülmemiştir. Doğal gaz oranının artması kısmi yüklerde HC ve CO emisyonunu artırırken, NOx emisyonu pek etkilememiştir. Yük artışıyla ise HC azalırken, CO ve Nox emisyonları artmaktadır. İş oluşumunda ise doğal gaz oranı arttıkça dizel kullanımı azaldığından dolayı büyük oranda düşüş görülmüştür.

Kakaee vd. [10] gerçekleştirdikleri çalışmada, dizel motorda iki farklı metan oranına sahip doğal gaz/dizel karışimli yakıt kullanılmış, farklı emme sıcaklıkları ve devirlere göre yanma karakteri ve emisyonlar incelemişlerdir. Silindir içi basınç ve sıcaklıklar metan oranı yüksek olan yakıtta daha fazla olduğu görülmektedir. Bu nedenle bu yakıtın kullanımında NOx emisyonu diğerine oranla oldukça fazla çıkmıştır. HC emisyonu ise silindir içi sıcaklığının artışıyla HC oksidasyonunun artmasından dolayı düşmektedir ve aynı nedenle metan oranı yüksek yakıtta daha düşük seviyelerdedir. Devir artışıyla tutuşma gecikmesinin artmasından dolayı ise HC emisyonu yükselmektedir. CO emisyonuna bakıldığında, yakıtların basınç ve sıcaklık karakterinin volümetrik verimi değiştirmesinden etkilenmekte, yüksek devirlerde ciddi oranlarda artmaktadır. Genellikle, verimlilik ve emisyon açısından, yüksek metan oranına sahip yakıtla daha yüksek motor devirlerinde çalışmaya uygundur.

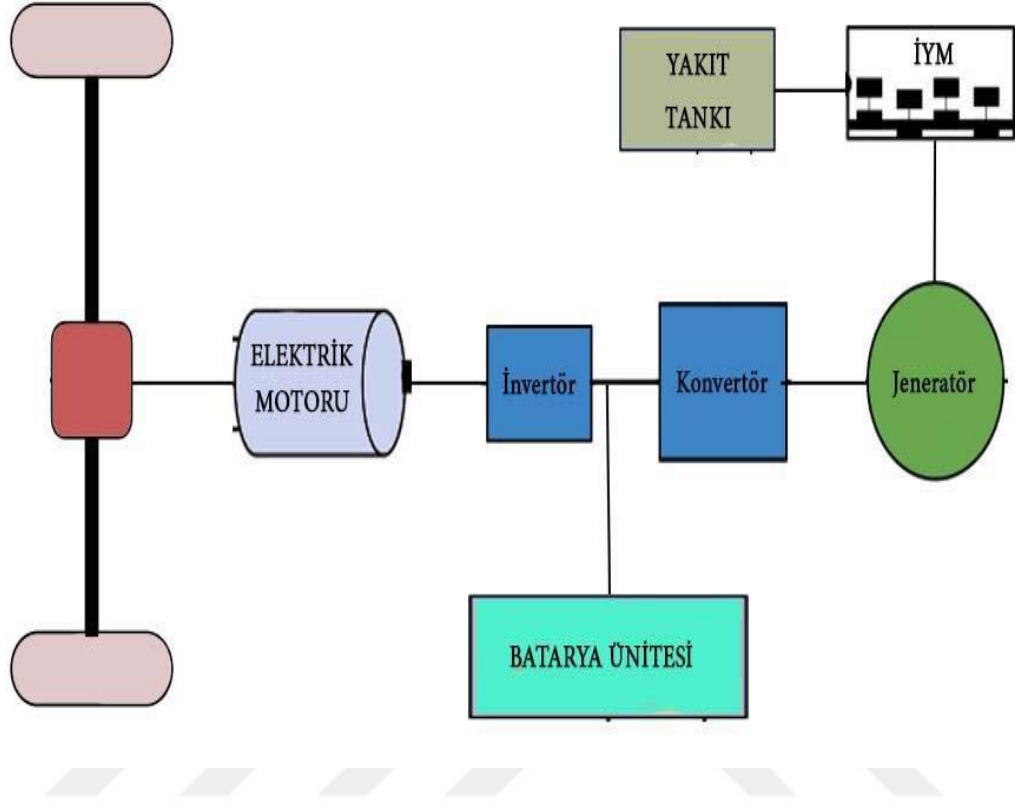
Günümüzde elektrik tahrikli taşıtlar, batarya teknolojisinin gelişmeye ihtiyaç duyması (güç yoğunluğunun arttırılması gerekliliği, şarj süreleri vs) gibi sebeplerden dolayı yakın gelecekte ticarileşmesi mümkün görülmemektedir. Seri hibrit tahrik sistemi, bataryalı elektrikli araçlara geçişte bir alternatif olarak düşünülebilir. Çünkü seri hibrit tahrik sistemleri, elektrik tahrik sistemlerinin ve enerji depolama sistemlerinin bir kombinasyonudur [11]. Seri hibrit tahrik sistemi, özellikle şehir içi ağır trafik şartı gibi sık duruş kalkış şartlarında kullanım için

oldukça uygundur. Bu yüzden, seri hibrit sistemleri, şehir içi yolcu taşımacılığında otobüslerde kullanım için oldukça uygundur [12].

Bilindiği gibi, seri hibrit otobüslerin İYM teknolojileri, konvansiyonel İYM teknolojilerinden farklıdır. Seri hibrit sistemlerin İYM'ları jeneratöre bağlı olduğu ve tahrik tekerleklerine bağlı olmadığı için, motorun maksimum termik verimde çalışma bölgesinde çalıştırılmalıdırlar. Bu sebepten dolayı, seri hibrit taşıtlara yönelik farklı yük kademelerinde hız kontrolü yaparak, diesel motoru sürekli olarak en yüksek termik verim ve optimum emisyon değerlerinin elde edileceği çalışma bölgesi belirlenerek modelleme ve simülasyonların gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir.

Günümüzde, dünya genelindeki pazarda, farklı otobüs firmaları hibrit tahrik sistemlerini kullanmaktadır. Örneğin, çok sayıda Eletra (Eletra, 2005) seri hibrit sistemli otobüs, Sao Paulo şehrinde kullanılmaktadır. Eletra'larda, seri hibrit sistemi sayesinde 80 HP'lık ekstra küçültülmüş motorun kullanılmaktadır [13].

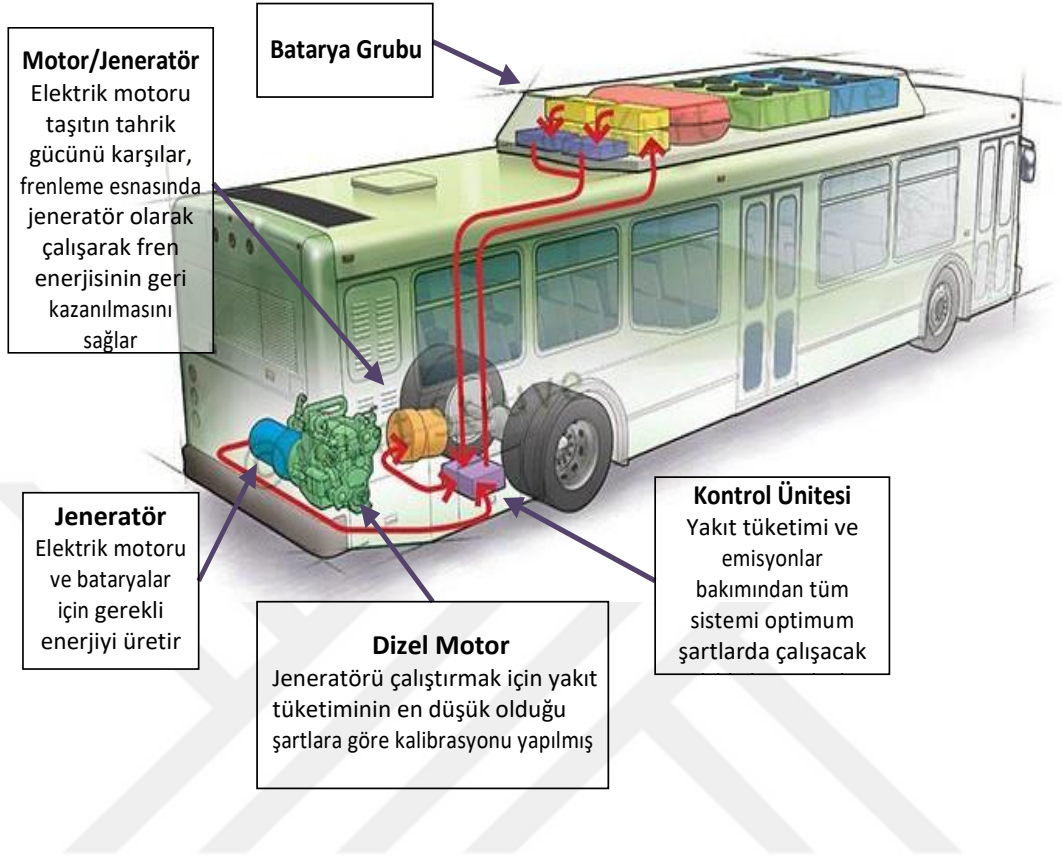
Yine, New York şehrinde, Orion Otobüs Firması'nın (Kuzey Amerika'daki Daimler Chrysler'in ticari otobüs firması) BAE seri hibrit tahrik sistemli otobüsleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Seri hibrit konfigürasyonu sayesinde, daha küçük bir motor olan 5.9'lık Cummins ISB dizel motor kullanılmıştır [14].



Şekil 1.1 Seri hibrit tahrik sistemi

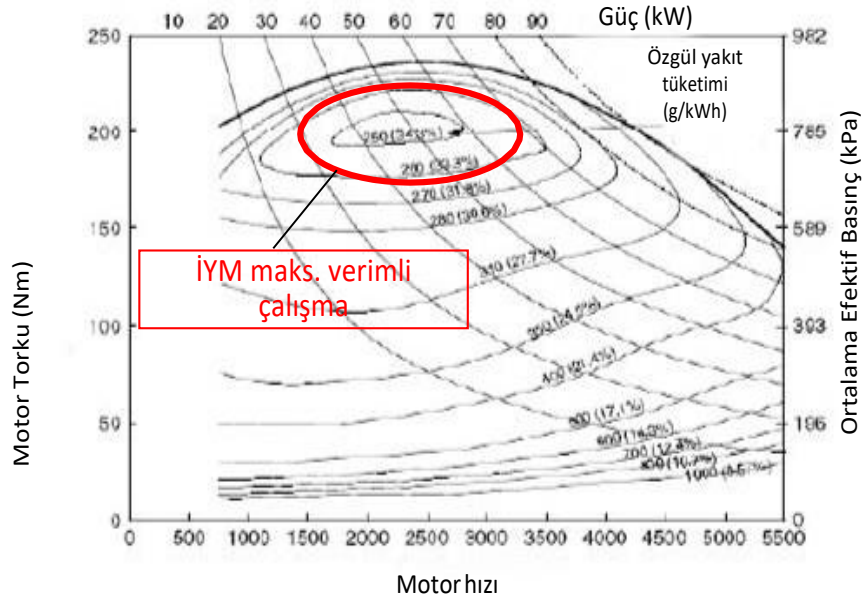
Seri hibrit sistemde, tekerleklere tahrik gücünü elektrik motoru sağlar. İYM jeneratöre bağlıdır ve elektrik enerjisini oluşturarak bataryalara ve/veya elektrik motoruna elektrik sağlar. İYM ve tekerlekler arasında güç iletimi yoktur [15]. Şekil 1.1’de seri hibrit tahrik sisteminin akış şeması görülmektedir.

Şekil 1.2’de, Orion Otobüs Firması’nın seri hibrit tahrik sistemi gösterilmektedir. Ayrıca, pazarda bulunan Allison otobüsleri, dizel hibrit sistemi kullanmaktadır. Yine Volvo firması’nın pazardaki otobüslerde dizel hibrit sistemi kullandığı bilinmektedir [11].



Şekil 1.2 Kuzey Amerika'daki Orion otobüs üretim firmasının seri hibrit tahrik sistemi [11]

Konvansiyonel taşıtların motor haritaları pik güç taleplerine (ivmelenme, maksimum eğim çıkışı, yuvarlanma direnci vs) cevap verebilecek şekilde kalibre edilir. Ancak, şehir içi seyir çevrimi şartlarında, oldukça kısa süreli pik yüklerde çalışırlar. Ayrıca, özgül yakıt tüketiminin büyük oranda motor torku ve motor hızına bağlı olduğu görülmektedir. Ancak, seri hibrit taşıt motorları ise, Şekil 1.3 de gösterildiği gibi maksimum verimle çalışma bölgesinde kalacak şekilde çalıştırılırlar.



Şekil 1.3 İYM performans haritası ve maksimum verimli çalışma bölgesi

Taşıtlarda kirletici egzoz emisyonlarını iyileştirmede ve yakıt ekonomisi sağlamada kullanılabilecek bir diğer yöntem de konvansiyonel motorlarda alternatif yakıtlar kullanmaktır. Alternatif yakıtlar arasında, alkoller, sebze yağı, LPG, CNG, LNG, hava gazı, biyogaz ve hidrojen ön plana çıkmaktadır. Alternatif yakıtların; kaynak ve potansiyel, yakıt temini, emniyet, zehirlilik ve sağlığa zararlılık, motor performansı ve emisyonları, depolama, ve istenilen her yerde kolay bulunabilirlik gibi kriterler açısından incelenmesi gerekir. Doğalgaz, bu kriterlerin birçoğunu sağladığından içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılabilecek önemli alternative yakıtlardan birisidir. Kolay bulunabilirliği, rezervlerinin petrole göre daha fazla olması, düşük maliyet ve temiz yanma karakteristikleri ile dağıtım sistemlerinin var oluşuna ek olarak daha düşük araç emisyonlarına imkân vermesi, doğal gazı son derece elverişli bir alternatif yakıt yapmaktadır. Doğalgazın büyük bölümünü %90-96 CH₄ (metan) gazı oluşturmaktadır. Geri kalan bölümünü ise %2.411 C₂H₆ (etan), %0.736 C₃H₈ (propan), %0.371 C₄H₁₀ (bütan), %0.776 N₂ (azot), %0.164 C₅H₁₂ (pentan) ve %0.085 CO₂ (karbondioksit) oluşturmaktadır [16]. Ancak, yüksek metan içeriğinden dolayı, doğal gazda metanın özellikleri ön plana çıkmaktadır. Dizel motorlarda güncel emisyon standartlarını yakalamanın bir yolu da, dizel yakıtını

daha temiz, düşük karbon içerikli bir alternatif yakıtla değiştirmektedir [17]. Ayrıca, CNG (basınçlandırılmış doğal gaz) bir fosil yakıt olmasına karşın, metanın düşük C:H atomu oranından dolayı, sera gazı gazlarında (green house gases) %25'e varan azaltmaya sebep olabilmektedir [18].

Doğal gazın dizel motorlarda motorin gibi bir dizel yakıtı ile beraber kullanılması NO_x ve PM emisyonlarında düşüş sağlarken, yakıt maliyetleri açısından da oldukça avantajlıdır. Doğal gaz –motorin çift yakıtının toplam yakıt tüketiminin eşdeğer motorin karşılığı hesaplanarak, konvansiyonel dizel motorun, motorin tüketimi ile karşılaştırıldığında, yakıt tüketiminde çok az bir miktar düşüş gözlenmesine rağmen, doğal gaz/biyogaz yakıtlarının, motorine göre daha ekonomik olmasından dolayı, doğal gaz yakıt ekonomisi açısından büyük avantaj sağlamaktadır. Metanın yüksek kendi kendine tutuşma sıcaklığına ve dar tutuşabilirlik limitlerine sahip olmasından dolayı, dizel motorlarda kullanılabildiğinde pilot dizel püskürtme ile tutuşma sağlanması ve alternatif çevrimler için PCCI metodunun kullanılması en uygun yöntemlerdir [19].

Mittal vd. (9) [20] yaptıkları çalışmada, farklı çalışma koşullarında doğalgaz ile çift yakıtlı bir dizel motorun egzoz emisyon özelliklerini belirlemek için deneysel bir çalışma yapılmıştır. Dizel ve çift yakıt kullanımı sırasında farklı yüklerde hidrokarbon, karbon monoksit, azot oksit, kurum, partikül madde ve karbon dioksit değerleri ölçülmüştür. NO_x emisyonlarının çift yakıtlı çalışmada tüm işletme yüklerinde dizel yakıtla kıyasla azaltıldığı görülmektedir. Daha yüksek yüklerde, çift yakıtlı çalışmanın NO_x azaltılmasına etkisi, hafif kısmi yüklerde gözlemlenene kıyasla daha belirgin olmaktadır. HC ve CO emisyonları çift yakıt şartlarında tüm işletme yüklerinde artmıştır. Bununla birlikte, CO emisyon konsantrasyonu, oksidasyon katalizörü ile tüm işletme yüklerinde sifra yakın seviyeye indirilmiştir. İş emisyonu miktarı çift yakıt şartında, yalnız dizel yakıtına kıyasla artmıştır. Karbon dioksit emisyonu, çift yakıtlı çalışmada dizele oranla azalmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Günümüzde karayolu ulaşımında tüketilen yakıt cinsi ve ortaya çıkan emisyon değerleri baz alındığında dünya genelinde toplam kirlenmenin % 17 mertebesinde sorumludur. Yapılan bazı çalışmalarda, 2035 yılında araç sayısının, 2010 yılındaki araç sayısının 2 katına çıkabileceği öngörülmüştür [21]. Bu araçların büyük çoğunluğunu dizel taşıtlar oluşturmaktadır. Dizel motorlar, ulaşım sektöründe yaygın olarak kullanılmakla beraber, özellikle kritik risk olarak değerlendirilen PM ve NO_x emisyonu salınımı yapmaları insan sağlığı, çevre ve doğa açısından olumsuzluk arz etmektedir.

Elektrikli araçların yüksek maliyetleri, batarya teknolojilerinin henüz gelişmekte olması, batarya dayanım sürelerinin kısıtlı olması ve piyasa koşullarında pazar bulamaması gibi nedenler göz önünde bulundurulduğunda, kısa sürede geleneksel melez diye nitelendirilebilecek hem İYM hem de batarya ünitesi barındıran hibrit sistemler dikkat çekmektedir. Ayrıca, elektrikli araçların menzillerinin sınırlı olması sebebiyle, özellikle ağır ticari yük ve yolcu taşımacılığında, batarya teknolojisinin gelişimini tamamlayayıp, bataryaların enerji kapasiteleri arttırılana kadar yakın gelecekte ticari olarak kullanılmaları mümkün görülmemektedir. Diğer taraftan hibrit sistemleri içinde yer alan seri hibrit tahrik sistemlerinin uygulanabilirliği özellikle şehir içi toplu ulaşımında kolaylık sağlayabileceği gibi daha çevreci ve yakıt ekonomisi bakımından avantajları ortaya konmak istenmiştir. Deneysel verilerin bilgisayar ortamında tek silindirli motor tek boyutlu analiz yapabilen program yardımıyla modellenerek ve gerçekleştirilecek çalışmalardan elde edilen verilerle yapılan doğrulama sonucunda, seri hibrit tahrik sistemine yönelik bir taşıt modeli oluşturulacak ve seyir çevrimine bağlı olarak taşıtın yaydığı emisyonların ve yakıt tüketiminin farklı yakıt tip bileşenlerine göre yani konvansiyonel yakıtlar ile alternative yakıt durumlarında çalışma şartlarına göre belirlenebileceği taşıt modelleri teorik olarak geliştirilecek ve yapılacak simülasyon sonuçları neticesinde elde edile çıktılar paylaşılacaktır.

Ulaşım sektöründeki petrol ihtiyacının neredeyse %100'ünü ithalatla karşılayan ülkemiz için, alternative bir yakıt olan doğal gazın kullanımının ülkemizin petrole bağımlılığından ötürü enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi bakımından önemi büyüktür. Ülkemizde ciddi miktarda doğalgaz üretim potansiyeli bulunduğu dikkate alınırsa belirtilen alternative yakıtların, seri hibrit araç motorlarında kullanılması durumunda konvansiyonel yakıtlara bağımlılığın önemli ölçüde azalacağı öngörülmüştür. Bu alanda yapılan çalışma kapsamında hem seri hibrit araçlarda alternatif yakıt kullanımı, ve hibrit araçların konvansiyonel yakıtlara göre alternatif yakıtların kullanılması irdelenerek literatüre katkı sağlamak hem bu konuda seri hibrit araçların kullanımının konvansiyonel taşıtlara göre avantajlarının ortaya konulması amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Günümüzde fosil yakıtı sahip araçların yaygın olması, özellikle şehir içi yük ve yolcu taşımacılığında otobüs, midibüs, kamyon gibi ağır ve hafif ticari araçlarda dizel yakıtın kullanılması veya doğalgaz dönüşümlü olarak kullanıldığı görülmektedir. Elektrik araçlara geçiş döneminde yer aldığımız günümüz koşullarında hibrit araçların karakteristik özellikleri bu tür araçlara uygulanabilirliğiyle ön plana çıkmaktadır. Hibrit araçlarda kolay bir konfigürasyon olarak kabul gören seri hibrit tahrik sistemi modellenerek elde edilen deneysel veriler ışığında simülasyonlar oluşturmak amaçlanmıştır. Doğalgaz ve dizel yakıtı kullanılarak elde edilmiş deneysel veriler Matlab/Simulink yardımıyla oluşturulmuş seri hibrit tahrik sistemi modellemesiyle yakıt tüketimi ve emisyon değerleri doğalgaz ve dizel yakıtı göre karşılaştırılmıştır. Konvansiyonel yakıtı sahip motorların yüksek termik verime rağmen çevre ve doğaya zarar veren emisyon oranlarına sahip olması, alternatif çözüm arayışlarına neden olmuştur. Elektrikli araçlara geçiş sürecinde, seri hibrit tahrik sisteminin hem yakıt tüketiminde hem emisyon oranlarında iyileştirmeler sağlayacağı öngörülmektedir. İYM'un maksimum verimli olduğu çalışma bölgesi performans haritalarından tespit edilerek çalışma aralıkları oluşturulacak, batarya sisteminin çalışma aralığı belirlenecektir. Seri hibrit tahrik sistemlerinin çok sayıda değişken ve etkileşimler içermesi sebebiyle güncel bir teknik olan simülasyon seçeneğinin kullanılması

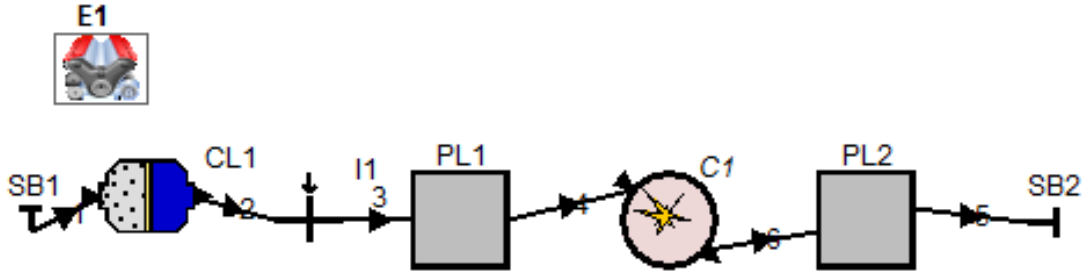
gerekliliği, yani sistemin gerçek hali olmadan fiziksel kompozisyonunu Matlab/Simulink gibi program yardımıyla modelleyerek derin ve bilimsel araştırma sonuçlarını ortaya çıkarma ihtiyacı oluşmuştur. Çalışmanın dizel ve doğalgaz yakıtı ile seri hibrit tahrik sistemlerinde kullanılmasının sağlayacağı avantajlarının elde edilecek simülasyon sonuçları ile doğrulanması öngörülmektedir. Yapılacak çalışma neticesinde seri hibrit tahrik sistemlerinin uygulanabilirliği, avantajları, ekonomik ve çevre koşulları açısından etkileri irdelenecek, konvansiyonel yakıtlı taşıtlar ile seri hibrit taşıt sistemlerinin karşılaştırılması imkanı oluşacağı ve literatüre bu anlamda da katkı sağlayacağı öngörülmektedir



2.1 Deneysel Veriler ile Teorik Model Oluşturulması

Tek silindir dizel motordan alınan deneysel verilerden teorik olarak oluşturulmuş bilgisayar ortamında 5 silindire çıkartılmış ve bulunan teorik sonuçlardan eğri uydurma metoduyla hem motorin yakıtı için hem %50 motorin-%50 metan yakıtı için tam performans haritaları oluşturulmuştur. Öncelikle deneysel veriler aracılığıyla tek silindirli motorun 1-D modeli oluşturulmuş, bilgisayar ortamında 5 silindire çıkartılıp belirlenen motorin ve metan yakıtları için 9 farklı devirde testlerle oluşturulmuş motor haritaları eğri uydurma metodu kullanılarak motorin ve metan yakıtları için doğrulanarak tam motor haritaları oluşturularak geliştirilecek teorik taşıt medoline uyarlanmak üzere 3 boyutlu grafiklendirilmiştir. Taşıt modeli oluşturulurken öncelikle motorin ve metan yakıtlı örnek taşıt modeli, sonra seri hibrit tahrik sistemine sahip seri hibrit modelleri motorin-hibrit ve metan-hibrit model olarak uyarlanma yoluna gidilmiştir. Matlab/Simulink programı yardımıyla toplam direnç kuvvetleri, motor haritaları, çevrim oranlarının belirlenmesini içeren alt modeller blok diyagramlar ile gösterilmiştir. Şehir içi ulaşımında kullanılabilecek karakteristik özelliklerine sahip taşıt parametreleri seçilerek teorik modele uyarlanmış ve simülasyon sonuçları 100 km mertebesine oluşan yakıt tüketimi ve emisyon değerlerini çıktı olarak gösterecek şekilde örnek taşıt modeli hem seri hibrit tahrik sistemi için hem konvansiyonel İYM için motorin yakıtlı tahrik çalışma şartında ve %50 motorin-%50 metan yakıtlı tahrik şartında oluşturulmuştur.

2.2 1-D Motor Teorik Model Oluşturulması



Şekil 2.1 Motorun boost programındaki 1-D modeli

Boost 13.2 1-D programına, motorun gerekli olan ölçüler ve parametreler girilmiştir. AVL firmasının AST Boost 13.2 1-D programında modelleme yapılarak Şekil 2.3 deki şematikten de anlaşılacağı gibi, doğal emişli, tek silindirli, EGR'siz bir dizel motor için model oluşturulmuştur. Elde edilen deneysel sonuçlardan, krank açısına bağlı olarak, boyutsuz dizel enjektörünün püskürtme karakteristiği elde edilerek, teorik modele uygun olarak girilmiştir.

2.3 Deneysel Verilerden Elde Edilen Motor Performans Sonuçları

Deneysel veriler ışığında oluşturulan motor performans sonuçları yalnız motorin yakıt için ve metan için ayrı tespit edilen 9 farklı devir için oluşturulmuş, ve tablo olarak 1.5 ms enjektör açık kalma süresi baz alınarak veriler gösterilmiştir.

2.3.1 Motorin Performans Sonuçları

1.5 ms motorin püskürtmenin performans sonuçları özet olarak Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1 1.5ms motorin yakıtı ile motor performansının teorik sonuçları

	Motor Gücü Teorik	Özgöl Yakıt Tüketimi Teorik (g/kWh)
Motorin_28°_2700d/d	15,9	435
Motorin_28°_2500d/d	15,1	380
Motorin_28°_2300d/d	14,8	390
Motorin_28°_2100d/d	13	380
Motorin_28°_1900d/d	12,2	355
Motorin_28°_1700d/d	11,6	333
Motorin_28°_1500d/d	10,9	320
Motorin_28°_1300d/d	9,9	334
Motorin_28°_1100d/d	7,8	354
Motorin_24°_2700d/d	14,9	455
Motorin_24°_2500d/d	14,2	429
Motorin_24°_2300d/d	13,2	397
Motorin_24°_2100d/d	13	368
Motorin_24°_1900d/d	12,9	374
Motorin_24°_1700d/d	12	353
Motorin_24°_1500d/d	10,9	353
Motorin_24°_1300d/d	9,4	352
Motorin_24°_1100d/d	8	378

Tablo 2.1 1.5ms motorin yakıtı ile motor performansının teorik sonuçları (devamı)

Motorin_20°_2100d/d	11,5	426
Motorin_20°_1900d/d	12,7	388
Motorin_20°_1700d/d	11,9	364
Motorin_20°_1500d/d	10,6	342
Motorin_20°_1300d/d	9,5	323
Motorin_20°_1100d/d	8,2	347
Motorin_16°_1900d/d	13,2	334
Motorin_16°_1700d/d	11,5	337
Motorin_16°_1500d/d	10,4	332
Motorin_16°_1300d/d	9,4	325
Motorin_16°_1100d/d	8,3	316

1.5 ms motorin püskürtmenin CO ve NOx emisyonlarının sonuçları özet olarak Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2 1.5ms motorin yakıtı ile CO ve NOx emisyonlarının sonuçları

	NOx Teorik (ppm)	CO Teorik (%hac.)
Motorin_28°_2700d/d	677	0,94
Motorin_28°_2500d/d	708	0,66
Motorin_28°_2300d/d	830	0,57
Motorin_28°_2100d/d	945	0,49
Motorin_28°_1900d/d	1289	0,095
Motorin_28°_1700d/d	1520	0,29
Motorin_28°_1500d/d	2101	0,19
Motorin_28°_1300d/d	2782	0,29
Motorin_28°_1100d/d	3481	0,19
Motorin_24°_2700d/d	502	1,15
Motorin_24°_2500d/d	646	0,42
Motorin_24°_2300d/d	657	0,57
Motorin_24°_2100d/d	782	0,63
Motorin_24°_1900d/d	1047	0,21
Motorin_24°_1700d/d	1313	0,105
Motorin_24°_1500d/d	1684	0,095
Motorin_24°_1300d/d	2268	0,21

Tablo 2.2 1.5ms motorin yakıtı ile CO ve NOx emisyonlarının sonuçları
(devamı)

Motorin_24°_1100d/d	2655	0,29
Motorin_20°_2100d/d	684	0,21
Motorin_20°_1900d/d	851	0,095
Motorin_20°_1700d/d	981	0,105
Motorin_20°_1500d/d	1411	0,095
Motorin_20°_1300d/d	1894	0,105
Motorin_20°_1100d/d	2320	0,095
Motorin_16°_1900d/d	681	0,21
Motorin_16°_1700d/d	874	0,105
Motorin_16°_1500d/d	1152	0,095
Motorin_16°_1300d/d	1727	0,105
Motorin_16°_1100d/d	2057	0,095

2.3.2 %50 Metan ve %50 Motorin Performans Sonuçları

1.5 ms metan püskürtmenin motor performansının sonuçları özet olarak Tablo 2.3 ve 2.4’de verilmiştir.

Tablo 2.3 1.5ms metan yakıtı ile motor performansının teorik sonuçları

	Motor Gücü Teorik	Özgül Yakıt Tüketimi Teorik (g/kWh)
%50metan_28°_2700d/d	17,8	329
%50metan_28°_2500d/d	16,4	318
%50metan_28°_2300d/d	14,4	326
%50metan_28°_2100d/d	14	321
%50metan_28°_1900d/d	13,7	319
%50metan_28°_1700d/d	12,6	393
%50metan_28°_1500d/d	11,9	404
%50metan_28°_1300d/d	9,8	437
%50metan_28°_1100d/d	7,7	318
%50metan_24°_2700d/d	16,4	322
%50metan_24°_2500d/d	15,3	338
%50metan_24°_2300d/d	15,6	326
%50metan_24°_2100d/d	14	314
%50metan_24°_1900d/d	14,2	317
%50metan_24°_1700d/d	12,8	368
%50metan_24°_1500d/d	11,8	374
%50metan_24°_1300d/d	10,7	425

Tablo 2.3 1.5ms metan yakıtı ile motor performansının teorik sonuçları (devamı)

%50metan_24°_1100d/d	8,8	325
%50metan_20°_2100d/d	14,1	301
%50metan_20°_1900d/d	14,3	314
%50metan_20°_1700d/d	13,7	328
%50metan_20°_1500d/d	11,8	345
%50metan_20°_1300d/d	10,8	402
%50metan_20°_1100d/d	8,3	301
%50metan_16°_1500d/d	13,8	351
%50metan_16°_1300d/d	12,9	403
%50metan_16°_1100d/d	10,8	312

Tablo 2.4 1.5 ms metan yakıtı ile CO ve NOx emisyonlarının sonuçları

	NOx Teorik (ppm)	CO Teorik (%hac.)
%50metan_28°_2700d/d	1277	1,14
%50metan_28°_2500d/d	1285	2,2
%50metan_28°_2300d/d	1159	2,9
%50metan_28°_2100d/d	1709	1,6
%50metan_28°_1900d/d	2098	0,21
%50metan_28°_1700d/d	2298	0,31
%50metan_28°_1500d/d	2481	0,31
%50metan_28°_1300d/d	2876	0,31

Tablo 2.4 1.5 ms metan yakıtı ile CO ve NOx emisyonlarının sonuçları
(devamı)

%50metan_28°_1100d/d	3974	0,105
%50metan_24°_2700d/d	782	0,57
%50metan_24°_2500d/d	1009	1,25
%50metan_24°_2300d/d	1081	2,1
%50metan_24°_2100d/d	1462	1,62
%50metan_24°_1900d/d	1750	0,21
%50metan_24°_1700d/d	1934	0,31
%50metan_24°_1500d/d	1972	0,31
%50metan_24°_1300d/d	2667	0,21
%50metan_24°_1100d/d	2703	0,31
%50metan_20°_2100d/d	1224	1,12
%50metan_20°_1900d/d	1503	0,21
%50metan_20°_1700d/d	1768	0,21
%50metan_20°_1500d/d	1927	0,21
%50metan_20°_1300d/d	2576	0,105
%50metan_20°_1100d/d	2778	0,105
%50metan_16°_1500d/d	1376	5,9
%50metan_16°_1300d/d	1127	6,8
%50metan_16°_1100d/d	958	7,1

2.4 Örnek Taşıt Modelinin Kurulması

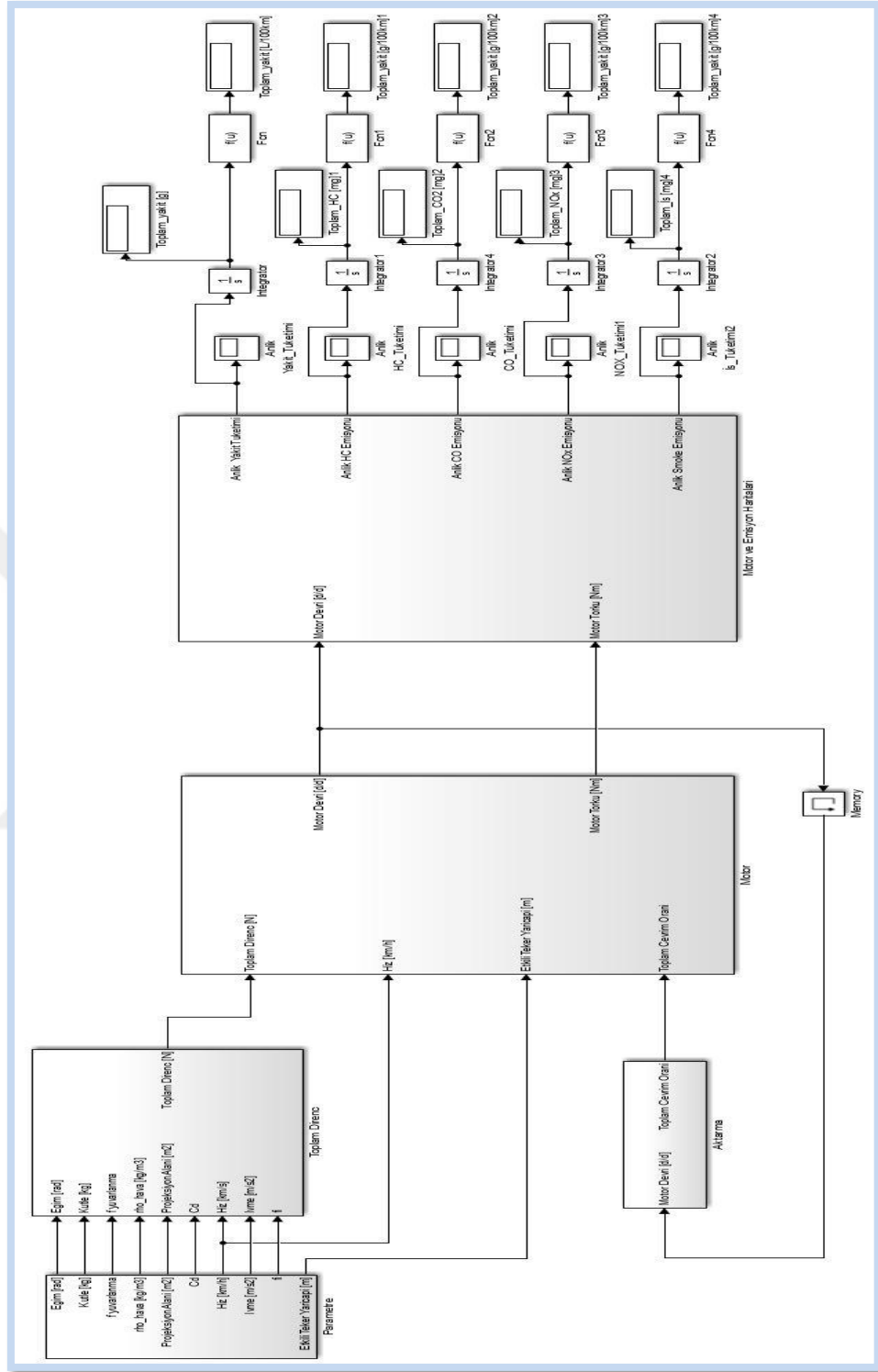
Öncelikle örnek taşıt modeli için özellikle şehir içi ulaşımında kullanılabilecek nitelikte örnek taşıt parametreleri belirlenir. Seçilen seyir çevrimi kapsamında Direnç Kuvveti, Aktarma Organları (çevrim oranları, min devir ve güç düzeltmeleri), tekerlek devri belirlenip çevrim oranlarıyla çarpılarak motorun haritaya gidecek devri belirlenir.

Taşıt parametreleri girdileri kullanılarak toplam direnç kuvvetleri hesaplanacak şekilde blok diyagramlar oluşturulur. Sırasıyla belirlenen seyir çevrimi girdileri sağlanarak deneysel olarak elde edilmiş verilerin eğri uydurma metoduyla istenilen yakıt tipi şartında tam performans haritaları oluşturulur ve modele haritaların karakteristiği yansıtan yakıt tüketimi ve emisyon matrisleri uyarlanır.

Örnek teorik taşıt modelleri oluşturulurken motor performans harita sonuçlarından 28° püskürtme için alınan veriler kullanılarak tam motor haritaları elde edilerek MATLAB/SIMULINK programında harita ve matris girdileri olarak uyarlama yoluna gidilmiştir.

Tablo 2.5 Örnek taşıt parametreleri

Ağırlık	7500 kg
Diferansiyel oranı	4,777
Vites oranları	1.vites 6.369, 2.vites 3.767, 3.vites 2.234, 4.vites 1.442, 5.vites 1.000, 6.vites 0.782, geri vites 6.369
Maksimum güç	190 BG / 2600 d/d
Maksimum tork	510 Nm / 1600-2600
Tekerlek	235/75R17,5
Projeksiyon alanı	2,320 x 3,330 = 7.7256 m ²
Cd Katsayısı	0,32



Şekil 2.2 Matlab/Simulink ortamında geliştirilen motorin yakıtlı taşıt modeli

Geliştirilen motorin yakıtlı taşıt modeli, aracın seyir dirençlerine bağlı olarak (yuvarlanma direnci, ivmelenme direnci, aerodinamik direnç ve eğim direnci) anlık güç ihtiyacı örnek taşıt için hesaplanarak, çevrim oranlarına bağlı olarak motordan anlık yakıt tüketimine ve emisyon değerlerine bağlı olarak, seyir çevriminde 100 km'deki toplam yakıt tüketimi ve emisyonların hesaplanması amaçlanmıştır.

2.5 Seyir Çevrimi

Seyir çevrimi için, otobüsler için sıklıkla kullanılan Central Business District Cycle (CBD) kullanılmıştır. Seyir çevrimi, sık dur kalk içermesi sebebiyle, özellikle şehir içi hatlarda rahatlıkla kullanılabilir [22]. Bu sayede, otobüsün seyir dirençlerine bağlı olarak güç tüketimi ve de motordan anlık olarak yakıt tüketimi ve emisyon verileri hesaplanabilmektedir.

Seyir çevrimi parametreleri Tablo 2.4'te gösterilmiştir.

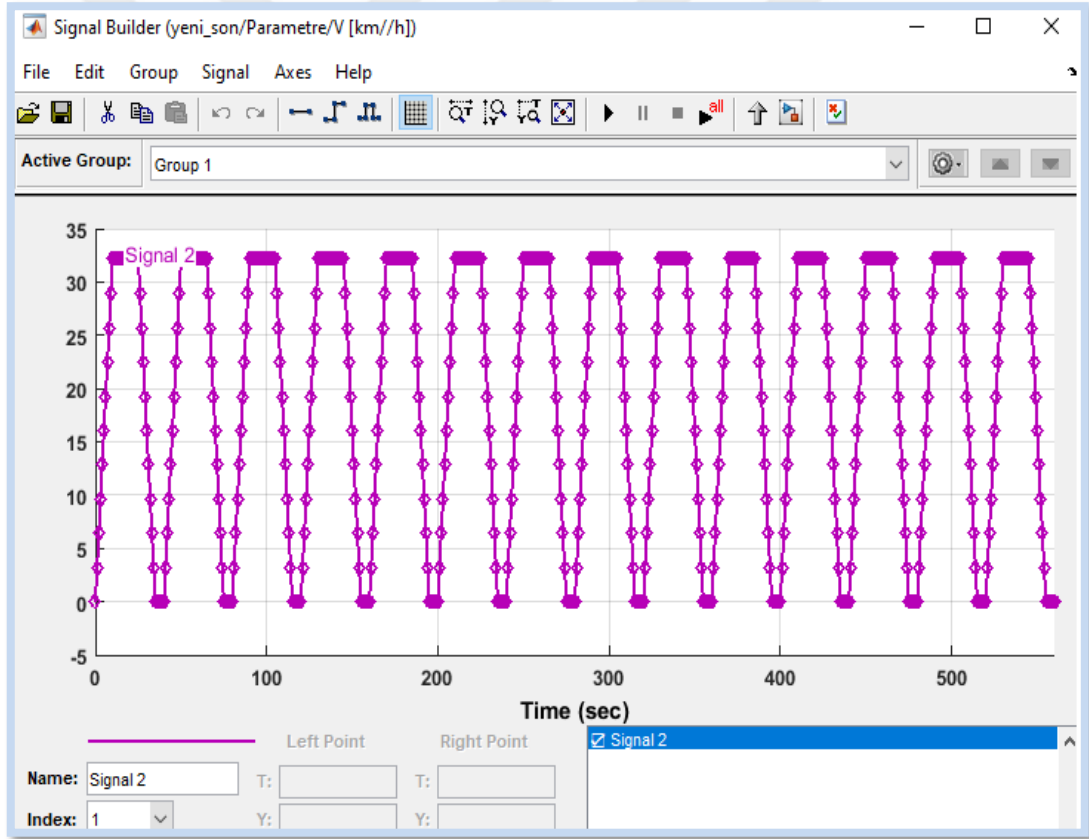
Tablo 2.6 CBD seyir çevrimi parametreleri

Süre	560 s
Ortalama Hız	20.23 km/h
Maksimum Hız	32.18 km/h
Çevrim mesafesi	3.22 km
Ortalama ivme	0.89 m/s ²
Maksimum ivme	1.79 m/s ²

Seyir çevrimi belirlenme aşaması sırasında, özellikle şehir içi ulaşımında kullanılacak taşıtların çalışma karakteristiğine uygun kısa sürede ivmelenme ve hız değişiklikleri barındırması, ayrıca sık dur/kalk yapması gibi hususlar dikkate alınmış ve “Cental Business District Cycle” çevrimi örnek taşıt modele uygulanmıştır.

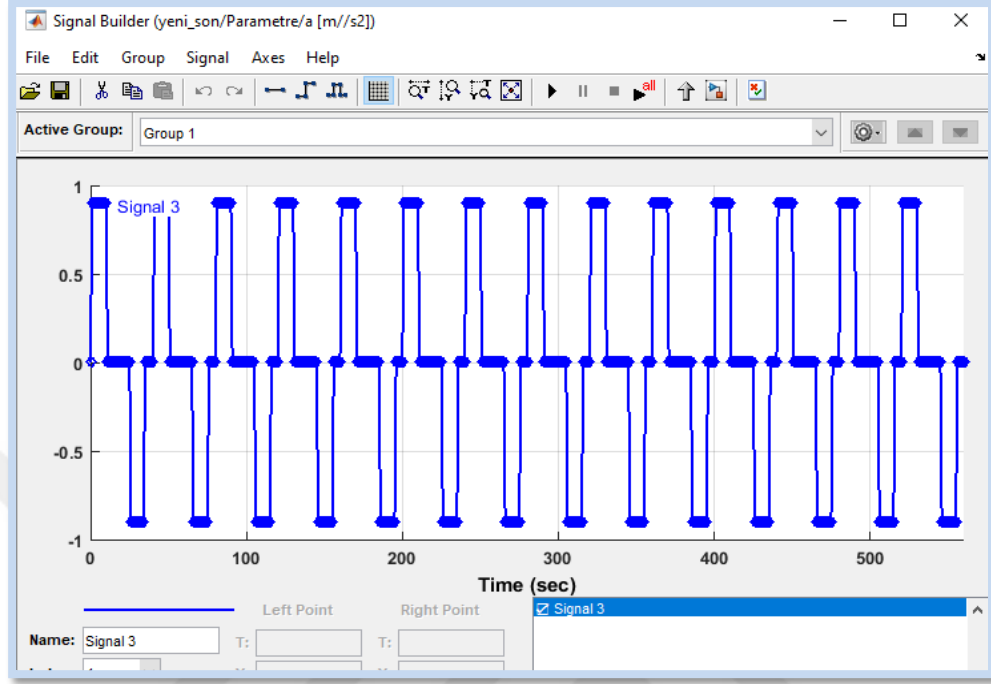
CBD seyir çevriminin gerektirdiği hız sinyali veri girişi, ivme sinyali veri girişi, seyir çevrimi süresi Matlab/Simulink’te oluşturulan blok diyagramlara tanımlanmıştır.

Şekil 2.6’da örnek taşıt modeli için CBD seyir çevrimi kapsamında girdi olarak verilen hız sinyali verisi grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Örnek taşıt modeli için girilen hız sinyali verisi

Şekil 2.4’de örnek taşıt modeli için CBD seyir çevrimi kapsamında girdi olarak verilen ivme sinyali verisi grafik olarak gösterilmiştir.

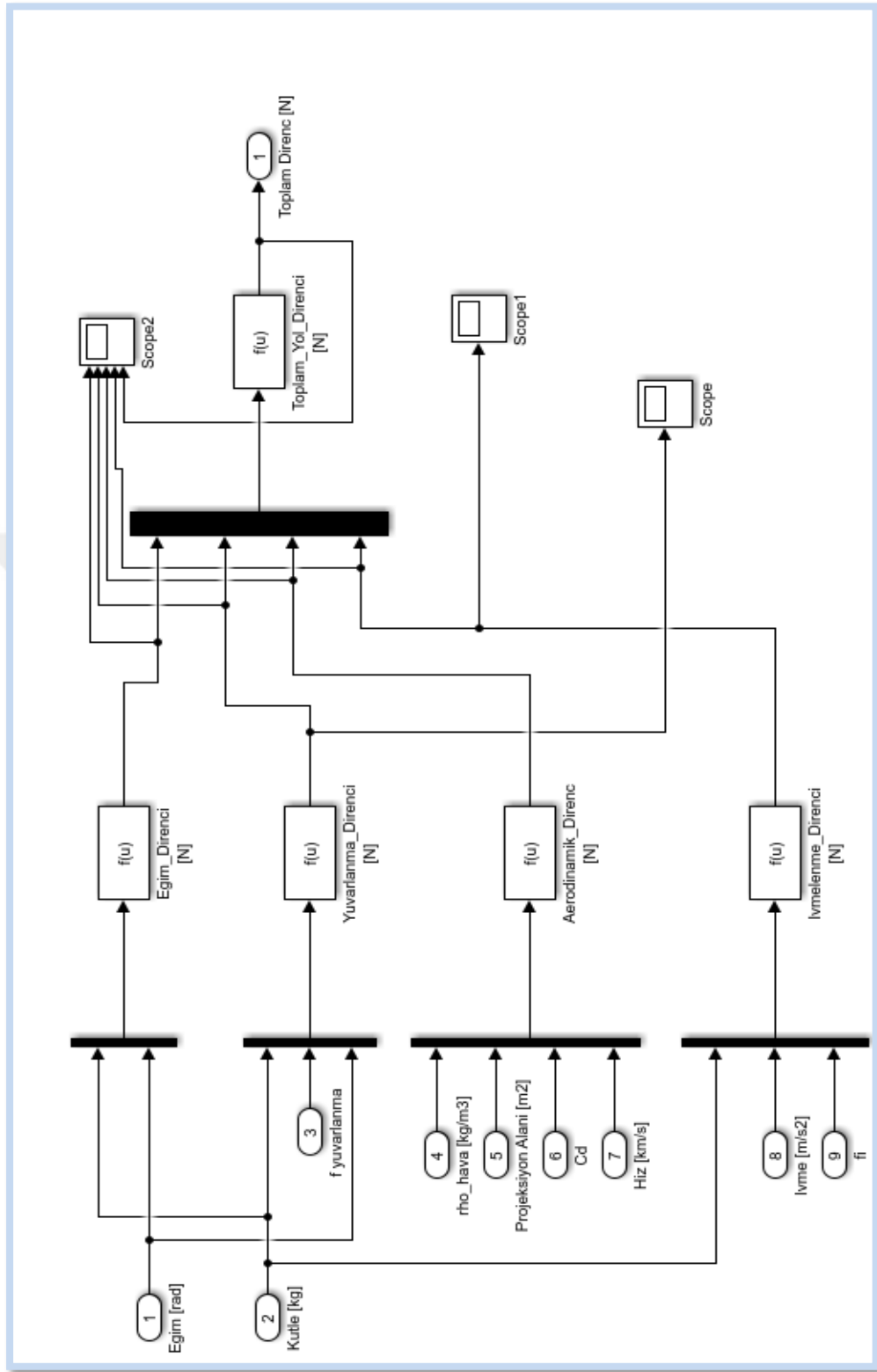


Şekil 2.4 Örnek taşıt modeli için dışarıdan girilen ivme sinyali verisi

2.6 Seyir Dirençleri ve Örnek Taşıt Alt Modeli

Seyir çevrimi CBD ile modellenen hız ve ivme sinyali girişleri ile örnek taşıt modelinde meydana gelecek eğim direnci, aerodinamik direnç, yuvarlanma direnci ve ivmelenme direnci ayrı ayrı hesaplanarak örnek taşıta etkiyen toplam direnç kuvvetleri hesaplanır.

Şekil 2.8’de toplam direnç kuvvetlerinin hesaplandığı örnek taşıt model şematiği gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Örnek taşıt modeli için toplam direnç kuvvetleri alt modeli

2.6.1 Aerodinamik direnç

Örnek taşıta etkiyen seyir esnasında oluşacak rüzgar etkisiyle meydana gelen Aerodinamik direnci aşağıdaki denkleme göre analitik olarak hesaplanıp örnek taşıt modeline uyarlanmıştır. Aerodinamik direncin sadece seyir doğrultusunda oluştuğu varsayımı yapılmaktadır. Buna göre aerodinamik direnci;

$$F_a = \frac{1}{2} A \rho C_d V_{ref}^2 \quad (2.1)$$

formülü ile hesaplanmaktadır.

2.6.2 Eğim direnci

Örnek taşıt modelin ağırlığı ve tekerlek parametrelerinin eğim ile birlikte birlikte değiştiği göz önünde bulundurularak hesaplanmaktadır. Burada;

$$F_{eğim} = W \sin(\theta) \quad (2.2)$$

formülü yardımı ile hesaplanarak örnek taşıt modeline uyarlanmıştır.

- F_i : *Yokuş direnci* [N]
- W : *Örnek taşıt ağırlığı* [N]
- θ : *Eğim açısı*

2.6.3 Yuvarlanma direnci

Tekerleğin yapısı nedeniyle, tekerlek temas merkezinin önünden yuvarlanmaya karşı tekerlek yuvarlanma dirençleri oluşmaktadır. Bu direnç kuvvetlerini hesaplamak için literatürdeki yöntem ve çalışmalar incelenmiştir. Yuvarlanma direnci, kurulan SAE J2452 standardında belirtilen yöntem ve katsayılar yardımı ile hesaplandığı görülmektedir [23][24].

Deneyssel yöntemler ile elde edilmiş katsayı sabitleri Matlab/Simulink model içerisinde Yuvarlanma Direnci hesabı blok diyagramında çarpan olarak uyarlanmıştır.

$$F_r = P^\alpha W^\beta (a + bV + cV^2) \quad (2.3)$$

2.6.4 İvmelenme direnci

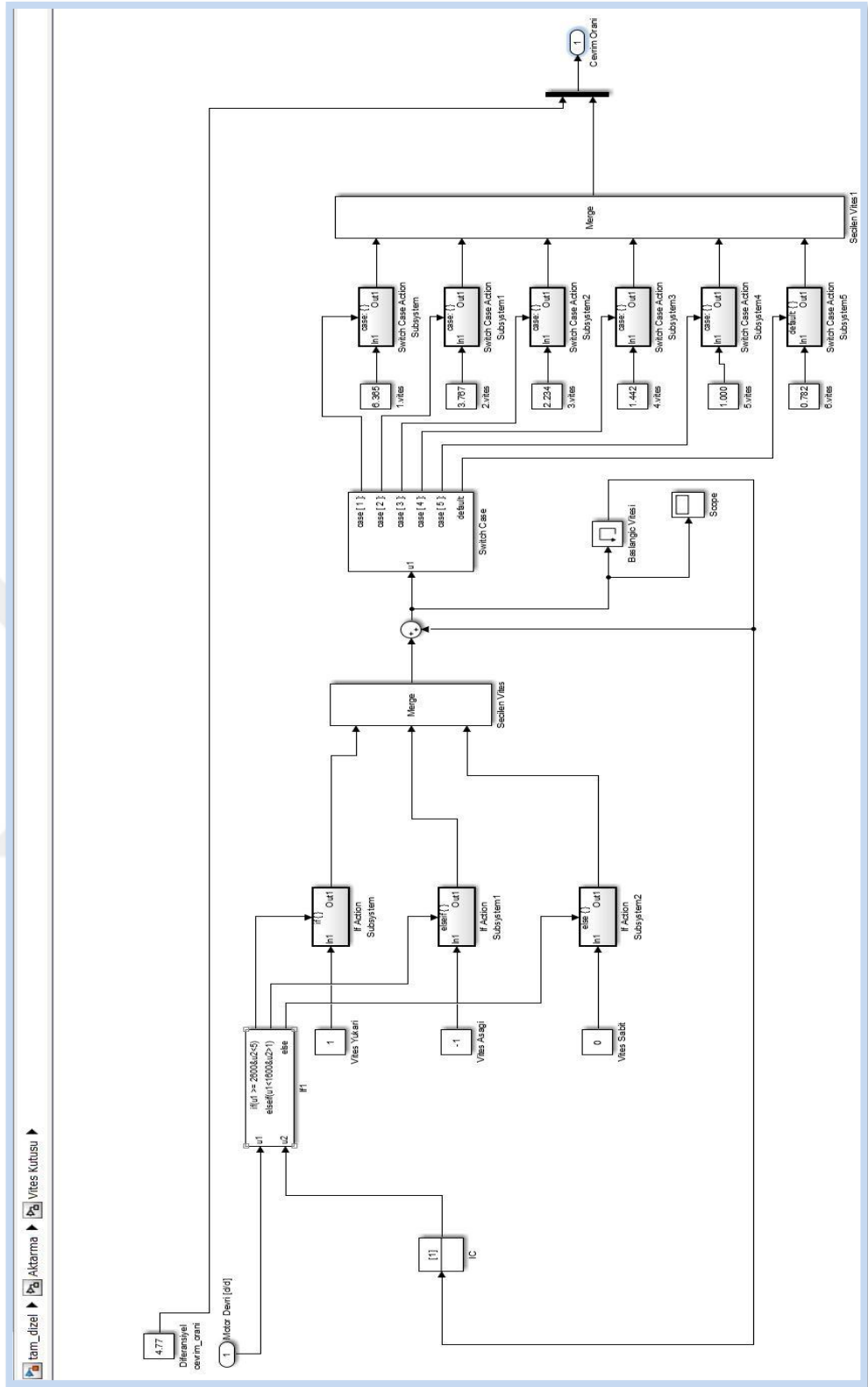
Taşıtların ivmeli hareketlerinden ötürü direnç kuvvetleri meydana gelir. Oluşturulan modelde ibmelenme direci tek boyutta varsayılp kütleli ataletleri göz ardı edilerek modellenmiştir. Buna göre

$$F_a = \Sigma m.a \quad (2.4)$$

Formüle edilip blok diyagramda modellenir. Seçilen seyir çevrimindeki ivme profiline göre ivmelenme direnç kuvveti anlık olarak hesaplanabilecektir.

2.7 Örnek Taşıt İçin Çevrim Oranları

Örnek taşıt modelinde, vites kutusu ve diferansiyel sistemleri işlevi göz önünde bulundurularak, belirlenen CBD çevrimi için tekerleklerde ihtiyaç duyulan hız ve momentleri içten yanmalı motora aktarmak için tespit edilen çevrim (diferansiyel) oranları ile ifade edilerek şekil 2.9'da görüleceği üzere blok diyagramlarla Matlab/Simulink alt model oluşturulmuştur.



Şekil 2.6 Örnek taşıt modeli için vites oranları ve toplam çevrim oranları modeli

2.8 Motorin Yakıt için Oluşturulan Motor Performans Haritaları

Tek silindili bir motordan elde edilmiş deneysel sonuçlar yardımıyla, yalnız motorin yakıtlı olarak 1100 d/d, 1300 d/d, 1500 d/d, 1700 d/d, 1900 d/d, 2100 d/d, 2300 d/d, 2500 d/d ve 2700 d/d motor hızı olmak üzere, 9 farklı motor hızında örnek seçilerek, motorin yakıtlı dizel motorun tam performans haritaları bilgisayar ortamında eğri uydurma metoduyla oluşturulmuştur.

Yalnız motorin yakıtlı motor haritası çıktıları, tek silindirli test motorunun bilgisayar ortamında silindir sayısının 5'e çıkarılmasıyla elde edilmiştir.

Yalnız motorin yakıtlı motor haritası çıktıları, tek silindirli test motorunun bilgisayar ortamında silindir sayısının 5'e çıkarılmasıyla Matlab #cftool komutu ile eğri uydurma metodu kullanılarak 3 boyutlu polinomik eğriler oluşturularak motor-performans matrisleri elde edilmiştir. "f(devir,tork)=Yakıt Tüketimi" polinomik fonksiyonlar şeklinde 3 boyutlu grafikler ve katsayılar elde edilmiştir.

F(devir, tork)=BSFC şeklinde

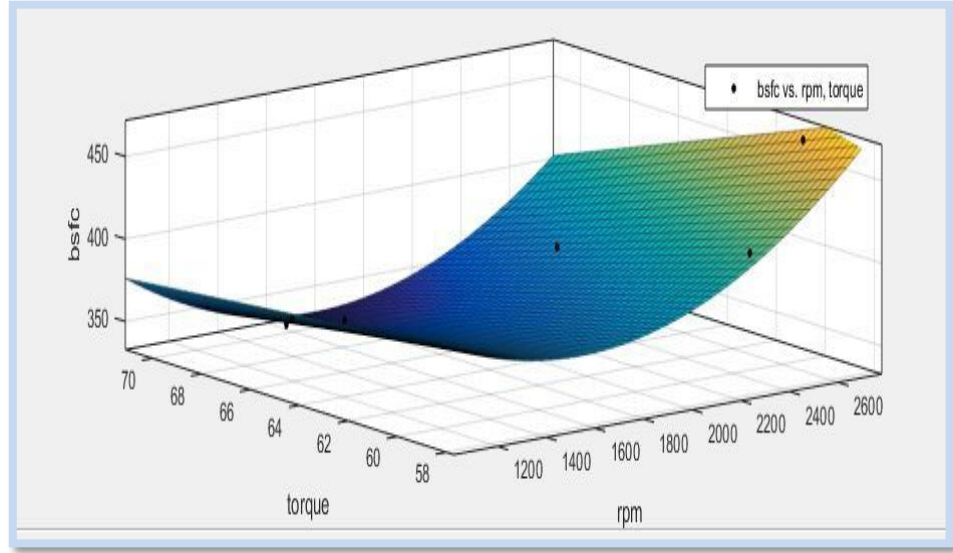
$$f(x, y) = K1 + K2*(x) + K3*(y) + K4*(x)^2 + K5*(x)*(y)$$

polinomik eğriler elde edilmiştir. Eğri uydurma metoduyla elde edilen katsayılar Tablo 2.7'de gösterilmiştir.

Tablo 2.7 Yalnız motorin için eğri uydurma metoduyla elde edilen katsayılar-BSFC

K1	K2	K3	K4	K5
497,6	-0,07466	0,8909	$7,26*10^{(-5)}$	-0,002561

Yalnız motorin yakıtı için BSFC grafiği ve katsayıları için elde edilmiş 3 boyutlu harita Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Tork ve devire bağlı BSFC haritası

Yalnız motorin yakıtı için CO emisyon grafiği ve katsayıları için elde edilmiş 3 boyutlu harita Şekil 2.11’da gösterilmiştir.

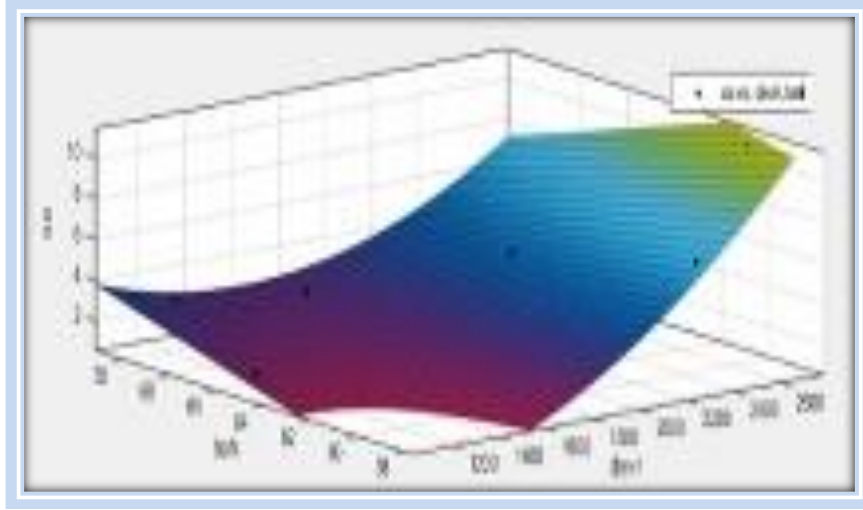
$F(\text{devir}, \text{tork}) = \text{CO emisyonları}$ şeklinde

$$f(x, y) = K_1 + K_2 \cdot (x) + K_3 \cdot (y) + K_4 \cdot (x)^2 + K_5 \cdot (x) \cdot (y)$$

polinomik eğriler elde edilmiştir. Eğri uydurma metoduyla elde edilen katsayılar Tablo 2.8’de gösterilmiştir.

Tablo 2.8 Yalnız motorin için eğri uydurma metoduyla elde edilen katsayılar-CO emisyonu

K1	K2	K3	K4	K5
-48,6	0,0213	0,8549	$3,66 \cdot 10^{-6}$	-0,0004682



Şekil 2.8 Yalnız motorin yakıtı için CO emisyon grafiği

Yalnız motorin yakıtı için tork ve devire bağlı olarak HC emisyon grafiği ve katsayıları için elde edilmiş 3 boyutlu harita Şekil 2.10'da gösterilmiştir.

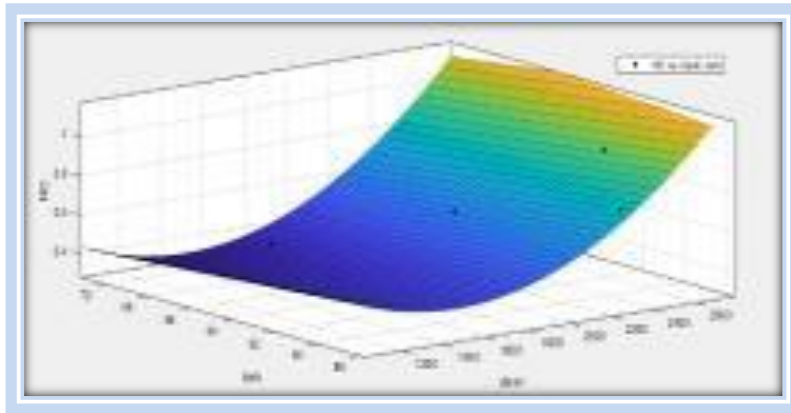
$F(\text{devir, tork}) = \text{HC emisyonları}$ şeklinde

$$f(x, y) = K1 + K2*(x) + K3*(y) + K4*(x)^2 + K5*(x)*(y)$$

polinomik eğriler elde edilmiştir. Eğri uydurma metoduyla elde edilen katsayılar Tablo 2.9'da gösterilmiştir.

Tablo 2.9 Yalnız motorin için eğri uydurma metoduyla elde edilen katsayılar- HC emisyonu

K1	K2	K3	K4	K5
1,712	-0,001181	-003847	$4,895*10^{(-7)}$	$-4,265*10^{(-6)}$



Şekil 2.9 Yalnız motorin yakıtı için HC emisyon grafiği

F(devir, tork)=NOx emisyonları şeklinde

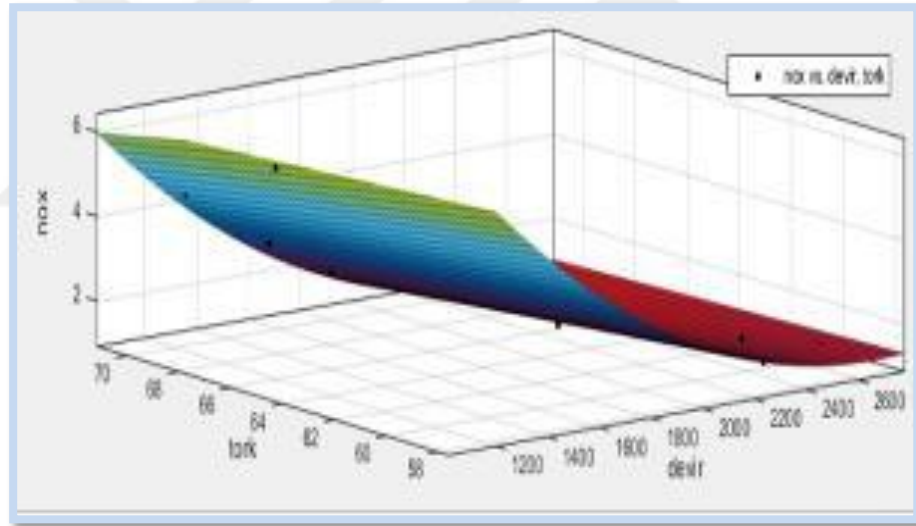
$$f(x, y)=K1+K2*(x)+K3*(y)+K4*(x)^2+K5*(x)*(y)$$

polinomik eğriler elde edilmiştir. Eğri uydurma metoduyla elde edilen katsayılar Tablo 2.10'da gösterilmiştir.

Tablo 2.10 Yalnız motorin için eğri uydurma metoduyla elde edilen katsayılar- NOx emisyonu

K1	K2	K3	K4	K5
30,24	-0,01664	-0,2044	$2,429*10^{(-6)}$	$6,483*10^{(-5)}$

Yalnız motorin yakıtı için tork ve devire bağlı olarak NOx emisyon grafiği için elde edilmiş 3 boyutlu harita Şekil 2.13'te gösterilmiştir.



Şekil 2.10 Yalnız motorin yakıtı için NOx emisyon grafiği

F(devir, tork)=İs (Smoke) emisyonları şeklinde

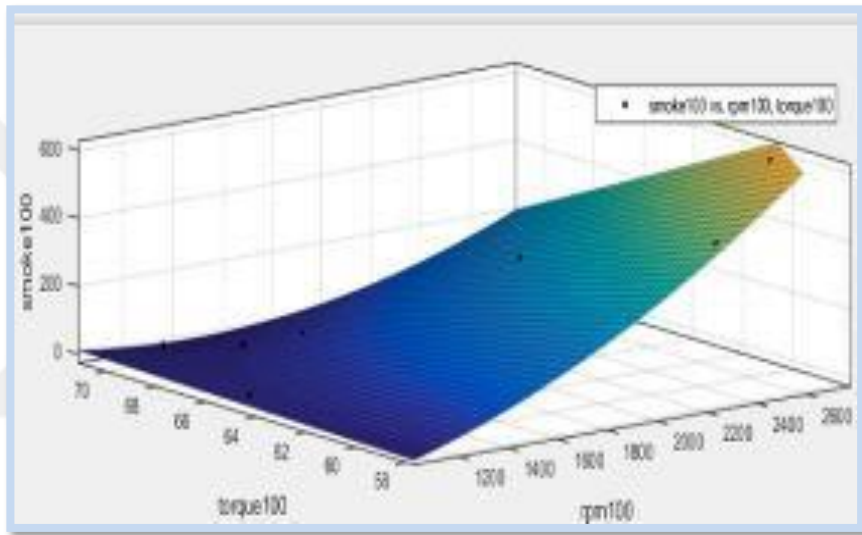
$$f(x, y)=K1+K2*(x)+K3*(y)+K4*(x)^2+K5*(x)*(y)$$

polinomik eğriler elde edilmiştir. Eğri uydurma metoduyla elde edilen katsayılar Tablo 2.11'de gösterilmiştir.

Tablo 2.11 Yalnız motorin için eğri uydurma metoduyla elde edilen katsayılar-İs (Smoke) emisyonu

K1	K2	K3	K4	K5
-0,2861	$7,261 \cdot 10^{(-5)}$	-0,000144	$-2,32 \cdot 10^{(-9)}$	$-7,854 \cdot 10^{(-7)}$

Yalnız motorin yakıtı için tork ve devire bağlı olarak İs (smoke) emisyon grafiği için elde edilmiş 3 boyutlu harita Şekil 2.14'te gösterilmiştir.



Şekil 2.11 Yalnız motorin yakıtı için İs (Smoke) grafiği

Eğri uydurma metoduyla elde edilen katsayılar ile motor hızına ve güce bağlı olarak tam motor haritaları karakteristiğini içeren yakıt tüketimi ve CO, HC, NOx ve İs (Smoke) matrisleri elde edilmiştir. Geliştirilen taşıt modelinde İYM'un yoldan gelen direnç kuvvetlerine ve seyir karşı dinamik davranışını belirlemek ve simülasyon sonuçlarını alabilmek için elde edilen matrisler girdi olarak teorik modele uyarlanma yoluna gidilmiştir.

Tablo 2.12'de yalnız motorin yakıtı için motor-performas haritası oluşturma maksadıyla elde edilen yakıt tüketimi (BSFC) matrisleri motor gücü ve motor hızına bağlı olarak verilmiştir.

Tablo 2.12 Yalnız motorin yakıtı için motor gücü ve motor hızına bağlı olarak yakıt tüketimi verilerinin matrisi

Motor Hızı (dev/dak)	bsfc (g/kWh)																									
	Güç (kW)																									
	1	3	5	10	15	20	25	30	35	37	43	48	52	54	58	61	63	65	67	71	71	71	75	80	82	85
1100	545	537	530	522	514	506	498	491	483	379	374	369	369	371	371	372	375	378	380	380	385	391	388	386	388	388
1200	548	539	530	521	512	503	494	485	476	371	366	360	361	363	362	364	367	370	373	373	379	385	382	380	382	382
1300	552	542	532	522	511	501	491	481	470	365	359	353	353	356	355	357	360	364	367	367	374	381	377	375	377	377
1400	558	546	535	523	512	501	489	478	466	361	353	347	347	350	349	351	355	359	363	363	370	378	374	371	374	374
1500	564	552	539	527	514	501	489	476	464	358	349	342	343	346	344	347	351	356	360	360	368	377	372	369	372	372
1600	572	559	545	531	517	504	490	476	463	356	347	339	339	343	341	344	349	354	358	358	367	377	372	368	372	371
1700	582	567	552	537	522	507	492	478	463	355	346	337	338	341	340	342	348	353	358	358	367	378	373	369	373	372
1800	593	577	561	545	529	512	496	480	464	356	346	337	337	341	339	342	348	354	359	359	369	381	375	371	375	374
1900	605	588	571	553	536	519	502	484	467	359	348	337	338	342	341	344	350	356	362	362	373	385	379	374	379	378
2000	619	601	582	564	545	527	508	490	471	362	351	340	341	345	343	346	353	359	366	366	377	391	384	379	384	383
2100	635	615	595	576	556	536	516	497	477	367	355	343	344	349	347	351	358	364	371	371	383	398	390	385	391	390
2200	651	630	609	589	568	547	526	505	484	374	361	349	349	354	352	356	364	371	378	378	391	406	398	393	398	398
2300	669	647	625	603	581	559	537	515	493	382	368	355	356	361	359	363	371	378	386	386	400	416	407	402	408	407
2400	688	665	642	619	595	572	549	526	503	391	376	363	364	369	367	371	380	388	396	396	410	427	418	412	418	417
2500	709	685	660	636	611	587	563	538	514	402	386	372	373	379	377	381	390	398	407	407	422	439	430	424	431	430
2600	731	705	680	654	629	603	578	552	527	414	398	383	384	390	388	392	402	410	419	419	435	453	444	437	444	443
2700	754	728	701	674	648	621	594	568	541	428	411	395	396	402	400	405	415	423	433	433	449	469	459	452	459	458

Tablo 2.13’de yalnız motorin yakıtı için motor-performans haritası oluşturma maksadıyla elde edilen CO emisyon matrisleri motor gücü ve motor hızına bağlı olarak verilmiştir.

Tablo 2.13 Yalnız motorin yakıtı için motor gücü ve motor hızına bağlı olarak CO emisyon verilerinin matrisi

		CO (g/kWh)																														
		Güç (kW)																														
		1	3	5	10	15	20	25	30	35	37	43	48	52	54	58	61	63	65	67	71	71	71	71	75	80	82	85				
Motor Hızı (dev/dak)	1100	1564	1358	1062	620	336	165	73	30	18	16	22	28	27	25	26	24	21	18	15	15	9	2	6	8	6	6	6				
	1200	1095	1216	1437	1938	2507	3131	3798	4495	25	17	22	3	26	25	25	24	21	18	15	15	10	4	7	10	7	8					
	1300	931	833	686	452	283	169	96	56	39	18	22	3	26	24	25	24	21	19	16	16	12	7	10	11	9	10					
	1400	930	833	688	455	287	171	95	49	26	19	22	2	26	24	25	24	22	20	18	18	14	10	12	14	12	12					
	1500	942	845	700	466	296	178	100	53	28	20	23	2	26	25	25	24	23	21	19	19	17	13	15	16	15	15					
	1600	968	870	723	485	311	189	108	58	31	22	25	2	27	26	26	25	24	23	22	22	20	17	18	19	18	18					
	1700	1008	907	755	510	330	202	117	64	34	25	26	2	28	27	27	27	26	25	24	24	23	21	22	23	22	22					
	1800	1062	956	799	542	353	219	128	71	39	28	29	2	29	29	29	29	28	28	27	27	27	26	26	27	26	26					
	1900	1129	1018	853	582	381	238	141	79	43	31	31	3	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31					
	2000	1210	1093	917	629	414	261	155	88	48	35	34	3	33	34	34	34	34	35	35	35	36	36	36	36	36	36					
2100	1305	1180	991	682	452	286	171	97	54	39	37	3	36	37	37	37	37	38	38	39	39	41	42	41	41	41						
2200	1414	1279	1076	743	494	314	189	108	60	43	41	4	39	40	40	41	42	43	44	44	46	48	47	46	47	47						
2300	1536	1391	1172	812	541	345	209	120	67	48	45	4	43	44	44	45	46	48	49	49	52	55	53	52	54	53						
2400	1672	1514	1273	867	548	299	106	47	70	54	50	5	47	48	48	49	51	53	55	55	58	62	60	59	60	60						
2500	1823	1652	1394	969	649	416	254	147	82	60	55	5	52	53	53	54	56	58	61	61	65	70	67	66	67	67						
2600	1986	1801	1521	1059	710	456	279	162	91	66	61	6	56	58	58	59	62	64	67	67	72	78	75	73	75	75						
2700	2164	1962	1658	1155	776	499	305	177	100	72	67	7	62	64	63	65	68	71	74	74	80	86	83	80	83	83						

Tablo 2.14'te yalnız motorin yakıtı için motor-performans haritası oluşturma amacıyla elde edilen HC emisyon matrisleri motor gücü ve motor hızına bağlı olarak verilmiştir.

Tablo 2.14 Yalnız motorin yakıtı için motor gücü ve motor hızına bağlı olarak HC emisyon verilerinin matrisi

	HC (g/kWh)																										
	Güç (kW)																										
	1	3	5	10	15	20	25	30	35	37	43	48	52	54	58	61	63	65	67	71	71	71	71	75	80	82	85
Motor Hızı (dev/dak)	1100	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5
	1200	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	0,8	0,7	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5
	1300	0,9	0,9	1,0	0,9	0,8	0,7	0,5	0,3	0,1	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5
	1400	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5
	1500	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	0,8	0,7	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5
	1600	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5
	1700	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,7	0,6	0,4	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	1800	1,0	1,0	1,1	1,1	1,0	0,9	0,7	0,6	0,4	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	1900	1,1	1,1	1,2	1,2	1,1	1,0	0,8	0,7	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6
	2000	1,2	1,2	1,3	1,3	1,2	1,1	0,9	0,8	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
2100	1,3	1,4	1,4	1,4	1,3	1,2	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	
2200	1,5	1,5	1,6	1,6	1,5	1,3	1,1	1,0	0,8	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	
2300	1,7	1,7	1,8	1,7	1,6	1,4	1,2	0,9	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	
2400	1,9	2,0	2,0	1,9	1,8	1,6	1,3	1,1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	
2500	2,2	2,2	2,2	2,2	2,0	1,8	1,6	1,3	1,2	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	
2600	2,4	2,5	2,5	2,4	2,2	2,0	1,7	1,4	1,2	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	
2700	2,7	2,8	2,8	2,7	2,5	2,2	1,9	1,6	1,4	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,0	1,1	1,1	

Tablo 2.15'te yalnız motorin yakıtı için motor-performans haritası oluşturma amacıyla elde edilen NO_x emisyon matrisleri motor gücü ve motor hızına bağlı olarak verilmiştir.

Tablo 2.15 Yalnız motorin yakıtı için motor gücü ve motor hızına bağlı olarak NOx emisyon verilerinin matrisi

	NOx (g/kWh)																										
	Güç (kW)																										
	1	3	5	10	15	20	25	30	35	37	43	48	52	54	58	61	63	65	67	71	71	71	75	80	82	85	
Motor Hızı (dev/dak)	1100	53	59	68	79	82	81	76	70	64	62	58	55	55	57	56	57	59	61	63	63	67	71	69	67	69	69
	1200	46	53	61	71	74	73	69	64	58	55	52	48	49	50	49	50	53	54	56	56	60	64	62	60	62	62
	1300	40	46	54	64	67	66	62	57	52	49	46	42	43	44	43	44	46	48	50	50	53	57	55	54	55	55
	1400	35	41	48	57	60	59	55	50	45	43	40	37	37	38	38	39	41	42	44	44	47	51	49	48	49	49
	1500	30	35	42	51	54	53	50	45	40	38	35	32	32	33	33	34	35	37	39	39	42	45	43	42	43	43
	1600	26	31	37	45	48	47	44	40	36	33	30	27	28	29	28	29	31	32	34	34	36	40	38	37	38	38
	1700	22	26	33	40	43	42	39	35	30	28	26	23	23	24	24	25	26	28	29	29	32	35	33	32	33	33
	1800	18	23	28	35	38	37	34	31	27	24	22	20	20	21	20	21	23	24	25	25	28	30	29	28	29	29
	1900	15	19	25	31	33	32	30	26	22	21	19	17	17	18	17	18	19	20	22	22	24	27	25	24	25	25
	2000	13	16	21	27	29	29	26	23	20	18	16	14	14	15	15	15	16	18	19	19	21	23	22	21	22	22
2100	11	14	19	24	26	25	23	21	18	16	14	12	12	13	13	13	14	15	16	16	18	20	19	18	19	19	
2200	09	12	16	21	23	22	20	18	15	14	12	10	10	11	11	11	12	13	14	14	16	18	17	16	17	17	
2300	08	11	15	19	21	20	18	16	14	12	11	09	09	10	10	10	11	12	13	13	14	16	15	14	15	15	
2400	08	10	13	17	19	18	16	14	11	11	10	09	09	09	09	09	10	11	12	12	13	14	14	13	14	14	
2500	08	10	13	16	17	17	15	13	11	11	09	08	08	09	09	09	10	10	11	11	12	14	13	12	13	13	
2600	08	10	12	15	16	16	15	13	12	11	10	09	09	09	09	09	10	10	11	11	12	13	12	12	12	12	
2700	09	10	12	15	16	15	14	13	11	11	10	09	10	10	10	10	10	11	11	11	12	13	13	12	13	13	

Tablo 2.16’da yalnız motorin yakıtı için motor-performans haritası oluşturma amacıyla elde edilen İS (Smoke) emisyon matrisleri motor gücü ve motor hızına bağlı olarak verilmiştir.

Tablo 2.16 Yalnız motorin yakıtı için motor gücü ve motor hızına bağlı olarak İS (Smoke) verilerinin matrisi

[illegible]

Geliştirilen modelde, aracın seyir dirençlerine bağlı olarak (yuvarlanma direnci, ivmelenme direnci, aerodinamik direnç ve eğim direnci) anlık güç ihtiyacı örnek taşıt için hesaplanarak, çevrim oranlarına bağlı olarak motordan anlık yakıt tüketimine ve emisyon değerlerine ilişkin, “Central Business Cycle” seyir çevriminde

100 km'deki toplam yakıt tüketimi ve emisyonlar motor haritaları ve matrisleri modele uyarlanarak hesaplanması amaçlanmıştır.

2.9 Metan Yakıtı için Oluşturulan Motor Performans Haritaları

Metan yakıtı için, motor gücü ve motor hızına bağlı olarak bsfc, CO, HC, NOx ve İs (Smoke) verilerinin özgül değerleri deneysel veri sonuçları referans alınarak Matlab #cftool yardımıyla eğri uydurma metodu uygulanmış ve “f(devir,tork)=Yakıt Tüketimi” polinomik fonksiyonlar şeklinde 3 boyutlu grafikler ve katsayılar elde edilmiştir.

$F_{metan}(\text{devir, tork}) = \text{BSFC}$ için,

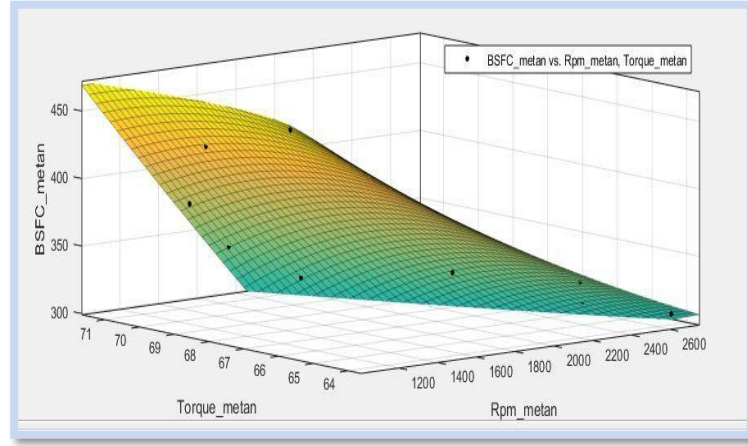
$$f(x, y) = K1 + K2*(x) + K3*(y) + K4*(x)^2 + K5*(x)*(y)$$

polinomik eğriler elde edilmiştir. Eğri uydurma metoduyla elde edilen katsayılar Tablo 2.17’de gösterilmiştir.

Tablo 2.17 Eğri uydurma metoduyla elde edilen yakıt tüketimi (BSFC) için edilen katsayılar

K1	K2	K3	K4	K5
-7480	0,7518	$1,021*10^{(-5)}$	-0,01368	-1,532

%50 motorin-%50 metan (CH₄) yakıtı için tork ve devire bağlı olarak oluşturulan BSFC grafiği ve katsayıları için elde edilmiş 3 boyutlu harita Şekil 2.16’da gösterilmiştir.



Şekil 2.12 Metan yakıtı için BSFC grafiği

$F_{metan}(\text{devir, tork}) = \text{CO emisyonu için,}$

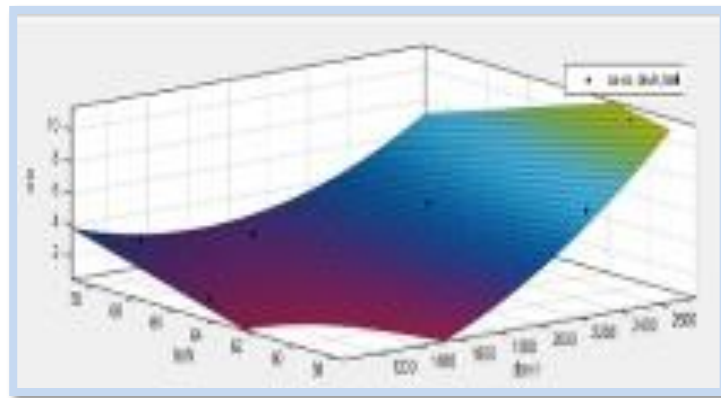
$$f(x, y) = K1 + K2*(x) + K3*(y) + K4*(x)^2 + K5*(x)*(y)$$

polinomik eğriler elde edilmiştir. Eğri uydurma metoduyla elde edilen katsayılar Tablo 2.18'de gösterilmiştir.

Tablo 2.18 Eğri uydurma metoduyla elde edilen CO emisyonu için edilen katsayılar

K1	K2	K3	K4	K5
-266,4	0,0866	4,783	$2,319 \cdot 10^{-5}$	-0,002292

%50 motorin-%50 metan (CH₄) yakıtı için tork ve devire bağlı olarak oluşturulan CO emisyon grafiği ve katsayıları için elde edilmiş 3 boyutlu harita Şekil 2.16'da gösterilmiştir.



Şekil 2.13 Metan yakıtı için CO grafiği

$F_{metan}(\text{devir, tork}) = \text{HC emisyonu için,}$

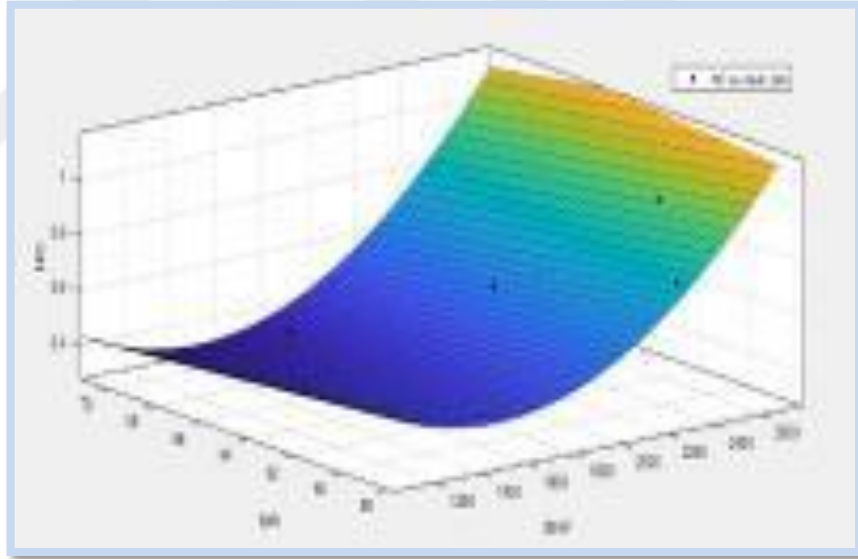
$$f(x, y) = K1 + K2*(x) + K3*(y) + K4*(x)^2 + K5*(x)*(y)$$

polinomik eğriler elde edilmiştir. Eğri uydurma metoduyla elde edilen katsayılar Tablo 2.19’da gösterilmiştir.

Tablo 2.19 Eğri uydurma metoduyla elde edilen HC emisyonu için edilen katsayılar

K1	K2	K3	K4	K5
0,3569	0,0001182	0,003771	$1,733*10^{(-7)}$	$-9,426*10^{(-6)}$

%50 motorin-%50 metan (CH₄) yakıtı için tork ve devire bağlı olarak oluşturulan HC emisyon grafiği ve katsayıları için elde edilmiş 3 boyutlu harita Şekil 2.17’de gösterilmiştir.



Şekil 2.14 Metan yakıtı için HC grafiği

$F_{metan}(\text{devir, tork}) = \text{NOx emisyonu için,}$

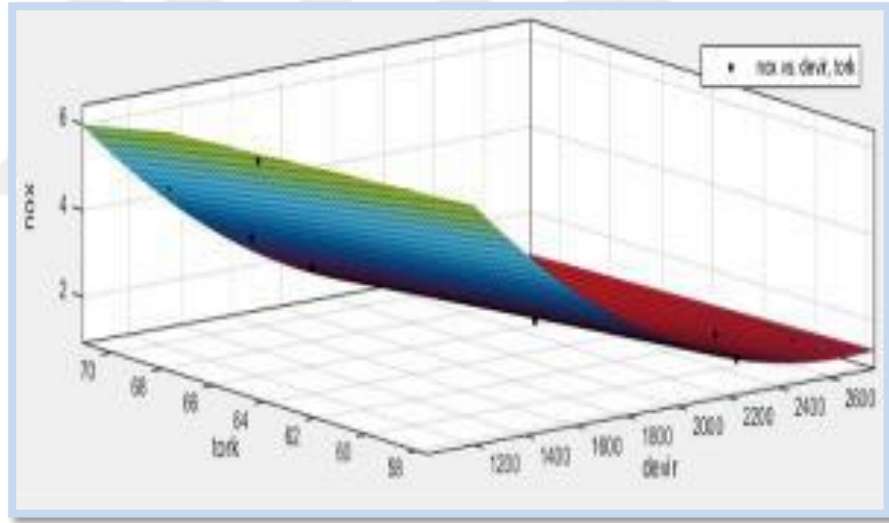
$$f(x, y) = K1 + K2*(x) + K3*(y) + K4*(x)^2 + K5*(x)*(y)$$

polinomik eğriler elde edilmiştir. Eğri uydurma metoduyla elde edilen katsayılar Tablo 2.20’de gösterilmiştir.

Tablo 2.20 Eğri uydurma metoduyla elde edilen NOx emisyonu için edilen katsayılar

K1	K2	K3	K4	K5
-0,5683	-0,006682	1,723	$7,577*10^{(-6)}$	-0,0009014

%50 motorin-%50 metan (CH4) yakıtı için tork ve devire bağlı olarak oluşturulan NOx emisyon grafiği ve katsayıları için elde edilmiş 3 boyutlu harita Şekil 2.18’de gösterilmiştir.



Şekil 2.15 Metan yakıtı için NOx grafiği

$F_{metan}(\text{devir, tork}) = \text{NOx emisyonu için,}$

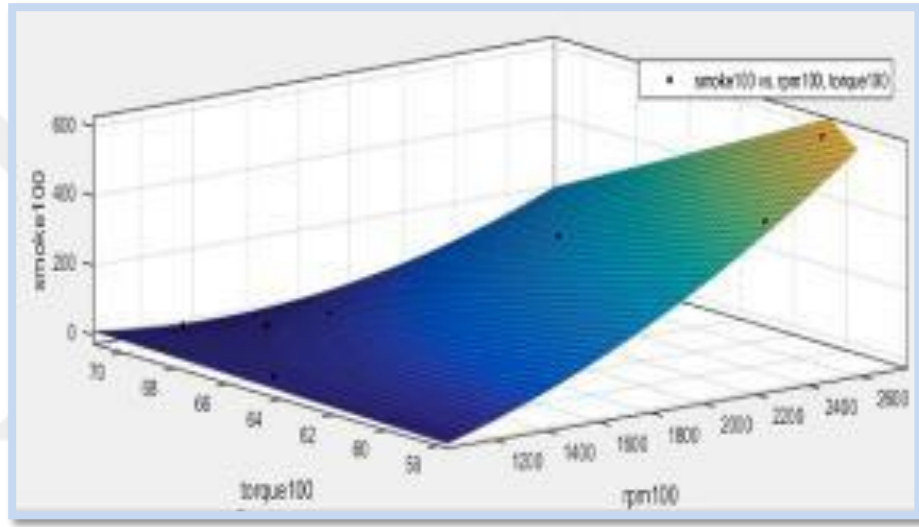
$$f(x, y) = K1 + K2*(x) + K3*(y) + K4*(x)^2 + K5*(x)*(y)$$

polinomik eğriler elde edilmiştir. Eğri uydurma metoduyla elde edilen katsayılar Tablo 2.21’de gösterilmiştir.

Tablo 2.21 Eğri uydurma metoduyla elde edilen NOx emisyonu için edilen katsayılar

K1	K2	K3	K4	K5
-0,1108	$-5,857 \cdot 10^{(-6)}$	10,003306	$4,997 \cdot 10^{(-8)}$	$-2.087 \cdot 10^{(-6)}$

%50 motorin-%50 metan (CH₄) yakıtı için tork ve devire bağlı olarak oluşturulan İs emisyon grafiği ve katsayıları için elde edilmiş 3 boyutlu harita Şekil 2.19’da gösterilmiştir.



Şekil 2.16 Metan yakıtı için İs (Smoke) grafiği

Eğri uydurma metoduyla metan için elde edilen katsayılar ile motor hızına ve güce bağlı olarak tam motor haritaları karakteristiğini içeren yakıt tüketimi ve CO, HC, NO_x ve İs (Smoke) matrisleri elde edilmiştir. Geliştirilen taşıt modelinde İYM’un yoldan gelen direnç kuvvetlerine ve seyir karşı dinamik davranışını belirlemek ve simülasyon sonuçlarını alabilmek için elde edilen matrisler girdi olarak teorik modele uyarlanma yoluna gidilmiştir.

Tablo 2.22’de %50 motorin-%50 metan yakıtı için motor-performas haritası oluşturma maksadıyla elde edilen yakı tüketimi (BSFC) matrisleri motor gücü ve motor hızına bağlı olarak verilmiştir.

Tablo 2.22 Metan yakıtı için, motor gücü ve motor hızına bağlı olarak Bsfc verilerinin özgül değerleri

		bsfc (g/kWh)																										
		Güç (kW)																										
		1	3	5	10	15	20	25	30	35	38	43	48	52	56	60	63	67	70	72	74	76	78	81	86	87	90	
Motor Hızı (dev/dak)	1100	4841	4306	3518	2289	1446	909	605	468	443	466	521	591	619	664	680	664	645	618	550	490	467	430	426	451	423	420	
	1200	3002	2685	2217	1487	987	669	488	407	392	405	438	479	496	523	532	523	512	496	455	420	406	384	382	397	380	378	
	1300	1979	1782	1493	1041	732	535	423	373	364	372	392	417	428	445	450	445	438	428	402	381	372	358	357	366	356	355	
	1400	1383	1257	1071	782	583	457	385	353	347	352	365	381	388	399	403	399	394	388	372	358	352	344	343	349	342	341	
	1500	1022	938	816	624	493	409	362	341	337	340	349	360	364	371	374	371	368	364	353	344	340	335	334	338	333	333	
	1600	796	739	656	526	436	380	347	333	330	333	339	346	349	354	355	354	352	349	342	335	333	329	329	331	328	328	
	1700	650	610	552	462	400	361	338	328	326	328	332	337	339	343	344	343	341	339	334	330	328	325	325	327	325	325	
	1800	553	525	484	420	376	348	332	325	324	325	328	331	333	335	336	335	334	333	329	326	325	323	323	324	323	322	
	1900	488	468	438	391	360	339	328	323	322	323	325	327	328	330	331	330	329	328	326	324	323	321	321	322	321	321	
	2000	443	428	406	372	348	333	325	321	320	321	323	325	325	327	327	327	327	326	325	323	322	321	320	320	321	320	
	2100	411	400	383	358	340	329	323	320	320	320	321	323	323	324	325	324	324	324	323	322	321	320	319	319	320	319	
	2200	388	380	367	348	335	326	321	319	319	319	320	321	322	322	322	323	322	322	322	321	320	319	319	319	319	319	
2300	371	365	355	341	331	324	320	319	319	319	319	319	320	321	321	321	321	321	320	319	319	319	318	319	319	318		
2400	359	354	347	335	328	323	320	318	318	318	318	319	320	320	320	320	320	320	320	319	318	318	318	318	318	318		
2500	350	346	340	331	325	321	319	318	318	318	318	318	319	319	320	320	320	319	319	318	318	318	318	318	318	318		
2600	343	340	335	328	324	320	319	318	318	318	318	318	319	319	319	319	319	319	318	318	318	318	318	318	318	318		
2700	338	335	332	326	322	320	318	318	318	318	318	318	318	318	319	319	319	319	318	318	318	318	318	318	318	317		

Tablo 2.23'te %50 motorin-%50 metan yakıtı için motor-performans haritası oluşturma maksadıyla elde edilen CO emisyon matrisleri motor gücü ve motor hızına bağlı olarak verilmiştir.

Tablo 2.23 Metan yakıtı için, motor gücü ve motor hızına bağlı olarak CO emisyon verilerinin özgül değerleri

Motor Hızı (dev/dak)	CO (g/kWh)																									
	Güç (kW)																									
	1	2,5	5	10	15	20	25	30	35	38	43	48	52	56	60	63	67	70	72	74	76	78	81	86	87	90
1100	247,62	217,75	173,82	105,47	58,9	29,49	13,08	6,028	5,187	6,491	10,8	14,86	16,26	18,25	18,89	18,25	17,44	16,22	12,59	8,527	6,661	2,872	2,468	5,134	2,009	1,741
1200	221,29	190,74	138,53	29,487	27,39	25	10	9	6	5,34	9,214	12,86	14,12	15,91	16,49	15,91	15,18	14,08	10,82	7,17	5,493	2,088	1,725	4,121	1,313	1,072
1300	196,92	173,11	138,08	83,585	46,46	23,01	9,953	4,374	3,773	4,654	8,091	11,33	12,45	14,03	14,54	14,03	13,38	12,41	9,519	6,277	4,79	1,768	1,446	3,572	1,08	0,867
1400	172,26	151,47	120,9	73,327	40,92	20,46	9,065	4,201	3,684	4,431	7,431	10,26	11,23	12,62	13,06	12,62	12,05	11,2	8,678	5,848	4,55	1,912	1,631	3,487	1,312	1,125
1500	148,06	130,3	104,18	63,537	35,85	18,37	8,628	4,469	4,022	4,672	7,235	9,649	10,48	11,67	12,05	11,67	11,18	10,46	8,301	5,883	4,773	2,52	2,28	3,865	2,007	1,848
1600	124,34	109,63	88,024	54,576	32,06	18,18	10,91	8,451	9,249	5,377	7,503	9,505	10,2	11,18	11,5	11,18	10,78	10,17	8,387	6,381	5,461	3,592	3,392	4,707	3,166	3,034
1700	101,06	89,356	72,137	45,346	27,1	15,57	9,15	6,407	6,11	6,545	8,235	9,826	10,38	11,16	11,41	11,16	10,84	10,36	8,937	7,343	6,612	5,127	4,968	6,013	4,788	4,684
1800	78,264	69,583	56,815	36,948	23,41	14,86	10,1	8,052	7,816	8,178	9,431	10,61	11,02	11,6	11,78	11,6	11,36	11	9,951	8,769	8,227	7,126	7,008	7,783	6,875	6,797
1900	55,926	50,271	41,955	29,014	20,2	14,63	11,52	10,18	10,01	10,27	11,09	11,86	12,12	12,5	12,62	12,5	12,35	12,12	11,43	10,66	10,31	9,589	9,512	10,02	9,425	9,375
2000	34,045	31,389	27,425	21,013	16,25	12,73	10,09	8,004	6,192	12,83	13,21	13,57	13,69	13,87	13,93	13,87	13,8	13,69	13,37	13,01	12,85	12,52	12,48	12,71	12,44	12,42
2100	12,638	13,037	13,624	14,545	15,2	15,7	16,13	16,61	17,27	15,86	15,8	15,75	15,73	15,7	15,69	15,7	15,71	15,73	15,78	15,83	15,86	15,91	15,91	15,88	15,92	15,92
2200	-8,31	-4,884	0,158	8,0676	13,72	17,92	21,56	25,56	30,91	19,35	18,85	18,39	18,22	18	17,92	18	18,09	18,23	18,65	19,11	19,33	19,76	19,81	19,5	19,86	19,89
2300	-28,79	-22,34	-12,85	1,912	11,97	18,31	21,84	23,33	23,45	23,3	22,37	21,49	21,19	20,76	20,62	20,76	20,93	21,2	21,98	22,86	23,26	24,08	24,17	23,59	24,26	24,32
2400	-48,81	-39,33	-25,39	-3,703	11,07	20,4	25,58	27,78	27,98	27,71	26,34	25,06	24,61	23,98	23,78	23,98	24,24	24,63	25,78	27,07	27,66	28,86	28,99	28,14	29,13	29,22
2500	-68,37	-55,86	-37,47	-8,823	10,81	23,48	31,1	35,41	38	32,59	30,79	29,09	28,5	27,67	27,4	27,67	28,01	28,52	30,04	31,74	32,52	34,11	34,28	33,16	34,47	34,58
2600	-87,46	-71,93	-49,09	-13,54	10,69	25,02	34,61	38,37	38,93	37,93	35,69	33,58	32,85	31,82	31,48	31,82	32,24	32,88	34,76	36,88	37,85	39,82	40,03	38,64	40,26	40,4
2700	-106,1	-87,53	-60,24	-17,77	11,17	29,44	39,64	44,01	44,53	43,74	41,06	38,54	37,67	36,43	36,03	36,43	36,94	37,7	39,95	42,48	43,63	45,99	46,24	44,58	46,53	46,69

Tablo 2.24'te %50 motorin-%50 metan yakıtı için motor-performans haritası oluşturma maksadıyla elde edilen HC emisyon matrisleri motor gücü ve motor hızına bağlı olarak verilmiştir.

Tablo 2.25’de %50 motorin-%50 metan yakıtı için motor-performans haritası oluşturma maksadıyla elde edilen NOx emisyon matrisleri motor gücü ve motor hızına bağlı olarak verilmiştir.

46

Tablo 2.25 Metan yakıtı için, motor gücü ve motor hızına bağlı olarak NOx verilerinin özgül değerleri

	NOx (g/kWh)																									
	Güç (kW)																									
	1	3	5	10	15	20	25	30	35	38	43	48	52	56	60	63	67	70	72	74	76	78	81	86	87	90
1100	132	125	114	94	77	64	53	44	37	33	31	29	29	28	27	28	28	29	30	32	33	35	35	34	35	36
1200	119	113	103	85	70	57	47	39	33	30	28	26	26	25	24	25	25	26	27	29	30	31	32	30	32	32
1300	107	102	93	76	63	52	42	35	30	27	25	23	23	22	22	22	22	23	24	26	26	28	28	27	28	28
1400	96	91	82	68	56	46	38	31	26	24	22	21	20	19	19	20	20	21	23	23	25	25	24	25	25	25
1500	84	80	73	60	49	40	33	28	23	21	19	18	18	17	17	17	17	18	19	20	21	22	22	21	22	22
1600	73	69	63	52	43	35	29	24	21	18	17	16	16	15	15	15	15	16	17	18	18	19	19	19	19	20
1700	62	59	53	44	37	30	25	21	18	16	15	14	14	13	13	13	14	14	15	16	16	17	17	16	17	17
1800	51	49	44	37	31	26	21	18	16	14	13	13	12	12	12	12	12	12	13	14	14	15	15	14	15	15
1900	41	39	35	30	25	21	18	15	13	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12	13	13	12	13	13
2000	30	29	27	23	20	18	17	16	17	11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	11	11	11	11	11	11	11
2100	21	20	19	16	15	14	13	13	13	10	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	10	10
2200	11	11	10	10	10	9	9	9	9	9	9	9	9	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
2300	1	2	3	4	5	6	7	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
2400	8	7	5	2	1	3	4	6	7	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7	7
2500	17	15	12	8	4	0	3	5	6	7	8	8	8	9	9	9	9	8	8	7	7	7	7	7	7	7
2600	26	23	20	13	7	3	1	4	6	7	8	9	9	9	9	9	9	9	8	8	7	7	7	7	7	7
2700	34	31	26	18	11	5	1	3	6	8	8	9	10	10	10	10	10	10	9	8	8	7	7	7	7	7

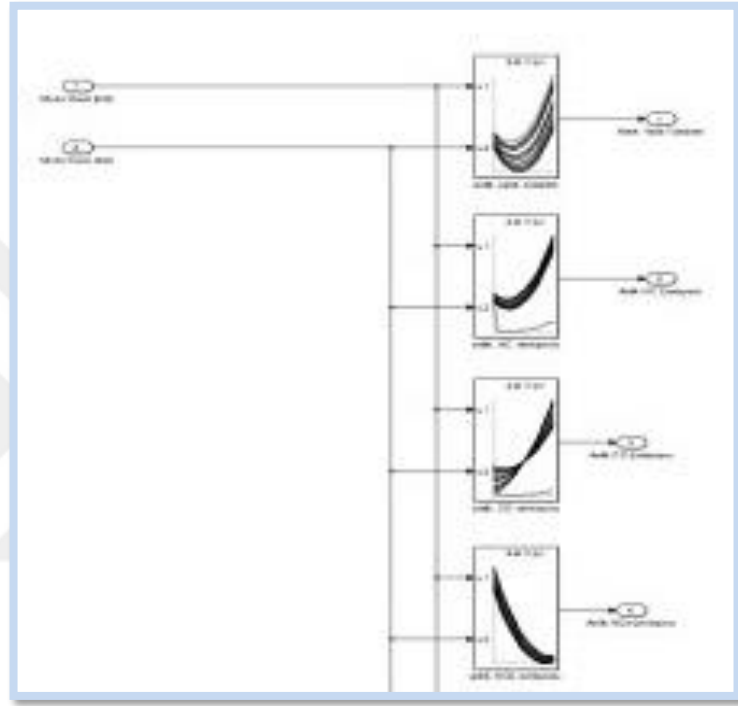
Tablo 2.26’da %50 motorin-%50 metan yakıtı için motor-performans haritası oluşturma maksadıyla elde edilen İS (smoke) emisyon matrisleri motor gücü ve motor hızına bağlı olarak verilmiştir.

Tablo 2.26 Metan yakıtı için, motor gücü ve motor hızına bağlı olarak İS (Smoke) verilerinin özgül değerleri

	İs (g/kWh)																											
	Güç (kW)																											
	1	3	5	10	15	20	25	30	35	38	43	48	52	56	60	63	67	70	72	74	76	78	81	86	87	90		
Motor Hızı (dev/dak)	1100	132	125	114	94	77	64	53	44	37	33	31	29	29	28	27	28	28	29	30	32	33	35	35	34	35	36	
	1200	119	113	103	85	70	57	47	39	33	30	28	26	26	25	24	25	25	26	27	29	30	31	32	30	32	32	
	1300	107	102	93	76	63	52	42	35	30	27	25	23	23	22	22	22	22	23	24	26	26	28	28	27	28	28	
	1400	96	91	82	68	56	46	38	31	26	24	22	21	20	19	19	19	20	20	21	23	23	25	25	24	25	25	
	1500	84	80	73	60	49	40	33	28	23	21	19	18	18	17	17	17	17	18	19	20	21	22	22	21	22	22	
	1600	73	69	63	52	43	35	29	24	21	18	17	16	16	15	15	15	15	16	17	18	18	19	19	19	20	20	
	1700	62	59	53	44	37	30	25	21	18	16	15	14	14	13	13	13	14	14	15	16	16	17	17	16	17	17	
	1800	51	49	44	37	31	26	21	18	16	14	13	13	12	12	12	12	12	12	13	14	14	15	15	14	15	15	
	1900	41	39	35	30	25	21	18	15	13	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12	13	13	12	13	13	
	2000	30	29	27	23	20	18	17	16	17	11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	11	11	11	11	11	11	11	
	2100	21	20	19	16	15	14	13	13	13	10	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	10	10	
	2200	11	11	10	10	10	9	9	9	9	9	9	9	9	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
	2300	1	2	3	4	5	6	7	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
	2400	8	7	5	2	1	3	4	6	7	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7	7	
	2500	17	15	12	8	4	0	3	5	6	7	8	8	8	9	9	9	9	8	8	7	7	7	7	7	7	7	
	2600	26	23	20	13	7	3	1	4	6	7	8	9	9	9	9	9	9	9	8	8	7	7	7	7	7	7	
	2700	34	31	26	18	11	5	1	3	6	8	8	9	10	10	10	10	10	10	9	8	8	7	7	7	7	7	

2.10 Motor-Performans Haritalarının Modele Girilmesi

Yakıt tüketimi, CO, HC, Nox ve İs (Smoke) verilerinin özgül değerleri hem metan için hem motorin yakıtı elde edilmiş matrisler olarak Matlab/Simulink'te oluşturulan teorik modele şekil 2.17'de görüleceği üzere performans grafikleri şeklinde uyarlanmıştır.



Şekil 2.17 Modele girilen haritaların blok diyagram gösterimi

3.1 Motorin-Hibrit Örnek Taşıt Modeli Oluşturulması

Motorin-Hibrit tahrikli sistemli örnek taşıt seri-hibrit modeli oluşturulurken ilk olarak, taşıt parametreleri belirlenir, ardından 2. Adımda toplam direnç kuvvetleri hesaplanır, 3. Adımda bataryanın ve içten yanmalı motorun çalışma aralığını belirleyecek convertör giriş gücü hesaplanır. Daha sonra içten yanmalı motorun ve bataryanın hangi motor hızı ve güç aralığında açılıp kapanacağı, beraber çalışacağı aralıklar kritik olan emisyon değerleri analiz edilerek tespit edilir. Yakıt tüketiminin minimum olduğu, emisyon değerlerinin haritaların en verimli olduğu bölgelerdeki güç aralığı belirlenerek ve İYM ve bataryanın çalışma aralıkları modele uyarlanarak anlık yakıt tüketimi ve emisyon değerlerinin tespiti için seyir çevriminin talep ettiği tork ve güç gereksinimlerine göre simüle edilir. Böylece anlık olarak yakıt tüketimi ve emisyon değerleri seyir çevrimi süresi içinde hesaplanabilmektedir. Şekil 3.1’de motorin-hibrit örnek taşıt modeli şematığı verilmiştir.

Hibrit elektrikli araçlarda, amaçlar dahilinde yakıt tüketimi, güç, tork optimizasyonu bakımından en iyi bölgelerde çalıştırılması ön planda olduğu için, seçilen bir seyir çevrimi için oluşturulan taşıt modelinde güç ihtiyacının hesaplanması gerekmektedir. Seçilen seyir çevriminde hız sinyali ve ivmelenme sinyal veri girişleri belirli olduğundan, hız profiline karşılık gelen taşıta etkiyen direnç kuvvetleri hesaplanılarak, tekerlekten başlayarak güç aktarma organları üzerinden gereken tork ve güç miktarı ile devirleri hesaplanılabilmektedir.

Hibrit taşıt model oluşturulurken batarya ünitesi anlık olarak eşdeğer yakıt tüketiminde belirlenen çalışma aralıklarında bataryadan çekilen veya bataryaya gönderilen şarj-deşarj miktarının ve gerekli güç için kullanılan yakıta karşılık gelen miktarı hesaplayarak modelleme gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3.1 Seri hibrit taşıt modelinin Matlab Simulink şematiği

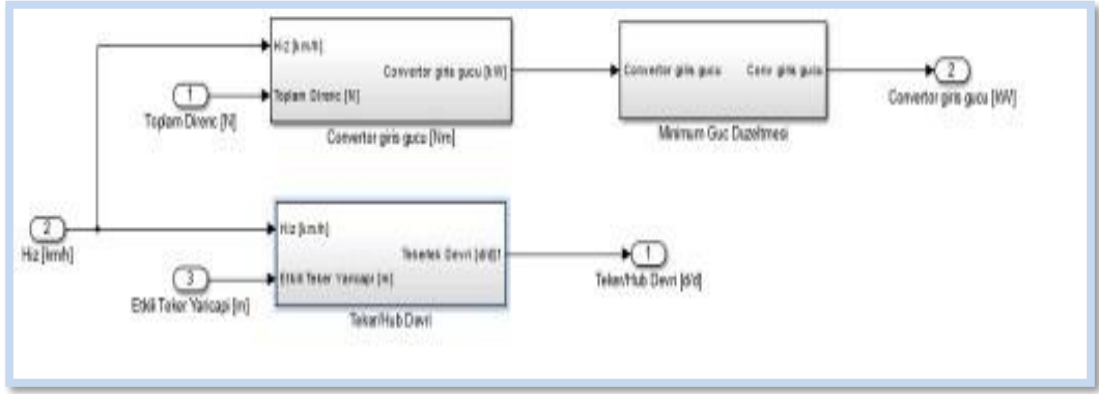
Tablo 3.1 Örnek hibrit taşıt parametreleri

Ağırlık	10400 kg-max dolu ağırlık 6100-7500 kg-boş ağırlık
Diferansiyel oranı	4,777
Vites oranları	1.vites 6.369, 2.vites 3.767, 3.vites 2.234, 4.vites 1.442, 5.vites 1.000, 6.vites 0.782, geri vites 6.369
Maksimum güç	190 BG / 2600 d/d
Maksimum tork	510 Nm / 1600-2600
Tekerlek	235/75R17,5
Projeksiyon alanı	2,320 x 3,330 = 7.7256 m ²
Cd Katsayısı	0,32

3.1.1 Konvertör giriş gücü hesaplaması

Hibrit taşıt modelinde elektrikli motor, konvertör, jeneratör gibi elemanların ve batarya şarj ve deşarj durumlarının işlevi göz önünde bulundurularak ve Örnek taşıt parametreleri için seri hibrit olarak ve aç/kapa kontrol stratejisi ile İYM çalıştırıldığı için, seyir çevriminin talep ettiği güç gereksinimi için batarya ünitesinin ve İYM'un çalışma aralıklarının belirlenmesi için konvertör giriş gücü hesabı yapılması gerekmektedir.

Konvertör giriş gücü hesaplama, Toplam Direnç Kuvveti (Yuvarlanma, İvmelenme, Eğim, Aerodinamik kuvvetler) ile seyir çevrimindeki hız sinyali girdisi anlık olarak çarpılarak konvertör giriş gücü elde edilir. Şekil 3.2'de konverter giriş gücü hesaplaması seri hibrit taşıt modelinde gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Örnek hibrit taşıt modelinde konvertör giriş gücü hesaplaması

3.1.2 Motorin-Hibrit örnek taşıt modelinde çalışma aralıklarının belirlenmesi

Eğri uydurma metoduyla oluşturulan tam motor haritaları motorin-hibrit taşıt modeli içerisine İYM ve eşdeğer batarya tüketimi ünitesine uyarlanarak girilmiştir. Geliştirilen model kapsamında elde edilecek simülasyon sonuçlarının daha optimal şartlar sağlanabilmesi İYM'un en verimli çalışacağı aralık, bataryanın çalışacağı güç aralığı belirlenmelidir.

İYM motorun çalışma aralığı minimum yakıt ilkesine göre taşıt modeline girilen motor haritası verilerinden seçilerek belirlenir. İYM motorun hangi güç aralığında devreye gireceğinin belirlenmesi için İYM yakıt tüketiminin en verimli olduğu devir ve güç aralıkları tespit edilip teorik modele uyarlanma yoluna gidilmiştir.

İYM minimum yakıt tüketimi şartına göre en verimli çalışacağı aralık 34.9 kW ile 36.2 kW olarak motor haritaları matris girişlerinden tespit edilerek İYM'un çalışma aralıkları aç/kapa modu olarak teorik modele uyarlanmıştır.

İYM ve batarya açılış ve çalışma şartları için sadece içten yanmalı motorun çalışma aralığı 36.2 kW ile 34.9 kW arasında yakıtın min olduğu aralıkta çalışacağı ve 36.2 kW değerini aştıktan sonra batarya ile İYM'nin beraber çalışacağı ve 34.9 kW değerinin altında ise yalnızca bataryaların çalışacağı şekilde aç/kapa şeklinde örnek motorin hibrit taşıt modeli oluşturulmuştur.

3.1.3 Batarya Ünitesi Modeli

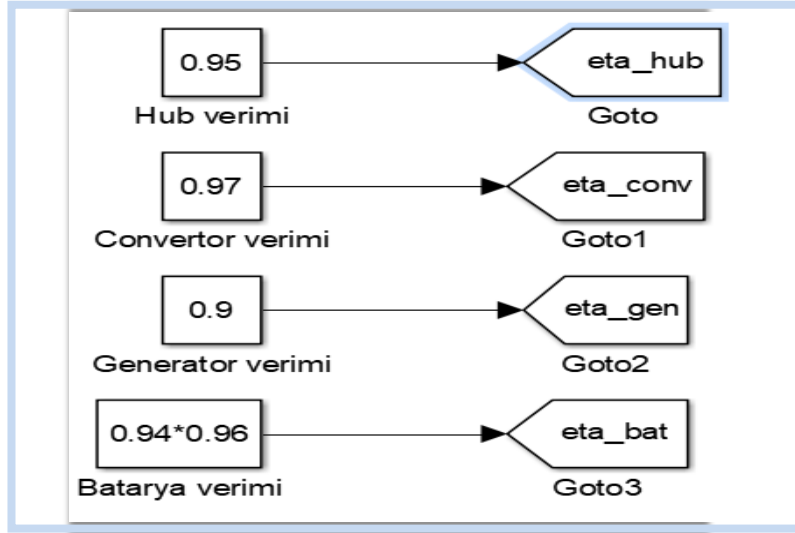
Hibrit taşıt model oluşturulurken sistemin karakteristiğini belirleyen en önemli unsurlardan biri batarya ünitesidir.

Batarya ünitesi modellenirken batarya iç gerilimleri ve eşdeğer devre denklemleri ve iç dirençleri detaylı olarak modellenmemiş, bunun yerine literatürde yer alan bataryalar incelenerek uygun olarak atanan, batarya şarj seviyesi ve iç dirençlerin bir fonksiyonu olan verim katsayıları ile batarya ünitesinin karakteristiği oluşturulmuştur. Altairnano batarya ünitesinden seri hibrit otobüslerde daha önce kullanıldığı da göz önünde bulundurularak seçilmiştir [25].

Batarya ünitesi için belirlenen batarya iç dirençlerinin ve şarj kapasitesinin birer fonksiyonu olarak kabul gören verim katsayıları, geliştirilen taşıt modelinde blok diyagramda gösterilmiştir. Hub verimi, tekerlere bağlı olan elektrik motorunun verimidir. Seçilen batarya ünitesi parametreleri Tablo 3.2 de gösterilmiştir.

Tablo 3.2 Batarya Ünitesi Parametreleri

Batarya ağırlığı	458 kg
Jeneratör ağırlığı	20 kg
Elektrik motoru ağırlığı	110 kg
Hub verimi	0,95
Batarya verimi	0,94*0,96
Konvertör verimi	0,97
Jeneratör verimi	0,9

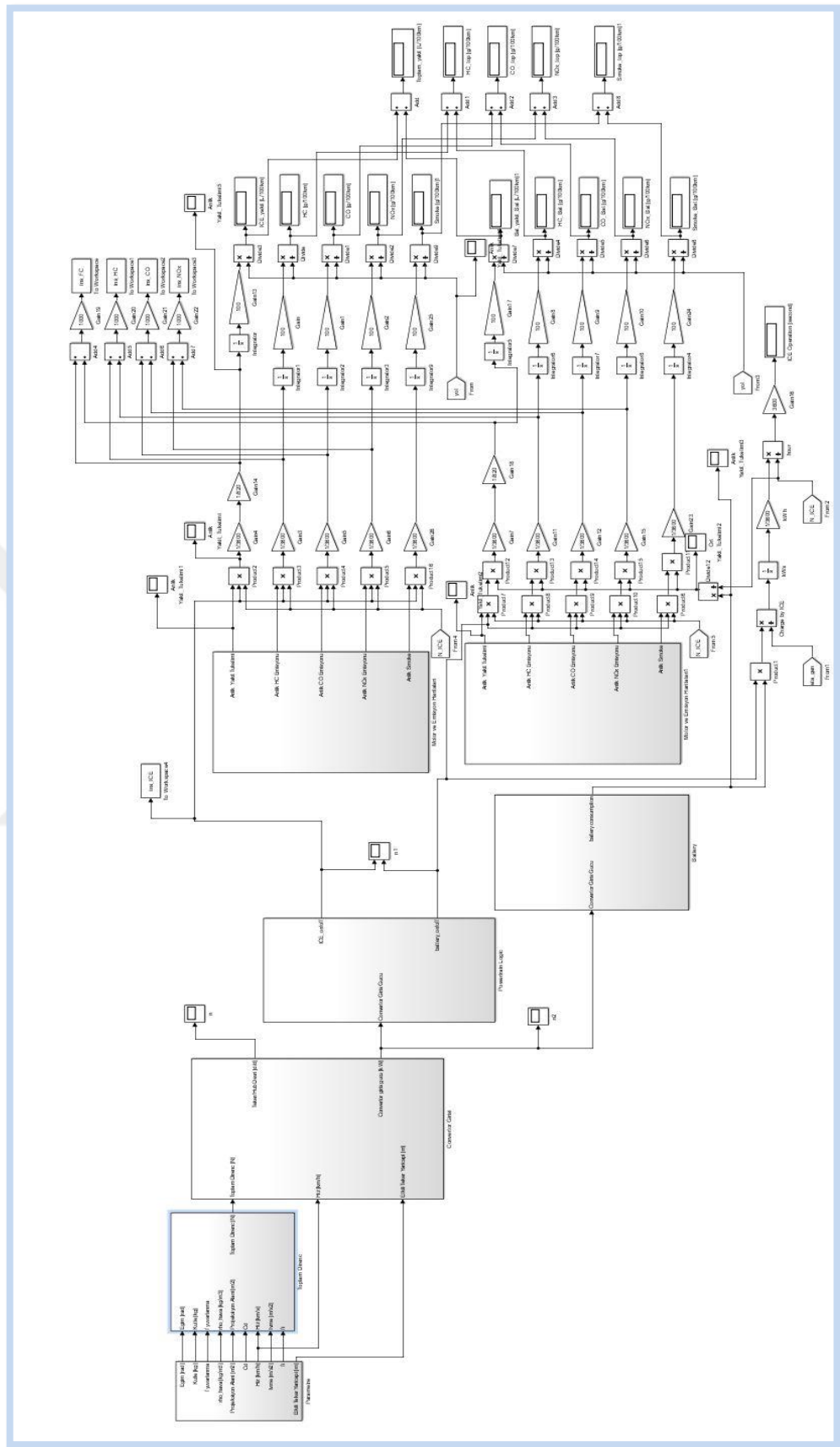


Şekil 3.3 Hibrit taşıt verim katsayıları blok diyagramı

3.2 Metan-Hibrit Taşıt Modeli

%50 motorin-%50 metan yakıtlı seri-hibrit sistemli örnek taşıt Metan-Hibrit modeli oluşturulurken motorin-hibrit örnek taşıt modeliyle benzer karakteristik yapıya sahip olmakla beraber eğri uydurma metoduyla metan yakıtı için elde edilen motor-performans haritaları ve matrisleri modele uyarlanır. Seyir çevriminin gerektirdiği güç talebini karşılayacak şekilde metan-hibrit sistemin çalışma aralıkları için konvertör giriş gücü hesabı, taşıt parametreleri ve batarya verimleri benzer şekilde modellenerek örnek taşıt modeli geliştirilmiştir.

Şekil 3.5'te Metan-hibrit örnek taşıt modelinin genel şematiki blok diyagramlarla gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Metan-hibrit taşıt modelinin Matlab Simulink şematığı

3.2.1 Metan-Hibrit örnek taşıt modeli için çalışma noktalarının belirlenmesi

Eğri uydurma metoduyla oluşturulan tam motor haritaları motorin-hibrit taşıt modeli içerisine İYM ve eşdeğer batarya tüketimi ünitesine uyarlanarak girilmiştir. Geliştirilen model kapsamında elde edilecek simülasyon sonuçlarının daha optimal şartlar sağlanabilmesi İYM'un en verimli çalışacağı aralık, bataryanın çalışacağı güç aralığı belirlenmelidir.

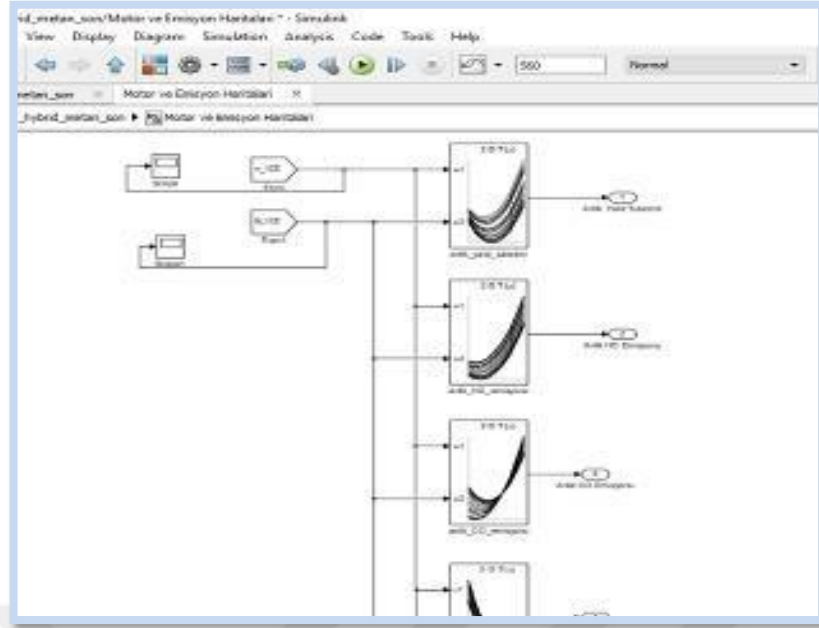
İYM motorun çalışma aralığı minimum yakıt ilkesine göre taşıt modeline girilen motor haritası verilerinden seçilerek belirlenir. İYM motorun hangi güç aralığında devreye gireceğinin belirlenmesi için İYM yakıt tüketiminin en verimli olduğu devir ve güç aralıkları tespit edilip teorik modele uyarlanma yoluna gidilmiştir.

İYM minimum yakıt tüketimi şartına göre en verimli çalışacağı aralık 19,2 kW ile 20,6 kW olarak motor haritaları matris girişlerinden tespit edilerek İYM'un çalışma aralıkları aç/kapa modu olarak teorik modele uyarlanmıştır.

%50 motorin-%50 metan seri hibrit tahrik sisteminde (metan-hibrit) motor ve batarya açılış şartları sadece motorun çalışma aralığı 20,6 kW ile 19,2 kW arasında yakıt tüketiminin min olduğu aralıkta çalışacağı ve 20,19 kW değerinden sonra batarya ile beraber içten yanmalı motorun çalışacağı ve 19.2 kW değerinin altında ise yalnızca bataryaların çalışacağı şekilde, aç/kapa modunda motorun çalıştırılması gerektiği tespit edilmiştir.

3.2.2 Metan-Hibrit Motor Haritaları

Geliştirilen modelde, metan yakıtı ile çalışma şartlarındaki motor haritaları kullanılmıştır. Teorik modele girilen metan için elde edilen matrisler girilerek metan-hibrit taşıt modeli karakteristiği metan-hibrit örnek taşıt modeline uyarlanmıştır.



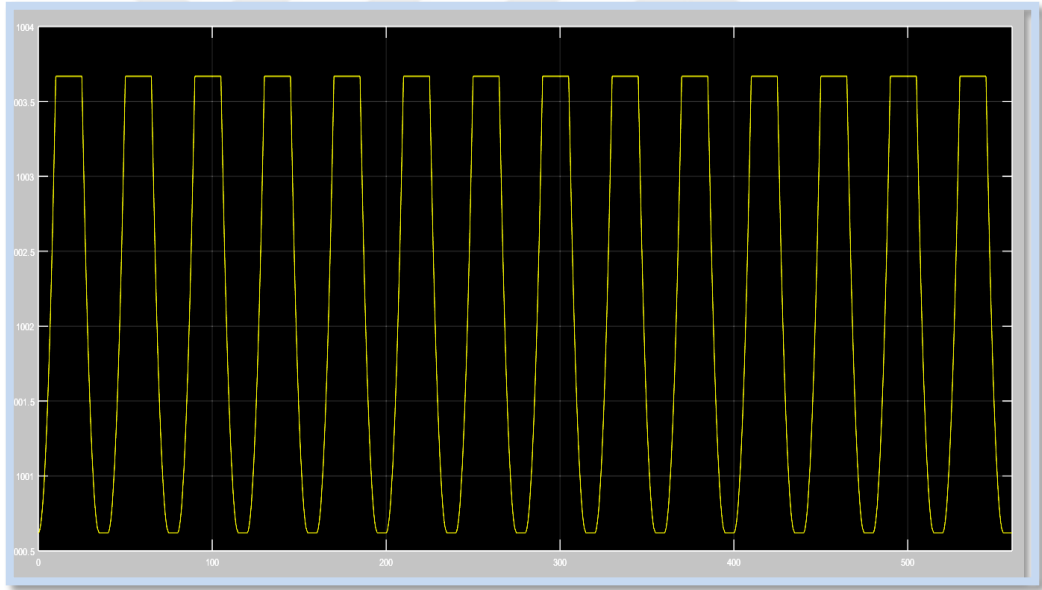
Şekil 3.5 Metan-Hibrit motor haritaları alt modeli

Metan-Hibrit taşıt modelinin genel verileri, oluşturulan motorin-hibrit örnek taşıt modeli ile benzer nitelikte olmasına rağmen, motor haritaları ve motor çalışma noktaları (tespit edilen en verimli noktaları) farklılık göstermektedir. Seyir çevrimin gerektirdiği güç ve motor hızı ile metan içerikli motor haritalarının en optimum çalıştığı noktalar tespit edilerek batarya ünitesinin İYM'nin çalışma aralıkları belirlenerek geliştirilen metan-hibrit taşıt modeli simüle edilebilir niteliğe sahip olacaktır.

4.1 Geliştirilen Örnek Taşıt Modelinde Toplam Direnç Kuvveti ve Motor Hızı Sonuçları

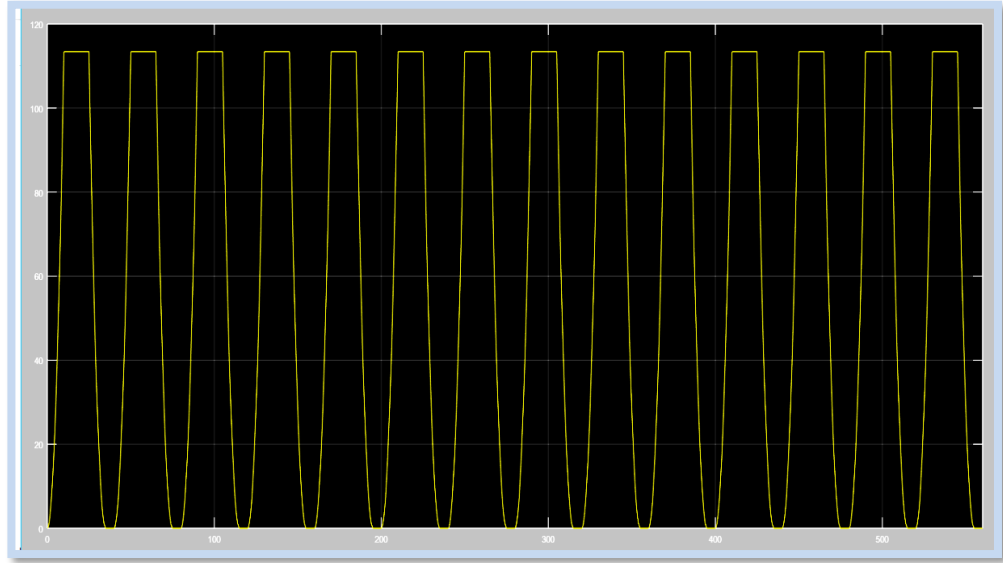
Geliştirilen örnek taşıt modellerindeki “Central Business District Cycle” seyir çevrimi için, anlık güç gereksinimi, yuvarlanma direnci, aerodinamik direnç, ivmelenme direnci, toplam direnç, ve anlık motor hızı anlık olarak simüle edilmiş ve anlık olarak elde edilen sonuçlar grafik olarak gösterilmiştir.

Geliştirilen örnek taşıt modelinde gerçekleştirilen simülasyon neticesinde; anlık olarak elde edilen Yuvarlanma Direnci grafiği Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



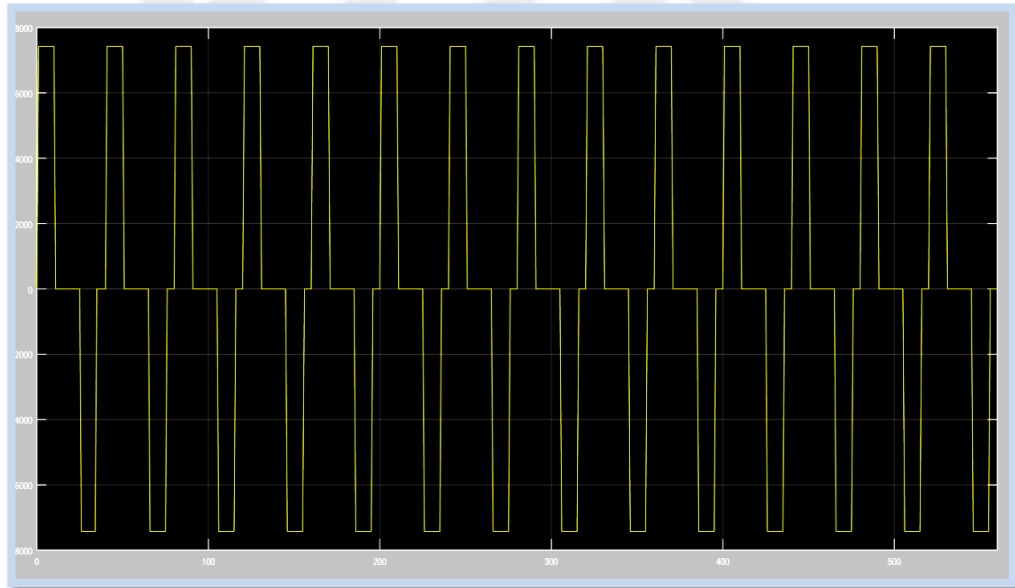
Şekil 4.1 Yuvarlanma direnci

Geliştirilen örnek taşıt modelinde gerçekleştirilen simülasyon neticesinde; anlık olarak elde edilen Aerodinamik Direnç grafiği Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



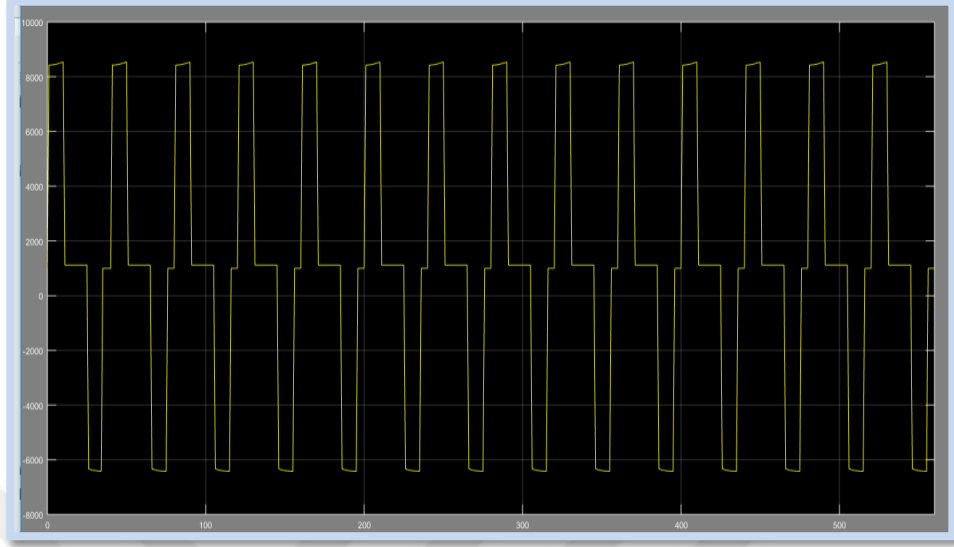
Şekil 4.2 Aerodinamik direnç

Geliştirilen örnek taşıt modelinde gerçekleştirilen simülasyon neticesinde; anlık olarak elde edilen İvmelenme Direnci grafiği Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



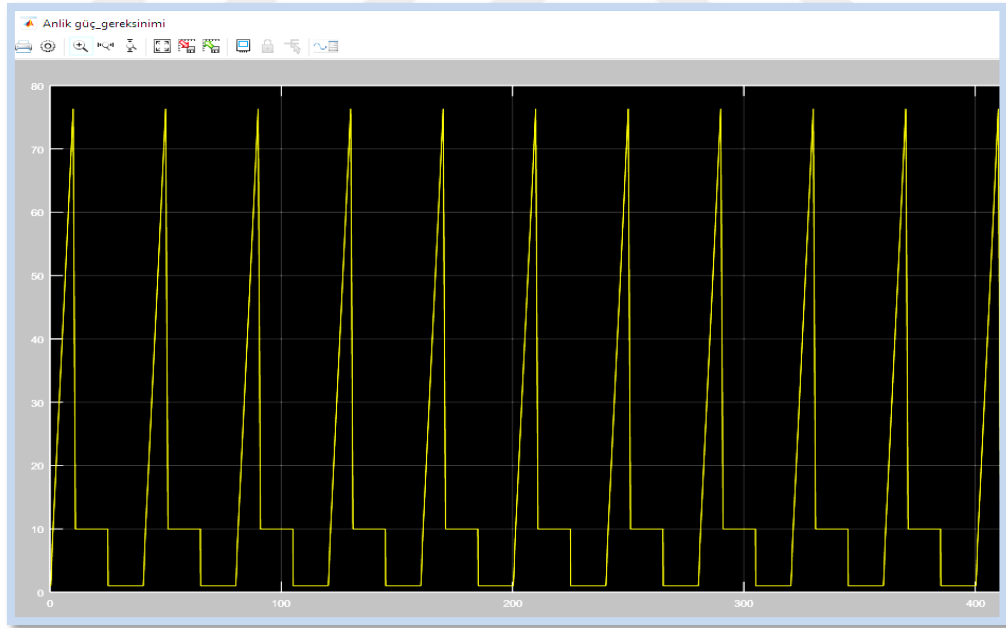
Şekil 4.3 İvmelenme direnci

Geliştirilen örnek taşıt modelinde gerçekleştirilen simülasyon neticesinde; anlık olarak elde edilen Toplam Direnç grafiği Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



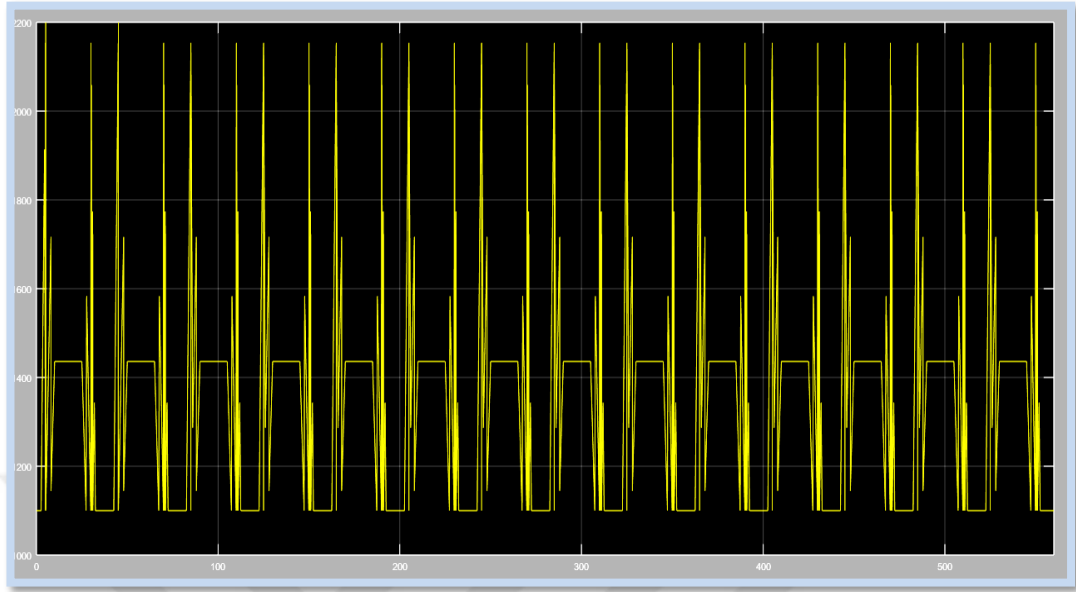
Şekil 4.4 Toplam direnç kuvveti

Geliştirilen örnek taşıt modelinde gerçekleştirilen simülasyon neticesinde; anlık olarak elde edilen Güç Gereksinimi grafiği Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Anlık güç gereksinimi

Geliştirilen örnek taşıt modelinde gerçekleştirilen simülasyon neticesinde; anlık olarak elde edilen Motor Hızı grafiği Şekil 4.6’da gösterilmiştir.

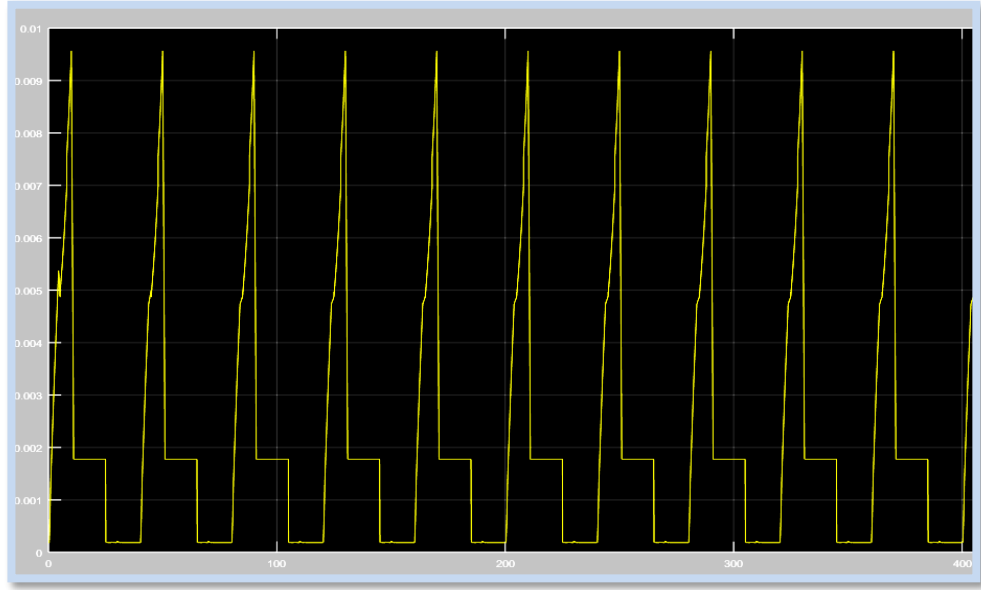


Şekil 4.6 Anlık motor hızı

4.2 Yalnız Motorin için Geliştirilen Taşıt Modelinde Anlık Yakıt Tüketimi ve Emisyon Verileri

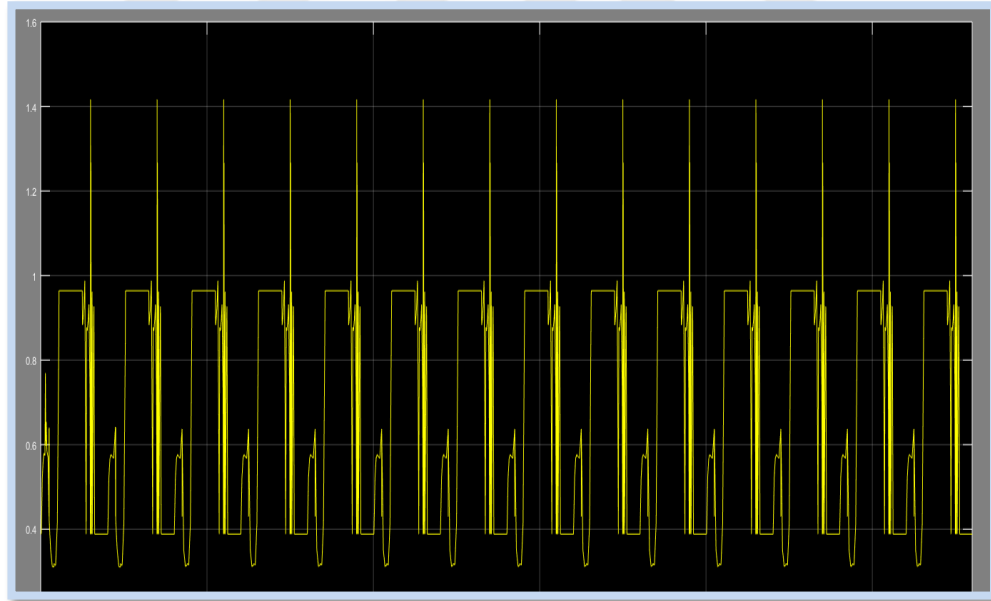
Yalnız motorin için geliştirilen taşıt modelinde “Central Business District Cycle” seyir çevrimi için, anlık güç gereksinimi, yuvarlanma direnci, aerodinamik direnç, ivmelenme direnci, toplam direnç, ve anlık motor hızı anlık olarak simüle edilmiş ve anlık olarak elde edilen yakıt tüketimi ve emisyon sonuçları grafik olarak gösterilmiştir.

Yalnız motorin yakıtı için geliştirilen örnek taşıt modelinde gerçekleştirilen simülasyon neticesinde; anlık olarak elde edilen Yakıt Tüketimi özgül değer grafiği Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



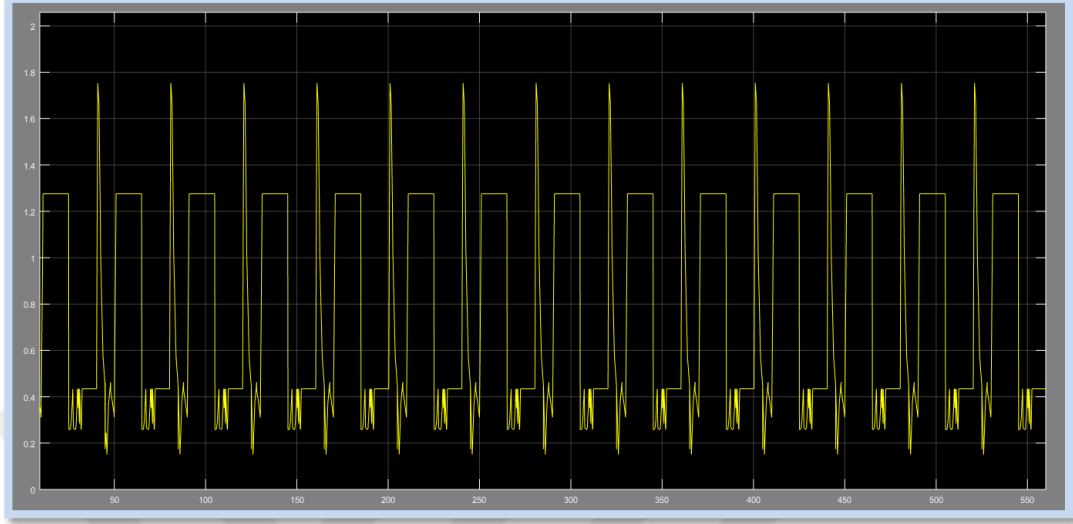
Şekil 4.7 Anlık yakıt tüketimi

Yalnız motorin yakıtı için geliştirilen örnek taşıt modelinde gerçekleştirilen simülasyon neticesinde; anlık olarak elde edilen HC emisyonu özgül değer grafiği Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



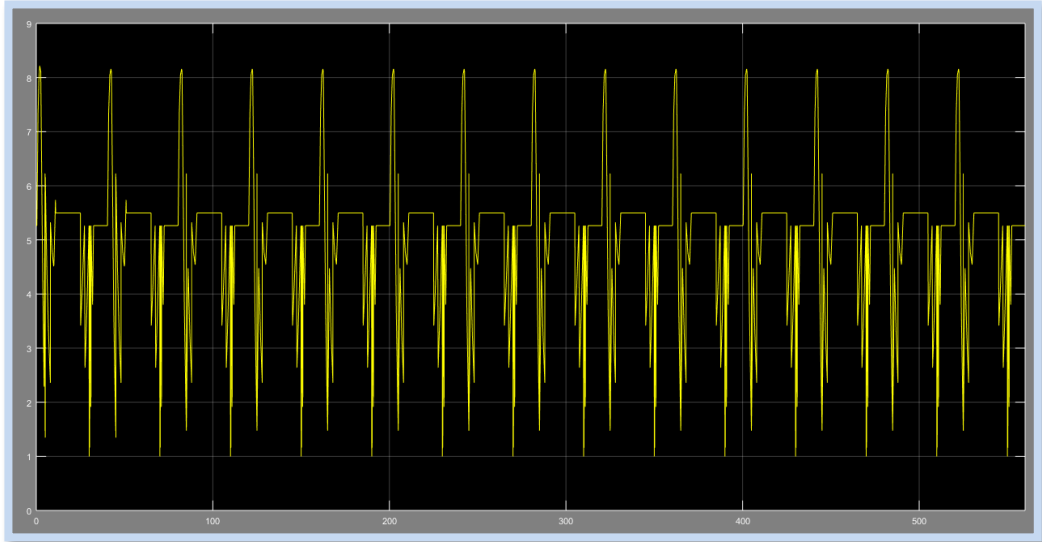
Şekil 4.8 Anlık HC emisyonu

Yalnız motorin yakıtı için geliştirilen örnek taşıt modelinde gerçekleştirilen simülasyon neticesinde; anlık olarak elde edilen CO emisyonu özgül değerleri grafiği Şekil 4.9’da gösterilmiştir.



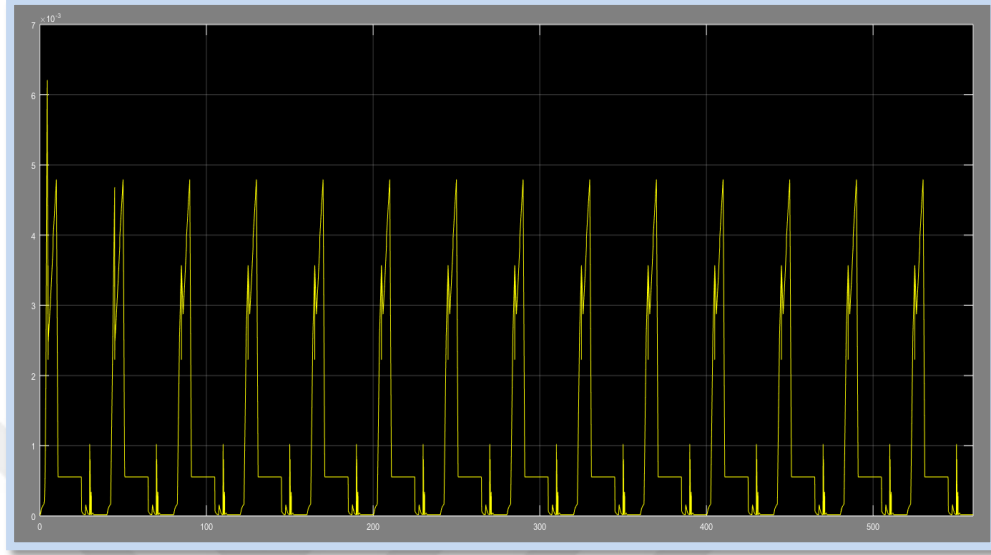
Şekil 4.9 Anlık CO emisyonu

Yalnız motorin yakıtı için geliştirilen örnek taşıt modelinde gerçekleştirilen simülasyon neticesinde; anlık olarak elde edilen NO_x emisyonu özgül değerleri grafiği Şekil 4.10’da gösterilmiştir.



Şekil 4.10 Anlık NO_x emisyonu

Yalnız motorin yakıtı için geliştirilen örnek taşıt modelinde gerçekleştirilen simülasyon neticesinde; anlık olarak elde edilen İs grafiği Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



Şekil 4.11 Anlık İs (Smoke)

Yalnız motorin tahrikli çalışma şartı için geliştirilen modelde, aracın seyir dirençlerine bağlı olarak (yuvarlanma direnci, ivmelenme direnci, aerodinamik direnç ve eğim direnci) anlık güç ihtiyacı örnek taşıt için hesaplanarak, çevrim oranlarına bağlı olarak motordan anlık yakıt tüketimine ve emisyon değerlerine ilişkin, “Cental Business Cycle” seyir çevriminde 100 km’deki toplam yakıt tüketimi ve emisyonlar hesaplanmıştır.

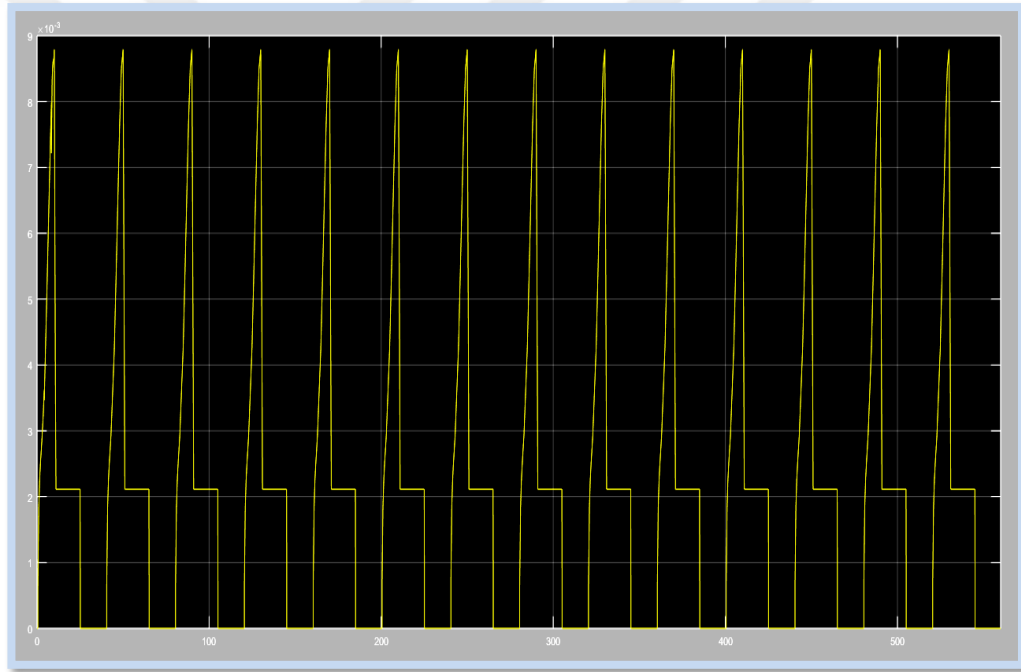
Tablo 4.1 Yalnız motorin çalışma şartı için simülasyon sonuçları

Yakıt Tüketimi	26.2	(L/100 km)
CO	1872	(g/100 km)
HC	39.1	(g/100 km)
NOx (g/100 km)	308	(g/100 km)
İs (g/100 km)	13.5	(g/100 km)

4.3 %50 Motorin-%50 Metan Yakıtı İçin Oluşturulan Teorik Modelde Anlık Sonuçlar

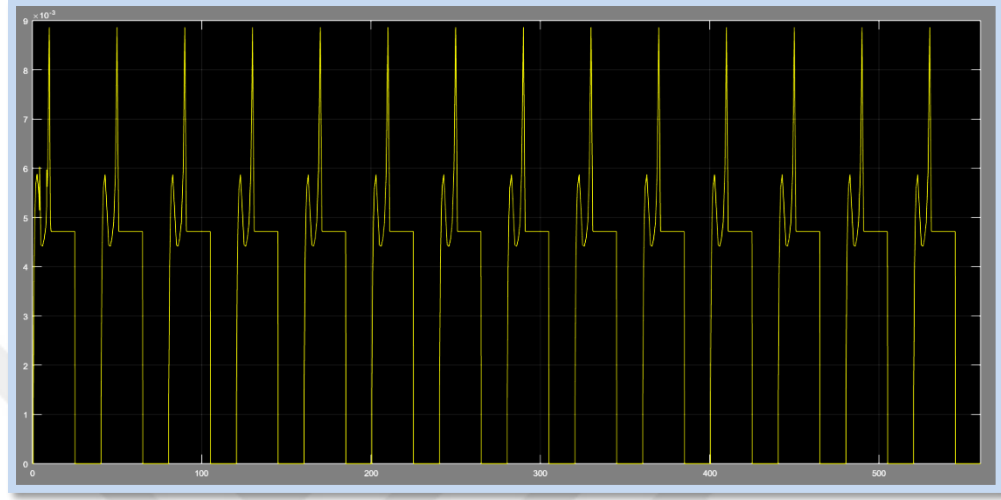
Metan yakıtı ile çalışma şartında, geliştirilen metan-hibrit taşıt modelinde CBD Seyir Çevrimi kapsamında gerekli güç ve toplam direnç kuvvetleri için yakıt tüketimi ve emisyon özgül değerleri anlık olarak gösteren grafikler oluşturulmuştur.

Yalnız metan yakıtı için geliştirilen örnek taşıt modelinde gerçekleştirilen simülasyon neticesinde; anlık olarak elde edilen Yakıt Tüketimi özgül değer grafiği Şekil 4.12’de gösterilmiştir.



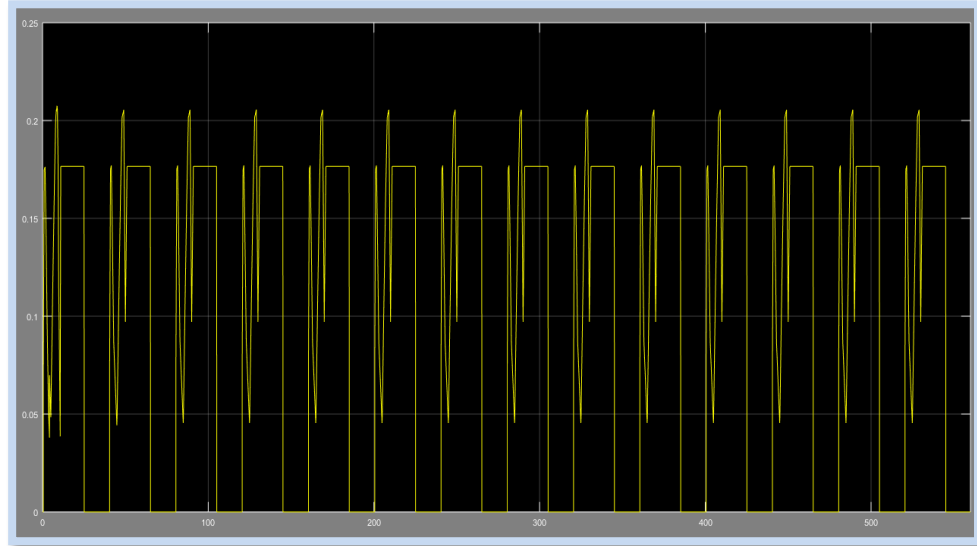
Şekil 4.12 Anlık yakıt tüketimi - (Metan)

Yalnız metan yakıtı için geliştirilen örnek taşıt modelinde gerçekleştirilen simülasyon neticesinde; anlık olarak elde edilen HC emisyonu özgül değer grafiği Şekil 4.13'te gösterilmiştir.



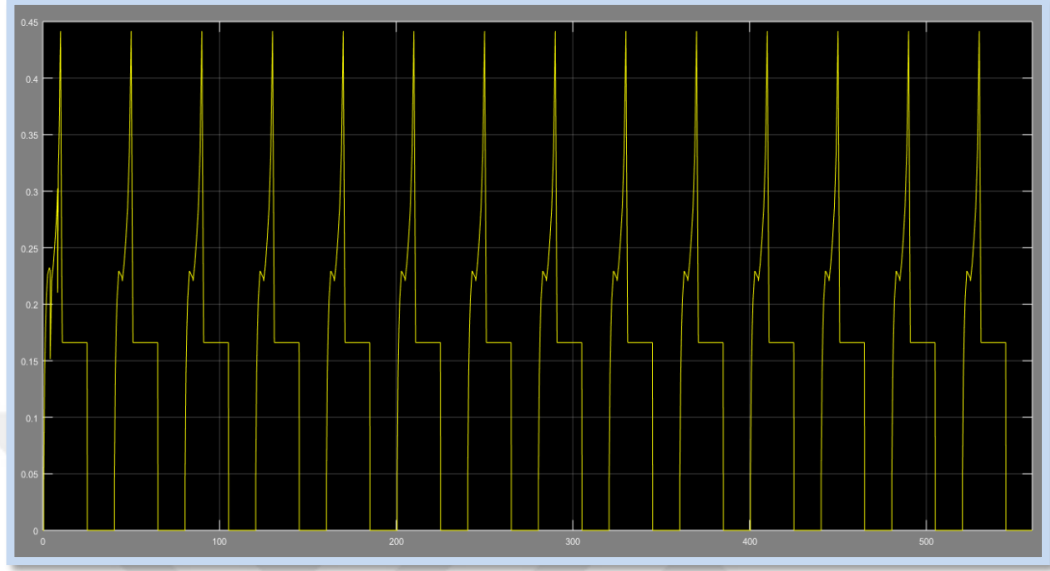
Şekil 4.13 Anlık HC emisyonu - (Metan)

Yalnız metan yakıtı için geliştirilen örnek taşıt modelinde gerçekleştirilen simülasyon neticesinde; anlık olarak elde edilen CO emisyonu özgül değer grafiği Şekil 4.14'te gösterilmiştir.



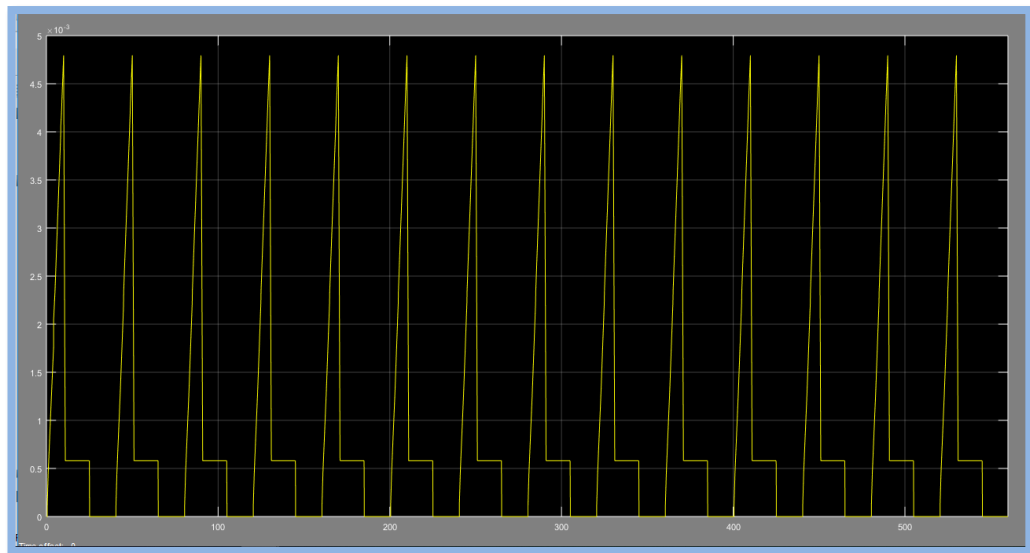
Şekil 4.14 Anlık CO emisyonu - (Metan)

Yalnız metan yakıtı için geliştirilen örnek taşıt modelinde gerçekleştirilen simülasyon neticesinde; anlık olarak elde edilen NOx emisyonu özgül değeri grafiği Şekil 4.15'te gösterilmiştir.



Şekil 4.15 Anlık NOx emisyonu - (Metan)

Yalnız metan yakıtı için geliştirilen örnek taşıt modelinde gerçekleştirilen simülasyon neticesinde; anlık olarak elde edilen İs (Smoke) özgül değeri grafiği Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



Şekil 4.16 Anlık İs (Smoke)-(Metan)

Yalnız metan tahrikli çalışma şartı için geliştirilen modelde, aracın seyir dirençlerine bağlı olarak (yuvarlanma direnci, ivmelenme direnci, aerodinamik direnç ve eğim direnci) anlık güç ihtiyacı örnek taşıt için hesaplanarak, çevrim oranlarına bağlı olarak motordan anlık yakıt tüketimine ve emisyon değerlerine ilişkin, “Cental Business Cycle” seyir çevriminde 100 km’deki toplam yakıt tüketimi ve emisyonlar hesaplanmıştır.

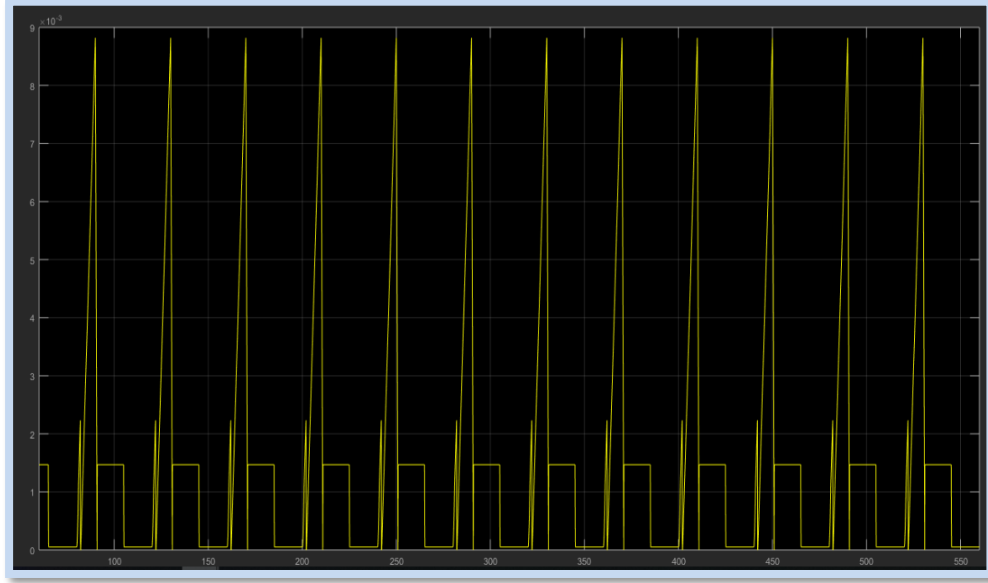
Tablo 4.2 Metan çalışma şartı için simülasyon sonuçları

Yakıt Tüketimi	28.3	(L/100 km)
CO	2454	(g/100 km)
HC	57.2	(g/100 km)
NO _x (g/100 km)	257	(g/100 km)
İs (g/100 km)	7.4	(g/100 km)

4.4 Motorin-Hibrit Oluşturulan Teorik Modelde Anlık Sonuçlar

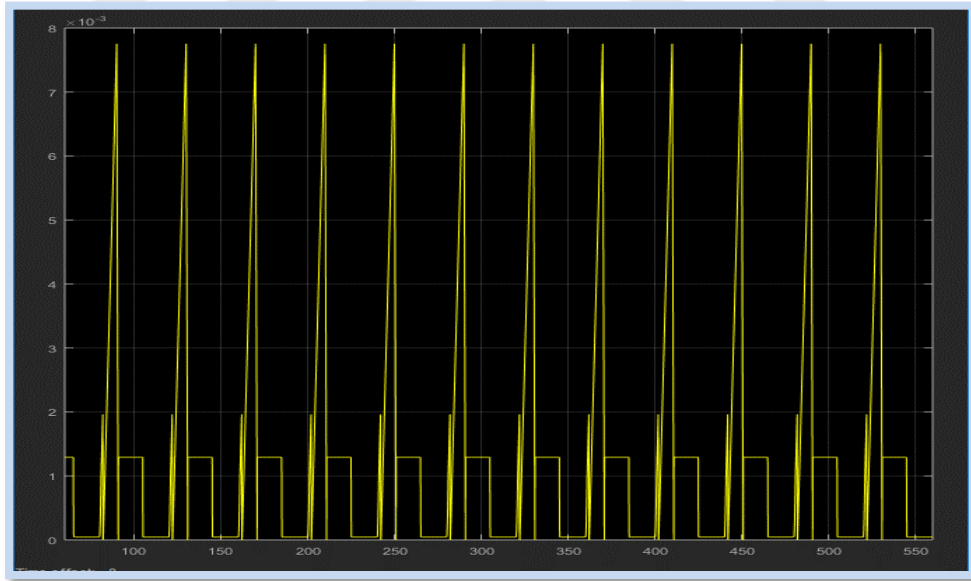
Motorin-Hibrit için geliştirilen örnek taşıt modelindeki “Central Business Disctrict Cycle” seyir çevrimi kapsamında hesaplanan güç gereksimimleri ve toplam direnç için elde edilen anlık yakıt tüketimi ve emisyon özgül değerleri sonuçları anlık olarak grafiklendirilmiştir.

Motorin-Hibrit için geliştirilen örnek taşıt modelinde gerçekleştirilen simülasyon neticesinde; anlık olarak elde edilen Yakıt Tüketimi grafiği Şekil 4.17’de gösterilmiştir.



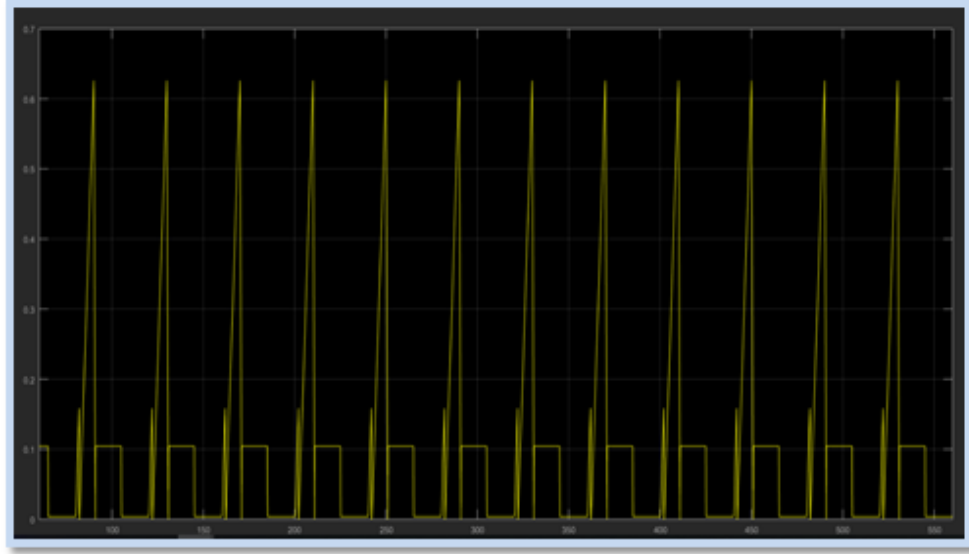
Şekil 4.17 Anlık yakıt tüketimi (Motorin-Hibrit)

Motorin-Hibrit için geliştirilen örnek taşıt modelinde gerçekleştirilen simülasyon neticesinde; anlık olarak elde edilen HC emisyon özgül değeri grafiği Şekil 4.18’de gösterilmiştir.



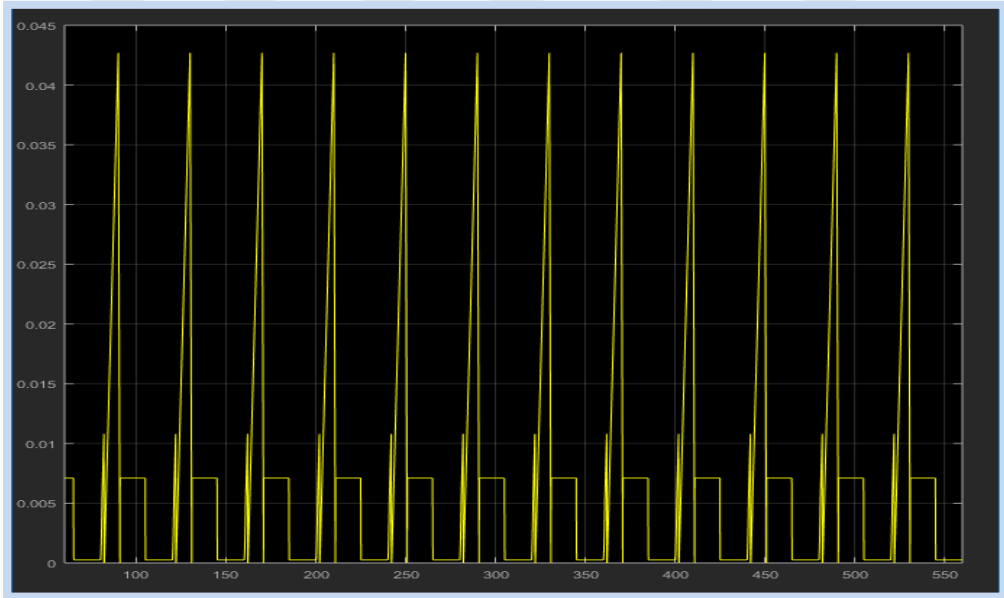
Şekil 4.18 Anlık HC emisyonu (Motorin-Hibrit)

Motorin-Hibrit için geliştirilen örnek taşıt modelinde gerçekleştirilen simülasyon neticesinde; anlık olarak elde edilen CO emisyon özgül değeri grafiği Şekil 4.19’da gösterilmiştir.



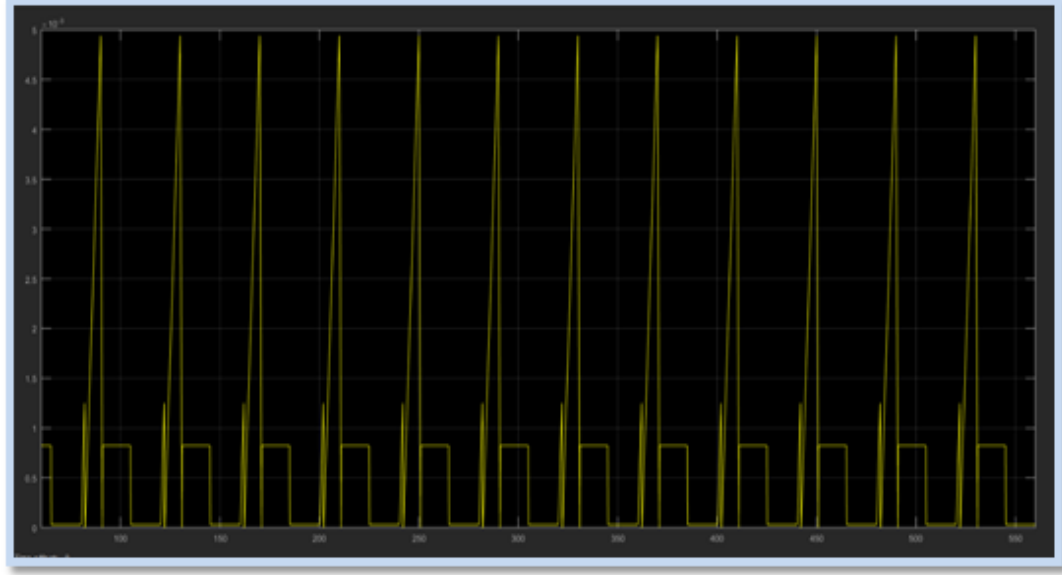
Şekil 4.19 Anlık CO emisyonu (Motorin-Hibrit)

Motorin-Hibrit için geliştirilen örnek taşıt modelinde gerçekleştirilen simülasyon neticesinde; anlık olarak elde edilen NOx emisyon özgül değeri grafiği Şekil 4.20’de gösterilmiştir.



Şekil 4.20 Anlık NOx emisyonu (Motorin-Hibrit)

Motorin-Hibrit için geliştirilen örnek taşıt modelinde gerçekleştirilen simülasyon neticesinde; anlık olarak elde edilen İs (Smoke) emisyon özgül değer grafiği Şekil 4.21’de gösterilmiştir.



Şekil 4.21 Anlık İs emisyonu (Motorin-Hibrit)

Motorin-hibrit tahrikli çalışma şartı için geliştirilen modelde, aracın seyir dirençlerine bağlı olarak (yuvarlanma direnci, ivmelenme direnci, aerodinamik direnç ve eğim direnci) anlık güç ihtiyacı örnek taşıt için hesaplanarak, çevrim oranlarına bağlı olarak motordan anlık yakıt tüketimine ve emisyon değerlerine ilişkin, “Cental Business Cycle” seyir çevriminde 100 km’deki toplam yakıt tüketimi ve emisyonlar hesaplanmıştır.

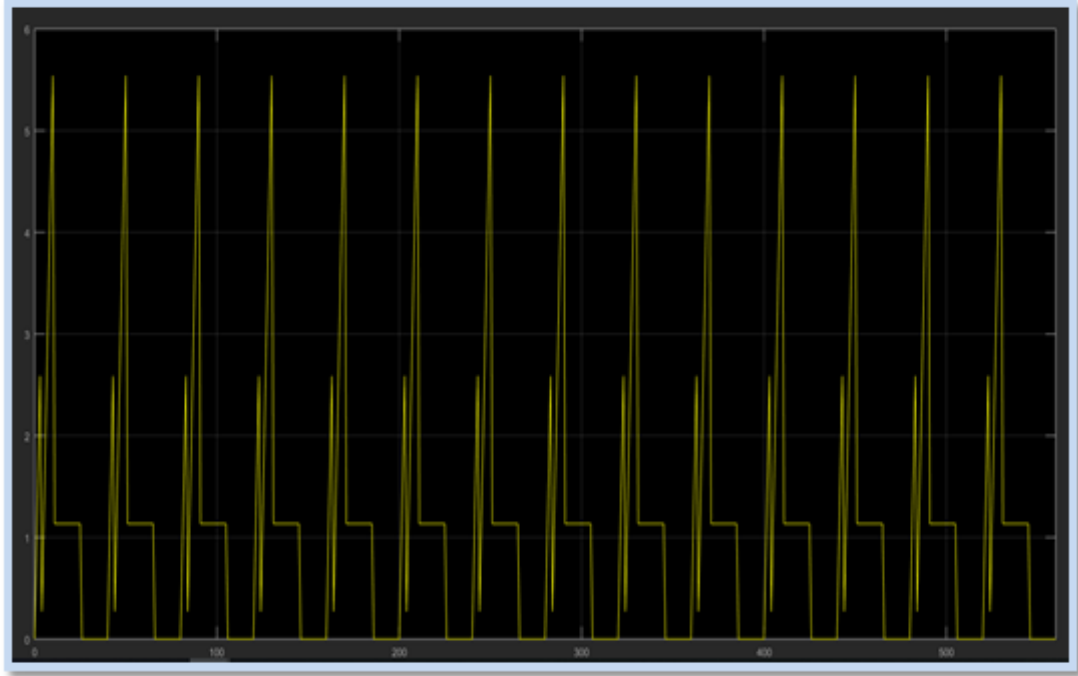
Tablo 4.3 Motorin-Hibrit çalışma şartı için simülasyon sonuçları

Yakıt Tüketimi	24.9	(L/100 km)
CO	1549	(g/100 km)
HC	34.5	(g/100 km)
NOx (g/100 km)	334	(g/100 km)
İs (g/100 km)	12.6	(g/100 km)

4.5 Metan-Hibrit İçin Oluşturulan Teorik Modelde Anlık Sonuçlar

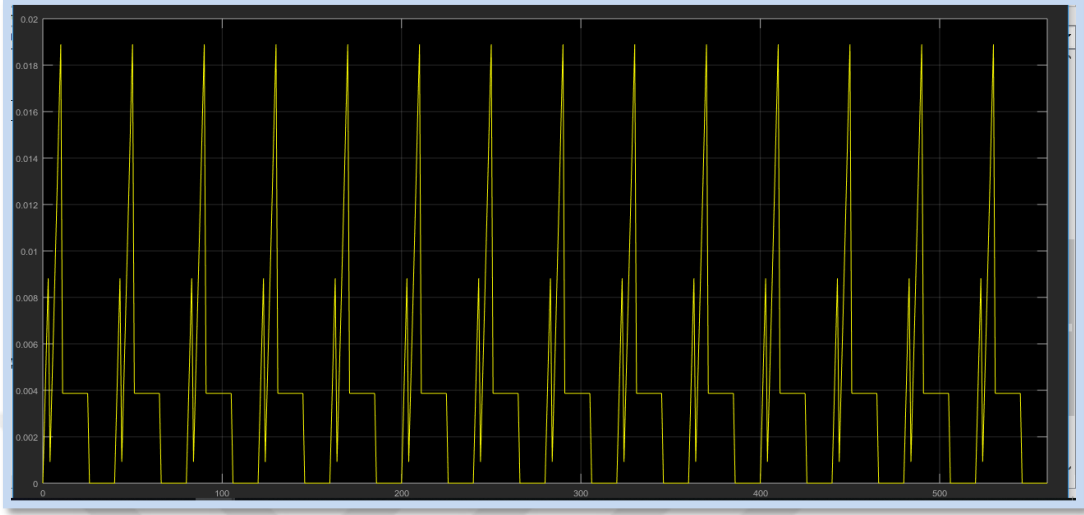
Metan-Hibrit için geliştirilen örnek taşıt modelindeki “Central Business District Cycle” seyir çevrimi kapsamında hesaplanan güç gereksimimleri ve toplam direnç için elde edilen anlık yakıt tüketimi ve emisyon özgül değerleri sonuçları anlık olarak grafiklendirilmiştir.

Metan-Hibrit için geliştirilen örnek taşıt modelinde gerçekleştirilen simülasyon neticesinde; anlık olarak elde edilen Yakıt Tüketimi grafiği Şekil 4.21’de gösterilmiştir.



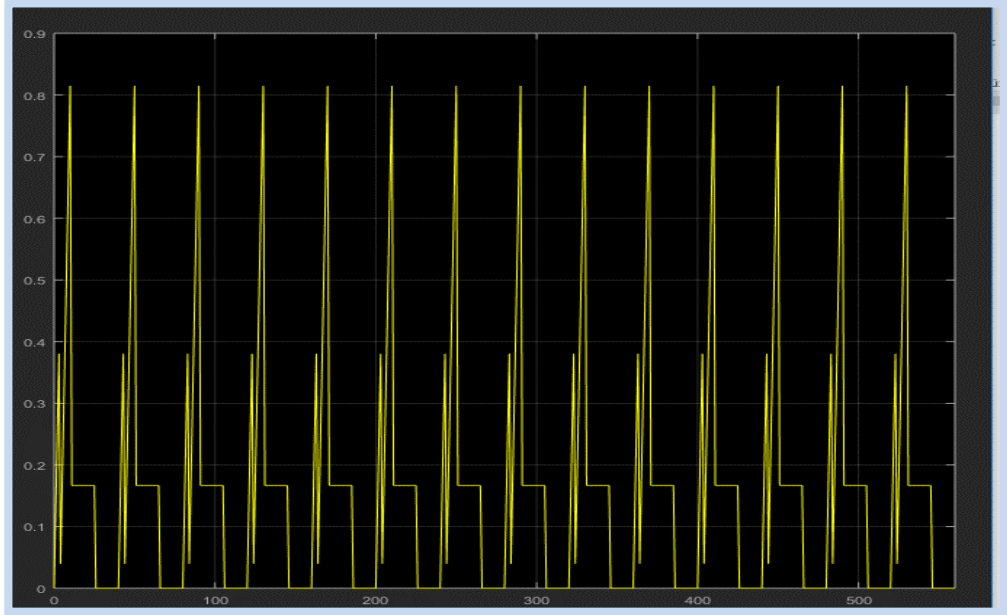
Şekil 4.22 Anlık yakıt tüketimi (Metan-Hibrit)

Metan-Hibrit için geliştirilen örnek taşıt modelinde gerçekleştirilen simülasyon neticesinde; anlık olarak elde edilen HC emisyonu özgül değeri grafiği Şekil 4.22’de gösterilmiştir.



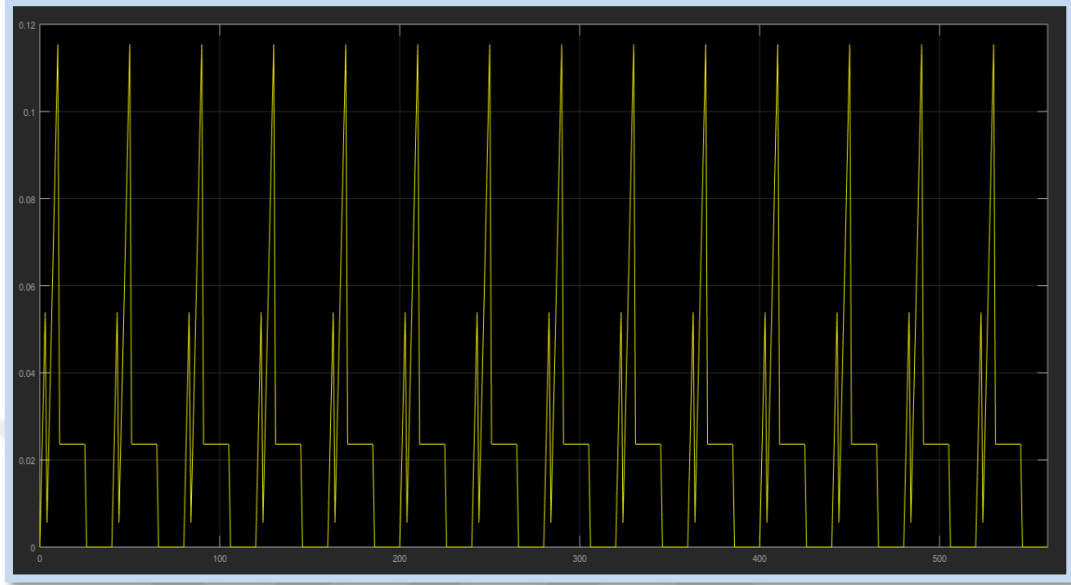
Şekil 4.23 Anlık HC Emisyonu (Metan-Hibrit)

Metan-Hibrit için geliştirilen örnek taşıt modelinde gerçekleştirilen simülasyon neticesinde; anlık olarak elde edilen CO emisyonu özgül değeri grafiği Şekil 4.23’te gösterilmiştir.



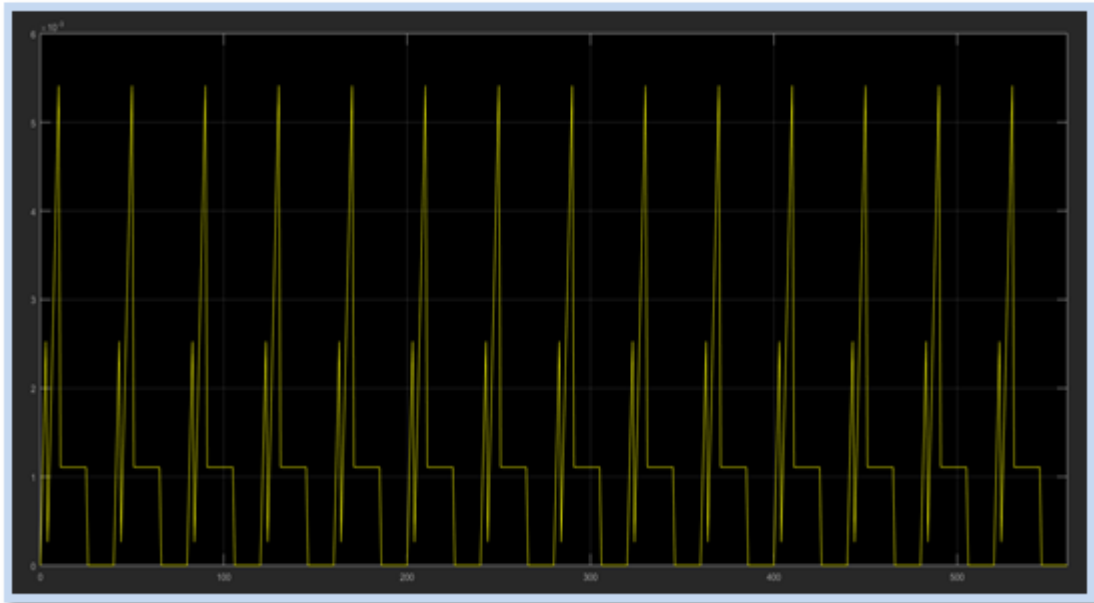
Şekil 4.24 Anlık CO Emisyonu (Metan-Hibrit)

Metan-Hibrit için geliştirilen örnek taşıt modelinde gerçekleştirilen simülasyon neticesinde; anlık olarak elde edilen NOx emisyonu özgül değeri grafiği Şekil 4.24'te gösterilmiştir.



Şekil 4.25 Anlık NOx Emisyonu (Metan-Hibrit)

Metan-Hibrit için geliştirilen örnek taşıt modelinde gerçekleştirilen simülasyon neticesinde; anlık olarak elde edilen NOx emisyonu özgül değeri grafiği Şekil 4.24'te gösterilmiştir.



Şekil 4.26 Anlık İs (Smoke) Emisyonu Grafiği (Metan-Hibrit)

%50 motorin-%50 metan yakıtlı Metan-hibrit tahrikli çalışma şartı için geliştirilen modelde, aracın seyir dirençlerine bağlı olarak (yuvarlanma direnci, ivmelenme direnci, aerodinamik direnç ve eğim direnci) anlık güç ihtiyacı örnek taşıt için hesaplanarak, çevrim oranlarına bağlı olarak motordan anlık yakıt tüketimine ve emisyon değerlerine ilişkin, “Cental Business Cycle” seyir çevriminde 100 km’deki toplam yakıt tüketimi ve emisyonlar hesaplanmıştır.

Tablo 4.4 Metan-hibrit çalışma şartı için simülasyon sonuçları

Yakıt Tüketimi	26.8	(L/100 km)
CO	2349	(g/100 km)
HC	49.2	(g/100 km)
NOx (g/100 km)	283	(g/100 km)
İs (g/100 km)	4.8	(g/100 km)

5.1 Sonuçların Karşılaştırılması ve Analiz

Deneyssel olarak elde edilmiş tek silindirli dizel motora ait performans sonuçları baz alınarak gerçekleştirilen eğri uydurma yöntemi ile geliştirilen taşıt modellerinde kullanılmak üzere tam motor haritaları elde edilmiştir. Daha sonradan, tek silindire ait motor verileri, tek boyutlu motor modeli yardımıyla beş silindire bilgisayar ortamında çıkarılmış ve haritalar oluşturulmuştur. Teorik olarak Matlab/Simulink programı ile geliştirilen taşıt modeli yardımıyla, motor haritaları programa yüklenerek, istenilen seyir çevriminde (Central Business District Cycle) seçilen örnek taşıt parametreleri ile koşturulması sağlanmıştır. Geliştirilen örnek taşıt modelleri hem sadece motorin yakıtı için, hem metan yakıtı için, hem motorin-hibrit tahrikli çalışma şartı için hem de metan-hibrit tahrikli çalışma şartı için Tablo 5.1 de karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.1 Geliştirilen Örnek Taşıt Modellerinin Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

	Motorin	Motorin Hibrit	Metan-Motorin	Metan-Motorin Hibrit
Yakıt Tüketimi (L/100 km)	26.2	24.9	28.3	26.8
CO (g/100 km)	1872	1549	2454	2349
HC (g/100 km)	39.1	34.5	57.2	49.2
NOx (g/100 km)	308	334	257	283
İs (g/100 km)	13.5	12.6	7.4	4.8

Yapılan çalışmaya ilişkin çıktılar aşağıda analiz edilmiştir:

- Motorin-hibrit tahrikli çalışma sisteminde İYM ve batarya çalışma aralıkları, sadece İYM'nin çalışma aralığı 36.2 kW ile 34.9 kW arasında yakıtın min olduğu aralıkta çalışacağı ve 36.2 kW değerinden sonra batarya ile beraber İYM'nin çalışacağı ve 34.9 kW değerinin altında ise; yalnızca bataryaların çalışacağı şekilde aç/kapa modunda karakteristik yapıya sahip olarak kontrol stratejisine sahip olduğu tespit edilmiştir.
- %50 motorin-%50 metan yakıt için oluşturulan seri hibrit tahrik sisteminde (metan-hibrit) motor ve batarya açılış şartları sadece motorun çalışma aralığı 20.6 kW ile 19.2 kW arasında yakıt tüketiminin min olduğu aralıkta çalışacağı ve 20.19 dan sonra batarya ile beraber içten yanmalı motorun çalışacağı ve 19.2 kW değerinin altında ise yalnızca bataryaların çalışacağı şekilde, aç/kapa modunda motorun çalıştırılması gerektiği tespit edilmiştir.
- Elde edilen veriler kapsamında, motorin, metan, metan-hibrit, motorin-hibrit çalışma şartlarında, örnek taşıt için Central Business District'teki çevrim değerlerine bağlı olarak yakıt tüketimi, ve özgül emisyon (CO, HC, NOx ve İs) değerleri verilmiştir. Elde edilen sonuçlardan, hibrit sistem kullanılması ile hem yalnız motorin, hem de metan yakıtlarından daha iyi sonuç elde edilirken; metan kullanılması ile yakıt tüketiminde bir miktar artış meydana geldiği sonucuna varılmıştır. Ancak, metan-hibrit çalışma şartında, yalnız motorin yakıtına göre hem NOx, hem de is emisyonlarında iyileşme gözlemlenmiştir. Diğer taraftan, metan motorin hibrit şartında yakıt tüketiminde bir miktar artış meydana gelmesine rağmen, yakıt ekonomisi açısından ise doğalgazın daha ucuz bir yakıt olmasından dolayı avantaj sağlanacağı sonucuna varılmıştır.

Sonuçlar irdelendiğinde; %50 metan ve %50 motorin çift yakıtı ile çalışan seri hibrit tahrik sisteminde, hem is, hem de NOx emisyonlarının, diğer tüm çalışma şartlarından daha düşük seviyede olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, %50 metan ve %50 motorin çift yakıtı kullanılmasıyla, özgül yakıt tüketiminde bir

miktar artış meydana gelmesine rağmen, doğalgazın maliyet bakımından daha ekonomik bir yakıt olması sebebiyle, doğalgazın içeriğini oluşturan metan türevi yakıt kullanımının faydalı olacağı kanaatine varılmıştır. Diğer taraftan elde edilen sonuçlar kapsamında seri hibrit sisteminin ve metan içerikli yakıt kullanımının kritik olan NO_x ve İ_s emisyon değerleri bakımından da daha az emisyon salınımı yapması itibariyle doğa, çevre ve insan sağlığı açısından olumlu etkileri olduğu sonucuna varılmıştır.



- [1] International Energy Agency 2011. CO₂ Emissions From Fuel Combustion, 2011", IEA Publications, Paris, France.
- [2] Sopena, C., Dieguez, P. M., Sainz, D., Urroz, J.C., Guelbenzu, E.i Gandia, L.M. 2010. "Conversion of a commercial spark ignition engine to run on hydrogen: Performance comparison using hydrogen and gasoline", Int. J. Hydrogen Energy 35:1420-1429.
- [3] Köse, H., M. Cinviz, M. 2013. "An experimental investigation of effect on diesel engine performance and exhaust emissions of addition at dual fuel mode of hydrogen", Fuel Processing Technology, 114, 26-34.
- [4] Yoon, S.H., Lee, C.S. 2011. "Experimental Investigation on The Combustion and Exhaust Emission Characteristics of Biogas-Biodiesel Dual-Fuel Combustion in a CI Engine", Fuel Processing Technology, 92, 992-1000.
- [5] McTaggart-Cowan, G.P., Jones, H.L., Rogak, S.N., Bushe, W.K., Hill, P.G., Munshi, S.R. 2006. "Direct-injected hydrogen-methane mixtures in a heavy-duty compression ignition engine", SAE paper no. 2006-01-065.
- [6] EEA (European Environment Agency) Report. "Trends and projections in Europe 2013: Tracking progress towards Europe's climate and energy targets until 2020." Report No 10/2013, 2013
- [7] Zhang, S., Wu, Y., Hu, J., Huang, R., Zhou, Y., Bao, X., Fu, L., Hao, J. 2014. "Can Euro V Heavy-Duty Diesel Engines, Diesel Hybrid and Alternative Fuel Technologies Mitigate NO_x Emissions? New Evidence from On-Road Tests of Buses in China", Applied Energy, 132, 118-126.
- [8] Uçarol, H., Kural, E. 2009. "Ulaşımda Enerji Verimliliği İçin Hibrid ve Elektrikli Araçlar", Mühendis ve Makine, 50, 66-71.
- [9] Song, J., Zhang, C., (2016). "Experimental study of co-combustion ratio on fuel consumption and emissions of NG-diesel dual-fuel heavy-duty engine equipped with a common rail injection system", Journal of Energy Institute, 89:578-585.
- [10] Kakaee, A., Paykani, A., Rahnama, P., (2015). " Influence of fuel composition on combustion and emissions characteristics of natural gas/diesel RCCI engine", Journal of Natural Gas Science and Engineering, 25:58-65.
- [11] Barbosa, F.C. 2012. "Hybrid transit bus technology assessment - a feasibility approach", SAE, paper no. 2012-36-0139.

- [12] Soylu, S. 2014. "The effects of urban driving conditions on the operating characteristics of conventional and hybrid electric city buses", *Applied Energy*, 2014, 472-482.
- [13] Eletra, 2005. "Presentation of Hybrid Bus in Operation" Sao Paulo.
- [14] Barnitt, R.A. 2008. "In-Use Performance Comparison of Hybrid Electric, CNG, and Diesel Buses at New York City Transit", SAE, paper no. 2008-01-1556.
- [15] Ünlü, N., Karahan, Ş., Tür, O., Uçarol, H., Özsu, E., Yazar, A., Turhan, L., Akgün, F., Tırıs, M. "Elektrikli Araçlar", TÜBİTAK – Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü, Gebze-Kocaeli, 2003
- [16] Çeper, B.A. 2009. "Hidrojen-doğal gaz karışımlarının içten yanmalı motorlarda kullanılması" Erciyes üniversitesi Doktora Tezi
- [17] McTaggart-Cowan, G.P., Jones, H.L., Rogak, S.N., Bushe, W.K., Hill, P.G., Munshi, S.R. 2006. "Direct-injected hydrogen-methane mixtures in a heavy-duty compression ignition engine", SAE paper no. 2006-01-065.
- [18] Königsson, F.P.S., H. A., Combustion modes in a diesel-CNG dual fuel engine SAE paper no. 2011-01-1962; 2011
- [19] Garg, S., Parmar, A.J., Puri, S., Kumar, N. 2013. "Potential Utilization of CNG in Stationary HCCI Engine" SAE paper no. 2013-01-2508.
- [20] Donahue, R., Gilette, A., Mittal, M., Winnie, P., 2015. "Exhaust emission characteristics of a multi-cylinder 18.1-L diesel engine converted to fueled with natural gas and diesel pilot", *Journal of the Energy Institute*, 88:275-283.
- [21] Ott, T., Onder, C., Guzzela, L. 2013. "Hybrid-Electric Vehicle with Natural Gas-Diesel Engine", *Energies*, 6, 3571-3592
- [22] Giakoumis, E. G. 2017. *Driving and engine cycles*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing. P.242
- [23] SAE J2452, 1999. *Stepwise Coast down Methodology for Measuring Tire Rolling Resistance*, SAE, USA.]
- [24] Boyalı Ali. 2009. *Hibrid elektrikli yol taşıtlarının modellenmesi ve kontrolü*. PhD Thesis. Fen Bilimleri Enstitüsü
- [25] Lajunen, A. (2012). Evaluation of battery requirements for hybrid and electric city buses. *World Electric Vehicle Journal*, 5(2), 340-349

Tezden Üretilmiş Yayınlar

İletişim Bilgisi: emr.cayir@gmail.com

Konferans Bildirileri

1. Çayır. E., Sezer, S., "Investigation of Emissions and Fuel Consumption in Series-Hybrid Vehicles", ICOLES2019-2. International Conference on Life and Engineering Sciences, Book of Short Abstracts, P.52

