

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İÇTEN YANMALI MOTORLU BİR TAŞITIN
BASİT BİR HİBRİT ELEKTRİKLİ TAŞITA
DÖNÜŞÜMÜ İÇİN BİR MODEL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Sinan OTLU**

Anabilim Dalı : Makina Mühendisliği

Programı : Otomotiv

HAZİRAN 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İÇTEN YANMALI MOTORLU BİR TAŞITIN
BASİT BİR HİBRİT ELEKTRİKLİ TAŞITA
DÖNÜŞÜMÜ İÇİN BİR MODEL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Sinan OTLU
(503061727)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 Mayıs 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Haziran 2010

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Metin Ahmet Ergeneman (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Cem Soruşbay (İTÜ)
Prof. İrfan Yavaşlıol (YTÜ)**

HAZİRAN 2010

ÖNSÖZ

Tez çalışmam sırasında beni yönlendiren, bilgi birikimi ve tecrübelerini benimle paylaşan, çalışmanın ilerlemesi için her türlü desteği veren danışmanım Sayın Prof. Dr. Metin Ahmet Ergeneman'a ve yüksek lisans öğrenimim boyunca bana sağladığı maddi destek için TÜBİTAK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tüm öğrenim hayatım boyunca benim yanımda olan ve her türlü desteği sağlayan aileme teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Haziran 2010

Sinan Otlu

(Endüstri Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
SEMBOL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Yakıt Tüketimi ve Emisyon Sorunları İçin Olası Çözümler	4
1.2 Hibrit Elektrikli Taşıtların Tarihçesi ve Bugünkü Durumu	5
1.3 Tezin Amacı	9
2. TAŞITLARDA YAKIT TÜKETİMİ VE EMİSYONLARA YOL AÇAN NEDENLER	11
2.1 Seyir Dirençleri	12
2.1.1 Tekerlek dirençleri.....	12
2.1.2 Hava direnci.....	13
2.1.3 Yokuş direnci.....	14
2.1.4 İvme direnci	15
2.2 Diğer Nedenler	15
2.2.1 İçten yanmalı motorun boşa çalışması	15
2.2.2 İçten yanmalı motorun verimi	16
2.2.3 Aktarma organlarının verimi	17
3. HİBRİT ELEKTRİKLİ TAŞITLAR	19
3.1 Tanım	19
3.2 Bileşenler.....	19
3.2.1 Elektrik motorları	19
3.2.2 Jeneratörler	20
3.2.3 Rejeneratif frenler.....	21
3.2.4 Enerji depolama birimleri.....	21
3.3 Hibrit Elektrikli Taşıtlarda Uygulanan Yakıt Tasarruf Yöntemleri	22
3.3.1 İçten yanmalı motorun donanım yüklerinden kurtarılması	22
3.3.2 İçten yanmalı motorun boşa çalışmasının önlenmesi	23
3.3.3 İçten yanmalı motorun en verimli olduğu dönme hızı ve yük aralıklarında çalıştırılması ve motorun boyutunun küçültülmesi	23
3.3.4 Rejeneratif frenleme	24
3.3.5 Bataryaların dış bir kaynaktan şarj edilmesi.....	25
3.4 Hibrit Elektrikli Taşıt Yapıları	26
3.4.1 Seri hibrit elektrikli taşıtlar.....	26
3.4.2 Paralel hibrit elektrikli taşıtlar	27

3.4.2.1 Bölünmüş paralel hibrit elektrikli taşıtlar	28
3.4.3 Seri-Paralel hibrit elektrikli taşıtlar	29
4. AVL CRUISE	31
4.1 Program	31
4.1.1 Programın özellikleri	32
4.1.2 Programın parçaları ve model bileşenleri	32
4.1.3 Programın hesaplama yetisi	33
4.1.4 Programın hesaplama yöntemleri	34
4.2 Programın Yapısı	35
4.2.1 Hesaplama kısmı	35
4.2.2 Grafik kullanıcı arayüzü (GKA)	36
4.2.3 Önışlemci	37
4.2.3.1 Uygulamalar	37
4.2.3.2 Taşıt modelleyicisi	38
4.2.3.3 Diyalog kutuları	40
4.2.3.4 Program kontrolü	40
4.2.3.5 Çeşitli düzenleyiciler	41
4.2.4 Artışlemci	42
4.2.5 Eş zamanlı görüntüleme	42
4.2.6 Veri kontrolü	43
4.3 Arayüzler	43
4.4 Taşıt modeli bileşenleri	44
4.4.1 Taşıt modülü	45
4.4.1.1 Kontrol parametreleri	45
4.4.1.2 Kullanıcı tanımlı değişkenler	46
4.4.2 Kavrama modülü	49
4.4.2.1 Kontrol parametreleri	49
4.4.2.2 Kullanıcı tanımlı değişkenler	50
4.4.3 Dişli kutusu modülü	51
4.4.3.1 Kontrol parametreleri	51
4.4.3.2 Kullanıcı tanımlı değişkenler	52
4.4.4 Diferansiyel modülü	53
4.4.4.1 Kontrol parametreleri	54
4.4.4.2 Kullanıcı tanımlı değişkenler	54
4.4.5 İçten yanmalı motor modülü	55
4.4.5.1 Kontrol parametreleri	55
4.4.5.2 Kullanıcı tanımlı değişkenler	57
4.4.6 Elektrik motoru modülü	60
4.4.6.1 Kontrol parametreleri	60
4.4.6.2 Kullanıcı tanımlı değişkenler	61
4.4.7 Elektrik makinesi modülü	61
4.4.7.1 Kontrol parametreleri	62
4.4.7.2 Kullanıcı tanımlı değişkenler	62
4.4.8 Batarya modülü	64
4.4.8.1 Kontrol parametreleri	64
4.4.8.2 Kullanıcı tanımlı değişkenler	65
4.4.9 Motor kapatma modülü	66
4.4.9.1 Kontrol parametreleri	67
4.4.9.2 Kullanıcı tanımlı değişkenler	67
4.4.10 Fren modülü	67

4.4.10.1 Kontrol parametreleri.....	68
4.4.10.2 Kullanıcı tanımlı değişkenler.....	68
4.4.11 Kokpit modülü.....	68
4.4.11.1 Kontrol parametreleri.....	69
4.4.11.2 Kullanıcı tanımlı değişkenler.....	69
4.4.12 Egzoz sistemi modülü.....	70
4.4.12.1 Kontrol parametreleri.....	70
4.4.12.2 Kullanıcı tanımlı değişkenler.....	70
4.4.13 Tekerlek / Lastik modülü.....	71
4.4.13.1 Kontrol parametreleri.....	72
4.4.13.2 Kullanıcı tanımlı değişkenler.....	72
5. İÇTEN YANMALI MOTORLU TAŞITIN HİBRİT ELEKTRİKLİ TAŞITA DÖNÜŞÜM MODELİ	75
5.1 Model	75
5.2 Uygulama Şekli	77
5.3 Modüllerde Kullanılan Parametre ve Kullanıcı Tanımlı Değişkenler	79
5.3.1 Taşıt modülü	79
5.3.2 Kavrama modülü	80
5.3.3 Dişli kutusu modülü	80
5.3.4 Diferansiyel modülü	81
5.3.5 İçten yanmalı motor modülü	81
5.3.6 Elektrik makinesi modülü.....	85
5.3.7 Batarya modülü	86
5.3.8 Motor kapatma modülü	89
5.3.9 Fren modülü.....	89
5.3.10 Kokpit modülü.....	90
5.3.11 Egzoz sistemi modülü.....	90
5.3.12 Tekerlek / Lastik modülü.....	96
6. SİMÜLASYON KOŞULARI İLE MALİYET VE ÇEVRE ANALİZİ.....	99
6.1 Koşu 1	99
6.1.1 Koşu şartları.....	100
6.1.2 Sonuçlar	100
6.1.3 Maliyet ve Çevre Analizi.....	100
6.2 Koşu 2	101
6.2.1 Koşu şartları.....	101
6.2.2 Sonuçlar	102
6.2.3 Maliyet ve Çevre Analizi.....	102
6.3 Koşu 3	103
6.3.1 Koşu şartları.....	103
6.3.2 Sonuçlar	103
6.3.3 Maliyet ve Çevre Analizi.....	104
6.4 Koşu 4	105
6.4.1 Koşu şartları.....	106
6.4.2 Sonuçlar	106
6.4.3 Maliyet ve Çevre Analizi.....	106
6.5 Koşu 5	108
6.5.1 Koşu şartları.....	108
6.5.2 Sonuçlar	108
6.5.3 Maliyet ve Çevre Analizi.....	109
6.6 Koşu 6	110

6.6.1 Koşu şartları.....	110
6.6.2 Sonuçlar	110
6.6.3 Maliyet ve Çevre Analizi.....	111
6.7 Koşu 7.....	112
6.7.1 Koşu şartları.....	112
6.7.2 Sonuçlar	113
6.7.3 Maliyet ve Çevre Analizi.....	113
6.8 Koşu 8.....	115
6.8.1 Koşu şartları.....	115
6.8.2 Sonuçlar	115
6.8.3 Maliyet ve Çevre Analizi.....	116
6.9 Koşu 9.....	117
6.9.1 Koşu şartları.....	118
6.9.2 Sonuçlar	118
6.9.3 Maliyet ve Çevre Analizi.....	118
6.10 Koşu 10.....	120
6.10.1 Koşu şartları.....	120
6.10.2 Sonuçlar	120
6.10.3 Maliyet ve Çevre Analizi.....	121
6.11 Koşu 11.....	122
6.11.1 Koşu şartları.....	122
6.11.2 Sonuçlar	123
6.11.3 Maliyet ve Çevre Analizi.....	123
6.12 Koşu 12.....	125
6.12.1 Koşu şartları.....	125
6.12.2 Sonuçlar	125
6.12.3 Maliyet ve Çevre Analizi.....	126
6.13 Koşu 13.....	127
6.13.1 Koşu şartları.....	127
6.13.2 Sonuçlar	128
6.13.3 Maliyet ve Çevre Analizi.....	128
6.14 Koşu 14.....	130
6.14.1 Koşu şartları.....	130
6.14.2 Sonuçlar	130
6.14.3 Maliyet ve Çevre Analizi.....	131
6.15 Koşu 15.....	132
6.15.1 Koşu şartları.....	132
6.15.2 Sonuçlar	132
6.15.3 Maliyet ve Çevre Analizi.....	133
6.16 Koşu 16.....	134
6.16.1 Koşu şartları.....	134
6.16.2 Sonuçlar	135
6.16.3 Maliyet ve Çevre Analizi.....	135
6.17 Koşu 17.....	136
6.17.1 Koşu şartları.....	137
6.17.2 Sonuçlar	137
6.17.3 Maliyet ve Çevre Analizi.....	137
6.18 Koşu 18.....	139
6.18.1 Koşu şartları.....	139
6.18.2 Sonuçlar	139

6.18.3 Maliyet ve Çevre Analizi.....	140
6.19 Koşu 19	141
6.19.1 Koşu şartları.....	141
6.19.2 Sonuçlar	141
6.19.3 Maliyet ve Çevre Analizi.....	142
6.20 Koşu 20	143
6.20.1 Koşu şartları.....	143
6.20.2 Sonuçlar	144
6.20.3 Maliyet ve Çevre Analizi.....	144
6.21 Koşu 21	146
6.21.1 Koşu şartları.....	146
6.21.2 Sonuçlar	146
6.21.3 Maliyet ve Çevre Analizi.....	147
6.22 Koşu 22	148
6.22.1 Koşu şartları.....	148
6.22.2 Sonuçlar	149
6.22.3 Maliyet ve Çevre Analizi.....	149
6.23 Koşu 23	150
6.23.1 Koşu şartları.....	150
6.23.2 Sonuçlar	150
6.23.3 Maliyet ve Çevre Analizi.....	151
6.24 Koşuların özet sunumu	152
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	157
KAYNAKLAR	161
EKLER.....	163
ÖZGEÇMİŞ.....	183

KISALTMALAR

A.B.D.	: Amerika Birleşik Devletleri
AC	: Alternatif Akım
ASCII	: American Standard Code for Information Interchange
AT-PZEV	: Gelişmiş Teknoloji – Kısmi Sıfır Emisyonlu Taşıt
BLDC	: Daimi Mıknatıslı Fırçasız Doğru Akım
CARB	: Kaliforniya Hava Kaynakları Kurulu
CNG	: Sıkıştırılmış Doğal Gaz
CVT	: Sürekli Değişken Oranlı Dişli Kutusu
CO	: Karbonmonoksit
CO₂	: Karbondioksit
DC	: Doğru Akım
DLL	: Dynamic-Link Library
EPA	: A.B.D. Enerji Politikası Kanunu
GKA	: Grafik Kullanıcı Arayüzü
GM	: General Motors
HC	: Hidrokarbonlar
HDC	: Highway Driving Cycle
Li-İyon	: Lityum-İyon
LPG	: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
Ni-Mh	: Nikel-Metal hidrit
NO_x	: Azotoksitler
PM	: Partikül Madde
SAM	: Sistem Analizi Yönetimi
SULEV	: Süper Ultra Düşük Emisyonlu Taşıt
ULEV	: Ultra Düşük Emisyonlu Taşıt

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Bazı enerji depolama araçlarının kütle ve hacimce enerji yoğunlukları.	4
Çizelge 5.1 : Debriyaj kavrama miktarının bir fonksiyonu olarak basınç kuvveti....	80
Çizelge 5.2 : Dişli kutusu kullanıcı tanımlı değişkenleri.....	81
Çizelge 5.3 : İçten yanmalı motorun tam yük moment karakteristiği	83
Çizelge 5.4 : İçten yanmalı motorun yüksüz halde motor freni moment karakteristiği.....	83
Çizelge 5.5 : Elektrik makinesi moment karakteristiği.	86
Çizelge 5.6 : Bataryanın şarj oranına bağlı olarak gerilimi.	87
Çizelge 5.7 : Katalitik dönüştürücünün NO _x dönüşüm verimi.....	91
Çizelge 5.8 : Katalitik dönüştürücünün CO dönüşüm verimi.....	92
Çizelge 5.9 : Katalitik dönüştürücünün HC dönüşüm verimi.....	94
Çizelge 5.10 : Katalitik dönüştürücünün egzoz gazı enerjisinin ısıtan oranı	95
Çizelge 5.11 : Taşıt hızına bağlı yuvarlanma direnci faktörü.....	97
Çizelge 6.1 : Simülasyon koşullarının özet sunumu.....	153
Çizelge A.1 : İçten yanmalı motorun yakıt tüketim haritası.....	164
Çizelge A.2 : İçten yanmalı motorun NO _x emisyonları haritası.....	168
Çizelge A.3 : İçten yanmalı motorun CO emisyonları haritası	172
Çizelge A.4 : İçten yanmalı motorun HC emisyonları haritası	176
Çizelge B.1 : Elektrik makinesi verimlilik haritası	180

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Avrupa dizel motor PM ve NO _x emisyon standartları.	2
Şekil 1.2 : Avrupa benzinli motor PM ve NO _x emisyon standartları.	2
Şekil 1.3 : 1861-2007 yılları arasında dünyada petrol fiyatları	3
Şekil 1.4 : Ülkelere göre tahmini petrol rezervi tükenme eğilimi	3
Şekil 2.1 : Şehir dışı sürüşlerde enerji kayıpları	11
Şekil 2.1 : Şehir içi sürüşlerde enerji kayıpları.....	11
Şekil 2.3 : Taşıtlarda seyir dirençleri.....	12
Şekil 2.4 : Taşıtlarda hava direncine yol açan hava akımları	13
Şekil 2.5 : İçten yanmalı motorun ortalama efektif basınç ve dönme hızına göre özgül yakıt tüketimi ve optimum sürüş eğrileri	17
Şekil 3.1 : Seri hibrit elektrikli taşıt yapısı	26
Şekil 3.2 : Paralel hibrit elektrikli taşıt yapısı	27
Şekil 3.3 : Bölünmüş paralel hibrit elektrikli taşıt yapısı	29
Şekil 3.4 : Seri-paralel hibrit elektrikli taşıt yapısı	29
Şekil 4.1 : GKA ana penceresi.....	37
Şekil 4.2 : Taşıt modelleyici	38
Şekil 4.3 : Bağlantılar	39
Şekil 4.4 : Veriyolu penceresi.....	39
Şekil 4.5 : İçten yanmalı motor kontrol parametreleri diyalog alanı penceresi.....	41
Şekil 4.6 : NO _x emisyonları harita düzenleyicisi.....	42
Şekil 4.7 : Eş zamanlı görüntüleme	43
Şekil 4.8 : Taşıt modülü kontrol parametreleri ve kullanıcı tanımlı değişkenler penceresi.....	47
Şekil 4.9 : Kavrama modülü kontrol parametreleri ve kullanıcı tanımlı değişkenler penceresi.....	50
Şekil 4.10 : İçten yanmalı motor modülü kontrol parametreleri ve kullanıcı tanımlı değişkenler penceresi	58
Şekil 4.11 : Elektrik makinesi modülü kontrol parametreleri ve kullanıcı tanımlı değişkenler penceresi	63
Şekil 4.12 : Batarya modülü kontrol parametreleri ve kullanıcı tanımlı değişkenler penceresi.....	65
Şekil 4.13 : Egzoz sistemi modülü kontrol parametreleri ve kullanıcı tanımlı değişkenler penceresi	70
Şekil 4.14 : Tekerlek / Lastik modülü kontrol parametreleri ve kullanıcı tanımlı değişkenler penceresi	73
Şekil 5.1 : Hibrit elektrikli taşıta dönüşüm modeli yapısı	76
Şekil 5.2 : Volkswagen Golf V'in AVL CRUISE modeli.....	77
Şekil 5.3 : AVL CRUISE hibrit elektrikli taşıta dönüşümü modeli	78
Şekil 5.4 : İçten yanmalı motorun tam yük moment karakteristiği	83
Şekil 5.5 : İçten yanmalı motorun yüksüz halde motor freni moment karakteristiği	84
Şekil 5.6 : Bataryanın şarj oranına bağlı olarak gerilimi	88

Şekil 5.7 : Katalitik dönüştürücünün NO _x dönüşüm verimi	92
Şekil 5.8 : Katalitik dönüştürücünün CO dönüşüm verimi.....	93
Şekil 5.9 : Katalitik dönüştürücünün HC dönüşüm verimi.....	95
Şekil 5.10 : Katalitik dönüştürücünün egzoz gazı enerjisinin ısıtan oranı.....	96

SEMBOLLER

$^{\circ}$	: derece
$^{\circ}\text{C}$	: derece Celsius
A	: Amper
As	: Ampersaniye
h	: saat
J/K	: Joule/Kelvin
J/kgK	: Joule/kilogram Kelvin
K	: Kelvin
kg	: kilogram
kg/h	: kilogram/saat
kgm²	: kilogram metrekare
kgm³	: kilogram metreküp
kg/m³	: kilogram/metreküp
kJ/kg	: kiloJoule/kilogram
km/h	: km/saat
kW	: kiloWatt
kWh	: kiloWattsaat
l	: litre
l/h	: litre/saat
l/100 km	: litre/100 km
m³	: metreküp
mbar	: milibar
MJ	: Mega Joule
m²	: metrekare
mm	: milimetre
N	: Newton
Nm	: Newtonmetre
rad/s	: radyan/saniye
rpm	: devir/dakika
s	: saniye
TL	: Türk Lirası
V	: Volt
W	: Watt
Wh	: Wattsaat
W/K	: Watt/Kelvin

İÇTEN YANMALI MOTORLU BİR TAŞITIN BASİT BİR HİBRİT ELEKTRİKLİ TAŞITA DÖNÜŞÜMÜ İÇİN BİR MODEL

ÖZET

Son yıllarda dünyada motorlu taşıtların emisyonları için gittikçe daha sıkı kısıtlamalar içeren yönetmelikler uygulamaya konulmuştur ve konulmaya devam edilmektedir. Günümüzde varılan noktada artık, içten yanmalı motorlarda emisyonları azaltmak çok zor hale gelmiştir. Buna ek olarak, artık sıfır emisyonlu taşıt hedefi de yakın görünmektedir ve bu hedefe ulaşmak için içten yanmalı motorlardan vazgeçilmesi gerekmektedir. Ek olarak, petrol fiyatlarındaki artış ve fosil yakıtların sınırlı olması da alternatif tahrik sistemlerinin devreye alınması gerektiğini göstermektedir.

Bu durumun nihai çözümü olan saf elektrikli taşıtlar günümüzde, henüz tüketici performans ve menzil gerekliliklerini karşılamaktan çok uzak ve aynı zamanda yüksek maliyetli kalmaktadırlar. Bundan dolayı, yakın gelecekte saf elektrikli taşıtlar yaygın bir çözüm olmayacak gibi görünmektedir.

Bu yüzden günümüzde, hibrit elektrikli taşıtlar, yakıt tüketimini ve emisyon salınımını düşürerek sorunların boyutunu küçülten, buna karşın uygulanması kolay bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Bu çözüm, şu anda fosil yakıt tüketimini ve zararlı atıkları azaltmak için en kolay uygulanabilir ve en çabuk geliştirilebilir alternatif olarak görünmektedir.

Yine de hibrit elektrikli taşıtlar, maliyet engelleri yüzünden hala sıklıkla tercih edilen bir seçenek olamamaktadırlar. Oysa ki, düşük maliyetli bir hibrit elektrikli taşıt dönüşüm seçeneği mevcut olsa, tüketiciler yeni bir taşıt almanın maliyetine katlanmak zorunda kalmadan, sınırlı da olsa hibrit elektrikli taşıtların avantajlarından faydalanabileceklerdir.

Bu tezde düşük maliyetli, basit, kolay uygulanabilir bir geleneksel taşıttan hibrit elektrikli taşıta dönüşüm modeli sunulmuştur. Bu modelle hedeflenen, düşük maliyetle hibrit elektrikli taşıtların avantajlarını büyük oranda sunabilen ve aynı zamanda sağladığı yakıt tasarrufu ile maliyetini karşılayabilecek bir çözüm olmuştur.

Sunulan modelin değerlendirilmesi için AVL CRUISE programında simülasyon koşulları gerçekleştirilmiştir. Koşullarda Avrupa şehir içi (ECE-15) ve İstanbul seyir çevrimleri kullanılmıştır. Daha sonra İstanbul çevrimi ile karşılaştırılmak üzere geleneksel içten yanmalı motorlu taşıt ve İstanbul çevriminde en iyi sonuçları veren batarya tipine ve rejeneratif frenlere sahip hibrit elektrikli taşıt dönüşüm modeli FTP75 seyir çevriminde denenmiştir.

Koşullarda, Nikel-Metal hidrit ve Lityum-İyon olmak üzere iki farklı batarya tipi kullanılmış, her hibrit elektrikli taşıt dönüşüm modelinde rejeneratif fren kullanmanın maliyet ve çevre analizinin yapılabilmesi için, diğer şartlar sabit kalmak üzere, rejeneratif frenli ve rejeneratif frensiz olmak üzere her iki durum için de koşullar yapılmıştır. Ayrıca günlük kullanım menzilleri farklı kullanıcılar için farklı uzunlukta koşullar da yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre, sunulan hibrit elektrikli taşıt modeline en uygun seyir çevrimi belirlenmiş, farklı batarya tipleri birbirleri ile kıyaslanmış, rejeneratif frenlemenin önemi irdelenmiş, farklı mesafeler için maliyet ve çevre analizleri gerçekleştirilmiştir. Çevre analizi yapılırken, elektrik tüketiminden kaynaklanan karbondioksit emisyonları da analize dahil edilmiştir. Bu sayede her seyir çevriminde maliyet ve çevre açısından en iyi performansı veren durumlar belirlenmiştir.

Maliyet ve çevre analizlerinin sonucunda ise genel bir değerlendirme yapılarak, sunulan hibrit elektrikli taşıta dönüşüm modelinin hangi şartlarda kullanımının yararlı olabileceği ve dönüşüm için kullanılabilecek batarya tipi ile rejeneratif frenlemenin kullanılması gereken durumlar hakkında önerilerde bulunulmuştur. Zamanla birlikte gelişecek teknolojiler ve artması beklenen akaryakıt fiyatları ile sunulan modelin gelecekteki verim ve ekonomikliği de değerlendirilmiştir.

A MODEL FOR THE CONVERSION OF A VEHICLE WITH AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE TO A SIMPLE HYBRID ELECTRIC VEHICLE

SUMMARY

In recent years, throughout the world, more and more stringent regulations about the emissions of motor vehicles have been applied and new regulations with further limitations on emissions will be applied in the near future. Today, it became quite difficult to reduce the emissions of internal combustion engines further. In addition, the zero emission vehicle target is nearer than ever now and to reach it, the use of the internal combustion engine should be left. Furthermore, the raise in oil prices and the limited reserves of fossile fuels are showing the necessity of the use of alternative powertrain systems.

Pure electric vehicles, which are the final solution of this issue, are still far away of complying with performance and range requirements of customers and they are also very costly. Because of this, pure electric vehicles do not seem to be a widespread solution in the near future.

Today, hybrid electric vehicles are standing out as an easily applicable solution reducing both fuel consumption and emissions and thus, reducing the size of the problem. This solution seems to be the easiest alternative to apply and develop in order to reduce fossile fuel consumption and emissions.

However, hybrid electric vehicles cannot be an often preffered choice because of cost barriers. Whereas, if a low cost hybrid electric vehicle conversion option was present, although limited, consumers could benefit from the advantages of hybrid electric vehicles without undergoing the cost of buying a new vehicle.

In this thesis work, a simple, easily applicable model is presented for the conversion of a conventional vehicle to a hybrid electric vehicle. The target with this model is a low cost solution which offers the majority of the advantages of a hybrid electric vehicle and covers at the same time its own cost with the fuel saving it does.

For the evaluation of the presented model, simulation runs are done in the program AVL CRUISE. European city (ECE-15) and Istanbul driving cycles are used in the runs. Afterwards, to compare with Istanbul driving cycle, the conventional vehicle with the internal combustion engine and the hybrid electric vehicle conversion model with the battery type and regenerative brakes with which it had the best results for the Istanbul driving cycle are tried in the FTP75 driving cycle.

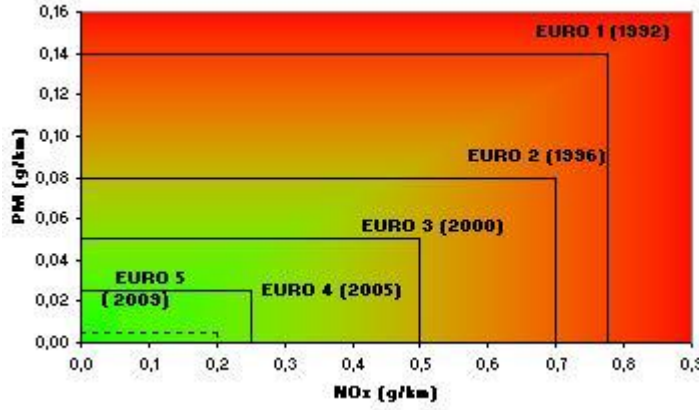
In the simulation runs, two types of batteries as Nickel-Metal hydrid and Lithium-Ion are used. For every hybrid electric conversion model, in order to do the cost and environment analysis of using regenerative brakes, simulation runs are done for the two cases of having regenerative brakes or not having them. In addition, the runs are done for different distances in order to determine how good the model is for users with different daily driving distances.

According to the results obtained, the most suitable driving cycle for the presented hybrid electric vehicle is determined, different battery types are compared with each other, the importance of regenerative brakes is assessed and cost and environment analyses for different daily distances are done. When doing the environment analyses, carbondioxide emissions originated from the consumption of electric energy are also included. Thus, for every driving cycle, the layout for the best performance in terms of cost and environment is determined.

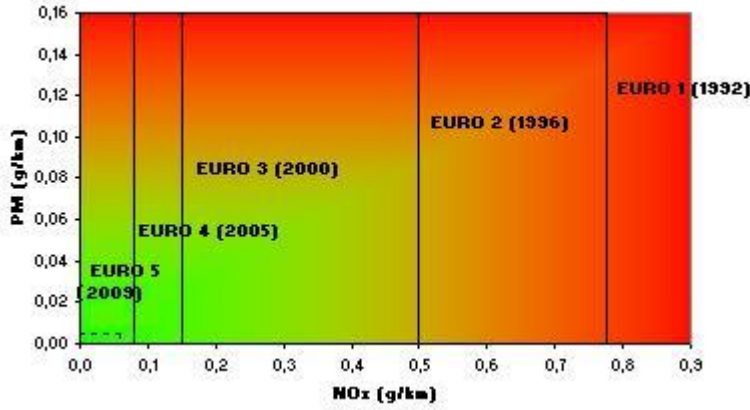
As the result of the cost and environment analyses, a general evaluation is made and suggestions are given about under which conditions the presented hybrid electric vehicle conversion model is advantageous to use, which battery type to use for the conversion and under which conditions the regenerative brakes should be used. The efficiency and economy of the presented model in the future, with more developed technologies with time and with the fuel prices which are expected to rise, is also evaluated.

1. GİRİŞ

Sanayi devriminin yol açtığı çevre kirliliğinin olumsuz sonuçları insanları özellikle 20. yüzyıl boyunca ve sonrasında çevrenin kirletilmesini azaltma konusunda çaba göstermeye itmiştir. Ancak aynı yüzyıl, içten yanmalı motorların ve içten yanmalı motorlu taşıtların geliştirildiği ve özellikle kara ulaşımına damga vurduğu bir dönem olmuştur ve en azından 21. yüzyılın ilk çeyreği boyunca içten yanmalı motorların kara ulaşımında önemli olmaya devam edeceği gözlenmektedir. İçten yanmalı motorların çevreye olan etkileri de bu dönemde gittikçe daha önemli bir konu haline gelmiştir ve hemen her ülke tarafından taşıtların çevreye yaydıkları zararlı maddeler hakkında gittikçe daha sıkı kısıtlamalar içeren yönetmelikler uygulamaya konulmuştur. (Şekil 1.1 ve Şekil 1.2) [1]. Bu yönetmelikler, ilkin, insan sağlığını korumaya odaklanarak zehirli gazların salınımını azaltmaya yönelik ve teknolojinin elverdiği ölçüde sıkı olmuşlarsa da, zamanla motorlu taşıtların sayısındaki hızlı artışla egzoz gazlarının hem insan sağlığını daha fazla tehdit etmesi hem de asit yağmurları ve küresel ısınma gibi büyük çevre felaketlerine yol açabilecek tehditlerin varlıklarını hissettirmeleriyle birlikte gittikçe sıfır emisyonla daha fazla yaklaşmışlardır. Günümüzde varılan noktada artık, daha önce uygulanan yanmayı iyileştirecek önlemler (fakir karışım, yüksek basınçlı ve doğrudan püskürtme sistemleri, kademeli dolgu, aşırı doldurma, silindir başına daha çok ve değişken zamanlamalı subaplar) ve egzoz gazının arıtılması için kullanılan yöntemlerde (üç yollu katalitik dönüştürücüler, oksidasyon katalizörleri, partikül filtreleri, egzoz gazı resirkülasyonu, seçici katalitik indirgeme sistemleri) emisyonları azaltma yolunda geliştirilebilecek fazla bir alan kalmamıştır. Kaldı ki artık sıfır emisyonlu taşıt hedefi de gündemdedir ve bu hedefe ulaşmak için içten yanmalı motorlardan vazgeçilmesi gerekmektedir [2].

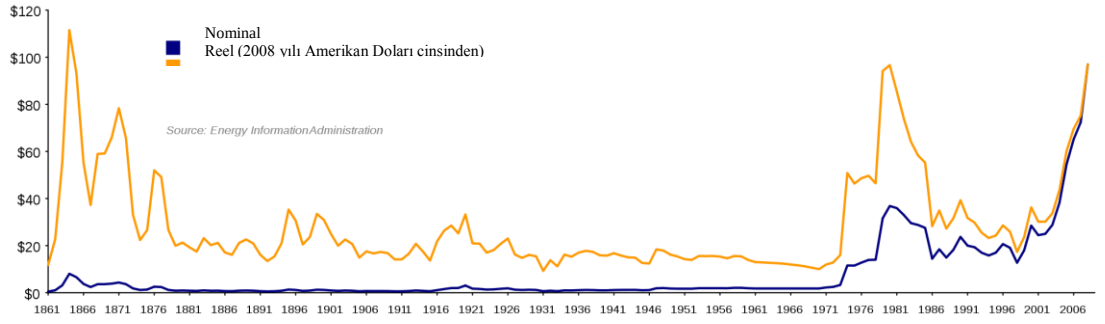


Şekil 1.1: Avrupa dizel motor PM ve NOx emisyon standartları

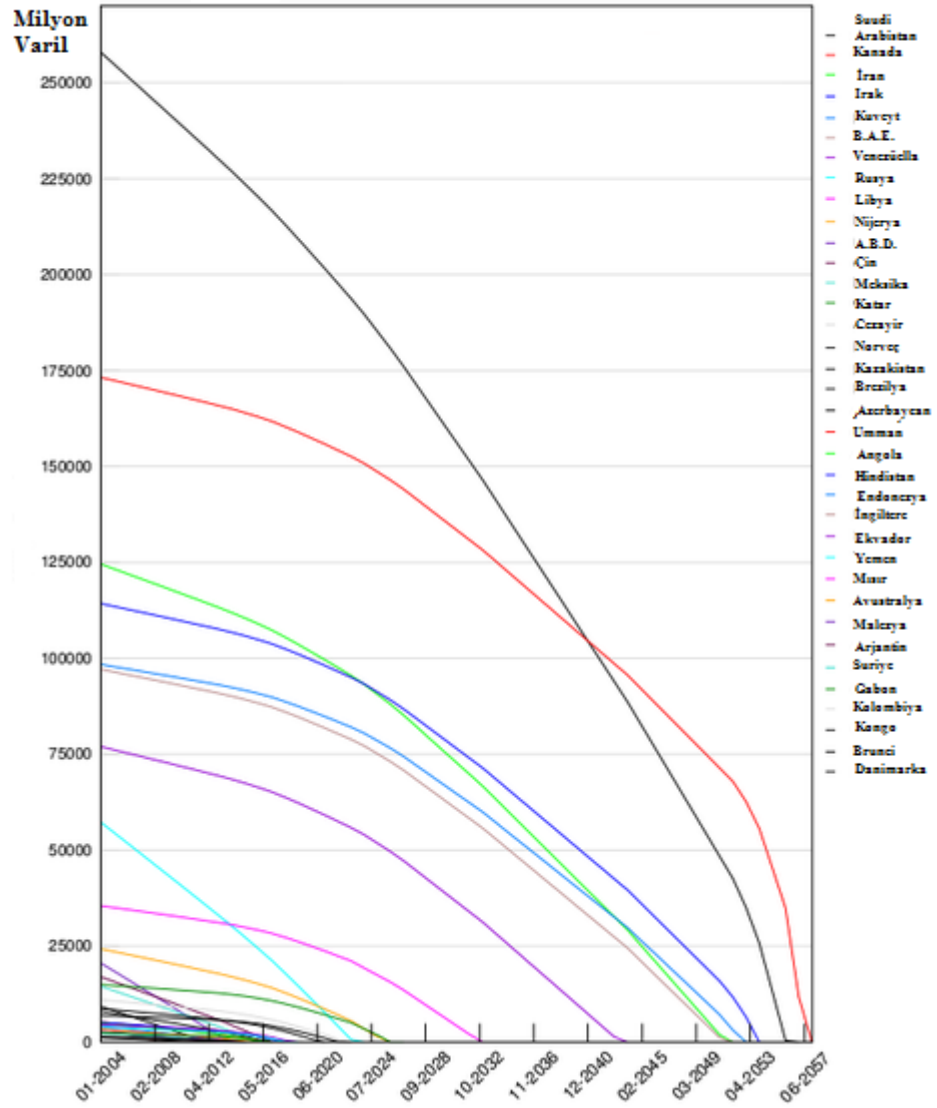


Şekil 1.2: Avrupa benzinli motor PM ve NOx emisyon standartları

Buna ek olarak kullanılan taşıt sayısındaki hızlı artışla birlikte, özellikle 1970li yılların başından itibaren, içten yanmalı motorlar için vazgeçilmez olan fosil yakıtlar ve bunlardan içten yanmalı motorlar için en uygun yakıt bileşimini içeren petrolün fiyatı yüksek oranlarda artmıştır. (Şekil 1.3) [3]. Bu artış daha düşük tüketimli taşıtların üretilmesini zorunlu hale getirmiştir. Gelecekte de petrol fiyatlarının artması öngörülmektedir [3]. Petrol dahil bütün fosil yakıtların rezervlerle sınırlı olması ve şimdiye kadar bulunmuş rezervlerin tahminlere göre 50 yıldan daha kısa zamanda tükenecek olması (Şekil 1.4) hem içten yanmalı motorlu taşıtların yakıt tüketimlerinin daha da düşürülmesi hem de alternatif tahrik sistemlerinin geliştirilmesi için ek bir motivasyondur.



Şekil 1.3: 1861-2007 yılları arasında dünyada petrol varil fiyatları



Şekil 1.4: Ülkelere göre tahmini petrol rezervi tükenme eğilimi

1.1 Yakıt Tüketimi ve Emisyon Sorunları İçin Olası Çözümler

Bu konuda öncelikle kesin çözüm olarak sadece batarya ve elektrik motoru kullanılan taşıtlar ön plana çıkmaktadır. Saf elektrikli taşıt olarak adlandırılabilen bu taşıtlarda içten yanmalı motor bulunmadığı için yanma olayı gerçekleşmeyecek ve taşıttaki yakıt tüketimi ve emisyonlar sıfır olacaktır. Saf elektrikli taşıtlar, mevcut batarya teknolojileri ele alındığında, bu bataryaların birim ağırlık ve birim hacim başına enerji yoğunlukları fosil yakıtlara göre, Çizelge 1.1’de [4] görüldüğü üzere çok daha düşük olduğundan dolayı ağırlık fazlası ve depolanan enerji yetersizliği yüzünden günümüzün tüketici performans ve menzil gerekliliklerini karşılamaktan çok uzak kalmaktadırlar. Buna ek olarak maliyetleri de içten yanmalı motorlu taşıtlara göre çok yüksek kalmaktadır. Bu sebeplerden dolayı mevcut batarya teknolojileri ile yaygın kullanım sağlanması pek mümkün görünmemektedir. Ancak, gelecekte batarya teknolojilerinde sağlanacak gelişmeler, bu durumu değiştirebilir.

Çizelge 1.1: Bazı enerji depolama araçlarının kütle ve hacimce enerji yoğunlukları.

Enerji depolama aracı	Kütlece enerji yoğunluğu (MJ/kg)	Hacimce enerji yoğunluğu (MJ/l)
Sıvı hidrojen	143	10,1
700 bar basınçlı hidrojen	143	5,6
CNG (Doğal gaz, 250 bar)	53,6	9
LPG propan	49,6	25,3
LPG butan	49,1	27,7
Benzin	46,4	34,2
Motorin	46,2	37,3
Lityum-İyon batarya	0,46-0,72	0,83-0,9
Nikel-metal hidrit batarya	0,25-0,4	0,493-1,55
Kurşun-asit batarya	0,14	0,36

Mevcut batarya teknolojileri yetersiz kaldığından, Çizelge 1.1’den görülebileceği gibi, kütlece enerji yoğunluğu yüksek bir yakıt olan hidrojenden yakıt hücreleriyle elektrik üretmek ve taşıtı bu yakıt hücrelerinden beslenen elektrik motorlarıyla tahrik etmek bir başka akılcı çözümdür.

Ancak günümüzde ne hidrojenin üretimi, ne de taşınması ve depolanması konusunda yeterince verimli bir çözüm geliştirilmemiştir, ayrıca bunun için gerekli altyapı da mevcut değildir. Bunların dışında hidrojen yakıt hücreleri de henüz seri üretim yapılacak düzeyde düşük maliyetli, güvenli ve güvenilir değildir. Bu yüzden bu çözüm de yakın gelecekte uygulanabilir bir çözüm değildir [5].

Bir başka çözüm ise içten yanmalı motorlarda yakıt olarak doğal gaz kullanılmasıdır. Bu çözüm, emisyonlar konusundaki sorunu ortadan kaldırırsa da, petrol fiyatlarındaki artışın bir benzerinin, petrolün yerine kullanılabildiği için doğal gazda da gözleniyor olması ve aynı petrol gibi yaygın kullanım halinde çok kısa sürede tükenbilmesinden dolayı yakıt tüketimi ve emisyon sorunlarını kalıcı ve sürdürülebilir bir şekilde çözemeyeceği ortadadır.

Günümüzde yakıt tüketimini ve emisyon salınımını sıfıra indirmese de önemli ölçüde azaltarak sorunların boyutunu küçülten, buna karşın uygulanabilirliği çok yüksek bir çözüm daha mevcuttur. Bu çözüm, taşıtlarda içten yanmalı motora ek olarak taşıt içten yanmalı motorla birlikte veya ondan bağımsız olarak tahrik edebilen bir elektrik motoruna ve bu elektrikli motoru besleyecek bir bataryaya yer verilmesidir. Hibrit elektrikli taşıt olarak adlandırılan bu taşıtlar, şu anda fosil yakıt tüketimini ve zararlı atıkları azaltmak için en kolay uygulanabilir ve en çabuk geliştirilebilir alternatif olarak görünmektedir. Bu kavram, aynı zamanda sadece elektrik motoruyla tahrik sistemine giden yolda, batarya teknolojilerinin geliştirilmesine daha fazla kaynak ayırmak adına da umut vericidir. Mevcut teknolojiyle uygulanabilecek olması da bu kavramın öne çıkmasını sağlamıştır. Hibrit elektrikli taşıtlar bir ara çözüm oldukları için geleneksel içten yanmalı motorlu taşıtlarla, saf elektrikli taşıtlar arasındaki yelpazede farklı tahrik yükü paylaşılma oranlarına sahip ve farklı sistemler içeren farklı çeşitler halinde bulunabilirler.

1.2 Hibrit Elektrikli Taşıtların Tarihçesi ve Bugünkü Durumu

Hibrit elektrikli taşıtların tarihi, ilginçtir ki neredeyse otomobilin tarihi kadar eskidir. Ancak başlarda, hibritleşmenin amacı yakıt tüketimini azaltmaktan çok, düşük devirlerde güçsüz olan içten yanmalı motorun performansını desteklemektir. Çünkü aslında başlangıçta, içten yanmalı motor elektrik motoruna göre çok daha az gelişmişti.

İlk iki hibrit elektrikli taşıt 1899 Paris otomobil fuarında ortaya çıkmıştır. Bunlardan Belçikalı Pieper adlı şirket tarafından üretileni küçük hava soğutmalı bir benzinli motorun bir elektrik motoru ve kurşun-asit bataryalarla desteklendiği bir paralel hibrit taşıttı. Bataryalar, benzinli motor tarafından taşıt yokuş aşağı inerken veya durduğunda şarj ediliyordu. Elektrikli motor da, benzinli motorun yetersiz kaldığı zamanlarda destek olarak devreye giriyordu. Bu taşıt dünyanın ilk paralel hibrit elektrikli taşıtı olmasının yanı sıra ilk elektrikli marş motoru olan taşıtıydı. Fuardaki diğer hibrit elektrikli taşıt ise Vendovelli ve Priestly adındaki Fransız bir şirket tarafından saf elektrikli bir taşıttan türetilmişti. Üç tekerlekli bu seri hibrit elektrikli taşıtın arka tekerleri birbirinden bağımsız birer elektrik motoru tarafından tahrik ediliyordu ve taşıt tarafından çekilen bir römorkta bulunan bir benzinli motor ve jeneratörle bataryalar şarj edilerek aracın menzili uzatılıyordu.

Bu tarihten sonra 1914'e kadar pek çok hibrit elektrikli taşıt üretildi. Bunların amacı ilk iki örnekte olduğu gibi yakıt tüketimi ve emisyonları azaltmak değil, içten yanmalı motorun gücünü desteklemek veya elektrikli motorun menzilini uzatmaktı. Ancak Birinci Dünya Savaşı'nda içten yanmalı motorlarda kaydedilen gelişmelerle küçük benzinli motorlardan bile yüksek güçler elde edilebilir olması ve artan verimlilik, elektrik motorunun desteğine veya verimliliğine duyulan ihtiyacı ortadan kaldırdı. Elektrik motorunun ek maliyeti ve kurşun-asit bataryaların çevreye zararı hibrit elektrikli taşıtların piyasadan silinmesine neden oldu.

İlk hibrit elektrikli taşıtların devamının gelmemesinin bir başka sebebi ise güç elektroniğinin 1960'lı yılların ortasına değin kullanılabılır durumda olmamasıydı. Bu durum, hibrit elektrikli taşıtların kontrolünün mekanik anahtar ve dirençlerle yapılmasını zorunlu kıldığından kontrol konusunda kısıtlayıcı bir durum oluşturuyordu. Güç elektroniğinin gelişmesiyle 1960'ların sonlarından itibaren yeniden hibrit elektrikli taşıtlar geliştirilmeye başlanmıştır. 1973 ve 1977'de yaşanan petrol krizleri de elektrikli taşıtlarla birlikte hibrit taşıt çalışmalarını hızlandırmıştır ancak buna rağmen güç elektroniği, batarya ve elektrik motoru teknolojilerinin yetersizliği yüzünden seri üretime geçen hibrit elektrikli taşıt olmamıştır. Bunun yerine, 1980'ler boyunca taşıt boyutlarının küçülmesi, katalitik dönüştürücüler ve benzinli motorlarda yakıt enjeksiyonunun yaygınlaşması ile sorunların boyutu küçültülmüştür.

1990'lara gelindiğinde, elektrikli taşıtların asla yaygın kullanıma erişemeyeceği düşüncesi hibrit elektrikli taşıtlara olan ilgiyi artırmıştır. Bunun bir örneği olarak Ford tarafından üniversitelerin üretimdeki otomobillerin hibrit versiyonlarını geliştirmeleri için Ford Hibrit Elektrikli Taşıt Yarışması başlatılmıştır. Tüm dünyada yüksek yakıt ekonomisi sağlayan hibrit elektrikli taşıt prototipleri üretilirken A.B.D. hükümeti 80 mpg (2,94 l/100km) yakıt ekonomisi hedefli orta büyüklükte bir sedan da içeren Yeni Jenerasyon Taşıtlar için Ortaklık programını başlatmıştır. Bu program kapsamında Ford Prodigy ve GM Precept ortaya çıkmıştır. Bu küçük turbodizel motorlu, paralel hibrit elektrikli taşıtlar bu hedefi yakalamış ancak seri üretim gerçekleşmemiştir.

Avrupa'da ise Renault Next isimli 750 cc'lik benzinli bir motor ve iki elektrik motoru kullanan paralel hibrit elektrikli taşıtıyla, geleneksel taşıtlara eş bir son hız ve hızlanma performansını, 3,4 l/100km'lik yakıt ekonomisi ile birlikte sunmuştur. Volkswagen ise Chico isimli Nikel-Metal hidrit batarya ve üç fazlı indüksüyon elektrik motoru ile iki silindirli küçük bir benzinli motor içeren bir paralel elektrikli hibrit taşıt prototipi üretmiştir. Ancak bunlar da seri üretime geçememiştir. [6]

Hibrit elektrikli taşıtların geliştirilmesi ve ticarileştirilmesi konusunda en büyük başarıyı Japon üreticiler yakalamıştır. 1997'de Japonya'da Toyota tarafından satışa sunulan Prius, dünyanın ilk seri üretim hibrit elektrikli taşıtı olmuştur. Bu taşıt 43 kW'lık 4 silindirli 1,5 l hacminde bir benzinli motor ile Nikel-Metal hidrit bataryalardan beslenen 30 kW'lık bir elektrik motorunu birleştiren paralel hibrit elektrikli bir taşıt idi.

Ardından Honda, 1999'da Insight ve 2003'te Civic Hybrid model isimleriyle paralel hibrit elektrikli taşıtlar piyasaya sunmuştur. Honda Insight 52 kW'lık 3 silindirli 1,0 l hacminde bir benzinli motor ile Nikel-Metal hidrit bataryalardan beslenen 9,7 kW'lık bir elektrik motorunu birleştirmekteydi. A.B.D'deki Enerji Politikası Kanunu'na (EPA) göre şehir dışında 3,4 l/100km, şehir içinde 3,9 l/100km yakıt ekonomisine sahip bu taşıtın 5 vitesli versiyonu California Hava Kaynakları Kurulu (CARB) tarafından Ultra Düşük Emisyonlu Taşıt (ULEV) olarak sınıflandırılırken, sürekli değişken oranlı vitesli (CVT) versiyonu Süper Ultra Düşük Emisyonlu Taşıt (SULEV) olarak sınıflandırılmıştır.

2001’de A.B.D. pazarı için güçlendirilen Prius’ta bu sefer değişken subap zamanlamalı 52 kW’lık 4 silindirli 1,5 l hacminde bir benzinli motor ile 33 kW’lık bir elektrikli motor kullanılmıştır. EPA’ya göre şehir dışında 5,7 l/100km, şehir içinde 5,6 l/100km yakıt ekonomisine sahip bu taşıt da CARB tarafından SULEV olarak sınıflandırılmıştır.

2004’te ikinci jenerasyonu satışa sunulan Toyota Prius’ta 1,5 l hacmindeki benzinli motorun gücü 57 kW’a, elektrik motorunun gücü ise 50 kW’a çıkarılmıştır. EPA’ya göre şehir dışında 5,2 l/100km, şehir içinde 4,9 l/100km yakıt ekonomisine sahip taşıt bu sefer, CARB tarafından SULEV olarak sınıflandırılmasının yanı sıra Gelişmiş Teknoloji – Kısmi Sıfır Emisyonlu Taşıt (AT-PZEV) olarak sertifikalandırılmıştır.

2009 yılında Toyota Prius’un üçüncü versiyonu satışa sunulmuş, bu sefer değişken subap zamanlamalı 4 silindirli benzinli motorun hacmi 1,8 l’ye, gücü ise 73 kW’a çıkarılırken, elektrik motorunun gücü 60 kW’a çıkarılmıştır. Taşıt, bu güç artışına rağmen EPA’ya göre şehir dışında 4,9 l/100km ve şehir içinde 4,6 l/100km’lik bir yakıt ekonomisi yakalamış ve AT-PZEV sertifikasyonunu devam ettirmiştir.

2009 yılında satışa sunulan Honda Insight’in ikinci versiyonunda ise değişken subap zamanlamalı 73 kW’lık 4 silindirli 1,3 l hacminde bir benzinli motor ile yine 9,7 kW’lık bir elektrikli motor kullanılmıştır. EPA’ya göre şehir dışında 5,5 l/100km ve şehir içinde 5,9 l/100km’lik bir yakıt tüketimine sahip olan taşıt CARB tarafından ULEV ve AT-PZEV sınıflandırmasına dahil edilmiştir.

Satış adetlerine bakıldığında, Toyota Prius ve Honda Insight’in çok başarılı oldukları söylenebilir. Prius’un ilk versiyonu dünya çapında 155.000 adet satarken, ikinci versiyonla birlikte adeta patlayan satışlarla Mayıs 2008’de toplam Prius satışı bir milyon adeti geçmiş ve Şubat 2009 itibarıyla 1,2 milyon adete ulaşmıştır. Toyota 2009 yılında Prius’un üçüncü versiyonunu çıkarırken, yıllık 400.000 adet üretim planlaması yaparken, Mayıs 2009’da talebin beklediğinden yüksek olmasıyla yıllık üretim kapasitesini 600.000 adete çıkarmıştır. Honda ise Insight’in ikinci versiyonu için yıllık 200.000 adetlik bir üretim planlaması yaparken Nisan 2009’da Japonya’nın en çok satan otomobil modeli olmuştur. [7, 8]

1.3 Tezin Amacı

Toyota Prius ve Honda Insight gibi hibrit elektrikli taşıtlar, yeni yüzyılın ilk on yılında önemli başarılarla imza atmış olsalar da, hibrit elektrikli taşıtlar maliyet engelleri yüzünden hala vergi teşviği olmadan tüketicilerin sıklıkla tercih ettikleri bir seçenek olamamaktadırlar. Örneğin 2008 yılında dünya çapında 449.626 hibrit elektrikli taşıt satılırken bu satışın aynı yılda dünya çapında üretilen 70 milyonu aşkın taşıt içindeki payı %1'i bile bulamamaktadır. Ayrıca, 2008 yılı verilerine göre hibrit elektrikli taşıtların %62,2'si A.B.D.'de ve %17,3'ü Japonya'da satılmış ve en çok hibrit elektrikli taşıt satılan 5 ülkenin toplam hibrit elektrikli taşıt pazarındaki payı %89,2 olmuştur. En çok hibrit elektrikli taşıt satışı gerçekleşen A.B.D.'de ise tüketicilerin çevreci bir imaja sahip olmak istemeleri satın alma kararlarında önemli bir rol oynamış ve açık farkla en çok satış yapılan eyalet, çevre politikalarına verdiği önem ve uyguladığı sıkı emisyon standartları ile bilinen California eyaleti olmuştur. Bu da göstermektedir ki, hibrit elektrikli taşıtlar, sadece gelir düzeyi yüksek olan, ciddi çevre politikalarına sahip ve bu politikalara önemli kaynaklar ayırabilen ülkelerde başarılı olabilmıştır. [9, 10]

Hibrit elektrikli taşıtların, dünyanın tamamında sıklıkla tercih edilen bir seçenek olmaları için, düşük yakıt tüketimleri dışında bir teşviğe ihtiyaç duymayacak kadar düşük maliyetlerde üretilmeleri gerekmektedir. Günümüzde büyük üreticilerin piyasaya sürdükleri hibrit elektrikli taşıtların aşırı karmaşık yapıları ve sundukları yüksek konfor düzeyi bu ölçüde düşük maliyetle üretilmelerini imkansız kılmaktadır. Ayrıca sundukları yüksek konfor düzeyinden dolayı yakıt tüketimindeki ve emisyonlardaki düşüş de sınırlı olmaktadır. Bununla birlikte, günümüzde ancak yeni bir taşıt olarak bir hibrit elektrikli taşıta sahip olmak mümkündür. Halbuki düşük maliyetli bir hibrit elektrikli taşıt dönüşüm seçeneği mevcut olsa, tüketiciler yeni bir taşıt almanın maliyetine katlanmak zorunda kalmadan, sınırlı da olsa hibrit elektrikli taşıtların avantajlarından faydalanabileceklerdir.

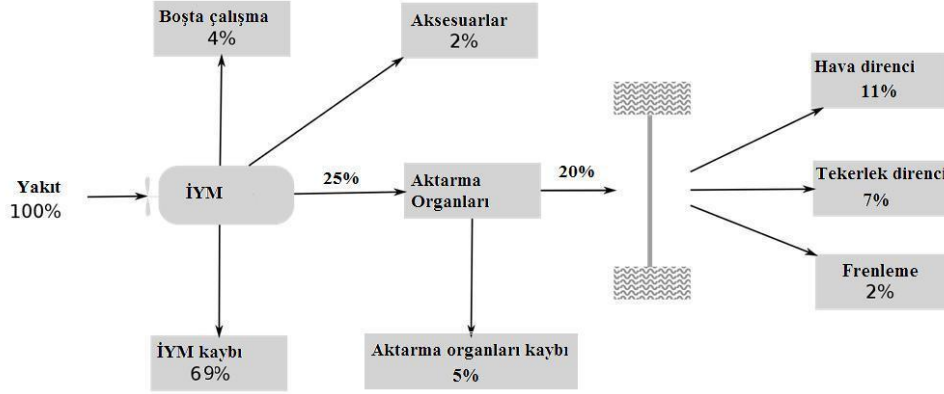
Düşük maliyetli bir hibrit elektrikli taşıt dönüşüm çözümü, aynı zamanda geleneksel taşıtlar üreten üreticilerin de düşük geliştirme maliyetleri ile hibrit elektrikli taşıtlar üretmesini mümkün kılarak, hibrit elektrikli taşıtların yaygınlaşmasını ve bu konudaki rekabeti artırarak hibrit elektrikli taşıtların geliştirilmelerine daha fazla kaynak ayrılmasını ve gelişme hızının artmasını sağlayacaktır.

Bu sayede aynı zamanda tüketiciler de farklı boyut, gövde tipi ve konfor düzeylerine sahip olan farklı sınıflarda hibrit elektrikli taşıtlara ulaşabilecektir.

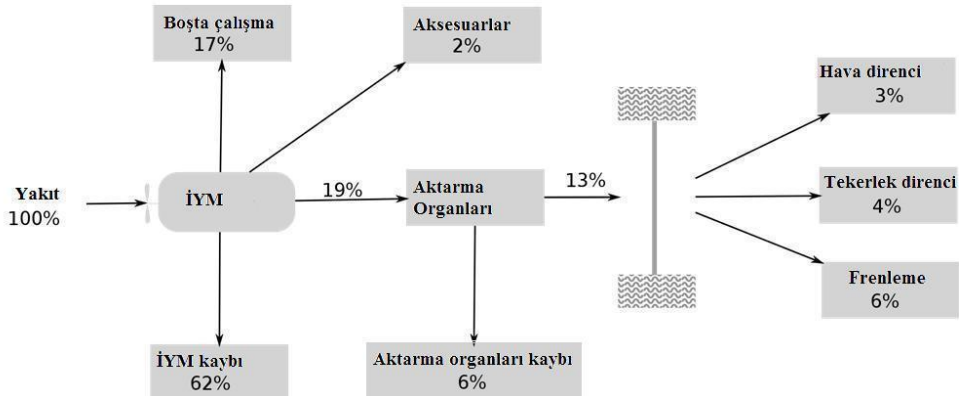
Bu tezin amacı, düşük maliyetli, basit, kolay uygulanabilir bir geleneksel taşıttan hibrit elektrikli taşıta dönüşüm modeli sunmaktır. Bu modelle hedeflenen, düşük maliyetle hibrit elektrikli taşıtların avantajlarını büyük oranda sunabilen ve aynı zamanda sağladığı yakıt tasarrufu ile maliyetini karşılayabilecek bir çözümdür. Tezde, aynı modeli kullanarak farklı müşteri tipleri için farklı çözümler üretilerek, sunulan çözümler yakıt tüketimi ve emisyonlarda sağladıkları düşüş miktarı ve sağlamaları gereken maliyet kısıtları açısından değerlendirilmiştir.

2. TAŞITLARDA YAKIT TÜKETİMİ VE EMİSYONLARA YOL AÇAN NEDENLER

Taşıtlarda tüketilen yakıttan elde edilen enerji, taşıt amacını gerçekleştirirken farklı şekillerde harcanmaktadır. Bunlardan bir kısmı taşıtın amacına hizmet ederken bir kısmı da kayıp hanesinde yerini almaktadır. Kayıpların azaltılması veya yeniden kazanılması için alınacak tedbirler, taşıtın yakıt tüketimi ve emisyonlarını azaltmaktadır. Şekil 2.1 ve Şekil 2.2’de şehir dışı ve şehir içi sürüşlerde bu kayıpların dağılımı verilmiştir [11].



Şekil 2.1: Şehir dışı sürüşlerde enerji kayıpları



Şekil 2.2: Şehir içi sürüşlerde enerji kayıpları

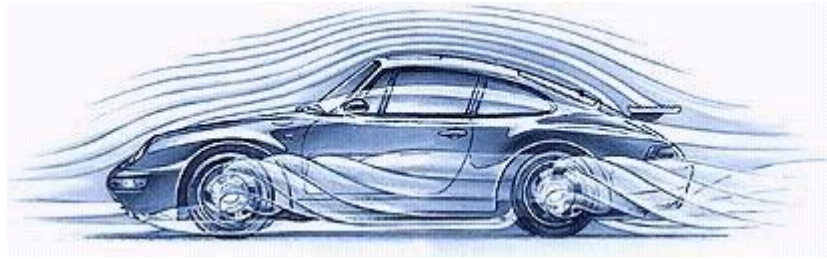
Genelde yuvarlanma direnci bu dirençlerin en büyüğüdür ve diğer tekerlek dirençleri yuvarlanma direncinin yanında ihmal edilebilirler. Ön ve arka tekerleğin yuvarlanma dirençleri ($F_{y,f}$ ve $F_{y,r}$), Denlem 2.3 ve 2.4'te görüldüğü gibi bir yuvarlanma direnci katsayısı (f_R) ve tekerleğin üstündeki dikey kuvvet ($W_{y,f}$ ve $W_{y,r}$) ile hesaplanabilir. Tekerlek dirençleri, tahrik sisteminden tamamen bağımsız olduğu için tahrik sisteminde meydana gelen değişikliklerden etkilenmez. Bu yüzden hibrit elektrikli taşıtlar bu direnci ortadan kaldıramaz.

$$F_{y,f} = f_R \cdot W_{y,f} \quad (2.2)$$

$$F_{y,r} = f_R \cdot W_{y,r} \quad (2.3)$$

2.1.2 Hava direnci

Hava içinde belirli bir hızda hareket eden bir taşıtın Şekil 2.4'te de [13] görüldüğü üzere maruz kaldığı hava akımlarından kaynaklanan dirence, hava direnci denmektedir. Denklem 2.4'de görüldüğü üzere; hava direnci (F_a), taşıtın hızının (V_r) karesiyle, taşıtın kesit alanıyla (A) ve taşıtın içinde hareket ettiği hava yoğunluğu (ρ) ile doğru orantılı iken, taşıtın biçimi de ilgili bir biçim katsayısı (c_d) ile doğru orantılı olarak bu direncin büyüklüğünü etkiler. Bu direnç de tahrik sisteminden bağımsız olmakla birlikte, tahrik elemanlarının aracın içindeki yerleşimi taşıtın biçimini ve kesit alanını etkileyebilmektedir.



Şekil 2.4: Taşıtlarda hava direncine yol açan hava akımları

$$F_a = \frac{1}{2} c_d \cdot A \cdot \rho \cdot v_r^2 \quad (2.4)$$

Hibrit elektrikli taşıtlarda, içten yanmalı motorun boyutu küçültülebildiği, ağırlığı bataryaların ağırlığı ile dengelenebildiği ve ayrıca bataryaların taşıt içindeki yerleşimi serbestçe yapılabildiği için aracın biçimi hava direncini azaltacak şekilde tasarlanabilmektedir.

Bataryalar taşıtın tabanına yerleştirildiğinde taşıt yüksekliğinde ortaya çıkan artış yüzünden artan kesit alanının hava direncine etkisi de bu sayede karşılanabilmektedir.

Yüksek hızlarda ortaya çıkan yüksek düzeydeki hava direnci, yüksek güç gerektirdiğinden ve içten yanmalı motorlar yüksek güçlerde yeterince verimli çalışabildiklerinden hibrit elektrikli taşıtlarda elektrikli motorlar yüksek hızlarda çalıştırılmamakta, bu sayede elektrikli tahrik menzili artırılırken elektrik motorunun da çok güçlü olmasına gerek kalmadığından maliyetten tasarruf edilebilmektedir.

2.1.3 Yokuş direnci

Taşıtlar yokuş aşağı veya yokuş yukarı hareket ederken ağırlıkları (G) yüzünden Şekil 2.3'te W_x olarak gösterilmiş olan ve Denklem 2.5'te gösterildiği gibi hesaplanan, yokuş aşağı yönde bir kuvvete maruz kalırlar. Bu kuvvet taşıt yokuş yukarı hareket ederken bir direnç oluştururken, taşıt yokuş aşağı hareket ederken de aracın ilerlemesine yardımcı bir kuvvet oluşturmaktadır. Taşıtın ağırlık kuvvetinin, yokuşun açısız eğiminin sinüsü oranı büyüklüğündeki bu kuvvet, taşıt yokuş aşağı hareket ederken genellikle fazla gelmekte ve frenleme ile bu kuvvetten ileri gelen enerji ısıya dönüştürülmektedir. Hibrit elektrikli taşıtlarda rejeneratif frenleme kullanıldığında bu kuvvetten kazanılacak hareket enerjisi, elektrik enerjisine dönüştürülerek bataryalarda depolanabilmekte ve daha sonra elektrik motoru ile tekrar kullanılabilir.

$$W_x = G \cdot \cos \alpha \quad (2.5)$$

Taşıt yokuş yukarı hareket ederken gereken güç ise taşıtın hızı ve yokuş direnç kuvvetiyle doğru orantılı olup, hibrit elektrikli taşıtlarla yüksek hızlarda ve yüksek eğimlerde tırmanılan yokuşlarda ihtiyaç duyulan yüksek güç, içten yanmalı motor bu güç seviyesinde yeterince verimli çalışabildiğinden, içten yanmalı motordan gerekirse elektrik motoruyla da desteklenerek karşılanmaktadır. Bu sayede yine, elektrikli tahrik menzili artırılırken hem içten yanmalı motorun hem de elektrik motorunun çok güçlü olmasına gerek kalmadığından maliyetten ve yakıt tüketiminden tasarruf edilebilmektedir.

2.1.4 İvme direnci

Taşıtlar hızlanırken veya yavaşlarken kütleleri yüzünden ivmelerinin tersi yönde bir dirençle karşılaşılır. λ sayısının dönen kütlelerin, toplam kütleye ek olarak getirdiği direnç oranını ifade ettiği Denklem 2.6’da görüldüğü gibi taşıtın kütlesi ve ivmesi ile doğru orantılı olan ivme direnci, taşıt hızlandırılırken tahrik sistemleri tarafından yenilirken, taşıt yavaşlatılırken fren sistemleri tarafından yenilmektedir.

$$F_b = \lambda \cdot m \cdot \ddot{x} \quad (2.6)$$

Geleneksel taşıtlarda, taşıt yavaşlatılırken taşıtın sahip olduğu hareket enerjisi frenleme ile ısıya dönüştürülmektedir. Hibrit elektrikli taşıtlarda ise rejeneratif frenleme kullanıldığında aracın hareket enerjisi, kısmen elektrik enerjisine dönüştürülerek bataryalarda depolanabilmekte ve daha sonra elektrik motoru ile tekrar kullanılabilir. Taşıt hızlandırılırken gereken güç ise ivme ve taşıtın o anki hızı ile doğru orantılı olup, hibrit elektrikli taşıtlarla yüksek hızlarda ve yüksek ivmelerle yapılan hızlanmalarda ihtiyaç duyulan yüksek güç, içten yanmalı motor bu güç seviyesinde yeterince verimli çalışabildiğinden, içten yanmalı motordan gerekirse elektrik motoruyla da desteklenerek karşılanmaktadır. Bu sayede yine, elektrikli tahrik menzili artırılırken hem içten yanmalı motorun hem de elektrik motorunun çok güçlü olmasına gerek kalmadığından maliyetten ve yakıt tüketiminden tasarruf edilebilmektedir.

2.2 Diğer Nedenler

2.2.1 İçten yanmalı motorun boşa çalışması

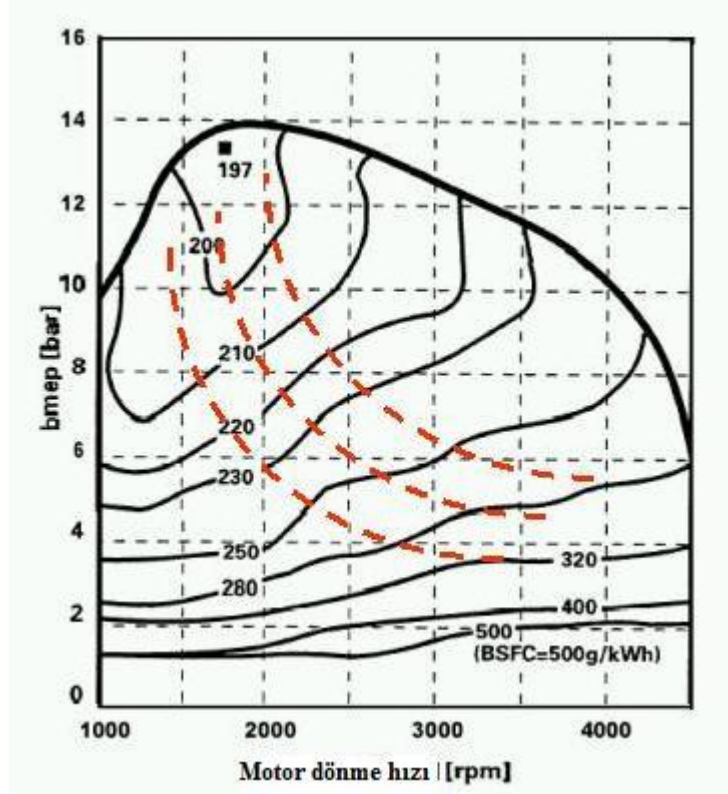
İçten yanmalı motorun doğası gereği, çok düşük dönme hızlarında verimli yanma sağlanamadığından dolayı, en azından belirli bir boşa çalışma hızında çalıştırılması gerekir. Bu durum kalkışlarda bir kavrama düzeneğine ihtiyaç duyulmasına yol açmasının yanı sıra, duraklamalarda da yakıt tüketimine ve emisyon salınımına neden olmaktadır. Özellikle şehir içi trafiğinde sıklıkla karşılaşılan trafik sıkışıklıkları, kavşaklar, trafik lambaları, yaya geçitleri vb. durumlarda yaşanan bu gereksiz yakıt tüketimi ve emisyon salınımı, önemli oranlara ulaşabilmektedir. Hibrit elektrikli taşıtlarda duraklamalarda içten yanmalı motor kapatılarak boşa çalışma sırasında yapılan yakıt tüketimi ve emisyon salınımının önüne geçilebilmektedir.

2.2.2 İçten yanmalı motorun verimi

İçten yanmalı motorlar, ateşleme avansı, püskürtme miktarı ve zamanlaması, subapların açılma ve kapanma zamanlaması ve subapların açılma miktarı gibi temel parametreler her ne kadar modern motor yönetim sistemleri ve yardımcı teknolojilerle motorun dönme hızı ve yüküne göre ayarlansa da, yine doğaları gereği, her dönme hızı ve yükte aynı verimde çalışmamaktadırlar. Bunun sonucu olarak, içten yanmalı motor verimli olduğu bölgeden düşük veya yüksek dönme sayılarında ve yüklerde çalıştırıldığında, yakıt tüketimi ve emisyon miktarında artış olmaktadır.

Bunların dışında içten yanmalı motorlarda, hareketli parçalar arasındaki sürtünmelerden, egzozla beraber kaybedilen ısıdan ve motor bloğundan dış ortama kaybedilen ısıdan dolayı da enerji kaybı olmaktadır. Bu enerji kayıplarını azaltmanın en etkili yolu motorun boyutunu küçültmektir. Çünkü motorun boyutu küçültüldüğünde hareketli parçaların hareket miktarı ve sürtünme yüzeyleri ile motor bloğunun yüzey alanı küçülür. Motorun boyutunun küçültülmesi silindir sayısında bir azaltma ile birlikte yapıldığında ayrıca hareketli parçaların adedi de azalır ve motor bloğunun yüzey alanı daha da küçülür.

Hibrit elektrikli taşıtlarda, elektrikli motor, içten yanmalı motorun verimsiz olduğu koşullarda devreye sokularak, içten yanmalı motorun Şekil 2.5'te de kırmızı çizgilerle gösterilen, sürekli verimli olduğu yük ve dönme sayılarında çalışması sağlanmaktadır ve bu şekilde yakıt tüketimi ve emisyonlar düşürölmektedir [14]. Hibrit elektrikli taşıtlarda aynı zamanda, yüksek güce ihtiyaç duyulduğunda elektrik motoru içten yanmalı motoru destekleyecek şekilde çalıştırılabildiği için içten yanmalı motorun boyutu küçültölerek yakıt tüketimi ve emisyonlarda daha da fazla düşüş sağlanabilmektedir.



Şekil 2.5: İçten yanmalı motorun ortalama efektif basınç ve dönme hızına göre özgül yakıt tüketimi ve optimum sürüş eğrileri

2.2.3 Aktarma organlarının verimi

İçten yanmalı motorlu bir taşıtta, içten yanmalı motor gücünü tekerlere sırasıyla krank mili, volan, dişli kutusu, kardan mili ve diferansiyel aracılığı ile aktarır. Bu aktarma organlarının her birinin kütlelerinden kaynaklanan birer ataleti vardır. Bu ataletler ilk kalkışı zorlaştırmaktan başka frenleme sırasında bu aktarma organlarının da yavaşlatılmasıyla, fazladan enerji kaybına yol açtıklarından dolayı yakıt tüketiminin ve emisyonların artmasında payları vardır. Ayrıca, özellikle dişliler barındıran dişli kutusu ve diferansiyelde sürtünmeden kaynaklanan kayıplar da mevcuttur.

Hibrit elektrikli taşıtlarda elektrik motoru yüksek dönme hızlarında da kullanılabildiğinden ve verimliliği dönme hızına göre daha az değiştiğinden elektrik motoru için dişli gerekliliğinin pek olmaması ve bundan dolayı elektrik motorunun tahrik kuvvetinin daha az sayıda aktarma organı kullanılarak tekerleklere aktarılması sonucunda da hibrit elektrikli taşıtlar enerji verimliliklerini artırabilmektedirler.

3. HİBRİT ELEKTRİKLİ TAŞITLAR

3.1 Tanım

Hibrit sözcüğü kelime anlamı itibarıyla “melez” anlamında gelmektedir. Otomotiv literatüründe ise hibrit taşıtlar birden fazla enerji dönüştürücü kullanılarak taşıtın tahrik edildiği taşıtlardır. Hibrit elektrikli taşıtlarda bu enerji dönüştürücülerden birinin elektrik motoru olması esastır. Günümüzde hibrit elektrikli taşıtlarda yaygın olan tahrik sistemi bir içten yanmalı motor ve bir veya birden fazla elektrik motorundan oluşmaktadır. Hibrit elektrikli taşıtlar mevcut şartlar altında bir ara çözüm oldukları için, geleneksel içten yanmalı motorlu taşıtlarla, saf elektrikli taşıtlar arasındaki yelpazede farklı tahrik yükü paylaşılma oranlarına sahip ve farklı sistemler içeren pek çok şekilde ortaya çıkabilmektedirler.

3.2 Bileşenler

3.2.1 Elektrik motorları

Elektrik motorları hibrit elektrikli taşıtların, genellikle içten yanmalı motorla birlikte tahriği sağlayan iki enerji dönüştürücüsünden biridir. Bu sebepten ve geleneksel taşıtlar genellikle içten yanmalı motorlu olduğu için elektrik motoru, hibrit elektrikli taşıtları hibrit yapan unsurdur. Bu bağlamda hibrit elektrikli taşıtlardaki en önemli eleman sayılabilir. Elektrik motorları genel olarak doğru akım (DC) ve alternatif akım (AC) motoru olmak üzere ikiye ayrılırlar.

DC motorlar, genellikle motorun hızının iyi ayarlanabilir ve kontrol edilebilir olması ile ön plana çıkar. Aynı zamanda sık durdurup çalıştırma, sık frenleme ve sık ters yönde çalıştırma gerektiren uygulamalarda daha çok kullanılırlar. Özellikle seri DC motorlar taşıt tahriği gibi yüksek başlangıç momenti ve ağır moment yüklenmelerini gerektiren uygulamalar için uygundur. Bu yüzden güç elektroniği ve mikrokontrol çağından önce elektrikli taşıt tahriği için sıklıkla kullanılmakta idiler.

Ancak seri DC motorları yük momenti olmadan tam gerilimde çalıştırılmamalıdır, yoksa hızları ani bir şekilde çok yüksek değerlere ulaşabilmektedir. Bu durum, taşıt tahriğinde kullanılmalarının önünde önemli bir dezavantajdır. Ayrıca rejeneratif frenleme konusunda güçlükler olması da seri DC motorların başka bir dezavantajıdır.

DC motorların daimi mıknatıslı fırçasız türleri ise yüksek güç yoğunluğu, yüksek hız ve yüksek çalışma verimliliği ile diğer DC motorlardan ayrılmaktadırlar. Tüm elektrikli motorların en verimlileri olan daimi mıknatıslı fırçasız DC (BLDC) motorlar küçük ve hafif bir yapıyla çok yüksek momentlere ulaşabilmeleri, kontrol kolaylığı, soğutma kolaylığı, düşük bakım, yüksek güvenilirlik ve sessizlikleri ile elektrikli taşıt tahriğinde en umut verici aday konumundadırlar. Buna rağmen, nadir bulunan daimi mıknatıslardan kaynaklanan yüksek maliyet, fazla ısınmada mıknatısların manyetik özelliklerini kaybetme tehlikesi ve yüksek hızlardaki güç yetersizliği gibi önemli sorunları da bulunmaktadır.

AC motorlarda ise bir akım çeviricisinin bulunmaması, DC motorlara göre taşıt tahriği için avantajlar getirmektedir. Günümüzde AC motorlar arasında en hazır teknoloji indüksiyon motorudur. DC motorlarla karşılaştırıldığında indüksiyon motorunun daha hafif yapısı, daha az yer kaplaması, düşük maliyeti ve yüksek verimliliği öne çıkan avantajlarıdır. Bu avantajları taşıt tahriği için kullanılmasında öne çıkmaktadırlar. Ancak batarya veya yakıt hücresi gibi bir doğru akım kaynağından besleniyor olması, doğru akımı değişken frekans ve değişken gerilime sahip bir alternatif akıma çevirecek dönüştürücüyü gerekli kılmaktadır. Genel bir doğru akımdan alternatif akıma dönüştürücü, güç elektroniği devreleri ve güç diyotlarından oluşmaktadır. Bu durum ve kontrol edilmelerinin zorluğu AC motorların karmaşık yapılı ve pahalı kontrol üniteleri ile çalışmasına yol açmıştır. [6]

3.2.2 Jeneratörler

Seri hibrit elektrikli taşıtlar gibi bazı hibrit elektrikli taşıt türlerinde içten yanmalı motor tarafından üretilen mekanik enerjiyi, bataryaları şarj etmek veya doğrudan elektrik motorunu beslemek üzere elektrik enerjisine çeviren elemanlardır. Rejeneratif frenleme amacıyla da kullanılabildiği gibi elektrik motoru da aynı zamanda jeneratör olarak kullanılabilmektedir.

3.2.3 Rejeneratif frenler

Rejeneratif frenler, aracın kinetik enerjisini elektrik enerjisine çevirerek bataryaları şarj etmek için kullanılan sistemlerdir. Bu sistemlerle, taşıttaki frenleme kayıplarını azaltmak ve elektrikli tahrik menzilini uzatmak hedeflenmektedir. Rejeneratif frenleme bağımsız bir jeneratör ile yapılabildiği gibi, elektrik motorunun da jeneratör olarak kullanılması ile yapılabilmektedir. Rejeneratif frenlerin etkili olabilmesi için taşıtın hızının çok düşük olmaması gerekmektedir. Ayrıca rejeneratif frenlemenin ivmesi, bunun için kullanılan jeneratör veya elektrik motorunun gücü ile sınırlıdır. Bunlardan dolayı taşıtın hızı çok düşük seviyelere indikten sonra taşıtı durdurmak için ve sert veya acil frenlemelerde geleneksel hidrolik frenler kullanılmaktadır. Geleneksel hidrolik frenlerin bulunması aynı zamanda rejeneratif frenlerin arıza yapması durumunda bir sigorta görevi de görebilmelerini sağlar.

3.2.4 Enerji depolama birimleri

Hibrit elektrikli taşıtlarda elektrik motorunun beslenmesi için yakıt deposundan ayrı enerji depolama birimleri bulunmak zorundadır. Hibrit elektrikli taşıtlar için yaygın olan enerji depolama birimi elektrokimyasal bataryalardır. Günümüzde en çok kullanılan çeşitleri kurşun-asit, Nikel-Metal hidrit ve Lityum-İyon bataryalardır. Ultra kondansatörler ve ultra yüksek hızlı volanlar da kullanılabilir kaynaklar olmalarına rağmen düşük enerji kapasiteleri nedeniyle pek tercih edilmemektedirler.

Kurşun-asit bataryalar bir asırdan uzun süredir başarılı bir ticari ürün olmuştur ve günümüzde de otomotiv ve diğer alanlarda yaygın kullanımı devam etmektedir. Düşük maliyeti, olgunlaşmış teknolojisi, nispeten yüksek güç verebilmesi (150-400 W/kg) ve yüksek şarj döngüsü ömrü (600 kereden fazla) avantajlarıdır. Yüksek güç verebilmesi hibrit elektrikli taşıtlarda tercih edilme nedeni olabilir. Kurşunun yüksek kütleli yoğunluğu nedeniyle kütlece enerji yoğunluğunun düşük olması (35-50 Wh/kg) ve düşük sıcaklıklarda ($<10^{\circ}\text{C}$) performansının büyük oranda düşmesi öne çıkan dezavantajlarıdır. Taşıtın ağırlığı ve farklı koşullarda çalışabilir olması önemli parametreler olduğundan dolayı, bu dezavantajları kurşun-asit bataryaların artık elektrikle taşıt tahriğinde kullanım dışı kalmasına yol açmaktadır.

Nikel-Metal hidrit (Ni-Mh) bataryalar 1992 yılından bu yana piyasada bulunmaktadır ve öncülleri Nikel-kadmiyum bataryalara benzer özellikler sergilemektedirler ancak daha yüksek enerji yoğunluğu ile zehirli ve kanserojen olmama özellikleri nedeniyle onlardan tamamen üstündürler. Bunun dışında yüksek güç verebilmesi (200-300 W/kg), yüksek şarj döngüsü ömrü (2000 kereye kadar), elektriksel ve mekanik zorlanmalara dayanıklılık, şarjı azaldığında bile gerilimin az düşmesi, çok çabuk şarj olabilmesi, geniş çalışma sıcaklığı aralığı (-40°C'tan 85°C'a), düşük kendi kendine boşalma hızı (günde %0,5'ten az), paslanmazlıktan kaynaklanan mükemmel uzun süreli saklanabilme özelliği ve çeşitli büyüklük ve tasarımlarda sunulabiliyor olması avantajlarıdır. Dezavantajları, yüksek ilk yatırım maliyeti ve nispeten düşük hücresel gerilim miktarıdır. Hala gelişmekte olan Ni-Mh bataryalar Toyota Prius ve Honda Insight gibi yüksek ticari başarısı olan hibrit elektrikli taşıtlarda kullanılmıştır.

Tüm metallerin en hafifi olan Lityum'un kullanıldığı Lityum-İyon (Li-İyon) bataryalar 1991'de ilk kez duyurulduğundan beri yükseliş içinde olmuş ve günümüzde en çok umut vadeden şarj edilebilir batarya teknolojisi olmuştur. Hala gelişme aşamasında olmasına rağmen, Li-Ion bataryalar şimdiden elektrikli ve hibrit elektrikli taşıt uygulamalarında kabul görmüşlerdir. Avantajları, yüksek güç verebilmesi (200-300 W/kg), en uzun şarj döngüsü ömrüne sahip olması, Lityum'un düşük kütlelerinden dolayı kütlece enerji yoğunluğunun çok yüksek olması (80-130 Wh/kg), en yüksek enerji verimliliğine (>%95) sahip batarya teknolojisi olması, düşük kendi kendine boşalma hızıdır (48 saatte %0,7). Dezavantajları yüksek ilk yatırım maliyeti ve düşük raf ömrüdür. Ancak gelişiminin henüz başında olduğu ve hızlı bir gelişim gösterdiği göz önüne alınırsa yakın gelecekte elektrikli ve hibrit elektrikli taşıtlarda sıklıkla görülebileceği söylenebilir [6].

3.3 Hibrit Elektrikli Taşıtlarda Uygulanan Yakıt Tasarruf Yöntemleri

3.3.1 İçten yanmalı motorun donanım yüklerinden kurtarılması

Geleneksel taşıtlarda direksiyon ve fren hidroliği basınçları oluşturulması ile yağ pompası ve su pompasının çalıştırılması içten yanmalı motorun gücüyle sağlanır. Bunlardan başka klima gibi ek donanımlar da içten yanmalı motordan sağlanan güç ile çalıştırılır.

Bu donanımlar motora ek bir yük oluştururken, motorun taşıt tahriği için kullanılmadığı durumlarda bile çalışır durumda olmasını gerektirmektedir. Örneğin yokuş aşağı seyrederken geleneksel bir taşıtta içten yanmalı motoru durdurmak, direksiyon ve fren hidroliğinin basıncının kısa sürede tükenmesine neden olacağından dolayı, fren pedalına ve direksiyona normal kullanımda olanın çok üstünde kuvvetler uygulanmasını gerektireceğinden çok tehlikeli durumlara ve yüksek kaza riskine yol açabilmektedir. Halbuki yokuş aşağı seyrederken içten yanmalı motorun asıl işlevi olan taşıtın tahrik edilmesine gerek yoktur. İşte bu sebeplerden dolayı, hibrit elektrikli taşıtlarda genellikle tüm bu ek yükler içten yanmalı motordan alınarak elektrikli motorlara verilebilmekte ve bu elektrikli motorlar da sadece gerektiği zaman, örneğin ilgili hidrolik basıncı azaldığında devreye girerek yakıt tasarrufu sağlayabilmektedir.

3.3.2 İçten yanmalı motorun boşa çalışmasının önlenmesi

Bir taşıtın frenlenmesi, olduğu yerde durması ve seyir dirençleriyle yavaşlamasına izin verilmesi durumlarında taşıtın tahriği için kullanılan herhangi bir kuvvet söz konusu değildir. Dolayısıyla bu durumlarda taşıtın tahriğinde kullanılan motorların çalışmasına gerek yoktur. Geleneksel taşıtlarda, içten yanmalı motorlar, ek donanım yükleri nedeniyle veya sürücünün alışkanlıklarından dolayı bu durumlarla karşılaşıldığında genellikle boşa çalışmaktadırlar. Bunun sonucunda yakıt hiçbir katma değer üretmeden tüketilmekte ve doğa gereksiz yere kirletilmektedir.

Hibrit elektrikli taşıtlarda bu durumlarda içten yanmalı motor durdurularak bu gereksiz yakıt tüketimi ve emisyon salınımının önüne geçilmektedir. Hatta günümüzde bazı taşıtlarda hibrit elektrikli taşıt olmadığı halde sadece taşıt durmakta iken veya yukarıdaki durumların hepsinde otomatik olarak içten yanmalı motoru durduran ve gerektiğinde tekrar çalıştıran sistemler mevcuttur. Bu taşıtların bazıları literatürde mikro veya ılımlı (mild) hibrit taşıt adı altında sınıflandırılabilir.

3.3.3 İçten yanmalı motorun en verimli olduğu dönme hızı ve yük aralıklarında çalıştırılması ve motorun boyutunun küçültülmesi

İçten yanmalı motorun yakıt tüketimi açısından en verimli olduğu dönme hızı aralığı motorun aynı zamanda en yüksek momentini verdiği dönme hızını da içeren orta devir sayıları iken, yakıt tüketimi açısından en verimli olduğu yük aralığı tam yüke yakın olduğu (%80-%90) yük aralığıdır.

İçten yanmalı motorlar bu yük ve devir aralıklarında, yani Şekil 2.5'te kesik kırmızı çizgilerle de gösterilmiş olan, en yüksek yakıt tüketim verimliliğine sahip oldukları aralıklarda çalıştırıldıklarında aynı zamanda motorun en yüksek moment değerine yakın olduğu aralıklarda çalıştırılmış olurlar. Halbuki taşıtların günlük kullanımında çok düşük sıklıkta bu denli yüksek moment büyüklüklerine ihtiyaç duyulur. Özellikle şehir içi trafiğinde ise ihtiyaç duyulan moment değerleri bu en yüksek değerlerin genellikle yüzdece çok düşük bir oranıdır. Bundan dolayıdır ki, içten yanmalı motorlar kullanımlarının büyük kısmında en yüksek yakıt verimliliklerinden çok daha düşük yakıt verimliliklerinde çalışmaktadırlar.

Hibrit elektrikli taşıtlarda bu sorunun önüne geçmek için içten yanmalı motor sadece belli bir değerden daha yüksek moment ihtiyaçlarında çalıştırılabilmektedir ve çalıştığı süre boyunca yüksek moment değerlerinde çalıştırılarak bu momentin tahrik ihtiyacından fazlası bataryaların şarj edilmesi için kullanılabilir. Bu durumda, düşük moment ihtiyaçlarının da tamamı, bataryalarda yeterli şarj olduğu sürece elektrikli motordan karşılanmaktadır.

Ayrıca, hibrit elektrikli taşıtlarda içten yanmalı motorun en verimli olduğu en yüksek moment değerlerine yakın çalışabilmesi için motorun boyutu küçültülerek en yüksek moment değeri de düşürülebilmektedir. Ani ivmelenmeler veya dik yokuşlar gibi bu düşüşün olumsuz etki edebileceği durumlarda elektrikli motor içten yanmalı motora destek olacak şekilde çalıştırılarak bu olumsuzlukların önüne geçilebilmektedir.

3.3.4 Rejeneratif frenleme

Rejeneratif frenler, aracın kinetik enerjisini elektrik enerjisine çevirerek bataryaları şarj etmek için kullanılan sistemlerdir. Geleneksel taşıtlarda, taşıt yavaşlatılırken taşıtın sahip olduğu hareket enerjisi frenleme ile ısıya dönüştürülmektedir. Hibrit elektrikli taşıtlarda ise rejeneratif frenleme kullanılarak aracın hareket enerjisi, elektrik enerjisine dönüştürülerek bataryalarda depolanabilmekte ve daha sonra elektrik motoru ile tekrar kullanılabilir. Bu şekilde taşıttaki frenleme kayıpları azaltılmakta ve elektrikli tahrik menzilini uzatmak mümkün olabilmektedir. Rejeneratif frenleme bağımsız bir jeneratör ile yapılabildiği gibi, elektrik motorunun da jeneratör olarak kullanılması ile yapılabilmektedir.

Rejeneratif frenlemenin etkili olabilmesi için taşıtın hızının çok düşük olmaması gerekmektedir. Ayrıca rejeneratif frenlemenin ivmesi, bunun için kullanılan jeneratör veya elektrik motorunun gücü ile sınırlıdır. Bunlardan dolayı taşıtın hızı çok düşük seviyelere indikten sonra taşıtı durdurmak için ve sert veya acil frenlemelerde geleneksel hidrolik frenler kullanılmaktadır. Geleneksel hidrolik frenlerin bulunması aynı zamanda rejeneratif frenlerin arıza yapması durumunda bir sigorta görevi de görebilmelerini sağlar.

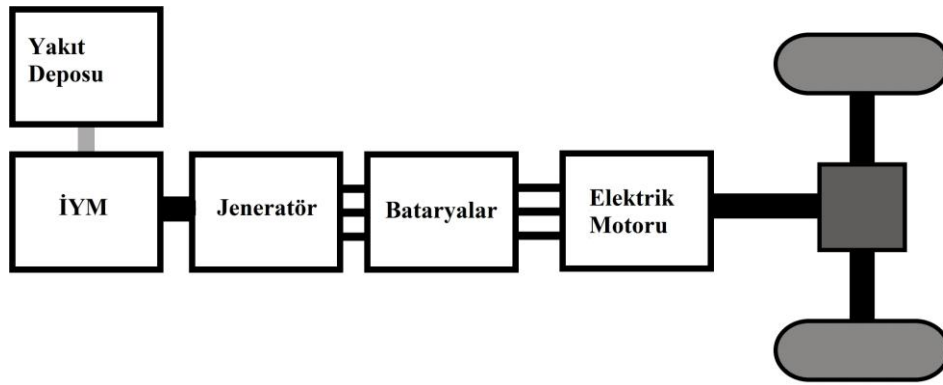
3.3.5 Bataryaların dış bir kaynaktan şarj edilmesi

Günümüzde önemli ticari başarılar kazanmış Toyota Prius ve Honda Insight gibi hibrit elektrikli taşıtlarda bataryalar, tamamen içten yanmalı motorun gücü kullanılarak elde edilen elektrik enerjisi ile şarj edilmektedir. Bu durumda, her ne kadar içten yanmalı motor yakıt açısından en verimli olacak şekilde kullanılsa da, elde edilen elektrik enerjisi, büyük elektrik santrallerinde ve kimi zaman fosil yakıt kullanılmadan elde edilen şebeke elektriğine oranla daha fazla yakıt harcayarak ve daha yüksek emisyonlara yol açacak şekilde üretilmektedir. Bu durum, içten yanmalı motorun kullandığı kimyasal enerjinin yanı sıra aynı zamanda elektrik motorunun kullandığı elektrik enerjisi için tüketicinin, Türkiye dahil olmak üzere özellikle bazı ülkelerde çok yüksek vergi yükü altında bulunan akaryakıt fiyatları üstünden ödeme yapması anlamına gelmektedir. Bu durumun önüne, taşıt park halinde olduğu sürece bataryaların şebeke elektriği ve güneş pillerinden elde edilen elektrik enerjisi ile şarj edilmesi ile geçilebilir. Böylece hem taşıtta kullanılan elektrik enerjisinin maliyeti düşürülebilir hem de taşıtın yol açtığı emisyon salınımı azaltılabilir. Ayrıca taşıt her yola çıktığında bataryaları nispeten daha dolu, bazen de tam dolu şekilde yola çıktığından dolayı, elektrik motoru çok daha sık kullanılabilir ve uzun bir mesafe ve bazen de tüm yolculuk boyunca bataryaların içten yanmalı motor kullanılarak şarj edilmesine gerek olmayabilir. Bu da yakıt tüketimi ve emisyonların daha da düşük tutulması konusunda olumlu katkı yapabilir.

3.4 Hibrit Elektrikli Taşıt Yapıları

3.4.1 Seri hibrit elektrikli taşıtlar

Seri hibrit elektrikli taşıtlarda, içten yanmalı motor ve hibrit elektrikli taşıt bileşenleri birbirine seri şekilde bağlıdır (Şekil 3.1). Bu yapının en ayırt edici özelliği içten yanmalı motorun doğrudan taşıt tahriğinde kullanılmayıp, taşıtın sadece elektrik motoru ile tahrik ediliyor olmasıdır. Aslında temel olarak, saf elektrikli bir taşıta, menzili uzatmak üzere bir içten yanmalı motor ve jeneratör çiftinin eklenmesi şeklinde yapılmışlardır. Bu hibrit elektrikli taşıt yapısında içten yanmalı motordan sağlanan mekanik enerji, jeneratör aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Üretilen elektrik enerjisi bataryalarda depolanır ve elektrik motoru da bu bataryalardan beslenerek taşıtı tahrik eder. Bataryalar, istenirse rejeneratif frenlerle veya dış bir kaynak kullanılarak da şarj edilebilir.



Şekil 3.1: Seri hibrit elektrikli taşıt yapısı

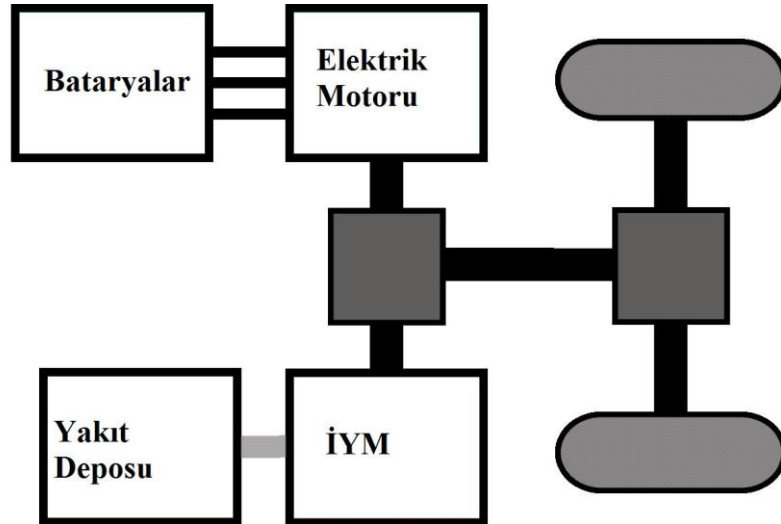
Seri hibrit elektrikli taşıtlarda içten yanmalı motor taşıt tahriği amacıyla kullanılmadığından bir kavramaya ve karmaşık yapıdaki bir şanzıman sistemine ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu sayede taşıtın tahriğinde kullanılan aktarma organı sayısı önemli ölçüde azalmakta ve aktarma organlarının toplam verimliliği artırılmaktadır.

Bu yapının en büyük avantajı, içten yanmalı motorun dönme hızı ve yükünün, taşıtın hızından ve tahrik için ihtiyaç duyulan güçten neredeyse tamamen bağımsız olmasıdır. Böylece içten yanmalı motor sürekli en verimli olduğu dönme hızı ve yükte çalıştırılabilir.

Bataryada yeterince şarj olduğu sürece ise içten yanmalı motorun çalıştırılmasına gerek yoktur. Dolayısıyla içten yanmalı motor ya en verimli olduğu şartlarda çalıştırılmakta ya da hiç çalıştırılmamaktadır. Bunun dışında içten yanmalı motor taşıt tahriğinde kullanılmadığı için, en yüksek gücünün taşıtın tahriğinde talep edilebilecek en yüksek güç kadar yüksek olmasına da gerek yoktur. Bunun yerine, içten yanmalı motorun büyüklüğü, en verimli olduğu dönme hızı ve yük durumundaki gücü, taşıtın tahriğinde ihtiyaç duyulan ortalama güçten biraz fazla olacak şekilde seçilmelidir. Böylece içten yanmalı motorun boyutu da küçültülerek, daha fazla yakıt tasarrufu ve emisyonlarda azalma sağlanabilir.

3.4.2 Paralel hibrit elektrikli taşıtlar

Paralel hibrit elektrikli taşıtlarda, içten yanmalı motor ve hibrit elektrikli taşıt bileşenleri birbirine paralel şekilde bağlıdır. (Şekil 3.2) Bu yapıda içten yanmalı motor ve elektrikli motorun ikisi de doğrudan taşıt tahriğinde kullanılabilir. Bu durumda taşıt tahriğinde iki motordan tercih edilen biri kullanılabilir veya ikisi de aynı anda taşıt tahriği için çalıştırılabilirler. Burada bataryaların şarj edilmesi için elektrik motoru içten yanmalı motora bağlı bir jeneratör gibi kullanılabilir. Bataryalar, istenirse rejeneratif frenlerle veya dış bir kaynak kullanılarak da şarj edilebilir.



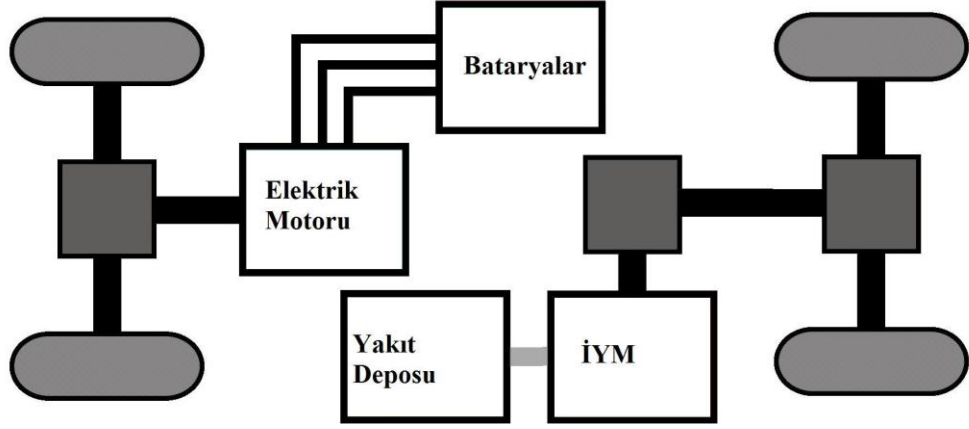
Şekil 3.2: Paralel hibrit elektrikli taşıt yapısı

Bu yapıda yüksek güç gereksinimlerinde, içten yanmalı motor ve elektrik motoru aynı anda taşıtın tahrik edilmesi için kullanılabildiğinden, her iki motorun da gücünde ve dolayısıyla boyutlarında bir küçültme yapılabilmektedir. Ayrıca içten yanmalı motorun en verimli olduğu yük miktarında sağladığından daha az tahrik gücü gereken durumlarda, içten yanmalı motor yine en verimli olduğu yük miktarında çalıştırılarak, motorun fazla gücü elektrikli motor jeneratör olarak kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülebilmekte ve daha sonra kullanılmak üzere bataryalarda depolanabilmektedir. Paralel hibrit elektrikli taşıtlarda buna ek olarak, sürekli değişken oranlı şanzımanlar kullanılarak, çalıştığı süre boyunca içten yanmalı motorun en verimli olduğu dönme hızlarında kalması sağlanmaktadır. Bu iki yöntemle böylece, içten yanmalı motorun çalıştığı sürece en verimli olduğu dönme hızı ve yüklerde kalması sağlanmaktadır.

Paralel hibrit elektrikli taşıtlarda, düşük hızlarda ve düşük güç gereksinimlerinde, içten yanmalı motorun verimsiz olduğu şartlarda ve boşta çalışmaması için sadece elektrikli motor tahrik görevini üstlenirken, şehir dışı sürüş hızlarında veya nispeten daha yüksek güç gereksinimlerinde içten yanmalı motor yeterince verimli çalışabildiği için ve elektrikli tahrik menzilini uzatabilmek için sadece içten yanmalı motorla tahrik sağlanmaktadır.

3.4.2.1 Bölünmüş paralel hibrit elektrikli taşıtlar

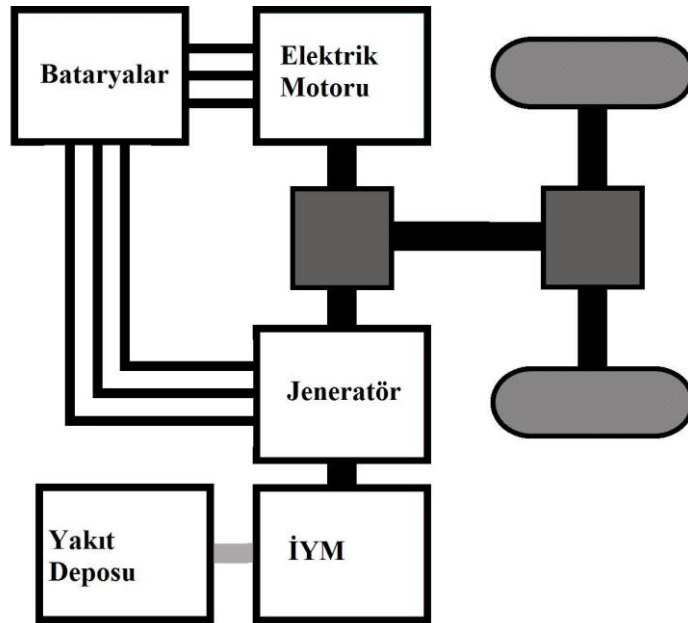
Paralel hibrit elektrikli taşıtların özel bir çeşidi olan bölünmüş paralel hibrit taşıtlarda içten yanmalı motor ve elektrikli motor ayrı aksları tahrik etmektedirler ve aralarında hiçbir mekanik bağlantı veya elektrik bağlantısı bulunmamaktadır. (Şekil 3.3) Dolayısıyla dış bir kaynak dışında bataryalar sadece içten yanmalı motorla tahrik sırasında rejeneratif fren kullanılarak şarj edilebilmektedir. Ancak bu durum, bataryaların şarj edilmesinin kontrolünü zorlaştırmaktadır ve içten yanmalı motorun tahrik etmediği aksta lastik aşınmalarına neden olmaktadır. Buna karşın, iki motorun bir arada çalıştığı durumlarda taşıtın dört tekerden tahrik edilen bir taşıt haline gelmesi önemli bir avantajdır. Bu yapının bir diğer avantajı ise son derece basit olması ve ayrıca geleneksel bir taşıt üstünde geliştirilmesinin kolay olmasıdır.



Şekil 3.3: Bölünmüş paralel hibrit elektrik taşıt yapısı

3.4.3 Seri - Paralel hibrit elektrikli taşıtlar

Seri-Paralel hibrit elektrikli taşıtlarda, içten yanmalı motor ve hibrit elektrikli taşıt bileşenleri birbirine hem seri hem de paralel şekilde bağlıdır. (Şekil 3.4) Bu yapıda içten yanmalı motor ve elektrikli motorun ikisi de paralel hibrit elektrikli taşıtlarda olduğu gibi doğrudan taşıt tahriğinde kullanılabilir. Bu hibrit elektrikli taşıt yapısında içten yanmalı motor tahrik sisteminden ayrılarak ondan sağlanan mekanik enerji, seri hibrit elektrikli taşıtlarda da olduğu gibi jeneratör aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülebilir ve bataryaların şarj edilmesinde kullanılabilir. Bataryalar, istenirse rejeneratif frenlerle veya dış bir kaynak kullanılarak da şarj edilebilir.



Şekil 3.4: Seri-Paralel hibrit elektrik taşıt yapısı

Bu hibrit elektrikli taşıt yapısına sahip bir taşıt, düşük hız ve ivmelerde seri hibrit elektrikli taşıtlar gibi çalıştırılarak, onlardaki gibi içten yanmalı motorun en verimli olduğu dönme sayısı ve yüklerde çalışması sağlanabilir. Yüksek hızlarda ve yüksek güç gereksinimlerinde ise içten yanmalı motor paralel hibrit elektrikli taşıtlarda olduğu gibi tahrikte kullanılarak, içten yanmalı motorun güç avantajı ve yüksek hızlardaki veriminin yüksek olması avantajından faydalanılabilir. Bu şekilde, bu hibrit elektrikli taşıt yapısı seri ve paralel hibrit elektrikli taşıt yapılarının avantajlarını birleştirmektedir.

Bu yapının dezavantajı ise bir elektrik motoru ve jeneratörü bir arada bulundurmasından kaynaklanan bileşen sayısının fazlalığı ve bunun getirdiği maliyet yükü ile yine bileşen sayısının fazlalığı, çalışma şekli ve stratejilerinin çeşitliliğinden kaynaklanan kontrol zorluğudur. Bu yapıda bir hibrit elektrikli taşıtı kontrol etmek için karmaşık algoritmalar içeren kapsamlı yazılımlar ve kontrol elemanları bir arada çalışmak durumundadır. Kontrol elemanlarının fazlalığı ve karmaşık algoritmalar içeren kapsamlı yazılımları işletecek güçte olması zorunluluğu bu yapıdaki hibrit elektrikli taşıtların maliyet yükünü artıran bir diğer unsurdur.

4. AVL CRUISE

AVL CRUISE, çeşitli yapılardaki taşıtların seyir performansı, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarının simülasyonunu yapmaya yarayan bir yazılımdır. Modüler yapısı, hem mümkün olan tüm taşıt konfigürasyonlarını serbestçe modellemeyi, hem de diğer modelleme ve hesaplama yazılımlarıyla beraber çalışmayı mümkün kılmaktadır. Bu modüler yapı, aynı zamanda, karmaşık hesaplama yöntemlerine rağmen kısa sürelerde simülasyon sonuçlarının elde edilmesini sağlamaktadır.

4.1 Program

AVL CRUISE tipik olarak içten yanmalı motor ve aktarma organları geliştirmesinde, aşağıdaki büyüklükleri hesaplamak ve optimize etmek için kullanılmaktadır:

- Yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları
- Seyir performansı (ivme, esneklik)
- Dişli oranları
- Frenleme performansı.

AVL CRUISE aynı zamanda şunların belirlenmesi için de kullanılmaktadır:

- Bileşke yüklerin gerilim hesapları
- Aktarma organlarının titreşimleri.

AVL CRUISE, modüler yapısıyla hem tek izli hem de çift izli (motersiklet, otomobil, kamyon, vs.) tüm mevcut ve gelecekteki taşıt kavramlarının modellenmesine izin vermektedir.

4.1.1 Programın özellikleri

AVL CRUISE birçok yazılım paketinin seyir performansı, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları için sahip olduğu özellikleri birleştirmekte; farklı seyir çevrimleri (örneğin FTP72, ECE-R15, HDC), ivme, son hız, yokuş tırmanma yetisi vs. değerleri hesaplayabilmektedir. Kullanıcı, çıktı ortamını ve biçimini tanımlayabilmektedir. Taşıt değerlerini de içeren standart çıktı biçimleri, programda tanımlı bulunmaktadır. Kullanıcı diğer çıktı değerlerini ekleyebilmekte, önceden ayarlanmış biçimleri yenileriyle değiştirebilmekte veya yeni çıktı biçimlerini, istenen çıktı değerlerini seçerek tanımlayabilmektedir.

Programın özellikleri arasında modüler yapısı, taşıt simülasyon uygulamaları, burulma esnekliği olan millerin kullanılabilmesi ve içten yanmalı motorun soğuk çalıştırılmasının ayrımı bulunmaktadır. Programın modüler yapısı, ulaşılabilir bileşenler aracılığıyla (örneğin motor, dişli kutusu, kavrama vs.) taşıtın serbest modellenmesini mümkün kılmakta, aynı zamanda hibrit taşıtlar veya birden fazla içten yanmalı motoru olan taşıtlar gibi sık uygulanmayan taşıt kavramlarının simülasyonuna izin vermektedir.

Programın kodu, saf kinematik veya karışık kinematik-dinamik modellerin (örneğin aktarma organlarının düşük frekanslı titreşimlerinin incelenmesi, burulma esnekliği olan millerin incelenmesi) hesaplamasını yapabilmektedir. Hesaplamalar yarı-sabit olarak, motor haritasında belli bir bölge ile sınırlandırılmış şekilde veya sürücünün ve gaz pedalı konumunun modellendiği gerçek çevrim simülasyonlarıyla yapılabilmektedir. Karmaşık sürücü modeli, sürücünün sürüş karakterini de (gaz pedalının konum değişim hızı, vites değişim süresi vs.) hesaba katmaktadır. Motorun soğuk çalıştırılmasını da içeren seyir çevrimlerinde, motor için bir ısı modeli kullanılmaktadır.

4.1.2 Programın parçaları ve model bileşenleri

Program iki bağımsız kısımdan oluşmaktadır:

- Hesaplama kısmı
- Grafik Kullanıcı Arayüzü (GKA) – işletim kısmı
 - Önışlemci (Taşıt modelleyicisi)
 - Artışlemci

Model bileşenleri ise şunları içermektedir:

- Taşıt ve römork
- Motor (içten yanmalı motor, elektrik motoru)
- Kavrama (kuru kavrama, hidrolik dönüştürücü, viskoz kavrama)
- Şanzıman (dişli kutusu, sürekli değişken oranlı şanzıman, diferansiyel)
- Kontrol elemanları (vites, kavrama, fren, sürekli değişken oranlı şanzıman ve motor durdurma kontrolleri)
- Miller (rijit ve elastik)
- Flanş
- Tekerlekler (çeşitli kayma modellerini içeren)
- Elektrik bileşenleri (jeneratör, batarya, elektrik sağlayıcı, elektrik tüketicisi)
- Frenler ve hız kesici
- Mekanik bileşenler (yağ pompası, mekanik tüketicisi)
- Egzoz sistemi
- Sürücü mahalli
- Görüntüleyici
- Kara kutu (kullanıcının tanımlayacağı algoritmalar için), Matlab

Yazılımın tam kapasite kullanımında gerçekleşecek yüksek miktarda veri akışının etkili kullanımını sağlamak üzere yazılıma modern bir veri yönetim sistemi entegre edilmiştir.

4.1.3 Programın hesaplama yetisi

Yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarının belirlenmesi için şu hesaplama görevleri tanımlanmıştır:

- Seyir çevrimi: Taşıt belirli bir hız grafiğini izleyecek şekilde sürülür. Diğer seyir şartları (örneğin eğim, rüzgar hızı, tekerlek sürtünme katsayısı vs.) da eklenebilmektedir. Hız grafiği verisi, zamana veya mesafeye bağlı değerler olarak girilebilmektedir.

- Seyir simülasyonu: Taşıtın gerçek yol şartlarında seyirinin simülasyonu yapılmaktadır. Mesafeye bağlı tanımlanmış hız grafiği ile yapılan bu simülasyonda son hız aşılmamalıdır. Hızlanma ve yavaşlama için en yüksek değerler tanımlanabilmektedir. Böylece sürücünün ani hız değişimlerinde tam yük ile cevap vermemesi sağlanabilmektedir.
- Sabit hızla sürüş (tüm viteslerde): Yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları sabit hızlarda sürüşle de hesaplanabilmektedir.

Seyir performansının hesaplanması ise ivme davranışının yanı sıra yokuş tırmanma performansı ve çekiş kuvvetinin belirlenmesinden oluşmaktadır. Bunun için şu hesaplama görevleri kullanılabilmektedir:

- Sabit hızla sürüş
- Yokuş tırmanma performansı
- Tam yükte hızlanma
- En yüksek çekiş kuvveti
- Frenleme / motor freni

4.1.4 Programın hesaplama yöntemleri

Program sabit, yarı-sabit ve simülasyon hesaplama yöntemlerini kullanmaktadır.

Sabit hesaplama yönteminde, taşıt modelinin istenen karakteristik değişkenleri, her hız değeri için kademeli olarak hesaplanmaktadır. Bu hesaplama yönteminde, aktarma organlarının tamamındaki tüm ivmeler sıfır kabul edilmektedir. Böylelikle örneğin, her motor dönme hızı ve vites kademesinde (bu iki değerle kayma gibi diğer etkisi olan değişkenler hesaba katılarak taşıt hızı elde edilir) çıkılabilecek en yüksek eğim elde edilebilmektedir.

Yarı-sabit hesaplama yönteminde de, sabit hesaplama yönteminde olduğu gibi, taşıt modelinin istenen karakteristik değişkenleri, her hız değeri için kademeli olarak hesaplanmaktadır. Aradaki fark, bu sefer ivmelere de izin verilmesidir. Ancak ivmelerin sabit bir değere bağlanması gerekmektedir. Bu hesaplama yöntemiyle, çevrim koşulları veya tam yükte hızlanma gibi geçiş özelliği taşıyan görevlerin hesaplanması da mümkündür. Taşıtın hareket değişkenleri tam olarak tanımlanmıştır ve kontrol gerekmediğinden dolayı hesaplar son derece hızlıdır.

Simülasyon yöntemi ise genel modelin uyumlu olması koşuluyla, yarı-sabit hesaplama yönteminin aksine, gerçek davranışın modellenmesine izin vermektedir. Bu durum, gerçek sürüş görevlerinin simülasyonunda, kendiliğinden, sürücünün de (programda sürücü modülü olarak modellenmiş) bir kontrol elemanı olarak davrandığı bir kontrol döngüsüne yol açmaktadır. Bu simülasyon yönteminde, modüllerin birbirleriyle bağlantıları rijit veya esnek olabilmektedir. Elastik bağlantıda, bağlantının (milin) burulma direnci, hesaba katılmaktadır, yani dinamik bir çok kütleli sistem oluşmaktadır.

4.2 Programın Yapısı

4.2.1 Hesaplama kısmı

AVL CRUISE program sisteminin kalbi, hesaplama kısmıdır ve görevlerin hesaplanması için gereken tüm modülleri kapsamaktadır. Gerekli veriler nötr dosyalar ve modül verilerini içeren dosyalar aracılığıyla sağlanır. Hesaplama kısmı, tanımlanmış arayüzleri olan ve modülerliği olabildiğince ayrıntılı, mutlak modüler bir tasarımdır. Bunda dolayı, mevcut modüller kolaylıkla kullanıcıya özel modüllerle (ek kontrol parametreleri kullanılmadığı sürece) değiştirilebilmektedir. Farklı donanım platformları gözetilerek, modüller sistemden bağımsız olarak, yani üreticiye özel bir dil uzantısı kullanılmadan uygulanmıştır. Veri yapısı da modüler yapıya uygundur. Sistemin yapısı şunlardan oluşur:

1. Hesaplama Çekirdeği

- Hesaplama Yöneticisi: Projeleri işlemek ve hesaplama görevlerini kontrol etmek için gerekli tüm fonksiyonları içerir.
- Veri Yöneticisi: Hesaplama çekirdeği veya dış modüller tarafından ihtiyaç duyulan bilgileri sağlar.
- Denklem Yöneticisi: Dinamik, çok gövdeli sistemin kurulumu, analizi ve çözümü için gerekli tüm fonksiyonları derler.
- Mesaj Yöneticisi: Her modüle gelen mesajları kontrol eder ve çeşitli kontrol fonksiyonları kurar.
- Çözücü Havuzu: Denklem sistemlerinin çözümü için gerekli teknikler ve çeşitli bütünleştiriciler Çözücü Havuzu'nun parçalarıdır.

2. Dış Modüller

- Mekanik modüller (örneğin içten yanmalı motor, dişli kutusu)
- Taşıt tabanlı kontrol modülleri (örneğin dişli kutusu kontrolü)
- Genel kontrol modülleri (örneğin sürücü seyri)
- Proje modülü
- Görev modülleri (örneğin çevrim koşulları, tam yükte hızlanma)

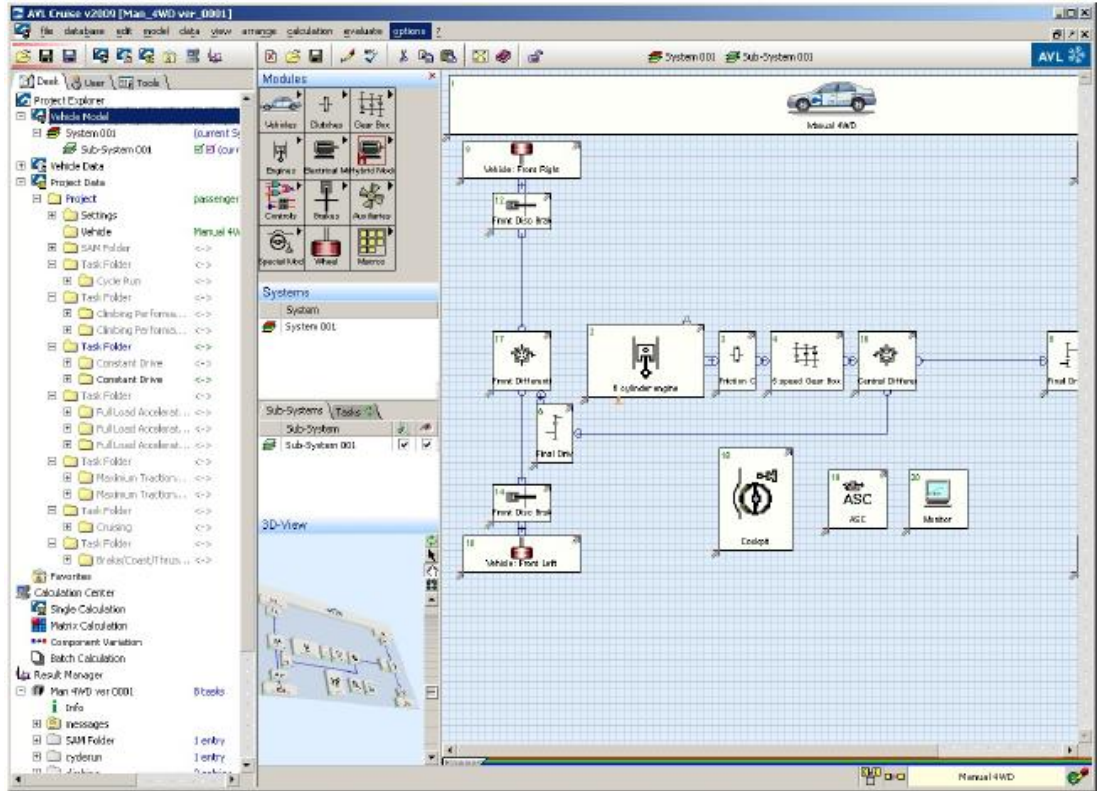
Mekanik modüller ve taşıt tabanlı kontrol modülleri, kullanıcı tarafından silinebilir, başka bir modülle değiştirilebilir veya eklenebilir. Böylece taşıt modeli kullanıcı gereksinimlerine uyarlanabilmektedir.

4.2.2 Grafik kullanıcı arayüzü (GKA)

Grafik kullanıcı arayüzü (GKA) (Şekil 4.1) şunları sağlamaktadır:

- Hesaplama çekirdeğinin kontrolü
- Veri girişi
- Model oluşturma
- Verilerin değerlendirilmesi

GKA yazılım ergonomisi yönergelerine göre gerçekleştirilmektedir. Uygulaması VisualWorks'te yapılmıştır. Bu geliştirme ortamı, platformdan bağımsız olarak, kullanılan işletim sisteminin görünümünü ve hissini vermektedir. Bunun ayarları program çalışırken kullanıcı tarafından da yapılabilmektedir.



Şekil 4.1: GKA ana penceresi

4.2.3 Önışlemci

Ön işlemci şunlardan oluşmaktadır:

- Taşıt Modelleyici
- Veri girişi için diyalog kutuları
- Hesaplama çekirdeği için kontrol diyalogu
- Çeşitli düzenleyiciler (karakteristik eğriler / haritalar için düzenleyiciler, seyir çevrimi düzenleyicisi)

4.2.3.1 Uygulamalar

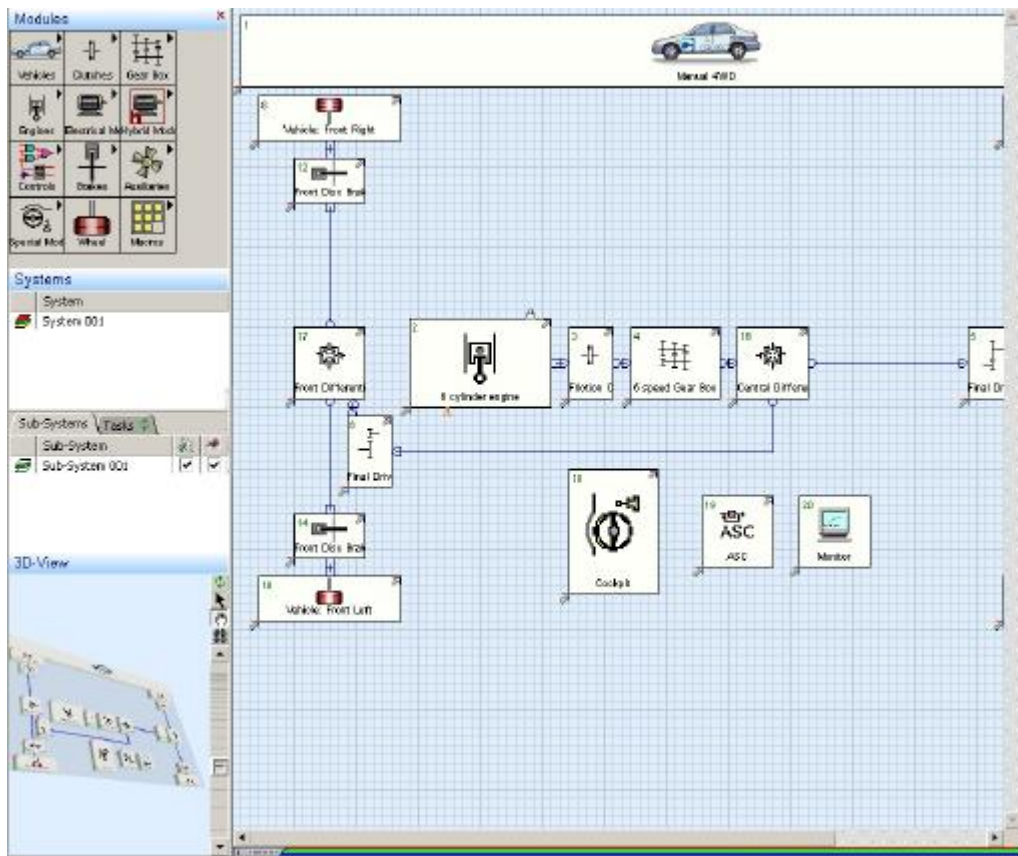
Hesaplamalar, klasörler içinde organize edilir. Bunlar, hesaplama görevleri ve bunların parametrelerinden oluşur. Şu görevler mevcuttur:

- SAM (Sistem Analizi)
- Çevrim Koşusu
- Tırmanma Performansı
- Sabit Seyir

- Tam Yükte Hızlanma
- En Yüksek Çekiş Kuvveti
- Genel Seyir
- Frenleme / Motor Freni

4.2.3.2 Taşıt modelleyici

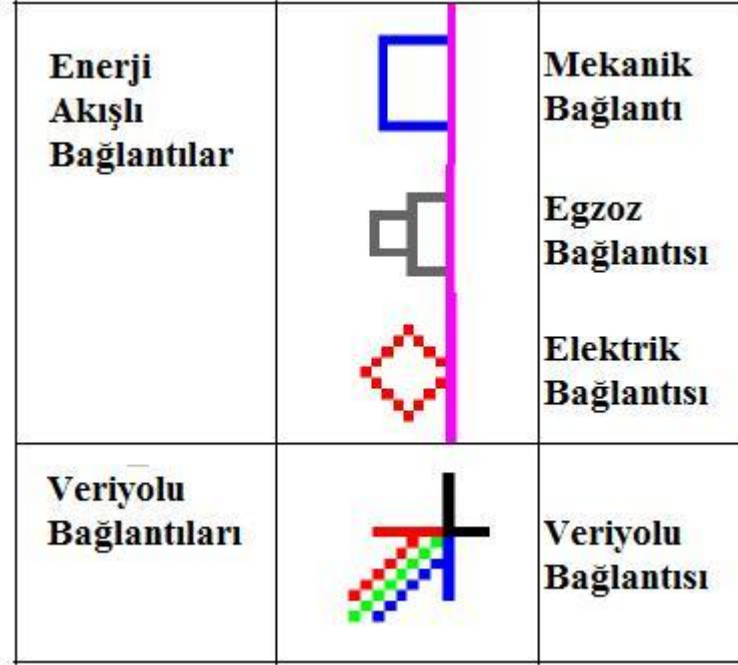
Mevcut aktarma organlarının bileşenleri, taşıt modelleyici ile genel bir modelde birleştirilir. Bileşenler (örneğin motor, kavrama, dişli kutusu) bir araç çubuğundan seçilir ve “sürükle bırak” yöntemiyle çalışma alanına taşınır. Bu bileşenler, hesaplama kısmındaki modüllere birebir karşılık gelmektedir. (Şekil 4.2).



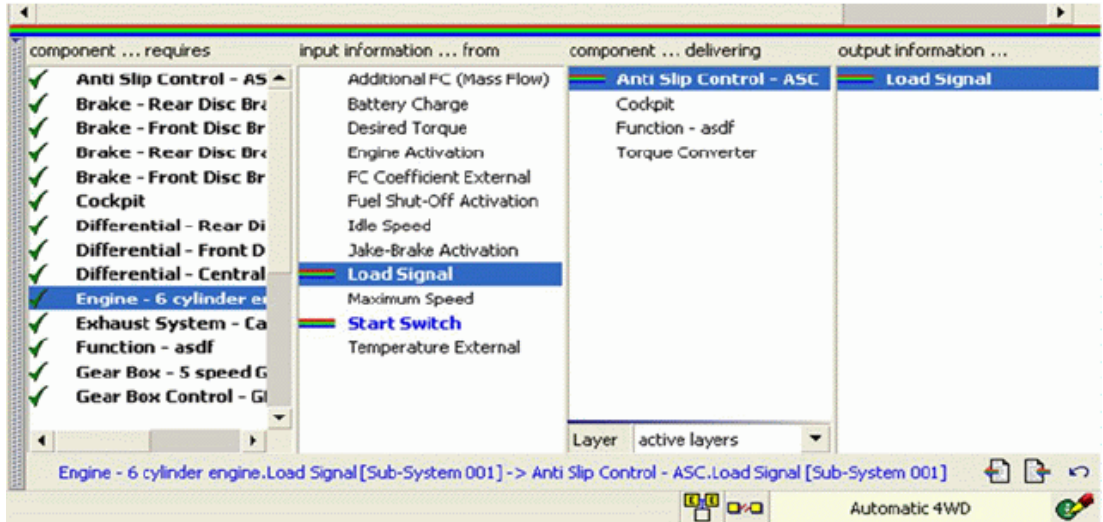
Şekil 4.2: Taşıt Modelleyici

Çalışma alanında, bir hesaplama modeli, kullanıcı tarafından sıfırdan veya mevcut modeller değiştirilerek oluşturulabilmektedir. Çeşitli standart uygulamalar (örneğin önden, arkadan veya tüm tekerleklerden çekişli geleneksel taşıtlar) için örnekler mevcuttur.

Bileşenler, enerji akışlı bağlantıları temsil eden hatlarla birbirine bağlanır (Şekil 4.3). Kontrol modüllerine bağlantılar, bir veriyolu kullanılarak yapılmaktadır (Şekil 4.4). Bu sayede tüm kontrol hatlarının ayrı modellenmesi ile zaman kaybedilmesi önlenmiştir.



Şekil 4.3: Bağlantılar



Şekil 4.4: Veriyolu penceresi

Hesaplamalar başlamadan önce aktarma organları eksik veya hatalı bağlantılara karşı kontrol edilmektedir. Ayrıca modül verileri de kontrol edilmektedir.

4.2.3.3 Diyalog kutuları

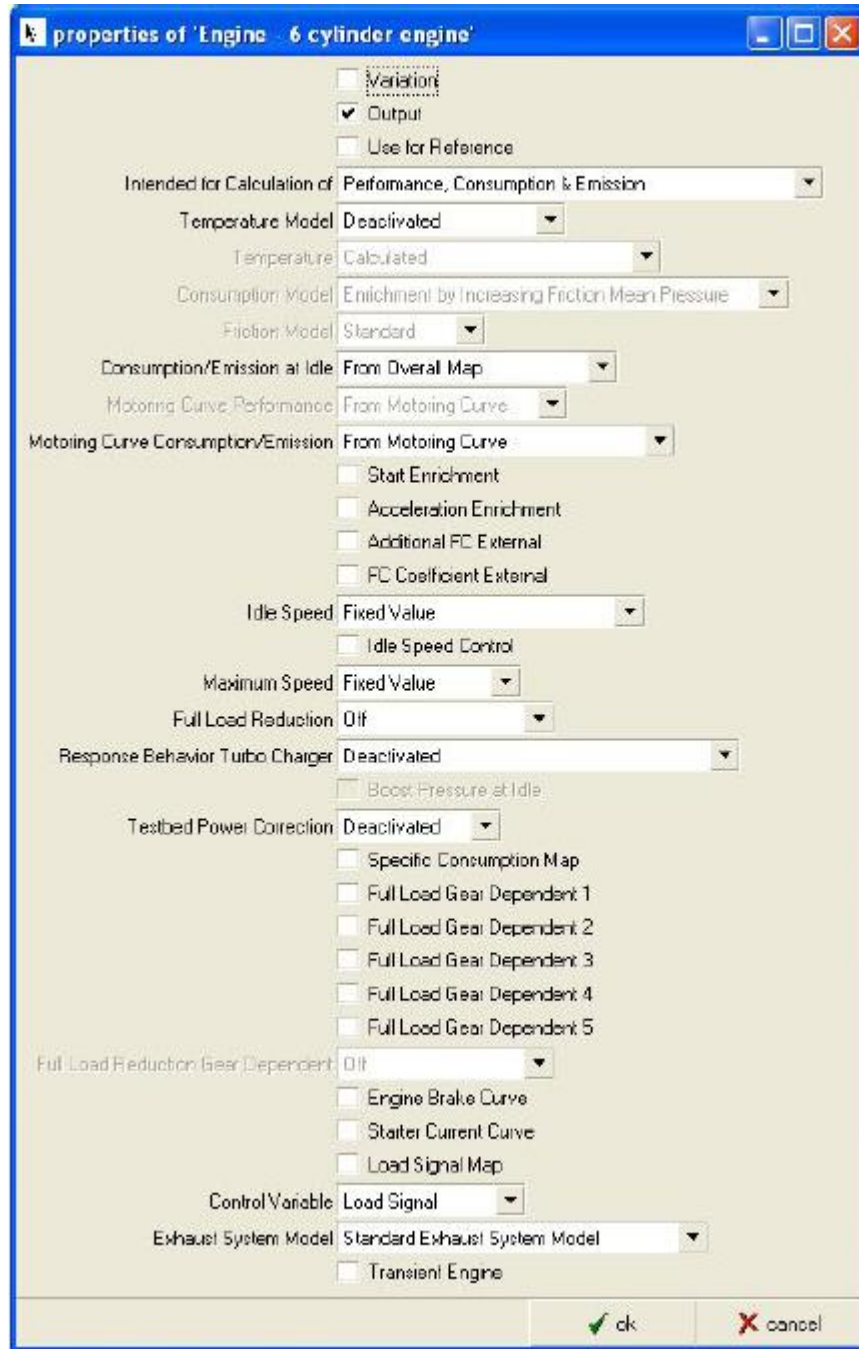
Bileşenlere veri (örneğin veri girişi, karakteristik eğriler, haritalar) sağlamanın iki yolu vardır:

- Doğrudan veri girişi
- Dosyalardan okumak

Doğrudan veri girişi, her bileşen için diyalog kutularındaki veri giriş alanları üzerinden yapılır. Veri (genelde sayısal değerler), klavye kullanılarak elle girilir. Veri miktarı daha büyükse (örneğin karakteristik eğriler, haritalar), verileri bir dosyadan okutmak da mümkündür. Değerler kullanıcı tarafından seçilecek farklı birimler (birimler bir konfigürasyon dosyasında tanımlıdır) cinsinden girilebilmektedir. Programın iç yapısında ise sadece SI birimleri kullanılmaktadır.

4.2.3.4 Program kontrolü

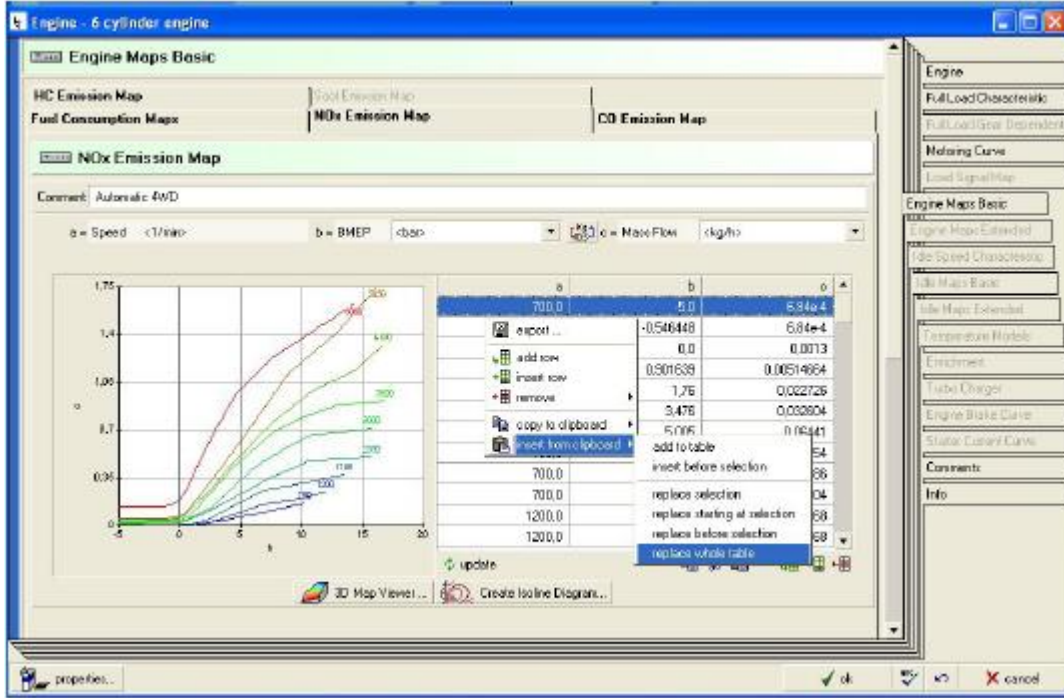
Hesaplamalar için kullanılacak kontrol parametreleri, kontrol parametreleri diyalog alanı üzerinden girilir (Şekil 4.5). Kontrol parametreleri, örneğin hesaplama yöntemi, seyir çevrimi girdisine temel oluşturan hesaplama adımlarını belirlemektedir. Birçok hesaplama görevi sırasıyla gerçekleştirilmek zorundadır. Bunların parametreleri ayrı dosyalara kaydedilir ve ayrı dosyalardan çağrılır. Genel ve modüle özel hesaplama sonuçlarının bir listesi, gösterim amacıyla, kontrol parametrelerine ek olarak, artişlemci çıktısında olması için seçilebilmektedir.



Şekil 4.5: İçten yanmalı motor kontrol parametreleri diyalog alanı

4.2.3.5 Çeşitli düzenleyiciler

Eğriler ve haritalar düzenleyicisi (Şekil 4.6), karakteristik eğrilerin ve haritaların etkileşimli değiştirilmesine imkan verir. Veriler, aynı anda hem grafik hem de çizelge olarak gösterilmektedir. Her iki gösterim üzerinde değişiklik yapmak mümkündür. Harita verileri doğrudan girilebilmekte veya ASCII dosyalarından okunabilmektedir. Tekil noktalarda veya tüm grafikte toplama/çıkarma, çarpma/bölme gibi aritmetik fonksiyonların uygulanması mümkündür.



Şekil 4.6: NO_x emisyonları haritası düzenleyicisi

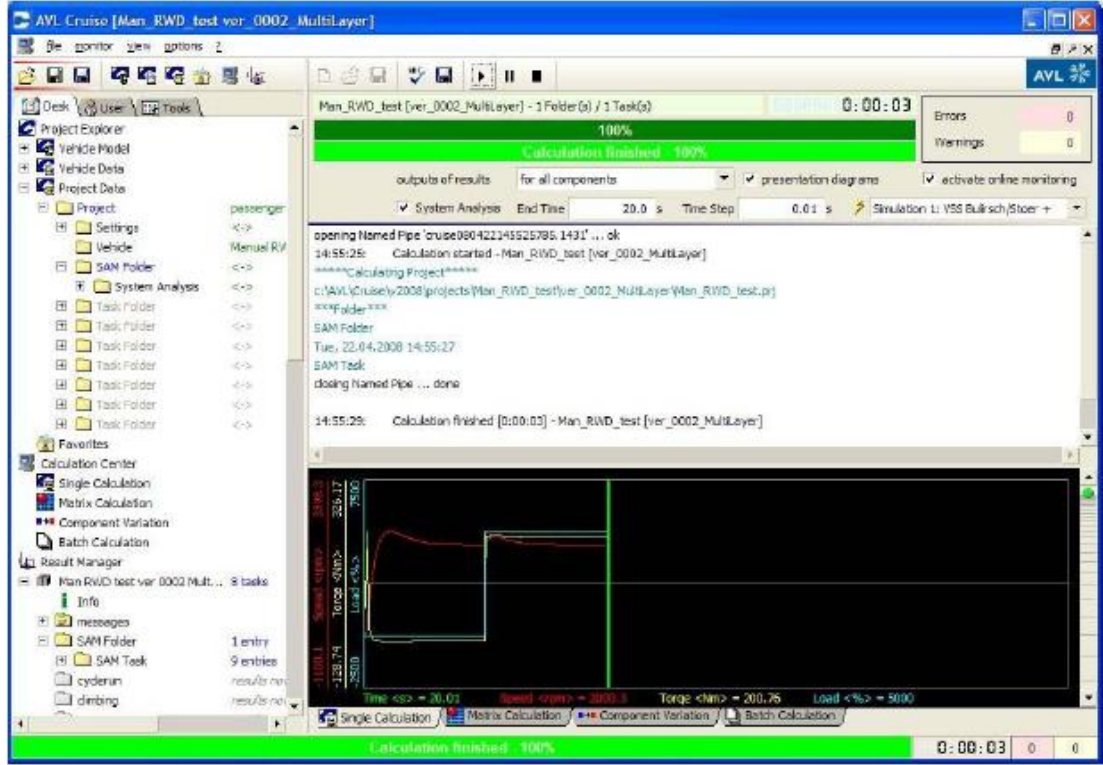
Seyir çevrimi düzenleyicisinde ise güzergah verisi ve sürüş profillerinin yaratılması ve değiştirilmesi mümkündür. Güzergahlar, güzergaha bağlı değerler (örneğin sürtünme) ve güzergah veya zamana bağlı değerlerle (örneğin dış sıcaklık) tanımlanırlar. Bir profilin en basit tanımı, zaman eksenini, zaman basamakları için hız ve vites değerleri ile yapılabilir. Veriler, hem çizelge hem de grafikte gösterilmektedir. Profiller ve güzergahlar birbirinden bağımsızdırlar.

4.2.4 Artışlemci

Artışlemci, hesaplama çekirdeğinde hesaplanan verileri, ASCII metinler (değerler, liste, çizelge) ve/veya iki boyutlu grafiklerle göstermektedir. Verilerin düzenlenmesi, kullanıcı ihtiyaçlarına göre şablonlarla tanımlanabilmektedir. Tek bir sayfada birçok diyagram gösterilebilmektedir. Metinlerin serbest yerleşimi ve grafiklere yer verilmesi mümkündür. Ayrıca, çizgi tipi, kalınlığı, renkler ve metin harf tipleri gibi olağan ayarlar da yapılabilmektedir.

4.2.5 Eşzamanlı görüntüleme

Eşzamanlı görüntüleme, kullanıcıya hesaplamanın ilerlemesini sürekli görüntüleme olanağı vermektedir (Şekil 4.7). Ek olarak, bilgi veya talepler, kullanıcıya gerektiğinde hesaplamayı etkilemesini mümkün kılmak için iletilmektedir.



Şekil 4.7: Eşzamanlı Görüntüleme

4.2.6 Veri kontrolü

Önişlemci, aktarma organları modeli için belirli bazı şartların sağlanıp sağlanmadığını (örneğin kavrama pedalı girdisi, kavrama pedalı çıktısıyla geçerli bir bağlantıya sahip olmalıdır; her frene karşılık gelen bir tekerlek olmalıdır) kontrol etmektedir. Temel koşullar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Döngüsel bağlantılar: Hesaplama çekirdeği, hesaplamaları sonsuz bir döngüye sokma eğiliminde döngüsel bağlantılar olup olmadığını kontrol eder.
- Bağlantılar: Tüm gerekli bağlantıların yapılıp yapılmadığı kontrol edilir.
- Giriş verisi: Tüm gerekli giriş verisinin tanımlanmış olup olmadığı kontrol edilir.

4.3 Arayüzler

AVL CRUISE içindeki arayüzlerle kullanıcıya özel bileşenler veya kontrol birimlerinin simülasyonu mümkün kılınmıştır. Modüler tasarımla birlikte, bu durum olası uygulamaların alanını esaslı bir şekilde genişletmektedir.

Kara kutu kullanımıyla, C veya FORTRAN kodları entegre edilebilmektedir. Ayrıca, MATLAB/SIMULINK ile yaratılmış modüller de entegre edilebilmektedir. Kullanıcı tarafından geliştirilmiş otomatik bir dişli kutusunun karmaşık kontrolünü veya özel bir fren ayarlamasını entegre etmek mümkündür. Bu durum, bir tedarikçinin bilgi birikimini açıklamasına gerek olmadan, simülasyon modüllerinin kullanılabilmesini (sadece derlenmiş bir C veya FORTRAN kodu gereklidir) sağlamaktadır.

AVL CRUISE, sistem çalışırken, alt programların dinamik olarak “dinamik bağlantı kütüphanelerinden” (dll) yeniden yüklenebileceği bir arayüz sunmaktadır. Kullanıcı tarafından yazılmış bu alt programlar, AVL CRUISE tarafından tanımlanmış belirli bazı fonksiyon başlıkları taşımak zorundadır. Bu arayüz sayesinde, kullanıcı tarafından yazılmış alt programların entegre edilmesi için AVL CRUISE programının yeniden derlenmesine gerek yoktur.

4.4 Taşıt Modeli Bileşenleri

AVL CRUISE yazılım paketinde model bileşenleri teknik modüllerle temsil edilmektedir. Bu modüllerdeki veriler şu alanlara ayrılmaktadır:

- Kontrol parametreleri seçimleri: Kontrol parametreleri her bileşenin özellikler penceresinde bulunmaktadır. Hesaplama koşullarına dair çeşitli seçenekler, örneğin bir soğuk çalıştırma modelinin seçilmesi veya hangi haritanın kullanılması gerektiği, buradan seçilir.
- Kullanıcı tanımlı değişkenler (giriş verileri): Bu veriler, modülü kişiselleştirmek üzere kullanıcı tarafından girilebilir veya değiştirilebilir. Tüm modüller için şu standart bilgiler girilebilir:

- Yazar
- Yorum
- Oluşturma tarihi
- Üç ayrı not

Bunlara ek olarak modüle özgü bilgiler de ilgili modüle girilebilmektedir.

- Giriş ve çıkış değişkenleri: Bunlar, modüllerin birbirlerinden almaya ihtiyaç duydukları veya diğer modüller için ürettikleri değişkenlerdir.

- Modül değişkenlerinin hesaplanması: Taşıt modelini temsil eden denklemler sisteminde kullanılacak hesaplanmış değişkenler, ayrı olarak belirtilmektedir. Ayrı olarak belirtilmiyorsa, birimleri SI birimleri olacaktır. Sıkça kullanılan değişkenlerin sembolleri, örneğin kuvvet için F , kararlı şekilde aynıdır.

Bu tezdeki hibrit elektrikli taşıt dönüşüm modelinde kullanılacak teknik modüller ve bunların sıklıkla kullanılan kontrol parametreleri ile kullanıcı tanımlı değişkenleri sonraki alt bölümlerde incelenecektir.

4.4.1 Taşıt modülü

Taşıt modülü, bir modeldeki ana unsurlardan biridir. Boyutlar ve ağırlık gibi taşıtın genel bilgileri bu modülde yer almaktadır. Bir modelde sadece bir taşıt modülü olmalıdır.

Yol dirençleri ve dinamik tekerlek yükleri, boyutlar ve yükleme durumuna göre, yol ve dinamometre koşuları için hesaplanmaktadır. Tekerlek yükleri hareket hesaba katılarak (örneğin ivmenin, hava direncinin, yuvarlanma direncinin etkileri hesaba katılarak) hesaplanmaktadır. Hava, yuvarlanma, yokuş tırmanma, ivme dirençleri ve toplam direnç hesaplanmaktadır.

4.4.1.1 Kontrol parametreleri

Değişkenlik: Bu seçenekle, taşıt değişkenliklere açık hale getirilebilmektedir. Hava direnç katsayısı ve taşıt kütlesi değişkenlik gösterebilmektedir.

Çıktı: Bu seçenek seçilirse, bu bileşenin bir sonuç çıktısı üretilmektedir.

Seyir direnci: Beş seyir direnci modelinden birinin aktivasyonunu içerir. Seçildiği zaman ilgili direnç modeli, bir veya daha fazla hesaplama görevinde kullanılabilir. Ancak seçilen direnç modeli için gerekli veri girişi yapılmalıdır. Her görevde ‘Sürüş Direnci’ seçim düğmesi hesaplamada hangi modelin kullanılacağını belirlemektedir. Bir görevde seçili olan her model, taşıt kontrol parametreleri penceresinden aktive edilmelidir. Aksi halde hesaplama bir hata mesajıyla duracaktır.

Hava direnç katsayıları: Sabit tanımlanmış bir hava direnç katsayısı dışında, herhangi bir veriyolu değerin fonksiyonu olarak açılıp kapanan bir spoylerin hava direncine etkisi için ek hava direnç katsayıları tanımlanabilmektedir.

Kaldırma etkisinin hesaba katılması: Bu kontrol parametresi seçildiğinde, hesaplamada tekerlek kaldırma kuvvetleri de hesaba katılır. Aksi halde, herhangi bir kaldırma katsayısına (ön aks kaldırma katsayısı/arka aks kaldırma katsayısı) gerek yoktur ve kaldırma kuvvetleri sıfır olarak varsayılır. Bu kontrol parametresinin seçilebilmesi için seyir direnci kontrol parametresinin seçilmesi gerekmektedir.

Viraj dönme: Bu kontrol parametresi ile viraj dönme de hesaba katılır. Çevrim koşullarında, tam yükte hızlanmada, sabit hızla seyirde ve frenlemede bu fonksiyon aktive edilebilir ve o zaman viraj dönüşünün eğrilik yarıçapının etkisi altındaki karakteristik değerler hesaplanır. Viraj dönme sadece bir taşıt modülü olduğunda hesaba katılabilir. Modelde bir römork veya çok akslı römork varsa hesaplamanın bu kısmı başlatılamaz.

Çapraz rüzgar etkisi: Viraj dönmeye bağlı olarak çapraz rüzgarın etkisinin de hesaba katılması mümkündür.

Soğuk çalıştırma düzeltmesi 1-5: Bu kontrol parametrelerinden bir veya daha fazlası aktive edilirse, soğuk çalıştırma faktörü anlık yakıt tüketimiyle çarpılır.

Çevrim 1-5: Bu parametrelerle sıcaklık karakteristiğini tanımlamak için 5 çevrime kadar aktivasyon yapılabilir.

Sıcaklık eğrisi 1-5: Bu parametrelerle, aktive edilen her çevrim için 5 sıcaklık karakteristiği aktive edilebilir. Çevrim koşusu ve sabit hızla seyir görevleri için bu sıcaklıklar veriyolu aracılığıyla içten yanmalı motor gibi çeşitli bileşenlere bağlanabilirler. Bu bileşenlerin tümünde, veriyolundan gelen sıcaklığın kullanılabilmesi için seçimlerin düzgün yapılması gerekmektedir. Örneğin içten yanmalı motorda, sıcaklık veriyolundan alınacak şekilde ayarlanmış olmalıdır.

4.4.1.2 Kullanıcı tanımlı değişkenler

Yakıt deposu hacmi [m^3]: Taşıtın mevcut yakıt tüketim oranıyla ulaşabileceği en uzak mesafeyi hesaplamak için kullanılmaktadır (Şekil 4.8).

Şekil 4.8: Taşıt modülü kontrol parametreleri ve kullanıcı tanımlı değişkenler penceresi

İçten yanmalı motor/çevre sıcaklık [K] ve basınç [mbar] farkları: Sıcaklık ve basınç farkı emme koşullarının düzeltilmesi için kullanılmaktadır. Çevre ve motor bölmesi koşullarındaki farklar tanımlanmalıdır. Bu değerler aynı zamanda çevre koşullarına göre içten yanmalı motorun güç düzeltme hesabında kullanılmaktadır.

Römork kancası ile ön aks arası mesafe [mm]: Römork kancası ile ön aks arasındaki yatay mesafedir. Yarı römorklu kamyon durumunda aks mesafesinden daha az olabilir.

Aks mesafesi [mm]: Ön ve arka aks arasındaki yatay mesafedir.

Yüke bağlı değişkenlerde boş, dolu ve yarı dolu olmak üzere olmak üzere üç farklı duruma göre hesaplama yapılabilir. Buna ek olarak, boş yük durumuna farklı ek kütleler tanımlanarak, taşıt için istenilen bir ağırlık tanımlanabilir. Aşağıdaki ilk yedi değişken bu şekilde yüke bağlı değişkenlerdir.

Yük durumuna göre taşıtın ağırlık merkezi mesafesi [mm]: Ağırlık merkezi mesafesi, ağırlık merkezi ile ön aks arasındaki yatay mesafedir.

Yük durumuna göre taşıtın ağırlık merkezi yüksekliği [mm]: Ağırlık merkezi yüksekliği, ağırlık merkezi ile yer arasındaki dikey mesafedir.

Yük durumuna göre römork kancasının yüksekliği [mm]: Römork kancası ile yer arasındaki dikey mesafedir.

Ön aks tekerlek basıncı [bar]: Yük durumuna bağlı olarak ön aksta tekerleğin yere temas ettiği alandaki basınçtır.

Arka aks tekerlek basıncı [bar]: Yük durumuna bağlı olarak arka aksta tekerleğin yere temas ettiği alandaki basınçtır.

Ön aks lastik hava basıncı [bar]: Yük durumuna bağlı olarak ön aks lastik hava basıncıdır.

Arka aks lastik hava basıncı [bar]: Yük durumuna bağlı olarak arka aks lastik hava basıncıdır.

Taşıt kütlesi [kg]: Taşıt kütlesi, boş taşıtın tam dolu yakıt deposunu da içeren kütlesidir.

Brüt kütle [kg]: Brüt kütle, taşıtın izin verilen en büyük kütlesidir.

Kesit alanı [m^2]: Kesit alanı, taşıtın hava direnci hesabı için kullanılan kesit alanıdır. Kesit alanıyla taşıtın boyutunun etkisi hesaba katılmış olur.

Hava direnç katsayısı [-]: Hava direnç katsayısı, taşıtın şekline bağlı olan hava direnç faktörüdür.

Ön aks kaldırma katsayısı [-], arka aks kaldırma katsayısı [-]: Ön ve arka aks kaldırma katsayıları, taşıtın hızının tekerlek yüklerine etkisinin hesaba katılması içindir. Pozitif bir kaldırma katsayısı, tekerlek yüklerinin azaldığının göstergesidir. Kaldırma katsayıları negatifse, tekerlek yükleri artan hızla birlikte artar.

Ön iz genişliği [mm], arka iz genişliği [mm]: Ön ve arka akslarda sol ve sağ tekerlek arasındaki yatay mesafedir.

Ön aks katılığı, arka aks katılığı [$N/^\circ$]: Viraj eğrilik yarıçapına göre taşıt, yanal ivmeden kaynaklanan yanal kuvvetler üretmek durumundadır. Yanal kayma açısı ve direksiyon açısının hesaplanması için ön ve arka aks katılığına ihtiyaç duyulur. Her tekerleğe düşen düşey kuvvetin hesaplanması için iz genişliğine de ihtiyaç duyulur.

Taşıtın toplam uzunluğu [m]: Çapraz rüzgar direnci hesabı için taşıtın ön ucu ile arka ucu arasındaki mesafe olan toplam uzunluk değeri verilmelidir.

Taşıt yanal alanı [m^2]: Çapraz rüzgar direnci hesabı için taşıtın yanal alanı da verilmelidir.

Taşıtın ön ucuyla ön aks arasındaki mesafe [m]: Yine çapraz rüzgar direnci hesabı için gereklidir.

Çapraz rüzgar direnci katsayısı [-]: Çapraz rüzgar direnci hesabı için gerekli olan şekil katsayısıdır.

Dönme momenti katsayısı [-]: Taşıt dönme momentinin çapraz rüzgar direncine etkisini gösteren katsayıdır.

4.4.2 Kavrama modülü

Geçici olarak boşta çalışma, harekete geçiş ve güç akışının kesilmesi kavrama ile mümkün olmaktadır. Kavrama, taşıt harekete geçirilirken, motorun dönel hızlarıyla aktarma organlarının dönel hızları arasındaki farkı kapatmak için sürtünme sağlar. İşletme şartlarında bir değişiklik vites değiştirmeyi gerekli kılar, kavrama, motoru işlem süresince aktarma organlarından ayırır. Kavrama modülünde otomobillerdeki manuel viteslerde kullanılan sürtünme kavramasını içeren bir model mevcuttur. Bu durumda kavrama modülü, kokpit modülü aracılığıyla sürücü modeli tarafından kontrol edilir. Kavrama modülü sürekli değişken oranlı (CVT) bir dişli kutusu ile de kullanılabilir ve bu durumda sadece ilk kalkışta gereklidir. Bu durumda kavrama modülü CVT kontrol modülü tarafından kontrol edilir.

4.4.2.1 Kontrol parametreleri

Çıktı: Bu seçenek seçilirse, bu bileşenin bir sonuç çıktısı üretilmektedir.

Basit model: Kavramanın basit modeli için iletilebilecek en yüksek moment tanımlanmalıdır.

Ayrıntılı model: Ayrıntılı modelde iletilebilir moment, kavramanın geometrik verilerinden ve sürtünme karakteristiğinden çıkarılır.

İstenen kavrama miktarı: Bu seçimde kavrama bir ‘İstenen kavrama miktarı’ değerine göre yapılır. Bu durumda ilgili veriyolu bağlantısı yapılmalıdır.

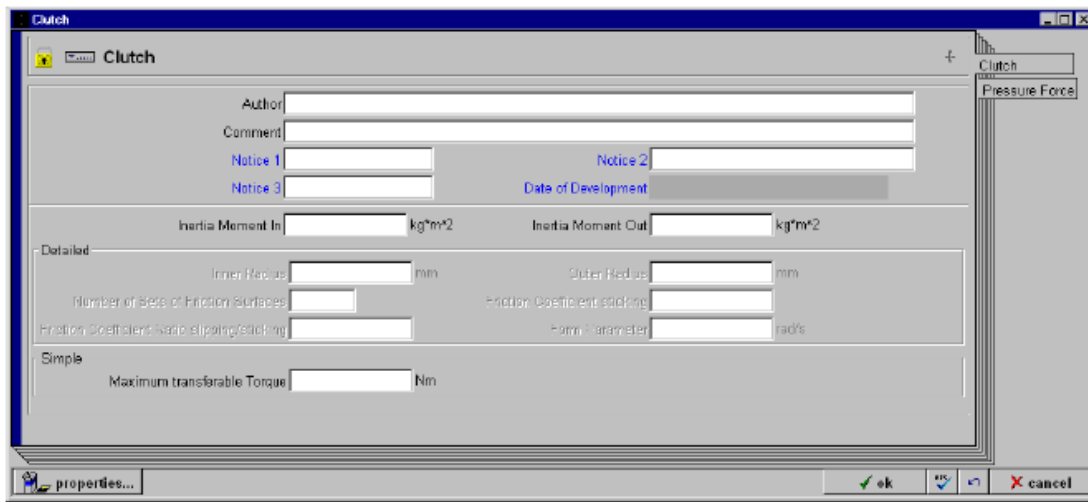
İstenen moment değeri: Bu seçimde kavrama istenen moment değeri sağlanacak şekilde yapılır. Bu durumda moment talebi veriyolu girişi sağlanmalıdır.

Dinamik kip: Bu kontrol parametresi seçilirse, kavrama hesaplaması her zaman dinamik olur ve hiçbir zaman kinematik bağlantıya geçmez.

Serbestçe tanımlanabilir sürtünme karakteristiği: Bu kontrol parametresi seçildiyse basit veya ayrıntılı model seçimine bağlı olarak, iletilebilecek en yüksek moment değeri veya karakteristik sürtünme katsayısı tanımlanabilir.

4.4.2.2 Kullanıcı tanımlı değişkenler

İç çap [mm], dış çap [mm]: Bu değerlerle kavramanın ortalama çapı hesaplanmaktadır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9: Kavrama modülü kontrol parametreleri ve kullanıcı tanımlı değişkenler penceresi

Sürtünme yüzeyi setleri sayısı [-]: Sürtünme yüzeyi setlerinin sayısı kavrama disklerinin sayısına eşittir. Hesaplama her disk iki kavrama yüzünden oluşan bir set sayılmıştır.

Statik sürtünme katsayısı [-], dinamik sürtünme katsayısı [-], şekil parametresi [rad/s]: Bu değerlerden kavramanın sürtünme karakteristiği belirlenmektedir. İki sürtünme katsayısının girilmesi sadece serbestçe tanımlanabilir sürtünme karakteristiği parametresi seçilmediğinde gereklidir.

Tahrik tarafı atalet momenti [kgm^2], güç alınan taraf atalet momenti [kgm^2]: Tekerlekleri tahrik eden aktarma organları tarafı ile motordan gelen gücün alındığı tarafın kavrama disklerinin atalet momentleridir.

İletilebilecek en yüksek moment [Nm]: Kavramanın güç alınan tarafla tahrik tarafı arasında iletebileceği en yüksek momenttir. Girilmesi sadece serbestçe tanımlanabilir sürtünme karakteristiği parametresi seçilmediğinde gereklidir.

Debriyaj kavrama miktarının bir fonksiyonu olarak basınç kuvveti [N]: Basınç kuvveti sürtünme yüzeyleri birbirine bastırıldığında ortaya çıkan eksenel kuvvettir. Bu kuvvet debriyaj kavrama miktarına bağlıdır. Basınç kuvveti ile iletilen moment boyutlar dikkate alınarak hesaplanabilir.

Kayma durumunda iletebilecek en yüksek moment [Nm]: Bu değişken sadece basit model seçildiğinde ve serbestçe tanımlanabilir sürtünme karakteristiği aktive edildiğinde gereklidir.

Kayma durumunda sürtünme katsayısı [-]: Bu değişken sadece ayrıntılı model seçildiğinde ve serbestçe tanımlanabilir sürtünme karakteristiği aktive edildiğinde gereklidir.

4.4.3 Dişli kutusu modülü

Birçok sabit oran içeren vites dişlileri, içten yanmalı motor ve taşıtın performans eğrilerinde bir karşılığın takip edilmesini sağlarlar. En yüksek motor verimi bölgesine karşılık gelmek birçok farklı faktöre rağmen, dişli kutusunun amacıdır. Bu faktörler, dişli sayısını, dişli oranlarının aralıklarını ve içten yanmalı motorun tam yükteki moment eğrisini içermektedir.

Dişli kutusu modülü, farklı dişli adımlarını içeren bir modeldir. İstenilen sayıda dişli tanımlanabilir. Her dişli için dönüşüm oranı, atalet momenti ve kayıp moment tanımlamak mümkündür. Dişli kutusu hem manuel hem de otomatik dişli kutuları için kullanılabilir. Otomatik dişli kutusu için kullanıldığında, vites değiştirme süreci, dişli kutusu kontrol veya dişli kutusu programı modüllerinden biri tarafından kontrol edilmektedir. Manuel vites kutusu kullanıldığında, bu işlem, sürücü tarafından yapılmaktadır.

4.4.3.1 Kontrol parametreleri

Değişkenlik: Bu seçenekle, dişli kutusu değişkenliklere açık hale getirilebilmektedir. Dişli kutusu için dönüşüm oranları, ek bir çarpanla çarpılarak değiştirilebilmektedir. Değişkenlik parametrelerinin ayarları dosya içinden yapılmaktadır.

Çıktı: Bu seçenek seçilirse, bu bileşenin bir sonuç çıktısı üretilmektedir.

Vites değiştirme zamanı: Bu parametre aktive edilirse, hesaplamada vites değiştirme zamanları haritası kullanılır.

Verimlilik kaybı: Bu seçenek seçildiğinde, kayıplar, sadece vites konumuna bağlı olan sabit bir verimlilikle hesaplanır.

Verimlilik ve moment kaybı düzeltmesi: Bu seçenek seçildiğinde, kayıplar, sadece vites konumuna bağlı olan bir verimlilik ve vites konumu ile seyir hızına bağlı olan bir moment kaybı ile hesaplanır.

Moment kaybı haritası, moment bölünmesi ile moment kaybı haritası, moment ve hız bölünmesi ile moment kaybı haritası: Bu seçenek seçildiğinde, kayıplar, vites konumuna, seyir hızı ve seyir momentine bağlı olarak bir moment kaybı haritasına bağlı olarak hesaplanır. Moment ve hız bölünmesinde, istenen moment ve hız değerleri için uygun değer, haritaları bölerek yapılan özel bir yaklaşım sonucuyla bulunur.

Sıcaklığa bağlı moment kaybı haritası: Bu seçenekte, her haritanın kullanıcı tanımlı bir sabit sıcaklık değeri ile ilişkili olduğu beş adet sıcaklığa bağlı moment haritası kullanılarak hesaplama yapılmaktadır. Hesaplamada kullanılan sıcaklık verisi, dişli kutusu modülünün sıcaklık veriyolu girişi üzerinden gelmektedir.

Vites değiştirme verimlilik kaybı: Bu seçenek seçildiğinde, her dişli için vites yükseltme ve düşürme verimliliği tanımlanmalıdır. Bu bilgi ile vites değiştirme işlemleri sırasındaki kayıplar hesaplanmaktadır. Bu sadece otomatik vites kullanıldığında yapılmaktadır.

4.4.3.2 Kullanıcı tanımlı değişkenler

Vites konumu [-]: Buraya vites numarası girilmektedir. Sıfır sayısı boş vites için kullanılmaktadır. Birinci vites her zaman olmak zorundadır. Boş vitesin tanımlı olma sebebi, taşıt boş vitesteyken atalet momentlerinin hesaba katılması içindir. Program vites adımı sayısını otomatik olarak belirlemektedir.

Her vites için dönüşüm oranı [-]: Farklı vites konumları için farklı oranlar burada tanımlanmaktadır. Ancak boş vitesin oranı 1 olmak zorundadır. Dişli diş sayısı tanımlanırsa, her vites için dönüşüm oranı otomatik olarak belirlenmektedir.

Tahrik tarafı atalet momenti [kgm^2], güç alınan taraf atalet momenti [kgm^2]: Tekerlekleri tahrik eden taraf ile motordan gelen gücün alındığı tarafın atalet momentlerini her vites için ayrı ayrı veya hepsi için aynı tanımlamak mümkündür.

Girdi diş sayısı [-], çıktı diş sayısı [-]: Dişli diş sayıları burada tanımlanabilmektedir. Kullanıcı sadece dönüşüm oranı tanımlarsa AVL CRUISE buna en iyi uyacak diş sayılarını otomatik olarak tanımlamaktadır. Eğer diş sayıları, dönüşüm oranını tam verecek şekilde ayarlanamıyorsa, en yakın değerleri verecek şekilde ayarlanmaktadır.

Vites yükseltme süresi [s], vites düşürme süresi [s]: Vites değiştirme süresi parametresi aktive edildiyse, vites yükseltme ve düşürme süreleri haritalardan okunur. Zaman tanımlanmamış vitesler için 0,1 saniye varsayılmaktadır.

Vites yükseltme [-] ve düşürme verimliliği [-]: Otomatik vites kullanımında, vites değiştirme kayıpları parametresinde verimlilik seçildiyse, kayıplar bu değişkenlere göre hesaplanmaktadır.

Her vitesteki verimlilik [-]: Kayıpların hesabında verimlilik kullanılacaksa, ilgili verimlilik değerleri buradan tanımlanmaktadır.

Her vitesteki moment kaybı [Nm]: Kayıpların hesabında moment kaybı kullanılacaksa, ilgili moment kaybı değerleri buradan tanımlanmaktadır.

Sıcaklığa bağlı moment kaybı düzeltmesi [Nm]: Sıcaklığa bağlı moment kaybı düzeltmesi seçeneği seçildiyse, ilgili moment kaybı değerleri buradan tanımlanmaktadır.

4.4.4 Diferansiyel modülü

Diferansiyel birimi, tahrik edilen tekerleklerin dönme hızlarındaki uyumsuzlukları dengelemektedir. Viraj dönüşlerinde iç ve dış tekerleklerin arasında ve dört tekerlekten çekiş durumunda farklı tahrik aksları arasında tekerlek dönme hızı uyumsuzlukları söz konusu olabilmektedir.

Özel uygulamalardaki nadir istisnalar dışında, diferansiyel konik dişlilerden oluşan bir birimdir. Sol ve sağ taraftaki çıktı dişliler eşit boyutlu iken, diferansiyelin sol ve sağ tekerleklerle moment dağıtımında bir dengeleyici kol görevi görmesini sağlamaktadırlar.

Eğer yol yüzeyindeki farklılıklardan dolayı sağ ve sol tekerleklerde farklı sürtünme katsayıları söz konusu olursa, bu dengeleyici etki, toplam çekiş momentini daha az sürtünmesi olan tekerdeki momentin iki katı ile sınırlamaktadır. Bundan dolayı da sürtünmenin az olduğu tekerlekte fazla kuvvetin etkisiyle bir boşa dönme meydana gelebilmektedir. Bunu engellemek için bir kilit mekanizması bu bileşene eklenebilmektedir.

Diferansiyel modülünde, bir moment bölünme faktörü eklenebilmektedir. Buna, dört tekerlekten çekişli bir aracın merkez diferansiyeli olma durumunda, ön veya arka aksa daha fazla moment iletilmesi gerektiğinde ihtiyaç duyulmaktadır.

4.4.4.1 Kontrol parametreleri

Çıktı: Bu seçenek seçilirse, bu bileşenin bir sonuç çıktısı üretilmektedir.

Verimlilik kaybı: Bu seçenek seçildiğinde, kayıplar, kullanıcı tarafından tanımlanmış olan sabit bir verimlilik değeriyle hesaplanır.

4.4.4.2 Kullanıcı tanımlı değişkenler

Kilitlilik, kilitsizlik veya veriyolundan gelecek moment bölünme faktörü için kontrol parametresi [-]: Bu seçenek, kullanıcının kilitli veya kilitsiz bir diferansiyel kullanmak ile veriyolundan gelecek bir moment bölünme faktörü kullanmak arasında seçim yapmasını sağlamaktadır. Kilitsizlik seçildiğinde, iki tekerleğe iletilen moment eşit olacak, ancak iki tekerleğin hızları farklı olabilecektir. Kilitli olma durumundaysa, iki tekerlek arasında rijit bir bağ olacak ve hızları aynı olacak, ancak iletilen moment farklı olabilecektir.

Moment bölünme faktörü [-]: İki tarafta farklı moment çıktısı için ilgili bölünme oranı seçilir. İki tarafa eşit moment dağıtılması isteniyorsa bölünme faktörü 1 olmalıdır.

Tahrik tarafı atalet momenti [kgm^2], güç alınan taraf atalet momenti [kgm^2]: Tekerlekleri tahrik eden taraf ile motordan gelen gücün alındığı tarafın atalet momentlerini tanımlamak mümkündür.

Sabit verimlilik [-]: Verimlilik kaybı seçeneği aktive edildiyse, bu sabit verimliliğe göre kayıplar hesaplanır.

4.4.5 İçten yanmalı motor modülü

Bu modülde tam yük, yakıt tüketimi ve diğer karakteristik eğriler kullanıcı tarafından serbestçe tanımlanabilmektedir. Hem bir benzin hem de bir dizel motoru tanımlamak mümkündür. Bu modüle, motor soğukken yakıt tüketimi ve emisyonların sıcaklıktan etkilenmesini hesaba katan bir sıcaklık modeli de dahildir. İçten yanmalı motor karakteristik eğriler ve haritalardan oluşan bir yapıyla modellenmiştir.

4.4.5.1 Kontrol parametreleri

Değişkenlik: Bu seçenekle, içten yanmalı motor değişkenliklere açık hale getirilebilmektedir. Örneğin motor hacmi değiştirilebilmektedir.

Çıktı: Bu seçenek seçilirse, bu bileşenin bir sonuç çıktısı üretilmektedir.

Soğuk çalıştırma düzeltmesi: Bu seçenek seçilmediğinde, herhangi bir sıcaklık hesaplaması yapılmaz ve yakıt tüketimi ve emisyonlar için de bir düzeltme yapılmaz.

Ön tanımlı sıcaklık karakteristiği: Motor sıcaklığı önceden tanımlanmış zamana bağlı bir karakteristikten alınmaktadır.

Hesaplanmış sıcaklık: Motor sıcaklığı hesaplanır.

Veriyolundan gelen sıcaklık: Motor sıcaklığı dış bir modül tarafından hesaplandığında (kara kutu, MATLAB, Flowmaster) veya genel bir haritada tanımlı olduğunda, içten yanmalı motor modülüne ‘dış sıcaklık’ veriyolu girişinden aktarılabilmektedir. Göreve veya seyir çevrimine bağlı sıcaklık karakteristiği taşıt modülünde tanımlanabilir ve güncel sıcaklık değerleri veriyolu üzerinden aktarılabılır. Bu seçenek için ‘ön tanımlı sıcaklık eğrisi’ görevde (seyir çevrimi veya sabit hızla sürüş) aktive edilmiş olmalıdır.

Isınma zenginleştirilmesi: Motor ısınma zenginleştirilmesi, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak motora özgü gerçekleştirilmektedir.

Ortalama sürtünme basıncı artışı ile zenginleştirme: Motor ısınma zenginleştirilmesi, düşük sıcaklıktan kaynaklanan ortalama sürtünme basıncı artışının hesaplanmasıyla gerçekleştirilmektedir.

Ortalama basınç faktörüyle zenginleştirme: Motor ısınma zenginleştirilmesi, motordaki ortalama basınç değerinin hesaplanmasıyla gerçekleştirilmektedir.

Sabit değerli boşta çalışma tktim ve emisyonları: Boşta alışma tktim ve emisyon değerleri sabit değerlerle tanımlanır.

Genel haritadan boşta çalışma tktim ve emisyonları: Boşta alışma tktim ve emisyon değerleri, genel tktim ve emisyon haritalarından hesaplanır.

Boşta alışma haritasından boşta çalışma tktim ve emisyonları: Boşta alışma tktim ve emisyon değerleri, ayrıntılı tktim ve emisyon haritalarından hesaplanır.

Genel haritanın ilk satırından boşta çalışma tktim ve emisyonları: Boşta alışma tktim ve emisyon değerleri, genel tktim ve emisyon haritalarının ilk satırından hesaplanır.

İlk alıştırma zenginleştirmesi: Bu seçenek aktive edildiğinde, ilk alıştırma sırasında zamana bağlı bir fonksiyon olarak tanımlanabilen ek bir yakıt püskürtme yapılmaktadır.

Hızlanma zenginleştirmesi: Bu seçenek aktive edildiğinde, yüksek ivmeli hızlanma sırasında zamana bağlı bir fonksiyon olarak tanımlanabilen ek bir yakıt püskürtme yapılmaktadır.

Sabit boşta çalışma hızı: Boşta alışma hızı sabit bir değer olarak tanımlanmıştır.

Boşta alışma hızı karakteristiğinden boşta çalışma hızı: Boşta alışma hızı motor sıcaklığının bir fonksiyonu olarak tanımlanabilmektedir.

Veriyolundan boşta çalışma hızı: Bu seçenekte boşta çalışma hızı veriyolundan okunmaktadır.

Boşta alışma hızı kontrolü: Bu seçenek aktive edildiğinde, boşta çalışma hızı tanımlanmış bir hedef boşta çalışma hızı sağlanacak şekilde kontrol edilir.

Sabit son hız: Bu seçenekte son hız olarak girilmiş sabit bir değer alınmaktadır.

Veriyolundan son hız: Bu seçenekte son hız veriyolundan okunmaktadır.

Motor freni eğrisi: Bu seçenek motor freni eğrisini aktive eder. Özellikle motor freni için özel subap mekanizmaları olan motorlar için kullanışlı olan bu seçeneğin aktivasyonu veriyolu üzerinden de yapılabilmektedir.

Yük sinyali haritası: Bu seçenek aktive edildiğinde, girilen gaz kelebeği haritası kullanılır. Aktive edilmediğinde ise, gaz gelebeği haritası tam yük ile sıfır yük arasından doğrusal olarak oranlanarak hesaplanır.

Yük sinyali kontrol değişkeni: Bu seçenekte, motor veriyolundan gelen yük sinyaliyle kontrol edilmektedir.

İstenen moment kontrol değişkeni: Bu seçenekte, motor veriyolundan gelen istenen moment sinyaliyle kontrol edilmektedir.

Standart egzoz sistemi modeli: Bu seçenek motor standart egzoz sistemi modülüne bağlandığında ve hesaplama amacı olarak emisyon hesaplamasını içeren bir seçenek tercih edildiğinde seçilmelidir.

Gelişmiş AVL egzoz sistemi modeli: Bu seçenek motor AVL egzoz sistemi modülüne bağlandığında ve hesaplama amacı olarak emisyon hesaplamasını içeren bir seçenek tercih edildiğinde seçilmelidir.

4.4.5.2 Kullanıcı tanımlı değişkenler

Motor tipi göstergesi [-]: Benzinli ve dizel olmak üzere iki seçenek mevcuttur (Şekil 4.10).

Doldurucu tipi göstergesi [-]: Doldurucusuz, turbo dolduruculu ve ara soğutmalı turbo dolduruculu olmak üzere üç seçenek mevcuttur.

Motor hacmi [cm^3]: Motor hacmi tüm silindirlerin toplam hacmidir. Bir motorun farklı bir hacimdeki bir motora dönüştürülmesi mümkündür. Bu durumda tüm moment değerleri, mutlak tüketim ve emisyon değerleri yeni hacmin eskisine oranı ile çarpılarak hesaplanır.

Motor çalışma sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$]: Sıcak çalıştırma durumunda motor çalışma sıcaklığına ihtiyaç vardır. Sıcak çalıştırma seçildiğinde hesaplama başındaki motor sıcaklığı motor çalışma sıcaklığıdır. Soğuk çalıştırma seçildiğinde hesaplama başındaki motor sıcaklığı ortam sıcaklığıdır.

Silindir sayısı [-]: Motordaki silindir sayısıdır.

Zaman sayısı [-]: 2 zamanlı ve 4 zamanlı olmak üzere iki seçenek mevcuttur.

Atalet momenti [kgm^2]: Motorun atalet momenti, motorun krank mili, volanı, olası bir fanı, kam mili gibi bütün parçalarını içermektedir.

Cevap süresi [s]: Cevap süresi motorun tam güce erişmek için ihtiyaç duyduğu süredir.

Şekil 4.10: İçten yanmalı motor modülü kontrol parametreleri ve kullanıcı tanımlı değişkenler penceresi

Motorun en yüksek dönme hızı [rpm]: Motor için bir en yüksek dönme hızı tanımlamak mümkündür. Bu dönme hızının üstündeki motor dönme hızlarında yakıt püskürtmesi kesilecektir.

Yakıt tipi [-]: Motorin, benzin, hidrojen, metanol gibi yakıtlar tanımlamak mümkündür.

Yakıt yoğunluğu [kg/m^3]: Motorun sıcaklık ve emisyon hesaplarında kullanılmak üzere yakıtın yoğunluğu kullanıcı tarafından girilebilir.

Yakıt ısı değeri [kJ/kg]: Motorun sıcaklık ve emisyon hesaplarında kullanılmak üzere yakıtın ısı değeri kullanıcı tarafından girilebilir.

Karbon ağırlık oranı [-]:Motorun emisyon hesaplarında kullanılmak üzere yakıtın karbon ağırlık oranı kullanıcı tarafından girilebilir.

Boşta çalışma hızı [rpm]: Boşta çalışma hızı için sabit bir değer tanımlanabilir. Sabit boşta çalışma hızı seçildiğinde bu değer kullanılmaktadır.

Boşta çalışma yakıt tüketimi [l/h], boşta çalışma NO_x emisyonu [kg/h], boşta çalışma CO emisyonu [kg/h], boşta çalışma HC emisyonu [kg/h], boşta çalışma is emisyonu [kg/h]: Boşta çalışma tüketimi ve emisyonları için sabit değerler tanımlanabilir. Sabit değerli boşta çalışma tüketim ve emisyonları seçildiğinde bu değerler kullanılmaktadır.

Yakıt kesici için mutlak motor dönme hızı değerleri [rpm]: Burada gaz pedalına basılmadığı zaman, yakıt kesicinin devreye gireceği mutlak alt ve üst motor dönme hızı sınırları girilebilir.

Yakıt kesici için göreceli motor dönme hızı değerleri [rpm]: Burada gaz pedalına basılmadığı zaman, yakıt kesicinin devreye gireceği alt ve üst motor dönme hızı sınırlarının boşta çalışma devrinden ne kadar fazla oldukları girilebilir. Boşta çalışma hızının sabit olmayıp, örneğin sıcaklığa bağlı olduğu durumlarda bu değişken kullanışlıdır.

Veriyolundan yakıt kesme sinyali [-]: Yakıt kesici aktivasyonu veriyolu girişinden de gaz pedalına basılmadığı zamanlarda yakıt kesicinin devreye girip girmemesi gerektiği kontrol edilebilmektedir.

Motor sıcaklığı [⁰C]: Motorun zamana bağlı sıcaklık karakteristiği kullanıcı tarafından tanımlanabilmektedir.

Isı sığası [J/K]: Ortama kaybedilen ısıнын miktarının belirlenmesi için kullanılmaktadır. Motorun mevcut sıcaklığının bir fonksiyonu olarak verilmelidir.

Isınma zenginleştirmesi [l/h]: Isınma zenginleştirmesi, motor sıcaklığının bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır.

İlk çalıştırma zenginleştirmesi [l/h]: İlk çalıştırma zenginleştirmesi, zamanın bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır.

Hızlanma zenginleştirmesi [l/h]: Hızlanma zenginleştirmesi, emme subabı konumunun bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır.

Sıcaklığa bağlı boşta çalışma hızı [rpm]: Boşta çalışma hızı, motor sıcaklığının bir fonksiyonu olarak tanımlanabilmektedir.

Marş motoru akımı [A]: Marş motoru akım karakteristiği, start-stop otomatığı için (bu özel bileşen taşıt modelinde kullanılacaksa) kullanılmaktadır. Beşe kadar sıcaklık seviyeleri için zamana bağlı farklı marş motoru akım karakteristikleri tanımlanabilmektedir.

Yük sinyali haritası [%]: Emme subabı pozisyonu, motor dönme hızı ve ortalama efektif basıncın bir fonksiyonu olarak tanımlanabilmektedir.

Bunların dışında kullanıcı tanımlı değişkenlerle, ortalama sürtünme basıncı modelleri, doldurucu modelleri, boşta çalışmada, tam yükte ve diğer koşullarda yakıt tüketim ve emisyon haritaları, güç, moment ve ortalama efektif basınç eğrileri, motor freni halinde güç, moment ve ortalama efektif basınç eğrileri tanımlanabilmektedir.

4.4.6 Elektrik motoru modülü

Elektrik motoru, elektrikli taşıt modellerinde, hibrid elektrikli taşıt modellerinde ve fan veya yağ pompası gibi donanımları çalıştırmak için kullanılabilir. Elektrik motoru karakteristik eğrilerle tanımlanmaktadır. Bu şekilde değişik motor tipleri yapılandırılabilir.

4.4.6.1 Kontrol parametreleri

Çıktı: Bu seçenek seçilirse, bu bileşenin bir sonuç çıktısı üretilmektedir.

Sabit verim: Bu seçenekte verim, sabit bir değer olarak tanımlanmaktadır. Moment haritasına ek olarak, akım verimi eğrileri (boşta çalışma akımı eğrisi, ilk çalıştırma akımı eğrisi) verilmelidir.

Verimlilik haritası: Bu seçenekte, verimlilik haritasının tanımlanması gerekmektedir. Akım-gerilim karakteristiği, verimlilik haritası ve moment-hız haritasıyla hesaplanmaktadır.

Yüke bağlı verimlilik haritası: Moment haritası ve akım verimi eğrilerine ek olarak, 5 adede kadar, yüke bağlı verimlilik haritası tanımlanabilmektedir. Mevcut gerilimin verimlilik değeri bu veriden hesaplanmaktadır.

Akım haritası: Motor karakteristiği, moment ve akım-gerilim haritasıyla tanımlanmaktadır.

4.4.6.2 Kullanıcı tanımlı değişkenler

Elektrik motorunun atalet momenti [kgm^2]: Atalet momentinden kaynaklanan etkilerin hesaplanması için kullanılmaktadır.

En düşük hız [rad/s]: Elektrik motorunun çalışması için gerekli olan en düşük açısal hızdır.

En yüksek hız [rad/s]: Elektrik motorunun çalışması için gerekli olan en yüksek açısal hızdır.

Gerilim [V]: Her elektrik motorunun çalıştığı gerilim tanımlanmalıdır.

Verim [%]: Bu girdi, sadece sabit verim seçeneği seçildiğinde girilebilmektedir.

Motorun moment-gerilim haritası [Nm]: Motor dönme hızı ve gerilime bağlı olarak motor çıkış momenti çıktının haritasıdır.

Motorun akım-gerilim haritası [A]: Motor dönme hızı ve gerilime bağlı olarak motorun çektiği akımın haritasıdır.

Verimlilik haritası [-]: Motor dönme hızı ve gerilime bağlı bir haritadır. Kontrol parametrelerinden verimlilik haritası seçildiyse tanımlanmalıdır. Ayrıca, ilk çalıştırma akımı değeri de verilmelidir.

Yüke bağlı verimlilik haritaları [-]: Seçilecek beş adede kadar gerilim seviyeleri için motor dönme hızı ve elektrik gücüne bağlı olarak birer harita tanımlanabilmektedir.

Boşta çalışma akımı eğrisi [A]: Boşta çalışma motor dönme hızına bağlı olarak motorun çektiği akımın eğrisidir. Sabit verim veya yüke bağlı verimlilik haritası seçeneklerinden biri seçildiğinde tanımlanmalıdır.

İlk çalıştırma akımı eğrisi [A]: İlk çalıştırma motor dönme hızına bağlı olarak motorun çektiği akımın eğrisidir. Sabit verim veya yüke bağlı verimlilik haritası seçeneklerinden biri seçildiğinde tanımlanmalıdır.

4.4.7 Elektrik makinesi modülü

Elektrik makinesi bileşeni, hem bir elektrik motoru hem de bir jeneratör olarak kullanılabilir. Her iki durumu için ayrı karakteristik haritaları vardır. Batarya bileşeni ile hibrit sistemlerin simülasyonunda kullanılabilir. Elektrik makinesi modeli bir çevirici ve bir elektrik motorunu içermektedir. Bu modelde güç kaybını hesaplamak için karakteristik verimlilik haritaları kullanılmaktadır.

Isı modeli, elektrik makinesinin kayıplardan kaynaklanan ısınmasını da hesaba katar. Ancak soğutma sisteminden kaynaklanan ortam ısınması bu bileşende hesaba katılmamıştır. Çeviricinin yarı iletken elemanlarının sıcaklığı (ilk çalıştırmada ve yük değişikliklerinde dahi) üst sınırı geçmemelidir, çünkü bunun sonucu çeviricinin hasar görmesi olabilir. Bu yüzden en yüksek güç de kayıplardan dolayı bu sıcaklık sınırının aşılması için sınırlanmalıdır. Bu yüzden izin verilen kayıplar motorun mevcut sıcaklığına bağlıdır ve en yüksek atalet momenti bu değerlere göre belirlenmektedir.

4.4.7.1 Kontrol parametreleri

Çıktı: Bu seçenek seçilirse, bu bileşenin bir sonuç çıktısı üretilmektedir.

Verim: Verim, motor dönme hızı ve gücüne (veya momentine) bağlı olarak tanımlanmalıdır.

Güç kaybı: Bu seçenekte, güç kaybı, motor dönme hızı ve gücüne (veya momentine) bağlı olarak tanımlanmalıdır.

Hesaplanan sıcaklık: Bu seçenekte, makine sıcaklığı modül tarafından özel bir ısı modeli kullanılarak hesaplanmaktadır.

Veriyolundan sıcaklık: Bu seçenekte, makine sıcaklığı veriyolundan alınarak, modüldeki sonraki hesaplamalarda kullanılmaktadır.

Akım limiti: Açıldığında, akım sınırı her geçtiğinde kullanıcı tanımlı sınıra eşitlenir.

Yük sinyali: Bu seçenekte, elektrik makinesi veriyolundan alınacak bir yük sinyali ile kontrol edilmektedir.

İstenen moment: Bu seçenekte, elektrik makinesi veriyolundan alınacak bir istenen moment verisiyle kontrol edilmektedir.

4.4.7.2 Kullanıcı tanımlı değişkenler

Makine tipi [-]: Kullanıcı bir ASM (asenكرون motor) ve bir PSM (kalıcı mıknatıslı senkron motor) arasında seçim yapabilmektedirler. (Şekil 4.11)

Karakteristik harita ve eğriler için seçim [-]: Motorla ilgili, jeneratörle ilgili veya genel olmak üzere üç seçenek mevcuttur. Kullanıcının, bileşenin hangi yönüyle ilgili harita ve eğri değerleri girmek istediğini belirtmesini sağlamaktadır.

Gerilim [V]: Taşıt şebekesi ile aynı değerde olmalıdır.

Electric Machine

Author: _____

Comment: _____

Notice 1: _____ Notice 2: _____

Notice 3: _____ Date of Development: _____

Type of Machine: **ASM** Characteristic Maps and Curves: **motor related**

Nominal Values

Nominal Voltage: _____ V Maximum Speed: _____ 1/min

Inertia Moment: _____ $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ Drag Torque: _____ Nm

Maximum Current - Motor: _____ A Maximum Current - Generator: _____ A

Thermal Model

Mass of Machine: _____ kg Thermal Time Constant of Maximum Power: _____ s

Initial Temperature: _____ C Maximum Temperature: _____ C

Specific Heat Transition: _____ W/K Specific Heat Capacity: _____ J/kg

Layout Temperature: _____ C Temperature Coefficient of Temperature Induction: _____ $1/K$

properties... ok cancel

Şekil 4.11 Elektrik makinesi modülü kontrol parametreleri ve kullanıcı tanımlı değişkenler penceresi

Atalet momenti [kgm^2]: Elektrik makinesinin atalet momenti buraya girilmektedir.

En yüksek akım - motor [A]: Bileşenin motor yönü için tanımlanan en yüksek akımdır.

En yüksek dönme hızı [rpm]: Elektrik motorunun en yüksek açısal dönme hızıdır.

En yüksek akım - jeneratör [A]: Bileşenin jeneratör yönü için tanımlanan en yüksek akımdır.

En yüksek mekanik güç [kW]: Elektrik makinesinin dönme hızının bir fonksiyonu olarak en yüksek mekanik güç tanımlanmaktadır.

Verim [%]: Kayıplarla ilgili kontrol parametresi olarak verim seçeneği seçildiyse elektrik makinesinin dönme hızı ve gücüne bağlı olarak verimi tanımlanmalıdır.

Güç kaybı [W]: Kayıplarla ilgili kontrol parametresi olarak güç kaybı seçeneği seçildiyse elektrik makinesinin dönme hızı ve gücüne bağlı olarak güç kaybı tanımlanmalıdır.

Bunlar dışında elektrik makinesinin ısı modeliyle ilgili de tanımlanması gereken değişkenler bulunmaktadır.

4.4.8 Batarya modülü

Elektrik motoru veya elektrik makinesi bileşenleriyle birlikte elektrikli veya hibrit elektrikli taşıtların simülasyonunda kullanılmaktadır. Temel modeli, bir gerilim kaynağı ve dirençten oluşmaktadır. Direnç, bir bataryadaki karmaşık süreçlerin büyük kısmının hesaba katılmasını sağlayacak şekilde yapılandırılmıştır. İsteğe bağlı olarak, konsantrasyon aşırı gerilimi ve transfer aşırı gerilimini tanımlayabilmek için iki RC elemanı eklenebilmektedir. Aynı zamanda, sıcaklığa bağlı değişimler aktive edilebilmektedir. Bataryanın sıcaklığa bağlı davranışı bir ısıl değişim modeliyle tanımlanmaktadır. Batarya içindeki kayıplardan kaynaklanan ısınma ve konveksiyon yoluyla soğuma hesaba katılmaktadır. Tekil hücreler olduğu gibi bunların her kombinasyonu da modellenilebilmektedir. Bundan dolayı, kullanıcı istediği tüm modelleri yapılandırabilmektedir.

4.4.8.1 Kontrol parametreleri

Çıktı: Bu seçenek seçilirse, bu bileşenin bir sonuç çıktısı üretilmektedir.

Hesaplanan sıcaklık: Bu seçenekte, bataryanın sıcaklığı ısıl model kullanılarak modül tarafından hesaplanmaktadır.

Veriyolundan sıcaklık: Bu seçenekte, bataryanın sıcaklığı veriyolundan dışarıda hesaplanmış olarak alınarak, modüldeki sonraki hesaplamalarda kullanılmaktadır.

Sabit direnç: Bu seçenekte, hesaplamada sabit değerler kullanılmaktadır.

Sıcaklığa bağlı direnç: Bu seçenekte, iç direnç için sıcaklığa bağlı haritalar kullanılmaktadır.

Sıcaklığa ve şarj durumuna bağlı direnç: Bu seçenekte, 5 ayrı sıcaklık seviyesine kadar her sıcaklık seviyesi için şarj durumuna bağlı olarak direnç hesaplanmaktadır. Seviyeler arasında kalan sıcaklıklar için seviyelere yakınlığa göre orantılama yöntemiyle hesaplama yapılmaktadır.

Coulomb verimi: Sadece sıcaklığa ve şarj durumuna bağlı direnç seçeneği seçildiğinde aktive edilebilir. Bu seçenek seçildiğinde, şarj halindeki Coulomb verimi şarj durumuna bağlı olarak tanımlanabilmektedir. Bu tanımlama beş sıcaklık seviyesine kadar sıcaklık seviyesi için yapılabilmektedir.

4.4.8.2 Kullanıcı tanımlı değişkenler

En yüksek şarj miktarı [As]: Bir hücrenin taşıyabileceği en yüksek şarj miktarıdır. (Şekil 4.12).

The screenshot shows the 'Battery H' software window. The main area contains several input fields for battery parameters. On the right, a list of user-defined variables is visible, including 'Idle Voltage', 'Ohmic Resistance', 'Resistance RC Concentration Overvoltage', and 'Resistance RC Transfer Overvoltage'. The bottom of the window has 'ok', 'cancel', and 'properties...' buttons.

Nominal Values of Cell	
Maximum Charge	As
Initial Charge	%
Nominal Voltage	V
Maximum Voltage	V
Minimum Voltage	V

Number of Cells	
Number of Cells per Cell-Row	Number of Cell-Rows

Thermal Model	
Operating Temperature	K
Mass of a Cell	kg
Specific Heat Transition	W/K
Specific Heat Capacity	J/kgK

Şekil 4.12: Batarya modülü kontrol parametreleri ve kullanıcı tanımlı değişkenler penceresi

Başlangıç şarj oranı [%]: En yüksek şarj miktarının bir oranı olarak tanımlanan başlangıç şarj oranı, hesaplamanın başında bataryanın ne kadar dolu olduğunu gösterir.

Gerilim [V]: Hücrenin gerilimi kullanılan malzemeye göre farklılık göstermektedir.

En yüksek gerilim [V]: Hücrenin geriliminin, hiçbir zaman aşmaması gereken en yüksek gerilimdir.

En düşük gerilim [V]: Hücrenin geriliminin, hiçbir zaman altına düşmemesi gereken en düşük gerilimdir.

Sıra başına hücre sayısı [-]: Bataryayı oluşturan hücrelerin bir sırada kaç adet olduklarının bilgisidir.

Hücre sırası sayısı [-]: Bataryayı oluşturan hücre sıralarının sayısıdır.

İşletme sıcaklığı [K]: Bu sıcaklık bataryanın en verimli çalıştığı sıcaklıktır.

Bir hücrenin kütlesi [kg]: Isıl model için kullanılmaktadır.

Özgöl ısı iletimi [W/K]: Bu değişken, ısı iletimini etkileyen tüm değişkenlerin (malzeme, yüzey durumu, iletkenlik gibi) bileşkesidir.

Özgöl ısı [J/kgK]: Malzemenin ısınma davranışını tanımlayan bu değişken de ısıl model için kullanılmaktadır.

Şarj halindeki gerilim [V]: Bir hücrenin şarj halindeki gerilimidir.

Boşalma halindeki gerilim [V]: Bir hücrenin şarjı boşalırken sahip olduğu gerilimdir.

Şarj halindeki direnç [Ohm]: Bir hücrenin şarj halindeki iç gerilimidir. Sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklığa bağlı direnç seçeneği seçilmediyse, sabittir.

Boşalma halindeki direnç [Ohm]: Bir hücrenin boşalma halindeki iç gerilimidir. Sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklığa bağlı direnç seçeneği seçilmediyse, sabittir.

Bunların dışında bu değerler, beş farklı sıcaklık seviyesi için ayrı ayrı tanımlanabilmektedir.

4.4.9 Motor kapatma modülü

Bu bileşenle, taşıt durmakta iken içten yanmalı motorun kapatılması sağlanabilir. Özellikle şehir içinde, yakıt tüketimini azaltmakta kullanılmaktadır. İçten yanmalı motor, şu şartların hepsi yerine geldiğinde kapatılmaktadır:

- İçten yanmalı motorun sıcaklığı, motor kapatma için belirlenen en düşük sıcaklıktan yüksektir.
- Yük sinyali sıfırdır ve taşıt durmaktadır veya hızı tanımlanan bir sınırın altındadır.
- Bataryanın şarj durumu, sorunsuz bir tekrar çalıştırmayı sağlayabilecek kadar yeterli olmalıdır.
- İlk çalıştırma üzerinden belirli bir aktivasyon süresi geçmiş olmalıdır.

İçten yanmalı motor şu şartlardan biri yerine geldiğinde yeniden çalıştırılmaktadır:

- Gaz pedalı pozisyonu %0'dan büyüktür.
- Gerekli olan en düşük batarya şarj durumuna ulaşılmıştır.
- İçten yanmalı motorun sıcaklığı, motor kapatma için belirlenen en düşük sıcaklığın altına düşmüştür.

4.4.9.1 Kontrol parametreleri

Çıktı: Bu seçenek seçilirse, bu bileşenin bir sonuç çıktısı üretilmektedir.

4.4.9.2 Kullanıcı tanımlı değişkenler

Aktivasyon süresi [s]: Motor kapatmanın aktivasyonu için ilk çalıştırma üzerinden belirli bir aktivasyon süresi geçmiş olmalıdır. Bu süre, tüm motora yağ gitmesi için gerekli olan süredir. Böylece bir sonraki çalıştırmada çok fazla enerji harcanmamış olur.

En düşük batarya şarj miktarı [Ah]: Motoru durdurduktan sonra yeniden çalıştırmak için batarya marş motorunu besleyecek gerekli şarj miktarına sahip olmalıdır. Bu en düşük batarya şarj miktarı girilmelidir.

Hız eşiği [km/h]: Bu hız sınırı, motor kapatmanın, hangi hızın altına düştüğünde, taşıtı duruyor kabul ettiğini tanımlamaktadır. Bu, taşıtın çok yavaş hareket ettiği ve güç gerekmediği durumlarda motorun çalıştırılmaması için gereklidir.

Motor sıcaklığı [K]: Motor sıcaklığı, motor kapatmanın çalışmaya başlayabilmesi için motorun ulaşması gereken en düşük sıcaklıktır. Bu, motorun soğukken defalarca durdurulup çalıştırılmasından dolayı çok fazla enerji kaybetmemek içindir. Motor sıcaklığı, ortam sıcaklığının bir fonksiyonu olarak da tanımlanabilmektedir.

Kapatma gecikmesi [s]: Motor kapatma gecikmesi, motor kapatma için tüm şartların yerine gelmesi ile motorun kapatılması arasındaki süreyi tanımlamaktadır. Bu gecikme, taşıtın hızının bir fonksiyonu olarak da tanımlanabilmektedir.

4.4.10 Fren modülü

Fren bileşeni, fren verisi ve boyutlarıyla tanımlanmaktadır. Hem tambur hem de disk fren tanımlamak mümkündür. Frenleme momenti, fren boyutları ve fren basıncı girdisi kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu fren basıncı, kokpit bileşeni veya fren kontrol bileşeninden gelebilir. Taşıt durmakta ise, serbestlik dereceleri azaldığından dolayı, hesaplama süresi de azalmaktadır. Bu azalma, küçük bir hız eşiğine ulaşıldığında, denklem sisteminin değiştirilmesiyle sağlanır. Bu durumda hareket bastırılmaktadır. Aynı zamanda sürekli, anlık kompulsif kuvvetin frenleme momentinden küçük olduğu kontrol edilmektedir. Bu şart doğru olmadığında, fren tekrar serbest bırakılmaktadır.

4.4.10.1 Kontrol parametreleri

Çıktı: Bu seçenek seçilirse, bu bileşenin bir sonuç çıktısı üretilmektedir.

Dinamik durum: Bu seçenek seçili olarak gelmektedir. Fren hesaplaması daima dinamiktir ve hiçbir zaman kinematik bir bağlantıya geçmemektedir. Kinematik durumda yapışkan bir fren modellemek için bu seçenek devre dışı bırakılabilir.

Fren basıncı: Bu durumda fren, veriyolu girişinden gelen fren basıncı verisiyle kontrol edilmektedir.

Frenleme momenti: Bu durumda fren, veriyolu girişinden gelen frenleme momenti verisiyle kontrol edilmektedir.

4.4.10.2 Kullanıcı tanımlı değişkenler

Fren pistonu yüzeyi [m^2]: Fren silindir yüzeyi, hidrolik silindirin yüzey alanıdır. Bu değişken, fren basıncı ve verimiyle çarpıldığında eksenel frenleme kuvvetini vermektedir.

Sürtünme katsayısı [-]: Fren tamburu veya diski ile fren pabuçları arasındaki sürtünme katsayısıdır.

Özgül fren faktörü [-]: Bu değişkenle frenin tipi tanımlanmaktadır. Disk frenler için 1, tambur frenler için 1'den büyük bir değer girilmelidir.

Etken sürtünme yarıçapı [m]: Fren kuvvetinin uygulandığı yarıçaptır.

Verim [-]: Verim, hidrolik fren basıncının mekanik fren basıncına dönüşmesindeki etkiyi hesaba katmak içindir.

Atalet momenti [kgm^3]: Fren tamburunun veya diskinin atalet momentidir.

4.4.11 Kokpit modülü

Kokpit, sürücüyle taşıtı birbirine bağlamaktadır. Bu modülde bağlantılar sadece veriyolu aracılığıyla yapılmaktadır. Bir yandan sürücü, taşıt hızı ve ivmesi gibi bilgileri edinirken, öbür yandan pedal pozisyonu gibi sürücüdenden gelen veriler diğer bileşenlere iletilmektedir. Pedal pozisyonları (örneğin debriyaj pedalı pozisyonu), ilgili bileşenlere (örneğin kavrama modülü), pedal karakteristikleri (örneğin debriyaj pedalı karakteristiği) aracılığıyla aktarılmaktadır.

4.4.11.1 Kontrol parametreleri

Çıktı: Bu seçenek seçilirse, bu bileşenin bir sonuç çıktısı üretilmektedir.

Veriyolundan mesafe ve hız bilgisi: Bu seçenekte, mesafe ve hız bilgisi veriyolu kanallarından alınmaktadır.

Veriyolundan istenen hız bilgisi: Bu seçenекle program, arayüz bileşeniyle birlikte kullanıldığında, sürücü veriyolundan gelen istenen hız verisine göre taşıtı kontrol etmektedir. Burada veriyolu kanalının, zamana bağlı bir dış sinyale bağlanması önemlidir. Sürücü, istenen bu hızı, uygun bir sapma oranıyla takip edecektir. Seyir çevrimi görevinde, örneğin vites değiştirme için uyumlu bir profil bulunmasına dikkat edilmelidir. s değiştirme için uyumlu bir profil bulunmasına dikkat edilmelidir.

4.4.11.2 Kullanıcı tanımlı değişkenler

Manuel ve otomatik vites değişimi için değişken [-]: Bu değişken hesaplama görevleri için kullanılmaktadır. Bu değişken sayesinde, hesaplama yapılırken vites değiştirme sürecinin sürücü (manuel) mü yoksa vites kontrol programı (otomatik) tarafından mı kontrol edildiği anlaşılmaktadır.

İleri vites sayısı [-], geri vites sayısı [-]: Sürücünün kaç vites olduğunu, yani vites artırmak için başka vites olup olmadığını bilmesini sağlar.

En yüksek fren pedalı kuvveti [N]: En yüksek fren pedalı kuvveti, fren pedalı pozisyonunu hesaplamak için kullanılmaktadır. Sürücü bileşeninin çıktısı, fren pedalına uygulanan kuvvettir. Bu fren pedalı kuvveti, en yüksek fren pedalı kuvvetine bölüldüğünde, fren pedalı pozisyonu bulunmuş olur. Sürücü bileşeni için de bir en yüksek fren pedalı kuvveti tanımlamak mümkündür. Bu en yüksek fren pedalı kuvveti ile, sürücünün davranışı hesaba katılabilmektedir. Örneğin, kokpitte en yüksek fren pedalı kuvveti 200 N olarak tanımlanmışken, fren pedalına en fazla 100 N ile basan bir sürücünün olması mümkündür. Bu da sürücünün fren pedalına en fazla %50 pozisyona kadar basabileceğini göstermektedir. Bu durum daha düşük fren basıncı ve daha uzun durma mesafesi anlamına gelmektedir.

Yük sinyali [%]: Gaz pedalının hareket mesafesinin bir fonksiyonu olarak yük sinylidir.

Debriyaj kavrama miktarı [%]: Debriyaj pedalının hareket mesafesinin bir fonksiyonu olarak debriyaj kavrama miktarıdır.

Fren basıncı [bar]: Özgül fren pedal kuvvetinin bir fonksiyonu olarak fren basıncıdır.

4.4.12 Egzoz sistemi modülü

Egzoz sistemi, katalitik dönüştürücü ve is filtresinin, içten yanmalı motorun ham emisyonlarının üzerindeki etkisini hesaba katmaktadır. Katalitik dönüştürücünün sıcaklığından başlayarak, her emisyon bileşeni için dönüşüm faktörleri sıcaklığa bağlı haritalarla hesaplanmaktadır.

4.4.12.1 Kontrol parametreleri

Çıktı: Bu seçenek seçilirse, bu bileşenin bir sonuç çıktısı üretilmektedir.

Hesaplanan sıcaklık: Bu seçenekte, sıcaklık ısı modeli kullanılarak hesaplanmaktadır.

Veriyolundan sıcaklık: Bu seçenekte sıcaklık, dış bir simülasyon aracında hesaplanarak bu bileşene veriyolundan aktarılmaktadır.

4.4.12.2 Kullanıcı tanımlı değişkenler

Isı kaybı katsayısı [-]: Isı kaybı katsayısı, içten yanmalı motorun egzoz enerjisinin ne kadarının egzoz sistemine ulaştığını ve ne kadarının motorla egzoz sistemi arasında kaybedildiğini belirlemek için kullanılmaktadır. Isı kaybı katsayısı, egzoz enerjisinin egzoz sistemine ulaşan yüzdesini göstermektedir. (Şekil 4.13).

Şekil 4.13: Egzoz sistemi modülü kontrol parametreleri ve kullanıcı tanımlı değişkenler penceresi

Katalitik dönüştürücünün kütlesi [kg]: Bu kütle verisi, katalitik dönüştürücünün sıcaklığını ve bunun sonucu olarak da emisyon dönüşümü verimliliğini hesaplamak için kullanılmaktadır.

Katalitik dönüştürücünün özgül ısısı [J/kgK]: Katalitik dönüştürücünün sıcaklığını hesaplamak için kullanılmaktadır.

Yüzey alanı [m²]: Egzoz sisteminin yüzey alanıdır. Ortamdaki havaya kaybedilen ısıyı hesaplamak için kullanılmaktadır.

Isı iletimi katsayısı [W/m²K]: Egzoz sistemi ile ortamdaki hava arasındaki ısı iletiminin katsayısıdır. Bu değişkenle çevreye kaybedilen ısı enerjisi hesaplanmaktadır.

Çalışma sıcaklığı [°C]: Çalışma sıcaklığı, sıcak çalıştırma ile yapılan hesaplamalar için gereklidir. Eğer sıcak çalıştırma seçildiyse, hesaplamanın başında katalitik dönüştürücünün sıcaklığı çalışma sıcaklığına eşittir. Eğer soğuk çalıştırma seçildiyse, hesaplamanın başında katalitik dönüştürücünün sıcaklığı ortam sıcaklığına eşittir.

NO_x, CO, HC ve is dönüşüm verimi [-]: Bu değişkenlerde, farklı emisyonların dönüşüm verimleri tablolar halinde katalitik dönüştürücünün sıcaklığına bağlı olarak tanımlanabilmektedir.

Egzoz gazı enerjisinin ısıtan oranı [-]: Bu oran, egzoz gazının ısı enerjisinin, egzoz sistemine iletilen oranıdır.

4.4.13 Tekerlek / Lastik modülü

Tekerlekler ve lastikler taşıtı yola bağlar. Tekerlek bileşeni birçok etkileyen değişkeni ve yuvarlanma halinin etkisini hesaba katmaktadır. Yuvarlanma hava direncinin momenti, tekerlek yükü, düzeltilmiş dinamik yuvarlanma yarıçapı ve yuvarlanma hava direnci katsayısı ile hesaplanabilmektedir. Boylamsal lastik kuvveti sürtünme katsayısı, tekerlek yükü ve kayma faktöründen kaynaklanmaktadır. Sürüş profili boyunca farklı yol şartları düşünülerek, farklı sürtünme katsayıları tanımlamak mümkündür. Tekerlek bileşeni aynı zamanda ayrıntılı bir yuvarlanma direnci modeli içermektedir. Bu model, lastik iç basıncı, tekerlek yükü, hız, ortam sıcaklığı ve zamana bağlı olarak lastiğin yuvarlanma direncini hesaplamaktadır.

4.4.13.1 Kontrol parametreleri

Değişkenlik: Bu seçenekle, tekerlek değişkenliklere açık hale getirilebilmektedir.

Değişkenlik parametreleri ile ilgili ayarlar dosyanın içinde yapılmaktadır.

Çıktı: Bu seçenek seçilirse, bu bileşenin bir sonuç çıktısı üretilmektedir.

Sabit dinamik yuvarlanma yarıçapı: Girilen sabit değer, dinamik yuvarlanma yarıçapı olarak kullanılmaktadır.

Karakteristik dinamik yuvarlanma yarıçapı: Dinamik yuvarlanma yarıçapı bir tablodan okunmakta ve ara değerler orantılanarak hesaplanmaktadır.

Tekerlek kayması: Deaktive edilerek hesaba katılmaması mümkündür.

Tekerlek kayması fonksiyonu / sınırlı fonksiyonu: Eğer sınırlı fonksiyon seçilirse, kayma, kayma karaktersitiğindeki en yüksek değerle sınırlanır.

Çekiş haritası / sınırlı haritası: Tekerlek yükünün yüzdesi olarak çekiş, tekerlek kayması ve sürtünme katsayısının bir fonksiyonudur. Eğer sınırlı harita seçilirse, çekiş, çekiş haritasındaki en yüksek değerle sınırlanır.

Yuvarlanma direnci modeli: Bu seçenek seçildiğinde yuvarlanma direnci ayrıntılı bir direnç modeliyle hesaplanır. Bu seçeneğin seçilmesiyle, yuvarlanma direncinin tekerlek yükü, lastik iç basıncı, taşıt hızı ve ortam sıcaklığı değerlerinden hangilerine bağlı olacağı da seçilebilmektedir.

Hesaplanmış boyutlar: Bu seçenekte, lastik çapı ve yüzey alanı, girilen lastik genişliği, lastik yanağı oranı ve jant çapından hesaplanmaktadır.

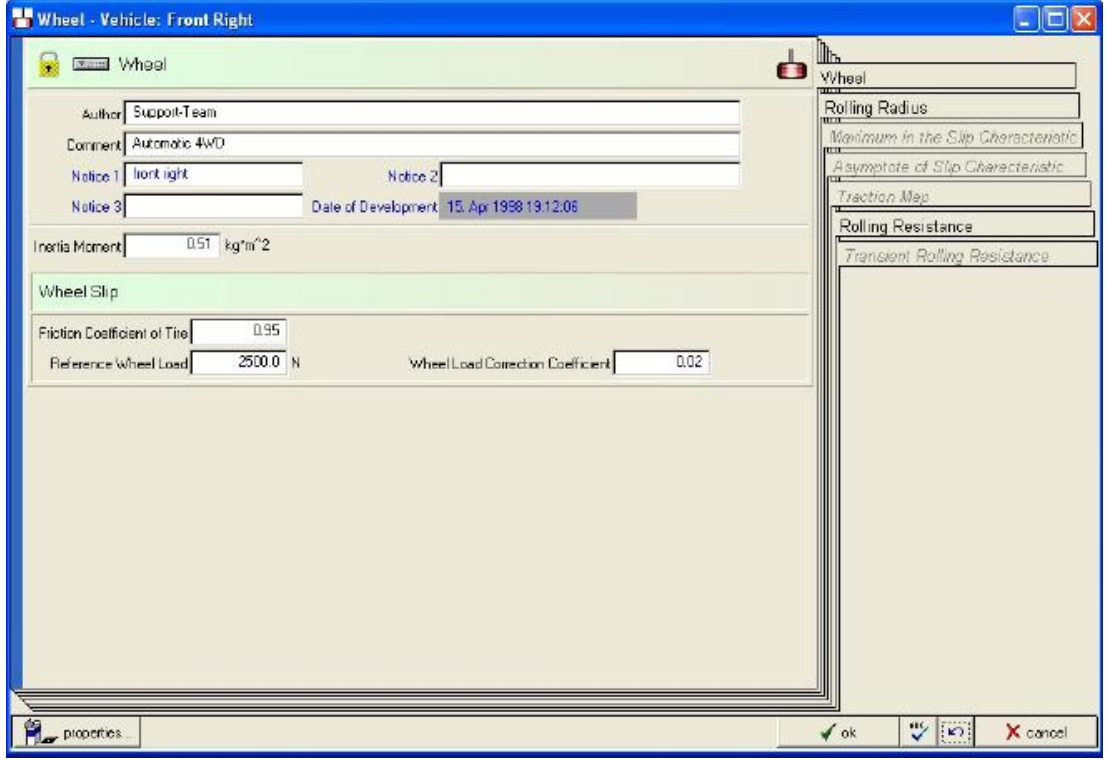
Tanımlı boyutlar: Bu seçenekte, lastik çapı ve yüzey alanı kullanıcı tarafından girilmektedir.

Tekerlek konumu (sol ön, sol arka, sağ ön, sağ arka): Bu seçenekte tekerleğin taşıtın hangi tekerleği olduğu tanımlanmaktadır.

4.4.13.2 Kullanıcı tanımlı değişkenler

Tekerlek atalet momenti [kgm^2]: Tekerleğin atalet momentidir. (Şekil 4.14).

Lastik sürtünme katsayısı [-]: Lastik sürtünme katsayısı lastiğin yapıldığı malzemeye bağlıdır. Bu değişkenle, farklı lastiklerin taşıtın davranışı üstündeki etkisi hesaba katılabilmektedir.



Şekil 4.14: Tekerlek / Lastik modülü kontrol parametreleri ve kullanıcı tanımlı değişkenler penceresi

Statik yuvarlanma yarıçapı [mm]: Taşıt hareket etmediği durumda tekerlek merkezi ile yol yüzeyi arasındaki mesafedir.

Sabit dinamik yuvarlanma yarıçapı [mm]: Taşıt hareket ettiği durumda tekerlek merkezi ile yol yüzeyi arasındaki mesafedir. Statik yuvarlanma yarıçapından biraz daha büyüktür. Sabit dinamik yuvarlanma yarıçapı seçildiğinde ilgili veri buraya girilmektedir.

Karakteristik dinamik yuvarlanma yarıçapı [mm]: Dinamik yuvarlanma yarıçapı taşıt hızının bir fonksiyonu olarak tanımlanabilmektedir. Karakteristik dinamik yuvarlanma yarıçapı seçildiğinde ilgili veriler buraya girilmektedir.

En yüksek çekişte kayma oranı [%]: En yüksek çekiş oranında tekerlekte oluşan kayma oranıdır.

Sonsuz kaymada çekiş [-]: Sonsuz kayma halinde tekerlekteki çekiş oranıdır.

Tekerlek yüküne bağlı yuvarlanma direnci [%]: Tekerlek yükünün yuvarlanma direncini etkileme oranıdır.

Lastik iç basıncına bağlı yuvarlanma direnci [%]: Lastik iç basıncının yuvarlanma direncini etkileme oranıdır.

Tavsiye edilen lastik iç basıncı [bar]: Tavsiye edilen lastik iç basıncı değeridir.

Taşıt hızına bağlı yuvarlanma direnci [%]: Taşıt hızının yuvarlanma direncini etkileme oranıdır. Düşük hızlarda neredeyse sabit olan bu oran, hız arttıkça artmaktadır. Yuvarlanma direncinin artmaya başladığı hız, lastik tasarımına bağlıdır.

Ortam sıcaklığına bağlı yuvarlanma direnci [%]: Ortam sıcaklığının yuvarlanma direncini etkileme oranıdır.

Lastik genişliği [mm]: Lastiğin yüksüz halde yanakları arasındaki doğrusal mesafedir.

Lastik yanağı oranı [%]: Lastiğin yüksüz halde janta oturduğu noktadan dış yüzeyine kadar olan mesafenin lastik genişliğine oranıdır.

Jant çapı [in]: Lastiğin janta oturduğu noktalardan ölçülecek çapıdır.

Lastik yüzey alanı [m²]: Lastiğin tüm dış yüzey alanları toplamıdır.

Sabit yuvarlanma direnci katsayısı [-]: Yuvarlanma direnci modeli seçilmediyse bu sabit değer girilmelidir.

Lastik iç basıncı [bar]: Lastik iç basıncı değeridir.

Lastik yükü [N]: Lastiğin üzerine binen yükür.

Lastik hızı [m/s]: Lastiğin teğetsel hızıdır.

Ortam sıcaklığı [°C]: Dış sıcaklık değeridir.

Isı iletim katsayısı [-]: Isı iletim hızını belirlemektedir.

Lastik kütlesi [kg]: Lastiğin sahip olduğu kütledir.

Lastik özgül ısısı [J/kgK]: Lastiğin özgül ısınma ısısıdır.

Hava direnci [N]: Lastik hava direncidir.

İlk sıcaklık [°C]: İlk sıcaklık hesaplama başlangıcında lastiğin sahip olduğu sıcaklıktır.

5. İÇTEN YANMALI MOTORLU TAŞITIN HİBRİT ELEKTRİKLİ TAŞITA DÖNÜŞÜM MODELİ

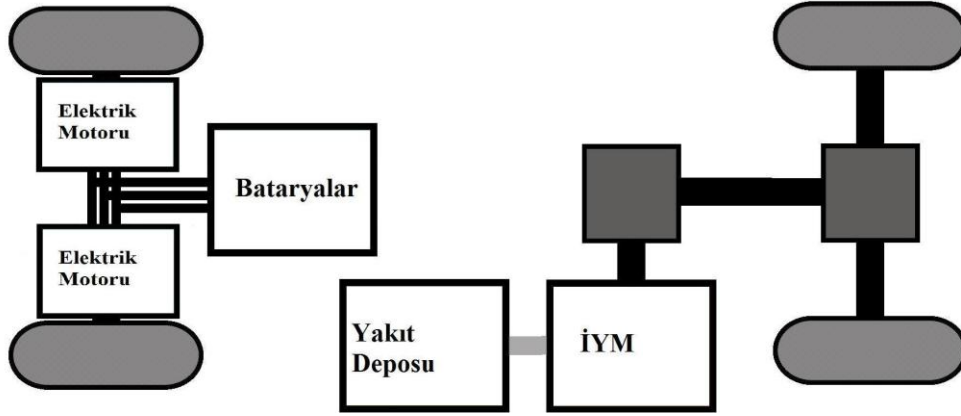
Hibrit elektrikli taşıtlar, içinde bulunduğumuz yüzyılın ilk on yılında seslerini duyurmuş olsalar da, maliyetleri tüketicilerin onları tercih etmelerinin önünde hala önemli bir engel teşkil etmektedir. Bu durumun bir sebebi, teknolojinin ve üretim adetlerinin maliyetlerin düşürülmesine izin verecek kadar gelişmemiş olmasıdır. Ancak en az bunun kadar önemli başka bir sebebi ise, piyasadaki hibrit elektrikli taşıtların karmaşık yapılarının maliyeti yükseltmesidir. Hibrit elektrikli taşıtların, daha sık tercih edilen bir seçenek olmaları için, düşük yakıt tüketimleri ile birlikte düşük maliyetlerde üretilmeleri gerekmektedir. Bu da günümüz teknolojisiyle ancak basit bir yapı ile sağlanabilir.

Bununla birlikte, günümüzde ancak yeni bir taşıt olarak bir hibrit elektrikli taşıta sahip olmak mümkün olduğu için bu tezde düşük maliyetli, basit, kolay uygulanabilir bir geleneksel taşıttan hibrit elektrikli taşıta dönüşüm modeli ele alınmıştır. Bu modelle hedeflenen, düşük maliyetle hibrit elektrikli taşıtların avantajlarını büyük oranda sunabilmek ve aynı zamanda sağladığı yakıt tasarrufu ile maliyetini karşılayabilmektir. Model bir taşıt dönüşüm seçeneği olduğundan, tüketicilerin yeni bir taşıt almanın maliyetine katlanmak zorunda kalmadan, sınırlı da olsa hibrit elektrikli taşıtların avantajlarından faydalanabilecekleri bir modeldir.

5.1 Model

Kullanılan model, bölüm 3.4.2.1’de yer verilen ve Şekil 3.3’te de görülen bölünmüş paralel hibrit elektrikli taşıt modelinin bir türüdür. Bu modelde akslar, birbirinden tamamen bağımsız tahrik edilmekte olduğundan, geleneksel bir taşıtın, tahrik edilmeyen aksının elektrik motorları ile tahrik edilmesi ve bu elektrik motorlarının bataryalarla beslenmesi sağlanacak şekilde bir hibrit elektrikli taşıta dönüşümü sağlanabilir.

Kullanılan modelde, günümüzde taşıtlar çoğunlukla önden çekişli olduklarından dolayı, içten yanmalı motorun ön aksı, elektrik motorlarının arka aksı tahrik etmesi tercih edilmiştir. Aktarma organlarının maliyetinden kısmak ve onların verim kaybını ortadan kaldırmak için, arka akstaki her iki teker de ayrı ayrı birer elektrik motoru tarafından doğrudan tahrik edilmektedir (Şekil 5.1).



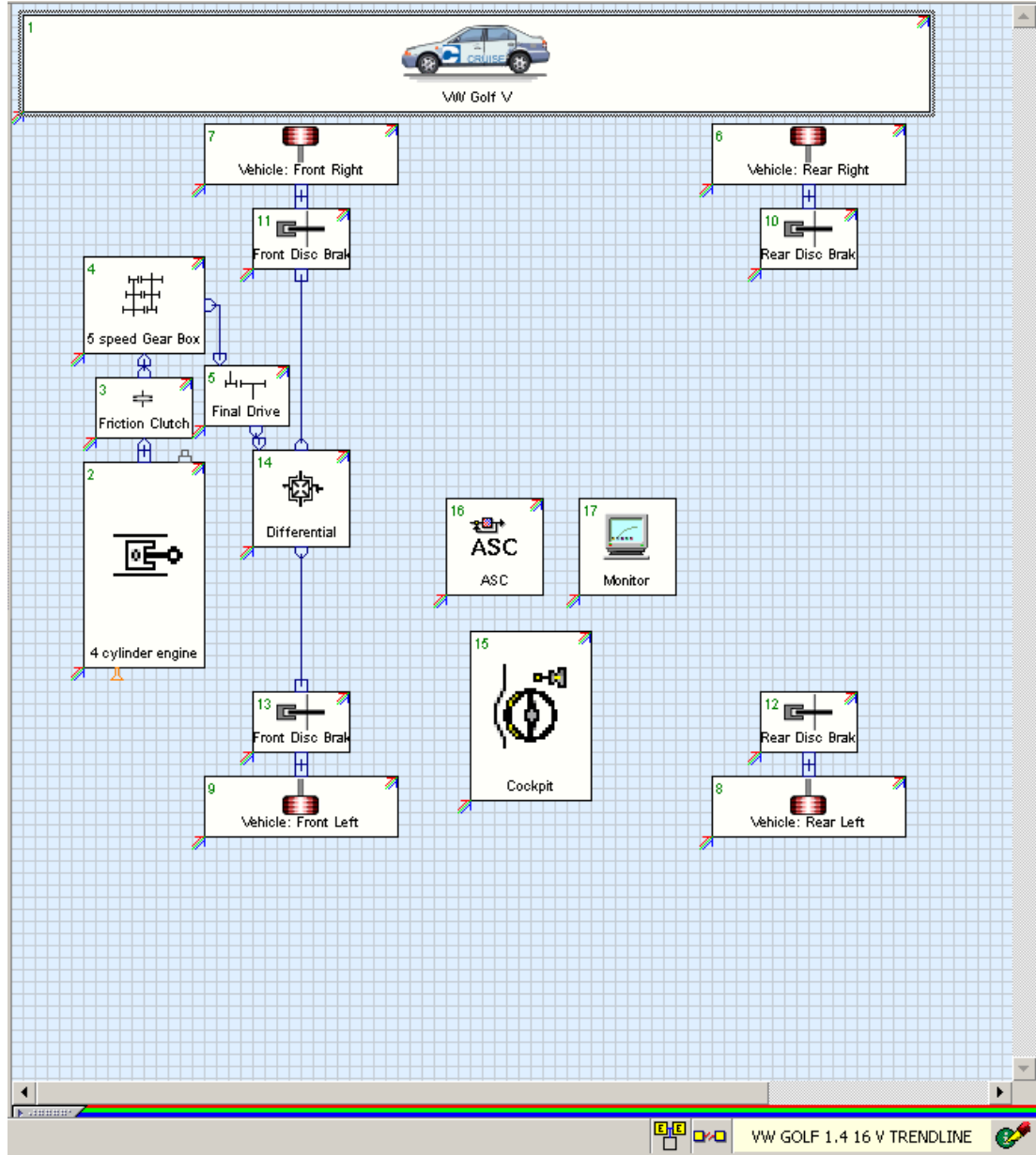
Şekil 5.1: Hibrit elektrikli taşıta dönüşüm modeli yapısı

Modelde kullanılan strateji, taşıtın düşük hızlarda (1. ve 2. vitesin kullanılabileceği hızlar) içten yanmalı motor kapatılarak, sadece elektrik motoruyla tahrik edilmesi ve daha yüksek hızlarda da elektrik motorları kapatılarak sadece içten yanmalı motorla tahrik edilmesidir. Bu sayede öncelikle, genellikle içten yanmalı motorun verimsiz olduğu şartlarda çalıştığı düşük hızlarda ve boşta çalışması önlenirken, içten yanmalı motorun yeterince verimli çalışabildiği daha yüksek sürüş hızlarında elektrikli tahrik menzili uzatılmaktadır. Ayrıca bu strateji ile, elektrik motorlarının gücünde bir küçültme yapılabilmekte ve böylece dönüşüm maliyeti düşürülebilmekte ve yine elektrikli tahrik menzili uzatılabilmektedir.

Kullanılan modelde, bataryalar sadece dış bir kaynaktan şarj edilebilmektedir. Bunun dışında, simülasyon koşullarında rejeneratif fren kullanılan ve kullanılmayan modeller kullanılmıştır.

5.2 Uygulama Şekli

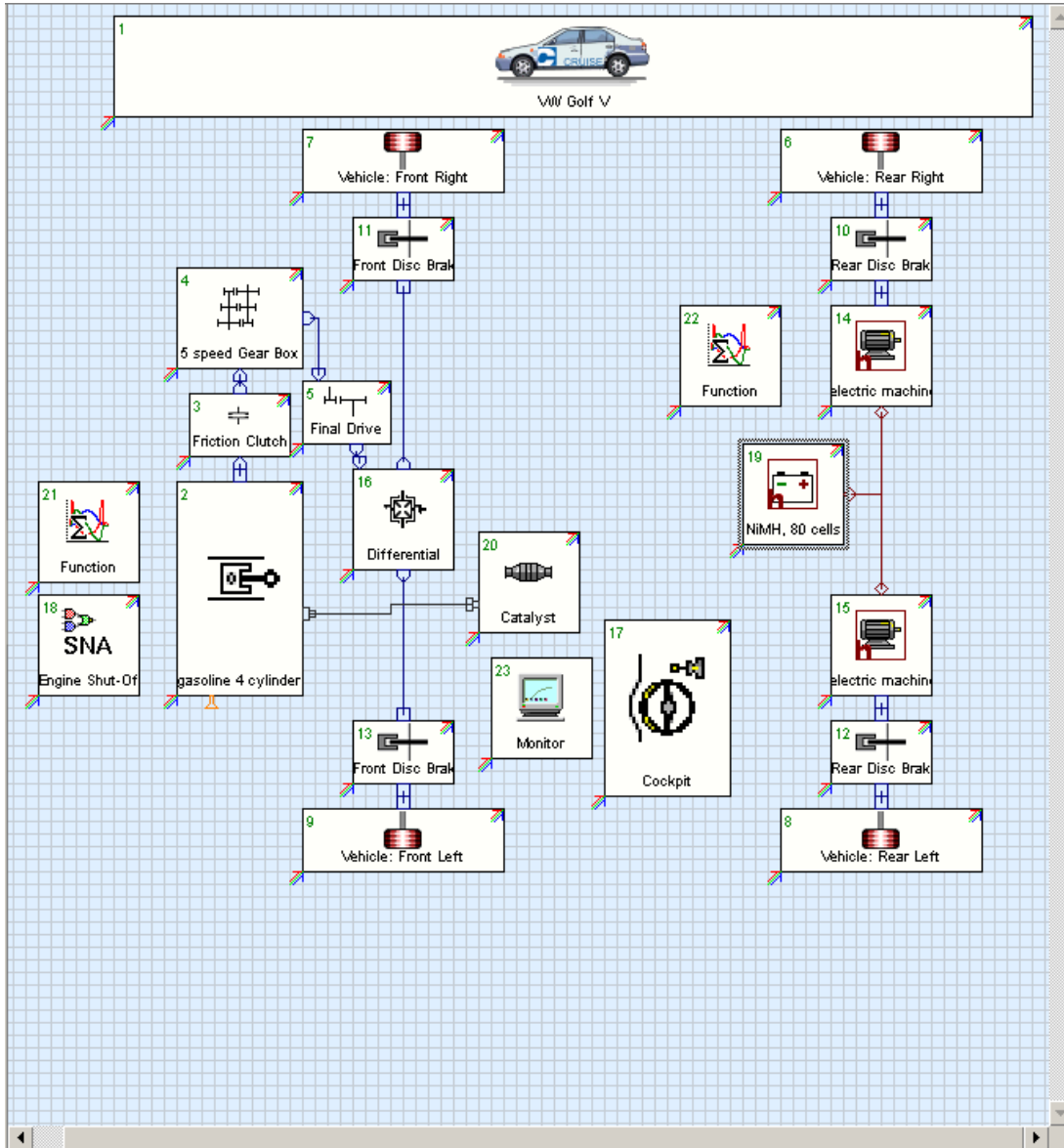
Model, AVL CRUISE’da yer alan Volkswagen Golf V modeli üzerinde değişiklik yapılarak oluşturulmuştur. Dönüşüm için Volkswagen Golf’ün seçilmiş olmasının nedeni, dünyada en çok satılan taşıt sınıfı olan orta sınıf taşıtlar arasında yer alması ve yine bu sınıfta en çok satılan taşıtlardan biri (2007 yılında dünya çapındaki satışları 25 milyonu geçmiştir [15]) olmasıdır. (Şekil 5.2).



Şekil 5.2: Volkswagen Golf V'in AVL CRUISE modeli

İlgili taşıt modelinde yer alan tüm modüller olduğu gibi kullanılırken, içten yanmalı motor modülünde tüketim ve emisyon bilgileri yer almadığından dolayı içten yanmalı motor modülü ve elektrik makinesi modülleri AVL CRUISE içinde yer alan “Hybrid 1” adlı modelden alınmıştır. İçten yanmalı motorun ilgili modelden alınmasının nedeni, motorun 1460 cm³ hacminde ve 64 kW gücünde, yani orta sınıf taşıtlarda kullanılan motorlarla aynı hacim ve güç seviyesinde bulunmasıdır.

Ek olarak kullanılan modüller ise, katalitik dönüştürücü modellemesi için egzoz sistemi modülü, stratejinin uygulanabilmesi için fonksiyon modülleri ve motor kapatma modülü, elektrikli tahrik için elektrik makinesi ve batarya modülleri olmuştur. Modelin AVL CRUISE’deki durumu, Şekil 5.3’te görülebilmektedir.



Şekil 5.3: AVL CRUISE hibrit elektrikli taşıta dönüşüm modeli

Modelin simülasyonları, Avrupa şehir içi seyir çevrimi (ECE-15) ve İstanbul seyir çevrimi kullanılarak yapılmıştır. Bu simülasyonlarda yakıt tüketimi ve elektrik tüketimi ile CO₂, CO, NO_x ve HC emisyon sonuçları hesaplanmıştır.

5.3 Modüllerde Kullanılan Parametre ve Kullanıcı Tanımlı Değişkenler

5.3.1 Taşıt modülü

Kontrol parametrelerinden çıktı seçilmiştir ve beş seyir direnci modelinden fiziksel seyir direnci aktive edilmiştir. Seçeneklerden sabit hava direnç katsayısı seçilirken, kaldırma etkisi, viraj dönme ve çapraz rüzgar etkisi hesaba katılmamıştır. Soğuk çalıştırma düzeltmesi de seçilmeyen modülde sıcaklık karakteristiği tanımlamak üzere aktive edilebilen çevrimler de aktive edilmemiştir. Kullanıcı tanımlı değişkenler ise Golf V'in modellendiği bu bileşende şu şekilde tanımlanmıştır:

Yakıt deposu hacmi [m³]: 0,055

İçten yanmalı motor/çevre sıcaklık [K] ve basınç [mbar] farkları: 0,0 ve 0,0

Römork kancası ile ön aks arası mesafe [mm]: 3300,0

Aks mesafesi [mm]: 2578,0

Yük durumuna göre taşıtın ağırlık merkezi mesafesi [mm]: Taşıtın boş, yarı dolu ve dolu olmasından bağımsız olarak 1041,5

Yük durumuna göre taşıtın ağırlık merkezi yüksekliği [mm]: boşken 552,0; yarı doluyken 545,0; doluyken 530,0

Yük durumuna göre römork kancasının yüksekliği [mm]: boşken 400,0; yarı doluyken 390,0; doluyken 368,0

Ön aks lastik hava basıncı [bar]: Taşıtın boş, yarı dolu ve dolu olmasından bağımsız olarak 2,0

Arka aks lastik hava basıncı [bar]: Taşıtın boş, yarı dolu ve dolu olmasından bağımsız olarak 2,2

Taşıt kütlesi [kg]: 1272,0

Brüt kütle [kg]: 1780,0

Kesit alanı [m²]: 2,22

Hava direnç katsayısı [-]: 0,32

Seçilen kontrol parametreleriyle başka bir kullanıcı tanımlı değişkene ihtiyaç olmamıştır.

5.3.2 Kavrama modülü

Kontrol parametrelerinden çıktı aktive edilmiştir. İki kavrama modelinden basit model seçilirken kavramanın, veriyolundan gelecek istenen kavrama miktarı değerine göre yapılması sağlanmıştır. Dinamik kip ve serbestçe tanımlanabilir sürtünme karakteristiği parametreleri ise seçilmemiştir. Kullanıcı tanımlı değişkenler ise Golf V'in modellendiği bu bileşende şu şekilde tanımlanmıştır:

Tahrik tarafı atalet momenti [kgm^2], güç alınan taraf atalet momenti [kgm^2]: Her ikisi de 0,01 kgm^2 olarak tanımlanmıştır.

İletilebilecek en yüksek moment [Nm]: 250,0 Nm

Debriyaj kavrama miktarının bir fonksiyonu olarak basınç kuvveti [N]: Bu kuvvet Çizelge 5.1'de görüldüğü gibi tanımlanmıştır.

Seçilen kontrol parametreleriyle başka bir kullanıcı tanımlı değişkene ihtiyaç olmamıştır.

Çizelge 5.1: Debriyaj kavrama miktarının bir fonksiyonu olarak basınç kuvveti.

Debriyaj kavrama miktarı [%]	Basınç kuvveti [N]
100,0	5000,0
66,0	2250,0
33,0	750,0
0,0	0,0

5.3.3 Dişli kutusu modülü

Kontrol parametrelerinden çıktı aktive edilmiştir. Vites değiştirme zamanı ve verimlilik kaybı aktive edilmediğinden, moment kaybı düzeltmelerine dair de bir seçim yapılamamıştır. Kullanılan dişli kutusu 5 ileri vitesli mekanik bir dişli kutusudur. Kullanıcı tanımlı değişkenler ise Golf V'in modellendiği bu bileşende Çizelge 5.2'de görüldüğü gibi tanımlanmıştır.

Çizelge 5.2: Dişli kutusu kullanıcı tanımlı değişkenleri.

Vites konumu	Dönüşüm oranı	Tahrik tarafı atalet momenti [kgm ²]	Güç alınan taraf atalet momenti [kgm ²]	Girdi diş sayısı	Çıktı diş sayısı
0	1,0	0,0015	0,005	10	10
1	3,77	0,0015	0,005	100	377
2	2,1	0,0015	0,005	10	21
3	1,39	0,0015	0,005	100	139
4	1,03	0,0015	0,005	100	103
5	0,81	0,0015	0,005	100	81

Seçilen kontrol parametreleriyle başka bir kullanıcı tanımlı değişkene ihtiyaç olmamıştır.

5.3.4 Diferansiyel modülü

Kontrol parametrelerinden çıktı aktive edilirken, verimlilik kaybı aktive edilmemiştir. Kullanıcı tanımlı değişkenler ise Golf V'in modellendiği bu bileşende şu şekilde tanımlanmıştır.

Kilitlilik, kilitsizlik veya veriyolundan gelecek moment bölünme faktörü için kontrol parametresi [-]: Kilitsiz

Moment bölünme faktörü [-]: 1,0

Tahrik tarafı atalet momenti [kgm²], güç alınan taraf atalet momenti [kgm²]: Her ikisi de 0,015 kgm² olarak tanımlanmıştır.

Seçilen kontrol parametreleriyle başka bir kullanıcı tanımlı değişkene ihtiyaç olmamıştır.

5.3.5 İçten yanmalı motor modülü

Kontrol parametrelerinden çıktı ve soğuk çalıştırma düzeltmesi aktive edilmiştir. Sıcaklık için hesaplanmış sıcaklık seçilirken; zenginleştirme, ortalama sürtünme basıncı artışı ile gerçekleştirilecek şekilde seçilmiştir. Boşta çalışma tüketim ve emisyonları için sabit değerli hesaplama yöntemi tercih edilirken, boşta çalışma hızı da sabit olarak seçilmiştir ve boşta çalışma hızı kontrolü aktive edilmemiştir. İlk

çalıştırma ve hızlanma zenginleştirilmesi de aktive edilmeyen diğer seçeneklerden olmuştur. Motorun son hızı sabit olarak seçilirken; motor freni eğrisi ve yük sinyali haritası da aktive edilmemiştir. Motorun kontrol değişkeni veriyolundan gelen yük sinyali olarak seçilirken, egzoz sistemi modeli de standart egzoz sistemi modeli olmuştur. Kullanıcı tanımlı değişkenler ise AVL CRUISE içinde yer alan “Hybrid 1” adlı modelden alınan bu bileşende şu şekilde tanımlanmıştır.

Motor tipi göstergesi [-]: Benzinli

Doldurucu tipi göstergesi [-]: Doldurucusuz

Motor hacmi [cm^3]: 1460,0

Motor çalışma sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$]: 90

Silindir sayısı [-]: 4

Zaman sayısı [-]: 4

Atalet momenti [kgm^2]: 0,19

Cevap süresi [s]: 0,04

Motorun en yüksek dönme hızı [rpm]: 5800,0

Yakıt tipi [-]: Normal ROZ 91

Yakıt yoğunluğu [kg/l]: 0,72

Yakıt ısı değeri [kJ/kg]: 42700,0

Karbon ağırlık oranı [-]: 0,8871

Boşta çalışma hızı [rpm]: 720,0

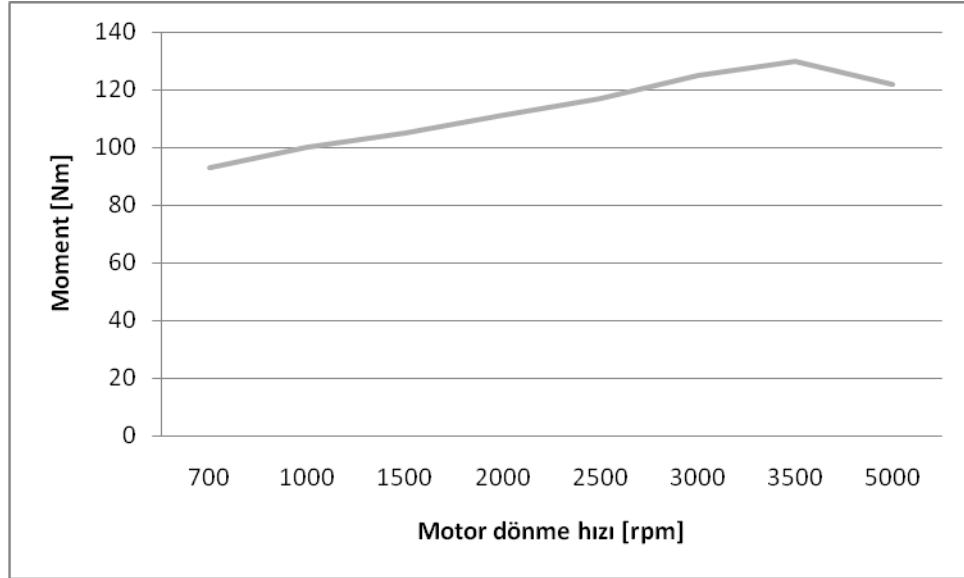
Boşta çalışma yakıt tüketimi [l/h], boşta çalışma NO_x emisyonu [kg/h], boşta çalışma CO emisyonu [kg/h], boşta çalışma HC emisyonu [kg/h], boşta çalışma is emisyonu [kg/h]: Sırasıyla 0,48; 0,0014; 0,065; 0,06; 0,05 olarak tanımlanmıştır.

Yakıt kesici için mutlak motor dönme hızı değerleri [rpm], yakıt kesici için göreceli motor dönme hızı değerleri [rpm], veriyolundan yakıt kesme sinyali [-]: Yakıt kesici fonksiyonu aktive edilmemiştir, dolayısıyla bu değerlerden birinin girilmesine gerek olmamıştır.

Tam yük moment karakteristiği [Nm] Çizelge 5.3 ve Şekil 5.4’te görüldüğü gibi tanımlanmıştır.

Çizelge 5.3: İçten yanmalı motorun tam yük moment karakteristiği.

Motor dönme hızı [rpm]	Moment [Nm]
700,0	93,0
1000,0	100,0
1500,0	105,0
2000,0	111,0
2500,0	117,0
3000,0	125,0
3500,0	130,0
5000,0	122,0



Şekil 5.4: İçten yanmalı motorun tam yük moment karakteristiği.

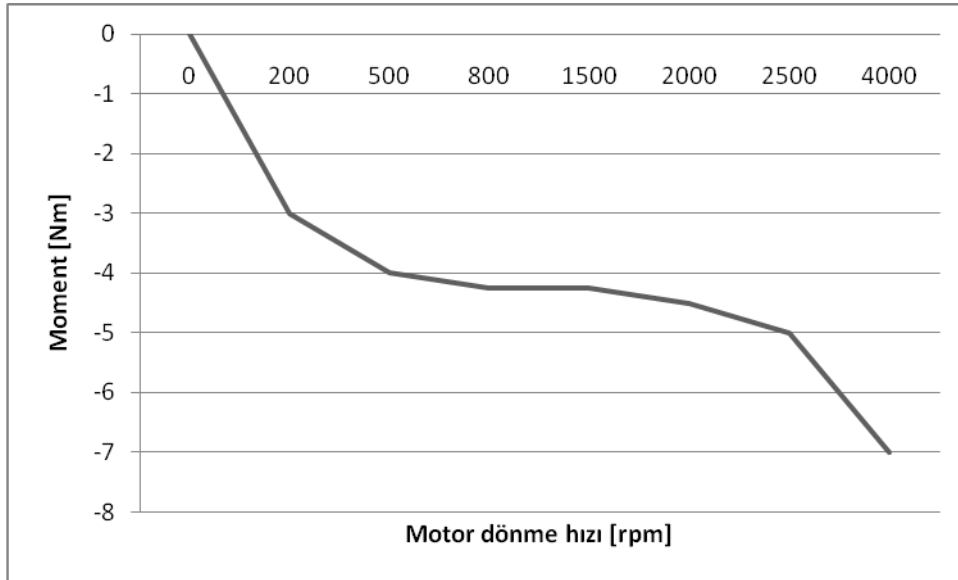
Yüksüz halde motor freni moment karakteristiği Çizelge 5.4 ve Şekil 5.5'te görüldüğü gibi tanımlanmıştır.

Çizelge 5.4: İçten yanmalı motorun yüksüz halde motor freni moment karakteristiği.

Motor dönme hızı [rpm]	Moment [Nm]
0,0	0,0
200,0	-3,0
500,0	-4,0

Çizelge 5.4: İçten yanmalı motorun yüksüz halde motor freni moment karakteristiği
(Devamı).

Motor dönme hızı [rpm]	Moment [Nm]
800,0	-4,25
1500,0	-4,25
2000,0	-4,5
2500,0	-5,0
4000,0	-7,0



Şekil 5.5: İçten yanmalı motorun yüksüz halde motor freni moment karakteristiği.

Motorun yakıt tüketim haritası Ek A'daki Çizelge A.1'de görüldüğü gibi tanımlanmıştır.

Motorun NO_x emisyonları haritası Ek A'daki Çizelge A.2'de görüldüğü gibi tanımlanmıştır.

Motorun CO emisyonları haritası Ek A'daki Çizelge A.3'te görüldüğü gibi tanımlanmıştır.

Motorun HC emisyonları haritası Ek A'daki Çizelge A.4'te görüldüğü gibi tanımlanmıştır.

Seçilen kontrol parametreleriyle başka bir kullanıcı tanımlı değişkene ihtiyaç olmamıştır.

5.3.6 Elektrik makinesi modülü

Modelde arka tekerleklerin her biri için bir adet olmak üzere aynı iki adet modül kullanılmıştır. Kontrol parametrelerinden çıktı aktive edilmiştir. Kayıplar için verim ve güç kaybı seçeneklerinden verim seçilmiştir. Sıcaklık için hesaplanmış sıcaklık seçilirken; akım limiti açık konuma getirilmiştir. Makinenin kontrol değişkeni ise veriyolundan gelen yük sinyali olarak seçilmiştir. Kullanıcı tanımlı değişkenler ise AVL CRUISE içinde yer alan “Hybrid 1” adlı modelden alınan bu bileşende şu şekilde tanımlanmıştır:

Makine tipi [-]: PSM

Karakteristik harita ve eğriler için seçim [-]: Motorla ilgili veya rejeneratif frenlemenin kullanıldığı koşularda genel

Gerilim [V]: 144,0

Atalet momenti [kgm^2]: 0,15

En yüksek akım - motor [A]: 150,0

En yüksek dönme hızı [rpm]: 8000,0

En yüksek akım - jeneratör [A]: 150,0

Ktle [kg]: 18,0

Maksimum gücün ısıl zaman sabiti [s]: 12,0

İlk sıcaklık [$^{\circ}\text{C}$]: 55,0

En yüksek sıcaklık [$^{\circ}\text{C}$]: 170,0

Özgül ısı iletimi [W/K]: 250,0

Özgül ısı [J/kgK]: 1200,0

Makinenin moment haritası izelge 5.5’te görüldüğü gibi tanımlanmıştır. Makinenin jeneratör olarak kullanılması halinde bu haritadaki momentler aynı makine dönme hızları için aynı büyüklükte ancak aksi yönde tanımlanmıştır.

Çizelge 5.5: Elektrik makinesi moment haritası.

Makine dönme hızı [rpm]	Moment [Nm]
0,0001	65,0
2000,0	65,0
2500,0	50,0
3500,0	36,0
4500,0	28,0
5500,0	23,0
6500,0	19,0
8500,0	15,0

Makinenin verimlilik haritası Ek B'deki Çizelge B.1'de görüldüğü gibi tanımlanmıştır. Makinenin jeneratör olarak kullanılması halinde bu haritadaki verimlilik değerleri aynı makine dönme hızları ve aksi yönde momentler için aynı büyüklükte tanımlanmıştır.

Seçilen kontrol parametreleriyle başka bir kullanıcı tanımlı değişkene ihtiyaç olmamıştır.

5.3.7 Batarya modülü

Modelde, Nikel metal hidrit ve Lityum iyon olmak üzere iki tip batarya kullanılmıştır. Koşulara göre batarya büyüklüklerinde farklılıklar söz konusu olabilirken, bataryanın bir hücresi için tanımlanan değerler aynı tip bataryalar için aynı şekilde tanımlanmıştır.

Tüm batarya tipleri için kontrol parametrelerinden çıktı aktive edilmiştir. Sıcaklık için hesaplanmış sıcaklık seçilirken; direnç için de sabit direnç seçilmiştir. Coulomb verimi; direnç, sıcaklığa veya şarj durumuna bağlı seçilmediği için aktive edilmemiştir.

Kullanıcı tanımlı değişkenler ise AVL CRUISE içinde yer alan “Hybrid 1” adlı modelden alınan Nikel metal hidrit bataryada tipinde şu şekilde tanımlanmıştır:

En yüksek şarj miktarı [As]: 23400,0

Başlangıç şarj oranı [%]: 100,0

Gerilim [V]: 7,2

En yüksek gerilim [V]: 9,0

En düşük gerilim [V]: 6,0

Sıra başına hücre sayısı [-]: 40

Hücre sırası sayısı [-]: Batarya büyüklüğü bu değişkenle belirlendiğinden koşuya göre farklılık göstermektedir.

İşletme sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$]: 25,0

Bir hücrenin kütlesi [kg]: 0,99792

Özgül ısı iletimi [W/K]: 0,7

Özgül ısı [J/kgK]: 800,0

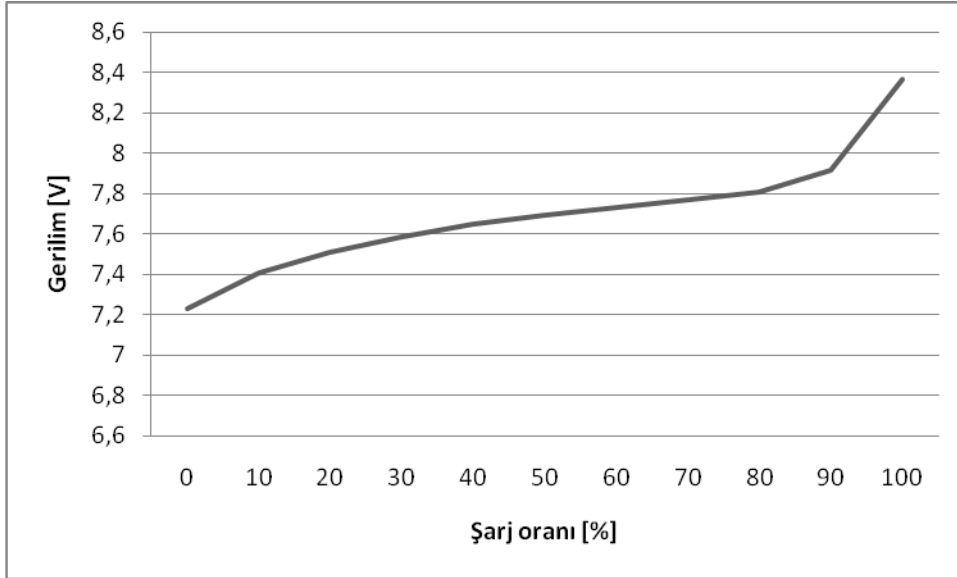
Bataryanın hem şarj hem de boşalma halinde şarj oranına bağlı olarak gerilimi Çizelge 5.6 ve Şekil 5.6’da görüldüğü gibi tanımlanmıştır.

Çizelge 5.6: Bataryanın şarj oranına bağlı olarak gerilimi

Şarj oranı [%]	Gerilim [V]
0,0	7,23
10,0	7,4047
20,0	7,5106
30,0	7,5873
40,0	7,6459
50,0	7,6909
60,0	7,7294
70,0	7,7666
80,0	7,8078

Çizelge 5.6: Bataryanın şarj oranına bağlı olarak gerilimi (Devamı).

Şarj oranı [%]	Gerilim [V]
90,0	7,9143
100,0	8,3645



Şekil 5.6: Bataryanın şarj oranına bağlı olarak gerilimi

Şarj halindeki direnç [Ohm]: 0,0197

Boşalma halindeki direnç [Ohm]: 0,0269

Seçilen kontrol parametreleriyle başka bir kullanıcı tanımlı değişkene ihtiyaç olmamıştır. Lityum-İyon batarya için AVL CRUISE içinde tanımlanmış bir model bulunmadığından, tipik enerji yoğunluğu ve verim değerleri [] kullanılarak, depolanan aynı miktarda enerji için 0,4 kat kütle ve aynı şartlarda 1,3 kat verim varsayılarak ve diğer değişkenler aynı kabul edilerek gerekli tanımlar yapılmıştır.

5.3.8 Motor kapatma modülü

Bu modül yardımı ile modeldeki düşük hızlarda sadece elektrik motorunun çalışması stratejisi uygulanmıştır. Taşıt, koşuya göre farklılık gösterebilen, belirlenen bir hızın altında iken, yük sinyali bir fonksiyon yardımıyla bu modüle sıfır olarak beslenmiştir. Böylece motor kapatma modülünün bu belirlenen hızın altında içten yanmalı motoru kapatması ve sadece elektrik motorunun çalışması sağlanmıştır. Kontrol parametrelerinden çıktı aktive edilmiştir. Kullanıcı tanımlı değişkenler ise şu şekilde tanımlanmıştır:

Aktivasyon süresi [s]: 0,0 (Böylece taşıt yola yeni çıkmış iken içten yanmalı motorun ısıtılması için çalıştırılması önlenmiş ve taşıtın kalkışı sadece elektrik motoruyla yapması sağlanmıştır.)

En düşük batarya şarj miktarı [Ah]: 0,0

Hız eşiği [km/h]: Bu hız sınırı, motor kapatmanın, hangi hızın altına düştüğünde, motoru kapatacağını tanımlamaktadır. Koşuya göre farklı hız eşikleri seçilmiştir.

Motor sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$]: Taşıt yola yeni çıkmış iken içten yanmalı motorun ısıtılması için çalıştırılmasının önlenmesi ve taşıtın kalkışı sadece elektrik motoruyla yapması için ortam sıcaklığından bağımsız olarak $-50,0^{\circ}\text{C}$ olarak tanımlanmıştır.

Kapatma gecikmesi [s]: Böyle bir geciktirmeye gerek görülmediğinden taşıt hızından bağımsız olarak 0,0 s olarak tanımlanmıştır.

5.3.9 Fren modülü

Modelde her bir tekerlek için birer adet geleneksel hidrolik disk fren kullanılırken, ön ve arka frenler birbirinden farklı büyüklüklerde tanımlanmıştır. Dört fren için de kontrol parametrelerinden çıktı ve dinamik durum aktive edilmiştir. Fren kontrolü değişkeni olarak da fren basıncı seçilmiştir. Kullanıcı tanımlı değişkenler ise Golf V'in modellendiği bu bileşende şu şekilde tanımlanmıştır:

Fren pistonu yüzeyi [m^2]: Ön için 1800,0; arka için 1500,0

Sürtünme katsayısı [-]: Ön için 0,27; arka için 0,25

Özgül fren faktörü [-]: Ön ve arka 1,0

Etken sürtünme yarıçapı [mm]: Ön için 130,0; arka için 110,0

Verim [-]: Ön ve arka 0,99

Atalet momenti [kgm^3]: Ön için 0,02; arka için 0,015

5.3.10 Kokpit modülü

Kontrol parametrelerinden çıktı aktive edilirken, veriyolundan mesafe ve hız bilgisi ile istenen hız bilgisi aktive edilmemiştir. Kullanıcı tanımlı değişkenler ise Golf V'in modellendiği bu bileşende şu şekilde tanımlanmıştır:

Manuel ve otomatik vites değişimi için değişken [-]: Manuel

İleri vites sayısı [-], geri vites sayısı [-]: 5 ileri, 1 geri

En yüksek fren pedalı kuvveti [N]: 100,0

Yük sinyali [%]: Gaz pedalının hareket mesafesi yüzdesiyle birebir aynı yüzdede yük sinyali olacak şekilde, $F(x) = x$ şeklinde bir fonksiyon tanımlanmıştır.

Debriyaj kavrama miktarı [%]: Debriyaj pedalının hareket mesafesi yüzdesiyle ters orantılı yüzdede kavrama miktarı olacak şekilde, $F(x) = 1-x$ şeklinde bir fonksiyon tanımlanmıştır.

Fren basıncı [bar]: Özgül fren pedal kuvveti, yani fren pedal kuvvetinin yüzde kaç kullanılıyorsa, bu yüzdeyle birebir aynı barda bir fren basıncı olacak şekilde, $F(x) = 100x$ şeklinde bir fonksiyon tanımlanmıştır.

5.3.11 Egzoz sistemi modülü

Kontrol parametrelerinden çıktı aktive edilirken, sıcaklık için hesaplanmış sıcaklık seçilmiştir. Kullanıcı tanımlı değişkenler ise Golf V'in modellendiği bu bileşende şu şekilde tanımlanmıştır:

Isı kaybı katsayısı [-]: 0,93

Katalitik dönüştürücünün kütlesi [kg]: 8,0

Katalitik dönüştürücünün özgül ısısı [J/kgK]: 210,0

Yüzey alanı [m^2]: 0,23

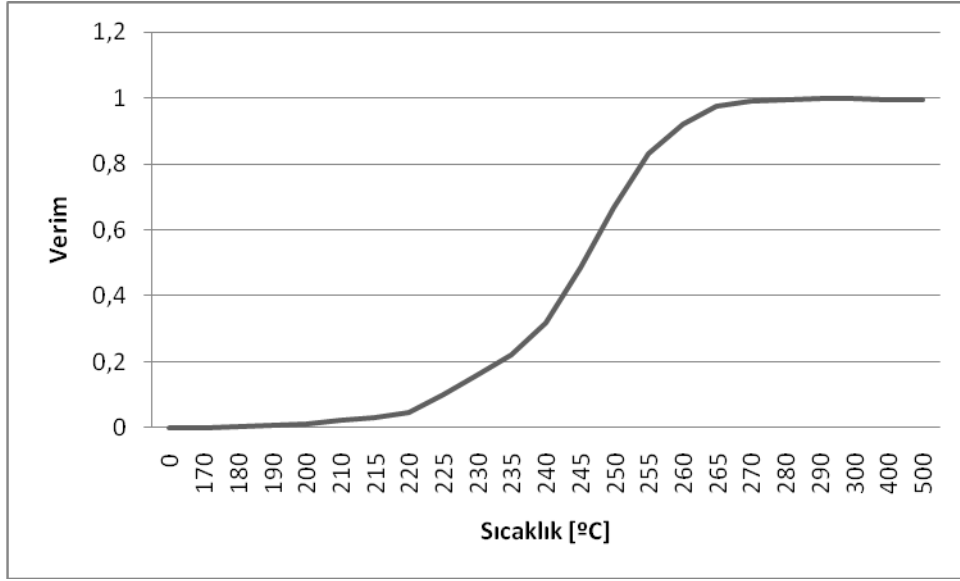
Isı iletimi katsayısı [$\text{W/m}^2\text{K}$]: 10,5

Çalışma sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$]: 450,0

Katalitik dönüştürücünün NO_x dönüşüm verimi Çizelge 5.7 ve Şekil 5.7'de görüldüğü gibi tanımlanmıştır.

Çizelge 5.7: Katalitik dönüştürücünün NO_x dönüşüm verimi

Sıcaklık [⁰ C]	Verim [-]
0,0	0,0
170,0	0,0
180,0	0,003
190,0	0,007
200,0	0,013
210,0	0,021
215,0	0,031
220,0	0,045
225,0	0,1
230,0	0,16
235,0	0,22
240,0	0,32
245,0	0,485
250,0	0,67
255,0	0,83
260,0	0,92
265,0	0,975
270,0	0,992
280,0	0,996
290,0	0,997
300,0	0,997
400,0	0,996
500,0	0,996



Şekil 5.7: Katalitik dönüştürücünün NO_x dönüşüm verimi

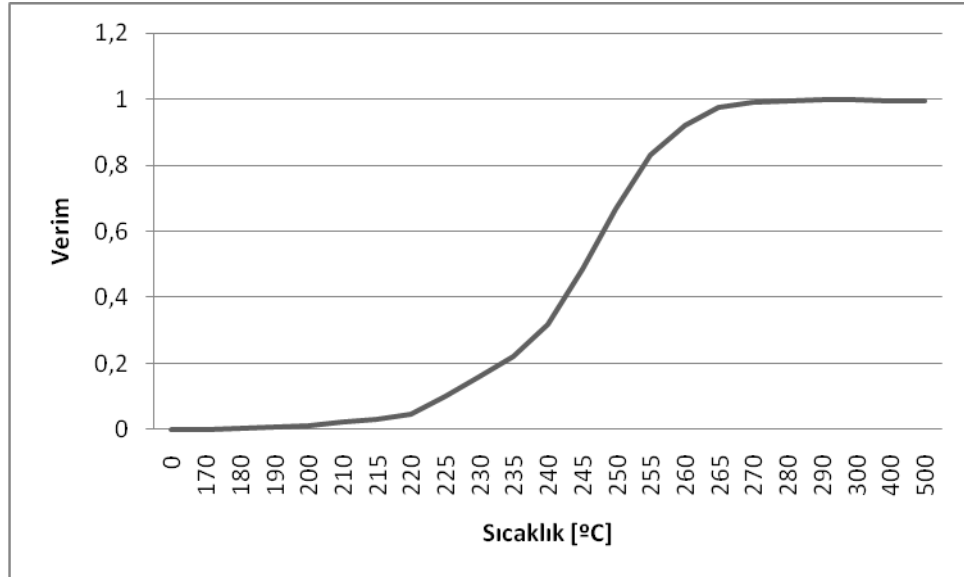
Katalitik dönüştürücünün CO dönüşüm verimi Çizelge 5.8 ve Şekil 5.8’de görüldüğü gibi tanımlanmıştır.

Çizelge 5.8: Katalitik dönüştürücünün CO dönüşüm verimi

Sıcaklık [⁰ C]	Verim [-]
0,0	0,0
170,0	0,0
180,0	0,003
190,0	0,007
200,0	0,013
210,0	0,021
215,0	0,031
220,0	0,045
225,0	0,1
230,0	0,16

Çizelge 5.8: Katalitik dönüştürücünün CO dönüşüm verimi (Devamı).

Sıcaklık [$^{\circ}$ C]	Verim [-]
235,0	0,22
240,0	0,32
245,0	0,485
250,0	0,67
255,0	0,83
260,0	0,92
265,0	0,975
270,0	0,992
280,0	0,996
290,0	0,997
300,0	0,997
400,0	0,996
500,0	0,996

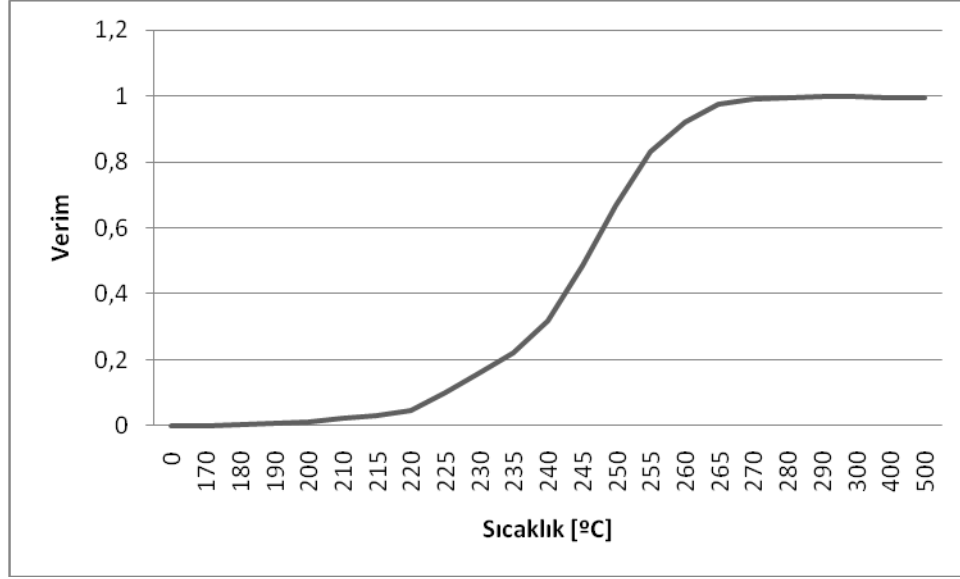


Şekil 5.8: Katalitik dönüştürücünün CO dönüşüm verimi

Katalitik dönüştürücünün HC dönüşüm verimi Çizelge 5.9 ve Çizelge 5.9’da görüldüğü gibi tanımlanmıştır.

Çizelge 5.9: Katalitik dönüştürücünün HC dönüşüm verimi

Sıcaklık [⁰ C]	Verim [-]
0,0	0,0
170,0	0,0
180,0	0,003
190,0	0,007
200,0	0,013
210,0	0,021
215,0	0,031
220,0	0,045
225,0	0,1
230,0	0,16
235,0	0,22
240,0	0,32
245,0	0,485
250,0	0,67
255,0	0,83
260,0	0,92
265,0	0,975
270,0	0,992
280,0	0,996
290,0	0,997
300,0	0,997
400,0	0,996
500,0	0,996

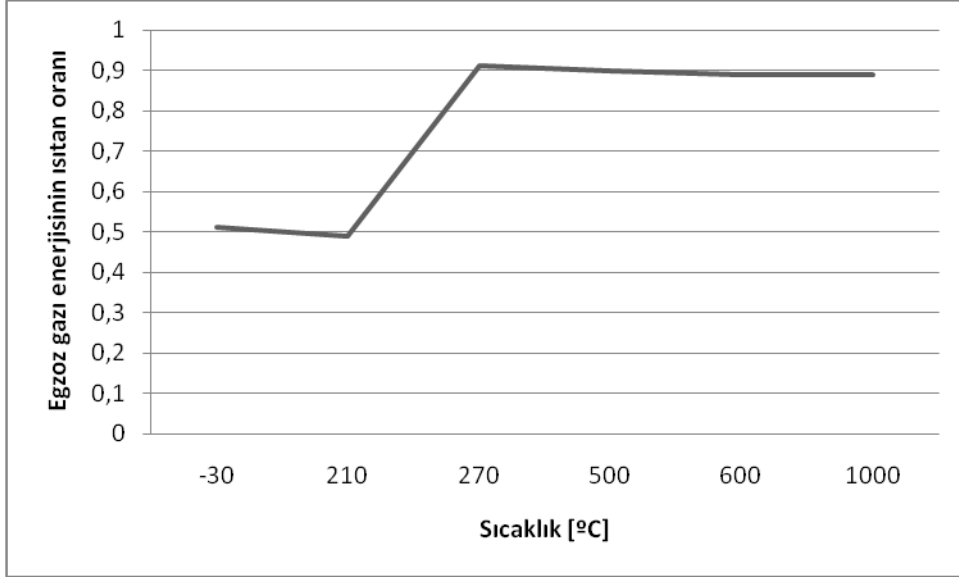


Şekil 5.9: Katalitik dönüştürücünün HC dönüşüm verimi

Katalitik dönüştürücünün is dönüşüm verimi [-]: Sabit ve 0,0 olarak tanımlanmıştır. Katalitik dönüştürücünün egzoz gazı enerjisinin ısıtan oranı Çizelge 5.10 ve Şekil 5.10'da görüldüğü gibi tanımlanmıştır.

Çizelge 5.10: Katalitik dönüştürücünün egzoz gazı enerjisinin ısıtan oranı

Sıcaklık [⁰ C]	Egzoz gazı enerjisinin ısıtan oranı [-]
-30,0	0,51
210,0	0,49
270,0	0,91
500,0	0,9
600,0	0,89
1000,0	0,89



Şekil 5.10: Katalitik dönüştürücünün egzoz gazı enerjisinin ısıtıcı oranı

5.3.12 Tekerlek / Lastik modülü

Modelde her bir tekerlek için birer adet jant ve pnömatik lastik kullanılırken, tüm tekerlekler birbirinin aynısı olacak şekilde tanımlanmıştır. Kontrol parametrelerinden çıktı aktive edilirken, dinamik yuvarlanma yarıçapı sabit seçilmiştir. Tekerlek kayması, hesaba katılmaması için deaktive edilirken; yuvarlanma direnci modeli yalnızca taşıt hızına bağlı olacak şekilde seçilmiştir. Bu seçimden dolayı da lastiğin boyutlarına yönelik bir veri hesaplanmasına veya girilmesine gerek olmamıştır. Kullanıcı tanımlı değişkenler ise 6J x 15 boyutlarında bir jant ile 195/65 R 15 boyutlarında ve H hız sınıfında bir Goodyear Eagle NCT 5 lastiğin modellendiği bu bileşende şu şekilde tanımlanmıştır:

Tekerlek atalet momenti [kgm^2]: 0,75

Lastik sürtünme katsayısı [-]: 0,95

Statik yuvarlanma yarıçapı [mm]: 289,0

Sabit dinamik yuvarlanma yarıçapı [mm]: 308,0

Taşıt hızına bağlı yuvarlanma direnci faktörü ise Çizelge 5.11’de görüldüğü gibi tanımlanmıştır.

Çizelge 5.11: Taşıt hızına bağlı yuvarlanma direnci faktörü

Taşıt hızı [km/h]	Yuvarlanma direnci faktörü [%]
0,0	1,17
50,0	1,2
100,0	1,3275047540664
150,0	1,518
200,0	1,84

6. SİMÜLASYON KOŞULARI İLE MALİYET VE ÇEVRE ANALİZİ

Bu bölümde kurulan modelin simülasyon koşulları ve bu koşulların sonuçları ele alınacaktır. Her koşulda öncelikle o koşuyu diğer koşulardan ayıran belirleyici özellikleri belirtilecek, daha sonra koşulun yakıt ve elektrik tüketimi ile emisyon sonuçları verilecek ve bu sonuçlar değerlendirilecektir. Daha sonra bu sonuçlar üzerinden bir maliyet ve çevre analizi yapılacaktır.

Koşularda Avrupa şehir içi (ECE-15) ve İstanbul seyir çevrimleri kullanılacaktır. Şehir içi seyir çevrimlerinin kullanılmasının nedeni, ortaya konan dönüşüm modelinin şehir dışı sürüşlerde çok nadir olarak bir hibrit elektrikli taşıt davranışı ortaya koyacak olmasıdır. Bundan dolayı şehir dışı sürüşleri de içeren bir çevrimde denenmesine gerek duyulmamıştır.

Koşularda, taşıtın içten yanmalı motorla tahrikten sadece elektrik motoru ile tahriğe geçiş hızı, 1. vitesten 2. vitese geçilen ve 2. vitesten 3. vitese geçilen hız olarak iki farklı hız alınmıştır. Yine Nikel-Metal hidrit ve Lityum-İyon olmak üzere iki farklı batarya tipi kullanılacaktır. Koşularda rejeneratif fren kullanmanın maliyet analizinin yapılabilmesi için, rejeneratif frenli ve rejeneratif frensiz olmak üzere iki durum için de koşullar yapılacaktır. Günlük kullanım menzilleri farklı kullanıcılar için farklı uzunlukta koşullar yapılacak ve bu koşullara uygun olarak batarya büyüklüğü değiştirilerek taşıtın elektrikli tahrik menzilinin günlük kullanım menzili ile uyumlu olması sağlanacaktır. Burada maliyet analizi için aynı kullanım menzili için farklı büyüklükte bataryaların kullanıldığı koşullar da söz konusu olabilecektir.

Avrupa şehir içi ve İstanbul çevriminde olmak üzere ilk iki koşu, karşılaştırma yapılabilmesi için hibrit elektrikli taşıta dönüşmeden önceki geleneksel taşıt modeliyle yapılacaktır.

6.1 Koşu 1

Hibrit elektrikli taşıta dönüşmeden önceki geleneksel taşıt modelinin Avrupa şehir içi (ECE-15) çevrimi ile simülasyonudur.

6.1.1 Koşu şartları

Çevrim: Avrupa şehir içi (ECE-15)

Batarya tipi: Batarya mevcut değil

Batarya büyüklüğü: Batarya mevcut değil

Elektrikli tahrikten içten yanmalı motorla tahriğe geçiş hızı: 0 km/h

Rejeneratif frenleme: Yok

Kullanım menzili: 4052 m (4x1013 m)

6.1.2 Sonuçlar

Mesafe: 4064,34 m

Toplam yakıt tüketimi: 0,2334 kg

Boşta çalışma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0246 kg

Hızlanma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0859 kg

Sabit hızla seyir sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0821 kg

Yavaşlama sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0408 kg

Ortalama yakıt tüketimi: 7,98 l/100km

Ortalama CO₂ emisyonu: 186,77 g/km

Ortalama NO_x emisyonu: 0,0615 g/km

Ortalama CO emisyonu: 0,3616 g/km

Ortalama HC emisyonu: 0,1673 g/km

6.1.3 Maliyet ve çevre analizi

Sonuçlara bakıldığında, sürücü hatasından kaynaklanan 12,34 m'lik fazladan katedilmiş bir mesafe gözlenmektedir. Yaklaşık %0,3'lük bu hata ihmal edilebilir. Ortalama 7,98 l/100km'lik yakıt tüketimi ve 186,77 g/km'lik CO₂ emisyonu şehir içinde bu ağırlık ve motor hacmine sahip bir araç için normal sayılabilecek değerlerdir. Diğer emisyon değerleri de katalitik dönüştürücünün kısa sürede çalışma sıcaklığına kavuşmasıyla normal sayılabilecek değerlerde çıkmıştır. Bu emisyon değerleri Euro 4 emisyon standartlarını karşılayabilmektedir.

Tüketilen yakıtın, bu sürüşün günde iki defa tekrarlanmasıyla, taşıtın varsayılan 5 yıllık kullanım ömrü boyunca yaratacağı maliyetin, gecelik merkez bankası borç verme faizi ile günümüz değeri şu şekilde hesaplanabilir:

Günde $7,98 \text{ l/100km} \times 2 \times 4,06434 \text{ km} / 100 = 0,6487 \text{ l}$ benzin harcanmış olur.

Litresi 3,75 TL'den (BP İstanbul Sarıyer ilçesi 95 oktan benzin fiyatı) [16] günlük maliyet $3,75 \times 0,6487 = 2,4326 \text{ TL}$ olacaktır.

Merkez bankası gecelik borç verme faizi %9 ile hesaplanırsa, 1826 gün boyunca çıkacak bu maliyetin günümüz değeri 3576,20 TL olacaktır. Günlük kat edilen yol miktarı, hesaplanan miktarın kaç katı olursa, maliyetin günümüz değeri de hesaplanan değer o kadar katı olacaktır.

Yine günlük aynı mesafede yol kat edildiği zaman, 5 yıl sonunda yaklaşık 2772,22 ton CO₂; 0,91 ton NO_x; 5,37 ton CO ve 2,48 ton HC doğaya salınacaktır. Günlük kat edilen yol miktarı, hesaplanan miktarın kaç katı olursa, salınım miktarı da hesaplanan değer o kadar katı olacaktır. Bu salınımın çevreye etkisinin tahmini güç olmakla birlikte, bu değerler yapılan diğer koşullarla karşılaştırılarak önerilen hibrit dönüşümün çevre açısından etkinliği ölçülebilecektir.

6.2 Koşu 2

Hibrit elektrikli taşıta dönüşmeden önceki geleneksel taşıt modelinin İstanbul çevrimi ile simülasyonudur.

6.2.1 Koşu şartları

Çevrim: İstanbul

Batarya tipi: Batarya mevcut değil

Batarya büyüklüğü: Batarya mevcut değil

Elektrikli tahrikten içten yanmalı motorla tahriğe geçiş hızı: 0 km/h

Rejeneratif frenleme: Yok

Kullanım menzili: 8610 m

6.2.2 Sonuçlar

Mesafe: 8576,42 m

Toplam yakıt tüketimi: 0,3954 kg

Boşta çalışma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0104 kg

Hızlanma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,2309 kg

Sabit hızla seyir sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0644 kg

Yavaşlama sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0896 kg

Ortalama yakıt tüketimi: 6,40 l/100km

Ortalama CO₂ emisyonu: 149,95 g/km

Ortalama NO_x emisyonu: 0,0268 g/km

Ortalama CO emisyonu: 0,1154 g/km

Ortalama HC emisyonu: 0,0326 g/km

6.2.3 Maliyet ve çevre analizi

Sonuçlara bakıldığında, sürücü hatasından kaynaklanan 33,58 m'lik eksik katedilmiş bir mesafe gözlenmektedir. Yaklaşık %0,4'lük bu hata sonucu çok değiştirmeyecektir. Ortalama 6,40 l/100km'lik yakıt tüketimi ve 149,95 g/km'lik CO₂ emisyonu Avrupa şehir içi çevrimine göre yaklaşık %20 daha düşük değerlerdir. Çevrimler ve yakıt tüketiminin dağılımı incelendiğinde bunun sebepleri olarak, İstanbul çevriminde boşta çalışmanın daha az olması, daha fazla ve daha yüksek ivmeli hızlanmaların olması ve daha az sabit hızla seyir olması görülmektedir. NO_x, CO ve HC emisyonları bakımından da aynı sebeplerden ve çevrim uzun olduğu için katalitik dönüştürücünün ideal çalışma sıcaklığında çalışma süresi oranının daha yüksek olmasından çok daha düşük emisyonlar elde edilmiştir. Bu emisyon değerleri Euro 6 emisyon standartlarını bile karşılamaktadır.

Tüketilen yakıtın, bu sürüşün günde iki defa tekrarlanmasıyla, taşıtın varsayılan 5 yıllık kullanım ömrü boyunca yaratacağı maliyetin, gecelik merkez bankası borç verme faizi ile günümüz değeri şu şekilde hesaplanabilir:

Günde 6,40 l/100km x 2 x 8,57642 km / 100 = 1,0978 l benzin harcanmış olur.

Litresi 3,75 TL'den (BP İstanbul Sarıyer ilçesi 95 oktan benzin fiyatı) [16] günlük maliyet $3,75 \times 1,0978 = 4,11675$ TL olacaktır.

Merkez bankası gecelik borç verme faizi %9 ile hesaplanırsa, 1826 gün boyunca çıkacak bu maliyetin günümüz değeri 6052,09 TL olacaktır. Günlük kat edilen yol miktarı, hesaplanan miktarın kaç katı olursa, maliyetin günümüz değeri de hesaplanan değer o kadar katı olacaktır.

Yine günlük aynı mesafede yol kat edildiği zaman, 5 yıl sonunda yaklaşık 4696,60 ton CO₂; 0,84 ton NO_x; 3,61 ton CO ve 1,02 ton HC doğaya salınacaktır. Günlük kat edilen yol miktarı, hesaplanan miktarın kaç katı olursa, salınım miktarı da hesaplanan değer o kadar katı olacaktır. Bu salınımın çevreye etkisinin tahmini güç olmakla birlikte, bu değerler yapılan diğer koşullarla karşılaştırılarak önerilen hibrit dönüşümün çevre açısından etkinliği ölçülebilecektir.

6.3 Koşu 3

Rejeneratif freni olmayan hibrit elektrikli taşıt modelinin Ni-Mh bataryalar kullanılarak Avrupa şehir içi çevrimi ile simülasyonudur.

6.3.1 Koşu şartları

Çevrim: Avrupa şehir içi (ECE-15)

Batarya tipi: Ni-Mh

Batarya büyüklüğü: 3,744 kWh; 79,8336 kg

Elektrikli tahrikten içten yanmalı motorla tahriğe geçiş hızı: 35 km/h (2. vitesten 3. vites geçiş hızı)

Rejeneratif frenleme: Yok

Kullanım menzili: 4052 m

6.3.2 Sonuçlar

Mesafe: 4077,96 m

Toplam yakıt tüketimi: 0,0521 kg

Toplam elektrik tüketimi: 1,9481 kWh

Boşta çalışma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0000 kg

Hızlanma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0300 kg

Sabit hızla seyir sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0186 kg

Yavaşlama sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0035 kg

Ortalama yakıt tüketimi: 1,78 l/100km

Ortalama CO₂ emisyonu: 41,59 g/km

Ortalama NO_x emisyonu: 0,1937 g/km

Ortalama CO emisyonu: 0,4561 g/km

Ortalama HC emisyonu: 0,0539 g/km

6.3.3 Maliyet ve çevre analizi

Sonuçlara bakıldığında, sürücü hatasından kaynaklanan 25,96 m'lik fazladan katedilmiş bir mesafe gözlenmektedir. Yaklaşık %0,6'lık bu hata ihmal edilebilecek seviyededir. Ortalama 1,78 l/100km'lik yakıt tüketimi ve 41,59 g/km'lik CO₂ emisyonu aynı seyir çevriminde sadece içten yanmalı motorla tahriğe göre yaklaşık %78'lik bir tüketim ve emisyon azalması anlamına gelmektedir. 1. İklim Değişikliği Ulusal Bildirimi'nde [17] yayımlanan elektrik üretiminden kaynaklanan CO₂ ve elektrik enerjisi tüketim istatistiklerine göre 637 g/kWh'lik tüketilen birim elektrik enerjisi başına CO₂ değeri ile hesaplandığında ise $637 \times 1,9481 / 4,07796 = 304,30$ g/km'lik elektrikle tahrikten kaynaklanan CO₂ emisyonu söz konusu olmaktadır. Böylece hibrit elektrikli taşıta dönüşüm modeli toplam ortalama CO₂ emisyonu 345,89 g/km ile geleneksel içten yanmalı motorlu taşıtın 2 katına yakın CO₂ emisyonuna yol açmıştır. Diğer emisyonlardan HC emisyonu önemli ölçüde düşmesine rağmen, koşu sırasında içten yanmalı motorun sıklıkla durdurulması sonucunda katalitik dönüştürücünün yeterli sıcaklığa geç ulaşmasından dolayı NO_x ve CO emisyonları yine yüksek kalmışlardır.

Tüketilen yakıtın, bu sürüşün günde iki defa tekrarlanmasıyla, taşıtın varsayılan 5 yıllık kullanım ömrü boyunca yaratacağı maliyetin, gecelik merkez bankası borç verme faizi ile günümüz değeri şu şekilde hesaplanabilir:

Günde $1,78 \text{ l/100km} \times 2 \times 4,07796 \text{ km} / 100 = 0,1452 \text{ l}$ benzin harcanmış olur.

Benzinin litresi 3,75 TL'den (BP İstanbul Sarıyer ilçesi 95 oktan benzin fiyatı) [16] günlük maliyeti $3,75 \times 0,1452 = 0,5445$ TL olacaktır. Elektriğin ise kWh'i 21,659 (TEDAŞ mesken tek zamanlı tarife fiyatı [18]) kuruştan günlük maliyeti $2 \times 1,9481 \times 0,21659 = 0,8439$ TL olacaktır.

Merkez bankası gecelik borç verme faizi %9 ile hesaplanırsa, 1826 gün boyunca çıkacak bu maliyetin günümüz değeri 2040,94 TL olacaktır. Bu maliyetin sadece içten yanmalı motorla tahrikte çıkan 3576,20 TL'den farkı 1535,26 TL olmaktadır. Bu değer, günlük bu kadar mesafe Avrupa şehir içi çevrimine benzer şartlarda şehir içi kullanımı olan kullanıcılar için sadece maliyet göz önüne alındığında hibrit elektrikli taşıta dönüşüm için ödenecek en yüksek değerdir. Dönüşümün maliyeti 1535,26 TL'den az olduğu durumda dönüşüm yapılmalı, aksi halde bu tip kullanıcılar taşıtlarını mevcut haliyle kullanmaya devam etmelidirler. Bu sonuçtan anlaşıldığı kadarıyla bataryanın ağırlığının azaltılmasının tasarruf miktarına etkisi çok düşük olacağından, taşıtın sadece içten yanmalı motorla tahrikten sadece elektrik motoru ile tahriğe geçiş hızının, 1. vitesten 2. vites geçiş hızı olan 15 km/h olduğu veya bataryanın daha maliyetli ancak daha verimli ve hafif Lityum-İyon batarya olduğu bir koşu yapılmasına gerek duyulmamıştır.

Yine günlük aynı mesafede yol kat edildiği zaman, 5 yıl sonunda tüketilen yakıttan dolayı yaklaşık 619,39 ton, tüketilen elektrik enerjisinden dolayı da yaklaşık 4531,85 ton CO₂; 2,88 ton NO_x; 6,79 ton CO ve 0,80 ton HC doğaya salınacaktır. Bu durum sadece içten yanmalı motorlu tahriğe göre yaklaşık %216 daha fazla NO_x; yaklaşık %26 daha fazla CO ve yaklaşık %68 daha az HC salınımı demektir. Özellikle HC salınımlarında yakıt tasarrufundan dolayı önemli bir azalma olması dikkat çekerken, NO_x ve CO salınımında mesafenin kısa olmasından dolayı katalitik dönüştürücünün geç ısınmasıyla artış olmuştur.

6.4 Koşu 4

Rejeneratif frenli hibrit elektrikli taşıt modelinin Ni-Mh bataryalar kullanılarak Avrupa şehir içi çevrimi ile simülasyonudur.

6.4.1 Koşu şartları

Çevrim: Avrupa şehir içi (ECE-15)

Batarya tipi: Ni-Mh

Batarya büyüklüğü: 3,744 kWh; 79,8336 kg

Elektrikli tahrikten içten yanmalı motorla tahriğe geçiş hızı: 35 km/h

Rejeneratif frenleme: Var

Kullanım menzili: 4052 m

6.4.2 Sonuçlar

Mesafe: 4069,26 m

Toplam yakıt tüketimi: 0,0516 kg

Toplam elektrik tüketimi: 1,5290 kWh

Boşta çalışma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0000 kg

Hızlanma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0294 kg

Sabit hızla seyir sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0190 kg

Yavaşlama sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0032 kg

Ortalama yakıt tüketimi: 1,76 l/100km

Ortalama CO₂ emisyonu: 41,26 g/km

Ortalama NO_x emisyonu: 0,1966 g/km

Ortalama CO emisyonu: 0,4497 g/km

Ortalama HC emisyonu: 0,0541 g/km

6.4.3 Maliyet ve çevre analizi

Sonuçlara bakıldığında, sürücü hatasından kaynaklanan 17,26 m'lik fazladan katedilmiş bir mesafe gözlenmektedir. Yaklaşık %0,4'lık bu hata ihmal edilebilecek seviyededir. Ortalama 1,76 l/100km'lik yakıt tüketimi ve 41,26 g/km'lik CO₂ emisyonu aynı seyir çevriminde sadece içten yanmalı motorla tahriğe göre yaklaşık %78'lik ve rejeneratif freni olmayan hibrit elektrikli taşıt modeline göre yaklaşık %1'lik bir tüketim ve emisyon azalması anlamına gelmektedir.

1. İklim Değişikliği Ulusal Bildirimi'nde [17] yayımlanan elektrik üretiminden kaynaklanan CO₂ ve elektrik enerjisi tüketim istatistiklerine göre 637 g/kWh'lik tüketilen birim elektrik enerjisi başına CO₂ değeri ile hesaplandığında ise $637 \times 1,5290 / 4,06926 = 239,35$ g/km'lik elektrikle tahrikten kaynaklanan CO₂ emisyonu söz konusu olmaktadır. Böylece hibrit elektrikli taşıta dönüşüm modeli toplam ortalama CO₂ emisyonu 280,61 g/km ile rejeneratif freni olmayan hibrit elektrikli taşıt modeline göre yaklaşık %19 daha az CO₂ emisyonuna yol açmıştır. Diğer emisyonlar ise rejeneratif freni olmayan hibrit elektrikli taşıt modeli ile yaklaşık olarak aynıdır.

Tüketilen yakıtın, bu sürüşün günde iki defa tekrarlanmasıyla, taşıtın varsayılan 5 yıllık kullanım ömrü boyunca yaratacağı maliyetin, gecelik merkez bankası borç verme faizi ile günümüz değeri şu şekilde hesaplanabilir:

Günde $1,76 \text{ l}/100\text{km} \times 2 \times 4,06926 \text{ km} / 100 = 0,1432$ l benzin harcanmış olur.

Benzinin litresi 3,75 TL'den (BP İstanbul Sarıyer ilçesi 95 oktan benzin fiyatı) [16] günlük maliyeti $3,75 \times 0,1432 = 0,5370$ TL olacaktır. Elektriğin ise kWh'i 21,659 (TEDAŞ mesken tek zamanlı tarife fiyatı [18]) kuruştan günlük maliyeti $2 \times 1,5290 \times 0,21659 = 0,6623$ TL olacaktır.

Merkez bankası gecelik borç verme faizi %9 ile hesaplanırsa, 1826 gün boyunca çıkacak bu maliyetin günümüz değeri 1763,36 TL olacaktır. Bu maliyetin sadece içten yanmalı motorla tahrikte çıkan 3576,20 TL'den farkı 1812,84 TL olmaktadır. Bu değer, günlük bu kadar mesafe Avrupa şehir içi çevrimine benzer şartlarda şehir içi kullanımı olan kullanıcılar için sadece maliyet göz önüne alındığında rejeneratif frenli bir hibrit elektrikli taşıta dönüşüm için ödenecek en yüksek değerdir. Dönüşümün maliyeti 1812,84 TL'den az olduğu durumda dönüşüm yapılmalı, aksi halde bu tip kullanıcılar taşıtlarını mevcut haliyle kullanmaya devam etmelidirler. Önceki hibrit dönüşüm maliyetiyle karşılaştırıldığında, rejeneratif frenler için katlanılabilecek en yüksek maliyet 277,57 TL çıkmaktadır.

Yine günlük aynı mesafede yol kat edildiği zaman, 5 yıl sonunda tüketilen yakıttan dolayı yaklaşık 613,16 ton, tüketilen elektrik enerjisinden dolayı da yaklaşık 3556,97 ton CO₂; 2,92 ton NO_x; 6,68 ton CO ve 0,80 ton HC doğaya salınacaktır.

6.5 Koşu 5

Rejeneratif freni olmayan hibrit elektrikli taşıt modelinin Ni-Mh bataryalar kullanılarak 2 kez Avrupa şehir içi çevrimi ile simülasyonudur.

6.5.1 Koşu şartları

Çevrim: 2xAvrupa şehir içi (2xECE-15)

Batarya tipi: Ni-Mh

Batarya büyüklüğü: 5,616 kWh; 119,7504 kg

Elektrikli tahrikten içten yanmalı motorla tahriğe geçiş hızı: 35 km/h (2. vitesten 3. vites geçiş hızı)

Rejeneratif frenleme: Yok

Kullanım menzili: 8104 m

6.5.2 Sonuçlar

Mesafe: 8158,71 m

Toplam yakıt tüketimi: 0,1058 kg

Toplam elektrik tüketimi: 4,1962 kWh

Boşta çalışma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0000 kg

Hızlanma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0609 kg

Sabit hızla seyir sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0382 kg

Yavaşlama sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0066 kg

Ortalama yakıt tüketimi: 1,80 l/100km

Ortalama CO₂ emisyonu: 42,17 g/km

Ortalama NO_x emisyonu: 0,0907 g/km

Ortalama CO emisyonu: 0,2047 g/km

Ortalama HC emisyonu: 0,0245 g/km

6.5.3 Maliyet ve çevre analizi

Sonuçlara bakıldığında, sürücü hatasından kaynaklanan 54,71 m'lik fazladan katedilmiş bir mesafe gözlenmektedir. Yaklaşık %0,7'lik bu hata ihmal edilebilecek seviyededir. Ortalama 1,80 l/100km'lik yakıt tüketimi ve 42,17 g/km'lik CO₂ emisyonu aynı seyir çevriminde yarı uzunlukta mesafeye göre yaklaşık %1'lik bir tüketim ve emisyon artışı anlamına gelmektedir. 1. İklim Değişikliği Ulusal Bildirimi'nde [17] yayımlanan elektrik üretiminden kaynaklanan CO₂ ve elektrik enerjisi tüketim istatistiklerine göre 637 g/kWh'lik tüketilen birim elektrik enerjisi başına CO₂ değeri ile hesaplandığında ise $637 \times 4,1962 / 8,15871 = 327,62$ g/km'lik elektrikle tahrikten kaynaklanan CO₂ emisyonu söz konusu olmaktadır. Diğer emisyonlar da önemli ölçüde düşmelerine rağmen, koşunun şehir içi koşullarda yapılmasından ve katalitik dönüştürücünün yeterli sıcaklığa ulaşamamasından yine yüksek kalmışlardır.

Tüketilen yakıtın, bu sürüşün günde iki defa tekrarlanmasıyla, taşıtın varsayılan 5 yıllık kullanım ömrü boyunca yaratacağı maliyetin, gecelik merkez bankası borç verme faizi ile günümüz değeri şu şekilde hesaplanabilir:

Günde $1,80 \text{ l/100km} \times 2 \times 8,15871 \text{ km} / 100 = 0,2937$ l benzin harcanmış olur.

Benzinin litresi 3,75 TL'den (BP İstanbul Sarıyer ilçesi 95 oktan benzin fiyatı) [16] günlük maliyeti $3,75 \times 0,2937 = 1,1014$ TL olacaktır. Elektriğin ise kWh'i 21,659 (TEDAŞ mesken tek zamanlı tarife fiyatı [18]) kuruştan günlük maliyeti $2 \times 4,1962 \times 0,21659 = 1,8177$ TL olacaktır.

Merkez bankası gecelik borç verme faizi %9 ile hesaplanırsa, 1826 gün boyunca çıkacak bu maliyetin günümüz değeri 4291,46 TL olacaktır. Bu maliyetin, sadece içten yanmalı motorla tahrikte çıkan günlük $2 \times 2,4326 = 4,8652$ TL'den aynı şekilde hesaplanan toplam 7152,39 TL'den farkı 2860,93 TL olmaktadır. Bu değer, günlük bu kadar mesafe Avrupa şehir içi çevrimine benzer şartlarda şehir içi kullanımı olan kullanıcılar için sadece maliyet göz önüne alındığında hibrit elektrikli taşıta dönüşüm için ödenecek en yüksek değerdir. Dönüşümün maliyeti 2860,93 TL'den az olduğu durumda dönüşüm yapılmalı, aksi halde bu tip kullanıcılar taşıtlarını mevcut haliyle kullanmaya devam etmelidirler.

Bu aşamada diğer şartlar sabit kalmak üzere, taşıtın sadece içten yanmalı motorla tahrikten sadece elektrik motoru ile tahriğe geçiş hızının, 1. vitesten 2. vites geçiş hızı olan 15 km/h olduğu veya bataryanın daha maliyetli ancak daha verimli ve hafif Lityum-İyon batarya olduğu birer koşu daha yapılması gerekli görülmüştür.

Yine günlük aynı mesafede yol kat edildiği zaman, 5 yıl sonunda tüketilen yakıttan dolayı yaklaşık 1256,48 ton, tüketilen elektrik enerjisinden dolayı da yaklaşık 9761,64 ton CO₂; 2,70 ton NO_x; 6,09 ton CO ve 0,73 ton HC doğaya salınacaktır. Bu durum sadece içten yanmalı motorlu tahriğe göre yaklaşık %47 daha fazla NO_x ancak yaklaşık %43 daha az CO ve yaklaşık %85 daha az HC salınımı demektir. Özellikle HC salınımlarında çok önemli bir azalma olması dikkat çekerken, NO_x salınımında mesafenin kısa olması hala daha düşük bir emisyonu imkan vermemektedir.

6.6 Koşu 6

Rejeneratif frenli hibrit elektrikli taşıt modelinin Ni-Mh bataryalar kullanılarak 2 kez Avrupa şehir içi çevrimi ile simülasyonudur.

6.6.1 Koşu şartları

Çevrim: Avrupa şehir içi (2xECE-15)

Batarya tipi: Ni-Mh

Batarya büyüklüğü: 3,744 kWh; 79,8336 kg

Elektrikli tahrikten içten yanmalı motorla tahriğe geçiş hızı: 35 km/h

Rejeneratif frenleme: Var

Kullanım menzili: 8104 m

6.6.2 Sonuçlar

Mesafe: 8138,55 m

Toplam yakıt tüketimi: 0,1033 kg

Toplam elektrik tüketimi: 2,8126 kWh

Boşta çalışma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0000 kg

Hızlanma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0589 kg

Sabit hızla seyir sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0381 kg

Yavaşlama sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0063 kg

Ortalama yakıt tüketimi: 1,76 l/100km

Ortalama CO₂ emisyonu: 41,29 g/km

Ortalama NO_x emisyonu: 0,0995 g/km

Ortalama CO emisyonu: 0,2273 g/km

Ortalama HC emisyonu: 0,0270 g/km

6.6.3 Maliyet ve çevre analizi

Sonuçlara bakıldığında, sürücü hatasından kaynaklanan 34,55 m'lik fazladan katedilmiş bir mesafe gözlenmektedir. Yaklaşık %0,4'lük bu hata ihmal edilebilecek seviyededir. Ortalama 1,76 l/100km'lik yakıt tüketimi ve 41,29 g/km'lik CO₂ emisyonu aynı seyir çevrimi ve mesafesinde sadece içten yanmalı motorla tahriğe göre yaklaşık %78'lik ve rejeneratif freni olmayan hibrit elektrikli taşıt modeline göre yaklaşık %2'lik bir tüketim ve emisyon azalması anlamına gelmektedir. 1. İklim Değişikliği Ulusal Bildirimi'nde [17] yayımlanan elektrik üretiminden kaynaklanan CO₂ ve elektrik enerjisi tüketim istatistiklerine göre 637 g/kWh'lik tüketilen birim elektrik enerjisi başına CO₂ değeri ile hesaplandığında ise $637 \times 2,8126 / 8,13855 = 220,14$ g/km'lik elektrikle tahrikten kaynaklanan CO₂ emisyonu söz konusu olmaktadır. Diğer emisyonlar ise rejeneratif freni olmayan hibrit elektrikli taşıt modeline göre ortalama yaklaşık %10 artmışlardır.

Tüketilen yakıtın, bu sürüşün günde iki defa tekrarlanmasıyla, taşıtın varsayılan 5 yıllık kullanım ömrü boyunca yaratacağı maliyetin, gecelik merkez bankası borç verme faizi ile günümüz değeri şu şekilde hesaplanabilir:

Günde $1,76 \text{ l/100km} \times 2 \times 8,13855 \text{ km} / 100 = 0,2865$ l benzin harcanmış olur.

Benzinin litresi 3,75 TL'den (BP İstanbul Sarıyer ilçesi 95 oktan benzin fiyatı) [16] günlük maliyeti $3,75 \times 0,2865 = 1,0744$ TL olacaktır. Elektriğin ise kWh'i 21,659 (TEDAŞ mesken tek zamanlı tarife fiyatı [18]) kuruştan günlük maliyeti $2 \times 2,8126 \times 0,21659 = 1,2184$ TL olacaktır.

Merkez bankası gecelik borç verme faizi %9 ile hesaplanırsa, 1826 gün boyunca çıkacak bu maliyetin günümüz değeri 3370,46 TL olacaktır. Bu maliyetin sadece içten yanmalı motorla tahrikte çıkan 7152,39 TL'den farkı 3781,93 TL olmaktadır. Bu değer, günlük bu kadar mesafe Avrupa şehir içi çevrimine benzer şartlarda şehir içi kullanımı olan kullanıcılar için sadece maliyet göz önüne alındığında rejeneratif frenli bir hibrit elektrikli taşıta dönüşüm için ödenecek en yüksek değerdir. Dönüşümün maliyeti 3781,93 TL'den az olduğu durumda dönüşüm yapılmalı, aksi halde bu tip kullanıcılar taşıtlarını mevcut haliyle kullanmaya devam etmelidirler. Önceki koşudaki hibrit dönüşüm maliyetiyle karşılaştırıldığında, rejeneratif frenler için katlanılabilecek en yüksek maliyet ise 921,00 TL çıkmaktadır.

Yine günlük aynı mesafede yol kat edildiği zaman, 5 yıl sonunda tüketilen yakıttan dolayı yaklaşık 1227,22 ton, tüketilen elektrik enerjisinden dolayı da yaklaşık 6543,00 ton CO₂; 2,96 ton NO_x; 6,76 ton CO ve 0,80 ton HC doğaya salınacaktır. Bu durum sadece içten yanmalı motorlu tahriğe göre yaklaşık %62 daha fazla NO_x; yaklaşık %37 daha az CO ve yaklaşık %84 daha az HC salınımı demektir. Rejeneratif frenlerin yakıt tüketimi ve elektrik tüketimini azaltma konusunda etkili olduğu, ancak CO₂ dışındaki emisyonları azaltma konusunda etkisinin sınırlı olduğu gözlenmektedir.

6.7 Koşu 7

Rejeneratif freni olmayan hibrit elektrikli taşıt modelinin Ni-Mh bataryalar kullanılarak ve içten yanmalı motorla tahriğe geçiş hızı düşürülerek 2 kez Avrupa şehir içi çevrimi ile simülasyonudur.

6.7.1 Koşu şartları

Çevrim: 2xAvrupa şehir içi (2xECE-15)

Batarya tipi: Ni-Mh

Batarya büyüklüğü: 3,744 kWh; 79,8336 kg

Elektrikli tahrikten içten yanmalı motorla tahriğe geçiş hızı: 15 km/h (2. vitesten 3. vitese geçiş hızı)

Rejeneratif frenleme: Yok

Kullanım menzili: 8104 m

6.7.2 Sonuçlar

Mesafe: 8140,62 m

Toplam yakıt tüketimi: 0,1951 kg

Toplam elektrik tüketimi: 2,9418 kWh

Boşta çalışma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0000 kg

Hızlanma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,1429 kg

Sabit hızla seyir sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0434 kg

Yavaşlama sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0088 kg

Ortalama yakıt tüketimi: 3,33 l/100km

Ortalama CO₂ emisyonu: 77,96 g/km

Ortalama NO_x emisyonu: 0,0541 g/km

Ortalama CO emisyonu: 0,1646 g/km

Ortalama HC emisyonu: 0,0184 g/km

6.7.3 Maliyet ve çevre analizi

Sonuçlara bakıldığında, sürücü hatasından kaynaklanan 36,62 m'lik fazladan katedilmiş bir mesafe gözlenmektedir. Yaklaşık %0,5'lik bu hata ihmal edilebilecek seviyededir. Ortalama 3,33 l/100km'lik yakıt tüketimi ve 77,96 g/km'lik CO₂ emisyonu aynı seyir çevriminde ve aynı mesafede, iki farklı tahrik arasındaki geçiş hızının 35 km/h olduğu koşuya göre yaklaşık %85'lik bir tüketim ve emisyon artışı anlamına gelmektedir. Bunun nedeni önceki koşulara göre artık çevrimin büyük bir kısmında içten yanmalı motorla tahriğin söz konusu olmasıdır. 1. İklim Değişikliği Ulusal Bildirimi'nde [17] yayımlanan elektrik üretiminden kaynaklanan CO₂ ve elektrik enerjisi tüketim istatistiklerine göre 637 g/kWh'lik tüketilen birim elektrik enerjisi başına CO₂ değeri ile hesaplandığında ise $637 \times 2,9418 / 8,14062 = 230,19$ g/km'lik elektrikle tahrikten kaynaklanan CO₂ emisyonu söz konusu olmaktadır. Diğer emisyonlar ise katalitik dönüştürücünün bu sayede daha çabuk ısınması nedeniyle düşmüşlerdir.

Tüketilen yakıtın, bu sürüşün günde iki defa tekrarlanmasıyla, taşıtın varsayılan 5 yıllık kullanım ömrü boyunca yaratacağı maliyetin, gecelik merkez bankası borç verme faizi ile günümüz değeri şu şekilde hesaplanabilir:

Günde $3,33 \text{ l/100km} \times 2 \times 8,14062 \text{ km} / 100 = 0,5422 \text{ l}$ benzin harcanmış olur.

Benzinin litresi 3,75 TL'den (BP İstanbul Sarıyer ilçesi 95 oktan benzin fiyatı) [16] günlük maliyeti $3,75 \times 0,5422 = 2,0333 \text{ TL}$ olacaktır. Elektriğin ise kWh'i 21,659 (TEDAŞ mesken tek zamanlı tarife fiyatı [18]) kuruştan günlük maliyeti $2 \times 2,9418 \times 0,21659 = 1,2743 \text{ TL}$ olacaktır.

Merkez bankası gecelik borç verme faizi %9 ile hesaplanırsa, 1826 gün boyunca çıkacak bu maliyetin günümüz değeri 4862,32 TL olacaktır. Bu maliyetin, sadece içten yanmalı motorla tahrikte çıkan günlük $2 \times 2,4326 = 4,8652 \text{ TL}$ 'den aynı şekilde hesaplanan toplam 7152,39 TL'den farkı 2290,07 TL olmaktadır. Bu değer, günlük bu kadar mesafe Avrupa şehir içi çevrimine benzer şartlarda şehir içi kullanımı olan kullanıcılar için sadece maliyet göz önüne alındığında hibrit elektrikli taşıta dönüşüm için ödenecek en yüksek değerdir. Dönüşümün maliyeti 2290,07 TL'den az olduğu durumda dönüşüm yapılmalı, aksi halde bu tip kullanıcılar taşıtlarını mevcut haliyle kullanmaya devam etmelidirler.

Bu koşuda, kabul edilebilecek en yüksek dönüşüm maliyetinin önceki iki koşuya göre düşük çıkmasının nedeni, çok düşük hızlardaki elektrik motoruyla tahrik ile yapılan tasarrufun eklenen ağırlık tarafından boşa çıkarılacak kadar düşük olmasıdır. Bu sonuçtan anlaşıldığı kadarıyla bu ölçüde düşük bir elektrikli tahrikten içten yanmalı motorla tahriğe geçiş hızı ile yapılacak tasarruflar düşük ölçüde kalacaktır. Gidilen günlük mesafe arttıkça tasarruf miktarı artsa da, günlük mesafenin artmasıyla gereksinim duyulan daha ağır batarya yüzünden hem içten yanmalı motorun hem de elektrik motorunun tüketimi artacak ve yapılan tasarrufu boşa çıkaracaktır. Bu yüzden, taşıtın sadece içten yanmalı motorla tahrikten sadece elektrik motoru ile tahriğe geçiş hızının, 1. vitesten 2. vitese geçiş hızı olan 15 km/h olduğu bir koşunun, günlük kullanım mesafesi boyunca ihtiyaç duyulan bataryalar taşıtın taşıma kapasitesini geçmedikçe yapılmaması uygun görülmüştür.

Yine günlük aynı mesafede yol kat edildiği zaman, 5 yıl sonunda tüketilen yakıttan dolayı yaklaşık 2317,72 ton, tüketilen elektrik enerjisinden dolayı da yaklaşık 6843,44 ton CO₂; 1,61 ton NO_x; 4,89 ton CO ve 0,55 ton HC doğaya salınacaktır. Bu durum iki farklı tahrik arasındaki geçiş hızının 35 km/h olduğu duruma göre yaklaşık %40 daha az NO_x, yaklaşık %20 daha az CO ve yaklaşık %25 daha az HC salınımı demektir. Bu azalma içten yanmalı motorun daha fazla kullanılması sayesinde, katalitik dönüştürücünün daha çabuk ısınması nedeniyle gerçekleşmiştir.

6.8 Koşu 8

Rejeneratif freni olmayan hibrit elektrikli taşıt modelinin Ni-Mh yerine Li-İyon bataryalar kullanılarak 2 kez Avrupa şehir içi çevrimi ile simülasyonudur.

6.8.1 Koşu şartları

evrim: 2xAvrupa şehir içi (2xECE-15)

Batarya tipi: Li-İyon

Batarya büyüklüğü: 3,744 kWh; 31,9334 kg

Elektrikli tahrikten içten yanmalı motorla tahriğe geçiş hızı: 35 km/h (2. vitesten 3. vitesine geçiş hızı)

Rejeneratif frenleme: Yok

Kullanım menzili: 8104 m

6.8.2 Sonuçlar

Mesafe: 8154,86 m

Toplam yakıt tüketimi: 0,1028 kg

Toplam elektrik tüketimi: 3,6216 kWh

Boşta alışma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0000 kg

Hızlanma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0588 kg

Sabit hızla seyir sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0375 kg

Yavaşlama sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0065 kg

Ortalama yakıt tüketimi: 1,75 l/100km

Ortalama CO₂ emisyonu: 40,99 g/km

Ortalama NO_x emisyonu: 0,1055 g/km

Ortalama CO emisyonu: 0,2551 g/km

Ortalama HC emisyonu: 0,0294 g/km

6.8.3 Maliyet ve çevre analizi

Sonuçlara bakıldığında, sürücü hatasından kaynaklanan 50,86 m'lik fazladan katedilmiş bir mesafe gözlenmektedir. Yaklaşık %0,6'lık bu hata ihmal edilebilecek seviyededir. Ortalama 1,75 l/100km'lik yakıt tüketimi ve 40,99 g/km'lik CO₂ emisyonu aynı seyir çevriminde ve aynı uzunlukta mesafede Ni-Mh bataryayla yapılan koşuya göre yaklaşık %3'lük bir tüketim ve emisyon azalması anlamına gelmektedir. Bunun nedeni, Li-İyon batarya %30 daha verimli olduğundan dolayı daha az şarj miktarının yeterli olması ve Lityum-İyon bataryanın %60 daha hafif bir yapıda olduğundan daha hafif bir batarya paketinin kullanılmış olmasıdır. 1. İklim Değişikliği Ulusal Bildirimi'nde [17] yayımlanan elektrik üretiminden kaynaklanan CO₂ ve elektrik enerjisi tüketim istatistiklerine göre 637 g/kWh'lik tüketilen birim elektrik enerjisi başına CO₂ değeri ile hesaplandığında ise $637 \times 3,6216 / 8,15486 = 282,89$ g/km'lik elektrikle tahrikten kaynaklanan CO₂ emisyonu söz konusu olmaktadır. Diğer emisyonlar ise ağırlık farkından dolayı içten yanmalı motora uygulanan yük miktarının düşmesiyle daha geç ısınan katalitik dönüştürücü yüzünden Ni-Mh bataryalı modele göre yüksek kalmışlardır.

Tüketilen yakıtın, bu sürüşün günde iki defa tekrarlanmasıyla, taşıtın varsayılan 5 yıllık kullanım ömrü boyunca yaratacağı maliyetin, gecelik merkez bankası borç verme faizi ile günümüz değeri şu şekilde hesaplanabilir:

Günde $1,75 \text{ l/100km} \times 2 \times 8,15486 \text{ km} / 100 = 0,2854$ l benzin harcanmış olur.

Benzinin litresi 3,75 TL'den (BP İstanbul Sarıyer ilçesi 95 oktan benzin fiyatı) [16] günlük maliyeti $3,75 \times 0,2854 = 1,0703$ TL olacaktır. Elektriğin ise kWh'i 21,659 (TEDAŞ mesken tek zamanlı tarife fiyatı [18]) kuruştan günlük maliyeti $2 \times 3,6216 \times 0,21659 = 1,5688$ TL olacaktır.

Merkez bankası gecelik borç verme faizi %9 ile hesaplanırsa, 1826 gün boyunca çıkacak bu maliyetin günümüz değeri 3879,82 TL olacaktır. Bu maliyetin, sadece içten yanmalı motorla tahrikte çıkan günlük $2 \times 2,4326 = 4,8652$ TL'den aynı şekilde hesaplanan toplam 7152,39 TL'den farkı 3272,57 TL olmaktadır. Bu değer, günlük bu kadar mesafe Avrupa şehir içi çevrimine benzer şartlarda şehir içi kullanımı olan kullanıcılar için sadece maliyet göz önüne alındığında hibrit elektrikli taşıta dönüşüm için ödenecek en yüksek değerdir. Dönüşümün maliyeti 3273,57 TL'den az olduğu durumda dönüşüm yapılmalı, aksi halde bu tip kullanıcılar taşıtlarını mevcut haliyle kullanmaya devam etmelidirler. Koşu 5'teki Ni-Mh bataryalar kullanılarak hibrit dönüşüm maliyetiyle karşılaştırıldığında, Li-İyon batarya farkı için katlanılabilecek en yüksek maliyet ise 411,64 TL çıkmaktadır.

Kabul edilebilecek en yüksek dönüşüm maliyetinin, Koşu 5'e göre önemli oranda artması bataryanın ağırlığı ve veriminin önemini göstermiştir. Bu sonuçtan anlaşıldığı kadarıyla bataryanın ağırlığının azaltılması ve veriminin artırılması bu mesafeden itibaren taşıtın günlük işletim maliyetinde önemli azalma sağlayabilecektir. Bu yüzden bu mesafeden daha uzun mesafelerde bataryanın daha maliyetli ancak daha verimli ve hafif Lityum-İyon batarya olduğu koşullar yapılması daha uygun görülmüştür.

Yine günlük aynı mesafede yol kat edildiği zaman, 5 yıl sonunda tüketilen yakıttan dolayı yaklaşık 1220,75 ton, tüketilen elektrik enerjisinden dolayı da yaklaşık 8424,90 ton CO₂; 3,14 ton NO_x; 7,60 ton CO ve 0,88 ton HC doğaya salınacaktır. Bu durum Ni-Mh bataryalı modele göre yaklaşık %16 daha fazla NO_x, yaklaşık %25 daha fazla CO ve yaklaşık %20 daha fazla HC salınımı demektir. Yakıt tüketimindeki düşüşe rağmen emisyonlardaki artış katalitik dönüştürücünün daha geç ısınmasından kaynaklanmıştır.

6.9 Koşu 9

Rejeneratif frenli hibrit elektrikli taşıt modelinin Ni-Mh yerine Li-İyon bataryalar kullanılarak 2 kez Avrupa şehir içi çevrimi ile simülasyonudur.

6.9.1 Koşu şartları

Çevrim: 2xAvrupa şehir içi (2xECE-15)

Batarya tipi: Li-İyon

Batarya büyüklüğü: 3,744 kWh; 31,9334 kg

Elektrikli tahrikten içten yanmalı motorla tahriğe geçiş hızı: 35 km/h (2. vitesten 3. vites geçiş hızı)

Rejeneratif frenleme: Var

Kullanım menzili: 8104 m

6.9.2 Sonuçlar

Mesafe: 8135,37 m

Toplam yakıt tüketimi: 0,1016 kg

Toplam elektrik tüketimi: 2,8309 kWh

Boşta çalışma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0000 kg

Hızlanma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0575 kg

Sabit hızla seyir sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0379 kg

Yavaşlama sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0062 kg

Ortalama yakıt tüketimi: 1,73 l/100km

Ortalama CO₂ emisyonu: 40,62 g/km

Ortalama NO_x emisyonu: 0,1157 g/km

Ortalama CO emisyonu: 0,2833 g/km

Ortalama HC emisyonu: 0,0324 g/km

6.9.3 Maliyet ve çevre analizi

Sonuçlara bakıldığında, sürücü hatasından kaynaklanan 31,37 m'lik fazladan katedilmiş bir mesafe gözlenmektedir. Yaklaşık %0,4'lük bu hata ihmal edilebilecek seviyededir.

Ortalama 1,73 l/100km'lik yakıt tüketimi ve 40,62 g/km'lik CO₂ emisyonu aynı seyir çevriminde ve aynı uzunluktaki mesafede rejeneratif frenlemenin eksik olduğu Koşu 8'e göre yaklaşık %1'lik, Li-İyon batarya yerine Ni-Mh bataryanın kullanıldığı Koşu 6'ya göre %2'lik bir tüketim ve emisyon azalması anlamına gelmektedir. Burada, rejeneratif frenleme ile Li-İyon batarya kullanımının avantajları birleştirilmeye çalışılmıştır. 1. İklim Değişikliği Ulusal Bildirimi'nde [17] yayımlanan elektrik üretiminden kaynaklanan CO₂ ve elektrik enerjisi tüketim istatistiklerine göre 637 g/kWh'lik tüketilen birim elektrik enerjisi başına CO₂ değeri ile hesaplandığında ise $637 \times 2,8309 / 8,13537 = 221,66$ g/km'lik elektrikle tahrikten kaynaklanan CO₂ emisyonu söz konusu olmaktadır. Diğer emisyonlar da Koşu 8'le hemen hemen aynı kalmış, Koşu 6'ya göre ise yüksek kalmıştır. Koşu 8'e göre aynı kalması rejeneratif frenlemenin bu emisyonları Li-İyon bataryalı durumda da çok etkilemediğini gösterirken, Koşu 6'ya göre yüksek emisyonların sebebi, içten yanmalı motorun, ağırlık azaldığından dolayı daha düşük yükte çalışması sonucu katalitik dönüştürücünün daha geç ısınması olmuştur.

Tüketilen yakıtın, bu sürüşün günde iki defa tekrarlanmasıyla, taşıtın varsayılan 5 yıllık kullanım ömrü boyunca yaratacağı maliyetin, gecelik merkez bankası borç verme faizi ile günümüz değeri şu şekilde hesaplanabilir:

Günde $1,73 \text{ l/100km} \times 2 \times 8,13537 \text{ km} / 100 = 0,2815$ l benzin harcanmış olur.

Benzinin litresi 3,75 TL'den (BP İstanbul Sarıyer ilçesi 95 oktan benzin fiyatı) [16] günlük maliyeti $3,75 \times 0,2815 = 1,0556$ TL olacaktır. Elektriğin ise kWh'i 21,659 (TEDAŞ mesken tek zamanlı tarife fiyatı [18]) kuruştan günlük maliyeti $2 \times 2,8309 \times 0,21659 = 1,2263$ TL olacaktır.

Merkez bankası gecelik borç verme faizi %9 ile hesaplanırsa, 1826 gün boyunca çıkacak bu maliyetin günümüz değeri 3354,58 TL olacaktır. Bu maliyetin, sadece içten yanmalı motorla tahrikte çıkan günlük $2 \times 2,4326 = 4,8652$ TL'den aynı şekilde hesaplanan toplam 7152,39 TL'den farkı 3797,81 TL olmaktadır. Bu değer, günlük bu kadar mesafe Avrupa şehir içi çevrimine benzer şartlarda şehir içi kullanımı olan kullanıcılar için sadece maliyet göz önüne alındığında hibrit elektrikli taşıta dönüşüm için ödenecek en yüksek değerdir. Dönüşümün maliyeti 3797,81 TL'den az olduğu durumda dönüşüm yapılmalı, aksi halde bu tip kullanıcılar taşıtlarını mevcut haliyle kullanmaya devam etmelidirler.

Koşu 5'teki Ni-Mh bataryalar kullanılarak hibrit dönüşüm maliyetiyle karşılaştırıldığında, Li-İyon batarya ve rejeneratif frenlerin beraber farkı için katlanılabilecek en yüksek maliyet ise 936,88 TL çıkmaktadır. Koşu 6'daki Ni-Mh bataryalar ve rejeneratif frenler kullanılarak hibrit dönüşüm maliyetiyle karşılaştırıldığında, Li-İyon batarya farkı için katlanılabilecek en yüksek maliyet ise 15,87 TL çıkmaktadır. Koşu 8'deki Li-İyon bataryalar kullanılarak hibrit dönüşüm maliyetiyle karşılaştırıldığında, rejeneratif fren farkı için katlanılabilecek en yüksek maliyet ise 525,24 TL çıkmaktadır.

Yine günlük aynı mesafede yol kat edildiği zaman, 5 yıl sonunda tüketilen yakıttan dolayı yaklaşık 1206,84 ton, tüketilen elektrik enerjisinden dolayı da yaklaşık 6585,60 ton CO₂; 3,44 ton NO_x; 8,42 ton CO ve 0,96 ton HC doğaya salınacaktır. Bu durum, bu mesafede daha ağır bataryaların kullanımının emisyonlar açısından daha hafif bataryalarla kullanımdan daha iyi olduğunu göstermektedir.

6.10 Koşu 10

Rejeneratif freni olmayan hibrit elektrikli taşıt modelinin Li-İyon bataryalar kullanılarak 4 kez Avrupa şehir içi çevrimi ile simülasyonudur.

6.10.1 Koşu şartları

Çevrim: 4xAvrupa şehir içi (4xECE-15)

Batarya tipi: Li-İyon

Batarya büyüklüğü: 9,360 kWh; 79,8336 kg

Elektrikli tahrikten içten yanmalı motorla tahriğe geçiş hızı: 35 km/h (2. vitesten 3. vitese geçiş hızı)

Rejeneratif frenleme: Yok

Kullanım menzili: 16208 m

6.10.2 Sonuçlar

Mesafe: 16310,21 m

Toplam yakıt tüketimi: 0,2081 kg

Toplam elektrik tüketimi: 7,7326 kWh

Boşta çalışma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0000 kg

Hızlanma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,1197 kg

Sabit hızla seyir sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0749 kg

Yavaşlama sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0135 kg

Ortalama yakıt tüketimi: 1,77 l/100km

Ortalama CO₂ emisyonu: 41,49 g/km

Ortalama NO_x emisyonu: 0,0509 g/km

Ortalama CO emisyonu: 0,1196 g/km

Ortalama HC emisyonu: 0,0141 g/km

6.10.3 Maliyet ve çevre analizi

Sonuçlara bakıldığında, sürücü hatasından kaynaklanan 102,21 m'lik fazladan katedilmiş bir mesafe gözlenmektedir. Yaklaşık %0,6'lık bu hata ihmal edilebilecek seviyededir. Ortalama 1,77 l/100km'lik yakıt tüketimi ve 41,49 g/km'lik CO₂ emisyonu Koşu 8'e göre yaklaşık %1'lik bir artışı işaret ederken, Li-İyon batarya ile yapılan dönüşümde bu mesafede sonuçlar arasında fazla bir fark olmadığını göstermektedir. 1. İklim Değişikliği Ulusal Bildirimi'nde [17] yayımlanan elektrik üretiminden kaynaklanan CO₂ ve elektrik enerjisi tüketim istatistiklerine göre 637 g/kWh'lik tüketilen birim elektrik enerjisi başına CO₂ değeri ile hesaplandığında ise $637 \times 7,7326 / 16,31021 = 302,00$ g/km'lik elektrikle tahrikten kaynaklanan CO₂ emisyonu söz konusu olmaktadır. Diğer emisyonlar ise artan mesafeyle beraber ısınan katalitik dönüştürücü sayesinde şaşırtıcı bir şekilde neredeyse yarı yarıya düşmüşlerdir.

Tüketilen yakıtın, bu sürüşün günde iki defa tekrarlanmasıyla, taşıtın varsayılan 5 yıllık kullanım ömrü boyunca yaratacağı maliyetin, gecelik merkez bankası borç verme faizi ile günümüz değeri şu şekilde hesaplanabilir:

Günde $1,77 \text{ l/100km} \times 2 \times 16,31021 \text{ km} / 100 = 0,5774$ l benzin harcanmış olur.

Benzinin litresi 3,75 TL'den (BP İstanbul Sarıyer ilçesi 95 oktan benzin fiyatı) [16] günlük maliyeti $3,75 \times 0,5774 = 2,1653$ TL olacaktır. Elektriğin ise kWh'i 21,659 (TEDAŞ mesken tek zamanlı tarife fiyatı [18]) kuruştan günlük maliyeti $2 \times 7,7326 \times 0,21659 = 3,3496$ TL olacaktır.

Merkez bankası gecelik borç verme faizi %9 ile hesaplanırsa, 1826 gün boyunca çıkacak bu maliyetin günümüz değeri 8107,36 TL olacaktır. Bu maliyetin, sadece içten yanmalı motorla tahrikte çıkan günlük $4 \times 2,4326 = 9,7304$ TL'den aynı şekilde hesaplanan toplam 14304,79 TL'den farkı 6197,43 TL olmaktadır. Bu değer, günlük bu kadar mesafe Avrupa şehir içi çevrimine benzer şartlarda şehir içi kullanımı olan kullanıcılar için sadece maliyet göz önüne alındığında hibrit elektrikli taşıta dönüşüm için ödenecek en yüksek değerdir. Dönüşümün maliyeti 6197,43 TL'den az olduğu durumda dönüşüm yapılmalı, aksi halde bu tip kullanıcılar taşıtlarını mevcut haliyle kullanmaya devam etmelidirler.

Kabul edilebilecek en yüksek dönüşüm maliyetinin, Koşu 8'in iki katına yaklaşması, bataryanın ağırlık artışının fizibiliteyi bu mesafede fazla olumsuz etkilemediğini göstermektedir. Bu sonuçtan anlaşıldığı kadarıyla, günlük kat edilen mesafe arttıkça fizibilite açısından durum daha iyiye gitmeye devam etmektedir.

Yine günlük aynı mesafede yol kat edildiği zaman, 5 yıl sonunda tüketilen yakıttan dolayı yaklaşık 2471,35 ton, tüketilen elektrik enerjisinden dolayı da yaklaşık 17988,60 ton CO₂; 3,03 ton NO_x; 7,12 ton CO ve 0,84 ton HC doğaya salınacaktır. Koşu 8'e göre iki katı mesafe kat ediliyor olmasına rağmen, CO₂ hariç 5 yıldaki toplam emisyonların daha düşük çıkmasının, yani km başına emisyonların yarıdan da düşük değerlere gerilemesinin nedeni katalitik dönüştürücünün bu mesafede artık tam olarak ısınmış olmasıdır. Bu durum da katalitik dönüştürücünün veriminin emisyonlar açısından ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

6.11 Koşu 11

Rejeneratif frenli hibrit elektrikli taşıt modelinin Li-İyon bataryalar kullanılarak 4 kez Avrupa şehir içi çevrimi ile simülasyonudur.

6.11.1 Koşu şartları

Çevrim: 4xAvrupa şehir içi (4xECE-15)

Batarya tipi: Li-İyon

Batarya büyüklüğü: 5,616 kWh; 47,9002 kg

Elektrikli tahrikten içten yanmalı motorla tahriğe geçiş hızı: 35 km/h (2. vitesten 3. vitese geçiş hızı)

Rejeneratif frenleme: Var

Kullanım menzili: 16208 m

6.11.2 Sonuçlar

Mesafe: 16277,69 m

Toplam yakıt tüketimi: 0,2042 kg

Toplam elektrik tüketimi: 5,5211 kWh

Boşta çalışma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0000 kg

Hızlanma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,1158 kg

Sabit hızla seyir sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0761 kg

Yavaşlama sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0123 kg

Ortalama yakıt tüketimi: 1,74 l/100km

Ortalama CO₂ emisyonu: 40,81 g/km

Ortalama NO_x emisyonu: 0,0528 g/km

Ortalama CO emisyonu: 0,1235 g/km

Ortalama HC emisyonu: 0,0147 g/km

6.11.3 Maliyet ve çevre analizi

Sonuçlara bakıldığında, sürücü hatasından kaynaklanan 69,69 m'lik fazladan katedilmiş bir mesafe gözlenmektedir. Yaklaşık %0,4'lük bu hata ihmal edilebilecek seviyededir. Ortalama 1,74 l/100km'lik yakıt tüketimi ve 40,81 g/km'lik CO₂ emisyonu aynı seyir çevriminde ve aynı uzunluktaki mesafede rejeneratif frenlemenin eksik olduğu Koşu 10'a göre yaklaşık %2'lik bir tüketim ve emisyon azalması anlamına gelmektedir. Buradan da anlaşıldığı üzere, artan mesafeyle birlikte rejeneratif frenlemenin getirdiği yakıt tüketimi ve CO₂ emisyonu avantajı fazla büyümektedir.

1. İklim Değişikliği Ulusal Bildirimi'nde [17] yayımlanan elektrik üretiminden kaynaklanan CO₂ ve elektrik enerjisi tüketim istatistiklerine göre 637 g/kWh'lik tüketilen birim elektrik enerjisi başına CO₂ değeri ile hesaplandığında ise $637 \times 5,5211 / 16,27769 = 216,06$ g/km'lik elektrikle tahrikten kaynaklanan CO₂ emisyonu söz konusu olmaktadır. Diğer emisyonlar ise hemen hemen Koşu 10 ile aynı kalmıştır.

Tüketilen yakıtın, bu sürüşün günde iki defa tekrarlanmasıyla, taşıtın varsayılan 5 yıllık kullanım ömrü boyunca yaratacağı maliyetin, gecelik merkez bankası borç verme faizi ile günümüz değeri şu şekilde hesaplanabilir:

Günde $1,74 \text{ l}/100\text{km} \times 2 \times 16,27769 \text{ km} / 100 = 0,5665$ l benzin harcanmış olur.

Benzinin litresi 3,75 TL'den (BP İstanbul Sarıyer ilçesi 95 oktan benzin fiyatı) [16] günlük maliyeti $3,75 \times 0,5665 = 2,1244$ TL olacaktır. Elektriğin ise kWh'i 21,659 (TEDAŞ mesken tek zamanlı tarife fiyatı [18]) kuruştan günlük maliyeti $2 \times 5,5211 \times 0,21659 = 2,3916$ TL olacaktır.

Merkez bankası gecelik borç verme faizi %9 ile hesaplanırsa, 1826 gün boyunca çıkacak bu maliyetin günümüz değeri 6638,84 TL olacaktır. Bu maliyetin, sadece içten yanmalı motorla tahrikte çıkan günlük $2 \times 4 \times 2,4326 = 4,8652$ TL'den aynı şekilde hesaplanan toplam 14304,79 TL'den farkı 7665,95 TL olmaktadır. Bu değer, günlük bu kadar mesafe Avrupa şehir içi çevrimine benzer şartlarda şehir içi kullanımı olan kullanıcılar için sadece maliyet göz önüne alındığında hibrit elektrikli taşıta dönüşüm için ödenecek en yüksek değerdir. Dönüşümün maliyeti 7665,95 TL'den az olduğu durumda dönüşüm yapılmalı, aksi halde bu tip kullanıcılar taşıtlarını mevcut haliyle kullanmaya devam etmelidirler. Koşu 10'daki Li-İyon bataryalar kullanılarak hibrit dönüşüm maliyetiyle karşılaştırıldığında, rejeneratif fren farkı için katlanılabilecek en yüksek maliyet ise 1468,52 TL çıkmaktadır.

Yine günlük aynı mesafede yol kat edildiği zaman, 5 yıl sonunda tüketilen yakıttan dolayı yaklaşık 2426,00 ton, tüketilen elektrik enerjisinden dolayı da yaklaşık 12843,93 ton CO₂; 3,14 ton NO_x; 7,34 ton CO ve 0,87 ton HC doğaya salınacaktır. Bu durum, katalitik dönüştürücünün ısınmasının, emisyonların düşmesinde ne kadar etkili olduğunu göstermektedir. Günlük katedilen mesafedeki artış, rejeneratif frenli hibrit elektrikli taşıta dönüşümün fizibilitesini artırdığı gibi, emisyonlar açısından yararlılığını da artırmaktadır.

6.12 Koşu 12

Rejeneratif freni olmayan hibrit elektrikli taşıt modelinin Li-İyon bataryalar kullanılarak 8 kez Avrupa şehir içi çevrimi ile simülasyonudur.

6.12.1 Koşu şartları

Çevrim: 8xAvrupa şehir içi (4xECE-15)

Batarya tipi: Li-İyon

Batarya büyüklüğü: 18,720 kWh; 159,6673 kg

Elektrikli tahrikten içten yanmalı motorla tahriğe geçiş hızı: 35 km/h (2. vitesten 3. vites geçiş hızı)

Rejeneratif frenleme: Yok

Kullanım menzili: 32416 m

6.12.2 Sonuçlar

Mesafe: 32650,29 m

Toplam yakıt tüketimi: 0,2113 kg

Toplam elektrik tüketimi: 15,6320 kWh

Boşta çalışma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0000 kg

Hızlanma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,1208 kg

Sabit hızla seyir sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0780 kg

Yavaşlama sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0125 kg

Ortalama yakıt tüketimi: 1,91 l/100km

Ortalama CO₂ emisyonu: 43,79 g/km

Ortalama NO_x emisyonu: 0,0242 g/km

Ortalama CO emisyonu: 0,0545 g/km

Ortalama HC emisyonu: 0,0064 g/km

6.12.3 Maliyet ve çevre analizi

Sonuçlara bakıldığında, sürücü hatasından kaynaklanan 234,29 m'lik fazladan katedilmiş bir mesafe gözlenmektedir. Yaklaşık %0,7'lik bu hata ihmal edilebilecek seviyededir, ancak mesafe uzadıkça hata payının arttığı konusunda önemli bir göstergedir. Ortalama 1,91 l/100km'lik yakıt tüketimi ve 43,79 g/km'lik CO₂ emisyonu Koşu 10'a göre küçük bir artışı işaret ederken, Li-İyon batarya ile yapılan dönüşümde de artan batarya ağırlığının bu mesafeden itibaren kendini hissettirmeye başladığını göstermektedir. 1. İklim Değişikliği Ulusal Bildirimi'nde [17] yayımlanan elektrik üretiminden kaynaklanan CO₂ ve elektrik enerjisi tüketim istatistiklerine göre 637 g/kWh'lik tüketilen birim elektrik enerjisi başına CO₂ değeri ile hesaplandığında ise $637 \times 15,6320 / 32,65029 = 304,98$ g/km'lik elektrikle tahrikten kaynaklanan CO₂ emisyonu söz konusu olmaktadır. Diğer emisyonlar ise artan mesafeyle beraber ısınan katalitik dönüştürücü sayesinde şaşırtıcı bir şekilde neredeyse yarı yarıya düşmüşlerdir.

Tüketilen yakıtın, bu sürüşün günde iki defa tekrarlanmasıyla, taşıtın varsayılan 5 yıllık kullanım ömrü boyunca yaratacağı maliyetin, gecelik merkez bankası borç verme faizi ile günümüz değeri şu şekilde hesaplanabilir:

Günde $1,91 \text{ l/100km} \times 2 \times 32,65029 \text{ km} / 100 = 1,2472$ l benzin harcanmış olur.

Benzinin litresi 3,75 TL'den (BP İstanbul Sarıyer ilçesi 95 oktan benzin fiyatı) [16] günlük maliyeti $3,75 \times 1,2472 = 4,6770$ TL olacaktır. Elektriğin ise kWh'i 21,659 (TEDAŞ mesken tek zamanlı tarife fiyatı [18]) kuruştan günlük maliyeti $2 \times 15,6320 \times 0,21659 = 6,7715$ TL olacaktır.

Merkez bankası gecelik borç verme faizi %9 ile hesaplanırsa, 1826 gün boyunca çıkacak bu maliyetin günümüz değeri 16830,77 TL olacaktır. Bu maliyetin, sadece içten yanmalı motorla tahrikte çıkan günlük $8 \times 2,4326 = 19,4608$ TL'den aynı şekilde hesaplanan toplam 28609,58 TL'den farkı 11778,81 TL olmaktadır. Bu değer, günlük bu kadar mesafe Avrupa şehir içi çevrimine benzer şartlarda şehir içi kullanımı olan kullanıcılar için sadece maliyet göz önüne alındığında hibrit elektrikli taşıta dönüşüm için ödenecek en yüksek değerdir. Dönüşümün maliyeti 11778,81 TL'den az olduğu durumda dönüşüm yapılmalı, aksi halde bu tip kullanıcılar taşıtlarını mevcut haliyle kullanmaya devam etmelidirler.

Kabul edilebilecek en yüksek dönüşüm maliyetinin, Koşu 10'un da yaklaşık iki katı olması günlük katedilen mesafe arttıkça fizibilite açısından daha da iyi hale geldiğini göstermektedir. Ancak yine de bu mesafeden başka daha uzun bir şehir içi kullanım gerçekçi olmayacağından ve AVL CRUISE daha uzun mesafeli koşular için çok yüksek sistem belleği gerektirdiğinden daha uzun mesafeli koşular yapılmayacaktır.

Yine günlük aynı mesafede yol kat edildiği zaman, 5 yıl sonunda tüketilen yakıttan dolayı yaklaşık 5221,47 ton, tüketilen elektrik enerjisinden dolayı da yaklaşık 36365,47 ton CO₂; 2,89 ton NO_x; 6,50 ton CO ve 0,76 ton HC doğaya salınacaktır. Koşu 10'a göre iki katı mesafe kat ediliyor olmasına rağmen, CO₂ hariç 5 yıldaki toplam emisyonların daha düşük çıkmasının, yani km başına emisyonların bir kez daha yarıdan da düşük değerlere gerilemesinin nedeni katalitik dönüştürücünün veriminin emisyonlar açısından neredeyse herşey demek olduğunu göstermektedir. Ancak buna rağmen CO₂'te katalitik dönüştürücü ile bir düşüş sağlanamaması ve bu emisyonun artan mesafe ile paralel artışı düşündürücüdür.

6.13 Koşu 13

Rejeneratif frenli hibrit elektrikli taşıt modelinin Li-İyon bataryalar kullanılarak 8 kez Avrupa şehir içi çevrimi ile simülasyonudur.

6.13.1 Koşu şartları

Çevrim: 8xAvrupa şehir içi (4xECE-15)

Batarya tipi: Li-İyon

Batarya büyüklüğü: 13,104 kWh; 111,7671 kg

Elektrikli tahrikten içten yanmalı motorla tahriğe geçiş hızı: 35 km/h (2. vitesten 3. vitese geçiş hızı)

Rejeneratif frenleme: Var

Kullanım menzili: 32416 m

6.13.2 Sonuçlar

Mesafe: 32598,60 m

Toplam yakıt tüketimi: 0,4768 kg

Toplam elektrik tüketimi: 10,6529 kWh

Boşta çalışma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0000 kg

Hızlanma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,2635 kg

Sabit hızla seyir sırasındaki yakıt tüketimi: 0,1834 kg

Yavaşlama sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0299 kg

Ortalama yakıt tüketimi: 1,86 l/100km

Ortalama CO₂ emisyonu: 47,64 g/km

Ortalama NO_x emisyonu: 0,0255 g/km

Ortalama CO emisyonu: 0,0589 g/km

Ortalama HC emisyonu: 0,0071 g/km

6.13.3 Maliyet ve çevre analizi

Sonuçlara bakıldığında, sürücü hatasından kaynaklanan 182,60 m'lik fazladan katedilmiş bir mesafe gözlenmektedir. Yaklaşık %0,6'lık bu hata ihmal edilebilecek seviyededir. Ortalama 1,86 l/100km'lik yakıt tüketimi ve 47,64 g/km'lik CO₂ emisyonu aynı seyir çevriminde ve aynı uzunluktaki mesafede rejeneratif frenlemenin eksik olduğu Koşu 12'ye göre yaklaşık %3'lük bir tüketim ve emisyon azalması anlamına gelmektedir. Artan mesafeyle birlikte bu oran büyümemiştir. 1. İklim Değişikliği Ulusal Bildirimi'nde [17] yayımlanan elektrik üretiminden kaynaklanan CO₂ ve elektrik enerjisi tüketim istatistiklerine göre 637 g/kWh'lik tüketilen birim elektrik enerjisi başına CO₂ değeri ile hesaplandığında ise $637 \times 10,6529 / 32598,60 = 208,17$ g/km'lik elektrikle tahrikten kaynaklanan CO₂ emisyonu söz konusu olmaktadır. Diğer emisyonlar da Koşu 11'e göre yarıdan da aşağı düşerken, Koşu 12'ye göre biraz yüksek kalmıştır. Koşu 11'e göre düşüşün sebebi katalitik dönüştürücünün daha verimli çalışacak kadar ısınması olurken, Koşu 12'ye göre az da olsa yüksek kalmasının nedeni daha düşük batarya ağırlığının katalitik dönüştürücünün sıcaklığını, dolayısıyla da verimini etkilemesidir.

Tüketilen yakıtın, bu sürüşün günde iki defa tekrarlanmasıyla, taşıtın varsayılan 5 yıllık kullanım ömrü boyunca yaratacağı maliyetin, gecelik merkez bankası borç verme faizi ile günümüz değeri şu şekilde hesaplanabilir:

Günde $1,86 \text{ l/100km} \times 2 \times 32,59860 \text{ km} / 100 = 1,2127 \text{ l}$ benzin harcanmış olur.

Benzinin litresi 3,75 TL'den (BP İstanbul Sarıyer ilçesi 95 oktan benzin fiyatı) [16] günlük maliyeti $3,75 \times 1,2127 = 4,5476 \text{ TL}$ olacaktır. Elektriğin ise kWh'i 21,659 (TEDAŞ mesken tek zamanlı tarife fiyatı [18]) kuruştan günlük maliyeti $2 \times 10,6529 \times 0,21659 = 4,6146 \text{ TL}$ olacaktır.

Merkez bankası gecelik borç verme faizi %9 ile hesaplanırsa, 1826 gün boyunca çıkacak bu maliyetin günümüz değeri 13469,37 TL olacaktır. Bu maliyetin, sadece içten yanmalı motorla tahrikte çıkan günlük $8 \times 2,4326 = 19,4608 \text{ TL}$ 'den aynı şekilde hesaplanan toplam 28609,58 TL'den farkı 15140,21 TL olmaktadır. Bu değer, günlük bu kadar mesafe Avrupa şehir içi çevrimine benzer şartlarda şehir içi kullanımı olan kullanıcılar için sadece maliyet göz önüne alındığında hibrit elektrikli taşıta dönüşüm için ödenecek en yüksek değerdir. Dönüşümün maliyeti 15140,21 TL'den az olduğu durumda dönüşüm yapılmalı, aksi halde bu tip kullanıcılar taşıtlarını mevcut haliyle kullanmaya devam etmelidirler. Koşu 11'deki yarı mesafede yapılan simülasyona göre katlanılabilecek dönüşüm maliyetinin iki katına yakın çıkması mesafe uzadıkça rejeneratif fren sisteminin etkinliğinin aynı kaldığını ve bu sayede artan tasarruf sayesinde gittikçe fizibilitesinin arttığını göstermektedir. Ancak bu mesafeden daha uzun bir şehir içi kullanım pek mümkün olmayacağından ve AVL CRUISE daha uzun mesafeli koşular için çok yüksek sistem belleği gerektirdiğinden daha uzun mesafeli koşular yapılmayacaktır. Koşu 12'deki rejeneratif fren kullanılmayan hibrit dönüşüm maliyetiyle karşılaştırıldığında ise, rejeneratif fren farkı için katlanılabilecek en yüksek maliyet 3361,41 TL çıkmaktadır. Dönüşümün katlanılabilecek toplam maliyetinin %22'sine ulaşan bu değer, bu uzunlukta bir günlük mesafede rejeneratif frenlerin vazgeçilmez olduğunun göstergesidir.

Yine günlük aynı mesafede yol kat edildiği zaman, 5 yıl sonunda tüketilen yakıttan dolayı yaklaşık 5671,55 ton, tüketilen elektrik enerjisinden dolayı da yaklaşık 24782,66 ton CO₂; 3,04 ton NO_x; 7,01 ton CO ve 0,85 ton HC doğaya salınacaktır. Bu durum, bu mesafede rejeneratif frenin tüketimde daha iyi sonuçlar verse de emisyonlar konusunda katalitik dönüştürücünün verimli kullanılamaması yüzünden en iyi sonuçları veremeyebileceğini göstermektedir.

6.14 Kou 14

Rejeneratif freni olmayan hibrit elektrikli taşıt modelinin Ni-Mh bataryalar kullanılarak İstanbul evrimi ile simülasyonudur.

6.14.1 Kou artları

evrim: İstanbul

Batarya tipi: Ni-Mh

Batarya büyüklüğü: 1,872 kWh; 39,9168 kg

Elektrikli tahrikten içten yanmalı motorla tahriğe geçiş hızı: 35 km/h (2. vitesten 3. vitesine geçiş hızı)

Rejeneratif frenleme: Yok

Kullanım menzili: 8609,67 m

6.14.2 Sonuçlar

Mesafe: 8567,00 m

Toplam yakıt tüketimi: 0,2109 kg

Toplam elektrik tüketimi: 1,6026 kWh

Boşta alıma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0000 kg

Hızlanma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,1510 kg

Sabit hızla seyir sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0446 kg

Yavaşlama sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0153 kg

Ortalama yakıt tüketimi: 3,42 l/100km

Ortalama CO₂ emisyonu: 80,14 g/km

Ortalama NO_x emisyonu: 0,0280 g/km

Ortalama CO emisyonu: 0,1063 g/km

Ortalama HC emisyonu: 0,0082 g/km

6.14.3 Maliyet ve çevre analizi

Sonuçlara bakıldığında, sürücü hatasından kaynaklanan 57,33 m'lik eksik katedilmiş bir mesafe gözlenmektedir. Yaklaşık %0,7'lik bu hata ihmal edilebilecek seviyededir. Ortalama 3,42 l/100km'lik yakıt tüketimi ve 80,14 g/km'lik CO₂ emisyonu aynı seyir çevriminde sadece içten yanmalı motorla tahriğe göre yaklaşık %47'lik bir tüketim ve emisyon azalması anlamına gelmektedir. 1. İklim Değişikliği Ulusal Bildirimi'nde [17] yayımlanan elektrik üretiminden kaynaklanan CO₂ ve elektrik enerjisi tüketim istatistiklerine göre 637 g/kWh'lik tüketilen birim elektrik enerjisi başına CO₂ değeri ile hesaplandığında ise $637 \times 1,6026 / 8,56700 = 119,16$ g/km'lik elektrikle tahrikten kaynaklanan CO₂ emisyonu söz konusu olmaktadır. Diğer emisyonlardan HC emisyonu önemli ölçüde düşmesine rağmen, koşu sırasında içten yanmalı motorun sıklıkla durdurulması sonucunda katalitik dönüştürücünün yeterli sıcaklığa geç ulaşmasından dolayı CO emisyonundaki düşüş sınırlı olurken, NO_x emisyonu yine yüksek kalmıştır.

Tüketilen yakıtın, bu sürüşün günde iki defa tekrarlanmasıyla, taşıtın varsayılan 5 yıllık kullanım ömrü boyunca yaratacağı maliyetin, gecelik merkez bankası borç verme faizi ile günümüz değeri şu şekilde hesaplanabilir:

Günde $3,42 \text{ l/100km} \times 2 \times 8,56700 \text{ km} / 100 = 0,5860 \text{ l}$ benzin harcanmış olur.

Benzinin litresi 3,75 TL'den (BP İstanbul Sarıyer ilçesi 95 oktan benzin fiyatı) [16] günlük maliyeti $3,75 \times 0,5860 = 2,1975$ TL olacaktır. Elektriğin ise kWh'i 21,659 (TEDAŞ mesken tek zamanlı tarife fiyatı [18]) kuruştan günlük maliyeti $2 \times 1,6026 \times 0,21659 = 0,6942$ TL olacaktır.

Merkez bankası gecelik borç verme faizi %9 ile hesaplanırsa, 1826 gün boyunca çıkacak bu maliyetin günümüz değeri 4251,05 TL olacaktır. Bu maliyetin sadece içten yanmalı motorla tahrikte çıkan 6052,09 TL'den farkı 1801,04 TL olmaktadır. Bu değer, günlük bu kadar mesafe İstanbul çevrimine benzer şartlarda kullanımı olan kullanıcılar için sadece maliyet göz önüne alındığında hibrit elektrikli taşıta dönüşüm için ödenecek en yüksek değerdir. Dönüşümün maliyeti 1801,04 TL'den az olduğu durumda dönüşüm yapılmalı, aksi halde bu tip kullanıcılar taşıtlarını mevcut haliyle kullanmaya devam etmelidirler.

Yine günlük aynı mesafede yol kat edildiği zaman, 5 yıl sonunda tüketilen yakıttan dolayı yaklaşık 2507,32 ton, tüketilen elektrik enerjisinden dolayı da yaklaşık 3728,12 ton CO₂; 0,88 ton NO_x; 3,32 ton CO ve 0,26 ton HC doğaya salınacaktır.

6.15 Koşu 15

Rejeneratif frenli hibrit elektrikli taşıt modelinin Ni-Mh bataryalar kullanılarak İstanbul çevrimi ile simülasyondur.

6.15.1 Koşu şartları

Çevrim: İstanbul

Batarya tipi: Ni-Mh

Batarya büyüklüğü: 1,872 kWh; 39,9168 kg

Elektrikli tahrikten içten yanmalı motorla tahriğe geçiş hızı: 35 km/h (2. vitesten 3. vites geçiş hızı)

Rejeneratif frenleme: Var

Kullanım menzili: 8609,67 m

6.15.2 Sonuçlar

Mesafe: 8557,52 m

Toplam yakıt tüketimi: 0,2111 kg

Toplam elektrik tüketimi: 1,5580 kWh

Boşta çalışma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0000 kg

Hızlanma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,1508 kg

Sabit hızla seyir sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0453 kg

Yavaşlama sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0149 kg

Ortalama yakıt tüketimi: 3,42 l/100km

Ortalama CO₂ emisyonu: 80,15 g/km

Ortalama NO_x emisyonu: 0,0292 g/km

Ortalama CO emisyonu: 0,1062 g/km

Ortalama HC emisyonu: 0,0082 g/km

6.15.3 Maliyet ve çevre analizi

Sonuçlara bakıldığında, sürücü hatasından kaynaklanan 52,15 m'lik eksik katedilmiş bir mesafe gözlenmektedir. Yaklaşık %0,6'lık bu hata ihmal edilebilecek seviyededir. Ortalama 3,42 l/100km'lik yakıt tüketimi ve 80,15 g/km'lik CO₂ emisyonu aynı seyir çevriminde rejeneratif freni olmayan modelle aynı oranda tüketim ve emisyon anlamına gelmektedir. 1. İklim Değişikliği Ulusal Bildirimi'nde [17] yayımlanan elektrik üretiminden kaynaklanan CO₂ ve elektrik enerjisi tüketim istatistiklerine göre 637 g/kWh'lik tüketilen birim elektrik enerjisi başına CO₂ değeri ile hesaplandığında ise $637 \times 1,5580 / 8,55752 = 115,97$ g/km'lik elektrikle tahrikten kaynaklanan CO₂ emisyonu söz konusu olmaktadır. Diğer emisyonlardan NO_x emisyonları çok hafif yüksek çıkarken HC ve CO emisyonları birebir aynı çıkmışlardır. Bu da yakıt tüketimi ve emisyonlar bakımından İstanbul çevriminde rejeneratif frenlerin pek bir farklılık yaratmadığını göstermektedir.

Tüketilen yakıtın, bu sürüşün günde iki defa tekrarlanmasıyla, taşıtın varsayılan 5 yıllık kullanım ömrü boyunca yaratacağı maliyetin, gecelik merkez bankası borç verme faizi ile günümüz değeri şu şekilde hesaplanabilir:

Günde $3,42 \text{ l/100km} \times 2 \times 8,55752 \text{ km} / 100 = 0,5853$ l benzin harcanmış olur.

Benzinin litresi 3,75 TL'den (BP İstanbul Sarıyer ilçesi 95 oktan benzin fiyatı) [16] günlük maliyeti $3,75 \times 0,5853 = 2,1949$ TL olacaktır. Elektriğin ise kWh'i 21,659 (TEDAŞ mesken tek zamanlı tarife fiyatı [18]) kuruştan günlük maliyeti $2 \times 1,5580 \times 0,21659 = 0,6749$ TL olacaktır.

Merkez bankası gecelik borç verme faizi %9 ile hesaplanırsa, 1826 gün boyunca çıkacak bu maliyetin günümüz değeri 4219,08 TL olacaktır. Bu maliyetin sadece içten yanmalı motorla tahrikte çıkan 6052,09 TL'den farkı 1833,01 TL olmaktadır. Bu değer, günlük bu kadar mesafe İstanbul çevrimine benzer şartlarda kullanımı olan kullanıcılar için sadece maliyet göz önüne alındığında hibrit elektrikli taşıta dönüşüm için ödenecek en yüksek değerdir. Dönüşümün maliyeti 1833,01 TL'den az olduğu durumda dönüşüm yapılmalı, aksi halde bu tip kullanıcılar taşıtlarını mevcut haliyle kullanmaya devam etmelidirler. Koşu 14'teki hibrit dönüşüm maliyetiyle karşılaştırıldığında, rejeneratif frenler için katlanılabilecek en yüksek maliyet 31,98 TL çıkmaktadır. Bu durum İstanbul çevriminde rejeneratif frenlerin önemli olmadığını göstermektedir. Bunun sebebi, muhtemelen bu çevrimde rejeneratif frenlemeden fazla faydalanılamayan yüksek ivmeli frenlemeler olması ve aynı zamanda yapılan frenlemelerin çoğunda bataryada saklanamayacak kadar yüksek miktarda enerji ortaya çıkmasıdır.

Yine günlük aynı mesafede yol kat edildiği zaman, 5 yıl sonunda tüketilen yakıttan dolayı yaklaşık 2504,85 ton, tüketilen elektrik enerjisinden dolayı da yaklaşık 3624,30 ton CO₂; 0,91 ton NO_x; 3,32 ton CO ve 0,26 ton HC doğaya salınacaktır. Yakıt ve elektrik tüketimi dışında salınımlarda da rejeneratif frenleme ile önemli bir değişiklik olmamıştır.

6.16 Koşu 16

Rejeneratif freni olmayan hibrit elektrikli taşıt modelinin Ni-Mh bataryalar kullanılarak 2 kez İstanbul çevrimi ile simülasyonudur.

6.16.1 Koşu şartları

Çevrim: İstanbul

Batarya tipi: Ni-Mh

Batarya büyüklüğü: 3,744 kWh; 79,8336 kg

Elektrikli tahrikten içten yanmalı motorla tahriğe geçiş hızı: 35 km/h (2. vitesten 3. vitese geçiş hızı)

Rejeneratif frenleme: Yok

Kullanım menzili: 17219,34 m

6.16.2 Sonuçlar

Mesafe: 17139,03 m

Toplam yakıt tüketime: 0,4276 kg

Toplam elektrik tüketime: 3,2297 kWh

Boşta alışma sırasındaki yakıt tüketime: 0,0000 kg

Hızlanma sırasındaki yakıt tüketime: 0,3053 kg

Sabit hızla seyir sırasındaki yakıt tüketime: 0,0926 kg

Yavaşlama sırasındaki yakıt tüketime: 0,0297 kg

Ortalama yakıt tüketime: 3,47 l/100km

Ortalama CO₂ emisyonu: 81,20 g/km

Ortalama NO_x emisyonu: 0,0164 g/km

Ortalama CO emisyonu: 0,0596 g/km

Ortalama HC emisyonu: 0,0047 g/km

6.16.3 Maliyet ve evre analizi

Sonuçlara bakıldığında, sürücü hatasından kaynaklanan 80,31 m’lik eksik katedilmiş bir mesafe gözlenmektedir. Yaklaşık %0,5’lik bu hata ihmal edilebilecek seviyededir. Ortalama 3,47 l/100km’lik yakıt tüketime ve 81,20 g/km’lik CO₂ emisyonu aynı seyir çevriminde yarı uzunlukta mesafeye göre yaklaşık %1,5’lik bir tüketim ve emisyon artışı anlamına gelmektedir. Bunun nedeni, bataryanın şarjının yetmesi için 2 katı büyüklüğe çıkarılması ve bunun sonucunda batarya kütlesinde bir artış olmasıdır. 1. İklim Değişikliği Ulusal Bildirimi’nde [17] yayımlanan elektrik üretiminden kaynaklanan CO₂ ve elektrik enerjisi tüketim istatistiklerine göre 637 g/kWh’lik tüketilen birim elektrik enerjisi başına CO₂ değeri ile hesaplandığında ise $637 \times 3,2297 / 17,13903 = 120,04$ g/km’lik elektrikle tahrikten kaynaklanan CO₂ emisyonu söz konusu olmaktadır. Diğer emisyonlar da katalitik dönüştürücünün yeterli verime ulaşacak kadar ısınması için gerekli mesafeye ulaşılmasından dolayı aynı seyir çevriminde yarı uzunlukta mesafeye göre neredeyse yarı yarıya düşmüşlerdir.

Tüketilen yakıtın, bu sürüşün günde iki defa tekrarlanmasıyla, taşıtın varsayılan 5 yıllık kullanım ömrü boyunca yaratacağı maliyetin, gecelik merkez bankası borç verme faizi ile günümüz değeri şu şekilde hesaplanabilir:

Günde $3,47 \text{ l/100km} \times 2 \times 17,13903 \text{ km} / 100 = 1,1894 \text{ l}$ benzin harcanmış olur.

Benzinin litresi 3,75 TL'den (BP İstanbul Sarıyer ilçesi 95 oktan benzin fiyatı) [16] günlük maliyeti $3,75 \times 1,1894 = 4,4603 \text{ TL}$ olacaktır. Elektriğin ise kWh'i 21,659 (TEDAŞ mesken tek zamanlı tarife fiyatı [18]) kuruştan günlük maliyeti $2 \times 3,2297 \times 0,21659 = 1,3990 \text{ TL}$ olacaktır.

Merkez bankası gecelik borç verme faizi %9 ile hesaplanırsa, 1826 gün boyunca çıkacak bu maliyetin günümüz değeri 8614,09 TL olacaktır. Bu maliyetin sadece içten yanmalı motorla tahrikte çıkan $2 \times 6052,09 = 12104,18 \text{ TL}$ 'den farkı 3490,09 TL olmaktadır. Bu değer, günlük bu kadar mesafe İstanbul çevrimine benzer şartlarda kullanımı olan kullanıcılar için sadece maliyet göz önüne alındığında hibrit elektrikli taşıta dönüşüm için ödenecek en yüksek değerdir. Dönüşümün maliyeti 3490,09 TL'den az olduğu durumda dönüşüm yapılmalı, aksi halde bu tip kullanıcılar taşıtlarını mevcut haliyle kullanmaya devam etmelidirler.

Kabul edilebilecek en yüksek dönüşüm maliyetinin, aynı Avrupa şehir içi çevriminde olduğu gibi, Koşu 14'ün iki katına yaklaşması, bataryanın ağırlık artışının fizibiliteyi bu mesafede fazla olumsuz etkilemediğini göstermektedir. Bu sonuçtan anlaşıldığı kadarıyla, günlük kat edilen mesafe arttıkça fizibilite açısından durum daha iyiye gitmeye devam etmektedir. Yine de bataryanın ağırlığının azaltılması bu mesafeden itibaren taşıtın günlük işletim maliyetinde azalma sağlayabilecektir. Bu yüzden diğer şartlar sabit kalmak üzere, bundan sonraki koşuların bataryanın daha maliyetli ancak daha verimli ve hafif Lityum-İyon batarya ile yapılması gerekli görülmüştür.

Yine günlük aynı mesafede yol kat edildiği zaman, 5 yıl sonunda tüketilen yakıttan dolayı yaklaşık 5082,45 ton, tüketilen elektrik enerjisinden dolayı da yaklaşık 7513,51 ton CO₂; 1,02 ton NO_x; 3,72 ton CO ve 0,29 ton HC doğaya salınacaktır.

6.17 Koşu 17

Rejeneratif frenli hibrit elektrikli taşıt modelinin Ni-Mh bataryalar kullanılarak 2 kez İstanbul çevrimi ile simülasyonudur.

6.17.1 Koşu şartları

Çevrim: İstanbul

Batarya tipi: Ni-Mh

Batarya büyüklüğü: 3,744 kWh; 79,9336 kg

Elektrikli tahrikten içten yanmalı motorla tahriğe geçiş hızı: 35 km/h (2. vitesten 3. vites geçiş hızı)

Rejeneratif frenleme: Var

Kullanım menzili: 17219,34 m

6.17.2 Sonuçlar

Mesafe: 17102,04 m

Toplam yakıt tüketimi: 0,4278 kg

Toplam elektrik tüketimi: 3,1987 kWh

Boşta çalışma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0000 kg

Hızlanma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,3063 kg

Sabit hızla seyir sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0927 kg

Yavaşlama sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0288 kg

Ortalama yakıt tüketimi: 3,47 l/100km

Ortalama CO₂ emisyonu: 81,33 g/km

Ortalama NO_x emisyonu: 0,0169 g/km

Ortalama CO emisyonu: 0,0595 g/km

Ortalama HC emisyonu: 0,0047 g/km

6.17.3 Maliyet ve çevre analizi

Sonuçlara bakıldığında, sürücü hatasından kaynaklanan 117,30 m'lik eksik katedilmiş bir mesafe gözlenmektedir. Yaklaşık %0,7'lik bu hata ihmal edilebilecek seviyededir.

Ortalama 3,47 l/100km'lik yakıt tüketimi ve 81,33 g/km'lik CO₂ emisyonu aynı seyir çevrimi ve mesafesinde sadece içten yanmalı motorla tahriğe göre yaklaşık %46'lık bir tüketim ve emisyon azalması anlamına gelmeyken, rejeneratif freni olmayan hibrit elektrikli taşıt modeliyle hemen hemen aynı tüketim ve emisyon değerlerini sağlamıştır. 1. İklim Değişikliği Ulusal Bildirimi'nde [17] yayımlanan elektrik üretiminden kaynaklanan CO₂ ve elektrik enerjisi tüketim istatistiklerine göre 637 g/kWh'lik tüketilen birim elektrik enerjisi başına CO₂ değeri ile hesaplandığında ise $637 \times 3,1987 / 17,10204 = 119,14$ g/km'lik elektrikle tahrikten kaynaklanan CO₂ emisyonu söz konusu olmaktadır. Diğer emisyonlar ise rejeneratif freni olmayan hibrit elektrikli taşıt modeline göre fazla değişmemişlerdir.

Tüketilen yakıtın, bu sürüşün günde iki defa tekrarlanmasıyla, taşıtın varsayılan 5 yıllık kullanım ömrü boyunca yaratacağı maliyetin, gecelik merkez bankası borç verme faizi ile günümüz değeri şu şekilde hesaplanabilir:

Günde $3,47 \text{ l/100km} \times 2 \times 17,10204 \text{ km} / 100 = 1,1869$ l benzin harcanmış olur.

Benzinin litresi 3,75 TL'den (BP İstanbul Sarıyer ilçesi 95 oktan benzin fiyatı) [16] günlük maliyeti $3,75 \times 1,1869 = 4,4509$ TL olacaktır. Elektriğin ise kWh'i 21,659 (TEDAŞ mesken tek zamanlı tarife fiyatı [18]) kuruştan günlük maliyeti $2 \times 3,1987 \times 0,21659 = 1,3856$ TL olacaktır.

Merkez bankası gecelik borç verme faizi %9 ile hesaplanırsa, 1826 gün boyunca çıkacak bu maliyetin günümüz değeri 8580,20 TL olacaktır. Bu maliyetin sadece içten yanmalı motorla tahrikte çıkan $2 \times 6052,09 = 12104,18$ TL'den farkı 3523,98 TL olmaktadır. Bu değer, günlük bu kadar mesafe İstanbul çevrimine benzer şartlarda kullanımı olan kullanıcılar için sadece maliyet göz önüne alındığında hibrit elektrikli taşıta dönüşüm için ödenecek en yüksek değerdir. Dönüşümün maliyeti 3523,98 TL'den az olduğu durumda dönüşüm yapılmalı, aksi halde bu tip kullanıcılar taşıtlarını mevcut haliyle kullanmaya devam etmelidirler. Önceki koşudaki hibrit dönüşüm maliyetiyle karşılaştırıldığında, rejeneratif frenler için katlanılabilecek en yüksek maliyet ise 33,89 TL çıkmaktadır. Mesafe artmasına rağmen rejeneratif frenler aynı sebeplerden dolayı önemsiz kalmaya devam etmiştir.

Yine günlük aynı mesafede yol kat edildiği zaman, 5 yıl sonunda tüketilen yakıttan dolayı yaklaşık 5079,60 ton, tüketilen elektrik enerjisinden dolayı da yaklaşık 7441,09 ton CO₂; 1,06 ton NO_x; 3,72 ton CO ve 0,29 ton HC doğaya salınacaktır.

6.18 Koşu 18

Rejeneratif freni olmayan hibrit elektrikli taşıt modelinin Li-İyon bataryalarla 2 kez İstanbul çevrimi ile simülasyonudur.

6.18.1 Koşu şartları

Çevrim: İstanbul

Batarya tipi: Li-İyon

Batarya büyüklüğü: 5,616 kWh; 47,9002 kg

Elektrikli tahrikten içten yanmalı motorla tahriğe geçiş hızı: 35 km/h (2. vitesten 3. vites geçiş hızı)

Rejeneratif frenleme: Yok

Kullanım menzili: 17219,34 m

6.18.2 Sonuçlar

Mesafe: 17114,80 m

Toplam yakıt tüketimi: 0,4166 kg

Toplam elektrik tüketimi: 2,7640 kWh

Boşta çalışma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0000 kg

Hızlanma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,2974 kg

Sabit hızla seyir sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0907 kg

Yavaşlama sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0285 kg

Ortalama yakıt tüketimi: 3,41 l/100km

Ortalama CO₂ emisyonu: 79,91 g/km

Ortalama NO_x emisyonu: 0,0164 g/km

Ortalama CO emisyonu: 0,0616 g/km

Ortalama HC emisyonu: 0,0047 g/km

6.18.3 Maliyet ve çevre analizi

Sonuçlara bakıldığında, sürücü hatasından kaynaklanan 104,54 m'lik eksik katedilmiş bir mesafe gözlenmektedir. Yaklaşık %0,6'lık bu hata ihmal edilebilecek seviyededir. Ortalama 3,41 l/100km'lik yakıt tüketimi ve 79,91 g/km'lik CO₂ emisyonu aynı seyir çevriminde ve aynı uzunlukta mesafede Ni-Mh bataryayla yapılan koşuya göre yaklaşık %2'lik bir tüketim ve emisyon azalması anlamına gelmektedir. Bunun nedeni, Li-İyon batarya %30 daha verimli olduğundan dolayı daha az şarj miktarının yeterli olması ve Lityum-İyon bataryanın %60 daha hafif bir yapıda olduğundan daha hafif bir batarya paketinin kullanılmış olmasıdır. 1. İklim Değişikliği Ulusal Bildirimi'nde [17] yayımlanan elektrik üretiminden kaynaklanan CO₂ ve elektrik enerjisi tüketim istatistiklerine göre 637 g/kWh'lik tüketilen birim elektrik enerjisi başına CO₂ değeri ile hesaplandığında ise $637 \times 2,7640 / 17,11480 = 102,87$ g/km'lik elektrikle tahrikten kaynaklanan CO₂ emisyonu söz konusu olmaktadır. Diğer emisyonlar ise Ni-Mh bataryalı model ile hemen hemen aynı seviyede gerçekleşmiştir.

Tüketilen yakıtın, bu sürüşün günde iki defa tekrarlanmasıyla, taşıtın varsayılan 5 yıllık kullanım ömrü boyunca yaratacağı maliyetin, gecelik merkez bankası borç verme faizi ile günümüz değeri şu şekilde hesaplanabilir:

Günde $3,41 \text{ l/100km} \times 2 \times 17,11480 \text{ km} / 100 = 1,1672$ l benzin harcanmış olur.

Benzinin litresi 3,75 TL'den (BP İstanbul Sarıyer ilçesi 95 oktan benzin fiyatı) [16] günlük maliyeti $3,75 \times 1,1672 = 4,3770$ TL olacaktır. Elektriğin ise kWh'i 21,659 (TEDAŞ mesken tek zamanlı tarife fiyatı [18]) kuruştan günlük maliyeti $2 \times 2,7640 \times 0,21659 = 1,1973$ TL olacaktır.

Merkez bankası gecelik borç verme faizi %9 ile hesaplanırsa, 1826 gün boyunca çıkacak bu maliyetin günümüz değeri 8195,05 TL olacaktır. Bu maliyetin sadece içten yanmalı motorla tahrikte çıkan $2 \times 6052,09 = 12104,18$ TL'den farkı 3909,13 TL olmaktadır. Bu değer, günlük bu kadar mesafe İstanbul çevrimine benzer şartlarda kullanımı olan kullanıcılar için sadece maliyet göz önüne alındığında hibrit elektrikli taşıta dönüşüm için ödenecek en yüksek değerdir.

Dönüşümün maliyeti 3909,13 TL'den az olduğu durumda dönüşüm yapılmalı, aksi halde bu tip kullanıcılar taşıtlarını mevcut haliyle kullanmaya devam etmelidirler. Koşu 16'daki Ni-Mh bataryalar kullanılarak hibrit dönüşüm maliyetiyle karşılaştırıldığında, Li-İyon batarya farkı için katlanılabilecek en yüksek maliyet ise 419,04 TL çıkmaktadır.

Yine günlük aynı mesafede yol kat edildiği zaman, 5 yıl sonunda tüketilen yakıttan dolayı yaklaşık 4994,64 ton, tüketilen elektrik enerjisinden dolayı da yaklaşık 6429,71 ton CO₂; 1,02 ton NO_x; 3,83 ton CO ve 0,29 ton HC doğaya salınacaktır.

6.19 Koşu 19

Rejeneratif frenli hibrit elektrikli taşıt modelinin Li-İyon bataryalarla 2 kez İstanbul çevrimi ile simülasyonudur.

6.19.1 Koşu şartları

Çevrim: İstanbul

Batarya tipi: Li-İyon

Batarya büyüklüğü: 3,744 kWh; 31,9334 kg

Elektrikli tahrikten içten yanmalı motorla tahriğe geçiş hızı: 35 km/h (2. vitesten 3. vites geçiş hızı)

Rejeneratif frenleme: Var

Kullanım menzili: 17219,34 m

6.19.2 Sonuçlar

Mesafe: 17025,98 m

Toplam yakıt tüketimi: 0,4205 kg

Toplam elektrik tüketimi: 2,7701 kWh

Boşta çalışma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0000 kg

Hızlanma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,2993 kg

Sabit hızla seyir sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0913 kg

Yavaşlama sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0299 kg

Ortalama yakıt tüketimi: 3,40 l/100km

Ortalama CO₂ emisyonu: 79,59 g/km

Ortalama NO_x emisyonu: 0,0169 g/km

Ortalama CO emisyonu: 0,0578 g/km

Ortalama HC emisyonu: 0,0047 g/km

6.19.3 Maliyet ve çevre analizi

Sonuçlara bakıldığında, sürücü hatasından kaynaklanan 193,36 m'lik fazladan katedilmiş bir mesafe gözlenmektedir. Yaklaşık %1,1'lik bu hata ihmal edilmeyecek seviyede olsa da sonuçların sağlığını çok fazla etkilemeyecek seviyededir. Ortalama 3,40 l/100km'lik yakıt tüketimi ve 79,59 g/km'lik CO₂ emisyonu aynı seyir çevriminde ve aynı uzunluktaki mesafede rejeneratif frenlemenin eksik olduğu Koşu 18'le hemen hemen aynı tüketim ve emisyon değerleri, Li-İyon batarya yerine Ni-Mh bataryanın kullanıldığı Koşu 17'ye göre ise %2'lik bir tüketim ve emisyon azalması anlamına gelmektedir. Burada, rejeneratif frenleme ile Li-İyon batarya kullanımının avantajları birleştirilmeye çalışılmıştır. Bu karşılaştırmadan da anlaşıldığı üzere, Li-İyon batarya avantaj getirirken rejeneratif frenleme bu alanda bir avantaj getirmemiştir.

1. İklim Değişikliği Ulusal Bildirimi'nde [17] yayımlanan elektrik üretiminden kaynaklanan CO₂ ve elektrik enerjisi tüketim istatistiklerine göre 637 g/kWh'lik tüketilen birim elektrik enerjisi başına CO₂ değeri ile hesaplandığında ise $637 \times 2,7701 / 17,02598 = 103,64$ g/km'lik elektrikle tahrikten kaynaklanan CO₂ emisyonu söz konusu olmaktadır. Diğer emisyonlar da hem Koşu 18'le hem de Koşu 17'yle hemen hemen aynı seviyelerde gerçekleşmiştir. Bu durum İstanbul çevriminde batarya tipinin ve rejeneratif frenlemenin emisyonları fazla etkilemediğini göstermektedir.

Tüketilen yakıtın, bu sürüşün günde iki defa tekrarlanmasıyla, taşıtın varsayılan 5 yıllık kullanım ömrü boyunca yaratacağı maliyetin, gecelik merkez bankası borç verme faizi ile günümüz değeri şu şekilde hesaplanabilir:

Günde $3,40 \text{ l/100km} \times 2 \times 17,02598 \text{ km} / 100 = 1,1578$ l benzin harcanmış olur.

Benzinin litresi 3,75 TL'den (BP İstanbul Sarıyer ilçesi 95 oktan benzin fiyatı) [16] günlük maliyeti $3,75 \times 1,1578 = 4,3418$ TL olacaktır. Elektriğin ise kWh'i 21,659 (TEDAŞ mesken tek zamanlı tarife fiyatı [18]) kuruştan günlük maliyeti $2 \times 2,7701 \times 0,21659 = 1,2000$ TL olacaktır.

Merkez bankası gecelik borç verme faizi %9 ile hesaplanırsa, 1826 gün boyunca çıkacak bu maliyetin günümüz değeri 8146,76 TL olacaktır. Bu maliyetin sadece içten yanmalı motorla tahrikte çıkan $2 \times 6052,09 = 12104,18$ TL'den farkı 3957,42 TL olmaktadır. Bu değer, günlük bu kadar mesafe İstanbul çevrimine benzer şartlarda kullanımı olan kullanıcılar için sadece maliyet göz önüne alındığında hibrit elektrikli taşıta dönüşüm için ödenecek en yüksek değerdir. Dönüşümün maliyeti 3957,42 TL'den az olduğu durumda dönüşüm yapılmalı, aksi halde bu tip kullanıcılar taşıtlarını mevcut haliyle kullanmaya devam etmelidirler. Koşu 16'daki Ni-Mh bataryalar kullanılarak hibrit dönüşüm maliyetiyle karşılaştırıldığında, Li-İyon batarya ve rejeneratif frenlerin beraber farkı için katlanılabilecek en yüksek maliyet ise 1017,02 TL çıkmaktadır. Koşu 17'deki Ni-Mh bataryalar ve rejeneratif frenler kullanılarak hibrit dönüşüm maliyetiyle karşılaştırıldığında, Li-İyon batarya farkı için katlanılabilecek en yüksek maliyet ise 433,43 TL çıkmaktadır. Koşu 18'deki Li-İyon bataryalar kullanılarak hibrit dönüşüm maliyetiyle karşılaştırıldığında, rejeneratif fren farkı için katlanılabilecek en yüksek maliyet ise 48,29 TL çıkmaktadır.

Yine günlük aynı mesafede yol kat edildiği zaman, 5 yıl sonunda tüketilen yakıttan dolayı yaklaşık 4948,82 ton, tüketilen elektrik enerjisinden dolayı da yaklaşık 6444,22 ton CO₂; 1,06 ton NO_x; 3,61 ton CO ve 0,29 ton HC doğaya salınacaktır.

6.20 Koşu 20

Rejeneratif freni olmayan hibrit elektrikli taşıt modelinin Li-İyon bataryalarla 4 kez İstanbul çevrimi ile simülasyonudur.

6.20.1 Koşu şartları

Çevrim: İstanbul

Batarya tipi: Li-İyon

Batarya büyüklüğü: 9,360 kWh; 79,8336 kg

Elektrikli tahrikten içten yanmalı motorla tahriğe geçiş hızı: 35 km/h (2. vitesten 3. vites geçiş hızı)

Rejeneratif frenleme: Yok

Kullanım menzili: 34438,68 m

6.20.2 Sonuçlar

Mesafe: 34211,39 m

Toplam yakıt tüketimi: 0,8352 kg

Toplam elektrik tüketimi: 5,6791 kWh

Boşta çalışma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0000 kg

Hızlanma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,6001 kg

Sabit hızla seyir sırasındaki yakıt tüketimi: 0,1825 kg

Yavaşlama sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0575 kg

Ortalama yakıt tüketimi: 3,44 l/100km

Ortalama CO₂ emisyonu: 80,63 g/km

Ortalama NO_x emisyonu: 0,0109 g/km

Ortalama CO emisyonu: 0,0361 g/km

Ortalama HC emisyonu: 0,0029 g/km

6.20.3 Maliyet ve çevre analizi

Sonuçlara bakıldığında, sürücü hatasından kaynaklanan 227,29 m'lik fazladan katedilmiş bir mesafe gözlenmektedir. Yaklaşık %0,7'lik bu hata ihmal edilebilecek seviyededir. Ortalama 3,44 l/100km'lik yakıt tüketimi ve 80,63 g/km'lik CO₂ emisyonu Koşu 18'e göre %1'den küçük bir artışı işaret ederken, Li-İyon batarya ile yapılan dönüşümde bu mesafede sonuçlar arasında fazla bir fark olmadığını göstermektedir.

1. İklim Değişikliği Ulusal Bildirimi'nde [17] yayımlanan elektrik üretiminden kaynaklanan CO₂ ve elektrik enerjisi tüketim istatistiklerine göre 637 g/kWh'lik tüketilen birim elektrik enerjisi başına CO₂ değeri ile hesaplandığında ise $637 \times 5,6791 / 34,21139 = 105,74$ g/km'lik elektrikle tahrikten kaynaklanan CO₂ emisyonu söz konusu olmaktadır. Diğer emisyonlar ise artan mesafeyle beraber ısınan katalitik dönüştürücü sayesinde önemli oranda düşmüşlerdir.

Tüketilen yakıtın, bu sürüşün günde iki defa tekrarlanmasıyla, taşıtın varsayılan 5 yıllık kullanım ömrü boyunca yaratacağı maliyetin, gecelik merkez bankası borç verme faizi ile günümüz değeri şu şekilde hesaplanabilir:

Günde $3,44 \text{ l}/100\text{km} \times 2 \times 34,21139 \text{ km} / 100 = 2,3537 \text{ l}$ benzin harcanmış olur.

Benzinin litresi 3,75 TL'den (BP İstanbul Sarıyer ilçesi 95 oktan benzin fiyatı) [16] günlük maliyeti $3,75 \times 2,3537 = 8,8264$ TL olacaktır. Elektriğin ise kWh'i 21,659 (TEDAŞ mesken tek zamanlı tarife fiyatı [18]) kuruştan günlük maliyeti $2 \times 5,6791 \times 0,21659 = 2,4601$ TL olacaktır.

Merkez bankası gecelik borç verme faizi %9 ile hesaplanırsa, 1826 gün boyunca çıkacak bu maliyetin günümüz değeri 16592,59 TL olacaktır. Bu maliyetin sadece içten yanmalı motorla tahrikte çıkan $4 \times 6052,09 = 24208,36$ TL'den farkı 7615,77 TL olmaktadır. Bu değer, günlük bu kadar mesafe İstanbul çevrimine benzer şartlarda kullanımı olan kullanıcılar için sadece maliyet göz önüne alındığında hibrit elektrikli taşıta dönüşüm için ödenecek en yüksek değerdir. Dönüşümün maliyeti 7615,77 TL'den az olduğu durumda dönüşüm yapılmalı, aksi halde bu tip kullanıcılar taşıtlarını mevcut haliyle kullanmaya devam etmelidirler.

Kabul edilebilecek en yüksek dönüşüm maliyetinin, Koşu 18'in da iki katına yakın olması günlük katedilen mesafe arttıkça bataryanın ağırlık artışı yüzünden hem yakıt hem de elektrik tüketimi artsa da, fizibilite açısından daha da iyi hale geldiğini göstermektedir.

Yine günlük aynı mesafede yol kat edildiği zaman, 5 yıl sonunda tüketilen yakıttan dolayı yaklaşık 10073,91 ton, tüketilen elektrik enerjisinden dolayı da yaklaşık 13211,16 ton CO₂; 1,35 ton NO_x; 4,49 ton CO ve 0,36 ton HC doğaya salınacaktır. Koşu 18'e göre iki katı mesafe kat ediliyor olmasına rağmen, toplam emisyonların iki kattan önemli lde daha düşük çıkmasının nedeni katalitik dönüştürücünün bu mesafede artık tam olarak ısınmış olmasıdır. Bu durum da katalitik dönüştürücünün veriminin emisyonlar açısından ne kadar önemli olduğunu bir kez daha göstermektedir.

6.21 Koşu 21

Rejeneratif frenli hibrit elektrikli taşıt modelinin Li-İyon bataryalarla 4 kez İstanbul evrimi ile simülasyonudur.

6.21.1 Koşu şartları

evrim: İstanbul

Batarya tipi: Li-İyon

Batarya büyüklüğü: 7,488 kWh; 63,8670 kg

Elektrikli tahrikten içten yanmalı motorla tahriğe geçiş hızı: 35 km/h (2. vitesten 3. vitese geçiş hızı)

Rejeneratif frenleme: Var

Kullanım menzili: 34438,68 m

6.21.2 Sonuçlar

Mesafe: 34028,52 m

Toplam yakıt tüketimi: 0,8481 kg

Toplam elektrik tüketimi: 5,6896 kWh

Boşta alışma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0000 kg

Hızlanma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,6036 kg

Sabit hızla seyir sırasındaki yakıt tüketimi: 0,1861 kg

Yavaşlama sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0584 kg

Ortalama yakıt tüketimi: 3,43 l/100km

Ortalama CO₂ emisyonu: 80,40 g/km

Ortalama NO_x emisyonu: 0,0108 g/km

Ortalama CO emisyonu: 0,0368 g/km

Ortalama HC emisyonu: 0,0029 g/km

6.21.3 Maliyet ve çevre analizi

Sonuçlara bakıldığında, sürücü hatasından kaynaklanan 410,16 m'lik fazladan katedilmiş bir mesafe gözlenmektedir. Yaklaşık %1,2'lik bu hata ihmal edilmeyecek seviyede olmasa da sonuçların sağlığını çok fazla etkilemeyecek seviyededir. Ortalama 3,43 l/100km'lik yakıt tüketimi ve 80,40 g/km'lik CO₂ emisyonu aynı seyir çevriminde ve aynı uzunluktaki mesafede rejeneratif frenlemenin eksik olduğu Koşu 20'ye göre küçük bir tüketim ve emisyon düşüşü anlamına gelmektedir. Yine de buradan da anlaşıldığı üzere, İstanbul çevriminde, artan mesafeyle birlikte rejeneratif frenlemenin getirdiği yakıt tüketimi ve CO₂ emisyonu avantajı artmamaktadır. 1. İklim Değişikliği Ulusal Bildirimi'nde [17] yayımlanan elektrik üretiminden kaynaklanan CO₂ ve elektrik enerjisi tüketim istatistiklerine göre 637 g/kWh'lik tüketilen birim elektrik enerjisi başına CO₂ değeri ile hesaplandığında ise $637 \times 5,6896 / 34,02852 = 106,51$ g/km'lik elektrikle tahrikten kaynaklanan CO₂ emisyonu söz konusu olmaktadır. Diğer emisyonlar ise hemen hemen Koşu 20 ile aynı kalmıştır.

Tüketilen yakıtın, bu sürüşün günde iki defa tekrarlanmasıyla, taşıtın varsayılan 5 yıllık kullanım ömrü boyunca yaratacağı maliyetin, gecelik merkez bankası borç verme faizi ile günümüz değeri şu şekilde hesaplanabilir:

Günde $3,43 \text{ l/100km} \times 2 \times 34,02852 \text{ km} / 100 = 2,3344$ l benzin harcanmış olur.

Benzinin litresi 3,75 TL'den (BP İstanbul Sarıyer ilçesi 95 oktan benzin fiyatı) [16] günlük maliyeti $3,75 \times 2,3344 = 8,7540$ TL olacaktır. Elektriğin ise kWh'i 21,659 (TEDAŞ mesken tek zamanlı tarife fiyatı [18]) kuruştan günlük maliyeti $2 \times 5,6896 \times 0,21659 = 2,4646$ TL olacaktır.

Merkez bankası gecelik borç verme faizi %9 ile hesaplanırsa, 1826 gün boyunca çıkacak bu maliyetin günümüz değeri 16492,38 TL olacaktır. Bu maliyetin sadece içten yanmalı motorla tahrikte çıkan $4 \times 6052,09 = 24208,36$ TL'den farkı 7715,98 TL olmaktadır. Bu değer, günlük bu kadar mesafe İstanbul çevrimine benzer şartlarda kullanımı olan kullanıcılar için sadece maliyet göz önüne alındığında hibrit elektrikli taşıta dönüşüm için ödenecek en yüksek değerdir. Dönüşümün maliyeti 7715,98 TL'den az olduğu durumda dönüşüm yapılmalı, aksi halde bu tip kullanıcılar taşıtlarını mevcut haliyle kullanmaya devam etmelidirler.

Kabul edilebilecek en yüksek dönüşüm maliyetinin, Koşu 19'un da iki katına yakın olması günlük katedilen mesafe arttıkça bataryanın ağırlık artışı yüzünden hem yakıt hem de elektrik tüketimi artsa da, fizibilite açısından daha da iyi hale geldiğini göstermektedir. Ancak bu mesafeden daha uzun bir şehir içi kullanım pek mümkün olmayacağından ve AVL CRUISE daha uzun mesafeli koşular için çok yüksek sistem belleği gerektirdiğinden daha uzun mesafeli koşular yapılmayacaktır. Koşu 20'deki rejeneratif fren kullanılmayan hibrit dönüşüm maliyetiyle karşılaştırıldığında ise, rejeneratif fren farkı için katlanılabilecek en yüksek maliyet ise 100,21 TL çıkmaktadır.

Yine günlük aynı mesafede yol kat edildiği zaman, 5 yıl sonunda tüketilen yakıttan dolayı yaklaşık 9991,48 ton, tüketilen elektrik enerjisinden dolayı da yaklaşık 13236,23 ton CO₂; 1,35 ton NO_x; 4,60 ton CO ve 0,36 ton HC doğaya salınacaktır. Bu durum, bu mesafede ve İstanbul çevriminde rejeneratif frenin emisyonlar üzerinde fazla etkisinin olmadığını göstermektedir.

6.22 Koşu 22

Hibrit elektrikli taşıta dönüşmeden önceki geleneksel taşıt modelinin FTP75 çevrimi ile simülasyonudur.

6.22.1 Koşu şartları

Çevrim: FTP75

Batarya tipi: Batarya mevcut değil

Batarya büyüklüğü: Batarya mevcut değil

Elektrikli tahrikten içten yanmalı motorla tahriğe geçiş hızı: 0 km/h

Rejeneratif frenleme: Yok

Kullanım menzili: 17767 m

6.22.2 Sonuçlar

Mesafe: 17737,51 m

Toplam yakıt tüketimi: 0,8202 kg

Boşta çalışma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0369 kg

Hızlanma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,4903 kg

Sabit hızla seyir sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0996 kg

Yavaşlama sırasındaki yakıt tüketimi: 0,1934 kg

Ortalama yakıt tüketimi: 6,42 l/100km

Ortalama CO₂ emisyonu: 150,41 g/km

Ortalama NO_x emisyonu: 0,0192 g/km

Ortalama CO emisyonu: 0,0671 g/km

Ortalama HC emisyonu: 0,0259 g/km

6.22.3 Maliyet ve çevre analizi

Sonuçlara bakıldığında, sürücü hatasından kaynaklanan 29,49 m'lik eksik katedilmiş bir mesafe gözlenmektedir. Yaklaşık %0,2'lik bu hata ihmal edilebilir seviyededir. Ortalama 6,42 l/100km'lik yakıt tüketimi ve 150,41 g/km'lik CO₂ emisyonu İstanbul çevriminden sadece yaklaşık %0,3 daha yüksek değerlerdir. Çevrimler ve yakıt tüketiminin dağılımı incelendiğinde de iki çevrim arasında yine önemli benzerlikler görülmektedir.

Bu çevrimin koşullara dahil edilmesinin sebebi İstanbul çevrimi ile olan benzerliğinin ölçülmesidir. NO_x, CO ve HC emisyonları bakımından, FTP75 çevrimi iki kat uzun olduğu için katalitik dönüştürücünün ideal çalışma sıcaklığında çalışma süresi oranının daha yüksek olmasında daha düşük emisyonlar elde edilmiştir. Bu çevrimde yapılacak hibrit elektrikli taşıt modeli simülasyon koşusu, Avrupa ve İstanbul çevriminde en başarılı olan Li-İyon batarya ve rejeneratif frenli modelle yapılacaktır.

Tüketilen yakıtın, bu sürüşün günde iki defa tekrarlanmasıyla, taşıtın varsayılan 5 yıllık kullanım ömrü boyunca yaratacağı maliyetin, gecelik merkez bankası borç verme faizi ile günümüz değeri şu şekilde hesaplanabilir:

Günde $6,42 \text{ l/100km} \times 2 \times 17,73751 \text{ km} / 100 = 2,2775 \text{ l}$ benzin harcanmış olur.

Litresi 3,75 TL'den (BP İstanbul Sarıyer ilçesi 95 oktan benzin fiyatı) [16] günlük maliyet $3,75 \times 2,2775 = 8,5406 \text{ TL}$ olacaktır.

Merkez bankası gecelik borç verme faizi %9 ile hesaplanırsa, 1826 gün boyunca çıkacak bu maliyetin günümüz değeri 12555,65 TL olacaktır. Yine günlük aynı mesafede yol kat edildiği zaman, 5 yıl sonunda yaklaşık 9743,17 ton CO₂; 1,24 ton NO_x; 4,35 ton CO ve 1,68 ton HC doğaya salınacaktır.

6.23 Koşu 23

Rejeneratif frenli hibrit elektrikli taşıt modelinin Li-İyon bataryalarla FTP75 çevrimi ile simülasyonudur.

6.23.1 Koşu şartları

Çevrim: FTP75

Batarya tipi: Li-İyon

Batarya büyüklüğü: 5,616 kWh; 47,9002 kg

Elektrikli tahrikten içten yanmalı motorla tahriğe geçiş hızı: 35 km/h (2. vitesten 3. vitese geçiş hızı)

Rejeneratif frenleme: Var

Kullanım menzili: 17767 m

6.23.2 Sonuçlar

Mesafe: 17520,94 m

Toplam yakıt tüketimi: 0,4852 kg

Toplam elektrik tüketimi: 4,2738 kWh

Boşta çalışma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0000 kg

Hızlanma sırasındaki yakıt tüketimi: 0,3092 kg

Sabit hızla seyir sırasındaki yakıt tüketimi: 0,910 kg

Yavaşlama sırasındaki yakıt tüketimi: 0,0850 kg

Ortalama yakıt tüketimi: 3,85 l/100km

Ortalama CO₂ emisyonu: 90,08 g/km

Ortalama NO_x emisyonu: 0,0268 g/km

Ortalama CO emisyonu: 0,0793 g/km

Ortalama HC emisyonu: 0,0080 g/km

6.23.3 Maliyet ve çevre analizi

Sonuçlara bakıldığında, sürücü hatasından kaynaklanan 246,06 m'lik eksik katedilmiş bir mesafe gözlenmektedir. Yaklaşık %1,4'lük bu hata ihmal edilmeyecek seviyede olmasa da sonuçların sağlığını çok fazla etkilemeyecek seviyededir. Ortalama 3,85 l/100km'lik yakıt tüketimi ve 90,08 g/km'lik CO₂ emisyonu aynı seyir çevriminde sadece içten yanmalı motorla tahriğe göre yaklaşık %40'lık bir tüketim ve emisyon azalması anlamına gelmektedir. 1. İklim Değişikliği Ulusal Bildirimi'nde [17] yayımlanan elektrik üretiminden kaynaklanan CO₂ ve elektrik enerjisi tüketim istatistiklerine göre 637 g/kWh'lik tüketilen birim elektrik enerjisi başına CO₂ değeri ile hesaplandığında ise $637 \times 4,2738 / 17,52094 = 155,38$ g/km'lik elektrikle tahrikten kaynaklanan CO₂ emisyonu söz konusu olmaktadır. Diğer emisyonlardan HC emisyonu önemli ölçüde düşmesine rağmen, koşu sırasında içten yanmalı motorun sıklıkla durdurulması sonucunda katalitik dönüştürücünün yeterli sıcaklığa geç ulaşmasından dolayı NO_x ve CO emisyonları yine yüksek kalmışlardır.

Geleneksel taşıt modelinin sonuçlarının İstanbul çevrimi sonuçlarına olan benzerliğine rağmen hibrit elektrikli taşıt modelinde, Koşu 19'daki yaklaşık aynı mesafede İstanbul çevrimi koşusu ile karşılaştırıldığında %13 daha yüksek yakıt tüketimi ve CO₂ emisyonlarına rastlanmıştır. Diğer emisyonlar da Koşu 19'a göre önemli ölçüde yüksek kalmıştır. Bu durum FTP75 çevriminin önerilen hibrit elektrikli taşıt modeline, İstanbul çevrimine oranla daha uygunsuz olduğunu göstermektedir.

Tüketilen yakıtın, bu sürüşün günde iki defa tekrarlanmasıyla, taşıtın varsayılan 5 yıllık kullanım ömrü boyunca yaratacağı maliyetin, gecelik merkez bankası borç verme faizi ile günümüz değeri şu şekilde hesaplanabilir:

Günde $3,85 \text{ l/100km} \times 2 \times 17,52094 \text{ km} / 100 = 1,3491 \text{ l}$ benzin harcanmış olur.

Benzinin litresi 3,75 TL'den (BP İstanbul Sarıyer ilçesi 95 oktan benzin fiyatı) [16] günlük maliyeti $3,75 \times 1,3491 = 5,0591 \text{ TL}$ olacaktır. Elektriğin ise kWh'i 21,659 (TEDAŞ mesken tek zamanlı tarife fiyatı [18]) kuruştan günlük maliyeti $2 \times 4,2738 \times 0,21659 = 1,8513 \text{ TL}$ olacaktır.

Merkez bankası gecelik borç verme faizi %9 ile hesaplanırsa, 1826 gün boyunca çıkacak bu maliyetin günümüz değeri 10159,21 TL olacaktır. Bu maliyetin sadece içten yanmalı motorla tahrikte çıkan 12555,65 TL'den farkı 2396,44 TL olmaktadır. Bu değer, günlük bu kadar mesafe FTP75 çevrimine benzer şartlarda kullanımı olan kullanıcılar için sadece maliyet göz önüne alındığında hibrit elektrikli taşıta dönüşüm için ödenecek en yüksek değerdir. Dönüşümün maliyeti 2396,44 TL'den az olduğu durumda dönüşüm yapılmalı, aksi halde bu tip kullanıcılar taşıtlarını mevcut haliyle kullanmaya devam etmelidirler.

Katlanılabilecek en yüksek dönüşüm maliyetinin İstanbul çevrimindeki benzer mesafeli koşullardan daha düşük çıkmasının nedeni, çevrimin İstanbul çevrimine olan benzerliğine rağmen, içten yanmalı motoru İstanbul çevrimine göre daha verimli kullanan bir çevrim olmasıdır. Bu sonuçtan anlaşıldığı kadarıyla seyir çevrimleri arasında benzerlikler olsa da, belirli bir modelin ekonomik olarak yapılabilir olması konusunda aralarında önemli farklılıklar bulunabilmektedir.

Yine günlük aynı mesafede yol kat edildiği zaman, 5 yıl sonunda tüketilen yakıttan dolayı yaklaşık 5763,90 ton, tüketilen elektrik enerjisinden dolayı da yaklaşık 9942,22 ton CO₂; 1,71 ton NO_x; 5,07 ton CO ve 0,51 ton HC doğaya salınacaktır.

6.24 Koşuların özet sunumu

Koşularla ilgili sonuçların ve analizlerin bir arada toplu ve özet olarak bulunması için aşağıda yer alan Çizelge 6.1'in eklenmesi gerekli görülmüştür.

Çizelge 6.1: Simülasyon koşularının özet sunumu

Koşu	Çevrim	Mesafe [m]	Tahriğin değiştği hız [km/h]	Batarya tipi	Rejen. fren	Ortalama Tüketimler		Ortalama Emisyonlar [g/km]					Katlanılabilecek en yüksek dönüşüm maliyeti [TL]
						Ort. yakıt tüketimi [l/100km]	Ort. elektrik tüketimi [kWh /100km]	Yakıt tüketimi kaynaklı CO ₂	Elektrik tüketimi kaynaklı CO ₂	NO _x	CO	HC	
Koşu 1	Avrupa şehir içi	4064,34	0	-	Yok	7,98	-	186,77	-	0,0615	0,3616	0,1673	-
Koşu 2	İstanbul	8576,42	0	-	Yok	6,40	-	149,95	-	0,0268	0,1154	0,0326	-
Koşu 3	Avrupa şehir içi	4077,96	35	Ni-Mh	Yok	1,78	47,77	41,59	304,30	0,1937	0,4561	0,0539	1535,26
Koşu 4	Avrupa şehir içi	4069,26	35	Ni-Mh	Var	1,76	37,57	41,26	239,35	0,1966	0,4497	0,0541	1812,84
Koşu 5	Avrupa şehir içi 2 x	8158,71	35	Ni-Mh	Yok	1,80	51,43	42,17	327,62	0,0907	0,2047	0,0245	2860,93
Koşu 6	Avrupa şehir içi 2 x	8138,55	35	Ni-Mh	Var	1,76	34,56	41,29	220,14	0,0995	0,2273	0,0270	3781,93
Koşu 7	Avrupa şehir içi 2 x	8140,62	15	Ni-Mh	Yok	3,33	36,14	77,96	230,19	0,0541	0,1646	0,0184	2290,07
Koşu 8	Avrupa şehir içi	8154,86	35	Li-İyon	Yok	1,75	44,41	40,99	282,89	0,1055	0,2551	0,0294	3272,57

Çizelge 6.1: Simülasyon koşularının özet sunumu (Devamı)

Koşu	Çevrim	Mesafe [m]	Tahriğin değiştiiği hız [km/h]	Batarya tipi	Rejen. fren	Ortalama Tüketimler		Ortalama Emisyonlar [g/km]					Katlanılabilecek en yüksek dönüşüm maliyeti [TL]
						Ort. yakıt tüketimi [l/100km]	Ort. elektrik tüketimi [kWh /100km]	Yakıt tüketimi kaynaklı CO ₂	Elektrik tüketimi kaynaklı CO ₂	NO _x	CO	HC	
Koşu 9	2 x Avrupa şehir içi	8135,37	35	Li-İyon	Var	1,73	34,80	40,62	221,66	0,1157	0,2833	0,0324	3797,81
Koşu 10	4 x Avrupa şehir içi	16310,21	35	Li-İyon	Yok	1,77	47,41	41,49	302,00	0,0509	0,1196	0,0141	6197,43
Koşu 11	4 x Avrupa şehir içi	16277,69	35	Li-İyon	Var	1,74	33,92	40,81	216,06	0,0528	0,1235	0,0147	7665,95
Koşu 12	8 x Avrupa şehir içi	32650,29	35	Li-İyon	Yok	1,91	47,88	43,79	304,98	0,0242	0,0545	0,0064	11778,81
Koşu 13	8 x Avrupa şehir içi	32598,60	35	Li-İyon	Var	1,86	32,68	47,64	208,17	0,0255	0,0589	0,0071	15140,21
Koşu 14	İstanbul	8567,00	35	Ni-Mh	Yok	3,42	18,71	80,14	119,16	0,0280	0,1063	0,0082	1801,04
Koşu 15	İstanbul	8557,52	35	Ni-Mh	Var	3,42	18,21	80,15	115,97	0,0292	0,1062	0,0082	1833,01

Çizelge 6.1: Simülasyon koşularının özet sunumu (Devamı)

Koşu	Çevrim	Mesafe [m]	Tahriğin değiştiği hız [km/h]	Batarya tipi	Rejen. fren	Ortalama Tüketimler		Ortalama Emisyonlar [g/km]					Katlanılabilecek en yüksek dönüşüm maliyeti [TL]
						Ort. yakıt tüketimi [l/100km]	Ort. elektrik tüketimi [kWh /100km]	Yakıt tüketimi kaynaklı CO ₂	Elektrik tüketimi kaynaklı CO ₂	NO _x	CO	HC	
Koşu 16	2 x İstanbul	17139,03	35	Ni-Mh	Yok	3,47	18,84	81,20	120,04	0,0164	0,0596	0,0047	3490,09
Koşu 17	2 x İstanbul	17102,04	35	Ni-Mh	Var	3,47	18,70	81,33	119,14	0,0169	0,0595	0,0047	3523,98
Koşu 18	2 x İstanbul	17114,80	35	Li-İyon	Yok	3,41	16,15	79,91	102,87	0,0164	0,0616	0,0047	3909,13
Koşu 19	2 x İstanbul	17025,98	35	Li-İyon	Var	3,40	16,27	79,59	103,64	0,0169	0,0578	0,0047	3957,42
Koşu 20	4 x İstanbul	34211,39	35	Li-İyon	Yok	3,44	16,60	80,63	105,74	0,0109	0,0361	0,0029	7615,77
Koşu 21	4 x İstanbul	34028,52	35	Li-İyon	Var	3,43	16,72	80,40	106,51	0,0108	0,0368	0,0029	7715,98
Koşu 22	FTP75	17737,51	0	-	Yok	6,42	-	150,41	-	0,0192	0,0671	0,0259	-
Koşu 23	FTP75	17520,94	35	Li-İyon	Var	3,85	24,39	90,08	155,38	0,0268	0,0793	0,0080	2396,44

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda dünyadaki pek çok ülke tarafından taşıtların çevreye yaydıkları zararlı maddeler hakkında gittikçe daha sıkı kısıtlamalar içeren yönetmelikler uygulamaya konulmuştur ve konulmaya devam edilmektedir. Günümüzde varılan noktada artık, içten yanmalı motorlarda daha önce uygulanan yanmayı iyileştirecek önlemler ve egzoz gazının arıtılması için kullanılan yöntemlerde emisyonları azaltma yolunda geliştirilebilecek fazla bir alan kalmamıştır. Buna ek olarak, artık sıfır emisyonlu taşıt hedefi de çok uzak görünmemektedir ve bu hedefe ulaşmak için içten yanmalı motorlardan vazgeçilmesi gerekmektedir.

Bunun dışında, petrol fiyatları ve buna paralel olarak akaryakıt fiyatları istikrarlı şekilde artmaktadır. Petrol dahil bütün fosil yakıtların sınırlı olması ve şimdiye kadar bulunmuş rezervlerin tahminlere göre 50 yıldan daha kısa zamanda tükenecek olması alternatif tahrik sistemlerinin devreye alınması gerektiğini göstermektedir.

Günümüzde bu durumun çözümü olarak saf elektrikli taşıtlar ön plana çıkmaktadır. Ancak saf elektrikli taşıtlar, mevcut batarya teknolojileri ele alındığında, günümüzün tüketici performans ve menzil gerekliliklerini karşılamaktan çok uzak ve aynı zamanda yüksek maliyetli kalmaktadırlar. Bu sebeplerden dolayı yakın gelecekte saf elektrikli taşıtların çok yaygın uygulanabilmesi pek mümkün değildir.

Bu yüzden günümüzde, hibrit elektrikli taşıtlar, yakıt tüketimini ve emisyon salınımını sıfıra indirmese de önemli ölçüde azaltarak sorunların boyutunu küçülten, buna karşın uygulanabilirliği çok yüksek bir çözüm olarak saf elektrikli taşıtlardan önceki geçiş aşamasını temsil etmektedir. Bu çözüm, şu anda fosil yakıt tüketimini ve zararlı atıkları azaltmak için en kolay uygulanabilir ve en çabuk geliştirilebilir alternatif olarak görünmektedir.

Yeni yüzyılın ilk on yılında, Toyota Prius ve Honda Insight gibi hibrit elektrikli taşıtlar, önemli başarılarla imza atmışlardır. Ancak, maliyet engelleri yüzünden hala vergi teşviği olmadan tüketicilerin sıklıkla tercih ettikleri bir seçenek olamamaktadırlar. Oysa ki, düşük maliyetli bir hibrit elektrikli taşıt dönüşüm seçeneği mevcut olsa, tüketiciler yeni bir taşıt almanın maliyetine katlanmak zorunda kalmadan, sınırlı da olsa hibrit elektrikli taşıtların avantajlarından faydalanabileceklerdir.

Bu tezde düşük maliyetli, basit, kolay uygulanabilir bir geleneksel taşıttan hibrit elektrikli taşıta dönüşüm modeli sunulmuştur. Bu modelle hedeflenen, düşük maliyetle hibrit elektrikli taşıtların avantajlarını büyük oranda sunabilen ve aynı zamanda sağladığı yakıt tasarrufu ile maliyetini karşılayabilecek bir çözüm olmuştur.

Sunulan modelin değerlendirilmesi için AVL CRUISE programında simülasyon koşulları gerçekleştirilmiştir. Koşullarda Avrupa şehir içi (ECE-15) ve İstanbul seyir çevrimleri kullanılmıştır. Daha sonra İstanbul çevrimi ile karşılaştırılmak üzere geleneksel içten yanmalı motorlu taşıt ve İstanbul çevriminde en iyi sonuçları veren batarya tipine ve rejeneratif frenlere sahip hibrit elektrikli taşıt dönüşüm modeli FTP75 seyir çevriminde denenmiştir.

Koşullarda, Nikel-Metal hidrit ve Lityum-İyon olmak üzere iki farklı batarya tipi kullanılmış, her hibrit elektrikli taşıt dönüşüm modelinde rejeneratif fren kullanmanın maliyet analizinin yapılabilmesi için, diğer şartlar sabit kalmak üzere, rejeneratif frenli ve rejeneratif frensiz olmak üzere her iki durum için de koşullar yapılmıştır. Ayrıca günlük kullanım menzilleri farklı kullanıcılar için farklı uzunlukta koşullar da yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre, sunulan hibrit elektrikli taşıt modeline en uygun seyir çevrimi Avrupa şehir içi çevrimi olmuş, hem emisyonlar hem de maliyet tasarrufu bakımından daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. FTP75 çevrimi ise yakıt tüketimi bakımından İstanbul çevrimine büyük benzerlikler göstermiş, ancak özellikle hibrit elektrikli taşıt dönüşüm modelinde emisyonlar ve elektrik enerjisi tüketimi açısından İstanbul çevriminden de kötü olmuş ve İstanbul çevriminde en iyi sonucu veren hibrit elektrikli taşıt modeli FTP75 çevriminde çok daha düşük bir yatırıma değer çıkmıştır.

Koşularda Li-İyon bataryaların, Ni-Mh bataryalara göre açık üstünlükleri görülmüş, mesafe uzadıkça yüksek verimlilik ve fizibilite değerlerine ulaşabilmek açısından Li-İyon bataryalar vazgeçilmez olurken belli bir mesafenin üstünde Ni-Mh bataryalar gittikçe daha kötü verimlilik ve fizibilite değerlerine ulaştıklarından koşullarda kullanılmamışlardır.

Genel olarak mesafe uzadıkça, sunulan hibrit elektrikli taşıt modelinin fizibilitesi özellikle Avrupa şehir içi çevriminde rejeneratif frenli olduğu durumlarda artmış, böylece mesafe uzadıkça rejeneratif frenlerin varlığı gittikçe daha çok önem kazanmıştır. Ni-Mh bataryalı modellerde rejeneratif frenler, mesafe uzadıkça modelin verimlilik ve fizibilitesini kaybetmemesini sağlamış; Li-İyon bataryalı modellerde ise özellikle mesafe uzadıkça modelin verimliliği ve fizibilitesi kuvvetlenmiştir. Bu sayede en iyi performansı veren durum Avrupa şehir içi çevriminde Li-İyon bataryalar ve rejeneratif frenlerin bir arada olduğu durum olmuştur.

Fizibilite açısından Avrupa şehir içi çevriminde en iyi sonuç, Li-İyon bataryalar ve rejeneratif frenlerle 5 yıl boyunca günde 2 defa Avrupa şehir içi çevriminin 8 kez üst üste gidildiği varsayımında elde edilmiştir. Bu durum için katlanılabilecek en yüksek hibrit elektrikli taşıta dönüşüm maliyeti 15140,21 TL olarak gerçekleşmiştir.

Fizibilite açısından İstanbul çevriminde en iyi sonuç ise, yine Li-İyon bataryalar ve rejeneratif frenlerle, 5 yıl boyunca günde 2 defa İstanbul çevriminin 4 kez üst üste gidildiği varsayımında elde edilmiştir. Bu durum Avrupa şehir içi çevriminin 8 kez üst üste gidilmesine yakın bir mesafeye denk gelmektedir. Bu durum için katlanılabilecek en yüksek hibrit elektrikli taşıta dönüşüm maliyeti ise 7715,98 TL olarak gerçekleşmiştir.

NO_x, CO ve HC emisyonları açısından ise İstanbul çevrimi, Avrupa şehir içi çevriminden daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu emisyonlarda da mesafe arttıkça (katalitik dönüştürücü ısınmış olarak katedilen mesafe oranı daha fazla olduğu için) daha iyi sonuçlar elde edilmiş, en iyi sonuçların elde edildiği durumlar yine Li-İyon bataryalar ve rejeneratif frenlerin bir arada kullanıldığı durumlar olmuştur.

Yakıt tüketimi ve tüketilen yakıttan kaynaklanan CO₂ emisyonları açısından, sunulan hibrit elektrikli taşıt modeli için yine Avrupa şehir içi çevrimi en iyi sonuçları sağlarken, bu kez önceki durumların aksine, bataryaların daha hafif olmaları nedeniyle daha kısa mesafelerde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Regeneratif frenler bu bakımdan fazla fark yaratmazken, Li-İyon bataryalar hafiflikleriyle Ni-Mh bataryaların yine önüne geçmiştir.

Elektrik tüketiminden kaynaklanan CO₂ emisyonları, yakıt tüketiminden kaynaklanan CO₂ emisyonlarından çok daha yüksek değerlerde çıkarken, elektrikli tahriğin daha az kullanıldığı İstanbul ve FTP75 çevrimlerinde Avrupa şehir içi çevrimine göre çok daha düşük çıkmışlardır. Avrupa şehir içi çevriminde ise Li-İyon bataryalar ve regeneratif frenlerin kullanımı bu değer açısından da büyük fark yaratmışlardır.

Genel olarak bakıldığında, sunulan hibrit elektrikli taşıta dönüşüm modelinin özellikle şehir içi günlük uzun mesafelerde kullanımının yararlı olabileceği görülmektedir. Mevcut şartlarda regeneratif frenleme ve Li-İyon bataryalar bu dönüşüm modeli için olmazsa olmaz görünmektedir. Zamanla birlikte gelişen batarya teknolojileri ile Li-İyon bataryaların daha da geliştirilmesi veya onlardan da daha hafif ve verimli batarya tiplerinin ortaya çıkması modelin verimini ve ekonomikliğini artıracaktır. Katlanılabilecek dönüşüm maliyetleri çok yüksek miktarlarda çıkmasalar da, zamanla akaryakıt fiyatlarındaki artışla birlikte daha da artacaklardır ve bataryalar ile taşıt tahriği ve regeneratif frenleme için üretilen elektrik motorlarının ağırlık ve maliyetlerinin düşmesi ve verimliliklerinin artması, ilgili dönüşümün ekonomik yapılabilirliğini artıracaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Url-1** <http://en.wikipedia.org/wiki/European_emission_standards>, alındığı tarih 27.02.2010
- [2] **Url-2** <http://www.ucsusa.org/clean_vehicles/solutions/advanced_vehicles_and_fuels/ca-zev.html>, alındığı tarih 27.02.2010
- [3] **Url-3** <http://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_prices>, alındığı tarih 27.02.2010
- [4] **Url-4** <http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_density>, alındığı tarih 27.02.2010
- [5] **Url-5** <http://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen_fuel_cell_cars>, alındığı tarih 27.02.2010
- [6] **Ehsani M., Gao Y., Gay S. E., Emadi A.**, 2005. Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles, CRC Press, Boca Raton.
- [7] **Url-6** <http://en.wikipedia.org/wiki/Toyota_Prius>, alındığı tarih 28.02.2010
- [8] **Url-7** <http://en.wikipedia.org/wiki/Honda_Insight>, alındığı tarih 28.02.2010
- [9] **Url-8** <http://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid_electric_vehicles>, alındığı tarih 01.03.2010
- [10] **Url-9** <http://en.wikipedia.org/wiki/Car_market>, alındığı tarih 01.03.2010
- [11] **Url-10** <http://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_economy-maximizing_behaviors>, alındığı tarih 01.03.2010
- [12] **Url-11** <<http://www.bestservis.com/teknikbilgiler/performans3.htm>>, alındığı tarih 06.03.2010
- [13] **Url-12** <<http://www.tkscientist.8m.com/5art.htm>>, alındığı tarih 06.03.2010
- [14] **Url-13** <http://pics.tdiclub.com/members/tdimeister/engine_map.jpg>, alındığı tarih 06.05.2010
- [15] **Url-14** <<http://www.carmagazine.co.uk/News/Search-Results/Industry-News/VW-Golf-build-passes-25-million-/>>, alındığı tarih 06.05.2010

- [16] **Url-15** <<http://www.bppompafiyatlari.com/Default.aspx>>, alındığı tarih 15.04.2010
- [17] **Dr. Apak G., Ubay B.**, 2007. İklim Değişikliği Ulusal Bildirimi, *Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü*, Ankara.
- [18] **Url-16** <http://www.tedas.gov.tr/tarifeler_xls/2010_trf/2010yilitarife.xls>, alındığı tarih 15.04.2010
- [19] **Rand D. A. J., Woods D., Dell R. M.**, 1998. Batteries for Electric Vehicles, Research Studies Press, Taunton.
- [20] **Miller J. M.**, 2006. Propulsion Systems for Hybrid Vehicles, The Institution of Engineering and Technology, London.
- [21] **Kocagül M.**, 2009. Hibrid Taşıtlarda Seyir Çevrimine Göre Yakıt Tüketimi ve Emisyonların Optimizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [22] **Prof. Dr. Ergeneman Metin**, 2010. Fuel Economy in Road Vehicles, İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi, İstanbul.
- [23] **Prof Dr. Güney A.**, 2009. Taşıtlarda Güç Aktarımı, İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi, İstanbul.

EKLER

EK A : İçten yanmalı motorun karakteristik haritaları

EK B : Elektrik makinesinin karakteristik haritaları

Çizelge A.1: İçten yanmalı motorun yakıt tüketim haritası.

Motor dönme hızı [rpm]	Ortalama efektif basınç [bar]	Yakıt tüketim debisi [l/h]
850,0	-4,0	0,6
850,0	-0,5	0,62
850,0	0,0	0,711
850,0	1,6	1,019
850,0	3,16	1,319
850,0	4,55	1,643
850,0	5,95	1,951
850,0	7,32	2,338
850,0	8,63	2,757
850,0	9,3	3,152
1250,0	-4,0	0,73
1250,0	-0,5	0,82
1250,0	0,0	0,899
1250,0	0,19	0,956
1250,0	1,82	1,418
1250,0	3,32	1,879
1250,0	4,73	2,373
1250,0	6,17	2,867
1250,0	7,59	3,353
1250,0	8,9	3,961
1250,0	10,21	4,455
1250,0	10,88	4,536
1700,0	-4,0	1,0
1700,0	-0,5	1,05
1700,0	0,0	1,144
1700,0	0,42	1,288
1700,0	2,06	1,856
1700,0	3,54	2,48

Çizelge A.1: İçten yanmalı motorun yakıt tüketim haritası (Devamı).

Motor dönme hızı [rpm]	Ortalama efektif basınç [bar]	Yakıt tüketim debisi [l/h]
1700,0	4,89	3,072
1700,0	6,33	3,688
1700,0	7,83	4,344
1700,0	9,48	5,136
1700,0	10,93	6,288
1700,0	12,3	7,08
2300,0	-4,0	1,45
2300,0	-0,5	1,5
2300,0	0,0	1,556
2300,0	0,73	1,959
2300,0	2,3	2,828
2300,0	3,07	3,338
2300,0	5,25	4,614
2300,0	6,71	5,467
2300,0	8,21	6,47
2300,0	9,63	7,344
2300,0	12,34	9,513
2300,0	14,29	11,581
2900,0	-4,0	1,7
2900,0	-0,5	1,78
2900,0	0,0	1,928
2900,0	0,71	2,398
2900,0	2,42	3,515
2900,0	3,97	4,625
2900,0	5,49	5,678
2900,0	6,97	6,755
2900,0	8,41	7,768
2900,0	9,81	8,87

Çizelge A.1: İçten yanmalı motorun yakıt tüketim haritası (Devamı).

Motor dönme hızı [rpm]	Ortalama efektif basınç [bar]	Yakıt tüketim debisi [l/h]
2900,0	11,29	10,02
2900,0	14,75	14,12
3500,0	-4,0	2,1
3500,0	-0,5	2,15
3500,0	0,0	2,4
3500,0	0,72	2,96
3500,0	2,41	4,264
3500,0	3,97	5,648
3500,0	7,04	8,12
3500,0	8,59	9,536
3500,0	10,31	11,048
3500,0	11,61	12,39
3500,0	13,35	14,46
3500,0	15,11	16,9
4200,0	-4,0	2,65
4200,0	-0,5	2,75
4200,0	0,0	2,923
4200,0	0,7	3,563
4200,0	2,31	5,04
4200,0	3,82	6,557
4200,0	5,34	8,02
4200,0	6,9	9,58
4200,0	8,53	11,194
4200,0	9,99	12,838
4200,0	13,06	17,617
4200,0	15,11	21,74
5100,0	-4,0	3,65
5100,0	-0,5	3,78

Çizelge A.1: İçten yanmalı motorun yakıt tüketim haritası (Devamı).

Motor dönme hızı [rpm]	Ortalama efektif basınç [bar]	Yakıt tüketim debisi [l/h]
5100,0	0,0	3,993
5100,0	1,99	6,367
5100,0	3,62	8,3
5100,0	5,1	10,028
5100,0	6,63	12,028
5100,0	8,12	14,0
5100,0	9,77	16,67
5100,0	11,19	19,22
5100,0	12,53	22,58
5100,0	14,5	28,2
6000,0	-4,0	4,8
6000,0	-0,5	4,95
6000,0	0,0	5,168
6000,0	1,21	6,952
6000,0	2,76	9,24
6000,0	4,18	11,368
6000,0	5,53	13,48
6000,0	6,97	16,056
6000,0	8,39	19,0
6000,0	9,72	22,656
6000,0	10,88	26,096
6000,0	12,05	29,776
6000,0	13,05	32,688

Çizelge A.2: İçten yanmalı motorun NO_x emisyonları haritası.

Motor dönme hızı [rpm]	Ortalama efektif basınç [bar]	Kütleli debi [kg/h]
850,0	-4,0	0,003
850,0	-0,5	0,0035
850,0	0,0	0,004
850,0	1,61	0,01
850,0	3,16	0,022
850,0	4,55	0,045
850,0	5,95	0,06
850,0	7,32	0,084
850,0	8,62	0,1
850,0	9,3	0,11
1250,0	-4,0	0,0035
1250,0	-0,5	0,0045
1250,0	0,0	0,0065
1250,0	1,82	0,016
1250,0	3,32	0,038
1250,0	4,73	0,067
1250,0	6,17	0,1
1250,0	7,59	0,12
1250,0	8,9	0,13
1250,0	10,21	0,146
1250,0	10,88	0,164
1700,0	-4,0	0,006
1700,0	-0,5	0,0065
1700,0	0,0	0,009
1700,0	0,42	0,012
1700,0	2,08	0,039
1700,0	3,54	0,08
1700,0	4,89	0,134

Çizelge A.2: İçten yanmalı motorun NO_x emisyonları haritası (Devamı).

Motor dönme hızı [rpm]	Ortalama efektif basınç [bar]	Kütlesel debi [kg/h]
1700,0	6,33	0,172
1700,0	7,83	0,203
1700,0	9,48	0,215
1700,0	10,93	0,234
1700,0	12,3	0,251
2300,0	-4,0	0,012
2300,0	-0,5	0,0125
2300,0	0,0	0,013
2300,0	0,73	0,029
2300,0	2,2	0,069
2300,0	3,0	0,1
2300,0	5,24	0,193
2300,0	6,72	0,242
2300,0	8,21	0,286
2300,0	9,55	0,315
2300,0	12,4	0,33
2300,0	14,29	0,338
2900,0	-4,0	0,016
2900,0	-0,5	0,018
2900,0	0,0	0,023
2900,0	0,7	0,039
2900,0	2,41	0,105
2900,0	3,97	0,193
2900,0	5,47	0,265
2900,0	6,97	0,329
2900,0	8,41	0,397
2900,0	9,81	0,443
2900,0	11,97	0,49

Çizelge A.2: İçten yanmalı motorun NO_x emisyonları haritası (Devamı).

Motor dönme hızı [rpm]	Ortalama efektif basınç [bar]	Kütleli debi [kg/h]
2900,0	15,16	0,575
3500,0	-4,0	0,02
3500,0	-0,5	0,023
3500,0	0,0	0,029
3500,0	0,68	0,056
3500,0	2,41	0,165
3500,0	4,0	0,265
3500,0	7,05	0,441
3500,0	8,59	0,511
3500,0	10,31	0,566
3500,0	11,61	0,585
3500,0	14,27	0,618
3500,0	15,11	0,638
4200,0	-4,0	0,0261
4200,0	-0,5	0,0327
4200,0	0,0	0,049
4200,0	0,747	0,0817
4200,0	2,31	0,177
4200,0	3,82	0,293
4200,0	5,41	0,392
4200,0	6,9	0,494
4200,0	8,53	0,581
4200,0	9,99	0,651
4200,0	12,6	0,748
4200,0	15,11	0,868
5100,0	-4,0	0,029
5100,0	-0,5	0,042
5100,0	0,0	0,062

Çizelge A.2: İçten yanmalı motorun NO_x emisyonları haritası (Devamı).

Motor dönme hızı [rpm]	Ortalama efektif basınç [bar]	Kütlesel debi [kg/h]
5100,0	1,97	0,193
5100,0	3,62	0,335
5100,0	5,1	0,473
5100,0	6,65	0,605
5100,0	8,13	0,719
5100,0	9,77	0,814
5100,0	11,53	0,886
5100,0	12,77	0,958
5100,0	14,69	1,137
6000,0	-4,0	0,046
6000,0	-0,5	0,065
6000,0	0,0	0,101
6000,0	1,21	0,272
6000,0	2,76	0,476
6000,0	4,24	0,627
6000,0	5,68	0,732
6000,0	7,43	0,837
6000,0	9,43	0,954
6000,0	11,08	1,029
6000,0	12,3	1,105
6000,0	13,5	1,183
6000,0	14,2	1,235

Çizelge A.3: İçten yanmalı motorun CO emisyonları haritası.

Motor dönme hızı [rpm]	Ortalama efektif basınç [bar]	Kütleli debi [kg/h]
850,0	-4,0	0,025
850,0	-1,63	0,034
850,0	0,0	0,041
850,0	1,6	0,065
850,0	3,16	0,095
850,0	4,55	0,133
850,0	5,95	0,165
850,0	7,32	0,209
850,0	9,18	0,517
850,0	9,66	0,621
1250,0	-4,0	0,038
1250,0	-1,66	0,04
1250,0	0,0	0,056
1250,0	1,82	0,075
1250,0	3,32	0,122
1250,0	4,73	0,153
1250,0	6,16	0,207
1250,0	7,59	0,253
1250,0	9,89	0,966
1250,0	10,59	1,276
1250,0	11,14	1,55
1700,0	-4,0	0,049
1700,0	-1,67	0,059
1700,0	0,0	0,076
1700,0	2,06	0,121
1700,0	3,54	0,179
1700,0	4,89	0,249
1700,0	6,37	0,241

Çizelge A.3: İçten yanmalı motorun CO emisyonları haritası (Devamı).

Motor dönme hızı [rpm]	Ortalama efektif basınç [bar]	Kütlesel debi [kg/h]
1700,0	7,83	0,406
1700,0	9,82	1,172
1700,0	11,02	1,759
1700,0	12,3	2,46
2300,0	-4,0	0,064
2300,0	-1,67	0,069
2300,0	0,0	0,093
2300,0	0,73	0,118
2300,0	2,3	0,212
2300,0	3,0	0,288
2300,0	5,22	0,379
2300,0	6,69	0,517
2300,0	8,21	0,671
2300,0	10,63	1,724
2300,0	12,4	2,744
2300,0	14,29	3,173
2900,0	-4,0	0,095
2900,0	-1,65	0,1
2900,0	0,0	0,117
2900,0	0,85	0,152
2900,0	2,42	0,266
2900,0	3,97	0,412
2900,0	5,52	0,517
2900,0	6,99	0,621
2900,0	8,42	0,828
2900,0	9,62	1,345
2900,0	11,67	3,517
2900,0	14,75	4,88

Çizelge A.3: İçten yanmalı motorun CO emisyonları haritası (Devamı).

Motor dönme hızı [rpm]	Ortalama efektif basınç [bar]	Kütleli debi [kg/h]
3500,0	-4,0	0,112
3500,0	-1,67	0,117
3500,0	0,0	0,128
3500,0	0,72	0,159
3500,0	2,41	0,317
3500,0	3,97	0,435
3500,0	7,04	0,677
3500,0	8,67	1,069
3500,0	9,48	1,586
3500,0	10,17	2,276
3500,0	11,0	3,414
3500,0	11,88	4,621
3500,0	12,34	5,207
3500,0	15,11	7,6
4200,0	-4,0	0,145
4200,0	-1,7	0,152
4200,0	0,0	0,169
4200,0	0,72	0,221
4200,0	2,32	0,403
4200,0	3,82	0,574
4200,0	5,34	0,709
4200,0	6,88	1,103
4200,0	8,49	1,559
4200,0	9,48	2,053
4200,0	10,12	2,851
4200,0	12,43	6,5
4200,0	13,06	7,236
4200,0	15,11	8,69

Çizelge A.3: İçten yanmalı motorun CO emisyonları haritası (Devamı).

Motor dönme hızı [rpm]	Ortalama efektif basınç [bar]	Kütlesel debi [kg/h]
5100,0	-4,0	0,178
5100,0	-1,67	0,186
5100,0	0,0	0,207
5100,0	1,0	0,31
5100,0	1,99	0,462
5100,0	3,62	0,683
5100,0	5,12	1,0
5100,0	6,55	1,241
5100,0	8,03	1,552
5100,0	8,86	2,034
5100,0	9,48	2,69
5100,0	9,99	3,76
5100,0	11,3	7,138
5100,0	12,53	9,113
5100,0	14,5	10,57
6000,0	-4,0	0,236
6000,0	-1,7	0,245
6000,0	0,0	0,285
6000,0	1,21	0,379
6000,0	2,79	0,617
6000,0	4,18	1,075
6000,0	5,52	1,38
6000,0	6,35	1,793
6000,0	7,08	2,391
6000,0	7,77	3,632
6000,0	9,72	7,78
6000,0	10,88	10,29
6000,0	12,05	12,15

Çizelge A.4: İçten yanmalı motorun HC emisyonları haritası.

Motor dönme hızı [rpm]	Ortalama efektif basınç [bar]	Kütleli debi [kg/h]
850,0	-4,0	0,0048
850,0	-1,62	0,005
850,0	0,0	0,006
850,0	1,6	0,01
850,0	3,16	0,018
850,0	4,55	0,023
850,0	5,95	0,025
850,0	7,32	0,029
850,0	8,63	0,034
850,0	9,3	0,041
1250,0	-4,0	0,0058
1250,0	-1,64	0,006
1250,0	0,0	0,007
1250,0	1,82	0,013
1250,0	3,32	0,02
1250,0	4,73	0,025
1250,0	6,17	0,031
1250,0	7,6	0,036
1250,0	8,9	0,047
1250,0	10,21	0,064
1250,0	10,88	0,072
1700,0	-4,0	0,0067
1700,0	-1,64	0,007
1700,0	0,0	0,008
1700,0	0,42	0,009
1700,0	2,06	0,019
1700,0	3,54	0,028
1700,0	4,89	0,038

Çizelge A.4: İçten yanmalı motorun HC emisyonları haritası (Devamı).

Motor dönme hızı [rpm]	Ortalama efektif basınç [bar]	Kütlesel debi [kg/h]
1700,0	6,33	0,047
1700,0	7,83	0,057
1700,0	9,72	0,079
1700,0	11,98	0,11
1700,0	12,83	0,14
2300,0	-4,0	0,0087
2300,0	-1,64	0,009
2300,0	0,0	0,01
2300,0	0,73	0,012
2300,0	2,3	0,025
2300,0	3,0	0,032
2300,0	5,25	0,048
2300,0	6,71	0,053
2300,0	8,19	0,063
2300,0	9,89	0,086
2300,0	12,62	0,145
2300,0	14,83	0,184
2900,0	-4,0	0,009
2900,0	-1,68	0,01
2900,0	0,0	0,011
2900,0	0,79	0,013
2900,0	2,45	0,029
2900,0	4,06	0,044
2900,0	5,6	0,058
2900,0	6,97	0,072
2900,0	8,43	0,086

Çizelge A.4: İçten yanmalı motorun HC emisyonları haritası (Devamı).

Motor dönme hızı [rpm]	Ortalama efektif basınç [bar]	Kütleli debi [kg/h]
2900,0	9,85	0,105
2900,0	11,4	0,142
2900,0	14,75	0,2
3500,0	-4,0	0,01
3500,0	-1,68	0,011
3500,0	0,0	0,012
3500,0	0,74	0,015
3500,0	2,49	0,032
3500,0	4,0	0,048
3500,0	7,06	0,075
3500,0	8,59	0,095
3500,0	10,47	0,13
3500,0	11,74	0,176
3500,0	14,98	0,321
4200,0	-4,0	0,011
4200,0	-1,65	0,012
4200,0	0,0	0,013
4200,0	0,81	0,017
4200,0	2,43	0,035
4200,0	3,89	0,054
4200,0	5,38	0,073
4200,0	6,91	0,087
4200,0	8,53	0,107
4200,0	9,85	0,132
4200,0	13,02	0,255
4200,0	14,6	0,33

Çizelge A.4: İçten yanmalı motorun HC emisyonları haritası (Devamı).

Motor dönme hızı [rpm]	Ortalama efektif basınç [bar]	Kütlesel debi [kg/h]
5100,0	-4,0	0,014
5100,0	-1,68	0,015
5100,0	0,0	0,017
5100,0	2,0	0,036
5100,0	3,64	0,06
5100,0	5,1	0,076
5100,0	6,63	0,092
5100,0	8,06	0,114
5100,0	9,34	0,149
5100,0	11,19	0,22
5100,0	12,53	0,286
5100,0	14,57	0,351
6000,0	-4,0	0,0175
6000,0	-1,79	0,019
6000,0	0,0	0,022
6000,0	1,21	0,035
6000,0	2,76	0,061
6000,0	4,18	0,087
6000,0	5,53	0,102
6000,0	6,94	0,115
6000,0	9,72	0,2
6000,0	10,88	0,264
6000,0	12,05	0,327
6000,0	13,05	0,388

Çizelge B.1: Elektrik makinesi verimlilik haritası.

Makine dönme hızı [rpm]	Moment [Nm]	Verimlilik [%]
500,0	5,0	90,0
500,0	10,0	87,0
500,0	20,0	83,0
500,0	23,0	82,0
500,0	26,0	80,0
500,0	30,0	79,0
500,0	34,0	78,0
500,0	39,0	76,0
500,0	44,0	69,0
500,0	48,0	65,0
500,0	52,0	61,0
500,0	58,0	56,0
500,0	65,0	51,0
1000,0	5,0	88,0
1000,0	10,0	89,0
1000,0	20,0	90,0
1000,0	23,0	89,0
1000,0	26,0	88,0
1000,0	30,0	87,0
1000,0	34,0	87,0
1000,0	39,0	86,0
1000,0	44,0	84,0
1000,0	48,0	81,0
1000,0	52,0	74,0
1000,0	58,0	66,0
1000,0	65,0	59,0

Çizelge B.1: Elektrik makinesi verimlilik haritası (Devamı).

Makine dönme hızı [rpm]	Moment [Nm]	Verimlilik [%]
1500,0	5,0	90,0
1500,0	10,0	91,0
1500,0	20,0	91,0
1500,0	23,0	91,0
1500,0	26,0	90,0
1500,0	30,0	90,0
1500,0	34,0	90,0
1500,0	39,0	90,0
1500,0	44,0	88,0
1500,0	48,0	85,0
1500,0	52,0	80,0
1500,0	58,0	73,0
1500,0	65,0	65,0
2000,0	5,0	92,0
2000,0	10,0	92,0
2000,0	20,0	92,0
2000,0	23,0	92,0
2000,0	26,0	92,0
2000,0	30,0	92,0
2000,0	34,0	92,0
2000,0	39,0	91,0
2000,0	44,0	90,0
2000,0	48,0	90,0
2000,0	52,0	84,0
2000,0	58,0	77,0
2000,0	65,0	71,0
2500,0	5,0	91,0

Çizelge B.1: Elektrik makinesi verimlilik haritası (Devamı).

Makine dönme hızı [rpm]	Moment [Nm]	Verimlilik [%]
2500,0	10,0	93,0
2500,0	20,0	93,0
2500,0	23,0	93,0
2500,0	26,0	93,0
2500,0	30,0	93,0
2500,0	34,0	93,0
2500,0	39,0	93,0
3500,0	5,0	92,0
3500,0	10,0	94,0
3500,0	20,0	95,0
3500,0	23,0	95,0
3500,0	26,0	95,0
4500,0	5,0	92,0
4500,0	10,0	95,0
4500,0	20,0	97,0
4500,0	23,0	97,0
5500,0	5,0	90,0
5500,0	10,0	94,0
5500,0	20,0	96,0
6500,0	5,0	88,0
6500,0	10,0	94,0
8500,0	5,0	85,0
8500,0	10,0	92,0

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Sinan Otlu

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul, 11.03.1983

Adres: Merkezefendi Mah. Mevlana Cad. No:94/A Daire: 31 Zeytinburnu İstanbul

Lisans Üniversite: Boğaziçi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği