

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MENZİLİ UZATILMIŞ ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA EŞ DEĞER YAKIT
TÜKETİMİ İLE YAKIT VE NOX OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayşegül KURŞUN

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Programı

MAYIS 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MENZİLİ UZATILMIŞ ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA EŞ DEĞER YAKIT
TÜKETİMİ İLE YAKIT VE NOX OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ayşegül KURŞUN
(504091101)**

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Salman KURTULAN

5 MAYIS 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504091101 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi, **Ayşegül KURŞUN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**Menzili Uzatılmış Elektrikli Araçlarda Eş Değer Yakıt Tüketimi ile Yakıt ve NOx Optimizasyonu**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Salman KURTULAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Metin GÖKAŞAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yr. Doç. Dr. Murat YILMAZ
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **5 Mayıs 2014**
Savunma Tarihi : **27 Mayıs 2014**

Anneme ve Babama,

ÖNSÖZ

İyi kötü her anımda yanımda olan, maddi ve manevi bana destek olan aileme, lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca bana örnek olan, yol gösteren her zaman desteğini hissettiğim hocam Prof. Dr. Salman Kurtulan'a teşekkür ediyorum. Çalıştığım şirket Ford Otosan'daki yöneticilerimin tezimi tamamlamamdaki destekleri için, özellikle yöneticim Dr. Kerem Köprübaşı'nın bana gerek bilgisi gerek önderliğiyle her türlü desteğini ve anlayışını eksik etmediği için minnetarım.

Mayıs 2014

Ayşegül Kurşun
Kontrol Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Geçmişte Elektrikli Araçlar.....	1
1.2 Hibrit Araç Tipleri.....	1
1.2.1 Paralel hibrit elektrikli araçlar.....	2
1.2.2 Seri hibrit elektrikli araçlar	2
1.3 Hibrit Araç Enerji Kontrol Stratejileri	4
2. HİBRİT ARAÇ SİSTEM BİLEŞENLERİ VE MODELLEMESİ	7
2.1 İçten Yanmalı Motor Modeli.....	7
2.1.1 Dört zamanlı motor çevrimi.....	8
2.1.2 Dizel motorlarda yakıt tüketimi ve verim	8
2.1.3 Yakıt ve emisyon hesaplanması	9
2.2 Elektrik Motoru Modeli	10
2.2.1 Güç ve verim ilişkisi	10
2.3 Batarya Sistemi Modeli	11
2.4 Sürücü Modeli	13
2.5 Sürüş Çevrim Modelleri	14
3. MENZİLİ UZATILMIŞ ELEKTRİKLİ ARAÇ MODELİ	17
3.1 Yuvarlanma Direnç Kuvveti	17
3.2 Aerodinamik Sürtünme Kuvveti	18
3.3 Ekstra Frenleme Kuvveti.....	18
3.4 Çekiş Kuvveti	19
3.5 Aracın İvmelenmesi	20
4. NOX VE YAKIT OPTİMİZASYONU	21
4.1 Giriş.....	21
4.2 Yakıt ve NOx Maliyet Haritalarının Oluşturulması	22
4.3 Altın Oran Optimizasyonu	23
4.3.1 GENSET için altın oran optimizasyonu.....	23
4.4 Termostat Metodu	25
4.5 Eşdeğer Yakıt Tüketimi Stratejisi	25
4.5.1 Eş değer faktör	27
4.5.2 P_{GENSET} hesaplanması.....	27
5. BENZETİM SONUÇLARI	29
5.1 Eş Değer Yakıt Tüketimi Stratejisi	30
5.2 Termostat Metodu	33
5.3 Sonuç	34

KAYNAKLAR.....	37
ÖZGEÇMİŞ.....	39

KISALTMALAR

AC	: Alternate Current
DC	: Direct Current
DP	: Dynamic Programming
ECMS	: Equivalent Consumption of Minimization Strategy
FTP-75	: Federal Test Procedure
GENSET	: Jeneratör ve içten yanmalı motor seti
HEV	: Hybrit electrical vehicle
NEDC	: New European Driving Cycle
NO_x	: Nitric oxides
Q_{LHV}	: Lower Heat Value
SFC	: Specific Fuel Consumption
SOC	: State of Charge
İYM	: İçten Yanmalı Motor

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1 : Modelde kullanılan batarya parametreleri.....	29
Çizelge 5.2 : Modelde kullanılan elektrik motoru parametreleri.....	30
Çizelge 5.3 : Modelde kullanılan aracın parametreleri.....	30
Çizelge 5.4 : Modelde kullanılan içten yanmalı motorun parametreleri.	30
Çizelge 5.5 : Modelde kullanılan jeneratörün parametreleri.	30
Çizelge 5.6 : S_{ref} ve k_p belirlenmesi	31

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Paralel hibrit araç şeması.....	2
Şekil 1.2 : Menzili uzatılmış seri hibrit elektrikli araç şeması	3
Şekil 1.3 : Seri-paralel hibrit elektrikli araç şeması.....	4
Şekil 2.1 : Dizel motorun verim eş değer eğrisi ve maksimum tork eğrisi	8
Şekil 2.2 : Dizel motor harita tabanlı modeli.....	9
Şekil 2.3 : Elektrik motoru modeli	11
Şekil 2.4 : Elektrikli motor modeli	11
Şekil 2.5 : Batarya eş değer devresi.....	12
Şekil 2.6 : DC/AC evirici modeli	13
Şekil 2.7 : Sürücü modeli	14
Şekil 2.8 : Hız profili ve gerçek hız grafiği	14
Şekil 2.9 : Uluslararası tanımlanmış sürüş çevrimleri	15
Şekil 3.1 : Araç dinamiği Simulink modeli	17
Şekil 3.2 : Aerodinamik sürtünme modeli.....	18
Şekil 3.3 : Ekstra frenleme modeli	19
Şekil 3.4 : Çekiş kuvveti.....	19
Şekil 4.1 : Yakıt ve Nox haritaları	22
Şekil 4.2 : Yakıt ve NOx maliyet haritaları	23
Şekil 4.3 : Altın oran optimizasyonu	23
Şekil 4.4 : GENSET optimizasyonu	24
Şekil 4.5 : Her P_{GENSET} için en düşük maliyet sonucu grafiği	24
Şekil 4.6 : Termostat metodu durum grafiği.....	25
Şekil 4.7 : GENSET açık-kapalı histeresizi.....	28
Şekil 4.8 : ECMS akış diyagramı	28
Şekil 5.1 : Araç modeli parametreleri için arayüz	29
Şekil 5.2 : Eş değer faktör.....	31
Şekil 5.3 : NEDC çevrim boyunca elektrik motoru torku ve batarya akımı.....	31
Şekil 5.4 : ECMS metodunda eş değer faktör ve SOC	32
Şekil 5.5 : Benzetim boyunca ve 5600-7000 saniyeleri arasında P_{GENSET} grafiği	32
Şekil 5.6 : Termostat metodunda SOC grafiği.....	33
Şekil 5.7 : Benzetim boyunca ve 5400-7300 saniyeleri arasında P_{GENSET} grafiği	33
Şekil 5.8 : ECMS ve termostat metodlarının yakıt ve NOx karşılaştırması	34

MENZİLİ UZATILMIŞ ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA EŞ DEĞER YAKIT TÜKETİMİ İLE YAKIT VE NOX OPTİMİZASYONU

ÖZET

Elektrikli araçların 20. yüzyılda başlayan üretimleri, çeşitli nedenlerle içten yanmalı motorların tercih edilmesi nedeniyle yavaşlamış ve önemsiz bir düzeye inmiştir. Otomotiv firmaları içten yanmalı motorlu araçları, araştırma, geliştirme ve üretme faaliyetlerini kesintisiz olarak günümüze kadar sürdürmüşlerdir. Ancak, küresel ısınmanın çevre üzerindeki etkileri, enerji kaynaklarının azalması gibi önemli nedenlerle elektrikli araç teknolojisi yeniden gündeme gelmiştir. Günümüzde birçok otomotiv firması elektrikli araçlar üzerinde araştırma ve geliştirme çalışmaları yapmaktadır. Bu yapılan çalışmalar genellikle, batarya kapasitesini arttırmak, hibrit araç teknolojilerini geliştirerek yakıt ekonomisi sağlamak ve emisyon optimizasyonu gibi konuları kapsamaktadır. Bu tezde yapılan çalışmalarda, menzili uzatılmış bir elektrikli aracın çevrim içi enerji yönetim kontrol problemini ele alınmıştır.

Elektrikli araçlar saf ve hibrit araçlar olarak ikiye ayrılabilir. Saf elektrikli araçlarda sadece elektrik enerjisi kullanılır ve bu yüzden batarya kapasitesi en yüksek araçlardır. Hibrit araçlarda ise elektrik enerjisi ve bir başka kaynak daha kullanılır. Bu çoğu zaman benzin veya dizeldir. Hibrit araçlar da kendi içinde seri paralel ve seri-paralel hibrit araçlar olmak üzere üçe ayrılır. Seri hibrit elektrikli araçlarda çekiş gücü elektrik motoru tarafından karşılanır. Elektrik motoruna elektrik enerjisini batarya veya içten yanmalı motor sağlar veya her ikisi aynı anda sağlayabilir. Bu enerji dağılımı kontrol stratejileri tarafından belirlenir. Paralel hibrit araçlarda ise çekiş gücü bir güç aktarım merkeziyle hem içten yanmalı motor hem de elektrik motoruyla sağlanabilir. Son olarak seri-paralel hibrit araçlarda, içten yanmalı motor, elektrik motoru, jeneratör bir veya birden çok dişli sistemle güç aktarım organlarına bağlanır. Hem paralel sistem mantığıyla mekaniksek güç ortak sağlanabilir hem de seri sistem mantığıyla jeneratör sistemi elektrik motoruna ve batarya sistemine enerji sağlayabilir. Bütün bu çalışma prensiplerinde hangi motorun ne zaman ne kadar çalışacağı kontrol metotlarıyla belirlenir.

Seri ve paralel hibrit araçlar için geliştirilmiş ve halen geliştirilmekte olan birçok kontrol stratejisi vardır. Bu stratejilerin en temel amacı, yakıt ekonomisi yapmak, emisyonları düşürmek, batarya verimini ve ömrünü arttırmak, araç performansını arttırmaktır. Bu amacı gerçekleştirirken bataryanın şarj durumunun kabul edilebilir değerler arasında olması optimizasyon probleminin kısıtları arasındadır. En bilinen kontrol stratejileri, kurala dayalı kontrol, dinamik programlama ile kontrol, eş değer yakıt tüketimi stratejisi ve yol tahminine bağlı stratejilerdir.

Menzili uzatılmış elektrikli araçlar; iki özelliği nedeniyle, seri hibrit ve saf elektrikli araçlar arasında yer alır. Birincisi sürücünün şehir içinde sadece elektrik enerjisiyle yol almasıdır. İkinci ise, şehir içi mesafesinden daha uzun bir mesafe gitmesi gerektiğinde içten yanmalı motor ve jeneratör sisteminin, “GENSET”, devreye girip elektrikli araçların bir dezavantajı olan menzili uzatmaktır. “GENSET” sisteminin

alışması kontrol stratejisi problemidir. Termostat metodunda batarya şarj durumu, “SOC” belli bir minimum noktaya düştüğünde “GENSET” sistemi tek bir çalışma noktasında devreye girer ve bu nokta motor ve jeneratör çiftinin en verimli noktasıdır. “GENSET” sistemin en verimli noktası altın oran optimizasyon metoduyla bulunabilir. Yakıt ve NO_x değerlerine bağlı bir maliyet fonksiyonu geliştirilir ve bu “GENSET”in üretebileceği her güç değeri için hesaplanır. Bu hesap sonucunda minimum yakıt ve NO_x değerini veren optimum tork ve hız değeri bulunur. Termostat metodunda önemli nokta uygulanacak güç değerinin hem maliyeti az hem de aracın çekiş gücünü karşılayacak olmasıdır. Eş değer yakıt tüketimi stratejisi, “ECMS”, metodunda ise, “GENSET” sistemi birçok çalışma noktasında uygulanabilir. Bu alışma noktaları, aracın o an ki güç ihtiyacına ve batarya şarj durumuna bağlıdır. “ECMS”de maliyet fonksiyonunda hem içten yanmalı motorun yakıt tüketimi vardır hem de bataryanın gelecekteki potansiyel yakıt tüketim eş değeri vardır. Batarya şarj olduğunda gelecekte yakıt tüketimi azalacağı için enerji tüketimi azalır. Batarya deşarj olduğunda ise, içten yanmalı motor az yakıt yakacaktır fakat deşarj enerjisi yakıt ile kompanze edilecektir. Bu potansiyel enerji bir eş değer faktör ile maliyet fonksiyonuna eklenir. “ECMS” bu koşullar altında en uygun gücün bulunmasını sağlayan bir optimizasyon metodudur.

Bu tezde kontrol stratejilerinden termostat ve “ECMS” üzerinde çalışılmıştır. Çalışma ortamı Matlab Simulink kullanılarak oluşturulmuştur. Ford Otosan A.ř. ve Okan Üniversitesi ortak proje kapsamında oluşturulan araç modeli temel alınarak elektrikli motor ve içten yanmalı motor sistemi uygun bir şekilde eklenerek menzili uzatılmış elektrikli araç modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan modele kontrol sistemi modeli eklenerek sistem tamamlanmıştır. Sistem modeli oluşturulurken bileşenlerin güç akışı modelleri yapılmıştır. Sistem dinamiğinin doğruluğunu sağlayacak şekilde bileşen dinamiklerinde basitleştirilme yapılmıştır. Termostat ve ECMS metodu ile yapılan benzetimler sonucunda menzili uzatılmış elektrikli araçlar için ECMS metodunun hem NO_x hem de yakıt optimizasyonu için en uygun metot olduğu sonucuna varılmıştır.

NOX AND FUEL OPTIMIZATION ON RANGE EXTENDED VEHICLES USING EQUIVALENT CONSUMPTION OF MINIMIZATION STRATEGY

SUMMARY

At the beginning of 20th centuries, electrical motors were more popular than internal combustion engines (ICE). After the implementation the starter motor on ICE, they had become more advantages than electrical motors. Automobiles companies started investments on vehicles with ICE and the technology today have been come. However, due to global warming and energy source problems, electrical vehicle have become reasonable to produce. Now, many automobile companies are working on research and development on electrical vehicles again. The studies generally focus on battery capacity, hybrid vehicle technology, and fuel and emission optimization. In this thesis, the studies were done on optimization of NOx and fuel economy of range extended electric vehicles.

The electrical vehicles can be classified as pure and hybrid vehicles. Pure electrical vehicles use only electrical energy and so battery capacity should be highest in amongst electrical vehicles. In hybrid vehicles, there is not only electrical energy to power the vehicles, but also heat energy can be used. Therefore, battery can be smaller than pure electrical one. Moreover, there are two kinds of hybrid vehicles that are parallel and series hybrid vehicles. In parallel hybrid vehicles, the traction power could be supplied by both electrical motor and ICE or by only electrical motor and only engine. This management is done by energy management system in the vehicles. On the other hand, in series hybrid vehicles, ICE is not connected to the powertrain and it is connected to a generator, which produces electrical energy to battery and electrical motor with the power of ICE. Range extended vehicles are a kind of series hybrid vehicles. Electrical vehicle should be enough powerful to accelerate the vehicle. In the case of battery's state of charge is not enough to continue the journey, then, GENSET is on and state of charge should stay steady using the power supplied by GENSET. How to make state of charge steady is the problem of control strategy.

There are several control methods developed and still developing for series and parallel hybrid vehicles. The main objectives of these strategies are fuel economy, to decrease emissions, battery efficiency, to increase battery life and to improve vehicle performance. Achieving these objectives, the state of charge (SOC) should be in the boundaries, which are the constraints of the optimization problem. The most known and applied control strategies in the literature are, ruled based control, dynamic programming, equivalent consumption of minimization strategy and the strategies based on determination of driving routes.

There are two main functionalities of range extended vehicles. One of the functionalities is driver uses the vehicle which is powered by only electrical motor. Second functionality is, when the driver uses the route, which is longer than city routes, GENSET system starts working and range extender increases the range, which is a disadvantage of pure electrical vehicles. Therefore, range extended

vehicles are everyday usage type of vehicles which you can also drive at weekends for a longer trip. In everyday usage, the battery SOC should be full and at the end of day SOC decreases. Then, battery of vehicle is plugged in electricity supply to be charged. GENSET system in range extended vehicles is backup and it provides the driver flexibility not to concern range limit.

The main engineering problem in range extended vehicle is how to optimize GENSET. In this thesis, thermostat and equivalent consumption of minimization methods are used in optimization of GENSET: Both thermostat and ECMS methods, GENSET operating points should be optimized. It means that torque and speed values of each power value of GENSET should be found which minimize the cost function. Cost function is determined considering objective of the problem. The problem of this thesis is the minimize NOx and fuel consumption. The effect of NOx and fuel on cost function is determined by coefficients. If minimization of fuel consumption is more important than NOx effects, coefficient of fuel should be higher than coefficient of NOx. In order to find the optimized torques and speeds of GENSET which minimize the cost function of each power values, golden section method is used. The output of golden section method is used by ECMS and thermostat.

The principle of thermostat method is to open GENSET when SOC reaches its minimum value. GENSET system works in only one operating point which the most efficient point of ICE and electrical motor couple. The most efficient operating point is the minimum cost value of golden section output. Minimum cost value is not the only criteria to choose operating point, but also power should be enough to accelerate the vehicle. On the other hand, electrical motor and internal combustion can be work in more than one operating points in ECMS. These operating points depend on the power required and battery SOC at that time. There are two concepts in ECMS, the concept of negative or positive potential costs, depending on whether the electric power that is generated by the GENSET is more or less than the requested mechanical power. Formulation of ECMS is sum of the actual fuel consumption in the engine and sum of a term that has the same units and is related to the use of the battery power. This additional term represents the virtual consumption associated with the battery use and is related to the future fuel consumption due to the use of the battery at the present time. If the battery is charged condition ECMS potential cost is negative and if battery is discharged state potential cost is positive. Real cost is equal to sum of cost of ICE power and sum of cost of battery power which is multiplied by an equivalent factor. It is important to find the equivalent factor in ECMS because it effects the potential costs effect on real cost. In this study, equivalent factor is a function of tangent function and it is formulated by SOC and its boundaries. The effect of equivalent factor is to keep the SOC in the boundaries. If SOC increases too much, potential cost is decrease by decrease in equivalent factor. On the contrary, if SOC decreases too much, equivalent factor increases and cost electrical energy increases. In conclusion, objective of ECMS is to find the optimum GENSET power, which optimize in current condition and the future conditions.

In the content of this thesis, all simulations are done using Matlab Simulink. The vehicle model, which is developed by Ford Otosan and Okan University, is taken as skeleton of model and this model is converted to a range extended electric vehicle. In addition, both ECMS and thermostat control strategies are added in to this model. Developing system model, range extended vehicle components are modeled separately and then combined them together to study on system level control. Power

flow of all components is modeled. However, system components dynamics are simplified as system level dynamics are managed correctly. This modeling approach makes simulations faster and reduces efforts of modeling detail dynamics.

In order to improve simulation, also ICE is modeled as map based. These maps are driven by engine mapping data, which is collected in dynamometer tests. Electrical motor is modeled as static and it is assumed that it gives the torque, which is required. Asynchronous motors and brushless direct current motors are more common used in electrical vehicle applications. Direct current motors needs DC/DC converter because battery voltage decrease due to SOC decrease. Asynchronous motor needs DC/AC inverters. In this thesis, asynchronous motor is used and its efficiency is mapped in the model. Battery model is simplified, as well as its dynamics are very slow. Inverter model between battery and asynchronous motor is added in to the system.

In conclusion, the optimization of NO_x and fuel economy in range extended vehicle is achieved successfully by equivalent consumption of minimization strategy. In order to compare the result, thermostat method is developed and applied. In results, the equivalent consumption of minimization strategy is better than thermostat method. ECSM manages both NO_x and fuel improvement.

1. GİRİŞ

Fosil yakıtlarının yanmasıyla oluşan karbon gazlarının etkisiyle artan küresel ısınma, günümüzün en büyük çevresel sorunu olarak gözükmektedir. Zararlı gazların salınımını azaltmak için emisyon regülasyon değerleri her sene daha da azaltılmaktadır. Emisyon regülasyonlarının daha sıkılaşmasıyla birlikte, otomotiv firmaları alternatif çözüm arayışına girmişlerdir. Böylelikle elektrikli araçların önemi daha da artmış ve günümüzde birçok otomobil firması araştırma geliştirme çalışmalarını bu yönde gerçekleştirip, yakıt tüketimini ve NOx salınımını azaltmayı hedeflemektedir.

1.1 Geçmişte Elektrikli Araçlar

20. yüzyılın başlarında elektrikli araçlar geleceğin araçları olarak bakılıyordu. Çünkü performans olarak içten yanmalı ve buharlı motorlara göre hem daha iyiydi hem de daha güvenilirildi. Bir içten yanmalı motoru başlatmak için elle krank ettirmek gerekiyordu. Buna karşılık elektrikli motorlar kokusuzlardı ve kalkış sorunu yoktu [1].

1920’li yıllarda birçok elektrikli araç üretilip kullanılıyordu. Fakat içten yanmalı motorun otomatik başlatma metodu bulunduktan sonra elektrikli araçlar yerini yavaş yavaş içten yanmalı motorlu (İYM) araçlara bıraktı. Bunun en büyük sebeplerinden biri, araç menzili artırmak için çok büyük hacim ve kütlede batarya kullanımı gerekiyordu. Buna karşılık içten yanmalı motorda bataryaya göre çok daha küçük hacimli yakıt deposu yeterliydi. Bir diğer önemli sebepse, uzun şarj süreleriydi.

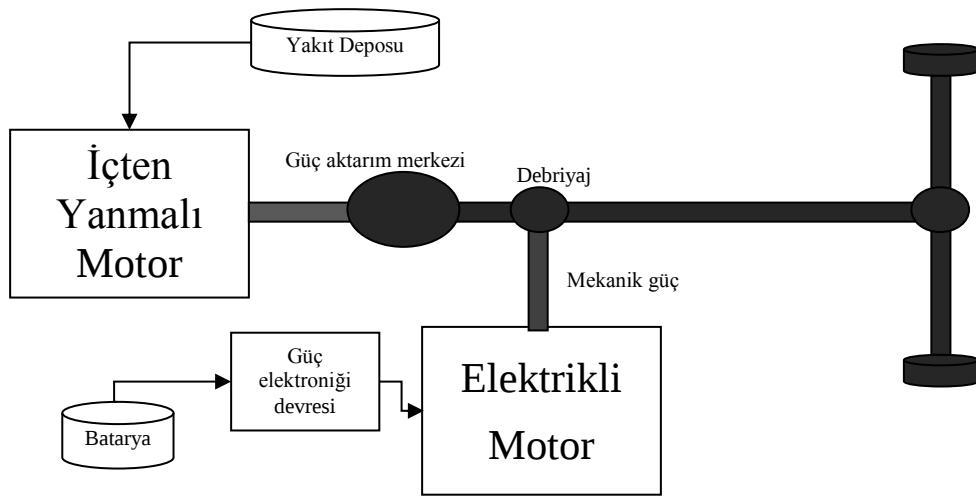
1.2 Hibrit Araç Tipleri

Genel olarak seri, paralel ve seri-paralel olmak üzere, üç tip hibrit elektrikli araç vardır. Seri hibrit araçlarda, içten yanmalı motor bir jeneratöre bağlıdır ve ürettiği enerjiyle bataryayı şarj eder. Elektrik motoruysa, araca çekiş gücünü sağlar. Paralel hibrit araçlar ise, elektrik ve içten yanmalı motor ayrı olarak veya birlikte çekiş gücü

sağlayacak şekilde dizayn edilmiştir. Seri-paralel hibrit elektrikli araçlar ise, seri ve paralel hibrit prensiplerinin ikisini de içinde barındıran tipte araçlardır.

1.2.1 Paralel hibrit elektrikli araçlar

Bir paralel HEV (hibrit elektrikli araç) aracında, toplam çekiş gücü elektrik motoru ve içten yanmalı motor arasında paylaştırılır. Bu iki güç kaynağını aktarma organlarına bağlamanın birçok yönetimi vardır. Şekil 1.1’de, elektrikselsel güç sistemi, bir debriyaj ile birlikte geleneksel araç güç aktarım mekanizmasına bağlanmıştır. Böylece uygulanan kontrol stratejisine göre, araç elektrik ve içten yanmalı motor ayrı ayrı veya aynı anda güç aktarma mekanizmasına güç sağlayabilecek.



Şekil 1.1 : Paralel hibrit araç şeması.

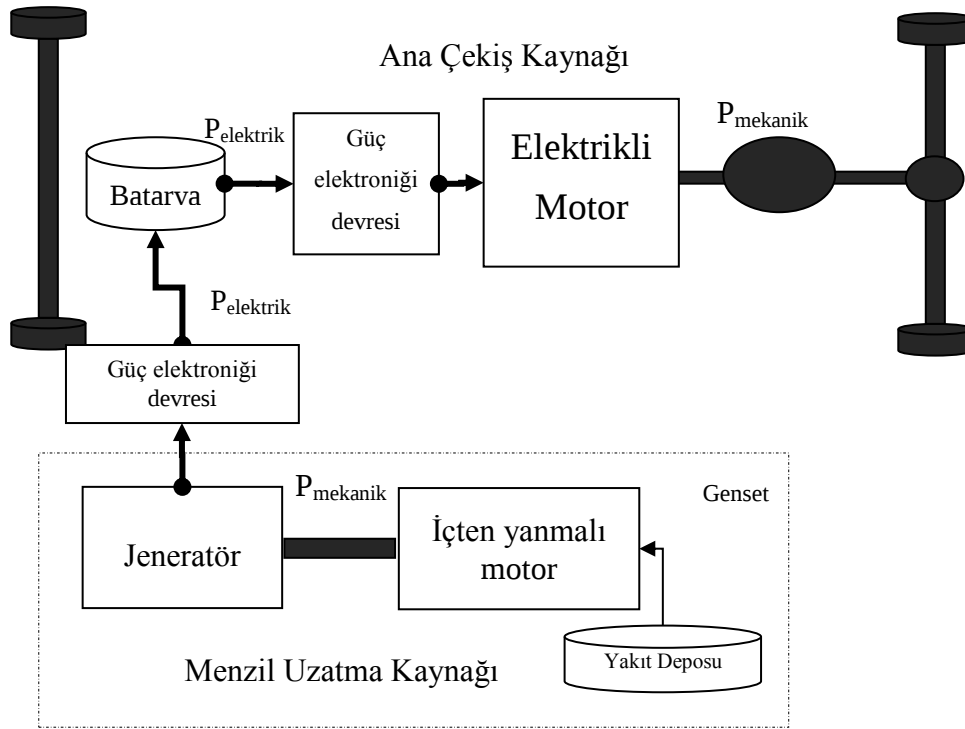
Elektrikselsel aktarım mekanizmasının boyutlandırılması, elektrik motorunun ve bataryanın tanımlanan yol için gerekli gücü verebilmesine bağlıdır. Buna ek olarak, içten yanmalı motor sistemi, aracın tahriki için gerekli torku, elektrik motoruyla birlikte değişken bir şekilde tork sağlayabilmelidir. Kontrol stratejisine göre içten yanmalı motor aç ve kapa şeklinde çalışabilir veya optimizasyon uygulanıp değişken tork uygulanabilir. Bununla ilgili birçok kontrol stratejisi üretilmiştir.

1.2.2 Seri hibrit elektrikli araçlar

Paralel hibrit elektrikli araçlara karşılık, seri hibrit elektrikli araçlarda çekiş gücü sadece elektrik motoru tarafından karşılanır. Jeneratör ve içten yanmalı motor birimiyse (GENSET), elektrikselsel güç mekanizmasına enerji sağlayan bataryayı şarj eder. Yani, seri hibrit elektrikli araçları GENSET sistemine sahip elektrikli araçlar olarak tanımlayabiliriz. Aracın bataryasının yeterli gücü sağlayacak enerjiye sahip

olmadığı zaman, eksik elektriksel enerjiyi GENSET sisteminden sağlanır. Uygulamada bu tarz hibrit elektrikli araçlara rastlanmaktadır.

Elektrikli araçların geleneksel araçlara göre dezavantajı menzillerinin kısa olmasıdır. Seri hibrit elektrikli araçların en temel fonksiyonu bu dezavantajı ortadan kaldırmasıdır. Küçük bir yakıt deposuyla bataryanın bitmesi durumunda GENSET sistemi devreye girer ve araca enerji sağlar. Bu tip seri hibrit araçlara menzili uzatılmış elektrikli araçlar denir. Şekil 1.2’de bu tip seri hibrit araçların şematik çizimi vardır. Bu tezde menzili uzatılmış seri hibrit elektrikli araç üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Kontrol stratejileri GENSET sisteminin ne zaman devreye gireceği ve GENSET sisteminin optimum noktasını bulması yönündedir.

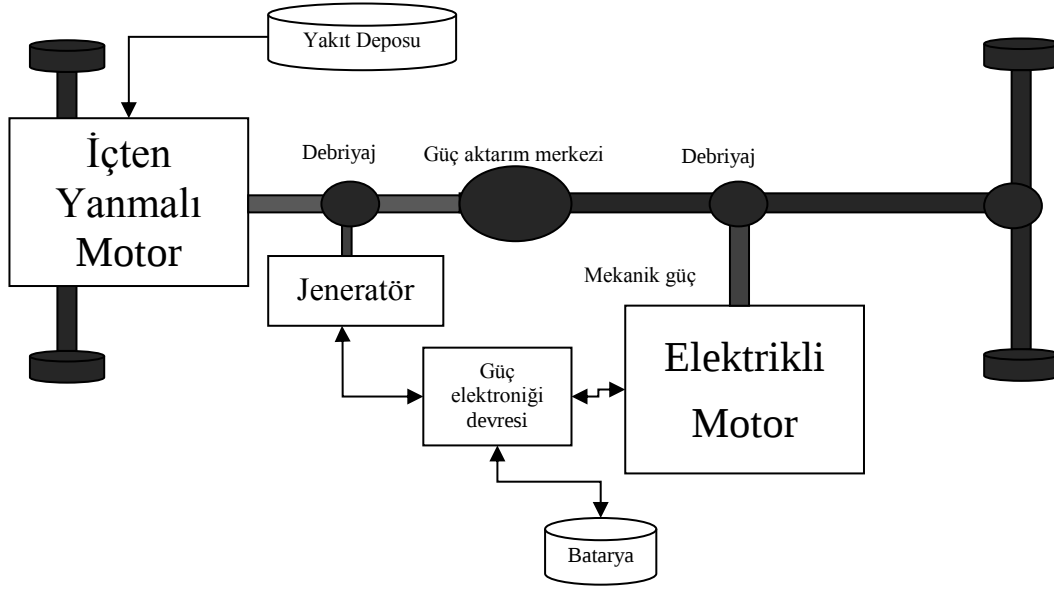


Şekil 1.2 : Menzili uzatılmış seri hibrit elektrikli araç şeması.

1.2.3 Seri-paralel hibrit elektrikli araçlar

Seri-paralel hibrit sistemlerde elektrik motoru, jeneratör ve İYM aktarma organlarına debriyaj ve dişli sistemleriyle beraber bağlanır. Şekil 1.3’te seri-paralel hibrit elektrikli araçların şematik gösterimi vardır. İYM’nin ürettiği güç hem paralel hem seri yolları izleyebilir. Seri güç yolunda, motorda üretilen güç jeneratör yardımıyla elektrik sistemine, dolayısıyla elektrik motoruna aktarılır. Paralel güç yolunda ise, İYM’nin mekaniksel gücünün bir kısmı ya da hepsi çekiş gücüne gider. Çekiş

gücüne aktarılmayan kısım ise jeneratör yardımıyla bataryayı şarj eder. Eğer mekaniksel güç çekiş gücünü karşılayamazsa paralel bağlanmış elektrik motoru devreye girer ve fazladan sisteme tork sağlar. Seri-paralel hibrit elektrik sisteminde kontrol stratejileri her zaman seri ve paralel güç yollarının karışımı şeklinde uygulanır. Şehir içi ulaşımında, seri güç yolu uygulanırken, otoyol gibi yüksek güç gerektiren yol koşullarında paralel güç yolu çalıştırılır.



Şekil 1.3 : Seri-paralel hibrit elektrikli araç şeması.

1.3 Hibrit Araç Enerji Kontrol Stratejileri

Hibrit araçların yakıt ve emisyon optimizasyonu, tamamen araçların kontrol stratejisine bağlıdır. Sürücü tarafından istenen gücün optimum dağılımı enerji yönetim problemi olarak tanımlanan bir kontrol problemidir ve son 10 yıldır çalışmalar bu amaç doğrultusunda yapılmaktadır. Temel olarak dört öge amaç olarak alınabilir: yakıt ekonomisini arttırmak, emisyonları azaltmak, sistem maliyetini azaltmak, performans değerlerini arttırmak.

Seri hibrit araç yapısında kontrol probleminin amaç formülü bataryanın şarj durumunun (SOC) kabul edilebilir sınırlar arasında tutmaya çalışırken içten yanmalı motor ve jeneratör çiftinin en verimli noktada çalışmasını sağlamaktır. Jalili, Kheir ve Salman [2] kurala dayalı kontrol stratejisi kullanarak termostat davranışıyla seri hibrit elektrikli aracın güç yönetim kontrolünü optimize etmişlerdir. Brahma, Guezennec ve Rizzoni [3] belirleyici dinamik programlama (DP) uygulayarak bu

problemi çözmeye çalışmışlardır. Tate ve Boyd [4] hibrit araç optimizasyon problemini konveks optimizasyonu uygulamıştır. Yazarlar optimum GENSET çalışma problemini sabit bir yol sürüş verileri altında, elemanlara (batarya, motor vb..) bağlı kısıtlar içerisinde oluşturmuştur. Bu yakıt optimizasyonu problemini lineer olmayan konveks optimizasyon problemi olarak tanımlayıp daha sonra lineer benzetim yapıp lineer programlamaya çevirmişlerdir.

Daha sonraki yıllardaki araştırmalarda, Barsali, Miuli ve Possenti [5] ortalama yol tahmini yapıp çevrim içi kontrol algoritması uygulamışlar ve sürüşteki ani değişimlere kolayca adapte olmalarını sağlamışlardır. Pisu ve Rizzoni [6] iki enerji depolama sistemine sahip ağır hizmet kamyonu için enerji yönetimi optimizasyonunu amaçlayıp eşdeğer yakıt tüketim stratejisini geliştirmişlerdir. Perez ve arkadaşları yakıt tüketimini azaltmak için, GENSET ve batarya sistemi arasındaki güç dağılımını ele alarak dinamik programlama yönetimini kullanmışlardır [7]. Serrao ve Rizzoni [9] Pontryagin'nin minimum prensibine dayalı analitik çözüm sunmuştur. Gelecekteki yakıt tüketimine çevrilen elektrik enerjisinin transformasyonunu sağlayan eşdeğer faktörünün tanımlanması için optimizasyon tekniği uygulanmış ve aracın takip ettiği yola bağlı tanımlanmıştır.

Yakın zamanda Serraoi, Onori ve Rizzoni [8] Pontryagin'nin minimum prensibine dayalı eşdeğer yakıt tüketimi minimizasyonunu analitik yöntemle seri hibrit araç kontrol stratejisine uygulamışlardır. Gerçek yakıt tüketimi ve batarya gücünün eşdeğer yakıt tüketiminin toplamını temsil eden bir Hamiltonian eşitliği tanımlanmıştır. Bu sanal tüketim gelecekte bataryanın şarjı için tüketilecek yakıtı temsil etmektedir.

Bu tezin birinci bölümünde, elektrikli araçlar hakkında genel bir bilgi verilmiş ve hibrit elektrikli araçların konsept yapıları incelenmiştir. Hibrit araç güç kontrol stratejileri üzerine yapılan çalışmalar açıklanmıştır. İkinci bölümde, hibrit araç sistem bileşenleri tanımlanmış ve model yapılarından bahsedilmiştir. Ayrıca benzetimde uygulanabilecek sürüş çevrimleri verilmiştir. Üçüncü bölümde, menzili uzatılmış aracın Simulink üzerinde nasıl modellendiği anlatılmış ve araç dinamiğini etkileyen kuvvetler tanımlanmıştır. Dördüncü bölümde, menzili uzatılmış elektrikli araç için uygulanabilecek iki farklı kontrol stratejisi (Termostat ve eş değer yakıt tüketimi stratejisi) anlatılmıştır. Beşinci bölümde ise, benzetim sonuçları karşılaştırılmış ve sonuca varılmıştır.

2. HİBRİT ARAÇ SİSTEM BİLEŞENLERİ VE MODELLEMESİ

Hibrit araçların model tabanlı kontrolü için uygun bir model tasarlamak önemlidir. Modelin hassasiyeti bütün olası fiziksel etkileri kapsamak zorunda değildir. Tasarlanan model, fiziksel ana karakteri sağlamalı, analizi kolaylaştırmalı ve çevrimiçi kontrol yapabilmek için gerçek zamanlı benzetimlerde kullanılabilir olmalıdır. Hibrit elektrikli aracın parça modellerinin yani, içten yanmalı motor, elektrik makinası, batarya ve diğer bağlantı elemanlarının da bu özellikleri taşıması gerekir. Model tabanlı kontrol yapılırken parça bazlı kontrol yerine sistem bazlı kontrole odaklanılır. Buyüzden, her parçanın dinamiğinden çok sistem dinamiği önemlidir. Bu tezde bunu sağlamak için güç tabanlı modelleme yapılmıştır.

Sistem bileşenlerinin modellemesinde birçok yaklaşım mevcuttur. Örneğin içten yanmalı motorlar ve elektrik makinaları krank açısına veya yarı-statik olarak modellenebilir. Krank açısına göre modelleme motor kontrolörlerinin enjeksiyon zamanı ve süresi gibi parametreleri belirlemesi açısından daha uygundur. Fakat bu modeller gerektiğinden fazla karmaşıktır ve kapsamlı bir analize izin vermez. Ayrıca enerji depolama aygıtlarının şarj ve deşarj dinamiklerinin yavaşlığı temel problemi amacından saptırır. Bu yüzden güç çeviricileri yarı-statik modelleme ile enerji depolama cihazını da düşük dereceli dinamik sistem olarak modellemek, benzetim hızını daha hızlı yapar ve problem amacından sapmamış olunur.

2.1 İçten Yanmalı Motor Modeli

İçten yanmalı motorlar yakıtın kimyasal enerjisini mekanik enerjiye çeviren makinalardır. Yanma odalarında yüksek sıcaklıklı ve yüksek basınçlı oluşan gazlar pistonların hareket etmesini sağlar.

En geneliyle, benzin ve dizel ile çalışmak üzere iki çeşit içten yanmalı motor vardır. Benzin ile çalışan motorlarda, yakıt hava ile belli oranda karıştırılıp yanma odasına verilir ve pistonların sıkışmasıyla yüksek basınç oluşturulur. Buji yardımıyla ateşlenen bu karışım pistonları hareket ettirir. Dizel motorlardaysa, temiz hava yanma odasına alınır. Pistonlar yardımıyla sıkıştırılan havanın basıncı artar ve

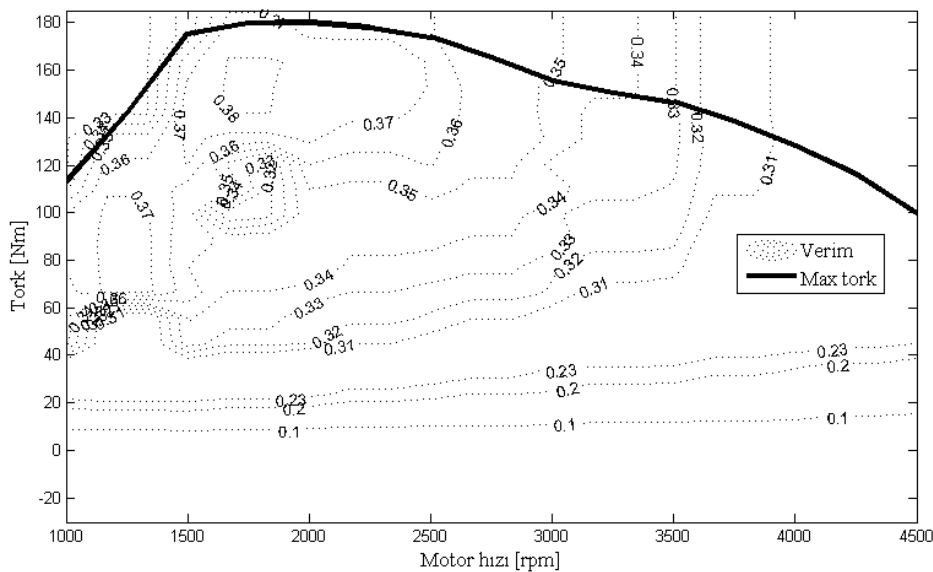
enjeksiyon yardımıyla yakıt püskürtülür. Bu sırada herhangi bir ek ateşleme sistemine gerek duymadan karışım yanar. Pistonların bu hareketi krank milini döndürür ve kimyasal enerji mekanik enerjiye çevrilmiş olur.

2.1.1 Dört zamanlı motor çevrimi

İçten yanmalı motorların bir piston çevriminin dört farklı aşaması vardır. Birinci aşama temiz havanın içeri alınmasıdır. Pistonun en tepeden en aşağı inmesiyle birinci aşama tamamlanır. İkinci aşamada pistonun yukarı hareket etmesiyle hava sıkışır. Sıkışan havanın basıncı ve sıcaklığı yükselir. Üçüncü aşamada enjeksiyon ile yakıt püskürtülür ve yüksek sıcaklık ve basınç altında yanma kendiliğinden oluşur. Yanma sonucu oluşan enerjiyle piston aşağı doğru itilir. Dördüncü aşamadaysa, yanmış gaz egzoz vanasında dışarı, pistonun yukarı hareketiyle atılır. Bu döngü motor çalıştığı sürece devam eder.

2.1.2 Dizel motorlarda yakıt tüketimi ve verim

İçten yanmalı motorlarda verim, yakıtın içerdiği toplam enerjiye bağlıdır. Matematiksel olarak ifade edersek, motor verimi kullanılan işin yakıtın enerjisine oranıdır (2.1). Motorun pistonlar aracılığıyla ürettiği kinetik enerji $E_{kinetik}$, yanma sonucu oluşan toplam enerji de E_{yanma} dir. Verim zamandan bağımsız olduğu için verimi güç oranı olarak varsayabiliriz.



Şekil 2.1 : Dizel motorun verim eş değer eğrisi ve maksimum tork eğrisi.

$$\eta = \frac{E_{kinetik}}{E_{yanma}} \quad (2.1)$$

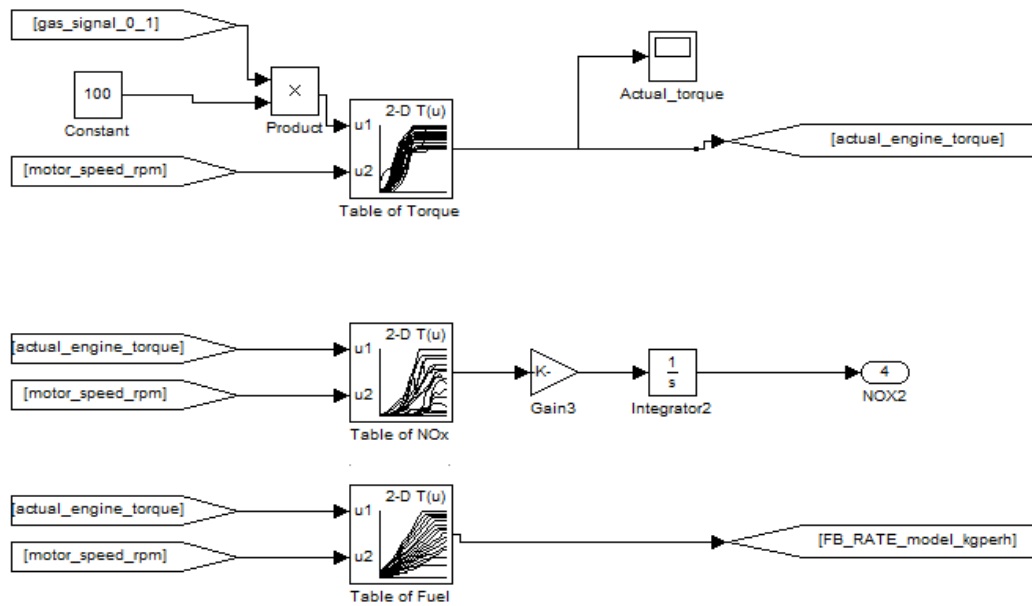
Verim aynı zamanda özgül yakıt tüketimi SFC [kg/kWh] ile hesaplanabilir (2.2). Birim yapılan iş başına tüketilen yakıtı temsil eder. Toplam yanmadaki enerjiyi bulmak için o yakıtın alt ısı değeri Q_{LHV} [MJ/kg] bilinmesi gerekir. Dizel için bu değer $43.4 MJ/kg$ 'dır.

$$\eta = \frac{3600}{SFC \cdot Q_{LHV}} \quad (2.2)$$

Bu tez için kullanılan dizel motorun verim haritası Şekil 2.1'de verilmiştir.

2.1.3 Yakıt ve emisyon hesaplanması

Gerçek zamanda yakıt tüketimi ve emisyon tahmin ve hesaplanması için birçok yöntem vardır. Hibrit araç tasarım ve analizi için genellikle nümerik modellerden veya önceden alınmış motor verilerinden hesaplanan 2 boyutlu tablolardan yararlanılarak hesaplanır. Şekil 2.2' de Simulink modelinde kullanılan tablolar görülmektedir. Motor torku, motor hızına ve verilen pedal seviyesine bağlıdır. Yakıt modeli ise kg/h birimiyle o anki tork ve motor hızını giriş olarak alır. Emisyon çıkış değerleri ise en basitiyle motor tork ve hız değerlerine bağlıdır. Bu modeller oluşturulurken İYM'nin kalibrasyon değerlerinin sabit olduğu varsayılmıştır.



Şekil 2.2 : Dizel motor harita tabanlı modeli.

2.2 Elektrik Motoru Modeli

Elektrik motoru elektrikli ve hibrit araçlarda en önemli parçalardan biridir. Yüksek verimli, düşük maliyetli ve uzun ömürlü olmaları sebebiyle, uygulamada en çok, fırçasız doğru akım motoru ve asenkron motorlar görülmektedir.

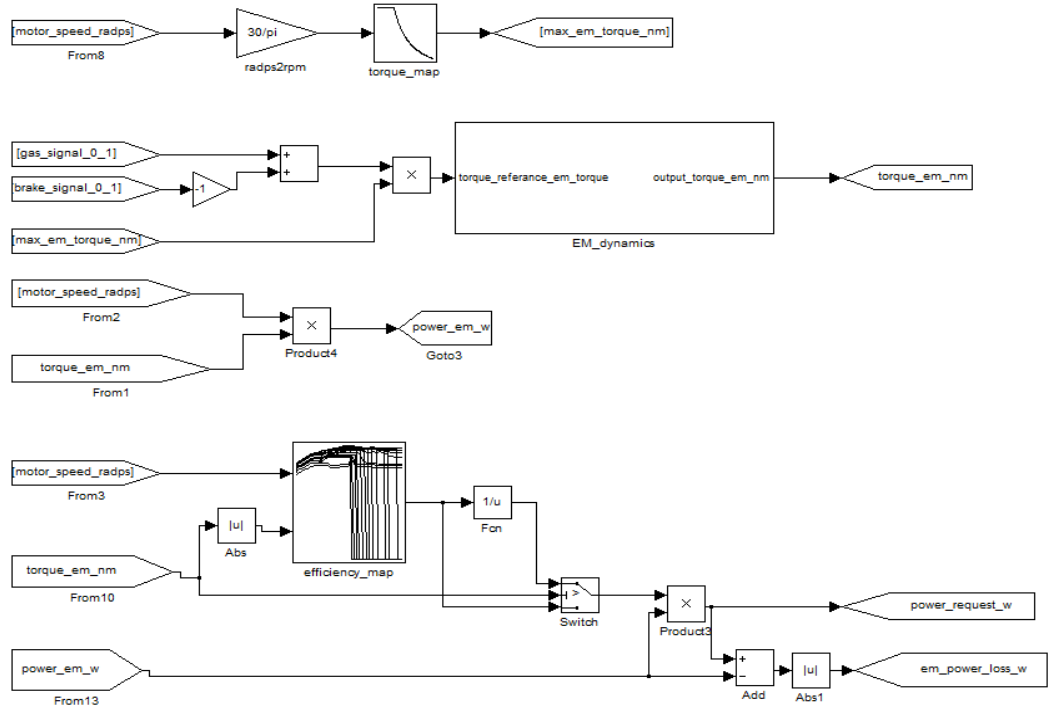
AC motorlarda, rotor akımı dönen stator manyetik alanında endüklenir. Buna bağlı olarak da rotor manyetik alanı oluşur. Eğer rotor dönüş hızı ve stator manyetik alanının dönüş hızı arasında fark varsa, rotor manyetik alanı ve dönen stator manyetik alanı etkiye girer. Böylece, iki manyetik alan arasındaki hız farkı rotorun dönmesini sağlar. Bu özelliğiyle AC motorlar asenkron motor olarak da adlandırılırlar. Öte yandan doğru akım motorlarında akım ve tork, gerilim ve hız arasında lineer bir ilişki vardır. Bu yüzden değişen batarya şarj durumlarına göre çalışma noktaları değişebilir. Bu sorunu aşmak için DC/DC çevirici kullanmak gerekir. Aynı şekilde asenkron motorlarda alternatif akım üretebilmek için DC/AC evirici kullanmak gerekir.

2.2.1 Güç ve verim ilişkisi

Hangi tür motor kullanıldığından bağımsız olarak sistem performans analizinde ve benzetim sonuçlarında aynı elektriksel ve mekaniksel tavırları vermektedir. Bir elektrik motorunda güç, motor radyan (rad/s) hızının ve torkunun çarpımına eşittir. Eğer motor elektrik harcıyorsa tork üretiyorsa güç verime (η_{mot}) bölünür. Eğer rejeneratif moddaysa ve elektrik üretiyorsa güç verimle (η_{mot}) çarpılır.

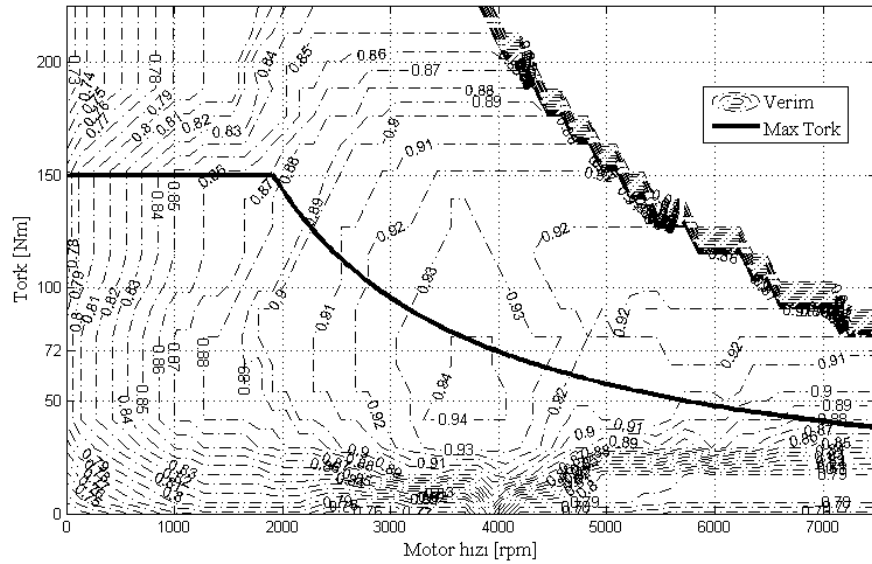
$$P_{istenen} = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{\min(T_{istenen}, T_{max}) * \omega_{mot}}{\eta_{mot}} & T_{istenen} > 0 \\ \min(T_{istenen}, T_{max}) * \omega_{mot} * \eta_{mot} & T_{istenen} < 0 \end{array} \right\} \quad (2.3)$$

Şekil 2.3'de yukarıda tanımlanan eşitliğin (2.3) Simulink modeline dönüştürülmüş hali görülmektedir. $P_{istenen}$ istenen tork ve hız değerlerini elde etmek için bataryadan istenen gerekli güçtür. Maksimum tork (T_{max}), motor hızına (ω_{mot}) göre değişir. Modelde bir arama tablosu kullanılarak o an ki motor hızında elde edilebilecek maksimum tork elde edilir. $T_{istenen}$, gaz ve fren pedal seviyelerine göre T_{max} 'ın oranıdır. Modeldeki gaz ve fren değerleri sürücü modeli tarafından bir PI kontrolör ile bulunur.



Şekil 2.3 : Elektrik motoru modeli.

Aşağıdaki Şekil 2.4’te elektrikli motorun verim eşdeğer eğrileri ve maksimum tork eğrisi görülmektedir.



Şekil 2.4 : Elektrikli motor modeli.

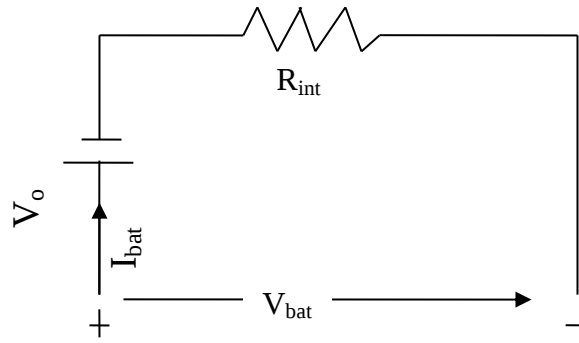
2.3 Batarya Sistemi Modeli

Menzil uzatmalı elektrikli araçlardaki bataryaların en önemli fonksiyonu kimyasal enerjiyi elektriğe, elektriksel enerjiyi kimyasal enerjiye çevirebilmeleridir.

Depolanan enerji rejeneratif frenlenmeyle veya elektrik şebekesi ile sağlanabilir. Bir bataryanın özellikleri uygulamadaki hibrit aracın maksimum hızı, ivmelenme zamanı ve menzil özelliklerine göre değişebilir. Fakat her zaman güvenilir, yüksek verimli ve düşük maliyetli olması beklenir. Batarya tasarımı, kapasite [Ah], maksimum akım [A], maksimum ve minimum gerilim [V], maksimum ve minimum şarj durumu *SOC* göz önüne alınarak yapılır.

Son zamanlarda batarya teknolojisi büyük bir hızla gelişmiş ve yüksek performanslı bataryalar üretilmiştir. Kurşun-asit, nikel-kadmiyum, nikel-metal hidrit bataryalar kullanılan batarya tipleri arasındaydı, fakat son zamanlarda lityum metal teknolojisindeki gelişmelerle hibrit ve elektrikli araçlarda lityum bazlı bataryalar kullanılmaya başladı. Lityum bazlı bataryalar yüksek açık devre voltajına (4V), yüksek enerji yoğunluğu (200 Wh/L) ve yüksek özgül enerjiye (250Wh/kg) sahiptir. -30°C'den 50°C'ye kadar çalışma koşulları vardır. Fazla şarj ve deşarj durumlarını engellemek için elektriksel bir önlem almak gerekir. Aynı zamanda fazla ısınma ve yüksek basınç korumaları gerekir.

Şekil 2.5'te gösterilen eşdeğer elektrik devresi, bataryanın terminalleri arasındaki gerilim ve akımın ilişkisinin elektriksel modellenmesidir. V_o açık devre gerilimidir. R_{int} eşdeğer iç direnç değeridir ve *SOC* durumuna ve sıcaklığa göre değişen dinamik bir değerdir.



Şekil 2.5 : Batarya eş değeri devresi.

Terminal gerilimi:

$$V_{bat} = V_o + R_{int} \cdot I_{bat} \quad (2.4)$$

Açık devre voltajı (Sıcaklık T sabit kabul edilmiştir.):

$$V_o = f(SOC, T) \quad (2.5)$$

İç direnç:

$$R_{int} = f(SOC, T) \quad (2.6)$$

Güç:

$$P_{inverter} = I_{bat} \cdot V_{bat} \quad (2.7)$$

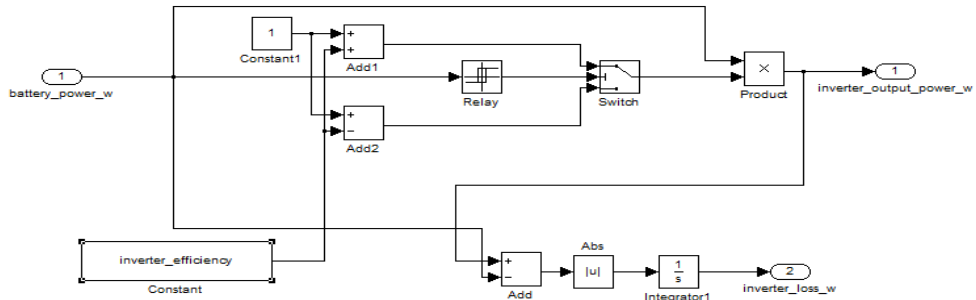
Batarya şarj durumu (SOC):

$$SOC(t) = SOC(t_0) + \frac{1}{Cap_{Ah} \cdot 3600} \int_{t_0}^t I_{bat} dt \quad (2.8)$$

DC/DC çevirici veya DC/AC evirici kullanılması durumunda bataryadan alınan güçte bir kayıp gerçekleşecektir. Şekil 2.6'da evirici verimi modellenmiştir. Şekil 2.6'daki *battery_power_w* değişkeni (P_{bat}) bataryadan istenen net güçtür. Bu durumda 2.3'te belirtildiği gibi bataryanın nihai harcaması gereken güç bulunur.

$$P_{inverter} = \begin{cases} P_{bat} \cdot (1 + \eta_{inv}) & P_{bat} \geq 0 \\ P_{bat} \cdot (1 - \eta_{inv}) & P_{bat} < 0 \end{cases} \quad (2.9)$$

Bataryanın termal dinamikleri bu tez kapsamında incelenmemiştir ve sıcaklık sabit alınmıştır.

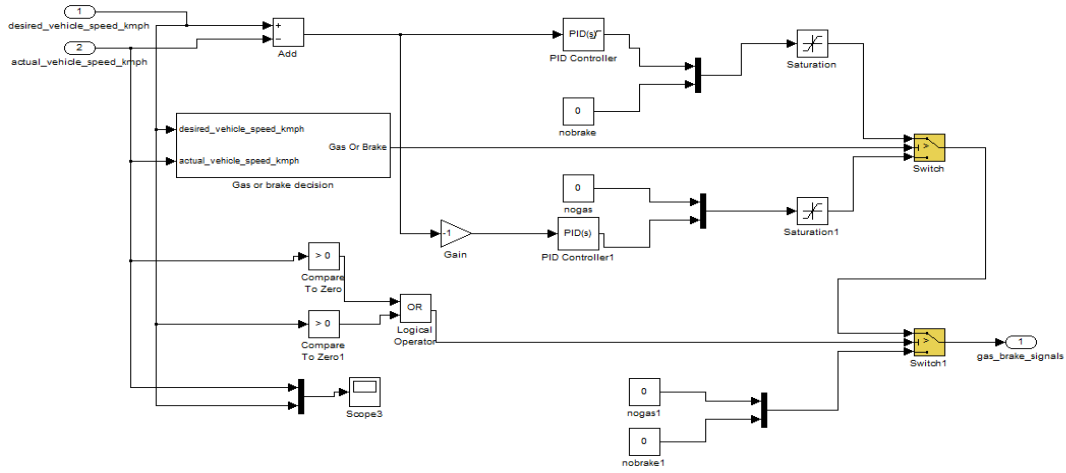


Şekil 2.6 : DC/AC evirici modeli.

2.4 Sürücü Modeli

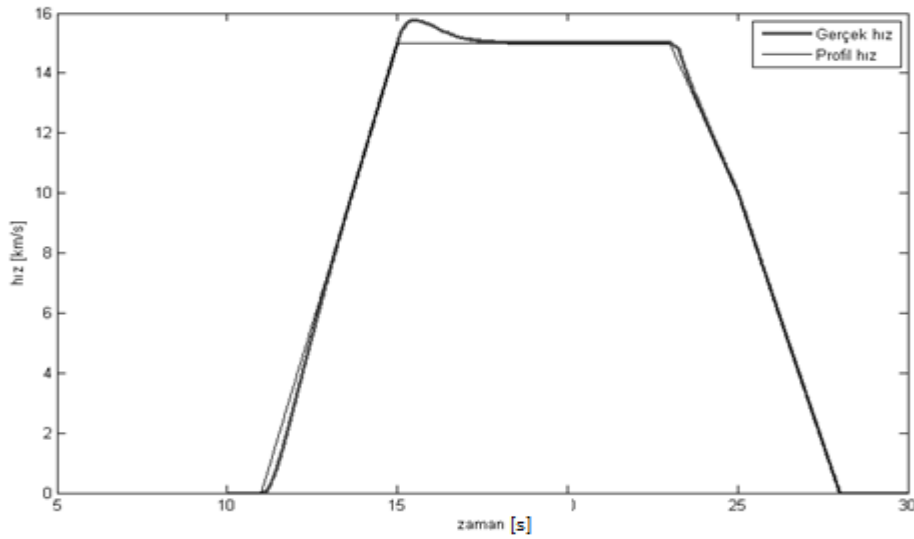
Araç modelinin belli bir sürüş düzenini otomatik takip edebilmesi için bir sürücü modeline ihtiyaç vardır. Bu model, önceden verilen hız profilini aynı ivmelenmeyle takip etmelidir. Şekil 2.7'de bu tez için tasarlanmış olan sürücü modeli vardır. Bir blok yardımıyla ilk önce gaz ya da fren pedallarından hangisi uygulanacağı

belirlenir. Daha sonra istenen hız profili ile gerçek hız değeri karşılaştırılıp, PI kontrolör bloğu uygulanacak gaz veya pedal değerini sağlar. PID (D=0) değerleri



Şekil 2.7 : Sürücü modeli

araç modelindeki parameterler değıştikçe değıştirilmelidir. Çünkü kontrolör bütün sistem içerisinde bağılı çalışmaktadır. Şekil 2.8’de verilen örnek hız profili ve aracının hız grafiğı görölmektedir.

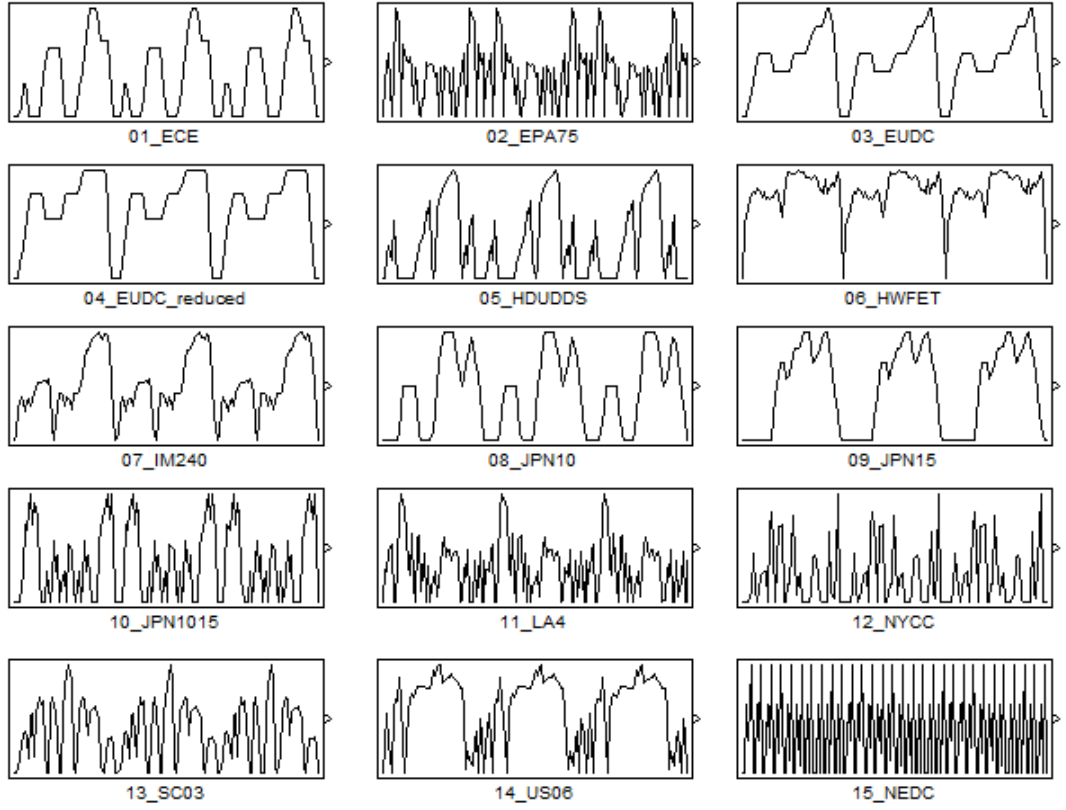


Şekil 2.8 : Hız profili ve gerçek hız grafiğı.

2.5 Sürüş Çevrim Modelleri

Bir sürüş çevrimi, bir aracın hız bilgisini içeren bir seri bilgi noktasıdır. Farklı ülkeler ve organizasyonlar tarafından araçların yakıt ve emisyon performanslarını denetlemek için üretilmiştir. İki çeşit sürüş çevrimi vardır. Geçici çevrimler, yoldaki hız değışikliklerini içerir ve bunun sonuçlarını gözler. Kalıcı çevrimler ise sabit

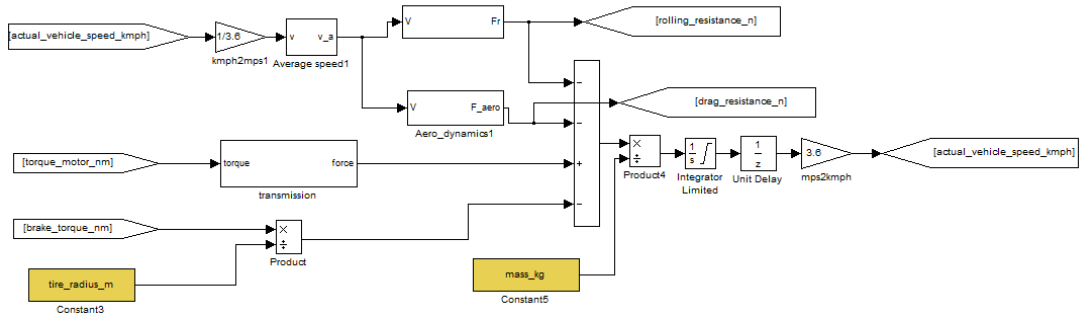
hızdaki durumları gözler. American FTP-75 geçici çevrime, NEDC kalıcı çevrime örnektir. Şekil 2.9’ da diğer sürüş çevrimleri ve hız profilleri görülmektedir. ECE, EUDC, EUDC_reduced, NEDC Avrupa ülkeleri otoriteleri; EPA_75, LA4, NYCC, US06, HWFET, IM240 ve SC03 Amerika otoriteleri; JPN10, JPN15, JPN1015 Japonya otoriteleri tarafından kabul edilen sürüş çevrimleridir.



Şekil 2.9 : Uluslararası tanımlanmış sürüş çevrimleri.

3. MENZİLİ UZATILMIŞ ELEKTRİKLİ ARAÇ MODELİ

Yakıt ve emisyon optimizasyon çalışmalarını sağlıklı yapabilmek için sistem bileşenlerinin modellerinin birbirleriyle ilişkilerinin iyi kurulması ve araç dinamiğinin doğru modellenmiş olması gerekir. Araç dinamiğini etkileyen iki temel kuvvet vardır. Biri aracın hareket etmesini sağlayan çekiş kuvvetidir. Bu çekiş kuvvetini menzil uzatmalı hibrit elektrikli araçlarda elektrik motoru sağlar. Bir diğeri ise, bu çekiş kuvvetinin aşması gerektiği kuvvetler toplamıdır. Bunlar, yuvarlanma direnci, aerodinamik sürtünme ve aracın hızlanması için gerekli ivmedir. Bu tezde menzil boyunca eğimin 0 olduğu varsayılmıştır. Şekil 3.1’de araç hızının bu kuvvetler altında nasıl hesaplandığı Simulink modeli üzerinde görülmektedir.



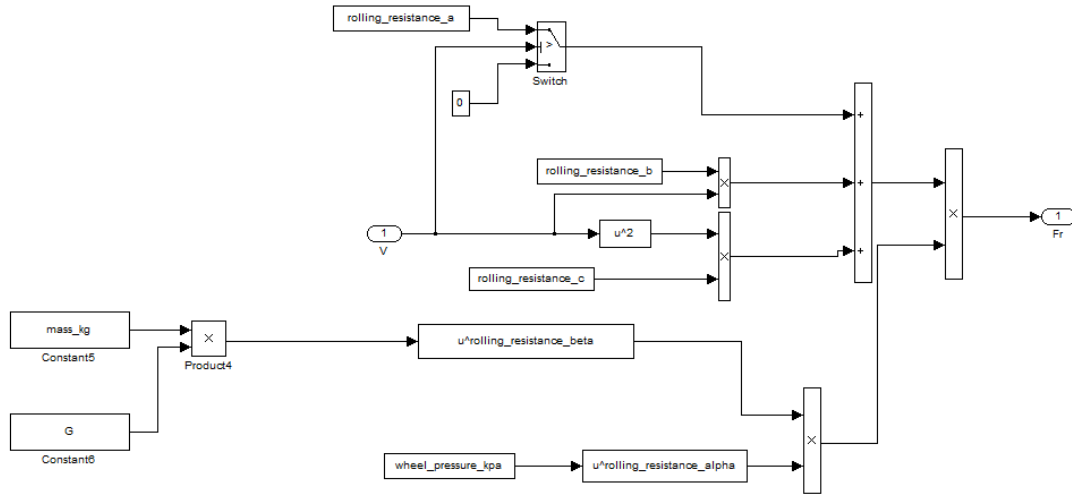
Şekil 3.1 : Araç dinamiği Simulink modeli.

3.1 Yuvarlanma Direnç Kuvveti

Yuvarlanma direnci tekerleklerdeki histeresis kayıplardan kaynaklanır. Rulman ve vites sistemindeki sürtünmenin de yuvarlanma direncine etkisi vardır. Yuvarlanma direnci katsayısı (μ_{rr}) en çok tekerlek tipi ve basıncına, az da olsa araç hızına bağlıdır. Eğer tekerlekler yüksek basınçlı bir şekilde şişirilirse aracın performansı artar fakat daha az konforlu olur. (3.1)’ de yuvarlanma direncinin en genel formülasyonu verilmektedir.

$$F_{rr} = \mu_{rr} \cdot m \cdot g \quad (3.1)$$

En genel haliyle yuvarlanma direnci modeli Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2 : Aerodinamik sürtünme modeli.

$$\mu_{rr} = P_{tire} \cdot \beta \cdot \alpha \cdot (a + v \cdot b + c \cdot v^2) \quad (3.2)$$

P_{tire} tekerlek basıncıdır ve α tekerlek basıncının, β araç ağırlığının, a, b ve c araç hızının (v) μ_{rr} üzerindeki etki katsayılarıdır.

3.2 Aerodinamik Sürtünme Kuvveti

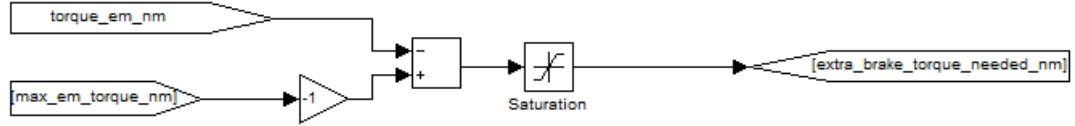
Bu kuvvet, aracın hava içerisinde gitmesiyle oluşan direnç kuvvetidir. En çok aracın ön yüzey alanına, şekline bağlıdır. Fonksiyonu 3.2'deki gibidir.

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot C_d \cdot v^2 \quad (3.3)$$

ρ havanın yoğunluğu, A aracın ön alanı, C_d aerodinamik sürtünme katsayısı ve v aracın hızıdır. Aerodinamik sürtünme katsayısı (C_d) iyi bir araç tasarımı ile düşürülebilir. Hava yoğunluğu sıcaklık, yükseklik ve nem ile değişir.

3.3 Ekstra Frenleme Kuvveti

Aracın hızını azaltmak istendiği durumlarda elektrik motoru frenleme etkisi yaratabilir. Fakat bazı durumlarda elektrik motorunun verebileceği maksimum frenleme torkundan fazla frenleme torku gerekebilir. Bu durumlarda direk tekerleklerle mekaniksel frenleme kuvveti uygulanır. Şekil 3.3'te Simulink modeli verilmiştir.



Şekil 3.3 : Ekstra frenleme modeli.

Formülasyonu:

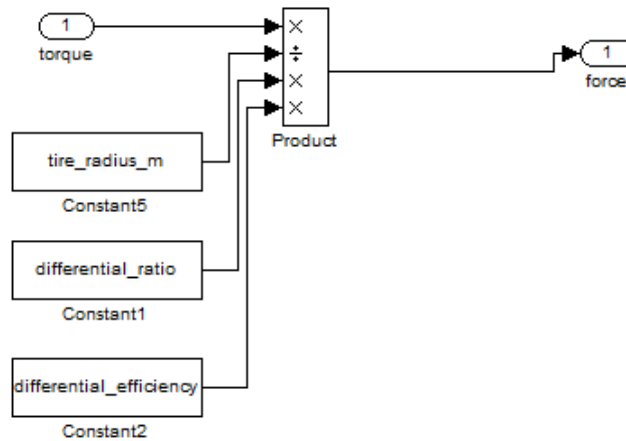
$$F_{fren} = \frac{T_{fren}}{r_{tekerlek}} \quad (3.4)$$

3.4 Çekiş Kuvveti

Menzili uzatılmış elektrikli araçlarda çekiş gücü elektrik motoru tarafından sağlanır. Elektrik motorunun ürettiği tork (T_{em}) araca ivmeleme sağlaması için yukarıda anlatılan bütün kuvvetlerin üstesinden gelmesi gerekir. Elektrik motorunun uygulayacağı kuvvet tekerlek çapına, diferansiyel oranına ve diferansiyel verimine bağlıdır (3.3).

$$F_{em} = T_{em} \cdot \frac{r_{diferansiyel} \cdot \eta_{diferansiyel}}{r_{tekerlek}} \quad (3.5)$$

Şekil 3.4 çekiş kuvvetinin Simulink modelidir.



Şekil 3.4 : Çekiş kuvveti.

3.5 Aracın İvmelenmesi

Bir aracın ivmelenmesi için (3.6)'e göre bir kuvvet uygulanması gerekir. Eğer bu kuvvet positif yöndeysse araç hızlanır negatif yöndeysse araç yavaşlar.

$$F_{toplamlam} = m \cdot a \quad (3.6)$$

Bir araca etkileyen kuvvetler yukarıda anlatılmış. Kuvvetler toplamı:

$$F_{toplamlam} = F_{em} - F_{rr} - F_{ad} - F_{brake} \quad (3.7)$$

İvmelenme:

$$a = \frac{F_{toplamlam}}{m} = \frac{F_{em} - F_{rr} - F_{ad} - F_{brake}}{m} \quad (3.8)$$

Öyleyse aracın hızı:

$$v = \int a \cdot dt = \int \frac{F_{em} - F_{rr} - F_{ad} - F_{brake}}{m} \cdot dt \quad (3.9)$$

olarak hesaplanır.

4. NOX VE YAKIT OPTİMİZASYONU

Menzili uzatılmış seri hibrit elektrikli araçlarda çekiş gücü her zaman elektrik motoru tarafından sağlanır. Elektrik motoruna enerji uygun bir batarya sistemi ile sağlanır. Fakat bazı durumlarda sürücü batarya kapasitesinden fazla menzil gitmek isteyebilir. Menzil uzatıcılı elektrikli araçlarda batarya belli bir şarj durumuna düştüğünde GENSET sistemi devreye girer ve kontrol stratejisinin belirlediği sınırlar içerisinde SOC sabit tutulmaya çalışılır. GENSET sisteminin nasıl ve ne zaman çalışacağını kontrol stratejisi belirler. Uygulamalarda farklı kontrol stratejileri vardır. Bu tez kapsamında gerçek zamanda uygulanabilecek iki çeşit kontrol stratejisi incelenecektir. Biri termostat kontrol stratejisi, bir diğeri ise eş değer yakıt tüketimi stratejisidir.

4.1 Giriş

Menzil uzatmalı elektrik araçlarda enerji yönetim sistemlerinin temel amacı yakıt ekonomisini maksimum yapıp emisyon salımını minimum yapmaktır. Bunu matematiksel olarak ifade etmek gerekirse amaç fonksiyonu J 'yi belli SOC değerini belli bir aralıkta tutmaya çalışarak minimize etmektir **(4.1)**.

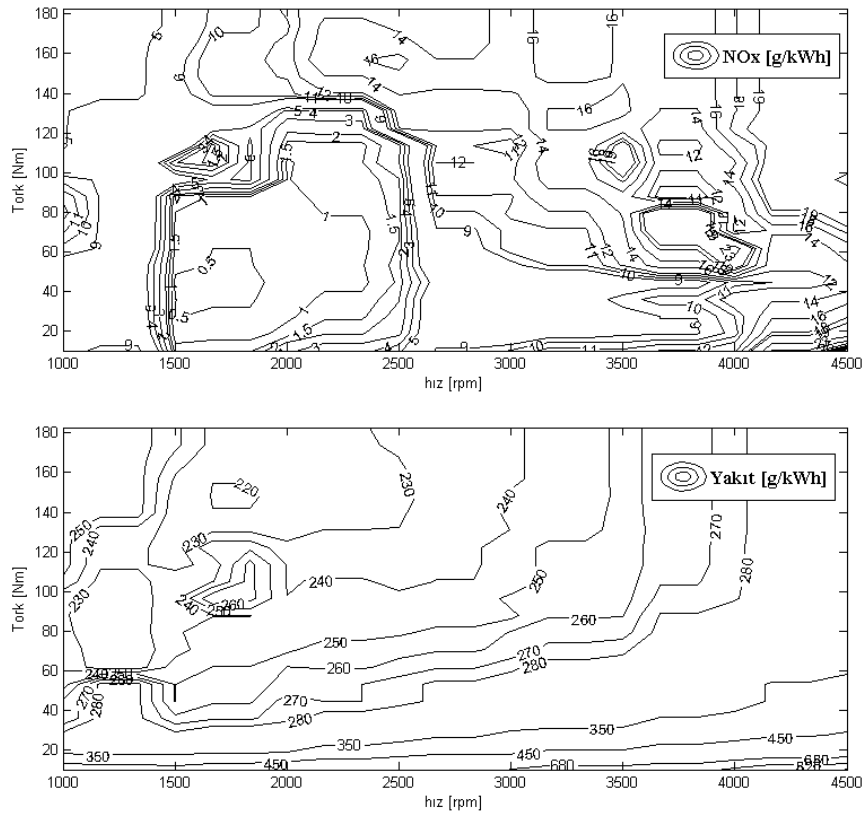
$$J = \int_{t=0}^{t_{final}} \alpha \cdot \dot{m}_{dizel} + \beta \cdot \dot{m}_{NOx} \quad (4.1)$$

GENSET'in farklı çalışma noktaları için farklı J değerleri bulunabilir fakat en optimum farklı çalışma noktalarının ortak kullanılmasıyla en küçük J değeri bulunmalıdır. Bunun için önce yakıt için ve NOx için ayrı ayrı bütün çalışma noktaları için değerlerinin bulunması gerekir. Ortak bir amaç fonksiyonu oluşturmak için normalize edilir, yakıt ve NOx için istenen ağırlık değerleri verilir. Böylece ortak bir maliyet fonksiyonu oluşturulabilir. GENSET için çalışma noktaları belirli güç aralıklarıyla ayrılır ve elektrik motorunun verim haritası kullanılarak her güç noktası için optimum hız ve tork noktası bulunur. Bu problem altın oran optimizasyon metodu ile çözülür. Eş değer yakıt tüketim optimizasyonu, ECMS,

optimize edilmiş GENSET sisteminin ne kadar güç üreteceğini maliyet fonksiyonunu kullanarak belirler. Sonuçları, klasik termostat metodu ile karşılaştırabiliriz.

4.2 Yakıt ve NOx Maliyet Haritalarının Oluşturulması

Yakıt ve NOx maliyet haritalarının üretilmesi için içten yanmalı motorun yakıt ve NOx haritaları kullanılır. Şekil 4.1’de yakıt tüketimi ve NOx haritalarının [gr/kWh] cinsinden grafiği vardır.



Şekil 4.1 : Yakıt ve Nox haritaları.

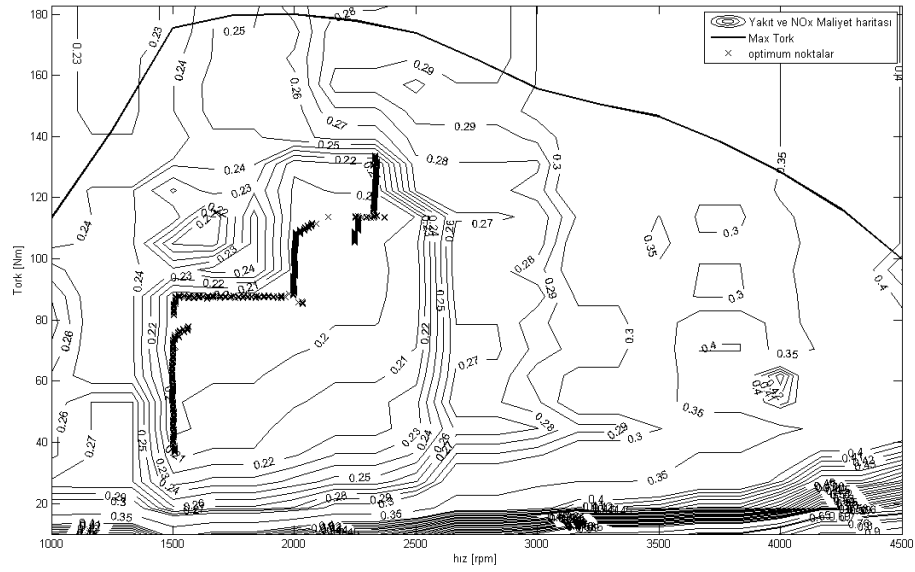
Fakat yakıt ve emisyon haritaları farklı birim ve ölçekle olabileceği için, normalizasyon ve ağırlık faktörü uygulanır (4.2).

$$C_{normalized}(\omega, T) = \frac{C(\omega, T)}{\max(C(\omega, T))} \quad (4.2)$$

(4.2)’deki normalizasyon fonksiyonu uygulandıktan sonra toplam maliyet haritası elde edilir. a ve b ağırlık faktörleridir.

$$C_f(\omega, T) = a \cdot C_{yakıt_n} + b \cdot C_{NOx_n} \quad (4.3)$$

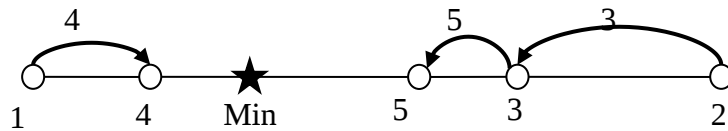
Şekil 4.2’de a’nın 0,75 ve b’nin 0,25 olduğu durumda hesaplanan toplam maliyet haritası görülmektedir.



Şekil 4.2 : Yakıt ve NOx maliyet haritaları.

4.3 Altın Oran Optimizasyonu

Altın oran optimizasyon metodu tek boyutlu problemleri çözer. Eğer iki nokta arasındaki uzunluk L ise (a ve c noktaları), aranacak optimal orta nokta b , öyle ki a noktasından 0,618, c noktasından 0,382 oranında uzaktadır. Antik Yunanistan’da bu orana altın oran adı verilmiştir. Altın oran optimizasyon metodu ise bu oranı temel

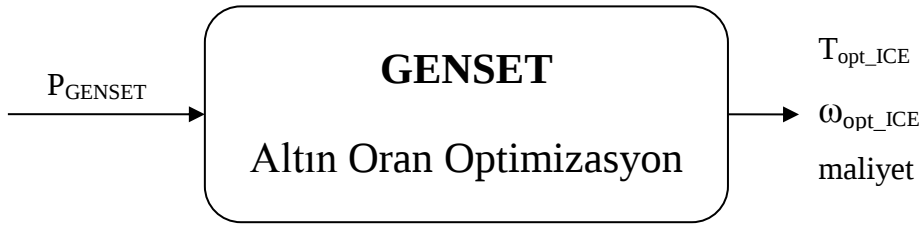


Şekil 4.3 : Altın oran optimizasyonu.

alır. Şekil 4.3’te bu metodun bir gösterimi vardır ve minimum nokta 1 ve 2 noktaları arasındadır. Altın oran optimizasyon metoduna göre ilk arama noktası 3, 2. noktadan 0,382 oranında ve 1. noktadan 0,618 oranında uzaktadır. 3’te hesaplanan amaç fonksiyonu 2’de hesaplanandan daha iyi olduğu için 3 noktası 2’nin yerini alır. 1. noktadan 0,382 oranında, 3. noktadan 0,618 oranında uzaklıkta olan 4. noktanın

amaç fonksiyonu hesaplanır ve 4, 1'in yerini alır. Bir sonraki adımda 5 için aynı metod tekrarlanır ve 3'ün yerini alır. Altın oran minimum noktaya ulaşınca kadar devam edilir.

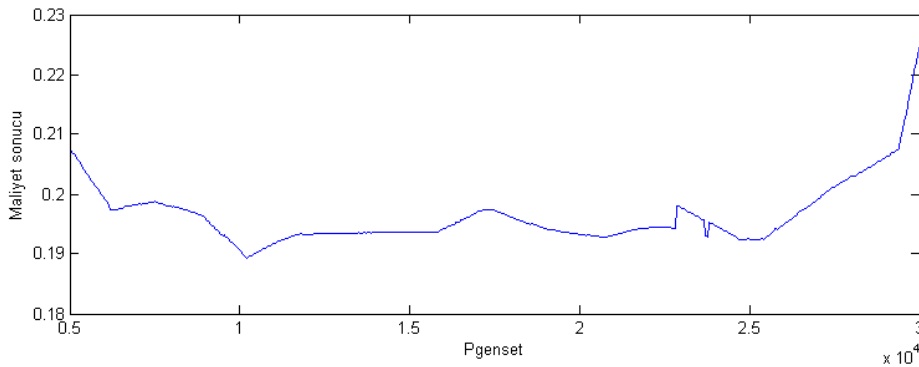
GENSET'den istenen gücü üretebilmek için optimum tork ve hız değerleri altın oran optimizasyon metodu kullanılarak bulunur. Amaç fonksiyonu ise jeneratörün verim haritası ve içten yanmalı motorun maliyet haritaları kullanılarak elde edilir. Bu metodda önemli nokta, İYM torkunun jeneratör verimiyle çarpılmasıdır. Çünkü GENSET'in üreteceği güç, elektrik motorunun üreteceği tork ile elde edilebilir. Fakat bulunan optimum noktalar İYM torku ve hızıdır. Şekil 4.4 optimizasyonun giriş ve çıkışlarını göstermektedir.



Şekil 4.4 : GENSET optimizasyonu.

5000W ve 3000W arasında, 50W aralıklı her P_{GENSET} güç değeri için Şekil 4.4'teki fonksiyon ile minimum maliyet veren T_{opt_ICE} ve ω_{opt_ICE} bulunur. Her P_{GENSET} verileri daha sonra eş değer yakıt tüketimi stratejisinde kullanılmak üzere kaydedilir. Aranılan optimum noktaların içten yanmalı motorun ve jeneratörün çalışma bölgelerinde olduklarına dikkat edilmeli ve fonksiyona bunlar kısıt olarak girilmelidir. Şekil 4.2'de bulunan optimum noktalar 'x' ile gösterilmiştir.

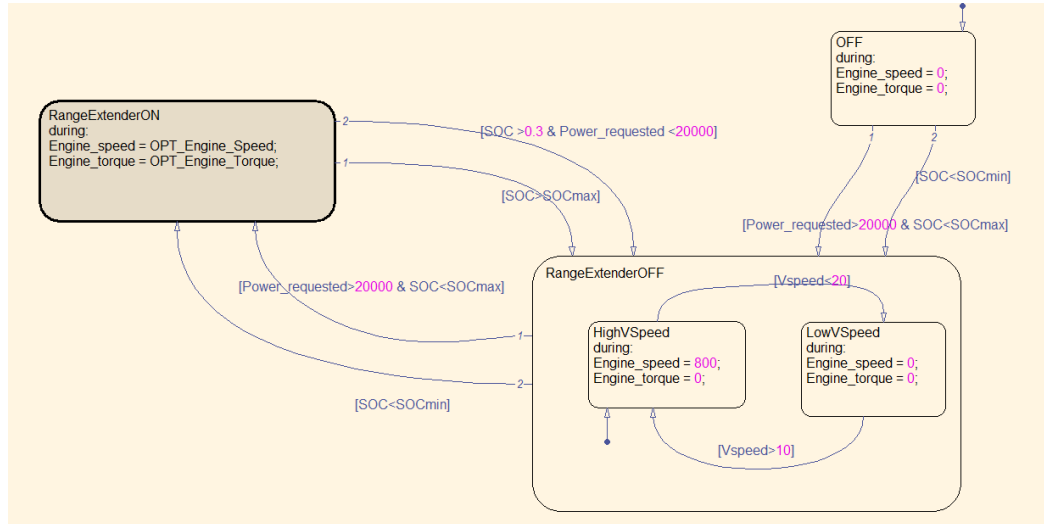
Şekil 4.5'te ise eş değer yakıt tüketimi stratejisinde kullanılacak olan her P_{GENSET} değeri için maliyet değerlerinin grafiği vardır.



Şekil 4.5 : Her P_{GENSET} için en düşük maliyet sonucu grafiği.

4.4 Termostat Metodu

Termostat metodunda iki durum vardır. Birincisi menzil uzatıcının kapalı olduğu durum, ikincisi menzil uzatıcının açık olduğu durumdur. GENSET'in tek bir çalışma noktası vardır. Motor ve jeneratör ikilisinin en verimli olduğu nokta seçilmelidir. Şekil 4.5'teki grafiğe göre maliyetin en düşük olduğu ve yeterli gücü veren bu nokta P_{GENSET} 'in 27,5kW, T_{OPT} 'nin 114Nm, $\omega_{\text{opt_ICE}}$ 'nin 2290 rad/s olduğu noktadır. Şekil 4.6'da StateFlow modeli görülmektedir. Batarya tam şarjda çalışmaya başladığında menzil uzatma sistemi tamamen kapalıdır ve iki durumda çalışmaya başlayacaktır. SOC, SOC_{min} 'den küçükse veya SOC, SOC_{max} 'den küçük ve $P_{\text{req}} > 20\text{kW}$ 'dan büyük olduğunda GENSET çalışmaya başlayacaktır. Yol boyunca GENSET, SOC değerini SOC_{min} ve SOC_{max} arasında tutmaya devam edecektir.



Şekil 4.6 : Termostat metodu durum grafiği.

Menzil uzatmalı sistem devreye girdiğinde Şekil 4.6'daki algoritmaya göre AÇIK ve KAPALI duruma geçer. Araç hızına göre rölanti durumundan içten yanmalı motor kapatılır.

4.5 Eşdeğer Yakıt Tüketimi Stratejisi

Eşdeğer yakıt tüketimi stratejisi, ECMS, metodunun ana amacı global optimizasyon problemini lokal optimizasyon problemine çevirip, eş değer yakıt tüketimini her anda minimize etmektir. Eşdeğer yakıt tüketimi, içten yanmalı motorun yakıt tüketiminin ve batarya enerjisinin çevrilmiş değerinin toplamıdır. Batarya enerjisi yakıt tüketimine bir eş değer faktör ile çarpılmasıyla çevrilir. Tipik kontrol stratejisi

korunan şarj yani, yol boyunca ortalama batarya kullanımı 0 olmasıdır. ECMS’de iki önemli durum vardır. Birincisi, batarya şarj olduğunda gelecekte yakıt tüketimini azaltarak enerji tüketimini azaltır. İkincisi ise, bataryanın deşarj durumuysa gelecekte kompanze edilmelidir. Kompanze edilecek enerji direk içten yanmalı motor ile yapılabilir ya da rejeneratif frenleme ile yapılabilir. Kontrol stratejisinin korunan şarj özelliği net elektrik enerjisi akışının sıfır olmasını sağlar.

Menzili uzatılmış elektrikli araçlarda çekiş gücü elektrik motorundan sağlanır. Elektrik motorunun bataryadan istediği güç P_{req} tanımı (4.4)’te verilmiştir. GENSET eğer şarj durumundaysa P_{bat} negatif işaretli, deşarj durumundaysa pozitif işaretli olur.

$$P_{req} = P_{GENSET} + P_{bat} \quad (4.4)$$

ECMS kontrol stratejisine göre maliyet fonksiyonu ise (4.5)’te verilmiştir. Maliyet fonksiyonu Şekil 4.5’teki fonksiyondur ve gücün bir fonksiyonu olup $C(P)$ olarak tanımlanmıştır.

$$C_{real} = C(P_{GENSET}) + s \cdot \text{sign}(P_{pot}) \cdot C(P_{pot}) \quad (4.5)$$

P_{pot} bataryanın üreteceği ya harcamayacağı esas güçtür. Yani evirici çıkışıdır. O yüzden şarj durumunda P_{bat} evirici verimine bölünmeli, deşarj durumunda ise evirici verimi ile çarpılmalı (4.6).

$$P_{pot} = \begin{cases} P_{bat} \cdot \eta_{de_şarj} & P_{bat} > 0 \\ \frac{P_{bat}}{\eta_{şarj}} & P_{bat} < 0 \end{cases} \quad (4.6)$$

Optimizasyon problemi ise, C_{real} değerini minimum yapan P_{GENSET} değerini bulmaktır. Bu tek boyutlu bir optimizasyon problemidir ve altın oran optimizasyon metodu ile çözülebilir. Bu işlem sonucunda bulunan P_{GENSET_OPT} için çevrimdışı olarak Şekil 4.4’teki fonksiyon ile optimum çalışma noktaları değerleri alınmıştır. Yani çevrim içi olarak P_{GENSET_OPT} hesaplamak yeterli olacak ve bu güce atanan optimum tork ve hız değerleri içten GENSET kontrol ünitesinde çalıştırılacaktır. Formülasyondaki s değeri ise eş değer faktördür.

4.5.1 Eş değer faktör

Eş değer faktör çeşitli metodlarla bulunur. En basit olanı sabit bir değer kullanmaktır. Bir diğeri, önceden her çalışma noktası için değerler bulunmalı ve SOC kısıtlarına güç dağılımını aşağı ya da yukarı bir şekilde dağıtabilmelidir. Üçüncü olarak SOC'a bağlı tanjant fonksiyonu kullanarak çevrim içi olarak anlık değişen eş değer faktördür. Dördüncü olarak adaptif tekniklerle yol tahmini yapıp eş değer faktörü hesaplamaktır. Bu tezde üçüncü grup olan SOC'a bağlı tanjant fonksiyonu kullanılarak ECMS kullanılmıştır [10]. SOC_{low} ve SOC_{high} eş değer yakıt tüketimi stratejisi için belirlenen batarya şarj durumu ekstrem aralıklarıdır.

$$s = k \cdot \tan(a \cdot SOC(t) + b) + m \quad (4.7)$$

$$a = \frac{-\pi}{SOC_{high} - SOC_{low}} \quad (4.8)$$

$$b = \frac{\pi}{2} - a \cdot SOC_{low} \quad (4.9)$$

$$k = k_p \frac{\cos^2(a \cdot SOC_{ref} + b)}{a} \quad (4.10)$$

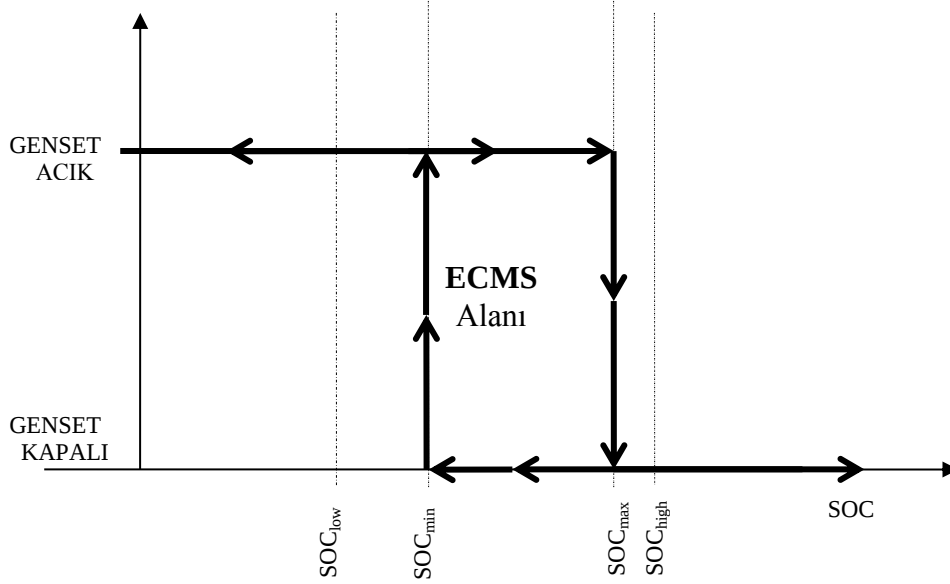
$$m = s_{ref} - k \cdot \tan(a \cdot SOC_{ref} + b) \quad (4.11)$$

Tanjant fonksiyonunun temel amacı eğer SOC düşükse elektrik enerjisinin maliyetini arttırmaktır. Aynı şekilde SOC yüksekte elektrik enerjisi maliyetini azaltmaktır. Böylelikle SOC, ekstrem SOC_{high} ve SOC_{low} arasında kalacaktır.

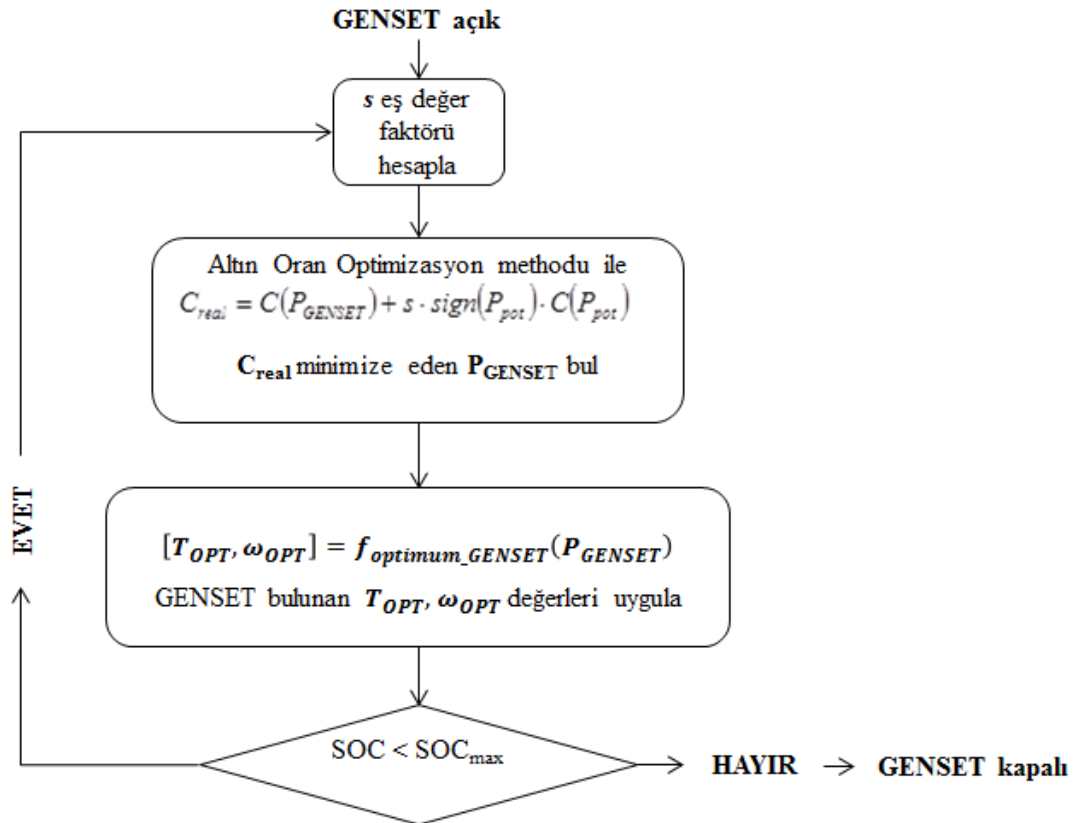
4.5.2 P_{GENSET} hesaplanması

Tam dolu şarjda hareket etmeye başlayan araçta GENSET gücünü hesaplamaya gerek yoktur. Şekil 4.7'de GENSET sisteminin ne zaman açılıp kapandığını gösteren histeresiz grafiği verilmiştir. Eşdeğer faktöründe kullanılan minimum ve maksimum SOC durumlarından farklı iki durum daha (SOC_{min} ve SOC_{max}) tanımlanmıştır. Bu değerler ekstrem SOC_{low} ve SOC_{high} değerlerine gelmesini engelleyip GENSET sistemini kapatır. GENSET sistemi Şekil 4.7'deki histeresize göre açıldığı durumlarda Şekil 4.8'deki algoritmaya göre ECMS fonksiyonu çalışır. Bu döngü benzetimde girilen belli bir periyotta her seferinde hesaplanır. O an ki SOC değerine göre s hesaplanır. Altın oran optimizasyon metodu ile C_{real} maliyetini minimum

yapan P_{GENSET} bulunur. O gücü veren optimum çalışma noktası çalıştırılır. Yükselen SOC, maksimum değerine geldiğinde GENSET kapanır.



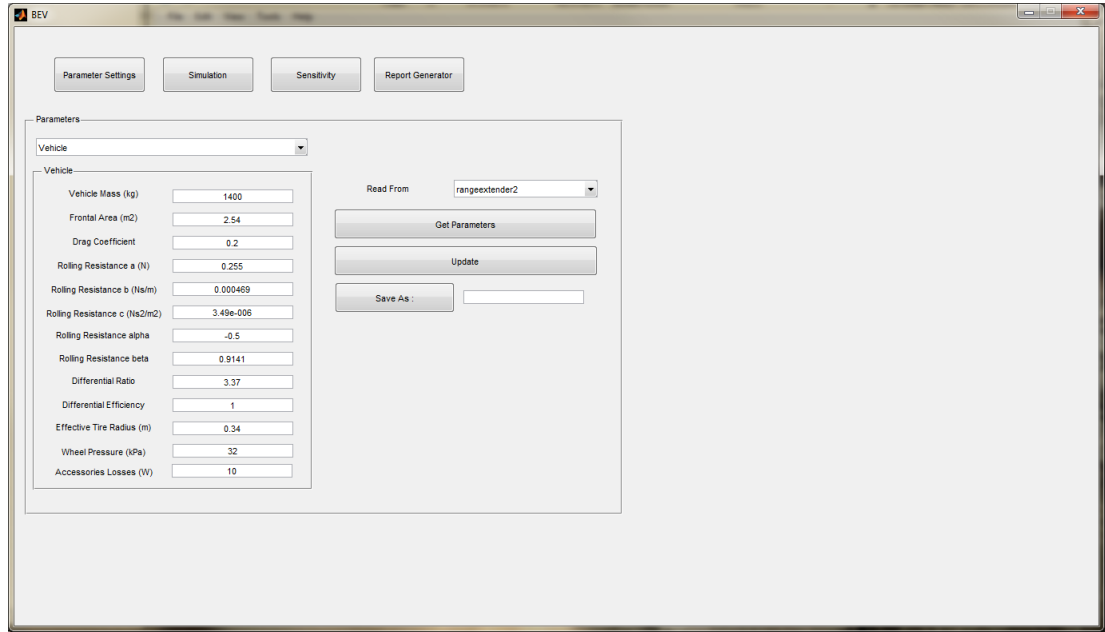
Şekil 4.7 : GENSET açık-kapalı histeresizi.



Şekil 4.8 : ECMS akış diyagramı.

5. BENZETİM SONUÇLARI

Bu tezde benzetimler MATLAB Simulink kullanılarak yapılmıştır. Ford Otosan A.Ş. ve Okan Üniversitesi ortak projesiyle oluşturulan araç modeli temel alınarak menzili uzatılmış elektrikli araç modeli oluşturulmuştur. Şekil 5.1’de bu proje kapsamında hazırlanan arayüz görülmektedir.



Şekil 5.1 : Araç modeli parametreleri için arayüz.

Benzetimler ilk önce ECMS metoduyla yapılmış karşılaştırma yapmak için termostat metodu uygulanmıştır. Modelde kullanılan sistemlerin parametreleri Çizelge 5.1, Çizelge 5.2, Çizelge 5.3, Çizelge 5.4, Çizelge 5.5’te verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Modelde kullanılan batarya parametreleri.

Batarya Parametreleri	
Maksimum akım (A)	100
Maksimum voltaj (V)	400
Minimum voltaj (V)	250
Maksimum SOC	0,9
Minimum SOC	0,1
Kapasite (Ah)	100
Çevirici verimi katsayısı (modelde kullanılan)	0,3

Çizelge 5.2 : Modelde kullanılan elektrik motoru parametreleri.

Elektrik Motoru Parametreleri	
Maksimum güç	45000 W
Maksimum tork	200 Nm

Çizelge 5.3 : Modelde kullanılan aracın parametreleri.

Araç Parametleri	
Araç kütlesi (kg)	1300
Ön alan (m ²)	2.54
Aerodinamik sürtünme katsayısı	0,2
Yuvarlanma direnci a (N)	0,255
Yuvarlanma direnci b (Ns/m)	0,000469
Yuvarlanma direnci c (Ns ² /m ²)	3,49e ⁻⁰⁰⁶
Yuvarlanma direnci α	-0,5
Yuvarlanma direnci β	0,9141
Diferansiyel oranı	3,37
Tekerlek çapı (m)	0,34

Çizelge 5.4 : Modelde kullanılan içten yanmalı motorun parametreleri.

İçten Yanmalı Motor Parametleri	
Maksimum tork	185.1 Nm @2000 rpm
Maksimum güç	5.431e ⁴ W @3750 rpm

Çizelge 5.5 : Modelde kullanılan jeneratörün parametreleri.

Elektrik Motoru Parametreleri	
Maksimum güç	30000 W
Maksimum tork	150 Nm

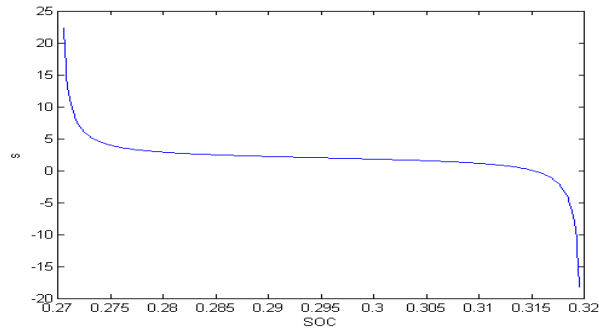
5.1 Eş Değer Yakıt Tüketimi Stratejisi

Tanjant fonksiyonuna bağlı eş değer tüketim stratejisinde s parametresinin optimum katsayılarını bulmak için birkaç benzetim sonunda S_{ref} 2, k_p 40 bulunmuştur. Çizelge 5.6'da yapılan testler görülmektedir. Şekil 5.2'ye göre SOC_{low} 0,27, SOC_{high} 0,32 alınarak, S_{ref} 2, k_p 40 değerleri için ECMS'nin açık olabileceği bütün SOC değerleri için s eş değer faktörünün alacağı grafik görülmektedir. SOC minimum değere yakın olduğunda s düşük, SOC maksimum değere yakın olduğunda s yüksek değer alıyor. Böylece potansiyel elektrik gücünün ceza maliyeti, $C(P_{pot})$, SOC yüksek olduğunda düşük, SOC düşük olduğunda yüksek oluyor. Güç dağılımı buna göre yapılıyor.

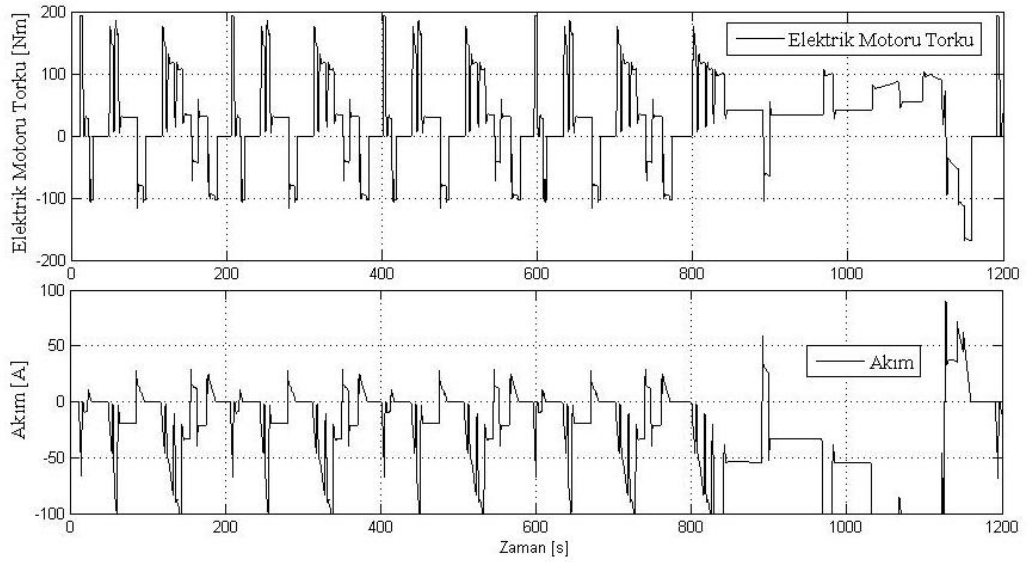
Eş değer faktör parametrelerinin belirlenmesi sürüş çevriminden bağımsız değildir. Bu yüzden farklı sürüş çevrimleri için farklı değerler elde edilebilir. Yukarıdaki değerler NEDC sürüş çevriminin 5000 saniye boyunca koşulmasıyla elde edilmiştir.

Çizelge 5.6 : S_{ref} ve k_p belirlenmesi.

S_{ref}	k_p	Yakıt (kg)	NOx (g)
2	1	3.205	58.5
2	20	3.139	47
2	30	3.13	46
2	35	3.137	45
2	40	3.085	38
2	45	3.133	44
2	50	3.136	44
2	60	3.22	60
1	40	3.40	38
2.5	40	3.147	47



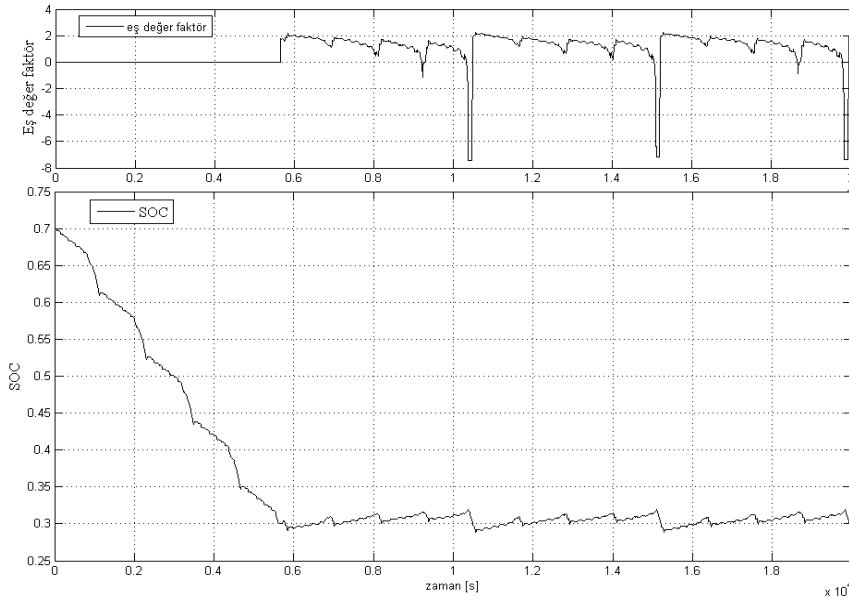
Şekil 5.2 : Eş değer faktör.



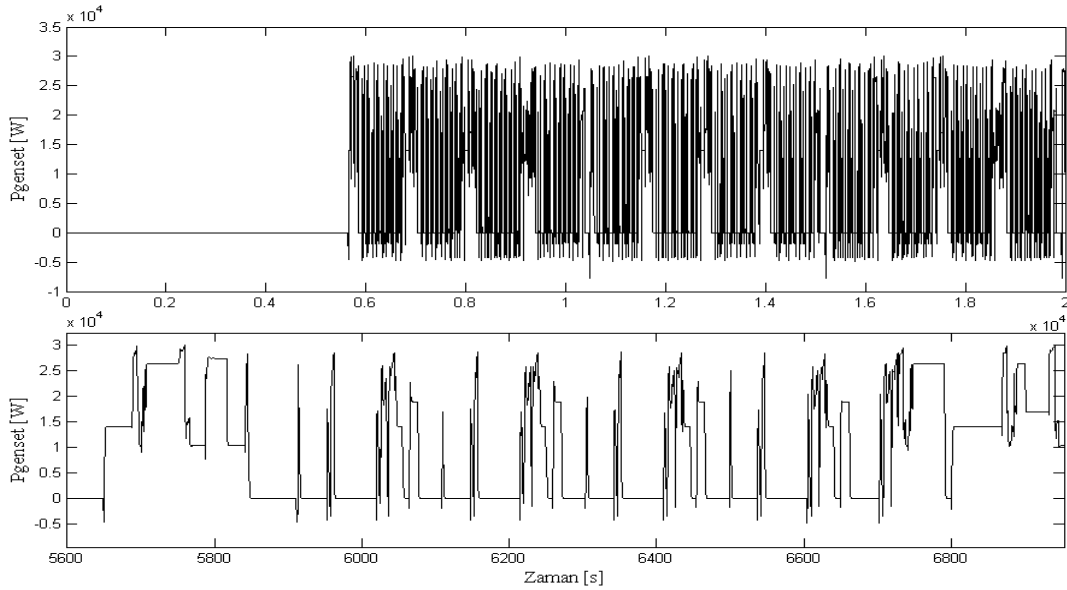
Şekil 5.3 : NEDC çevrim boyunca elektrik motoru torku ve batarya akımı.

Bir sürücün sabah %70 şarjla çalıştırdığı aracını 20000 saniye boyunca NEDC güzergahını takip ettiği bir benzetim koşulmuştur. Eş değer faktörün sonsuz değerlere ulaşmaması için GENSET sisteminin açılıp kapmasını sağlayan SOC_{min} 0,30 ve SOC_{max} 0,319 olarak alınmıştır. SOC %30'a düştüğünde GENSET çalışmaya

başlamış ve ECMS ile P_{GENSET} üretilmiştir. Şekil 5.4'te s ve SOC değerlerinin güzergah boyunca nasıl değiştiği görülmektedir. SOC azaldıkça s artmakta, SOC arttıkça s azalmaktadır. Benzetim boyunca 186,4 km gidilmiş ve 9,154 kg yakıt yakılmıştır. Bunun sonucunda 132,3g NOx oluşmuştur. Şekilde 5.3'te 1 NEDC çevrimi boyunca, elektrik motorunun ürettiği torka karşılık gelen batarya akımı görülmektedir. Rejeneratif frenlemenin olduğu zamanlarda batarya akımı pozitif olup bataryayı şarj eden akım oluşmaktadır.



Şekil 5.4 : ECMS metodunda eş değer faktör ve SOC.

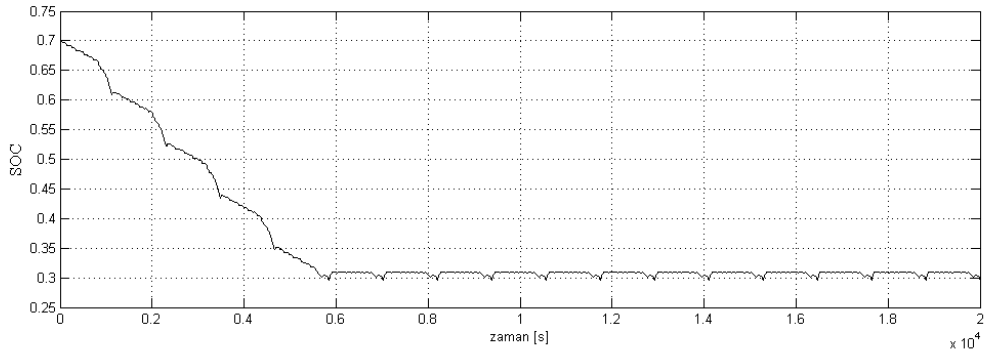


Şekil 5.5 : Benzetim boyunca ve 5600-7000 saniyeleri arasında P_{GENSET} grafiği.

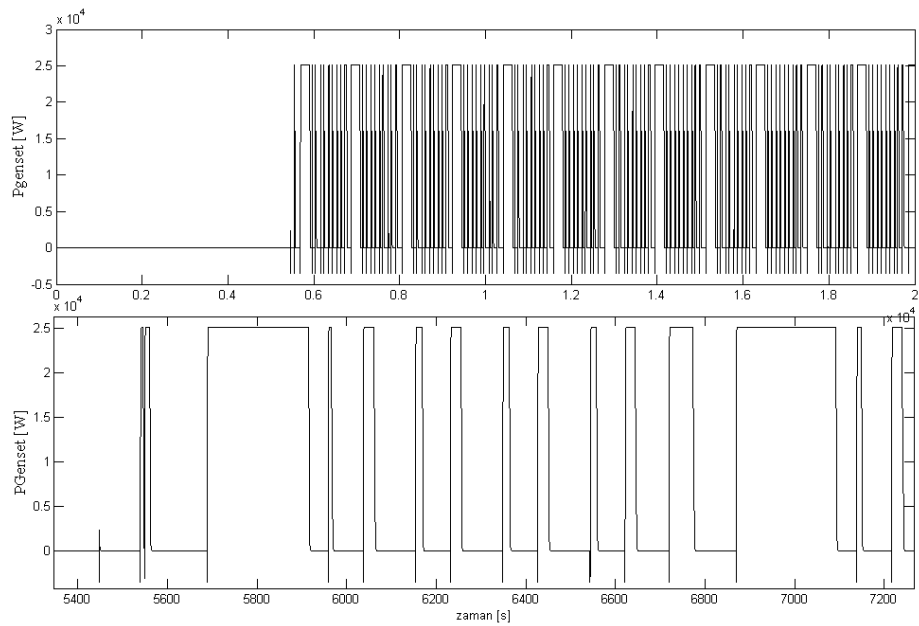
Şekil 5.5'te benzetim boyunca GENSET sisteminin ürettiği gücü görülmektedir. 5600 ve 7000 saniyeleri arasına odaklanıp ECMS tarafından hesaplanıp üretilen P_{GENSET} değerleri ayrıntılı bir şekilde görülebilir.

5.2 Termostat Metodu

ECMS metodunu karşılaştırmak için aynı koşullar altında AÇ-KAPA mantığıyla termostat metodu koşulmuştur. SOC minimum değere geldiğinde GENSET açılır ve en optimum noktada çalışır. SOC maksimum değere geldiğinde GENSET açılır. Histeresiz aç-kapa değerleri, $\text{SOC}_{\min}=0,3$ ve $\text{SOC}_{\max}=0,319$, olmak üzere benzetim sonucunda çıkan SOC grafiği Şekil 5.6'tedir. Benzetim boyunca 186,4 km gidilmiş ve 10,03 kg yakıt yakılmıştır. Bunun sonucunda 173,7 g Nox oluşmuştur.



Şekil 5.6 : Termostat metodunda SOC grafiği.

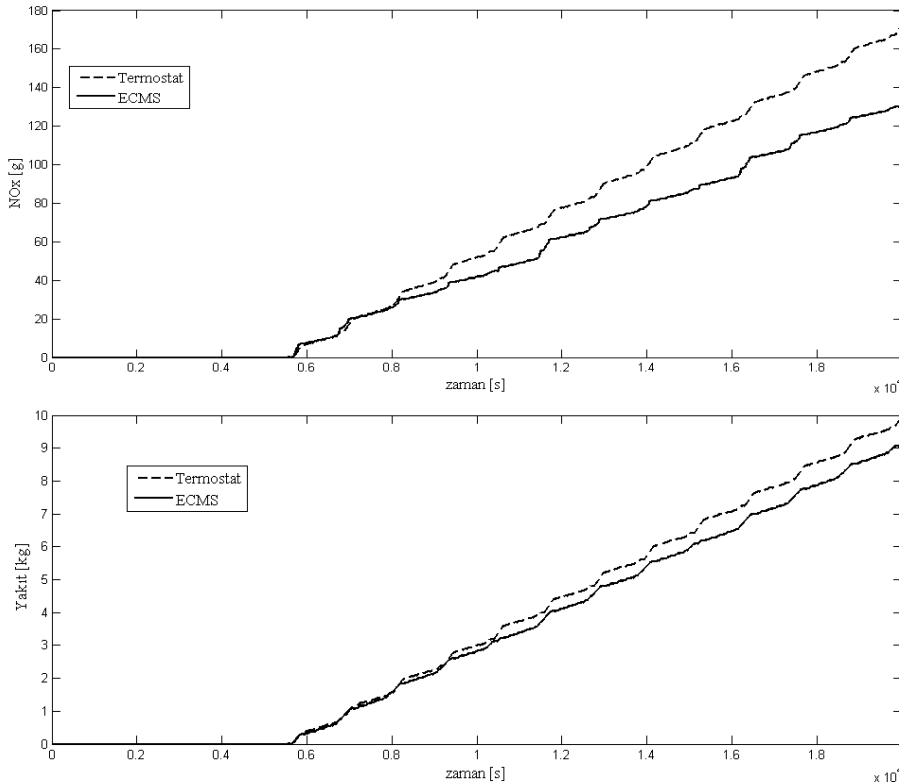


Şekil 5.7 : Benzetim boyunca ve 5400-7300 saniyeleri arasında P_{GENSET} grafiği.

Şekil 5.7’de benzetim boyunca termostat metodu ile üretilen güç değerlerinin grafiği görülmektedir. Aç-kapa uygulaması odaklanılmış grafikte daha iyi bir şekilde incelenebilir.

5.3 Sonuç

Bu tezde, menzili uzatılmış bir elektrikli aracın çevrim içi enerji yönetimi kontrol problemi incelenmiş ve bu konuda geçerli ve öne çıkmış iki yaklaşım incelenerek değerlendirilmiştir. Araç modelinde güç akışı temel alınarak sistem bileşenlerinden sistem modeli oluşturulmuştur. Bu sistemde termostat ve ECMS kontrol stratejileri üzerinde çalışarak NOx ve yakıt optimizasyonu yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda eş değer yakıt tüketimi stratejisinin termostat metoduna göre hem NOx hem de yakıt ekonomisi üzerinde daha etkili olduğu görülmüştür. Şekil 5.8’te ECMS ve termostat metotlarında toplamda ne kadar NOx çıkışı olduğu ve toplamda ne kadar yakıt harcadığı görülmektedir. Menzili uzatılmış elektrikli araçlarda eş değer yakıt tüketimi optimizasyonu başarıyla yapılmış ve termostat metoduna göre gelişme sağlanmıştır.



Şekil 5.8 : ECMS ve termostat metotlarının yakıt ve NOx karşılaştırması.

Gelecekteki alışmalar yol tahmini algoritmaları üzerinde çalışıp ECMS metodunu geliştirme yönünde olabilir. Sürücünün GPS üzerinden güzergah girişi yapabileceği sistemler tasarlanarak ECMS metodu ile elde edilen sonuçların çok daha iyi olması sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Lowry, John** (2012). *Electrical Vehicle Technology Explained*, Somerset, NJ, USA: Wiley.
- [2] **N. Jalil, N. A. Kheir, and M. Salman**, (1997). "Rule-based energy management strategy for a series hybrid vehicle," in *Proceedings of the American Control Conference*, vol. **1**, 689–693.
- [3] **A. Brahma, Y. Guezennec, and G. Rizzoni**, (2000). "Optimal energy management in series hybrid electric vehicles" in *Proceedings of the American Control Conference*, vol. **1**, no. **6**, 60–64.
- [4] **E. D. Tate and S. P. Boyd**, (2000). "Finding ultimate limits of performance for hybrid electric vehicles", *SAE Technical Paper*, 2000-01-3099.
- [5] **S. Barsali, C. Miulli, and A. Possenti**, (2004). "A Control strategy to minimize fuel consumption of series hybrid electric vehicles," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. **19**, no. **1**, 187–195.
- [6] **P. Pisu and G. Rizzoni**, (2005) "A supervisory control strategy for series hybrid electric vehicles with two energy storage systems," in *Proceedings of 2005 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 65–72.
- [7] **L. V. P´erez, G. R. Bossio, D. Moitre, and G. O. Garc´ia**, (2006) "Optimization of power management in an hybrid electric vehicle using dynamic programming", *Mathematics and Computers in Simulation*, vol. **73**, no. **1-4**, 244–254.
- [8] **L. Serrao, S. Onori, and G. Rizzoni**, (2009) "ECMS as a realization of Pontryagin's minimum principle for HEV control," in *Proceedings of the American Control Conference (ACC)*, 3964–3969.
- [9] **L. Serrao and G. Rizzoni**, (2008). "Optimal control of power split for a hybrid electric refuse vehicle," in *Proceedings of the American Control Conference*, 4498–4503.
- [10] **M. Khodabakhshian, L. Feng and Jan Wikander**, (2013). "Improving Fuel Economy and Robustness of an Improved ECMS Method", *10th IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA) Hangzhou*.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Ayşegül Kurşun

Doğum Yeri ve Tarihi: Üsküdar 02.02.1986

E-Posta: kursunay@gmail.com

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi Kontrol Mühendisliği
2004 – 2009
University of Sheffield- Erasmus Programı (2007-2008 akademik yılı)

Mesleki Deneyim: Ford Otosan Ürün Geliştirme Departmanı (2011 -)
İstanbul Teknik Üniversitesi (2009 - 2011)
ABB, İstanbul, (2008, stajyer)
Sandoz, İstanbul (2007, stajyer)

Ödüller: En Başarılı Koçlular 2013. “*Realise – Gerçek Zamanlı Kalibrasyon Geliştirme Platformu*” ile En Başarılı Yenilikçiler ödülü

Yayın ve Patent Listesi:

- M. S. Durmuş, U. Yıldırım, A. Kurşun, M. T. Söylemez, "Fail-Safe Signalization Design for a Railway Yard: A Level Crossing Case", The 10th International Workshop on Discrete Event Systems, WODES'10, Technische Universität, Berlin, Germany, 30 August - 1 September, 2010.
- Uluocak V., Kurşun A., Bostan O., Yalçın M. K., “Development of the Walking Model and Control of Mobile Climbing Robots with Pneumatic Actuators”, “Pnömatik Eyleyicili Tırmanan Mobil Robotlarda Yürüme Modeli Geliştirilmesi ve Kontrolü”, TOK'2009 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, İstanbul, 2009.
- Uluocak V., Kurşun A., Bostan O., Paslioglu K., " An Experimental Study for the Mobile Climbing Robot : Design and Application ",” Pnömatik Eyleyicili Tırmanan Mobil Robot Tasarım ve Gerçeklemesi”, TOK'2009 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, İstanbul, 2009.