

Güç Ayrımlı Seri-Paralel Hibrit Motor Sisteminin Kontrol Algoritmasının Modellenmesi

Göksu Anıl KIZILDOĞAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliđi Anabilim Dalı

Aralık 2020

Control Algorithm Modeling of Power Split Series-Parallel Hybrid Engine System

Göksu Anıl KIZILDOĞAN

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Mechanical Engineering

December 2020

Güç Ayrımlı Seri-Paralel Hibrit Motor Sisteminin Kontrol Algoritmasının Modellenmesi

Göksu Anıl KIZILDOĞAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliđi Uyarınca
Makine Mühendisliđi Anabilim Dalı
Enerji-Termodinamik Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç.Dr. Özge ALTUN

Aralık 2020

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Özge ALTUN danışmanlığında hazırlamış olduğum “**Güç Ayrımlı Seri-Paralel Hibrit Motor Sisteminin Kontrol Algoritmasının Modellenmesi**” başlıklı tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 30/12/2020

Göksu Anıl KIZILDOĞAN

ÖZET

Bu tezde bir içten yanmalı motor bir de elektrik motorundan oluşan, güç ayırım cihazlı seri-paralel hibrit motor sisteminin kontrol algoritması modellenmiştir. Modelleme MATLAB/Simulink platformunda yapılmıştır. Bu ortamın seçilme sebebi çeşitli kontrol kütüphanelerini halihazırda içermesi ve özel kütüphaneleri oluşturarak saniye bazında simulasyon yapılabilmesidir.

Kontrol algoritması tasarlanırken batarya şarj durumunun belirli değerler arasında kalması amaçlanmıştır. Bu sayede hem batarya sürekli optimum bölgelerde tutulmuş hem de yüksek menzil elde edilmiştir. Kontrol algoritması dünyada yaygın olarak kabul edilmiş farklı sürüş çevrimlerinde analiz edilmiştir. Farklı sürüş çevrimleri objektif kıyas ve kontrolcü performansını incelemek için uygundur. Analizler sonucunda kontrolcünün sağlamlığı, batarya şarj durumunun tüm sürüş çevrimlerinde istenilen bölgede kaldığı gösterilerek kanıtlanmıştır. Bu çalışma gelecekteki çalışmalar ve kontrolcü algoritmaları için de yol göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Seri, paralel, hibrit, Simulink, kontrol, güç ayırım cihazı

SUMMARY

In this thesis, the control algorithm of the serial-parallel hybrid engine system with power-split-device consisting of an internal combustion engine and an electric motor is modeled. Modeling was done on MATLAB/Simulink platform. This environment was chosen because of the various built-in control libraries it offers and the option to simulate on a time basis with custom libraries.

While designing the control algorithm, it is aimed to keep the battery state-of-charge level between certain values. Doing so, the battery is always kept in the optimum working regions and high range was obtained. The control algorithm was analyzed in different driving cycles that are widely accepted in the world. Different drive cycles are suitable for comparing objectively and to examine controller performance. As a result of the analysis, the robustness of the controller is shown by showing that the battery state-of-charge level remains in the desired working regions in all driving cycles. This study also provides guidance for future studies and controller algorithms.

Keywords: Series, parallel, hybrid, Simulink, control, power-split-device

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1. Hibrit Motor Sistemi Türleri	3
2.1.1. Seri hibrit	3
2.1.2. Paralel hibrit	3
2.1.3. Seri-Paralel hibrit	4
2.2. Elektrik Motoru Ve İçten Yanmalı Motordan Oluşan Hibrit Motor Sistemi	5
2.2.1. İçten yanmalı motor	5
2.2.2. Elektrikli motor	6
2.2.3. Jeneratör	6
2.3. Güç Ayrım Cihazı	7
2.3.1. Planet dişli ve güç ayırım cihazı ilişkileri	7
2.4. Nümerik Modelleme	8
2.4.1. MATLAB & SIMULINK	9
2.5. Sürüş Çevrimleri	9
2.5.1. NEDC	10
2.5.2. WLTP	11
2.5.3. FTP-75	12
2.5.4. HFET	13
2.6. Batarya	14
2.6.1. Batarya türleri ve Ni-Mh batarya	15

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.6.2. Batarya yönetimi ve histerezis/aç-kapa kontrol	16
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	19
3.1. Simulink Hibrit Motor Sistemli Taşıt Modeli	19
3.1.1. İvme isteği	21
3.1.2. Çekiş kuvveti hesabı	21
3.1.3. Dişli kutusu çevrim oranları	23
3.1.4. Üretilen güç	25
3.1.5. Güç ve sürüş modu tahkimi	26
3.1.6. Batarya güç tüketim hesabı	28
3.1.7. Şarj durumu hesabı	28
3.2. Sürüş Çevrimi Kütüphanesi	29
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	32
KAYNAKLAR DİZİNİ	36

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Hibrit motor sistemi güç aktarım şematikleri (Gao ve Winfield, 2012)	5
2.2 Örnek Simulink kütüphanesi	10
2.3 NEDC hız-zaman grafiği	12
2.4 WLTP hız-zaman grafiği	13
2.5 FTP-75 hız-zaman grafiği	14
2.6 HFET hız-zaman grafiği	15
2.7 Zamana bağlı aç-kapa kontrolcülü SoC eğrisi	18
3.1 Simulink sistem modeli	20
3.2 İvme isteği alt sistemi	21
3.3 Araç çekiş kuvveti hesabı alt sistemi	23
3.4 Dişli kutusu çevrim oranları alt sistemi	25
3.5 Motor devrine bağlı tork ve güç eğrileri (Yehia ve Mostafa, 2014)	26
3.6 Üretilen güç alt sistemi	27
3.7 Güç ve sürüş modu tahkimi mantık akışı	28
3.8 Güç ve sürüş modu tahkimi alt sistemi	29
3.9 Batarya güç tüketim hesabı alt sistemi	30
3.10 Şarj durumu hesabı alt sistemi	30
3.11 Simulink sürüş çevrimi kütüphanesi	31
4.1 NEDC SoC-zaman grafiği	32
4.2 WLTP SoC-zaman grafiği	33
4.3 FTP-75 SoC-zaman grafiği	34
4.4 HFET SoC-zaman grafiği	35

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Planet dişli - motor türü eşleşme tablosu	7
2.2 Farklı sürüş çevrimi özellikleri	10
2.3 WLTP 3. sınıf çevrim bölümleri	12
2.4 Bazı batarya türleri ve özellikleri (Keith Araujo Epec, 2020)	16

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
A_f	Rüzgarın etkidiği ön yüzey alanı
C_d	Sürtünme Katsayısı
F_{aero}	Araca etkiyen aerodinamik kuvvet
F_{cekis}	Araca etkiyen çekiş kuvvetlerinin toplamı
$F_{kayıplar}$	Araca etkiyen kayıp kuvvetlerinin toplamı
F_{net}	Araca etkiyen net kuvvet
$F_{yerçekimi}$	Araca etkiyen yerçekimi kuvveti
$F_{yuvarlanma}$	Araca etkiyen yuvarlanma kuvveti
N_r	Ayna dişli diş sayısı
N_s	Güneş dişli diş sayısı
V_{arac}	Araç hızı
ω_c	Gezegen dişli açısal hızı
ω_r	Ayna dişli açısal hızı
ω_s	Güneş dişli açısal hızı
a_{arac}	Aracın ivmesi
m_{arac}	Aracın kütlesi
n_w	Tekerlek hızı
r_w	Tekerlek yarıçapı

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
AC	Alternatif Akım
DC	Doğru Akım
EUDC	Extra-Urban Driving Cycle
EV	Elektrikli Taşıt
FTP-75	EPA Federal Test Procedure
g	Yer çekimi ivmesi
HFET	Highway Fuel Economy Driving Schedule
Li-İon	Lityum-İyon
MG1	Motor-jeneratör
MG2	Çekici motor
NEDC	New European Driving Cycle
Ni-Cd	Nikel-Kadmiyum
Ni-Mh	Nikel-Metal-Hidrit
SoC	Batarya şarj durumu
SoCi	Başlangıç SoC değeri
UDC	Urban Driving Cycle
WLTP	Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure
İYM	İçten yanmalı motor

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Geçmişteki motor sistemleri basit ve verimsiz güç kaynaklarıydı. Gelişen malzeme bilimi daha dayanıklı motor parçaları üretmeye, elektronik sistemler daha sağlam motor kontrol üniteleri yaratmaya ve bilgisayarlar ise bu sistemleri fiziksel bir ortama ihtiyaç duymadan bir araya getirecek şekilde günümüzde yerini aldı. 19. yy.da ortaya çıkan güçsüz içten yanmalı motorlar veya küçük ve zayıf elektrik motoru içeren taşıtlar yerlerini birden fazla sayıda ve türde motor içeren kompleks yapılara bıraktı. Bu gelişmeler beraberinde daha farklı ve daha sağlam kontrol ihtiyacı da getirdi. Mekanik, tasarım aşamasında üretilip tasarımı tamamlanan yakıt, hava, ateşleme, güç aktarımı vb. sistemler elektronik, ortam değişkenlerine cevap vermesi gereken dinamik karar ortamlarına dönüştü.

Kontrol algoritmalarında yeni ve yüksek sayıda değişkeni gözlemleyerek tasarım doğrultusunda sistemi yönlendirecek algoritmalara ihtiyaç doğdu. Çünkü tek tür motorlu sistemler yerine hibrit sistemler geldiğinde birden fazla güç kaynağı ve buna bağlı olarak farklı kombinasyonlar hizmet vermeye başladı. Önceden, sadece içten yanmalı motor içeren sistemlerin menzilleri yakıt deposu bitene kadar taşıtın çalıştırılmasıyla hesaplanabilecekken, hibrit sistemlerin getirdiği ikincil güç üretim kaynağı ve bu kaynağın kullandığı enerjiyi depolayan sistem, örneğin elektrik motoru ve bağlı olduğu batarya, taşıtların menzillerini nihai optimizasyon parametresi olarak kullanan kontrolcü ve algoritmalarda değişikliğe sebep oldu.

Zaman içerisindeki gelişmelerin kontrol algoritmalarına yansımalarının yanında, kendinden önce gelen sistemlere göre hibrit motor sistemlerinin de avantajları vardır. Hibrit motor sistemlerinin yer aldığı taşıtların geleneksel taşıtlara göre avantajlarının bazıları daha iyi yakıt ekonomisi, daha az emisyon, taşıtın yavaşlaması için kaybedilen kinetik enerjinin bir kısmını yeniden kazanması, sadece elektrikli motorun veya sadece içten yanmalı motorun yer aldığı taşıtlara göre daha yüksek menzil, farklı yakıtlar ve farklı motorlar kullanabilme imkanındır (N. Jalil, 1997).

Bu çalışmada, yukarıda özet olarak değinilen hususların üzerinde detaylıca duracak şekilde, içten yanmalı motor ve elektrik motorundan oluşan, güç ayırma cihazlı seri-paralel motor sisteminin kontrol algoritma modellemesi yer almaktadır. Modelleme bilgisayar ortamında yapılarak fiziksel testlerde karşılaşılan zaman, maliyet vb. problemlerin önüne geçilmiştir. Bilgisayar ortamı belirlendikten sonra model yaklaşımı belirlenmiştir. Elektrik motoru olarak, elektrikli ve mekanik aktarımlar sonrası şaft gücü olarak 27 kW güç üreten

bir motor; içten yanmalı motor olarak ise şaft gücü 73 kW güç üreten bir motor seçilmiştir. Elektrik motoruyla uyumlu olması amacıyla da dönüştürücü devrelerle birlikte kapasitesi 27 kW olan bir batarya seçilmiştir. Parça özelinde incelendiğinde elektriksel sistemde yer alan parçaların farklı voltaj değerleri (200-650 Vdc) ve türleri (AC-DC) olmaktadır. Fakat devre bütün olarak ele alındığında dönüştürücüler ile sistem besleme gerilimi değerine parçalar indirgenmektedir. Bu sebeple kağıt üstündeki kW değerleri ile çalışma anındaki değerler elde edilmektedir. Daha sonrasında seçilen parçaların performans tabloları oluşturulmuş, modelin içine gömülmüş ve bu parçaları içeren bir kontrol algoritması yaratılmıştır. Yaratılan bu algoritma bataryanın şarj durumunu tasarım parametresi olarak kabul edilen bir bandın içerisinde tutmayı hedeflemektedir. Bandın alt limitine gelindiğinde batarya şarj edilmiş; üst limitine gelindiğinde ise şarj sonlandırılmıştır. İlerleyen başlıklarda bu algoritmanın çalışma prensibi detaylıca anlatılmıştır. Bandın içerisinde kalma durumu, ortandan ve sistemden bağımsız olurken aynı zamanda da referanslanabilmesi amacıyla 4 farklı sürüş çevriminde denenmiştir. Sürüş çevrimleri şehir içi, şehir dışı ve otoban gibi farklı sürüş koşullarını içermektedir. Böylece bilgisayar ortamında oluşturulan modelin gerçekçi biçimde testi yapılmıştır. Testler sonucunda algoritmanın başarıyla çalıştığı görülmüştür. Farklı sürüş çevrimleri ve farklı başlangıç batarya şarj durumları için görseller paylaşılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Hibrit Motor Sistemi Türleri

Hibrit motor sistemleri, kullanılan tahrik sistemleri, sistemdeki motorların güç dağılımı, tahriğin güç kaynaklarından aktarımı, kullanılan yakıtların türü vb. birden fazla şekilde sınıflandırılabilir. Bu tez çalışmasında ise hibrit motor sistemleri tahriğin güç kaynaklarından aktarım çeşitlerine göre ayrılmasını irdlemiştir. Güç kaynaklarından tahrik ortamlarına gücün aktarımının çeşitlerine göre, seri, paralel ve seri-paralel olmak üzere 3 çeşit hibrit motor sistemi vardır (Momoh ve Omoigui, 2009). Güç ayırma cihazlı hibrit sistemler seri-paralel hibrit motor sistemleridir. Seri-paralel sistemin ve güç ayırma cihazının avantajları ve özellikleri sırasıyla 2.1.3 ve 2.3 altbaşlıklarında paylaşılmıştır.

2.1.1 Seri hibrit

Genel tanım itibariyle seri hibrit motor sistemleri tahriğin tek bir elektrik motoru tarafından sağlandığı, ikincil güç kaynağının ise ana elektrik motorunun beslediği bataryayı şarj etmek için kullanıldığı sistemlerdir. Bu sistemlerin en yaygın elektrik motorunun tekerleklerle gücünü aktardığı, içten yanmalı motorun ise güç aktarım sisteminden ayrı ve yakıt bakımından en verimli noktada çalıştırıldığı sistemlerdir. Böylece hem yakıttan tasarruf edilecek hem de emisyonlar düşük tutulacaktır. Bu sistemlerin dezavantajları tahrik sisteminde yedeklilik olmaması, tek motor kullanımından gelen düşük tahrik gücü ve düşük menzildir. Fakat yakıt tüketimi bakımından ise en avantajlı ve sistem karmaşıklığı açısından en az karmaşık sistemlerdir (Barsali vd., 2004).

2.1.2 Paralel hibrit

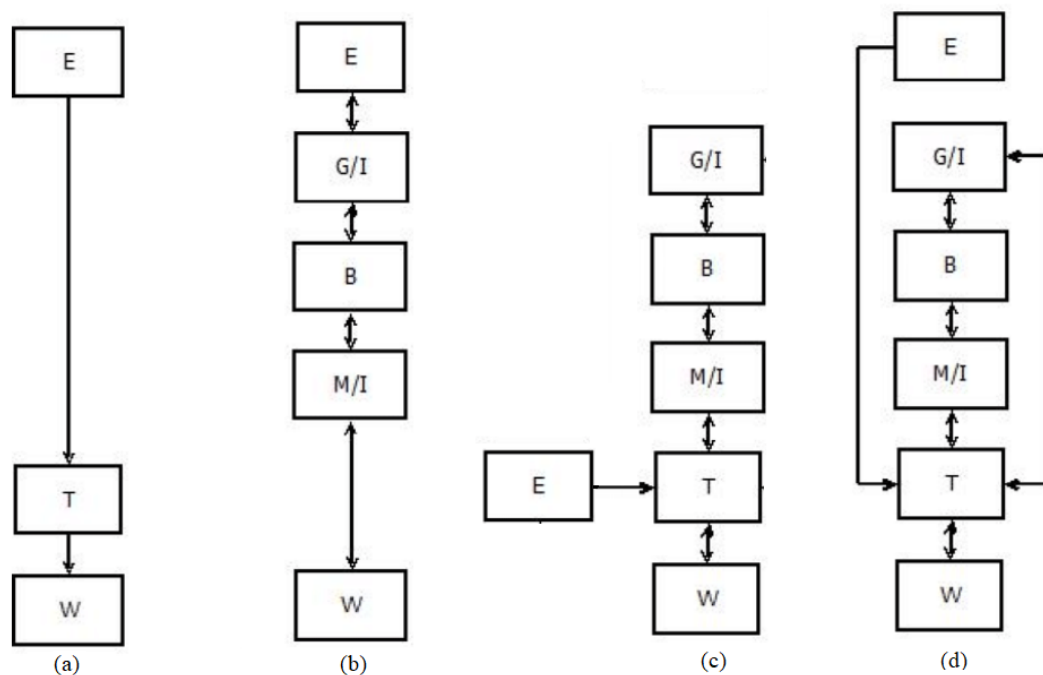
Paralel hibrit motor sistemleri, gücün 2 farklı tür güç kaynağı tarafından tahrik organlarına iletilmesi sonucu oluşur. Bu sistemin en büyük avantajı üretilen gücün, sistem karmaşıklığına oranla en yüksek olduğu sistemlerdir. Yaygın olarak elektrikli motor ve içten yanmalı motordan oluşan sistemlerdir. Tahrik çoğu zaman içten yanmalı motor tarafından sağlanırken, elektrik motoru tek başına ve düşük araç hızlarında ve en yüksek gücün gerektiği yüksek hızlarda içten yanmalı motora takviye olarak çalışmaktadır. Bu sayede sıradan bir içten yanmalı motorun yer aldığı sistemlere göre hem yakıt tasarrufu hem de fazladan güç sağlanabilmektedir. Bu sistemin dezavantajı ise içten yanmalı motor bataryayı besleyecek şekilde tasarlanırsa bile, seri hibrit motor sistemlerindeki gibi en verimli

noktada çalışma imkanı her zaman yer almayacağı için batarya şarj durumunun ideal biçimde korunamamasıdır (Gao ve Porandla, 2005).

2.1.3 Seri-Paralel hibrit

Seri-paralel hibrit motor sistemleri adından da anlaşılacağı üzere hem seri hem de paralel modlarını içeren motor sistemleridir. Asıl amaçları seri ve paralel sistemlerin avantajlarını ayrı ayrı kullanarak dezavantajları ortadan kaldırmaktır. Genellikle bir içten yanmalı motor bir de elektrik motorundan oluşan sistemlerdir. Ağırlık, maliyet ve karmaşıklık bakımından hibrit motor sistemleri arasındaki en karışık sistemlerdir. Fakat sahip olduğu avantajlar sayesinde bu dezavantajları dengelemektedir. Seri hibrit motor sistemlerinin aksine seri-paralel hibrit motor sistemleri yüksek çekiş gücüne sahiptir. Aynı zamanda paralel hibrit motor sistemlerinin aksine içten yanmalı motoru şarj moduna geçirerek bataryayı şarj edebilecekleri için menzilleri de yüksektir (Chen vd., 2011).

Seri-paralel motor sistemlerinde motorlar hem elektriksel hem de mekanik olarak birbirlerine bağlıdırlar. Bu bağlantılar mod geçişleri için kaldırılabilir veya tekrardan kurulabilir. Bu sayede ilgili kontrol stratejisi devreye alındığında o anki parametreler gözden geçirilerek optimum sistem çıktısı yakalanır. Hibrit motor sistemleri arasında fiziksel karmaşıklığa ek olarak, kontrol sistemi bakımından da en karmaşık sistemlerdir. Sistemde yer alan eyleyici ve sensörlere ek olarak, mod optimizasyonu bu sistemlerde büyük önem taşır. İki sistemin de avantajlı olduğu noktaları öne çıkartmak adına modlar iyice irdelenmelidir. Seri-paralel sistem için yer alan mod geçişlerine sahip bir kontrolcü 3.1.5 kısmında detaylıca anlatılmıştır. Seri hibrit, paralel hibrit ve seri-paralel hibrit alt başlıklarında anlatılan sistemlerin, güç aktarım şematikleri Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1 Hibrit motor sistemi güç aktarım şematikleri (Gao ve Winfield, 2012)

Şekil 2.1’de (a) sadece içten yanmalı motordan oluşan sistemi, (b) seri hibrit sistemi, (c) paralel hibrit sistemi, (d) seri-paralel hibrit sistemi göstermektedir. Aynı zamanda, ”E” içten yanmalı motoru, ”T” güç aktarım sistemini, ”G/I” jeneratör ve inverteri, ”M/I” motor ve inverteri, ”B” bataryayı ve ”W” tekerlekleri temsil eder (Gao ve Winfield, 2012).

2.2 Elektrik Motoru Ve İçten Yanmalı Motordan Oluşan Hibrit Motor Sistemi

Aracın, hareket için 2 farklı güç kaynağı kullandığı hibrit sistemlerin en yaygını, Doğru Akım (DC) bataryaya bağlı bir içten yanmalı motor ve bir veya daha fazla elektrik motorunun olduğu sistemlerdir (Volker Druenert, 2013). Toyota firmasının hibrit modelleri biri benzinli diğeri de elektrikli olmak üzere 2 motora sahiptir (Anonim, 2019). Bu yüzden de hibrit motor sistemi modelinin simülasyonunu koşturmak amacıyla Toyota firmasının Prius Gen 3 (2010) model aracı seçilmiştir.

2.2.1 İçten yanmalı motor

İçten yanmalı motorlar, bir yanıcının ve bir yakıcının yanma odasında yanması sonucu güç üreten sistemlerdir. Gaz türbinleri, jet motorları, Wankel motorlar ve pistonlu motorlar içten

yanmalı motorlara örnek olarak verilebilir (Heywood, 1988). Bu çalışmada ise emme, sıkıştırma, yanma ve egzoz olmak üzere 4 zamanlı ve benzinle çalışan, 73 kW güce sahip bir pistonlu motor yer almaktadır. Benzinli motorların emisyonları dizel motorlardan daha düşük olmaktadır (Mock, 2019). Hibrit motor sistemlerinin kullanım amacı ve cevap verdiği sorunlar da düşünüldüğünde, 4 zamanlı ve benzinli motorlar hibrit motor sistemleri için çok uygundur.

2.2.2 Elektrikli motor

Elektrik motoru, isminden de anlaşılacağı üzere, elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren bir makinedir. Elektrik motorları, motorun manyetik alanıyla, tel sargının etkileşimi sonucu motor shaftı üzerine tork uygulayarak çalışır. Enerjinin sağlandığı kaynağın türüne göre Doğru Akım (DC) ve Alternatif Akım (AC) olmak üzere 2 grupta incelenebilir. DC kaynaklara, bataryalar, rektifiyerler; AC kaynaklara ise inverterler ve elektrik jeneratörleri örnek olarak verilebilir. Elektrikli motorları aynı zamanda fırçalı ve fırçasız, hava ve sıvı soğutmalı, 1 veya 3 fazlı olarak da ayırabiliriz. (Krishnan, 2001). Bu tezde yer alan elektrik motoru ise 3-fazlı, yüksek voltajlı, AC tür, 60 kW güce sahip bir motordur. 3-fazlı elektrik gücü elektrik güç üretimi, transferi ve dağılımında yaygın bir metoddur. Büyük motorları ve yüksek yükleri beslemek için yaygın olarak kullanılır. Simetrik bir 3-faz sisteminde aynı frekans ve voltaj genliğine sahip 3 iletken, ortak bir referansı baz alacak şekilde bir çevrimin 3'te 1'i yani 120° faz farkıyla sinyali iletirler. Bu sayede tek fazlı sistemlere göre aynı voltaj değerinde 3 kat daha yüksek akım taşıyabilirler. Aynı yükü taşıdıkları için iletkenlerin de boyutlarının aynı olması, tasarım ve üretim bakımından da kolaylıklar sağlar. (William D. Stevenson, 1982) Bu tezdeki taşıtta yer alan elektrik motoru, doğrudan tekerleklere bağlı olduğu için, hem yavaşlama anında bataryayı şarj eder hem de rejenaritif fren sayesinde hidrolik frene göre daha pürüssüz bir yavaşlama sağlar (Duoba M., 2005).

2.2.3 Jeneratör

Elektrik jeneratörü, elektrik motorunun aksine, asıl amacı mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirmekte kullanılan makinelerdir. Yapısal olarak bakıldığında zaman elektrik motorundan bir farkları yoktur. Hibrit motor sistemlerindeki jeneratörler ise, aynı zamanda içten yanmalı motora marş motoru görevi görmektedir. Bu sayede hem ağırlıktan hem de yerden tasarruf edilir. Hibrit motor sistemlerinde jeneratörler aynı zamanda içten yanmalı motorun ürettiği gücü bataryayı beslemekte kullanır. Yani hibrit motor sistemlerindeki jeneratörler, alışlagelmiş ve sadece içten yanmalı motorun tahriği sağladığı araçların aksine hem alternatör hem de marş motoru görevi gören daha kompleks yapılardır. Güncel teknolojiye sahip, sadece içten yanmalı motorlu araçlarda da bu teknoloji benimsenmeye başlanmıştır. Böylece aynı amaca hizmet eden farklı araçlarda benzerlik sağlanmış ve

maliyet azalmıştır (Odvarka vd., 2009) Bu tezde yer alan jeneratör ise 3-fazlı yüksek voltajlı, AC tür, 42 kW güce sahip bir jeneratördür.

2.3 Güç Ayrım Cihazı

Güç ayırım cihazı seri-paralel hibrit motor sistemlerinde yer alan bir otomatik şanzıman türüdür. Mekanizma temelinde planet dişli sistemi vardır. Güncel teknolojilerde ise birden fazla planet dişli sistemini içeren güç ayırım cihazları yer almaktadır (Zhang vd., 2019). Planet dişli sistemlerinin mekanizma yönünden güç ayırım cihazında kullanımı ve ilişkileri 2.3.1’te verilmiştir. Başlıca otomatik şanzıman türlerine örnek olarak sürekli değişken oranlı şanzıman (CVT), çift kavramalı şanzıman (DCT veya DSG), otomatikleştirilmiş manuel şanzıman (AMT) vs. verilebilir. Güç ayırım cihazı ise aslında kullanılan cihazın adı olmasına rağmen, kritik ve yenilikçi bir sistem olduğu için seri-paralel hibrit motor sistemlerindeki aktarıma kendi adını verebilmiştir. Güç ayırım cihazının yer aldığı sistemlerdeki motorlar tekerlek hızı ve diğer motorlardan farklı hızlarda dönerek istenilen çalışma bölgelerinde tutulurlar. Sistemin o anki ihtiyacına göre modlar arasındaki geçiş, aslında güç ayırım cihazının içerisinde yer alan parçaların birbirleriyle güç çifti oluşturmalarına veya önceden oluşturulmuş çiftlerin ayrışmasına dayanır.

2.3.1 Planet dişli ve güç ayırım cihazı ilişkileri

Güç ayırım cihazının dişli sistemindeki her bir dişli bir motora veya aktarım organına bağlıdır. Sistemin mekanizması incelendiğinde ise, güç ayırım cihazının çalışma prensibi bakımından karmaşık ve ileri seviye bir planet dişli seti olduğu görülmektedir. Planet dişli seti sahip olduğu avantajlardan dolayı pek çok yerde kullanılmaktadır. Bu avantajların başlıcaları yüksek tork-ağırlık oranı, yüksek şanzıman oranları, düşük gürültü, düşük titreşim ve yüksek sıklıktır (Chen ve Shao, 2013). Basit bir güç ayırım cihazındaki dişliler ile motorların eşleşmesi ise Çizelge 2.1’de paylaşılmıştır.

Çizelge 2.1 Planet dişli - motor türü eşleşme tablosu

Motor Türü	Dişli Türü
İYM	Gezegen Dişli
Jeneratör	Güneş Dişli
Elektrik Motoru	Ayna Dişli

Dişli kutusu çevrim oranları yardımıyla motor hızları aşağıdaki gibi basitçe hesaplanabilir (Arnaudov, 2019).

$$-\frac{N_r}{N_s} = \frac{\omega_s - \omega_c}{\omega_r - \omega_c} \quad (\omega_r \neq \omega_c) \quad (2.1)$$

Sırasıyla ω_r , ω_s ve ω_c ayna, güneş ve gezegen dişli açısal hızlarını, N_r ve N_s ise sırasıyla ayna ve güneş dişli diş sayılarını ifade eder. ω_r ile ω_c değerlerinin eşit olduğu durumlarda sistemin kinematik çözümü bize planet dişli sistemdeki 3 dişlinin de hızlarının eşit olmasını ifade eder.

$$\omega_c = \omega_r = \omega_s \quad (2.2)$$

2.4 Nümerik Modelleme

Nümerik modelleme, fiziksel vb. problemlerin büyük matematik denklem setlerinin oluşturulması ve daha sonrasında oluşturulan bu denklem setlerinin çözümüne denir. Günümüzde nümerik modellemeleri oluşturmak ve analiz etmek adına bilgisayarlar kullanılmaktadır. Nümerik modelin başlıca avantajları, düşük maliyet, yüksek sonuç alma hızı, yüksek tekrarlanabilirliktir (Zafarparandeh ve Lazoglu, 2012).

Nümerik modelleme yapılırken çözülmek istenilen probleme göre bir yaklaşım sergilenmektedir. Karmaşık iç geometriye sahip bir sistemin içerisinde geçen akış incelenmek istendiğinde sonlu hacimler metodu ile hesaplamalı akışkanlar dinamiği yaklaşımı kullanılabilir. Veya basit ve detaysız bir plakanın ısı transferi incelenirken sonlu fark metodu ile 1-Boyutlu analiz yönteminden yararlanılabilir. Spesifik problemlere ait çözümün belirlenmesi oluşturulan modelin doğruluğunu ve uygunluğunu arttırmaktadır (Hancock vd., 2008). Bu tezde yapılan modelleme çalışmasında üzerinde durulan nokta bir taşıttaki hibrit motor sisteminin elemanları ve onların modellenmesidir. Örneğin aracı modellerken havanın yarattığı sürtünme kuvveti için aracın hücum kenarındaki tüm ayrıntıları 3 boyutlu ve tek tek modellemek yerine aracın bir bütün olarak sürüklenme katsayısı kullanılmıştır. Ağırlık ise ağırlık merkezinden ve bir bütün olarak etkimektedir; koltuklar, motor vs. farklı sistemlerin tekil ağırlıklarının bir önemi olmamaktadır. Bu yaklaşım sayesinde modelin yönetimi ve hesaplamalı kısımları istenilen sonuçtan uzaklaşmayacak şekilde basitleştirilebilmiştir.

Nümerik modelleme, oluşturulan sistemin başlangıç ve sınır koşulları yardımıyla analizini sağlayacak şekilde herhangi bir platformda yapılabilir. Bu çalışmada hibrit motor

sisteminin kontrol algoritması akademi ve endüstri dünyasında da yaygın olan MATLAB programının SIMULINK modülünde yapılmıştır. Platformun incelenmesi 2.4.1'te; modelin detaylı irdelenmesi ise 3.1 kısmında paylaşılmıştır.

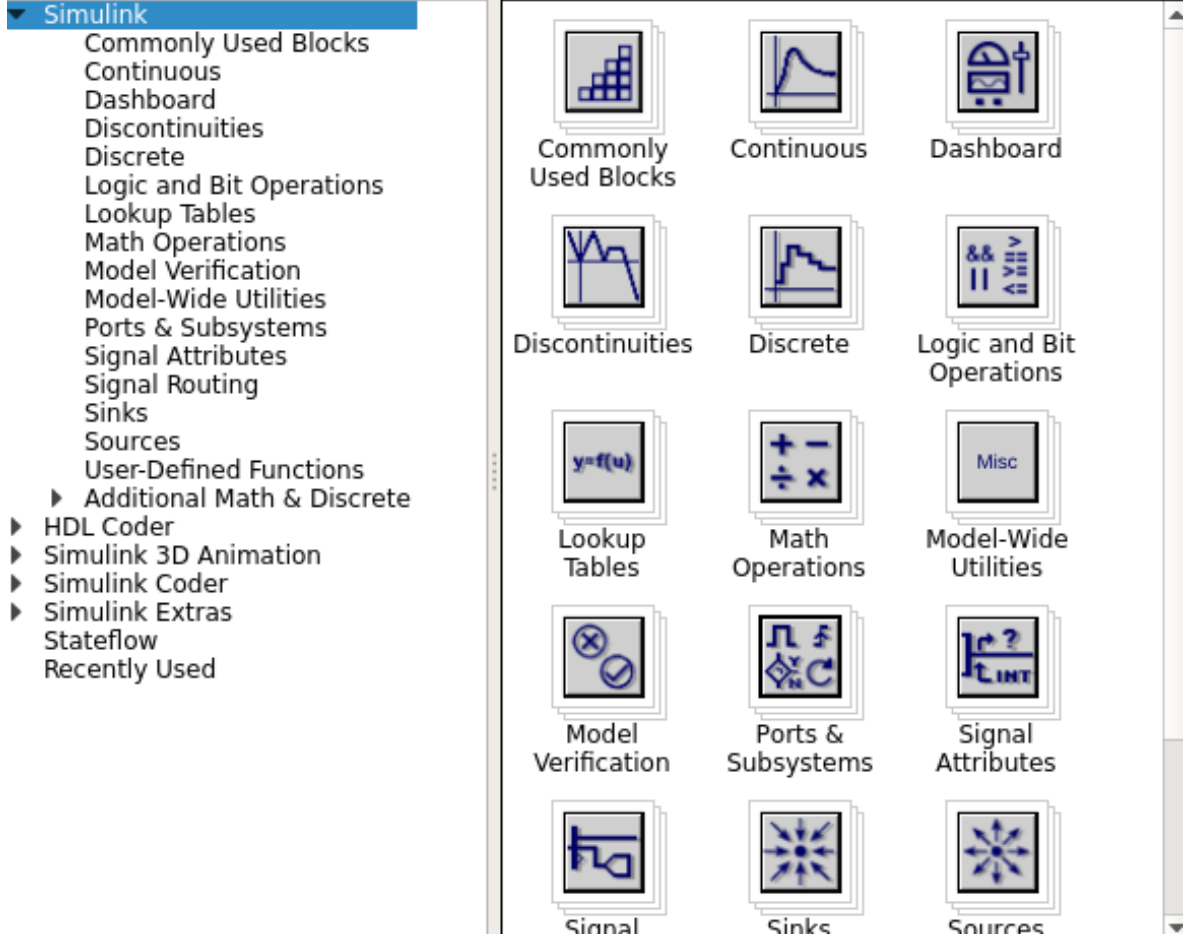
2.4.1 MATLAB & SIMULINK

MATLAB, yüksek sayıda mühendis ve araştırmacı tarafından kullanılan, matris ve dizinleri iteratif biçimde doğrudan uygulayabilen, kod parçalarını veya arayüzleri oluşturmaya yarayan bir platformdur. Kendisine ait, yüksek performanslı ve paket halinde bir yazılım dili vardır. Diğer yazılım dillerinden farkı platformu bilgisayara yüklerken pek çok kütüphanenin, gömülü fonksiyonun ve arayüzlerin de yüklenmesidir. Bu durum kullanıcıya modelleme açısından bir hayli kolaylık sağlamaktadır. Özellikle çözüm süresinin modelleme süresine oranı düşük olan durumlarda MATLAB diğer yazılım dillerinden öne çıkmaktadır. Kod oluşturma fonksiyonu sayesinde ise MATLAB modeli ve içerisindeki tüm fonksiyonlar C/C++ dillerine dönüştürülebilir. Böylece platformdan bağımsızlık sağlanarak yazılımın gömülü sistemler vb. işletim ortamlarında da kullanılma imkanı gerçekleştirilir (Byrne, 2020).

Simulink ise çoklu alan dinamik sistemleri modelleme, simüle ve analiz etmeye yarayan MATLAB tabanlı bir programlama ortamıdır. Arayüzünde yer alan hazır bloklar ile çalışır. Her bir blok arka planda gömülü bir fonksiyonu temsil ettiği gibi özel isteğe uyarlanmış bir fonksiyonu da içerebilir. Modeller, içerdikleri blok diyagramlar aracılığıyla, donanım seviyesi tasarıma geçmeden ve herhangi bir donanıma ihtiyaç duymadan sistem seviyesi tasarıma olanak sağlar. Birden fazla adi diferansiyel denklem çözücüsü sayesinde kullanıcıya farklı türde problemlerin çözümü için ortam sunar. Simulink kütüphanesinde yer alan blokların örnek görseli Şekil 2.2'de verilmiştir. (Carone, 2020).

2.5 Sürüş Çevrimleri

Farklı taşıtları, aktarım sistemlerini veya motor sistemlerini birbirleriyle kıyaslamak istediğimizde ortaklaştırma yapmamız gerekmektedir. Sürüş çevrimleri ise bu konuda sıkça kullanılan karşılaştırma ve analiz etme yollarıdır. Sürüş çevrimleri zamana bağlı araç hızını ve dolayısıyla buna bağlı olarak gerekli ivmeyi ve çekiş gücünü ifade eder. Sürüş çevrimleri birtakım karmaşık hızlanma, yavaşlama, sabit hızda gitme ve duraklamadan oluşmaktadır. Sürüş çevrimi sayesinde güç, yakıt tüketimi, emisyon, taşıt menzili vb. pek çok parametre objektif olarak birden fazla platform için karşılaştırılabilir (Brundell-Freij ve Ericsson, 2005). Sürüş çevrimleri yapılan sürüş testlerinde toplanılan verilerle oluşturulabileceği gibi bazı çevrimler teorik olarak kağıt üzerinde oluşturulmuştur. Literatürde pek çok sürüş çevrimi vardır fakat bu çalışmada başlıca 4 tane çevrim kullanılmıştır: NEDC, WLTP, FTP,



Şekil 2.2 Örnek Simulink kütüphanesi

Çizelge 2.2 Farklı sürüş çevrimi özellikleri

Çevrim Adı	Mesafe (m)	Süre (s)	Ortalama Hız (m/s)
NEDC	11023	1180	9.34
WLTP	23266	1800	12.92
FTP-75	17770	1874	9.47
HFET	16450	765	21.58

HWFET/HFET. Bahsedilen sürüş çevrimlerinin özet özellikleri Çizelge 2.2’de paylaşılmıştır.

2.5.1 NEDC

New European Driving Cycle (NEDC), Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi anlamına gelen Avrupa Birliği’nde standart haline gelmiş bir sürüş çevrimidir. Bu çevrimin asıl amacı, hafif taşıt

kategorisindeki taşıtların Avrupa Birliği standartlarına göre kabul edilebilir emisyon değerlerine sahip olup olmadığını göstermektedir. Bu sürüş çevrimi son halini 1997 yılında almıştır. Avrupa Birliği'ne ek olarak Türkiye de 2018 yılına kadar üretilmiş Euro 3 ve sonrası taşıtların homologasyon sürecinde NEDC çevrimine göre elde edilen emisyon değerlerini baz almaktadır (Fontaras vd., 2014).

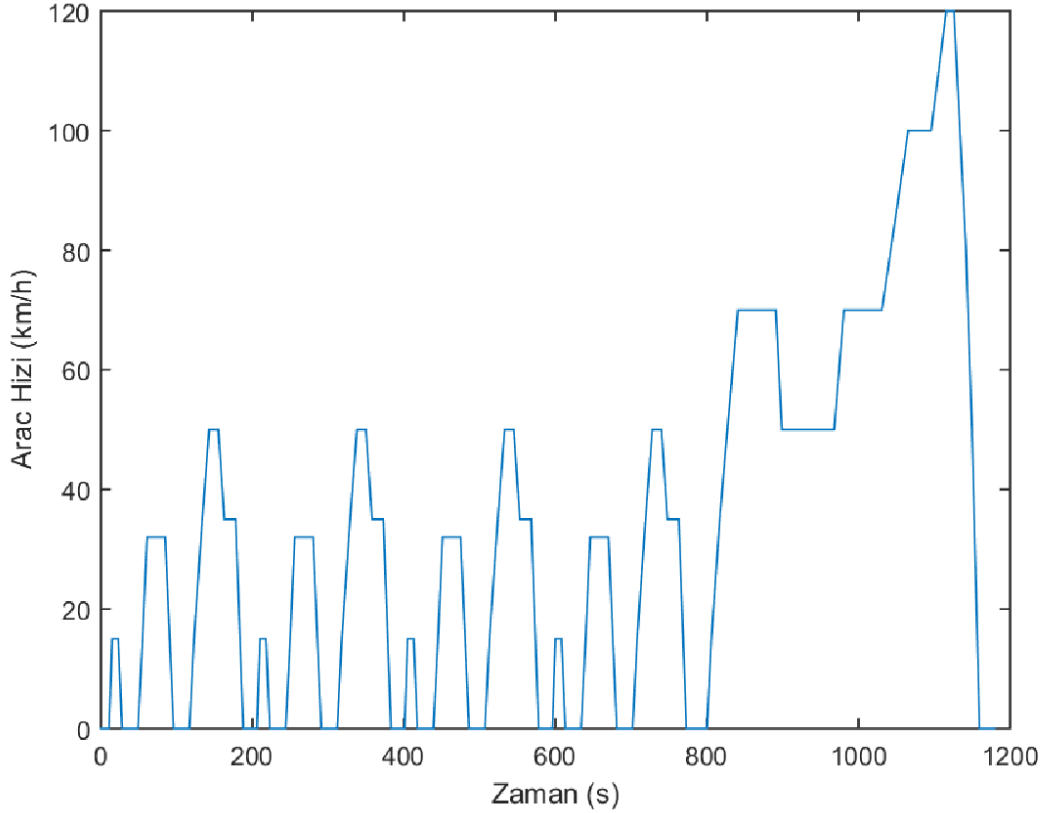
Bu çevrim gerçek hayattaki sürüş koşullarını yansıtan bir çevrim olmaması yönünden eleştirilmektedir. Taşıtların hafif ağırlıkta ve görece güçsüz olduğu dönemlerde ortaya çıkmıştır. Pek çok sabit hız seyri ve rölanti çalıştırmasını içermektedir. Bu sebeple gerçek hayattaki emisyon değerleriyle testte elde edilen değerler arasında yüksek miktarda fark olduğu iddia edilmektedir (Kågeson, 1998).

Bu sürüş çevrimi 2 kısımdan oluşmaktadır. İlk kısım 4 kez tekrar eden, görece düşük hızları içeren, şehir içi sürüş çevrimi yani Urban Driving Cycle (UDC); ikinci kısım ise tekrar etmeyen, daha agresif ve yüksek hızları temsil eden şehir içi sürüş çevrimi Extra-Urban Driving Cycle (EUDC). UDC 195 saniye sürer ve yaklaşık olarak 994 metredir. 3 çevrim sonucunda ortalama hız 18.35 km/h (5.1 m/s) iken teorik olarak 3976.1 metre yol katedilir. Çevrimin birleşik görüntüsü 2.5.1'te paylaşılmıştır.

2.5.2 WLTP

2.5.1'te de bahsedilen problemler sebebiyle, gerçek hayat değerlerine yakın bir test ihtiyacı doğmuştur: Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure (WLTP) yani Dünya Geneline Uyumlaştırılmış Hafif Taşıtlar Test Prosedürü. WLTP 1 Eylül 2018 tarihinden itibaren üretilen tüm yeni binek otomobillerin test edildiği standarttır. NEDC'den farklı olarak, hibrit ve tam elektrikli taşıtların da yer aldığı bir standarttır. Adından da anlaşılacağı üzere, emisyon ve yakıt tüketim değerlerini test etmek için dünya çapında uygulanmaya başlanan bir çevrimdir. Türkiye, Avrupa Birliği, Çin, Japonya, Güney Kore, Hindistan ve Amerika Birleşik Devletleri önde olmak üzere pek geniş bir kısım tarafından kabul edilmiştir. Daha yüksek ortalama ve en yüksek hız, daha fazla sürüş koşulu (şehir içi, banliyö, ana yol ve otoban), daha uzun mesafe, daha yüksek ortalama ve en yüksek sürüş gücü, daha keskin hızlanma ve yavaşlama, tercihe bağlı ekipmanı ayrıca test etme, WLTP çevriminin NEDC çevrimine göre başlıca farkları ve avantajlarıdır (Anonim, 2017).

Bu tezde yer alınan taşıtların güç-ağırlık oranı 34'ten büyük olduğu için 3. sınıf çevrim alınmıştır. 3. sınıf çevrim farklı en yüksek hızlara sahip 4 alt kısımdan oluşmaktadır. Bu kısımlar ve özellikleri Çizelge 2.3'te, zamana bağlı hız grafiği ise Şekil 2.4'te verilmiştir.



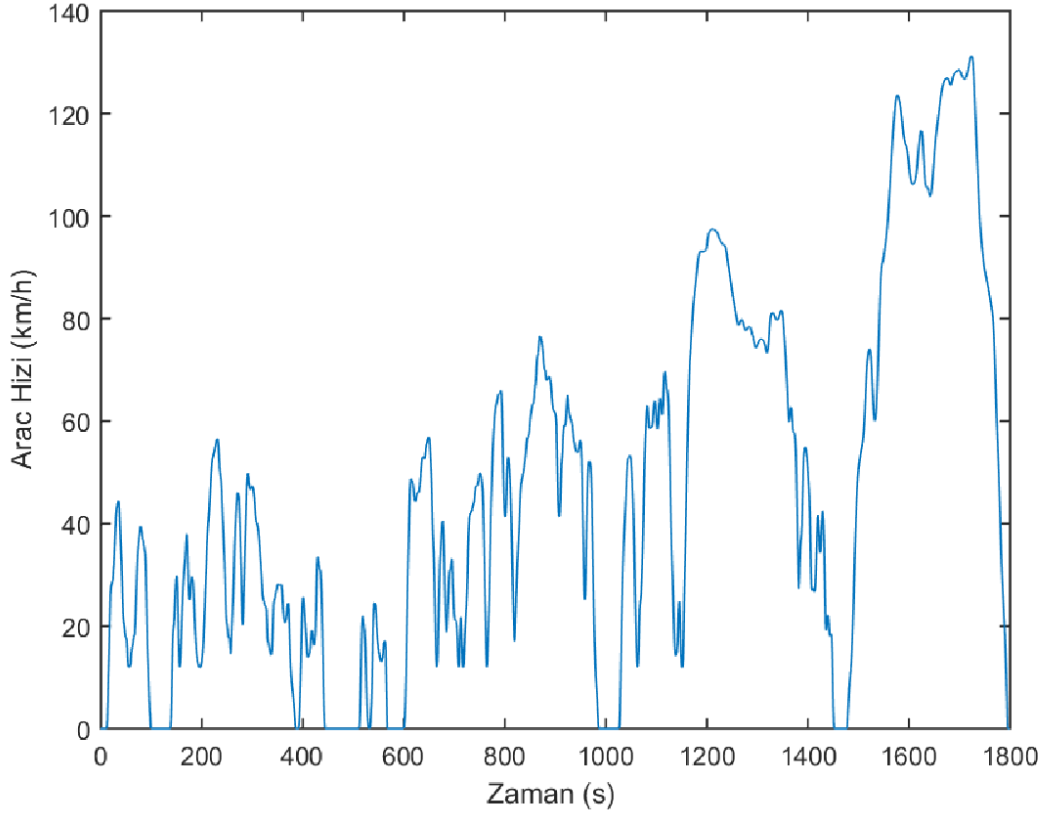
Şekil 2.3 NEDC hız-zaman grafiği

Çizelge 2.3 WLTP 3. sınıf çevrim bölümleri

Bölüm Adı	Temsil Edilen Senaryo	En Yüksek Hız (km/h)	Süre (s)	Mesafe (m)
Düşük	Şehir içi	56.5	589	3095
Orta	Banliyö	76.6	433	4756
Yüksek	Şehir Dışı	97.4	455	7162
Çok Yüksek	Otoban	131.3	323	8254

2.5.3 FTP-75

EPA Federal Test Procedure (FTP-75), Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı tarafından oluşturulmuş; binek araçların egzoz gazı emisyonlarını ve yakıt tüketimlerini ölçmeye yarayan bir dizi testlerden oluşmaktadır. Prosedürde yer alan dört testten birisidir. Başlıca amacı şehir sürüşünü ölçmektir. Bir soğuk bir de sıcak çalıştırmayı içeren bu çevrim şu ana kadar anlatılan diğer çevrimlerin aksine daha doğrusal olmayan yavaşlama ve hızlamaları içermektedir. 505 saniye soğuk, 864 saniye soğuk-stabil ve 505 saniye sıcak

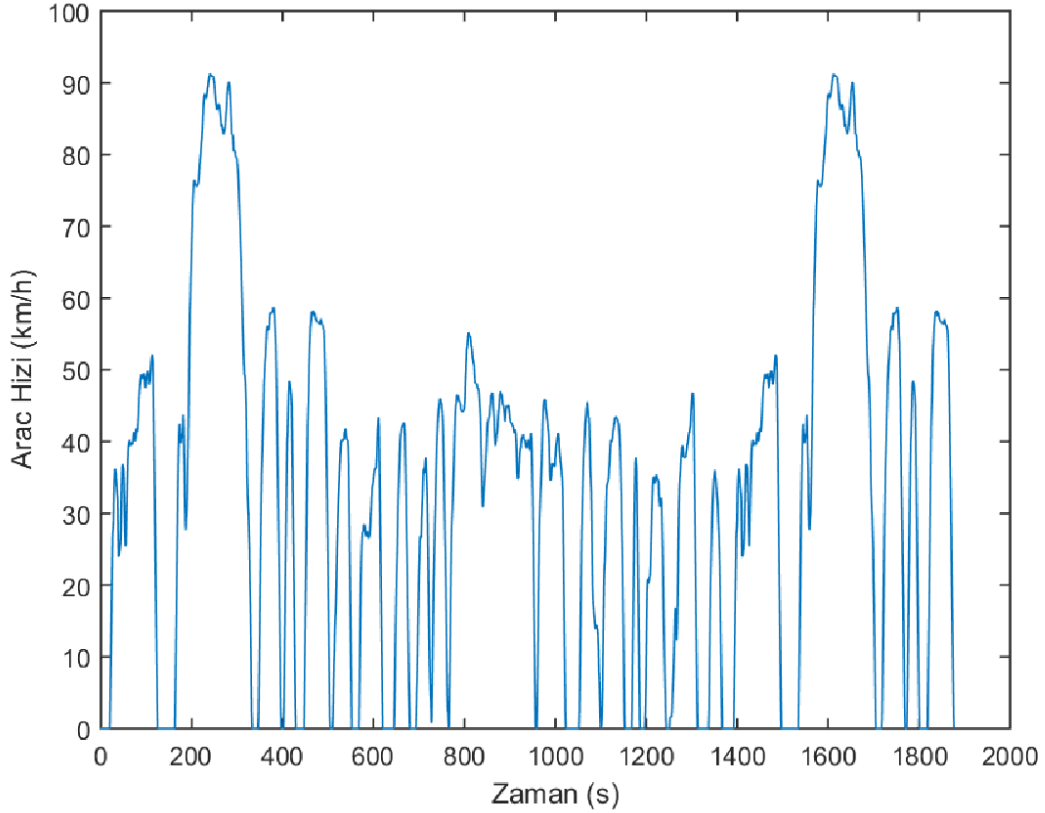


Şekil 2.4 WLTP hız-zaman grafiği

çalıştırma kısımlarından oluşmaktadır (Şekil 2.5). Burada sıcak ve soğuktan kastedilen hava sıcaklığı değil motor sıcaklığıdır. Soğuk çalıştırma motorun ortam sıcaklığındaki halini; sıcak çalıştırma ise motorun bir süre çalıştıktan sonra kapatılıp, bir süre beklenip tekrardan çalıştırılmasını ifade etmektedir. Günlük hayatta olduğu gibi burada da sıcak ve soğuk çalıştırma bölgeleriyle daha gerçekçi bir test çevrimi hedeflenmektedir (Bielaczyc vd., 2015).

2.5.4 HFET

HFET veya HWFET (Highway Fuel Economy Driving Schedule), FTP-75 ile birlikte prosedürü oluşturan bir diğer çevrimdir. FTP-75'in aksine şehir içini değil otoban sürüşünü temsil eder. Ortalama ve en yüksek hızlar sırasıyla 77 km/h ve 97 km/h olmaktadır (Anonim, 2020). Diğer testlere göre kısa bir testtir (yaklaşık 12.6 dakika) fakat yüksek hızları içermesi sebebiyle test edilen sistemler için zorlayıcı bir çevrimdir. Sıcak bir motorla yapılan bu testte aynı zamanda hiç duraklama yoktur (Şekil 2.6).

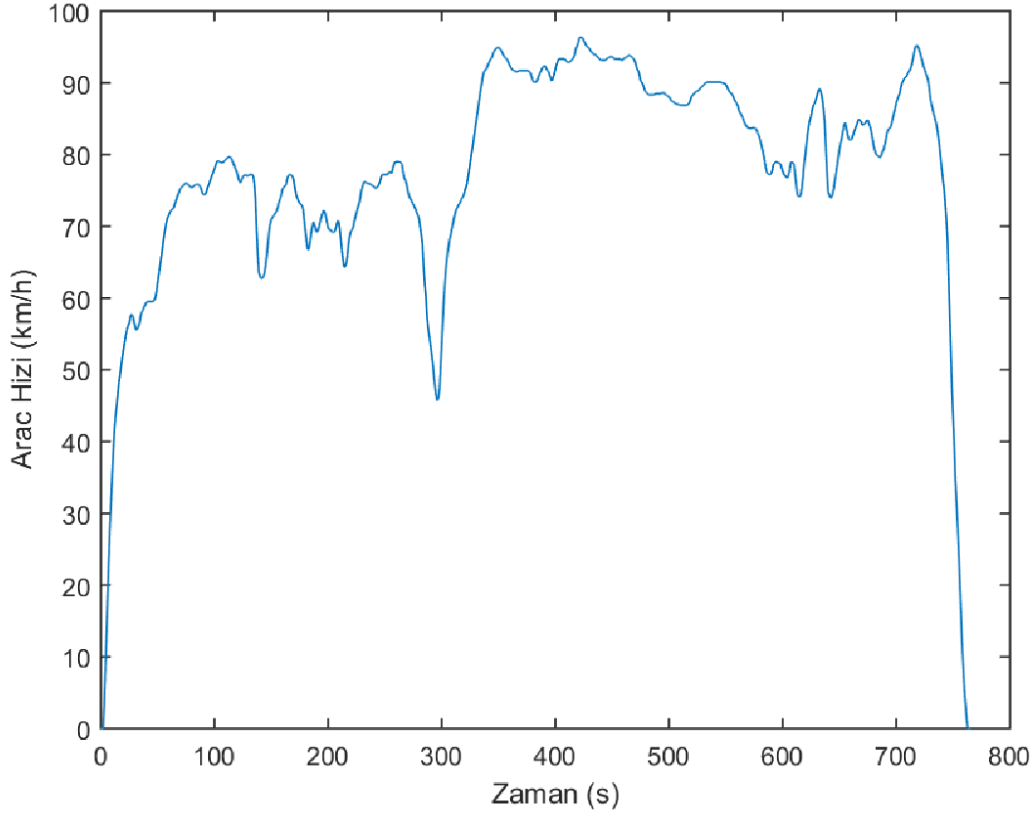


Şekil 2.5 FTP-75 hız-zaman grafiği

2.6 Batarya

Batarya, en yaygın tabirle, içerisinde yer alan kimyasal enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine çeviren ağıtlara denir. Farklı boyutta ve türde, pek çeşitli malzemelerden oluşabilirler. Bataryalar, benzin vb. sıradan petrol bazlı yakıtlarla kıyaslandığında çok düşük enerji yoğunluğuna (birim kütle başına düşen enerji) sahiptir. Bu da özellikle elektrik motorundan tahrik alan sistemlerde yüksek önem taşır. İçten yanmalı motordan tahrik alan sistemlerdeki yakıt deposu ne ise elektrik motorlu sistemlerde de batarya odur. Yani bataryanın kapasitesi, elektriği iletim kapasitesi vb. parametreler elektrik motorunun tahriği sağladığı sistemlerde fazladan üstünde durulması gereken bir konudur (Crompton, 2000).

Günümüzde içten yanmalı motorların domine ettiği pazarlarda bataryalar motor ve araba kontrol sistemlerini beslemekte kullanılmaktadır. İçten yanmalı motora mekanik olarak bağlanmış alternatörler vasıtasıyla elektrik enerjisi üretilmekte ve bu enerji ile batarya şarj edilmektedir. Şarj edilen bu batarya sayesinde taşıt bir problem olmaksızın çalışmasını sürdürmektedir. Hibrit motor sistemlerinde ise sistemin türüne göre farklı batarya yönetim sistemleri mevcuttur. Çünkü sistemdeki bataryanın işlevi daha karmaşıktır.



Şekil 2.6 HFET hız-zaman grafiği

Hatta sistemde birden fazla batarya bulunabilmektedir. Hibrit motor sistemlerinde ve sadece elektrikli motordan tahrik alınan taşıtlarda, Elektrikli Taşıt (EV), batarya başlı başına bir optimizasyon problemidir.

Bataryalar sisteme doğrudan bağlanmazlar. Bir taşıttaki tüm elemanlar alternatif akım veya doğru akım bazlı çalışmazlar. Bu sebeple bataryayı elektrik motoruna veya diğer sistemlere bağlarken alternatif-doğru akım geçişleri veya sistem besleme gerilimi dönüştürmeleri için rektifiyer ve inverter gibi dönüşüm elemanları kullanılmaktadır. Parça özelinde her biri önemli birer elektrik devre elemanı olsalar da üst sistem seviyesi performansı açısından bakıldığında sadece dönüşüm çarpanları ve kayıpları ifade eder. Bu sebeple bu çalışmada ilgili elemanlar modellenirken yüzeysel olarak sisteme dahil edilmiştir.

2.6.1 Batarya türleri ve Ni-Mh batarya

Geçmişten günümüze farklı maddelerden oluşan bataryalar mevcuttur. Prensipite koşulları sağlayan tüm maddelerden batarya yapılabileceği gibi, en yaygın batarya türlerine örnek

olarak kurşun-asit, nikel, gümüş, alkali-manganez, çinko-karbon, civa ve lityum verilebilir. İsmi geçen element ve bileşiklerin oluşturduğu farklı ve kompleks diğer bileşikler bataryaların hücrelerini oluşturur. Tekli hücre yapıda batarya olabileceği gibi, genelde menzil ve kapasite ihtiyacından dolayı çoklu hücrelerin bir araya gelmesiyle oluşan batarya paketleri kullanılmaktadır. Telefon, taşınabilir şarj aleti, elektrikli araba vb. hem hafif hem de uygun kapasiteli batarya gerektiren sistemlerde yaygın olarak Lityum-İyon (Li-İon) veya Nikel-Metal-Hidrit (Ni-Mh) batarya kullanılmaktadır (Yoshio vd., 2009).

Bu çalışmada yer alan taşıtta da Ni-Mh yer aldığı için bu batarya türü üzerinde durulmuştur. Fakat literatürde Ni-Mh ve diğer batarya türleri ile ilgili pek çok kaynak bulunmaktadır. Ni-Mh bataryalar, 1899'dan beri kullanılmakta olan Nikel-Kadmiyum (Ni-Cd) bataryaların yerini almıştır. Nikel-Metal-Hidrit bataryalar, adından da anlaşılacağı üzere, Ni-Cd bataryalar gibi pozitif elektrodunda nikel bazlı bileşik (NiOOH) kullanılmaktadır. Negatif elektrodunda ise kadmiyum yerine hidrojen-tutucu farklı ve karmaşık alaşımlar kullanılmaktadır. Enerji yoğunluğu olarak bazı türleri lityum-iyon batarya seviyesine çıkabilmektedir. Farklı batarya türlerinin, özgül enerji yoğunlukları ve yaşam döngüleri (bir bataryanın kaç kez şarj-deşarj edilebileceği) Çizelge 2.4'te paylaşılmıştır.

Çizelge 2.4 Bazı batarya türleri ve özellikleri (Keith Araujo Epec, 2020)

Batarya Türü	Özgül Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	Yaşam Döngüsü (%80 Deşarj)
Kurşun-Asit	30-50	200-300
NiCd	45-80	100
NiMh	60-120	300-500
Lityum-Kobalt	150-190	500-1000
Lityum-Manganez	100-135	500-1000
Lityum-Fosfat	90-120	1000-2000

2.6.2 Batarya yönetimi ve histerezis/aç-kapa kontrol

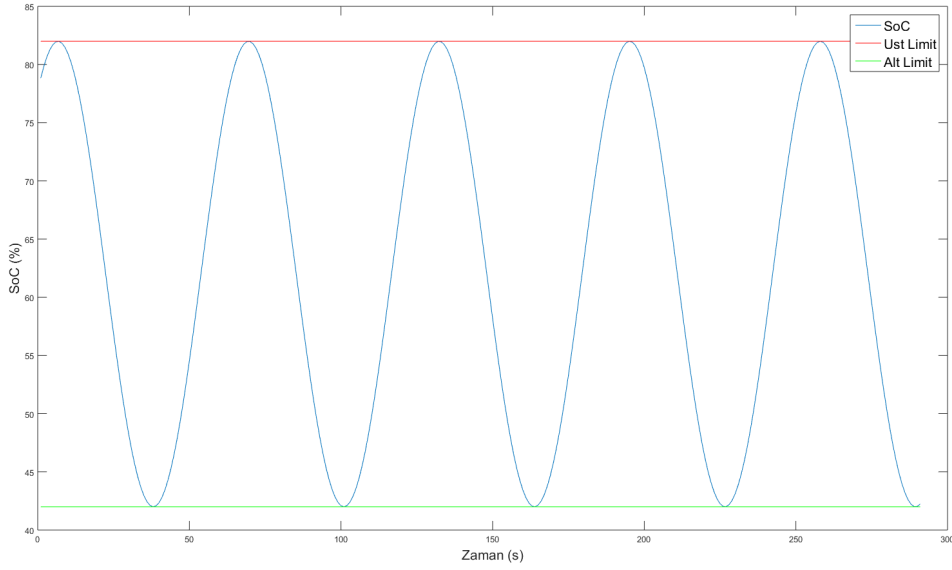
Önceki kısımlarda da belirtildiği üzere batarya yönetimi yoğun çalışma gerektiren önemli bir konudur. Optimize edilmemiş sistemlerin menzili çok düşük olabilir. Hatta sistemdeki batarya devre elemanlarının çektiği gücü beslemeye yetmeyebilir. Bu sebeple zaman içerisinde farklı batarya yönetimi yaklaşımları geliştirilmiştir. Batarya yönetiminden kastedilen aslında bir yaklaşım veya uzlaşımın genelleştirilmesi olsa da motor veya taşıt kontrol sistemlerinde olduğu gibi batarya yönetim sistemi isminde elektronik sistemler oluşturulmuştur. Bu sistemler bataryanın performansını, sıcaklığını, bulunduğu çalışma

konumunu, ihtiyaç duyulan ve sisteme beslenecek güç vb. parametreleri gözlemleyerek batarya (veya batarya paketinin) istenilen güvenli bölgede kalmasını sağlar.

Bu çalışmada ise sistemi basitleştirmek için bataryanın sıcaklık, nem vs. ortam faktörlerinin tüm analiz boyunca sabit ve güvenli bölgede tutulduğu varsayılmıştır. Böylece batarya modellemesi ve yönetimi sadece performans bakış açısıyla yapılabilmektedir. Bataryanın herhangi bir andaki şarj seviyesini tam şarj kapasitesine oranladığımız zaman Batarya şarj durumu (SoC) değerini elde ederiz. Bu değer genel olarak yüzdesel ve %0 batarya boş %100 batarya dolu olacak şekilde ifade edilir. Başlık 2.6'da yapılan batarya ile yakıt deposu analogisini düşündüğümüzde SoC değerini de yakıt seviye göstergesi olarak düşünebiliriz. SoC değerinin belirlenmesi batarya içeren sistemlerde büyük önem taşır. SoC optimizasyonu sayesinde bataryayı derin deşarj ve aşırı şarj etme durumlarından kurtarabiliriz. Bataryaların çalışma prensiplerinden dolayı şarj-deşarj durumlarında tüm SoC bölgelerinde aynı şekilde davranmazlar. Batarya yönetimi sistemleri sayesinde bu farklı bölgelerdeki verimleri de optimize edebiliriz. Gerçek hayatta bir taşıtın SoC değerini doğrudan hesaplayamayız. Fakat yapılan çalışmalar sayesinde geliştirilmiş metotlar ve doğrudan olmayan yöntemlerle SoC değerini tespit edebiliriz. Bu yöntemlere örnek olarak, kimyasal yaklaşım, voltaj tabanlı hesaplama, zamana bağlı akım integrali, Kalman filtrelemesi ve basınç yöntemleri örnek olarak verilebilir (Piller vd., 2001). Bu tezin modelleme kısmında ise başlangıç adımı için bir değer, SoC_i , belirlenmiş, sürüş çevrimlerindeki zamana bağlı çözümler de bu değerden yola çıkarak hesaplanmıştır. Yapılan basitleştirmeler ve kabuller doğrultusunda modellemenin gerçek ortam testlerine olan avantajı sayesinde doğrudan SoC değeri bulunabilmektedir.

SoC değerinin belirli bir değer üstünde tutulması bataryanın aşırı ısınmasına ve aşırı beslenmesine sebep olabilir. Aynı şekilde SoC değerinin belirli bir değer altında olması da derin deşarj karakteristiğinden dolayı batarya ömrünü kısaltmaktadır. Bu SoC çalışma bölgesi durumu, batarya yönetim sisteminin üstesinden gelmesi gereken bir problemdir ve mevcut sistemler bu soruna cevap verecek şekilde tasarlanmaktadır. Bu yüzden de batarya yönetim sistemi kontrol algoritmasının modellenmesi de hibrit motor kontrol sistemlerinde büyük bir pay taşımaktadır. Farklı ihtiyaçlara göre farklı yaklaşımlar mevcuttur. Bu tezde ise histerezis veya diğer adıyla aç-kapa kontrol modeli yaklaşımına gidilmiştir. Aç-Kapa kontrol, batarya yönetim sistemlerinde kullanılan yaygın, kuvvetli ve pratik bir yaklaşımdır (Feng Xuyun ve Sun Zechang, 2008). Sistemdeki bataryanın SoC değerinin çalışma bölgesi bir en yüksek bir de en düşük değer tarafından sınırlandırılır. Bu sınırlar kullanılan batarya türü, motor türü ve ihtiyaca göre değişebilse de genelde üst limit olarak 70-90, alt limit olarak 40-60 değerleri kullanılabilir. Bu yaklaşım adından da anlaşıldığı gibi histerezis temelli bir yaklaşımdır. Bataryanın şarjının azalmasına alt sınıra gelene kadar izin verilir. Daha sonra sistem yapılan hesaplar aracılığıyla uygun şarj

modelini belirler ve bataryayı şarj etmeye başlar. SoC değeri üst limite geldiğinde ise şarj olma durumu bırakılır ve batarya o anki optimum modda sistemi beslemeye başlar. Çalışma boyunca bu bataryanın şarj-deşarj döngüsü tekrarlanır ve şarj modu sürekli açıp kapanır. Bu sebeple de bu yaklaşım aç-kapa kontrol adını almıştır. Bu kontrol türünün modellenmesi, 3.1.5, 3.1.6 ve 3.1.7 kısımlarında; rastgele limit değerlerle elde edilmiş, aç-kapa kontrol ile kontrol edilen zamana bağlı SoC değerlerini içeren görsel ise Şekil 2.7’de görülebilir.



Şekil 2.7 Zamana bağlı aç-kapa kontrolcülü SoC eğrisi

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

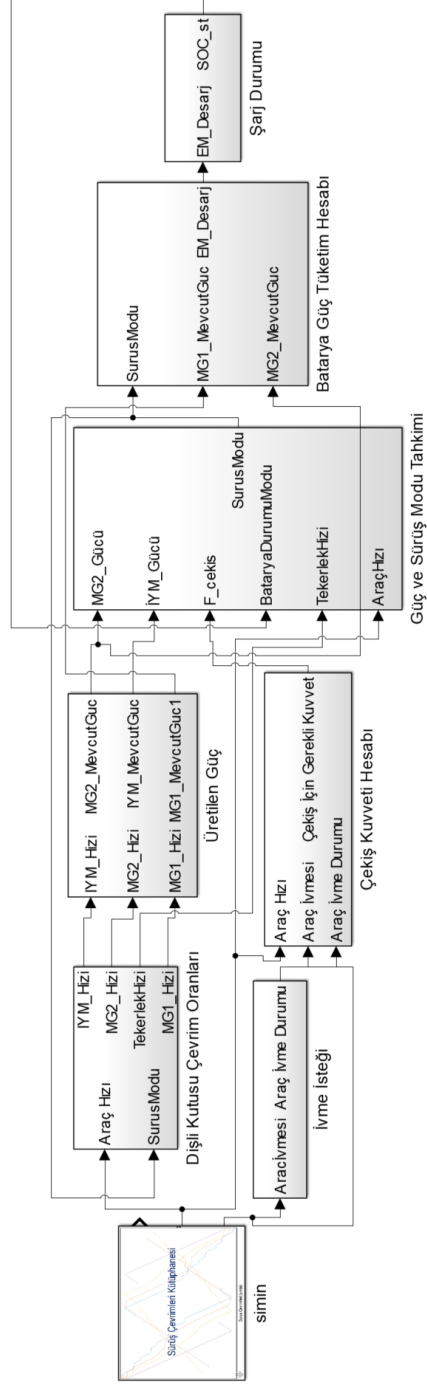
Literatür kısmında da bahsedildiği üzere hibrit motor sistemi kontrol algoritmasını modellemek amacıyla Simulink ortamında bir model oluşturulmuştur. Bu modele, kontrolcüyü test etmek amacıyla farklı sürüş çevrimleri entegre edilmiştir. Böylece kontrolcü performansını ve sağlamlığını görebilmek adına birden fazla kıyas ortaya çıkmıştır. Bu bölümde oluşturulan model ve bu modelin her bir alt sistemi kendi alt başlıklarında incelenmiştir.

3.1 Simulink Hibrit Motor Sistemli Taşıt Modeli

Kontrolcü modelinin verimli ve düzgün çalışması için kontrol edilecek değişkenlerin de aynı hassasiyet ve doğrulukla modellenmesi gerekmektedir. Bu sebeple kontrolcüyü ek olarak, hibrit motor sisteminin içerisinde yer aldığı taşıt, bu taşıta etkiyen kuvvetler ve buna bağlı gerekli ivme ve çekiş miktarları da modellenmiştir. Simulink'te oluşturulan model:

- İvme İsteği,
- Çekiş Kuvveti Hesabı,
- Dişli Kutusu Çevrim Oranları,
- Üretilen Güç,
- Güç ve Sürüş Modu Tahkimi,
- Batarya Güç Tüketim Hesabı,
- Şarj Durumu,

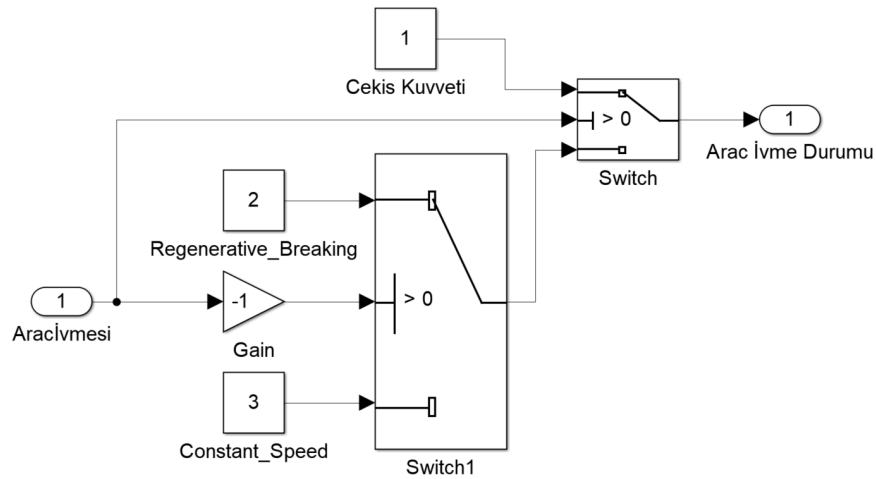
olmak üzere 7 alt sistemden oluşmaktadır. Bu alt sistemlerin de içerisinde yer aldığı genel modelinin görüntüsü Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1 Simulink sistem modeli

3.1.1 İvme isteği

Hibrit motor sisteminin kontrol edilebilmesi için öncelikle anlık olarak taşıtın ivme isteği bilinmelidir. Burada ivme isteğinden kastedilen taşıtın hızındaki değişimdir. Bu sayede taşıtın hızlanması için motor veya motorların sağlaması gerekli kuvvet bilinebilecektir. İvme isteğinin negatif çıkması yani yavaşlama durumunda ise, batarya seviyesine bağlı olarak rejeneratif fren yapılabilir. Sürüş çevriminden saniye başına belirli olan ivme isteği bu sistemin girdisi; çıktısı ise hızlanma, yavaşlama ve sabit hızı anlatan ivme durumudur. Bu sistem ve elemanları Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2 İvme isteği alt sistemi

3.1.2 Çekiş kuvveti hesabı

Aracı noktasal ve bütün bir kütle olarak kabul edersek Newton’ın 2. hareket yasası ile çekiş kuvvet hesabını yapabiliriz. Araca etkiyen başlıca kuvvetler ise çekiş ve kayıp kuvvetleridir. Çekiş kuvvetleri aracın o anki ivmesi ve kütlesi yardımıyla araca etkiyen net kuvvet ile aracın o anki kayıp (sürtünme vb.) kuvvetleri arasındaki fark sayesinde bulunur. Çekiş kuvvetleri aynı zamanda aktarma organları aracılığı ile hibrit motor sisteminin araca aktarması gereken kuvvettir (Rajamani, 2011).

$$F_{net} = F_{cekis} - F_{kayıplar} \quad (3.1)$$

Burada F_{net} , araca etkiyen net kuvveti, F_{cekis} araca etkiyen çekiş kuvvetlerinin toplamını ve $F_{kayiplar}$ araca etkiyen kayıp kuvvetlerinin toplamı ifade eder. Denklem 3.1 F_{cekis} için düzenlenirse

$$F_{cekis} = F_{net} - F_{kayiplar} \quad (3.2)$$

Denklem 3.2 elde edilir. m_{arac} araç kütlesini, a_{arac} ise araç ivmesini belirtir. Newton'un ikinci hareket yasası araç için uygulanırsa;

$$F_{net} = m_{arac}a_{net} \quad (3.3)$$

denklem 3.3 elde edilir. 3.2 ve 3.3 denklemleri birleştirilirse çekiş için gerekli kuvveti arabanın o anki ivme isteğine bağlı ifade eden çekiş denklemi (Denklem 3.4) bulunur.

$$F_{cekis} = (m_{arac}a_{net}) - F_{kayiplar} \quad (3.4)$$

Araca etkiyen kayıp kuvvetleri ise, aerodinamik kuvvet, araç-yol arasındaki sürtünmeden kaynaklı yuvarlanma kuvveti ve araca etkiyen yer çekiminden kaynaklanan kuvvettir. Bu kuvvetler sırasıyla 3.5, 3.6 ve 3.7 denklemlerinde; bu kuvvetlerin toplamı ise denklem 3.8'te verilmiştir.

$$F_{aero} = \frac{1}{2}\rho C_d A_f (\dot{x} + V_{ruz})^2 \quad (3.5)$$

$$F_{yuvarlanma} = R_{xf} + R_{xr} = f(F_{zf} + F_{zr}) = f(mg\cos(\alpha)) \quad (3.6)$$

$$F_{yercekimi} = m_{arac}g\sin(\alpha) \quad (3.7)$$

$$F_{kayiplar} = F_{aero} + F_{yuvarlanma} + F_{yercekimi} \quad (3.8)$$

Buradaki terimler araca etkiyen aerodinamik kuvvet (F_{aero}), araca etkiyen yuvarlanma kuvveti ($F_{yuvarlanma}$), araca etkiyen yerçekimi kuvveti ($F_{yercekimi}$) olarak

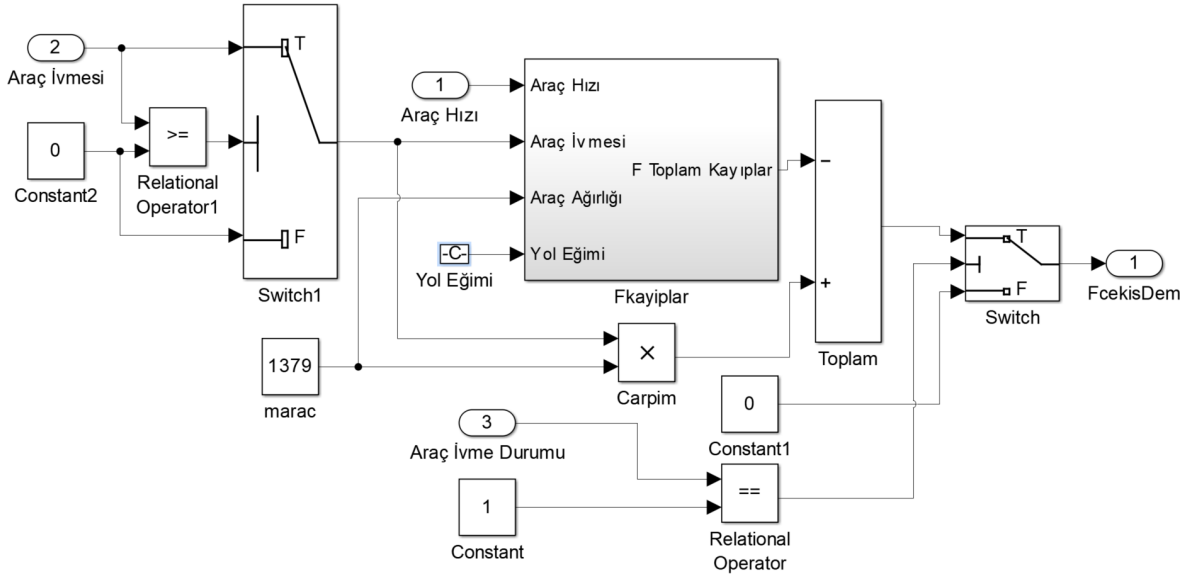
sıralanabilir. Kayıp denklemlerinin açık halleri tek tek 3.8 denkleminde yazılırsa 3.9 denklemi bulunur.

$$F_{kayıplar} = \frac{1}{2}\rho C_d A_f (\dot{x} + V_{ruz})^2 + m_{arac} g \sin(\alpha) + f(m_{arac} g \cos(\alpha)) \quad (3.9)$$

Burada A_f rüzgarın etkidiği ön yüzey alanı, ρ hava yoğunluğunu, C_d sürtünme katsayısını, g yerçekimi ivmesini, α ise yolun yatay eksenle yaptığı açığı ifade eder. Denklem 3.9 denklem 3.4'te yerine yazıldığında, herhangi bir aracın herhangi bir ivmedeki çekiş gücünü hesaplayabilmek için gerekli denklem elde edilir.

$$F_{cekis} = (m_{arac} a_{net}) - \left(\frac{1}{2}\rho C_d A_f (\dot{x} + V_{ruz})^2 + m_{arac} g \sin(\alpha) + f(m_{arac} g \cos(\alpha)) \right) \quad (3.10)$$

Bu hesapları yapabilmek için Simulink'te oluşturulan alt sistemin girdileri araç hızı, araç ivmesi ve araç ivme durumu; çıktısı ise araç çekişi için gerekli kuvvettir. Denklem 3.10 yardımı ile oluşturulan alt sistemin görüntüsü Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3 Araç çekiş kuvveti hesabı alt sistemi

3.1.3 Dişli kutusu çevrim oranları

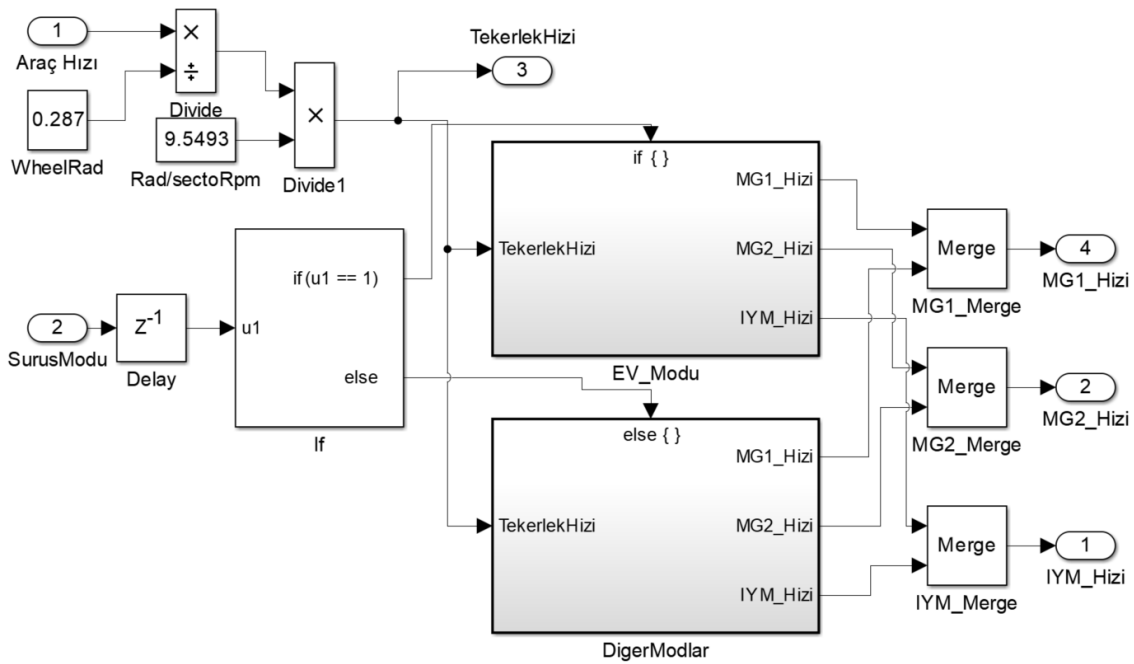
Motorların hareketin sağlandığı tekerlek vb. parçalara doğrudan bağlanmadığı sistemlerde, motorlar ve tekerlekler arasında birtakım aktarım organları bulunur. Burada açısal hızları ve kuvvet uygulama eksenlerini tasarım doğrultusunda değiştirebilmektir. Bu çalışmada ise

motorlarla tekerlekler arasındaki aktarımı sağlayan güç ayırım cihazı üzerinde durulmuştur. Kısım 2.3.1’de de bahsedildiği üzere, güç ayırım cihazı da bir tür planet dişli setidir. Yani bu taşıtın dişli kutusu mekanizma denklemleri, planet dişli mekanizma denklemleri kullanılarak oluşturulabilir. Aslında karmaşık bir sistem olsa da bu denklemler aracılığıyla kinematik olarak önceden paylaşılan hız denklemleri ile araç hızı ve tekerlek hızı arasındaki bağlantı kurulabilir.

Dişli kutusu hesaplarına geçmeden önce araç hızından tekerlek hızına geçilmelidir. Çünkü dişli kutusu çıktısını tekerleğe aktarmaktadır. Motor hızları, dakikadaki devir sayısı ile açıklandığı için, aracın çizgisel hızından tekerlek yarıçapı sayesinde açısal hıza, ve daha sonra ilgili dönüşüm yapılarak tekerleğin dakikadaki devir sayısına geçilebilir. Bu ifade denklem 3.11’de verilmiştir.

$$n_w = \frac{V_{arac} 60}{r_w 2\pi} \quad (3.11)$$

Denklem 3.11’te n_w tekerlek hızını, V_{arac} , araç hızını ve r_w tekerlek yarıçapını ifade eder. Tekerlek hızı hesabından sonra ayna, gezegen ve güneş dişli eşleştirmeleri sayesinde motor hızlarına geçilebilir. Fakat bir dişlinin güç çifti oluşturduğu diğer dişliler değişebilmektedir. Örneğin, kısım 3.1.5’te detaylı anlatıldığı üzere, düşük hızlarda ve uygun bataryada içten yanmalı motora ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu sebeple içten yanmalı motorun bağlı olduğu gezegen dişli seti bir taşıyıcı yardımıyla geriye çekilerek sistem ayrılır. Bu sayede sürtünmeden kaynaklı kayıpların önüne geçilir, sistemin ömrü uzatılır. Dişli kutusu modellenirken de bu farklı sistem durumları göz önünde bulundurulmuştur. Referans alınan güç ayırımı cihazında planet dişli setinden 2 adet yer almaktadır. Buradaki amaç çekici motoru doğrudan tekerleklerin olduğu sisteme bağlarken farklı bir dişli oranı kullanmaktır. İçten yanmalı motor da ikincil planet dişli setinde yer aldığı için motorların çalışması sırasında motor hızlarının çalıştığı bölgelerde yüksek esneklik sağlanabilmektedir. Planet dişlideki elemanlar ile mekanizma teorisine uygun olacak şekilde farklı kinematik sistemler oluşturulmuştur. Aslında buradaki kinematik sistemler, sadece elektrik motoru, sadece içten yanmalı motor veya aynı anda hem elektrik motorunu hem de içten yanmalı motoru çalıştıran alternatif bağlantılardır. Bu kinematik yaklaşım sayesinde hibrit sistemde yer alan motorların hız bağıntıları kurulmuştur. Bu girdiler aracılığıyla oluşturulan sistemin çıktıları ise içten yanmalı motor (İYM) hızı, motor-jeneratör (MG1) hızı ve çekici motor (MG2) hızıdır. Bu alt sistemin yer aldığı görsel Şekil 3.4’te bulunabilir.



Şekil 3.4 Dişli kutusu çevrim oranları alt sistemi

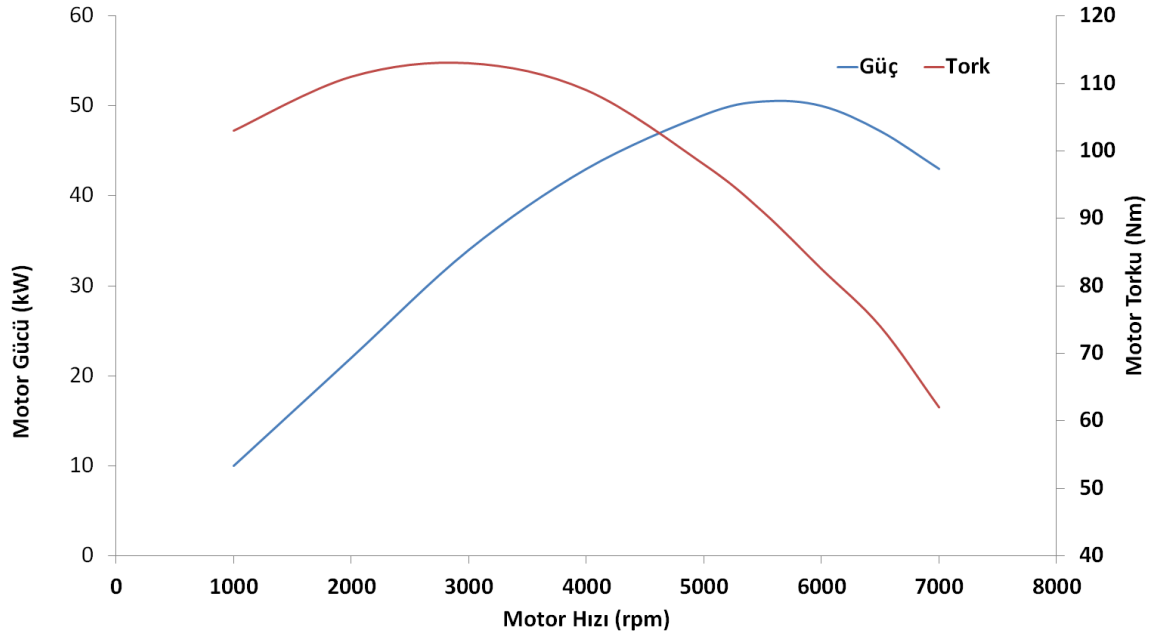
3.1.4 Üretilen güç

Bir motorun ürettiği güç, motorun torku ve hızı ile orantılıdır. Bu ilişki aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (Heywood, 1988).

$$P_{motor} = \frac{T_{motor} N_{motor}}{9548.8} \quad (3.12)$$

Burada P_{motor} motor gücünü, T_{motor} motor torkunu ve N_{motor} motor hızını ifade eder. Motorun elektrikli veya içten yanmalı olmasından bağımsız olarak, her motorun karakteristik bir devir-tork eğrisi vardır. Bir içten yanmalı motor için örnek tork-güç eğrisi Şekil 3.5'te verilmiştir.

Kısım 3.1.3'te elde edilen motor hızları aracılığıyla motor torklarına geçilir. Motor torklarına geçildikten sonra ise denklem 3.12 sayesinde her bir motor için üretilen güç hesaplanır. Bu sayede hibrit motor sisteminin o an için üretebileceği toplam güç ve eğer gerekirse bataryanın ne kadar şarj edilebileceği bulunabilir. Güç hesabına yarayan bu alt sistemin girdileri sırasıyla İYM hızı, MG1 hızı ve MG2 hızı; çıktıları ise ilgili motorların üretebilecekleri mevcut güçlerdir. Alt sistemin görüntüsü Şekil 3.6'da verilmiştir.

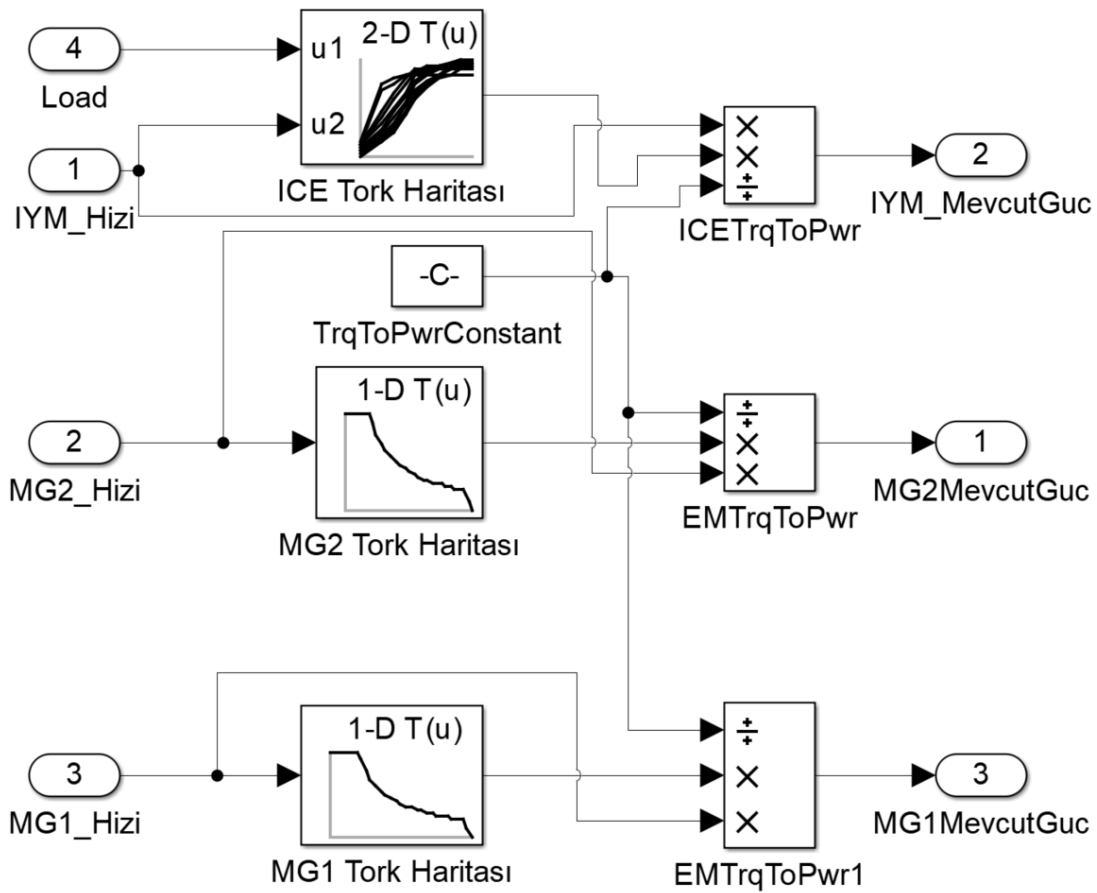


Şekil 3.5 Motor devrine bağlı tork ve güç eğrileri (Yehia ve Mostafa, 2014)

3.1.5 Güç ve sürüş modu tahkimi

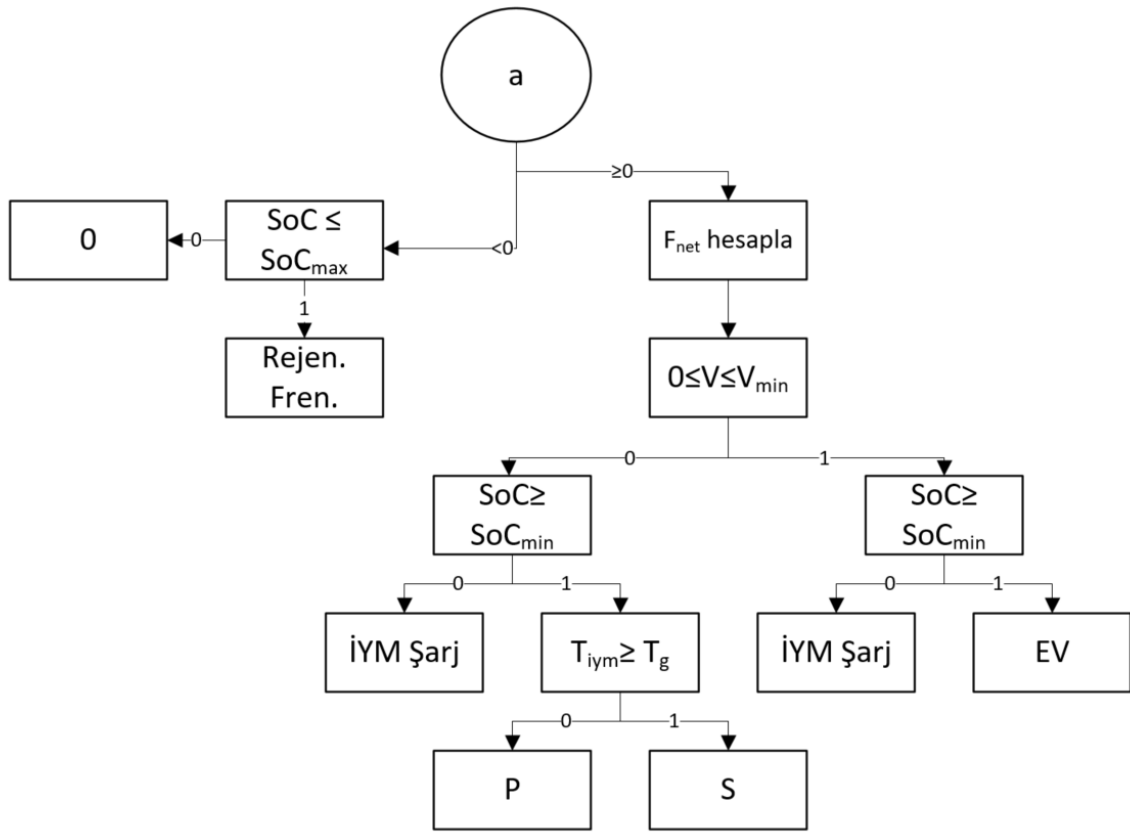
Hibrit sistemlerin kontrolcülerinde pek çok yaklaşım bulunabilmektedir. Bu kontrolcüler sistemdeki farklı parametreleri gözlemleyerek gereken tahkimleri yapmaktadırlar. Bu çalışmada ise sistem parametrelerine göre güç ve sürüş modu tahkimi yapılmıştır. Tahkimin algoritması Şekil 3.7'de verilen mantık akışına göre çalışmaktadır.

Kontrolcü, sürüş çevriminden gelen taşıt sistem ivme isteğini inceler. İvmenin negatif olduğu durumlarda çeşitli frenlemeler sayesinde araç yavaşlayabilir. Basitleştirilmemiş sistemlerde GPS (Global Positioning System- Küresel Konumlama Sistemi) aracılığı ile yol ve çevresel şartlar, öndeki ve arkadaki diğer taşıtlar, ilerideki yolun eğim durumu, batarya ve sistem sıcaklıkları gibi pek çok parametre çevrim dışı yani kural bazlı veya çevrim içi yani anlık olarak gözlemlenebilmektedir. Bazı kabuller yardımıyla basitleştirilmiş bu çalışmada ise asıl tahkim, ivmenin pozitif olduğu hızlanma durumlarındadır. Hızlanma gerekirken kontrol edilen başlıca parametreler ise araç hızı ve batarya şarj durumudur. Öncelikli olarak araç hızı kontrol edilir. Araç hızı 0'dan büyük ve araç hızı alt sınırının altındaysa ve batarya şarj durumu, batarya şarj durumu alt sınırının üstündeyse sistem tahriği sadece elektrikli motordan alır. Bu sayede elektrikli motorun düşük hızlardaki yüksek torkundan yararlanılarak rahat bir kalkış sağlanır. Aynı zamanda içten yanmalı motor çalıştırılmadığı için emisyon değeri de 0 olarak kabul edilebilir. Batarya şarj durumu değerinin alt sınırının altında olmasında ise sistemdeki içten yanmalı motor hem tahriği hem de batarya şarjını sağlar. Bu sayede taşıta gerekli olan ivme



Şekil 3.6 Üretilen güç alt sistemi

sağlanarak taşıt hareket ederken, çekici motorun da ileride kullanabilmesi için gerekli batarya gücü üretilir. Araç hızı, araç hızı alt sınırının üstüne çıktığında ise tekrardan batarya kontrol edilir. Eğer bataryanın şarj durumu alt sınırın altındaysa içten yanmalı motor ile hızlanma korunurken batarya bir önceki modda olduğu gibi şarj edilir. Eğer bataryanın şarj durumu alt ve üst sınırlar arasında ise, çekiş kuvveti hesabı yapılır. Çekiş kuvveti hesabından gelen gerekli çekiş gücü ile anlık olarak içten yanmalı motorun üretebileceği güç kıyaslanır. İçten yanmalı motorun gücü sisteme gerekli ivmeyi kazandırmaya yetiyorsa sadece içten yanmalı motor ile tahrik sağlanır. Eğer içten yanmalı motorun mevcut gücü sistemi ivmelendirmeye yetmiyorsa içten yanmalı motor ve çekiş motorlarının güç ayırım cihazına aynı anda güç aktarması sağlanır ve tahrik her iki motor tarafından elde edilir. Sistemi ivmelendirmek için gerekli çekiş gücünün her iki motorun ürettiği toplam güçten küçük veya eşit olması beklenir. Bu durum ise endüstride bir optimizasyon problemi olarak yer alabilmektedir. Eğer gerekli çekiş gücü yüksekse bu gücü sağlayacak motorlar da görece büyük olacaktır. Büyük motorlar ise az gücün gerektiği bölgelerde verimsiz çalışabilir. Tasarıma başlanmadan önce sistemin çalışma koşulları değerlendirilerek ihtiyaçlar belirlenmeli ve bu ihtiyaçları karşılayacak motor sistemleri kurulmalıdır.



Şekil 3.7 Güç ve sürüş modu tahkimi mantık akışı

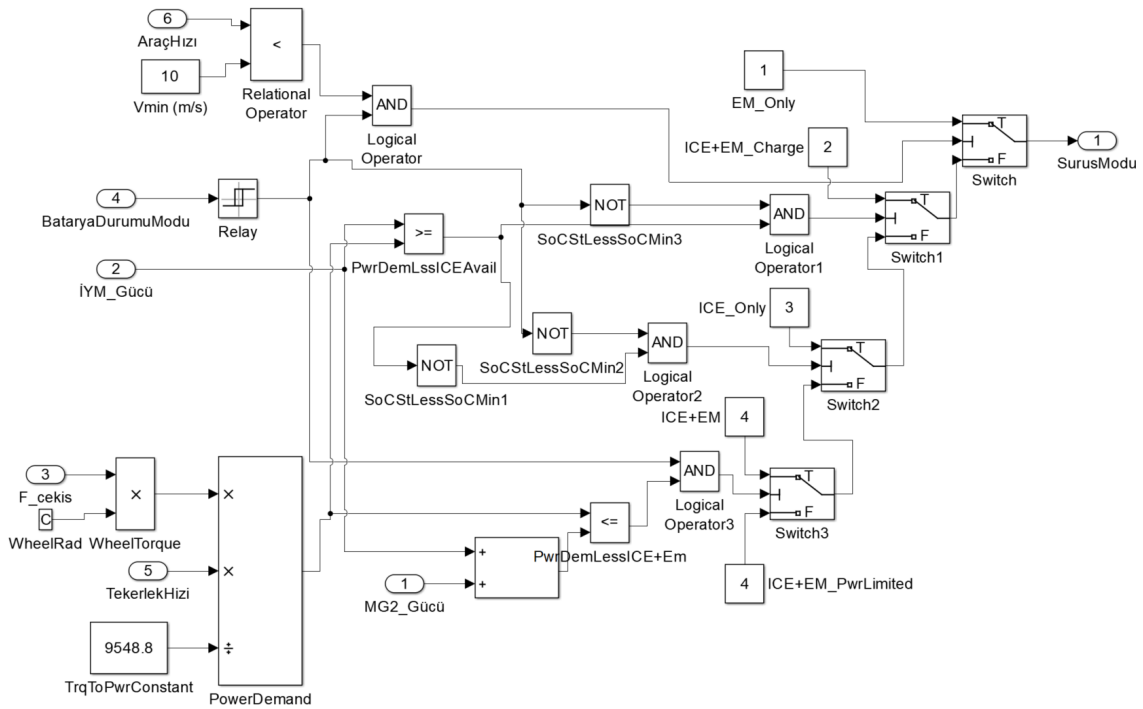
Bu algoritmanın Simulink ortamında oluşturulmuş alt sistemin görüntüsü Şekil 3.8’de verilmiştir.

3.1.6 Batarya güç tüketim hesabı

Güç ve sürüş modu tahkimi yapıldıktan sonra, bataryadan anlık olarak çekilecek güç veya bataryaya anlık olarak beslenecek güç bilinecektir. Bu sayede yapılan tüm tahkimler pozitif veya negatif tek bir sayısal ifadeye çevrilerek batarya kontrolü basitleştirilecektir. Yani bu alt sistemin yegane çıktısı hibrit motor sisteminin batarya ile arasındaki elektriksel güç aktarım değeridir. Modlara bağlı olan bu alt sistemin 3.1.7 kısmına sağladığı güç çıktısının modeli Şekil 3.9’da görülebilmektedir.

3.1.7 Şarj durumu hesabı

Kontrolcüde yer alan bu şarj durumu hesabı alt sisteminin amacı, anlık olarak sistemin şarj durumunu hesaplamaktır. Her an için hesaplanan şarj durumu, bir sonraki ana ait tahkimde kullanılmaktadır. Bataryanın herhangi bir çevrimde başlangıç şarj durumu (SoC_i), batarya güç tüketim hesabından gelen değer ile sürekli olarak güncellenir. Bu güncellenmiş değer bataryanın alt ve üst şarj durumu değerleri ile kıyaslanabilmesi için diğer alt sistemlere

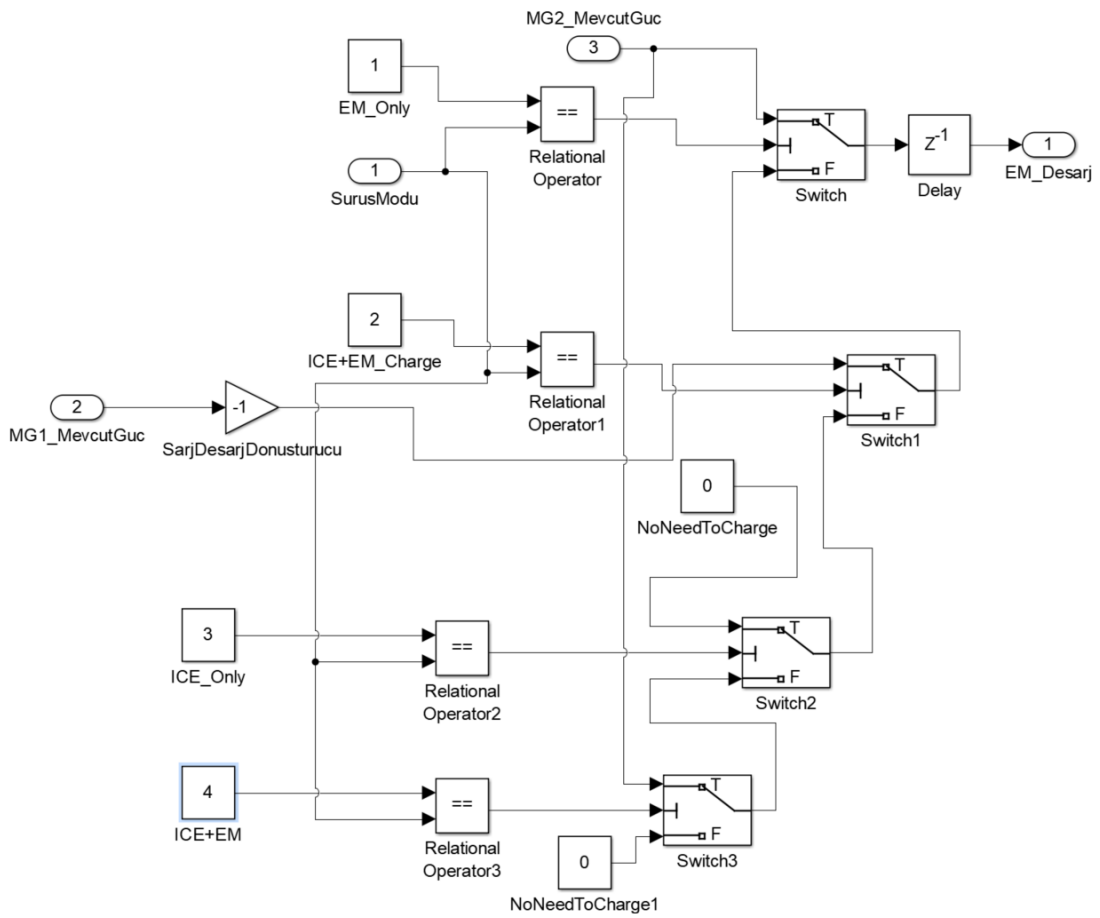


Şekil 3.8 Güç ve sürüş modu tahkimi alt sistemi

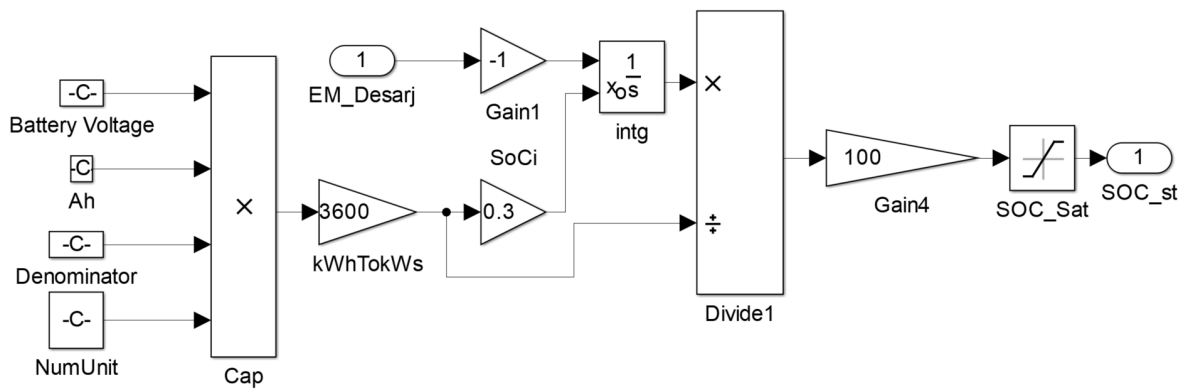
gönderilir. Bu çalışmada yer alan, NEDC, WLTP, FTP-75 ve HFET sürüş çevrimlerinde alt ve üst sınır şarj durumu değerleri olarak sırasıyla %50 ve %80 şarj durumu alınmıştır. Farklı bataryaları da modelleyebilmek amacıyla bataryanın kapasitesi, batarya voltajı, bataryadaki hücre sayısı, bataryanın akım-saat miktarı vb. ile parametrik olarak modellenmiştir. Bu işlemleri ve başlangıç değerini içeren kontrolcü sistem görseline Şekil 3.10'da yer verilmiştir.

3.2 Sürüş Çevrimi Kütüphanesi

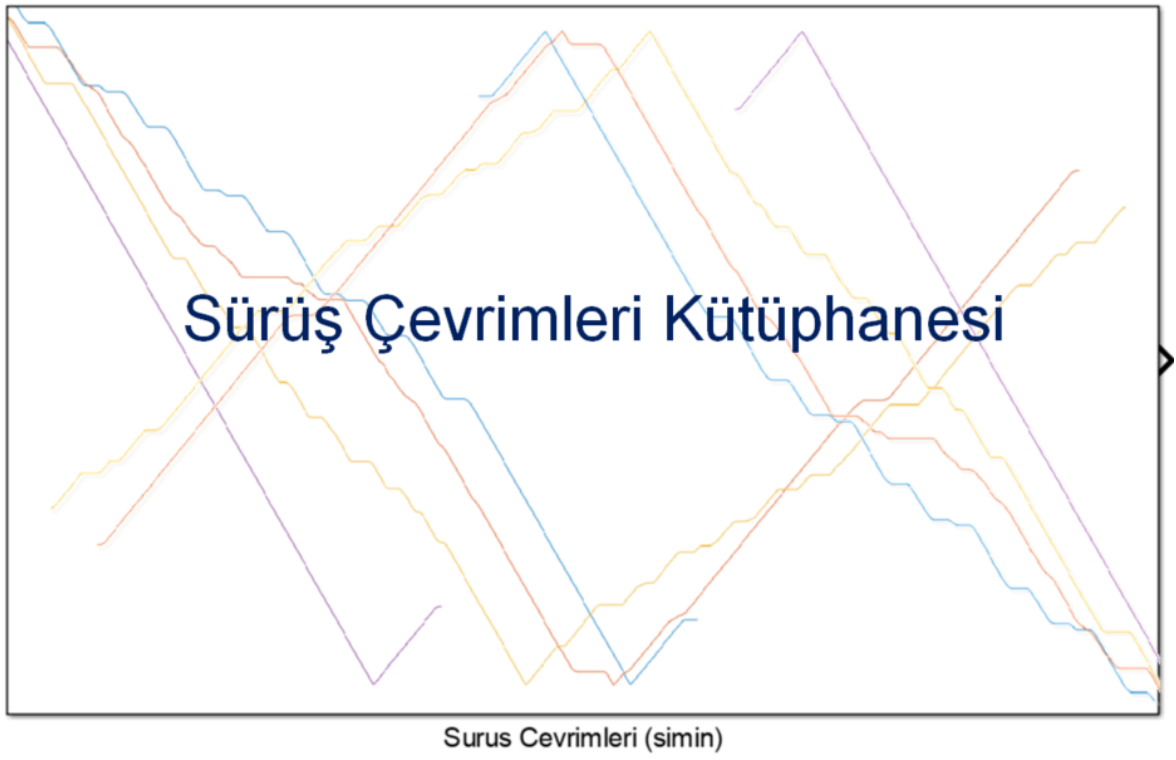
Başlık 2.5'te bahsedilen sürüş çevrimleri, kütüphane olarak Simulink ortamına aktarılmıştır. Aktarılan bu kütüphaneler zamana karşılık sistemin hız, ivme ve mesafe değerlerini içermektedir. Birbirlerine bağlanan alt sistemler nihai olarak bu kütüphanelere bağlanarak simülasyon çalıştırılmıştır. Sistem değişse bile sürüş çevrimi kütüphaneleri bir kez oluşturulduktan sonra istenildiği gibi kullanılabilir. Kütüphanelerin parametrik olması, gelecekteki çalışmalarda da modelleme esnekliği sağlamaktadır. Oluşturulan sürüş çevrimi kütüphaneleri Şekil 3.11'de görülebilir. Her bir simülasyonun sonucu elde edilen zamana bağlı batarya şarj durumu Bölüm 4'te paylaşılmıştır.



Şekil 3.9 Batarya güç tüketim hesabı alt sistemi



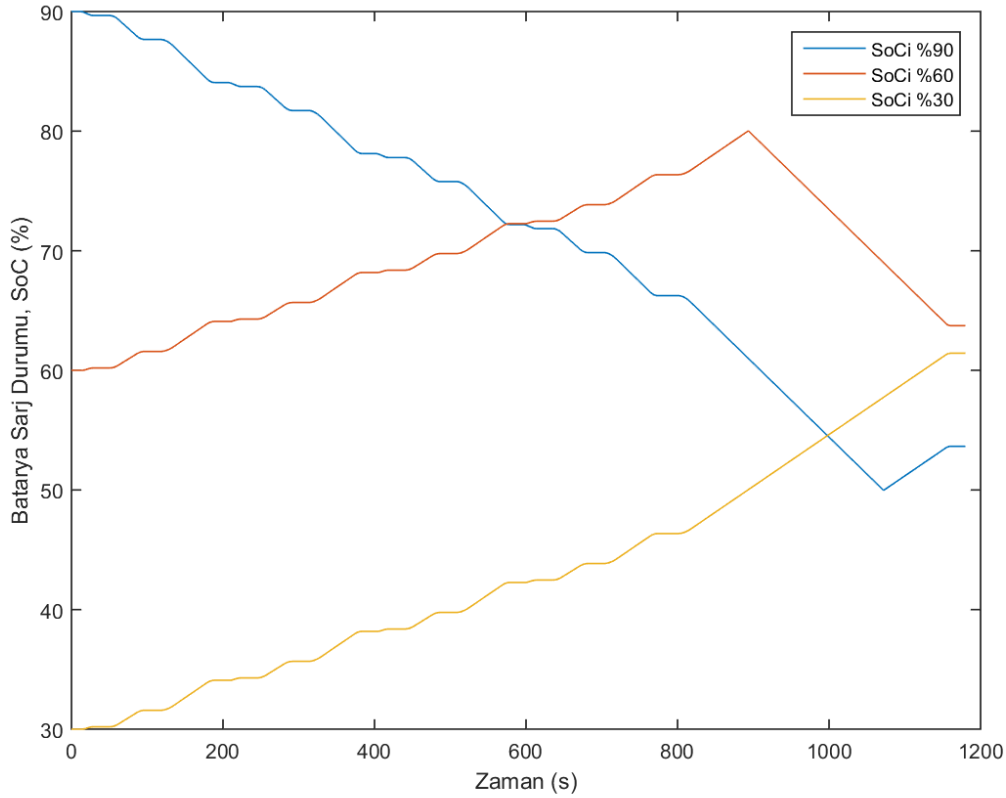
Şekil 3.10 Şarj durumu hesabı alt sistemi



Şekil 3.11 Simulink sürüş çevrimi kütüphanesi

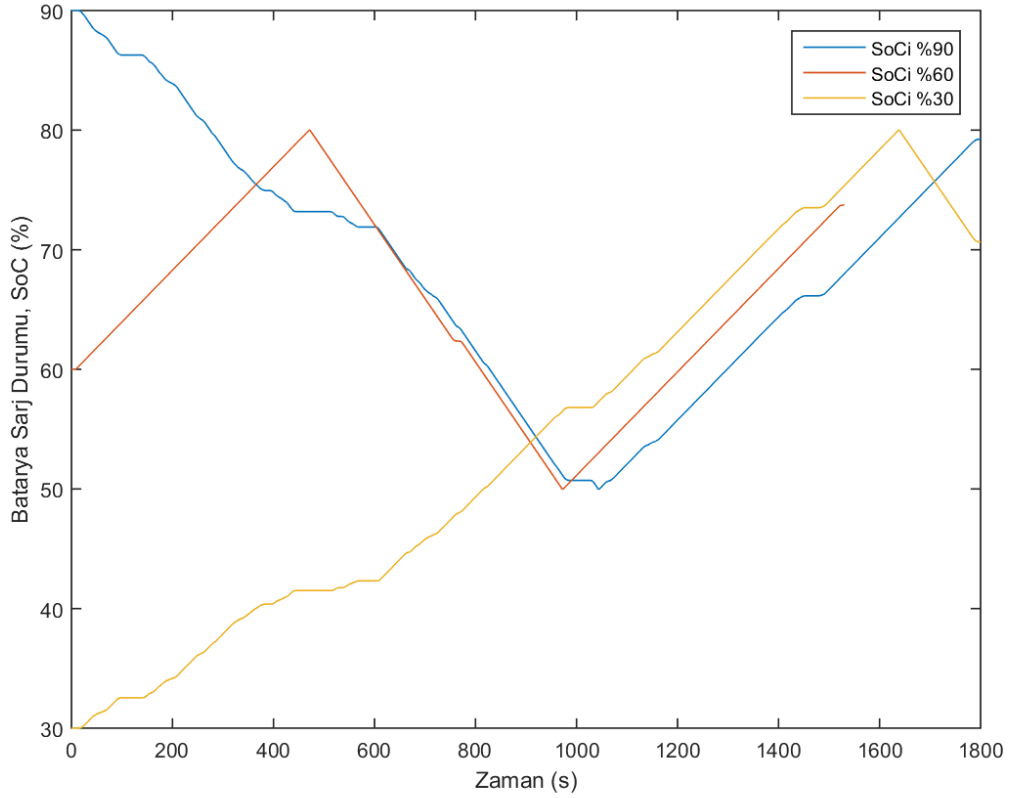
4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Önceki kısımlarda anlatılan ve Simulink ortamında geliştirilen kontrolcü ile bir içten yanmalı ve elektrik motorundan oluşan, güç ayırım cihazlı, seri-paralel hibrit motor sistemi farklı sürüş çevrimlerinde analiz edilmiştir. Her bir sürüş çevrimi için, batarya şarj durumunun zamana bağlı değişimi gösteren sonuçlar grafikleri ilgili görsellerde paylaşılmıştır. Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te sırasıyla NEDC, WLTP, FTP-75 ve HFET sürüş çevrimleri için %90, %60 ve %30 SoC_i değerlerinde başlatılan analiz sonuçları görülmektedir. Bu sayede sürüş koşullarına ek olarak başlangıç koşullarındaki farklılıklar da incelenebilmiştir.



Şekil 4.1 NEDC SoC-zaman grafiği

Oluşturulan kontrolcünün, 3.1.7 kısmında belirtildiği üzere batarya sarj durumunun hedeflendiği gibi alt ve üst sınırlar arasında tutulabildiği, farklı sürüş çevrimleri için gösterilmiştir. Sürüş çevrimleri karşılaşılabilecek çoğu sürüş modunu kapsadığı için

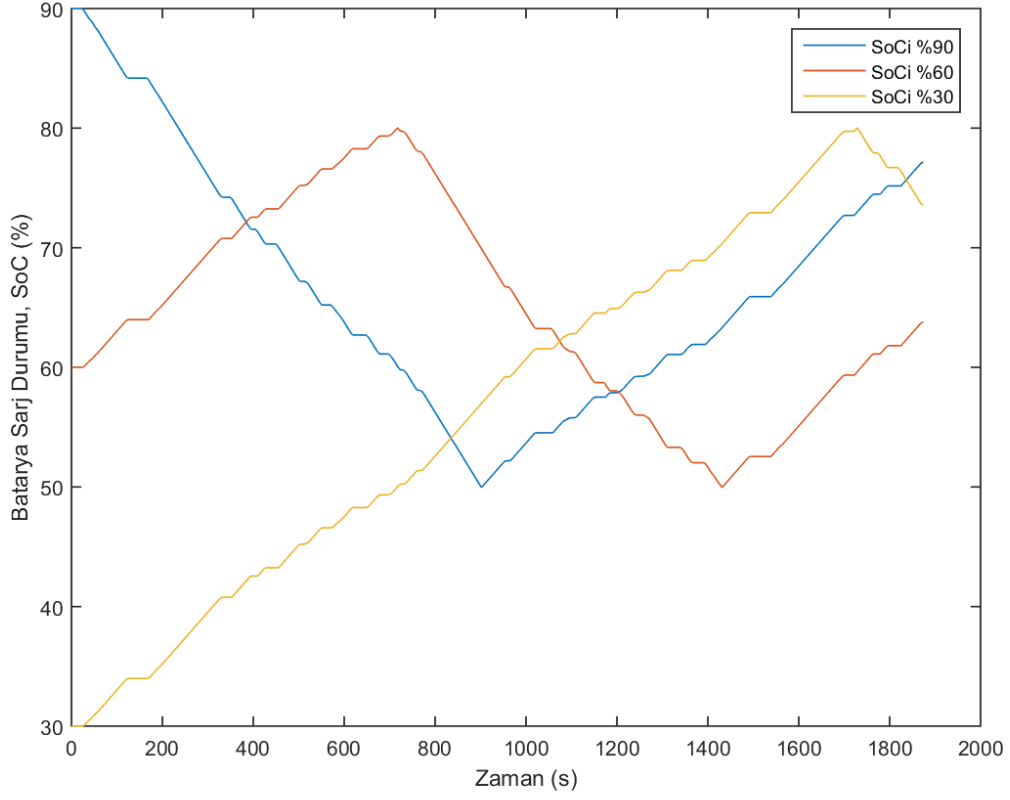


Şekil 4.2 WLTP SoC-zaman grafiği

kontrolcünün de sağlamlılığı bu sayede kanıtlanmıştır. 2.5.4'te de belirtildiği üzere, HFET yüksek hızları içeren, duraklamasız ve kısa bir çevrim olduğu için düşük başlangıç şarj durumlarından hareket edilen durumlarda üst sınıra gelmeden çevrimin tamamlandığı görülmüştür. Bu çevrim de zaten otoban sürüşünü temsil ettiği için ilgili durum beklenen bir sonuç olmuştur. Şarjın hiçbir zaman alt sınırın altına düşmesine izin verilmediği için, bataryanın derin deşarjı da engellenmiştir. Bu sayede herhangi bir zaman diliminde hem sistem operasyonel kalmıştır hem de batarya sağlığı korunmuştur.

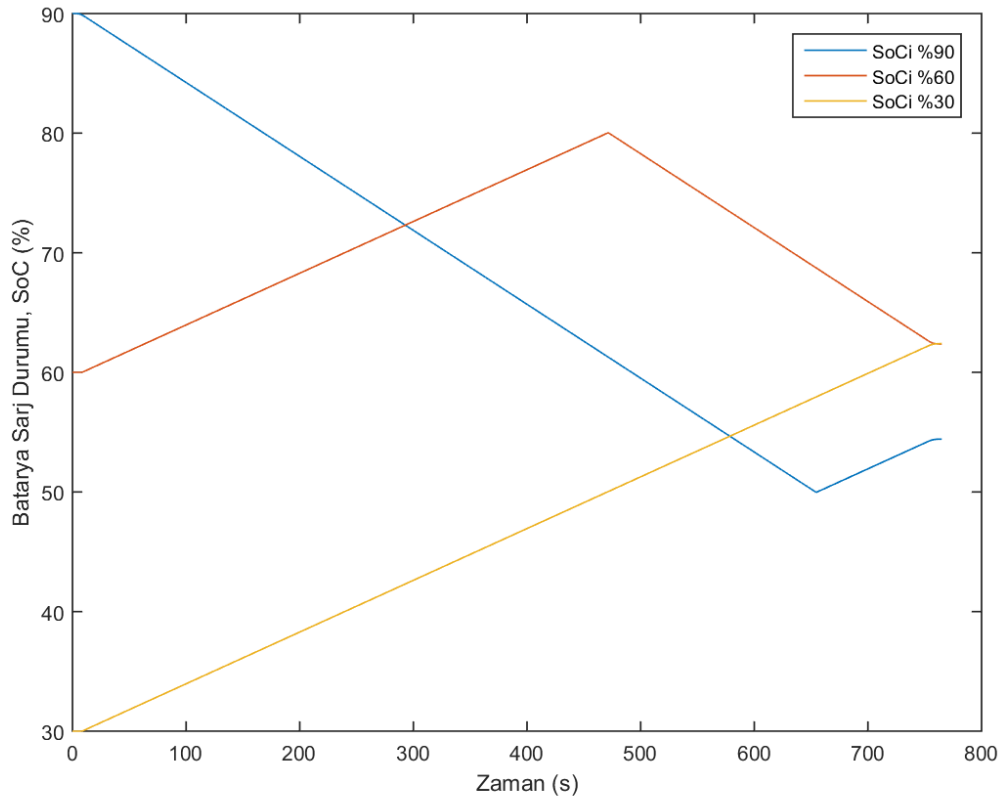
Yaklaşım olarak, SoC_i değerinin alt ve üst batarya şarj durumu limitleri içerisinde olduğu durumlarda algoritma batarya şarj modunda çalışarak öncelikli hedef olarak üst sınırı almıştır. Benzer bir yaklaşım olarak, batarya şarj durumunun alt ve üst limitlerin içerisinde başladığı durumlarda şarjın önce alt sınıra gelene kadar batarya deşarjına izin verip sonrasında şarj moduna da geçilebilir. Algoritmanın önce üst sınırı hedefleme sebebi batarya kullanımında opsiyonları genişletmektir.

Bu kontrolcü modellemesi, bir adet içten yanmalı motorun ve ilaveten her tekerlekte bir adet elektrik motorunun bulunduğu farklı hibrit motor sistemlerinin de



Şekil 4.3 FTP-75 SoC-zaman grafiği

modellenebilmesi amacıyla örnek teşkil etmektedir. Yakıt hücresi vb. içeren sistemlerdeki batarya koruma yaklaşımları da gerektiğinde bu kontrolcüye eklenerek, farklı güç kaynakları için daha karmaşık ve sağlam bir kontrolcü elde edilebilir.



Şekil 4.4 HFET SoC-zaman grafiği

KAYNAKLAR DİZİNİ

Anonim (2017), *From NEDC to WLTP: what will change?* URL: <https://www.wltpfacts.eu/from-nedc-to-wltp-change/>.

— (2019), *Hibrit Nedir? Toyota Hybrid Nedir? - Toyota Türkiye*. URL: <https://www.toyota.com.tr/hybrid-innovation/what-is-hybrid.json>.

— (2020), *PART 600 - FUEL ECONOMY AND GREENHOUSE GAS EXHAUST EMISSIONS OF MOTOR VEHICLES*. URL: <https://ecfr.federalregister.gov/current/title-40/chapter-I/subchapter-Q/part-600>.

Arnaudov Kiril Borisov; Karaivanov, D. P. (2019), *Planetary gear trains*. CRC Press. ISBN: 9780429458521,,9780429857997.

Barsali, S., Miulli, C. ve Possenti, A. (2004), A control strategy to minimize fuel consumption of series hybrid electric vehicles, *IEEE Transactions on Energy Conversion* 19.1, 187–195. DOI: 10.1109/TEC.2003.821862.

Bielaczyc, P., Woodburn, J. ve Szczotka, A. (2015), A Comparison of Carbon Dioxide Exhaust Emissions and Fuel Consumption for Vehicles Tested over the NEDC, FTP-75 and WLTC Chassis Dynamometer Test Cycles, *SAE Technical Paper*. SAE International. DOI: 10.4271/2015-01-1065. URL: <https://doi.org/10.4271/2015-01-1065>.

Brundell-Freij, K. ve Ericsson, E. (2005), Influence of street characteristics, driver category and car performance on urban driving patterns, *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 10.3, 213 –229. ISSN: 1361-9209. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.trd.2005.01.001>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920905000039>.

Byrne, E. (2020), *What Is MATLAB? - Video*. URL: <https://www.mathworks.com/videos/matlab-overview-61923.html>.

Carone, M. (2020), *What Is Simulink? - Video*. URL: <https://www.mathworks.com/videos/simulink-overview-61216.html>.

Chen, L., Zhu, F., Zhang, M., Huo, Y., Yin, C. ve Peng, H. (2011), Design and Analysis of an Electrical Variable Transmission for a Series-Parallel Hybrid Electric Vehicle, *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 60.5, 2354–2363. DOI: 10.1109/TVT.2011.2134876.

Chen, Z. ve Shao, Y. (2013), Dynamic simulation of planetary gear with tooth root crack in ring gear, *Engineering Failure Analysis* 31, 8–18. ISSN: 1350-6307. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.01.012>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350630713000228>.

Crompton, T. (2000), *Battery Reference Book*. Elsevier Science. ISBN: 9780080499956. URL: <https://books.google.com.tr/books?id=QmVR7qiB5AUC>.

Duoba M. Bohn T., L.-B. H. (2005), Investigating Possible Fuel Economy Bias Due To Regenerative Braking in Testing HEVs on 2WD and 4WD Chassis Dynamometers, *SAE Transactions* 114, 324–334. ISSN: 0096736X, 25771531. URL: <http://www.jstor.org/stable/44720962>.

Feng Xuyun ve Sun Zechang (2008), A battery model including hysteresis for State-of-Charge estimation in Ni-MH battery, *2008 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 1–5. DOI: 10.1109/VPPC.2008.4677449.

- Fontaras, G., Franco, V., Dilara, P., Martini, G. ve Manfredi, U. (2014), Development and review of Euro 5 passenger car emission factors based on experimental results over various driving cycles, *Science of The Total Environment* 468-469, 1034 –1042. ISSN: 0048-9697. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.09.043>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969713010814>.
- Gao, L. ve Winfield, Z. (2012), Life Cycle Assessment of Environmental and Economic Impacts of Advanced Vehicles, *Energies* 5. DOI: 10.3390/en5030605.
- Gao, W. ve Porandla, S. K. (2005), Design optimization of a parallel hybrid electric powertrain, *2005 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 6 pp.—. DOI: 10.1109/VPPC.2005.1554609.
- Hancock, P., Vincenzi, D., Wise, J. ve Mouloua, M. (2008), *Human Factors in Simulation and Training*. CRC Press. ISBN: 9781420072846. URL: <https://books.google.com.tr/books?id=cgT56UW6aPUC>.
- Heywood, J. (1988), *Internal Combustion Engine Fundamentals*. 1st **edition**. McGraw-Hill Science/Engineering/Math. ISBN: 007028637X,9780070286375.
- Kågeson, P. (1998), Cycle-beating and the EU test cycle for cars, *European Federation for Transport and Environment (T&E)*, Brussels.
- Keith Araujo Epec, L. (2020), *Battery Cell Comparison*. URL: <https://www.epectec.com/batteries/cell-comparison.html>.
- Krishnan, R. (2001), *Electric Motor Drives: Modeling, Analysis, and Control*. ISBN: 0-13-0910147.
- Mock, P. (2019), *Gasoline versus Diesel: Comparing CO2 emission levels of a modern medium size car model under laboratory and on-road testing conditions*. URL:

https://theicct.org/sites/default/files/Gas%20_v%20_Diesel_%20CO2_emissions_%20EN_%20Fact%20_Sheet%202019_05_07_0.pdf.

Momoh, O. D. ve Omoigui, M. O. (2009), An overview of hybrid electric vehicle technology, *2009 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 1286–1292. DOI: 10.1109/VPPC.2009.5289703.

N. Jalil N. A. Kheir, M. S. (1997), A rule-based energy management strategy for a series hybrid vehicle, *Proceedings of the 1997 American Control Conference (Cat. No.97CH36041)*. **volume** 1, 689–693 vol.1. DOI: 10.1109/ACC.1997.611889.

Odvarka, E., Mebarki, A., Gerada, D., Brown, N. ve Ondrusek, C. (2009), Electric Motor-Generator for a Hybrid Electric Vehicle, *Engineering Mechanics* 16.2, 131–139. URL: <http://dlib.lib.cas.cz:8080/1110/>.

Piller, S., Perrin, M. ve Jossen, A. (2001), Methods for state-of-charge determination and their applications, *Journal of Power Sources* 96.1. Proceedings of the 22nd International Power Sources Symposium, 113 –120. ISSN: 0378-7753. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-7753\(01\)00560-2](https://doi.org/10.1016/S0378-7753(01)00560-2). URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775301005602>.

Rajamani, R. (2011), *Vehicle Dynamics and Control*. Mechanical Engineering Series. Springer US. ISBN: 9781461414339. URL: <https://books.google.com.tr/books?id=cZJFDox4KuUC>.

Volker Druenert Bruce J. Clingerman, W. H. P. (2013), *Self-learning satellite navigation assisted hybrid vehicle controls system*. URL: <https://patents.google.com/patent/US8374740B2/>.

William D. Stevenson, J. (1982), *Elements of power system analysis*. 4th edition. McGraw-Hill.

Yehia, W. ve Mostafa, M. (2014), Practical considerations for marine propeller sizing, 717–724. ISBN: 978-1-138-02727-5. DOI: 10.1201/b17494-95.

Yoshio, M., Brodd, R. J. ve Kozawa, A. (2009), *Lithium-ion batteries*. **volume 1**. Springer.

Zafarparandeh, I. ve Lazoglu, I. (2012), 4 - Application of the finite element method in spinal implant design and manufacture, *The Design and Manufacture of Medical Devices*. Ed. J. P. Davim. Woodhead Publishing Reviews: Mechanical Engineering Series. Woodhead Publishing, 153 –183. ISBN: 978-1-907568-72-5. DOI: <https://doi.org/10.1533/9781908818188.153>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781907568725500042>.

Zhang, F., Yang, F., Xue, D. ve Cai, Y. (2019), Optimization of compound power split configurations in PHEV bus for fuel consumption and battery degradation decreasing, *Energy* 169, 937 –957. ISSN: 0360-5442. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.059>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544218324253>.