

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN GÜZERGAH BİLGİSİ
KULLANILARAK AKILLI ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ**

EYYÜP ASLAN

KOCAELİ 2018

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN GÜZERGAH BİLGİSİ
KULLANILARAK AKILLI ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ

EYYÜP ASLAN

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Zeki BİLGİN

Danışman, Kocaeli Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Nil

Jüri Üyesi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Şule KUŞDOĞAN

Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi


.....

.....

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 10.07.2018

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Öncelikle, bana sunduğu sonsuz nimetler için ve akademik kariyerim boyunca yardımını esirgemeyen yüce Allah'a şükürler olsun.

Kocaeli Üniversitesi'nde Lisans ve Yüksek Lisans çalışmamdaki araştırmalar sırasında bana her koşulda yardım eden danışmanım Mehmet Zeki Bilgin hocama yardımlarından, desteğinden ve beni teşvik etmesinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim. Gerek ders içinde gerekse ders dışında her konuda desteklerini esirgemeyen Tarık Erfidan hocama ve Elektrik Mühendisliği Anabilim dalındaki diğer bütün hocalarıma teşekkürlerimi sunarım. Yüksek Lisans tezimde yaptığım araç testinde bana araç tahsis eden Kocaeli Toyota Kaya Plazaya teşekkür ederim. Yüksek Lisans öğrenimimde beraber çalıştığımız ve her konuda bana desteklerini esirgemeyen değerli arkadaşlarım Khalid Yahya ve Nassim Iqteit'e teşekkür ederim.

Son olarak bu tezi aileme ithaf edeceğim. Okul hayatım, akademik kariyerim boyunca bana desteğini ve sabrını esirgemeyen babama, anneme, kardeşlerime ve bana destek olan bütün akrabalarımın sevgi ve takdirlerimi ifade etmek istiyorum.

Haziran – 2018

Eyyüp ASLAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iiiv
TABLolar DİZİNİ.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	iviii
GİRİŞ.....	1
1. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
2. HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLAR.....	9
2.1. Hibrit Elektrikli Araç Topolojileri.....	9
2.1.1. Mikro hibrit.....	10
2.1.2. Mild hibrit.....	10
2.1.3. Tam hibrit.....	11
2.1.3.1. Seri hibrit.....	11
2.1.2.2. Paralel hibrit.....	12
2.1.2.3. Seri-Paralel hibrit.....	13
2.1.2.4. Kompleks hibrit.....	14
2.1.2.5. Plug-in hibrit.....	15
2.2. Hibrit Elektrikli Araçların Temel.....	16
2.2.1. Mikro hibrit.....	16
2.2.1.1. Doğru akım motorları.....	17
2.2.1.2. Anahtarlamalı relüktans motorları.....	18
2.2.1.3. Asenkron motorlar.....	18
2.2.1.4. Sürekli mıknatıslı fırçasız motorlar.....	19
2.2.2. Hibrit Elektrikli araçlarda kullanılan Motor Sürücüleri.....	20
2.2.2.1. DA Motoru sürücüleri.....	20
2.2.2.2. Asenkron Motor Sürücüleri.....	22
2.2.2.3. Sabit Mıknatıslı Motor Sürücüleri.....	24
2.2.2.4. Anahtarlamalı Relüktans Motoru Sürücüleri.....	25
2.2.3. İçten yanmalı motor.....	26
2.2.4. Güç kontrol ünitesi.....	26
2.2.5. Enerji kaynakları.....	27
2.2.5.1. Fosil yakıt.....	27
2.2.5.2. Batarya.....	27
2.2.5.3. Süperkondansatör.....	29
2.2.5.4. Volan.....	31
2.2.5.5. Yakıt pili.....	31
2.2.6. Elektrikli araçlarda şarj teknolojileri.....	32
3. ÖNERİLEN ENERJİ YÖNETİM ALGORİTMASI VE MATEMATİKSEL MODELİ.....	33
3.1. Matematiksel Model.....	33
3.2. Önerilen Enerji Yönetim Algoritması.....	37

4. MATLAB BENZETİMİ VE ARAÇ TESTİ SONUÇLARI	39
4.1. MATLAB Benzetimi ve Sonuçları	39
4.2. Hibrit Elektrikli Araç Testi	42
4.2.1. Yapılan rejeneratif frenleme testi sonuçları	43
4.2.2. Yapılan Uzun Mesafe Testi Sonuçları	47
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	52
6. GELECEK ÇALIŞMALAR	53
KAYNAKLAR	54
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER	57
ÖZGEÇMİŞ	58



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Mild hibrit elektrikli araç topolojisi	10
Şekil 2.2.	Seri hibrit elektrikli araç topolojisi	12
Şekil 2.3.	Paralel hibrit elektrikli araç topolojisi.....	13
Şekil 2.4.	Seri-Paralel hibrit elektrikli araç topolojisi.....	14
Şekil 2.5.	Kompleks hibrit elektrikli araç topolojisi.	15
Şekil 2.6.	Plug-in hibrit	16
Şekil 2.7.	Düşüren tip(buck) DA dönüştürücünün devre şeması ve dalga şekilleri.....	21
Şekil 2.8.	Yükselten tip (boost) dönüştürücünün devre şeması ve dalga şekilleri.....	22
Şekil 2.9.	Sabit V/f kontrolünün genel şeması	23
Şekil 2.10.	Anahtarlama relüktans motoru sürücü devresi	25
Şekil 2.11.	Süperkondansatör prensip devre şeması	29
Şekil 3.1.	Önerilen algoritmanın akış diyagramı.....	38
Şekil 4.1.	İzmit-Kandıra arasındaki güzergahın Google Earth programından alınan görüntüsü	39
Şekil 4.2.	İzmit-Kandıra güzergahının MATLAB’da çizilmiş şekli.....	40
Şekil 4.3.	Güzergah bilgisi tabanlı akıllı enerji yönetim sistemi benzetim modeli	40
Şekil 4.4.	Güzergah tabanlı akıllı enerji yönetim sistemi benzetim sonuçları	42
Şekil 4.5.	Toyota C-HR Hibrit araç kullanıcı bilgilendirme ekranı	45
Şekil 4.6.	Yakıt tüketimi ve rejeneratif frenleme bilgi ekranı.....	45
Şekil 4.7.	Rejeneratif frenleme testinin yapıldığı güzergah	46
Şekil 4.8.	Geri kazanılan enerji miktarları	46
Şekil 4.9.	Kabaoğlu kavşağı ve kalıcı konutlar kavşağı arasındaki test güzergahı.....	47
Şekil 4.10.	Kandıra güzergahı birinci kısım.....	48
Şekil 4.11.	Kandıra güzergahı ikinci kısım	48
Şekil 4.12.	Kandıra güzergahı üçüncü kısım.....	49
Şekil 4.13.	Kandıra güzergahı dördüncü kısım	50
Şekil 4.14.	Kandıra güzergahı beşinci kısım.....	50

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Hibrit elektrikli araç topolojilerinin özelliklerinin karşılaştırılması.	9
Tablo 4.1. Toyota C-HR ve Toyota Prius Plug-in hibrit elektrikli araçlarının teknik özellikleri	42
Tablo 4.2. Regeneratif frenleme testi sonuçları	44



SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR DİZİNİ

R_s	: Seri iç direnç
R_L	: Kaçak dielektrik direnç
V_c	: Kondansatörün elektriksel potansiyeli
f_I	: Otomobilin atalet kuvveti (N)
M_{car}	: Otomobilin kütlesi (kg)
\dot{v}_{car}	: Otomobilin ivmelenmesi (m/s^2)
f_g	: Aracın yerçekimi kuvveti (N)
g	: Yerçekimi ivmesi
f_n	: Aracın kuvvetinin normali (N)
A	: Yolun eğim açısı
f_{rr}	: Tekerleklerin yuvarlanma direnci kuvveti (N)
c_{rr}	: Tekerlek dönme direnci katsayısı
f_{wind}	: Rüzgar direnci kuvveti (N)
ρ_{air}	: 20°C' deki kuru hava yoğunluğu (kg/m^3)
c_{drag}	: Aerodinamik sürüklenme katsayısı
A_{front}	: Cephe alanı (m^2)
v_{car}	: Aracın hızı (m/s)
v_{wind}	: Rüzgar hızı (m/s)
f_t	: Aracın çekiş kuvveti (N)
τ_t	: Çekiş torku (Nm)
r_w	: Tekerlek yarıçapı (m)
τ_w	: Her bir tekerleğin torku (Nm)
ω_w	: Tekerleklerin açısal hızı (rad/s)
p_t	: Aracın çekiş gücü (W)
τ_s	: Elektrik motorunun mil torku (Nm)
η_{TS}	: Elektrik motorunun şaftından iki tekerleğe aktarılan gücün verimi
G	: Diferansiyel dişli oranı
ω_s	: Elektrik motorunun mil hızı (rad/s)
p_s	: Elektrik motorunun mil gücü
$n_{s,max}$: Motorun maksimum devri (rpm)
$v_{car,max}$: Aracın maksimum hızı (m/s)
η_{motor}	: Motor verimi
$\eta_{inverter}$: İnverter verimi
f_{reg}	: Faydalı frenleme kuvvetini (N)
P_{reg}	: Faydalı frenleme gücünü (W)

HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN GÜZERGAH BİLGİSİ KULLANILARAK AKILLI ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ

ÖZET

Üretim ve tüketim sistemini besleyen enerjilerin petrol ve doğalgaz gibi sınırlı yakıtlardan elde edilmesi dünyanın geleceğini tehdit etmektedir. Fosil yakıtla beslenen araçlardan doğaya salınan sera gazları da azımsanacak seviyede değildir. Dünya çapında bu duruma karşı önlem alınması için fosil yakıtlı araçlardan elektrik enerjisi ile çalışan araçlara geçilmesi hedeflenmiştir. Bu geçiş döneminde hibrit araçlar, elektrikli araçlara geçişin ilk adımını oluşturmaktadır. En çok kullanılan hibrit araç modeli, benzin ve elektrik enerjisi ile beslenen hibrit araç modelidir. Hibrit araçlarda elektrikli motor ile benzinli motorun devreye girmeleri farklı modlarda ve farklı koşullarda olmaktadır. Her marka ve modelin işletme şartları farklı olmakla birlikte hemem hemen tamamında güzergah bilgisine göre bir işletme yapılmamaktadır. Güzergah bilgisi değerlendirilmediği durumlarda benzinli motor gereğinden fazla devreye girerek fazla benzin harcayabilmektedir.

Bu çalışmada, hibrit araçlarda elektrik enerjisinin kullanımını en yüksek seviyede tutarak, fosil yakıt kullanımını en aza indirmek amaçlanmıştır. Amaca yönelik olarak bir enerji yönetim algoritması oluşturulmuştur. Asıl hedef hibrit elektrikli aracın mümkün olduğu en uzun süre elektrik motoru ile gitmesini sağlayarak benzin tüketimini minimize etmektir. Bu amaçla sürücünün belirleyeceği güzergah için simülasyonun önceden yapılıp, mevcut batarya durumu, yol ve sürüş bilgilerine göre optimum işletme şartları belirlenmiştir. Yol benzetimi ile elektrik motorunun motor/generatör çalışacağı bölgeler belirlenmiş , bu bölgelerde harcanan ve geri kazanılan güçler hesaplanarak benzinli motora mümkün olan en az kullanım imkanı verilerek (elektrik motorunun devreye girip çıkma zamanı kontrol edilip) elektrik enerjisinin daha verimli kullanımı sağlanıp yakıt tasarrufu yapılmaya çalışılmıştır. Aynı güzergah için önerilen yöntem ile mevcut yöntem sonuçları karşılaştırılıp avantajlar ve yapılacak yakıt tasarrufu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hibrit Elektrikli Araçlar, Akıllı Enerji Yönetim Sistemi, Enerji Dönüşümü, Yakıt Tasarrufu

INTELLIGENT ENERGY MANAGEMENT SYSTEM USING ROUTE INFORMATION FOR HYBRID ELECTRIC VEHICLES

ABSTRACT

Achieving energy from the limited fuel, such as oil and natural gas, that feeds the production and consumption system threatens the future of the world. The greenhouse gases released into the environment from fossil fuel-fired vehicles are also not at a dismal level. In order to take measures against this situation worldwide, it is aimed to switch from fossil fueled vehicles to electric powered vehicles. . During this transition period, hybrid vehicles are the first step towards the transition to electric vehicles. In hybrid vehicles there are different modes and different conditions in which the electric motor and the petrol engine are switched on. Not all brands and models are operating in accordance with the route information with the operating conditions being different. In this study, it is aimed to minimize the use of fossil fuel by keeping the usage of electric energy at the highest level in hybrid vehicles. An energy management algorithm was created for the purpose. Simulation for the route to be determined by the driver is made in advance and optimum operating conditions are determined according to the current battery condition, road and driving information. By means of the road simulation, the regions where the motor / generator will work for the electric motor are determined and the consumed and recovered powers are calculated and the gasoline motor is given the least possible usage possibility (controlling the time of entry and exit of the electric motor). The method proposed for the same route and the results of the existing method are compared and the advantages and the fuel economy to be done are determined.

Keywords: Hybrid Electric Vehicles, Intelligent Energy Management, Energy Recovery, Fuel Economy.

GİRİŞ

Günümüzde kullanılan kara ulaşım araçlarının genelini konvansiyonel (fosil yakıtlı) araçlar oluşturmaktadır. Bu araçlar enerjilerini petrol ve türevlerinden aldıkları için atık olarak doğaya sera gazları salarlar. Doğaya salınan sera gazları sadece konvansiyonel araçlardan salınmasa da, kullanımda olan araç sayısına bakıldığında salınan sera gazlarının büyük bir bölümünün sebebi konvansiyonel araçlardır.[10] Bu durum büyük bir problem oluşturmaktadır. Bunun önüne geçebilmek için elektrikli araçlar üzerine yapılan çalışmalar artmıştır. [11]

Elektrikli araçların tarihi 1800'lü yıllara dayanmaktadır.[1] 1900'lü yılların başında oldukça popüler hale gelen elektrikli araçlar, güçlü içten yanmalı motorların üretilmesinden sonra popülerliklerini kaybetmişlerdir. [1] Ancak güç elektroniği, sürücü ve elektrik motoru teknolojilerinin gelişmesinden sonra elektrikli araçlar kabul edilebilir performansa ulaşmışlardır. Elektrikli araçların performansı kabul edilebilir yeterlilikte olsa da, bataryaların enerji kapasitesine bağlı olarak menzillerinin düşük olması büyük bir dezavantaj oluşturmaktadır.[12] Bir diğer önemli dezavantaj ise hızlı şarj teknolojilerinin ve şarj istasyonlarının henüz yaygınlaşmamış olmasıdır. [13] Bu da elektrikli araçlara doğrudan geçişin zor olacağını göstermektedir. Bu yüzden başka bir alternatif olarak hibrit araçlar ortaya çıkmıştır.

Hibrit araç fikri, elektrikli araçların performansının yetersiz olduğu dönemde ortaya çıkmıştır.[17] Amaç enerji tasarrufu sağlamak değil, aracın performansını arttırmaktır. Günümüzde bu fikir, içten yanmalı motorların kullanımını sınırlandırmak ve dolayısıyla karbon salınımını azaltmak için değerlendirilmiştir.

Günümüzde hibrit araç teknolojileri ile ilgili birçok çalışma yapılmaktadır.[14-16] Bu çalışmalar incelendiğinde farklı hibrit elektrikli araç topolojilerinin kullanıldığı görülmektedir. Bunlardan en temel topolojiler; seri hibrit, paralel hibrit ve seri-paralel hibrit topolojileridir. Son yıllarda üretilen hibrit araç modellerinde seri-paralel hibrit topolojisi kullanılmaktadır. Çünkü seri-paralel hibrit topolojisinde, seri hibrit

ve paralel hibrit topolojisinin en iyi özellikleri kullanılmıştır. Bu tahrik düzeni karmaşık olmasına rağmen doğru kontrol stratejisiyle her türlü sürüş koşuluna hızlı ve güvenli bir şekilde uyum sağlarken aynı zamanda düşük gaz salınımı ve yüksek oranda yakıt tasarrufu sağlamaktadır[18]. Bu avantajlarından dolayı 2014 yılından bu yana hibrit teknolojisi formula 1 araçlarında da tercih edilmektedir [19].

Hibrit araçlarda en az iki ayrı enerji kaynağı kullanılmaktadır. En çok kullanılan hibrit araç modeli, benzin ve elektrik enerjisi ile beslenen hibrit araç modelidir. Hibrit araçlarda elektrikli motor ile benzinli motorun devreye girmeleri farklı modlarda ve koşullarda olmaktadır. Her marka ve modelin işletme şartları farklı olmakla birlikte hemen hemen tamamında güzergah bilgisine göre bir işletme yapılmamaktadır. Güzergah bilgisi değerlendirilmediği durumlarda benzinli motor gereğinden fazla devreye girerek fazla benzin harcayabilmektedir.

Bu çalışmada, hibrit araçlarda elektrik enerjisinin kullanımını en yüksek seviyede tutarak, fosil yakıt kullanımını en aza indirmek amaçlanmıştır. Amaca yönelik olarak bir enerji yönetim algoritması oluşturulmuştur. Bu algorithmada aracın kütlesi, yolun eğimi, yol ve tekerlek sürtünme kuvvetleri, rüzgar kuvvetleri gibi değerler, güç dönüştürücüleri ve elektrik motorunun verimi de hesaba katılarak bataryadan ihtiyaç duyulan güç hesaplanmıştır. Yolun eğimi, aracın hızı ve frenleme zamanına göre rejeneratif frenleme ile enerjinin olabildiğince geri kazanımı sağlanmaya çalışılmıştır. Asıl hedef hibrit elektrikli aracın mümkün olduğu en uzun süre elektrik motoru ile gitmesini sağlayarak benzin tüketimini minimize etmektir. Bu amaçla sürücünün belirleyeceği güzergah için simülasyonun önceden yapıлып, mevcut batarya durumu, yol ve sürüş bilgilerine göre optimum işletme şartları belirlenmiştir. Yol benzetimi ile elektrik motorunun motor/generatör çalışacağı bölgeler belirlenmiş, bu bölgelerde harcanan ve geri kazanılan güçler hesaplanarak benzinli motora mümkün olan en az kullanım imkanı verilerek (elektrik motorunun devreye girip çıkma zamanı kontrol edilip) elektrik enerjisinin daha verimli kullanımı sağlanıp yakıt tasarrufu yapılmaya çalışılmıştır. Aynı güzergah için önerilen yöntem ile mevcut yöntem sonuçları karşılaştırılıp avantajlar ve yapılacak yakıt tasarrufu belirlenmiştir.

1. LİTERATÜR TARAMASI

1835 yılında Profesör Straitingh tarafından ilk elektrikli araç modeli Hollanda'da yapılmıştır. Thomas Davenport tarafından 1834-1836 yılları arasında ABD'de elektrikli bir yol aracının geliştirildiği ve uygulamasının yapıldığı raporlanmıştır. Bu araç şarj edilemeyen bataryalarla sürülen üç tekerlekli elektrikli bir araçtı.

Kurşun-asit bataryaları 1859 yılından sonra geliştirilmiş olup elektrikli araçlarda kullanılmaya başlanmıştır. İlk elektrikli araç 1881 yılında Gustave Trouvé tarafından üretilmiştir.(ehsani) Bu araç kurşun asit bataryayla enerjilendirilen 0.1 hp gücünde bir dc motora sahipti. Araç toplamda yaklaşık olarak 160 kg ağırlığındaydı. 1883'te İngiliz bir professor tarafından buna benzer bir araç daha üretildi [1]. Ancak bu araçlar halkın ilgisini yeterince çekmedi. Çünkü teknolojileri at arabalarıyla yarışacak kadar gelişmemişti. Birçok şirket Avrupa'da ve Amerika'da 1890 yılından sonra elektrikli araç üretip satmaya başlamıştır. 1894 Paris'ten Rouen'da biten yarış durumu değiştirdi. Otomobilin ortalama hızı 23.3 km/h e çıkmıştı. Bu gelişmeden sonra at arabalarının yerini otomobiller almaya başladı. 1905'te artık ABD sokaklarında benzinli araçtan çok elektrikli araç görülmüştür.[1] 1920'lere kadar da muadilleri olan konvansiyonel araçlarla yarışabildikleri için elektrikli araçlar kullanımda kalmayı başarmıştır. Menzilleri düşük olmasına rağmen kullanılmalarının sebebi, o dönemde gidilen mesafelerin uzak olmaması ve yolların kısıtlı olmasından kaynaklanmaktaydı. Amerika'da durum böyleydi. Ancak Avrupa da gelişmiş yollar daha fazlaydı bu yüzden Avrupa'da konvansiyonel araçlar daha çok kullanılıyordu. Çünkü elektrikli araçlar 90 dk şarj ile iki adet 1,5 hp gücündeki motora sahip aracı 4 saat besleyebiliyordu ve en yüksek hızı 32 km/h ile 40 km/h arasında değişiyordu.

1897 yılında faydalı frenleme teknolojisinin bulunmasıyla elektrikli araçlar için muazzam bir gelişme oldu. Önceleri ısıya dönüşerek kayba dönüşen frenleme kinetik enerjisi bu teknoloji ile enerjinin geri kazanımını sağladı ve araçların menzillerini

uzattı. Bu çağın en önemli gelişmelerinden biri Camille Jenatzy tarafından üretilen 100 km/h e ulaşan elektrikli araçtır.

Benzinli araçların, daha güçlü, daha esnek ve en önemli kullanımlarının daha kolay olmasından dolayı elektrikli araçlar gittikçe görünmemeye, tercih edilmemeye başladı. Son önemli ticari elektrikli araç 1905'te üretildi. Sonraki 60 yıl boyunca elektrikli araçlar sadece golf sahalarında kullanılmaya başladı.

1945 yılında transistörün icat edilmesiyle elektrik ve elektronik teknolojisi yeni bir çağa girdi. Hemen sonrasında yüksek akımlara dayanıklı tristör icad edildi. Bu gelişmeler verimsiz reostaların yerine anahtarlama elemanlarının motor kontrolünde kullanılmasını sağladı. 1966 yılında general motor tarafından üretilen Electrovan, tristörlerden meydana gelen inverterle kontrol edilen AC motorla tahrik ediliyordu. Bu çağın en önemli bir başka gelişmesi ise Apollo astronotlarının kullandığı elektrikli Ay aracıydı. 209 kg ağırlığa sahip olan araç, 490 kg yük taşıma kapasitesine ve 65 km menzile sahipti. Ayda atmosferin olmamasından ve yer çekiminin az olmasından dolayı bu aracın üretilmesinde mühendisler çok zorlanmadı, düşük teknoloji ile uzun menzile sahip ay aracı ürettiler.

1960 ve 1970'lerde çevreyle ilgili endişeler elektrikli araçlarla ilgili bazı araştırmaların yapılmasını sağladı. Ancak Batarya ve güç elektroniği alanlarındaki gelişmelere rağmen elektrikli araçların menzilleri ve performansı hala yetersiz kalıyordu. 1990'larda elektrikli araçlarla ilgili çalışmalar doruğa ulaştı ve sonuç olarak mevcut teknoloji ile konvansiyonel araçlarda yarışılmayacağı anlaşıldı. Bunun sebebi de batarya ağırlıklarının fazla olmasından ve yetersiz menzili sağlamalarıydı. Bunun üzerine otomotiv endüstrisi hibrit araçlara yönelmenin mevcut teknoloji için daha gerçekçi ve uygun olacağı kararına vardı.

Hibrit elektrikli araç kavramı neredeyse otomobil tarihi kadar eski. Ancak ilk hibrit araç yakıt tasarrufu sağlamak için üretilmemişti. İlk amaç kabul edilebilir bir performans sağlamaktı. İlk hibrit otomobil 1899 yılında Paris Salon'da bildirildi.[17] Bunlar Liège, Belçika Pieper kuruluşları tarafından ve Fransa'nın Vendevolli ve Priestly elektrikli taşıma şirketi tarafından üretilmiştir. Pieper aracı, hava soğutmalı küçük bir içten yanmalı motora sahip, kurşun-asit bataryalar ve elektrik motoruyla

desteklenmiş paralel hibrit bir araçtı. Bu araç hareket halindeyken veya duruyorken, bataryalar içten yanmalı motor tarafından şarj edilebiliyordu. İhtiyaç duyulan sürüş gücü içten yanmalı motorun nominal gücünden yüksek olduğu zaman elektrik motoru yardımcı güç olarak devreye giriyordu. Diğer hibrit araç 1899'da Paris Salon'da ilk seri hibrit araç olarak tanıtılmıştı ve ticari olarak Fransız firma Vendovelli and Priestly tarafından saf bir elektrikli araçtan türetilmişti. Bu araç üç tekerlekliydi ve arka tekerlekleri bağımsız iki motor tahrik ediyordu. Ek olarak 0.75 hp gücünde benzinli bir motor 1.1 Kw lık generatöre akuple edilerek aracın arkasına takılıp çekilebilen bir römorka monte edmişti. Bu düzenek bataryaları şarj ederek aracın menzilinin uzamasını sağlamıştı. Fransızların bu tasarımı elektrikli bir aracın menzilinizi uzatmak için kullanılmıştı, zayıf güçlü içten yanmalı bir motora ek yardımcı güç sağlamak için değil.

Fransız Camille Jenatzy, 1903'te Paris Salon'da hibrit elektrikli bir araç bildirisi sundu. Bu araçta 6 hp gücünde bir içten yanmalı motor 14 hp gücünde bir elektrik motoruyla birleştirilmişti. Bu düzeneğe göre içten yanmalı motor bataryaları şarj edebilirdi veya doğrudan elektrik motorunu besleyebilirdi.

Başka bir Fransız olan H. Krieger, 1902'de ikinci bir seri hibrit araç ve duyurdu. Onun düzeneğinde iki tane bağımsız DC Motor ön tekerleklere güç sağlıyordu. Bu motorların enerjisi 4.5 hp gücünde olan alkollü içten yanmalı motora akuple edilmiş şönt generatörle şarj edilen 44 tane kurşun asit batarya hücrelerinden oluşan batarya paketinden sağlanıyordu.

Seri ve Paralel topolojiye sahip diğer hibrit araç modelleri 1899-1914 yılları arasında devam etti ancak henüz kimse rejeneratif fren sisteminden söz etmemişti. Motoru yavaşlatmak için ya armatür sargılarına direnç yerleştiriliyordu ya da kısa devre ediliyordu.

O dönemdeki hibrit araç topolojilerin ortaya çıkmasının amacı ya elektrikli bir aracın menzilinizi uzatmaktı ya da zayıf güçlü bir içten yanmalı motora ek güç sağlamaktı. Araçlarda basit elektrik teknolojileri kullanılıyordu. Bu yüzden hibrit araçlar ve elektrikli araçlar gelişmiş fosil yakıtlı araçlarla yarışamadılar. 1. Dünya savaşından sonra içten yanmalı motorlarda muazzam gelişmeler oldu. Motorların güç yoğunluğu

arttı, verimlilik arttı ve motorların boyutları küçüldü. Artık ek güç sağlamak için elektrik motorlarına ihtiyaç kalmamıştı. Elektrik motorlarının getirdiği ek maliyetler ve kurşun asit bataryalarla ilgili tehlikeler hibrit araçların piyaadan kalkmasını ana faktörleri olmuştu.

Ayrıca elektrik motorlarının zor şartlardaki kontrolüyle başa çıkılması gerekiyordu ancak güç elektroniği 1960'lara kadar da keşfedilmemişti ve motorlar mekanik anahtarlar ve dirençlerle kontrol ediliyordu. Verimli çalışmaya engel olan sınırlı kontrol yöntemleri vardı.

Dr. Victor Wouk, hibrit elektrikli araçların modern araştırmacısı olarak bilinir. 1975'te meslektaşlarıyla birlikte Buick Skylark model bir aracın hibrit modelini ürettiler. Motor manuel şanzımana bağlanmış bir Mazda motoruydu. Şanzımanın önünde 15 hp gücünde bir DC elektrik motoru destek gücü sağlamak üzere kullanıldı. 8 adet kasık 12V luk araç aküleri kullanıldı. Aracın en yüksek hızı 129 km/h'ti ve 0'dan 60 mph'te 16 saniyede ulaşıyordu.

Seri hibrit topolojisi 1967'de Dr. Ernest H. Wakefield'in Linear Alpha şirketiyle yaptığı çalışmalarıyla tekrar canlandı. Çalışmasında bataryaları şarj etmek için küçük bir içten yanmalı motorla akuple edilmiş 3 Kw çıkış gücüne sahip bir AC generatör kullanmıştı. Ancak Teknik sorunlardan dolayı çalışmalar tekrar durmuştu. 1970 ve 1980'lerde çalışmalar olsa da bunlar 1899 daki çalışmalar gibi menzile uzatmak içindi. Yine de bu çalışmalar piyasaya çıkmadı.

Diğer hibrit araç prototipleri 1982'de Electric Auto şirketi ve 1980'de Briggs & Stratton şirketi tarafından üretildi. Bunlar da paralel hibrit araçlardı. 1973 ve 1977'deki petrol krizlerine rağmen ve çevreyle ilgili endişelere rağmen piyasada hala hibrit araç yoktu. 1980'lerde araştırmacılar elektrikli araç prototiplerine yoğunlaşmıştı. Belki de hibrit araçlardaki bu ilgi eksikliğinin sebebi güç elektroniği, modern elektrik motorları ve batarya çalışmalarının eksikliğinden ve pratik azlığından kaynaklanıyordu. 1980'lerde araç boyutları ve motor boyutlarının küçültülmesi çalışmaları vardı ve yakıt enjeksiyonları geliştirilmeye çalışılıyordu. 1990'larda elektrikli araçların enerji tasarrufu amaçlarına ulaşamayacakları açık bir şekilde görüldükten sonra, hibrit araç konsepti üzerine büyük ilgi oluştu. Ford motor

şirketi, üniversitelerin desteğiyle ford hibrit araç mücadelesini başlattı ve üretilen ford araçların hibrit sürümlerini üretmeye başladılar.

Dünya genelinde araç üreticileri hibrit araç prototiplerinde muadilleri olan fosil yakıtlı araçlara göre yakıt tasarrufunda muazzam gelişmeler sağladılar. Amerikada Dodge ESX 1,2,3 modellerini üretti. ESX-1 üç silindirli turbo dizel bir motordan gücünü alan batarya paketinden beslenen seri hibrit bir araçtı. Arka tekerleklere güç sağlayan iki adet 100 hp gücünde elektrik motoruna sahipti. ABD hükümeti yeni nesil orta sınıf sedan araçlar üretme hedefi için ortaklık başlattı. Bu ortaklık sonucunda Ford Prodigy ve GM Precept araçları üretildi. Bu araçların ikisi de gücünü küçük bir turbo dizel motordan alan paralel hibrit araçlardı. Bu araçlar yakıt tasarrufu elde etme hedeflerine ulaşmasına rağmen üretimleri devam etmedi.

Avrupa'da ise gücünü 750 cc içten yanmalı bir motordan alan Fransız paralel hibrit Renault Next duyuruldu. Bu araç prototipi 70 mpg hızı aşıyordu ve muadili olan fosil yakıtlı araçlarla yarışabilecek performansa sahipti. Volkswagen de Chico isimli prototipini duyurdu. Temelde küçük bir elektrikli araç olan bu prototip bataryayı şarj etmek için iki silindirli içten yanmalı bir motora sahipti.

En önemli hibrit araç geliştirmeleri ve ticarileştirmeleri Japonlar tarafından gerçekleştirildi. 1997'de Toyota Prius'u duyurdu ve aynı tarihte Honda Insight ve Civic hybrid modellerini duyurdu. Bu araçlar hala dünya genelinde kullanılmaktadırlar ve muazzam ölçüde yakıt tasarrufu sağlamayı başardılar. Toyota Prius ve Honda Insight araçları, kişisel araç yakıt tüketimi sorununa cevap vermek için modern çağda ticarileştirilen ilk hibrit araç oldukları için tarihi bir değere sahiptirler.

Günümüze geldiğimiz zaman, birçok araç üreticisi elektrikli araçlara geçmek için hedef belirlemiş durumda. Yakın gelecekte ulaşımda dünya genelinde tamamen elektrikli araçlara geçilmesi planlanmaktadır. Tümü elektrikli araçlara geçiş sürecinde hibrit elektrikli araçlar bu geçişte önemli bir aşamadır. Hibrit elektrikli araçların enerji tasarrufu oranı ise hem tüketici hem de çevre açısından önemli bir parametredir. Bu tezde de amaç önerilen "Hibrit Elektrikli Araçlar İçin Güzergah

Bilgisi Kullanılarak Akıllı Enerji Yönetim Sistemi” sayesinde elektrik kullanım oranını artırarak hibrit elektrikli araçların enerji tasarrufunu arttırmaktır.





2. HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

Tahrik sistemleri en az iki ayrı enerji kaynağından beslenen araçlara hibrit araç denir. Hibrit araçların çoğunda benzin ve elektrik enerjisiyle araç tahriki sağlanmaktadır. Hibrit elektrikli araçlar prizden şarj olup olmama özelliklerine göre iki ayrı sınıfa ayrılırlar. Birincisi; Plug-İn hibrit, yani prize takılabilen ikincisi ise prize takılamayan yani geleneksel hibrit elektrikli araçlardır.

2.1. Hibrit Elektrikli Araç Topolojileri

Hibrit elektrikli araçlar ortaya çıkmasından bu yana sürekli geliştirilerek günümüze kadar gelmişlerdir. Teknolojik gelişmelere paralel olarak bu araçlara yapılan her geliştirme araca farklı özellikler katmıştır ve farklı araç topolojilerini ortaya çıkarmıştır. Bu topolojilerin her biri farklı çalışma prensiplerine ve enerji yönetim sistemlerine sahiptir. Hibrit elektrikli araç topolojilerinde bulunan ve bulunmayan özellikler karşılaştırmalı olarak Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 2.1: Hibrit Elektrikli Araç Topolojilerinin Özelliklerinin Karşılaştırılması

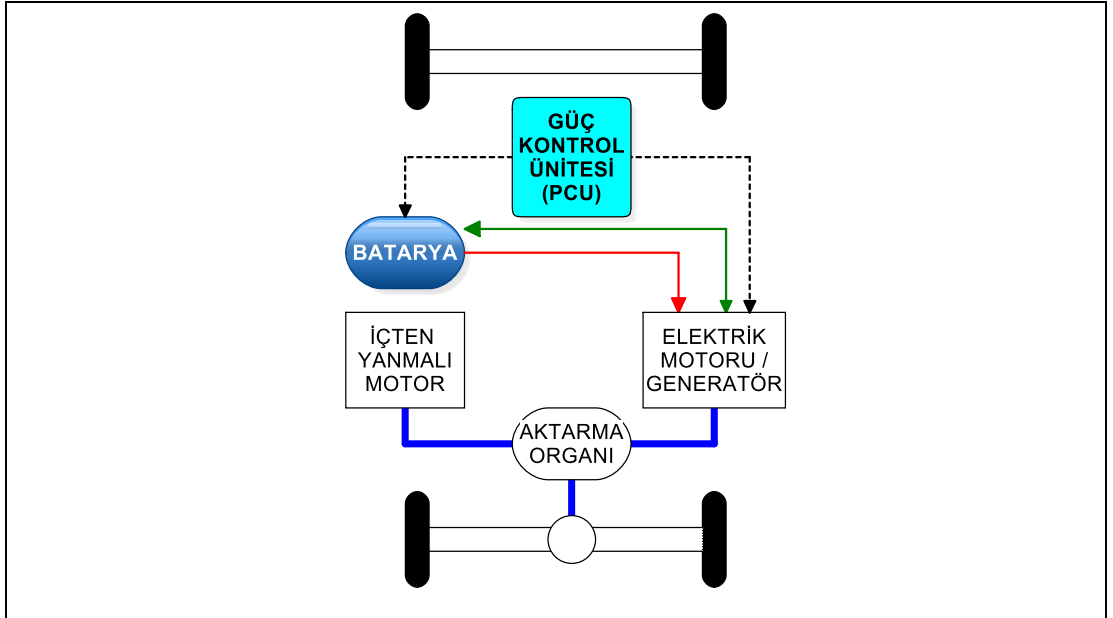
	MİKRO HİBRİT	MİLD HİBRİT	TAM HİBRİT	PLUG-İN HİBRİT
Otomatik Start-Stop	VAR	VAR	VAR	VAR
Faydalı frenleme	YOK	VAR	VAR	VAR
Elektrik motoru	YOK	VAR	VAR	VAR
EV modu	YOK	YOK	VAR	VAR
Prizden şarj edilebilme	YOK	YOK	YOK	VAR
Örnek araç modelleri	 Citroën C3	 Honda Insight	 Toyota Prius	 Chevy Volt

2.1.1. Mikro Hibrit

Hibrit araçların en basit olanları mikro hibrit adı verilen hibrit araçlardır. Bu araçlar, trafikte dur-kalk yapılması gerektiği zaman benzin tüketiminin azaltılması amacıyla yönelik olarak araç duruyorken benzinli motor devre dışı bırakılıp yakıt tasarrufu sağlamaktadırlar. Bu araçlarda elektrik motoru ve generatör bulunmamaktadır dolayısıyla faydalı frenleme özelliğide yoktur.

2.1.2. Mild hibrit

Mild hibrit araçlar çalışma prensipleri itibariyle basit bir yapıya sahiptirler. Bu araçlar içten yanmalı bir motora ek olarak bir elektrik motoru barındırırlar. Elektrik motoru enerjisini hibrit batarya ünitesinden almaktadır. Mild hibrit araçlarda sadece elektrik motoruyla sürüş modu bulunmamaktadır. Bataryada yeterli enerji varsa elektrik motoru sadece kalkış anında tekerleklere tahrik gücü sağlamaktadır. Araç yavaşlatılmak istendiğinde ise motor faydalı frenleme modunda çalışarak batarya şarj edilir. Bu çalışma prensibi sayesinde konvansiyonel araçlara göre yakıt tasarrufu sağlanmıştır. Honda insight, mild hibrit araçlara örnek olarak gösterilebilir. [3]. Mild hibrit elektrikli araç topolojisinin prensip şeması şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Mild hibrit elektrikli araç topolojisi

2.1.3. Tam hibrit

Mild hibrit aracın özelliklerine ek olarak, sadece elektrik motoruyla sürülebilen araçlar tam hibrit araç olarak isimlendirilirler. Tam hibrit araçlar elektrik gücünün maksimum oranda kullanıldığı araç türüdür(en az %30). Toyota'nın dünyaca ünlü hibrit otomobili prius tam hibrit araca en güzel örnektir. [4–6]. Tam hibrit elektrikli araçlar da kendi aralarında seri hibrit, paralel hibrit, seri-paralel hibrit ve karmaşık hibrit olmak üzere sınıflara ayrılırlar.

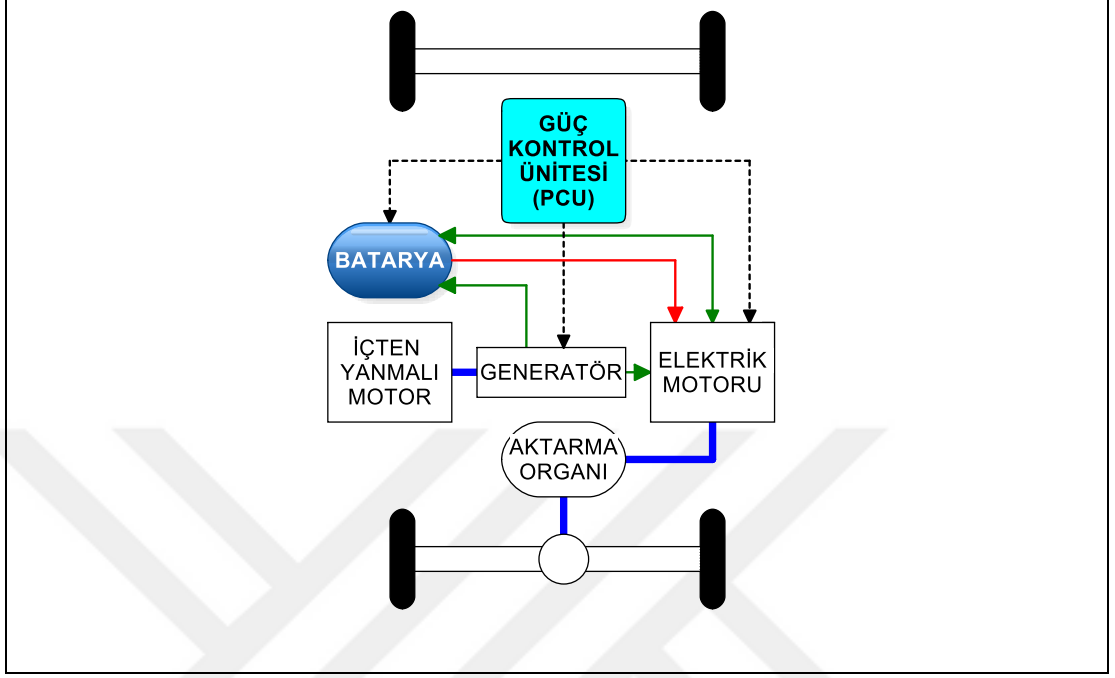
2.1.3.1. Seri hibrit

Seri bir hibrit elektrikli araçta tekerleklere iletilen tahrik gücünü elektrik motoru sağlamaktadır. Elektrik motorunun enerji ihtiyacı, Batarya gibi enerji depolama aygıtlarından ya da hibrit güç ünitesinden sağlanmaktadır. Hibrit güç ünitesinin yapısında içten yanmalı motor ve generatör bulunmaktadır.

İçten yanmalı motor-generatör grubunda yakıtın kimyasal enerjisi önce mekanik enerjiye dönüştürülmektedir ardından mekanik enerji elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Dönüştürülen elektrik enerjisine bataryadan gelen enerji de eklenerek kontrol biriminde birleşirler. Kontrol birimi daha sonra tekerlek hızını, sürücünün komutlarını, tahrik motorunun ürettiği torku karşılaştırır ve sürücünün isteğine göre her enerji kaynağından kullanılacak güç miktarını belirler. Kontrol birimi fren yapılmak istediğinde rejeneratif modu aktif hale getirir içten yanmalı motor-generatör gurubunu devre dışı bırakır ve kazanılan güç ile bataryaların şarj edilmesini sağlar. Bu sırada generatörün ürettiği elektrik enerjisi ile batarya gurubu şarj edilmiş olur. Araç çalışır durumdayken bataryalar hem içten yanmalı motor-generatör grubu ile hem de rejeneratif frenleme enerjisi ile şarj edilmektedir.

Kontrolör, içten yanmalı motor-generatör grubu ile belirlenen döngüler dahilinde bataryaları belli limitler arasında şarjlı tutar. Batarya şarj oranı alt sınırın altına düşerse, içten yanmalı motor-generatör çalışmaya başlar. Aynı şekilde batarya şarj durumu üst sınırı aşarsa, içten yanmalı motor durur. Bununla beraber seri hibrit elektrikli araçların bazılarında, motora sağlanan elektrikselle güç hem batarya gurubundan hem de içten yanmalı motor-generatör grubu tarafından sağlanmaktadır. Tekerleklere elektrik motorlarının tahrik vermesinden dolayı, içten yanmalı motor

yakıt tüketimini azaltmak amacıyla en uygun performansta çalışmaktadır. Seri hibrit elektrikli araç topolojisinin prensip şeması şekil 2.2’de verilmiştir.



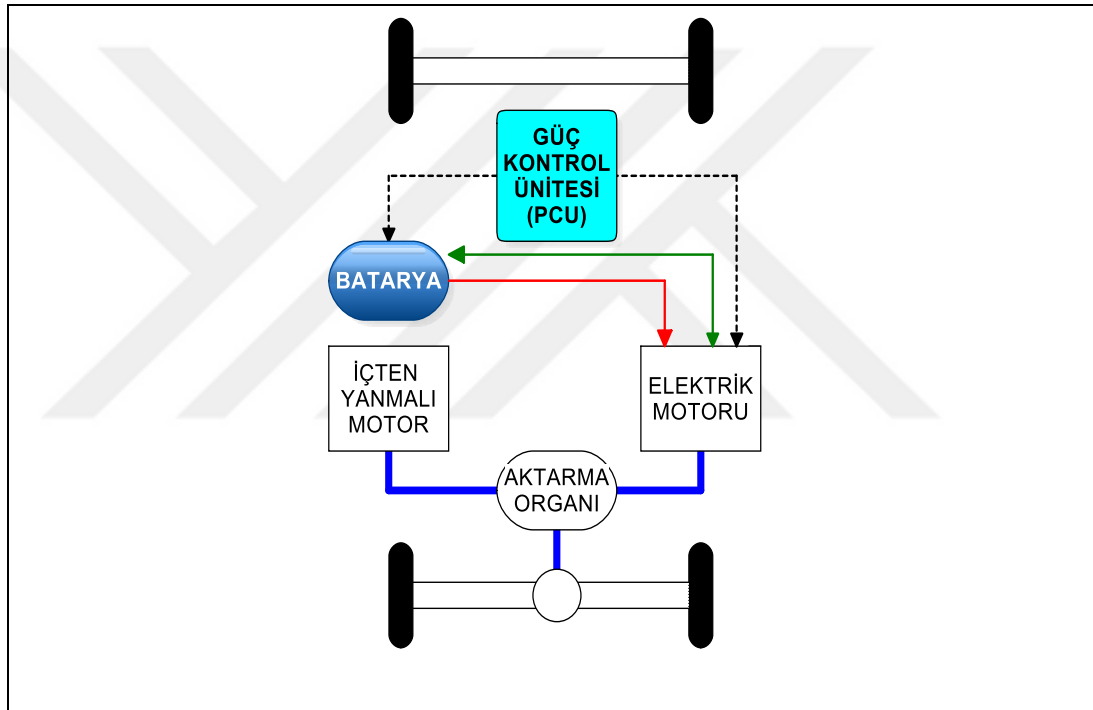
Şekil 2.2. Seri hibrit elektrikli araç topolojisi

2.1.2.2 Paralel hibrit

Paralel hibrit elektrikli araç topolojisinde, içten yanmalı motor ve elektrik motoru tekerleklere mekanik bağlantı yardımıyla aynı mil üzerinde doğrudan tahrik vermektedir. Honda Insight ve Honda Civic Paralel hibrit elektrikli araçlara en güzel örneklerdir. Paralel hibrit tahrik sistemleri mekanik açıdan seri hibrit sistemlere göre daha karmaşıktır. Örneğin tekerleklere içten yanmalı motor tarafından tahrik verilebilmesi için bir transmisyona ihtiyaç vardır. Bu elemanların birlikte düzgün bir şekilde çalışabilmesi için kontrol biriminin seri hibrit araçlara göre ek özelliklere sahip olması gerekmektedir. Paralel tahrikli hibrit araçlarda konvansiyonel taşıtlara göre daha küçük boyutlarda içten yanmalı motor kullanılır. Toplam güç ihtiyacına ve çalışma verimine bağlı olarak kontrol birimi kaynaklardan çekeceği güç miktarını ve oranını belirler. Kontrol birimi; emisyon, yakıt ekonomisi, performans ve menzil için optimize edilmiştir.

Paralel hibrit sistemde de seri hibrit sistemde olduğu gibi faydalı frenleme yardımı ile batarya gurubu şarj edilebilmektedir. Paralel hibrit sistemde, seri hibrit sisteme

göre daha düşük enerji kapasiteli bataryalar kullanıldığı için şarj çoğunlukla faydalı frenleme sırasında yapılır. Buna ek olarak sürüş esnasında da elektrik motoru generatör gibi davranarak bataryaları şarj edebilmektedir. Daha küçük elektrik motoru ve batarya guruplarının kullanılması paralel hibrit sistemin maliyetinin seri hibrit sisteme göre daha düşük olmasını sağlamaktadır. Burada içten yanmalı motor doğrudan tekerleklere bağlı olduğu için seri hibrit sisteme göre toplam enerji dönüşüm verimliliği daha yüksektir. Ayrıca hem içten yanmalı motor hem de elektrik motoru aynı anda güç sağladığı için taşıtın toplam gücü daha yüksektir. Paralel hibrit elektrikli araç topolojisinin prensip şeması şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3. Paralel hibrit elektrikli

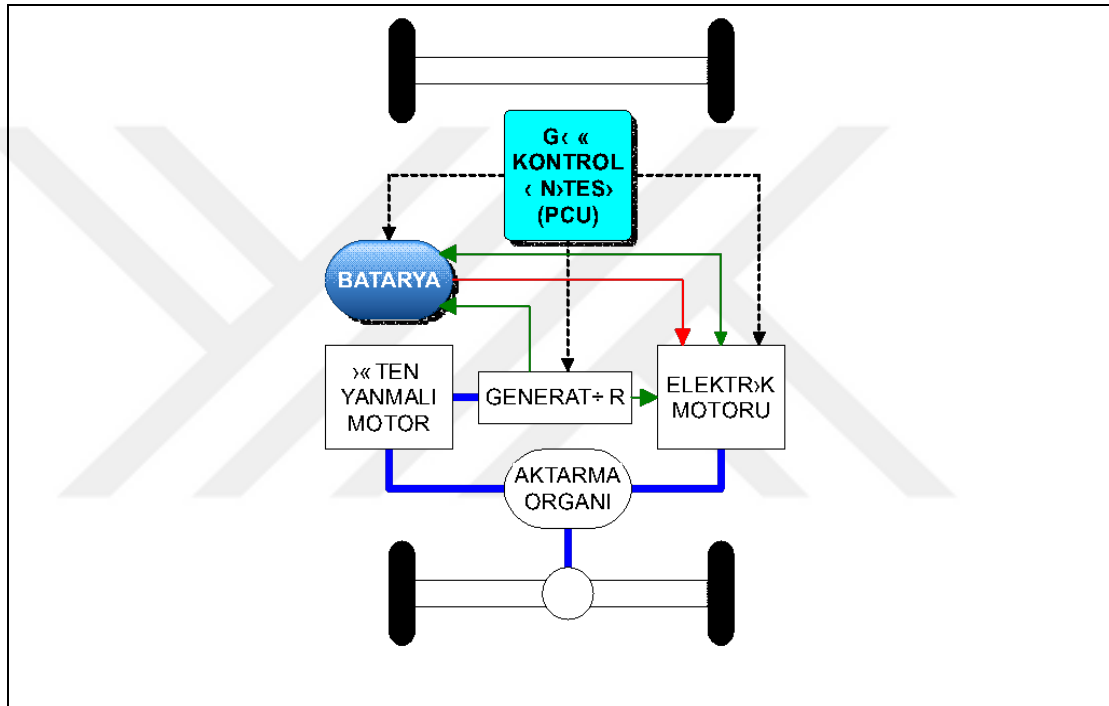
araç topolojisi

2.1.2.3 Seri-Paralel hibrit

Seri-paralel hibrit elektrikli araç topolojisi paralel hibrit sisteme benzerlik göstermektedir. Burada da içten yanmalı motor tekerleklere doğrudan bağlıdır ancak içten yanmalı motor tekerleklere transmisyon ile bağlı değildir, seri hibrit tahrik sisteminde olduğu gibi generatör aracılığı ile bağlıdır. Bu topolojide içten yanmalı motor en uygun verimde çalışabilmektedir. Düşük hızlarda araç seri hibrit

topolojisinde olduğu gibi çalışmaktadır. Yüksek hızlarda ise içten yanmalı motor aktif hale gelerek tekerleklere güç verir ve seri hibrit tahrik sistemindeki gereksiz enerji dönüşümleri ile kaybedilen enerji en düşük seviyeye indirilir.

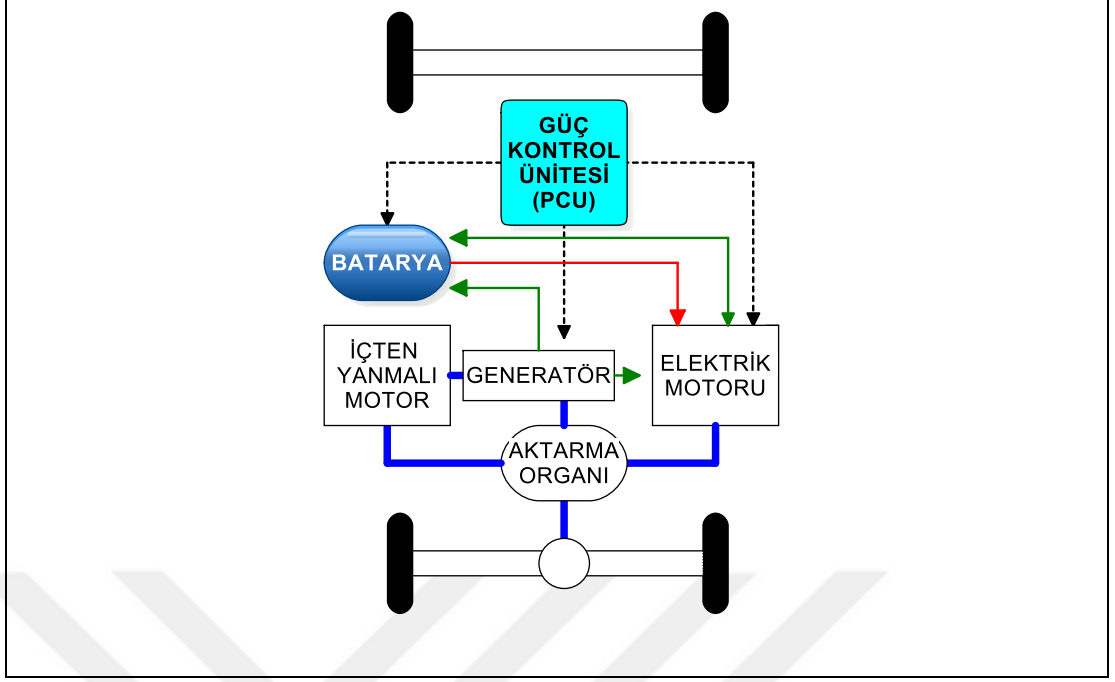
Bu sistem Toyota Prius'da kullanılmıştır. Burada amaç hem paralel hibrit hem de seri hibrit sistemin avantajlarını kullanarak içten yanmalı motorun en verimli noktada çalışmasını sağlamaktır. Seri-Paralel hibrit elektrikli araç topolojisinin prensip şeması şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4. Seri-Paralel hibrit elektrikli araç topolojisi

2.1.2.4 Kompleks hibrit

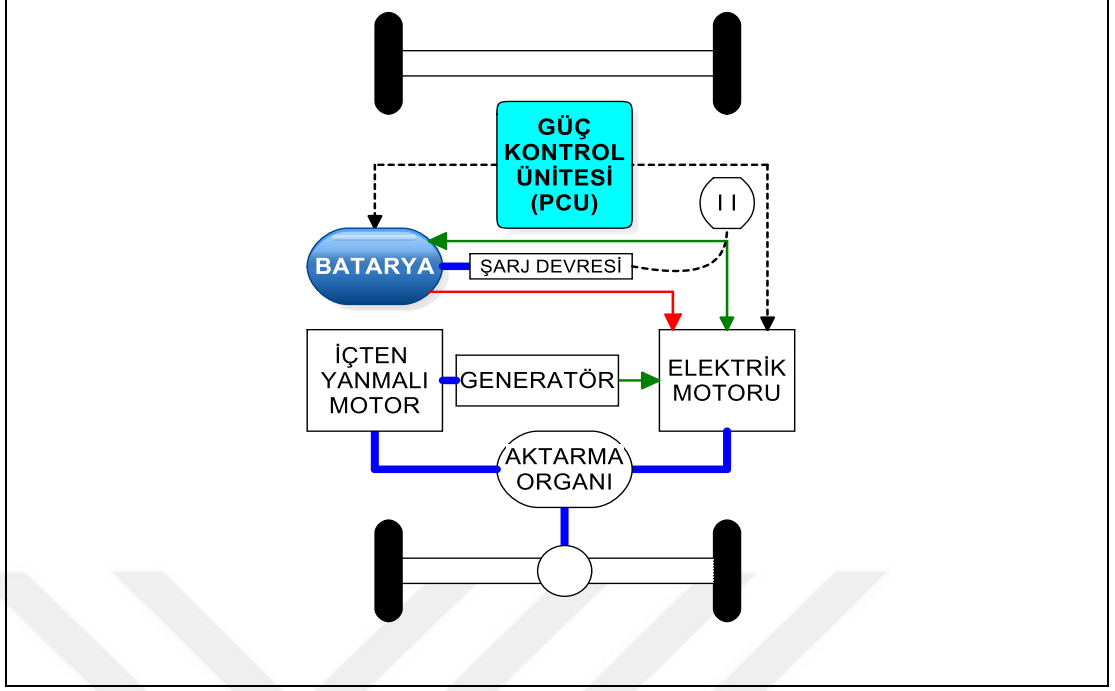
Kompleks hibrit araçlar, seri-paralel hibrit araçlara göre daha karmaşık bir yapıya sahiptir. seri-paralel hibrit elektrikli araçlarda tahrik sistemine sadece elektrik motoru ve içten yanmalı motor bağlıyken, kompleks hibrit elektrikli araç topolojisinde generatör de tahrik sistemine bağlanmıştır. İhtiyaç duyulduğunda generatör devreye girerek tekerleklere tahrik gücü sağlamaktadır. Kompleks hibrit elektrikli araç topolojisinin prensip şeması şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5. Kompleks hibrit elektrikli araç topolojisi

2.1.2.5 Plug-in hibrit

Plug-in hibrit elektrikli araçlar, geleneksel hibrit elektrikli araçlardan elektrikli araca geçiş sürecinde elektrikli araca bir adım daha yaklaşan bir hibrit elektrikli araç topolojisidir. Çünkü bu araçlara prizden şarj edilebilme özelliği eklenmiştir. Plug-in hibrit elektrikli araçların yapısı seri-paralel hibrit elektrikli araç yapısına çok benzerdir. Şekil 2.5’de görüldüğü üzere tam hibrit araca ek olarak hibrit bataryasının şarj edilmesi için gerekli bileşenleri yapısında barındırmaktadır. Plug-in hibrit elektrikli araç topolojisinin prensip şeması şekil 2.6’da verilmiştir.



Şekil 2.6. Plug-in hibrit

2.2 Hibrit Elektrikli Araçların Temel Bileşenleri

Bu başlık altında hibrit elektrikli araçların yapısında bulunan temel bileşenler tanıtılmıştır. Bunlar sırasıyla; elektrik motorları, elektrikli motor sürücüleri, içten yanmalı motor, güç kontrol ünitesi, enerji kaynakları ve plug-in hibrit elektrikli araçlar için şarj teknolojileridir.

2.2.1 Hibrit elektrikli araçlarda kullanılan elektrik motorları

Elektrik motoru, hibrit elektrikli araçların en önemli bileşenlerinden biridir. Bazı araç modellerinde elektrik motoru tekerleklere doğrudan tahrik verirken bazı modellerde aktarma organları yardımıyla araç tahriği sağlanır. İkinci durum genelde tahriğin hem içten yanmalı motor hem de elektrik motorundan sağlandığı modellerde geçerlidir. Birinci durum ise seri tahrik sistemini kullanan araç modelleri için geçerlidir. Elektrik motorunun kontrollü bir şekilde sürülmesini sağlamak için güç elektroniği anahtarlama elemanları ve elektronik kontrol elemanlarından oluşan elektrik motor sürücüleri kullanılmaktadır. Bu elektrik motoru sürücüleri hibrit ve elektrikli araçların olmazsa olmaz bileşenlerinden biridir.

Hibirt elektrikli araçlarda ve tümü elektrikli araçlarda elektrik motoru seçilirken dikkate alınması gereken bazı önemli özellikler vardır. Araçta verimli bir sürüş elde edilebilmesi için seçilen motorun bu özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu özellikleri özetle şu şekilde sıralayabiliriz;

- İhtiyaç anında araca anlık yüksek güç sağlaması
- Yüksek güç yoğunluğuna sahip olması
- Kalkış anında ve yokuşlarda ihtiyaç duyulan yüksek moment ihtiyacını sağlaması
- Geniş hız aralığına sahip olması
- Aracın farklı sürüş koşulları için yüksek güvenilirlik ve sağlamlık şartlarını sağlaması
- Maliyetinin kabul edilebilir miktarda olması

Elektrikli araç tahrik sistemlerinde kullanılan elektrikli motorlar şunlardır:

1. Doğru akım motorları
2. Anahtarlamalı Relüktans motorları
3. Asenkron motorlar
4. Fırçasız doğru akım motorları

2.2.1.1 Doğru akım motorları

Doğru akım motorlarının moment-hız karakteristikleri bir araçta istenen çekiş ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Bu yüzden araç tahrik sistemlerinde uzun zaman kullanılmışlardır. Hız kontrolleri oldukça basittir, tahrik sistemlerinde tercih edilme sebeplerinden biri de bu olmuştur. Ancak asenkron motorlar ve fırçasız doğru akım motorlarından sonra kullanım doğru akım motorlarının kullanım alanları daralmıştır. Uyarma alanını oluşturmak için enerji tüketilmesinden dolayı verimleri kalıcı mıknatıslı motorlara nazaran daha düşüktür. Ayrıca, fırça-kollektör düzeneği DC motorlarda arızaları sıklaştırmakta ve bakım maliyetlerini artırmaktadır. Fiziksel boyutları da rakiplerine göre daha büyüktür.

2.2.1.2 Anahtarlamalı relüktans motorları

Düşük güçlerde yüksek verimlilik sağlamasından ve malzeme maliyetinin düşük olmasından dolayı araç tahrik sistemlerinde kullanılma potansiyeline sahip bir diğer motor, Anahtarlamalı relüktans motorudur. Anahtarlamalı relüktans motorlarının yapıları basittir ve düşük üretim maliyetlerine sahiptirler. Her ne kadar elektrikli araçlarda kullanılabilirliği varsa da pek tercih edilmezler. Çünkü yapıları her ne kadar basit olsa da tasarım ve kontrolleri zordur. Ayrıca akustik gürültü çıkarmaları konfor açısından araçlar için büyük bir dezavantajdır.

2.2.1.3 Asenkron motorlar

Asenkron motorlar günümüzde oldukça gelişmiş bir teknolojiye sahiptirler ve geniş kullanım alanları vardır. Bunlardan biri de araç tahrik sistemleridir.

Araç tahrik sistemlerinde kullanılan asenkron motorların kontrolünde genellikle vektör kontrolü tercih edilmektedir. Vektör kontrolü yöntemi geniş hız aralığı sunmaktadır ancak yüksek hızlarda verimi düşmektedir. [20] Evirici dalga genişlik modülasyonu yöntemi (PWM), Dc bir kaynaktan, istenilen genlik ve frekansta sinüzoidal kaynak elde etme imkanı sunmaktadır. Bu kontrol imkanı sayesinde asenkron motorlar değişik hız ve moment gereksinimlerine cevap verebilecek tahrik makinası olma potansiyeline sahip olurlar.

Araç tahrik elemanları seçilirken üç faktör göz önüne alınır. Bunlar sürücünün araçtan beklentileri, araçtan kaynaklanan kısıtlar ve enerji kaynakları olarak sıralanabilir. Sürücü olarak bir araçtan beklenenler; temel olarak, ivmelenmesi, en yüksek hız değeri, tırmanma yeteneği ve frenleme kabiliyeti olarak sıralanabilir.

Araçtan kaynaklanan kısıtlar; aracın taşıyabileceği yük miktarı, hacmi, ağırlığı gibi araç özellikleridir. Araçlarda kullanılan enerji kaynakları ise araç tipine göre değişmesiyle beraber genel olarak; bataryalar, süperkapasitörler, volanlar ve yakıt pilleri'dir. [20]

Asenkron motorun normal çalışma şartlarında verimleri %86'ya kadar çıkmaktadır. En yüksek devir sayıları oldukça yüksektir. Örneğin 30-50 kW arasındaki motorlarda 15000 d/dk'ya kadar çıkabilmektedirler.

Asenkron motorların avantajları şu şekilde sıralanabilir

- Muadillerine göre düşük ağırlık ve hacime sahiptirler
- Eşit boyutlardaki bir DC motora göre daha yüksek özgül güç değerine sahiptir
- Akı zayıflatma bölgesi geniş olduğu için inverter tasarımı kolaylaşmakta ve daha düşük güçlü inverter tasarlama olanağı sağlamaktadır.
- pozisyon algılayıcı sensörlere ihtiyaç yoktur
- Üretim maliyeti düşüktür, üretimleri kolaydır ve sağlamdırlar.
- Asenkron motorda sürekli mıknatısların olmaması ve moment üretme tekniklerinden dolayı, daha düşük oranda arıza çıkarırlar.[7]

2.2.1.4 Sürekli mıknatıslı fırçasız motorlar

Diğer motorlarla karşılaştırıldıklarında asenkron motorlarla karşılaştırılabilecek ve yarışabilecek yetenekte olan motor tipi, fırçasız doğru akım motorlarıdır.

Bu motorların avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Magnetik alan uyarması yüksek enerjili mıknatıslar tarafından sağlandığı için, belirli çıkış gücünde toplam ağırlık ve hacim düşürülerek daha yüksek değerlerde güç yoğunluğu elde edilebilmektedir.
- Verimleri asenkron motorlardan daha yüksektir, çünkü rotor bakır kayıpları yoktur.
- Soğutulması daha kolay ve daha verimli sağlanmaktadır çünkü mıknatıslarda ısı oluşmamakta olup sadece statorda ısı oluşmaktadır.
- Sürekli mıknatıslar, yüksek ısıdan veya mekanik hasarlardan daha az etkilenirler. Bu da daha güvenilir olmalarını sağlar.

Gelişmiş güç elektroniği eviricileri ile sürekli mıknatıslı fırçasız doğru akım motorlarının hız aralığını verimli bir şekilde genişletmek mümkün olmaktadır ve nominal hızın 3-4 katına kadar çıkılabilmektedir.[20]

Sürekli mıknatıslı motorlar, motor tipine bağlı olarak trapezoidal ya da sinüs dalga gerilimle beslenebilmektedirler. Bu motorlar da asenkron motorda olduğu gibi hız ayarı yapılabilmesi için eviricilerle kontrol edilirler. Sürekli mıknatıslı motor ve asenkron motor eviricilerinin güç kısımları birbirine benzemektedirler. Ancak sürekli mıknatıslı motorda özel bir durum söz konusudur. Kutupların pozisyonları, bir şekilde kontrol edilmelidir. Bu yöntem kullanıcının tercihine ve şartlara bağlı olarak sensörlü ya da sensörsüz olabilir. [21]

Elektrikle tahrik sisteminin gelişiminde elektrik motorlarının gelişmesinin büyük payı olsa da sadece bu sistemin gelişimi sadece elektrik motorlarına bağlı değildir. Motorların, kullanıcının beklentisini karşılaması için iyi bir sürücünün kullanılması lazım. İyi bir sürücü elde etmek de güç elektroniği, mikroişlemciler ve elektronik alanındaki gelişmelere bağlıdır.

2.2.2 Hibrit elektrikli araçlarda kullanılan motor sürücüleri

Elektrik motorlarının ihtyaca uygun cevap verebilmesi için doğru ve en verimli sürüş yöntemleri ile sürülmeleri gerekmektedir. Her motor türünün kendine özgü sürüş yöntemleri bulunmaktadır. Uygulama alanına göre sürüş tekniği de değişebilmektedir. Bu başlık altında elektrik motorlarının taşıt sistemlerindeki bazı sürüş tekniklerine değinilmiştir.

2.2.2.1 DA Motoru sürücüleri

DA Motor sürücüleri ayarlanabilir hız gerektiren, sık sık durdurma ve başlatma gerektiren ayrıca iyi bir hız regülasyonu ihtiyacı duyulan uygulamalar için kullanılmıştır. Çeşitli DA motor sürücüleri teknolojik olgunluklarından ve uygulanabilirliklerinin basit olmasından dolayı tahrik sistemlerinde geniş ölçüde kullanılmışlardır.

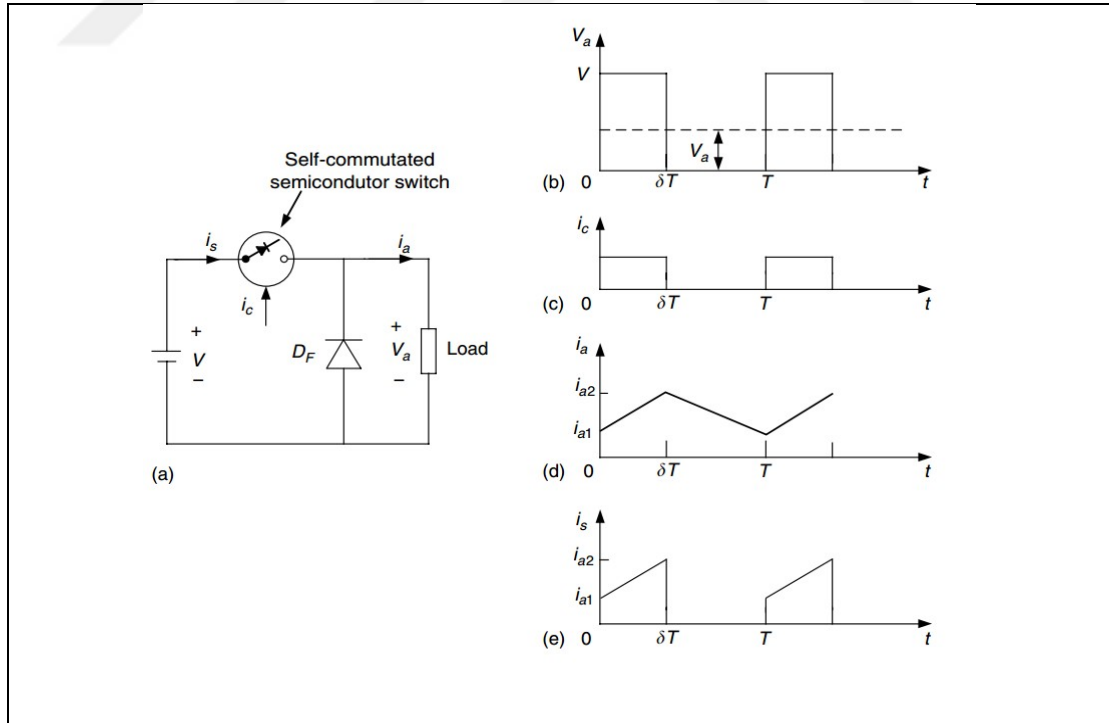
DA dönüştürücüleri yüksek verimlilik, kontrolde esneklik, düşük ağırlık, küçük boyut, hızlı cevap verme ve düşük hızlarda rejenerasyon yapma gibi özelliklerinden

dolayı kullanılırlar. Dışardan uyarmalı DA motorları, armatür gerilimi ve alanının kontrol esnekliğinden dolayı günümüzde halen tahrik uygulamalarında kullanılmaktadırlar.

DA motorunun açık çevirim ve kapalı çevirim konfigürasyonları için, DA dönüştürücüler yüksek frekanslarda çalışabilmelerinden dolayı bazı avantajlar sunarlar.

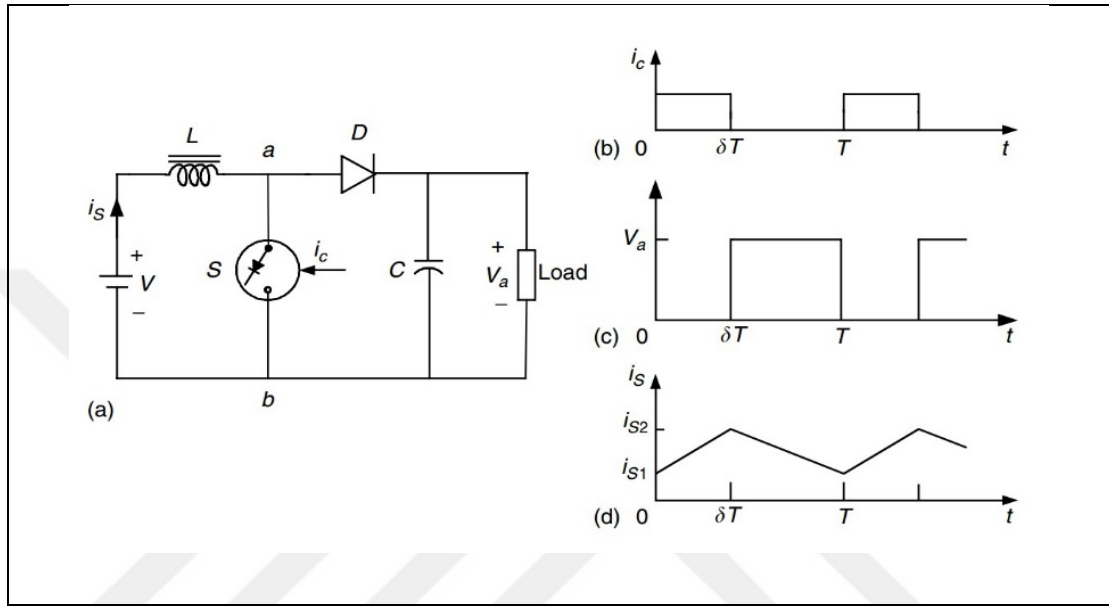
Yüksek çalışma frekansı, yüksek frekanslı çıkış gerilimi dalgalanmaları sağlar. Dolayısıyla motor armatür akımında daha düşük dalgalanma olur ve hız-tork düzleminde daha küçük süreksiz iletim bölgeleri oluşur. Daha küçük süreksiz iletim bölgelerinin oluşturulması ve ya tamamen yok edilmesi hız regülasyonunu ve sürücünün geçici tepkisini geliştirir. Armatür akımında dalgalanmanın azaltılması armatür kayıplarını da azaltır.

Şekil 2.7’de Düşüren tip(buck) DA dönüştürücünün devre şeması ve dalga şekilleri verilmiştir.



Şekil 2.7. Düşüren tip(buck) DA dönüştürücünün devre şeması ve dalga şekilleri

Düşüren tip dönüştürücüler uygulamada en çok kullanılan dönüştürücü tiplerinden biridir. Ancak kaynak geriliminin düşük olduğu sistemlerde bu devreyi kullanmak ihtiyacı karşılamaz. Bunun yerine yükselten tip dönüştürücü kullanılmalıdır. Yükselten tip (boost) dönüştürücünün devre şeması ve dalga şekilleri şekilde 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.8. Yükselten tip (boost) dönüştürücünün devre şeması ve dalga şekilleri

Yükseltici (boost) dönüştürücünün ana avantajı kaynak akımı dalgalılığının düşük olmasıdır. Rejeneratif frenleme sistemlerinde yükseltici tip dönüştürücü prensibi kullanılmaktadır.

Elektrikli ve Hibrit elektrikli araçlardaki DA motor uygulamaları motorun dört bölgede çalışmasını gerektirir. Bunlar ileri yönlü sürüş, ileri yönde frenleme, geri yönde sürüş ve geri yönde frenleme modlarıdır. Ters mekanik vitesli arabalarda çift bölge (I ve IV) sürüş gereklidir. Eğer araçta ters mekanik vites yoksa 4 bölge sürüş zorunludur. Dört bölge sürüş tekniği elektrik motorunun güç elektroniği devresi yardımıyla kontrol edilmesiyle sağlanır.

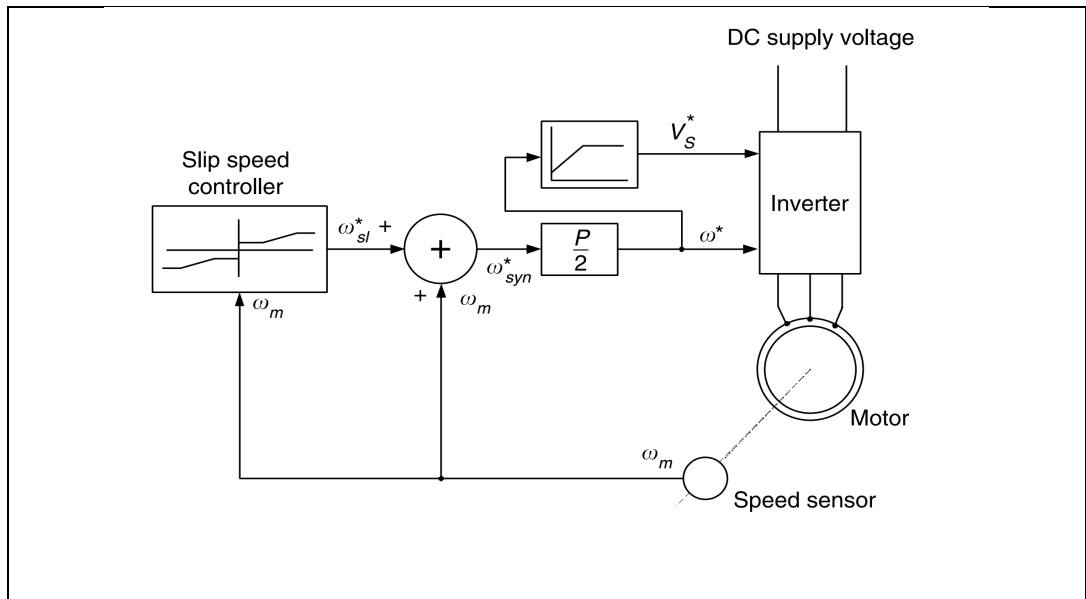
2.2.2.2 Asenkron Motor Sürücüleri

Elektrikli ve hibrit elektrikli araçlar için kollektörsüz motor teknolojisi, kollektörlü DA motorlarına göre birçok avantaja sahiptir. Günümüzde Asenkron motorlar

kollektörsüz motorlar arasında gelişmiş bir teknolojiye sahiptir. DA motorlarına göre Asenkron motorların düşük ağırlık, düşük ses seviyesi, düşük maliyet ve yüksek verimlilik gibi avantajları vardır. Bu avantajlar Elektrikli ve Hibrit elektrikli araç uygulamaları için oldukça önemlidir.

İki tip asenkron motor vardır; rotoru sargılı ve sincap kafesli. Yüksek maliyet, bakım gerekliliği ve daha az sağlam olmasından dolayı rotoru sargılı asenkron motor özellikle elektrikli araç ve hibrit elektrikli araç uygulamaları için daha az ilgi çekicidir. Bu yüzden asenkron motor deyince akla sincap kafesli asenkron motor gelmektedir.

Araç tahrik sistemlerinde asenkron motorun moment-hız karakteristiği gerilim ve frekansın eş zamanlı kontrolü ile değiştirilebilir. Bu yöntem Sabit Volt / Hertz Kontrolü olarak bilinmektedir. Bu yöntemle frekans değişimiyle motor hızı artırılabilir. Motor hızı anma değerini aştığında gerilim anma değerine ulaşır ve frekans değişimiyle değişmez. Bu durumda motor gerilimi anma değerine sabitlenir ve frekans motor hızının artmasıyla artar. Motor alan zayıflatma işlemine girer. Kayma (s) anma frekansına karşılık gelen değerine sabitlenir ve kayma hızı (ω_{sl}) motor hızıyla doğrusal olarak artar. Sabit V/f kontrolünün genel şeması şekil 2.9'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.9. Sabit V/f kontrolünün genel şeması

Elektrikli araç ve hibrit elektrikli araç tahrik sistemlerinde asenkron motor terminal uçlarındaki gerilimleri yaklaşık olarak sabit olan Batarya, Yakıt pili gibi DA kaynaklarından beslenir. Bu yüzden Asenkron motoru beslemek için değişken frekans ve değişken gerilim sunan DA/AA eviricisine ihtiyaç duyulur. Genel DA/AA eviricileri güç anahtarlarından ve güç diyotlarından oluşmaktadırlar.

Asenkron motorun sabit V/f kontrolü düşük hız uygulamalarında daha kullanışlı olmaktadır. Son yıllarda vektör kontrolü yaklaşımı geliştirilmiş olup uygulamada da başarılı olmuştur. Bu yaklaşım sabit V/f kontrolü yaklaşımın dezavantajlarının üstesinden gelerek daha gelişmiş bir asenkron motor sürüş tekniği sunmuştur. Bu yaklaşımda amaç, DA motorunda olduğu gibi, maksimum momenti üretmek için rotor alanına dik olan stator alanını korumaktır. Genel olarak, bir motor tarafından retelen momentin hassas bir şekilde kontrol edilmesi elektrikli ve hibrit elektrikli araç tahrik sistemi uygulamaları için gereklidir. Vektör kontrolü yaklaşımı optimal moment üretimi koşullarını sağlamaktadır ve araç tahrik sistemlerinde uygulanması uygun olmaktadır.

2.2.2.3 Sabit mıknatıslı motor sürücüleri

Yüksek enerjili sabit mıknatıslar elektrik motorlarında kullanıldığından beri elektrik motorlarında yüksek güç yoğunluğu, yüksek hız ve yüksek çalışma verimliliğine ulaşılmıştır. Bu belirgin avantajlardan dolayı sabit mıknatıslı motorların elektrikli ve hibrit elektrikli araçlarda uygulanması oldukça ilgi çekmiştir.

Araç tahrik sistemlerinde hız kontrolü oldukça önemli bir konudur. Birçok yüksek performanslı uygulamada akım geri beslemeli moment kontrolü yöntemi kullanılmıştır. En azından aşırı akımlardan korunmak için akım geri beslemesi şarttır. Motor hız kontrolü için ise PI kontrol ya da yapay zeka kontrolü daha gelişmiş kontrol stratejileri kullanılabilir.

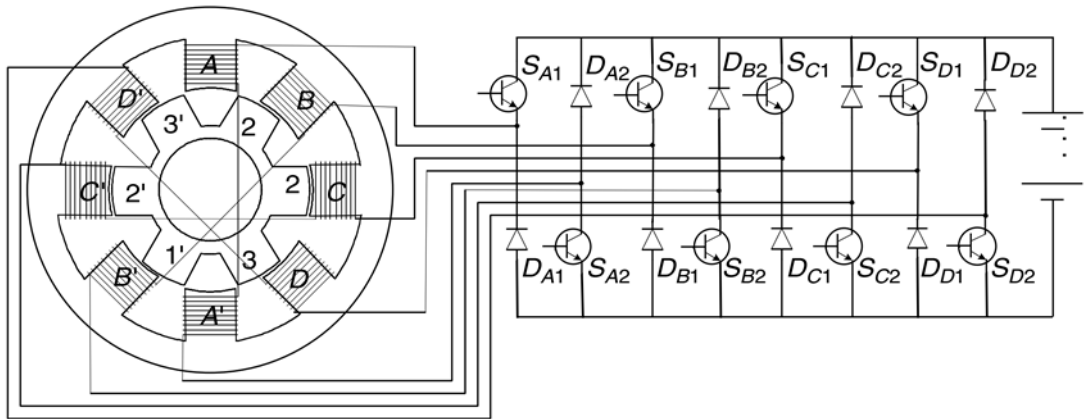
Sabit mıknatıslı fırçasız doğru akım motorları sabit mıknatıslarından dolayı düşük sabit güç aralığına sahiptirler. Çünkü alan zayıflatma kabiliyetleri düşüktür. Alan zayıflatma, ancak statorda ters alan üretmekle mümkün olmaktadır.

Son çalışmalarda ek alan sargıları sayesinde sabit mıknatıslı motorların hız aralığının genişletilmesi sağlanmıştır. Alan akımının bir şekilde kontrol edilmesiyle hava aralığında oluşan alan yardımıyla alan zayıflatma işlemi kontrol edilerek sabit güçlerde yüksek hızlara ulaşmak mümkün olmaktadır.

Sabit mıknatıslı motorların kontrolü için rotor pozisyonunun bilinmesi gereklidir. Rotor pozisyonunu algılamak için iki yöntem kullanılmaktadır: sensörlü ve sensörsüz algılama. Rotor pozisyonunu algılamak için sensör kullanılması sadece maliyeti arttırmaz. Özellikle askeri uygulamalarda sensör kullanımı büyük riskler oluşturmaktadır. Sensörün bir şekilde devre dışı kalması motoru işlevsiz hale getirecektir. Bu risklerden dolayı sensörsüz kontrol teknikleri geliştirilmiştir. Sensörsüz kontrol teknolojisi genel olarak gerilim, akım ve ya ters EMF algılama tekniklerine dayanmaktadır.

2.2.2.4 Anahtarlamalı relüktans motoru sürücüleri

Anahtarlamalı Relüktans motorları değişken hızlı uygulamalarda düşük maliyet, dayanıklı yapı, geniş hız aralığı, kontrol kolaylığı ve yüksek verimlilik gibi avantajlarından dolayı ilgi çekmiştir.[22,24] Bu sürücüler, elektrikli araçlar, hibrit elektrikli araçlar, elektrikli tahrik sistemleri, uçak marş sistemleri gibi birçok alanda kullanımı uygundur. [25-27] Doğru kontrol stratejileri ile anahtarlamalı relüktans motorlarında yüksek performansa ulaşılabilir. [22,23] Anahtarlamalı relüktans motoru sürücü devresi örneği şekil 2.10 da gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Anahtarlamalı relüktans motoru sürücü devresi

Anahtarlamaalı relüktans motorunda moment üretimi, rotorun uyarılmış stator kutuplarıyla hizalanma eğilimi ile olmaktadır.

Anahtarlamaalı relüktans motoru, doğrultulmuş bir gerilimle ya da batarya gibi bir DA akım kaynağıyla beslenebilir. Anahtarlamaalı relüktans motorunda kullanılan sürücü AA sürücülerine benzememektedir. Bu motorlar tek yönlü akımla çalışabilmektedirler. Anahtarlamaalı relüktans motoru sürücüleri için farklı sürüş teknikleri önerilmiştir. [28,29]

2.2.3 İçten yanmalı motor

En çok kullanılan içten yanmalı motor türleri kullanılan yakıt türüne göre benzinli ve dizel motorlardır. Hibrit araçlarda benzinli motorlar daha çok tercih edilmektedir. Benzinli motorlar dizel motorlara göre çevreyi daha az kirletmektedir. Çünkü benzinli motorlar dizel motorlara göre daha az miktarda partikül madde ve NO_x gazı salınımı yaparlar. Hibrit araçların üretilmesinin en önemli sebeplerinden biri de çevre kirliliğini azaltmak olduğu için benzinli motor daha çok tercih edilmektedir.

Benzinli motorun tercih edilmesinin bir diğer sebebi, benzinli motor ile elektrikli motorun daha uyumlu çalışmasıdır. Elektrik motorlarının ve dizel motorların düşük devirleri güçlüdür. Benzin-elektrik kombinasyonunda ise elektrik motoru düşük hızlarda ekonomik ve güçlü çekiş sağlarken hız yükseldikçe benzinli motor ekonomik bir sürüş sağlar. Ayrıca dizel motorlar benzinli motorlardan daha ağırdırlar. Dizel motorların tercih edilme ağırlık açısından da yakıt tasarrufunu olumsuz etkiler.

2.2.4 Güç kontrol ünitesi

Güç kontrol ünitesi, araç tahrik sisteminin ve tüm elektrikli aksamalarının elektronik olarak yönetildiği ve kontrol edildiği birimdir. Araçta kullanılan bileşenlerin türlerine göre bu birimdeki elektronik devreler ve motor sürücüleri de değişiklik gösterir. Hibrit araçların en önemli bileşenlerinden biridir. Çünkü batarya, elektrik motoru ve generatör gibi önemli bileşenler bu birim tarafından kontrol edilmektedir. Bu birimde meydana gelecek olan bir hata, aracın bütün elektrikli aksamalarını etkiler. Faydalı frenleme modu da bu birim tarafından yönetilmektedir. Güç kontrol ünitesi, fren

pedalından gelen sinyale göre, frenleme gücünün ne kadarının mekanik frenden ne kadarının faydalı frenlemeden karşılanacağına karar verir. Eğer batarya dolu ise fren gücünün tamamı mekanik frenden karşılanır.

2.2.5 Enerji kaynakları

Hibrit elektrikli araçların tahrik sistemlerinin enerjilendirilmesi için farklı enerji kaynakları ve enerji depolama sistemleri bulunmaktadır. Yaygın olarak kullanılan enerji kaynakları ve depolama sistemleri bu başlık altında tanıtılmıştır.

2.2.5.1 Fosil yakıt

Fosil yakıt, hibrit araçlarda içten yanmalı motora enerji sağlayan yakıttır. Bu yakıt türü araçta kullanılan içten yanmalı motorun türüne göre değişiklik göstermektedir. Hibrit araçlarda genellikle benzinli motorlar kullanılsa da dizel yakıt kullanan hibrit elektrikli araçlar da mevcuttur.

2.2.5.2 Batarya

Bataryalar, elektrokimyasal enerjiyi depolayan ve çıkışlarına yük bağlandığında bu enerjiyi tekrar elektrik enerjisine dönüştürerek devrede akım akmasını sağlayan enerji kaynaklarıdır. Yapılarında kullanılan kimyasallara göre farklı türleri üretilmektedir.

Bataryalar tümü elektrikli ve hibrit elektrikli araçlarda kullanılan ve büyük bir öneme sahip olan enerji depolama sistemleridir. Bataryaların ortaya çıkış tarihi çok eskilere dayanmaktadır. Batarya teknolojileri geliştikçe de çeşitli bataryalar ortaya çıkmıştır. Bu bataryaların içinde maliyeti en düşük olanı kurşun-asit bataryadır. Ancak bu bataryanın elektrikli araçlarda kullanılması uygun değildir. Çünkü enerji yoğunluğu çok düşüktür ve bu yüzden yeterli menzili sağlayamamaktadırlar. Kurşun asit bataryalar ortalama 30-45 Wh/kg enerji yoğunluğuna ve 150-300 W/kg aralığında güç yoğunluğuna sahiptirler. Kurşun asit bataryalardan daha gelişmiş olan batarya türü Nikel kadmiyum bataryalardır.

Nikel kadmiyum bataryaların enerji ve güç yoğunlukları kurşun asit bataryalardan daha iyidir. Enerji yoğunlukları ortalama 50 Wh/kg ve güç yoğunlukları ortalama

200W/kg'dır. Ancak bu değerler de elektrikli araçlar için yetersiz kalmaktadır. Çünkü kurşun asit bataryalara göre çok fark yaratmamıştır bu bataryalar. Nikel kadmiyum bataryaların hücre gerilimi şarjlı halde 1.44 V değerindedir. Boş haldeyken de 1.2V gerilimin altına düşmesi engellenmelidir. Bu bataryanın elektrikli araçlarda kullanılabilmesinin bir diğer sebebi, şarj/deşarj evirim sayısının yüksek olması ve yüksek akım verebiliyor olmasıdır. Ancak Ni-Cd bataryaların yapısında bulunan zararlı toksikler üretim tesislerinde zorluklara neden olmaktadır ve bilinçsizce çevreye atıldıklarında çevreye büyük zararlar vermektedir.

Nikel Metal Hidrit (NiMH) bataryalar Ni-Cd bataryalardan daha yüksek enerji yoğunluklarına ulaşmışlardır. Bu da verimliliği yaklaşık Ni-Cd bataryaların 2-3 katı kadar arttırmıştır. Bir diğer önemli avantajı ise yapısında toksik madde yoktur bu yüzden bu bataryalar Ni-Cd bataryaların yerini almıştır ve kullanım alanı genişlemiştir. Enerji yoğunluğu 70 Wh/kg'dan daha fazladır. NiMH bataryaların dezavantajları ise kendi kendine deşarj olma sürelerinin Ni-Cd bataryaların yarısı kadar olması ve maliyetinin çok yüksek olmasıdır.

Alternatif olarak ortaya çıkan bir diğer batarya türü sodyum sülfür bataryadır. Bu bataryanın enerji yoğunluğu 110 Wh/kg'dır ve güç yoğunluğu 150 W/kg'dır. Sodyum sülfür batarya 1000 derin deşarj çevirimi sağlamaktadır. Ancak bu bataryanın optimum çalışma sıcaklığı 350oC'dir. 200oC'nin altında ise çalışmamaktadır. Bu sıcaklığın altına inilmesi sodyum elektrodun donmasına sebep olmaktadır. Bu da bataryaya zarar vermektedir.

Sodyum-nikel klorür batarya, sodyum sülfür bataryaya benzemektedir. Çalışma sıcaklığı ve enerji yoğunluğu daha düşük olsa da çok farklı değildir. Çalışma sıcaklığı 300oC'dir ve enerji yoğunluğu 100 Wh/kg'dır. Bu batarya da 160oC'nin altına inildiği zaman donma tepkimesi gerçekleştirmektedir ve batarya zarar görmektedir.

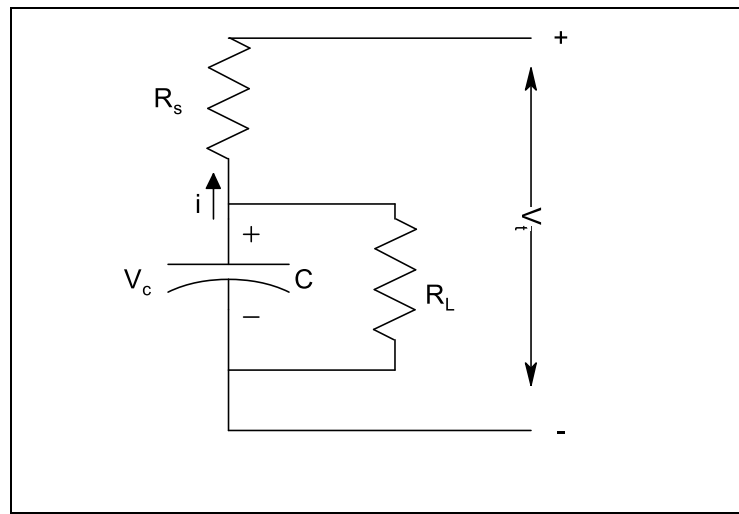
Bir diğer yüksek sıcaklık bataryası da Lityum-Demir Sülfat bataryasıdır. Çalışma sıcaklığı 450oC'dir. Enerji yoğunluğu azami 150 Wh/kg, güç yoğunluğu 300 W/kg'dır. derin deşarj çevirimi 1000 civarındadır.

Lityum iyon ve Lityum polimer bataryalar elektrikli araçlar için en uygun bataryalar olarak görülmektedirler. Yaklaşık 120 Wh/kg enerji yoğunluğuna sahip bu bataryaların tek dezavantajları maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Zamanla üretim maliyetlerinin düşüp elektrikli araçlarda yaygın olarak bu bataryaların kullanılacağı ön görülmektedir.

2.2.5.3 Süperkondansatör

Elektronların kutuplaşarak elektriksel yükü elektrik alanının içerisinde depolayabilme özelliklerinden faydalanılarak, bir yalıtkan malzemenin iki metal tabaka arasına yerleştirilmesiyle oluşturulan temel elektrik ve elektronik devre elemanına kondansatör denir. Ultrakapasitör diğer adı ile süperkondansatör, katı yalıtkanlı kondansatöre göre, yüksek sığa değerlerine rağmen fiziksel olarak küçük boyutlara sahip daha gelişmiş bir kondansatör tipidir. Ultrakapasitörler çift katmanlı kapasitör teknolojisi ile üretilirler.

Çift katmanlı kapasitör teknolojisi ultrakapasitörlerde kullanılan önemli bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımda, bataryalarda olduğu gibi, gözenekli yapıda olan elektrotlar elektrolit bir çözeltiye batırılır. Bu gözenekler nanometre mertebesindedir. Elektronlar serbestçe bu gözeneklerden geçebilmektedir. Pozitif ve negatif elektrotlar bir ayırıcı ile ayrılır. Sabit akım altında, elektrotlar arasında bir potansiyel fark oluşur. Bu durum süper kondansatörün batarya olarak kullanılabilme fikrini ortaya çıkarmıştır. Süperkondansatörün prensip devre şeması şekil 2.11’de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Süperkondansatör prensip devre şeması

$$V_c = V_t - i \cdot R_s \quad (2.1)$$

Denklem(2.1)'de süperkondansatörün elektriksel potansiyel ifadesi verilmiştir. Burada R_s , seri iç direnci, R_L , kaçak dielektrik direncini, V_c , kondansatörün elektriksel potansiyelini temsil etmektedir.

Hibrit elektrikli araçlar için süperkondansatör kullanılması fikri birçok çalışmada önerilmiştir. [süperkondansatör kaynak ekle]Taşıtlar, özellikle kentsel sürüşlerde sık sık dur-kalk yaparlar. Bu durumdan dolayı hibrit elektrikli araçlarda depolama sisteminin şarj olma ve boşalma profili oldukça değişken olabilmektedir. Kalkış anında araçlar ani güce ihtiyaç duyduğu için bataryadan yüksek akım çekilmelidir. Bu da batarya ömrü açısından istenen bir durum değildir.

Mevcut batarya teknolojisindeki tasarımda özgül enerji, özgül güç ve devir ömrü önemlidir. Elektrikli araçlarda ve hibrit elektrikli araçlarda batarya kullanılacaksa bu değerlerin yüksek tutulması gerekir. Bu değerleri yükseltmek zordur ve bazı güçlülere yol açtığı için farklı arayışlara gidilmiştir. Bunlardan biri de hibrit depolama sistemidir. Hibrit depolama sistemi, enerji kaynağı ve güç kaynağı birimlerinden oluşmaktadır.

Enerji kaynağı, başta bataryalar ve yakıt hücreleri olmak üzere, düşük özgül güç, yüksek özgül enerji değerine sahip iken, güç kaynağı da yüksek özgül güç, düşük özgül enerji değerine sahiptir. Güç kaynakları, rejeneratif frenleme sırasında veya güç talebinin az olduğu bir sürüş esnasında, enerji kaynağından şarj edilebilir. Bu yüzden böyle bir hibrit depolama sisteminde güç kaynağının özgül enerji değerinin düşük olması çok sorun oluşturmaz. Bu anlamda en çok ilgi gören güç kaynakları ultra kapasitörlerdir.

Düşük özgül enerji yoğunluğu ve şarj durumundaki gerilim bağımlılığı yüzünden elektrikli ve hibrid elektrikli araçlarda ultra kapasitörleri tek başına kullanmak zordur. Ancak, yardımcı güç kaynağı olarak ultra kapasitör kullanmak oldukça avantajlıdır. Gelecek vadeden enerji depolama sistemi batarya ve ultra kapasitör ikilisinin hibrid kullanılmasıdır. Bu tasarım sayesinde ihtiyaç duyulan yeterli güç ultra kapasitörden, enerji ise bataryadan sağlanmış olur. Bununla beraber, yüksek

güce ihtiyaç duyulduğunda ultrakapasitörden güç sağlanacağı için bataryadan yüksek akım çekilmesi önlenmiş olur. Bu da bataryanın ömrünü uzatır. [8]

2.2.5.4 Volan

Volan, kinetik enerjiyi mekanik olarak depolayabilen, bir eksen etrafında dönebilen bir kütledir. Volanlar 1961 yılından sonra uzay uygulamalarında kullanılmıştır. NASA'nın bu uygulamalarından sonra volanlar birçok alanda kullanılmaya çalışılmıştır. Volanlar elektriksel sistemlerde kullanıldığında volanı hareketlendirecek enerji elektrik motorundan sağlanır. Volanın dönüş hızı, depoladığı enerjiyle doğru orantılıdır. Bu enerjiye ihtiyaç duyulduğunda, örneğin bu elektrik enerjisine dönüştürülecekse generatör kullanılır. Mekanik olarak volan generatörü döndürdüğünde mekanik volan enerjisi generatör çıkışında elektrik enerjisine dönüştürülmüş olur. Volanlar yüksek enerji yoğunluğuna sahiptirler ve %90 oranında enerji verimliliğine sahiptirler. Şarj süreleri de kısadır. Volanlarda kullanılan materyaller de çevreye zararlı değildir. Bu açıdan çevre dostu enerji depolama cihazlarıdır. [9] volanlar ulaşımda kullanma açısından bazı dezavantajlara sahiptirler. Bunlar güvenlik sorunları ve jiroskopik kuvvetlerdir.

2.2.5.5 Yakıt pili

Yakıt pilleri yapılarında depoladıkları kimyasal enerjiyi elektroliz yoluyla elektrik enerjisine dönüştüren enerji depolama elemanlarıdır. Bu elemanların atıkları su ve ısı olduğu için çevre dostu enerji depolama elemanlarıdır.

Yakıt hücreleri kullandıkları kaynaklara göre farklı isimler alırlar. Bunlar; fosforik asit yakıt hücreleri (PAFC), doğrudan metanol yakıt hücresi (DMFC), proton değişim membranlı yakıt hücresi (PEMFC), alkalın elektrolit yakıt hücreleri (AFC), katı oksit yakıt hücreleri (SOFC) ve ergimiş karbonat yakıt hücresi (MCFC)'dir.

Yakıt pilleri teknolojik cihazlarda enerji depolama elemanı olarak kullanıldığı gibi, ulaşım araçlarında da kullanılması gayet uygundur. Çünkü çevre dostu elemanlardır, yapıları basittir ve verimleri yüksektir.

2.2.6 Elektrikli araçlarda şarj teknolojileri

Elektrikli araçların en büyük problemleri şarj süresi ve şarj istasyonların henüz yaygınlaşmamış olmasıdır. Güç elektroniğindeki gelişmelerle gittikçe şarj teknolojileri de gelişmektedir. Günümüzde kablolu ve kablosuz olmak üzere iki tür şarj sistemi kullanılmaktadır.

Kablolu şarj sisteminde bataryalar iletkenler yardımıyla şarj edilmektedirler. Bu şarj sisteminde güvenlik açısından iletkenlerin iyi yalıtılmış olması ve şarj kaynağının açıkta olmaması önemlidir.

Kablosuz şarj sisteminde enerji iletimi özel tasarlanmış primer ve sekonder bobinler yardımıyla sağlanmaktadır. Bu sistemle enerji iletimi manyetik yolla sağlandığı için daha güvenlidir.

Elektrikli araç şarj işlemleri, şarj süresi ve yöntemine göre üç seviyeye ayrılmıştır. Seviye 1 denilen şarj yöntemi genelde evde ve araç park halindeyken uygulanan uzun zaman gerektiren şarj yöntemidir. Seviye 2 şarj yöntemi, şehirlerarası yollar ve otopanlar hariç, üniversiteler, havaalanları gibi yerlerde kurulmasında sakınca olmayan, şarj süresi 1 ile 4 saat arasında değişebilen şarj yöntemidir. Seviye 3 şarj yöntemi, 15-30 dk aralığında şarj imkanı sunan yöntemdir. Bu yöntem şehirlerarası yollarda mola yerlerinde kurulması planlanan ve gelecekte benzin istasyonlarının yerini alacak olan yöntemdir

Alternatif olarak sunuluna başka bir yöntem de pil değiştirme yöntemidir. Bu yöntemin kamu araçlarına uygulanabilirliği daha yüksektir. Biten bataryanın yerine dolu bataryanın takılması ve diğer bataryanın şarja takılmasıyla kısa sürede araç enerjilendirilmiş olur.

3 ÖNERİLEN ENERJİ YÖNETİM ALGORİTMASI VE MATEMATİKSEL MODELİ

Hibrit elektrikli araçların çalışmasında enerji yönetimi ve aracın çalışma modları, enerji tasarrufu üzerinde büyük bir öneme sahiptir. İyi bir enerji yönetim sistemi ile elektrik motorunun mümkün olabilen en fazla oranda kullanılması, araca önemli ölçüde yakıt tasarrufu sağlar. Bu çalışmada önerilen sistem, güzergah bilgisini kullanarak aracın çalışma modlarını kontrol eder. Elektrik enerjisiyle sürüş modunun büyük oranda kullanılmasını sağlamak için güzergah bilgisi ve aracın güç ihtiyacı birlikte değerlendirilerek optimum sürüş modunun oluşturulması hedeflenmiştir. Bu hedefe yönelik olarak hem sistemin matematiksel modeli oluşturulmuş hem de hibrit elektrikli bir araçla belirli bir güzergahta test yapılmıştır.

3.1 Matematiksel Model

Hibrit elektrikli bir aracın belirli şartlar altında elektrik modunda sürülmesiyle tüketilecek ve faydalı frenleme ile geri kazanılacak enerjinin hesabının yapılması için matematiksel bir model oluşturulmuştur.

Denklem(3.1)'de gösterilen ifade ile aracın atalet kuvveti hesaplanmaktadır.

$$f_l = M_{car} \cdot \dot{v}_{car} \quad (3.1)$$

Burada f_l , otomobilin atalet kuvvetini [N], M_{car} , otomobilin kütlesini [kg], \dot{v}_{car} , otomobilin ivmelenmesini, hızlanmasını [m/s^2] ifade etmektedir.

$$f_g = M_{car} \cdot g \quad (3.2)$$

Denklem(3.2)'de araca etki eden yerçekimi kuvveti hesaplanmakta olup, f_g , aracın yerçekimi kuvvetini [N], g , yerçekimi ivmesini ifade etmektedir.

$$f_n = M_{car} \cdot g \cdot \cos(\alpha) \quad (3.3)$$

Denklem (3.3) araç kuvvetinin normalinin hesaplanması için kullanılmaktadır. Burada f_n , aracın kuvvetinin normalini [N], α , yolun eğim açısını ifade etmektedir.

$$f_{rr} = M_{car} \cdot g \cdot \cos(\alpha) \cdot c_{rr} \quad (3.4)$$

Denklem (3.4)'de tekerleklerin yuvarlanma direnci kuvveti hesaplanmaktadır. f_{rr} , tekerleklerin yuvarlanma direnci kuvvetini [N], c_{rr} , tekerlek dönme direnci katsayısını ifade etmektedir.

$$f_{wind} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{air} \cdot c_{drag} \cdot A_{front} \cdot (v_{car} + v_{wind})^2 \quad (3.5)$$

Denklem (3.5)'de rüzgar direnci kuvveti hesaplanmaktadır. Denklemdeki f_{wind} , rüzgar direnci kuvvetini [N], ρ_{air} , 20°C' deki kuru hava yoğunluğunu [kg/m³], c_{drag} , aerodinamik sürüklenme katsayısını, A_{front} , cephe alanını [m²], v_{car} , aracın hızını [m/s], v_{wind} , rüzgar hızını [m/s] ifade etmektedir.

$$f_t = M_{car} \cdot \dot{v}_{car} + M_{car} \cdot g \cdot \sin(\alpha) + \text{sign}(v_{car}) \cdot M_{car} \cdot g \cdot \cos(\alpha) \cdot c_{rr} + \text{sign}(v_{car} + v_{wind}) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_{air} \cdot c_{drag} \cdot A_{front} \cdot (v_{car} + v_{wind})^2 \quad (3.6)$$

Denklem (3.6)'da aracın çekiş kuvveti hesaplanmaktadır. Denklemdeki f_t , aracın çekiş kuvvetini [N] ifade etmektedir.

$$c_{rr} = 0,01 \cdot \left(1 + \frac{3,6}{100} \cdot v_{car}\right) \quad (3.7)$$

Denklem(3.7)'de Tekerleklerin dönme direnci katsayısı hesaplanmakta olup, Denklem (3.4) ve 3.(6)'da kullanılmaktadır.

$$\tau_t = f_t \cdot r_w \quad (3.8)$$

Denklem (3.8)'de aracın çekiş torku hesaplanmaktadır. τ_t , Çekiş torkunu [Nm], r_w , Tekerlek yarıçapını [m] ifade etmektedir.

$$\tau_w = \frac{\tau_t}{2} \quad (3.9)$$

Denklem (3.9), her bir tekerleğin torkunun ayrı ayrı hesaplanması için kullanılmaktadır. τ_w , Her bir tekerleğin torkunu [Nm] ifade etmektedir.

$$\omega_w = \frac{v_{car}}{r_w} \quad (3.10)$$

Denklem (3.10)'da tekerleklerin açısal hızı hesaplanmaktadır. ω_w , Tekerleklerin açısal hızını [rad/s] ifade etmektedir.

$$p_t = f_t \cdot v_{car} \quad (3.11)$$

Denklem (3.11)'de aracın çekiş gücü hesaplanmaktadır. p_t , aracın çekiş gücünü [W] ifade etmektedir.

$$\tau_s = \begin{cases} \eta_{TS} \cdot \frac{\tau_t}{G}, & p_t < 0 \\ \frac{\tau_t}{\eta_{TS} \cdot G}, & p_t \geq 0 \end{cases} \quad (3.12)$$

Denklem (3.12), elektrik motorunun mil torkunun hesaplanması için kullanılmaktadır. τ_s , elektrik motorunun mil torkunu [Nm], η_{TS} , elektrik motorunun şaftından iki tekerleğe aktarılan gücün verimini, G, diferansiyel dişli oranını ifade etmektedir.

$$\omega_s = G \cdot \omega_w \quad (3.13)$$

Denklem (3.13)'te elektrik motorunun mil hızı hesaplanmıştır. Burada ω_s , elektrik motorunun mil hızını [rad/s] ifade etmektedir.

$$p_s = \tau_s \cdot \omega_s \quad (3.14)$$

Denklem(3.14)'te elektrik motorunun mil gücü hesaplanmıştır. p_s , elektrik motorunun mil gücünü ifade etmektedir.

$$G = \frac{n_{s,max}}{v_{car,max}} \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{r_w}{1,1} \quad (3.15)$$

Denklem (3.15)'te denklem (3.12) ve (3.13)'te kullanılan diferansiyel dişli oranı hesaplanmıştır. Burada $n_{s,max}$, motorun maksimum devrini [rpm], $v_{car,max}$, aracın maksimum hızını [m/s] ifade etmektedir.

Motor ve eviricinin matematiksel modeli yerine, verimleri alınarak hesaplamalarda kullanılmıştır.

$$\eta_{motor} = 0,9, \eta_{inverter} = 0,98$$

Bataryadan çekilen güç denklem (3.16) ile belirlenmiştir.

$$P_{b_out} = \frac{P_s}{\eta_{motor} \cdot \eta_{inverter}} \quad (3.16)$$

Bu çalışmada araç hızı, negatif eğimde de pozitif eğimde de sabit varsayılmıştır. Aracın negatif eğimli bölgelerde sabit hızla gidebilmesi için eğime ve yol koşullarına göre aracın bir miktar fren yapması gerekmektedir. Hibrit araçlarda bu kayıp fren kuvvetinden ortaya çıkan enerjinin bir miktarının faydalı enerjiye dönüştürülüp depolanması mümkündür. Bu çalışmada faydalı frenleme enerjisinin hesabı (3.17),(3.18)'e göre hesaplanmıştır.

$$f_{reg} = k \cdot f_t \quad (3.17)$$

Denklem (3.17)'de faydalı frenleme kuvveti hesabı yapılmaktadır. Burada f_{reg} , faydalı frenleme kuvvetini, k sabiti ise frenleme sabiti olarak ifade edilmektedir. Aracın durması için ihtiyaç duyduğu frenleme kuvvetinin tamamı faydalı frenleme ile karşılanamayacağından, faydalı frenleme kuvveti, değeri 0-1 arasında olan bir k sabiti ile çarpılmaktadır. Çünkü acil durumlarda faydalı frenleme ile istenilen sürede aracı durdurmak mümkün olmayabilir

$$P_{reg} = f_{reg} \cdot v_{car} \quad (3.18)$$

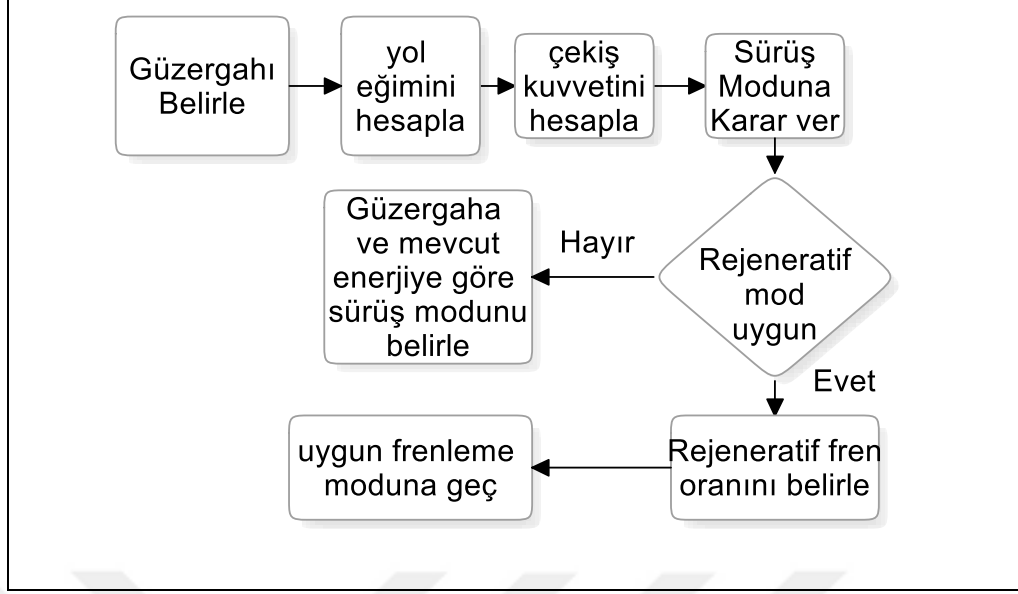
Denklem (3.18)' de faydalı frenleme ile kazanılan güç hesaplanmıştır. Burada P_{reg} , faydalı frenleme gücünü ifade etmektedir.

Yukarıda bahsi geçen denklemler MATLAB programında kullanılarak bir benzetim modeli oluşturulmuştur. Bu benzetim modeli ve belirli bir güzergah için modelin sonuçları dördüncü bölümde verilmiştir.

3.2 Önerilen Enerji Yönetim Algoritması

Hibrit elektrikli araçların elektrikli tahrik sistemi ve çalışma prensibi elektrikli araçlara benzediği için, bu çalışmada elektrikli araçlarda kullanılan bir prensip takip edilmiştir. Kurulan benzetim modeli, Şekil 8'deki akış diyagramına göre önceden belirlenen güzergah verileri ile birlikte sırasıyla şu adımlara göre çalışmaktadır:

- Yolculuğa başlamadan önce sürücünden takip edeceği güzergahı belirlemesi istenir.
- Belirlenen güzergah bilgileri uydudan alınarak güzergah eğimi hesaplanır.
- Eğime ve yol şartlarına göre aracın ihtiyaç duyduğu çekiş kuvveti ve güç hesaplanır.
- Yol eğimi, çekiş kuvveti, bataryanın şarj durumu gibi parametreler değerlendirilerek aracın sürüş moduna karar verilir.
- Şartlar rejeneratif frenlemeye uygun değilse araç çekiş moduna geçer. Yine yolun eğimine ve yol şartlarına göre elektrik motorunun ve içten yanmalı motorun ne oranda kullanılacağına karar verilir.
- Rejeneratif frenlemeye geçiş uyunsa sürücünün pedal tepkisine yani fren aciliyetine göre ve bataryanın doluluk oranına göre rejeneratif frenleme oranı belirlenir.
- Belirlenen frenleme moduna göre en güvenli ve verimli frenleme moduna geçilir.



Şekil 3.1. Önerilen Algoritmanın akış diyagramı

Şekil 3.1’de verilen akış diyagramına göre algoritmanın çalışma mantığı açıklanmıştır. Aracın sürüş moduna karar verme aşamasında güzergah bilgisinin kullanılması enerji tasarrufunu arttıracakları ön görülmüştür. Yapılan hibrit elektrikli araç testinde alınan sonuçlar da bu öngörüğü desteklemiştir. Önerilen algoritmanın avantajları test sonuçları ile birlikte karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

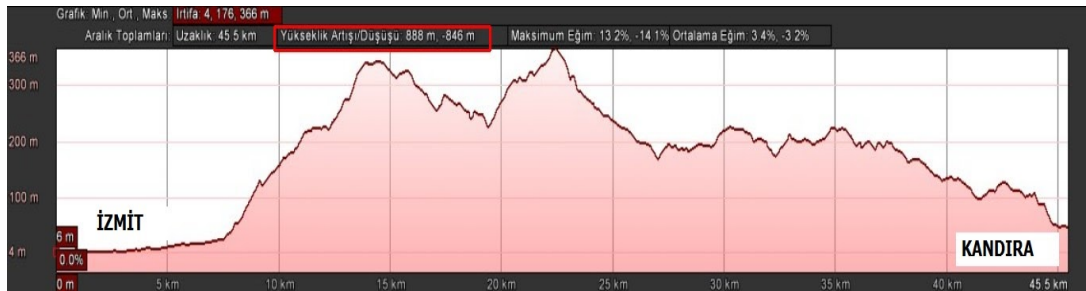
4 MATLAB BENZETİMİ VE ARAÇ TESTİ SONUÇLARI

Bu bölümde sırasıyla kurulan MATLAB modelinin ve hibrit elektrikli bir araçla yapılan testin sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlar analiz edilip önerilen sistemin ne tür avantajlar sağlayacağı ortaya çıkarılmıştır.

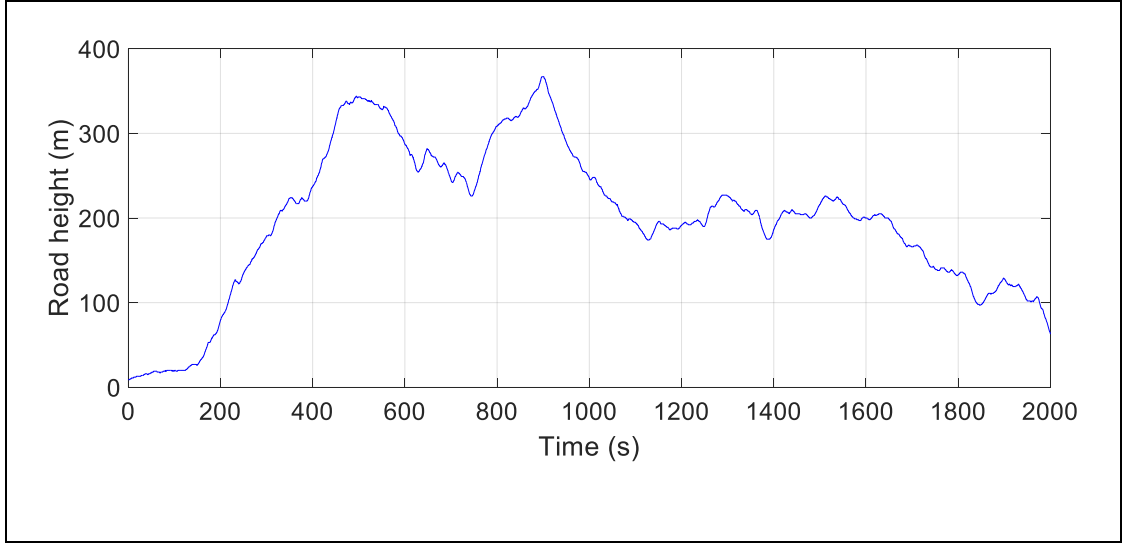
4.1 Matlab Benzetimi ve Sonuçları

Modelde kullanılacak olan eğim bilgisinin elde edilebilmesi için güzergah bilgilerinin önceden alınması gerekmektedir. Araç sürüş güzergahı belirlenirken, aracın sürüş sırasındaki davranışının en net şekilde anlaşılabilceği bir güzergah tercih edilmiştir. İzmit-Kandıra ilçeleri arasındaki güzergah eğimi, bazı yerlerde artarken bazı yerlerde de eğimsiz sayılabilecek düzlükler mevcuttur. Pozitif ve negatif eğim bölgelerinde aracın enerji harcama ve geri dönüştürme davranışları net bir şekilde anlaşılmaktadır.

Google earth programı yardımıyla İzmit-Kandıra bölgeleri arasındaki 40 km'lik yolun deniz seviyesinden yükseklik değerleri 10m hassaslıkla alınmıştır. Bu değerler MATLAB/Simulink ortamına alınarak eğim hesaplama bloğunda kullanılmıştır.

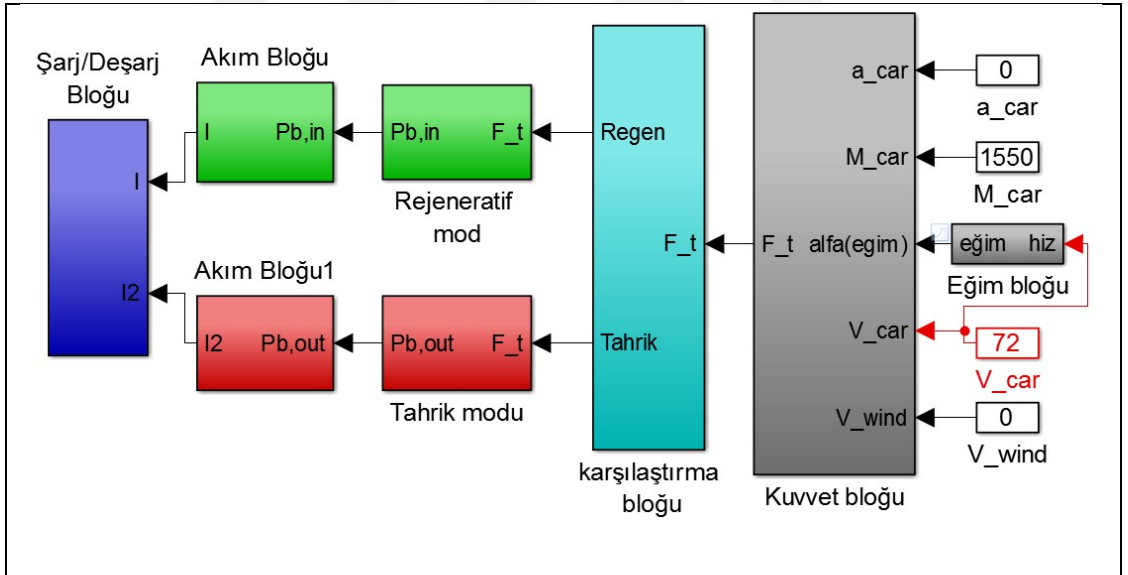


Şekil 4.1 İzmit-Kandıra arasındaki güzergahın Google Earth programından alınan görüntüsü



Şekil 4.2. İzmit-Kandıra güzergahının MATLAB’da çizilmiş şekli

Bölüm 3.2’deki matematiksel modele göre MATLAB simulink ortamında kurulan model şekil 4.3 ile verilmiştir.



Şekil 4.3. Güzergah bilgisi tabanlı akıllı enerji yönetim sistemi benzetim modeli

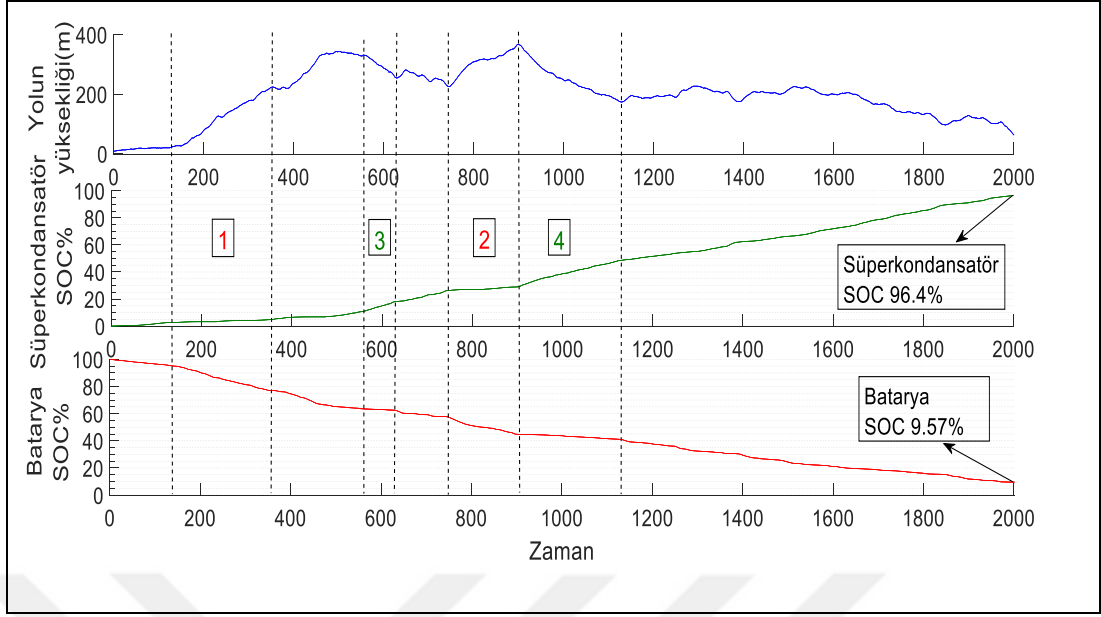
Önerilen bu yöntemin diğer yöntemlerden ayrılan tarafı olana güzergah bilgisinin kullanılması, kontrol sisteminin daha hassas kararlar verip daha yüksek oranda yakıt tasarrufu sağlamasına olanak vermektedir. Şekil 4.3’te verilen modelden anlaşılacağı üzere, güzergah verilerinin alınmasıyla eğim hesaplandıktan sonra gerekli olan diğer verilerle beraber (aracın kütlesi, ivmesi, hızı, rüzgar kuvveti) aracın çekiş kuvveti hesaplanır. Bu aşamada çekiş kuvvetinin işaretine göre aracın hangi modda

çalıştığına karar verilmektedir. Eğer araç faydalı frenleme modunda çalışıyorsa denklem(3.17)'ye göre geri kazanılan güç hesaplanmaktadır. Bu güç değerinden akım değeri elde edilmektedir. Elde edilen bu akım değeri süper kapasitörü şarj etmek için şarj devresinde kullanılmaktadır. Son olarak toplamda kazanılan enerji değeri ve süper kapasitörün şarj durumu gösterilmektedir. Eğer araç faydalı frenleme modunda değilse denklem(3.6)'ya göre tüketilen güç değeri hesaplanmaktadır. Bu güç değerinden akım değeri elde edilir ve bataryadan çekilen bu akımla batarya deşarj edilmektedir. Ve son olarak toplamda tüketilen enerji ve bataryanın şarj durumu gösterilmektedir.

Modelde süper kondansatörün kullanılma amacı rejeneratif enerjiyi depolamaktır. Rejeneratif enerji depolanırken yüksek akımlara çıkılması bataryaya zarar verebilir ancak süper kondansatör bu durumun üstesinden gelebilmektedir. Süper kondansatörün hızlı şarj deşarj olması güç yoğunluğunun fazla olması avantaj sağlamaktadır.

Sonuç olarak, benzetim modelinde kullanılan bataryanın kapasitesi 8 kWh'tir, mesafe 40 km'dir. Şekil 4.4'ten görüldüğü üzere bataryanın 90,43% 'ü harcanmıştır. Bu da 7,243 kWh enerjiye karşılık gelir. Şekil incelendiğinde, 1 ve 2 numaralı bölgelerde eğim genelde pozitif olduğu için bataryadaki enerji oranı düşmüş, eğimin bazı bölgelerde negatif olmasından dolayı süperkondansatördeki enerji miktarı çok az miktarda artmıştır. 3 ve 4 numaralı bölgelerde ise yolun eğimi negatif olduğu için süperkondansatördeki enerji miktarı hızla artmıştır.

Yol boyunca negatif eğimli bölgelerde geri dönüştürülen enerji miktarı 2.142 kWh'tir. Modelde kullanılan 2.222 kWh kapasiteli kondansatörün 96.4%'ü şarj olmuştur.



Şekil 4.4. Güzergah tabanlı akıllı enerji yönetim sistemi benzetim sonuçları

Konvansiyonel bir araç bu güzergahta 7.243 kWh enerji harcaması gerekirken, bu çalışmaya göre 2.142 kWh enerjinin geri kazanılmasıyla bu yolu 5.101 kWh enerjile gitmek mümkün olmaktadır. Bu da yaklaşık %29 oranında enerji tasarrufu sağlamaktadır.

4.2 Hibrit Elektrikli Araç Testi

Bu çalışmada mevcut bir hibrit elektrikli araç test edilmiştir. Bu testte önerilen “Hibrit Elektrikli Araçlar için Güzergah Bilgisi Kullanılarak Akıllı Enerji Yönetim Sistemi Algoritması” çalışmasının uygulanabilirliğini araştırmak ve araçta kullanılan mevcut algoritma ile karşılaştırmak amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak test için Plug-in hibrit elektrikli araç kullanılması düşünülmüştür ancak Türkiye’de henüz Plug-in Hibrit elektrikli araçlar piyasaya sürülmediği için test, günümüzde kullanımda olan Toyota C-HR hibrit elektrikli araç modeli ile yapılmıştır. Bu testin sonuçları Toyota Prius Plug-in hibrit elektrikli aracı için de kullanılabilir. Çünkü bu iki araç arasındaki tek fark, sadece elektrik moduyla gidilebilen mesafenin uzunluğudur. Bu da bu testin yapılmasına bir engel teşkil etmemektedir. Toyota C-HR ve Toyota Prius Plug-in hibrit elektrikli araçlarının teknik bilgileri tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Toyota C-HR ve Toyota Prius Plug-in hibrit elektrikli araçlarının teknik özellikleri

TEKNİK ÖZELLİKLER	C-HR 1.8 HİBRİT	PRIUS PLUG-İN
Maksimum güç	90	90
Maksimum tork	142/3600	142/3600
Elektrik motoru : Tip	Manyetik tip elektrik motoru	Manyetik tip elektrik motoru
Elektrik motoru maximum güç (KW)	53	53
Elektrik motoru : Maksimum tork (Nm)	163	163
Hibrit sistem aküsü : Tip	Nikel Metal Hidrid (NiMH)	Li-İon
Hibrit sistem aküsü : Kapasite	1.586 kWh	8.8 kWh
Hızlanma (0-100 km/sa)	11.0	11.1
Sürtünme Katsayısı	0.32	0.24
Maksimum hız	170	180
Yürür Ağırlık (Sürücü Dahil)	1380 / 1455	1475

Toyota firması, hibrit elektrikli araçlarında “Toyota Hybrid Sinergy Drive(HSD)” teknolojisini kullanmaktadır. Bu teknolojiye göre aracın farklı sürüş modlarındaki tepkisi ve çalışma prensibi aşağıda alt başlıklar halinde açıklanmıştır.

- Kalkış modu: Gerekli koşullar sağlanıyorsa, kalkış elektrik motoruyla yapılır, aksi durumda içten yanmalı motor devreye girer.
- Normal Sürüş modu: Yavaş ve normal sürüşlerde hibrid sistem en yüksek enerji verimliliğini sağlamak için en çok elektrik motorunu kullanır. İhtiyaç halinde içten yanmalı motor yardımcı olarak çalışır.
- Hızlı Sürüş Ve Yokuş Çıkma modu: Elektrik motoru ve içten yanmalı motor birlikte çalışıp tekerleklere güç aktarırken, aynı zamanda içten yanmalı motor generatör vasıtasıyla bataryayı şarj eder.
- Rampadan İnme Ve Yavaşlama modu: Elektrik motoru generatör moduna geçerek, bataryayı şarj eder.

4.2.1 Toyota C-HR hibrit elektrikli aracıyla yapılan rejeneratif frenleme testi sonuçları

Yapılan testin sonuçları incelendiği zaman rejeneratif frenleme sisteminin birden fazla parametreye bağlı olduğu açıkça görülmektedir. Fren pedalına basılma ivmesi

ve bataryanın doluluk oranı rejeneratif frenleme enerji miktarını etkileyen en önemli iki parametredir. Test sonuçlarının verildiği tablo 4.2 ve şekil 4.6'daki grafik incelendiği zaman batarya doluluk oranının rejeneratif frenlemeye ne derece etki ettiği daha iyi anlaşılmaktadır.

Tablo 4.2. Rejeneratif frenleme testi sonuçları

Ortalama hız	Eğim	Elk. Mot. Kullanımı	Kazanılan enerji	Güzergah	Mesafe (m)	Batarya ilk şarj durumu	Batarya son şarj durumu
50	13	1.5 E	4.5 E	Kalıcı konut kavşakları	1100	6 DİŞ	7 DİŞ
50	13	0.5 E	1.5 E	Kalıcı konut kavşakları	1100	7 DİŞ	7 DİŞ
50	13	1 E	1.5 E	Kalıcı konut kavşakları	1100	2 DİŞ	2 DİŞ
50	13		4.5 E	Kalıcı konut kavşakları	1100	6 DİŞ	7 DİŞ
50	13		4 E	Kalıcı konut kavşakları	1100	5 diş	5 DİŞ
50	13	0.5 E	5 E	Kalıcı konut kavşakları	1100	5 diş	6 DİŞ

Testi gerçekleştirdiğimiz Toyota C-HR Hibrit elektrikli aracında 1,586 Wh enerji kapasitesine sahip bir batarya kullanılmıştır. Şekil 4.5'te görüldüğü üzere kullanıcı monitöründe batarya 8 dişten oluşmaktadır. Her bir diş yaklaşık 198,25 Wh enerjiye karşılık gelmektedir.

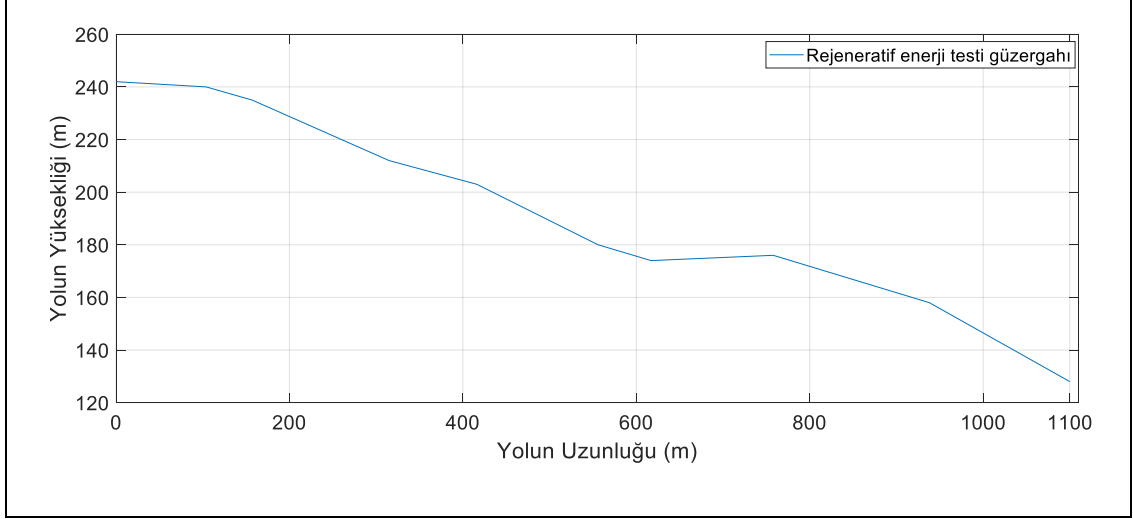


Şekil 4.5. Toyota C-HR Hibrit araç kullanıcı bilgilendirme ekranı

Rejeneratif frenleme için ise E sembolü kullanılmıştır. Kullanıcı ekranında görünen her bir E sembolü 30 Wh değerinde enerjiyi temsil etmektedir.

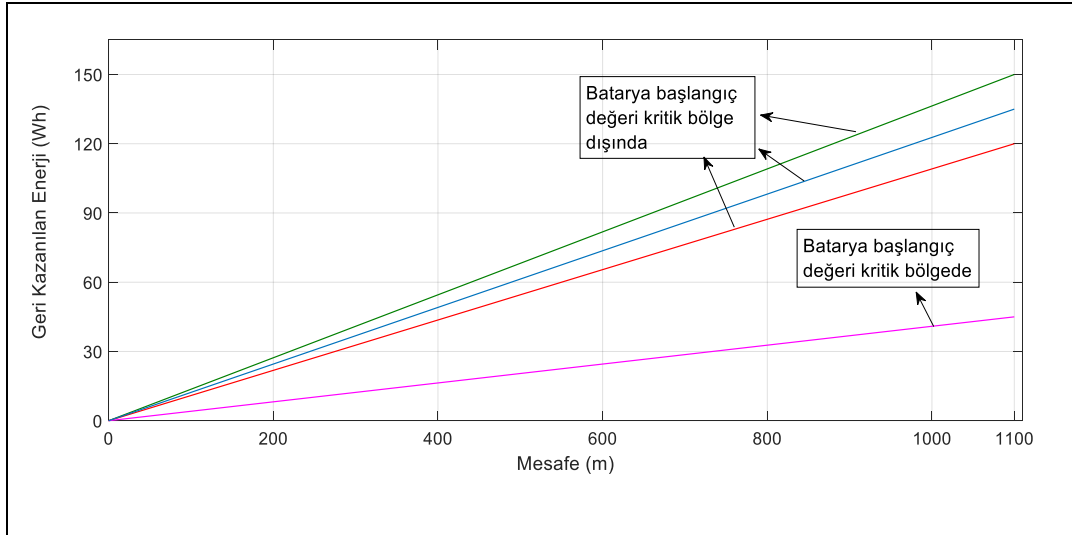


Şekil 4.6. Yakıt tüketimi ve rejeneratif frenleme bilgi ekranı



Şekil 4.7 Rejeneratif frenleme testinin yapıldığı güzergah

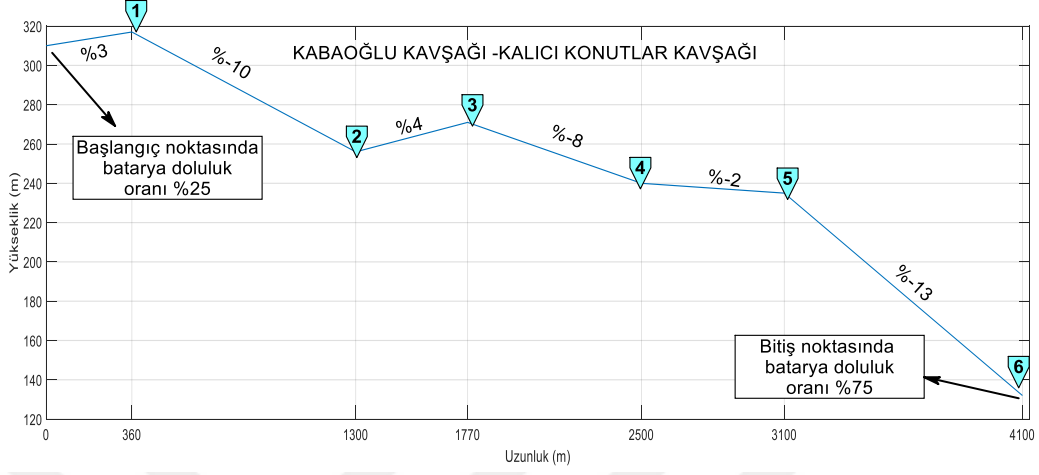
Şekil 4.7’de verilen 1100 m uzunluğundaki test için seçilen güzergah, ortalama 13% eğimli bir güzergahtır. Test ortalama 50 km/s sabit hızla tekrarlanmış olup aracın davranışı gözlemlenmiştir. Yapılan test sonucunda bataryanın şarj oranı 2 dışın altındayken ve 7 dışın üstündeyken batarya şarj durumu kritik değerde olduğu için rejeneratif frenleme oranının düşük olduğu görülmüştür. Batarya şarj oranı 2 dış ile 7 dış arasında iken rejeneratif frenleme oranı yaklaşık üç kat daha yüksektir. Batarya kritik şarj değerinde iken düşük akımla şarj edildiği için bu bölgede rejeneratif frenleme oranının düşük olması beklenen bir sonuçtur.



Şekil 4.8. Geri kazanılan enerji miktarları

Şekil 4.8’de verilen grafikte rejeneratif frenleme testinde tablo 4.2’deki verilere göre geri kazanılan enerji miktarları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmadan da anlaşıldığı

üzere bataryanın kritik şarj durumunun rejeneratif frenleme enerjisi oranı üzerinde büyük bir etkisi vardır.

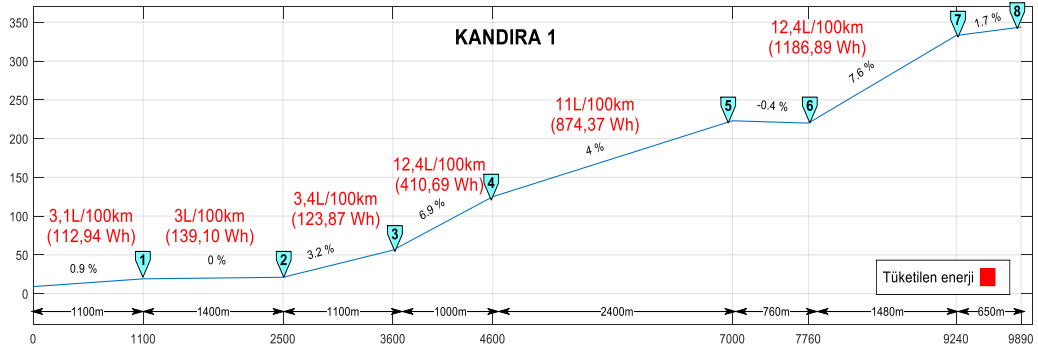


Şekil 4.9 Kabaoğlu kavşağı ve kalıcı konutlar kavşağı arasındaki test güzergahı

Şekil 4.9'da Kabaoğlu kavşağı-kalıcı konutlar kavşağı arasında yapılan testin güzergahı verilmiştir. Bu testin başında batarya doluluk oranı %25 seviyesindeydi. Şekilden de anlaşılacağı üzere güzergah genelde negatif eğimli yoldan oluşmaktadır. Yaklaşık 4km uzunluğundaki yolun sonunda batarya %75 doluluğa ulaşmıştır. Yani yaklaşık 750 Wh enerji geri dönüştürülmüştür. Ancak başlangıç noktasında araç park halindeyken batarya doluluk oranı %25'in altına düştüğü zaman araç benzinli motorla generatörü tahrik ederek bataryayı şarj etmiştir. Oysa ki önerilen algoritma uygulanmış olsaydı güzergah negatif eğimli yoldan oluştuğu için benzinli motorla bataryayı şarj etmek yerine rejeneratif frenleme ile batarya şarj edilmiş olacaktı.

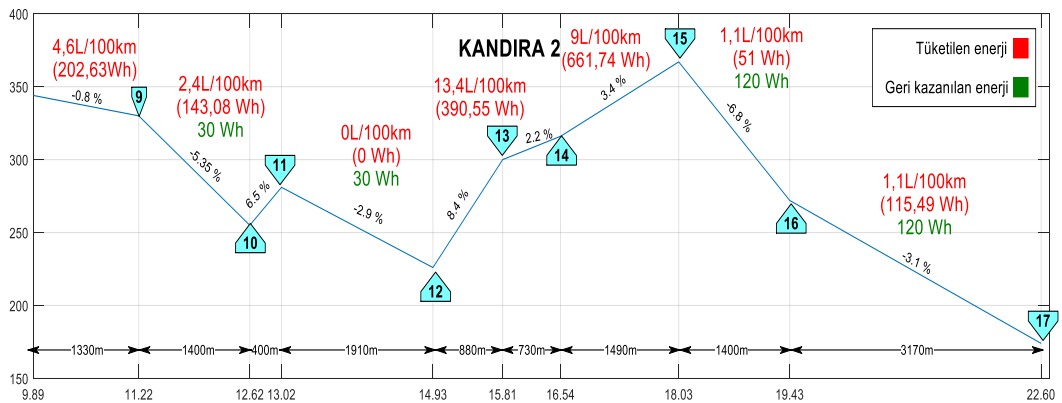
4.2.2 Toyota C-HR Hibrit Aracıyla Yapılan Uzun Mesafe Testi Sonuçları

Uzun mesafe testinde, aracın motor geçişlerinin hangi durumlarda gerçekleştiğini ve hangi parametrelere bağlı olduğunu daha iyi analiz ederek önerilen sistemin uygulanabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu testte daha önce benzetim modelinde kullanılan 40 km uzunluğundaki İzmit-Kandıra yolu tercih edilmiştir. Güzergah bilgisini veren eğrinin daha iyi anlaşılması için ana grafik, 5 ayrı grafiğe bölünerek incelenmiştir. Test boyunca, numaralandırılan noktalar arasındaki eğime göre aracın davranışı analiz edilip, kazanılan ve tüketilen enerji değerleri takip edilmiştir. Litre cinsinden tüketilen yakıtın enerjisi bulunurken 1 litre benzinin enerjisi yaklaşık olarak 9,2 kWh, benzinli motorun verimi %18 olarak alınmıştır.



Şekil 4.10 Kandıra güzergahı birinci kısım

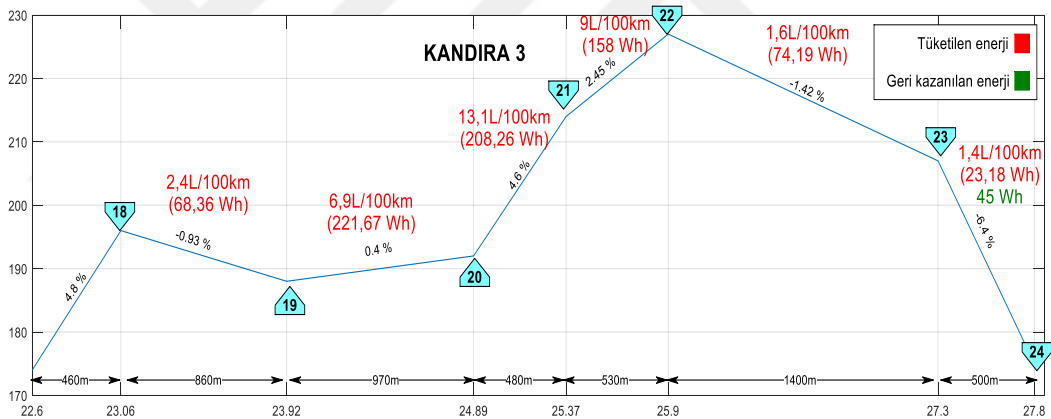
Şekil a incelendiği zaman benzin enerjisi ile toplamda yaklaşık 2848 Wh enerji tüketildiği görülmektedir. Güzergahın birinci kısmını temsil eden bu şekilde eğim genelde pozitif olduğu için araç rejeneratif bölgeye geçerek enerjisi geri kazanamamıştır. Batarya durumuna bakıldığı zaman 8.noktada bataryanın %75'inin hala dolu olduğu, elektrik motorunun yeterince kullanılmadığı görülmüştür. Güzergahın başında bataryanın tam dolu olduğu ve bataryanın elektrik motoruna yeterli akımı sağladığı farz edilirse, önerilen algoritmanın uygulanmasıyla bu güzergahın birinci kısmının yaklaşık %35'i sadece elektrikle gidilebilirdi. Çünkü 8.noktadan sonra negatif eğimli yol başlamaktadır ve bu kısma gelmeden önce bataryanın harcanması sağlanmalıdır ki bu kısma gelindiğinde rejeneratif frenleme ile daha fazla enerji kazanılabilsin.



Şekil 4.11 Kandıra güzergahı ikinci kısım

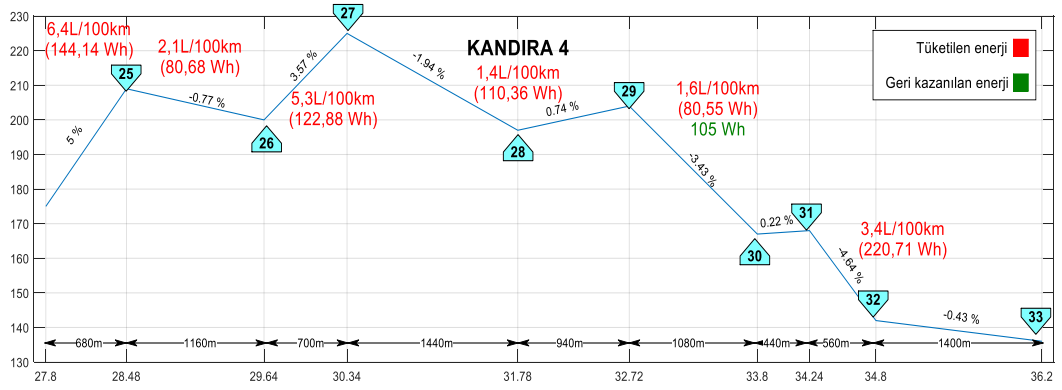
Güzergahın ikinci kısmını temsil eden şekil b incelendiği zaman negatif eğime geçilmesine rağmen çok az miktarda enerji geri dönüştürülmüştür. Bunu sebebi bataryanın 8.noktada %75 dolu olmasıdır. Batarya doluluk oranı kritik doluluk

oranına (~%80) yakın olduğu için araç rejeneratif bölgeye geçmiş ancak batarya düşük akımla şarj olduğu için az miktarda enerji geri dönüştürülmüştür. Önerilen algoritma uygulanmış olsaydı 8.noktadan sonra negatif eğime geçileceği bilgisini önceden alacağı için elektrik enerjisi en yüksek oranda kullanılmış olurdu. 8.noktada batarya doluluk oranı yaklaşık %30 seviyesinde olurdu ve bu noktadan sonra rejeneratif bölgede yüksek akımla batarya şarj edilerek daha fazla enerji tasarrufu sağlanırdı. Rejeneratif fren testinden alınan veriler baz alınacak olursa, 8-12 noktaları arasında yaklaşık 600 Wh enerji geri kazanılabilirdi. %30 olan batarya doluluk oranı yaklaşık %70'e yükselirdi. Bu tahmine göre 8-12 noktaları arasında geri kazanılan enerji 12-15 noktaları arasında tüketilen enerjinin yaklaşık olarak yarısına karşılık gelmektedir. 8-12 noktaları arasında kazanılan enerji 12-15 noktaları arasında kullanılarak bataryanın tekrar harcanması sağlanabilir ve 15.noktadan sonra enerjinin tekrar en yüksek oranda geri kazanılması sağlanırdı.



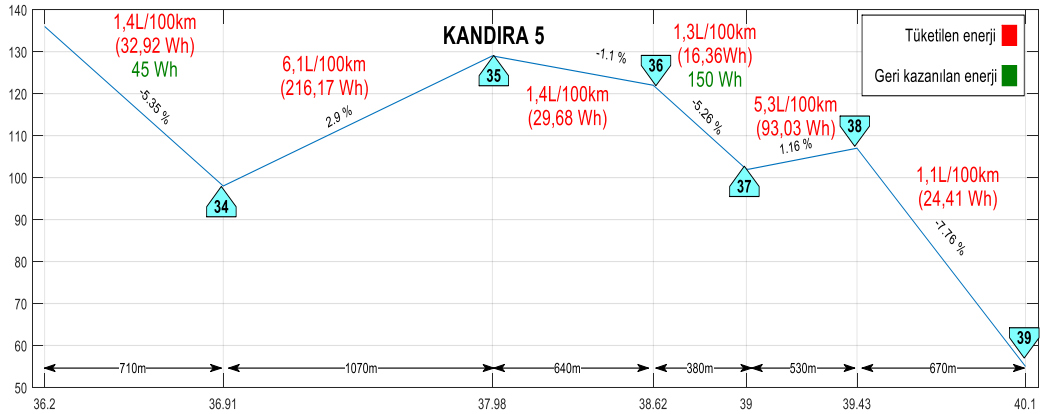
Şekil 4.12 Kandıra güzergahı üçüncü kısım

15-17 noktaları arasında geri kazanılan enerji 17-22 noktaları arasında kullanılarak batarya doluluk oranını yaklaşık %40 seviyesine kadar düşmesi sağlanırdı ve böylece 22-24 noktaları arasında rejeneratif frenleme ile batarya yaklaşık %55 seviyesine kadar şarj edilebilirdi. Şekil c'de 22-24 noktaları arasında çok az miktarda enerji geri kazanılmıştır. Bunun sebebi de 22.noktaya kadar olan kısımda batarya enerjisinin yeterince kullanılmamış olmasıdır. Batarya 22.noktada yaklaşık %75 dolulukta olduğu için düşük akımla ancak %5 civarı şarj olarak %80 civarına gelmiştir.



Şekil 4.13 Kandıra güzergahı dördüncü kısım

Önerilen algoritmanın uygulanması senaryosuna göre 24.noktada batarya tahmini olarak %55 seviyesine kadar şarj edilmişti. Bu doluluk oranı ile kritik şarj seviyesine(~396 Wh) inmeden yaklaşık 476 Wh enerji kullanılabilir. Şekil c'deki sonuçlara göre 24-27 noktaları arasında 347 Wh enerji tüketilmiştir. Oysaki elektrik motoruna yeterli akım sağlanıp önerilen algoritma uygulansaydı bu enerjinin tamamı bataryadan sağlanabilirdi. Ayrıca 27.noktadan sonra negatif eğim bölgesine girildiği için bataryaya daha fazla enerji geri kazandırılmış olurdu. 24.noktada %55 olan batarya doluluk oranı, 347 Wh enerji tüketilmesiyle 27.noktada yaklaşık %35'e düşerdi. Batarya bu noktada kritik değerde olmadığı için yüksek akımla şarj edilebilecek durumdadır. 27-34 noktaları arasında genelde negatif eğimli bölge olduğu için araç genelde rejeneratif bölgede çalışacaktır. 34.noktada yaklaşık olarak 450 Wh enerji geri kazanılmış olacaktır. Bu da bataryanın yaklaşık %70 seviyesine kadar şarj olması anlamına gelmektedir.



Şekil 4.14 Kandıra güzergahı beşinci kısım

Şekil e’de görüldüğü üzere 34-35 noktaları arasında 216,17 Wh enerji tüketilmiştir. Önerilen algoritma uygulanmış olsaydı bu enerjinin tamamı bataryadan harcanırdı ve 35-37 noktaları arasında daha yüksek oranda enerji geri kazanılabılırdı. Benzer şekilde 37-38 noktaları arasında tüketilen enerjinin bataryadan sağlanmasıyla 38-39 noktaları arasında yaklaşık 100 Wh enerji geri dönüştürülebilirdi.

Uzun mesafe testinde alınan en önemli sonuç, pozitif eğimli bazı bölgelerde aracın bataryası dolu olmasına rağmen elektrik enerjisinin kullanım oranının sınırlı olmasıdır. Önerilen güzergah tabanlı akıllı enerji yönetim algoritması bu sorunun üstesinden gelebilecektir. Şöyle ki; araç gideceği rotanın pozitif ve negatif eğimli bölgelerine varmadan önce sürüş moduna karar verebilecektir. Örneğin bir yokuştan sonra iniş olacağı bilgisi araçta mevcut olduğundan, yokuş tırmanırken batarya maksimum oranda kullanılıp, inişe geçildiği zaman rejeneratif frenleme maksimum oranda kullanılacaktır. Bu da geri kazanılan enerji miktarını arttıracaktır.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada referans alınan araç ve yol parametrelerine göre beklenen sonuçlar elde edilmiştir. Seçilen 40 km uzunluğundaki İzmit-Kandıra bölgesi güzergah bilgilerine göre harcanan ve depolanan enerji miktarları MATLAB/Simulink ortamında hazırlanan model ve enerji yönetim algoritması ile hesaplanmıştır. Model ve algoritma sonucuna göre 7,243 kWh enerji harcanırken, 2.142 kWh enerji de geri kazanılmıştır. Muadili olan konvansiyonel araçlara göre yaklaşık 29% oranında enerji tasarrufu sağlamıştır.

Toyota C-HR hibrit elektrikli aracıyla hem rejeneratif frenleme testleri hem de uzun mesafe testi yapılmış olup şu sonuca varılmıştır. Önerilen algoritma çoğu yerde mevcut algoritmaya üstünlük sağlamaktadır. Güzergah bilgisine göre enerji yönetimi yapan araç enerjiyi nerde harcayıp nerde geri depolayacağına daha iyi karar vereceği için daha yüksek oranda yakıt tasarrufu sağlayacaktır. İzmit – Kandıra güzergahında önerilen algoritma uygulanmış olsaydı test sonuçlarında açıklandığı üzere çoğu bölgede yaklaşık %30 oranında daha fazla enerji tasarrufu sağlanmış olacaktı. Alınan bütün sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda önerilen algoritmanın uygulanması oldukça avantaj sağlayacaktır.

GELECEK ÇALIŞMALAR

Gelecek çalışmalarda android uygulamasıyla güzergah bilgilerinin alınıp gerekli hesaplamalar yapılarak ilgili güzergah için en uygun enerji yönetiminin belirlenmesi için çalışmalar yapılacaktır. İkinci olarak da yapay zeka algoritmaları yardımıyla enerji yönetim algoritmasının geliştirilmesi hedeflenmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] E.H. Wakefield, History of the Electric Automobile: Battery-Only Powered Cars, Society of Automotive Engineers (SAE), Warrendale, PA, 1994
- [2] E. Schaltz, "Electrical Vehicle Design and Modeling", Aalborg University, Denmark, 2011
- [3] Ahmad Pesaran, Jeff Gonder, Keyser, M., Ultracapacitor applications and evaluation for hybrid electric vehicles, In: 7th annual advanced capacitor world summit conference, National Renewable Energy Laboratory (NREL): Hotel Torrey Pines La Jolla, CA; 2009.
- [4] Xin, L Williamson., SS. Assessment of efficiency improvement techniques for future power electronics intensive hybrid electric vehicle drive trains, In: Electrical power conference, EPC 2007. IEEE Canada. 2007.; 2007.
- [5] Emadi A, Young Joo L, Rajashekara K. Power Electronics and motor drives in electric, hybrid electric, and plug-In hybrid electric vehicles. Industrial Electronics, IEEE Transactions on 2008;55(6):2237–45.
- [6] Chan CC. The state of the art of electric, hybrid, and fuel cell vehicles. Proceedings of the IEEE 2007;95(4):704–18.
- [7] Maggetto, G., Van Mierlo, J., 2001. Electric Vehicles, Hybrid Electric Vehicles and Fuel Cell Electric Vehicles: The State of the Art and Perspectives, Ann.Chim.Sci.Mat., 26(4), 9-26
- [8] Miller, J.R.; Outlaw, R.A.; Holloway, B.C. (September 2010). "Graphene double-layer capacitor with ac line-filtering". Science 329 (5999): 1637–1639.
- [9] Yrd. Doç. Dr. Ozan ERDİNC – ‘Elektrik Enerjisi Depolama Teknolojileri’ – TEG 2015
- [10] Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [11] Literature review of electric vehicle technology and its applications, 0-11 Dec. 2016, 10.1109/ICCSNT.2016.8070276, Changchun, China, ieee
- [12] S. Lukic, J. Cao, R. C. Bansal, F. Rodriguez, A. Emadi, "Energy storage systems for automotive applications", IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 55, no. 6, pp. 2258-2267, Jun. 2008.

- [13] Review of Battery Charger Topologies, Charging Power Levels, and Infrastructure for Plug-In Electric and Hybrid Vehicles , IEEE Transactions on Power Electronics (Volume: 28, Issue: 5, May 2013)
- [14] Energy Management Strategy for Atkinson Cycle Engine Based Parallel Hybrid Electric Vehicle
- [15] Power Split Strategy Optimization of a Plug-in Parallel Hybrid Electric Vehicle
- [16] Reinforcement Learning Optimized Look-Ahead Energy Management of a Parallel Hybrid Electric Vehicle
- [17] E.H. Wakefield, History of the Electric Automobile: Hybrid Electric Vehicles, Society of Automotive Engineers (SAE), 1998
- [18] Y. Li, P. Yi, M. Wang , “Investigation to Simulation of Control Strategy for Series-Parallel Hybrid Electric Vehicle”, 4th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics, 2012
- [19] M. Salazar, C. Balerna, P. Elbert, F.P. Grando, C.H. Onder, “Real-time Control Algorithms for a Hybrid Electric Race Car Using a Two-level Model Predictive Control Scheme” IEEE Transactions on Vehicular Technology (Volume: PP, Issue: 99), 20 July 2017
- [20] Chan, C.C., 2002. The State of the Art of Electric and Hybrid Vehicles, Proceedings of the IEEE, 90, 247-275
- [21] Maggetto, G., Van Mierlo, J., 2000. Electric and Electric Hybrid Vehicle Technology: A Survey, Proceedings of the IEE
- [22] T.J.E. Miller, Switched Reluctance Motors and their Control, Oxford Science Publications, London, 1993.
- [23] P.J. Lawrenson, J.M. Stephenson, P.T. Blenkinsop, J. Corda, and N.N. Fulton, Variable-speed switched reluctance motors, Proceedings of IEE, 127, (Part B), 253–265, 1980.
- [24] S.R. MacMinn and J.W. Sember, Control of a switched-reluctance aircraft starter/generator over a very wide speed range, in Proceedings of the Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, 1989, pp. 631–638.
- [25] E. Richter, J.P. Lyons, C.A. Ferreira, A.V. Radun, and E. Ruckstadter, Initial testing of a 250 kW starter/generator for aircraft applications, in Proceedings of the SAE Aerospace Atlantic Conference Expo., Dayton, OH, Apr. 18–22, 1994.
- [26] J.M. Kokernak, D.A. Torrey, and M. Kaplan, A switched reluctance starter/alternator for hybrid electric vehicles, in Proceedings of the PCIM'99, pp. 74–80, 1999.

- [27] D.A. Torrey, Variable-reluctance generators in wind-energy systems, in Proceedings of the IEEE PESC'93, pp. 561–567, 1993.
- [28] M. Ehsani, Switched Reluctance Motor Drive System, U.S. Patent Pending, Filing Date: January 1997, Serial Number 60/061,087.
- [29] R. Krishnan, Switched Reluctance Motors Drives: Modeling, Simulation Analysis, Design and Applications, CRC Press, Boca Raton, FL, 2001.



KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

- [1] **Eyyüp A.**, M.Zeki B., Tarık E., Piezoseramik Malzemelerle Elektrik Enerjisinin Üretilmesi ve Depolaması, *Ulusal Mühendislik Araştırmaları Sempozyumu*, Düzce, Türkiye, 2015.
- [2] **Eyyüp A.**, M.Zeki B., Tarık E., Hibrit Elektrikli Araçlar İçin Güzergah Bilgisi Kullanılarak Akıllı Enerji Yönetim Sistemi, *Uluslararası Enerji Sistemleri Mühendisliği Sempozyumu*, Karabük, Türkiye, 2017.



ÖZGEÇMİŞ

1991 yılında Türkiye'nin Batman ilinde doğdu. 2009 yılında Batman Özel İdare Lisesinden mezun oldu. 2011 yılında Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği bölümünde lisans öğrenimine başladı ve 2015 yılında bu bölümden mezun oldu. 2015-2016 öğretim yılının bahar döneminde Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek lisans öğrenimine başladı.

