

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA ENERJİ DEPOLAMA
YÖNTEMLERİ VE VERİMLİLİĞİ ARTIRMAK İÇİN YENİ BİR
KİŞİSEL SÜRÜŞ MODU ALGORİTMASININ
GELİŞTİRİLMESİ**

SEFA MERVE ALTUNKAYA

KOCAELİ 2018

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA ENERJİ DEPOLAMA
YÖNTEMLERİ VE VERİMLİLİĞİ ARTIRMAK İÇİN YENİ
BİR KİŞİSEL SÜRÜŞ MODU ALGORİTMASININ
GELİŞTİRİLMESİ

SEFA MERVE ALTUNKAYA

Prof. Dr. Engin ÖZDEMİR
Danışman, Kocaeli Üniversitesi
Prof. Dr. Ercüment KARAKAŞ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi
Doç. Dr. Murat KALE
Jüri Üyesi, Düzce Üniversitesi



Tezin Savunulduğu Tarih: 28.06.2018

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında hibrit elektrikli araçlarda kullanılan enerji depolama yöntemlerinin kıyaslanması yapılmıştır, ayrıca hibrit elektrikli araçlarda verimliliği artırarak daha iyi bir sürüş elde etmek için kişisel sürüş modu algoritması geliştirilmiştir.

Öncelikle tez konumun seçilmesine katkıda bulunan ve her aşamasında benden yardımını esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Engin ÖZDEMİR hocama, analiz kısmında benimle çalışmayı kabul eden Arş. Gör. Koray ERHAN hocama, bütün hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

Haziran - 2018

Sefa Merve ALTUNKAYA

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	viii
GİRİŞ	1
1. ELEKTRİK ENERJİSİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ	3
1.1. Volan (Flywheel) Sistemlerde Enerji Depolama.....	4
1.2. Bataryalar	6
1.3. Ultrakapasitörler	8
2. BATARYALAR.....	11
2.1. Bataryanın Tarihçesi	13
2.2. Batarya Çeşitleri.....	14
2.2.1. Birincil (şarj edilemez) bataryalar	14
2.2.2. İkincil (şarj edilebilir) bataryalar	16
2.2.2.1. Kurşun asit batarya.....	18
2.2.2.2. Nikel kadmiyum batarya	19
2.2.2.3. Nikel metal hidrit batarya.....	20
2.2.2.4. Lityum bataryalar	21
2.2.2.5. Vanadyum redoks bataryalar.....	28
2.2.2.6. Sodyum sülfür bataryalar	29
2.3. Batarya Performansını ve Karakterini Etkileyen Temel Terimler	31
2.4. Enerji Depolama Teknolojilerinin Karşılaştırılması	32
3. HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLAR	34
3.1. Hibrit Elektrik Araçların Konsepti.....	35
3.2. Rejeneratif Frenleme.....	37
3.3. Hibrit Elektrikli Araç Çeşitleri.....	38
3.3.1. Paralel hibrit elektrikli araç modeli	39
3.3.2. Seri hibrit elektrikli araç modeli	40
3.3.3. Seri-paralel hibrit elektrikli araç modeli.....	41
3.3.4. Plug-In hibrit elektrikli araç modeli	43
3.4. Hibrit Elektrikli Araçların Avantajları	44
3.5. Hibrit Elektrikli Araçların Dezavantajları	45
3.6. Hibrit Elektrikli Araçlarda Enerji Depolamanın Amacı Ve Yararları	45
4. HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA VERİMLİLİK ARTIRICI BİREYSELLEŞTİRİLMİŞ SÜRÜŞ MODLARINA YÖNELİK ALGORİTMA GELİŞTİRİLMESİ.....	47
4.1. ABD ve Türkiye’de Elektrikli, Hibrid Elektrikli Araçların Pazar Dağılımı	47
4.2. Türkiye’nin Trafik Açısından Genel Durumu	48
4.3. Hibrit Elektrikli Araçlarda Mevcut Sürüş Modları	48

4.4. Hibrit Elektrikli Araçlarda Önerilen Bireyselleştirilmiş Sürüş Modları.....	49
4.5. Analiz.....	50
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	56
KAYNAKLAR	58
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	63
ÖZGEÇMİŞ	64



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Enerji depolama teknolojilerinin sınıflandırılması	4
Şekil 1.2. Volanın iç yapısı	5
Şekil 1.3. Modern yüksek hızlı volan sistemi	6
Şekil 1.4. Bataryanın çalışma prensibi	8
Şekil 1.5. Bireysel ultrakapasitör hücresi	9
Şekil 2.1. Vanadyum redoks hücreleri	28
Şekil 2.2. Voltluk sodyum-sülfür pili	30
Şekil 3.1. Araçların sınıflandırılması	34
Şekil 3.2. Hibrit elektrikli araç modeli	36
Şekil 3.3. Hibrit elektrikli araç konsepti	37
Şekil 3.4. Paralel hibrit elektrikli araç modelinde güç aktarma sistemi	40
Şekil 3.5. Seri hibrit elektrikli araç modelinde güç aktarma sistemi	41
Şekil 3.6. Seri-paralel hibrit elektrikli araç modelinde güç aktarma sistemi	42
Şekil 3.7. Plug-in hibrit elektrikli araç modelinde güç aktarma	43
Şekil 4.1. ABD’de elektrikli ve hibrid elektrikli araçların pazar dağılımı	47
Şekil 4.2. Türkiye geneli trafik yoğunluğu	48
Şekil 4.3. Hibrit elektrikli araçlar için önerilen sürüş modu algoritması.....	50

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1.	AA ve AAA formatında mevcut piller genel özellikleri	15
Tablo 2.2.	Hibrit araçlarda kullanılan pil teknolojileri ve özellikleri	17
Tablo 2.3.	Lityum kobalt oksidin özellikleri	23
Tablo 2.4.	Lityum manganer oksidin özellikleri	24
Tablo 2.5.	Lityum nikel manganer kobalt oksidin özellikleri	24
Tablo 2.6.	Lityum demir fosfatın özellikleri.....	25
Tablo 2.7.	Lityum nikel kobalt alüminyum oksidin özellikleri	25
Tablo 2.8.	Lityum manganer oksidin özellikleri	26
Tablo 2.9.	Sodyum sülfürün özellikleri.....	31
Tablo 2.10.	Enerji depolama sistemlerinin maliyet, performans ve karakteristilerinin karşılaştırılması	33
Tablo 3.1.	Hibrit elektirikli araçların dezavantajları	45
Tablo 4.1.	Türkiye’de hibrit elektirikli araçların pazar dağılımı.....	47
Tablo 4.2.	Bazı hibrit elektirikli taşıtların teknik özellikleri.....	51
Tablo 5.1.	Hibrit elektirikli araçlarda elde edilen bulgular	57

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

AC	: Alternating Current (Alternatif Akım)
AL-Air	: Alüminyum Hava
AMC	: American Motor Car Company (Amerikan Motor Araba Şirketi)
BMS	: Pil yönetim sistemi
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
DOD	: Deşarj Durumu
FES	: Flywell Energy Storage (Volan Enerji Depolama)
G	: Generatör
HEV	: Hibrit Elektrikli Araç
ICE	: İçten Yanmalı Motorlu Taşıt
Li ₄ Ti ₅ O ₂	: Lityum Titanat
LiCoO ₂	: Lityum Kobalt Oksit
LiFePO ₄	: Lityum Demir Fosfat
LiMn ₂ O ₄	: Lityum Manganez Oksit
LiNiCoAlO ₂	: Lityum Nikel Kobalt Alüminyum Oksit
MiEV	: Mitsubishi Elektrikli Taşıtları
NaNiCl	: Sodyum Nikel Klorür
NaS	: Sodyum Sülfür
NiCd	: Nikel Kadmiyum
NiFe	: Nikel Demir
NiMH	: Nikel Metal Hidrit
NiZn	: Nikel Çinko
NMC	: Lityum Nikel Manganez
PLI	: Plastik Lityum İyon
RBS	: Regeneratif Braking System (Rejeneratif Frenleme Sistemi)
S	: Sülfür
SOC	: Şarj Durumu
SOH	: Sağlık Durumu
TEHAD	: Türkiye Elektrikli ve Hibrit Elektrikli Araçlar Dergisi
TMS	: Termal Yönetim Sistemi
TUİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
ZN-Air	: Çinko Hava

HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA ENERJİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ VE VERİMLİLİĞİ ARTIRMAK İÇİN YENİ BİR KİŞİSEL SÜRÜŞ MODU ALGORİTMASININ GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Çağımızın artan nüfusu ve gelişen teknolojiyle birlikte insanların ihtiyaçlarında da artış olmaktadır. Günümüzde hemen hemen her birey kolay ulaşım sağlamak için toplu taşıma araçları ya da özel araçlar kullanmaktadır. Fosil yakıtların azalması ile birlikte araçlarda motorun çalışmasını sağlamak için farklı alternatif yollar aranmaya başlanmıştır. Hibrit araçlar bu alternatif yolların en önde gelenidir. Hibrit araç teknolojilerinde, araç sadece bir yakıt türüne bağımlı olmadığından, emisyon azaltımından performans ve verimlilik iyileştirmelerine kadar pek çok fayda söz konusudur. Hibrit araçların verimliliği enerji depolama sisteminin kapasitesine bağlıdır. Günümüzde çoğunlukla enerji depolama amacıyla aküler, piller, ultra kapasitörler ve volan enerji depolama sistemleri bulunmaktadır. Bunlar çoğunlukla yüksek verimliliğe sahip olsalar da, her bir teknolojinin kullanılmasının gerekli ve verimli olduğu alanlar vardır. Özellikle elektrikli ve hibrit elektrikli araçlarda, yüksek enerji yoğunluğundan dolayı bataryalar temel enerji depolama ünitesi olarak kullanılmaktadırlar. Ultrakapasitör ve volan enerji depolama sistemleri ise yüksek güç yoğunluklarından dolayı yardımcı enerji depolama üniteleri olarak görev yapmaktadırlar. Hibrit araçlarda verimlilik ve performansta diğer önemli husustur. Her üretici aracını belirli kullanım koşullarındaki şartlara göre optimize etmektedir. Örneğin bazı modeller yoğun trafikli şehirlere göre optimize edilirken bir diğer model akıcı trafikte en yüksek verimliliğin elde edilmesi için tasarlanabilmektedir. Ancak araç satın alırken birçok tüketici bahsi geçen teknik detaylara hakim değildir. Bu çalışmada, hibrit araçlarda yer alan elektrik makinası ve bataryanın sürücünün kullanım koşullarına göre optimize edilmesi ve hibrit çalışma algoritmasının kullanıcı müdahalesi ile değiştirilebilmesine yönelik bir algoritma geliştirilmekte ve önerilmektedir. Sürücünün sıklıkla kullandığı güzergahın menziline, bu menzil boyunca seyredilen ortalama hızı aracın sistemine girmesi ile hibrit yapının dinamiklerinin değiştirilmesi ve verimlilik artırılması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hibrit Elektrikli Araçlar, Sürüş Modeli, Verimlilik.

DEVELOPMENT OF A NEW PERSONAL DRIVE MODULE ALGORITHM FOR INCREASING EFFICIENCY IN HYBRID ELECTRIC VEHICLES AND INVESTIGATION OF ENERGY STORAGE METHODS

ABSTRACT

Along with the increasing population and developing technology of our age, the needs of people are increasing. There is a rapid technological development in all areas of transport from communication to health to advocacy. Today, almost every individual uses public transport or special vehicles to provide easy access. Along with the decline of fossil fuels, different alternative routes are being sought to ensure that the engine is running in vehicles. Hybrid vehicles are at the forefront of these alternative ways. In hybrid electric vehicle technology, there are many benefits, from emissions reduction to performance and efficiency improvements, as the vehicle is not only dependent on fuel propulsion. The efficiency of hybrid electric vehicles depends on the capacity of the energy storage system. Today, there are battery, ultra-capacitors and flywheel as energy storage systems alternatives. Although these are often highly efficient, there are areas where it is necessary and efficient to use each technology. Especially in electric and hybrid electric vehicles, due to their high energy density, batteries are used as basic energy storage unit. Ultra-capacitor and flywheel energy storage systems are also serving as auxiliary energy storage units due to their high power density. Another important issue in efficiency and performance in hybrid vehicles. Each manufacturer optimizes the vehicle according to the conditions of the particular use conditions. For example, while some models are optimized for heavy-duty cities, another model can be designed to achieve the highest productivity in flowing traffic. However, many consumers do not dominate the technical details when buying a car. In this study, an algorithm is proposed and proposed to optimize the electric machine and battery in the hybrid vehicles according to the usage conditions and to replace the hybrid operation algorithm with user intervention. It is aimed to change the dynamics of the hybrid construction and increase the productivity by entering the range of the route that the driver frequently uses and the average speed which is observed throughout this range.

Keywords: Hybrid Electric Vehicles, Driving Models, Efficiency.

GİRİŞ

Çağımızın artan nüfusu ve gelişen teknolojiyle birlikte ihtiyaçlarında artması görülmektedir. Ulaşımından iletişime, sağlıktan savunmaya her alanda hızlı bir teknolojik tüketim yaşanmaktadır. Yaşanan tüketimlerin en başında bütün dünyanın en önem verdiği enerji gelmektedir. Günümüzde hemen hemen her birey kolay ulaşım sağlamak için toplu taşıma araçları ya da özel araçlar kullanmaktadır. Bireylerin araç alırken dikkat ettikleri en önemli unsur yakıt tüketimi ve menzildir.

Artan nüfus ile beraber araç ihtiyacı da artmıştır. Bunun yanı sıra yakıt olarak geçmişten günümüze kullanılan fosil yakıtın azalmasına da sebep olmaktadır. Araçlarda yakıt olarak kullanılan en belirgin fosil yakıt petroldür. Fosil yakıtların azalması ile birlikte araçlarda motorun çalışmasını sağlamak için farklı alternatif yollar aranmaya başlanmıştır. Hibrit araç bu alternatif yolların en önde gelenidir.

Gelişen teknoloji ile birlikte elektrik enerjisiyle çalışan cihazların da hassasiyeti artmaktadır. Bir hibrit elektrikli araç, hem benzin gücünü hem de elektrik gücünü bir araya getirerek uyumlu şekilde çalıştıran bir sisteme sahiptir. Hızlanma ve frenleme esnasında enerjiyi geri kazanır. Hibrit teknolojilerde, araç artık sadece bir yakıt türüne bağımlı olmadığından emisyon azaltımından performans ve verimlilik iyileştirmelerine kadar araç için pek çok yararı vardır. Hibrit araçların verimliliği enerjiyi salıverebilecek olan enerji depolama sistemi kapasitesine bağlıdır. Elektrik kullanımı söz konusu olduğunda kesintisiz olarak kullanılma akla gelen ilk koşuldur. Kesintisiz elektrik için gereken bu koşul enerji depolama sistemleri ile sağlanmaktadır.

Enerji depolama sistemleri denilince akla ilk gelen sistem pil ve aküdür. Pilin ve akünün kullanım alanı oldukça geniştir. Gündelik hayatta kullandığımız el fenerleri, işitme ve uzaktan kumanda cihazları, taşınabilir CD-çalarlar, diz üstü bilgisayarlar ve en bilinen cep telefonları pil ve akü olmadan çalışması düşünülemeyen birkaç alettir. Piller genellikle yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir ve yerleşik elektrik enerjisinin çoğunu depolar. Pil ve akülerin yanında ultrakapasitörlerin de hibrit sistemlerde

kullanımı yaygın bir şekilde artmaktadır. Ultrakapasitörler yüksek güç yoğunluğuna sahiptir ve yüksek verimlilikte şarj/deşarj için hızlı tepki veren uzun ömürlü bir çevrim sunar.

Günümüzde çoğunlukla enerji depolama amacıyla kullanılan sistemlerin temelinde aküler, piller ve ultra kapasitörler bulunmaktadır. Bunlar çoğunlukla yüksek verimlilikle işlevlerini yerine getirir de, yüksek teknolojiye nazaran enerji transfer hızlarında limitli kapasitelere sahiptirler. Özellikle, depolanan enerjinin hızlı bir şekilde deşarj edilmesi gereken durumlarda ya da donanımın kesinlikle sağlam ve güvenilir kalması gereken koşullarda tercih edilmektedir.

Bu tez çalışmasında son dönemlerde kullanılan enerji depolama sistemlerinin birkaç yönden avantaj ve dezavantajlarıyla karşılaştırma yapılarak, hibrit sistemlerdeki verimini göz önünde bulundurup, hibrit araçlardaki bireyselleştirilmiş modlar öne sürülerek analiz yapılacaktır.

1. ELEKTRİK ENERJİSİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ

Günümüzde tüm modern enerji sistemleri arz güvenilirliği, sistem dengesi, enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması iletim/dağıtım problemlerinin ve maliyetlerinin en aza indirilmesi gibi birçok nedenlerle enerjinin depolanmasını zorunlu kılar.

Enerjinin depolanması, Dünya da son yıllarda gelişen yeni liberal piyasa modelinde, elektrik zincirinin en kritik bileşenlerinden birisidir. Enerji depolama sistemleri endüstrisi yeni, önemli ve tüm Dünya da hızla gelişmekte olan bir endüstri seçeneğidir. Liberal piyasalarda sistem işletmecilerinin büyük ölçekte yenilenebilir enerji üretimini sisteme entegre edebilmeleri için enerjinin depolanmasına ihtiyaçları vardır.

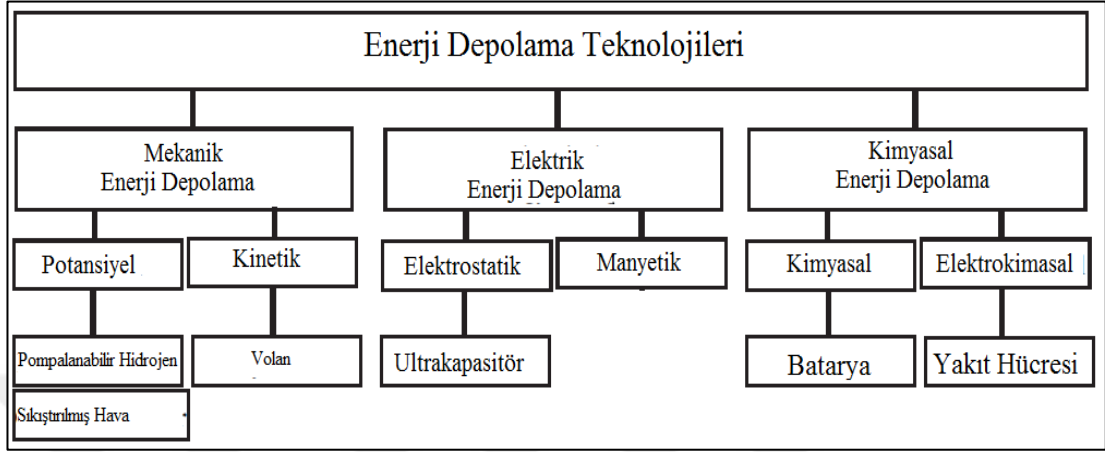
Teknik değerlendirmeler ve fizibilite çalışmaları enerji depolamanın sadece teknik bir gereklilik değil aynı zamanda maliyet kontrolü sağladığını da göstermektedir.

Enerjinin elektrik olarak depolanması pahalıdır ve teknolojik olarak verimli değildir. Enerji depolama sistemlerinin birçoğu dolaylı depolama sistemleridir. Başka bir ifadeyle elektriğin diğer enerji formlarına dönüştürülerek ihtiyaç anında hızla devreye sokacak şekilde bekletilmesidir.

Enerji depolama sistemlerinde aranan başlıca özellikler vardır. Bunlar; yüksek depolama kapasitesi, yüksek şarj/deşarj verimi, kendiliğinden boşalmanın ve kapasite kayıplarının az olması, uzun ömür, ucuzluk, enerjinin yoğun olması (kWh/kg veya kWh/litre) gibidir. Yani enerjiyi en az hacimde ve ağırlıkta depolayabilmelidir. Enerjiyi çok değişik formlarda depolama yöntemleri vardır. Biyolojik depolama, kimyasal depolama, mekanik depolama ısı depolama, elektriksel depolama, potansiyel enerji, yerçekimi potansiyel enerjisi, kinetik enerji vb. bu depolama yöntemlerindedir.

Hibrit sistemlerde kullanılan volan enerji depolama; mekanik enerji depolamanın bir türüdür. Pil, akü ve ultrakapitörler ise elektriksel depolamanın bir türüdür [1].

Şekil 1.1’de enerji depolama teknolojilerinin genel olarak sınıflandırılması yapılmıştır. Bu tezde genel sınıflandırmanın sadece elektrik enerji depolama bölümü ele alınmıştır.



Şekil 1.1. Enerji depolama teknolojilerinin sınıflandırılması [2]

1.1. Volan (Flywheel) Sistemlerde Enerji Depolama

1960 ve 1970’li yıllarda NASA’nın sponsor olduğu uzay programlarında birincil enerji depolama kaynağı olarak FES önerilmiştir, bunun devamında elektrikli taşıtlar için öncelikli enerji depolama hedefi olarak gösterilmiştir [3].

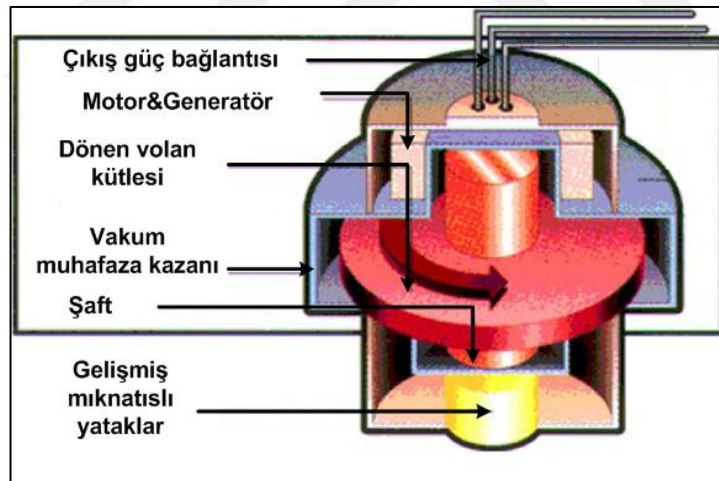
Volan; yüksek verimlilik, uzun çevrim ömrü, geniş çalışma sıcaklık aralığı, boşaltma derinliği etkilerinden bağımsız ve hem daha yüksek güç ve enerji yoğunluğu hem de kütle ve hacim bakımından ideal bir enerji depolama biçimidir.

Volan, dönen bir mekanizma olmakla birlikte, kullanılacağı alana ve sistemin gereksinimlerine göre özel bir geometriye ve kütle dağılımına sahip, dönme ekseninde yüksek hızlara ulaşan, kinetik enerji depolayan sistemdir. Çalışma prensibi; enerji depolanacağı zaman, volan önceden ön görülen maksimum hıza kadar ivmelenmektedir. Bu seviyede volan enerji bakımından tam doludur. Depolanan enerjinin harcanması gerektiği zamanda ise, volan jeneratör görevi görerek, sahip olduğu kinetik enerjiyi bağlı olduğu sisteme aktaracaktır. Bu süre zarfında volanın hızı azalır. Enerjinin sisteme aktarılması elektriksiz olacağı gibi, bazı uygulamalarda ise direkt dönme hareketi de olabilmektedir. Volan enerji depolaması (FES), volanın dönme kütlesi içinde enerji besleyebilir, kinetik enerji olarak saklayabilir ve talep üzerine serbest kalabilir [4].

Günümüzde kullanılan volanlar iki amaca tekabül etmektedir. Öncelikli ve eski yöntem olarak bilineni, volanın ataletinden yararlanarak depolanan enerjiyi, mekanik olarak bağlı bulunduğu hareket sistemine aktarmasıdır. Bu yöntemde amaç; içten yanmalı motorlar ve barajlardaki jeneratörler gibi titreşimleri, düzensiz girdileri ve ani hız değişimleri olan sistemleri yumuşatıp, düzenlemektir.

İkinci amaç ise akü ve ultrakapasitörlerin temel prensipleri ile aynı olan ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak yaygın hale gelen elektrik enerjinin kinetik enerjisi olarak depolanmasıdır. Diğer amaçtan en büyük farkı mekanik değil elektrikseldir [5].

Volanlar araçlarda elektrik motorları ile birlikte çalışırlar. Elektrik motorunun frenlemesi esnasında jeneratör görevi alarak enerjiyi depolar. Volan dönmeye başladığında dönme hızı ve ataletine bağlı olarak belirli bir miktar enerjiyi depo eden “mekanik bir batarya” olarak çalışmaktadır [6]. Şekil 1.2’de volanın iç yapısı verilmiştir.



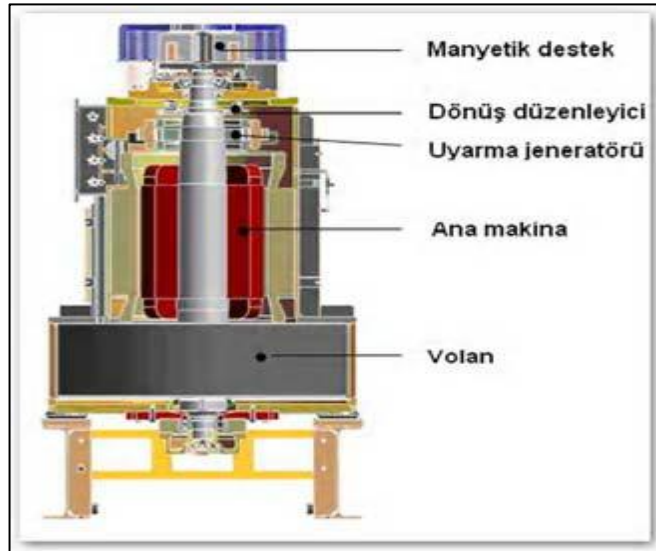
Şekil 1.2. Volanın iç yapısı

Volanın dönme hızı ile depolanan enerji doğru orantılıdır. Yenilenen bu enerji; aracın yavaşlaması ile volan enerji depolama sisteminden Motor/Jeneratör (M/G) bölümüne aktararak Motor kısmı çalıştırılıp kinetik enerji olarak saklanır. M/G ünitesi motor modu olarak çalıştırılır ve enerji, FESS'i hızlandırarak kinetik enerji olarak saklanır. Ardından, aracın hızlandırılması için aracın enerjiye ihtiyacı olduğunda, depolanan enerji, aracın DC bus işletme M/G ünitesini jeneratör modu

olarak devreder. Böylece frenleme (braking) esnasında araçtan ısı enerjisine dönüştürülen kinetik enerji kaybı olmaz, ayrıca tekrar kullanılmak üzere saklanır [7].

İlk uygulamalarda doğrudan mekanik enerjiyi depolayıp, ihtiyaç halinde kinetik enerji olarak vermekteyken, günümüzde gelişen teknoloji sayesinde elektrik – mekanik dönüşümlerinin yapıldığı uygulamalar ile verimleri artarken kullanım alanları gittikçe yaygınlaşmaktadır. İlk kullanıma girdiği şekliyle, mekanik – mekanik dönüşümleri sadece döner bir demir kütesinden ibaret iken, günümüzde mekanik – elektrik dönüşümlerde daha hafif malzemelerden yapılmış döner kütleler oluşurlar. Girişinde enerjiyi elektrik enerjisi olarak alır ve motor çalışmayla kinetik enerjiye dönüştürür. İhtiyaç halinde bu enerjiyi jeneratör çalışmayla tekrar elektrik enerjisi şeklinde çıkış olarak verir. Şekil 1.3’de modern yüksek hızlı volan sistemi verilmiştir [8].

Yüksek hızlı ve küçük volanlar dakikada 50.000 turdan fazla döner. Boyutun ve ağırlığın önemli olduğu durumlarda birçoğu elektrikli araçlar ve benzer uygulamalar içindir. İkinci tip ise yavaş dönen fakat büyük volanlar genellikle 7000 d/d’de çalışır, çapı 1 metre veya daha fazladır [9].



Şekil 1.3. Modern yüksek hızlı volan sistemi [8]

1.2. Bataryalar

Ulaştırma sektöründe, pil teknolojileri üzerine yapılan araştırmalar bataryaların son yıllarda daha çok ön plana çıktığını göstermiştir. Batarya enerji depolaması, yeni

enerji araçlarında en yaygın kullanılan enerji depolama teknolojisi haline gelmiştir. Kurşun Asit, Ni-Cd, Ni-Zn, Ni-MH ve Na-S olmak üzere birkaç ana tip vardır.

Doğru akım elektrik enerjisini kimyasal enerji olarak depo eden ve istenildiği zaman kimyasal enerjiyi tekrar doğru akım elektrik enerjisine çevirerek veren cihazlara batarya denir. Gelişen teknoloji ile beraber talebin artması üzerine bataryalarda da iyileştirmeye ve gelişmeye gidilmiştir. Bu iyileştirmelerde başlıca iki hedef ele alınmıştır:

- Daha sağlam, daha az bakım gerektiren, daha uzun ömürlü ve daha fazla dolma /boşalma olanağı
- Daha küçük boyutlardaki hafif aküler ile çok daha yüksek başarımlar sağlamak

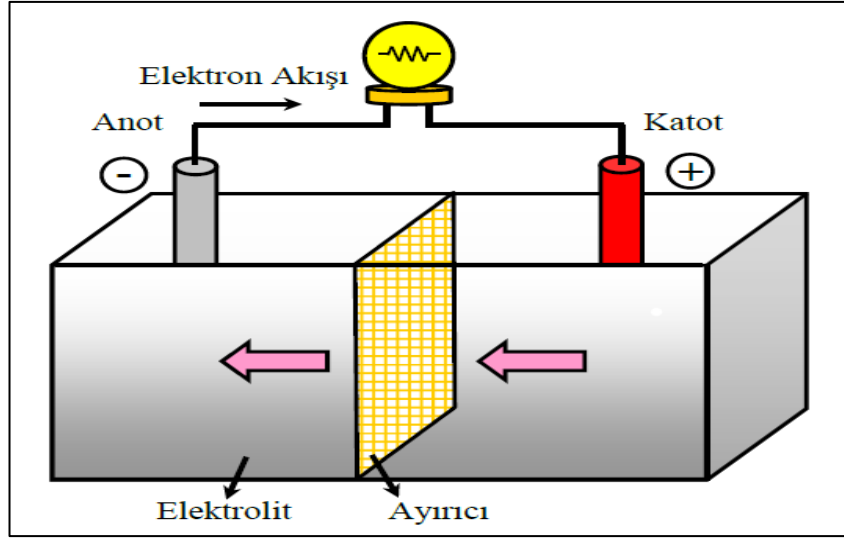
Batarya hücresinin dört ana bileşeni Şekil 1.4'de gösterilmektedir.

a) Pozitif elektrot: Elektriksel akımın oluşturulmasını sağlayan aktif bir maddedir. Deşarj esnasında azalabilen, oksit, sülfid veya herhangi bir bileşikten oluşan bir elektrottur. Bu elektrot batarya deşarj olurken, dış devreden elektron tüketir. Elektrot malzemeleri katı haldedir.

b) Negatif elektrot: Bu elektrot batarya deşarj olurken, dış devreye elektron verir. Negatif elektrot malzemeleri de batarya hücresinde katı halde bulunur. Bazı lityum-iyon bataryaların negatif elektrotları oksitlenmeyi önlemek için alüminyumdan imal edilmektedir.

c) Elektrolit: Elektriksel akımı iletebilen ve hareket edebilen yüklü parçacıklardan oluşan bir çözeltilidir. Elektrolit, elektrot reaksiyonlarında yer alan iyonlar için yüksek ve seçici iletkenlikte olmalıdır ama deşarj olayını engelleyebilmek için elektronları iletmemelidir. Elektrolitler sıvı, jel veya katı maddeler olabilirler, ayrıca bataryanın tipine göre asidik veya alkalik olabilirler.

d) Ayırıcı: Farklı kutuplardaki elektrotları fiziksel olarak ayıran, elektriksel olarak yalıtıcı bir tabakadır. Ayırıcılar, elektrolitlerin iyonlarını geçirmeli ve elektroliti saklayıp hareketsiz tutabilecek fonksiyona sahip olmalıdır.



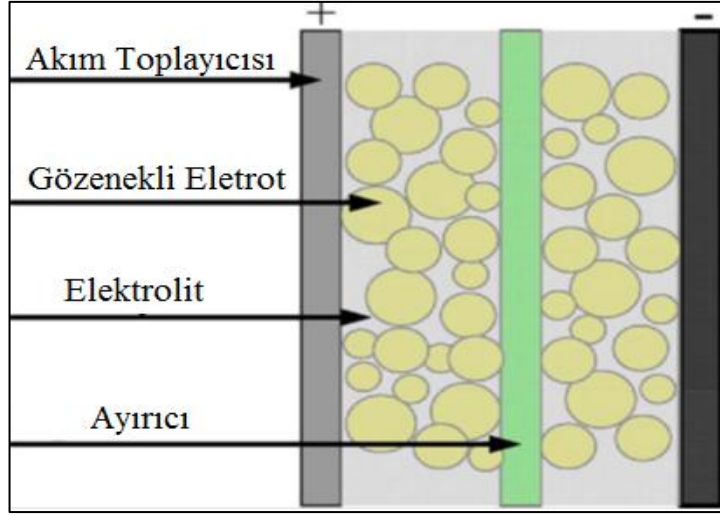
Şekil 1.4. Bataryanın çalışma prensibi

1.3. Ultrakapasitörler

Ultrakapasitörler ilk olarak 1957 yılında General Elektrik tarafından yapılmış ve patenti alınmıştır, fakat kullanılmamıştır. 1978'de patenti alınıp kullanılan bir ultrakapasitör $5m^3$ ve daha az ebatlardaki cihazlarda kullanıma uygunluğunun yanında 5V gerilim değerine ulaşabilmekteydi. Bu kapasitörde ki amaç bilgisayarlar da veri kaybını önlemektir [10].

1990'larda Moskova'da ki şirketlerden biri kapasitörler de asimetrik tasarım diye adlandırdıkları bir yapı geliştirip, bunu elektrikli bir otobüsün güç sağlayıcısı olarak kullanmışlardır. Şarj süresi yarım saat ve mesafe olarak 15 km'lik bir kullanım alanına sahiptir. 2010 yılında da Şangay'da buna benzer bir uygulama yapılmıştır. Otobüsler durak arasında şarj edilmektedir ve bu şarjların süresi 20s'dir [11].

Günümüzdeki talep ile beraber kapasitörler oldukça değişime ve gelişime uğrayarak aranan enerji depolama sistemi olarak yerini bulmuştur. Artan isteklerle beraber kapasitörler geliştirilerek ultrakapasitör haline getirilmiştir [11].



Şekil 1.5. Bireysel ultrakapasitör hücresi [10]

Ultrakapasitör enerji depolama sistemi, klasik araçlarda frenleme esnasında kaybolan enerjinin depolanması ve ısı enerjisine dönüştürülmesi için kullanılır. Aracın motor / jeneratör ünitesi, frenleme esnasında jeneratör modu olarak çalıştırılır. Ve bu enerji ultrakapasitör enerji depolama biriminde saklanır. Aracı hareket ettirmek için enerjiye ihtiyacınız olduğunda, ultrakapasitör enerji depolama biriminde depolanan enerji DC-DC dönüştürücüye aktarılır. Daha sonra dönüştürülen enerji aracın DC veri yoluna aktarılır. Böylece frenleme sırasında kaybedilen ısı enerjisi ultrakondansatörde depolanır. Böylece aracın verimliliği artar [12].

Anlık ve kısa süreli pik güç talep periyotlarında ultrakapasitörlerin tepkisi nispeten hızlıdır. Ultrakapasitör akımının özellikle yüksek tekrarlama hızı, darbe uygulamaları için şarj modundan boşaltma moduna hızlı geçiş yapması bakımından oldukça avantajlı bir sistemdir. Zor koşulları karşılamak için, ultrakapasitör kısa mesafelerde hızla ivmelenmeyi sağlamak için, ana motoru çalıştırmak için veya darbe yükleri için bir enerji depolama ortamı olarak kullanılabilir.

Mevcut geleneksel pillerin enerji yoğunluğu yaklaşık % 10 iken, ultrakapasitörlerin güç yoğunluğu 10-100 kat daha fazladır, bunun nedeni, yüklerin fiziksel olarak elektrolitlerde depolandığı gerçeğidir. Ultrakapasitörler, konvansiyonel kapasitörler gibi iki tane plaka olarak isimlendirilen iletkenle, bunları birbirinden ayıran ve dielektrik olarak adlandırılan yalıtıcıdan oluşurlar. Çift tabaka sıvı elektrod solüsyonu iç yüzeyde bulunur, temel olarak şarj işlemi elektrolit ve sıvı arasında ki bu iç yüzeyde oluşur [13].

Aracın kinetik enerjisi, frenleme sırasında ultrakapasitörlü enerji depolama sisteminde saklanır. Sonra depolanmış enerji, ivme sırasında kullanılır [12].

Ultrakapasitörlerin özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz:

- Fiziksel olarak pozitif ve negatif yükleri ayırarak enerji depolarlar
- Yükler bir yalıtkan tarafından bölünen iki paralel plaka üzerinde saklanır
- Uzun bir çevrim süresine sahiptirler
- Düşük iç direnci vardır. (Bundan dolayı yüksek verim elde ederler.)

Araştırmacılar ultrakapasitörlerin enerji depolama kapasitesini daha da genişletmek için elektrotların yüzey alanını artırarak çeşitli yöntemleri araştırmaktadır.

Ultrakapasitörler, hibrit elektrikli araçlar için enerji depolama aygıtları olarak kullanılabilir. Kentsel sürüşte, birçok dur-kalk sürüş koşulları vardır ve gerekli toplam güç nispeten düşüktür. Ultrakapasitörler, hızlı şarj ve deşarj oranlarına bağlı olarak, şebeke geri besleme frenlemesinden elektriği tutmak ve hızlanmalarda güç sunmak için çok uygundur.

Ultrakapasitörler birçok uygulama alanında kullanılmaktadır ve yaygınlaştırılması hedeflenmektedir. Bu kullanım alanlarından bazıları, vinç, otobüs, trolleybüs, araçlarda start-stop ve motor çalıştırma, kesintisiz güç kaynakları, internet sunucuları ve rüzgar türbinlerindeki kanatların kontrolüdür [14].

2. BATARYALAR

Pil, depolanan kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren bir veya daha fazla elektrokimyasal hücreden oluşan bir depolama aygıtını ifade eder. Hibrit araçlar için en uygun bataryanın seçilmesinde dikkate alınması gereken birkaç özellik vardır. En önemli özellik akü kapasitesidir ve bu kapasite amper-saat cinsinden ölçülür (Ah). Ayrıca, batarya içinde depolanan enerji (boşaltma sırasında kapasite-ortalama voltaj) watt-saat cinsinden ölçülür (Wh). Pildeki yüzdesel olarak kullanılabilir şarj durumu (SOC), pildeki mevcut şarj durumunu gösterdiği için de aynı derecede önemlidir. Akünün ömrünü uzatmak için akünün kullanılabilir şarj durumunda çalıştırılması gereklidir. Kapasite maksimum deşarj akımı ile orantılıdır. Maksimum deşarj akımı tipik olarak C indisiyle temsil edilir. Örneğin, 1C deşarj oranı 1 saat içinde pilin tükendiğini, 2C ise pilin yalnızca yarım saatte tüketildiğini gösterir. Bu maksimum akım akünün kimyasal reaksiyonlarının kendisinden ve ısıdan etkilenir.

Bugün, karayolu taşımacılığı uygulaması için uygun olan beş farklı batarya grubu piyasada bulunmaktadır. Bir kurşun-asit aküsü, klasik bir ICE (içten yanmalı motorlu taşıt) aracı tarafından kullanılan en yaygın ve en ucuz akümülatördür. Ağırlığı az olduğu için bu pilin uygulanması daha fazla tercih edilir. Kurşun-asit bataryası çevre dostu bir pil değildir. Üretim veya elden çıkarma işlemi sırasında çevre sorunlarına neden olur.

Örneğin, nikel-çinko nikel pili nispeten daha çevreye dostu, ancak ömürleri kısadır. Bir nikel-demir pilinin en büyük sorunu ağırlığı, yüksek bakım maliyeti ve kendi kendini boşaltma oranı yüksektir. Nikel-kadmiyum (Ni-Cd) pil, otomobil uygulaması gibi yüksek şarj / deşarj hızında kullanılmak için uygun olmayan bir bellek etkisine sahiptir, ancak titiz çalışma koşullarında iyi performans gösterir. Ayrıca, toksik materyalleri ve yüksek bakım masrafları bulunmaktadır. Nikel metal hidrit (Ni-MH) de çevre dostu pillerden biridir. Ni-MH, Ni-Cd'ye kıyasla yaklaşık% 50 daha yüksek kendi kendine deşarj olma oranına sahiptir. Bu pilin diğer bir dezavantajı, kurşun-asit ve Ni-Cd pillerden daha uzun sürede şarj edilmesi ve şarj sırasında çok fazla ısı

üretmesidir. Sonuç olarak, Ni-MH pil, hibrit araçlarda ve elektrikli araçlarda en yaygın şekilde kullanılmasına rağmen daha karmaşık şarj algoritması ve pahalı şarj cihazları gerektirir.

Sıfır emisyon pilleri (ZEBRA) aküsü, sodyum nikel klorür (NaNiCl) ile oluşturulmuştur. $300-350^{\circ}\text{C}$ civarında yüksek sıcaklığa sahiptir. ZEBRA piller, kurşun asitli pillerden daha az ömür devri maliyetine sahiptir. Lityum pil için daha yüksek veya eşit enerji yoğunluğu, herhangi bir modern hibrit araç pil teknolojisinin en düşük maliyeti, yüksek takvim ömrü, sağlamlık gibi avantajları vardır. Bu bataryanın en büyük dezavantajı, aşırı şarj sonucunda termal bozunma ve kapasite kaybı meydana gelmektedir [15].

Lityum pil; hafif, yüksek spesifik enerji, yüksek spesifik güç ve yüksek enerji yoğunluğu nedeniyle fazla talep gören enerji depolama aygıtlarından biridir. Buna ek olarak, lityum pillerin hafıza etkisi yoktur ve kurşun, cıva veya kadmiyum gibi zehirli metaller yoktur. Her lityum pilin, güvenli çalışmasını sağlamak için her pakette bir koruma devresine ihtiyaç vardır. Ana dezavantaj, çok yüksek üretim maliyeti gerektirmesidir. Lityum pillerde lityum metal, aralarında en pahalı olanıdır ancak lityum-iyon pilden daha az güvenlidir. Şu anda lityum-sülfürlü batarya, lityum piller arasında düşük ağırlıkta daha yüksek bir enerji kapasitesi verebilir ancak devir ömrü önemli bir dezavantajdır. Lityum iyon polimeri çok çeşitli paketleme şekillerine, dayanıklılıklarına uyum gösterebilir ancak iletkenliği zayıf ve güç yoğunluğu düşüktür. Yüksek güç yoğunluğu lityum demir fosfatta bulunur. Lityum demir fosfat plinde yüksek deşarj akımı vardır. Lityum-titanatlı pil, şu anda Mitsubishi'nin i-MiEV elektrikli taşıtları tarafından kullanılan diğer lityum-iyon pillerden daha hızlı şarj olma avantajına sahiptir.

Çinko-hava aküsü gibi diğer akü tipleri de vaat eden bir diğer aküdür. Bu pil, lityum pille karşılaştırıldığında yüksek spesifik enerji ve yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Bununla birlikte düşük spesifik gücü, sınırlı çevrim ömrü diğer özelliklerindedir. Lityum hava aküsü halen araştırma durumunda ve henüz piyasaya sürülmedi. Lityum-hava pili, çinko hava pilinden daha yüksek bir enerji yoğunluğuna sahip olduğundan, tüm hibrit araçların hedefi haline gelecektir [15].

2.1. Bataryanın Tarihçesi

Doğadaki elektriğin etkisi ilk çağlardan beri bilinmesine rağmen, insanların elektriği kontrol etmeleri yaklaşık 2000 yıl sürmüştür. İtalyan bilim adamı Alessandro Volta'nın 1794 yılında ilk bataryayı yapması dönüm noktası olmuştur. Volta değişik metallere disklerle gerçekleştirdiği deneylerden sonra bakır, mukavva ve çinkodan oluşan bir pil yapmıştır. Mukavva aside batırıldıktan sonra bakır ve çinkonun arasına sıkıştırılıyordu. Maddeler arasındaki bir kimyasal tepkime sonucunda içerdikleri kimyasal enerji elektriğe dönüşüyordu. Volta'nın bu keşfi ilk kez sabit bir elektrik kaynağı sağlayarak gelecekte yapılacak tüm akımlı elektrik deneylerinin yoluna açtı [16].

Modern batarya ve piller, Volta'nın pillerine göre çok daha güçlü ve kullanışlıdır. Bunlardan en yaygın çalar saatlerden kasetçalara kadar yüzlerce cihazda kullanılan kuru pildir. Kuru pilin farklı birçok çeşidi vardır. En yaygın türlerinden biri lityum-iyon pildir. Kullanıldığı diğer bir alan ise hibrit araçlardır [16].

2000'li yıllarda bataryaların kullanım alanı daha da artması üzerine gelişmesi ise çalışmalarda artmıştır. 2003 yılında dünyanın en büyük bataryası Alaska'da Fairbanks şehrine kurulmuştur. Amacı Alaska'nın ikinci büyük şehri olan Fairbanks'ın acil enerji ihtiyacı karşılamaktır. Bu bataryanın 40 MW'lık gücü bulunmaktaydı ve yaklaşık olarak 12.000 insana 7 dakika içinde enerji sağlayabilmekteydi. 2003 yılında bir başka batarya çalışması da Finlandiyalı maden uzmanı Rainer Partane'dir. Finlandiyalı maden uzmanı tekrar şarj olabilen alüminyum hava bataryası yaparak patentini almıştır. Ayrıca bu bataryada nanoteknoloji kullanarak bataryanın çok yüksek yoğunlukta çalışmasını sağlamıştır. 2004'de ise Toshiba şimdiki kullanılan cep telefonlarını çalıştırabilecek kadar küçük metanol yakıt pili üretmiştir. 2005 yılında Japonya'da bir şirkette çalışan Masahuru Satoh düşük kapasiteli, küçük ışık yüklü ve yüksek güçlü batarya üretmiş adına da Organik Radikal Batarya koymuştur. Bu batarya çok kısa süre çalışabilmesine rağmen 100°C'de şarj ve deşarj olabilmektedir [18].

2.2. Batarya Çeşitleri

Günlük yaşantımızda en sık rastlanan ve uygulama yeri bulan enerji kaynakları taşınabilir pil ve bataryalardır. Taşınabilir pilleri 3 ana gruba ayırabilmek mümkündür:

1- Şarj edilmeyen piller (Primer):

- Çinko
- Alkalin
- Lityum

2- Şarj edilebilen piller (Sekonder):

- Nikel-kadmiyum
- Nikel-metal hidrit
- Lityum-İyon
- Lityum-polimer

3- Düğme piller:

- Gümüş-oksit
- Çinko-hava
- Lityum
- Alkalin

2.2.1. Birincil (şarj edilemez) bataryalar

Şarj edilmeyen piller olarak da bilinen birincil piller, ikincil veya yeniden şarj edilebilir pillerin gölgesinde kalır. Birincil piller tek kullanım özelliğine sahiptirler. Deşarj olduklarında tekrar şarj edilmeleri mümkün olmayıp içerisindeki kimyasal tepkime tekrardan geri çevrilemez. Yani kimyasal tepkime bittiğinde pil ölmüş demektir. Birincil piller, kalp hastalarında kalp pillerinde, araçlarda lastik basınç göstergelerinde, akıllı sayaçlarda, madencilikte akıllı matkap ucunda, hayvan izlemede, kol saatlerinde, uzaktan kumandalarda, elektrikli anahtarlarda, çocuk oyuncaklarında, fener ve taşınabilir eğlence cihazlarında kullanılmaktadır. Yüksek spesifik enerji, uzun depolama süresi ve anında hazır olma özelliği birincil pillere diğer güç kaynakları üzerinde benzersiz bir avantaj sağlar. Uzun mesafelerde

taşınabilirler ve uzun süre depolandıktan sonra bile anında kullanılabilirler. Ayrıca imha edildiğinde kolaylıkla temin edilebilir ve çevre dostu olurlar.

En popüler birincil pil alkalidir. Yüksek özgül enerjiye sahiptir ve tamamen boşaltılmış olsa dahi maliyet açısından etkili, çevre dostu ve sızdırmazdır. Alkalın kutu 10 yıla kadar depolanabilir, iyi bir güvenlik kaydına sahiptir.

Birincil piller; belli bir gerilimi elde etmek için seri bağlanabilirler, asla paralel bağlanmamalıdır; çünkü bir hücrenin diğerini şarj etme ihtimali vardır [20].

Tablo 2.1’de bazı birincil ve ikincil pillerin kapasitesi, nominal V, deşarj oranları, şarj edilebilir durumları, raf ömürleri verilmiştir.

Tablo 2.1. AA ve AAA formatında mevcut piller genel özellikleri [20]

	Çinko-karbon	Alkalın	Lityum	NiCd	NiMH
Kapasite AA	400-1,700	1,800-2,600	2,500-3,400	600-1,000	800-2,700
AAA	300	800-1,200	1,200	300-500	600-1,250
Nominal V	1.50	1.50	1.50	1.20	1.20
Deşarj oranı	Çok Düşük	Düşük	Orta	Çok Yüksek	Yüksek
Şarj Edilebilir Durumu	Yok	Yok	Yok	Var	Var
Raf Ömrü	1-2 yıl	7 yıl	10-15 yıl	5 yıl	5 yıl

Avantajları;

- Yüksek enerji yoğunluğu,
- Saatler veya işletme cihazları gibi düşük maliyetli uygulamalar için en iyi alternatif,
- Füzeler ve askeri mühimmat gibi tek kullanımlık uygulamalar için uygun bir seçim,
- Düşük başlangıç maliyeti,
- Yüksek enerji depolama özelliği,
- Kullanışlı.

Dezavantajları;

- Kısa ömürlü olması,
- Tek kullanımlık,

- Enerji verimliliği açısından, üretiminde kullanılan gücün yalnızca %2'sini ürettikleri için son derece ekonomik olmayan bir enerji kaynağı,
- Şarj edilebilir pillerden çok daha fazla atık üretmeleri [21].

2.2.2. İkincil (şarj edilebilir) bataryalar

Kimyasal enerjinin batarya bünyesinde elektrik enerjisine dönüştükten sonra, ikinci bir işlemle tekrar kimyasal enerji oluşturabilen geri dönüşlü sistemlerdir. Bu geri dönüşüm batarya hücrelerine zarar vermeyecek şekilde gerçekleştirilerek kontrollü olarak yeniden bataryanın şarj edilmesi ile büyük bir avantaj sağlar. Sekonder batarya olarak adlandırılan bu bataryaların farklı birçok kimyasal yapıya sahip çeşidi bulunmaktadır. Örnek olarak; nikel-demir (NiFe), nikel-çinko (NiZn), çinko-hava (Zn-Air), lityum-iyon (Li-ion), lityum-iyon polimer, lityum-demir fosfat (LiFePO₄), nikel-kadmiyum (NiCd), nikel-metal hidrür (NiMH), sodyum-sülfür (NaS), sodyum-nikel klorür (NaNiCl), alüminyum-hava (Al-Air) bataryalar gösterilebilir.

Tek tek piller daha pahalı olmakla birlikte, uzun vadede daha düşük maliyetli olma avantajına sahiptirler. Genellikle, ikincil bataryalar daha düşük kapasite ve düşük başlangıç voltajı, düz deşarj eğrisi, daha yüksek kendi kendine boşalma oranları ve değişen şarj ömrü değerlerine sahiptir. İkincil bataryalar, genellikle özel kullanım, muhafaza ve atmaya ihtiyaç duyan daha aktif (daha az kararlı) kimyasallara sahiptir. Ni-Cd ve küçük boyutlu kurşun asit piller özel imha gerektirir ve atılmamalıdır.

Sekonder pil olarak bilinen küçük boyuttakiler oyuncaklarda, telefonlarda kullanılmaktadır. Şarj edilebilir tip pillerde çevrim sayısı 500-1500 olabilmektedir. Her bir çevrim sonunda pil başlangıçta sahip olduğu nominal enerji kapasitesini bir miktar kaybedip, kapasitesi başlangıca nazaran %60-70'e düştüğü zaman o cihaz pil ömrünü tamamlamıştır. Pil ömrü tanımlamasında iç direnç kavramı da etkilidir. Piller kullanıldıkça iç dirençleri yükselmeye başlar, genellikle iç direnç başlangıca nazaran 1,3 - 2,0 misli arttığında pilin ömrü tamamlanmış olur. Ancak iç direnç ölçümü zor olduğu için, ömür tespitinde çevrim sayısı esas alınması daha doğru sonuç verir [23].

Sekonder batarya olarak adlandırılan büyük boyuttaki bataryaların diğer bir ismi de depolama bataryasıdır. Gemilerde, telsizlerde, hibrit araçlarda kullanılırlar. İkincil bataryalar; seri, paralel veya ikisinin karışımı olarak, istenen gerilim ve kapasiteyi

elde etmek için kullanılırlar. Tek kısıtlaması her bir hücrenin benzer bir gerilim, kapasite ve kimyasal özellikte olmasıdır.

Genel olarak sekonder hücreler; çekiş, elektrikli el aletleri, motorlu tahrikler, dizüstü bilgisayarlar, cep telefonları, kameralar, oyuncaklarda kullanılır.

Bu tezde hibrit elektrikli araçlarda kullanılan batarya (pil) teknolojileri incelenmiştir. Günümüzde farklı anma voltajı ve enerji yoğunluğuna sahip çeşitli pil çeşitleri bulunmakta ve geliştirilmektedir. Hibrit elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılan ve henüz araştırma aşamasında olan pil çeşitleri ve özellikleri Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Hibrit araçlarda kullanılan pil teknolojileri ve özellikleri [28]

Pil Çeşitleri	Nominal Voltaj (V)	Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	Hacimsel enerji yoğunluğu (Wh/L)	Özgül Enerji (W/kg)	Çevrim Ömrü	Kendi kendini deşarj etme	Hafıza Etkisi	Çalışma Sıcaklığı	Üretim maliyet (\$ / kWh)
Lityum asit (Pb-asit)	2	35	100	180	1000	<5	Yok	-15, +50	60
Nikel-Kadmiyum (NiCd)	1,2	50-80	300	200	2000	10	Var	-20, +50	250-300
Nikel metalhidrit (NiMH)	1,2	70-95	180-220	200-300	<3000	20	Nadiren	-20, +60	200-250
Zebra	2,6	90-120	160	155	>1200	<5	Yok	+245, +350	230-345
Lityum iyon (Li-ion)	3,6	118-250	200-400	200-430	2000	<5	Yok	-20, +60	150
Lityum iyon polimer (LiPo)	3,7	130-225	200-250	260-450	>1200	<5	Yok	-20, +60	150
Lityum demirfosfat (LiFePO ₄)	3,2	120	220	2000-4500	>2000	<5	Yok	-45, +70	350
Çinko-hava (Zn-hava)	1,65	460	1400	80-140	200	<5	Yok	-10, +55	90-120
Lityum sülfür (Li-S)	2,5	350-650	350	-	300	8-15	Yok	-60, +60	100-150
Lityum-hava (Li-hava)	2,9	1300-2000	1520-2000	-	100	<5	Yok	-10, +70	-

Avantajları

- Normal pillere göre uzun vadede daha ekonomiktir.
- Yüksek kullanılabilirlik uygulamaları için en iyi çözümdür.
- Daha az pil kullanılarak atmosfere daha az karbon salınımına sebep olurlar.
- Tüketicilerin az pil kullanmasıyla çevreyi kurşun, mangan, civa, çinko, kadmiyum gibi kimyasalların daha az kirletmelerine neden olurlar.

Dezavantajları

- Şarj cihazının maliyeti,
- Birincil hücrelere göre daha düşük enerji yoğunluğu,

Tipik Pil Kimyası:

- 1- Kurşun Asit
- 2- Lityum
- 3- Nikel Kadmiyum (NiCd)
- 4- Nikel Hidrojen
- 5- Nikel Demiri (NiFe)
- 6- Nikel Metal Hidrür (NiMH)
- 7- Nikel Çinko
- 8- Zebra (NaNiCl)

2.2.2.1. Kurşun asit batarya

Kurşun asit bataryalar Gaston Plante tarafından bulunmuş ve daha sonra Fransız Bilim Akademisinde gösterilmiştir. Sağlam ve ucuz olmaları nedeniyle otomotiv sektöründe en çok kullanılan batarya türüdür. Kurşun asit bataryalar genellikle çok büyük, ağır ve kısa ömürlüdürler. Kullanımlarının asıl nedeni diğer bataryalara oranla daha ucuz olmalarıdır. Elektrolit tabaka malzemesinde veya jelde depolanırlar.

Elektrikli araçlar için maliyet açısından bir değerlendirme yapılırsa enerji depolama konusunda en uygun bataryanın kurşun asit olduğu ifade edilmektedir. Fakat kurşun asit bataryaların aracın menziline doğrudan etkileyen enerji yoğunluğu oldukça düşüktür. Bu bataryalar uzun bir gelişme süreci geçirmiş olmalarına rağmen 25-35 Wh/kg gibi düşük bir enerji yoğunluğuna sahiptir. Güç yoğunluğu ise 150 W/kg gibi oldukça yüksek bir değerdir. Kullanım ömürleri yaklaşık 3 yıldır.

Bulunuşunun üzerinden yaklaşık 160 yıl geçmesine rağmen hala karakteristiklerinde iyileştirmeler yapılmaktadır, dezavantajlarına ve yeni bulunan birçok bataryaya rağmen kurşun asit hala pazarda en çok satılma payına sahiptir.

Avantajları:

- Bakım gerektirmez,
- Güvenilir ve sağlam,
- Maliyeti düşük,
- Farklı kapasitelerde bulunabilme özelliği,
- Yüksek akım verebilmesi

Dezavantajlar:

- Ağırlık olarak fazla,
- Alan olarak çok yer kaplamakta,
- Şarj verimi düşük,
- Hızlı şarj olma kapasitesi düşük,
- Kullanım ömrü az

2.2.2.2. Nikel kadmiyum batarya

Nikel kadmiyum bataryalar bilinen en eski sekonder pillerdir. Yüksek sayıda şarj oranları, yüksek sayıda deşarj oranları, yüksek akım değeri gibi özellikler istendiğinde aranan bir bataryadır. Bu bataryalar sarsıntılara karşı oldukça dayanıklı cihazlardır. Bu özelliklere sahip olduğu için elektrikli araçlarda da kullanılabilir. Ni-Cd batarya Avrupa'da elektrikli taşıt pazarında en donanımlı bataryadır. Genellikle mobil telsizlerde, elektrikli aletlerde, tıbbi cihazlar da kullanılır. Nikel kadmiyum (Ni-Cd) batarya; pozitif nikel elektrodu, negatif kadmiyum elektrodu ve sulu elektrolit olarak potasyum hidroksitten oluşmuştur. Tam doluyken en fazla 1,44 Volt değerine ulaşabilirler. Kullanıldığı zamanlarda 1,2 Volt değerinin altına düştükten sonra ve belli sıcaklık aralığında kullanıldığında 500-1000 arası dolun ömürleri vardır. Nikel kadmiyum batarya modeline herhangi bir gerilim uygulandığında tam dolun olmasa da dolun ömürlerinden düşmektedir. Boş durumdayken 1,2 Voltun altına düşürülmemesi gerekir. Verimlerinin azalmaması için mutlaka 1,1 Volt geriliminde şarj edilmelidir. Bu bataryaların şarj edilmesi için özel şarj sistemleri

mevcuttur. Nikel kadmiyum pillerin güç eğrilerinde keskin düşüş görülür. Kullanıldığı zamanlarda güçleri birden bitebilir. Tam boşalmamış durumdayken şarj edilmesi tavsiye edilmez, bu durum ömürlerini azaltır ve pil hafızasında tuttuğu bu noktadan ileriye doğru şarj olur bu durumda da pil kapasitesini düşürmüştür olur. Ayrıca son zamanlarda çevre kirlenmesine verilen önemden dolayı Ni-Cd pillerin üretim ve kullanımları büyük ölçüde azaltılmıştır [8].

Avantajları:

- Enerji yoğunlukları düşük,
- Şarj edilme oranları fazla olduğundan uzun vadede çok ekonomik olmaları,
- Güvenilir,
- İçerisindeki kapasiteyi (akımı) uzun süre kaybetmeden bekletmesi

Dezavantajları:

- Aniden güç kaybetmeleri,
- Hafıza etkisine aşırı duyarlı
- İlk maliyeti fazla

2.2.2.3. Nikel metal hidrit batarya

Stanford Oushinsky tarafından patenti alınmış olan bu batarya teknolojinin gelişmesiyle otomotiv sektöründe kullanılmıştır. Bu piller nikel kadmiyum pillerden sonra geliştirilmiş bir pil çeşididir. Kadmiyum elementinin yerini metal elementler almıştır. Bu elementler; kobalt, krom, manganez, demir, titanyum, nikel, zirkonyum gibi metal bileşenleridir. Nikel metal hidrit (NiMH) batarya, metal hidrür karışımı olan negatif elektrot, potasyum hidroksit elektroliti ve aktif malzemesi nikel hidroksit olan pozitif elektrot olmak üzere üç ana bileşenden oluşmaktadır. Enerji yoğunlukları kurşun asit bataryaların iki katıdır, bunun yanında nikel kadmiyum bataryalardan ise %40 fazladır. Otomotiv sektöründe yer almaları ve kullanım alanlarını genişletmeleri; enerji yoğunluklarının diğer pillere oranlar fazla olması nedeniyle verimlerinin bu sayede 2-3 katına çıkması, ayrıca toksik madde içermemeleri dolayısıyladır. Yüksek şarj ve yüksek deşarjda sorun yaşamazlar. Diğer bataryalara göre daha pahalıdır (kurşun asit bataryanın fiyatının 5 katı kadar) ve boşta kaldıkları zaman kendi kendine deşarj olması en büyük eksikliğidir, fakat çevreye zarar verme

oranı azdır. Pazar payında kurşun asit ve nikel kadmiyumdan daha fazla paya sahip olmasına karşın lityum iyon bataryaya karşı rekabet oranı düşüktür. Kullanım alanları; cep telefonları, dizüstü bilgisayar bataryaları, fotoğraf makineleri ve oyuncaklar olarak sayılabilir [8].

Avantajları;

- Tamamıyla deşarj edilebilirler,
- Dayanıklısıdır,
- Düzgün deşarj karakteristiğı vardır,
- Civa veya kurşun içermez,
- Çevreye karşı duyarlıdır,
- Geri dönüşümleri sağlanabilir.

Dezavantajları;

- Yüksek özgül kayıp,
- Hafıza etkisi vardır
- Maliyeti fazladır.

2.2.2.4. Lityum bataryalar

Lityum pilin öncü çalışmaları Gilbert N. Lewis tarafından keşfedilmiştir, ancak ilk şarj edilemeyen lityum pillerin piyasaya sürülmesi çok zaman almıştır. Piyasaya çıktıktan sonra şarj edilebilir lityum piller geliştirilmeye başlanmıştır, ancak anot malzemesi olarak kullanılan metalik lityumdaki istikrarsızlıktan dolayı başarısız oldu.

Lityum, tüm metallerin en hafif olanıdır, en büyük elektrokimyasal potansiyele sahiptir ve ağırlık başına en büyük spesifik enerji sağlayan metaldir. Anot üzerinde lityum metali içeren şarj edilebilir piller çok yüksek enerji yoğunlukları sağlayabilirler. Bununla birlikte, yapılan çalışmaların sonucunda anot üzerinde istenmeyen partikül büyümesi ve katılaşması olduğu keşfedildi. Bu büyüme elektriksel kısalmaya neden olmuştur, bunun yanında hücrenin sıcaklığı hızlı bir şekilde artarak, lityumun erime noktasına yaklaşarak "alevle havalandırma" olarak da bilinen termal kaçağı neden olmuştur. Japonya'ya gönderilen çok sayıda şarj edilebilir metalik lityum pil cep telefonunda kullanılmasının üzerine pildeki termal

kaçaktan dolayı patlayarak kullanıcının yüzünde yanıklar oluşturmuştur. Bunun üzerine piller toplatılmıştır ve ardından çalışmalar devam etmiştir.

Lityum iyon bataryalar: İlk lityum iyon pili Sony'nin ticarileştirmesiyle piyasaya girmiştir. Bugün piyasadaki en umut verici ve en hızlı büyüyen pil haline geldi. Gerilim ve akım sınırlarına uyulması koşuluyla lityum iyon pili güvenlidir.

Üstün spesifik enerjiye sahip olan Li-ion pillerin 3,60V'luk yüksek hücre geriliminin bulunması en büyük avantajlarından. Aktif maddelerdeki ve elektrolitlerdeki gelişmeler enerji yoğunluğunu daha da artırma potansiyeli üzerinedir. Düz deşarj eğrisi bulunmaktadır.

Günümüzde yüksek enerjili yoğun 18650 hücre 3.000 mAh'den fazla enerji sağlar ve maliyeti daha da düşmüştür. Maliyetin düşmesi, özgül enerjinin artması ve içerisinde toksik maddenin olmaması; taşınabilir uygulamalarda, ağır sanayide, elektrikli aktarma organlarında ve uydularda Li-ion'un kullanılmasında yaygınlaşmasını sağlamıştır. Standart bir kilogramlık Lityum iyon pili içerisinde 150 Wh enerji depolamak mümkündür. Lityum-iyon piller hiç kullanılmadan bir ay beklediği durumda sahip oldukları enerjinin %5'ini kaybederler [27].

Li-ion pili bakım gerektirmeyen bir pildir. Pilin hafızası olmadığından iyi durumda kalması için tam deşarja ihtiyacı yoktur. Kendiliğinden boşalma, nikel bazlı pillerden daha azdır ve bu yakıt ölçer uygulamalarına yardımcı olur. 3.60V'luk nominal hücre gerilimi, cep telefonlarını, tabletleri ve dijital kameraları doğrudan güçlendirebilir ve çok hücreli tasarımlar üzerinde basitleştirmeler ve maliyet indirimleri sunar. Dezavantajları, yüksek fiyatın yanı sıra istismarı önlemek için koruma devrelerine duyulan ihtiyaçtır [25].

Avantajları;

- Toksik madde içermemesi,
- Yüksek enerji yoğunluğu,
- Geri dönüşümünün sağlanabilmesi,
- Geniş çalışma sıcaklığı aralığı,
- Hafıza etkisinin olmaması,
- Uzun pil ömrü,

- Yüksek spesifik enerji,
- Yüksek enerji verimi,
- Çabuk şarj edilebilme kabiliyeti,
- Kapalı hücre olduğundan bakım gerektirmemesi,
- Yüksek güçlü deşarj kabiliyeti,
- Çoğu pile göre hafif oluşu,
- Güvenlidir.

Dezavantajları;

- Fiyatı,
- Koruyucu devre ihtiyacının oluşu,
- Aşırı şarj sonucunda kapasite kaybı veya termal bozunmaya uğramasıdır.

Lityum iyon pillerin çeşitlerinden bazıları; lityum kobalt oksit (LiCoO_2), lityum mangan oksit (LiMn_2O_4), lityum nikel mangan kobalt oksit (NMC), lityum demir fosfat (LiFePO_4), lityum nikel kobalt alüminyum oksit (LiNiCoAlO_2), lityum titanat ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$) olarak sayılabilir [26]. Tablo 2.3, Tablo 2.4, Tablo 2.5, Tablo 2.6, Tablo 2.7, Tablo 2.8’de Lityum iyon pillerinden bazılarının özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.3. Lityum kobalt oksidin özellikleri [26]

Lityum Kobalt Oksit: LiCoO_2 İlk kullanılış tarihi: 1991	
Voltaj	3,60V nominal, Tipik çalışma aralığı 3,0-4,2V / hücre
Özgül enerji (kapasite)	50-200Wh/kg (Özel hücreler 240Wh/kg'a kadar çıkabilirler.)
Şarj (C oranı)	0,7-1C, 4,20V'a şarj eder (çoğu hücre); Şarj tipi:3 saat.
Deşarj (C oranı)	1C; 2,50V ile kesilir.
Çevrim ömrü	500-1000, deşarj derinliği, yük, sıcaklık ile ilgili
Termal kaçak	150°C (302°F). (Tam şarj, termal kaçağa teşvik eder.)
Uygulamalar	<ul style="list-style-type: none"> • Cep telefonları, • Tabletler, • Dizüstü bilgisayarlar, • Kameralar
Yorumlar	<ul style="list-style-type: none"> • Çok yüksek spesifik enerji, • Sınırlı spesifik güç • Kobaltın pahalı olması, • Enerji hücresi olarak kullanılması, • Pazarpayının istikrara kavuşması

Tablo 2.4. Lityum manganez oksidin özellikleri [26]

Lityum Manganez Oksit: LiMn_2O_4 İlk kullanılış tarihi: 1996	
Voltaj	3,70V (3,80V) nominal; Tipik çalışma aralığı 3,0-4,2V / hücre
Özgül enerji (kapasite)	100-150Wh / kg
Şarj (C oranı)	0,7-1C tipik, Maksimum 3C, 4,20V'a şarj eder (çoğu hücre)
Deşarj (C oranı)	1C; 10C bazı hücreler ile mümkündür, 30C darbe (5s), 2.50V kesme
Çevrim ömrü	300-700 (deşarj derinliği, sıcaklık ile ilgili).
Termal kaçak	Normal 250°C (482°F). (Yüksek yük, termal kaçağa teşvik eder)
Uygulamalar	<ul style="list-style-type: none"> • Elektrikli el aletleri, • Tıbbi cihazlar, • Elektrikli güç aktarma organları.
Yorumlar	<ul style="list-style-type: none"> • Yüksek güç ancak daha az kapasitesi vardır, • Li-kobalttan daha güvenli.

Tablo 2.5. Lityum nikel manganez kobalt oksidin özellikleri [26]

Lityum Nikel Manganez Kobalt Oksit: LiNiMnCoO_2 İlk kullanılma tarihi:2008	
Voltaj	3,60V, 3,70V nominal, Tipik çalışma aralığı 3,0-4,2V / hücre veya daha yüksek
Özgül enerji (kapasite)	150-220Wh / kg
Şarj (C oranı)	0,7-1C, 4,20V'a şarj eder, bazıları 4,30V'a geçer Şarj tipi:3 saat.
Deşarj (C oranı)	1C; 2C bazı hücrelerde mümkündür; 2,50V 'da kesilir.
Çevrim ömrü	1000-2000 (deşarj derinliği, sıcaklık ile ilgili)
Termal kaçak	210°C (410°F) tipik. Yüksek yük, termal kaçağa teşvik eder
Uygulamalar	<ul style="list-style-type: none"> • E-motosikletler, • Tıbbi cihazlar, • Elektrikli ev aletleri, • Endüstriyel
Yorumlar	<ul style="list-style-type: none"> • Yüksek kapasite ve yüksek güç sağlar. • Hibrit hücre görevi görür. • Birçok kullanım için en sevilen kimyadır. • Pazar payı artmaktadır.

Tablo 2.6. Lityum demir fosfatın özellikleri [26]

Lityum Demir Fosfat: LiFePO_4 İlk kullanılma tarihi: 1996	
Voltaj	3,20, 3,30V nominal; Tipik çalışma aralığı 2,5-3,65V / hücre
Özgül enerji (kapasite)	90-120Wh / kg
Şarj (C oranı)	1C tipiktir, 3,65V'a şarj eder; 3 saat şarj süresi tipik
Deşarj (C oranı)	1C, 25C; 40A darbe (2s); 2,50V kesme değeri(2V değerinin daha düşük olması hasara neden olur)
Çevrim ömrü	1000-2000 (deşarj derinliği, sıcaklık ile ilgili)
Termal kaçak	270°C (518°F) (Tamamen şarj edilmiş olsa bile çok güvenli bir pil)
Uygulamalar	<ul style="list-style-type: none"> • Taşınabilir ve sabit, yüksek yük akımlarının ve dayanıklılığın ihtiyaç duyar
Yorumlar	<ul style="list-style-type: none"> • Çok düz voltaj deşarj eğrisine sahiptir, • Düşük kapasite, • En güvenli Li-iyonlarından biridir, • Özel pazarlar için kullanılır, • Kendinden deşarjı fazladır.

Tablo 2.7. Lityum nikel kobalt alüminyum oksidin özellikleri [26]

Lityum Nikel Kobalt Alüminyum Oksit: LiNiCoAlO_2 İlk kullanılma tarihi: 1999	
Voltajlar	3,60V nominal, Tipik çalışma aralığı 3,0-4,2V / hücre
Özgül enerji (kapasite)	200-260Wh / kg; 300Wh / kg öngörülebilir
Şarj (C oranı)	0,7C, 4,20V'a şarj eder (çoğu hücre), Şarj tipi: 3 saat (Bazı hücrelerle hızlı şarj mümkündür.)
Deşarj (C oranı)	1C tipik; 3,00V kesme; Yüksek deşarj oranı pil ömrünü kısaltır
Çevrim ömrü	500 (deşarj derinliği, sıcaklık ile ilgili)
Termal kaçak	150°C (302°F) (Yüksek yük, termal kaçağa teşvik eder.)
Uygulamalar	<ul style="list-style-type: none"> • Tıbbi aygıtlar, • Endüstriyel elektrik iletme organları (Tesla)
Yorumlar	<ul style="list-style-type: none"> • Li-kobalt ile benzerlik taşıyor. • Enerji Hücresi olarak hizmet eder.

Tablo 2.8. Lityum manganez oksidin özellikleri [26]

Lityum Titanat: Lityum manganez oksit: $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ (titanat) İlk kullanılma tarihi: 2008	
Voltaj	2,40V nominal, 1,8-2,85V / hücre tipik çalışma aralığı
Özgül enerji (kapasite)	50-80Wh / kg
Şarj (C-oranı)	1C tipik; 5C maksimum, 2,85V'a şarj
Deşarj (C oranı)	10C mümkün, 30C 5s darbe; 1,80V kesme
Çevrim ömrü	3.000-7.000
Termal kaçak	Güvenli Li-ion pillerden biri
Uygulamalar	<ul style="list-style-type: none">• UPS,• Elektrikli aktarma organları (Mitsubishi i-MiEV, Honda Fit EV),• Güneş enerjili sokak aydınlatması
Yorumlar	<ul style="list-style-type: none">• Uzun ömürlü,• Hızlı şarjlı,• Geniş sıcaklık aralığında çalışır ancak düşük spesifik enerji ve pahalıdır,• En güvenli Li-ion piller arasındadır.

Lityum polimer bataryalar: Polimer terimi, polimer esaslı olabilen veya olmayabilen belirli tipte lityum bazlı pilleri tanımlamak için sıklıkla kullanılır. Bunlar tipik olarak kese ve prizmatik hücreleri içerir. "Polimer" sözcüğü plastik olarak algılanırken, polimerler sentetik plastiklerden doğal biyopolimerlere ve temel biyolojik yapıları oluşturan proteinlere kadar uzanır.

Lityum-polimerlerde kullanılan elektrolit türü diğer pil sistemlerinden farklıdır. Bu piller orijinal polimer tasarımı plastik benzeri bir filmi andıran katı (kuru) bir polimer elektrolit bulundurur. Bu yalıtkan, iyonların (elektrik yüklü atomlar) değişimine izin verir ve elektrolit ile ıslatılmış geleneksel gözenekli ayırıcıyı değiştirir.

Katı bir polimer oda sıcaklığında düşük iletkenliğe sahiptir ve akünün akımını sağlamak için akünün 60°C'ye (140°F) kadar ısıtılması gerekir. 2000'li yılların başında vaat edilen "gerçek plastik pil" in çok fazla beklenen ortam sıcaklığında iletkenliğe ulaşamadığı için iyileştirmeler devamlılığını sürdürmüştür.

Modern Li-polimer pilini oda sıcaklığında iletken hale getirmek için, jel elektrolit eklenmiştir. Çoğu Li-iyon polimer hücresi günümüzde nemli mikro gözenekli bir ayırıcı içerir. Li-polimer, Li-kobalt, Li-fosfat ve Li-manganez gibi birçok sistem

üzerine kurulabilir. Li-polimer paketlerinin çoğunluğu kobalt bazlıdır; diğer aktif maddeler de eklenebilir.

Jelleştirilmiş elektrolit eklendiğinde, normal bir Li iyonu ve Li polimer arasındaki farklar; kullanıcı açısından, lityum polimeri asıl olarak lityum iyonu ile aynıdır. Her iki sistem de aynı katot ve anot materyalini kullanır ve benzer miktarda elektrolit içerir.

Li-polimer, geleneksel gözenekli ayırıcıya mikro gözenekli bir elektrolitin yerini alması bakımından eşsizdir. Li-polimer biraz daha yüksek spesifik enerji sunar ve geleneksel Li-ion'dan daha ince yapılabilir, ancak üretim maliyetinin silindirik tasarımdan daha yüksektir.

Li-polimer hücreler bir gıda paketine benzeyen esnek folyo tipi bir kutu içinde üretilirler. Standart bir Li-ion, elektrotları birbirine sıkıştırmak için sağlam bir kutuya ihtiyaç duysa da, Li-polimer kompresyona ihtiyaç duymayan laminasyonlu (yüzey koruyucu malzeme) tabakalar kullanır. İnce film teknolojisi, tasarımı şık cep telefonlarına ve tablete düzgün biçimde sığan herhangi bir şekle dönüştürülebileceği için tasarımı özgürleştiriyor. Li-polimer de bir kredi kartına benzeyen ince bir tabaka şeklinde üretilerek telefonlarda çok tercih edilen pil türüdür. Hafiflik ve yüksek spesifik güç Li-polymer'i hobi severler için tercih edilen bir seçenek haline getirir.

Li-polimerin şarj ve deşarj özellikleri diğer Li-ion sistemleri ile aynıdır ve özel bir şarj cihazı gerektirmez. Güvenlik önlemleri, koruma devrelerine ihtiyaç duyulması bakımından da benzerdir. Yükleme sırasında gaz birikmesi, bazı prizmatik ve kese hücrelerinin şişmesine ve ekipman üreticilerinin genleşme için bir miktar pay bırakmalarına neden olabilir. Bir folyo paketindeki Li-polimer, silindirik ambalaj içindeki Li-ion'dan daha az dayanıklı olabilir.

Avantajları;

- Ultra ince: kredi kartında monte edilebilir,
- Esnek keskinlik: üreticinin standart keskinliğe kadar sınırlaması gerekmez, sığacak şekilde farklı boyutlarda olabilir.
- Hafif: polimer lityum pil, pakette metal kutuya ihtiyaç duymaz,
- Güvenlik faktörünü geliştirmiştir,

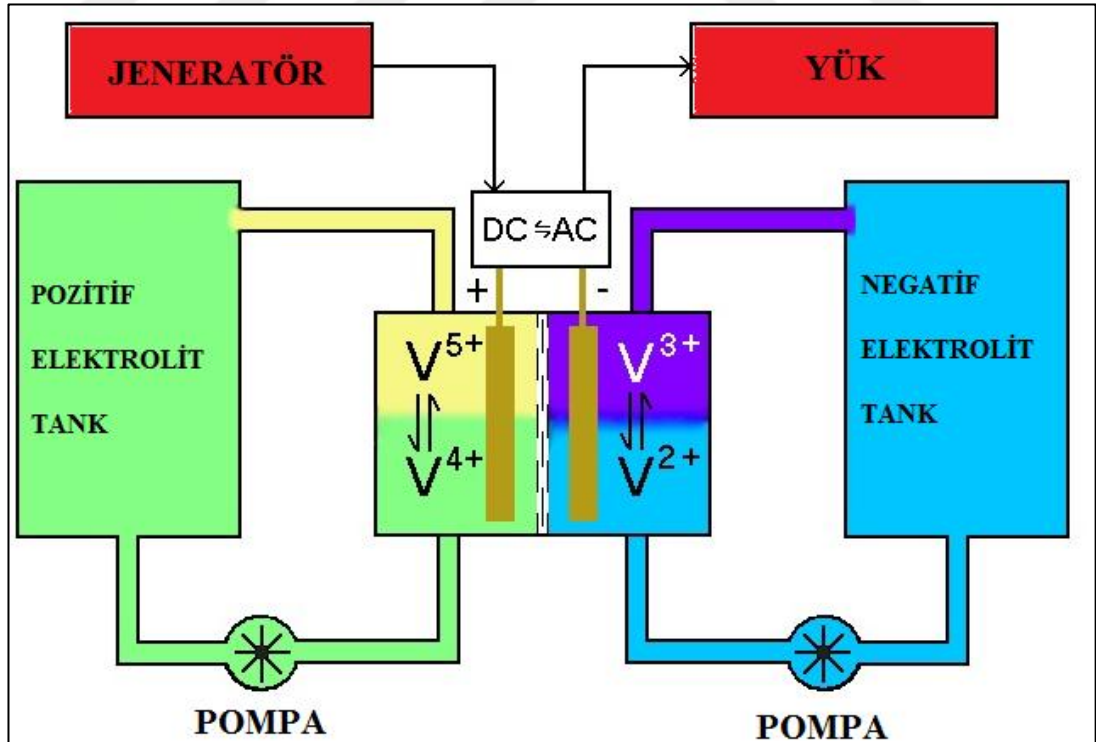
- Aşırı şarjda daha kararlı,
- Sızdırma oranı düşüktür.

Dezavantajları;

- Çevrim ömrü lityum iyon pile göre daha kısadır,
- Üretim maliyeti lityum iyon pile oranla daha yüksektir,
- Çoğu yüksek kapasiteli tüketim pazarlarında tercih edilir.

2.2.2.5. Vanadyum redoks bataryalar

Dört farklı oksidasyon hali olan bir metal olan vanadyumun doğal özelliklerinden yararlanarak çalışırlar. Ancak, metali katı bir halde kullanmaktan ziyade, her iki yarım hücrede vanadyum elektrolit (sıvı çözelti) kullanılır ve konfigürasyon bir proton değişim membranı ile bölünür. Genellikle, vanadyum elektrolit ile doldurulmuş masif tanklar bağlanır ve çözeltiyi şarj etmek veya deşarj etmek için yüksek hacimlerde pompalamaktadır. Şekil 2.1’de vanadyum redoks hücreleri bulunmaktadır.



Şekil 2.1. Vanadyum redoks hücreleri

Avantajları;

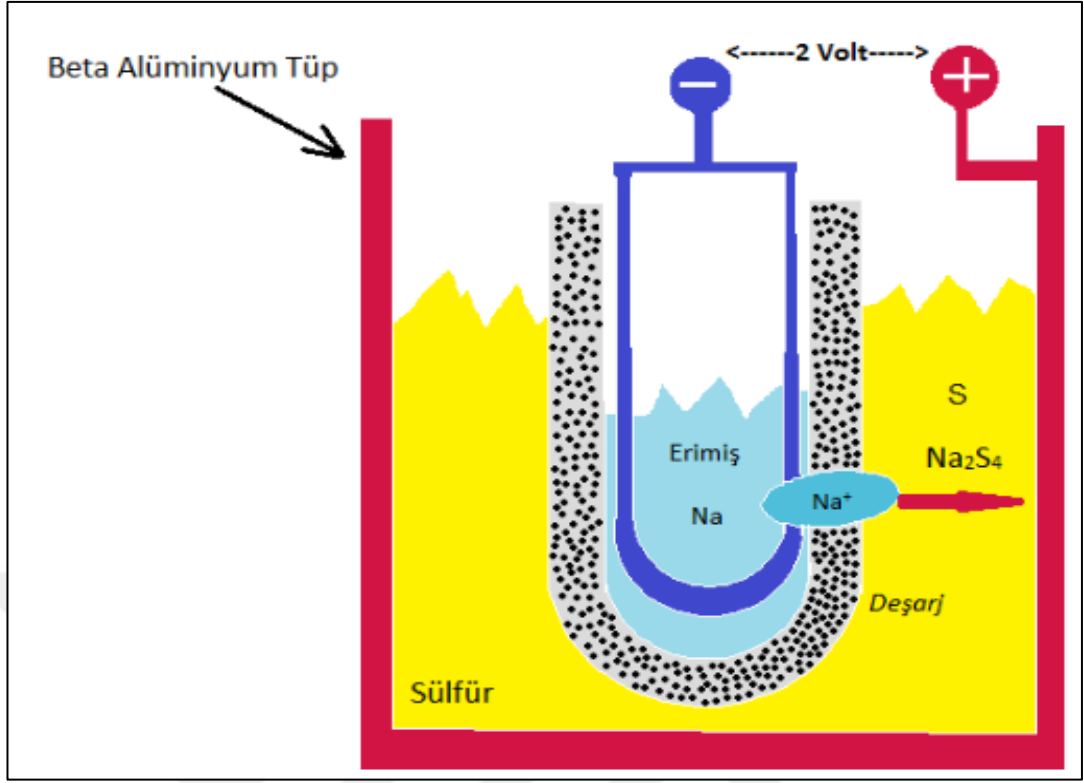
- 20-25 yıl ömrü (katod ve anod vanadyum olduğu için çapraz bulaşma olmaz)
- İçerdiği vanadyum elektrolit% 100 yeniden kullanılabilir ve geri dönüştürülebilir
- Enerji süresiz olarak tutar (Isıl kaçak yok)
- Aşırı ısınma ya da yangın veya patlama ihtimali (En yüksek güvenlik derecesi)
- Ölçeklenebilir (çok megawatt / gigawatt depolama kapasitesi)
- İsteğe bağlı enerji
- Yüksek enerji dönüşüm verimliliği (Yenilenebilir enerji depolamak için en iyisi)
- Basit yönetim ve bakım (küçük pil hücreleri yok!)
- Çoğu iklim için uygun en iyi sıcaklık aralığı

Vanadyum redoks bataryalar yük dengeleme, mikro ızgaralar, rüzgar ve güneş enerjisi, şebekeden bağımsız güç kaynakları ve kesintisiz güç kaynakları gibi çeşitli enerji depolama uygulamalarında kullanılabilir.

2.2.2.6. Sodyum sülfür bataryalar

Sodyum-kükürt (Na-S) piller, 1970'lerde tanıtılan, yüksek sıcaklıkta eriyen bir metal pil türüdür. Bunlar, sodyum beta pilleri olarak bilinen pil ailelerine aittir; negatif elektrot sıvı sodyumdan yapılırken beta-alüminyum katı bir seramik malzeme (bir alüminyum oksit türü) elektrolit olarak işlev görür.

Bir sodyum-kükürt bataryasında, pozitif elektrot eriyik-kükürtten yapılır. Elektrotların erimiş halde tutulabilmesi ve sodyum iyonlarının elektrolitten geçirilerek-kükürt ile birleşmesi için reaksiyon mekanizmasının etkinleştirilebilmesi ve bu pillerin 300°C'lik yüksek bir sıcaklıkta çalıştırılması, ayrıca düzenlenmesi gerekir. Eğer piller soğutulursa, bir kimyasal reaksiyon oluşamayacağı için kendinden deşarj önemsiz hale gelir. Çalışma sırasında yüksek sıcaklığın korunması işlemi yüksek akım iletiminden doğal ısıtma etkisini elde ederek kolayca elde edilir [29]. Şekil 2.2 sodyum sülfür pilini göstermektedir.



Şekil 2.2. Voltluk sodyum-sülfür pili

Avantajlar:

- Na-S piller, tipik olarak% 75-90 aralığında yüksek devir verimliliğine sahip olabilir [30],
- Enerji yoğunluğu yüksektir,
- Uzun süreli dayanıklılık sergilerler,
- Sürekli güç değerinin altı katını aşan bir darbe gücü kapasitesine sahiptir,
- Na-S pillerinde farklı deşarj derinliği ömrü aşırı derecede etkilemez,
- Düşük bakım gereksinimleri vardır [31].

Dezavantajlar:

- Büyük ölçekli pil kullanımı zordur,
- Toplam hücre güvenilirliğine sahip elektrik ağı ile birlikte termal yönetim ve güvenlik durumu gelişmemiştir [31].

Sodyum sülfür bataryaların şu anda ticari imalatı; dünya genelinde Na-S pilinin en büyük üretici firması olan Japon şirketi tarafından 2011'in Ekim ayından itibaren bir yangın dolayısıyla durdurulmuştur [32].

Sodyum, su ile temasta yanar veya patlar nemden korunması kritik önem taşır. Bu özellik, yüksek çalışma sıcaklığı ve yangın olaylarıyla birleşince, olumsuz bir genel imaja neden olur ve bu da teknolojik olarak ele alınması gereken önemli bir konudur [32]. Tablo 2.9’ da sodyum sülfürün özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.9. Sodyum sülfürün özellikleri [33]

Güç Aralığı	0,5-50 MW
Enerji Aralığı	350 MWh’a kadar
Boşaltma Süresi	6-7 h
Çevrim Ömrü	<15 yıl
Verim	75 - 85 %
Enerji (güç) yoğunluğu	100 - 120 Wh/kg

2.3. Batarya Performansını ve Karakterini Etkileyen Temel Terimler

Pillerin performanslarını karakterize etmek için çeşitli terimler tanımlanmıştır:

- Hücre, Modül ve Paket: Tek bir hücre, iki geçerli uç ile komple, ayrı bölme tutma elektrotları, ayırıcı ve elektrolit ile bir bataryadır. Bir modül fiziksel parça ile veya aralarında kaynak yaparak birkaç hücreden oluşur. Hücreler; bir paket pil modülleri içerir ve tek bir kutuya yerleştirilir.
- Amper-saat Kapasite: Amper-saat (Ah) kapasitesi, belirtilen koşullar altında tamamen şarj edilmiş bir bataryadan boşaltılabilen toplam şarjdır. Nominal kapasitesi, tam şarjlı yeni akünün, üretici tarafından önceden belirlenen koşullar altında nominal kapasitesidir. Nominal bir koşul, örneğin, 20°C ve 1/20 C-oranında deşarj olarak tanımlanabilir. İnsanlar ayrıca bir pil kapasitesini temsil etmek için Wh (veya kWh) kapasitesini kullanırlar.
- Nominal C-oranı: bir şarj veya deşarj oranına eşittir. Bir bataryanın bir saatte ki kapasitesidir.
- Spesifik enerji: Gravimetrik enerji yoğunluğu olarak da adlandırılan özgül enerji, bir pilin birim kütle başına ne kadar enerji depolayabileceğini tanımlar.
- Özgül güç: Bir pilin gravimetrik güç yoğunluğu olarak da adlandırılan özgül güç, birim kütle başına en yüksek güçtür.
- Enerji yoğunluğu: Hacimsel enerji yoğunluğu olarak da adlandırılan enerji yoğunluğu, birim hacim başına nominal pil enerjisidir (Wh / l).
- Güç Yoğunluğu: Güç yoğunluğu, bir pilin birim hacmi başına düşen güçtür (W/l).

- İç direnç: Dahili direnç, batarya içindeki genel eşdeğer direncidir. Şarj ve deşarj için farklıdır ve çalışma durumu değıştikçe değışebilir.
- Zirve gücü: ABD Gelişmiş Pil Konsorsiyumu'nun (USABC) tanımına göre, en yüksek güçtür.
- Kesme Gerilimi: Üretici tarafından tanımlanan izin verilen minimum voltajdır. Pilin “boş” durumu olarak yorumlanabilir.
- Şarj durumu (SOC): Bataryanın kalan kapasitesi olarak tanımlanır. Yük akımı ve sıcaklık gibi çalışma koşullarından etkilenir.
- Deşarj Derinliği (DOD): Boşaltılan toplam pil kapasitesinin yüzdesini belirtmek için kullanılır.
- Sağlık Durumu (SOH): Eski bir bataryanın maksimum şarj kapasitesinin batarya yeni olduğunda maksimum şarj kapasitesine oranı olarak tanımlanabilir.
- Çevrim Ömrü (döngü sayısı): Belirli performans kriterlerini yerine getirmeden önce pilin belirli bir DOD'da (normalde% 80) idare edebileceği boşalma - şarj döngüleri sayısıdır.
- Takvim Ömrü: Pilin depolama veya periyodik çevrim koşulları altında beklenen ömrüdür.
- Pil Geri Dönüşümü: Akü ters voltajı, negatif voltajın altında çalışmak zorunda kaldığında (pozitif elektrodun voltajı negatif elektrottakinden daha düşük olduğunda) gerçekleşir.
- Pil Yönetim Sistemi (BMS): Batarya paketinin SOC ve SOH tahmininden maksimum şarj / deşarj akımına ve süresine karar vermek için tasarlanmış yazılım algoritmaları ile sensörler, kontrolör, iletişim ve hesaplama donanımının birleşimidir.
- Termal Yönetim Sistemi (TMS): Pil takımını aşırı ısınmadan korumak ve takvim ömrünü uzatmak için tasarlanmıştır.

2.4. Enerji Depolama Teknolojilerinin Karşılaştırılması

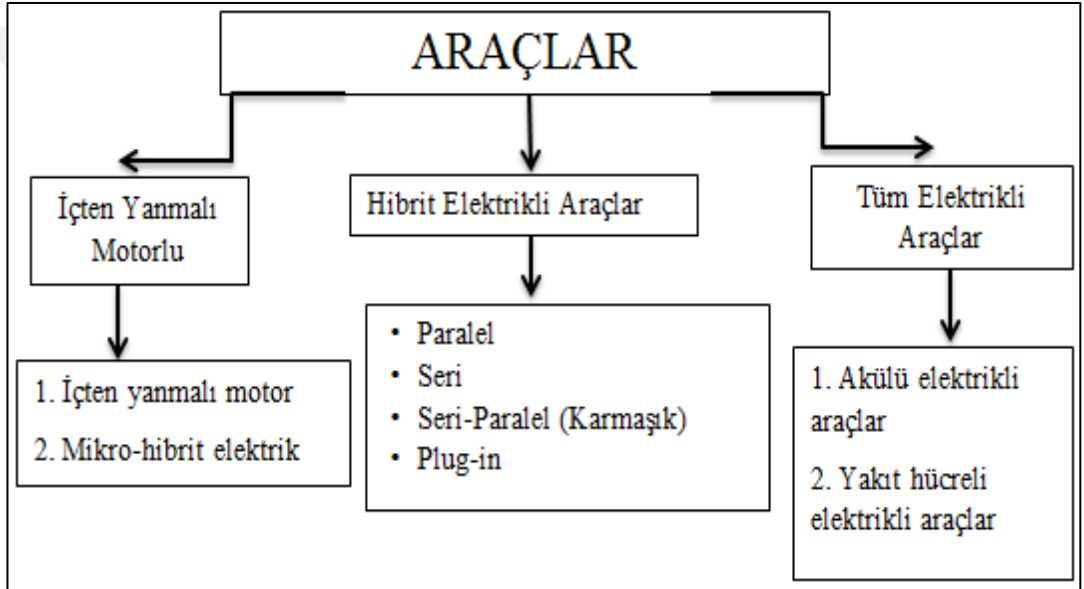
Tablo 2.10'da bazı enerji depolama sistemlerinin maliyet, performans karakteristiklerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Ultrakapasitör, volan ve bazı batarya çeşitleri olan enerji depolama sistemleri başlıca değerlendirilmiştir.

Tablo 2.10. Enerji depolama sistemlerinin maliyet, performans ve karakteristiklerinin karşılaştırılması [34, 35]

Teknoloji	Güç Maliyeti \$/KW	Enerji Depolama Maliyeti \$ / KW h	Verimlilik %	Çevrim	Yorumlar
Gelişmiş kurşun-asit piller (2000 çevrim ömrü)	400	330	80	2000	<ul style="list-style-type: none"> • Düşük maliyet, • Az bakım ihtiyacı, • Kısa dönemli uygulamalar
Sodyum-Sülfür Piller	350	350	75	3000	<ul style="list-style-type: none"> • Güç kalitesi • Yüksek sıcaklıkta hassasslık
Çinko-brom piller	400	400	70	3000	<ul style="list-style-type: none"> • Son derece ölçeklenebilir, • Orta ve uzun vadeli uygulamalar
Vanadyum Redoks Piller	400	600	65	5000	<ul style="list-style-type: none"> • Son derece ölçeklenebilir, • Düşük maliyetli, • Orta ve uzun vadeli uygulamalar
Lityum-iyon piller (büyük)	400	600	85	4000	<ul style="list-style-type: none"> • Düşük maliyet, • Kısa süreli uygulamalar, • Hızlı yanıt
Volanlar	600	1600	95	25000	<ul style="list-style-type: none"> • Çok Yüksek Verim • Yüksek Başlangıç Maliyeti • Ticari Başarı • Büyük Boyut • Kısa Süreli Depolama
Ultrakapasitörler	500	10000	95	25000	<ul style="list-style-type: none"> • Uzun Devirli Ömür • Kısa Süreli Depolama • Sınırlı Güç Aralığı • Alçak Ses

3. HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

İnsanoğlu yaşamı boyunca hayatını kolaylaştırmak için icatlar yapmıştır. Bu icatların en başında ulaşım için olan buluşlar vardır. Ulaşım için kullanılacak araçlar gün geçtikçe ihtiyaca göre kendini değiştirmekte ve geliştirmektedir. Araçların bu gelişimi ile farklı tipte sınıflandırmalar olmuştur (Şekil 3.1). Bu tezde hibrit elektrikli araçların çeşitlerinde ve depolama yöntemlerinden bahsedilmiştir.



Şekil 3.1. Araçların sınıflandırılması [15]

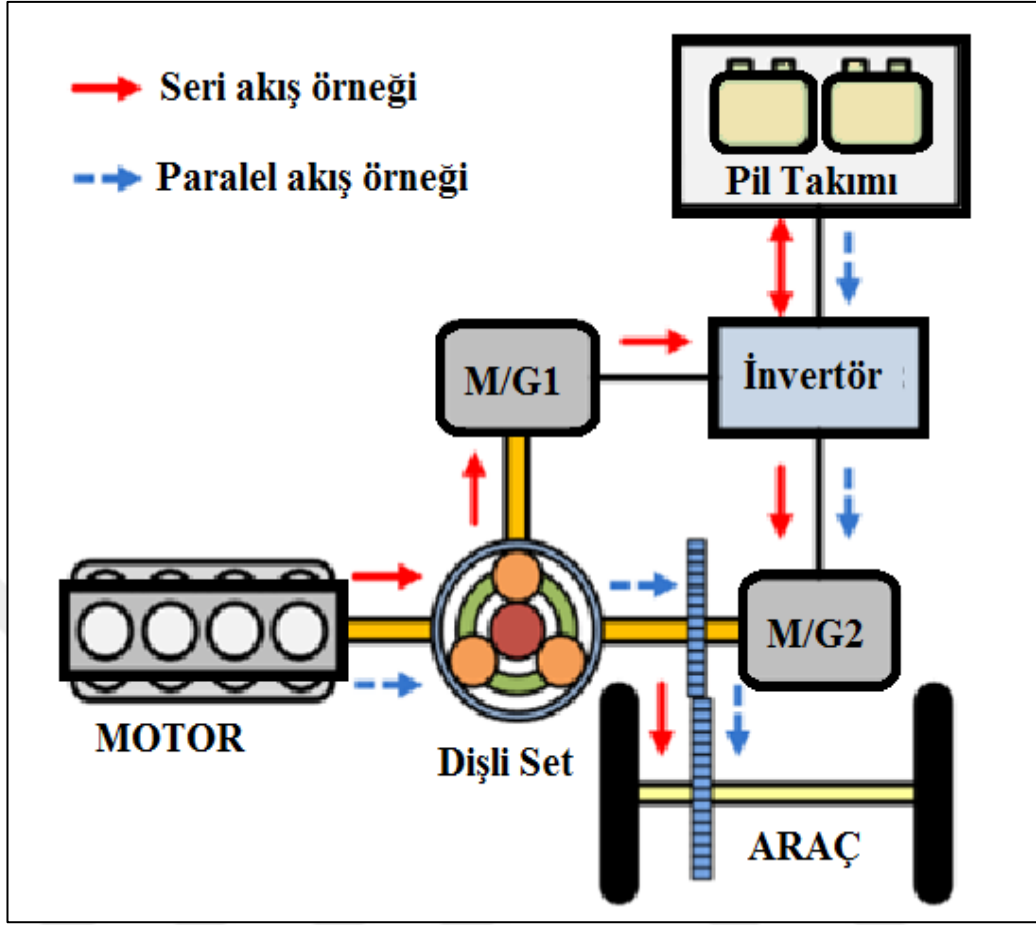
2010 yılı itibarıyla, otomotiv endüstrisinin ihtiyaç duyduğu iyileştirme; tüketicilerin daha fazla yakıt verimliliği ve daha düşük emisyonla sahip araç talebi olmuştur. Bu talep, 1970'lerin başında Arap Petrol Ambargosu (Tarih Bölümü ABD Ofisi) ve 1975 yılında Amerika Birleşik Devletleri Kurumsal Ortalama Yakıt Ekonomisi (CAFE) yönetmeliklerinin ortaya çıkmasıyla başladı (Ulusal Karayolu ve Trafik Güvenliği Yönetimi, 2010). Bu eğilim 1990'da California Hava Kaynakları Kurulu (California Air Resources Board - CARB) ile California'da satılan araçların bir bölümünün sıfır emisyonlu araç olması takip etti (Westbrook, 2001). Her üretici, benzin tasarruf talebine yanıt vermiştir. General Motors, EV1 ile 1996 yılında bu tasarrufa yanıt vererek 1921'de Baker Electric'ten bu yana ilk elektrikli otomobil yapımına başladı (Westbrook, 2001). GM'in yakıt verimliliğini arttırmaya yönelik en son araştırma

çabaları, 'Volt' (General Motors Canada, 2010) adlı bir gaz elektrik serisi hibrit ve homojen yük sıkıştırılmalı ateşleme motorları (Abuelsamid, 2007) olmak üzere iki modlu hibrit sistemleri (Sherman, 2009) olmuştur. Toyota, ilk kitle pazarı paralel hibrid araç olan Prius'u 1997'de Kuzey Amerika'da piyasaya sundu (Westbrook, 2001). Ford Focus'un pil destekli versiyonu ise 2011'de piyasada gösterildi (Patrascu, 2010). Yakıt verimliliği konusundaki ilgi, gaz elektriği hibritleri gibi kısmen elektrikli tahrik trenleriyle başlayan ve tamamen elektrik tahrikine doğru ilerleyen elektrikli araçlara doğru hızlanan bir kayda işaret ediyor. Bu değişim, teknik zorluklara ev sahipliği yapmaktadır; bunlardan en önemlisi, uzun mesafelerde tahrik için elektrik enerjisinin güvenilir, sağlam ve pratik bir şekilde depolanmasıdır. Çeşitli yakıt hücreleri veya piller gibi taşınabilir elektrik depolama kaynağı bulunmaktadır. Önemli bir zorluk, yeterli elektrik depolama aralığı için yeterli enerji depolaması ile hızlanma (ve yavaşlama) performansı için yeterli güç kapasitesi arasındaki dengedir. Enerji depolama problemlerine birçok cevaptan biri, her birinin faydalarından yararlanmak için iki farklı depolama aygıtını birleştirmektir; bir hibrid enerji depolama cihazı. Bu tezde hibrit elektrik enerjisi saklama tekniğinin, etkilerinin ele alındığı bir dizi teknik ve değerlendirme gereklilikleri ortaya koyulmaktadır.

3.1. Hibrit Elektrik Araçların Konsepti

Hibrit elektrikli araçların genellikle aşağıdaki özellikleri vardır:

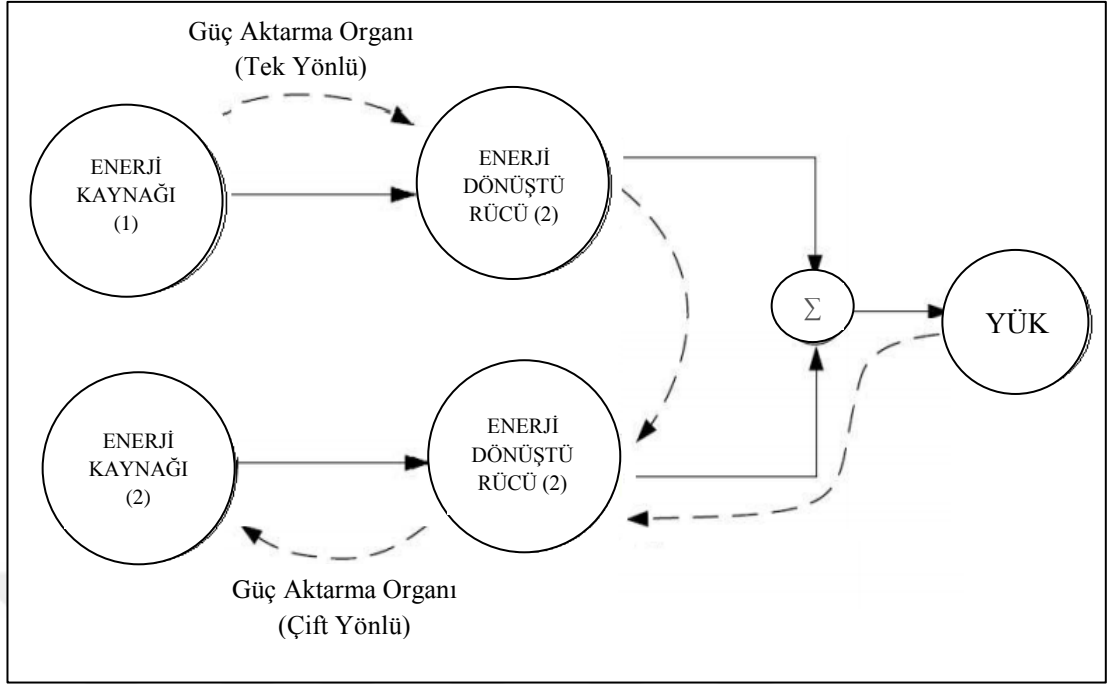
- Otomatik başlatma / otomatik kapanma; Boşta enerji harcanmasını önlemek için, hibrit elektrikli bir motorun motoru otomatik olarak kapanır ve gaz pedalına dokunulduğunda başlar.
- Rejeneratif frenleme; Hibrit elektrikli araçların göze çarpan özelliklerinden biri olarak düşünülürse, frenleme sırasında boşa harcanan enerji çevrilir ve elektrik motoru tarafından kullanılan aküde saklanır.
- Elektrikli motor yardımcısı; Geçiş, hızlanma veya tepeden yukarıya doğru motora yardım ederek elektrik motoru, motorun daha az güç harcamasını ve doğada daha verimli olmasını sağlar [35]. Şekil 3.2'de hibrit elektrikli araç modeli gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Hibrit elektrikli araç modeli

Hibrit elektrikli araçlar için iki güç kaynağının 9 farklı biçimde yük gereksinimlerini karşılaması mümkündür (Şekil 3.3):

- Güç kaynağı 1'in tek başına yükü beslemesi,
- Güç kaynağı 2'nin tek başına yükü beslemesi,
- 1 ve 2 numaralı güç kaynağının birlikte yükü beslemesi,
- 2 numaralı güç kaynağının yükten geri beslenmesi (geri kazanımlı frenleme),
- 2 numaralı güç kaynağının, 1 numaralı güç kaynağından beslenmesi,
- 2 numaralı güç kaynağının, 1 numaralı güç kaynağından ve yükten birlikte beslenmesi,
- 1 numaralı güç kaynağının yükü ve 2 numaralı güç kaynağını birlikte beslemesi,
- 1 numaralı güç kaynağının 2 numaralı güç kaynağını beslemesi ve yükün 2 numaralı kaynaktan beslenmesi,
- 1 numaralı güç kaynağının yükü beslemesi ve yükün 2 numaralı güç kaynağına güç aktarması



Şekil 3.3. Hibrit elektrikli araç konsepti

3.2. Rejeneratif Frenleme

Emilen kinetik enerjiyi alıp daha sonra kullanmak üzere potansiyel enerjiye dönüşebilecek bir fren fikri 1800'li yılların sonlarından beri var olmuştur. Bu teknolojinin ilk girişimlerinden bazıları, ön tekerlekten çekişli bisikletlere veya atlı kabinlere yaylı rejeneratif frenleme sistemi takmaktı [38,39].

Bakü-Tiflis-Batum demiryolu 1930'lu yılların başında rejeneratif frenleme sistemi uygulamasına başladı, bu demiryolu sisteminde bu teknolojinin erken kullanımının bir örneğidir [39].

1950'lerde İsviçre şirketi Oerlikon, volanını enerji depolama yöntemi olarak kullanan robotu geliştirdi [40].

1967'de Amerikan Motor Araba Şirketi (AMC), konsept elektrikli otomobilleri AMC Amitron için elektrik enerjisi rejenerasyon frenini yarattı. Toyota, Prius serisi hibrid otomobillerinde RBS teknolojisini ticarileştiren ilk otomobil üreticisidir [39].

O zamandan beri Rejeneratif frenleme sistemleri, hemen hemen tüm elektrikli ve hibrid otomobillerin yanı sıra bazı gazla çalışan araçlarda kullanılmak üzere geliştirildi.

Rejeneratif frenleme sistemleri (RBS), aracı yavaşlatmak ve yakıt verimliliğini artırmak için hareket halindeki bir nesnenin kinetik enerjisini potansiyel veya depolanmış enerjiye aktaran bir tür kinetik enerji geri kazanım sistemidir [38]. Bu sistemlere kinetik enerji geri kazanım sistemleri denir. Rejeneratif frenleme sistemleri volan, elektromanyetik ve hidrolik olmak üzere birden fazla enerji dönüştürme yöntemi vardır. Daha yakın zamanlarda, bir elektromanyetik-volan hibrid rejeneratif frenleme sistemleride ortaya çıktı. Her bir rejeneratif frenleme sistemi türü, farklı verimlilik ve uygulamalar sağlayan farklı bir enerji dönüşümü veya depolama yöntemi kullanır.

Rejeneratif frenleme sistemleri tahrik tekerleği boyunca monte edilir veya mekanik tork kullanarak tekerleklerin hareketini engelleyen bir aracın tahrik tekerleklerine takılır. Bu hareket engelleme yöntemleri, enerjiyi termal enerjiye çevirerek aracı yavaşlatmak için basitçe enerjiyi boşa harcayan sürtünme frenlerine kıyasla enerjinin frenleme altında üretilmesini sağlar. Enerji depolama mekanizmalarının maksimum şarj hızı nedeniyle bir rejeneratif frenleme sistemlerinden frenleme kuvveti sınırlandırılmıştır. Bu nedenle, ağır bir frenleme gerektiğinde bir aracın güvenli çalışmasını sağlamak için geleneksel bir sürtünme fren sistemi gereklidir. Rejeneratif frenleme sistemleri, yakıt tüketimini artırabilir ve araçların sürtünme frenleri tarafından üstlenilen toplam frenleme yükünü azaltarak fren balatalarının aşınmasını azaltır [36].

Rejeneratif frenleme sistemleri neredeyse tüm elektrikli taşıtlarda ve hibrit elektrikli taşıtlarda kullanılır. Ayrıca, otobüsler ve mermi trenleri gibi toplu taşıma araçları, Ulaştırma filosunun çevresel etkilerini azaltmak ve tasarruf etmek için rejeneratif frenleme sistemlerinden faydalanılmaktadır [37].

3.3. Hibrit Elektrikli Araç Çeşitleri

Hibrit elektrikli araç, içinde en az bir kaynaktan elektrik enerjisi elde edilecek birden fazla enerji kaynağının bulunduğu teknoloji olarak tanımlanmaktadır. Üç ana tip Hibrit elektrikli araç vardır. Tüm hibrit elektrikli araç sistemleri bir elektrik motoru, bir içten yanmalı motor ve bir jeneratör ile donatılmıştır. Sistemin nasıl yapılandırıldığına bağlı olarak bunlar seri, paralel veya seri-paralel olarak tasarlanabilir. Seri hibrit elektrikli motorun aracı hareket ettirmesi açısından bir

elektrikli motoru ile çok benzerdir. İçten yanmalı motor, sadece invertör vasıtasıyla motora ek güç sağlamak için bulunur ve bir aralık genişletici olarak görev yapar.

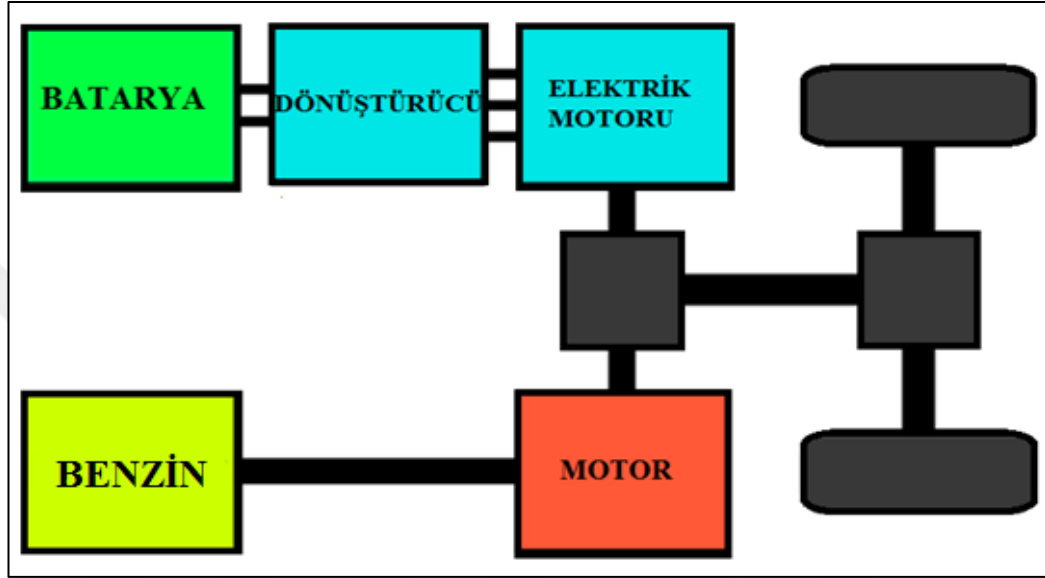
Bir paralel hibrit, tahrik gücünün içten yanmalı motor ve elektrik motoru tarafından paylaşıldığı yerdir. Paralel hibrit sistemini kullanma konsepti yeni Honda Insight geliştirilmiş modelinde ve Honda Civic Hibrit' de başarıyla uygulanmıştır. Paralel hibrit kaynak kullanmanın avantajları, güç kaynağından herhangi birinin başarısız olması durumunda, aracın çalışması için diğer kaynak otomatik olarak bulunmasıdır. İçten yanmalı motor milinin tekerleklerle doğrudan bağlanması daha az güç dönüşümü sağlar ve böylece yüksek verimlilik sağlar. Diferansiyel, tork konvertörü ve iletim kombinasyonu, seri hibrit elektrikli araç modeline göre daha etkilidir. Böylece, paralel hibrit elektrikli çekiş motorunun boyutu, seri hibrite ihtiyaç duyulandan azdır. İki alt sistemin de çeşitli kombinasyonları ve konfigürasyonları olabilir.

Son olarak, bir seri-paralel hibrit elektrikli araç; tek başına içten yanmalı motor, kendi başına elektrikli motor veya her ikisi tarafından güçlendirilebileceği şekilde tasarlanmıştır. Toyota Prius, seri paralel bir tahrik için yapılandırılmıştır. Hibrit elektrikli araç sistemi; bir elektrik motoru, bir içten yanmalı motor ve bir jeneratör ile donatılmıştır. Güç ayıran bir vites kutusu, farklı çalışma modları için güç akışı yapısının işlevselliğini sağlayan bu sistemleri bütünleştirmek için kullanılır [45]. Bu sistemde iki tür motor vardır; Birincil elektrik motoru (MG2), arabayı ICE vasıtasıyla hareket ettirmek için mekanik tahrik gücünü sağlamak için kullanılır ve bu (MG2), rejeneratif frenleme işlemi sırasında aküyü tekrar şarj etmek için de kullanılır. İkincil elektrik motoru (MG1), jeneratör olarak görev yaparak pil şarj etmek için ICE'den güç aktaran ve ayrıca aracın tahrikine yardımcı olan MG2'yi besleyen bir güç kaynağı gibi davranmaktan sorumludur [41].

3.3.1. Paralel hibrit elektrikli araç modeli

Paralel hibrit sistemlerin hem içten yanmalı bir motoru (ICE) hem de mekanik bir şanzımana paralel bağlı bir elektrik motoru vardır. Çoğu tasarım, büyük bir elektrik jeneratörünü ve bir motoru, genellikle yanma motoru ve şanzıman arasında yer alan ve hem klasik marş motorunu hem de alternatörü değiştirmek suretiyle birleştiren bir üniteye birleştirir. Akü rejeneratif kırma sırasında ve seyir esnasında (ICE gücü,

tahrik için gereken gücün üstündedir). Bir seri hibritten daha mekanik olarak karmaşık olan paralel güç dizisi, çift tahrikli olup, hem yanma motorunun hem de elektrikli motorun otomobilin itilmesini sağlar. Şekil 3.4, içten yanmalı motor ve elektrik motor birlikte çalışıyor. Genellikle yanma motoru, tahrikin birincil aracı ve elektrikli motor yedek veya tork / güç yükseltici olarak çalışır.



Şekil 3.4. Paralel hibrit elektrikli araç modelinde güç aktarma sistemi

Özellikleri:

- Hem motor hem de elektrik motoru, tekerlekleri tahrik eden gücü üretir.
- Küçük pil kullanılır.
- Motor doğrudan tekerleklere bağlıdır.
- Dur- kalk için verimsiz çalışır.

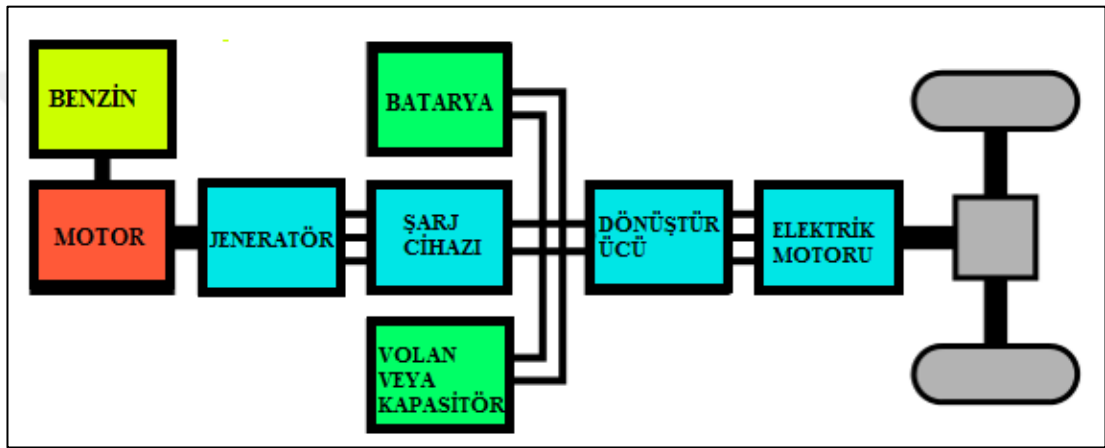
3.3.2. Seri hibrit elektrikli araç modeli

Seri hibrit araç modelinde bir içten yanmalı motor, pilleri şarj etmek ve elektrikli tahrik motoruna güç sağlamak için bir jeneratör görevi görür ve bu Şekil 3.5'de görülebilir. Bu araçlar genellikle daha büyük bir batarya takımına ve küçük içten yanmalı motora sahip daha büyük elektrik motorlara sahiptirler.

Seri hibrit araçlarda, pilin içindeki kayıpları en aza indirgeyerek verimliliği artırabilmek için volan veya ultrakapasitörler bulunur. Hızlanma sırasında tepe enerjisi sağlarlar ve frenleme esnasında rejeneratif enerji alırlar.

Elektrikli motorlar geniş bir hız aralığında verimli olduğundan, motor ile tekerlek arasındaki karmaşık bir iletim gerekmez. Motorlar araç gövdesine bağlıysa, esnek kaplinler gereklidir.

Bir seri hibrit araçta, elektrik motoru tekerleklere güç sağlayan tek araçtır. Motor, ya akü grubundan ya da bir benzinli motorla çalışan bir jeneratörden elektrik alır. Bir bilgisayar, gücün pil veya motor / jeneratörden ne kadar geldiğini belirler. Hem motor / jeneratör hem de şebeke geri besleme freninin kullanılması pil takımını şarj eder.



Şekil 3.5. Seri hibrit elektrikli araç modelinde güç aktarma sistemi

Özellikleri:

- En basit hibrit yapılandırma,
- Motor boyutu küçük,
- Pil takımı güçlü,
- Seri hibrit araçlar dur-kalk için en iyi performans gösterirler.

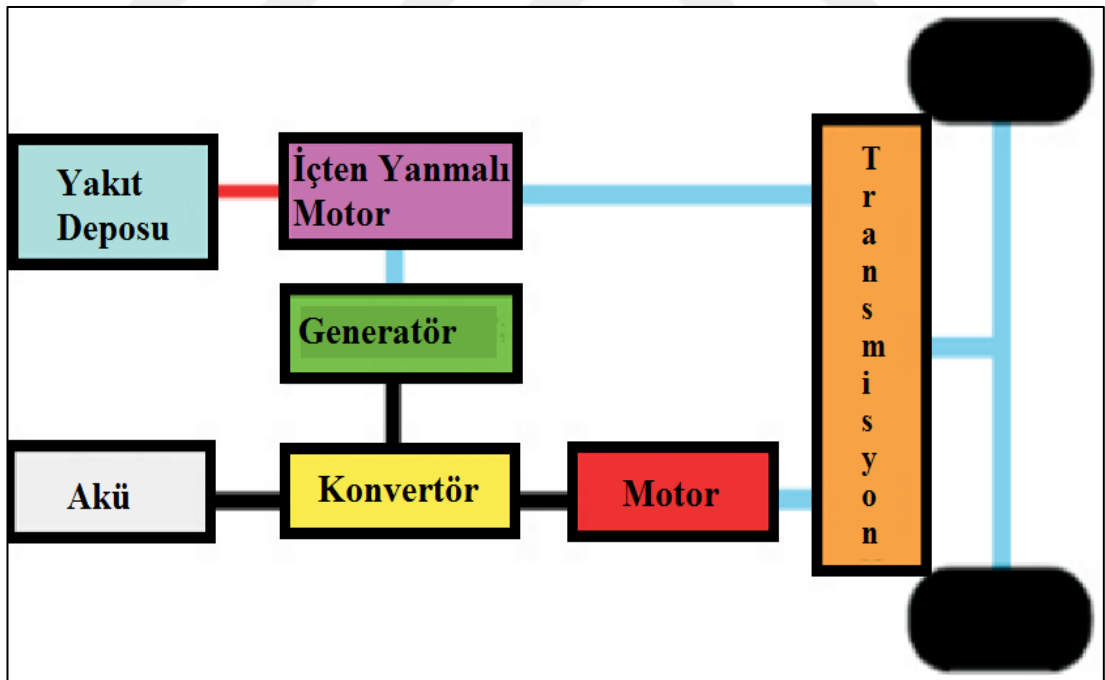
3.3.3. Seri-paralel hibrit elektrikli araç modeli

Seri-Paralel hibrit araç modeli, tüm elektrikli (bir seri hibrit olarak), tüm yanmalı araç olarak (paralel hibrit olarak) veya iki kombinasyon halinde çalışmasına izin veren iki sürüş tahrik kombinasyonudur. Bu, çoğu uygulama için en karmaşık ve en az verimli güç organıdır. Birleşik hibrit sistemlerin hem seri hem de paralel hibrit özellikleri vardır. Motor ve tahrik aksı arasında mekanik ve elektrikselsel olarak çift bağlantı vardır. Bu bölünmüş güç yolu, kompleks bir maliyetle bazı mekanik ve elektrik enerjisini birbirine bağlar. Güç bölmeli cihazlar ile güç aktarma organına

dahil edilmiştir. Tekerleklerin gücü mekanikle, elektrikle veya her ikisi ile de olabilir. Paralel hibritlerde de durum böyledir. Fakat kombine sistemin ana prensibi, motor tarafından sağlanan gücün sürücünün talep ettiği gücün ayrılmasıdır.

Geleneksel bir araçta, durma noktasından hızlanma sağlamak için sabit devirde seyir için gerekli olanlardan daha büyük bir motor kullanılır. Bunun nedeni, motorun kendi hava pompası olması nedeniyle, bir yanma motorunun torkunun daha düşük devirlerde minimal olmasıdır. Öte yandan, elektrikli bir motor durakta maksimum tork gösterir ve düşük devir sayılarında motorun tork eksikliğini tamamlamak için çok uygundur.

Düşük hızlarda kombine bir hibrit sistemde bu sistem bir hibrit elektrikli araçlar serisi olarak çalışırken yüksek hızlarda, seri aktarma organının daha az verimli olduğu durumlarda motor devralır. Bu sistem ek bir jeneratör, mekanik bir bölme güç sistemi ve çift sistemi kontrol etmek için daha fazla bilgi işlem gücüne ihtiyaç duyduğu için saf bir paralel sistemden daha pahalıdır [43].



Şekil 3.6. Seri-paralel hibrit elektrikli araç modelinde güç aktarma sistemi

Özellikleri:

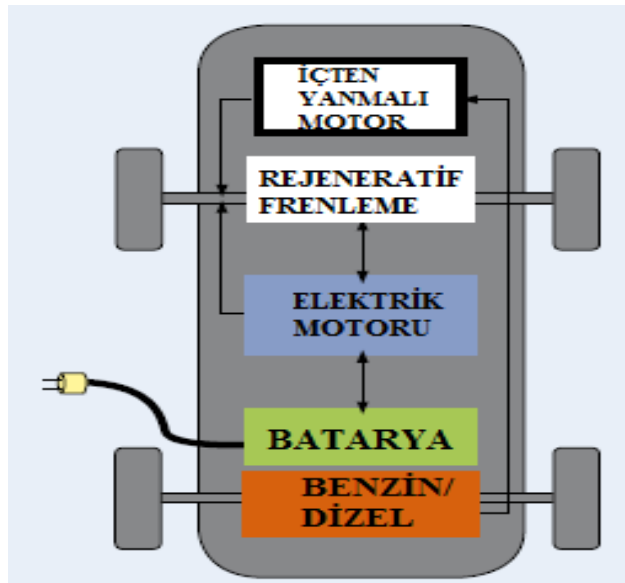
- Paralel ve serilerin avantajlarını ve komplikasyonlarını bir araya getirir.
- Motor daha çok optimum verimlilikle çalışır.

- Bu sistem paralel hibritten daha yüksek maliyet gerektirir.
- Büyük akü sistemi ve daha fazla bilgi işlem gücüne ihtiyaç duyar.
- İyi performans potansiyeline sahiptir.

3.3.4. Plug-In hibrit elektrikli araç modeli

Plug-In hibrit araç modeli bir elektrik motorunu çalıştırmak için pilleri kullanır ve bir içten yanmalı motoru çalıştırmak için benzin gibi başka bir yakıt kullanır. Plug-In hibrit araçlar pillerini şarj etmek için şebekeye takılabilir ya dışarıdan yanmalı motordan ve rejeneratif fren ile de şarj edilebilir. Plug-In hibrit araçlar, seri ve paralel hibrit araçlara göre daha büyük pil paketlerine sahiptir. Günümüzde yaklaşık 10 ile 40 mil arasında elektrikli sürüş sağlar. Pil şarj edildiği süreçte, Plug-In hibrit araçlar tipik şehir içi sürüş esnasında bataryada depolanan elektriğin gücü ile gidebilir. İçten yanmalı motor; çoğunlukla pil boşaldığı zaman, hızlı ivmelenme sırasında, yüksek hızlarda, yoğun ısıtma veya havalandırma gerektiğinde araca güç sağlar.

Plug-In hibrit araçlar pil gücü ile çalışırken egzoz borusu emisyonu üretmez. Bu araçlar içten yanmalı motor ile çalışırken bile, benzini daha az tüketir ve tipik olarak benzer konvansiyonel araçlara kıyasla daha düşük emisyon üretirler [44]. Şekil 3.7'de Plug-In hibrit elektrikli araç modeli gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Plug-In hibrit elektrikli araç modelinde güç aktarma

Özellikleri:

- Daha Az Petrol Kullanımı; Plug-In hibrit araçlar geleneksel araçlara göre yüzde 40 ila 60 daha az petrol kullanması bekleniyor. Elektrik öncelikle yerli kaynaklardan üretildiğinden, Plug-In hibrit elektrikli araçlar petrol bağımlılığını azaltır.
- Daha Az Sera Gazı Emisyonları; Plug-In hibrit elektrikli araçların klasik araçlara kıyasla daha az sera gazı emisyonu yayar ancak bu miktar, kısmen otomobilin aküsünü şarj etmek için kullanılan elektriği üreten elektrik santrallerinde kullanılan yakıtla bağlı. Elektrik enerjisi, kömürle çalışan elektrik santralleri yerine, nükleer santrallerden ve hidroelektrik santrallerden geliyorsa, bir Plug-In hibrit araç, daha az sera gazına neden olacaktır. Güneş veya rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile çalışan elektrik optimum seviyededir.
- Daha Yüksek Araç Maliyetleri, Düşük Yakıt Maliyetleri; Plug-In hibrit araçlar benzer olmayan Plug-In olmayan hibritlerden 1000 \$ ila 7000 \$ daha pahalıya mal olmaktadır. Elektrik maliyeti, kilometre başına benzinin maliyetinden çok daha düşük olduğu için bir Plug-In hibrit araç yakıtının maliyeti daha düşük olacak, ancak yakıt tasarrufu, artan araç maliyetini tamamen dengeleyecektir. Pek çok hükümet, tüketicilere nitelikli Plug-In hibrit araçlar için teşvikler sağlamaktadır.
- Şarj Etme Zaman Alır; pilin şarj edilmesi genelde birkaç saat sürer, ancak % 80 kapasiteye "hızlı şarj" 30 dakika kadar sürebilir. Bununla birlikte, Plug-In hibrit araçlar takılı kalmadan sürülebilir. Sadece benzin ile yakıt alabilir, ancak şarj olmadan maksimum menzil veya yakıt tasarrufu sağlamazlar.
- Yakıt Ekonomisinin Ölçülmesi; Plug-In hibrit araç hem elektrik hem de sıvı yakıt kullandıkları için bu bir zorluk olacaktır ve ortalama sürücünün günlük seyahatlerinde ne kadar süre kullanılacağı belli değildir [45].

3.4. Hibrit Elektrikli Araçların Avantajları

- Çevre dostudur.
- Yakıttan tasarruf edilir.
- Fosil yakıtlara daha az bağımlılık sağlar.
- Rejeneratif fren sistemi sağlar.
- Hafif malzemelerden üretilmektedir.
- Kullanılan içten yanmalı motorlar küçük boyutlu olduğundan motor ağırlığı azalır.

3.5. Hibrit Elektrikli Araçların Dezavantajları

Hibrit elektrikli araçların avantajlarının yanında dezavantajları da bulunmaktadır. Tablo 3.1’de hibrit elektrikli araçların dezavantajları verilmiştir.

Tablo 3.1. Hibrit elektrikli araçların dezavantajları

Seri Hibrit Sistem	Paralel Hibrit Sistem	Plug-in Hibrit Sistem
Sistemde üç tahrik ekipmanına ihtiyaç vardır: İYM, elektrik motoru ve jeneratör	İhtiyaç duyulan güç İYM ve elektrik motoru olmak üzere iki farklı kaynaktan elde edildiği için enerji yönetimi önemlidir.	Normal hibrit araçlardan daha pahalı olan lityum iyon batarya kullanılır.
Elektrik motoru azami gücü karşılayabilecek düzeyde tasarlanırken çoğunlukla azami gücün altında çalışmaktadır.	İki farklı motordan (İYM ve elektrik motoru) gelen gücün tahrik tekerlerine düzgünce iletilebilmesi için karmaşık mekanik elemanlara ihtiyaç vardır.	Plug-in hibrit sistemlerde çarpışma olması durumunda potansiyel güvenlik tehlikelerinden endişe edilmektedir.
Güç sisteminin maliyeti yüksek ve ağırdır.	Sistem sessiz çalışmamaktadır.	Uzun yolculukta tamamen içten yanmalı motor çalışır.

3.6. Hibrit Elektrikli Araçlarda Enerji Depolamanın Amacı Ve Yararları

Birleşik Devletler ulaşımında bir enerji ikilemi ile karşı karşıyadır. Taşımacılık sektörü neredeyse tamamen tek bir yakıtla petrole bağımlıdır. Birincil nakliye yakıtı olarak petrolün devam eden rolü sorgulanmalıdır. Bugün, ABD toplam petrol tüketiminin yaklaşık% 60'ı ithal ediliyor ve milyarlarca dolar, yabancı ülkelerin ekonomilerine akıyor. ABD'nin petrol tüketiminin% 60'ından fazlası nakliye için ayrılıyor. Petrolün yurt içi üretimi azalırken tüketimimiz artmaya devam ediyor; dolayısıyla ithalatın artmaya devam etmesi beklenmektedir. Bu arada, Çin ve Hindistan'ın gelişmekte olan ekonomilerinde petrol tüketim oranları hızla artıyor. Ayrıca uzmanlar, dünya petrol üretiminin zirve yapabileceğine inanıyor önümüzdeki 5-10 yıl içinde bu faktörlerin kombinasyonu, yakın gelecekte petrol arz ve talep dengesine büyük baskı uygulayacaktır. Hibrit elektrikli araç (HEV) teknolojisi, verimlilik iyileştirmeleri yoluyla petrol tüketimimizi azaltmanın mükemmel bir yoludur. HEV'ler, motorun küçültülmesi ve frenleme olaylarında normal olarak kaybolan enerji geri kazanımı yoluyla araç verimliliğini artırmak için enerji depolama teknolojisi kullanmaktadır. Tipik bir HEV, benzer bir konvansiyonel araç üzerinde benzin tüketimini yaklaşık%

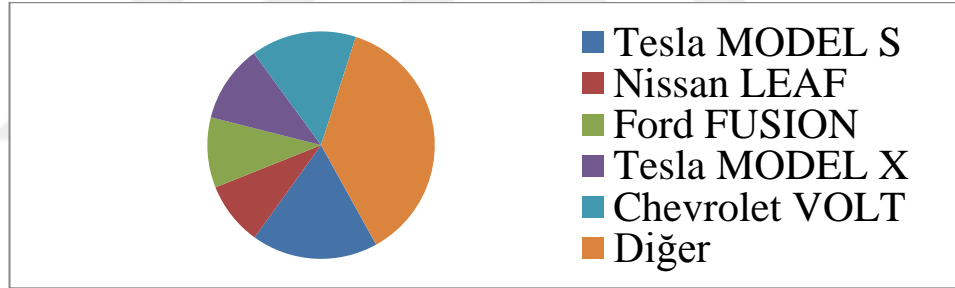
30 oranında düşürecektir. HEV satışları, yılda ortalama% 80'den fazla bir oranda büyüdü. Bununla birlikte, 5 yıllık kullanılabilirlikten sonra, ABD'li toplam araç filosunun sadece% 0,1'ini temsil ediyorlar. Bugün yolda 237.000.000 araç var ve her yıl 16 milyondan fazla yeni araç satılıyor [47].



4. HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA VERİMLİLİK ARTIRICI BİREYSELLEŞTİRİLMİŞ SÜRÜŞ MODLARINA YÖNELİK ALGORİTMA GELİŞTİRİLMESİ

4.1. ABD ve Türkiye’de Elektrikli, Hibrid Elektrikli Araçların Pazar Dağılımı

TEHAD’ın verilerine göre; dünya elektrikli otomobil pazarını yöneten iki ülkeden biri olan ABD’de geçtiğimiz 2016 yılında toplam 159.333 adet elektrikli otomobil ve hibrid elektrikli otomobil satılmıştır. Şekil 4.1’de Chevrolet Volt, Ford FUSION ve bunlara ek diğerlerinin içinde bulunan Ford C-MAX hibrid araç, diğerleri elektrikli araçtır. Bu verilere göre toplamda 2016 yılında ABD’de 73.156 adet hibrit elektrikli araç satılmıştır



Şekil 4.1. ABD’de elektrikli ve hibrid elektrikli araçların pazar dağılımı

ABD’de olan satışların yanında Türkiye’de 2016’dan 2017’ye hibrit satışında 4,5 kattan daha fazla artış göstermiştir. Tablo 4.1’de A1,A2,A3,A4,A5,A6,A7 olarak belirtilen araçlar Türkiye’de satılan hibrit elektrikli araçların bazılarıdır.

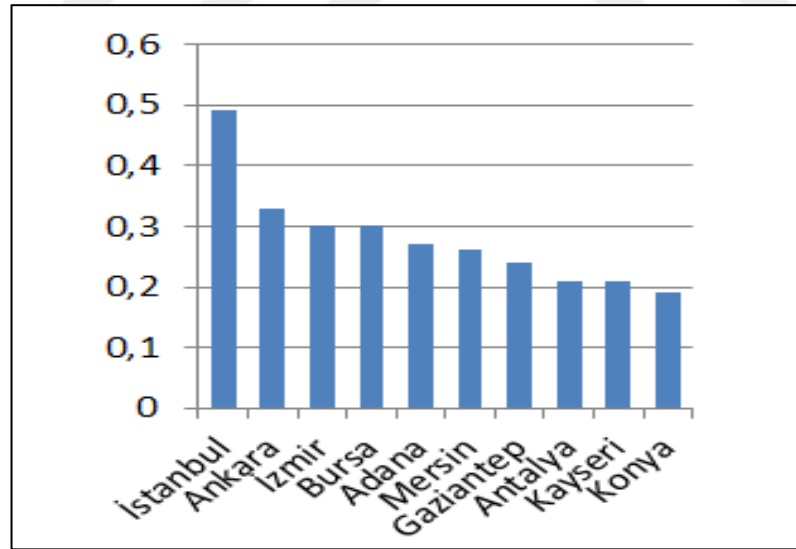
Tablo 4.1. Türkiye’de hibrit elektrikli araçların pazar dağılımı

Araç İsmi/ Yıl	2016	2017
A1	51	16
A2	28	3381
A3	835	163
A4	0	118
A5	0	166
A6	0	13
A7	0	314
Toplam	994	4528

4.2. Türkiye'nin Trafik Açısından Genel Durumu

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Aralık 2017'ye ilişkin Motorlu Kara Taşıtları İstatistikleri'ne göre 2016 yılının aralık ayı sonu itibarıyla trafiğe kayıtlı toplam taşıt sayısı, bir önceki yıla göre %5,4 artış göstererek 218.945'e ulaştığını açıkladı. Bu istatistiklerin %54,1'i otomobillere, %16,4'ü kamyonetlere, %14'ü motosikletlere, %8,3'ü traktörlere, %3,8'i kamyonlara, %2,2'si minibüslere, %1'otobüslere,%0,2'si ise özel amaçlı taşıtlara aittir [49].

Türkiye genelindeki motorlu kara taşıtlarının fazla olduğu şehirlerde trafik yoğunluğu fazla olur. Ülkemizin genel trafik yoğunluğu bakımından İstanbul %49 ile ilk sırada yer alırken bu ilimizi %33 ile Ankara, %30 ile İzmir ve Bursa, % 27 ile Adana, % 26 ile Mersin, % 24 ile Gaziantep ve Antalya, % 21 ile Kayseri ve %19 ile Konya şehirlerinin takip ettiği görüldü. Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre en az araç kaydı bulunan ve trafik yoğunluğunun az olduğu şehir 6 bin 703 taşıt ile Tunceli ilimizdir. Şekil 4.2'de Türkiye'nin genel trafik yoğunluğu grafik halinde gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Türkiye geneli trafik yoğunluğu

4.3. Hibrit Elektrikli Araçlarda Mevcut Sürüş Modları

- Konfor (Comfort): Bu, aracın normal modudur. Araç çalıştırıldığında normalde Comfort modundadır ve Başlat/Durdur işlevi etkindir. Bu ayarlar aracın konforlu bir

his vermesi, direksiyonun hafif olması, amortisörün yumuşak olması ve karoseri hareketlerinin akıcı olması anlamına gelir.

- **Ekonomi (Eco):** Ekonomi modu ile aracı daha enerji tasarruflu ve çevre dostu sürüş için uyarlayın. Sürüş modu örneğin Başlat/Durdur işlevinin etkinleşmesi, rüzgar direncini azaltmak için zeminden yüksekliğin düşürülmesi ve belirli klima ayarlarının çıkışının azaltılması anlamına gelir.
- **Arazi (Off Road):** Zor arazilerde ve bozuk yollarda sürerken aracın çekişini maksimum düzeye çıkarın. Sürüş modu, yüksek zeminden yükseklik sağlar, direksiyon hafiftir, dört tekerlekten çekiş ve yokuş iniş kontrolü özelliği ile düşük hız kontrolü işlevi etkinleşmiştir. Başlat/Durdur işlevi devre dışı bırakılır.
- **Dinamik (Dynamic):** Dinamik modu, daha aktif sürüş için aracın daha sportif bir his vermesini sağlar. Direksiyon tepkisi daha hızlıdır, amortisman daha serttir ve düşük zeminden yükseklik, viraj alma sırasında kaymayı azaltmak için karoserinin karayolunu takip etmesi anlamına gelir. Başlat/Durdur işlevi kapatılmıştır.
- **Bireysel (Individual):** Kişisel tercihlere göre bir sürüş modunun uyarlanması demektir. Başlangıç olarak bir sürüş modu seçilir, ardından istenen sürüş özelliklerine göre ayarları ayarlanır.

4.4. Hibrit Elektrikli Araçlarda Önerilen Bireyselleştirilmiş Sürüş Modları

Her üretici aracını belirli kullanım koşullarındaki şartlara göre optimize etmektedir. Örneğin bazı modeller yoğun trafikli şehirlere göre optimize edilirken bir diğer model akıcı trafikte en yüksek verimliliğin elde edilmesi için tasarlanabilmektedir. Ancak araç satın alırken birçok tüketici bahsi geçen teknik detaylara hakim değildir. Bu çalışmada, hibrit araçlarda yer alan elektrik makinası ve bataryanın sürücünün kullanım koşullarına göre optimize edilmesi ve hibrit çalışma algoritmasının kullanıcı müdahalesi ile değiştirilebilmesine yönelik bir algoritma geliştirilmektedir. Sürücü için belirli sınırlı etkenler bulunmaktadır. Bu sınırlayıcı etkenler; elektrik motorunun gücü ve batarya kapasitesidir. Kullanıcı bu etkenlerin izin verdiği ölçüde sürüş özelliklerini sisteme girerek, sistemin maksimum hız ve maksimum menzili karşılama durumuna göre işlemi devam ettirir.

Sürücünün sıklıkla kullandığı güzergahın menzilini ve bu menzil boyunca seyredilen ortalama hızı aracın sistemine girmesi ile hibrit yapının dinamiklerinin değiştirilmesi

ve verimlilik artırılması hedeflenmiştir. Şekil 4.3’de hibrit elektrikli araçlar için önerilen sürüş modu algoritması gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Hibrit elektrikli araçlar için önerilen sürüş modu algoritması

4.5. Analiz

Geçmişten günümüze büyük sorun olan çevre kirliliğinin en önemli sebeplerinden biri olan benzinli araçlara alternatif olarak sunulan çevreci yaklaşımlardan biri olan hibrit araçlar özellikle Avrupa ve uzak doğu ülkelerinde görmeye alışılmalıdır. Son zamanlarda bu değişime ayak uyduran Türkiye’de birçok markanın hibrit modellerini satışa sunarak hem yerel yönetimin baskısından hem de çevreci

yaklaşımlardan olumlu geri dönüşümler almıştır. Tablo 4.2’de Türkiye’de satışa sunulan bazı hibrit elektrikli araç modellerinin genel özellikleri verilmiştir. Yapılan çalışmada araçların verimli çalışması için geliştirilen algoritmanın Tablo 4.2’de ki verilere göre hesaplamaları yapılmıştır.

Tablo 4.2. Bazı hibrit elektrikli taşıtların teknik özellikleri

VEHICLE NAME	Benzinli motorun maksimum gücü (kW)	Elektrik motorunun maksimum gücü (kW)	Elektrikli moto Max moment (Nm)	Sistem Akü Kapasitesi (kWh)	Elektrik motorunun menzili (km)
A1	170	97	250	5,2	37
A2	73,07	53	163	1,31	5
A3	N/A	32,4	170	8,9	42
A4	89	60,3	195	12	54
A5	110,3	75	330	8,8	500
A6	77,2	32,3	170	1,56	43
A7	235,35	64	240	9,2	>43

Araçların sadece elektrik motorunu kullanarak max hızda gidebileceği max menzili ve bu menzilin süresini Denklem (4.1)-(4.4)’den yararlanılarak bulunmuştur;

$$\text{Bataryanın kapasitesi} \times 3(\text{ort.}) = \text{Araç bataryasının max deşarj akımı} \quad (4.1)$$

$$\text{Batarya max deşarj akımı} \times \text{Batarya gerilimi} = \text{Max batarya gücü} \quad (4.2)$$

$$\text{Batarya kapasitesi (Ah)} \times \text{Batarya gerilimi} = \text{Batarya kapasitesi (Wh)} \quad (4.3)$$

$$\frac{\text{Batarya kapasitesi (Wh)}}{\text{Araçın elektrikli motor gücü}} = \text{Araç menzili (İdeal)} \quad (4.4)$$

İşlemlerde kullanılan kabuller;

- Bir araç km’de ortalama 130-150 Wh enerji tüketir. Kabul 1: Araçların ortalama enerji tüketimleri 150 Wh/km alınmıştır.
- Kabul 2: Bataryanın kapasitesinin %10’unu rezerv olarak bırakıldı.
- Kabul 3: Analizlerde araçlar düz yolda gittiği kabul edilmiştir.

1- A1:

- 5,2 kWh = 312 kWdak = 18720 kW s

- $18720 \text{ kWh} / 96 \text{ kW} = 195$ saniye (aracın max güçte sadece elektrik motor ile katedebileceği yolun süresi)

- $5,2 \text{ kWh} = 5200 \text{ Wh}$

$5200 \text{ Wh} \times \%10 = 520$

$5200 \text{ Wh} - 520 = 4680 \text{ Wh}$

$(4680 \text{ Wh}) / (150 \text{ Wh/km}) = 31,2 \text{ km}$ (Sadece elektrikle gidebileceği max yol)

2- A2:

- $1,31 \text{ kWh} = 78,6 \text{ kWdak} = 4716 \text{ kWh}$

- $4716 \text{ kWh} / 53 \text{ kW} = 89$ saniye (aracın max güçte sadece elektrik motor ile katedebileceği yolun süresi)

- $1,31 \text{ kWh} = 1310 \text{ Wh}$

$1310 \text{ Wh} \times \%10 = 131$

$1310 \text{ Wh} - 131 \text{ Wh} = 1180 \text{ Wh}$ (Yaklaşık olarak)

$(1180 \text{ Wh}) / (150 \text{ Wh/km}) = 7,8 \text{ km}$ (Sadece elektrikle gidebileceği max yol)

3- A3:

- $8,9 \text{ kWh} = 534 \text{ kWdak} = 32040 \text{ kWh}$

- $32040 \text{ kWh} / 32,4 \text{ kW} = 989$ saniye (aracın max güçte sadece elektrik motor ile katedebileceği yolun süresi)

- $8,9 \text{ kWh} = 8900 \text{ Wh}$

$8900 \text{ Wh} \times \%10 = 890 \text{ Wh}$

$8900 \text{ Wh} - 890 \text{ Wh} = 8010 \text{ Wh}$

$(8010 \text{ Wh}) / (150 \text{ Wh/km}) = 53,4 \text{ km}$ (Sadece elektrikle gidebileceği max yol)

4- A4:

- $12 \text{ kWh} = 730 \text{ kWdak} = 43200 \text{ kWh}$

- $43200 \text{ kWh} / 60,3 \text{ kW} = 716,4$ saniye (aracın max güçte sadece elektrik motor ile katedebileceği yolun süresi)

- 12 kWh = 12000 Wh

$$12000 \text{ Wh} \times \%10 = 1200 \text{ Wh}$$

$$12000 \text{ Wh} - 1200 \text{ Wh} = 10800 \text{ Wh}$$

$$(10800 \text{ Wh}) / (150 \text{ Wh/km}) = 72 \text{ km (Sadece elektrikle gidebileceği max yol)}$$

5- A5:

$$8,8 \text{ kWh} = 528 \text{ kWdak} = 31680 \text{ kWs}$$

- 31680kW_s /75 kW = 422,4 saniye (aracın max güçte sadece elektrik motor ile katedebileceği yolun süresi)

- 8,8 kWh = 8800 Wh

$$8800 \text{ Wh} \times \%10 = 880 \text{ Wh}$$

$$8800 \text{ Wh} - 880 \text{ Wh} = 7920 \text{ Wh}$$

$$(7920 \text{ Wh}) / (150 \text{ Wh/km}) = 52,8 \text{ km (Sadece elektrikle gidebileceği max yol)}$$

6- A6:

$$1,56 \text{ kWh} = 93,6 \text{ kWdak} = 5616 \text{ kWs}$$

- 5616 ks /32,3 kW = 173,87 saniye (aracın max güçte sadece elektrik motor ile katedebileceği yolun süresi)

- 1,56 kWh = 1560 Wh

$$1560 \text{ Wh} \times \%10 = 156 \text{ Wh}$$

$$1560 \text{ Wh} - 156 \text{ Wh} = 1404 \text{ Wh}$$

$$(1404 \text{ Wh}) / (150 \text{ Wh/km}) = 9,36 \text{ km (Sadece elektrikle gidebileceği max yol)}$$

7- A7:

- 9,2 kWh = 522 kWdak = 33120 kW_s

- 33120 kW_s /64 kW = 517,5 saniye (aracın max güçte sadece elektrik motor ile katedebileceği yolun süresi)

- 9,2 kWh = 9200 Wh

$$9200 \text{ Wh} \times \%10 = 920 \text{ Wh}$$

$$9200 \text{ Wh} - 920 \text{ Wh} = 8280 \text{ Wh}$$

$$(8280 \text{ Wh}) / (150 \text{ Wh/km}) = 55,2 \text{ km} \text{ (Sadece elektrikle gidebileceği max yol)}$$

Araçlarda elektrikli motorun max hızını bulma;

Bir aracın max hızını bulmak için öncelikli olarak yerin araca uyguladığı kuvvet bulunmalıdır (Denklem (4.5) ve (4.6));

$$F_1 = C_r \times N \quad (4.5)$$

$$N = G \times g \quad (4.6)$$

Sonraki adım havanın uyguladığı kuvveti bulmaktır (Denklem (4.7));

$$F_2 = \frac{\rho \times V^2 \times C_d \times A}{2} \quad (4.7)$$

Bulunan kuvvetlerden yola çıkılarak ayrı ayrı güç bulunur ve toplanarak toplam güç elde edilir (Denklem (4.8)-(4.10));

$$P_1 = F_1 \times V \quad (4.8)$$

$$P_2 = F_2 \times V \quad (4.9)$$

$$P_{TOP} = P_1 + P_2 \quad (4.10)$$

Formüllerde kullanılan sembollerin birimleri ve isimleri Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.3. Formüllerde Kullanılan Semboller ve Birimleri

Adı	Kuvvet	Güç	Hız	Yerin Sürtünme Katsayısı	Havanın Sürtünme Katsayısı	Yerin Uyguladığı Normal Kuvvet	Yer Çekimi İvmesi	Ağırlık	Havanın Yoğunluğu	Alan
Sembol	F	P	V	C_r	C_d	N	g	G	ρ	A
Birim	N	W	m/s	-	-	N	m/s^2	kg	kg/m^3	m^2

Bu formüllerden yararlanılarak ele aldığımız hibrit elektrikli araçların, elektrikli motoru ile çıkabileceği maksimum hızı bularak yapacağımız algoritma uygulaması ile teoride ulaşabildiği maksimum hızdan gerçekte daha fazlasına çıkabileceği bulunmuştur.

Tablo 4.4’de tez çalışmasında uygulama yapılan hibrit elektrikli araçların gerekli verilerinden yararlanılarak formül yardımıyla elde edilen sadece elektrikli motor ile araçların ulaşabildiği maksimum hızlar m/s olarak verilmiştir.

Tablo 4.4. Bazı hibrit elektrikli araçlar için bulunan veriler

Araç İsmi Özellikler	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Elek. Motor Max Hızı (V) (m/s)	55,85	43,91	37,718	43,413	51,478	40,496	42,642
Yerin Sürtünme Katsayısı (Cr)	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012
Havanın Sürtünme Katsayısı (Cd)	0,34	0,32	0,29	0,34	0,32	0,24	0,30
Yerin Uyguladığı Normal Kuvvet (N) (Newton)	14567,8	15058,3	14832,7	18442,8	15107,4	15225,12	22798,4
Ağırlık (G) (kg)	1485	1535	1512	1880	1540	1552	2324
Yer Çekimi İvmesi (g) (m/s ²)	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81
Alan (A) (m ²)	2,507	2,809	2,788	3,078	2,541	2,639	3,8
Havanın Yoğunluğu (ρ) (kg/m ³)	1,184	1,184	1,184	1,184	1,184	1,184	1,184
Yerin Uyguladığı Kuvvet (F ₁)	174,81	180,70	178	221,31	181,28	182,7	273,58
Havanın Uyguladığı Kuvvet (F ₂)	1574	1026,006	680,94	1167,63	1275,61	614,88	1227,1
Yerin Uyguladığı Kuvvetin Gücü (P ₁)(Watt)	9763,1	7934,54	6713,8	9607,73	9332,38	7398,67	11666
Havanın Uyguladığı Kuvvetin Gücü (P ₂)(Watt)	87907,9	45051,96	25683,7	50690,74	65666,1	24900,5	52328,6
Toplam Güç (P _{TOP})(Watt)	97671	52986,5	32397,5	60298,47	74998,4	32299,2	63994,6

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında hibrit araçlarda enerji depolama için kullanılan volan, ultrakapasitör ve bataryanın üzerinde durularak, depolama yöntemlerinin özellikleri verilmiştir, ayrıca hibrit elektrikli araçlarda verimlilik artırılması açısından kişisel sürüş modu algoritması geliştirilerek sürücülere kolaylık sağlanması amaçlanmıştır. Hibrit elektrikli araçlarda en önemli kural aracın maksimum elektrikli motor menzildir ve bunu sağlayacak olan ise batarya kapasitesinin kendisidir. Hibrit elektrikli araçlarda kullanılan depolama yöntemi, aracın sürüş verimliliğini arttırdığı için en uygun depolama; araç ve sürücü için daha elverişli ve tasarruflu olacaktır. Günümüzde otomobil firmalarının en çok tercih ettiği enerji depolama yöntemi bataryadır. Batarya yönteminde en çok kullanılan kurşun asit batarya ve lityum iyon pildir. Kurşun asit pilin tercih edilmesinin nedeni bakımının diğerlerine oranla daha az olması, lityum iyonun tercih sebebi ise daha hızlı yanıt vermesidir. Vanadyum redoks pillerin çevrim ömrü her ne kadar diğer pil çeşitlerine göre daha iyi olsa da fiyat açısından fazla pahalı olduğu için tercih edilmemektedir. Volan ve ultrakapasitörlerin verimleri % 95 ile diğer depolama yöntemlerinin verimlerine kıyasla yüksektir, fakat volanların boyutlarının büyük oluşu ile ultrakapasitörlerin eşit büyüklükte bir lityum iyon pilin depoladığı enerjinin %5'ini depolayabilmesi hibrit elektrikli araçlarda fazla tercih edilmeme sebebidir.

Bu tezde depolama yöntemlerine ek olarak sürüş konforunda artış, sürücü memnuniyeti, yakıt tüketiminde azalma ve kullanım şartlarına göre maksimum verim elde etmek amacıyla kişisel sürüş modu algoritması geliştirilerek hibrit elektrikli araçlara yeni bir mod eklenmesi amaçlanmıştır. Bilindiği gibi araçlarda tercih edilmesi için konfor, ekonomik, arazi, dinamik, bireysel olmak üzere beş farklı mod seçimi vardır. Çalışmada bunlara ek olarak hibrit elektrikli araçlarda kullanılması için farklı bir mod geliştirilmiştir. Modun özelliği tek bir araçla farklı trafik yoğunluğunda maksimum hızla maksimum menzil elde etmektir. Sürücünün daha rahat ve verimli bir sürüş elde etmesi için batarya kapasitesini ve elektrikli motorun

gücünü sisteme girerek gideceği maksimum menzilin ve maksimum hızın uygunluğuna bakarak sürüşünü gerçekleştirmektedir. Yapılan çalışmada yedi farklı araç için araçların firma verilerinden yararlanılarak analizler kısmında hesaplamalar yapılmıştır. Tablo 5.1’de hesaplamalardan elde edilen bulgular verilmiştir. Bu bulgulara göre hibrit elektrikli araçlarda batarya kapasitesi baz alınarak hem kullanılan depolama yöntemine önem verilmesi hem de geliştirilen bu algoritmanın hayata geçirilerek hibrit elektrikli araçlara yenilik getirilmesi sağlanabilir.

Tablo 5.1. Hibrit elektrikli araçlarda elde edilen bulgular

ARAÇ İSMİ BULGULAR	Elektrikli Motor İle Gidilebilecek Yolun Süresi (max güçte) (saniye)	Elektrikli Motor İle Gidilebilecek Max Yol (km)	Elektrikli Motorun Ulaşabileceği Max Hız (km/h)
A1	195	31,2	201,06
A2	89	7,8	158,076
A3	989	53,4	135,78
A4	716,4	72	156,28
A5	422,4	52,8	185,32
A6	173,87	9,36	145,78
A7	517,5	55,2	153,51

Tablo 5.1’de verilen sonuçlardan anlaşılacağı gibi elektrikli motorun max gücü kullanıldığı takdirde araçların çıkabileceği maksimum hızları verilmiştir. Örneğin; A2 aracının sadece elektrikli motor ile gidebileceği menzil 5 km olarak gözükmemektedir ve bu yolda 10 km/h hızın üzerine çıktığı zaman elektrikli motor ile içten yanmalı motor birlikte hareket etmektedir. Elektrik motorundan alınacak verim elde edilememektedir. Yapılan çalışma bu uygulamanın aksine elektrikli motorun maksimum gücünden faydalanarak maksimum hızda aracın yol kat edeceğini göstermektedir. Yani A2 aracı 70 hp’lik elektrikli motor gücü ile 158,076 km/h hıza çıkarak 7,8 km yol gidebilir. Aracın bu durumu sadece belirli yolda değil, yoğun trafiği olan ya da trafik olmayan yollarda aynı verimi alabilir. Algoritmanın sağladığı en büyük avantaj içten yanmalı motorun desteğine ihtiyaç olmadan elektrikli motorun gücünün hepsini kullanarak batarya kapasitesinin öngördüğü ölçüde çıkmak istenilen maksimum hız sisteme girilerek en verimli sürüş elde edilmesidir. Sisteme girilmek istenilen hız aracın multimedia sistemi ile sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Erhan K., Aktaş A., Özdemir E., Analysis of a Hybrid Energy Storage System Composed from Battery and Ultra-capacitor, *7th International Ege Energy Symposium & Exhibition*, Uşak, Turkey, 18-20 June 2014.
- [2] Ren G., Ma G., Cong N., Review of Electrical Energy Storage System for Vehicular Applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, **41**, 225-236.
- [3] Tang J., Liu G., Fang J., Superconducting Energy Storage Flywheel-An Attractive Technology for Energy Storage, *Shanghai Jiaotong University and Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 2010, **15**(1), 76-83.
- [4] Wagner R., Boyle D., Kent D., Commercialization of Flywheel Energy Storage Technology on the International Space Station, *IECEC '02. 2002 37th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference*, Washington, USA, 29-31 July 2002.
- [5] Altan F., Modüler Volanda Enerji Depolama, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2012, 304816.
- [6] Erdinç O., Elektrik Enerjisi Depolama Teknolojileri, *8. Uluslararası Ege Enerji Sempozyumu*, Afyonkarahisar, Türkiye, 11-16 Mayıs 2016.
- [7] Yılmaz P., Güneş Pilleri ve Volanlar ile Bir Hibrit Enerji Sistemi Tanzimi ve Benzetimi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2011, 290128.
- [8] Kozak M., Kozak Ş., Enerji Depolama Yöntemleri, *SDU International Journal of Technologic Sciences*, 2012, **4**(2), 17-29.
- [9] Sahay K., Dwivedi B., Energy Storage Technology for Performance Enhancement of Power Systems, *Electrical Power Quality & Utilization Magazine*, 2009, **4**(1), 2-6.
- [10] <http://www.maxwell.com/> (Ziyaret tarihi: 29 Kasım 2017).
- [11] <http://www.maxwell.com/products/ultracapacitors/> (Ziyaret tarihi: 2 Aralık 2017).
- [12] Khaligh A., Li Z., Battery, Ultracapacitor, Fuel Cell, and Hybrid Energy Storage Systems for Electric, Hybrid Electric, Fuel Cell, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles: State of the Art, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2010, **59**(6), 2806-2814.

- [13] Erhan K., Özdemir E., Aktaş A., Design and Analysis of Ultra-Capacitor Regenerative Braking Energy Storage System for Hybrid and Electrical Vehicles, *8th International Ege Energy Symposium and Exhibition*, Afyonkarahisar, Turkey, 11-16 May 2016.
- [14] <http://www.maxwell.com/solutions/power-grid/generation/> (Ziyaret tarihi: 11 Aralık 2017).
- [15] Tie S. T., Tan C. W., A Review of Energy Sources and Energy Management System in Electric Vehicles, Editors: Foley A., *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 88th ed., Queen's University Belfast, Northern Ireland, 82-102, 2013.
- [16] www.bilgiustam.com/pillerin-bataryalar-tarihcesi/ (Ziyaret tarihi: 10 Aralık 2017).
- [17] Polat D., Keleş Ö., Lityum İyon Pil Teknolojisi, *Türk Mühendis Ve Mimar Odaları Birliği Metalürji Mühendisleri Odası*, 2012, **23**(162), 42-48.
- [18] URL-5: <https://www.netaworld.org/> (Ziyaret tarihi: 11 Aralık 2017).
- [19] Yoshio M., Brodd R. J., Kozawa A., Science and Technologies, Editors: Yoshio M., Brodd R. J., Kozawa A., *Lithium-Ion Batteries*, 1st ed., Springer Science and Business Media, New York, 1-7,2009.
- [20] w3.gazi.edu.tr/~eozcelik/ikincil%20Piller.doc/ (Ziyaret tarihi: 12 Aralık 2017).
- [21] http://batteryuniversity.com/learn/article/primary_batteries/ (Ziyaret tarihi: 13 Aralık 2017).
- [22] batteryuniversity.com/learn/article/when_was_the_battery_invented/ (Ziyaret tarihi: 16 Aralık 2017).
- [23] <http://www.mpoweruk.com/> (Ziyaret tarihi: 16 Aralık 2017).
- [24] Muratoğlu Y., Alkaya A., Elektrikli Araç Teknolojisi ve Pil Yönetim Sistemi İnceleme, *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Çukurova Üniversitesi, Türkiye, 15-16 Eylül 2015.
- [25] batteryuniversity.com/learn/article/lithium_based_batteries/ (Ziyaret tarihi: 20 Aralık 2017).
- [26] batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion/ (Ziyaret tarihi: 21 Aralık 2017).
- [27] Yong Y. J., Ramachandaramurthy V. K., Mithulananthan N., A Review on the State-of-the-art Technologies of Electric Vehicle, its Impacts and Prospects, Editors: Foley A., *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49th ed., Queen's University Belfast, Northern Ireland, 365–385, 2013.

- [28] www.vanadiumcorp.com/investors/vanadiumbatteries/comparison/ (Ziyaret tarihi: 28 Aralık 2017).
- [29] Schoenung S., Energy Storage Systems Cost Update: A Study for the doe Energy Storage Systems Program, *Sandia National Laboratories*, SAND 2011-2730, 14-15, 2011.
- [30] Chen H., Cong T. N., Yang W., Tan C., Li Y., Ding Y., Progress in Electrical Energy Storage System: A Critical Review, *Sciencedirect*, 2009, **19**(3), 291 – 312.
- [31] Dunn B., Kamath H., Tarascon J. M., Electrical Energy Storage for the Grid: A Battery of Choices, *Sciencemag*, 2011, **334**(6058), 928–935.
- [32] <https://www.ngk-insulators.com/> (Ziyaret tarihi: 29 Aralık 2017).
- [33] www.ease-storage.eu (Ziyaret tarihi: 01 Ocak 2018).
- [34] Chahwan J. A., Vanadium-Redox Flow and Lithium-Ion Battery Modelling and Performance In Wind Energy Applications, Master Thesis, McGill University, Montreal, 2007.
- [35] www.techopedia.com/definition/30892/hybrid-electric-vehicle-hev (Ziyaret tarihi: 04 Ocak 2018).
- [36] energyeducation.ca/encyclopedia/Regenerative_braking, (Ziyaret tarihi: 07 Ocak 2018).
- [37] Chicurel R., A Compromise Solution For Energy Recovery in Vehicle Braking, *Elsevier*, 1999, **24**(12), 1029–1034.
- [38] Rieder B., Regenerative Braking System for Bicycles, *Imperial Journal of Interdisciplinary Research*, 2017, **3**(7), 539-541.
- [39] Clark W. W., Cooke G., *Global Energy Innovation: Why America Must Lead*, 13th ed., Abc-clio, Austria, 2011.
- [40] Hampl J., Concept of the Mechanically Powered Gyrobus, *Transportation Science*, 2013, **6**(1), 27–38.
- [41] Bayrak A. E., Ren Y., Papalambros P. Y., Design of Hybrid-Electric Vehicle Architectures using Auto-Generation of Feasible Driving Modes, *International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, Portland, 4-7 August 2013.
- [42] Massey S., Optimize Edilmiş Vites Rasyonları Kullanarak Enerji Giriş Gereksinimlerini En Minimize Eden, Hibrit Elektrikli Araç Sürücüsünün Modellenmesi, Simülasyonu ve Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Michigan Teknoloji Üniversitesi, Birleşik Devletler, 2016.

- [43] Vinay K. M., Raju I., Hibrid Electric Vehicles, *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 2017, **50**(2), 93-95.
- [44] www.afdc.energy.gov/uploads/publication/hybrid_plugin_ev.pdf/ (Ziyaret tarihi: 01 Şubat 2018).
- [45] ieahev.org/about-the-technologies/plug-in-hybrid-electric-vehicles (Ziyaret tarihi: 04 Şubat 2018).
- [46] otomotivlab.net/2017/05/14/hibritaracesitlerivecalismaprensipleri/ (Ziyaret tarihi: 05Şubat 2018).
- [47] Markel T., Simpson A., Plug-In Hybrid Electric Vehicle Energy Storage System Design, *Proceedings of the Advanced Automotive Battery Conference*, Baltimore, USA, 17-19 May 2006.
- [48] bmw.com.tr/tr/allmodels/bmwi/i8/2014/technicaldata.html#tab-0 (Ziyaret tarihi:17 Şubat 2018).
- [49] www.oydertr.org/Content/document/raporlar/tuik-raporlari/tuik-motorlu-kara-tasitlari-kasim-2017-haber-bulteni.pdf/ (Ziyaret tarihi: 17 Şubat 2018).
- [50] <https://www.toyota.com.tr/articles/e-brosur.json/> (Ziyaret tarihi: 02 Mart 2018).
- [51] <https://www.kia.com/tr/anasayfa.html/> (Ziyaret tarihi: 07 Mart 2018).
- [52] bmw.com.tr/tr/all-models/bmw-i/i8/2014/technicaldata.html#tab-0/ (Ziyaret tarihi: 07 Mart 2018).
- [53] <https://binekarac.vw.com.tr/tr/modeller/passat.html/> (Ziyaret tarihi: 10 Mart 2018).
- [54] <https://www.cdn.dealereprocess.net/cdn/brochures/mitsubishi/2015-outlander.pdf/> (Ziyaret tarihi: 17 Mart 2018).
- [55] <https://www.audiusa.com/models/> (Ziyaret tarihi: 20 Mart 2018).
- [56] <https://www.bmw.com.tr/tr/topics/details/e-katalog.html/> (Ziyaret tarihi: 22 Mart 2018).
- [57] <http://hyundai.inallar.com.tr/ioniq/teknik-ozellikler/14/108/14/1/> (Ziyaret tarihi: 25 Mart 2018).
- [58] www.volvocars.com/tr/modeller/new-models/xc90/ozellikler/ (Ziyaret tarihi: 31Mart 2018).
- [59] megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Kavrama%20Sistemleri.pdf (Ziyaret tarihi: 18 Kasım 2017).

- [60] Kırçıçek Y., Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Destek için Kullanılan Batarya ve Ultrakapasitör Depolama Birimlerinin Modellenmesi ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2016, 423752.



KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] Özdemir E., Erhan K., **Altunkaya M.**, Hibrit Elektrikli Araçlarda Verimlilik Artışı Sağlamak İçin Bireyselleştirilmiş Sürüş Modu Algoritması Geliştirilmesi, *3. Uluslararası Matematik, Mühendislik Ve Fen Bilimleri Kongresi*, Ejons, Mardin, 21-22 Nisan 2018.



ÖZGEÇMİŞ

1992 yılında İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli'nde tamamladı. 2011 yılında girdiği Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Bölümü'nden 2016 yılında mezun oldu. 2016 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dal'ında Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

