

**TASARLANIP ÜRETİLEN BİR ELEKTRİKLİ ARACIN FARKLI
ÇALIŞMA KOŞULLARI ALTINDA PERFORMANSININ
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Furkan YERTÜM

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**MERSİN
ARALIK - 2021**

**TASARLANIP ÜRETİLEN BİR ELEKTRİKLİ ARACIN FARKLI
ÇALIŞMA KOŞULLARI ALTINDA PERFORMANSININ
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FURKAN YERTÜM
ORCID ID: 0000-0001-8745-431X

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

Danışman
Doç. Dr. İlker SUGÖZÜ
ORCID ID: 0000-0001-8340-8121

**MERSİN
ARALIK - 2021**

ÖZET

TASARLANIP ÜRETİLEN BİR ELEKTRİKLİ ARACIN FARKLI ÇALIŞMA KOŞULLARI ALTINDA PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Elektrikli araçların aktif olarak kullanılması asırlar öncesine dayanmaktadır. Marş motorlarının ortaya çıkmasıyla ve içten yanmalı motorların hızlı gelişmesi ile uzunca bir süre geri planda kalan elektrikli araçlar; fosil yakıtların tükenmesi, çevre kirliliği, batarya teknolojisindeki verimlilik ve maliyetindeki gelişmeler gibi çeşitli nedenlerle tekrar gündeme gelmeye başlamışlardır. Otomotiv üreticileri birçok sayıda tam elektrikli ve hibrit elektrikli aracı satışa çıkarmışlardır. Pil teknolojileri, enerji yönetim sistemleri, taşıt kontrol sistemleri gibi konulardaki çalışmalarla, elektrikli araçların daha cezbedici hale getirilmesi için çaba sarf edilmektedir. Bu çalışmada, enerji tüketim karakteristiğinin günümüz şartlarında görülmesi amacıyla şasi ve güç iletim elemanlarından oluşan bir elektrikli araç yapılmıştır. Bu temel yapıda enerji kaynağı olarak 48 V 60 Ah lityum iyon batarya kullanılmıştır. Araç bir adet 48 V 3000 watt fırçasız BLDC motorla arkadan tahrik edilmiştir. Tahrik sistemi tamamlanan araçla Mersin Üniversitesi Çiftlikköy Yerleşkesinde test sürüşleri yapılmıştır. Batarya karakteristiğinin görülmesi amacıyla çekilen akım kontrol edilmiş, batarya deşarjı izlenmiştir. Aracın enerji tüketiminin ölçülmesi amacıyla, batarya gerilimini, sürücünün çektiği akımın kontrolü yapılmıştır. Aracın geliştirilmesi ve gelecek teknolojilere ayak uydurabilmesi için önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli Araç, Batarya, DC Motor, Araç Tasarımı, İmalat

Danışman: Doç. Dr. İlker SUGÖZÜ, Mersin Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE PERFORMANCE OF A DESIGNED AND MANUFACTURED ELECTRIC VEHICLE UNDER DIFFERENT OPERATING CONDITIONS

The active use of electric vehicles goes back centuries. With the emergence of starter engines and the rapid development of internal combustion engines, electric vehicles that have been in the background for a long time have started to come back to the agenda due to various reasons such as depletion of fossil fuels, environmental pollution, efficiency in battery technology and cost. Automotive manufacturers have put out a large number of fully electric and hybrid electric vehicles on sale. Efforts are being made to make electric vehicles more attractive with studies such as battery technologies, energy management systems, vehicle control systems. In this study, an electric vehicle consisting of chassis and power transmission elements was constructed in order to see the energy consumption characteristic under today's conditions. In this basic structure, 48 V 60 Ah lithium ion battery is used as energy source. The vehicle was driven from the rear by a 48 V 3 kW brushless BLDC motor. Test drives were carried out at Mersin University Çiftlikköy Campus with the vehicle whose drive system was completed. In order to see the battery characteristic, the current drawn was checked and the battery discharge was monitored. In order to measure the energy consumption of the vehicle, the voltage of the battery and the current drawn by the driver were checked. Suggestions were made to develop the vehicle and keep up with future technologies.

Keywords: Electric Vehicle, Battery, DC Motor, Vehicle Design, Manufacturing.

Advisor: Assoc. Prof. Dr. İlker SUGÖZÜ, Department of Mechanical Engineering University of Mersin, Mersin.

TEŞEKKÜR

Çalışma hayatım boyunca bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen danıőmanım Doç. Dr. İlker SUGÖZÜ'ne, kıymetli hocam Doç. Dr. Banu SUGÖZÜ'ne, sağladığı imkânlardan dolayı Tarsus Teknoloji Fakóltesine, her zaman yanımda olan eőim Nedime Nurcan YERTÜM'e ve her türlü maddi ve manevi desteği sağladığı için aileme teőekkürü borç bilirim.

Bu çalışma Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimince 2019-3-TP2-3717 Proje Numarasıyla Desteklenmiőtir. Desteklerinden dolayı teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	i
ONAY	ii
ETİK BEYAN	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLOLAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
KISALTMALAR ve SİMGELER	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	4
2.1. Yapılan Çalışmalar	6
2.2. Elektrikli Araç Türleri	9
2.2.1. Elektrikli Araçlar	9
2.2.2. Hibrit Elektrikli Araçlar	11
2.2.2.1. Seri Hibrit Elektrikli Araçlar	11
2.2.2.2. Paralel Hibrit Elektrikli Araçlar Yakıt Hücreli Araçlar	12
2.2.2.3. Yakıt Hücreli Araçlar	13
2.3. Elektrikli Araç Mimarisi	14
2.3.1. Enerji kaynağı ve depolama sistemi	15
2.3.2. Elektrik Motorları	20
2.4. Elektrikli Araçlarda Kullanılan Motorlar	21
2.4.1. İndüksiyon motorları	21
2.4.2. DC Motorlar	22
2.4.3. Daimi Mıknatıslı Motorlar	22
2.4.4. Anahtarlamalı Relüktans Motorlar	23
2.4.5. Tekerlek İçi Motorlar	24
2.5. Elektrikli Araç Bataryaları	25
2.5.1. Kurşun Asit Bataryalar	25
2.5.2. Nikel Esaslı Bataryalar	26
2.5.3. Lityum Esaslı Bataryalar	27
2.5.4. Diğer Batarya Araştırmaları	28
2.6. Rejeneratif Frenleme Ve Elektrikli Araçların Verimi	29
2.7. Elektrikli Araçların Şarj Edilmesi Ve Akıllı Şebekeler	31
2.7.1. İletken Şarj Sistemi İle Şarj	31
2.7.2. Batarya Değişirme	32
2.7.3. Kablosuz Şarj	32
2.7.4. Akıllı Şebeke Teknolojileri	32
2.8. Elektrikli Araçların Menzilini Etkileyen Faktörler	33
2.9. Batarya Modelleme	36
2.9.1. Elektrokimyasal Modeller	36
2.9.2. İstatiksel Modeller	37
2.9.3. Elektriksel Eş devre Modeller	37
2.10. Elektrikli Araçların Çevresel Etkileri	38
3. MATERYEL ve METOD	39
3.1. Tasarım ve İmalat	39
3.1.1. Yürüyen Aksam Tasarımı	39
3.1.2. Araç Şasi Tasarımı	42
3.1.3. Yük Dağılımı Analizi ve Yük Dağılımı Oranları Tespiti	50

	Sayfa
3.1.4. Güç Gereksinimi ve Motor Seçimi	52
3.2. Elektrik Şeması, Batarya ve Motor	53
3.2.1 Motor Sürücü	55
3.3. Yapılan Ölçümler ve Ölçüm İçin Oluşturulan Devreler	58
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	69
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	63
<hr/>	
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ	68



TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Metal-hava termodinamik çiftleri ve benzinin karşılaştırılması	29
Tablo 3.1. Araç ağırlıkları	49
Tablo 3.2. Kuvvetlerin tekerleklere uzaklıkları	50
Tablo 3.3. Araç bilgileri	52
Tablo 4.1. Batarya grubu şarj süresi ve gerilim değerleri	59



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. 2006-2015 yıllarında dünya üzerinde bulunan araçların sayısı	4
Şekil 2.2. Ulaşım sektörünün CO2 salınımı	4
Şekil 2.3. Motordaki değişimler ile sağlanan CO2 salınım azalımı	5
Şekil 2.4. Araçlara elektrik motoru kazandırılması ile CO2 azalımı	5
Şekil 2.5. Arkadan itişli BEA' da kullanılan güç aktarma sistemleri	10
Şekil 2.6. Arkadan itişli veya önden çekişli SHEA için geliştirilmiş güç aktarım sistemi	12
Şekil 2.7. PHEA' da (a) ayrıık şafttan sürüş (b) ortak şafttan sürüş (c) önden ve arkadan sürüş.	13
Şekil 2.8. Bir araç üzerinde yakıt pili sistemi gösterimi	14
Şekil 2.9. Deşarj süresine bağlı olarak bir kurşun asit bataryada yük kapasitesinin değişimi	15
Şekil 2.10. Yakıt hücresi yapısı ve çalışma prensibi	19
Şekil 2.11. Elektrikli araç enerji kaynağının hibritleştirilmesi	20
Şekil 2.12. İndüksiyon motoru	21
Şekil 2.13. DC motor	22
Şekil 2.14. Daimi mıknatıslı fırçasız motor	23
Şekil 2.15. Anahtarlamalı relüktans motor	24
Şekil 2.16. Kurşun-asit batarya kimyası; (a) deşarj esnasında, (b)şarj esnasında	26
Şekil 2.17. Nikel esaslı batarya kimyası (a) deşarj (b) şarj (c) batarya prototipi	27
Şekil 2.18. Lityum iyon batarya kimyası (a) şarj - deşarj (b) silindirik görünümü	28
Şekil 2.19. Geri kazanımlı frenleme verim haritası	30
Şekil 2.20. Şarj sisteminde güç akışı	33
Şekil 2.21. Enerji miktarı test grafiği	34
Şekil 2.22. Batarya kapasitesi ve ağırlığın menzile etkisi	35
Şekil 2.23. Motor seçiminin menzile etkisini gösteren grafik.	35
Şekil 2.24. Thevenin batarya modeli	38
Şekil 3.1. Sabit süspansiyon sistemi	40
Şekil 3.2. Bağımsız süspansiyon tasarımı	40
Şekil 3.3. Disk fren tasarımı	41
Şekil 3.4. Direksiyon kutusu iç tasarımı	41
Şekil 3.5. Sanal ortamda tasarlanan ilk şasi örneği	42
Şekil 3.6. İlk üretilen şasi örneği	43
Şekil 3.7. İkinci şasi örneği	43
Şekil 3.8. Üretilen ikici şasi örneği	44
Şekil 3.9. Koltuklar arka arkaya düşünölen model	45
Şekil 3.10. Koltuklar yan yana düşünölen model	45
Şekil 3.11. Test için üretilen araç	46
Şekil 3.12. İlk tasarlanan model	46
Şekil 3.13. İkinci tasarlanan model	47
Şekil 3.14. Üretilmesi düşünölen model	47
Şekil 3.15. Döküm alınacak model	48
Şekil 3.16. Üretilen araç	48
Şekil 3.17. Ağırlık dağılımı	49
Şekil 3.18. Araç yapısını gösteren şematik	53
Şekil 3.19. PLC tesisatının yerleşimi	53
Şekil 3.20. PLC ekran tasarımı	54
Şekil 3.21. Motor verileri	54
Şekil 3.22. Kullanılan BLDC motor	55
Şekil 3.23. Motor sürücüsü	55
Şekil 3.24. Motor, sürücü ve pedal bağlantıları	56
Şekil 3.25. Akım ve gerilim ölçümü telemetri sisteminin uygulaması	57

	Sayfa
Şekil 4.1. Kocaeli Körfez Pisti	58
Şekil 4.2. Batarya grubu şarj süresi ve şarj gerilim eğrisi	59
Şekil 4.3. Pil hücresinin zamana bağlı deşarjı	60
Şekil 4.4. Batarya şarj oranının sıcaklığa bağlı değişimi	60
Şekil 4.5. Batarya deşarj oranının sıcaklığa bağlı değişimi	61
Şekil 4.6. Pist koşullarında bataryadan çekilen akım-zaman grafiği	61
Şekil 4.7. Güç-hız grafiği	62



KISALTMALAR ve SİMGELER

Bu tez kapsamında kullanılan simgeler ve kısaltmalar, tanımlamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltma/Simge	Tanım
A	Amper
Ah	Amper-Saat
F	Farad
Kg	Kilogram
Km	Kilonewton
kO	Kiloohm
m	Metre
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
N	Newton
O	Ohm
s	Saniye
V	Volt
W	Watt

Kısaltma/Simge	Tanım
AC	Alternatif Akım
AGM	Emdirilmiş Cam Elyaf
ARM	Anahtarlama Relüktans Motor
BLDC	Fırçasız Doğru Akım
DC	Doğru Akım
EA	Elektrikli Araç
EKDS	Enerji Kaynağı ve Depolama Sistemi
EKÜ	Elektronik Kontrol Ünitesi
EM	Elektrik Motoru
ETS	Elektrikli Tahrik Sistemi
HEA	Hibrit Elektrikli Araç
İYM	İçten Yanmalı Motor
PEM	Polimer Elektrolit Membran
SOC	Şarj Durumu
TTW	Depodan Tekerleklerle
VRLA	Supap Ayarlı Kurşun Asit
WTW	Kaynaktan Tekerleklerle

1. GİRİŞ

Teknoloji alanında dünyada kazanılan en büyük muvaffakiyetlerden biri içten yanmalı motorların (İYM) geliştirilmesidir. Bir diğeri ise bu motorlar ile çalışan araçların geliştirilmesi olmuştur. Gündelik hayatımızdaki temel ihtiyaçlarımızdan biri olan ulaşım ihtiyacının karşılanmasında ve toplumun ilerlemesinde araçlar büyük rol oynamıştır. Otomotiv teknolojisinin hızlı ilerlemesi, insanların kullandığı diğeri sanayi gelişmelerine kıyasla çok daha kökten değişimler sağlamıştır, insan yaşamını teknolojisiz basitlikten hızlı bir gelişmişlik sürecine sokmuştur. Dünyada can alıcı sektörler bakacak olursak bunlardan en önemlisi Otomotiv sektörü ve bunun alt bileşenleri ile ilgilidir. Bu otomotiv sektörü ve bileşenleri diğeri sektörler göre dünya genelinde iş imkânı olarak da bariz farklı olduğu görülmektedir [1].

Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte sanayileşmede artış görülmüş, beraberinde çevre ve hava kirliliğini ilerletmiştir. Günümüzün en önemli sorunlarından biri olan çevre ve hava kirliliği tüm canlılar gibi insanların sağlığını olumsuz yönde etkileyen bir konu haline gelmiştir. Araçlarda veya sanayide klasik yanma işlemleri sırasında açığa çıkan kirli havalar önemli toksik etkiler meydana getirmektedir. Emisyon değerleri açısından bakıldığında emisyonun bir kısmı sanayide, büyük bir kısmı da taşıtlarda gerçekleşmektedir. Yanma tam gerçekleşmediğinde havayı kirletme oranı tam yanmaya kıyasla çok daha fazla olacaktır. Hava kirliliğinin artması taşıt sayısının artışıyla orantılı bir şekilde gerçekleşmiştir. Bu artış da özellikle insan sağlığını, daha çok taşıt sayısı fazla olan kentlerde olumsuz yönde etkileyen güçlü bir faktör haline getirmiştir. Bunlardan yola çıkarak hava kirliliğini oluşturan önemli faktörlerden biri içten yanmalı motorlu (İYM) araçlardır. Her ne kadar hava kirliliğine neden olsa da günümüzde en çok kullanılan araçlardır. Bu araçların tam yanma ve yanmama sonucu ortaya çıkan egzoz gazları içindeki olumsuz kirleticiler, araç kullanımının artması sonucu her geçen gün çevreyi daha çok kirletmektedir. Bu artan kirlenme sonucunda insan sağlığı bozulmakta ve dünyadaki tüm canlılar olumsuz yönde etkilenmektedir. İçten yanmalı motorlar (İYM) en düşük verimle mekanik enerjiye ulaşmak için kullanılan yakıtın içerdiği kimyasal enerjiyi dönüştüren araçlardır [2].

İYM araçlarda egzoz gazlarıyla atmosfere atılan gazlara bakıldığında yüksek miktarda yanmamış petrol buharı gibi kirleticiler görülecektir. Araçlardan çıkan egzoz gazları özellikle trafiğin yoğun olduğu yollarda ve kavşaklarda daha yoğun olmakla birlikte içinde bulunan zararlı maddelerin çevreye ve insan sağlığına verdiği zararlar çok fazladır. Egzoz çıkışlarına veya yanmanın gerçekleşip atmosfere çıkan kısımlara önlem alınmaması durumunda gelecekte bu tür problemler çok daha fazla olacaktır. Çoğunlukla şehir merkezlerindeki karbonmonoksit (CO) emisyonlarının %70-90, azotoksit (NO) emisyonlarını %40-70, hidrokarbon (HC) emisyonlarının yaklaşık % 50 İYM araçlar oluşturmaktadır [3]. Oluşan gazların atmosferde çoğalması, güneşten atmosferimize iletilen ısı ve ışık enerjisinin yansımaya yani uzaya geri gönderilmesine engel

olmaktadır. Bunun en önemli sonucu olarak dünyanın sıcaklığı artmakta diğer bir deyişle sera etkisi ortaya çıkmaktadır. İYM araçların neden olduğu bu zararlı gazlar sağlık yönünden

- Solunum yolları rahatsızlıklarına,
- Yaşam kalitesinde aşağı yöne inmesine,
- Bebek ve çocuk ölümlerine,
- Çocuklarda yoğunluklu akciğer hastalıklarına,
- Kanser gibi birçok hastalığa neden olmaktadır [4].

Dünya nüfusunda ki artış, şehirler den köy, kasaba gibi kırsal kesime göre bu artış oranından çok daha fazla etkilendiği görülmektedir. Şehirlerdeki bu yaşama oranı ilk defa 2008 yılında nüfus ilk defa dünya nüfusunun yarısından fazlasını oluşturmuştur. Bu tarihten itibaren günümüze kadar ve sonrasında da kentsel nüfusun kırsal nüfustan çok fazla artacağı ve bu artışın hızla devam edeceği öngörülmüştür. Tahminen 2050 yılında nüfusun bu şekilde artması durumunda dünya nüfusunun %30'unun kırsal kesimde %70'inin ise şehirlerde, yaşaması beklenmektedir. Bu durum, önlemleri yetersiz kaldığında dünyanın karasal anlamda yüz ölçüm olarak %1'ini kaplayan şehirler için daha fazla hava kirliliği ve daha yoğun enerji tüketimi anlamı taşımaktadır. Üstte belirtilen nedenlerle son yıllarda hızlanan bir eğilimle tüm otomotiv sektörü yelkenlerinin yönünü elektrikli ve hibrit araçlar üzerine çevirmiştir. Bu değişime ayak uydurabilmek için daha çevreci ve yenilenebilir yakıtlar tüketen ayrıca daha ekonomik araçlar geliştirilmiştir. Şimdilik elektrikli ve hibrit araçlar öncelikli olmakla birlikte farklı çalışmalar da devam etmektedir [5].

Ulaşımın kentin hava ve ekonomisindeki üst düzey etkisi gözden kaçınılamaz. Ulaşım seviyesi ve kalitesi bir kentin çekiciliğine ve bölgedeki durumuna doğrudan etki eder. Ekonomik faaliyetlerin yürütülmesinde avantaj olduğundan dolayı ulaşım ve ticaret arasındaki yakın ilişki kentlerin varlığını haklı çıkarır. Doğal olarak insanların ve eşyaların rasyonel ve etkili bir şekilde hareketliliğini sağlanması maliyetsiz hiç de mümkün değildir. Ülkenin gelişmişlik düzeyini gösteren bir diğer faktör de ulaşımın dır. Geçmişten günümüze kadar önemli ulaşım yolları üzerinde veya çevresinde bulunan kentler diğer kentlere göre çok daha hızlı bir şekilde geliştiği görülür.

Gelişmekte olan kentlerde ulaşım ekonomik faaliyetler nedeni ile geliştikçe trafik sıkışıklığı oluşmaktadır. Bu karmaşa etkin trafik yönetim yapılmıyorsa her gün daha da artar. Bir kent için en önemli ulaşım sorunu o kentin ulaşım sisteminin talebe karşı yetersiz olmasıdır dolayısı ile kentin verimliliği, etkili ulaşım sistemine, işçilerinin, satıcılarının, tüketicilerinin ve mallarının farklı istikametlere gidebilmesini sağlayabilmesine çok bağlıdır.

Son yıllarda kent içi ulaşım sorunları önemli araştırma konuların arasında yer almaktadır. Bu durum dünya insan hakları gelişmesi aynı zamanda ulaşımın yayalar lehine tertip edilmesi, kent içinde meydana gelen trafik yoğunluklarını da mümkün olduğu kadar değişik yollara aktarılması, toplu ulaşım sisteminin özendirilmesi ve kademeli olarak raylı sistemine geçiş

şeklinde kendini göstermiştir. Kentleşme birçok sorunu yirminci yüzyılın sonlarına doğru gelişmekte olan ülkelerde görülmüştür. Kentlerde yaşamayı sorun haline getiren etmenler hızla artan nüfus, kırsal kesimlerden kentlere göç, çarpık kentleşme, altyapı yetersizliğidir. İnsanlar olarak rutin faaliyetlerimiz üç zamanda toplanır. Bu rutinler; günlük çalışmalarımız, çalışma sonrası dinlenmelerimiz ve bu alanlar arasında geçen yer değiştirmelerimiz kısaca ulaşımda geçen zaman aşamalarımızdır. Çalışmalarımız ve dinlenmelerimiz kapalı veya sabit mekânlarda, ulaşım aşaması ise bu mekânlar arasındaki araçlı ya da araçsız hareketlerden ibarettir [6].

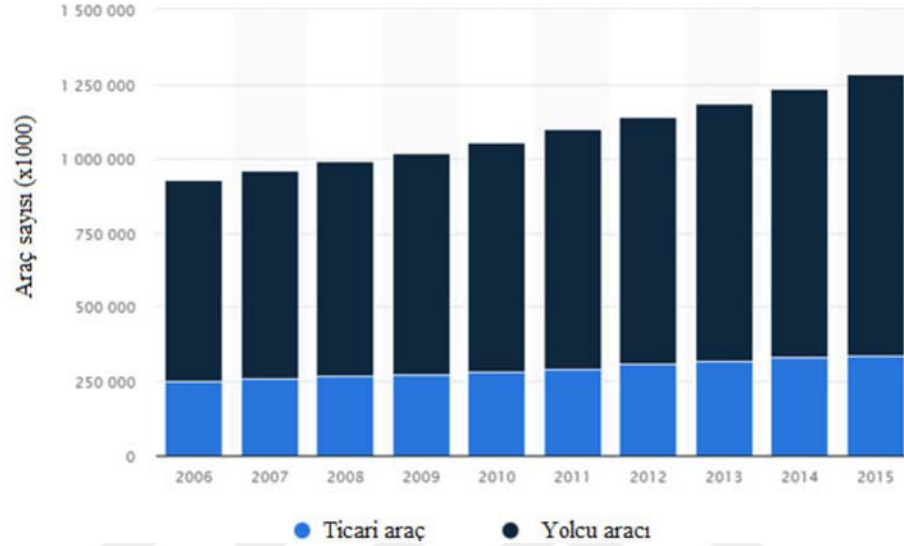
Kısaca anlaşılacağı üzere bulunduğumuz atmosferde çevreye daha az zarar veren, daha az zararlı üretim yapan malzemeler veya makineler kullanmamız gerekmektedir. Bundan dolayıdır ki gelecek süreçte İYM yerini Elektrikli Araçlar [EA] alacaktır. Hem verim hem de çevreye daha az zarar vermesinden kaynaklı Elektrikli Araçlar [EA] piyasada yaygınlaşacaktır. Bu yaygınlaşma çalışmasına bir katkı olarak bu çalışmanın gerçekleşmesi planlanmaktadır. Gelecek dönemde trafikte içten yanmalı motor kullanan birçok araç yerini elektrikli araçlara bırakacaktır Ayrıca bunun dışında insanlar ekonomik olarak daha az yakan daha rahat park edebileceği araçlara yönelecektir. Sonuç olarak bu çalışmada elektrikli mini bir araç üretimi yapılacaktır. Bu sayede trafikte yer kaplayan büyük araçlar yerine küçük ve emisyon sıkıntısı olmayan araçlar geçecektir

Çalışmada basit bir elektrikli araç imal edilip testlere tabi tutulması hedeflenmiştir. Bu çalışma sayesinde elektrikli araç karakteristikleri tecrübe edilebilecektir. Çalışma akabinde aracın mevcudu geliştirilerek Mersin Üniversitesi Çiftlikköy Yerleşkesine kazandırılması ve ileriki elektrikli araç çalışmalarında kullanılması amaçlanmaktadır. Dünyada elektrikli araçlara olan ilgi ve alakanın arttığı ve araştırmaların bu alana yöneldiği göz önüne alındığında çalışmanın vurguladığı önem daha net anlaşılabilir. Türkiye, içten yanmalı motor (İYM) teknolojilerinde gelişmelerini takip edememiş, tabiri caizse İYM teknolojisinin trenini kaçırmıştır ve sektörde üretici ve geliştirici bir rol üstlenememiştir. Ülkemizin, içinde bulunduğumuz elektrikli araçlara geçiş teknolojisinin sürecini çok iyi değerlendirmesi gerekmektedir.

Araçta, DC motor ve sürücüler kullanılmıştır. İmalat için Bilimsel Araştırma Projesi desteği alınmıştır. Araçta Lityum-iyon batarya kullanılmış ve bataryadan kaynaklanacak ağırlık azaltılmıştır. Çelik profillerden şasi tasarım ve imalatı gerçekleştirilmiştir. İmalatı yapılan araç şasi dinamometresinde test edilmiş, araç parametreleri kullanılarak enerji tüketim simülasyonları yapılmıştır.

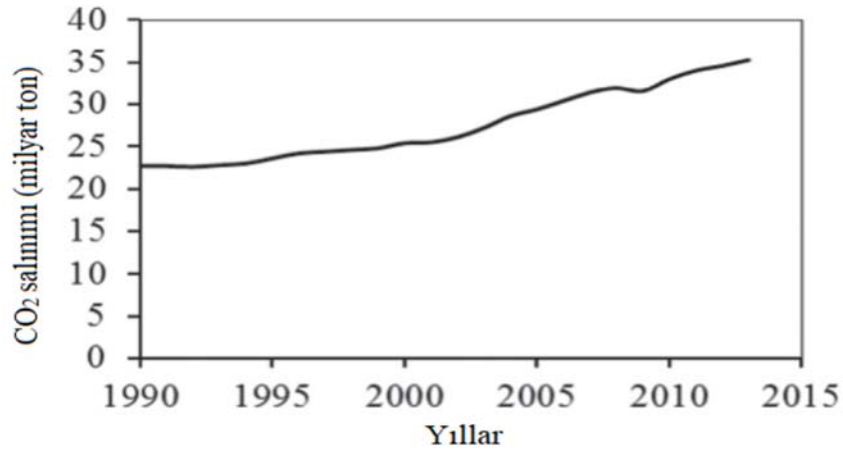
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

2015 yılında araç sayısı, 947 milyon yolcu taşıtı ve 335 milyon ticari taşıt olmak üzere, bir milyarın üzerinde olduğu şekil 2.1 de görülmektedir [7]. Bu rakamların 2035 yılına kadar 2 milyarın üstüne çıkması beklenmektedir.



Şekil 2.1. 2006-2015 yıllarında dünya üzerinde bulunan araçların sayısı [6].

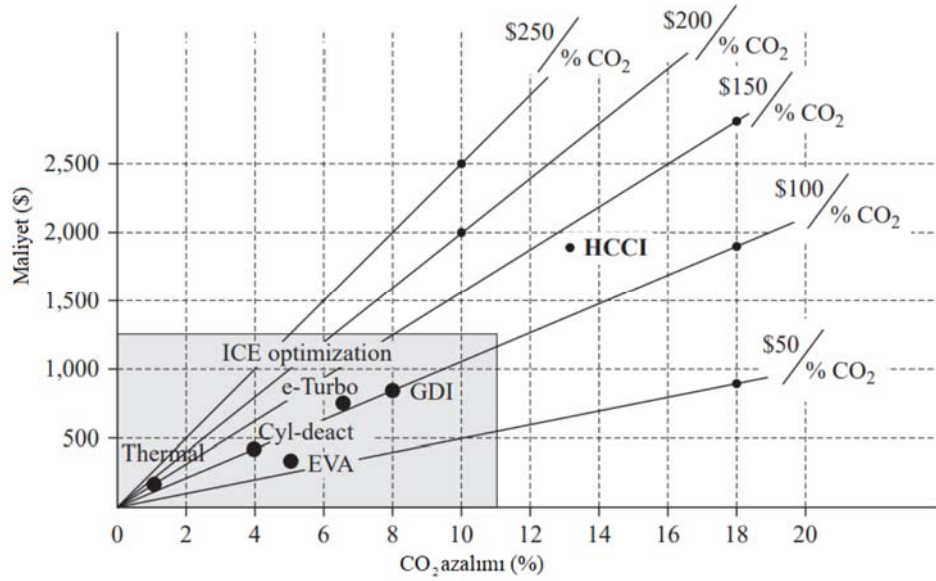
Şekil 2.2.'de 1990 - 2013 yıllarında taşımacılıktan kaynaklanan CO₂ salınım değerleri görülmektedir. Şekle göre CO₂ salınımları 1990 yılında 22,7 milyar metrik tondan, 2013 yılında 35,27 milyar metrik tona çıkmış ve 12,57 metrik ton artış göstermiştir [8]. CO₂ salınımların aynı seviyede kalabilmesi için yakıt veriminin en az iki katına çıkarılması, emisyonların çevre etkilerinin dengelenebilmesi için de bu emisyonların en az %80 oranında azaltılması gerekmektedir [9].



Şekil 2.2. Ulaşım sektörünün CO₂ salınımı [8].

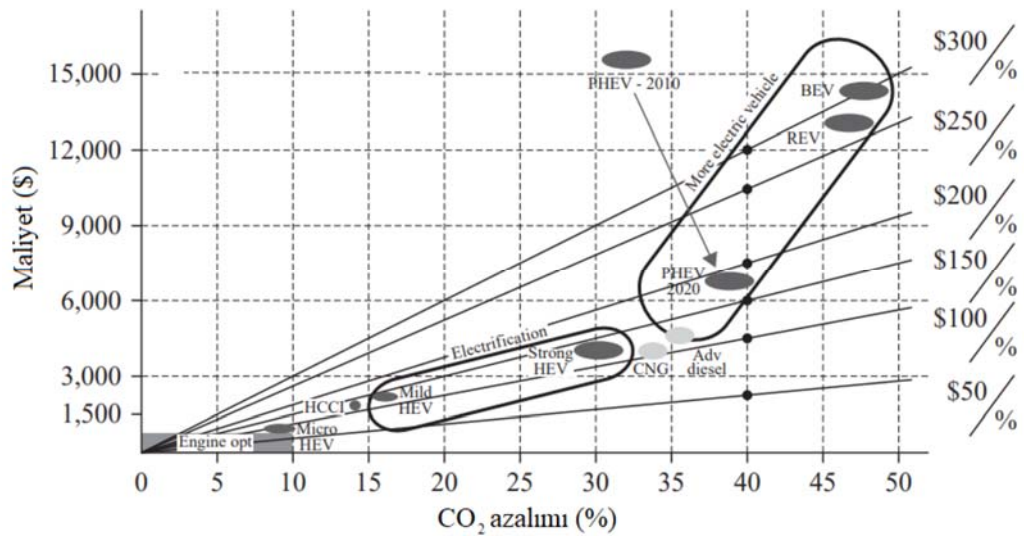
AB'nin 2030 taahhütlerinden sera gazı salınımlarının %20 oranında azaltılması hedefi belirlenmiştir. Bu hedef dâhilinde 2030'da taşıt CO₂ salınımları km'de 95 gr düşürülecektir [10].

Şekil 2.3'te motor üzerindeki değişim yolu ile elde edilen CO₂ salınım iyileştirmeleri görülmektedir. \$50 /% CO₂ - \$100 /% CO₂ aralığında %10 mertebesinde salınım düşüşü mümkün olmuştur. Bunun ötesinde, Otto dizel çevrim arasındaki farklılığı ortadan kaldırmayı sağlayan HCCI gibi daha yüksek teknolojiler takip edilmektedir [11].



Şekil 2.3. Motordaki değişimler ile sağlanan CO₂ salınım azalımı [11].

Şekil 2.4'te görüldüğü gibi CO₂ salınımlarını ileri seviyede düşürülmesi için araçlara elektrik motoru kazandırmak gerekmektedir



Şekil 2.4. Araçlara elektrik motoru kazandırılması ile CO₂ azalımı [11].

Çevresel boyutun yanında ekonomik boyut da problemi tetiklemektedir. Fosil yakıtta dışa bağımlı olan ülkeler, dış ticaret açığı vermekle kalmayıp yakıt satın aldıkları ülkelere bağımlı hale fosil yakıt ticareti sebebi neden olmaktadır. Dünyada ki petrolün neredeyse dörtte birini tüketen ABD'nin 2008 yılında, dış ticaret açığı toplam dış ticaretinin % 56'sını oluşturan unsurun petrol türevi ürünlerin oluşturduğu gözlemlenmiştir. Petrol tüketen ülkelerin petrol ihtiyacının ve fiyatının belirlenmesinde çok az etkisi vardır. Uluslararası Enerji Ajansı(IEA), her % 10'luk petrol fiyatındaki artışın tüm dünyadaki ülkelerin gayri safi yurt içi hasılasında % 0.5'lik daralmaya sebep olduğunu öngörmektedir [10].

2.1. Yapılan Çalışmalar

Bu kısımda, çalışma kapsamında EA mimarileri, batarya teknolojileri, elektrik motorları, modelleme ve simülasyon, EA'ların çevresel etkileri üzerine yapılan araştırmalara yer verilmiştir.

Romm (2005), alternatif araçlar üzerine yaptığı araştırma çalışmasında farklı kaynaklardan aldığı alıntılara yer vererek, yakın gelecek için tam elektrikli, hibrit ve yakıt hücreli araçların durumunu incelemiştir. Çalışmada, maliyetleri, herhangi bir altyapı gereksinimleri olmayışı, şarj ve menzil kaygısı oluşturmamaları, yakıt ve emisyon avantajları ile şarj edilebilir hibrit elektrikli araçlar öne çıkmıştır [12].

Ertaç (2008), farklı elektrikli taşıt teknolojileri, taşıt tasarım ve simülasyonu için uygun programlar hakkında araştırmalar yapmış, küçük bir elektrikli taşıtın tasarım ve simülasyonunu yapmıştır. Araç için gerekli tahrik gücü ve istenilen menzil için gerekli batarya gücü kapasitesi hesaplamaları yapmıştır [13].

Watts ve diğerleri (2010) tekerlek içi motorların teknolojilerini ve ekonomik avantajlarını anlatmış, problemlerini ve bu problemler için çözüm önerilerini sunmuşlardır. Çalışmaya göre; elektrikli araçlar hub motorlar ile birden fazla tekerlekten tahrik edilerek konvansiyonel aracın güç seviyesi yakalanırken, motor ve aktarma organlarından boşalan alanların bataryalar için kullanılması sayesinde araç menzilleri de uzatılabilir. Otomotiv üreticileri, bu avantajı kullanarak, tüketicinin alıştığı ve arzuladığı performansı onlara sunabilir, bu da elektrik aracın yaygınlaşmasını sağlayabilir. Bütün tekerleklerin bağımsız tahrik edilebilmesi sayesinde de çok daha hassas kontrol stratejileri uygulanabilecektir. Motor ve aktarma organlarını konumlandırma gibi bir problem olmadığı için varolan araç modelleri kolayca tam elektrikli olarak tasarlanabileceklerdir. Çalışma, referans göstererek, yaysız kütle probleminin aşılabilir bir mühendislik problemi olduğunu savunmakta, fren entegrasyonu için de tasarım önermektedir [14].

Uğur (2011) elektrikli araçlarda enerji yönetimiyle ilgili bir çalışma yapmış, bu çalışmada, ultrakapasitör ve batarya arasında gerilim düzenleyici PI kontrolör üzerinden kontrol edilmiş ve

yük paylaşımı sağlayan bir doğru akım dönüştürmüştür. Prototip araç üzerinde bu sistem test edilmiştir. Aracın güç ihtiyaçlarını bataryalar karşılarken, ultrakapasitörler aşırı güç ihtiyacını karşılamada kullanılmıştır. Bir güzergâh oluşturularak, batarya ve ultrakapasitör ayrı ayrı test edilmiş, son olarak hibrit sistem testleri yapılmıştır. Hibrit sistemle, araçla performansı aynı tutmak için çok daha küçük batarya boyutları kullanılabilirdiği sonucuna ulaşılmıştır [15].

Gerssen ve diğerleri (2012), elektrikli araçlar için mevcut ve yeni batarya teknolojilerini incelemişlerdir. Çalışmada, literatür araştırmalarına başvurulmuş, beş batarya teknolojisi için (Li-iyon, Li-S, Li-hava, ZEBRA, Zn-hava), kısa (>5 yıl), orta (5-20 yıl), uzun (>20 yıl) vadelere performans ve fiyat kestirimleri yapılmıştır. Bataryaların özgül enerji, özgül güç, ömür, çevrim ömrü, verim, çalışma sıcaklığı ve güvenlikleri incelenerek maliyetleri ile ilişkilendirilmiştir. Elektrikli araç uygulamalarında her bir batarya türünün enerji tüketiminin görülmesi amacıyla, beş kapılı kompakt araç referans alınarak sürüş çevrimi analizleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda, kısa ve orta vadede en avantajlı batarya türü olarak, Li-iyon öne çıkmıştır. Lityum-sülfür ve metal-hava bataryaları ticarileşebilirlerse, uzun vadede bataryalardan beklentileri karşılayabilecekleri öngörülmüştür [16].

Kumar ve Jain (2013) yazdıkları derleme makalesinde, elektrikli ve hibrit araç türleri, mimarileri hakkında kısa bilgi vermişler, enerji kaynaklarını ve kullanılan elektrik motorlarını tanıtmışlardır. Konu üzerindeki literatür eksikliği belirtilerek, özellikle elektrikli tahrik sistemleri üzerinde durulmuştur. Güç akışı ve kontrol algoritmalarına değinilmiş, elektrikli tahrik sistemleri yol haritasında gerçekleşen teknolojik gelişmelere ve gelecek zorluklara vurgu yapılmıştır [17].

Catenacci ve diğerleri (2013) tam elektrikli araçlar ve şarj edilebilir hibrit elektrikli araçlar için akülerin mevcut teknik durumu hakkında uzmanların değerlendirmelerini toplamak ve gelecekteki maliyetleri, bunların etrafındaki belirsizlikleri ve kamu destek programlarının etkilerini belirlemek için olasılık tahminlerini toplama amaçlı bir çalışma yapmışlardır. Çalışmaya Avrupa Birliği ülkelerinden bataryalar konusunda uzman 15 kişi katılmıştır. Çalışmada EA'nın başarısının yüksek batarya fiyatları tarafından sınırlandırıldığı, batarya fiyatlarının 2030 yılına kadar rekabet edebilir hale gelmesi için ar-ge çalışmalarının ikiye katlanması gerektiği ifade edilmiştir. En önemli alternatifler olarak Li-iyon ve Ni-MH bataryalara yoğunlaşılması gerektiği vurgulanmıştır [18].

Öztürk (2013) çalışmasında bir elektrikli aracı, Matlab programı ile modellemiştir. Analiz için asenkron motor ve Li-iyon bataryaları modellenmiştir. Rejeneratif frenleme etkisi de simülasyonlarda hesaba katılmıştır. Elektrik makinesinin kontrolünde Alan Yönlendirmeli Kontrol (FOC) metodu uygulanmıştır. Enerji tüketimi denildiğinde SOC (State of Charge) ve enerji geri kazanımlarında yola ve hız durumlarına göre incelenmiştir. Modelleme ile oluşturulan elektrikli aracın hızı Bulanık Mantık Kontrol metotları ve geleneksel PI ile kontrol edilmiştir. Bataryadaki enerji değişimi şarj durumu durumları özellikle incelenmiş ve PI kontrol yönteminin

bulanık mantık kontrol yönteminin daha zayıf sonuç verdiği görülmüştür. Ayrıca bulanık mantık kontrol metodunun daha iyi bir performans sergilediği saptanmıştır. Diğer bir konu ise elde edilen benzetmeye göre anlık hız değişimlerinde Bataryadaki enerji tüketiminin yokuş aşağı-yukarı ve dur-kalk durumlarına göre de anlık değiştiği gözlemlenmiştir [19].

Poullikas (2014) makalesinde elektrikli araç türlerini ele almış, çalışma prensiplerini açıklamış, bu araçlar için uygun görülen batarya çeşitlerinden bahsetmiştir. Yazıda şarj metot ve stratejilerine değinilerek, avantaj ve dezavantajlarıyla şebeke-arac etkileşimlerine (V2G ve G2V) yer verilmiştir [20].

Karaođlan (2014), tasarlanacak olan bir elektrikli araç için ihtiyaca uygun ve optimum yapı elemanlarının seçimini yapmış, taşıtın performans özelliklerini belirlemiş, tasarladığı aracı standart test çevrimlerine tabi tutmuş, bir çevrim boyunca değişen temel özellikleri incelemiştir. Teorik olarak elde edilen parametrelerle, ADVISOR programı kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlardan yola çıkarak, aracın enerji sarfiyatı ve sürüş menzili belirlenmiştir [21].

Mökükçü (2014), içten yanmalı bir aracın, elektrikli araca dönüştürülmesi projesi için motor tasarımı yapmıştır. Projede hafif bir binek araç satın alınmış, bu aracın elektrikli araca çevrilmesi planlanmıştır. Motor tasarımı ve imalatı aracın güç gereksinimleri hesaplandıktan sonra gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan motor 10 kutuplu sabit mıknatıslı fırçasız bir doğru akım motorudur. İç rotorlu bu motor için mıknatıs tipi Samaryum Kobalt (SmCo) olarak belirlenmiştir. Motor analitik tasarımları yapıldıktan sonra elektromanyetik ve ısıl sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır. Motor verilerinin sağlanması yapıldıktan sonra üretim için mekanik tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Bu proje motor sürücüsü tasarımı yapılan projelerdendir [22].

Cedden (2014) çalışmasında, elektrikli bir aracın şasi ve aktarma organları tasarımını bilgisayar ortamında üç boyutlu olarak gerçekleştirmiştir. Mevcut elektrikli araç mimarileri incelenmiş, buna göre tasarlanan şasi, karoser, aktarma organlarının yerleşimi yapılmıştır. Elde edilen mimariler için şasi Catia programı ile analiz edilmiştir [23].

Jochem ve diğerleri (2015), Almanya'da 2030 yılında elektrikli araç sayısının 6 milyona (%15 pazar payı) ulaşacağı ve elektriğin %60 oranında yenilebilir kaynaklardan elde edileceği kabulleri ile bu araçların şebekeye bağlanmasından kaynaklanacak CO2 emisyonlarını farklı yaklaşımlarla öngörmeye çalışmış, bu yaklaşımların avantaj ve dezavantajlarını tartışmışlardır. Kontrollü ve kontrolsüz şarj senaryoları için bu yöntemler kullanılmıştır. PERSEUS-NET-TS olarak adlandırılan elektrik sisteminin optimize edilmiş bir tabandan tepeye Alman modeli ile yöntemler değerlendirilmiştir. Yapılan kabullere göre, Almanya'da CO2 salınımlarında genelde iyileşme görülmüşse de, İYM emisyonlarının da azalacağı düşünülürse, bazı ülkeler için emisyonlarda ciddi bir düşüş olmayabileceği vurgulanmıştır. Yenilebilir enerjinin önemine dikkat çekilmiş, araçların düşük talep saatlerinde kontrollü şarj edilmeleri tavsiye edilmiştir [24].

2.2. Elektrikli Araç Türleri

Elektrikli araçlar enerji tüketimi, hava kirliliği, petrol bağımlılığı açılarından ele alındığında istenilen özelliklere sahiptirler. Ancak kullanılan bataryaların maliyet ve ağırlıkları sebebiyle EA'lar düşük menzilli olarak tasarlanıp üretilmektedirler. Bu problemin aşılması ve elektrikli araçların, konvansiyonel araçlar gibi, daha esnek kullanıma sahip olmaları için hibrit yapılar ortaya konulmuştur. Günümüz elektrikli araç incelemelerinde mevcut teknolojinin; tam elektrikli, hibrit elektrikli ve yakıt hücreli araçlar olmak üzere üç genel başlık altında toplandıkları görülmektedir.

2.2.1. Elektrikli Araçlar

Birbirinden farklı güç iletim sistemine sahip bataryalı arkadan itişli araçlara ait muhtemel iletim organları Şekil 2.5'de görülmektedir. Elektronik diferansiyel ya da mekanik diferansiyel bu araçlarda güç aktarma sisteminin kullanılmasına olanak tanır.

Şekil 2.5.a'da görülmekte olan geleneksel güç aktarım sisteminin içten yanmalı motoru yerine elektrik motorunun yerleştirildiği yapıdır. Elektrik motoru bu yapının içinde, şanzıman grubu, debriyaj ve mekanik diferansiyel yer almaktadır. Debriyaj dediğimiz yapı elektrik motorunda meydana gelen gücünü tekerlere ulaştırmak için kullanılır. Dişli grubunda sağlanabilen değişik dişli oranlarıyla yükün gerektirdiği moment-hız ilişkisini sağlar. Mekanik diferansiyel yapısı ise araç viraja girmeye başladığında istikrarlı bir sürüş için tekerlerin birbirinden farklı fakat uygun hızlarda dönmesiyle görevlidir.

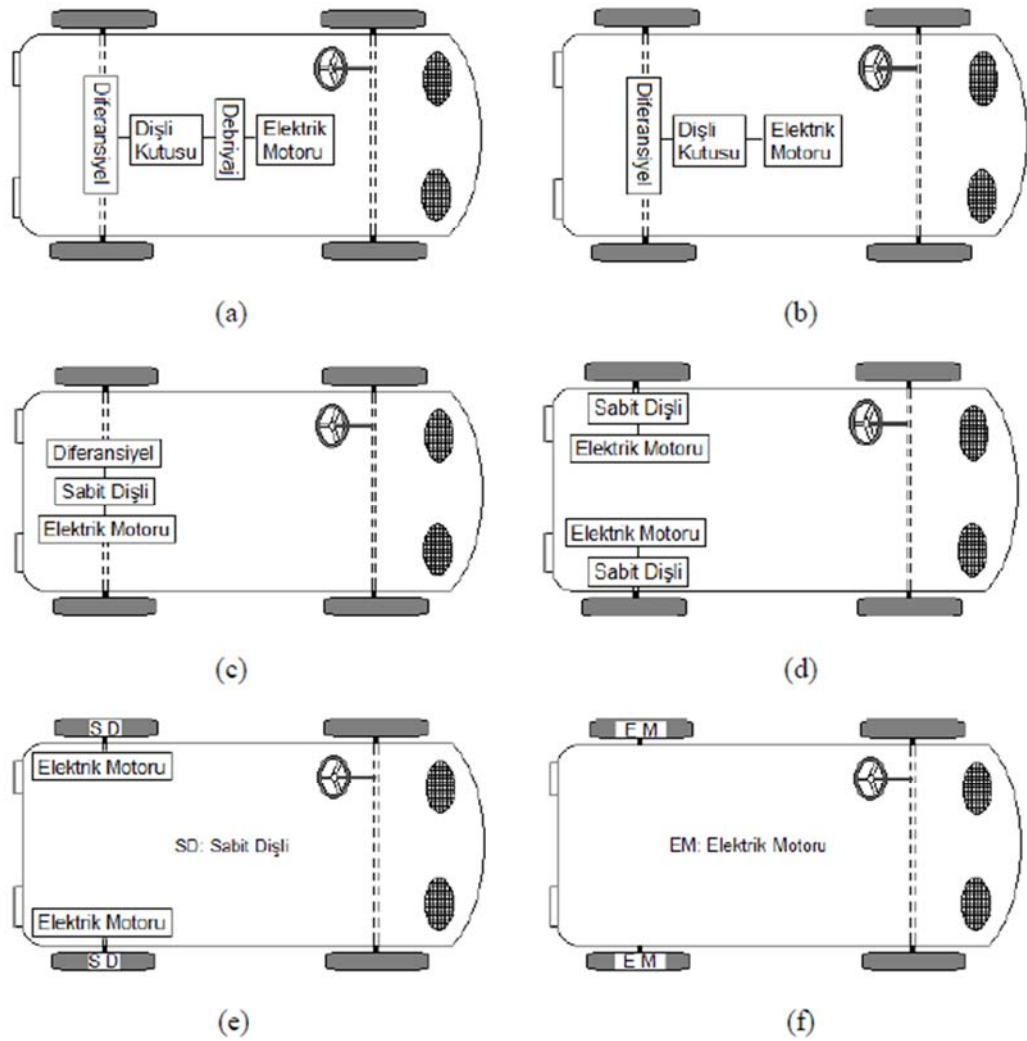
Şekil 2.5.b'de, anlatılan sabit bir güce sahip ve geniş hız bandında elektrik motoru kullanılır. Debriyaja olan gereksinim azaltmak için çoklu dişli yerine sabit dişli kutusu kullanılır. Böylece bu sistemde mekanik aktarım boyutu ve ağırlığının azaltılmasının yanında dişliyi kaydırma olayı olmadığından güç iletiminde kontrol daha da kolaylaşmıştır.

Bundan önceki bir üst yapıda olduğu gibi Şekil 2.5.c'deki güç aktarım organında kullanılan elektrik motoru ve mekanik diferansiyelden oluşur diğerinden farkı sabit dişli bulunmasıdır. Ancak güç aktarım organı basitleştirilmiş ve küçültülmüştür bunu da tüm parçaların aks doğrultusunda yerleştirilerek sağlar.

Şekil 2.5.d'de ise mekanik olarak kullanılan diferansiyel yerini daha hafif ve fiziki olarak çok küçük boyutta elektronik diferansiyele bırakmıştır. Aracın her türlü yollarda hareketi sağlanmak için iki adet elektrik motoru kullanılmaktadır. Araç viraj üzerinde hareketini sağlarken sağ ve sol taraftaki motorlar, virajın içinde kalan motorun yavaş dışında kalan motorun hızlı olacak şekilde tekerleri elektronik diferansiyel algoritmasına göre uygun hızda çevirirler.

Güç aktarım organlarını daha da kolaylaştırmak için motor sürücüsü, motorlar Şekil 2.5.e'deki gibi tekerlerin içine konumlandırılmıştır. Bu uygulama neredeyse bütün teknoloji ve bilim kitaplarında "teker içi sürüş" olarak geçmektedir. Motor hızını düşürüp momenti yükseltmek için sabit dişli kullanılabilir.

Elektrik motorlarının mekanik dişliler olmadan kullanıldığı ve aktarımın mekanik olmadığı için kaybın en az olduğu yapı aşağıdaki şeklin f maddesinde görülmektedir. Şeklin f maddesinde ki sistemde motorlar diğer sistemlerden farklı olarak dıştan rotorlu olmalıdır. Jantın yerine geçen motorlar düşük hızlara ve yüksek kalkış momentli yapıya sahip olmalıdırlar [25].



Şekil 2.5. Arkadan itişli BEA' da kullanılan güç aktarma sistemleri [25].

2.2.2. Hibrit Elektrikli Araçlar

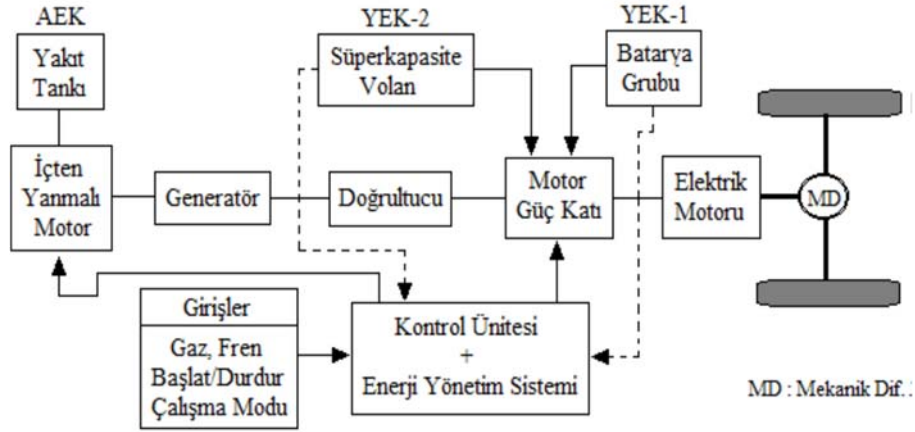
Hibrit elektrikli araçlar kısaltma adıyla 'HEA'lar, minimum iki enerji kaynağına yani ana güç kaynağı ve yardımcı güç kaynağına sahip araçlar olarak isimlendirilir. Hidrojen ve fosil yakıtlar ana enerji kaynağı (AEK) olarak kullanılırken kimyasal bataryalar, volanlar, ve süper kapasiteler yardımcı enerji kaynağı (YEK) olarak kullanılabilir. Genellikle yenilenemez enerji kaynak yakıtları hibrit araçlarda ana enerji kaynağı olarak, bataryalar ve diğer süper kapasiteler ise yardımcı enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır.

Seri ve paralel olmak üzere iki ana temel yapıdan oluşan hibrit araçlar, bu iki sistemin avantajlarına sahip seri-paralel yapıda da olabilmektedir. Enerji kaynağını bir yerden almayan yani çoklu enerjiye sahip bu araçlarda enerji yönetim sistemi (EYS) kullanılmalıdır. Böyle bir sistem sayesinde istem halinde AEK'i diğer durumda YEK'i kullanacak biçimde kullanılabilir. Bunların dışında yokuş aşağı inerken veya düz yolda sabit hızla giderken enerjinin geri kazanılmasında ve frenleme anında EYS etkilidir.

2.2.2.1. Seri Hibrit Elektrikli Araçlar

Tahrik motoru olarak sadece elektrik motoru kullanan araçlara Seri hibrit elektrikli araçlar (SHEA) denir. Bu özellikleri ile kıyaslandığında en çok bataryalı elektrikli araçlara benzemektedirler. İçten yanmalı (İY) motor, jeneratöre bağlı olarak çalışarak aracı sürececek elektrik motoruna ihtiyaç duyduğu gücü ulaştırır. Bu tür sistemi kullanan elektrikli araçlara ait güç aktarma sisteminin bir örneği Şekil 2.6'da gösterilmiştir.

Bu tür araçlarda girişlerin değerlendirilmesinden, EYS' nin çalışmasından ve farklı çalışma metotları arasında geçiş yapmasından kontrol ünitesi sorumludur. Benzer özelliklere sahip tipik bir aracın motoru daha küçüktür İY motorun hacminden, Ayrıca bu sistemde İY motor, devamlı veriminin en yüksek olduğu noktada çalıştırılır. Bu sayede hem motor hacmi küçültülür hem de sürekli yüksek verimde çalışma sağlanarak emisyon değerleri minimum seviyeye indirilmiş olur. Aracın yokuş tırmanması, ani hızlanması gibi anlık güç ihtiyacına sebep olan durumların haricinde aracın enerjisi bitene kadar aracı yenilenemez enerjili yakıt kullanmadan sürmek için yardımcı enerji kaynakları kullanılabilir. EYS bir diğer özelliği ise frenleme esnasında ya da yokuş aşağı inerken enerjinin hızlı bir şekilde geri kazanılmasını da yönetmektedir.

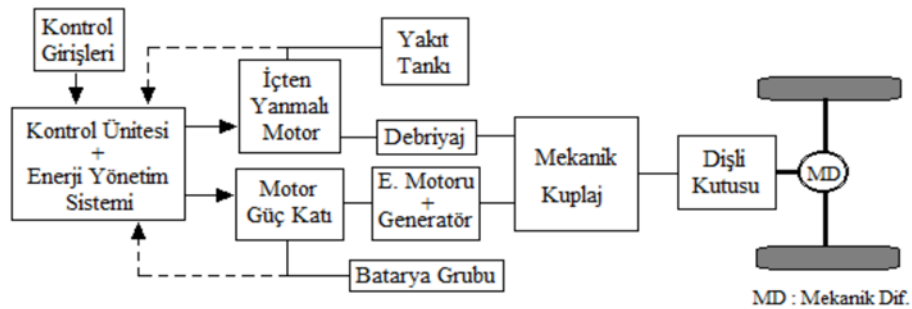


Şekil 2.6. Önden çekişli ve arkadan itişli shea için güç aktarım sistemi.

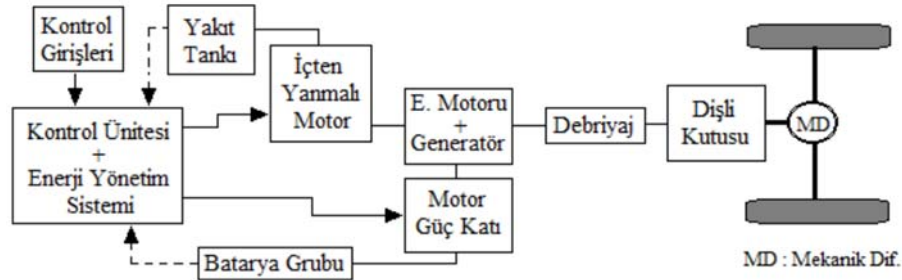
Seri Hibrit Elektrikli Araçlarda yolcu kabininin dışında istenen herhangi bir yere İY motorun güç aktarım sistemi ile fiziksel herhangi bir bağlantısı olmadığından konumlandırılması yapılabilir. Bu durum tasarımı yapılacak araçta oldukça rahatlık sağlamaktadır. Dişli kutusunu ortadan kaldırılması için hareket iletecek motor olarak sadece elektrik motorunun kullanılmasıdır. Ancak bu tür araçlarda enerjinin birbirine dönüşümleri yani mekanik, elektrik ve kimyasal enerji dönüşüm hamlelerinin fazlalığı araç verimlerini düşürmektedir. SHEA' ın da her türlü kullanımı göz önünde bulundurulduğunda bazı durum ve şartlarda büyük elektrikli motorları ve büyük batarya grupları seçilmelidir bunlardan en önemlisi şehir içi dur kalkların çok olduğu durumdur.

2.2.2.2. Paralel Hibrit Elektrikli Araçlar

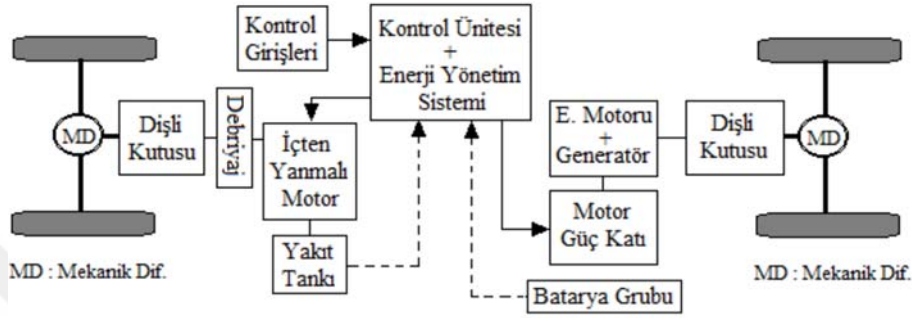
SHEA' nın tam tersine Paralel Hibrit Elektrikli Araçlar (PHEA), hareket iletimlerini hem elektrik motoruyla hem de İY motor meydana getirmektedir. Aşağıdaki şekilde daha net anlaşılacağı gibi ortak şafttan sürürlü, birbirinden bağımsız şafttan sürürlü ve de hem önden hem de arkadan sürürlü olmak üzere 3 farklı değişik sürüş yapısında PHEA tasarımı meydana getirmek mümkündür.



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.7. Araçta ayırık şafttan sürüş (a) ortak şafttan sürüş (b) önden ve arkadan sürüş (c).

Genel hareket İY motor tarafından sağlanan PHEA'larda Elektrik motoru yalnızca ani ivmelenmelerde ve yokuş çıkışlarında yani tork ihtiyacı olduğu durumlarda devreye girerek yardımcı motor görevi görmektedir. Bu ani güç ve tork gereksinimlerini SHEA'dakilerin aksine daha küçük ve elektrik motorunun daha güçlü olmasıyla karşılamaktadırlar. Fakat bu yardımcı motorlar aracı tek başına hareket ettirebilecek torku sağlayacak güce sahip değildir. PHEA'da enerji dönüşüm adımları Ekstradan jeneratöre gerek olmadığından azaltılmıştır. Değişik çalışma koşullarında İY motor ve elektrik motoru çıkışlarının mekanik kuplaj ile birleştirilmesi PHEA'nın kontrolünü oldukça karmaşık hale gelmesinin bir nedenidir.

Şekil 2 ve Şekil 3'de görülen mekanik diferansiyel oradan alınarak ve de tek elektrik motoru yerine iki adet teker içi motor kullanılmasıyla elektronik diferansiyel sistemi tasarlanabilir ve bu sayede mekanik diferansiyelin ağırlık ve düşük veriminden kaçınabilmek mümkündür.

2.2.2.3. Yakıt Hücreli Araçlar

Elektrikli araçların menzillerinin uzatılması için başvurulan yöntemlerden biri de, bu araçların üzerine elektrokimyasal reaksiyonlarla elektrik üretebilen yakıt hücrelerinin yerleştirilmesidir. Yakıt hücreleri pek çok farklı yakıtla çalışabilirler, ancak elektrikli araçlar için özellikle üzerinde durulan yakıt hücreleri hidrojenli yakıt hücreleridir [10,26].

Hidrojenli yakıt hücreleri membran yapısından dolayı polimer elektrolit membran (PEM) ya da proton değişim membran (proton exchange membrane) yakıt hücreleri olarak adlandırılırlar. Seri Hibrit Elektrikli araçların yapısı ile Yakıt Pili Elektrikli araçların yapısı birbirine benzemektedir. Seri hibrit araçlarda bulunan, görevi yakıt depolamak olan yakıt deposu yerine aynı göreve sahip hidrojen tankı, görevi elektrik üretmek olan içten yanmalı motor ve jeneratör ile aynı göreve sahip yakıt pilleri bulunmaktadır [27].

Yakıt hücrelerinde gerçekleşen reaksiyon ürünü sudur, dolayısıyla bu araçlar herhangi bir emisyonla neden olmazlar. Yakıt dolulukları, geleneksel bir araç gibi, kısa sürede gerçekleşmektedir. Karmaşık bir mimariye ve ağır yapıya sahiptirler. Bu araçların en büyük engelleri; hidrojenin elde edilmesi, nakledilmesi, istasyonlarda ve araç üzerinde depolanması ile ilgili zorluklar ile yapılarında değerli metal bulunduran yakıt hücresi yığınlarının yüksek maliyetleri olmaktadır. Şekil 2.8.'de yakıt pili uygulaması görülmektedir.



Şekil 2.8. Bir araç üzerinde yakıt pili sistemi gösterimi [26].

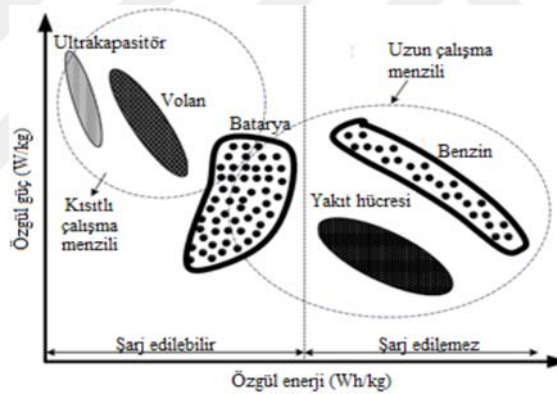
2.3. Elektrikli Araç Mimarisi

Elektrikli araçların kalbi durumunda olan elektrikli tahrik sistemleri (ETS) dört ana bileşende incelenebilir [17].

- 1) Enerji kaynağı ve depolama sistemi (EKDS)
- 2) Elektrik motoru (EM)
- 3) Güç elektroniği dönüştürücüsü
- 4) Elektronik kontrol ünitesi (EKÜ)

2.3.1. Enerji Kaynağı ve Depolama Sistemi

Bu sistem temel olarak, enerji kaynağını ve yerleşik enerji depolama birimini içerir. Verim, yakıt ekonomisi, elektrikli menzil büyük bir oranda enerji kaynağı ve depolama sistemine bağlıdır. EKDS tasarımında öngörülen maliyet sınırları içerisinde, enerji yoğunluğu, güç yoğunluğu, yaşam döngüsü, boyut, güvenlik, bakım, dayanıklılık ve geri dönüştürülebilirlik dikkate alınır. Çoğu EA'da ana batarya dışında, bir de 12 V batarya bulunur. Farlar, silecekler, korna, hava yastığı gibi yardımcı sistemleri çalıştıran bu batarya sıradan kurşun asit akü olabilir. Bu ek batarya bir DC/DC dönüştürücü ile ana bataryadan şarj edilir. Yardımcı sistemler, araç kullanımda iken, dönüştürücüden geçerek gelen ana batarya akımı ile beslenir. Araç durdurulduğunda ise ek aküden gelen akım kullanılır [17]. EA enerji kaynağı olarak genelde değişik türde bataryalar kullanılmakla birlikte, volan, yakıt hücresi, süperkapasitör sistemlerinin kullanımı da incelenmektedir. Şekil 2.9'da farklı enerji kaynaklarının enerji seviyeleri görülmektedir.



Şekil 2.9. Deşarj süresine bağlı olarak bir kurşun asit bataryada yük kapasitesinin değişimi [17].

Depolanmış Elektrik Enerjisi

Batarya gerilimi ve yükü bataryalarda depolanan enerji ile alakalıdır. Matematiksel açıdan kullanılan sayıların küçük olmasından kaçınmak ve elektrik yükü ile mantık çerçevesiyle uyuşması açısından depolanan enerji birimi olarak Joule (J) yerine Watt-Saat (Wh) kullanılır. Bataryanın kısa sürede enerjisi tükenmemesi için bataryadan çekilen akım artmasına ve buna bağlı olarak batarya uç gerilimi ve elektrik yükü kapasitesi azalmasına engel olunması gerekmektedir.

Özgül Güç

Bataryadan alınabilecek kilogram başına gücün miktarı özgül güç [W/kg] ile gösterilir. Bazı bataryalar düşük özgül güce sahipken yüksek özgül enerjiye [W/kg] de sahiptirler. Bu bilgiden yola çıkarak bu bataryalar enerjiyi ne kadar çok depolasalar bile bu enerjiyi yavaş yavaş (küçük akım akıtarak) yüke verebilirler. Özellikle elektrikli araçlarda da bu tür özelliklere sahip bataryalar tercih edilir. Menzil bu sayede bir nebze arttırılabilir.

Özgül Enerji

Depolanan elektrik enerjisinin kilogram başına miktarı özgül enerji [Wh/kg] olarak tanımlanır. Elektrikli araçlarda özgül enerji ve depolanması istenen enerji miktarı kullanılarak bataryaların tahmini ağırlığını bulunabilir.

Elektrik Yükünün Verimi

Teorik ve pratik genel olarak tutmayabilir bataryalar için konuşacak olursak şarj edildikleri elektrik yükü miktarının %100'ünü geri vermesi beklenir. Fakat pratikte %100'e ulaşmanın mümkünatı yoktur. Bataryaların şarj seviyesi %20 seviyesinden %80 seviyesine çıkarıldığında en yüksek verim elde edilmektedir. Batarya şarjının %80-100 aralığına kadar çıkarılması verimi oldukça düşürmektedir.

Enerji Yoğunluğu

Enerji yoğunluğu [Wh/m³]; birim hacimde depolanan enerji miktarı olarak tanımlanır. Bataryaların kaplayacağı hacmi tahmin etmek için elektrikli araçlarda gereken enerji miktarına bağlı olarak kullanılabilen karakteristik bir özelliktir.

İstem Dışı Deşarj Olayı

Kendi kendilerine deşarj, bataryayı meydana getiren hücrelerde gerçekleşen olağanüstü kimyasal reaksiyonlar sonucunda ortaya çıkan durumdur. İstem dışı gerçekleşen bu durum yüksek sıcaklık olduğu yerlerde ve bataryalarda kullanılan saflığının düşük metallerin olduğu durumlarda daha da hızlı gerçekleştiği görülmüştür [28].

Enerjinin Verimi

Enerji verimi, belli bir şarj seviyesinde olan bataryanın tamamen deşarj olana kadar kullanacağımız elektrik enerjisinin, bataryanın tekrar bu düzeye kadar şarj olabilmesi için gereken elektrik enerjisine bölümüne enerji verimini denir. Verimin her araçta yüksek olması

istenir enerji veriminin ise elektrikli araçlarda büyük olması istenir. Verimi etkileyen unsurlara baktığımızda bunlar, ortam sıcaklığı, hızlı şarj ve deşarj gibi durumlardır.

Bataryalar

Çevremizde birçok klasik İYM araç görebiliriz bu araçların her türlü enerji ihtiyaçları elektrik açısından kurşun asit batarya ile giderilmektedir [29]. Daha basite indirgeyecek olursak küçük golf arabası, tekerlekli sandalyeler gibi uzun menzil gerektirmeyen araçlarda da bu türden akünün kullanılması uygundur. Eski teknoloji olarak düşünelim de maliyet açısından ve tekrar şarj edilebilmesi açısından mantıklıdır. Bu bataryalar düşük özgül enerjiye (25-35 Wh/kg) ve de yüksek derecede özgül güce (150 W/kg) sahiptir [30]. Ani güç gerektiren durumlarda özellikle de hibrit araçlarda kullanılması gayet uygundur [31]. Kurşun asit bataryalar ortamdaki etkilenmektedir en kötü olduğu durumlar ortam sıcaklığının düşük olduğu durumlardır. Bu durumu egale etmek için en mantıklı yollardan bir tanesi başvurulduğunda batarya, özel ısıtıcı düzeneğe ihtiyaç duymaktadır. Bataryalardan nikel tabanlı olanları için nikel metal hidrür batarya, elektrikli araçta geleneksel problem olan menzil problemini ve performans artışı ihtiyacını karşılamak için en iyi çözümdür. Özgül gücüne bakacak olursak 200W/kg'a, özgül enerjisi ise 65 Wh/kg'a kadar çıktığı görülmektedir [28]. Hızlı şarj olması en net özelliğidir. Eski teknoloji olarak düşündüğümüz kurşun asit bataryaları, nikel tabanlı bataryalara göre fiyatı kıyaslandığında fiyatının yüksek olduğu görülecektir. Ayrıca kurşun asit bataryalarda şarj olurken klasik ısınma problemleri vardır. Elektrikli araç teknolojisi ilerledikçe özellikle 1990'lı yıllarda elektrikli araçlarda ve çoğu hibrit araçlarda metal hidrür batarya yani nikel bazlı batarya kullanılmıştır.

Bir diğer batarya türü Sodyum klorür bataryadır. Bu batarya içinde Sodyum barındırdığı için bu ismi almıştır. Fakat direk dezavantaj olarak başlayacağımızda çalışma sıcaklığı elektrikli araçlar ve günümüz şartları için uygun değildir. Çünkü 160-300 °C sıcaklığında çalışır. 150 Wh/kg özgül güç ve 100 Wh/kg özgül enerji değerlerine çıkabilir [28].

Elektrikli araçlar için en uygun görülen bir diğer batarya türü Lityum iyon bataryalardır. 125 Wh/kg özgül enerji ve 300 W/kg özgül güç değerleri vardır bu da bu bataryaları ayrıcalıklı kılmaktadır [28]. Bunların yanında deşarj oranı düşüktür, bataryaların yüksek sıcaklıkta performansları iyidir ve verimleri oldukça yüksektir. Bu bataryalarında dezavantajlarından en önemlisi maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Maliyet ikinci plana atıldığında bu bataryalar tam anlamıyla elektrikli araçlar için yapılmıştır denebilir.

Süper Kapasitörler

Elektrokimyasallar olarak adlandırılan bu cihazlar elektrostatik prensibiyle çalışır. Güç yoğunlukları çok yüksek olup, milyonlarca kez şarj deşarj olabilirler. Bataryalar gibi şarj ve deşarjları yavaş değildir tam tersine çok hızlıdır. Dezavantajı olarak bakıldığında ise düşük enerji yoğunluğuna sahiptirler.

Elektrikli araçlarda da enerji yoğunluğunun düşük olması tamamen istenmeyen durumdur. Bu sebepten elektrikli araçlarda yalnız bir güç kaynağı olarak kullanmak neredeyse imkânsızdır. Bu imkânsızlığı imkânli hale getirecek bir umut ise bir DC / DC dönüştürücü aracılığıyla süper kapasitör ile bataryanın birlikte kullanılmasıdır. Teknolojinin gelişmesiyle araç tarafından istenilen enerji ve çekilecek güç, güç elektroniğinin iyileştirilmesi ile mümkündür. Bu durum sonucunda süper kapasitör bataryanın verdiği enerjiyi düzeltir ve döngü sırasında enerji üretmek ile uğraşmaz. Rejenerasyon verimliliği için daha yüksek güç yoğunluğuna ihtiyaç vardır. Bu verimlilik ivmeyi ve menzili artırır. Pilin ömrünü de bataryada meydana gelen dalgalanmayı düzeltir, batarya sıcaklığını düşürerek sağlar. Elektrikli araç pazarını, enerji yoğunluğu yüksek sahip pillere odaklanmasını sağlar [32].

Volan

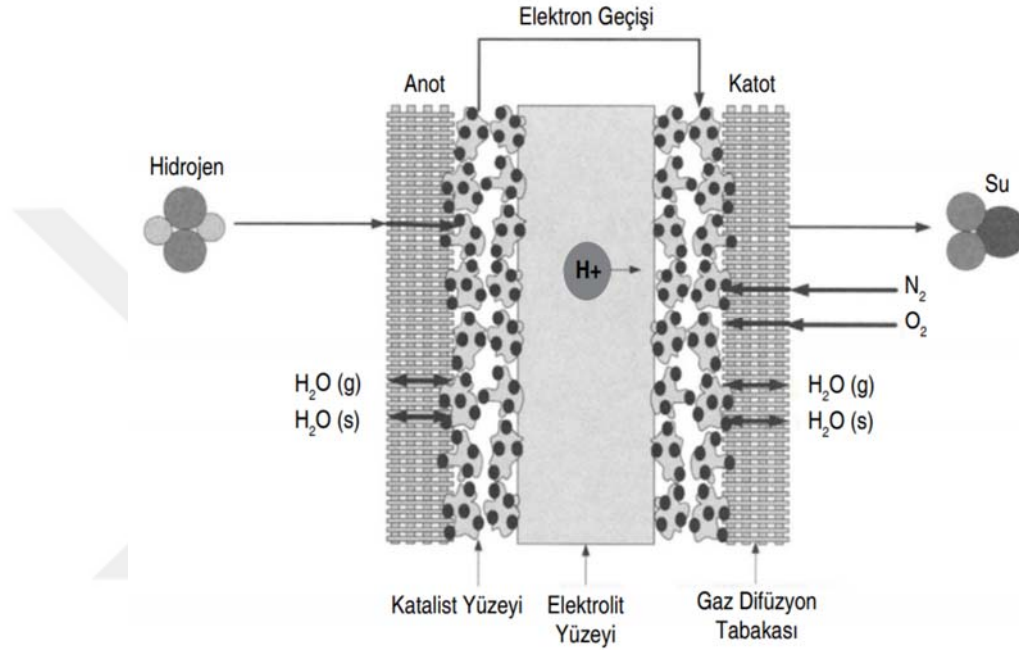
Volan denilince elektrik enerjisinin mekanik enerjiye dönen bir disk yardımıyla aktarıldığı bir yapıdır. Volanlar elektrikli araç teknolojinde kendine tutunacak bir dal bulamamıştır. Bunun en önemli etkeni yüksek ağırlıkları ve maliyetleridir. Teknolojinin gelişmesiyle ağırlığını azaltmak için hammadde değişikliği yapılmış hatta buna örnek olarak karbon fiber kompozit olarak üretilmiş ve bu sayede alternatif bir depolama olarak denenmeye başlamıştır. Teknolojisi gelişen volanlar diğer benzer büyüklük ve ağırlıktaki eski nesil kurşun asit ve metal hidrit bataryalardan daha fazla güç üretebilmekte ve enerji depolayabilmektedirler [17]. Volanlar olarak düşünüldüğün de verimi hiç de küçümsenmeyecek değerlerdedir bu değerler %90-95, güçle değerleri ise 0-50 MW aralığında olabilir [8].

Volan sistemlerinin başlıca avantajları; yüksek enerji ve güç yoğunluğu, teorik olarak sonsuz şarj ve deşarj döngüleri, deşarj derinliği gibi bir etkinin olmayışı ve uzun ömürdür. Bununla birlikte, sarım ve yatak sürtünme kayıpları nedeniyle kendiliğinden kayıplar yüksektir [8].

Yakıt Hücreleri

Özgül güç olarak bakıldığında yakıt hücrelerinin ki benzininkine kıyasla daha düşüktür. Fakat özgül enerjisi birbirine yakındır. Bu özgül güç durumu başlangıç performansları da olumsuz

etkilemektedir. Araç performansını arttırmak için ve özgül gücü üst seviyeye çıkarmak için, yakıt hücrelerini ya ultrakapasitörler ya da bataryalarla birlikte kullanılabilir [17]. Şekil 2.10.'da PEM'e ait bir yakıt hücresinin çalışma şekli görülmektedir. Hidrojen yakıtı anota ulaşır. Anota ulaşan hidrojen elektronlarını kaybederek H⁺ iyonlarına dönüşür. Elektrolitten geçen iyonlar katota geçer. Dış devrede hareket eden elektrotlar ile güç üretimini sağlarlar. Oksitleyici katota gelir, burada bulunan hidrojen iyonları ve elektronlar ile tepkimeye girer. Oksijen bu sistemde oksitleyici olarak kullanılır. Bu işlem sonucu su oluşur.

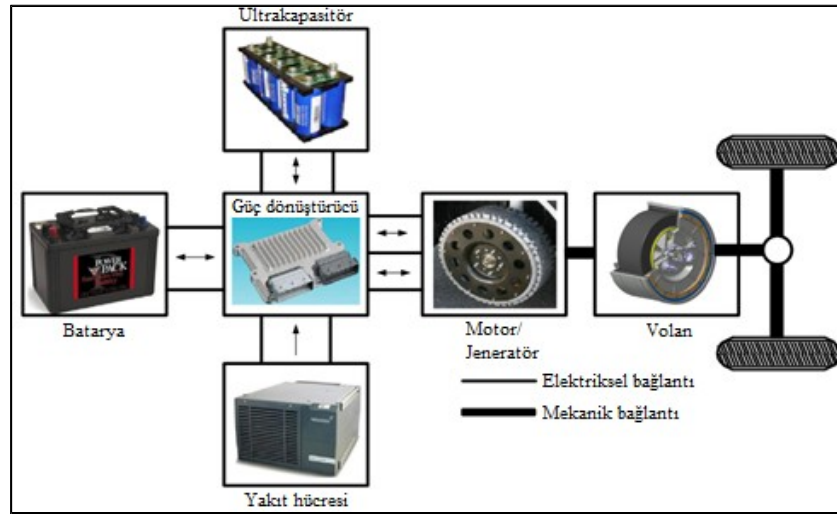


Şekil 2.10. Yakıt hücresi yapısı ve çalışma prensibi [21].

Yakıt hücreleri içerisinde, düşük sıcaklıkta kolay başlama, göreceli olarak yüksek güç yoğunluğu, basit yapı, küçük boyut, bakım gerektirmeme ve zor koşullar altında çalışabilme özellikleri ile PEM yakıt hücreleri, elektrik araç uygulamaları için öne çıkmaktadır [17]. Hidrojenin üretimi, taşınması, dolumu için gerekli altyapının eksikliği, yakıt hücreli araçların en büyük sıkıntıları olarak görülmektedir.

Hibrit Enerji Sistemleri

Batarya ve yakıt hücreleri yüksek enerji yoğunluğuna sahip olsalar da güç yoğunlukları düşüktür. Volanlar ve süper kapasitörlerin enerji yoğunlukları düşükken güç yoğunlukları yüksektir. Yüksek enerji ve güç yoğunluğu elde etmek amacıyla batarya veya yakıt hücrelerinin yanı sıra volan ya da süper kapasitör kullanılan sistemlere hibrit enerji sistemleri adı verilir. Şekil 2.11.'de batarya, volan, ultrakapasitör ve yakıt hücresinin birlikte kullanıldığı bir hibrit sistem şeması görülmektedir.



Şekil 2.11. Elektrikli araç enerji kaynağının hibritleştirilmesi [17].

2.3.2. Elektrik Motorları

Elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirmeyi sağlayan elektrik makinelerine elektrik motoru denir. Yüksek tork değerlerine sahip oldukları için redüksiyon sistemine olan ihtiyacı ortadan kaldırabilirler.

Elektrikli tahrik sistemlerinde kullanılacak motorların bazı önemli karakteristiklere sahip olmaları gerekmektedir:

- Başlatma ve düşük hızda yokuş tırmanmak için yüksek tork
- İvmelenme ve yüksek hızda hareket için yüksek güç
- Geniş bir hız ve tork bandında yüksek verim
- Geri kazanımlı frenlemeye uyumluluk
- Belirli bir süre için aşırı yük kapasitesi
- Uygun fiyatlarda güvenlik, sağlamlık ve kontrol edilebilirlik

Bunlar dışında kusur toleransı, minimum tork dalgalanması, sıcaklık kontrolü ve gürültü de tasarımda dikkate alınması gereken hususlardır [17].

Elektrikli araçlarda yaygın olarak beş tür elektrik motoru kullanılmaktadır.

- Asenkron motorlu
- Anahtarlamalı relüktans motorlu
- DC motor

- Daimi mıknatıslı motorlu
- Senkron motorlu

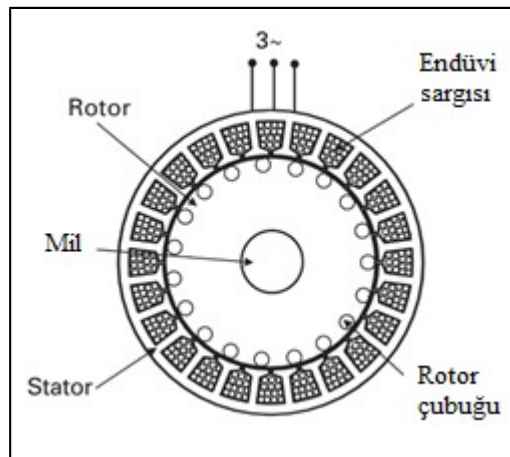
2.4. Elektrikli Araçlarda Kullanılan Motorlar

Elektrikli araç için kullanılan ana motor türleri; fırçalı DC motor, fırçasız DC motor, AC endüksiyon motoru, daimi mıknatıslı senkron motor ve anahtarlamalı relüktans motorudur. Motor seçimi, EA'nın amacı, kontrol kolaylığı, gibi birçok faktöre bağlıdır [33].

2.4.1. İndüksiyon Motorları

İndüksiyon makineleri elektrikli araçların sürülmesi için en iyi adaylar arasındadır ve modern elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bazı araştırmalarda, indüksiyon makinesinin diğer makinelerle karşılaştırıldığında daha iyi genel performans sağladığı sonucuna varılmıştır.

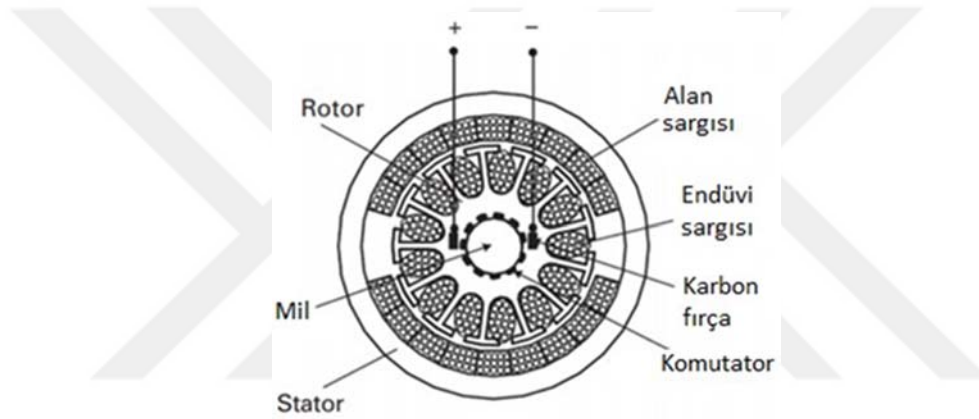
Bir endüksiyon motoru (veya asenkron motor), elektromanyetik indüksiyon vasıtasıyla rotora güç sağlanan bir alternatif akım motorudur. Düşük maliyet, yüksek verim, yüksek güvenilirlik, bakım gerektirmeme, kolay soğutma ve sağlam yapı gibi avantajlara sahiptir. Bu özellikleriyle EA sürüşünde öne çıkan bir alternatif olmaktadır. Şekil 2.16'da görüldüğü gibi, endüksiyon motorunda, stator sargıları rotorun etrafında yerleştirilmiştir, böylece bir polifaz beslemesi ile enerji verildiğinde bir manyetik alan pateni yaratırlar. Bu değişen manyetik alan deseni, rotor iletkenlerinde akım indükler [33].



Şekil 2.12. İndüksiyon motoru [33].

2.4.2. DC Motorlar

DC motor, kontrolünün basitliği ve aküden çekilen gücün doğru akım gücü olması nedeniyle, elektrikli araçların çekişi için yaygın olarak kullanılmıştır. Alan sargılı fırçalı DC motorların seri, şönt, serbest uyarmalı olmak üzere üç tipi vardır. Şönt sargılı motoru kontrol etmek özellikle zordur, çünkü besleme voltajını azaltmak zayıflamış bir manyetik alanla sonuçlanır, zıt EMK'sı azalır ve hız artma meyli gösterir. Besleme gerilimindeki düşüş, bazı durumlarda hız üzerinde çok az etkiye sahiptir. Ayrı uyartımlı motor, hem manyetik akının hem de besleme geriliminin bağımsız olarak kontrol edilmesine izin verir, bu da istenen torkun istenen herhangi bir açılma hızda büyük esneklikle ayarlanmasına izin verir. Seri sargılı DC motorlar, kullanım kolaylığı ve nispeten daha yüksek başlangıç torku avantajlarına sahiptir [33,34]. Şekil 2.13.'de DC motorun genel yapısı görülmektedir.



Şekil 2.13. DC motor [33].

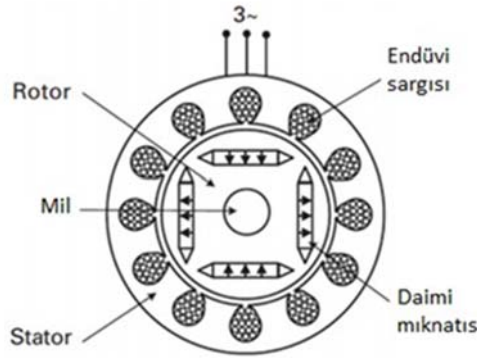
Fırçasız motorların sık bakım aralıkları ve yoğun kullanımda kısa ömür dezavantajları vardır. Bu avantajların giderilmesi için fırçasız motor tasarımları geliştirilmiştir. Fırçasız DC (BLDC) motorların rotorlarında daimi mıknatıslar, motor dairesinde elektriksel mıknatıs vardır. Konum sensörü, DC motordaki komütatör gibi çalışır; rotorun konumunu izler, akımın fazını ve manyetik alanın uzay dağılımını belirler. Dönen rotora güç iletimi problemi ortadan kalktığı için yapıları daha basittir. Ömürleri daha uzundur ve çok az bakım ihtiyaçları vardır, verimleri ve zamanlama performansları yüksektir. Buna karşılık maliyetleri daha yüksek, kontrolcülerini daha karmaşıktır [33].

2.4.3. Daimi Mıknatıslı Motorlar

Daimi mıknatıslı motorlar EA'lar için çekici seçeneklerdir. Manyetik alan yüksek enerjili daimi mıknatıslar tarafından uyarıldığından, toplam ağırlık ve hacim önemli ölçüde azaltılabilir, bu da yüksek tork ve güç yoğunluklarına yol açar. Bakır rotor kaybının olmayışı nedeniyle, verimleri doğal olarak yüksektir. Isı kaybı esas olarak statorda ortaya çıktığından,

çevreye daha kolay atılabilir. Bununla birlikte, daimi mıknatıslı fırçasız motorlar, nispeten yüksek mıknatıs maliyeti ve kontrol edilemeyen mıknatıs akısının dezavantajlarından etkilenmektedir [35].

Fırçasız DC ve senkron AC motorların tanımları kafa karıştırıcı olabilir. BLDC, altı basamaklı kare dalga komütasyonu ile sürülen, zıt EMK'sı trapez yapıda olan motorlardır. Senkron AC, daimi mıknatıs AC ve daimi mıknatıslı senkron motor; tipik olarak sinüzoidal akımlar tarafından sürülen sinüzoidal zıt EMK'lı motorlara verilen adlardır [35,36].

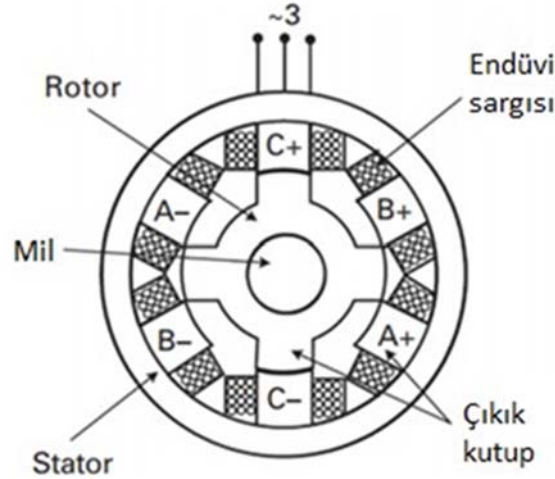


Şekil 2.14. Daimi mıknatıslı fırçasız motor [34].

2.4.4. Anahtarlama Relüktans Motorlar

Şekil 2.15.'de temel yapısı görülen anahtarlama relüktans motorlar, basit konstrüksiyon, düşük üretim maliyeti ve çok iyi tork-hız özelliği gibi avantajlar sunarlar. Sadece stator sargıları vardır. Temel çalışma prensipleri minimum relüktans kuralına dayanır. Tork yönü, faz akımının polaritesinden bağımsızdır. Bununla birlikte, tork, sadece bir rotor kutup aralığının yarısında üretilebilir, bu da büyük tork dalgalanmaları yaratır. Ayrıca, kutup uçlarının yoğun doygunluğu, kutup ve yarıkların saçak etkisinden dolayı, genellikle akustik gürültü problemleri ortaya çıkar.

ARM'nin temelde iki çalışma modu vardır. Hız, baz hızın altında olduğunda; akım, akım doğrama kontrolü ile sınırlandırılır. Bu durumda, tork ve böylece sabit tork karakteristiği, akım limitleri değiştirilerek kontrol edilebilir. Bununla birlikte, yüksek hızda çalışma sırasında, pik akımı, faz sargısının zıt EMK'sı ile sınırlandırılır. Karşılık gelen karakteristik, rotor pozisyonuna göre anahtarlama bileşenlerinin fazlanması ile kontrol edilir. Bu çalışma modunda, sabit güç özelliği elde edilebilir [35].



Şekil 2.15. Anahtarlamalı relüktans motor [34].

2.4.5. Tekerlek İçi Motorlar

Elektrik motorları, kompakt yapıları sayesinde doğrudan tekerleklerin içine yerleştirilip, muhafazaları janta sabitlenebilir. Bu şekilde çalışan motorlara tekerlek içi (hub motor) denilmektedir. Hiçbir aktarma organına ihtiyaç duyulmaması, bu motorların cazip noktalarıdır. Avantajlarına genel olarak bakılacak olursa:

- Şasi, yolcu ve kargo alanını işgal etmeyen bir pakette İYM alternatiflerine eşdeğer güç sağlar.
- Araç parçası sayısını, karmaşıklığını ve maliyetini azaltabilir, entegre güç elektroniğine sahip olabilir, tam tasarım özgürlüğü sağlar ve rejeneratif frenleme potansiyeli artırılabilir.
- Araç gövdesi üzerinde bataryalar için daha fazla boş alan sağlar.
- Her tahrik tekerleğinin ayrı ayrı kontrol edilmesine olanak tanır. Daha iyi çekiş kontrolü, anti kilitleme ve kızaklama kontrolleri uygulanabilir.
- Aktarma sistemine ihtiyaç duyulmadan, motorun ürettiği tork aracı hareket ettirir.
- Tepki süreleri kısadır.
- Varolan taşıtların, tamamen yeni bir tasarım yapılmadan, elektrikli araçlara dönüştürülmesi için uygun seçeneklerdir.

Bu avantajlarına karşılık hub motorların yaygınlaşmalarının önünde şu engeller vardır:

- Yaysız kütlelerin artması araç sürüş dinamiklerini olumsuz etkiler.

- Motorlar doğrudan yol etkisine maruz kalırlar.
- Frenleme esnasında açığa çıkan sıcaklık motorun çalışmasını etkilemektedir [14,37].

2.5. Elektrikli Araç Bataryaları

2.5.1. Kurşun – Asit Bataryalar

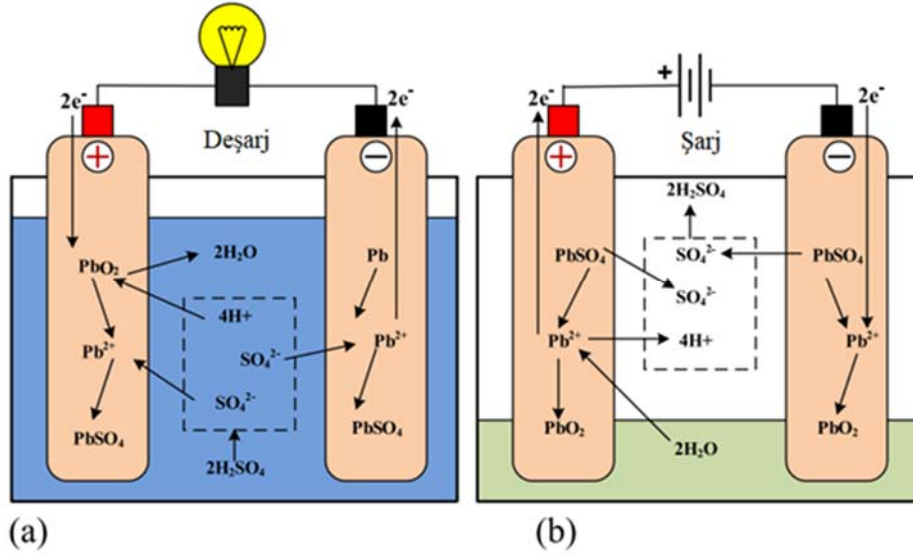
Elektrokimyasal enerji teknolojileri içerisinde kurşun-asit bataryalar en popüler, olgun, güvenilir, emniyetli ve ekonomik seçenek olarak diğer elektrokimyasal cihazlardan daha yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır. En önemli avantajları sıralayacak olursak yüksek deşarj akımı, düşük kendiliğinden deşarj, hafıza etkisinin bulunmaması ve ucuz olmasıdır. Bununla birlikte düşük nominal voltaj, 20 – 40 Wh/kg aralığında düşük enerji yoğunluğu, yetersiz çevrim ömrü, imalattan kaynaklı çevre etkileri (kurşun tozu) gibi zorluklarla karşı karşıyadır. Ayrıca kullanılmadıkları zaman pil ömürleri düşmektedir [11,27,32].

Kurşun-asit bataryalar çoğunlukla, güvenlik ve ekonomi avantajlarından dolayı tercih edilerek; İYM'li araçlarda başlatma, ateşleme ve aydınlatma gibi amaçlar için kullanılmaktadır. Gerilim değerleri batarya üzerinde seri bağlı hücre sayısına bağlı olarak değişir; 6, 8 ve 12 V aküler yaygın olarak kullanılır. Ömürleri 6 ila 15 yıl ya da 2000 – 4500 çevrim olarak belirtilir. 200-400 W/kg aralığında güç yoğunlukları vardır. Verimleri %70-90 arasındadır. Çalışma sıcaklıkları -20 °C'den 60 °C'ye kadardır [38].

Supaktan ayarlanabilir kurşun asit bataryalar düşük fiyat, yüksek özgül güç, hızlı şarj yeteneği, bakım yapmadan çalışabilme özellikleri ile EA'larda genellikle kullanılmaktadır. Bununla birlikte, yüksek kapasiteli gelişmiş VRLA aküsü için malzemelerin boyutunun ve ağırlığının en aza indirgenmesi hayati önem taşımaktadır. Emdirilmiş cam elyaf (Absorbed Glass Mat - AGM) ve GEL esaslı VRLA aküler, kompakt tasarımları nedeniyle EV enerji depoları için kullanılmaktadır. Bu VRLA akülerin ana avantajı, su kaybının olmamasıdır. Bununla birlikte, GEL esaslı VRLA batarya, jel elektrolitinin içinde bataryaya zararlı olabilecek gaz üretir [38].

Şekil 2.16.'da anlaşılacağı gibi negatif yüklü elektrotta kurşun-asit pillerde kurşun, kurşun dioksit (PbO₂) pozitif yüklü elektrotta ve sülfürik asit (H₂SO₄) elektrolit materyalleri kullanılmaktadır [27]. Akü deşarj olurken; elektrolit içerisindeki sülfürik asit hidrojen ve sülfat (SO₄) iyonlarına ayrışır. Pozitif ve negatif plaka ile birleşen sülfat iyonları kurşun sülfatı (PbSO₄) oluşturur. Akım çekmeye devam edildikçe, hem pozitif hem negatif plakaların üzeri kurşun

sülfata dönüşmeye devam eder. Akü tamamen deşarj edilirse, artık her iki plaka da tamamen kurşun sülfata dönüşür, plakaların farkı ortadan kalkar.



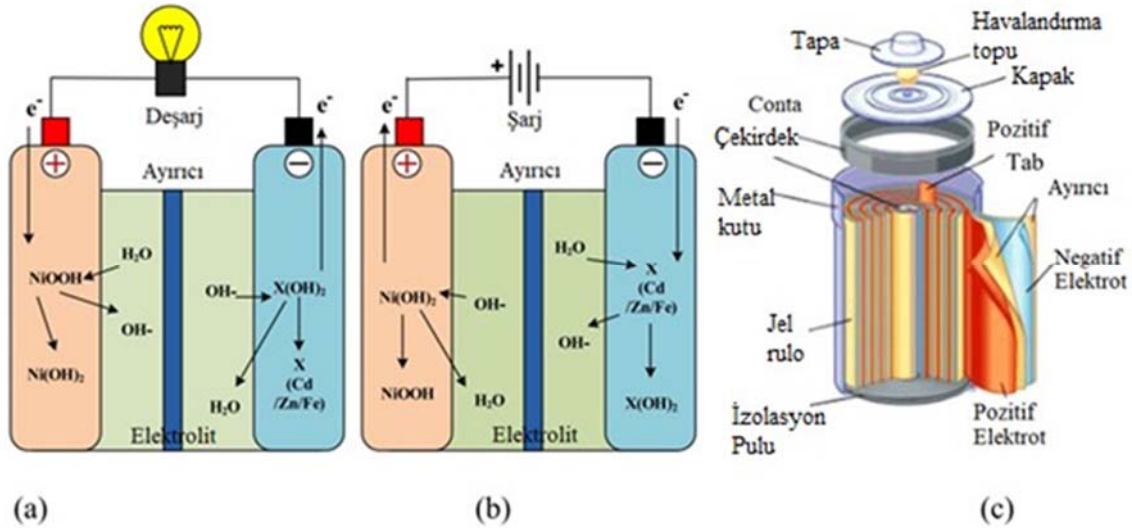
Şekil 2.16. Kurşun-asit batarya kimyası; (a) deşarj esnasında, (b)şarj esnasında [8].

Temel kurşun asit kimyası, negatif plaka sülfasyonu ve pozitif plaka korozyonu gibi birçok yan reaksiyon içerir. Batarya tam dolu olmadığında sülfasyon başlar. Bu durum bataryanın negatif plakalarında, geri dönüşümsüz bir şekilde, büyük sülfat kristallerinin oluşmasına; dolayısıyla kalıcı kapasite kaybına neden olur. Bu nedenle kurşun asit bataryalar saklanırken şarj edilerek saklanırlar ve deşarj derinlikleri sınırlıdır.

Kurşun-asit bataryalar olgunlaşmış bir teknoloji olduklarından, teknolojilerinin gelişmeleri konusunda bir beklenti yoktur. Bu sebeple gelecek EA'lar için üzerlerinde durulmamaktadır. Ancak düşük fiyatlarında dolayı kısa mesafe araçlarında kullanılmaları uygundur [32].

2.5.2. Nikel Esaslı Bataryalar

Nikel – metal hidrit bataryalar (Şekil 2.17) hibrit araçlarda kullanılmışlardır. Fiyatları Lityum bataryalara göre daha düşüktür. Olgun kabul edilebilecek bir teknolojidir. 60 – 80 Wh/kg aralığındaki özgül enerjileri EA uygulamaları için yetersiz görülmektedir [32].

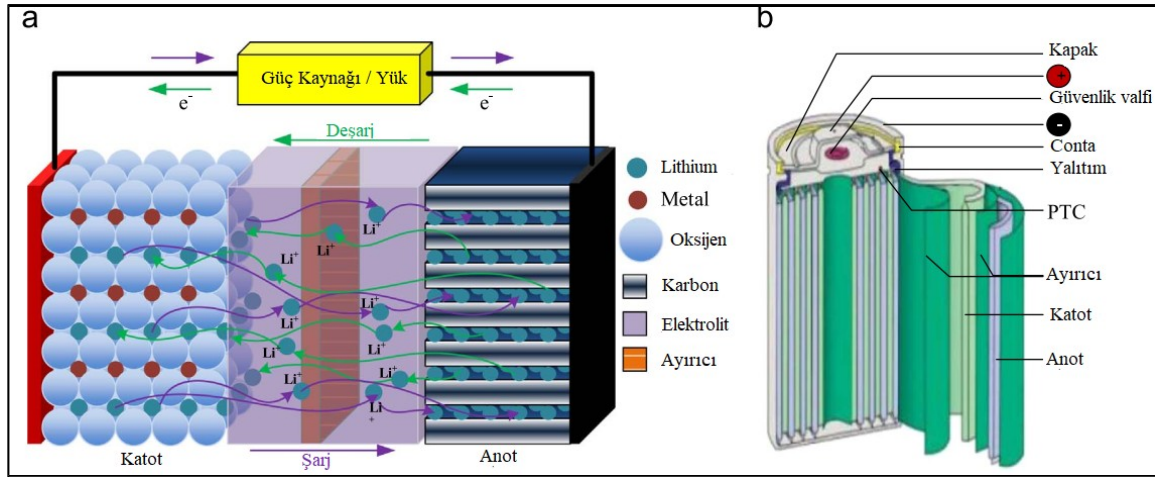


Şekil 2.17. Nikel esaslı batarya kimyası (a) deşarj (b) şarj (c) batarya prototipi [8].

NiMH batarya sistemleri, enerji ve güç yoğunluğu, geri dönüş verimliliği, çevrim ömrü konularında, VRLA aküler dahil, kurşun-asit batarya sistemlerinden çok üstündür. Kurşun asitlere oranla yaklaşık yedi kat daha uzun bir enerji ömrüne sahiptir. NiMH, aynı Ah derecesi için VRLA'nın enerjisinin dört katını verebilir, çünkü çok daha geniş SOC aralıklarında kullanılabilir. VRLA aküleri, uygun bir ömre sahip olmak için % 80 SOC veya daha üstü bir seviyede kullanılmalıdır, NiMH ise % 50 SOC'de çalışmak üzere tasarlanabilir. Avantajlarına karşılık, ilk maliyetleri kurşun asitlere göre çok fazladır. NiMH sisteminin ciddi bir dezavantajı da, soğuk havalarda iyi tepki vermemesidir [11].

2.5.3. Lityum Esaslı Bataryalar

Şekil 2.18'de görülen Lityum-iyon bataryalar, literatürde yakın gelecek için en çok umut vadeden ve üzerinde durulan batarya teknolojisidir. Lityumun yüksek elektrokimyasal potansiyeline ve düşük eşdeğer kütlelerine bağlı olarak, yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Yüksek verim ve uzun ömre sahiptirler. Bu bataryalar hala gelişmeye açık bataryalardır [32].



Şekil 2.18. Lityum iyon batarya kimyası (a) şarj - deşarj (b) silindirik görünümü [8].

Lityum bataryalarının EA'larda baskın olarak kullanılacak teknoloji olması beklenmektedir. Artlarına karşılık bu bataryalar pahalıdır ve güvenlik problemleri vardır. Bunun dışında, elektrikli taşıtların gelişmesinin neden olduğu talep artışı lityum rezervlerinin yeterliliği konusunda kaygılar ortaya çıkarmıştır. Talepteki hızlı bir artış lityum kıtlığına yol açabilir. Buna bağlı olarak fiyatlarda artış olacak ve EA cazibesi azalacaktır [32,17].

Ergimiş tuz elektroliti yerine etken polimerler kullanılması Lityum katı polimer bataryalarda yüksek sıcaklık bataryalarından farklı olmasını sağlar. Plastik lityum iyon olarak da adlandırılan bu bataryalar, paketleme esnekliği, azaltılmış kütle ve düşük bakım avantajları sağlar. Bir avantajları da ince film teknolojisi olmalarından dolayı, araç üzerindeki zorlu koşullarda kullanılabilmesidir [11].

2.5.4. Diğer Batarya Araştırmaları

Batarya teknolojileri sayılan bu teknolojilerle sınırlı değildir. Elektrikli araçlar için umut görülüp üzerlerinde çalışmalar yürütülen teknolojiler arasında sodyum nikel klorit, metal-hava, çinko-halojen gibi batarya teknolojileri bulunmaktadır.

Sodyum Nikel Klorit (Na / NiCl₂, Zebra) bataryalar güvenli ve ucuz bataryalardır. Çevrim ömürleri yüksektir, neredeyse tamamen deşarj edilebilirler. Özgül enerjileri Li-iyon bataryalarla hemen hemen aynı olsa da, özgül güçleri düşüktür [32].

Son zamanlarda üzerinde çalışmaların yaygınlaştığı bir batarya tipi de metal - hava bataryalarıdır. Elektrokimyasal çiftlerden biri bataryanın yapısında bulunurken, diğer reaktan olarak hava kullanılır. Üzerinde çalışılan bazı metal - hava bataryaların özellikleri Tablo 2.1'de

verilerek, enerji yoğunlukları benzin ile karşılaştırılmıştır [11]. Tablo 2.1 görüldüğü gibi Li-hava bataryaların teorik enerji yoğunlukları benzine yakındır.

Tablo 2.1. Metal-hava termodinamik çiftleri ve benzinin karşılaştırılması [11].

Tür	Hücre potansiyeli	Teorik (Wh/kg)	Pratik (Wh/kg)	Özgül güç (W/kg)	Çevrim (#)
Çinko-hava	1,6	1 370	470	100	<450
Alüminyum-hava	1,2	6 000	1 300	<300	<500
Lityum-hava	2,91	11 140	>1 800	?	?
Benzin		12 400			

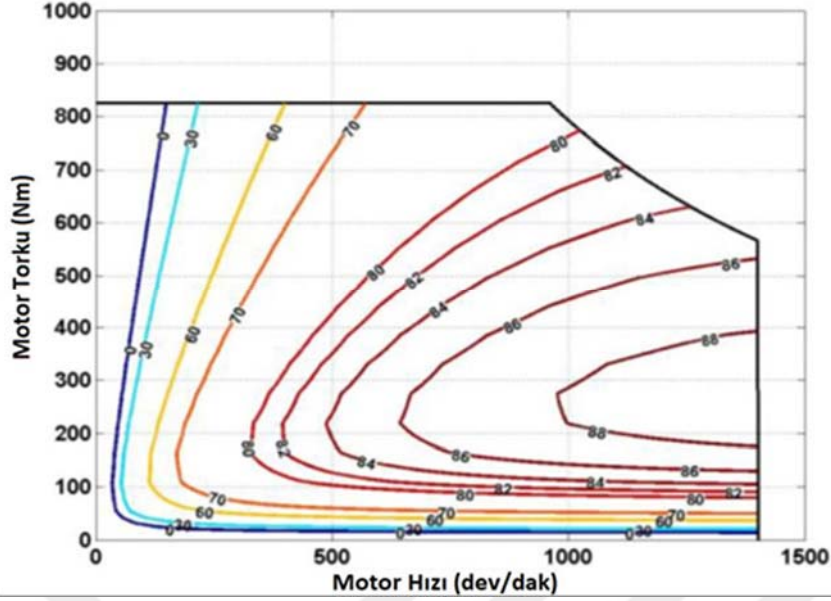
Metal-hava pillerinin oldukça ilgi çekmelerinin nedeni, geleneksel batarya kimyalarının 250 Wh/kg'lık özgül enerjiyi stabil bir şekilde aşmalarının muhtemel görülmemesidir [11].

Zn-Br₂ ve Zn-Cl₂ gibi çinko-halojen aküler yüksek enerji yoğunlukları ile araç uygulamaları için uygun görülmektedir. Çinko-halojen bataryalar hızlı şarj olur ve maliyetleri düşüktür. Bununla birlikte bromür bataryaların özgül güç problemi vardır. Zn-Br₂ batarya brom reaktivitesi nedeniyle zarar görebildiğinden, EA için çok cazip değildirler. EA uygulamaları için araştırma-geliştirme faaliyetleri yapılmaktadır [38].

2.6. Rejeneratif Frenleme ve Elektrikli Araçların Verimi

Elektrik motorlarına elektrik enerjisi verildiğinde döndükleri gibi, döndürdükleri vakit de elektrik enerjisi üretebilirler. Motorların bu özelliklerinden yararlanılarak frenleme anında kinetik enerji, sürtünmeli fren elemanları üzerinde ısıya dönüştürülerek atılmak yerine, elektrik enerjisine dönüştürülerek bataryalar şarj edilebilir. Motorun rejeneratif frenleme ile sağlayabildiği frenleme torkunun üzerine çıkıldığında, mekanik frenler devreye girerek aracı yavaşlatır.

Şekil 2.19.'daki grafik bir tekerlek içi motor için geri kazanım verimini göstermektedir. Sıfır verim ve eksenler arasında kalan bölgede geri kazanım negatiftir, frenleme için elektrik enerjisi harcanır [14].



Şekil 2.19. Geri kazanımlı frenleme verim haritası [14].

Elektrikli araçların yakıt ekonomisini gösteren iki verimden bahsedilebilir. İlki; depodan tekerleklere verim (TTW), aracın çalışma esnasındaki verimidir ve aracın gerçek yakıt ekonomisinin göstergesidir. Diğeri; kaynaktan tekerleklere verim (WTW) olup, enerjinin ilk kaynağından tekerleklere kadar olan verimi ifade eder. Depodan tekerleklere verim aynı tür araçların yakıt ekonomilerinin karşılaştırılmasında kullanılmaktadır. Farklı tür araçların yakıt tüketimini ve emisyonlarını anlamlı bir şekilde değerlendirebilmek için kaynaktan tekerleğe verim kavramı önemlidir [20].

İYM'li araçların verimi en iyi ihtimaller dairesinde %38 kadar olurken, sürüş esnasında rölantide çalışma, durup kalkma sürelerine göre %15-20'lere kadar düşmektedir [20,39]. Elektrikli araçların verimi büyük oranda enerji çevrimine bağlı olup, Li-iyon bataryalı araçlarda en az %75, kurşun asit bataryalı araçlarda %60 civarlarında olduğu söylenebilir. Görüldüğü gibi elektrikli araçların depodan tekerleğe verimi İYM'li araçlara göre oldukça yüksektir. Fakat kaynaktan tekerleğe verim söz konusu olduğunda, aralarındaki fark büyük oranda düşmektedir. Fosil yakıtlardan güç üreten santrallerin %30 - 60 aralığında verimle çalıştıkları ve nakil kayıpları da göz önüne alındığında bu düşüş anlaşılabilir [20]. Elektrikli araçların verimini daha yüksek tutabilmek için, enerjinin temiz ve yenilebilir kaynaklardan temini önemlidir.

2.7. Elektrikli Araçların Şarj Edilmesi ve Akıllı Şebekeler

Elektrikli araçlara geçiş sürecinde, kullanıcı tarafından en çok üzerinde durulan hususlardan biri, bu araçların nasıl şarj edileceğidir. Şarj altyapısının eksikliği ve araçların uzun şarj süreleri sorun teşkil etmektedir.

Elektrikli araçların şarj edilmesinde üç yöntem üzerinde durulmaktadır;

- İletken şarj sistemi,
- Endüktif şarj,
- Batarya değişimi.

2.7.1. İletken Şarj Sistemi İle Şarj

Araçların iletken şarj sistemi ile şarjı yaygın olan yöntemdir. Araç, güç kablosu ile şebekeye bağlanarak şarj edilir. Bu yöntem verimli, hafif, kompakttır ve çift yönlü güç akışlarına izin verir. Halka açık şarj ortamlarında kabloların yayalara engel olabileceği gibi görüşler ortaya atılmıştır. Fakat önemli olan, bu kabloların yüksek gerilim taşıyor olmalarıdır. Kullanımlarında dikkatli olunmalı, konektör düzgün bağlanmadığı durumlarda şarjı kesecek kontrol sistemleri tasarlanmalıdır [32].

İletken şarj sisteminin üç standardı vardır. Seviye 1 şarj sistemleri 220 V AC, 15-20 A akım çeken sistemlerdir. Bataryalar 5-8 saatte şarj edilir. Yeni bir altyapı gerektirmediğinden kullanışlıdır. Şarj süreleri uzun olduğundan şebekeye yükleri daha azdır. Seviye 2 şarjda yine 220 Volt şebeke geriliminden yararlanılır. Bu sefer akım değerler 40 ampere kadar çıkabilir. Seviye 2 şarjda yeni bir devre ihtiyacı vardır. Seviye 3'de 480 V AC üç fazlı 60-150 kW güç aralığında devrelerle şarj yapılır. Özel devre gereksinimi vardır, katı güvenlik önlemleri alınması gereklidir. 10 dakikadan daha kısa şarj süreleri hedeflenmektedir [32,40].

Seviye 3, diğer adıyla hızlı şarj batarya ömrünü olumsuz etkilemektedir. Bataryanın hasar görmemesi için şarj sisteminin bataryayı izlemesi gerekir. Araç üstü şarj sisteminin de yüksek gerilime ve akıma dayanabilmesi gerekir. Bu önlemler araç maliyetini artırır. Hızlı şarjın sürekli tekrarlanması yerine sadece acil durumlarda kullanılması tavsiye edilmektedir [32].

Seviye 1 ve seviye 2 şarj sistemleri ile ev ya da işyerlerinde de şarj yapılması mümkündür. Şarj noktasının maliyetleri dışında, kullanıcının aracı şarj etmeye uygun bir alana ihtiyacı doğmaktadır [32].

2.7.2. Batarya Değişirme

Hızlı şarjın bir alternatifi özel istasyonlarda boş bataryaların doluları ile değiştirilmesidir. Doğru uygulanabilmesi durumunda en hızlı dolum metodu olabilir. Şarjı uzun sürecek yüksek enerji yoğunluklu bataryalar bu yöntemle önceden şarj edilerek hızlı bir şekilde araçlara yüklenebilir. Sadece elektriksel yöntemlerle şarj edilemeyen metal-hava bataryalar da bu yöntem ile kullanıma kazandırılabilir [20].

Batarya değişirme yöntemi dört ana sorunla yüzleşmektedir [32].

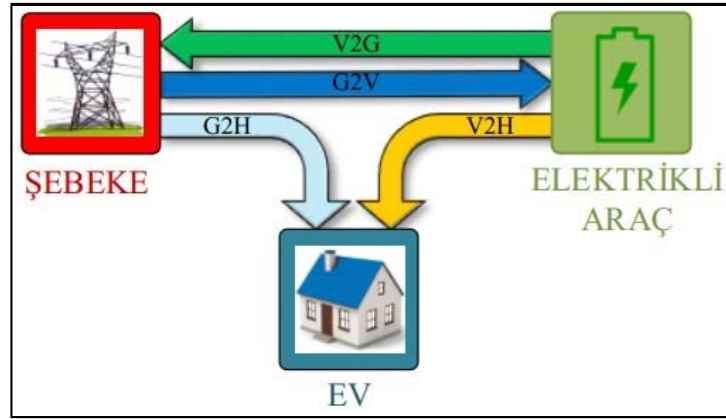
- 1) Yüksek gerilim ve yüksek enerjili elektrik bağlantısı fiziksel olarak açılmalıdır. Bu durum kıvılcımları ve deşarjı tetikleyebilir ya da bağlantıların aşınmasına neden olabilir.
- 2) Bu istasyonlar şarj için pahalı bir altyapıya gereksinim duyarlar. Yalnızca bataryaların şarj edilmesi değil, bunların depolanması ve izlenmesi de gerekmektedir.
- 3) EA'lar, değiştirilebilir bir batarya ile özel olarak tasarlanmalıdır. Bu ise yakın zamanda ticarileştirilmiş modellerin çoğu için geçerli değildir.
- 4) Yüksek bir standardizasyon seviyesi hayati önem taşımaktadır. Çok sayıda farklı ve uyumlu olmayan batarya paketinin piyasadaki varlığı, bu istasyonları her tip bataryayı depolamaya zorlayacak ve bu da gerekli depolama kapasitesini ve dolayısıyla yatırımı arttıracaktır.

2.7.3. Kablosuz Şarj

Endüktif kaplin güç aktarımı, enerji iletimi için özel olarak tasarlanmış transformatörler arasında manyetik indüksiyon kullanır. Fikir, yol yüzeyinin altındaki altyapı göze çarpmayacağı için ilgi çekmektedir. Bu yöntemin başlıca avantajı güvenliğidir. Kıvılcım ya da kabloya takılma riski mevcut değildir. Ancak, aracın konumuna ve yayıcı ile pil arasındaki mesafeye bağlı olarak değişen verim, % 90'ın altında kalmaktadır. Bu değer, iletken şarj veriminden daha düşüktür [32,40].

2.7.4. Akıllı Şebeke Teknolojileri

Akıllı şebeke, tüm güç sistemi katılımcıları arasında iletişimi sağlayan bir teknolojidir. Bu teknoloji, güç sistemlerinin kapasite, güvenilirlik ve verimliliğine yönelik artan talebin bir cevabıdır. Temel olarak akıllı şebekeler, mevcut ve potansiyel akıllı sayaçların sisteme eklenmesi suretiyle, güç hizmetleri için doğru enerji akışı analizine izin verir, şebekede yenilenebilir ve dağıtılmış enerji kaynaklarının girdisini artırır ve enerjinin daha verimli bir şekilde paylaşılmasına imkân tanır. Akıllı şebeke modları Şekil 2.20'de görülmektedir.



Şekil 2.20. Şarj sisteminde güç akışı [41].

Elektrikli araçların şebekeyle etkileşimi konusunda çalışmalar şöyle sıralanabilir [41].

- Şebekeden elektrikli otomobil bataryalarının şarj edilmesi,
- Şebekeye elektrikli otomobilden enerji verilmesi,
- Şebekeden meydana gelen dalgalanmaları düzeltmesi elektrikli otomobillerin kullanımı,
- Ev tüketimi ile birlikte elektrikli araçların şarj edilmesi,
- Şebekeden kaynaklı bir problem olduğunda örneğin kesinti gibi elektrikli araçların UPS olarak kullanılması,

Akıllı şebekelerin önemi, yenilenebilir kaynaklardan elde edilen enerji girdisiyle birlikte artmıştır. Rüzgâr türbinleri ve fotovoltaik hücreler gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektrik enerjisi sürekli değildir. Ayrıca kontrol edilemez ve öngörülemezler. Bu sebeple, yenilenebilir kaynaklardan en iyi faydalanmanın yolu üretilen enerjinin depolanmasıdır.

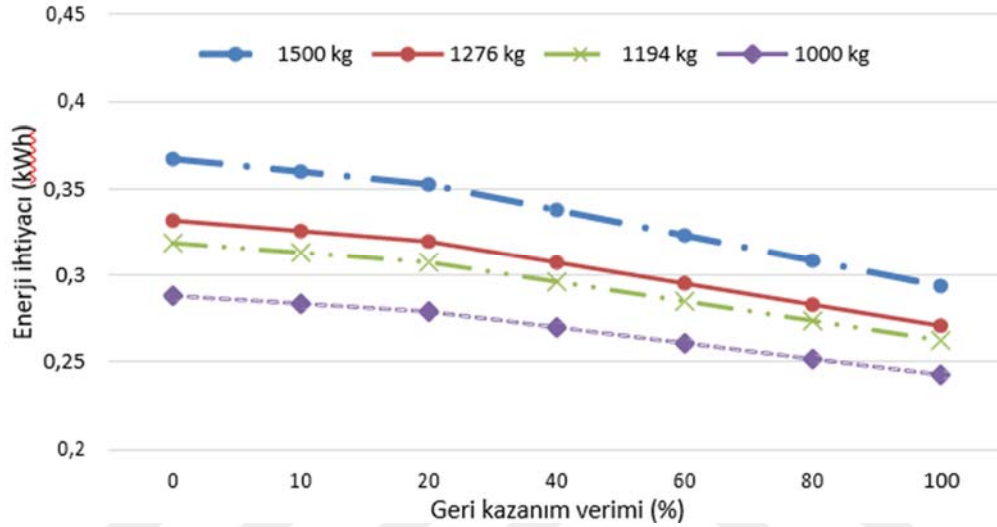
2.8. Elektrikli Araçların Menzilini Etkileyen Faktörler

Menzil, özellikle kullanıcı açısından bakıldığında, elektrikli araçların en önemli parametresidir. Elektrikli araçların menzili, uzun süredir elektro-mobilitenin yaygınlaşmasına engel olmaktadır.

Menzil üzerinde araç tasarımının ve sürücü davranışlarının etkisi vardır. En belirgin faktör batarya kapasitesidir. Batarya kapasitesinin artması menzili artırmaktadır, ancak bataryalar elektrikli araçların en pahalı bileşenleridir. Bu nedenle başka etmenler de dikkate alınmalıdır. Aracın aerodinamik yapısı, doğru motor seçimi, sürüş tarzı, araç ağırlığı gibi unsurlar da menzile etki eder. Yükseklik farkları ve zorlu iklim koşulları da aracın gidebileceği mesafeyi olumsuz etkiler.

Elektrikli araçlarda menzile etki eden unsurlardan biri sahip oldukları rejeneratif frenleme özelliğidir. Yavaşlama durumunda ani frene basıp mekanik frenleri kullanmak yerine, mümkün olduğunca bu özellikten faydalanılarak araç menzili uzatılabilir.

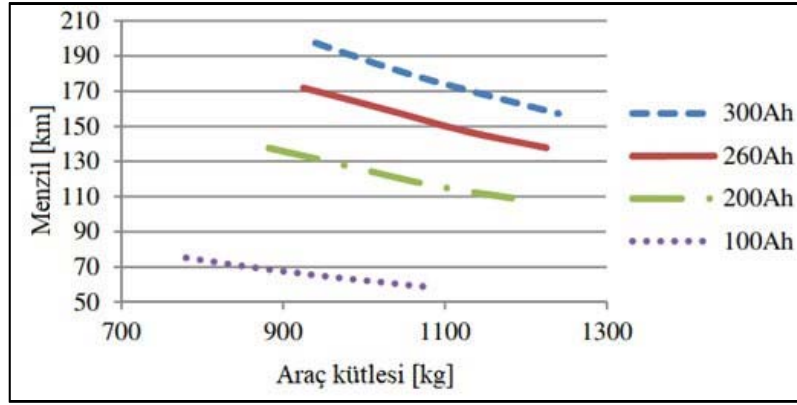
Mruzek ve diğerleri [40], bir elektrikli aracın, farklı kütle ve geri dönüşüm verimleriyle, 2500 metrelik yolda 50 km/h 'den 90 km/h hıza çıkıp sonra tekrar 50km/h hıza yavaşlamak için ihtiyaç duyduğu enerji miktarını yaptıkları testlerle belirlemişlerdir. Bu verilerden elde edilen grafik Şekil 2.21.'deki gibidir.



Şekil 2.21. Enerji miktarı test grafiği.

İvmelenme durumunda ihtiyaç duyulan enerji elektrik motorunun verimiyle ilişkilidir. Düşük hız ve yüksek torklarda elektrik motorunun verimi daha azdır. Yüksek ivmelenme durumunda motor bu aralıkta çalışacağından, daha düşük bir ivmeyle aynı hıza ulaşana kadar harcadığından daha fazla enerji harcayacaktır.

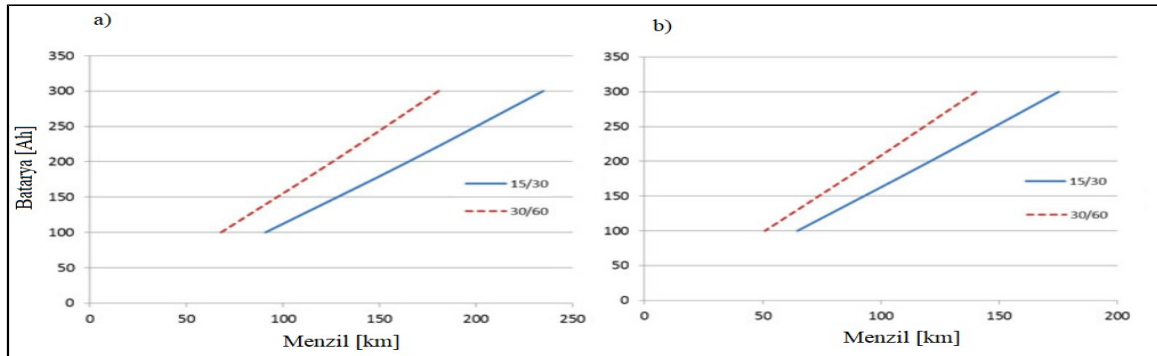
Bir elektrikli aracın menzilinı artırmak için ilk akla gelen batarya kapasitesinin artırılmasıdır. Ancak bu, araç ağırlığının da artması anlamına geldiğinden enerji verimi düşecektir. Yeni batarya için gerekli olabilecek yapısal güçlendirmeler de fazladan ağırlığa neden olacaktır. Şekil 2.22'deki grafikte kütle ve batarya kapasitesine bağlı menzıl görülmektedir. Artan batarya kapasitesi aracın ağırlaşmasına neden olmakta, kapasite artışı menzıl artışıyla orantılı olmamaktadır. Ancak araç kütlesi sabit tutularak batarya kapasitesi artırılabilirse, batarya kapasitesiyle menzıl doğru orantılı artmaktadır [42].



Şekil 2.22. Batarya kapasitesi ve ağırlığın menzile etkisi.

Elektrikli araçların enerji ihtiyacını azaltmaya yönelik çalışmalardan biri de aerodinamik tasarımlardır. Araç şekli aerodinamik sürüklenme katsayısını ve sürtünme direncini doğrudan etkilemektedir.

Şekil 2.23'de farklı motor seçimleri için elektrikli aracın menzilin değişimi görülmektedir. Elektrikli aracın kütlesi ve motoru değiştirilerek testler yapılmıştır. Araç kütlesi sabit kalırken motorun büyümesi, motorun ağırlığının da artmasıyla, enerji tüketimini artırmaktadır. Bu artış hafif araçta daha belirgin olmaktadır [42].



a) Batarya ve motorsuz 410 kg'luk araç için b) Batarya ve motor hariç 810 kg'luk araç için

Şekil 2.23. Motor seçiminin menzile etkisi [42].

2.9. Batarya Modelleme

Simülasyonlar, tasarımı yapılan ürünler üzerinde, daha imalat gerçekleşmeden analiz yapılmasına olanak tanırlar. Yapılan değişikliklerin etkileri hızlı ve ucuz bir şekilde kestirilebilir. Maliyet ve verim hesapları yapılabilir. Bu sayede maliyetler azaltılır ve üretim süreci hızlanır.

Elektrikli araçların pazarda yaygınlaşmalarının önündeki en büyük engellerinin batarya maliyetleri ve sınırlı sürüş menzilleri oldukları görülmektedir. Temel EA sistemlerinin geliştirilmesi yanında, menzilin doğru tahmin edilmesi, menzil tedirginliğinin yatıştırılması için önemlidir. Araca uygun bataryanın tespit edilmesi, enerji tüketim ve menzil hesaplarının doğru bir şekilde yapılabilmesi için model ve simülasyonlara başvurulabilir.

Söz konusu modeller, bir simülasyon ortamında değişik parametrelerin test edilmesinde kullanılabilecekleri gibi, sistemlere gömülerek araç üzerinde gerçek zamanlı hesaplar yapılarak batarya durumu hakkında bilgi edinilebilir. Pillerin güvenli ve verimli çalışmasının sağlayan pil yönetim sisteminin görüntüleme algoritmasındaki görevlerden biri de pil durumunun kestirilmesidir. Bazı parametreler pil üzerinden direkt ölçülememektedir bunlar pil şarj durumu, pil sağlık durumudur. Bunun sonucu olarak ölçülebilen değerlerden daha doğru sonuçlar çıkarabilecek pil modellerine ihtiyaç duyulmaktadır [43].

2.9.1. Elektrokimyasal Modeller

Elektrokimyasal modelleme yaklaşımında, bataryanın içyapısı modellenerek davranışı incelenmeye çalışılır. Modeller bataryada gerçekleşen kimyasal süreçleri çok detaylı bir şekilde açıklamaktadır. Bataryanın yapısına dair birçok değişkenin bilinmesini gerektirir ve oluşturulan model karmaşık diferansiyel denklemler içerir. Bunlara ek olarak, bataryada ki elektrot kalınlığı, elektrolitteki bulunan tuz yoğunluğu ve bir diğeri ise sıcaklık kapasitesi gibi çok sayıda parametrenin belli olması gerekmektedir. En isabetli modellerdir. Ancak karmaşık, yapılandırılması zor ve yüksek işlem gücüne ihtiyaç duyan modellerdir [27,43,44].

2.9.2. İstatiksel Modeller

İstatiksel modellerde, örnek veri setleri kullanılarak batarya parametreleri elde edilir. Farklı şartlarda yapılan ölçüm sonuçlarında bataryanın karakteristiklerini verecek tablo veya grafikler elde edilerek bunlar simülasyonda kullanılabilir. Fiziksel modeller kadar isabetli olmamakla birlikte daha basit ve hızlı yöntemlerdir.

2.9.3. Elektriksel Eşdevre Modelleri

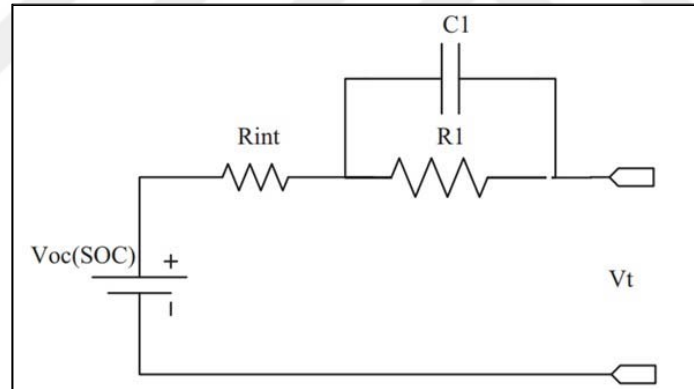
Eş devre modellerinde, batarya karakteristiği temel elektriksel elemanlarla ifade edilmeye çalışılır. Elektrokimyasal modellere göre daha basit ve hızlıdır. Yine de ihtiyaç duyulan tabloların oluşturulması için pek çok deney yapılması gereklidir [44].

Farklı türde bataryalar için düzenlenen modeller;

- Batarya kapasitesini temsil eden bir kapasitör
- Yüksek deşarj akımlarında kayıp kapasiteyi belirleyen bir deşarj oranı normalleştirici
- Bataryayı deşarj etmek için bir devre
- Gerilim ve doluluk oranı arasında ilişkiyi gösteren tablo
- Batarya iç gerilimini temsil eden bir direnç oluşmaktadır [44].

En temel eş devre modeli bir ideal gerilim kaynağından oluşur. Bu kaynak sabit bir gerilim değeri sağlar. Bu yapıya yapılacak en basit değişiklik bir seri direnç bağlamaktır. Bu direnç sayesinde hücreye bir akım uygulandığında hücrenin uçları arasında gerçekleşen ani gerilim düşümü simule edilebilir.

Bir hücre için ele alınması gereken en önemli dinamiklerden biri difüzyondur. Bu da devreye eklenen bir paralel RC kolu ile modelde gösterilebilir. Ortaya çıkan bu model literatürde Thevenin modeli olarak adlandırılmaktadır. Elektrikli araç simülasyonlarında çok kullanılan bu modelden kabul edilebilir doğrulukta sonuçlar elde edilir.



Şekil 2.24. Thevenin batarya modeli [45].

Şekil 2.24’de gösterilen Thevenin batarya modeli ideal bir voltaj kaynağı (V_{oc}), bir iç direnç (R_{int}), bir aşırı gerilim direnci (R_1) ve bir kapasitörden (C_1) oluşur. C_1 ve R_1 , paralel plakanın kapasitesini ve sırasıyla plakanın temas direncini göstermektedir. Thevenin batarya modelinin en büyük kusuru, tüm parametre değerlerinin sabit olduğu varsayılırken, gerçekte bu parametre değerlerinin SOC, batarya depolama kapasitesi, deşarj oranı, sıcaklık ve birtakım deşarj karakteristiklerine bağlı olmasıdır [45].

2.10. Elektrikli Araçların Çevresel Etkileri

Küresel enerji kullanımının %20'si ve enerji üretiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının %25'i taşımacılık sektörüne bağlanmaktadır. Söz konusu sera gazı emisyonunun dörtte üçü ise karayolu taşımacılığında kaynaklanmaktadır [10,18,20].

Elektrikli araçların egzozları yoktur. Konvansiyonel araçların çalışmaları esnasında çevreye yaydıkları partikül, karbon monoksit, karbon dioksit, kurşun, azot-oksit gibi emisyonlara neden olmazlar. Yerleşim alanlarında temiz havaya katkı sağlarlar. Ancak araçların çevre etkisini anlayabilmek için sadece egzoz emisyonları değil imalat ve enerji üretimi sürecindeki kirleticiler de dikkate alınmalıdır. Elektriğin yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilebildiği ülkelerde, elektrikli araç emisyonları gerçekten sıfıra yaklaşmaktadır. Enerji üretiminde tüm imkanlar göz önünde bulundurulduğunda, elektrikli otomobiller kilometrede ortalama 60 gram ile İYM'li araçlara kıyasla daha düşük CO₂ emisyonuna sahiptir [10].

Buekers ve diğerleri (2014), Avrupa Birliği ülkeleri için, araç filosunun %5'inin elektrikli olması durumunda çevre ve sağlık etkilerinin 2010 ve 2030 yıllarındaki durumunu öngörmeye çalışmışlardır. Temel olarak sera gazı salınımı ve sağlığa etkinin araştırıldığı çalışmada, araçların verdiği zararlar parasal değerlere çevrilerek ortak paydada toplanmıştır. Euro-5 standartlarında oldukları kabul edilen İYM'li araçlar ile tam elektrikli araçlar karşılaştırılmıştır. Dış maliyetler, elektrik üretimini nükleer enerji ve rüzgâr gibi kaynaklardan sağlayan ülkelerde azalırken, petrol ürünlerinden ve kömürden elektrik üretilen ülkelerde artmaktadır [46].

Türkiye'de tüm araçların elektrikliye dönüştüğü düşünüldüğünde, karbon salınımının yılda yaklaşık olarak 16 milyon ton azaltılması sağlanabilir. Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre, Türkiye'nin 2010 yılındaki toplam sera gazı emisyonuna bakıldığında CO₂ eşdeğeri olarak 401,9 milyon ton olarak öngörüldüğünden bu miktar, Türkiye'nin toplam karbondioksit salınımının %5 aşağı çekilmesi anlamına gelmektedir [10].

3. MATERYAL ve METOD

Proje kapsamında üzerinde çalışma yapılabilmesi için elektrikli araca uygun bir mimariye sahip elektrikli araç tasarlanmış ve imal edilmiştir. Araç hareket ettirilebilir hale geldiğinde Mersin Üniversitesi Çiftlikköy Kampüsü içerisinde testlere tabi tutulmuştur. Bu çalışmalara paralel olarak Solidworks ortamında modeller oluşturulmuştur.

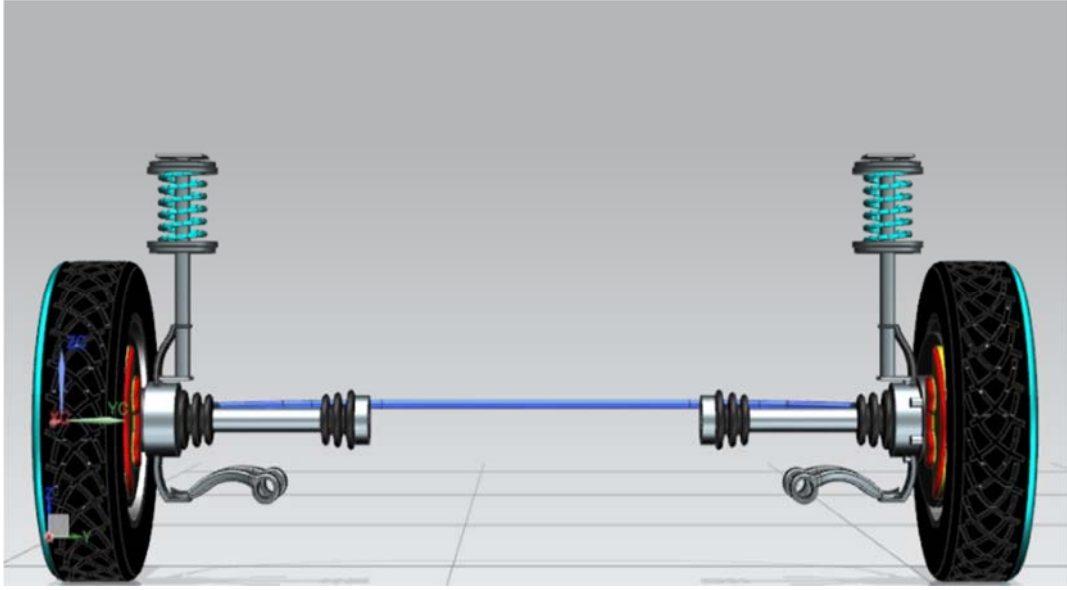
3.1. Tasarım ve İmalat

Şekil 3.1'de sanal ortamda tasarlanan ilk şasi örneği, Şekil 3.2'de test için üretilen yapı görülmektedir. Test aracı iki kişilik tasarlanmıştır. İki kişi tasarlanmasındaki en büyük faktör günümüz trafik koşullarında araç boyutlarını minimuma indirmektedir. Araç tasarımı yürüyen aksam tasarımları, şasi tasarımları, kabuk tasarımları olarak 4 ana başlık altında incelenmiştir. Elektrik tasarımı kısmında 1 adet batarya grubu içerisinde 308 adet li-lion pil kullanılmıştır ve tahrik edilen bir adet 48 V 3000 BLDC motora sahiptir. Seri ve paralel bağlanan batarya grubu 14S14P Samsung 18650 30Q pil grubundan oluşmuştur. Özellikle bu pil grubu seçilmiştir benzer ürünlere göre yük altında yüksek performans verdiği görülmüştür.

3.1.1. Yürüyen Aksam Tasarımı

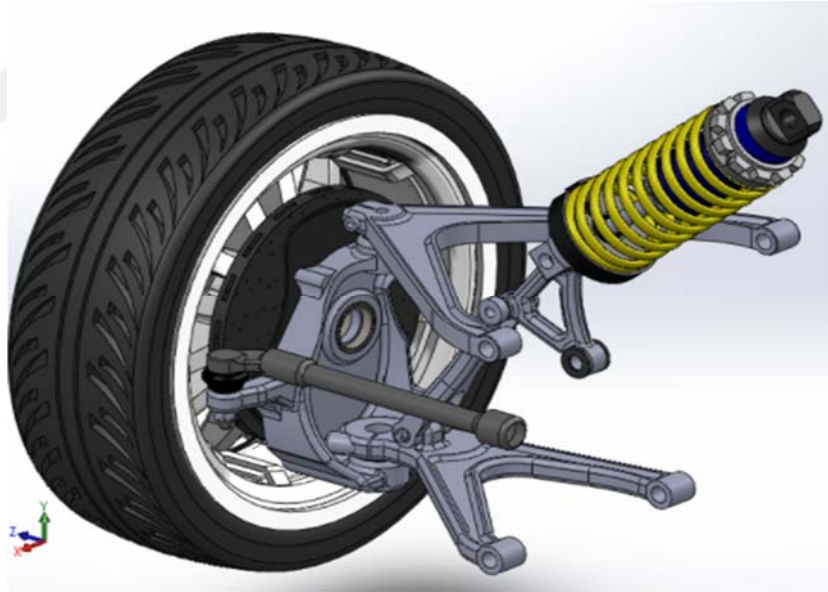
Süspansiyon Tasarımı

Süspansiyon sistemini varoluş olarak düşündüğünüzde, lastiklerle, lastiklerin bastığı yüzey arasında ki teması en yüksek seviyede tutmak. Kısaca aracı daima zemin ile temas etmesini, sürtünmenin devamlılığını sağlamaktır. Bu önemlidir. Neden? Çünkü aracı durdurmak için fren yaptığınızda çok hızlı tepki almak, aracın yönünü değiştirmek için direksiyonu çevirdiğinizde hızlıca yön değiştirmek için süspansiyon sistemi çok zor görevler üstleniyor. Yolların zamanla meydana gelen bozulmalar, tümsek ve çukurlar da bu görevin ne kadar önemli olduğunu gösteriyor. Çünkü araçlar yüksek hıza vardıklarında, yollardaki bu bozukluklardan çok daha fazla etkileniyor. Hem araçlarımızın zarar görmemesi hem de bu yol bozuklukları sebebiyle araç yönetiminin kaybedilmesi nedeniyle kazaların yaşanmaması için süspansiyon sistemini iyi irdelemek gerekiyor. Süspansiyon sistemi 2 kademeli düşünülmüştür. Bunlardan ilki sabit süspansiyon tasarımı, ikincisi ise bağımsız süspansiyon tasarımıdır.



Şekil 3.1. Sabit süspansiyon tasarımı.

Şekil 3.1 de görüldüğü gibi araç ilk kademede sabit süspansiyon üzerine tasarlanmış fakat yük, güç gerektirmediği düşünüldüğünden dolayı araç içine yol titreşimlerini daha az hissettireceği için ikinci tasarıma geçilmiştir.

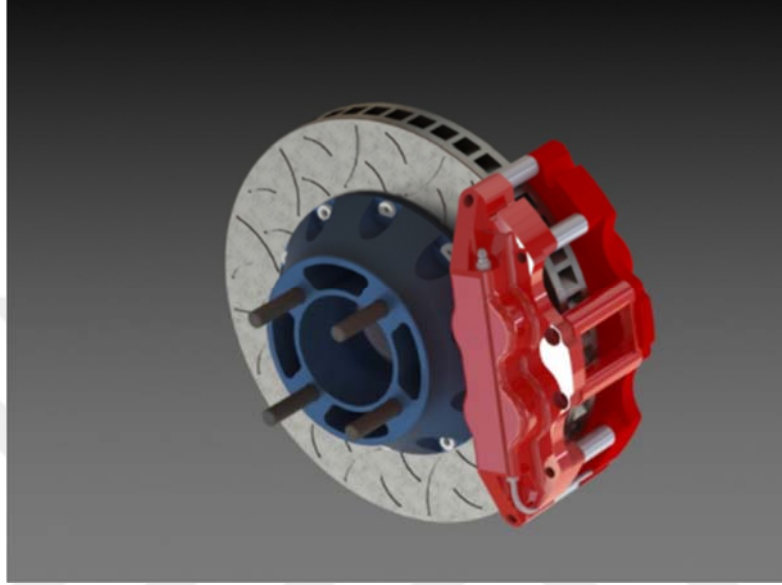


Şekil 3.2. Bağımsız süspansiyon tasarımı.

Şekil 3.2 de görüldüğü gibi hareketli süspansiyon tasarımı üzerinde çalışılmış bu tasarımın imalat aşamasındaki değişiklikler ile yapılması planlanmıştır. Bu tasarımında yol tutuşlarının daha iyi olacağı ve araç konforunda artış sağlayacağından dolayı şekil 3.2 de ki tasarıma karar verilmiştir.

Fren Tasarımı

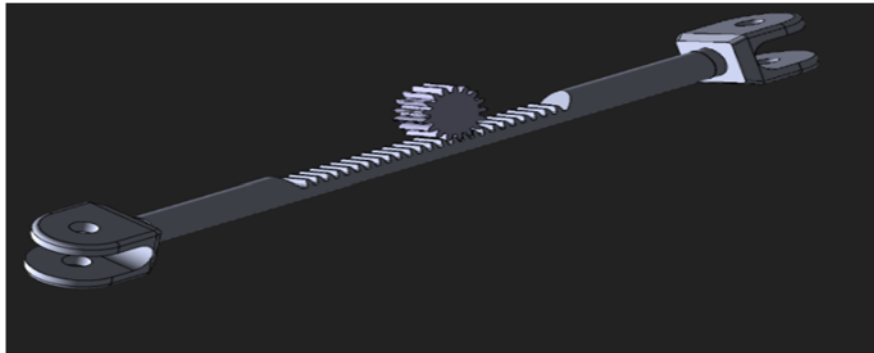
Araç fren sistemi için Şekil 3.3’de gösterilen hidrolik disk fren sistemine karar verilmiştir. Bunun en büyük faydası ani tepki süresine hızlı bir karşılık vermesi ve maliyetinin uygun olmasıdır.



Şekil 3.3. Disk fren tasarımı.

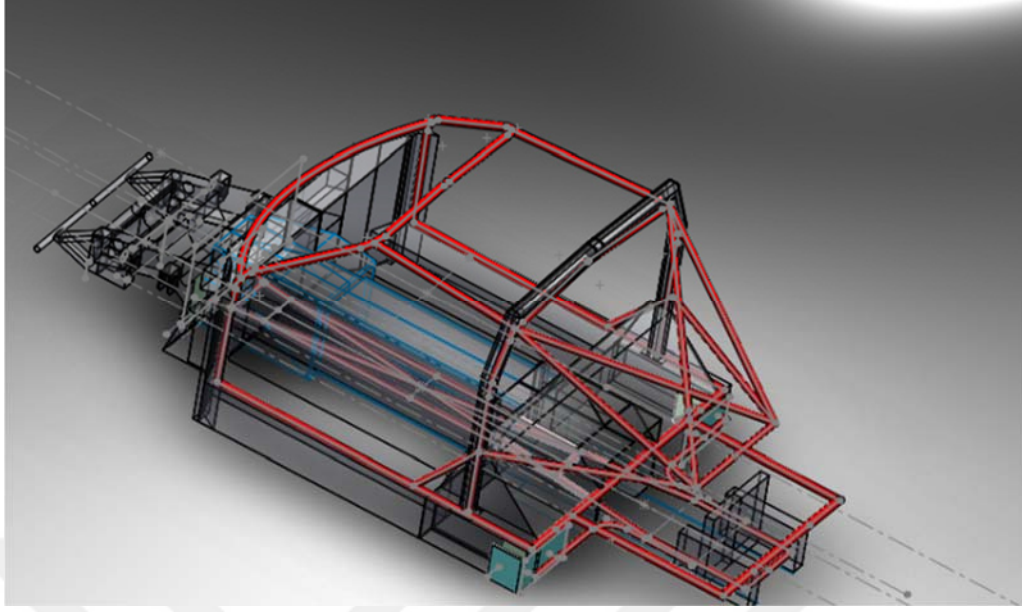
Direksiyon Kutusu Tasarımı

Araç direksiyon tasarımı şekil 3.4. de gösterilmiştir. Maliyeti düşürmek için piyasada bulunan bir araç direksiyon kutusu tercih edilmiştir.



Şekil 3.4. Direksiyon kutusu iç tasarımı.

3.1.2. Araç Şasi Tasarımı



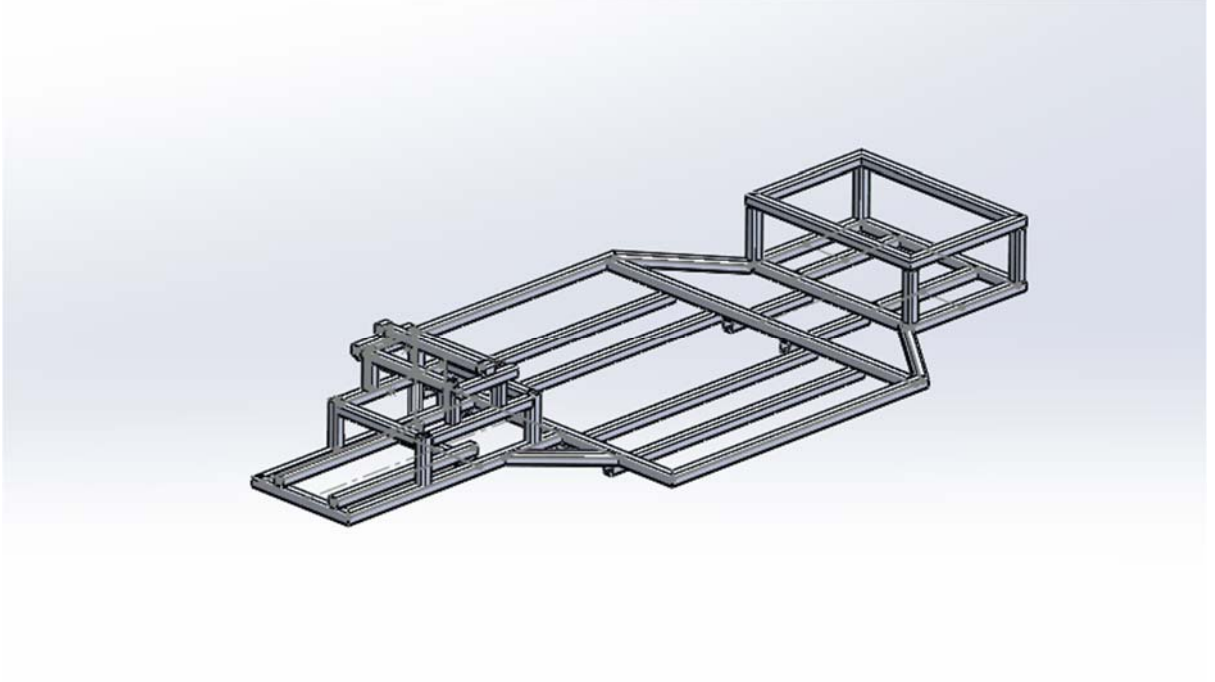
Şekil 3.5. Sanal ortamda tasarlanan ilk şasi örneği.

Araç şasi tasarımında güçlendirilmiş şasi tasarımı yapılmıştır. Araçta A, B ve C sütunu olmak üzere 3 ana kolon tasarlanmıştır. Şasi tasarım testleri uygulayabilmek için aracın şasi üretimine geçilmiştir. 30*30*3 mm St-37 kalite kutu profilden üretilen araç görseli Şekil 3.6. da gösterilmiştir. Araç ağırlığı 450 kg olarak ölçülmüştür. Yakıt tasarrufu ön planda olan elektrikli araçlarda ağırlık çok büyük yan etki olacağı düşüldüğünden bu tasarım iptal edilmiştir.



Şekil 3.6. İlk üretilen şasi örneği.

Üretilen modelde ağırlığın fazla olması nedeniyle A,B ve C sütunları iptal edilerek sadece rolbarlar ile güçlendirilen Şekil 3.7. de görünen yeni şasi tasarımı yapılmıştır. Diğer şasiden farklı olarak kullanılan malzeme Alüminyum 6063 serisine dönüştürülmüştür.



Şekil 3.7. İkinci şasi örneği.

Üretimi yapılan model Şekil 3.8. de gösterilmiştir. Ağırlık 228 kg düşürülmüştür. Araç şasi ağırlığı istenilen değerler arasında olduğundan bu model üzerinde çalışmalar yapılmıştır.



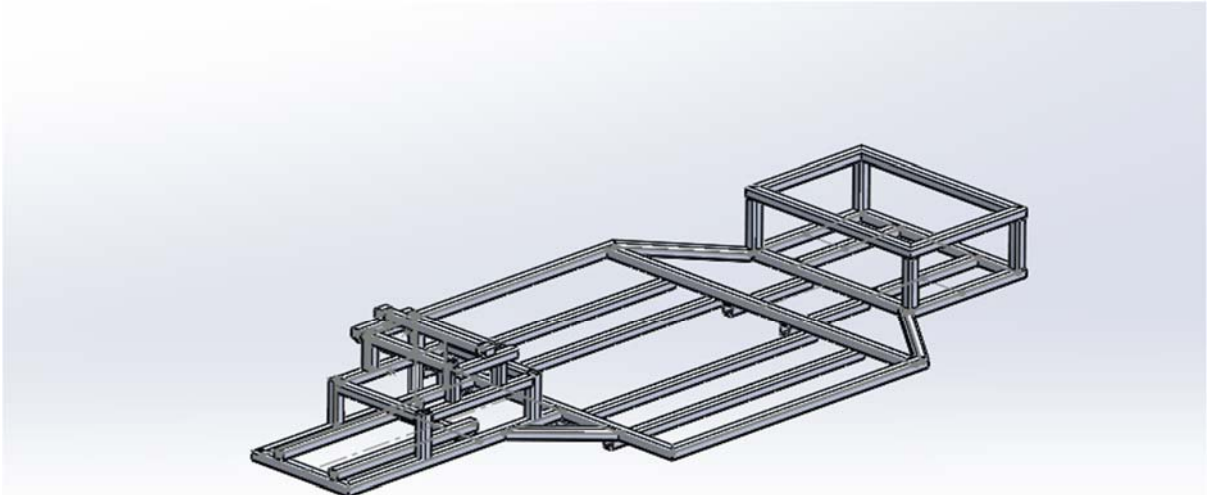
Şekil 3.8. Üretilen ikinci şasi örneği.

Araçta bataryalar ön tekerlek ile direksiyon arasına yerleştirilmiştir. Arka tekerlekler arasına da motor konularak ağırlık dengesi orantılanmak istenmiştir fakat aracın yüksek hızlara çıkmayacağı ve ağırlığın elektrikli araçlar için büyük problem teşkil edeceğinden dolayı şekil 3.9 da gösterilen yeni bir şasi tasarımı yapılmıştır.



Şekil 3.9. Koltuklar arka arkaya düşünülen model.

Aracın günlük hayatta kullanıldığı düşünüldüğünde tek kapı yapılacak bir araç için bu modelinde çok yararlı olmayacağından şekil 3.9 da gösterilen tasarımdan vazgeçilmiştir.



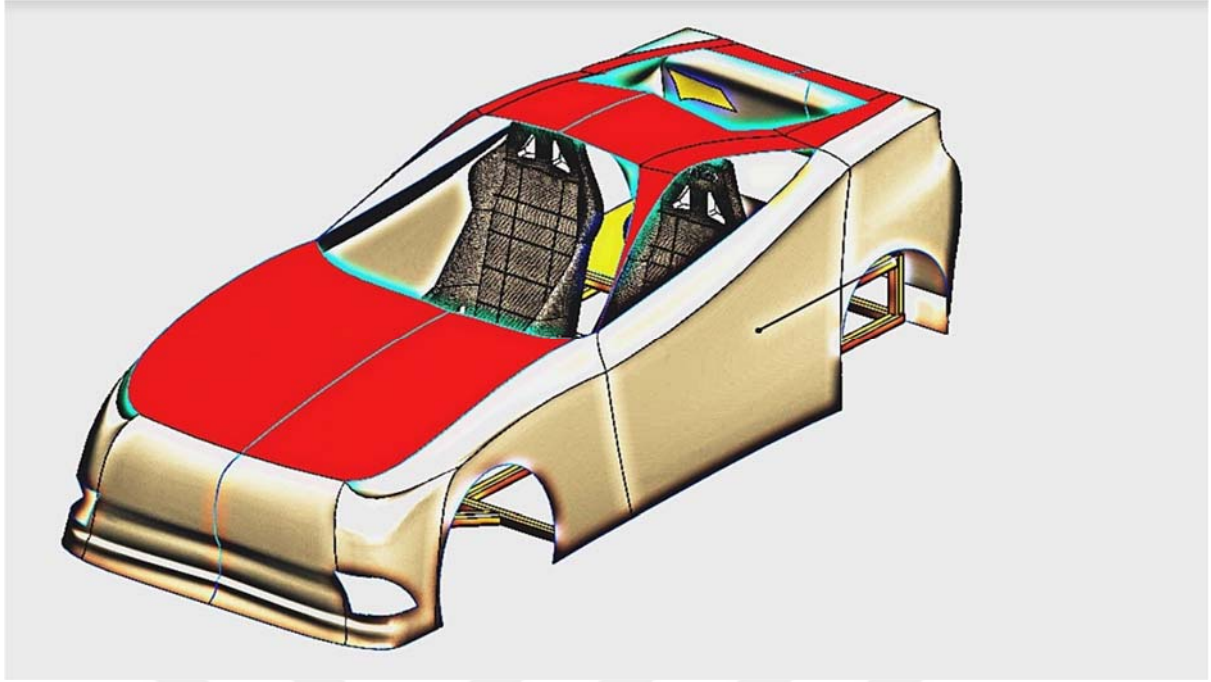
Şekil 3.10. Koltuklar yan yana düşünülen model.

Şekil 3.10 da tasarımı yapılan model tercih edilmiştir. Bu modelde aracın hafif olması için Alüminyum 6063 T5 serisi 40*40*3 mm kutu profil kullanılmıştır. Aracın yüksüz ağırlığı 228 kg olarak hesaplanmıştır. Taşıyabileceği azami yük ise 200 kg olarak planlanmıştır.



Şekil 3.11. Test için üretilen araç.

Araç tasarımları üzerinde çeşitli çalışmalar yapılmıştır şasi tasarımında olduğu gibi dış kaporta tasarımında da farklı modeller çizilip elenerek en iyi model belirlenmiştir. Tasarımlar ortaya konulmuş elektrikli aracın şehir içi kullanımına uygun en iyi tasarım belirlenmiş ve üretime geçilmiştir.



Şekil 3.12. İlk tasarlanan model.

Tasarımdaki amaç elektrikli araçların daha büyük ve daha çok yer kaplamasından ziyade daha küçük ve daha az yer kaplaması planlanmıştır. Bu nedenle araç uzun bir yapıya sahip olmayıp coupe tasarım olarak planlanmıştır.



Şekil 3.13. İkinci tasarlanan model.

Tasarımlarda sadece yumuşak kenarlar değil, keskin köşeli kenarlar ile estetik uyandırması için bu modelden vazgeçilmiştir.



Şekil 3.14. Üretilmesi düşünülen model.

Hem keskin köşeleri, hem yumuşak kenarları hem de kapladığı alan itibarıyla şekil 3.14'deki modelin üretilmesi planlanmıştır. Araç karoseri için kalıplar tasarlanmış ve üretilmiştir. Araç karoserinin kalıptan rahat çıkabilmesi için 5 farklı parça olarak üretilmiştir.



Şekil 3.15. Döküm alınacak model.



Şekil 3.16. Üretilen araç.

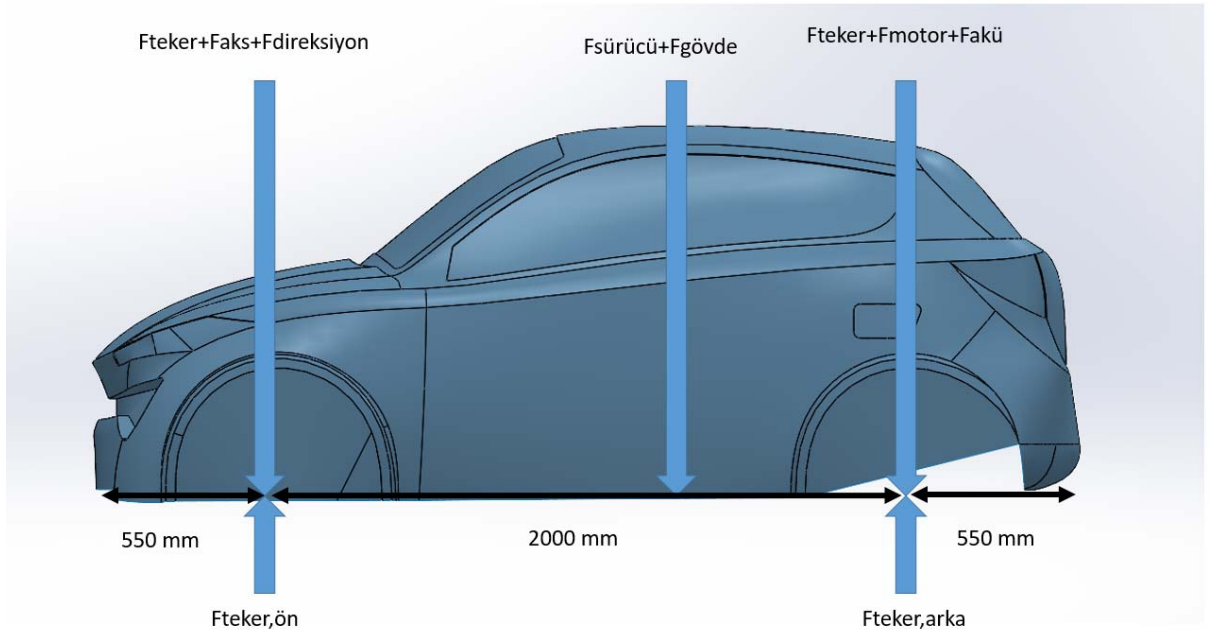
Şekil 3.15.'de araç karoser kalıbı ve şekil 3.16'da kalıbın parçalarının birleştirilmesi sonucu fiberglasstan üretilen araç görülmektedir.

3.1.3. Yük Dağılım Analizi ve Yük Dağılım Oranları Tespiti

Araçtaki kullanılan parçalar ve ağırlıkları tablo 3.1 de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Araç ağırlıkları.

AÇIKLAMA	AĞIRLIK (Kg)	ADET	TOPLAM (Kg)
Tekerlek	4	4	16
Elektrik Motoru Dişli	14	1	14
Direksiyon Kutusu	18	1	18
Süspansiyon Sistemi	10	4	40
Şasi Kabuk Sistemi	50	1	50
Batarya	20	1	20
Diğer Aksamlar	15	1	15
Sürücü	55	1	55
TOPLAM			228



Şekil 3.17. Ağırlık dağılımı.

Şekil 3.17 de araç yük dağılımları gösterilmiştir.

Araçtaki ana yükler;

$$F_{\text{ön}} = F_t + F_s + F_{\text{dir}} + F_d \quad (1)$$

Burada; F_t : Araç ön tekerlek ağırlıklarını, F_s : Araç süspansiyon sistemi ağırlığını, F_{dir} : Direksiyon kutusu ağırlığını, F_d : Diğer aksamların ağırlıklarını göstermektedir.

$$F_{\text{ön}} = 8 + 18 + 20 + 15$$

$$F_{\text{ön}} = 61 \text{ kg}$$

$$F_{\text{ön}} = K_g * 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_{\text{ön}} = 61 * 9,81$$

$$F_{\text{ön}} = 598,41 \text{ N}$$

$$F_{\text{arka}} = F_t + F_m + F_s + F_{\text{ak}} \quad (2)$$

Burada; F_t : Araç arka tekerlek ağırlıklarını, F_s : Araç süspansiyon sistemi ağırlığını, F_m : Araç motor ağırlığını, F_{ak} : araç akü ağırlıklarını göstermektedir.

$$F_{\text{arka}} = 8 + 14 + 20 + 20$$

$$F_{\text{arka}} = 62 \text{ kg}$$

$$F_{\text{arka}} = K_g * 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_{\text{arka}} = 62 * 9,81$$

$$F_{\text{arka}} = 608,22 \text{ N}$$

$$F_{\text{orta}} = F_{\text{sü}} + F_g \quad (3)$$

Burada; $F_{\text{sü}}$: Aracı süren şoför ağırlığını, F_g : Araç gövde sistemi ağırlığını göstermektedir.

$$F_{\text{orta}} = 50 + 55$$

$$F_{\text{orta}} = 105 \text{ Kg}$$

$$F_{\text{orta}} = 105 * 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_{\text{orta}} = 1030,05 \text{ N}$$

Denklem 1, denklem 2 ve denklem 3'e göre hesaplanan kuvvetler;

$$F_{\text{ön}} = 598,41 \text{ N}$$

$$F_{\text{arka}} = 608,22 \text{ N}$$

$$F_{\text{orta}} = 1030,05 \text{ N elde edilmiştir.}$$

Momentum hesaplanırken ön ve arka tekere düşen net kuvvetler denklem 4'e göre hesaplanmıştır. Burada kuvvetin ön ve arka tekere uzaklıkları tablo 3.2 de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Kuvvetlerin tekerleklere uzaklıkları.

KUVVET	Ön Tekere Uzaklık (m)	Arka Tekere Uzaklık (m)
$F_{\text{ön}}$	0	2
F_{arka}	2	0
F_{orta}	1	1

$$\Sigma M_{\text{önteke}} = (F_{\text{ön}} * 0) + (F_{\text{arka}} * 2) + (F_{\text{orta}} * 1) + (- F_{\text{önteke}} * 2) = 0 \quad (4)$$

Burada; $\Sigma M_{\text{önteke}}:$ Ön tekerdeki toplam moment, $F_{\text{ön}}:$ Ön tarafa uygulanan kuvvet, $F_{\text{orta}}:$ Aracın ortasına uygulanan kuvvet, $F_{\text{önteke}}:$ Ön tekere uygulanan kuvveti ifade etmektedir.

$$F_{\text{önteke}} = 1123,24 \text{ N}$$

$$\Sigma M_{\text{arkateke}} = (-F_{\text{ön}} \cdot 2) + (-F_{\text{arka}} \cdot 0) + (-F_{\text{orta}} \cdot 1) + (F_{\text{arkateke}} \cdot 2) = 0 \quad (5)$$

Burada; $\Sigma M_{\text{arkateke}}:$ Arka tekerdeki toplam moment, $F_{\text{ön}}:$ Ön tarafa uygulanan kuvvet, $F_{\text{orta}}:$ Aracın ortasına uygulanan kuvvet, $F_{\text{arkateke}}:$ Arka tekere uygulanan kuvveti ifade etmektedir.

$$F_{\text{arkateke}} = 1113,43 \text{ N}$$

Ön ve arka tekerlere düşen yüklerin oranı;

ÖN/ARKA

$$1123,24/1113,43 = 1,008811 \cong 50:50 \text{ elde edilmiştir.}$$

Ön ve arka tekerlere düşen yüklerin oranı birbirine yakın çıkmıştır. Aracın ağırlığını, ön ve arka tekerleklerin %50-50 oranında paylaştığı görülmektedir. Bu durumun sonucu olarak daha düzgün yol tutuşu, benzer lastik aşınımı ve fren mesafesinde azalma gibi avantajlar sergileyecektir.

3.1.4. Güç Gereksinimi ve Motor Seçimi

Bu konu altında belirli bir ağırlığın hareket etmesi için güç ihtiyaçları Newton yasalarına göre hesaplanarak verimli bir sürüş için gerekli motor gücü hesaplanmıştır. Havanın direnci denklem 6'ya göre, tekerlek sürtünmesi denklem 7'ye göre, yapılan iş denklem 8'e göre, toplam kuvvet denklem 9'a göre, kuvvetleri yenmek için gereken minimum güç denklem 10' göre ve verimlilik ise denklem 11'e göre hesaplanmıştır. Denklemden yer alan değerler tablo 3.3.'de gösterilmiştir.

Havanın Direnci;

$$F = ((C_w \cdot A \cdot R_h)/2) \cdot v^3 \quad (6)$$

Tekerlek Sürtünmesi;

$$F = m \cdot g \cdot \cos(\alpha) \cdot R_r \quad (7)$$

İş;

$$F = m \cdot g \cdot \sin(\alpha) \quad (8)$$

Toplam Kuvvet Formülü;

$$F = m \cdot g \cdot \sin(\alpha) + m \cdot g \cdot \cos(\alpha) \cdot R_r + ((C_w \cdot A \cdot R_h)/2) \cdot v^3 \quad (9)$$

Minimum Güç (kW) (Kuvvetleri Yenmek İçin Gerekli Olan)

$$P = (F \cdot v_m) / 1000 \quad (10)$$

Güç formülü sistemin verimliliğine göre bakıldığında net güç aşağıdaki gibi olacaktır.

$$E = P / e \quad (11)$$

Tablo 3.3. Araç bilgileri.

m	228 kg	Aracın Kütle
g	9,81	Aracın Yer Çekimi İvmesi
a	30	Aracın Eğim Açısı
Rr	0,01	Dönme Sürtünme Katsayısı
Cw	0,4	Aracın Sürüklenme Katsayısı
Rh	1,25	Hava Direnci Katsayısı
A	1,55	Ön Kesit Alanı
vkm	1/60 km/s	Aracın Hız
vm	vkm.100/3600 m/s	Aracın Hız
e	0,8	Aracın Verimi

Denklem 9'a göre toplam kuvvet:

$$F = 228 \cdot 9,81 \cdot \sin 30 + 228 \cdot 9,81 \cdot \cos 30 \cdot 0,01 + ((0,4 \cdot 1,05 \cdot 1,25) / 2) \cdot 60^2$$

F=2264,87 N elde edilmiştir.

Denklem 10'a göre gereken minimum güç:

$$P = 2264,87 \cdot 1,667$$

P=3775,53 W elde edilmiştir.

Denklem 11'e göre gereken net güç;

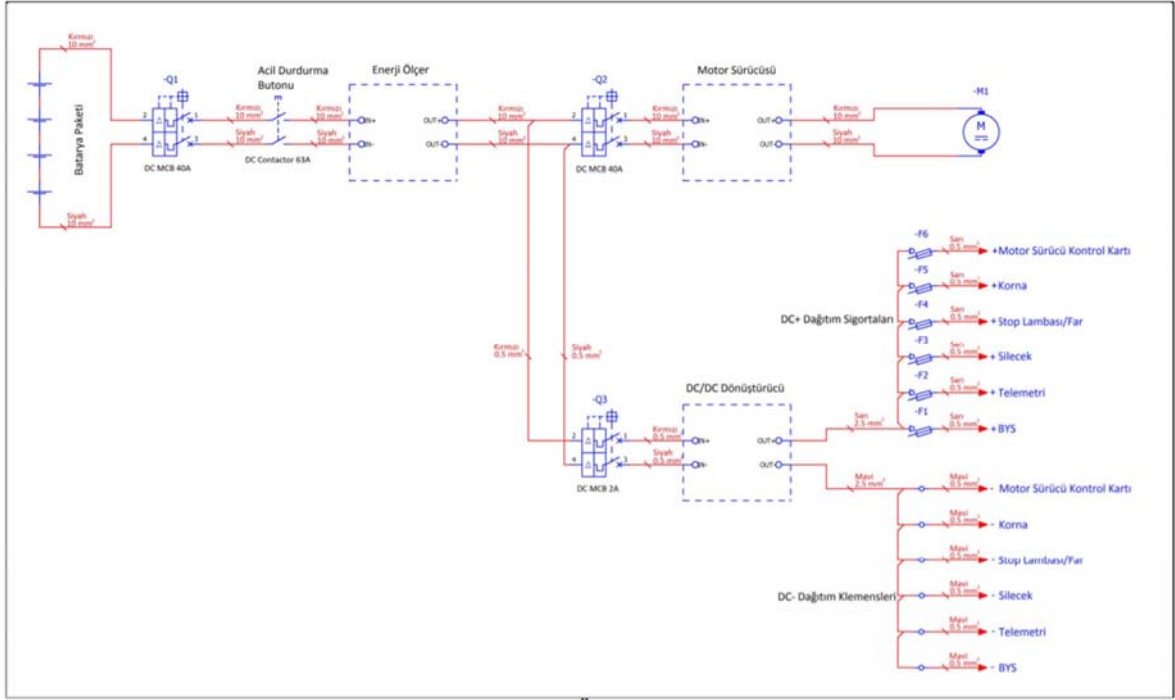
$$E = 3775,53 / 0,80$$

E=4719,42 W elde edilmiştir.

Aracı 60 km/s hız ve 30 derecelik bir eğimden 228 kg ağırlığıyla çıkarmak için gereken motorun net gücü 4719,42 W olarak belirlenmiştir.

3 . 2 . Elektrik Şeması, Batarya ve Motor

Araç üzerinde konumlandırılan aküler ve elektrik tesisatı şematik olarak şekil 3.18'de görülmektedir. Araçta ana kontrol olarak schneider marka PLC kullanılmıştır. Araç üzerinde bir elektrik motoru kullanılmıştır. Elektrik motoru 3000 watt belirlenmiştir. (Dişli oranı ile en iyi aktarım sağlanmıştır) . Batarya grubu olarak Samsung marka tercih edilmiştir.



Şekil 3.18. Araç yapısını gösteren şematik.



Şekil 3.19. PLC tesisatının yerleşimi.

Şekil 3.18'deki elektrik şeması incelendiğinde araç batarya grubundan aldığı gücü batarya yönetim sistemi aracılığıyla motor sürücüsüne, sürücü vasıtasıyla pedala, pedaldan da motora giderek ilk hareket sağlanacaktır. Motor sürücüsünden aracı çalıştırmak için çekilen kablo PLC devresine alınıp ekrana yansıtılmış. Şekil 3.20 de gösterilen ekranda dokunmatik olarak start-stop şeklinde çalışması sağlanmıştır. Araçta otonom-uzaktan kontrol sürüşü sağlanabilmesi için

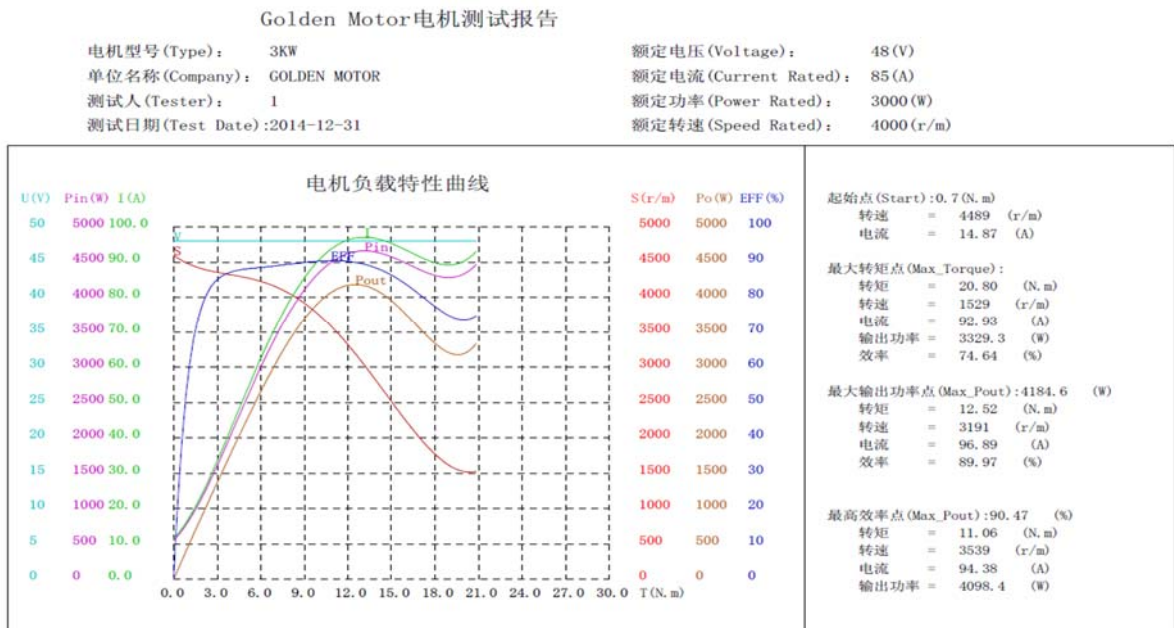
modem adapte edilmiştir. Böylece araç telefon/tablet/pc yardımıyla uzaktan kontrol edilebilmektedir.



Şekil 3.20. PLC ekran tasarımı.

3.2.1. Motor Sürücü

Araç, arkadan tek BLDC motorla tahrik edilecek şekilde tasarlanmıştır. Kullanılan fırçasız DC motorlara ait ürün kataloğundan alınan performans verileri Şekil 3.21’de verilmiştir.



Şekil 3.21. Motor verileri.

Golden marka motor (Şekil 3.22) motora uyumlu KEB72451X sürücüsüyle (Şekil 3.23) ile kontrol edilmiştir. Motor ağırlığı 8 kg'dır. aracın şasesinin arka kısmına montajı yapılmıştır.



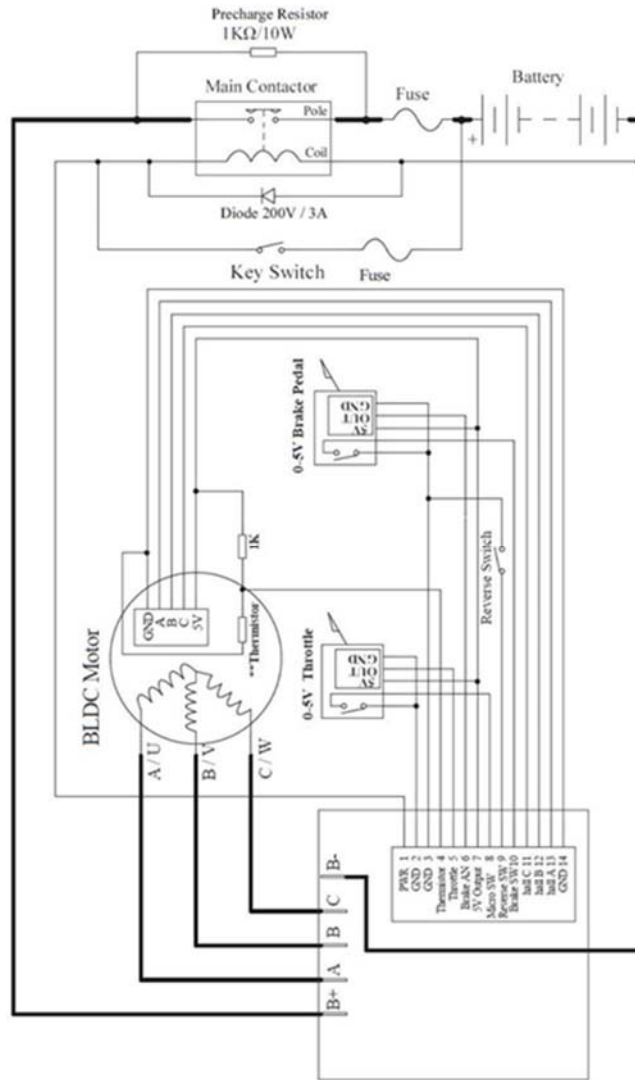
Şekil 3.22. Kullanılan BLDC motor.

Sürücü 48 V ve 4500 W'a kadar güç çekebilmektedir. Sürücü; motorun sıcaklık, konum ve hız bilgileriyle pedaldan gelen girdilere göre çalışmaktadır.



Şekil 3.23. Motor sürücüsü.

Tahrik sisteminin tesisatı sürücünün kullanım kılavuzunda belirlendiği gibi hazırlanmıştır (Şekil 3.24). Elektronik pedal tahrik sistemi için kullanılmıştır.



Şekil 3.24. Motor, sürücü ve pedal bağlantıları.

3.3. Yapılan Ölçümler ve Ölçüm İçin Oluşturulan Devreler

Çalışmada, aracın belli hız ve yük durumlarında enerji tüketimlerinin belirlenmesi için joulemetre takılmıştır. Gerilim, akım, devir ve hız değerleri şekil 3.25'te görülen telemetri sistemi ile gerçek zamanlı olarak izlenmiştir.



Şekil 3.25. Akım ve gerilim ölçümü için telemetri sisteminin uygulaması.

Tekerlek üzerinde bulunan konum sensörü sayesinde hız hesaplaması yapılmış, karşılaştırmak için mekanik hız sensörleri kullanılmıştır. Gündelik hayatta kullanılan motosiklet km/hız göstergelerinden yararlanılmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Test sürüşü iki farklı noktada yapılmış, TÜBİTAK yarışları esnasındaki test değerleri dikkate alınmıştır. TÜBİTAK tarafından verilen enerji ölçer ile değerler elde edilmiştir. Kocaeli Körfez pistinde aracın sürüş esnasındaki test bilgileri kaydedilmiştir. Araç 64,25 dakika teste tabi tutulmuş. Bu süre zarfında 46,8 km yol kat etmiştir. 2057 Wh enerji harcadığı görülmüştür. Aracın hızı ortalama 43,73 km/s 'dir.



Şekil 4.1. Kocaeli körfez pisti.

Şekil 4.1 de görülen Kocaeli Körfez Pisti 1950 m uzunluğundadır. Körfez yarış pisti dokuz virajlıdır ve saat yönünde ilerlemektedir. Aracın testleri bu pistte yapılmış ve şekillerde gösterilmiştir.

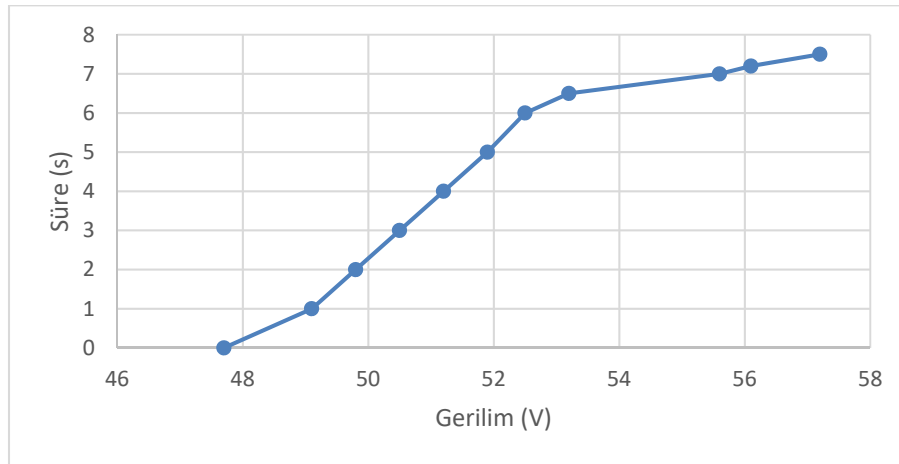
Bu testlerden ilki aracın hareket edebilmesi için gerekli olan enerji depolama birimi yani bataryalara yapılmıştır. Batarya üzerinde tablo 4.1 de görülen doluluk oranı, batarya gerilimine bakılmıştır. Bataryada şarj süresi boyunca meydana gelen gerilim değişimi şekil 4.2 de gösterilmiştir. Şekil 4.3 de batarya pil hücresinin zamana bağlı deşarjı gözlemlenmiştir.

Batarya grubunun şarj edilirken doluluk oranına göre gerilimi tablo 4.1'de görülmektedir. Tablo 4.1 de bataryanın şarj olmaya başladığı ilk voltaj değerinin yüksek olduğu daha sonra voltaj değerinin orantılı bir şekilde arttığı görülmektedir.

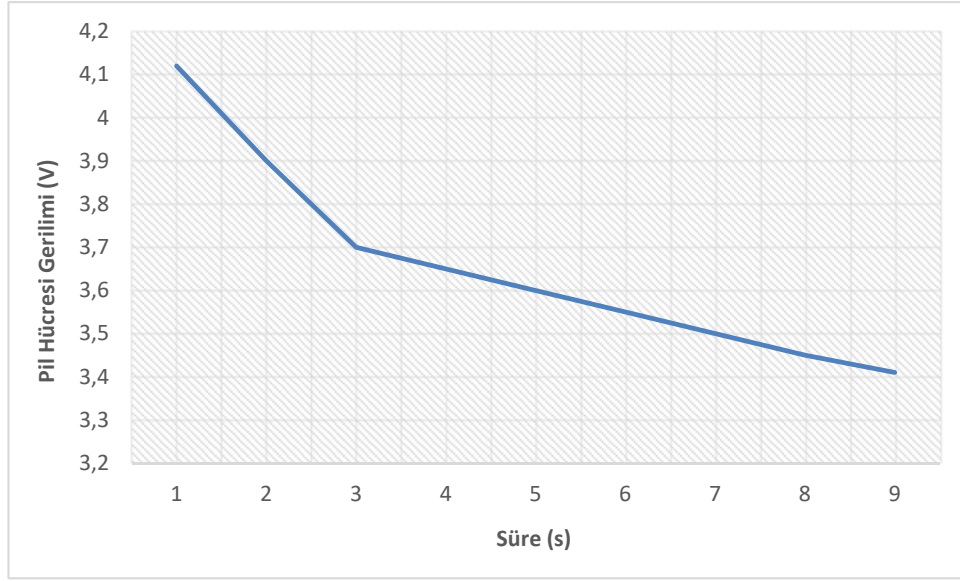
Tablo 4.1 Batarya grubu şarj oranı ve gerilim değerleri.

Doluluk Oranı (%)	Batarya Gerilimi (Volt)
0	47,7
10	49,1
20	49,8
30	50,5
40	51,2
50	51,9
60	52,5
70	53,2
80	55,6
90	56,1
100	57,2

Batarya yüzde 80 ve üzerine çıktığı zaman batarya kendini korumaya aldığından voltajın çok yavaş yükseldiği Şekil 4.1 de görülmektedir. Bu durum genel olarak bataryalarda koruma yöntemi olarak bilinmektedir [32].

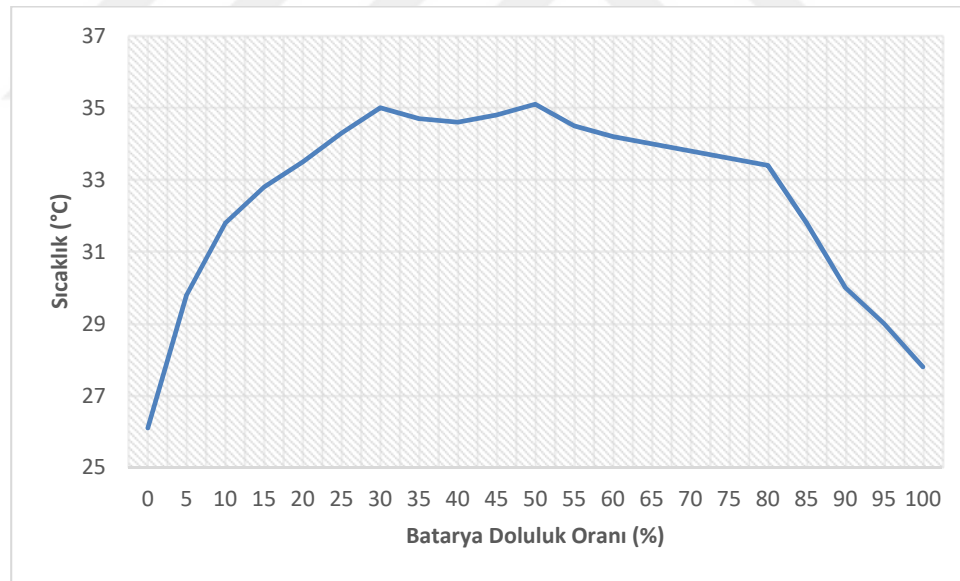
**Şekil 4.2.** Batarya grubu şarj süresi ve şarj gerilim eğrisi.

Şekil 4.2 de incelendiğinde aracın bataryasının ortalama 8 saatte tam kapasite dolduğu görülmektedir. Araç bataryasının tek bir hücresi için süreye bağlı pil hücresi gerilimi şekil 4.3 de gösterilmiştir. Araç bataryasının yüksek voltajlarda pil hücresi gerilimini 3 saatte 0,4 volt azalırken 6 saatte 0,3 volt azaldığı görülmüştür.



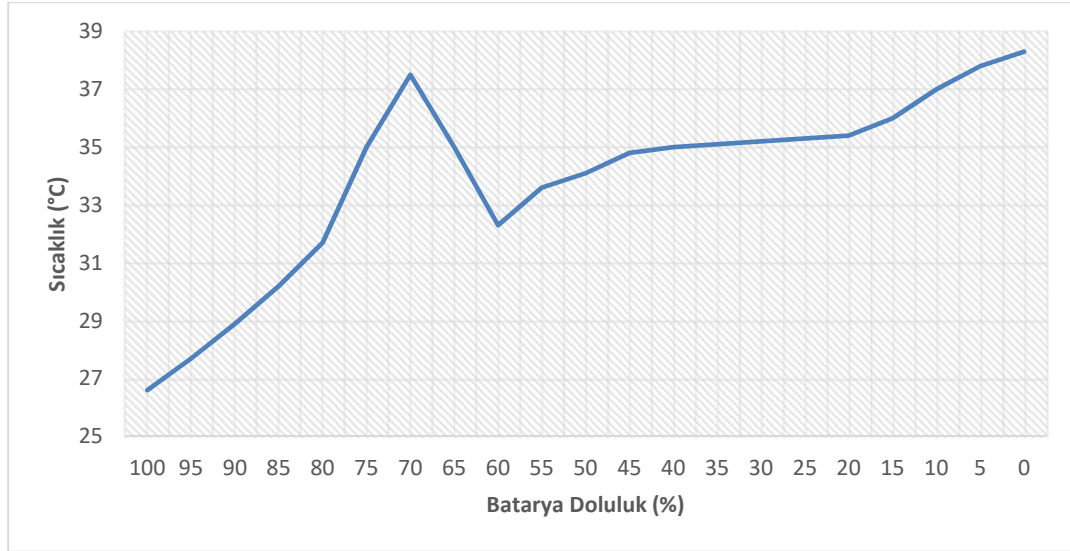
Şekil 4.3. Pil hücresinin zamana bağlı deşarjı.

Şekil 4.4 araç bataryasının şarj esnasındaki sıcaklık durumu göstermektedir. Şarj grafiği ve deşarj durumu 26 °C derece olan ortam sıcaklığında başlamıştır.



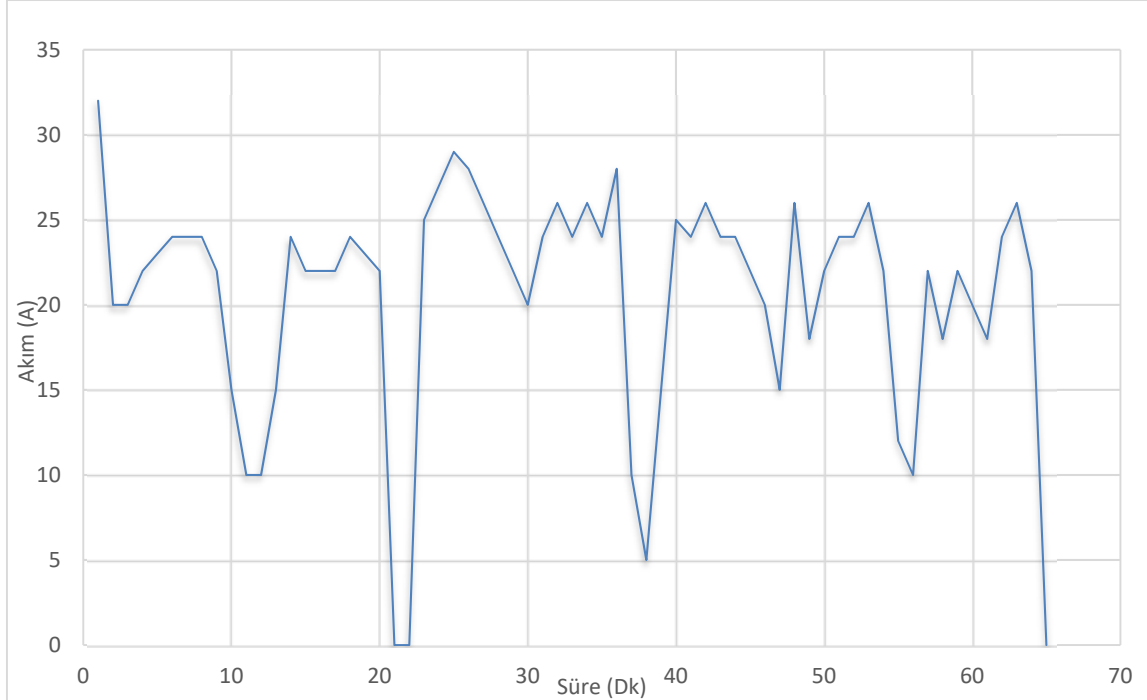
Şekil 4.4. Batarya şarj oranının sıcaklığa bağlı değişimi.

Şekil 4.4 de gösterilen bataryaya entegre edilen PT100 sıcaklık sensörü ile ölçülmüş. PLC ekranına aktarılan sıcaklık değerleri elde edilerek şekil 4.4 grafiği oluşturmuştur. Grafik incelendiğinde batarya doluluk seviyesinin yüzde 50 oranına kadar sıcaklıkla birlikte arttığı daha sonra batarya doluluk oranı artarken sıcaklığın düştüğü görülmüştür.



Şekil 4.5. Batarya deşarj oranının sıcaklığa bağılı değişimi.

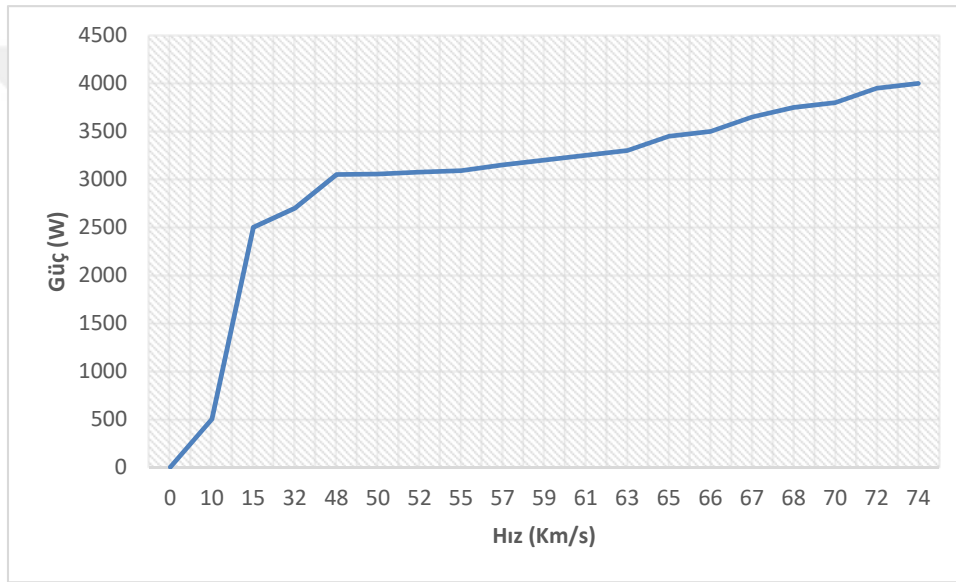
Şekil 4.5 batarya deşarj oranının sıcaklığa bağılı değişimini göstermektedir. Şekil 4.5 incelendiğinde batarya yüzde 70 deşarj olana kadar sıcaklığının hızlı bir şekilde yükseldiğı, yüzde 70 ile yüzde 60 arasında batarya sıcaklığının düştüğü, yüzde 60 batarya doluluk oranından sonra batarya deşarj olana kadar sıcaklığının arttığı görülmüştür.



Şekil 4.6 Pist koşullarında bataryadan çekilen akım-zaman grafiğı.

Şekil 4.6 pist koşullarında bataryadan çekilen akım-zaman grafiğini göstermektedir. Aracın ilk hareketi esnasında bataryadan çekilen akımın yüksek olduğu daha sonra yol şartlarına bağlı olarak akım değerinin şekillendiği görülmüştür.

Test sürüşü esnasında motorun hıza bağlı olarak güç değişim grafiği şekil 4.7 de gösterilmiştir. Araçtaki hız değerleri artarken motor güç değerlerinin de arttığı buna bağlı olarak batarya doluluk oranının azaldığı görülmüştür. Araç 0-15 km/s hız aralığında motor gücünün hızlı bir şekilde arttığı, aracın ilk hareketinden sonra hız artışına bağlı olarak motor güç artışının ilk artışına göre daha yavaş arttığı gözlemlenmiştir. Aracın 0 dan 15 km/s hıza çıkabilmesi için bataryadan 52,08 akım çekilirken 15-75 km/s hızda 31,25 akım çektiği görülmüştür. Bu durum aracın ağırlığına bağlı olarak ilk hareketinde daha fazla akım çekmesine neden olmuştur.



Şekil 4.7 Güç-hız grafiği.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Elektrikli araçlar gün geçtikçe popülerlik kazanmaktadır. İçinde bulunduğumuz süreçte saf petrol araçlarının sayıları azaltılarak, hibrit ve elektrikli araçlara öncelik verilmeye başlanmıştır. Bu yüzden elektrikli araç çalışmaları önem taşımaktadır.

Çalışma kapsamında, elektrik ile tahrik edilebilen bir araç altyapısı oluşturulmuş, hareket edebilir hale getirilmiş araca ait parametreler kullanılarak sürüş çevrimi analizi yapılmıştır.

Test sürüşleri esnasında elde edilen değerler ile simülasyon sonuçlarından alınan değerler literatür ile uyusmaktadır.

Yapılan testler sonucunda 48 v batarya kapasiteli ve 3000 watt elektrik motor gücüne sahip olarak üretilen elektrikli aracın batarya grubunun yaklaşık 8 saatte tam kapasite dolduğu ve bu tam kapasite ile yaklaşık 50 km yol kat ettiği görülmüştür. Yapılan sürüş testlerinde batarya ve elektrik motorunun 18 derece eğilimli yol şartlarına uygun olduğu görülmüştür.

Aracın menzil artışının batarya kapasitesine, motorun gücüne yol şartlarına, hıza ve tekerlek sürtünme yüzeyine bağlı olduğu görülmüştür. Araç ağırlığı ile kat edilecek yolun (mesafe) birbirleriyle ters orantılı olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışma da tasarlanıp üretilen elektrikli araç ile ortalama 45 km/s hızla 50 km menzile 2197 Wh enerji harcayarak ulaşılmıştır. Harcanan bu enerji günümüzde ortalama 2 TL birim fiyata tekabül etmektedir. Elektrikli araçların günümüzde yakıt ekonomisi olarak çok tasarruflu olduğu bir kez daha görülmüştür.

Bu çalışma ile üzerinde çalışılabilir bir elektrikli araç sistemi geliştirilmiştir. Bu altyapı sonraki çalışmalarda kullanılarak geliştirilebilir. Çalışmanın devamında elektronik diferansiyel uygulaması, gövde tasarımı, fren sistemi, telemetri sistemi gibi uygulamalar geliştirilebilir. Daha verimli bir model için, elektrik motoru ve bataryaların testlerle ayrıntılı bir şekilde karakterize edilerek, veri okuma amaçlı tasarlanan kartların optimize edilmeleri gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1]. Ehsani, M., Gao, Y., Gay, S. E., Emadi, A., Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles, CRC Press, Boca Raton, Florida, 2005.
- [2]. <http://cevrecigenclik.turkforumpro.net/>. Egzoz Gazları Hakkında Bilgi. 08 Nisan 2013.
- [3]. Kutlar, A., Ergeneman, M., Arslan, H. ve Mutlu, M., Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler, Birinci Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1998.
- [4]. Semercioğlu, H., "Hibrit otobüslerin şehir içi koşullarda seyir hali emisyonlarının ve yakıt ekonomilerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi; Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2011.
- [5]. Gören, E., "Hibrit ve Elektrikli Araçlar İle Toplu Ulaşımında Enerji Verimliliği", 2.Ulusal Enerji Verimliliği Forumu ve Fuarı Bildiriler Kitabı, İstanbul, 2010; pp.27-30.
- [6]. Masoud, S, " Kentiçi Trafik Sorunlarının Çözümünde Trafik Yönetimi Erzurum Örneği", Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2018.
- [7]. İnternet: Number of passenger cars and commercial vehicles in use worldwide from 2006 to 2015 in (1,000 units). Statista.
URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.statista.com%2Fstatistics%2F281134%2Fnumber-of-vehicles-in-use-worldwide%2F&date=2019-01-06> Son Erişim Tarihi: 06.01.2019.
- [8]. Hannan, M. A., Hoque, M. M., Mohamed, A., and Ayob, A. (2017). Review of energy storage systems for electric vehicle applications: Issues and challenges. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 69, 771-789.
- [9]. İnternet: Voelcker, J. 1.2 Billion Vehicles On World's Roads Now, 2 Billion By 2035: Report. Green Car Reports. URL:
http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.greencarreports.com%2Fnews%2F1093560_1-2-billion-vehicles-on-worlds-roads-now-2-billion-by-2035-report&date=2019-01-06, Son Erişim Tarihi: 06.01.2019.
- [10]. Ustabaş, A. (2014). Mikro ve makro etkileri yönünden elektrikli otomobiller. Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 1, 269-291.
- [11]. Miller, J. M. (2010). Propulsion Systems for Hybrid Vehicles, 60, 194-208.
- [12]. Romm, J. (2006). The car and fuel of the future. Energy Policy, 34, 2609-2614.
- [13]. Ertaç, Y. (2008). Elektrikli Taşıtların Tasarım ve Simülasyonu, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [14]. Watts, A., Vallance, A., Whitehead, A., Hilton, C., and Fraser, A. (2010). The Technology and Economics of In-Wheel Motors. SAE International Journal of Passenger Cars—Electronic and Electrical Systems, 3(2), 37-57.

- [15]. Uğur, E. (2011). Prototip Bir Elektrikli Araç Üzerinde Enerji Yönetim Sisteminin Uygulanması, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [16]. Gerssen-Gondelach, S. J., and Faaij, A. P. C. (2012). Performance of batteries for electric vehicles on short and longer term. *Journal of Power Sources*, 212, 111-129.
- [17]. Kumar, L., and Jain, S. (2013). Electric propulsion system for electric vehicular technology: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 924-940.
- [18]. Catenacci, M., Verdolini, E., Bosetti, V., and Fiorese, G. (2013). Going electric: Expert survey on the future of battery technologies for electric vehicles. *Energy Policy*, 61, 403-413.
- [19]. Öztürk, T. (2013). Asenkron Motor İle Sürülen Elektrikli Aracın Modellenmesi, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [20]. Poullikkas, A. (2014). Sustainable options for electric vehicle technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 1277-1287.
- [21]. Karaođlan, M. U. (2014). Elektrik Tahrikli Bir Binek Otomobilin Tahrik Sisteminin Matematiksel Modellenmesi ve Simülasyonu, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [22]. Mökükcü, M. S. (2014). Electric Vehicle Powertrain Design and Implementation, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [23]. Cedden, H. (2014). Elektrikli Bir Taşıtın Şasi ve Aktarma Organlarının Kavramsal Tasarımı. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [24]. Jochem, P., Babrowski, S., and Fichtner, W. (2015). Assessing CO₂ emissions of electric vehicles in Germany in 2030. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 78, 68-83.
- [25]. Ehsani, M., Gao, Y., Gay, S. E., Emadi, A., *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design*, First Edition, CRC Press, London, 2004.
- [26]. İnternet: Alkaya, L., Behçet, R., ve İlkılıç, C. (2008). Yakıt Pilleri ve Uygulama Alanları. Dođu Anadolu Bölgesi Araştırmaları. http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.academia.edu%2F31046238%2FYAKIT_P%25C4%25B0LLER%25C4%25B0_VE_UYGULAMA_ALAN_LARI_Batman_%25C3%259Cniversitesi_Teknik_E%25C4%259Fitim_Fak%25C3%25BCltesi_Makine_E%25C4%259Fitimi_B%25C3%25B6l%25C3%25BCm%25C3%25BC_BATMAN_F%25C4%25B1rat_%25C3%259Cniversitesi_Teknik_E%25C4%259Fitim_Fak%25C3%25BCltesi_Makine&date=2019-01-07,

- [27]. Muratoğlu, Y., ve Alkaya, A. (2016). Elektrikli araç teknolojisi ve pil yönetim sistemi - inceleme. *Elektrik Mühendisliği*, 458, 10-14.
- [28]. Larminie, J., Lowry, J., *Electric Vehicle Technology Explained*, Second Edition, Wiley, England, 2003.
- [29]. Miller, J. M., *Propulsion Systems for Hybrid Vehicles*, IEE Power & Energy Series 45, The Institution of Electrical Engineers, London, 2004.
- [30]. Ünlü, N., Karahan, Ş., Tür, O., Uçaral, H., Özsu, E., Yazar, A., Turhan, L., Akgün, F., Tırıs, M., *Elektrikli Araçlar*, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Gebze, 2003.
- [31]. Ehsani, M., Gao, Y., Gay, S. E., Emadi, A., *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design*, First Edition, CRC Press, London, 2004.
- [32]. Andwari, A. M., Pesiridis, A., Rajoo, S., Martinez Botas, R., and Esfahanian, V. (2017). A review of Battery Electric Vehicle technology and readiness levels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 414-430.
- [33]. Huang, Q., Chen, Y., and Li, J. (2010). Control of Electric Vehicle. In S. Soylu (Ed.), *Urban Transport and Hybrid Vehicles*. London: IntechOpen, 12-18.
- [34]. Rahman, M. F., Patterson, D., and A. Cheok, R. B. (2011). Motor Drives. In M. H. Rashid (Ed.), *Power Electronics Handbook*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 915-991.
- [35]. Chau, K. T. (2014). Pure electric vehicles Alternative Fuels and Advanced Vehicle Technologies for Improved Environmental Performance (655-684): Elsevier BV.
- [36]. Colton, S. W. (2008). *Design and Prototyping Methods for Brushless Motors and Motor Control*. Massachusetts Institute of Technology.
- [37]. Uygun, D., Solmaz, S. (2015, May). Design and Dynamic Study of a 6 kW External Rotor Permanent Magnet Brushless DC Motor for Electric Drivetrains. Paper presented at the 4th IEEE International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives.
- [38]. Hoque, M. M., Hannan, M. A., Mohamed, A., and Ayob, A. (2017). Battery charge equalization controller in electric vehicle applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 1363-1385.
- [39]. Guirong, Z., Henghai, Z., and Houyu, L. (2011). The Driving Control of Pure Electric Vehicle. *Procedia Environmental Sciences*, 433-438.
- [40]. Kerem, A. (2014). Elektrikli Araç Teknolojisinin Gelişimi ve Gelecek Beklentileri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 1-13.
- [41]. Tarlak, H., ve İşen, E. (2018). Elektrikli Araçlar ve Akü Şarj Sistemleri. *Kıklareli University Journal of Engineering and Science*, 4(1), 124-141.
- [42]. Mruzek, M., Gajdác, I., Kučera, L., and Barta, D. (2015, May). Analysis of parameters influencing electric vehicle range. Paper presented at the 9th International Scientific Conference Transbaltica, Vilnius.

- [43]. Ceylan, M., Sarıkurt, T., ve Balıkçı, A. (2013, 23-24 Mayıs). Elektrikli Araçlarda Kullanılan Lityum-İyon Bataryalar İçin Model Geliştirilmesi. EMO V. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumunda sunuldu, Kocaeli.
- [44]. İnternet: Jongerden, M., and Haverkort, B. R. (2008). Battery Modeling. CTIT Report. <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Ffile%3A%2F%2F%2FC%3A%2FUsers%2F%25C3%259CM%25C4%25B0T%2FDesktop%2FBatteryRep4.pdf&date=2019-01-07>, Son Erişim Tarihi: 06.01.2019.
- [45]. G., S. M. M., and Nikdel, M. (2014). Various battery models for various simulation studies and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 477-485.
- [46]. Buekers, J., Holderbeke, M. V., Bierkens, J., and Panis, L. I. (2014). Health and environmental benefits related to electric vehicle introduction in EU countries. *Transportation Research Part D*, 33, 26-38.