

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İÇTEN YANMALI MOTORLU HAFİF BİNEK ARAÇLARIN
ELEKTRİKLİYE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ**

ESİN ALTINDAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

2015

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İÇTEN YANMALI MOTORLU HAFİF BİNEK ARAÇLARIN
ELEKTRİKLİYE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ**

ESİN ALTINDAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**(Bu tez Akdeniz Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri
Koordinasyon Birimi tarafından 2013.02.0121.028 nolu proje ile desteklenmiştir.)**

2015

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İÇTEN YANMALI MOTORLU HAFİF BİNEK ARAÇLARIN
ELEKTRİKLİYE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ**

ESİN ALTINDAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez 26/02/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Hikmet RENDE
Prof. Dr. Osman YALDIZ
Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÇAĞLAR

ÖZET

İÇTEN YANMALI MOTORLU HAFİF BİNEK ARAÇLARIN ELEKTRİKLİYE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ

ESİN ALTINDAL

Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Hikmet RENDE
Şubat 2015, 42 sayfa

Bir zamanlar sadece bir düşünce olarak görülen elektrikli otomobiller 1800’lü yıllarda basit ama bugünlere geleceğini bilir gibi adım adım gelişimini sürdürmüştür. Günümüzde birçok çevre tarafından geleceği parlak olarak nitelendirilen elektrikli otomobiller farklı varyasyonlarla ve çeşitli firmalar tarafından piyasaya sunulmaktadır. Bu otomobillerin her bir parçası, bir elektrikli otomobil parçası olarak üretildiği için geleneksel otomobillerden farklılık göstermektedir.

Bu çalışmada, daha önce benzer konularda yapılan birtakım çalışmalara atıfta bulunularak, elektrikli otomobillerin altyapı ve tarihi hakkında bilgiler verilmektedir. Daha sonra elektrikli otomobillerin farklı bakış açılarından sınıflandırmaları yapılarak elektrikli otomobilleri oluşturan bileşenler ve parçalar ayrı ayrı incelenmektedir. Son olarak da içten yanmalı motora sahip bir hafif binek aracın elektrikliye dönüştürülmesi gerçekleştirilmekte ve bu gerçekleştirme sırasındaki değerlendirmeler makine mühendisliği bakış açısıyla incelenerek değerlendirilmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Elektrikli Araç, Elektrikli Otomobil, Elektromobil

JÜRİ: Prof. Dr. Hikmet RENDE
Prof. Dr. Osman YALDIZ
Yard. Doç. Dr. Ahmet ÇAĞLAR

ABSTRACT

THE CONVERSION OF INTERNAL COMBUSTION ENGINED LIGHT PASSENGER CARS INTO ELECTRIC VEHICLES

ESİN ALTINDAL

MSc Thesis, The Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Hikmet RENDE

February 2015, 42 Pages

Electric cars seen as a dream in the past have consistently improved of late years in contrast to their minor progress in 1800s. Widely accepted and considered to have a bright future the electric cars being mass produced and having multiple variations. Electric cars are different from traditional cars since every single piece is produced and produced particularly for electric cars.

This research includes the history of electric cars and their engineering background and also several other researches related to electric cars are cited. Later on, several classifications are presented about electric cars and their sub-components are examined in detail. Finally, the Conversion of Internal Combustion Engined Light Passenger Cars Into Electric cars is explained and studied theoretically evaluating the conversion from mechanical engineering's point of view.

KEYWORDS: Electric Cars, EV, PHEV, Electromobile

COMMITTEE : Prof. Dr. Hikmet RENDE

Prof. Dr. Osman YALDIZ

Yard. Doç. Dr. Ahmet ÇAĞLAR

ÖNSÖZ

Bu tez, danışmanım Prof. Dr. Hikmet RENDE'ye bir fikir danışmaya gitmemle başladı. Kendisi fikirleriyle beni cesaretlendirdi ve projeyi yüksek lisans tezi olarak yapmaya karar verdim.

Doğayı koruyan ve çevreye faydalı olan bir proje yapmak her mühendisin hayalidir diye düşünüyorum. Eğer bu çalışmayla bu fikre bir katkıda bulunabildiysem ne mutlu bana.

Elektrikli araç üretmek isteyenlerin karşılaşabileceği en büyük zorluk ilgili malzemelerin temini olacaktır. Elektrikli araç parçalarının ülkemizde üretilmesinin teşvik edilmesi bu endüstriye yapılabilecek en büyük desteklerden biridir. Zira parçaların bir kısmının sadece yurt dışından temin edilebiliyor olmasının zorluğunu proje boyunca yaşamış bulunmaktayım.

Gelecekte önemi artacak olan elektrikli araçların değerini ne kadar erken öğrenirsek ülke olarak yol kat etmeye o kadar erken başlarız. Yenilenebilir enerjinin hayatımızdaki öneminin bir nebze de olsa altını çizen bu projede bana manevi desteklerini esirgemeyen eşime ve aileme saygılarımla.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Gerekliklik ve Dayanaklar	1
1.2. Elektrikli Otomobillerin Tarihi	2
1.3. Elektrikli Araçların Teşviki	3
1.3.1. Türkiye	3
1.3.2. Avrupa Birliği	4
1.4. Kyoto Protokolü	4
2. ELEKTRİKLİ OTOMOBİLLERİN SINIFLANDIRILMASI	6
2.1. Hibrit Elektrikli Araçlar	6
2.1.1. İçten yanmalı motor(İYM) ve elektrik motoru(EM) kombinasyonuna göre	6
2.1.1.1. Seri hibrit	6
2.1.1.2. Paralel hibrit	7
2.1.2. Toplam güce katkı oranına göre	8
2.1.2.1. Mikro hibrit	8
2.1.2.2. Hafif hibrit	8
2.1.2.3. Tam hibrit	8
2.1.2.4. Plug-in elektrikli otomobiller.....	8
2.2. Yakıt Hücreli Elektrikli Otomobiller	9
3. ELEKTRİK MOTORLARI VE AKÜLER	10
3.1. Elektrik Motorları	10
3.1.1. Doğru akım motorları	10
3.1.1.1. Fırçalı DC motorlar	10
3.1.1.2. Fırçasız DC motorlar	11
3.1.2. Alternatif akım motorları	11
3.1.2.1. Senkron AC motorlar	11
3.1.2.2. Asenkron AC motorlar	12
3.2. Aküler	12
3.2.1. Kurşun-asit aküler	12
3.2.2. NiMH aküler	13
3.2.3. Li-iyon aküler	14
3.2.4. Yakıt pilleri (yakıt hücreleri)	15
4. YÖNTEM.....	17
4.1. Kullanılacak Bileşenlerin Seçimi.....	17
4.1.1. İçten yanmalı motorlu araç	17
4.1.2. Elektrik motorunun seçimi	19
4.1.3. Akü seçimi	22
4.1.4. Akü şarj cihazı	23
4.1.5. Kontrol ünitesi/ sürücü	25

4.1.6. Kontaktör	26
4.1.7. Kablo ve soketler	28
4.1.8. Gaz pedalı.....	29
4.2. Söküm	31
4.3. Dönüşüm	31
4.3.1. Mekanik dönüşüm	32
4.3.2. Elektronik dönüşüm	33
4.4. Maliyet Faktörü	37
5. SONUÇ	38
6. KAYNAKLAR	41
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

DC	Doğru akım
AC	Alternatif akım
NiMH	Nikel metal hibrit
Li-İon	Lityum iyon
EM	Elektrik motoru
İYM	İçten yanmalı motor
FCEV	Yakıt hücreli elektrikli araçlar
Plug-in-H	Fişe takılabilen hibrit
LPG	Sıvı petrol gazı
GE	General Electric
Ni-Cad	Nikel kadmiyum metali
ÖTV	Özel Tüketim Vergisi
BM	Birleşmiş Milletler
HEV	Hibrit elektrikli araç

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Wood's Pheaton – 1902	2
Şekil 2.1. Seri hibrit güç şeması.....	7
Şekil 2.2. Paralel hibrit güç şeması	7
Şekil 3.1. Fırçalı DC motor parçaları	10
Şekil 3.2. Fırçasız DC motor parçaları.....	11
Şekil 3.3. Asenkron motor yapısı	12
Şekil 3.4. Kurşun-asit akü iç yapısı.....	13
Şekil 3.5. NiMH akü iç yapısı	14
Şekil 3.6. Li-Ion akü yapısı	15
Şekil 3.7. Hidrojenle çalışan yakıt hücresi.....	16
Şekil 4.1. Farklı motor ve çekiş konfigürasyonları	18
Şekil 4.2. Dönüşümü yapılan aracın ilk hali	19
Şekil 4.3. Devir sayısı – tork grafiği	20
Şekil 4.4. Motor devir sayısı – güç diyagramı	21
Şekil 4.5. Kullanılan elektrik motoru ve elektrik bağlantı soketleri	21
Şekil 4.6. Seri bağlanan 48V 120Ah aküler	23
Şekil 4.7. Kurşun-asit akü hücresi şarj karakteristiği.....	24
Şekil 4.8. 48V 25A akü şarj cihazı.....	25
Şekil 4.9. Kullanılan 48V 200A sürücü	25
Şekil 4.10. Sürücü çıkış gerilimi ile motor devri arasındaki ilişki.....	26
Şekil 4.11. Aç-kapa kontaktör ve yön kontaktörü.....	27
Şekil 4.12. Aç-kapa kontaktör devredeki yeri.....	27
Şekil 4.13. Yön kontaktörünün elektriksel bağlantıları	28

Şekil 4.14. 25'lik ve 2'lik kablo kesitleri ve ilgili bağlantı soketleri.....	29
Şekil 4.15. Gaz pedalı direncine bağlı olarak değişen sürücü gerilimi.....	30
Şekil 4.16. Araçta kullanılan gaz pedalı.....	30
Şekil 4.17. Gaz pedalının elektrik şeması	31
Şekil 4.18. Aracın ana boyutları.....	31
Şekil 4.19. Elektrik motoru-şaft-diferansiyel bağlantıları.....	32
Şekil 4.20. 48V-12V dönüştürücü ve ilgili bağlantılar	33
Şekil 4.21. Panonun elektrik bağlantıları	34
Şekil 4.22. Aküler ve pano.....	34
Şekil 4.23. Elektrik bağlantıları genel şeması	36
Şekil 5.1. Dönüşümü gerçekleştirilen aracın son hali	38

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Euro standart emisyon değerleri	5
Çizelge 4.1. Piyasadaki bazı araçların menşei ve akü tipi	22
Çizelge 4.2. Kablo kesitlerine göre akım taşıma kapasiteleri	28
Çizelge 5.1. Aracın devir, hız, güç, tork parametreleri	39
Çizelge 5.2. Akü göstergesinde okunan değerler ve anlamları	39

GİRİŞ

1.1. Gereklilik ve Dayanaklar

Elektrikli otomobiller geçmişte kablolu kumandalı oyuncaklar olarak yaşamımıza girmiştir. Daha sonra kablosuz uzaktan kumandalı oyuncak modellerini çocukların elinde görülmeye başlandı. Zamanla, elektrik enerjisinin otomobillerde hareket enerjisi olarak kullanılmasının faydaları görüldükçe bilim ve teknoloji bu konuya daha fazla ar-ge yatırımı ve zaman harcamaya başlamıştır. Elektrik ile çalışan ulaşım teknolojilerinin gerek doğal ve çevre dostu oluşu, gerekse ucuz ve yaygınlaşabilir oluşundan dolayı günümüzde otobüs, minibüs, otomobil ve motosiklet gibi araçlarda bu teknoloji karşımıza çıkmaktadır.

Otomobil teknolojisi, ilk içten yanmalı motorun icadından bugüne, doğal gaz, benzin, motorin, LPG gibi yer altı kaynakları ve işlenmiş ürünlerini kullanarak hareket enerjisini sağlama yoluna gitmiştir. Ancak yakın geçmişte elektrik enerjisinin otomobil motoru tasarımlarında, kısmen veya tamamen güç kaynağı olarak kullanılmaya başlanmasından itibaren bu alanda ar-ge çalışmaları artmıştır.

Otomobil fiyatlarının günümüzde makul seviyelerde olmasından dolayı, özellikle büyükşehirlerde özel araç sayıları oldukça fazladır. Şehirlerdeki çevreye salınan gaz emisyonunun büyük bir çoğunluğunu özel araçlar oluşturmaktadır. Karnama'ya (2009) göre çevreye salınan sera gazlarının %14'ü ulaşım araçları tarafından üretilmektedir. Bu zararlı gazların salınımı, insan popülasyonunun yoğun olduğu şehir merkezlerinde olduğuna göre, insan sağlığı için son derece ciddi tehlikeler yaratmaktadır.

Elektrik enerjisi günümüzde kömür, doğal gaz ve petrol türevleri gibi çevreye karbon salınımı yapan yakıtlardan üretilbildiği gibi; hidroelektrik santralleri, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi gibi çevreye karbon salınımı anlamında zarar vermeyen doğal enerji kaynaklarından da üretilmektedir. Çevreye duyarlılık elektrikli araçların ana çıkış noktası ise eğer; bu çalışmada bahsedilen, içten yanmalı motorlu araçtan dönüştürülen elektrikli otomobil ve diğer elektrikli otomobillerin de elektrik enerjisi kaynağı olarak yukarıda bahsedilen doğal kaynakları kullanması daha doğru olacaktır. Petrol türevleri, kömür ve doğalgaz gibi yakıtlardan üretilen elektriğin bu araçlarda şarj için kullanılması, belki aracın çevreye doğrudan karbon salınımı yapmasını önleyebilir ancak dolaylı olarak elektriğin üretiminde çevrenin kirletilmesi anlamına gelmektedir.

Günümüzde, trafikte seyreden elektrikli otomobillerin içten yanmalı motorlu otomobillere oranı yok denilecek kadar azdır. Elektrikli otomobil teknolojisi yeni gelişen veya gelişmekte olan bir teknoloji olduğu için daha yaygın bir hale gelebilmesi için fiyatların daha da düşürülmeye ihtiyacı vardır. Bu çalışma ile; halihazırda var olan içten yanmalı otomobiller elektrikli otomobile dönüşümü sağlanacaktır. İnsanlar yıllardır vazgeçemedikleri, çok sevdikleri otomobilleri, modeli ne olursa olsun, elektrikli otomobil olarak kullanmaya devam edeceklerdir. Çevremizde yıllardır görmeye alıştığımız otomobil modelleri trafikte yaşamlarına elektrikli olarak devam edeceklerdir.

1.2. Elektrikli Otomobillerin Tarihi

Elektrikli araçların geçmişi oldukça eskiye dayanmaktadır. Bugüne gelinceye değin, son derece ilginç bir gelişim göstermiştir. Güner'e (2013) göre, 1800 yılında Alessandro Volta tarafından elektriğin ilk defa başarılı olarak depolanmasından sonra bu fikir daha uygulanabilir hale gelmiştir. Argueta'a (2010) göre ilk ilkel elektrikli otomobil 1832-1839 tarihleri arasında Robert Anderson tarafından İskoçya'da yapılmıştır. Güner'e (2013) göre, 1859 yılında kurşun plakaların kullanılmaya başlanmasıyla elektrikli otomobil performanslarında artış meydana gelmiş olup aynı yıl Belçikalı Gaston Plante, akülerde şarj vedeşarj gerçekleştirilebildiğini keşfetmiştir.

1800'lü yılların sonunda elektrikli otomobil teknolojilerine geniş çaplı destek veren ilk ülkeler İngiltere ve Fransa olmuştur. 1888 yılında 1 beygir gücünde 4 kişilik bir araç Immisch & Company tarafından devrin Osmanlı Sultanı'na üretilmiştir. İçten yanmalı motorların icat edilmesiyle birlikte 1885 yılında elektrikli motorlara bir rakip ortaya çıkmıştır (Güner 2013). İlk ticari model 1897 yılında New York'ta geliştirilmiştir. 1902'de yapılan Wood's Phaeton modelinin menzili 33 km ve maksimum hızı da 26 km/h idi (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Wood's Phaeton – 1902¹.

1899 yılında bir Belçikalı ilk elektrikli yarış arabasını yaparak 125 km/h hıza ulaşmıştır. 1900'lü yılların başında yakıt ile çalışan bir otomobilin ilk çalıştırılması yarım saatten fazla zaman alıyordu ve bunun için de sürücü kol gücüyle bu süre boyunca efor sarf ediyordu ki; elektrikli otomobillerin kullanımı yakıtla çalışan otomobillere göre o dönemde daha avantajlı olduğu söylenebilir. Bu yıllarda elektrikli motorlu araçların altın dönemi olarak nitelendirilebilir. Yirminci yüzyılın ortalarına doğru elektrikli otomobillerin maliyeti içten yanmalı motorlara göre nispeten fazla olduğu için talep daha çok içten yanmalı motorlar lehine olmuştur. 1970'li yıllarda petrol fiyatlarının aşırı yükselmesinden dolayı elektrikli otomobillerin yıldızı yeniden parlamıştır. Bu yıllarda Amerika, İtalya, Japonya gibi ülkelerde elektrikli araçlarla ilgili ciddi ar-ge yatırımları yapılmıştır.

Günümüzdeki teknolojik hibrit otomobillerin atası olan ilk modern hibrit elektrikli araç GE tarafından 1982 yılında yapılmıştır. 1989 yılında ise Ni-Cad akülü

¹ <http://inventors.about.com/od/estartinventions/a/History-Of-Electric-Vehicles.htm>

araçlar görülmeye başlanmıştır. 1990'lı yıllardan günümüze kadar çeşitli otomobil üreticileri tarafından farklı segmentlerde otomobiller üretilmiştir.

1.3. Elektrikli Araçların Teşviki

Çevresel anlamda ülkeler açısından geleceğe dair önem arz eden, bu gelişmekte olan teknolojinin daha faydalanılabilir olması için ilgili kurumlar tarafından stratejiler geliştirilmelidir. Ülkeler açısından büyük meblağlara tekabül eden petrol türevi yakıt maliyetlerinin azaltılabilmesi ve ülkelerin ekonomik olarak daha ferah hale gelebilmeleri için bu teknolojiye daha fazla önem verilmelidir. Her geçen gün trafikteki artan binek otomobil sayısını da dikkate alırsak, özellikle binek otomobiller için elektrikli araç teknolojisi bir vazgeçilmez olarak nitelendirilebilir.

Elektrikli araçların gelişiminin hem devlet desteğiyle, hem özel sektörün girişimleriyle, hem de kullanıcılardan gelen taleplerle olduğunu gören Türkiye ve Avrupa Birliği bu anlamda birtakım kolaylıklar ve destekler sağlamaktadır.

1.3.1. Türkiye

Türkiye’de son yıllarda elektrikli otomobil bilinci giderek artmaktadır. Bu bilinç hem kamu kurumları nezdinde hem de üretici firmalar ve kullanıcılar nezdinde olmaktadır. Bu bağlamda TÜBİTAK, 18.02.2013 tarihinde “Elektrikli Araç Teknolojilerinin Geliştirilmesi” konulu bir çağrı yapmıştır. Bu çağrı Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı’nın talebi ile gerçekleştirilmiş olup; amaç, yerli firmalar ile elektrikli araçların tüm bileşenlerinin üretilmesi ve montajını amaçlamaktadır. Ayrıca ilgili bakanlık, 5 yıllık süreçte belirli segmentlerde üretilen yerli otomobillerden 200 adet alacağını da beyan etmiştir.

Ayrıca TÜBİTAK, “Elektrikli ve Hibrit Elektrikli Araç Teknolojileri Çağrı Programı” hazırlayarak;

- a. Şarj teknolojilerinin geliştirilmesi
- b. Akü modelleri ve akü yönetim sistemleri geliştirilmesi
- c. Enerji yönetim sistemleri geliştirilmesi
- d. Akıllı şebekeler ile elektrikli araçların entegre edilmesi

gibi amaçlara sahiptir.

25 Şubat 2011 tarihinde Resmi Gazete’de yayınlanan 2011/1435 Sayılı Bakanlar Kurulu Kararı’na göre elektrikli otomobillere uygulanan ÖTV oranları düşürülerek; hafif binek araçlar için %3-15 civarında belirlenmiştir. Düşük motor gücüne sahip (klasmanına göre 20kW altı veya 85kW altı) bir araç alacak olanlar için %3 gibi son derece uygun bir ÖTV oranı belirlenmiştir.

1.3.2. Avrupa Birliği

Avrupa Birliği yasalarının elektrikli otomobillere bakış açısı olumlu yöndedir. Birliđin yayınladığı resmi dokümanlarda karbondioksit emisyonunun düşüklüğünün sık sık altı çizilmektedir. Elektrikli araçların sürüş sırasında daha yumuşak ve konforlu bir sürüş sağladığı; sessiz çalıştığı da diğer avantajları olarak belirtilmektedir.

Akü enerjisini kullanan araçlarla ilgili yasal düzenlemeler, teknolojik gelişimi kolaylaştırmak ve elektrikli otomobil pazarını büyütmek içindir. Avrupa Birliği Komisyonu, Avrupa çapındaki tüm elektrikli taşımacılık girişimlerini destekleyeceğini bildirmiştir. Bu bağlamda, üniversiteler, üretici firmalar, teknoloji ve araştırma kuruluşları gibi kırk iki iştirakçiden oluşan, 41,8 milyon Euro değerinde bir proje girişiminin destekleneceği belirtilmiştir.

Avrupa ulusları ve Avrupa Birliği bağlamında gidilecek yol haritasının belirlenmesi ve şarj edilebilirlik altyapısının oluşturulması da AB'nin görev alanına girmektedir. Seçilen pilot bölgelerde, elektrikli otomobillerden otobüslere kadar elektrikli ulaşımın bütün detayları düşünülerek ona göre çözümler bulunmaya çalışılmaktadır. Elektrikli Taşımacılık Sisteminin güvenilirliğinin yüksek olmasını sağlamak amacıyla da her yerde ve her zaman şarjın mümkün olmasını sağlayan şarj teknolojileri düşünülmektedir. Seçilen pilot bölgelerde 2000 elektrikli aracın trafikte yer aldığı belirtilmiş olup, bunlar için de 2500 şarj istasyonu kazandırılacağı bildirilmiştir. Yine aynı amaçla faaliyet gösteren Green eMotion adlı kuruluş Avrupa Birliği'nin öncelikli hedeflerinden olan karbondioksit emisyonunu 2050 yılına kadar % 60'ın altına düşürmeyi hedeflemektedir.¹

Green eMotion Avrupa'daki standartların oluşumunda mevcuttur. 2015 yılında elektrikli araç sayısının 70.000'e, şarj istasyonu sayısının da 80.000'e ulaşması Green eMotion tarafından öngörülmektedir. Bugüne kadar seçilen pilot bölgelerde yapılan proje ve altyapı çalışmalarına 380 milyon Euro harcandığı belirtilmiştir.²

1.4. Kyoto Protokolü

Uluslar arası bir anlaşma olan Kyoto Protokolü, 1992 yılında Brezilya'nın Rio de Janerio kentinde imzalanmıştır. Ülkelerdeki sera gazı salınımlarının, atmosfere olumsuz etkilerini azaltmak amacına sahiptir. Bu amaç doğrultusunda, belli gruplara ayrılan ülkeler belli zaman dilimlerinde atmosfere saldıkları sera gazlarını azaltma taahhüdü vermektedir.

Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Denetim Genel Müdürlüğü İklim Değişikliği Dairesi Başkanlığı'nın Sera Gazlarının İzlenmesi ve Emisyon Ticareti konulu raporundaki verilere göre; 1990 – 2007 yılları arasında kişi başına düşen toplam sera gazı salınıminin % 71 arttığı görülmektedir. Aynı raporda 1990 – 2007 yılları arasındaki toplam sera gazı salınıminin % 100 arttığı görülmektedir.

¹ http://www.greenemotion-project.eu/upload/pdf/about_us/Green-eMotion_results_and_indings.pdf

² http://www.greenemotion-project.eu/upload/pdf/about_us/Green-eMotion_results_and_indings.pdf

Yenilenebilir enerji yatırımlarından elde edilecek Karbon Kredileri sayesinde, Karbon Ticaretinden ciddi miktarlarda gelir sağlanabilir. Kyoto Protokolü ile literatürlere giren karbon ticareti sera gazı salınımlarını azaltmayı hedeflerken çevreye fazla sera gazı salınımı yapan kuruluşları da bedel ödemeye zorlamaktadır. Karbon ticaretinde; yenilenebilir ve temiz enerji üreten fabrika ve firmaların geleneksel yöntemleri kullanmaları durumunda çevreye ne kadar karbondioksit salınımı yapacakları hesaplanır. Bu firmalara bu hesaplanan oranda satış hakkı verilerek bir nevi destek sağlanmaktadır.

Euro Emisyon Standartları çevreye zararlı gaz salınımının azaltılması amacıyla AB tarafından getirilen standartlardır. Bu standartlara uymayan araç motorları Noneuro olarak isimlendirilmektedir. Euro 1, 1992-1993 yılları arasında kullanılmış olup, 1995-1996 yıllarında Euro 2, 2000 yılında Euro 3, 2005 yılında Euro 4 standartları belirlenmiştir. 2009 yılında Euro 5, 2014 yılında ise Euro 6 standartları tanımlanmıştır. Bu standartlara ilişkin oluşturulan emisyon sınır değerleri Çizelge 1.1’de yer almaktadır.

Çizelge 1.1. Euro standart emisyon değerleri

Standart	CO		HC		NO _x		PM	
	Dizel	Benzinli	Dizel	Benzinli	Dizel	Benzinli	Dizel	Benzinli
Euro 4	0.63	0.81	-	0.13	0.330	0.100	0.040	-
Euro 5	0.63	0.81	-	0.13	0.235	0.075	0.005	0.005
Euro 6	0.63	0.81	-	0.12	0.105	0.075	0.005	0.005

2. ELEKTRİKLİ OTOMOBİLLERİN SINIFLANDIRILMASI

Elektrikli araçların sınıflandırması farklı kriterlere göre yapılarak bu bölümde incelenmiştir. Bu sınıflandırmalar aşağıda yer almaktadır.

2.1. Hibrit Elektrikli Araçlar (HEV)

Hibrit elektrikli araçlar, içten yanmalı motorlu araçlardaki gücün üretimi ve kullanımı aşamasındaki kayıpları ortadan kaldırmak amacıyla ortaya çıkmış olmakla birlikte; piyasada var olan farklı versiyonları bu kayıpları azaltmaya yardımcı olmaktadır. Hibrit araçların en büyük karakteristiği hem içten yanmalı motorun gücünü, hem de elektrikli motorun gücünü bir arada kullanmalarıdır. Özellikle şehir içi trafiğinde bu iki güç kaynağının kombinasyonu oldukça kullanışlı olmaktadır. Kırmızı ışıklarda yahut diğer durma ve kalkma gerektiren durumlarda elektrik motoru devreye girerek içten yanmalı motorun çalışması durmaktadır. Böylece içten yanmalı motorun en fazla yakıt harcadığı duruş ve kalkışlardaki kayıplar elektrikli motor sayesinde en aza indirilmektedir. Performans ve hız gerektiren durumlarda ise içten yanmalı motor devreye girerek aracın ihtiyacı olan yüksek gücü sağlamaktadır. İçten yanmalı motorun performansı sırasında ise elektrik motorunun kendisi jeneratör görevi görmekte veya ayrı bir jeneratör ünitesi ile akülerin doldurulması gerçekleşmektedir. Ayrıca bazı hibrit türlerinde, frenleme ile azaltılmaya çalışılan kinetik enerji elektrik enerjisine dönüştürülerek akülerde depolanmaktadır.

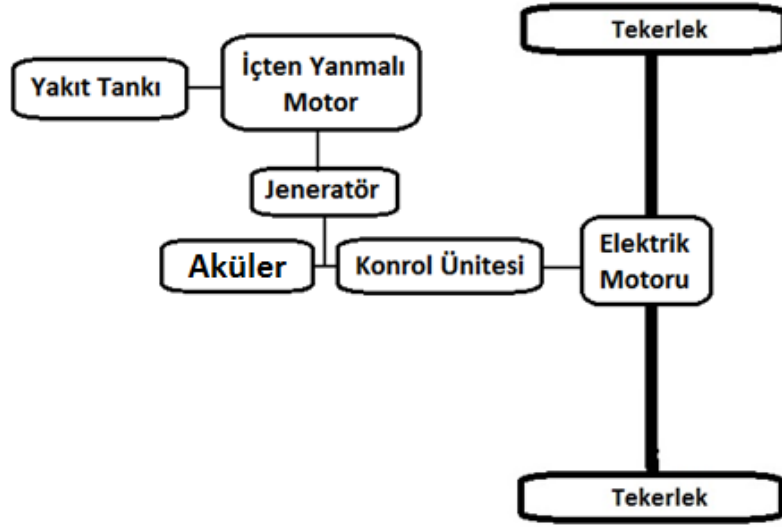
2.1.1. İçten yanmalı motor (İYM) ve elektrik motoru (EM) kombinasyonuna göre

2.1.1.1. Seri hibrit

Bu sistemlerde içten yanmalı motorun görevi; jeneratör olarak adlandırılan elektrik üretim sisteminin alternatörüne hareket vermektir. İçten yanmalı motor doğrudan tekerlekleri hareket ettirmemektedir. Burada tekerleklerle hareketi sadece elektrik motoru vermektedir. Jeneratör ise aküleri şarj etmekle birlikte elektrik motoruna da güç sağlamaktadır. Elektrik motoru yüksek performans durumlarında hem jeneratörden hem de akülerden beslenmektedir. Elektrik motoru ve tekerlekler arasında karmaşık bir dişli düzeneğine ihtiyaç duyulmamaktadır. Yalnızca devir düşürücü ve tork artırıcı bir redüktör bu aktarım için yeterli olacaktır.

Seri hibrit sistemlerde içten yanmalı motor, jeneratör ve elektrik motoru aracın tam performansını karşılayacak şekilde tasarlandıkları için boyut ve maliyet anlamında olumsuzluklar söz konusudur. Uzun menzilli sürüşlerde dönüşümlerden dolayı oluşan kayıplar nedeniyle seri hibrit yine olumsuz bir özelliğe sahiptir.

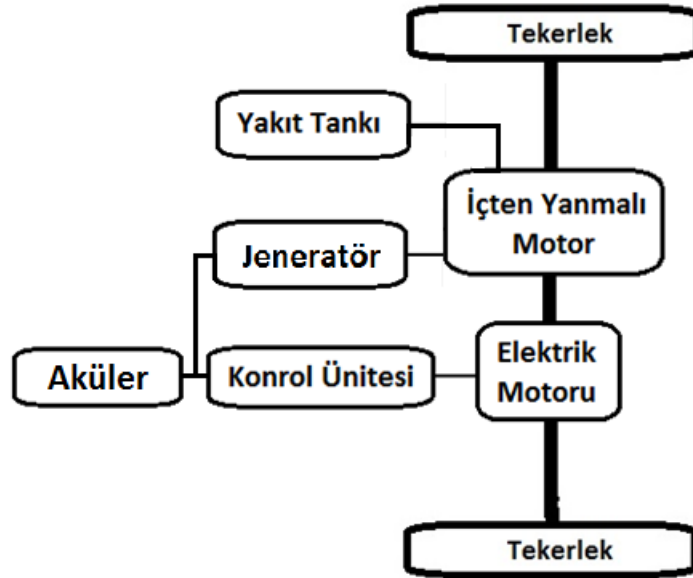
Diğer taraftan elektrik motorunun direk olarak tekerlekleri tahrik ettiği sistemlerde, içten yanmalı motor ile tekerlekler arasında mekanik bir bağlantının olmaması güvenilirlik açısından olumlu bir özelliktir. Jeneratörün de seçilen herhangi bir yere yerleştirilebilecek olması da olumlu bir özellik olarak söylenebilir. Seri hibrit araçlar, duruş ve kalkışların yoğun olduğu şehir içi ulaşım için son derece uygun sistemler olarak kabul edilebilir. Şekil 2.1’de seri hibrit sisteminin bileşenleri görülmektedir.



Şekil 2.1. Seri hibrit güç şeması.

2.1.1.2. Paralel hibrit

Paralel hibrit sistemlerde hem İYM hem de EM mekanik sisteme paralel olarak hareket verebilmektedirler. EM ve jeneratör ayrı ayrı olabileceği gibi tek bir üniteye indirgenmiş de olabilir. Eğer EM hem motor hem jeneratör özelliğine sahip ise, frenleme esnasında yahut İYM'nin ürettiği enerjinin sistemin ihtiyacı olandan fazla olması durumunda; mekanik enerji elektrik enerjisine dönüştürülerek akülere gönderilir. Bu sistemlerde genel olarak düşük hızlarda elektrik motoru görev yaparken yüksek hızlarda ve tork ihtiyacında İYM devreye girer. Şekil 2.2'de paralel hibrit elektrikli aracın bileşenleri yer almaktadır.



Şekil 2.2. Paralel hibrit güç şeması.

2.1.2. Toplam güce katkı oranına göre

Karnama (2009) akü gücünün toplam tahrik gücüne katkı oranına göre hibrit otomobilleri kategorize etmiştir. Buna göre

- %0 - %10 arası : Mikro Hibrit
- %10 - %30 arası : Hafif Hibrit
- %30 - %50 arası : Tam Hibrit
- %50 - %70 arası : Plug-in Hibrit
- %70 - %100 arası : Tam Elektrikli Araçlar

2.1.2.1. Mikro hibrit

Mikro hibrit türlerde elektrik motorunun içten yanmalı motorun ürettiği ve motorun hareketini sağlayan tahrike bir katkısı yoktur. Elektrik motoru hem motor hem de jeneratör görevi görerek rölantide çalışmayı sağlar ve fren halinde de fren enerjisini elektrik enerjisine çevirir.

2.1.2.2. Hafif hibrit

Hafif hibrit türlerinde ise elektrik motoru tekerlekleri döndürebilecek güce sahip değildir ve sadece içten yanmalı motorun güç üretimine bir yardımcıdır. Buradaki güç üretiminin yaklaşık %70 kadarı içten yanmalı motordan üretilmelidir. Hafif hibrit teknolojisinde, mikro hibritten farklı olarak aynı performansta daha küçük bir içten yanmalı motor mevcudiyetidir.

2.1.2.3. Tam hibrit

Tam elektrikli araçlarda yüksek akü kapasiteleri ile elde edilen menzil artışı sayesinde içten yanmalı motor büyüklükleri de azalmaktadır. Bu akü kapasitesi artışı diğer hibrit araçlarda da gerçekleştirilebilmektedir. Tam hibrit araçlarda sürüş için gerekli güç içten yanmalı motordan bağımsız olarak elektrik motoru tarafından sağlanmaktadır. İçten yanmalı motor gerektiğinde aküyü şarj etmek için kullanılmaktadır.

2.1.2.4. Plug-In hibrit elektrikli otomobiller (PHEV)

PHEV'lerin en önemli özelliklerinden bir tanesi yüksek akü kapasiteleridir. Otomobile harici güç olarak adlandırılan elektrikli dış besleme yapılabilmektedir. Hibrit otomobillerdeki fosil yakıtlardan elde edilen elektrik enerjisi PHEV'lerde daha düşük orandadır. Elektrik enerjisi hem İYM-jeneratör ikilisinden hem de şebekeden alınabilmektedir. Şebekedeki elektrik enerjisi eğer yenilenebilir enerji kaynaklarından üretiliyorsa, PHEV'ler bu noktada, çevreye duyarlılık anlamında daha başarılı olarak nitelendirilebilir.

2.2. Yakıt Hücresel Elektrikli Otomobiller (FCEV)

Yakıt hücresel araçlar, hidrojen ve türevi yakıtlar kullanarak kimyasal bir süreç sonucunda elektrik enerjisi üretirler. Bu elektrik enerjisi elektrik motorunda mekanik enerjiye dönüştürülür. Bu tür araçlarda atmosfere bırakılan gaz sadece su buharı olmakla birlikte; reaksiyon sonucunda bir miktar da ısı enerjisi ortaya çıkmaktadır. Bu tür araçlarda yakıt olarak kullanılan hidrojen, alkol çeşitli yollardan elde edilebildiği gibi; bu yollar içerisinde en çevre dostu olan yöntemler biyolojik atıklardan, güneş enerjisi veya rüzgar enerjisinden üretim olarak ifade edilebilir.

Bu tür araçlarda seçilen yakıtların saflığının yüksek oranda olması çevre açısından olumlu bir faktördür. Aksi takdirde, eğer yakıt içerisinde başka türden maddeler de varsa, kimyasal reaksiyon sonucunda bu atomlar oksijenle birleşerek çevreyi kirletici bileşikler olarak havaya salınmaktadır. Ülkemizde yakıt hücresel otomobillerin pazardaki payının 2030 yılı itibarıyla %5'i bulması beklenmektedir.

3. ELEKTRİK MOTORLARI VE AKÜLER

3.1. Elektrik Motorları

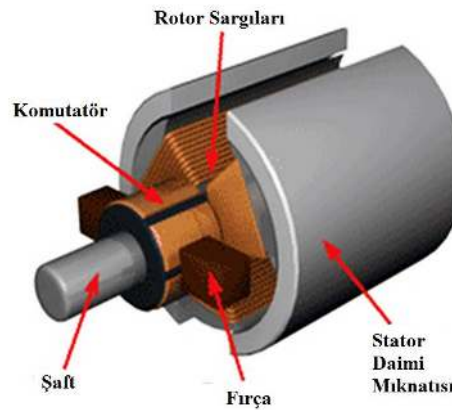
İçten yanmalı motorlar ilk keşfedilirken ortaya çıkan sorunlardan biri oluşan doğru hareketi dairesel harekete çevirmek idi ve krank milleri bunun için geliştirilmiştir. O günden bugüne otomobillerde hareket iletim sistemleri dairesel harekete göre tasarlanmıştır. Elektrik motorları da elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürdüğü için bu sistemlere kolay olarak adapte edilebilirler. Temel olarak doğru akım ve alternatif akım olmak üzere ikiye ayrılan elektrik motorları bu bölümde incelenecektir.

3.1.1. Doğru akım motorları

Doğru akım motorları güvenli ve stabil karakteristiklerinden dolayı sadece elektrikli araçlarda değil, aynı zamanda bir çok sanayi alanında kullanılmaktadır. Bununla birlikte bazı modellerinde fırçaya ihtiyacın olması ve komutatör bulunma gerekliliği olumsuz yönleri olarak belirtilebilir. Fırça ve komutatör bölümlerinin yerine farklı çözümler geliştirilerek oluşturulan fırçasız DC motorlar ile bakım maliyetleri ortadan kaldırılabilmiştir.

3.1.1.1. Fırçalı DC motorlar

Doğru akım motorları içerisinde ilk icat edilen ve kullanılan elektrik motorudur. Dış kısımda stator olarak daimi bir mıknatıs yer alırken, iç kısımda yer alan rotora verilen elektrik enerjisi ile oluşturulan manyetik alan ile geliştirilen dönme kuvveti sayesinde rotorun dönmesi sağlanır (Şekil 3.1). Bu motorlarda rotor hareketli olduğu için dışarıdan rotora iletilmesi gereken elektrik akımını dönüş sırasında taşıyacak bir fırçaya ihtiyaç duyulduğu için fırçalı motor olarak adlandırılırlar. Fırçalı motorlarda elektrik iletiminde ark meydana geldiği için kayıplar oluşmakta ve bu da bu motor türleri için bir dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır.

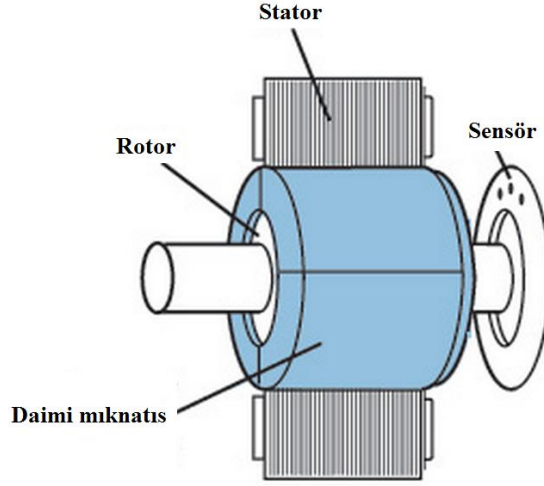


Şekil 3.1. Fırçalı DC motor parçaları¹.

¹ <http://www.embedded.com/design/configurable-systems/4402474/Achieving-maximum-motor-efficiency-using-dual-core-ARM-SoC-FPGAs>

3.1.1.2. Fırçasız DC motorları

Modern fırçasız doğru akım motorlarının yapısı asıl itibariyle AC motorlara çok benzemektedir. Bu motorlar tek fazlı veya çok fazlı olabileceği gibi, rotorda yer alan daimi mıknatıs sayısı da tasarım kriterlerine göre istenilen sayıda seçilebilmektedir. Geleneksel DC motorlar ile fırçasız DC motorlar prensip olarak benzer olmakla birlikte kayda değer farklılıkları mevcuttur (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Fırçasız DC motor parçaları¹.

3.1.2. Alternatif akım motorları

Farklı frekanstaki alternatif akımlarla beslenen bu motorlar yüksek güçlerde üretilebilmekle birlikte yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Alternatif akımın karakteristik özelliğinden dolayı statorda döner bir manyetik alan oluşturularak, bu manyetik alan rotor ile etkileşime girerek rotorun dönmesi sağlanır. Bir veya çok fazlı olarak imal edilebilen bu motorlarda dönme hızı konusunda belirleyici faktör AC gerilimin frekansıdır.

3.1.2.1. Senkron AC motorlar

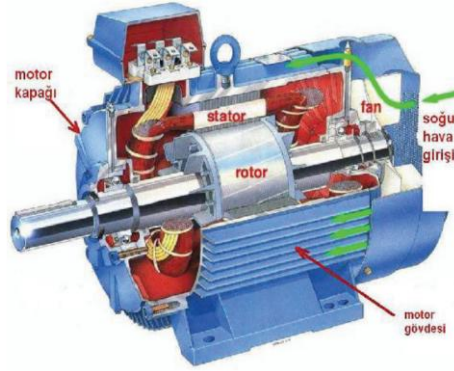
Eşit zamanlı anlamına gelen “senkron” kelimesi bu motorların sabit hızla dönmesini ifade etmektedir. Bu tür motorlarda düşük güçler için daimi mıknatıs kullanılabilirken, büyük güçler için rotorda elektromanyetik sargılar kullanılmaktadır. Eğer rotor kısmında elektromanyetik sargılar kullanılıyorsa; rotor sargıları doğru akım ile ve stator sargıları da alternatif akımla beslenmelidir. Stator sargılarında ise tek fazlı veya çok fazlı sargılar kullanılmaktadır. Senkron motorlar ve alternatörler yapı olarak birbirine çok benzerler ve senkron motorların elektrik üretimi amacıyla jeneratörlerde de kullanıldığı söylenebilir. Bu özelliğinden dolayı elektrikli araçların rejeneratör (aracın hareketinden elektrik üretme) elemanlarında da

¹ <http://www.orientalmotor.com/technology/articles/AC-brushless-brushed-motors.html>

kullanılabilirler. Bu motorlar ilk harekete başlayabilmeleri için yol verme mekanizmasına ihtiyaç duymaktadırlar.

3.1.2.2. Asenkron AC motorlar

Bu motor türlerinde, rotor ve/veya stator sargılarına gönderilen alternatif akım marifetiyle döner bir manyetik alan meydana getirilmektedir. Bu manyetik alan hızı ile rotorun dönme hızının aynı olmadığı motorlara asenkron motor denmektedir. Bu motorların diğer bir ismi de indüksiyon motorlarıdır. Çok geniş bir güç bandında üretilen asenkron motorların avantajları; az bakım gerektirmeleri, ark oluşturmada çalışmaları ve ucuz olmalarıdır. Endüstride en çok kullanılan motor tipi olan asenkron motorlarda moment değerleri yüksektir ve tek veya çok fazlı üretilmektedir. Devir sayılarının da çok farklı aralıklarda değiştirilebiliyor olması da diğer bir avantajıdır. Şekil 3.3'te bir asenkron motorun yapısı görülmektedir.



Şekil 3.3. Asenkron motor yapısı.

3.2. Aküler

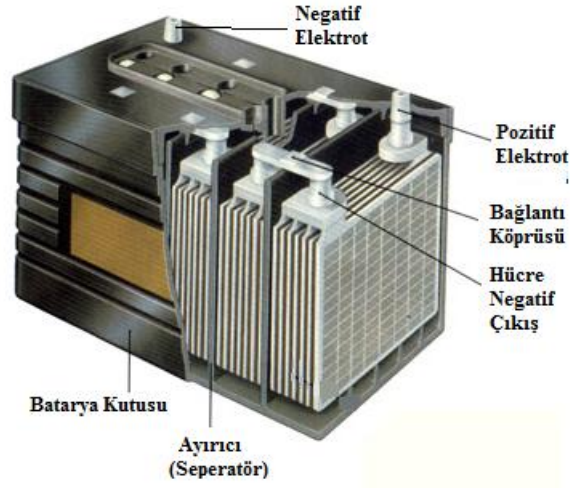
Elektrikli araçlarda elektriğin depolanması, sürüş kalitesi açısından son derece önemlidir. Burada, sürüş kalitesi; aracın ivmelenme kabiliyeti, motorun elektrik akımı talebine akülerin verdiği yanıt, maksimum hız ve menzil gibi parametreleri içermektedir. Bu parametreler açısından; plug-in hibrit ve diğer hibrit elektrikli araçlarda kullanılan akü çeşitleri şunlardır:

3.2.1. Kurşun-asit aküler

Bu tür aküler piyasada, yüksek güç taleplerini karşılayabilecek çeşit ve özellikte bulunabilmektedir. Kütle başına depolama kapasiteleri 40 W/h/kg civarındadır. Özellikle ucuz, emniyetli ve güvenilirlik yüksek oluşlarından dolayı kurşun asitli aküler elektrikli araçlarda tercih edilebilmektedir. Bununla birlikte; düşük sıcaklıklara dayanıksız oluşları ve ömürlerinin uzun olmaması tercih edilebilirlikleri açısından olumsuz bir özelliktir.

İleri teknoloji ve yüksek depolama kapasiteli kurşun asitli aküler geliştirilmiş olmakla birlikte kullanımları çok fazla yaygın değildir. Aydın'a (2010) göre bu tür akülerde gaz reaksiyonlarının gerçekleşmesinden dolayı elektrolit kaybı meydana

gelmekte ve belli aralıklarda saf su ilave edilmesi gerekmektedir. Şekil 3.4'te bir kurşun-asit akünün iç yapısı gösterilmiştir.

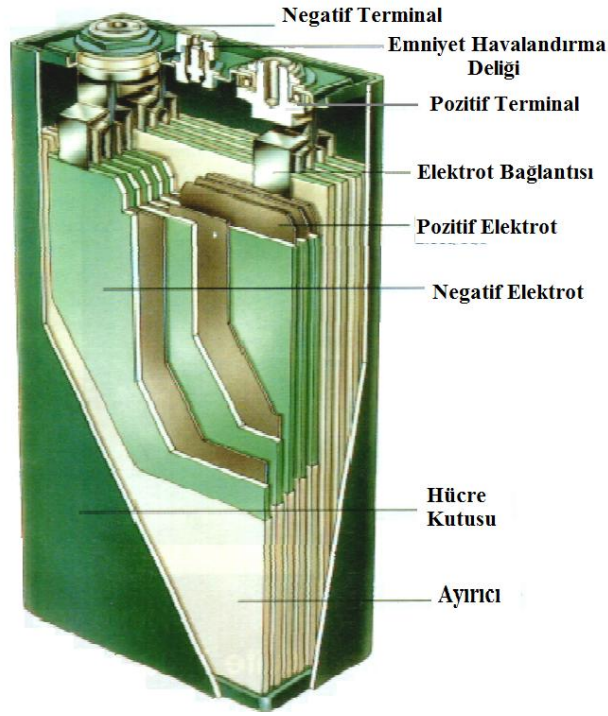


Şekil 3.4. Kurşun-asit akü iç yapısı¹.

3.2.2. NiMH aküler

Aydın'a (2010) göre NiMH Aküler 20. Yüzyılın son on yılında ticari olarak önem kazanmıştır. Özel güç taleplerine karşılık verebilmelerinden dolayı bu tür aküler bilişim ve tıp alanında sistemlerinde geniş kullanım alanına sahiptirler. Bu akü türleri, kurşun-asitli akülerden çok daha fazla kullanım ömrüne sahiptirler. Nikel-metal aküler elektrikli araçlarda ve hibrit otomobillerde halen büyük bir oranda ve başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Güç depolama kapasiteleri 70 – 90 W/h/kg civarındadır. Bu akülerin olumsuz yönleri ise; kullanım sırasında yüksek ısıların ortaya çıkması, zamanla kendiliğinden deşarj olabilmeleri ve maliyetlerinin yüksek oluşudur. Elektrolit yoğunluğunun fazla oluşundan dolayı yüksek güç istenen uygulamalarda kullanılabilmektedir (Bkz. Şekil 3.5).

¹ <http://www.primeproducts.in>



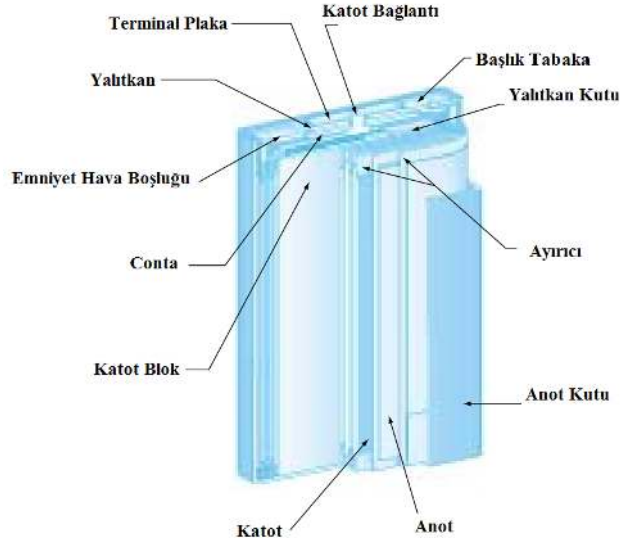
Şekil 3.5. NiMH akü iç yapısı¹.

3.2.3. Lityum-iyon aküler

Birçok elektronik cihazda tercih edilmesinin sebebi ise toksik olmama özelliğidir. Şarj edilebilen modelleri 1980'li yıllardan itibaren ortaya çıkmaya başlayan bu tür akülerde güç yoğunluğu akü türüne bağlı olarak değişmekle birlikte 100 – 170 W/h/kg aralığında değişmektedir.

En yüksek performans değerine Kobalt li-ion pilleri sahiptir ve elektrikli araçlarda hız ve menzili arttırmak için yoğunlukla bu tür aküler kullanılır. Bu tür akülerin hafif ve yüksek performanslı oluşunun sebebi ise lityum metalinin kimyasal özelliklerinden dolayıdır (Bkz. Şekil 3.6).

¹ http://www.cobasys.com/pdf/tutorial/inside_nimh_battery_technology.pdf

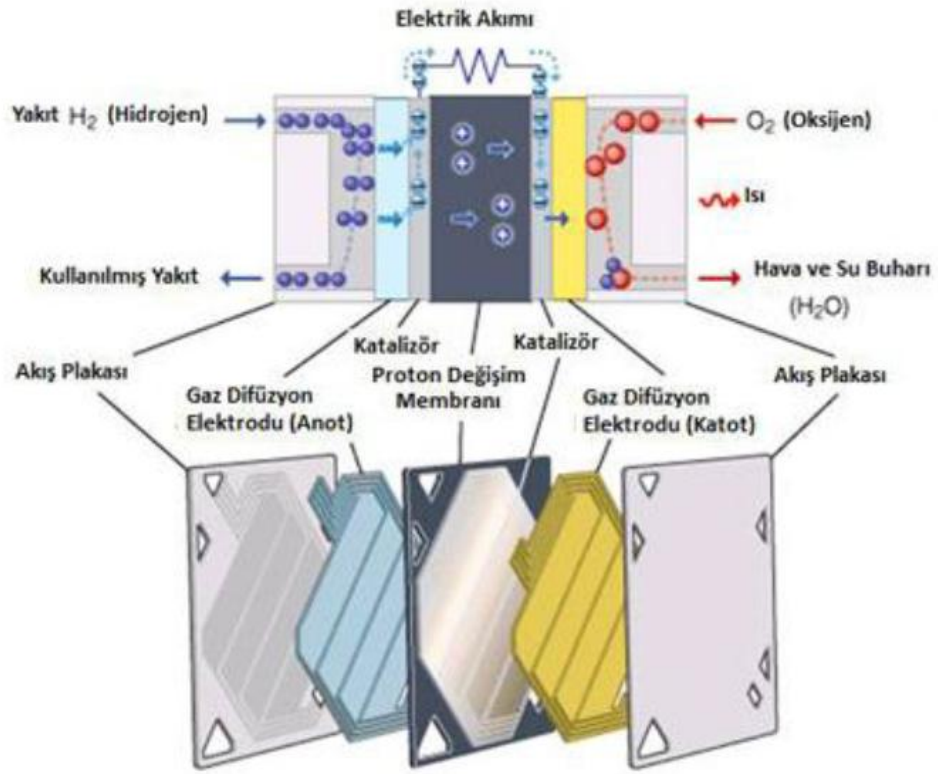


Şekil 3.6. Li-ion akünün yapısı¹.

3.2.4. Yakıt pilleri (yakıt hücreleri)

Bu teknoloji ilk olarak 1960'ların sonunda NASA tarafından yapılan bir uzay mekiğinde yardımcı güç kaynağı olarak kullanılmıştır. Yakıt hücreleri, elektrokimyasal reaksiyonlardan elektrik enerjisi üretmeleri bakımından akülerle benzerlik göstermektedir. Aküler de yakıt hücreleri de kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmekte ve bu esnada da bir miktar ısı açığa çıkmaktadır. Aküler kendi içerisinde kapalı bir sistemde elektrik enerjisini kimyasal enerji olarak depolarlar ve tutarlar dışarıdan şarj edilmeye ihtiyaç duyarlar. Bununla birlikte bir yakıt hücresi, kendisine ihtiyaç duyduğu hidrojen veya türevi olan yakıt sağlandığı sürece sürekli ve devamlı olarak elektrik üretmeye devam eder. Bu sürdürülebilirlik özelliğinden dolayı yakıt hücreleri içten yanmalı motorlara benzer. Yakıt pilleri, yakıtı etkin bir şekilde ve elektrokimyasal olarak oksitleyerek elektrik enerjisini üretir. Yakıt hücreli araçlarda çevreye salınan tek gaz su buharıdır. Yakıt pillerinin iç yapısı Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

¹ <http://www.sony.com.cn/products/ed/battery/download.pdf>



Şekil 3.7. Hidrojenle çalışan yakıt hücresi.

4. YÖNTEM

İçten yanmalı motorlu hafif binek aracın elektrikliye dönüştürülmesi iki farklı yöntemle gerçekleştirilebilmektedir.

- İçten yanmalı motor çıkarılmadan yapılan dönüşüm
- İçten yanmalı motor çıkarılarak yapılan dönüşüm

Bu çalışmada içten yanmalı motor ve ilgili ekipmanlar çıkarılarak dönüşüm gerçekleştirilmiştir. Araç böylelikle tam elektrikli hale dönüştürülmüştür.

4.1. Kullanılacak Bileşenlerin Seçimi

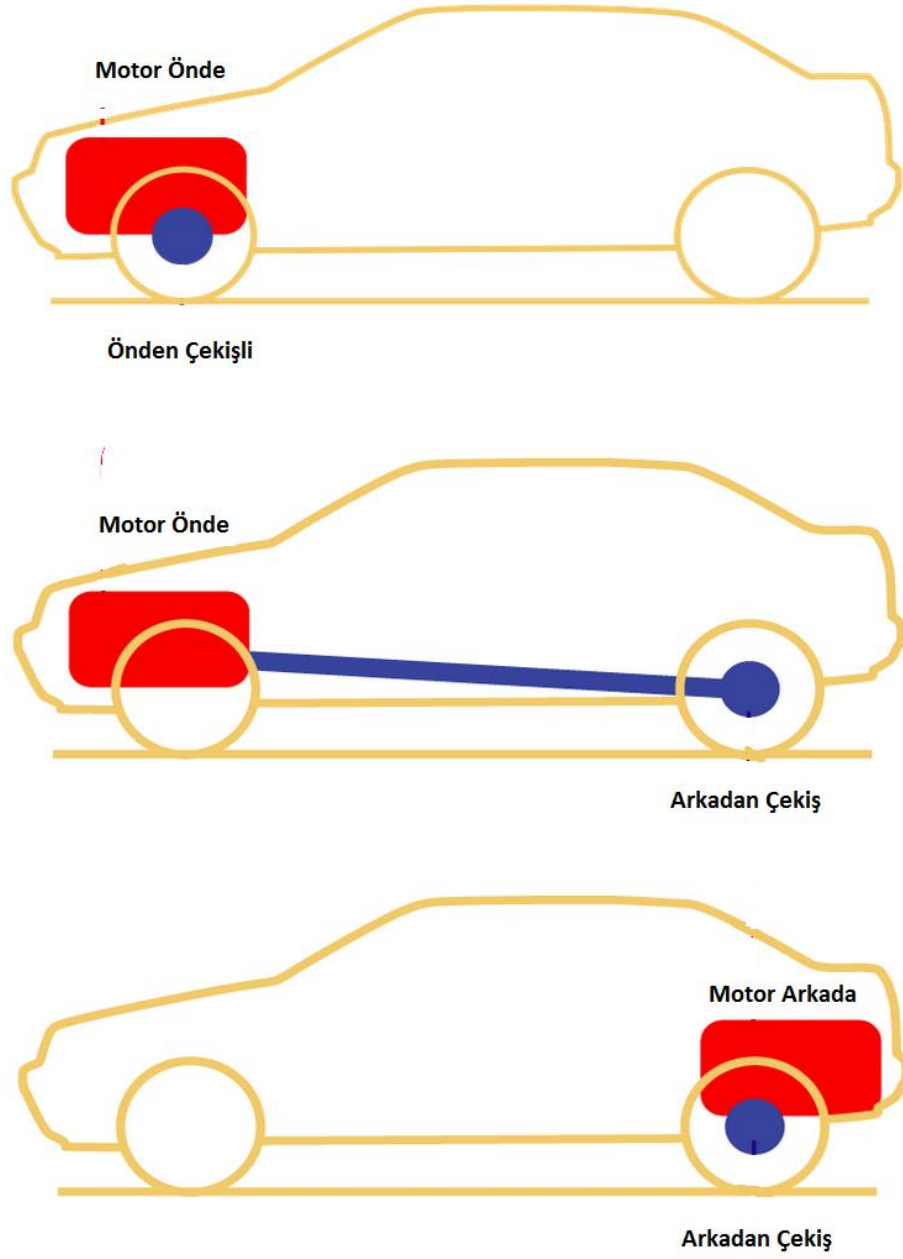
Kullanılacak bileşenlerin seçiminde belirleyici faktör dönüşümü yapılacak olan araçtır. Aracın dönüşüm yapılmadan önceki 0 – 100 km/h hızlanma süresi, maksimum tork değeri, maksimum hız gibi faktörler dönüşümde seçilecek olan bileşenlerin özelliklerinde belirleyici olacaktır. Bileşen seçiminde bir diğer önemli faktör de elektrikli aracın maksimum menzildir. Elbette, menzilin en büyük belirleyicisi de akü kapasitesidir.

4.1.1. İçten yanmalı motorlu araçlar

Elektrikliye dönüşüm sürecinde farklı içten yanmalı araç modelleri ve konfigürasyonları karşımıza çıkmaktadır. Bunlar:

- Önden çekişli ve motoru önde olan araçlar
- Arkadan çekişli ve motoru önde olan araçlar
- Arkadan çekişli ve motoru arkada olan araçlar

Yukarıda belirtilen üç farklı konfigürasyondan dönüşümü en kolay olanı; arkadan çekişli ve motoru önde olan modellerdir. Bunun nedeni ise bu modellerde motorun yerleşiminin daha kolay olmasıdır. Şekil 4.1’de bu üç farklı konfigürasyon gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Farklı motor ve çekiş konfigürasyonları.

Bu çalışmada, çift kapılı tek kabinli bir pick-up araç seçilmiştir. İçten yanmalı motor ve ilgili hareket iletim organları çıkarılmadan önce aracın yaklaşık ağırlığı 950 kg'dır. Araçtan 86 beygir gücüne sahip olan içten yanmalı motor çıkarılmış olup aracın ilk hali Şekil 4.2'de yer almaktadır.



Şekil 4.2. Dönüşümü yapılan aracın ilk hali.

4.1.2. Elektrik motorunun seçimi

Üreticiler tarafından motor gücü seçenekleri 0 – 300 kW arasında değişmektedir. Motor gerilimi ise 12 V ile 450 V arasında değişmektedir. Motor devri $500 - 10000 \text{ min}^{-1}$ arasında seçilebilmektedir. Motordan beklenen tork ise 0 – 300 Nm aralığında değişiklik göstermektedir. Bu seçenekler aracın özelliklerine ve elektrikliye dönüştürüldüğü zaman araçtan beklentilere göre değişmektedir.

Motor gücünü belirleyen önemli bir faktör de akü kapasitesidir. Tam elektrikli araçlarda, eğer motor kapasitesi akü kapasitesinin birkaç katından fazla olursa aküler çalışma sırasında fazla zorlanacaktır. Burada zorlanmadan kasıt, aküden çekilen anlık akım miktarının fazla olmasıdır. Böyle bir olumsuzluk hem akü kullanım ömrünü azaltacak, hem de tamamen elektrikli olan aracın menzilin zamanla azalmasına neden olacaktır.

Elektrik motoru ile diferansiyel arasına bir redüktör yerleştirilerek aracın devri ve dolayısıyla hızı artırılabilir. Dönüşümü yapılan araçtan beklenen hız ve tork değerlerine göre bu tercih opsiyoneldir. Bu çalışmada seçilen araç bir yük taşıma aracıdır. Torku düşürmemek için elektrik motoru ile diferansiyel arasına devir artırıcı redüktör konulmamıştır.

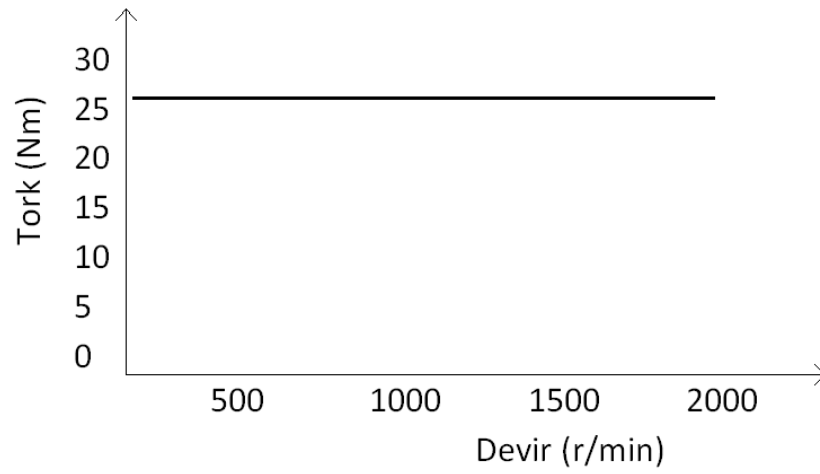
Kullanılan elektrik motoru fırçasız ve DC (Doğru Akım) bir motor olduğundan bakım maliyetleri düşük olacaktır. Motorun DC seçilmesinin sebebi; ilave bir DC-DC veya DC-AC dönüştürücüye ihtiyaç duyulmasının gerekliliğini ortadan kaldırmak içindir. Fırçasız olması ile motorun ömrü daha uzun olmaktadır. DC motorlarda kullanılan tork, hız ve güç hesaplarında aşağıda yer alan formül (4.1) kullanılmaktadır.

T : Tork (Nm)
P : Güç (kW)
n : Mil Devir Sayısı (min^{-1}) olmak üzere:

$$T = P \times 9550 / n \quad (4.1)$$

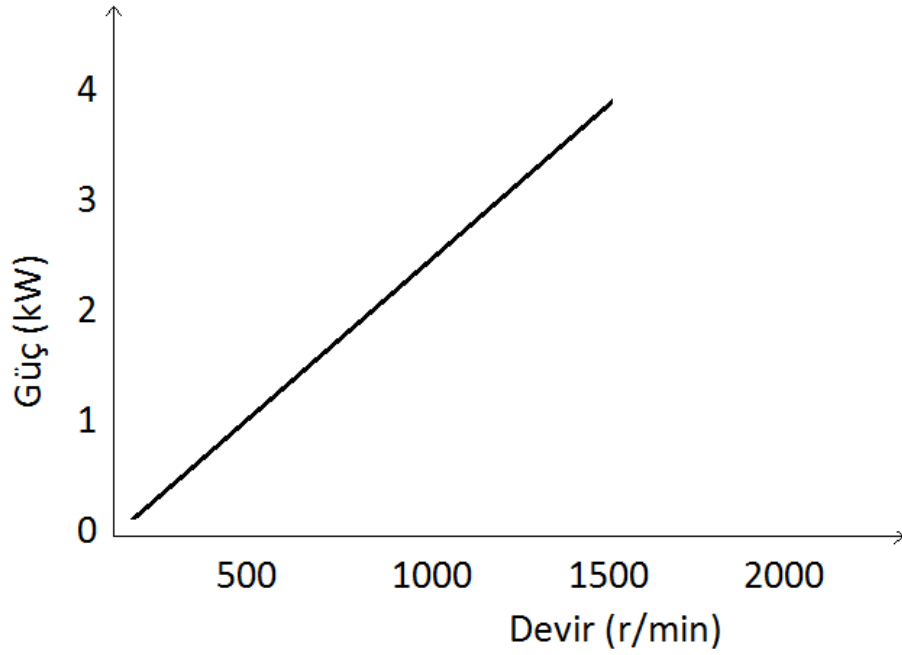
olarak kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan motorun devri 1500 min^{-1} ve maksimum gücü 4kW olduğuna göre motorun torku, formül'den (4.1) 25.5 Nm olarak bulunmuştur.

DC motorlarda motorun ürettiği tork tüm devirlerde sabittir. Diğer bir değişle motor torku devirden ve güçten bağımsızdır. Şekil 4.3, dakikadaki motor devri ile tork arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır. Bu durum motor gücü ile tork arasında da söz konusudur. Motor gücü ne olursa olsun tork her daim aynı kalacaktır.



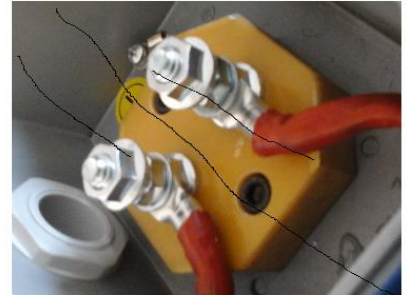
Şekil 4.3. Devir sayısı – tork grafiği.

Şekil 4.4'te, bu çalışmada kullanılan elektrik motorunun dakikadaki devir sayısına bağlı olarak güç değişimi verilmiştir. Devirin kontrolü de sürücü devre tarafından motorun voltaj ve akımının kontrolü sayesinde gerçekleştirilir.



Şekil 4.4. Motor devir sayısı – güç diyagramı.

Burada, gerilimi 48 V olan bir DC motor seçilmiştir. Seçilecek motorun gerilimi ne kadar yüksek tutulursa, boyutları ve ağırlığı da küçülmekte ve maliyeti de azalmaktadır. 4 kW olan motor gücü, bir tonun altındaki bir hafif binek araç için şehir içi ulaşımında yeterli olacaktır. Bu motor ile 1/3 oranlı bir redüktör kullanılarak 90 km/h hızlara ulaşılabilir. Şekil 4.5’te bu çalışmada kullanılan elektrik motoru ve ilgili bağlantılar görülmektedir.



Şekil 4.5. Kullanılan elektrik motoru ve elektrik bağlantı soketleri.

4.1.3. Akü seçimi

Daha önceki bölümlerde açıklandığı gibi farklı özelliklerde ve türlerde aküler mevcuttur. Daha teknolojik bir dönüşüm amaçlanıyorsa eğer Li-ion veya NiMH aküler tercih edilebilmektedir. Eğer maliyet önemli bir faktörse kurşun-asit aküler tercih edilebilir. Çizelge 4.1’de, piyasadaki bazı elektrikli araçlarda kullanılan aküler listelenmiştir.

Çizelge 4.1. Piyasadaki bazı araçların menşei ve akü tipi (Young ve Wang 2013)

Firma	Ülke	Model	Akü Türü
GE	ABD	Chevy-Volt	Li-ion
GE	ABD	Saturn Vue Hybrid	NiMH
Ford	ABD	Escape, Fusion	NiMH
Ford	ABD	Escape PHEV	Li-ion
Chrysler	ABD	200C EV	Li-ion
Tesla	ABD	Roadster - 2009	Li-ion
Toyota	Japon	Prius, Lexus	NiMH
Honda	Japon	Civic, Insigh	NiMH
Mitsubishi	Japon	iMiEV – 2010	Li-ion
Nissan	Japon	Altima	NiMH
Hyundai	Güney Kore	Sonata	Li-Polimer
BMW	Alman	X6	NiMH
BMW	Alman	Mini E – 2012	Li-ion
Daimler Benz	Alman	Smart EV-2010	Li-ion
Think	Norveç	Think EV	Li-ion
BYD	Çin	E6	Li-ion

Seçilen akü türünden bağımsız olarak, hemen her elektrikli araç modelinde aküler seri bağlanarak motor için gerekli olan voltaj değeri elde edilmektedir. Motorun ihtiyaç duyduğu voltaj ne kadar fazla ise kullanılan akü sayısı da o kadar artacaktır. Piyasada genel olarak 6V veya 12V’luk paketler halinde bulunan akülerden seri bağlantı oluşturulur.

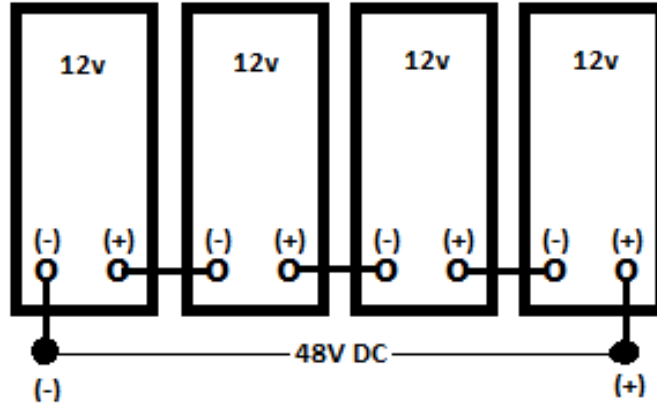
Bu tür seri bağlantılarda akünün bir saatte verdiği akım değeri oluşturulan sistemin bir saatte verdiği akım değerine eşit olmakta; sadece gerilim artmaktadır. Örneğin bu çalışmada kullanılan 120 Ah kapasiteye sahip akülerden oluşturulan seri bağlantıda yine akım değer 120 Ah olmakta sadece gerilim yükselmektedir.

Maliyet faktörü gözetilerek bu çalışmada kurşun asitli aküler kullanılmıştır. Piyasadaki elektrikli araçlarda pek de tercih edilmeyen bu aküler genellikle içten yanmalı motorlarda ilk hareket için elektrik enerjisi kaynağı olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan araç bir deney aracı olduğu için akü kalitesi göz ardı edilmiştir. Şekil 4.6’da gösterilen dört adet akü seri bağlanarak 48V 120 Ah elektriksel güç elde edilmiş olup formül’de (4.2) gösterilmiştir.

W : Elektriksel Güç (W)
I : Elektrik Akımı (A)
U : Akülerin Gerilimi olmak üzere:

$$\begin{aligned} W &= I \times U \\ W &= 120 \times 48 \\ W &= 5.76 \text{ kW olarak bulunur.} \end{aligned} \quad (4.2)$$



Şekil 4.6. Seri bağlanan 48V 120 Ah aküler.

4.1.4. Akü şarj cihazı

Akü şarj cihazlarının tasarımı sırasında sabit akımla şarj, sabit gerilimle şarj veya sabit akım-gerilimle şarj gibi özellikler tanımlanabilmektedir. Sabit akım özellikli bir şarj cihazı kullanılıyor ise, şarj süresince gerilim zamanla yükseltilerek akımın sürekli sabit kalması sağlanmaktadır. Bu tür şarj cihazında şarj akımının yüksek seçilmesi akünün şarj sırasında fazla ısınmasına veya aşırı şarj olmasına neden olabilmektedir. Bu yöntemde kısa süreli şarj işlemi gerçekleştirilebilmektedir. NiMH aküler için en uygun yöntem sabit akım ile şarj yöntemidir.

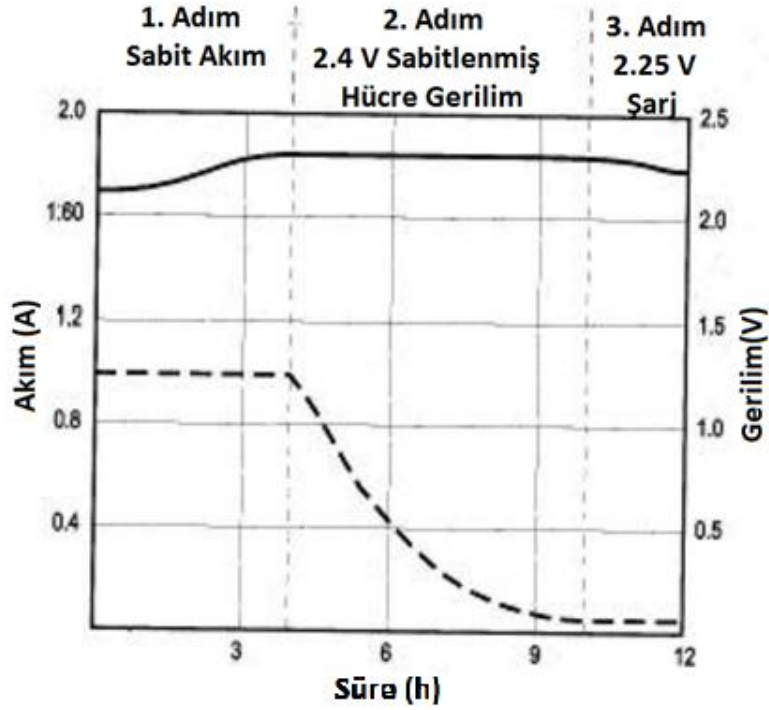
Gerilimi sabit tutarak şarj gerçekleştiren akü şarj cihazlarında ise; şarj başlangıcında akü iç direncinin çok düşük olmasından dolayı bir miktar yüksek gerilim verilmekle birlikte bir süre sonra bu gerilim sabitlenerek şarj bitene kadar da sabit tutulur. Zamanla akü iç direncinin artmasıyla gerilim sabit kalır; fakat akım düşer. Bu tür şarj cihazlarında şarj süresi fazla olmakla birlikte akünün kullanım ömrü daha uzundur.

Sabit akım ve gerilimle şarj eden cihazlarda ise aküye şarj başlangıcından itibaren sabit akım gönderilir. Akü iç direncinin şarj sürecinde artmasından dolayı azalan şarj gerilimi belli bir değere ulaştınca, bu durumda gerilim sabit tutularak akım değiştirilir. Diğer bir değişle sabit gerilimde devam eden şarj işlemi sabit gerilimle de bitirilir.

Bir akünün şarjı sırasında, şarj akımının çok yüksek tutulması şarj işleminin daha kısa sürede biteceği anlamına gelmez. Ancak verimli bir şarj işlemi ile şarj süresi

kısaltılabilir. Bunun için de akü parametrelerini şarj esnasında ölçerek ona göre şarj akım ve gerilimini ayarlayan akıllı kontrol üniteleri kullanılabilmektedir.

Kurşun-asit bir akünün şarj sırasında nasıl bir karakteristik sergilediğini gösteren grafik Şekil 4.7’de yer almaktadır. Burada birinci adımda akım sabit kalmakta, ikinci adımda hücre gerilimi 2.4V olarak sabitlenmekte ve son olarak da şarj 2.25 hücre geriliminde sonlanmaktadır.



Şekil 4.7. Kurşun-asit akü hücresi şarj karakteristiği¹.

Bu çalışmada elektrikliye dönüştürülen aracın şarj edilebilmesi için 48V 25A sabit gerilimli bir şarj cihazı kullanılmaktadır (Şekil 4.8). Bu şarj cihazında giriş ve çıkış akım sigortaları ayrıdır. Kaba ve ince akım ayar yapılabilen iki adet kontrol butonu vardır. Ağırlığı 22 kg olan bu şarj cihazı araca monte edilmemiş olup, araç şarj edileceği zaman bu cihaza bağlanmaktadır. Kısa devre korumalı ve şarj bittiğinde akım kesici özelliklere de sahip olan şarj cihazının resmi aşağıda yer almaktadır.

¹ <http://anpowersource.com/Battery%20chargers%20and%20charging%20methods.pdf>



Şekil 4.8. 48V 25A akü şarj cihazı.

4.1.5. Kontrol ünitesi / sürücü

Sürücüler, aküden gelen elektriğin açılıp kapanmasını ve kontrolünü sağlayan, içerisinde yüksek akımlı transistörler ve dirençler olan devre elemanıdır. Bu elemanlar yurt dışından temin edilebildiği gibi yerli piyasadan da özel siparişle veya hazır satın alımla temin edilebilmektedir. Doğru akım devreleri için 12-24-48-72-144-360-450V gerilim bantlarında isteğe göre bulunmaktadır. Yine istenilen özelliklere göre 25A-650A akım kontrol edebilen sürücüler seçilebilmektedir. Şekil 4.9’da bu çalışmada kullanılan 48 V, 200 A sürücü yer almaktadır.

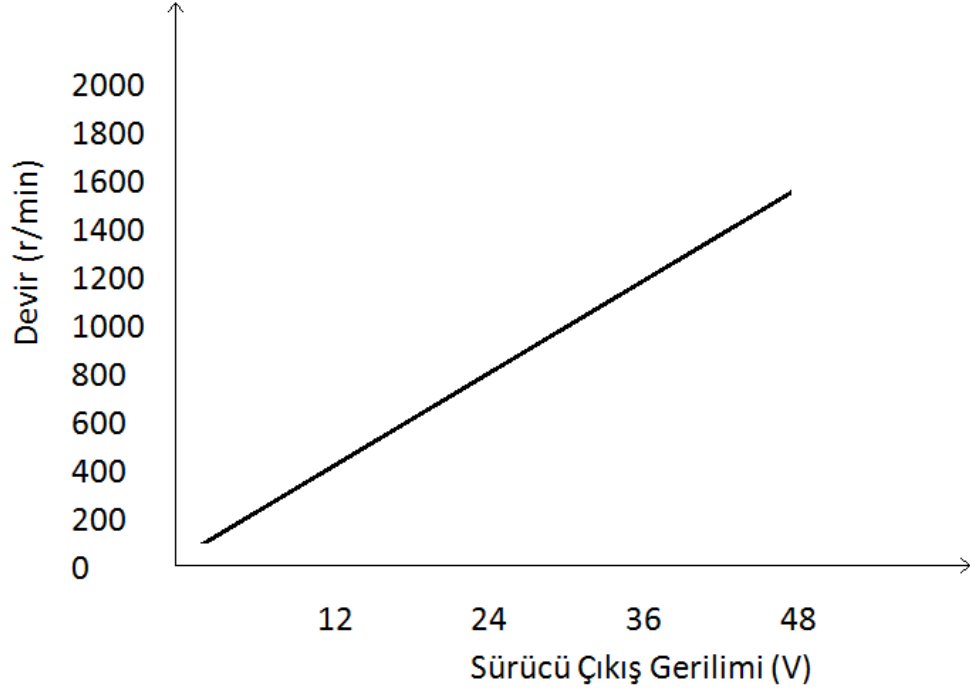


Şekil 4.9. Kullanılan 48V 200A sürücü.

Bu üniteler yüksek akım değerlerini kontrol ettikleri için meydana gelen ısının sisteme zarar vermemesi için, montaj yapılırken soğumanın kolayca sağlanabilmesi için etraflarında yeterli boşlukların bırakılması gerekmektedir.

Kontrol ünitesinin yüksek akım elektrik girişine yüksek akım sigortası ve düşük akım devresine de ona uygun bir sigorta bağlanmalıdır. Elektrik Bağlantıları Genel Şeması’nda “A” harfi ile sembolize edilen düşük akım sigortasıdır ve 5-10 amper gibi bir değerde seçilebilir. Yine aynı şemada “O” harfi ile gösterilen ise yüksek akım sigortası olup 100-200A akım aralığında seçilebilir.

Kontrol üniteleri AC veya DC olarak seçilebilmektedirler. Akülerden alınan akım DC olduğu için DC kontrol üniteleri daha basit ve ucuzdur. Araçta eğer AC motor kullanılıyor ise akülerden gelen DC enerjinin AC'ye dönüştürülmesi gerektirir ve bunun için bir DC-AC dönüştürücü kullanılır. Fakat bazı AC kontrol üniteleri hem DC-AC dönüşüm hem de sürücü olarak imal edilmekle birlikte bu kontrol ünitelerinin fiyatı aynı güçteki bir DC kontrol ünitesinden birkaç kat daha fazladır. Kontrol ünitesi 48V'luk gerilimi arttırarak veya azaltarak motorun devrini değiştirmektedir. Bu ilişki Şekil 4.10'da yer almaktadır.



Şekil 4.10. Sürücü çıkış gerilimi ile motor devri arasındaki ilişki.

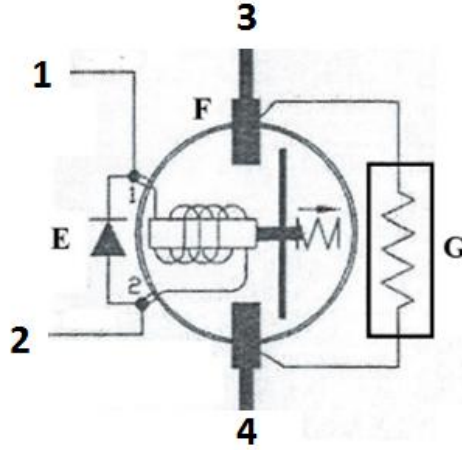
4.1.6. Kontaktörler

Kontaktörler, elektrik akımının geçişine izin veren veya geçişi durduran devre elemanlarıdır. Basit bir elektrikli araç uygulamasında bir adet aç-kapa kontaktör ve bir de akımın akış yönünü değiştirerek geri vites özelliğini sağlayan yön kontaktörü olmak üzere iki adet kullanılmaktadır. Elektronik sürücünün akım yönü değiştirme özelliği var ise, yön kontaktörüne ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu çalışmada bir adet yön, bir adet de aç-kapa kontaktör kullanılmıştır (Bkz. Şekil 4.11).



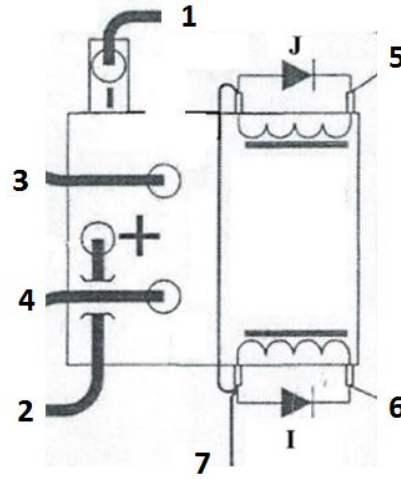
Şekil 4.11. Aç-kapa kontaktör ve yön kontaktörü.

Şekil 4.12’de yer alan Aç-kapa kontaktöründe 1 ve 2 uçları kontrol uçlarıdır. Bu uçlara kontak anahtarından gönderilen sinyalle kontaktör açılmakta ve 3 ve 4 uçlarından akım geçişine müsaade edilmektedir. Akım geçişine müsaade edilerek sürücü beslenmektedir. G harfiyle gösterilen ise kontak koruyucu dirençtir. F harfi ise elektrik bağlantıları genel şemasındaki aç-kapa kontaktörün sembolüdür. E harfi ile gösterilen diyot ise kontaktör sargılarını korumak için yerleştirilmiştir.



Şekil 4.12. Aç-kapa kontaktör devredeki yeri.

Şekil 4.13’te yön kontaktörünün elektrik bağlantıları gösterilmiştir. Burada; 2 numaralı bağlantı kontrol ünitesi üzerindeki (+) uca bağlanmaktadır. 1 numaralı uç ise kontrol ünitesinin M (-) soketine bağlanmaktadır. 3 ve 4 numaralı uçlar ise doğrudan elektrik motoruna gitmektedir. 7 numaralı bağlantı, kontaktör sargılarının (-) ucudur. 5 ve 6 numaralı bağlantılar ise ileri ve geri vites butonundan gelen düşük akım kablolarıdır. I ve J harfleriyle adlandırılan diyotlar ise sargıları korumak amaçlı yerleştirilmiştir. Kontaktörlerin diğer devre elemanlarıyla olan bağlantıları, çalışma sonundaki Elektrik Bağlantıları Genel Şeması’nda gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Yön kontaktörünün elektriksel bağlantıları.

4.1.7. Kablo ve soketler

Hareketli yerlerde kullanılan, birden fazla damara sahip ve dışı yalıtkanlı bakır kablolar elektrikli araçlarda kullanılmaktadır. Bu kabloları kesit ve akım taşıma kapasiteleri Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Devreden geçecek elektrik akımı miktarına göre uygun kesitli kablolar seçilebilir.

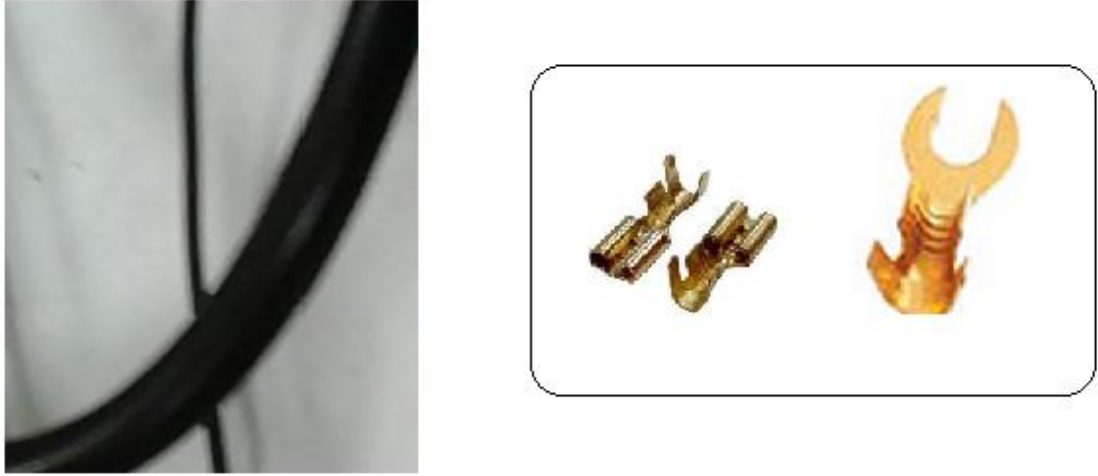
Çizelge 4.2. Kablo kesitlerine göre akım taşıma kapasiteleri¹

Kablo Kesiti (mm ²)	Akım Taşıma Kapasitesi (A)	Sigorta Akımı (A)
1	15	10
1.5	18	10
2.5	26	20
4	34	25
6	44	35
10	61	50
16	82	63
25	108	80
35	135	100
50	168	125
70	207	160
95	250	200
120	292	250
150	335	250

Yüksek akımın geçtiği ve motoru besleyen kablolar ve bunların seri bağlandığı tesisatta 25mm² kesit alanına sahip kablolar ve elektrik tesisatının diğer düşük akım geçen yerlerinde ise 2 mm² kesit alanına sahip kablolar kullanılmıştır. 25’lik kablolar 100 amper sınırına kadar ısınmadan görev yapabilmekle birlikte 2’lik kablolar da 20 ampere

¹ http://www.yapitaskablo.com/dosya/blog/AKIM_TASIMA.pdf

kadar ısınmadan görev yapabilmektedir. Bu iki kabloun kesitleri ile kablo bağlantıları için kullanılan fiş ve soketler Şekil 4.14'te yer almaktadır

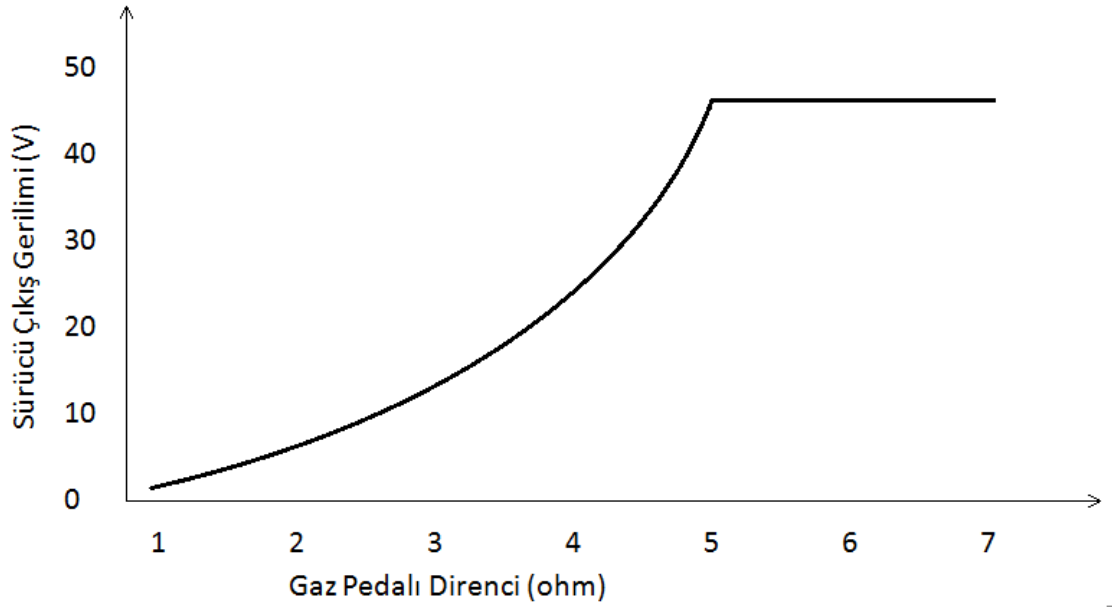


Şekil 4.14. 25'lik ve 2'lik kablo kesitleri ve ilgili bağlantı soketleri.

4.1.8. Gaz pedalı

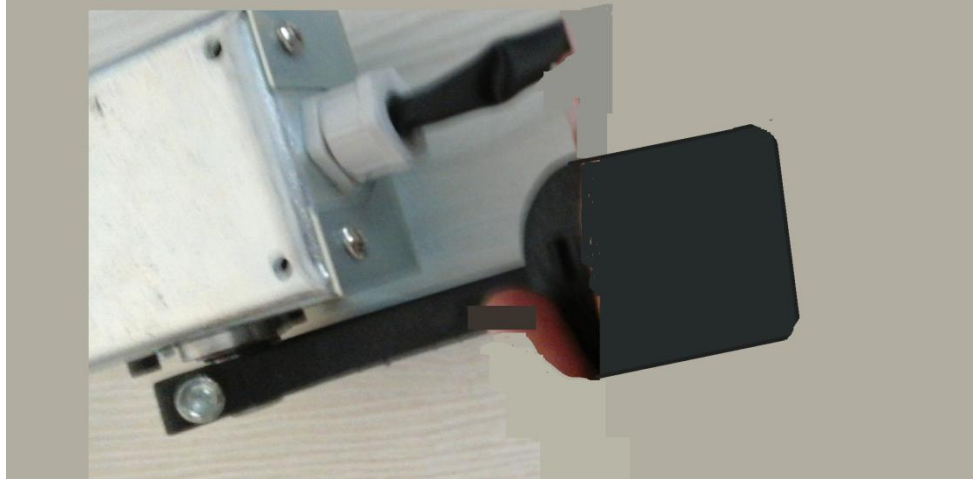
Elektronik sürücü ünitenin kontrolünü sağlayan devre elemanıdır. Klasik gaz pedallarından farklı olarak içerisinde potansiyometre (ayarlı direnç) vardır. Sürücü devrenin özelliğine göre sıfırdan belli bir direnç değerine veya belli bir direnç değerinden sıfıra doğru çalışmaktadırlar.

Bu çalışmada kullanılan gaz pedalı 0-5kohm aralığında bir potansiyometreye sahiptir. 0 ohm kademesinde sürücü elektrik akımını keser. 0 ohm'dan 5kohm değerine doğru sürücü elektrik akışına artan bir şekilde izin verir. Direnç 5kohm'un üzerine çıktığı zaman sürücü elektriğin gerilimini arttırmaz ve burada 48V'da sabit bırakır. Şekil 4.15'te gaz pedalındaki direnç değerine bağlı olarak sürücünün ayarladığı gerilim değeri görülmektedir.



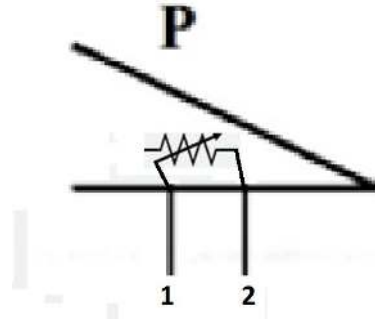
Şekil 4.15. Gaz pedalı direncine bağlı olarak değişen sürücü gerilimi.

Piyasada var olan gaz pedallarının bazılarında bir de aç kapa anahtar yer almaktadır. Gaz pedalına ilk basıldığı anda potansiyometrenin devresini açmaya veya kapama görevini yapmaktadır. Bu çalışmada kullanılan sürücü devre bu anahtarın görevini de yaptığı için, anahtarlı gaz pedalı kullanılmamıştır. Burada kullanılan gaz pedalı Şekil 4.16’da gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Araçta kullanılan gaz pedalı.

Şekil 4.17’de gösterilen potansiyometreli gaz pedalı 1 ve 2 numaralı noktalardan direk olarak sürücüye bağlanır. Sürücü üzerinde yer alan 2 ve 3 numaralı soketler pedal bağlantıları içindir



Şekil 4.17. Gaz pedalının elektrik şeması.

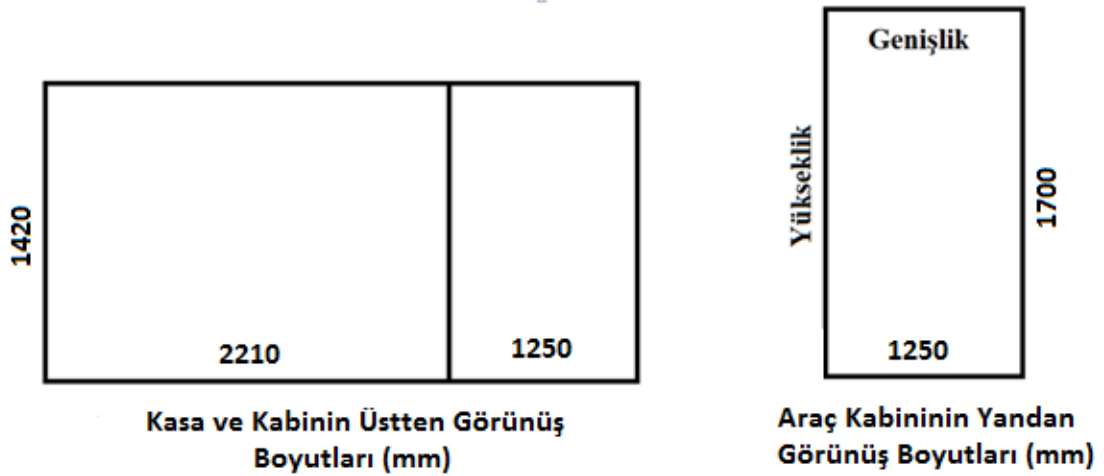
4.2. Söküm

Bu çalışmada dönüşümün şekli tam elektrikli araç şeklinde tercih edilmiş olup, bu bağlamda içten yanmalı motor, debriyaj ve vites kutusu çıkarılmıştır. Araç arkadan çekişli olup motoru da önde, yolcu kabininin hemen altında yer almaktadır.

Şayet aracın hibrit bir elektrikli araca dönüşümü amaçlansaydı, bu durumda içten yanmalı motor ve hareket iletim organlarının çıkartılmasına gerek kalmayacaktı. Bu durumda seri veya paralel hibrit tercihinin göre elektrik motorunun sisteme dahil edileceği yer belirlenecekti. Elektrik motorunun bu çalışmada kullanılan araç için yerleştirilebileceği en uygun yer de hibrit olma durumunda diferansiyelin hemen önü olacaktır. Söküm işlemi ile çıkarılan motor ve hareket aktarım organları sayesinde aracın ağırlığı yaklaşık 400 kg hafiflemiştir.

4.3. Dönüşüm

Dönüşüm aşaması aracın yeni işlevine sahip olması için ilave edilecek sistemleri kapsamaktadır. Mekanik ve elektronik dönüşüm şeklinde iki başlık altında incelenecektir. Dönüşümü yapılacak olan araç kasa ve kabin olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Kasa ve kabinin boyutları Şekil 4.18’de verilmiştir.

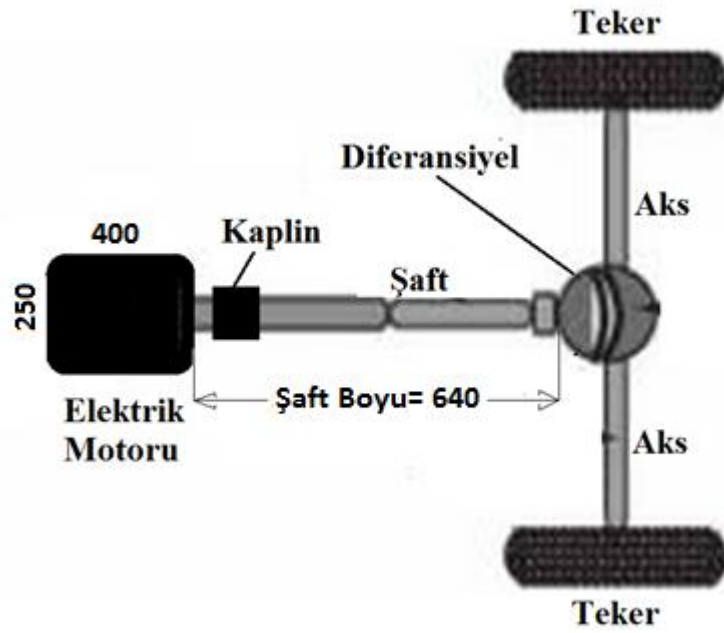


Şekil 4.18. Aracın ana boyutları.

4.3.1. Mekanik dönüşüm

Mekanik dönüşüm; elektrik motoru, kaplin, şaft ve diferansiyelin montajı anlamına gelmektedir. Aracın diferansiyeli 5/1 dönüşüm oranına sahip bir dişli kutusu olarak düşünülebilir. Yalnızca motor ile diferansiyel arasına bir şaft eklenerek hareket aktarımı sağlanmıştır.

Şekil 4.19’da, motor, şaft ve diferansiyelin bağlantısı gösterilmiştir. Elektrik motorunun boyutları 25cm x 40 cm olarak verilmiştir. Burada şaft boyu 64 cm olup bu değer dönüşümü yapılan araç tipine göre değişmektedir. Elektrik motoru diferansiyele ne kadar yakın yerleştirilirse şaft boyu o kadar küçülecektir.



Şekil 4.19. Elektrik motoru-şaft-diferansiyel bağlantıları (mm).

Motor şasi üzerine dört adet cıvata ile bağlanmış olup, titreşimin cıvataları zamanla gevşetmemesi için lastikli somun kullanılmıştır. Ayrıca motor bağlantılarının oturma yüzeylerine de titreşimin araç şasisine iletilmemesi için takozlar yerleştirilmiştir.

Elektrik motorunun maksimum devri 150 min^{-1} 'dir. "Elektrik Motorunun Seçimi" bölümünde hesaplanan motor çıkış torku 25.5 Nm 'dir. Buradan yola çıkarak, aracın hızı formül 4.3'den yola çıkılarak hesaplanmıştır.

V: Aracın Hızı (km/h)
n: Motor Devri (min^{-1})
k: Diferansiyel Oranı
R: Lastik Çapı (m)

$$V = n \times k \times \pi \times R \times 60/1000 \quad (4.3)$$

$$V = 1500 \times 0.2 \times 3.14 \times 0.55 \times 60/1000$$

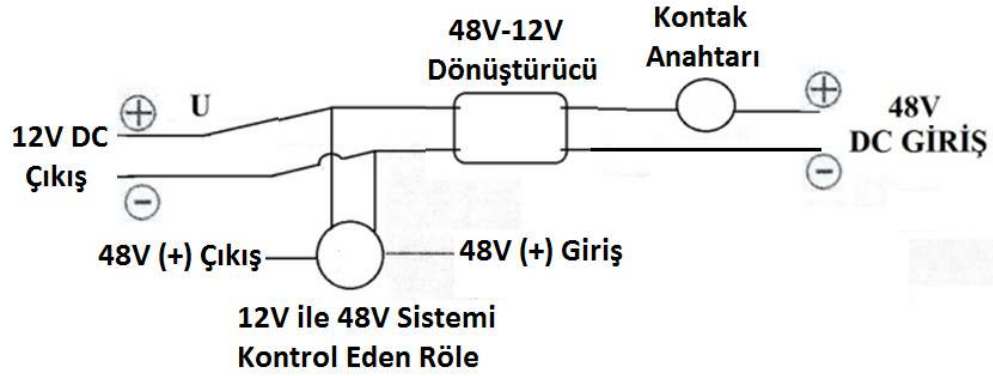
$$V = 31 \text{ km/h olarak bulunur.}$$

Dönüşüm yapılmadan önce içten yanmalı motorlu aracın kütlesi yaklaşık 900 kg'dı. Aracın motoru ve hareket iletim organları çıkarılarak 50 kg'lık elektrik motoru yerleştirilmiştir. Her biri 35 kg olan akülerin toplam ağırlığı 140 kg'dır. Elektrikliye dönüştürüldükten sonraki aracın ağırlığı ise 690 kg olmuştur. Motorun çıkış torku 25.5 Nm ve diferansiyel dönüşüm oranı 5/1 olduğuna göre tekerleklerden alınan tork miktarı $25.5 \times 5/1$ formülünden 127.5 Nm olarak bulunmaktadır.

Aracın yük taşıma kapasitesi 700 kg ile test edilmiş olup, hız ve çekişinde herhangi bir düşüş gözlenmemiştir. Elektrik motoru ile diferansiyel arasına devir arttırıcı bir redüktör konularak aracın hızı arttırılabilirdi fakat dönüşümü yapılan araç bir yük taşıma aracı olduğu için torkun azalmasını engellemek için redüktör kullanılmamıştır.

4.3.2. Elektronik dönüşüm

Araçta yer alan farlar, sinyaller, geri vites lambası, fren lambası ve park lambası gibi 12V'luk sistem elemanları herhangi bir dönüşüme uğramamıştır. Bunların ihtiyacı olan elektrik 48V sistemden sağlanmıştır. Bunun için bir 48V-12V DC-DC dönüştürücü kullanılmıştır. Bu dönüştürücü ile 12V ve 48V'luk sistem arasındaki elektriksel bağlantılar Şekil 4.20'de gösterilmiştir.

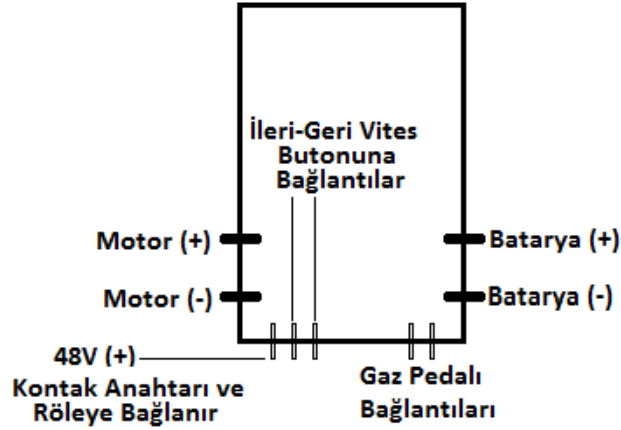


Şekil 4.20. 48V-12V dönüştürücü ve ilgili bağlantılar.

Dönüştürücü kullanılmadan akülerden bir tanesiyle 12V'luk sistem beslenebilirdi fakat bu kullanılan akü diğer üç tanesinden daha çabuk tükeneceği için, seri bağlı dört akü daha verimsiz çalışmış olacaktı. Bu da elektrik motorunun tam verimli olarak beslenememesi anlamına gelirdi. Tercihen araçta kullanılan sinyalizasyon sistemindeki ampuller aynı aydınlatma değerine sahip LED muadilleriyle değiştirilebilirdi, fakat burada maliyet faktörü gereği bu tercih edilmemiştir.

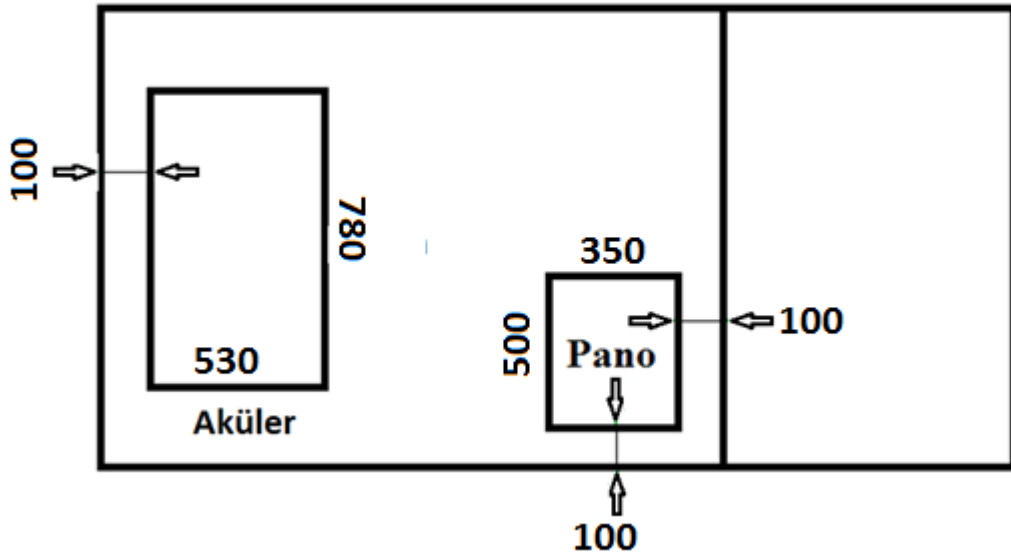
Araca ilave edilecek olan tüm elektronik parçalar (kontaktörler, sürücü devre, sigorta ve diyotlar) bir pano içerisinde birleştirmiş, 35x50x19 boyutlarındaki bu pano da aracın sağ orta bölümüne yerleştirilmiştir. "Elektrik Bağlantıları Genel Şeması"na

uygun şekilde bağlantıları yapılan bu parçalardan gelen kablolar pano üzerine soketler ile yerleştirilmiştir. Bu soketler sayesinde pano ile aracın elektrik tesisatı birbirine bağlanabilmektedir. Aracın sağ tarafına, kasa altına yerleştirilmiş olan pano üzerinde yer alan bağlantılar Şekil 4.21’de gösterilmektedir.



Şekil 4.21. Panonun elektrik bağlantıları.

12V’luk dört adet akü yan yana dizilerek diferansiyelin hemen arkasındaki boşluğa yerleştirilmiştir. Akü ve elektrik motorunun yerleştirileceği yer dönüşümü yapılacak aracın şasi yapısına göre seçilebilmekle birlikte; bu anlatılan kombinasyon bu araç için geçerlidir. Araçtaki akülerin ve panonun yerleştirildiği lokasyonlar Şekil 4.22’de yer almaktadır.



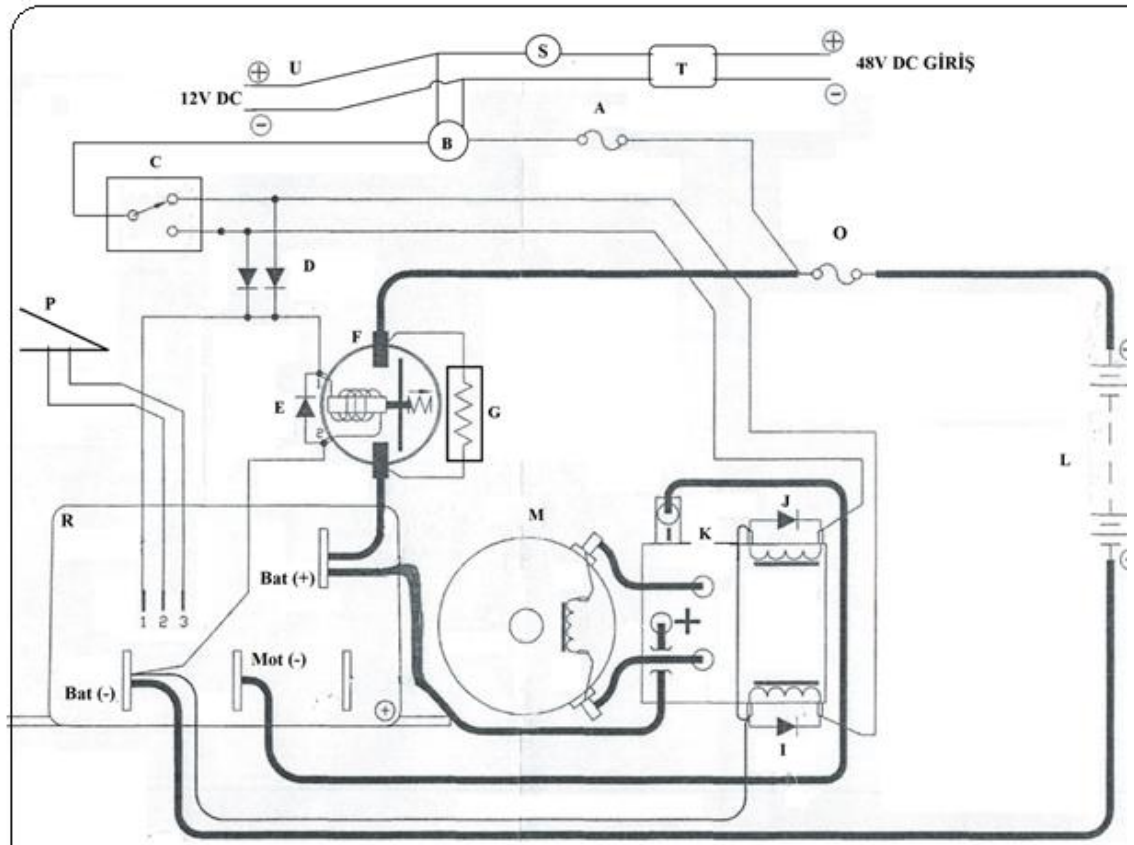
Şekil 4.22. Aküler ve pano (mm).

Aracın kontak anahtarı çevrildiğinde hem aracın 12V'luk sinyalizasyon sistemine akım gönderilmekte; hem de 12V'luk bir röle yardımıyla 48V'luk sistemden gelen sinyal yön kontaktörüne (C) gönderilmektedir. Yön kontaktörü de hem aç-kapa kontaktörüne hem de sürücü devreye sinyal göndererek sisteme yüksek akım geçişini açmaktadır. Şekil 4.23'de yer alan S, B ve F harfleriyle simgelenen parçalar bu görevi yerine getirmektedir.

Sürücü devre yüksek akımın miktarının ayarlanmasını sağlayarak motorun devrini ayarlar. Sürücü devre, gaz pedalı tarafından kumanda edilir. Kontak açıldığı zaman eğer gaz pedalı basılı durumda ise sürücü devre bunu görür ve akım geçişini durdurur. Sürücü devrenin akım geçişine sıfırdan başlayarak kademeli olarak izin vermesi için öncelikle gaz pedalının boşta olduğunu görmesi gerekmektedir. Bu pedala basılı iken kontağın açılması durumunda oluşabilecek ani hızlanma tehlikesini önlemek içindir. Gaz pedalından sürücü devreye gelen iki kablo sürücünün kontrolünü sağlar. Gaz pedalı esas itibarıyla 0-5 kilo ohm direnç aralığına sahip bir potansiyometredir. Eğer başlangıç direnci birkaç ohm'dan fazla olursa sürücü devre tarafından görülmemekte ve sistem çalışmamaktadır. Bu sebeple gaz pedalı seçiminde 0 ohm'dan başladığına emin olunmadan bağlanmamalıdır. Şekil 4.23'de yer alan P ve R simgeleri gaz pedalı ve sürücü devreyi temsil etmektedir.

Elektrik motoru çift yönlü çalışabilen fırçasız bir DC motordur. Sürücü devrenin akım yönü değiştirme özelliği olmadığı için bir yön kontaktörüne ihtiyaç duyulmuştur. Yön kontaktörü sürücü devreden gelen yüksek akım kabloları ile beslenir ve akımın yönünü değiştirerek dolayısıyla DC elektrik motorunun yönünü de değiştirir. Yön kontaktörü, aracın şoför kabininde yer alan ileri-geri vites butonundan gelen iki adet kablo ile kontrol edilir. Eğer kabindeki buton ileri vites konumundaysa birinci kablodan sinyal gelir ve akım ileri yönde akar ve motor aracı ileri doğru götürür. Kabindeki buton geri vites konumuna alınırsa, ikinci kablodan yön kontaktörüne sinyal gelir ve kontaktör akımın yönünü değiştirerek ters akmasını sağlar ve motor ters dönerek aracı geriye doğru götürmeye başlar. Devre şemasında C harfi ile gösterilen eleman sürücü kabinindeki ileri-geri vites butonudur. Burada yön kontaktörüne giden iki uç aynı zamanda aç-kapa kontaktöre ve sürücü devreye sinyal göndermek için D ile gösterilen iki diyottan geçmektedir.

Aç-kapa kontaktörün ve yön kontaktörünün ömrünü uzatmak amacıyla düşük akım bağlantı uçlarına ters yönlü olarak diyot yerleştirilmiştir. Devre şemasında E, I ve J olarak simgelenen devre elemanları bu amaca hizmet etmektedir. Ayrıca aç-kapa kontaktörünün yüksek akım uçlarına ark oluşumu ile kontaktör ağızlarının zarar görmesini engellemek için 470 ohm değerinde direnç bağlanmış olup devre şemasında G ile simgelenmiştir.



Şekil 4.23. Elektrik bağlantıları genel şeması.

Burada yer alan kısaltmaların anlamları aşağıda yer almaktadır.

- A: Düşük Akım Sigortası
- B: 12V Devre İle 48V Devreyi Kontrol Eden Röle
- C: Şoför Kabininde Yer Alan İleri-Geri Vites Butonu
- D: Aç-Kapa Kontaktör ve Sürücü Devreye Sinyal Gönderen Diyetler
- E: Aç-Kapa Kontaktör Koruyucu Diyet
- F: Aç-Kapa Kontaktör
- G: Koruyucu Direnç
- I: Yön Kontaktörü Koruyucu Diyet
- J: Yön Kontaktörü Koruyucu Diyet
- K: Yön Kontaktörü
- L: 48V Aküler
- M: Elektrik Motoru
- O: Yüksek Akım Sigortası
- P: Gaz Pedalı
- R: Sürücü Devre
- S: Kontak Anahtarı
- T: 48V-12V DC-DC Dönüştürücü

4.4. Maliyet Faktörü

Bu çalışmada kullanılan 4 kW, 1500 min⁻¹ DC motorun maliyeti 3000 TL'dir. Eğer üç fazlı bir AC motor kullanılmış olsaydı maliyet 500 TL'ye kadar düşebilirdi. Fakat AC motor kullanılması halinde ihtiyaç duyulan DC-AC dönüştürücünün kW başına maliyeti 1000 TL'nin üzerinde olmaktadır. Dönüşümde kullanılan elektrik motorunun çalışma gerilimi ne kadar arttırılırsa motorun boyutları ve maliyeti de azalmaktadır. Bununla birlikte motor geriliminin arttırılabileceği en büyük değer akü gerilimine eşittir. Akü gerilimi de akülerin seri bağlanmasıyla elde edilmektedir. Bu çalışmada, 48V gerilim elde etmek için 4 adet 12V akü seri bağlanmıştır. 120V gerilim istenseydi, 10 adet 12V akünün seri kullanılması gerekecekti. Akü sayısının artması maliyetin de artması anlamına geleceği için, motor gerilim değerinin yüksek olması tercih sebebi olmakla birlikte, sınırlayıcı faktör akü sayısının artmasıyla oluşacak ilave maliyettir. Elektrik motorları yerli üreticiler tarafından kolaylıkla temin edilebilmektedir.

Kurşun-asit akülerin kW maliyeti 250 TL civarındadır. Bir kW başına düşen akü ağırlığı ise 20 kg civarındadır.¹ Lityum-ion akülerde ise kW başına düşen maliyet 2000 TL'den başlamaktadır. Bir kW lityum-ion akünün ağırlığı ise 10 kg civarındadır.²

Bu çalışmada kullanılan sürücü devrenin fiyatı yaklaşık 3000 TL civarındadır. 200 A akımı kontrol edebilen bu devre yerli veya yabancı üreticilerden temin edilebilmektedir. Eğer bu devre imalatçılara isteğe göre sipariş verilerek üretimi sağlanırsa daha ucuza mal edilebilir.

Aç-kapa ve yön kontaktörlerinin toplam maliyeti 750 TL civarındadır olup, gaz pedalı da yaklaşık 400 TL'ye mal olmuştur. Aracın 48V'luk akü gerilimini 12V'a düşüren DC-DC dönüştürücü ise 200 TL'ye mal olmuştur. Bu dönüştürücü sayesinde aracın var olan oto elektrik tesisatının yenilenmesine gerek kalmamış olup ciddi anlamda ekonomik fayda sağlanmıştır.

¹ <http://www.mutluakubayi.com/mutlu-aku-fiyatlari.aspx>

² http://www.ebay.com/itm/36V-37V-20Ah-Lithium-ion-Li-ion-Battery-PVC-Wrap-eBike-/360990935606?pt=LH_DefaultDomain_0&hash=item540cbc8a36

5. SONUÇ

Akülerin toplam gücü 5.76 kW/h olarak hesaplanmış olup, motor gücü de maksimum 4kW'tır. Aracın 20 km/h hızla gittiği düşünülürse, elektrik tüketimi 2.5 kW/h olmaktadır. Bu durumda seyir süresi 2.3 h olmaktadır. Sabit hızla gittiği varsayılırsa menzili 46 km olarak gerçekleşmektedir. Şayet 31 km/h sabit hızla seyrettiği düşünülürse, elektrik tüketimi 3.92 kW/h olmaktadır. Bu durumda da seyir süresi 1.47 h olmaktadır. 31 km/h sabit hızla gittiği varsayılırsa, menzili 45.6 km olmaktadır. Bu çalışmada dönüşümü gerçekleştirilen aracın son hali Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Dönüşümü gerçekleştirilen aracın son hali

5.76 kW aküleri doldurmak için, kayıplarla birlikte yaklaşık 6 kW elektrik enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır. Evlerde kullanılan elektrik fiyat tarifesinden hesaplırsak; akülerin doldurulması 1.50 liraya mal olmaktadır. 46 km menzili kat etmek için 1.50 liraya ihtiyaç duyan bu aracın kilometredeki yakıt tüketimi 3 kuruş olmaktadır.

Tamamen boş olan akülerin 25 Ah şarj kapasitesine sahip bir şarj cihazı ile doldurulması 6 saat sürmektedir. Araçtan elde edilen devir, hız, güç ve tork parametrelerine ilişkin Çizelge 5.1 oluşturulmuştur.

Çizelge 5.1. Aracın devir, hız, güç, tork parametreleri

Devir(min ⁻¹)	Hız(km/h)	Güç(kW)	Tork (Nm)
100	2,07	0,26	127.5
200	4,14	0,52	127.5
300	6,22	0,78	127.5
400	8,29	1,04	127.5
500	10,36	1,30	127.5
600	12,43	1,57	127.5
700	14,51	1,83	127.5
800	16,58	2,09	127.5
900	18,65	2,35	127.5
1000	20,72	2,61	127.5
1100	22,80	2,87	127.5
1200	24,87	3,14	127.5
1300	26,94	3,40	127.5
1400	29,01	3,66	127.5
1500	31,09	3,92	127.5

Araçta akülerin durumunu gözlemlemek için bir akü durum göstergesi yerleştirilmiştir. Bu gösterge, bir akünün voltajı üzerinden bize akülerin doluluk oranı konusunda bilgi vermektedir. Eğer gösterge 11.8 V'a yaklaştı ise acil olarak akülerin şarj edilmesi gerekmektedir. Göstergeden okunan bilgilerin anlamları Çizelge 5.2'de yer almaktadır.

Çizelge 5.2. Akü göstergesinde okunan değerler ve anlamları

Açık Devre Gerilimi	Yaklaşık Şarj Durumu
12.6 ve Üstü	Çok Yüksek
12.4	%75
12.2	%50
12.0	%25
11.8	Çok Düşük
10.8	Boş

Ülkemizde piyasada var olan eski araçların, belli teşvikler yaratılarak trafikten çekilmesi zaman zaman gündeme gelmektedir. Bu araçların trafikten çekilmek istenmesinin gerekçelerinin başında da motorlarının yakıtı tam yakamamalarından dolayı çevreye yaydıkları zararlı gazlardır. Çoğu şasi ömrünü tamamlamamış ve yürüyen aksamı iyi durumda olan bu araçlar, bu çalışmada sunulan yöntemler doğrultusunda elektrikli otomobile dönüştürebilecektir. Bir aracın üretim maliyetini oluşturan kalemlerden en fazla maliyete sahip olan, aracın hareketi için güç üreten motordur. Eski bir aracın motorunu revize etmek, iyileştirmek ve çevreye daha az zararlı hale getirmek; o aracın şasi ve hareket aksamını iyileştirmekten çok daha

maliyetlidir. Bu sebepten dolayıdır ki; hurdaya çıkarma kararı verilirken en önemli faktör de motorun durumudur.

Dolayısıyla eski ve devlet tarafından trafikten çekilmek istenen araçlar elektrikliye dönüştürülerek ülke ekonomisine ciddi anlamda katkılar sağlanacaktır. Bir otomobili sıfırdan üretmek yerine var olan sistemler kullanılmak suretiyle; hem ekonomik anlamda, hem endüstriyel anlamda, hem de çevre anlamında kazanımlar sağlanacaktır.

Türkiye’de kullanılan araçların %20’sinden fazlasının yirmi yaş üzerinde olduğu düşünülürse, bu çalışmanın önemi daha iyi anlaşılacaktır. Zira, bu yaştaki araçlar Avrupa’da hurda araç kategorisinde değerlendirilmektedir. Araçlarımızın çevreye verdiği zarar ne kadar sifıra yaklaştırılırsa o kadar dünya standartlarında çevreci bir ülke olacağız.

Bir haber programına değerlendirmede bulunan Bilim, Sanayi ve Teknoloji bakanı, yirmi yaşını doldurmuş araçlara 3000-6000 lira vererek bu araçları trafikten çekilmesinin planlandığını belirtmiştir. Araç sahiplerine de düşük faizli kredi verilerek yerli üretim araç ve sistemlerin alınmasının teşvik edileceğini belirtmiştir. Sicil kayıtlarına göre piyasada bu şekilde olan 500 000 eski araç yer almakla birlikte bunların tamamının trafikte olmadığı düşünülmektedir. Bu çok sayıdaki aracın trafik güvenliği açısından risk oluşturmayan ve motorları çevreye zarar verenlerin bu çalışmada belirtildiği şekilde elektrikliye dönüşümü gerçekleştirilebilir.

Devlet ve özel sektör yetkilileri tarafından, elektrikli araca dönüşüm sürecinde ihtiyaç duyulan parça ve sistemlerin yerli sanayi ile üretiminin sağlanmasının teşvik edilmesi gerekmektedir. Böylelikle hem eski araçların yeniden değerlendirilmesi, hem de yerli otomotiv sanayinin gelişerek; elektrikli taşımacılığa doğru yönelmesi hızlandırılacaktır.

6. KAYNAKLAR

ARGUETA, R. 2010. Technical Research Report: The Electric Vehicle, University of California Santa Barbara College of Engineering.

AYDIN, B. 2010. Yakıt Pilli Elektrikli Araçların Tahriki İçin Farklı Tipte Akü Gruplarının Belirlenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 121 s.

ECER, M. 2010. Sera Gazlarının İzlenmesi ve Emisyon Ticareti, Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Denetim Genel Müdürlüğü İklim Değişikliği Dairesi Başkanlığı.

GÜNER, C. 2013. Dışarıdan Şarj Edilebilen Hibrit Elektrikli Araç ile Menzil Artırıcı Elektrikli Araç Konseptlerinin Karşılaştırmalı Analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.

KARNAMA, A. 2009. Analysis of Integration of Plug-in Hybrid Electric Vehicles in the Distribution Grid, Electrical Engineering at Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 95 s.

MATTHLEY, J. 2012. Fuel Cell Electric Vehicles: The Road Ahead, PLC.

ŞAHİN, A. 2013. Petrol Fiyatlarındaki Artışın Tüketicilerin Otomobil Seçimine Etkisi Elektrikli Otomobiller Üzerine Bir Uygulama, Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 82 s.

YOUNG, K. and WANG, C. 2013. Electric Vehicle Battery Technologies, Electric Vehicle Ingegration into Modenrn Power Networks.

2011/1435 Sayılı Bakanlar Kurulu Kararı

<http://inventors.about.com/od/estartinventions/a/History-Of-Electric-Vehicles.htm>
[Son erişim tarihi: 05.10.2014]

http://www.tubitak.gov.tr/sites/default/files/ot0104_cagri_metni.pdf [Son erişim tarihi: 02.09.2014]

http://ec.europa.eu/transport/themes/urban/vehicles/road/electric_en.htm
[Son erişim tarihi: 02.09.2014]

<http://www.greenemotion-project.eu/about-us/index.php> [Son erişim tarihi: 02.09.2014]

http://www.csb.gov.tr/db/iklim/editordosya/kyoto_protokol.pdf
[Son erişim tarihi: 16.10.2014]

<http://www.embedded.com/design/configurable-systems/4402474/Achieving-maximum-motor-efficiency-using-dual-core-ARM-SoC-FPGAs> [Son erişim tarihi: 16.10.2014]

<http://www.orientalmotor.com/technology/articles/AC-brushless-brushed-motors.html>
[Son erişim tarihi: 12.18.2014]

<http://www.primeproducts.in/> [Son erişim tarihi: 12.11.2014]

http://www.cobasys.com/pdf/tutorial/inside_nimh_battery_technology.pdf [Son erişim tarihi: 21.01.2015]

<http://www.aimenerji.com/arge-projeleri.aspx?code=9ff5b74c-3c34-40b4-af9e-5098285b49aa> [Son erişim tarihi: 15.02.2015]

<http://www.sony.com.cn/products/ed/battery/download.pdf> [Son erişim tarihi: 14.01.2015]

<http://anpowersource.com/Battery%20chargers%20and%20charging%20methods.pdf>

http://www.greenemotion-project.eu/upload/pdf/about_us/Green-eMotion_results_and_indings.pdf [Son erişim tarihi: 01.11.2014]

<https://www.cdn.renault.com/content/dam/Renault/TR/global-brochures/TWIZY.pdf>
[Son erişim tarihi: 20.01.2015]

http://www.bmw.com.tr/tr/en/newvehicles/i/i3/2013/showroom/_pdf/i3_catalogue.pdf
[Son erişim tarihi: 20.01.2015]

<http://www.mutluakubayi.com/mutlu-aku-fiyatlari.aspx> [Son erişim tarihi: 24.02.2015]

http://www.ebay.com/itm/36V-37V-20Ah-Lithium-ion-Li-ion-Battery-PVC-Wrap-eBike-/360990935606?pt=LH_DefaultDomain_0&hash=item540cbc8a36 [Son erişim tarihi: 22.02.2015]

http://www.yapitaskablo.com/dosya/blog/AKIM_TASIMA.pdf [Son erişim tarihi: 12.01.2015]

ÖZGEÇMİŞ

Esin ALTINDAL 1980 yılında Aksaray’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Antalya’da tamamladı. 2000 yılında ÖSS’de derece yaparak, Eskişehir Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksek Okulunu burslu olarak kazandı. Stajlarını 2004 yılında TEI-TUSAŞ Eskişehir Uçak Fabrikası ve 2005 yılında MNG Havayolları İstanbul Atatürk Havalimanı’nda yaptı. 2010 yılından 2012 yılına kadar Kepez Baraj Teknik Lisesi’nde görev yapmıştır. 2012 yılından bu yana Kepez F.H. Saraçoğlu İlkokulu’nda görev yapmaktadır.