

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞARJ EDİLEBİLEN ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN KESİNTİSİZ GÜÇ KAYNAĞI
OLARAK KULLANILMASINI SAĞLAYAN BİR GÜÇ ÜNİTESİNİN TASARIMI VE
UYGULAMASI**

GÖRKEM ŞEN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK TESİSLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. MEHMET UZUNOĞLU**

İSTANBUL, 2012

T.C.

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞARJ EDİLEBİLEN ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN KESİNTİSİZ GÜÇ KAYNAĞI
OLARAK KULLANILMASINI SAĞLAYAN BİR GÜÇ ÜNİTESİNİN TASARIMI VE
UYGULAMASI**

Görkem ŞEN tarafından hazırlanan tez çalışması 29.06.2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Mehmet UZUNOĞLU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Mehmet UZUNOĞLU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Arif KARAKAŞ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Abdülkadir BALIKÇI

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü

ÖNSÖZ

Yaşanan enerji krizleri, fosil kökenli yakıt rezervlerinin azalması ve bu yakıtlar sebebiyle ortaya çıkan çevresel sorunlar çevre dostu teknolojileri ön plana çıkarmaktadır. Bu şartlar altında elektrikli araç teknolojisinin gelişimi de hızlanmıştır. Bu bilgiler ışığında yüksek lisans tez çalışmamı, şarj edilebilen bir elektrikli aracın şebekeden bağımsız olarak bir tüketim merkezini beslemesi konusu üzerine hazırladım.

Tez çalışmamın her aşamasında değerli görüşleriyle bana yol gösterip, yardım eden danışman hocam Doç. Dr. Mehmet UZUNOĞLU'na, yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen Arş. Gör. Ali Rıfat BOYNUEĞRİ'ye, beni yetiştiren ve hayatım boyunca bana sonsuz yardım ve desteklerini sunan sevgili aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran, 2012

Görkem ŞEN

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET.....	xi
ABSTRACT	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı.....	4
1.3 Orijinal Katkı.....	4
BÖLÜM 2	
ELEKTRİKLİ ARAÇLAR	6
2.1 Elektrikli Araçların Tarihçesi	8
2.2 Elektrikli Araç Sistemleri.....	14
2.2.1 Hibrit Elektrikli Araçlar.....	14
2.2.2 Yakıt Hücreli Elektrikli Araçlar	19
2.2.3 Tümü Elektrikli Araçlar	20
2.3 Tümü Elektrikli Araçta Kullanılan Alt Sistemler.....	22
2.3.1 Enerji Depolama Sistemleri.....	22
2.3.1.1 Bataryalar.....	22
2.3.1.2 Ultrakapasitörler	24
2.3.2 Güç Dönüştürücüler.....	25
2.3.2.1 DC-DC dönüştürücüler	26
2.3.2.2 DC-AC dönüştürücüler	26
2.3.3 Tahrik Sistemleri.....	27
2.4 Elektrikli Araçların Şarj Yöntemleri	28
2.5 Elektrikli Araçların Dağıtım Sistemlerine Etkileri	32

2.5.1	Faz Dengesizliği	32
2.5.2	Güç Kalitesi Sorunları.....	32
2.5.3	Transformatörler Üzerindeki Etkileri.....	33
BÖLÜM 3		
YAPILAN BENZETİM ÇALIŞMALARI VE SONUÇLARI		36
3.1	Benzetim Çalışmasının Oluşturulması ve Kontrolü.....	37
3.2	Benzetim Çalışmasının Sonuçları	42
BÖLÜM 4		
TEST PLATFORMU		47
4.1	Test Platformunda Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar	47
4.1.1	Batarya Grubu	47
4.1.2	İnverter Ünitesi	48
4.1.3	Akım ve Gerilim Ölçüm Ünitesi	49
4.1.4	Yük Ünitesi	50
4.1.5	Adalama Ünitesi	50
4.1.6	dSPACE Kontrol Ünitesi.....	51
4.1.7	Ölü Zaman Oluşturma Ünitesi.....	53
4.2	Test Platformunun Kurulması ve Testlerinin Yapılması	54
4.3	Yapılan Deneysel Çalışmalar ve Sonuçları	56
BÖLÜM 5		
SONUÇLAR		63
KAYNAKLAR		65
ÖZGEÇMİŞ.....		71

SİMGE LİSTESİ

A	Amper
C	Kapasitör
F	Farad
H	Henry
Hz	Hertz
I, i	Akım
kVA	Kilo volt-amper
kVAr	Kilo volt-amper-reaktif
kW	Kilo watt
L	Endüktans
P	Aktif güç
s	Saniye
V	Volt
VA	Volt-amper
VAr	Volt-amper- reaktif
W	Watt
Q	Reaktif güç
ϕ	Faz açısı
Ω	Ohm

KISALTMA LİSTESİ

AC	Alternatif Akım (Alternative Current)
BG	Beygir Gücü
CARB	Kaliforniya Hava Kaynakları Meclisi (California Air Resources Board)
DC	Doğru Akım (Direct Current)
DGM	Darbe Genişlik Modülasyonu
EA	Elektrikli Araç
FCEV	Yakıt Hücreli Elektrikli Araç (Fuel Cell Electric Vehicle)
HEA	Hibrit Elektrikli Araç
IEC	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnical Commission)
IGBT	Yalıtılmış Kapılı Bipolar Transistör (Insulated Gate Bipolar Transistor)
İYM	İçten Yanmalı Motor
JEVS	Japon Elektrikli Araç Birliği Standartları (Japan Electric Vehicle Association Standard)
MOSFET	Metal Oksit Yarıiletken Alan Etkili Transistor (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)
NiCd	Nikel-Kadmiyum
NiMh	Nikel-Metal Hidrür
NiZn	Nikel-Çinko
PHEV	Şarj Edilebilen Hibrit Elektrikli Araç (Plug-in Hybrid Electric Vehicle)
PWM	Darbe Genişlik Modülasyonu (Pulse Width Modulation)
SAE	Otomotiv Mühendisleri Birliği (Society of Automotive Engineers)
SOC	Batarya Şarjlılık Durumu (State of Charge)
SPWM	Sinüsoidal Darbe Genişlik Modülasyonu (Sinusoidal Pulse Width Modulation)
ŞEEA	Şarj Edilebilen Elektrikli Araç
TEA	Tümü Elektrikli Araç
V0G	Kolay Şarj
V1G	Akıllı Şarj
V2G	Araçtan Şebekeye Çalışma Durumu (Vehicle to Grid)
V2H	Araçtan Eve Çalışma Durumu (Vehicle to Home)
ZEV	Sıfır Emisyonlu Araçlar (Zero Emission Vehicle)

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1	Carl Benz'in geliştirdiği 3 tekerlekli İYM'lu aracı [29]	9
Şekil 2. 2	1895 yılında Morris ve Salomon tarafından yapılan Electrobats isimli EA [30]	10
Şekil 2. 3	1897 yılında İngiltere'de taksi olarak kullanılan EA'lar [23]	10
Şekil 2. 4	1960 yıllarda üretilip ve EA'ya dönüştürülen Renault Dauphine [32]	11
Şekil 2. 5	1967 yılında ilk prototipi yapılan Comuta isimli EA [33]	12
Şekil 2. 6	1996 yılında pazara sunulmuş olan General Motors EV1 EA [35]	13
Şekil 2. 7	2008 yılından sonra piyasa çıkmış ve çıkacak bazı EA çeşitleri	14
Şekil 2. 8	Bir HEA genel içyapısı [37]	15
Şekil 2. 9	Seri HEA yapısı	17
Şekil 2. 10	Paralel HEA yapısı	17
Şekil 2. 11	Seri-Paralel HEA yapısı	18
Şekil 2. 12	Yakıt hücreli EA'nın genel olarak çalışma prensibi	19
Şekil 2. 13	TEA'nın genel olarak içyapısı	20
Şekil 2. 14	ŞEEA'ların genel olarak içyapısı	21
Şekil 2. 15	48 V'luk bir ultrakapasitör modülü [53]	25
Şekil 2. 16	EA şarj istasyonları [69], [70], [71]	30
Şekil 2. 17	EA'ların bataryalarının değiştirildiği örnek bir istasyon [73]	32
Şekil 3. 1	Benzetim çalışmasına ait blok diyagramı	37
Şekil 3. 2	Oluşturulan benzetim sistemi	37
Şekil 3. 3	Yük modeline ait kontrol bloğu	38
Şekil 3. 4	Aktif, reaktif ve görünen güç fazör diyagramı (Güç üçgeni)	38
Şekil 3. 5	Benzetim çalışmasında kullanılan DC-DC dönüştürücü	39
Şekil 3. 6	Benzetim çalışmasında kullanılan inverter	40
Şekil 3. 7	Bir fazlı inverter için SPWM'nin elde edilmesi	41
Şekil 3. 8	Elektrikli araçtan talep edilen referans güç değerleri	42
Şekil 3. 9	Elektrikli araçtan çekilen güç değerleri	42
Şekil 3. 10	Batarya gerilimin, bataryadan çekilen akımın ve batarya SoC değişimi	43
Şekil 3. 11	DC bara geriliminin değişimi	44
Şekil 3. 12	Yük ucu geriliminin rms değerinin değişimi	45
Şekil 3. 13	Yük ucu ani gerilim değişimi	45
Şekil 3. 14	Yük akımının değişimi	46
Şekil 4. 1	Test platformunda kullanılan batarya grubu	48
Şekil 4. 2	a) İnverter ünitesi b) IGBT modülü c) IGBT modülü sürme kartı d) bastırma devresi	48

Şekil 4. 3	Test platformunda kullanılan a) gerilim sensörü b) akım sensörü.....	50
Şekil 4. 4	Test platformunda yük ünitesini şebekeden ayıran adalama ünitesi	51
Şekil 4. 5	dSPACE micro autobox kontrol ünitesi.....	51
Şekil 4. 6	dSPACE içine gömülü olan kontrol algoritması.....	52
Şekil 4. 7	Ölü zaman oluşturma ünitesi	53
Şekil 4. 8	Oluşturulan test platformunun genel şeması.....	54
Şekil 4. 9	Hazırlanan test platformu	54
Şekil 4. 10	Elektrik şebekesinde enerji kesildiği anda şebeke gerilimine ait değişimler ile adalama sinyalinin değişimi	56
Şekil 4. 11	Elektrik şebekesinde enerji kesildiği anda şebeke akımına ait değişimler ile adalama sinyalinin değişimi	57
Şekil 4. 12	Elektrik şebekesinde enerji kesildiği anda inverterin çıkış gerilimine ait değişimler ve adalama sinyalinin değişimi	57
Şekil 4. 13	Elektrik şebekesinde enerji kesildiği anda inverterden çekilen akıma ait değişimler ve adalama sinyalinin değişimi	58
Şekil 4. 14	Elektrik şebekesinde enerji kesildiği anda batarya geriliminin değişimi ile adalama sinyalinin değişimi	59
Şekil 4. 15	Elektrik şebekesine enerji geldiği anda şebeke gerilimine ait değişimler ve adalama sinyalinin değişimi	59
Şekil 4. 16	Elektrik şebekesine enerji geldiği anda şebeke akımına ait değişimler ve adalama sinyalinin değişimi	60
Şekil 4. 17	Elektrik şebekesine enerji geldiği anda inverterin çıkış gerilimine ait değişimler ve adalama sinyalinin değişimi	61
Şekil 4. 18	Elektrik şebekesine enerji geldiği anda inverterden çekilen akıma ait değişimler ve adalama sinyalinin değişimi	61
Şekil 4. 19	Elektrik şebekesine enerji geldiği anda batarya geriliminin değişimi ile adalama sinyalinin değişimi	62

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1 Hibritleştirme dereceleri [38]	15
Çizelge 2. 2 EA’larda kullanılan bataryaların özellikleri	23
Çizelge 2. 3 Kısa ve uzun vadede ulaşılmak istenen lityum-iyon bataryaların özellikleri [51].....	24
Çizelge 2. 4 Şarj istasyonlarının tipleri ve özellikleri	29
Çizelge 2. 5 Tiplerine göre şarj istasyonlarının kuruldukları yerler	31
Çizelge 2. 6 EA’ların şebekeyle etkileşimli çalışma durumları.....	34

**ŞARJ EDİLEBİLEN ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN KESİNTİSİZ GÜÇ KAYNAĞI
OLARAK KULLANILMASINI SAĞLAYAN BİR GÜÇ ÜNİTESİNİN TASARIMI VE
UYGULAMASI**

Görkem ŞEN

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet UZUNOĞLU

Nüfus artışı ve gelişen teknolojiye bağlı olarak enerji talebi de giderek artmaktadır. Günümüzde enerji talebinin büyük bir kısmının karşılanmasında fosil kökenli yakıtlar kaynak olarak kullanılmaktadır. Ancak fosil kökenli yakıtlara ait rezervler giderek azalmakta ayrıca yakıt tüketimine bağlı olarak, sera gazı etkisi gibi olumsuz çevresel etkiler de oluşmaktadır. Bu nedenlerle, fosil yakıt tüketimini azaltmayı hedefleyen çalışmaların sayısı giderek artmaktadır. Büyük oranda fosil yakıt tüketen sistemlerden biri de ulaşım sistemleridir. Ancak içten yanmalı motorlu (İYM) araçlara bağlı olarak fosil yakıt tüketimindeki hızlı artış, hem çevresel problemlere neden olmakta hem de fosil yakıt rezervlerini azaltmaktadır. Bu sorunlara yakın dönemde uygulanabilir bir çözüm olarak elektrikli araçlar (EA) özellikle de şarj edilebilen (Plug in) elektrikli araçlar önerilmektedir.

Günümüzde sıfır emisyonlu olarak adlandırılan şarj edilebilen elektrikli araçların (ŞEEA) üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. Yapılan çalışmalarda bu araçların yakın gelecekte giderek yaygınlaşacağı belirtilmektedir. Hatta ülkemiz dahil birçok ülkede EA'lar şimdiden satışa sunulmaya başlanmıştır. Bilindiği üzere, ŞEEA'larda aracın hareketi için gerekli elektrik enerjisini sağlayan bir enerji depolama sistemi kullanılmaktadır. Bu enerji depolama sistemi şarj noktalarında şarj edilmektedir. Bu tip EA'ların popüler olmasının başka bir sebebi de, aracın bir fiş yardımıyla priz olan her yerden elektrik şebekesine bağlanabilmesidir. Günümüzde ŞEEA'ların şebekeyle olan etkileşimi tek yönlüdür. Bu etkileşim de ŞEEA'ların şarj işlemidir. Ancak ŞEEA'ların sahip oldukları güç ünitesinin veya ünitelerinin tasarımında değişiklikler yapılarak ŞEEA'nın çift yönlü bir çalışma durumuna sahip olması sağlanabilir. Böylece ŞEEA kesintisiz güç kaynağı olarak çalıştırılabilir ve bir tüketim merkezinin enerji ihtiyacını karşılayabilir.

EA'lar büyük miktarda enerji depoladıkları için birçok tüketim merkezinin ihtiyacını kolaylıkla karşılayabilecek güçtedirler. Ancak, bu çalışma durumunun gerçekleştirilebilmesi için, araç sistemlerinin evsel yük ile bağlantısında kullanılacak olan güç ünitesinin tasarımı önem kazanmaktadır.

Bu tez çalışmasında, ŞEEA'larda kullanılmak üzere bir güç ünitesi hazırlanmıştır. Ayrıca, ŞEEA'ların gerek duyulduğu durumlarda kesintisiz güç kaynağı olarak kullanılabilmesine yönelik hem benzetim çalışması hem de deneysel çalışma yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli araçlar, şarj edilebilen elektrikli araçlar, ŞEEA, şarj edilebilen hibrit elektrikli araçlar, PHEV, güç ünitesi, kesintisiz güç kaynağı

ABSTRACT

DESIGN AND APPLICATION OF A POWER UNIT TO USE PLUG-IN ELECTRIC VEHICLES AS AN UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY

Görkem ŞEN

Department of Electrical Engineering
MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet UZUNOĞLU

Due to the population growth and technology development, the energy demand of the world is increasing. Today, a big portion of this energy demand is supplied by utilization of fossil fuels. However, fossil fuel reserves are depleting and the utilization of these fuels provide negative environmental effects. Thus, the number of studies on decreasing the mentioned negative effects is increasing gradually. One of the main fossil fuel consumers is transportation systems. However, the increase of fossil fuel consumption due to the internal combustion engine based vehicular systems causes both environmental problems and depletion of fossil fuel reserves. Electric vehicles, especially plug-in vehicular systems are considered as a short term applicable solution to these problems.

Nowadays, a great number of studies are realized on plug-in electric vehicles that are considered to provide zero emission. In these studies, it is declared that this vehicle technology will gradually become widespread in a near future. The sale of electric vehicles has even started in many countries including our country. As well known, an energy storage unit that provides the required power for vehicle is employed in electric vehicles. This energy storage unit should be re-charged in charge points. Also, another reason for this type of electric vehicle to be popular is that the vehicle can be connected to the grid with a plug. Nowadays, the interaction of plug-in electric vehicle with the grid is one way. This interaction is the charging process. However, electric vehicle can be operated bi-directional by modifying the design of vehicle's power unit or units. In such an operation condition, electric vehicle can be run as an uninterruptible power supply and supply the energy demand of the consumption center.

Due to the large amount of energy stored in batteries of the vehicle, electric vehicle can supply the need of the residential unit. However, the design of power unit that can be utilized for the residential unit connection of vehicular systems gains a significant importance for the realization of this operating condition.

In this thesis, a power unit is prepared to use with plug-in electric vehicles. Also, the simulation and the experimental studies have been conducted for use of plug-in electric vehicles as the uninterruptible power supply in the time of need.

Key words: Electric vehicles, plug-in electric vehicles, plug-in hybrid electric vehicles, PHEV, power unit, uninterruptible power supply

1.1 Literatür Özeti

Günümüz teknolojisi, günlük hayatın sürdürülebilmesi için gerekli olan ısıtma, üretim ve taşımacılık gibi aktivitelerde temel enerji kaynağı olarak fosil kökenli yakıtlara büyük oranda bağımlıdır. Fosil kökenli yakıtların yüksek miktarda tüketiminin uzun dönemde insanlık için iki açıdan tehdit oluşturacağı öngörülmektedir. İlk tehdit, sınırlı rezervlere sahip olan petrol ve doğal gaz gibi yakıtların azalmasına bağlı olarak artan maliyetler ve bu durumun, sosyal ve ekonomik etkileridir. İkinci tehdit ise fosil kökenli yakıtların yakılması sonucu ortaya çıkan zararlı gazlarının çevre üzerine etkileridir [1], [2], [3]. Bu nedenlerle, hem fosil kökenli yakıt tüketimini azaltmayı hedefleyen çalışmaların sayısı giderek artmakta, hem de alternatif enerji kaynakları üzerine yapılan çalışmalar hızlandırılmaktadır. Özellikle de büyük oranda fosil kökenli yakıt tüketen ulaşım sektörü üzerine ciddi çalışmalar yapılmaktadır. Son yıllarda elektrik makinaları, bataryalar ve güç elektroniği teknolojilerindeki gelişmelere bağlı olarak EA konusunda ilerlemeler sağlanmıştır. Bu ilerlemeler sayesinde yüksek verimli ve çevre dostu olan EA'lar, bahsedilen tehditleri yakın dönemde azaltacak, uzun vadede ise tamamen ortadan kaldıracak çözüm olarak ön plana çıkmaktadır [1], [4], [5].

Günümüzde EA'lar özellikle de sıfır emisyonlu olarak adlandırılan ŞEEA'lar üzerine çalışmalar yoğunlaştırılmıştır [4], [6]. Yapılan araştırmalarda bu araçların yakın gelecekte giderek yaygınlaşacağı belirtilmektedir. ŞEEA'lar öncelikle ihtiyaçları olan elektrik enerjisini, enerji depolama ünitesinde depolarlar. Ardından da depolanan elektrik enerjisini, hareket etme işlemini yerine getirmek için elektrik motoru

aracılığıyla kullanırlar. Buradan da anlaşılmaktadır ki, ŞEEA'lar enerji ihtiyacını ya doğrudan şebekeden ya da şebekeden bağımsız alternatif bir enerji kaynağından karşılayabilmektedir. Yaygın olarak tercih edilecek durum ise araçların doğrudan şebekeden enerji ihtiyaçlarını karşılamaları durumudur [7], [8]. Elektrik şebekesine enerji sağlayan santrallerin çoğunun fosil yakıtlardan oluştuğu düşünülürse akla gelebilecek sorunlardan biri EA'ların gerçekten çevre dostu olup olmadığıdır. Fakat literatür incelendiğinde yapılan çalışmalarda görülmüştür ki, araçların enerji ihtiyacını fosil kökenli yakıtlar yerine elektrik şebekesinden karşılaması zehirli gaz emisyonlarını düşürmektedir [9], [10], [11]. Ayrıca şebekeye enerji sağlayan santraller arasında alternatif ve yenilenebilir enerji sistemlerinin yaygınlaşması zehirli gaz emisyonlarının daha da düşmesini sağlayacaktır.

ŞEEA'ların satışa sunulması ve yaygınlaşmasıyla beraber bahsi geçen ekonomik ve çevresel problemler azalmaya başlayacaktır. Ancak EA'ların ulaşım piyasasında büyük bir yüzdeye sahip olmasıyla beraber, EA'ların şebeke üzerine bazı etkiler yapması muhtemeldir. Bu etkilere örnek vermek gerekirse, EA sistemlerinde bulunan batarya şarjında kullanılan lineer olmayan güç elektroniği ünitelerinin yayılması, elektrik dağıtım sistemleri üzerinde gerilim bozulmalarına ve akım harmonik distorsiyonunda önemli bir artışa neden olacaktır. Bu harmonikler, aşırı nötr akımlarına ve transformatörlerin aşırı ısınması dahil olmak üzere bütün elektrik enerjisi sistemi elemanlarının kapasitelerinin zorlanmasına, ömürlerinin azalmasına ve enerji kalitesi problemlerine neden olacaktır [12]. Ayrıca bu araçların şarj taleplerinin karşılanması da önem arz etmektedir. EA'nın hibrit veya tümü elektrikli olmasına göre aracın şarj gücü değişken olacaktır. Ancak en düşük güce sahip bir EA'nın gücü bile evsel yük taleplerinin çok üzerindedir. Ayrıca yapılan araştırmalarda EA'ların büyük ölçüde yaygınlaşacağı, bu duruma bağlı olarak da şebekeden talep edilecek şarj gücünün büyük seviyelere ulaşacağı da vurgulanmaktadır [13], [14], [15], [16]. Bu sebeplerle bu sorunları engellemek için düşünülen ilk yöntem, mevcut elektrik sistemine ait bileşenlerin kapasitelerini arttırmaktır. Ancak bu işlem hem çok maliyetli hem de çok fazla iş gücü gerektirmektedir. Bu yatırımların uzun vadeye yayılarak yapılması daha doğru bir çözüm olarak gözükmektedir. Bu problemleri engellemek için mevcut elektrik

sistemi olabildiğince etkin ve verimli bir şekilde kullanılmalı ya da EA'ların çeşitli çalışma durumlarından faydalanılmalıdır.

ŞEEA'ların popüler olmasının başka bir sebebi de, aracın bir fiş yardımıyla elektrik şebekesine bağlı herhangi bir noktadan şarj edilebilmesidir. Günümüzde ŞEEA'nın şarj edilmesi için yapılan bu bağlantı ile şebekeden araca doğru, tek yönlü bir enerji akışı gerçekleştirilmektedir. Ancak, ŞEEA'ların yapısında bulunan güç ünitelerinin çift yönlü çalıştırılabilmesi ile şebekeyle çift yönlü bir bağlantı gerçekleştirilebilir. Gerçekleştirilecek çift yönlü bağlantı ile ŞEEA'lar ulaşım sektörü dışında da kullanılabilir. Bu çalışma durumlarından başlıcaları, akıllı şarj çalışma durumu, araçtan şebekeye çalışma durumu (V2G) ve araçtan eve çalışma durumudur (V2H) [17,18]

Akıllı şarj çalışma durumunda, EA şebeke ile gerçek zamanlı olarak iletişim içindedir ve şebeke uygun olduğu anda şarj işlemi gerçekleştirilir [19]. V2G çalışma durumunda da EA şebeke ile gerçek zamanlı olarak iletişim içindedir. Şebekeden talep edilen enerji çok yüksek değerlere ulaştığında EA'ya ait dolu bataryalar şebekeye yedek güç sağlamaktadır ve EA bir dağıtım generatörü gibi davranmaktadır [12], [20]. V2H çalışma durumunda, EA'nın şebekeyle bir etkileşimi bulunmamaktadır ve EA şebekeden bağımsız olarak bir binanın, evin veya bir tüketim merkezinin enerji ihtiyacını bir kesintisiz güç kaynağı gibi karşılamaktadır [19]. Bu çalışma durumu sayesinde elektrik enerjisine ihtiyaç olduğu zamanlarda EA'lar yerleşim birimlerinin enerji talebini karşılayabilecektir. Ayrıca, önümüzdeki yıllar içinde ülkemizin klasik şebekeden akıllı şebekelere geçmesiyle ve enerji borsasının da oluşturulmasıyla beraber ŞEEA sahipleri için yeni fırsatlar ortaya çıkacaktır. Başlıca fırsatlardan biri, gün içinde elektriğin birim fiyatının düşük olduğu bir zaman aralığında ŞEEA sahibi aracını düşük elektrik maliyeti ile şarj edebilecektir. Daha sonra elektriğin birim fiyatı yüksek olduğu zaman aralıklarındaysa, evini ya da başka bir yerleşim birimini şebekeden ayırarak V2H çalışma durumundan faydalanarak besleyebilecektir. Böylece ŞEEA sahipleri araçlarından ekonomik olarak faydalanabileceklerdir.

1.2 Tezin Amacı

Geleneksel İYM’li araçların ürettiği zararlı gaz emisyonları sebebiyle ortaya çıkan olumsuz çevresel etkilerden ve fosil kökenli yakıt rezervlerinin giderek azalmasından dolayı EA’lara olan ilgi artmıştır. Günümüzde EA’larla ilgili çalışmalar çok yönlü olmakla birlikte EA’nın verimliliğini ve menzilini arttırmaya yönelik olanlar daha öne çıkmaktadır. Ancak yakın gelecekte EA’ların ulaşım sektöründe yaygınlaşacağı göz önüne alınarak EA’lardan alternatif şekillerde faydalanmaya yönelik çalışmalarda son zamanlarda popüler olmaya başlamıştır. Bu konulardan biride ŞEEA’nın şebekeden bağımsız olarak kesintisiz güç kaynağı gibi bir tüketim merkezini beslemesidir.

Bu tez çalışmasının amacı, ŞEEA’nın kesintisiz güç kaynağı olarak kullanılmasına katkı sağlamaktır. Bu amaç doğrultusunda öncelikle ŞEEA’nın kesintisiz güç kaynağı olarak kullanılmasına yönelik incelemeler yapılmıştır. Ardından da bu konu üzerine sırasıyla benzetim çalışmaları ve deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen benzetim çalışmaları ve deneysel çalışmalar ile ŞEEA’ların şebekeden bağımsız olarak tüketim merkezini temsil eden bir yükü besleyebileceği gösterilmiştir.

Tez çalışması kapsamında yapılan deneysel çalışmalar, hazırlanan test platformu üzerinde gerçekleştirilmiştir. EA yerine laboratuvar ortamında normalize edilmiş koşullarda hazırlanmış olan bu test platformu üzerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu sayede sadece üzerine odaklanan çalışma alanları ile ilgilenilmiş, aracın elektriksel olmayan diğer dinamikleri dikkate alınmamıştır.

1.3 Orijinal Katkı

Günümüzdeki ŞEEA’larda güç üniteleri sadece araçtaki mevcut batarya ünitesini şarj edecek şekilde tasarlanmıştır. Gerçekleştirilen tez çalışması, ŞEEA’lardan ulaşım amacı dışında da faydalanılmasını sağlayacaktır. Yapılan benzetim ve deneysel çalışmalarla ŞEEA’ların ihtiyaç duyulan zamanlarda bir kesintisiz güç kaynağı gibi kullanılabileceği gösterilmiştir. Böylece, ŞEEA sahiplerinin belirli kritik yüklerin enerji ihtiyacını şebekeden bağımsız olarak sürekli sağlayabileceklerdir. Buna ek olarak, “Plug-in” teknolojisine sahip diğer bütün EA çeşitleri bu çalışma durumunu kullanarak aynı zamanda mobil bir enerji kaynağı gibi çalışabileceklerdir. Ayrıca, önümüzdeki süreçte akıllı şebekeler ile ŞEEA’ların gece (pik olmayan saatlerde) düşük elektrik maliyeti ile

araçlarını şarj eden kullanıcılar, gündüz elektriğin pahalı olduğu pik saatlerde yerleşim birimlerinin enerji ihtiyacını şebekeden bağımsız olarak karşılayabileceklerdir. “Enerji Borsası” olarak adlandırılan uygulamaların yaygınlaşmasıyla bu çalışma durumu daha ön plana çıkacaktır.

Sonuç olarak bu tez çalışmasında, yukarıda belirtilen çalışma durumu ile ilgili hem benzetim çalışmaları hem de deneysel çalışmalar gerçekleştirilerek, EA’ların gelişimine ve literatürde yer alan çalışmalara katkı sağlanması hedeflenmiştir.

Tezin bir sonraki bölümde, EA teknolojisinin tarihsel gelişimi hakkında bilgiler verilecektir. EA’lar sınıflandırılacak ve araçların özellikleri sunulacaktır. Ardından, EA’larda kullanılan alt sistemler hakkında bilgiler verilecektir. Son olarak da, EA’ların şebeke ile etkileşimli çalışma durumlarından bahsedilecektir.

Tezin üçüncü bölümünde, ŞEEA’nın kesintisiz güç kaynağı olarak kullanılmasına yönelik bir simülasyon çalışması gösterilmiş ve sonuçları sunulmuştur.

Tezin dördüncü bölümünde, kurulan test platformu tanıtılmış, test platformu üzerinde yapılan deneysel çalışmalar anlatılmış ve elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

Tezin son bölümünde, tez çalışmasının çıktıları genel olarak değerlendirilmiştir.

BÖLÜM 2

ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

İnsanoğlu için ulaşım, eski çağlardan itibaren temel bir ihtiyaç olmuştur. İnsanlık tarihine bakıldığında ulaşımın ve ulaşım araçlarının çok büyük bir gelişme gösterdiği görülebilmektedir. Eski çağlarda insanlar ulaşım için hayvanları kullanırken, tekerleğin icadıyla, ulaşımında ilk ciddi gelişme yaşanmıştır. Zaman ilerledikçe ulaşımında hayvanların yerine mekanik araçlar kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde ulaşımında azda olsa hayvanlardan faydalanılmaya devam edilse dahi, ulaşım mekanik araçlar vasıtası ile yapılmaktadır.

İlk buhar makinesinin icadı ile 18. yüzyılın sonlarında sanayi devrimi gerçekleşmiş ve tarım, üretim, ulaşım alanlarında hızlı bir gelişim başlamıştır. Endüstrileşme ile birlikte insanların ulaşım ihtiyaçlarının giderilmesi için farklı güç kaynakları ile çalışan tekerlekli ulaşım araçları geliştirilmiştir. 19. yüzyılın sonunda elektrik ve manyetik alanın keşfinden yararlanılarak elektrik ile çalışan, ilk motorlu araçlar ortaya çıkmıştır. Fosil yakıtlar ile çalışan İYM sahip otomobillerin ortaya çıkması da hemen hemen aynı yıllara denk gelmektedir [21]. O dönemde, gürültülü çalışması ve havayı oldukça kirletmesine rağmen dünya savaşları süresince, uzun menzilli olması ve yakıtının kolay bulunması nedeniyle içten yanmalı motorlu araç teknolojisi hızlı bir gelişim göstermiştir. Buna bağlı olarak, dönemin teknolojik yetersizliklerinden dolayı 1910'lu yıllarda EA'ların üretimleri azalmaya başlamıştır. Üretimdeki bu azalmanın sebepleri aşağıdaki gibi sıralanabilir [22] :

- İYM'li araçların menzillerinin daha fazla olmasıdır. Bunun sebebi, sahip oldukları enerji yoğunluğunun (özellikle enerjisinin) bataryaların enerji yoğunluğuna kıyasla

oldukça büyük olmasıdır. Burada enerji yoğunluğu ile belirtilen, kg başına depolanabilen enerji miktarını ifade etmektedir. Bir İYM’de kullanılan yakıtın enerji yoğunluğu yaklaşık 9000 Wh/kg iken, örnek olarak bir lityum-iyon bataryanın enerji yoğunluğu 95 Wh/kg ve bir kurşun asit bataryanınki ise yaklaşık 30 Wh/kg’dır. Bu değerler araçların verimlerine bağlı olarak İYM için 1800 Wh/kg, batarya için ise 27 Wh/kg değerine düşmektedir. Bu durumda bile enerji yoğunlukları arasında İYM’nin lehine 70 kat fark vardır. Diğer bir ifadeyle, İYM’li araç ile aynı menzile sahip olabilmesi için EA’da fosil yakıt ağırlığının 70 katı ağırlığında batarya kullanılmalıdır.

- Bir bataryayı tamamen şarj edebilmek için birkaç saat gerekirken, İYM için gerekli yakıtı yüklemek birkaç dakikada gerçekleşmektedir. Ayrıca, mevcut bataryalar hem maliyetli hem de ömürleri azdır.

EA teknolojisi 1960 yılından itibaren tekrar gündeme alınmıştır. EA’ların gündeme tekrar alınmasında iki önemli sebep vardır. Bunlardan ilki, 1973’ teki petrol krizidir. Petrol krizi sonucunda petrol fiyatları çok artmıştır. Ayrıca petrol rezervlerinin sınırsız olmadığı gerçeği görülmüştür. Ortaya çıkan bu sonuçların ardından yeni enerji kaynaklarına yönelik araştırmalar başlamıştır. Ayrıca, fosil kökenli yakıtlara bağımlı olan ulaşım sektöründe de bu bağımlılığı minimuma indirecek çalışmalara hız verilmiştir. Bu süreçte İYM’li araçlara alternatifler aranılmıştır. Bu zaman diliminde, güç elektroniği ve batarya alanındaki önemli gelişmeler sonucunda da EA teknolojisi ön plana çıkmıştır [23].

EA’ların tekrar gündeme alınmasının ikinci sebebi ise, fosil yakıt kullanılması sonucunda çevrenin olumsuz yönde etkilenmesidir. Fosil yakıtlarının kullanımı sonucunda ortaya çıkan karbondioksit, karbon monoksit, nitrojen oksitler, azot oksitler, küçük partiküller, uçucu organik bileşikler gibi zararlı gaz emisyonlarının bölgesel ve hatta küresel ölçüde çevreye önemli derecede zararı vardır [23]. Bu zararlar sonucunda, hem küresel ısınma meydana gelmekte hem de dünya ikliminde istenmeyen değişiklikler ortaya çıkmaktadır. Sanayi devriminden günümüze kadar atmosfer ısısında sürekli bir artış gözlemlenmiştir. 2007’nin Şubat ayında yapılan hükümetler arası iklim değişikliği

panelinde bilim adamlarının yayımladığı ortak metinde [24], bu ısı artışı büyük oranda insan faktörüne bağlanmıştır.

Ulaşım sektörü, fosil kökenli yakıt kullanımı bakımından elektrik üretim sektöründen sonra yer almakta ve bu alandaki payını da giderek arttırmaktadır [25]. Bu nedenle ulaşım sektörü içerisinde üretim yapan firmalara, ürettikleri ulaşım araçlarının atmosfere saldıkları emisyonlara hükümetler tarafından sınırlamalar getirilmektedir. İYM'li araç teknolojisi, her ne kadar gelişmiş olsa da, kademeli olarak getirilen bu kısıtlamaları sağlayacak hızlarda gelişim gösteremediğinden, araç üreticileri alternatif yakıtlar ve araç teknolojileri üzerinde araştırmalarına hız vermişlerdir [21].

Yukarıda bahsedildiği gibi fosil yakıtların sınırlı rezervlere sahip olması, yakıt maliyetlerinin sürekli artması, küresel ısınma, çevre kirliliği ve emisyonlara getirilen sınırlamalar hem üreticiler hem de tüketiciler için EA'ları her geçen gün daha cazip hale getirmektedir [26]. Ülkemiz açısından EA teknolojisini göz önüne alırsak, öncelikle Türkiye fosil kökenli yakıt kaynakları bakımından dışa bağlı durumdadır. Ayrıca ülkemizde ulaşım büyük oranda karayolları tarafından sağlanmaktadır. Sonuç olarak, EA teknolojisi ile ulaşımında sağlanacak en ufak verimlilik ve tasarruf artışlarının getirisi oldukça yüksek olacağı öngörülmektedir.

2.1 Elektrikli Araçların Tarihçesi

EA'ların geçmişten günümüze kadarki gelişme aşamaları ile dönüm noktaları:

- 1800 yılında Volta primer hücre ve bataryayı geliştirmiştir [5].
- 1821 yılında Faraday elektrik motorunun temel prensibini ortaya koymuştur.
- 1834 yılında Davenport primer bataryalı ilk elektrikli yol aracının uygulamasını yapmıştır [5].
- 1835 yılında ilk EA modeli Profesör Stratingh tarafından Hollanda'da yapılmıştır. Bu ilk EA'larda enerji kaynağı olarak tekrar şarj edilemeyen bataryalar kullanılmış ve bu sebeple ticari olarak varlık gösterememişlerdir. 1834-1836 yılları arasında ABD'de Thomas Davenport tarafından elektrikli yol aracının geliştirildiği, uygulamasının yapıldığı raporlanmıştır. Bu araç üç tekerlekli olup şarj edilmeyen bataryalarla tahrik edilmiştir [23].

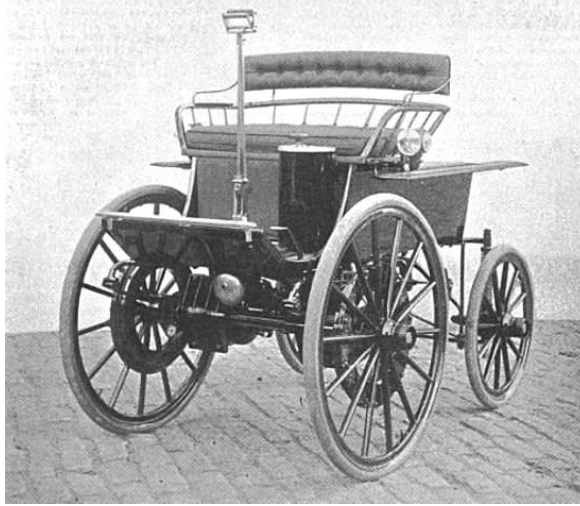
- 1840 yılında Robert Davidson, şarj edilemeyen batarya ile tahrik edilen elektrikli lokomotif geliştirmiştir.
- 1859 yılında Plante sekonder hücre ve bataryayı geliştirmiştir.
- 1859 yılından sonra kurşun-asit bataryaları geliştirilmiş, kullanılmaya başlanmıştır [27].
- 1869 yılında Gramme 1 BG'den daha fazla ilk DC elektrik motorunu yapmıştır [5].
- 1881 yılında Trouve sekonder bataryalı ilk EA'yı yapmıştır [5].
- 1882 yılında İngiltere'de Prof. William Ayrton ve John Perry elektrik tahrikli 3 adet tekerlekli aracın uygulamasını yapmıştır. Aracın menzili araziye bağlı olarak 16-20 km arasında olup azami hızı ise 14 km/saattir [27].
- 1885 yılında Carl Benz İYM ile 3 tekerlekli aracı geliştirmiştir. 1885'de Carl Benz Almanya'da Motor Wagen'ı tanıtana kadar benzinle çalışan satın alınabilir bir otomobil üretilmemiştir. Bu buluştan sonra hem benzinli hem EA'lar yaygın olarak satılmaya başlanırken ikisi de farklı teknolojik kısıtlamalarla yüzleşmişlerdir [28].



Şekil 2. 1 Carl Benz'in geliştirdiği 3 tekerlekli İYM'lu aracı [29]

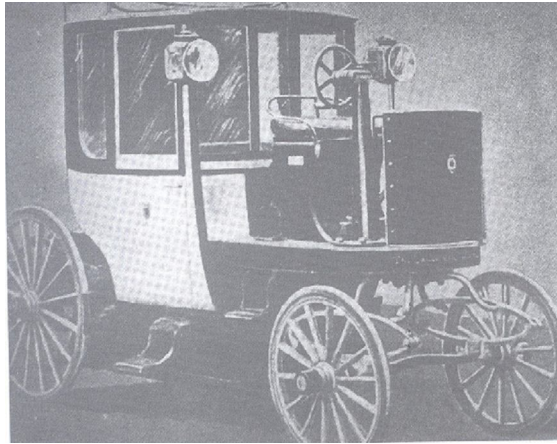
- 1887-1898 yılları arasında Avrupa'da ve Amerika'da kullanılan EA'ların menzili geliştirilmiştir [5].

- 19. yüzyılın son dönemlerine doğru Amerika, İngiltere ve Fransa’da birçok şirket EA üretmeye başlamıştır. Bu üreticilerden en önemlisi Morris ve Salomon’un sahibi olduğu Electric Carriage and Wagon Company adlı şirkettir. Morris ve Salomon 1895 yılında 2 oturma koltuğu olan Electrobats isimli EA’yı geliştirmişlerdir [23].



Şekil 2. 2 1895 yılında Morris ve Salomon tarafından yapılan Electrobats isimli EA [30]

- 1897 yılında İngiltere’de “Londra Elektrikli Taksi Şirketi” (London Electrical Cab Company) tarafından 15 tane taksi kullanıma alınmıştır [23].



Şekil 2. 3 1897 yılında İngiltere’de taksi olarak kullanılan EA’lar [23]

- 1899 yılında Jenatzy EA’sıyla 105.9 km/saat hıza çıkarak, dünya hız rekorunu kırmış ve bu rekoru 3 yıl elinde tutmuştur.
- 1900–1912 EA’ların altın dönemi yaşandı. Bu dönemde, menzil ve performansı artırma düşüncesi oluşmaya başlamıştır. Bu amaçla 1900 yılında French

Electroautomobile ve 1903 yılında Krieger elektrikli-benzinli araçları geliştirmiştir. Bu araçta elektrik motor, İYM ile birlikte kullanılmıştır. Bu dönemlerde Ferdinand Porsche ilk deneysel hibrit elektrikli araç (HEA) tasarımını yapmıştır. İYM bataryaları şarj eden generatörü tahrik etmektedir ve daha sonra bataryalar elektrik motorunu döndürmektedir [5], [23].

- 1916 yılında Woods HEA üretmiştir. Bu araçta 4 silindirli küçük benzinli motor direkt olarak elektrik motoru/generatör grubuna ve daha sonra konvansiyonel itici şaftıyla ön tahrik aksına bağlanmıştır. Bu düzenleme ile paralel HEA geliştirilmiştir [23].
- 1920'lerin başında ise hemen tüm EA üreticileri İYM kullanarak üretimlerini sürdürmüşlerdir.
- 1920'lerin ortasından itibaren 1960 yıllara dek İYM'li araçlar tüm dünyada tamamen üstünlük kurmuştur [5].
- 1935 yılında EA'lar tamamen ortadan kaybolmuş ve 25 yıl boyunca hiç konuşulmamıştır [27].
- 1960'lı yıllarda EA'lara duyulan ilgi yeniden artmaya başlamıştır. Özellikle Los Angeles gibi, coğrafyanın hava kirliliğinin dağılmasına izin vermediği şehirlerde, hava kirliliğinden kurtuluş çaresi olarak EA'lara tekrar ilgi duyulmaya başlanmıştır. Üretilen çoğu EA, klasik araçların elektrikli hale dönüştürülmüş şeklidir [31].



Şekil 2. 4 1960 yıllarda üretilip ve EA'ya dönüştürülen Renault Dauphine [32]

- 1967 yılında ilk prototip yapılmış ve Comuta adı verilmiştir. Comuta her biri ön tekeri tahrik eden 2 tane DC motoruna sahiptir. Aracın gücü, toplam ağırlığı 170

kg olan 4 adet kurşun-asit bataryasından sağlanmaktadır. Araç 40 km/saat hız ile 64 km menzile sahip olup; azami hızı 64 km/saat [23].



Şekil 2. 5 1967 yılında ilk prototipi yapılan Comuta isimli EA [33]

- 1968 yılında General Electric GE Delta aracının uygulamasını ortaya çıkartmıştır. Bu aracın menzili 64 km, azami hızı da 89 km/saattir. Aynı yıl Ford nikel-kadmiyum bataryaları kullanarak deneysel E-Car aracının prototipini yapmıştır. Bu zaman diliminde, AC ile yapılan motor tahrikinde ciddi gelişmeler olmaması halinde, kabul edilebilir menzil ve performansa sahip EA'ların üretiminin zor olduğu görülmüştür.
- 1970'lerde petrol fiyatının dört katına çıkması ve Arap petrol ambargosu, özellikle Amerika'da alternatif yolların aranmasına neden olmuştur. Bu petrol krizi ile birlikte başta Amerika, İngiltere, Fransa, Almanya, İtalya ve Japonya gibi birçok ülke, EA araştırmalarına tekrar hız vermişlerdir. [28], [31].
- 1973'de Electricite de France 80 tane konvansiyonel aracı elektrik tahrikli hale dönüştürmüştür. Almanya'da Daimler-Benz ve Volkswagen ise deneysel EA'lar yapmışlardır.
- 1975 yılında İtalya'da Fiat X1/23 B isimli deneysel bir prototip geliştirmiştir. Bu araç 2 kişilik olup kurşun-asit bataryalar ve DC elektrik motoru ile tahrik edilmiştir. Menzili 48 km ve azami hızı 64 km/saat altındadır [31].
- 1980'li yıllarda hükümetler EA'ların çevresel avantajları nedeniyle bu araçlara karşı ilgi duymaya ve EA programları için resmi kaynaklardan parasal destek vermeye başlamışlardır. Böylece 1980'li yılların ortalarında, ABD Enerji

Bakanlığının sponsorluğu ile Ford/GE tarafından ETX-1 aracının geliştirilmesi sağlanmıştır [23].

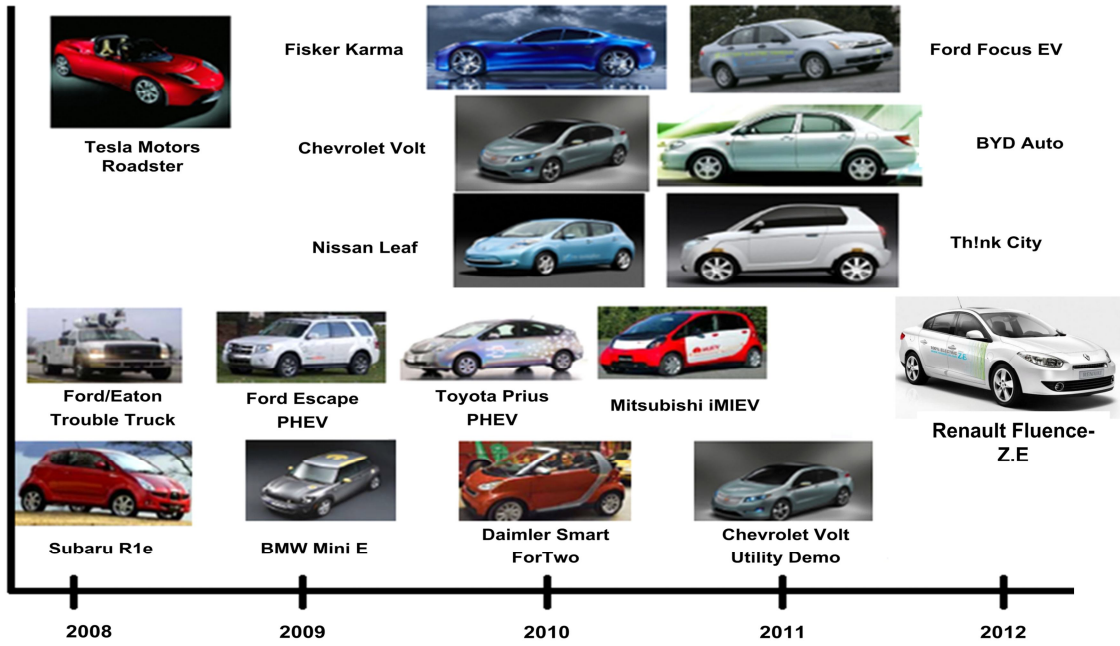
- 1988 yılında Japonya’da DC tahriki AC’nin yerini almış hem kurşun-asit hem de nikel-demir bataryaları ile senkron ve indüksiyon tahrik motorları kullanılmıştır [23].
- 1990 yılında Kaliforniya Hava Kaynakları Meclisi (CARB), Kaliforniya’da 1998 yılında satılacak tüm araçların %2’sinin ve 2003 yılında satılacak tüm araçların %10’unun sıfır emisyonlu araçlar (Zero Emission Vehicle - ZEV) olması yönünde bir karar almıştır [34].
- 1990 yılından sonra birçok araç üreticisi EA geliştirmeye başlamıştır. Hali hazırda bulunan bazı EA’lara örnek olarak GM EV1, Ford Think City, Toyota RAV4, Nissan Hipermini ve Peugeot 106 Electric gösterilebilir [23].
- 1990’larda büyük araç üreticileri Tümü-EA’ların batarya ve menzil kısıtlarını gidermek için HEA geliştirme çalışmalarına başlamışlardır. Özellikle Japon Toyota Prius, Honda Insight ve Nissan Tino modellerini geliştirmiştir [31].
- ABD’de 1996 yılında pazara sunulmuş olan GM EV1, şehir içi kullanımı için tasarlanmıştır. Bataryaların araca toplam 145 km menzil sağlayabildiği belirtilmektedir [34].



Şekil 2. 6 1996 yılında pazara sunulmuş olan General Motors EV1 EA [35]

- 1996 yılında Toyota RAV 4 EV otomotiv pazarında yerini almıştır.

- 1998 yılında GM bir başka opsiyon olarak nikel- metal hidrür (NiMH) bataryaları kullanmıştır.
- 1999 yılında Ford Think City adlı 2 kişilik EA'sını piyasaya sürmüştür.
- 2000 yılından itibaren, yeni batarya teknolojileri üzerine yapılan çalışmalar hızlanmıştır. Ayrıca hem EA'ların çeşitinde hem de sayısında bir artış sağlanmıştır. Son dönemdeki artışa örnek olması için Şekil 2.7'de 2008 yılından sonra piyasa çıkmış ve çıkacak EA'ların bazıları gösterilmiştir.



Şekil 2. 7 2008 yılından sonra piyasa çıkmış ve çıkacak bazı EA çeşitleri

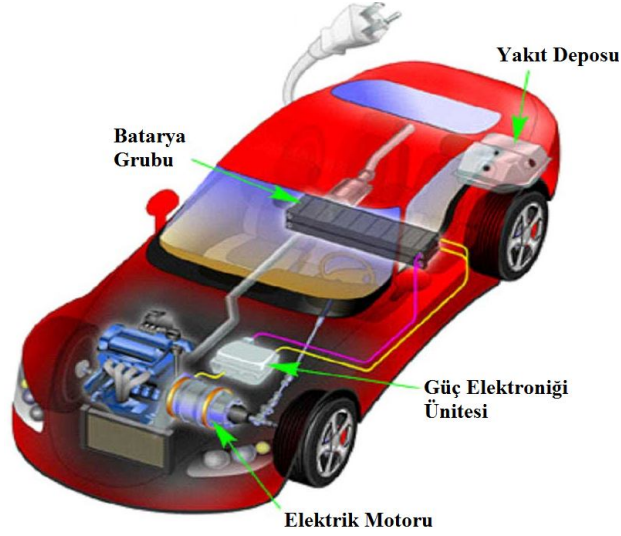
2.2 Elektrikli Araç Sistemleri

EA'lar sahip oldukları donanımlar ve çalışma prensiplerindeki farklılıklar sebebiyle kendi içerisinde sınıflandırılmaktadır. EA'lar genel olarak üç grup altında incelenebilmektedir. Bu gruplar sırasıyla HEA'lar, yakıt hücresel EA'lar ve tümü EA'lardır (TEA) [23].

2.2.1 Hibrit Elektrikli Araçlar

HEA'lar, içten yanmalı motor ile elektrik motorunun birlikte tahrik amacıyla kullanıldığı araçlardır [36]. Şekil 2.8'de bir HEA genel iç yapısı gösterilmiştir. HEA'larda farklı yöntemler ile elektrik enerjisi depo edilir ve bu enerji elektrik motorunda kullanılarak,

hem egzoz emisyonları hem de yakıt tüketimi açısından, konvansiyonel araçlara göre üstünlükler sağlanmaktadır [21].



Şekil 2. 8 Bir HEA genel içyapısı [37]

Ayrıca HEA'larda iki farklı tahrik sistemi kullanılarak, iki farklı kaynağın verimleri açısından optimize edilmesi, HEA'ların konvansiyonel bir araca göre yakıt tüketimi ve emisyon açısından daha verimli hale gelmelerini sağlamaktadır [21]. HEA'lar kendi içinde çeşitli kategorilere ayrılmaktadır. İlk olarak HEA'lar hibritleştirme seviyesine göre, mikro, hafif ve tam hibrit olmak üzere üç grupta ayrılmaktadır. Hibritleştirme oranı, araçta kullanılan elektrik motoru gücünün toplam araç gücüne oranı olarak ifade edilebilir. Hibritleştirme derecesine göre HEA'ların sınıflandırılması Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. 1 Hibritleştirme dereceleri [38]

	Mikro Hibrit	Hafif Hibrit	Tam Hibrit
Motor Durdurma, Aksesuar Yük Paylaşımı	√	√	√
Yalnız Elektrik Motoru ile Araç Sürme	-	-	√
Fren Enerjisinin Geri Kazanımı	√	√	√
Seyir Gücü Paylaşımı	-	√	√

Mikro HEA'larda elektrik motoru bir kayış kasnak mekanizması ile İYM'ye bağlanmaktadır. Araca konulan elektrik motoru, İYM rölanti devrinde iken motorun açılıp kapatılması için kullanılmaktadır. İYM'ler ilk çalıştırma anında yüksek yakıt

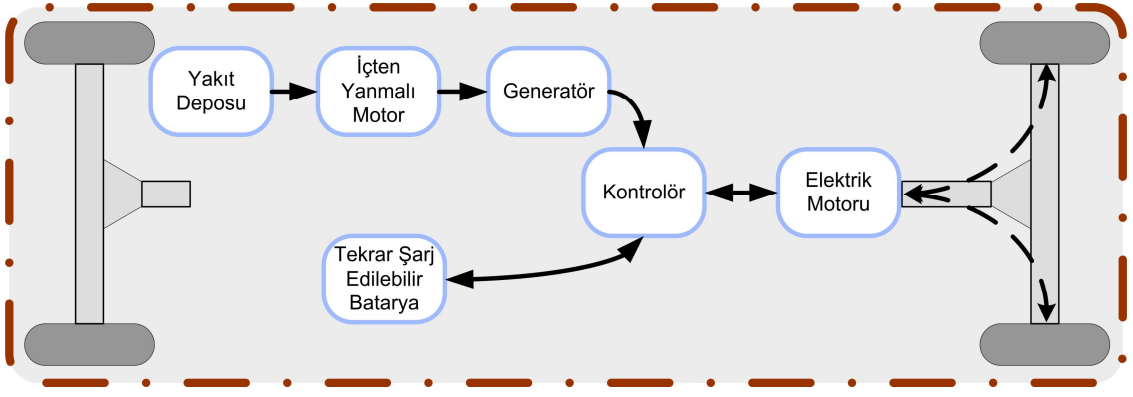
tükettiğinden Mikro HEA'larda ilk çalışma ve stabilizasyon süresi azaltmakta ve ilk çalışma anında harcanan fazla yakıttan tasarruf edilmektedir [38].

Hafif HEA'larda elektrik motoru İYM'ye destek verebilmektedir, fakat bu araçlarda elektrik motoru aracı yalnız başına götürebilecek kadar güçlü değildir. Mikro hibritlerde olduğu gibi rejeneratif frenleme de bu tiplerde mevcuttur [21].

Tam HEA'larda diğer HEA'lardan farklı olarak, seyir hızına göre tam HEA'larda elektrik motoru araç yükünün bir kısmını ya da tamamını kendi başına sağlayabilir. Önceki sistemlere göre daha güçlü motor ve batarya gerektirdiğinden sistem kontrolü de daha karmaşıktır. Tam HEA'larda yüksek oranlarda yakıt tasarrufu sağlanabilmektedir [21].

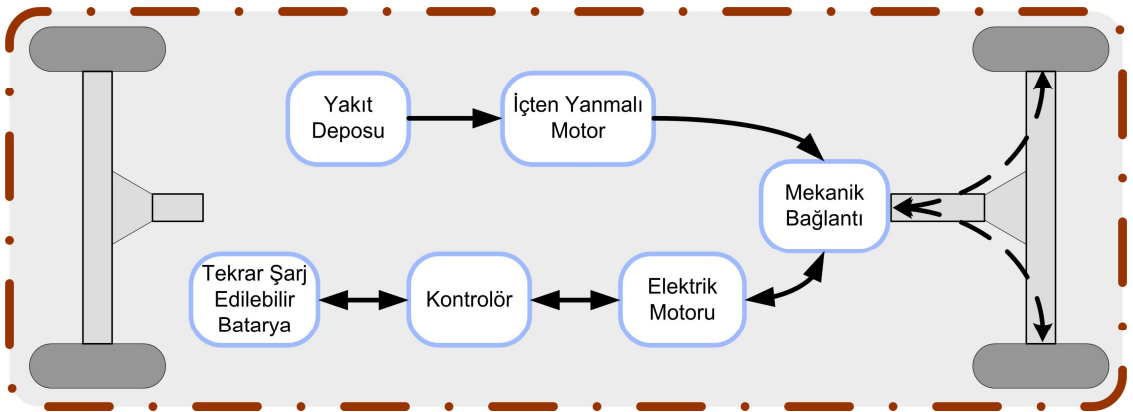
İkinci olarak, HEA'ları güç organlarının birbirleri ile olan ilişkisine göre de sınıflandırmak mümkündür. Bunlar sırasıyla seri, paralel ve seri-paralel (karma) HEA'lardır.

Şekil 2.9'da gösterildiği gibi seri HEA'larda, şarj edilebilen bir batarya, bir İYM, bir generatör, bir kontrolör ve aracın hareketi için kullanılan bir elektrik motoru bulunmaktadır. Seri HEA'larda İYM ile şasi arasında bağlantı olmadığından dolayı kavrama ünitesi bulunmamaktadır. Seri HEA'da elektrik motoru, girişindeki elektriksel gücü aracın tahrik edilmesinde kullanmak üzere mekanik güce çevirmektedir. Bu araçlarda yalnızca elektrik motoru ile araç tahrik edildiğinden, elektrik motoru ve batarya aracın performans gereksinimlerini karşılayacak kadar büyük boyutlarda olmalıdır. İYM'nin çıkışındaki generatör, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirmektedir. Böylece üretilen elektrik enerjisi, batarya sisteminin elektrik enerjisiyle birlikte kontrolörde birleşmektedir. Kontrolör, aracın güç ihtiyacına göre hangi kaynaktan ne kadar güç çekeceğine karar vermektedir. Ayrıca frenleme zamanlarında, EA'nın tahrik edilmesinde kullanılan elektrik motoru, generatör olarak çalışmaktadır. Böylelikle mevcut enerji elektrik enerjisine dönüştürülerek, batarya bu zaman dilimlerinde şarj edilmektedir. Bu faydalı frenleme (rejeneratif frenleme) zamanlarında, kontrolör İYM'yi ve generatörü devre dışı bırakır. Sonuç olarak, bu çalışma durumu ile enerjinin geri kazanılması sağlanmaktadır [39].



Şekil 2. 9 Seri HEA yapısı

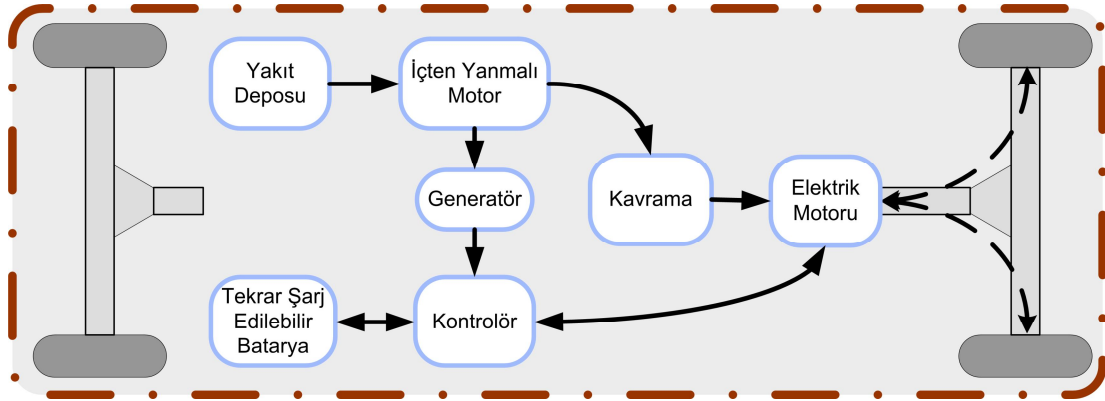
Şekil 2.10'da gösterilen paralel HEA yapısında ise İYM ve elektrik motoru aynı mil üzerinden mekanik bağlantı ile doğrudan tekerlekleri paralel bir şekilde tahrik etmektedir. Paralel HEA'larda iki motor da tahrik işlemini birlikte gerçekleştirdiğinden dolayı, seri HEA'lara göre daha küçük boyutta bir İYM kullanılabilir. Bu yapıda da kontrolör, aracın yük talebine göre hangi kaynaktan ne kadar güç çekileceğini belirlemektedir. Kontrolör bu işlemi gerçekleştirirken İYM'yi en verimli şekilde işleterek yakıt tasarrufunu azami hale getirmeyi hedeflemektedir. Ayrıca bu yapıda genellikle düşük hızlarda yalnızca elektrik motoru devrede iken, İYM güç talebinin arttığı yüksek hızlarda devreye girmektedir. Bu çalışma şekliyle İYM verimli çalıştığı yüksek devirlerde işletilirken, düşük hızlarda sadece elektrik motoru kullanılarak zararlı gaz emisyonu azaltılabilmektedir [27].



Şekil 2. 10 Paralel HEA yapısı

Bir diğer HEA yapısı ise Şekil 2.11'de gösterilen seri-paralel (karma) HEA'dır. Seri-paralel HEA yapısında hem seri hem de paralel HEA'nın özelliklerini gösterebilmektedir. Bu HEA yapısı paralel HEA'ya benzemekle birlikte, İYM ile elektrik motoru arasında seri

HEA yapısında olduğu gibi bir generatör üzerinden ayrı bir bağlantı da bulunmaktadır. Karma HEA yapısı, düşük hızlarda seri HEA gibi çalışmaktadır. Yüksek hızlarda ise İYM, paralel HEA yapısındaki gibi doğrudan tekerlere güç aktarmaktadır. Böylelikle yüksek güçlerde seri HEA'daki dönüşüm kayıpları ile kaybedilen enerji asgari hale getirilmiş olmaktadır [40].



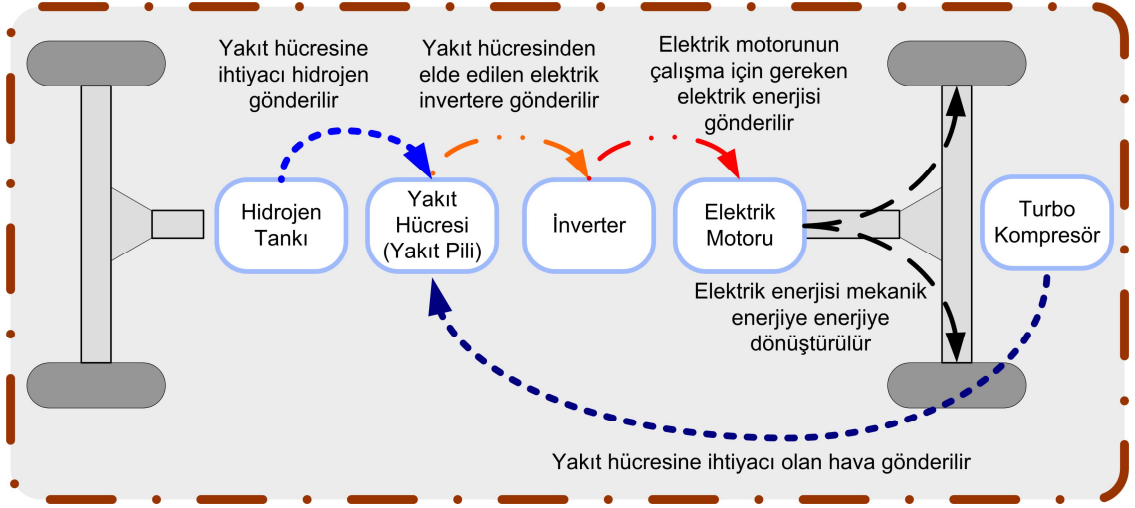
Şekil 2. 11 Seri-Paralel HEA yapısı

Bahsedilen bu HEA yapıları dışında son yıllarda üzerinde yoğunlukla çalışılan yeni bir HEA tipi bulunmaktadır. Bu tip ise şarj edilebilen HEA'lardır (Plug-in hybrid electric vehicle - PHEV).

PHEV'ler HEA'ların çoğu özelliğine sahiptir. Diğer HEA'lardan farklı olarak PHEV'ler, sahip oldukları yapı sayesinde şebekeye bağlanarak şarj olabilmektedir. HEA'lar, TEA'ların uzun bir seyahat sağlayamaması, bataryaların ağır ve verimlerinin düşük olması, elektrik motorlarının maliyetinin pahalı olması sebepleri sonucunda yapılan araştırmalarla ön plana çıkmıştır [37]. Ancak bu araçlar da fosil yakıtlara bağımlıdır. Ayrıca, hem iki adet motora sahip olması hem de daha fazla üniteye sahip olması HEA'ların ağır olmalarına sebep olmaktadır. Bu sebeplerle, HEA'nın verimleri tamamen TEA'larla karşılaştırıldığında oldukça düşüktür. Bahsi geçen nedenlerden dolayı batarya teknolojisi gelişip ucuzlayıncaya kadar HEA'lar bir geçiş teknolojisi olarak kullanılacaktır.

2.2.2 Yakıt Hücresel Elektrikli Araçlar

Yakıt hücresel (yakıt pilli) EA'lar (fuel cell electric vehicle - FCEV), TEA ve HEA'lara benzer hareket sistemine sahiptirler. FCEV'lerin genel olarak yapısı ve çalışma prensibi Şekil 2.12'da gösterilmiştir [41].

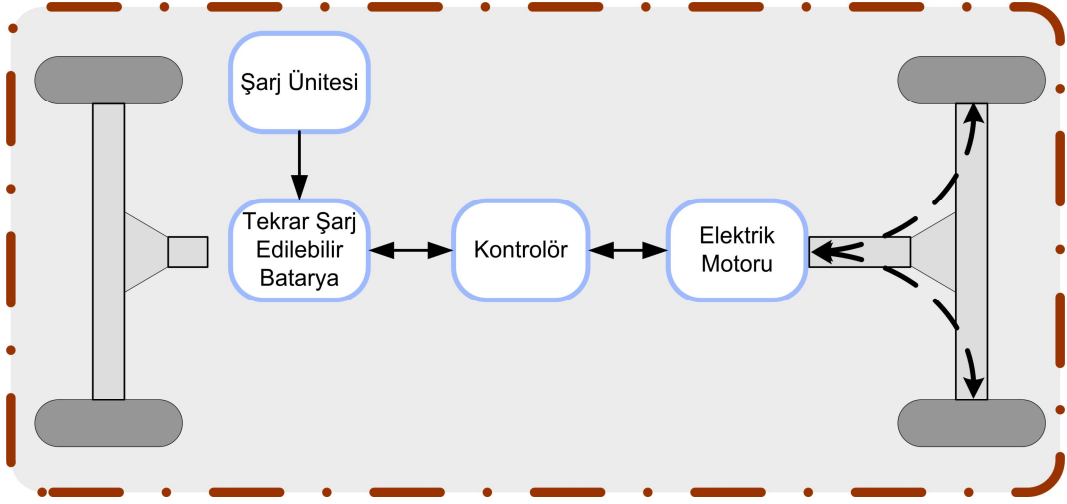


Şekil 2. 12 Yakıt hücresel EA'nın genel olarak çalışma prensibi

FCEV'lerde yakıt olarak kullanılan hidrojenin doğada en fazla bulunan element olması, doğrudan hidrojenin kullanılması ile birlikte FCEV'lerin sıfır emisyon sağlama potansiyeli, büyük otomotiv firmalarını FCEV sistemleri üzerine önemli çalışmalar ve yatırımlar yapmaya yönlendirmiştir. Özellikle Honda, prototip olarak Honda FCX isimli FCEV bir EA modeli geliştirmiştir. Honda, bu modelin gelişmiş bir versiyonu olarak FCX Clarity isimli bir taşıtı 2008 yılında piyasaya sürmüş ve Amerika'nın bazı eyaletlerinde ticari olarak satışa sunmuştur. Ancak özellikle geleceğin teknolojisi olarak düşünülen FCEV'ler için günümüzde hala çeşitli sorunlar mevcuttur. Bunlardan en önemlisi yakıt hücresi teknolojisinin nispeten pahalı bir konumda olmasıdır. Ayrıca yakıt olarak kullanılan hidrojenin araca yüklenebileceği hidrojen istasyonlarının sayısı oldukça sınırlıdır. Bunun yanı sıra, hidrojenin depolanması ve araç içerisinde hidrojen tüplerinin yerleştirileceği alanın belirlenmesi de araştırmacıların üzerine çalıştığı önemli konular arasındadır [40]. Bu problemlerden dolayı FCEV'ler, yakın gelecekte ticari olarak kullanılmaları mümkün gözükmeyen uzun vadeli bir çözümdür.

2.2.3 Tümü Elektrikli Araçlar

TEA'lar, çevreye duyarlı araçlar olmaları nedeniyle İYM'li araçlara alternatif olarak gösterilmektedirler. Şekil 2.13'de gösterilen TEA'ların yapısında elektrik motoru, güç dönüştürücüleri içeren kontrolör ve batarya ünitesi bulunmaktadır.



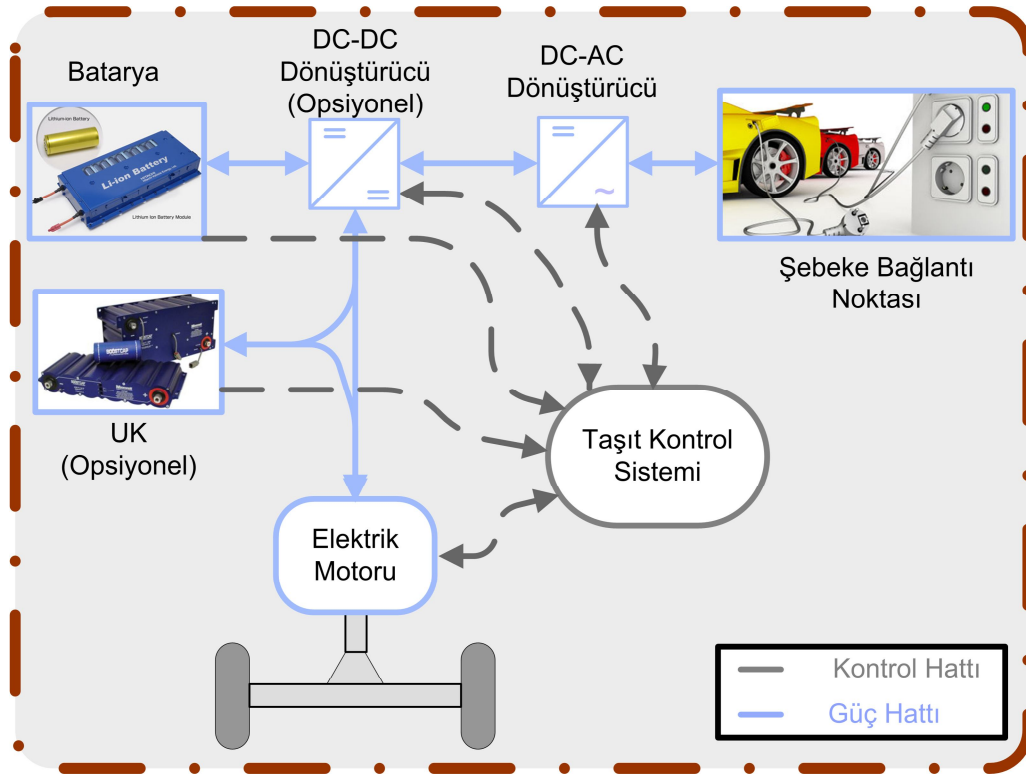
Şekil 2. 13 TEA'nın genel olarak iç yapısı

TEA'lar elektrik motoru tarafından tahrik edilmektedir. TEA'da yüksek miktarda itme kuvvetinin sağlanabilmesi için gerektiğinde birden fazla elektrik motoru kullanılabildiği çeşitli uygulamalardan görülmektedir. Elektrik motoruna sağlanan güç ise enerji depolama sistemlerinden elde edilen elektrik enerjisinden sağlanmaktadır. Burada gücün elde edilebilmesi için gerekli olan enerji şarj edilebilir bataryalardan elde edilir. TEA'ların şarj edilebilir bataryalarında depolanmış bulunan elektrik enerjisi motor kontrolörüne güç sağlamaktadır. Motor kontrolörü gaz pedalının pozisyonuna bağlı olarak elektrik motoruna gidecek gücün miktarını ayarlamaktadır [42]. Ayrıca TEA'larda bataryaya ilave yardımcı güç kaynağı olarak ultrakapasitör de kullanılabilmektedir [27]. Bu yardımcı güç kaynağı pik çalışma şartları altında örneğin bir yokuşu tırmanırken veya ivmelenirken kısa periyotlar için yüksek güç sağlayabilmek amacıyla kullanılmaktadır.

TEA'larda fosil kökenli yakıt kullanılmadığından dolayı, bu araçlar zararlı gaz emisyonuna neden olmamaktadır. Bu sebeple, TEA'lar "sıfır emisyonlu araçlar" olarak adlandırılır [3]. Araçta bulunan bataryaların şarj edilmesi için gerekli elektriğin fosil kökenli yakıt tüketen santraller tarafından sağlanması sonucunda az miktarda zararlı gaz emisyonu üretilmektedir. Ancak, TEA'lar tüm yakıt çevrimi boyunca konvansiyonel

araçlara göre daha az seviyede zararlı gaz emisyonlarının üretilmesine neden olmaktadır. Buna ek olarak, TEA’larda İYM yerine elektrik motoru kullanıldığından bu araçlar sessiz çalışmaktadır ve gürültü oluşturmamaktadır. Ayrıca HEA’larda bahsedildiği gibi TEA’larda da rejeneratif frenleme sayesinde bataryalar yolda şarj edilebilmektedir. Yakıt maliyeti ve bakım maliyetleri konvansiyonel araçlara göre çok daha düşüktür. Ayrıca hareketli elemanlar fazla olmadığı için bunların ayarına ya da yağ değişikliğine gerek yoktur [1], [27].

Bu araçların ön plana çıkan özelliklerinden birisi de şarj işlemi için aracın bir fiş ile şebekeye bağlanabilmesidir. Bu durumdan dolayı literatürde bu araçlara şarj edilebilen elektrikli araçlar denilmektedir. Bu sayede elektrik olan her yerde EA şarj edilebilmektedir. ŞEEA’ların genel olarak içyapısı Şekil 2.14’da gösterilmiştir.



Şekil 2. 14 ŞEEA’ların genel olarak içyapısı

Günümüzde bu araçların yaygınlaşmasını sınırlayan bazı faktörler bulunmaktadır. Şu anda sınırlayıcı etkenlerin başında TEA’ların menzilleri ve batarya maliyetleri gelmektedir [43]. TEA’ların menzilleri, gelişen batarya teknolojisine bağlı olarak artmaktadır [44]. Ayrıca batarya teknolojisindeki gelişmeler sayesinde batarya maliyetlerinin azalması öngörülmektedir. Bu gelişmeler EA’lar için önem arz

etmektedir, bu sayede TEA'lar istenilen özelliklere kavuşmakta ve popülerlikleri de artmaktadır.

2.3 Tümü Elektrikli Araçda Kullanılan Alt Sistemler

TEA'ları oluşturan çeşitli alt sistemler bulunmaktadır. Bunlar sırası ile enerji depolama sistemleri, güç dönüştürücüleri ve tahrik sistemleridir.

2.3.1 Enerji Depolama Sistemleri

TEA uygulamalarında enerji depolamak için yaygın olarak batarya ve ultrakapasitör donanımları kullanılmaktadır.

2.3.1.1 Bataryalar

Elektrik enerjisini kimyasal ortamda depolamaya yarayan bataryalar, EA'ların temel enerji kaynaklarıdır [45]. EA uygulamalarında kullanılan bataryaların yüksek güç yoğunluğuna, yüksek enerji yoğunluğuna, uzun çevrim ömrüne sahip olması ve çevre dostu olması istenmektedir [46].

Enerji yoğunluğu enerji kaynağının birim kütlesinde depolanan enerji miktarını göstermektedir. Güç yoğunluğu ise enerji kaynağının birim kütlesinin verdiği güç olarak ifade edilmektedir [23]. Bataryanın yüksek güç yoğunluğuna sahip olması sayesinde aracın ani hızlanmasıyla bataryadan yüksek değerlerde akımlar çekilebilirken, bataryanın yüksek enerji yoğunluğuna sahip olması sayesinde hem araç daha fazla kilometre kat eder hem de daha az şarj çevrimi gerektirir. Bataryanın uzun ömürlü olması sayesinde bataryanın masrafları düşer ve batarya dış etkenlerden az etkilenir. Bataryanın çevre dostu olması sayesinde ise hem bataryaların geri dönüşümü yapılabilir hem de bataryalardaki toksik maddeler azalır [46].

Günümüzde oldukça farklı bataryalar bulunmaktadır. Bu bataryalar fiyat, enerji yoğunluğu, güç yoğunluğu ve çalışma sıcaklıkları bakımından birbirlerinden farklılıklar göstermektedir [47].

Çizelge 2.2'de EA'larda kullanılan bataryaların teknik ve genel özellikleri verilmiştir [48], [49], [50]. Çizelge 2.2'de yer alan bataryalardan NiMh ile Lityum-iyon bataryalar

özellikleri dolayısıyla EA uygulamalarında ön plana çıkmaktadır. Ancak, batarya teknolojisindeki gelişmeler sonucunda, özellikle Lityum-iyon bataryaların enerji yoğunluğu yüksek değerlere çıkmıştır. Lityum-iyon bataryanın bu özelliği dolayısıyla, anlık olarak sürekli çekilen akımın çok üstünde akım verebilmektedir. Bu sebeple şu an diğer bataryalara göre daha popülerdir. Ancak hala geliştirilmeye ihtiyaç duyan özellikleri vardır. Lityum-iyon bataryalar üzerine çalışmalar yapılarak EA'ların menzilleri daha da uzatılmak istenmektedir. Çizelge 2.3'de yapılan çalışmalar sonucunda yakın ve uzun dönem sonucunda ulaşılması planlanan lityum-iyon bataryaların özellikleri verilmiştir [51].

Çizelge 2. 2 EA'larda kullanılan bataryaların özellikleri

	NiCd	NiMH	NiZn	Kurşun - Asit	Zebra NaNiCl	Lityum- iyon Kobalt	Lityum- iyon Manganez	Lityum- iyon Fosfat	Lityum- iyon Polimer	Lityum Demir Fosfat
Üretime Geçiş Tarihi	1950	1990	-	1970	1982	1991	1996	2006	1996	-
EA'larda Kullanımı	Zayıf	HEA	HEA	Zayıf	TEA, HEA, PHEA	Zayıf	TEA, HEA, PHEA	TEA, HEA, PHEA	TEA, HEA, PHEA	TEA, HEA, PHEA
Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	45 ~ 80	60 ~ 120	60	30 ~ 50	90 ~ 120	150 ~ 190	100 ~ 135	90 ~ 120	130 ~ 225	90 ~ 120
Çevrim Ömrü	1500	300 ~ 500	200~500	200 ~ 300	1000	300 ~ 500	300 ~ 600	> 1000	> 1000	2000
Hızlı Şarj Süresi (saat)	1	2 ~ 4	1	8 ~ 16	1	1.5 ~ 3	< 1	< 1	< 1	< 1
Aşırı Şarj Dayanımı	Orta	Düşük	-	Yüksek	-	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük
Özboşalım /Ay	20%	30%	20%	5%	0%	<10%	<10%	<10%	5%	0.3%
Hücre Gerilimi (V)	1.25	1.25	1.7	2	2.58	3.7	3.8	3.3	3.7	3.3
En iyi yük akımı (tepe değeri)	1C (20C)	0.5C (5C)	-	0.2C (5C)	-	<1C (<3C)	10C (>30C)	10C (>30C)	1C (10C)	-
Çalışma Sıcaklığı (°C)	-40 ~ 60	-20 ~ 60	-20 ~ 60	-20 ~ 60	270 ~ 350	-20 ~ 60	-20 ~ 60	-20 ~ 60	-20 ~ 60	-20 ~ 60
Bakım Gereksinimi	30 ~ 60 gün	60 ~ 90 gün	-	3 ~ 6 ay	Yok	-	-	-	-	-
Fiyat \$/kWh	~ 410	~ 600	~ 300	~ 50	-	> 1000	> 1000	> 1000	> 1000	> 1000

	NiCd	NiMH	NiZn	Kurşun - Asit	Zebra NaNiCl	Lityum- iyon Kobalt	Lityum- iyon Manganez	Lityum- iyon Fosfat	Lityum- iyon Polimer	Lityum Demir Fosfat
Güçlü Yönleri	Emniyetli, Uzun Ömürlü	Emniyetli, Yüksek Güçlü, Kompakt	Emniyetli , Nispeten Ucuz	Pahalı Değil, Geri Dönüştürülebilir, Oturmüş Teknolojiye Sahip	Yüksek Güçlü, Uzun Ömürlü	Kompakt, Çevre Dostu, Hafif, Hafıza Etkisi Yok	Kompakt, Çevre Dostu, Hafif, Hafıza Etkisi Yok	Kompakt, Çevre Dostu, Hafif, Hafıza Etkisi Yok	Hafif, Hafıza Etkisi Yok, Uzun Ömürlü	Kompakt, Emniyetli, Çevre Dostu, Düşük Fiyatlı, Hafıza Etkisi Yok
Zayıf Yönleri	Toksik maddeler içerir, Bakım, Maliyet, Kısmen Kompakt, Enerji Yoğunlu- ğu Düşük	Maliyet, Ömrü, Yüksek Isı Oluşturması	Az Ömürlü, Kısmen Kompakt	Kompakt Değil, Bakım Gerektirir, Anlık Yüksek Akım Veremez, Enerji Yoğunluğu Düşük, Ömrü, Gücü Yetersiz, Hızlı Şarja Uygun Değil	Yüksek Sıcaklık	Güvenlik Sorunları, Maliyet	Güvenlik Sorunları, Maliyet	Güvenlik Sorunları, Maliyet	Standart Ölçülere Sahip Değil, Maliyet, Güvenlik Sorunları	İletkenliği Zayıf, Hacim ve Ağırlık, Maliyet,

Çizelge 2. 3 Kısa ve uzun vadede ulaşılmak istenen lityum-iyon bataryaların özellikleri
[51]

	150 Km Menzilli EA		200 Km Menzilli EA		400 Km Menzilli EA	
Zaman Dilimi	Yakın Dönem	Uzun Dönem	Yakın Dönem	Uzun Dönem	Yakın Dönem	Uzun Dönem
Enerji (kWh)	33	27	44	36	88	72
Güç (kW)	75	75	75	75	75	75
Ağırlık (kg)	180 ~ 240	130 ~ 200	235 ~ 315	170 ~ 270	415 ~ 555	310 ~ 470

2.3.1.2 Ultrakapasitörler

Kondansatörler (kapasitörler) enerjiyi pozitif ve negatif elektrostatik yüklerin ayrışmasıyla depo eden cihazlardır. Kondansatör iki tane plaka olarak adlandırılan iletkenle, bunları ayıran ve dielektrik olarak adlandırılan yalıtkandan oluşmaktadır [26]. Ultrakapasitörler konvansiyonel kondansatörlerin geliştirilmiş halidir. Ultrakapasitörler geleneksel kondansatörlerden daha büyük kapasite elde etmek için yüksek alanlı elektrot malzemeler ile ince elektrolitik yalıtkanlar kullanılarak geliştirilirler. Bunu yaparken aynı zamanda, geleneksel kondansatörlerin yüksek güç yoğunluğu karakteristiklerini sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda geleneksel kondansatörlerden çok daha büyük enerji yoğunluğuna erişebilirler. Ultrakapasitörler, aynı zamanda süper kapasitör, elektrokimyasal kapasitör ve çift-katman kapasitörler olarak da adlandırılmaktadır [52].



Şekil 2. 15 48 V'luk bir ultrakapasitör modülü [53]

Ultrakapasitörlerin olumlu özelliklerinden bahsetmek gerekirse, bakım ihtiyacı duymazlar, bellek etkileri yoktur, aşırı deşarj durumları söz konusu değildir, maksimum gerilim değerlerinde ve bunun altında tutulabilirler. Geniş gerilim bandı ve geniş sıcaklık bandı içerisinde çalıştırılması durumunda herhangi bir bakım önerilmez [54]. Ultrakapasitörlerin bahsedilen bütün bu avantajlarına rağmen, bu teknolojinin en büyük problemi, kapasitörün uçları arasındaki gerilimin, 1-3 V arasında, çok düşük olmasıdır. Bu durum ultrakapasitörün depolayabileceği enerji miktarını sınırlar. Makul gerilim seviyesinde yük depolayabilmek için birçok ultrakapasitör seri bir biçimde bağlanmak zorundadır. Bu ise sadece ek maliyet değil, bunun yanında birçok düzenleme gerektirir. Ultrakapasitörleri seri bağlamakla ilgili asıl problem ise şarj dengesidir. Bu sebeple ultrakapasitörler çoğunlukla içinde şarj dengeleme devrelerini de bulunduran modüller halinde satılırlar.

Günümüzde ultrakapasitörler araç uygulamalarında, ivmelenme ve yokuş çıkma gibi ani güç gereksinimlerinde bataryalara ya da yakıt hücresine yardımcı enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Her ne kadar bazı prototip uygulamalar olsa da araçlarda uygulamalarında birinci derecede enerji kaynağı olarak kullanılmaları için enerji yoğunluklarının artırılması gerekmektedir [27].

2.3.2 Güç Dönüştürücüleri

EA'larda kullanılan güç dönüştürücüleri, iki ana başlık altında incelenebilir;

- DC-DC Dönüştürücüler
- DC-AC Dönüştürücüler (İnverterler)

2.3.2.1 DC-DC dönüştürücüler

DC-DC dönüştürücüler, çoğunlukla regüle edilmemiş DC gerilim kaynağının, kontrollü bir biçimde sabit DC gerilime dönüştürülmesi için kullanılırlar. Regüle edilmemiş DC gerilim, genellikle bir kontrolsüz doğrultucu ile sağlanır. Aküler ve yakıt hücreleri de regüle edilmemiş DC gerilim kaynağıdır. DC-DC dönüştürücülerin genel çalışma prensibi belirli bir periyot içerisinde yarı iletken anahtarın iletme ve kesime geçmesi ve sonucunda da ortalaması giriş geriliminden farklı bir çıkış geriliminin sağlanmasıdır. DC-DC dönüştürücüler anahtarlama güç kaynakları ve DC motor sürüş sistemlerinde oldukça geniş kullanım alanına sahiptir. EA uygulamalarında genellikle farklı gerilim seviyesine sahip DC sistemlerin birbirlerine bağlanması amacıyla kullanılırlar [55].

Literatürde düşürücü (buck) ve yükseltici (boost) olmak üzere iki temel çevirici topolojisinden söz edilmektedir. Düşürücü-yükseltici, flyback, forward dönüştürücüler, yarım köprü dönüştürücü ve tam köprü dönüştürücü bu iki temel devrenin kombinasyonları ile türetilmiştir. Bu dönüştürücülerin tek, çift ve dört bölgede çalışan türleri bulunmaktadır [56].

2.3.2.2 DC-AC dönüştürücüler

DC-AC dönüştürücü (inverter veya evirici), genel olarak bir DC gerilimi bir AC gerilime dönüştürür [57]. Ancak, bu dönüştürücüler yapıları gereği doğal olarak iki yönlü çalışabilmektedirler. Yani bir doğrultucu olarak çalışarak bir AC gerilimi bir DC gerilime dönüştürebilirler. Bu çalışma durumlarından dolayı inverter EA'larda hem bataryanın şarj işleminde hem aracın kesintisiz güç kaynağı olarak çalışmasında hem de araçtaki elektrik motorunun sürülmesinde kullanılabilmektedir. Dolayısıyla inverter, aracın en önemli bileşenlerinden birini oluşturmaktadır [26]. Ayrıca, tasarlanan EA'nın yapısına bağlı olarak kullanılacak olan inveter tek fazlı ya da üç fazlı olabilmektedir.

EA'lardaki elektrik motorunun (asenron motor, sürekli mıknatıslı senkron motor) sürülmesi için aracın temel enerji kaynağı olan bataryanın DC gerilimi, istenilen AC gerilime dönüştürülebilmesi için inverter kullanılır. İnverterin buradaki esas görevi, beslediği motorun ihtiyaçlarına göre istenen genlik ve frekansta, akım ve gerilim

vermektedir. Ayrıca bu inverterin aşağıdaki temel ihtiyaçları karşılayabilmesi gerekmektedir [26];

- Arzu edilen hıza göre frekansı ayarlayabilmeli,
- Sabit moment bölgesinde hava aralığı akısını korumak için gerilimi ayarlayabilmeli,
- Herhangi bir frekansta sürekli olarak nominal akımı sağlayabilmelidir.

EA'larda şarj işlemi ya bir AC-DC dönüştürücü yani bir doğrultucu ile ya da bir DC-AC dönüştürücü ünitesi ile yani inverterle AC gerilimin DC gerilime dönüştürülmesi sağlanır. Ardından bahsi geçen DC gerilim, yapılan tasarıma bağlı olarak doğrudan veya bir DC-DC dönüştürücü aracılığıyla EA'nın bataryalarını şarj etmek için kullanılmaktadır [12].

Ayrıca şarj işleminde yapılan işlemlerin tersinin yapılması halinde, yani dolu bataryanın yapılan tasarıma bağlı olarak doğrudan veya bir DC-DC dönüştürücü aracılığıyla invertere bağlanarak EA, uygun durumdaki yükleri besleyebilmektedir. EA'lar büyük miktarda enerji depoladıklarından dolayı, inverter sisteminin uygun olarak tasarlanması ve adalamaya dikkat edilmesi halinde EA'lar kesintisiz güç kaynağı gibi kullanılabilirler. Sonuç olarak belirtilen inverter, hem şebekeyle bağlantıyı direkt sağlayan ünite olacağından hem de çift yönlü enerji alışverişine olanak sağlayacağından dolayı bu ünitenin seçimi, tasarımı ve kontrolü önem arz etmektedir [57], [58], [59], [60].

2.3.3 Tahrik Sistemleri

TEA'lar ve HEA'larda kullanılan tahrik sistemleri elektrik motoru, güç elektroniği ve kontrol ünitelerinden oluşur. Günümüze kadar farklı elektrik motor tipleri tümü elektrikli ve HEA'larda denenmiştir. TEA ve HEA motorlarında beklenen özellikler şunlardır [23];

- Yüksek anlık güç ve yüksek güç yoğunluğu,
- Kalkış ve yokuş tırmanma durumları için düşük hızlarda yüksek moment,
- Normal seyir sırasında yüksek hızlarda yüksek güç,
- Sabit moment ve sabit güç bölgelerini içeren çok geniş hız aralığı,

- Moment ihtiyacına hızlı cevap verebilme,
- Geniş hız ve moment aralıklarında yüksek verim,
- Geri kazanımlı frenleme için yüksek verim,
- Aracın değişik çalışma koşulları için yüksek güvenilirlik ve sağlamlık,
- Kabul edilebilir seviyede maliyet.

EA tahrik sistemlerinde başlıca dört elektrik motoru kullanılmaktadır. Bunlar; DC motor, asenkron motor, sürekli mıknatıslı motor, anahtarlama relüktans motorudur. Geçmişte kontrolünün kolay olması nedeniyle tercih edilen DC motor türleri, günümüzde güç elektroniği alanında yaşanan gelişmeler sonucunda yerlerini AC motorlara bırakmaktadır. Fırça, kolektör bakım ihtiyacı DC motor kullanımının azalmasındaki en önemli faktördür. Güç elektroniği ve kontrol teknolojilerinde geline nokta, asenkron motorun hız kontrolü problem olmaktan çıkmış ve endüstride oldukça yaygın olarak kullanılan bu motor, EA'larda da kullanım imkanına kavuşmuştur. Özellikle kısa devre rotorlu asenkron motorlar, üretiminin kolaylığı, maliyet avantajı ve sağlam yapısı nedenleri ile tercih edilmektedir. Günümüzde EA'ların çoğunda asenkron motor kullanılmaktadır. Ancak, sürekli mıknatıslı elektrik motorları da gelecek vaat etmektedir [61].

2.4 Elektrikli Araçların Şarj Yöntemleri

Günümüze kadar, bataryaların EA'larda kullanımı ve şarj sistemlerine yönelik farklı teknikler geliştirilmiştir. Başlangıç olarak, P. Mukherjee ve diğerleri alçaltıcı-yükseltici dönüştürücü ve galvanik izolasyon metodu ile kurşun-asit bataryalar üzerinde [62], B. J. Masserant ve diğerleri yükseltici ve alçaltıcı dönüştürücüler ile nikel-demir bataryalar üzerinde [63], M. F. M. Elias ve diğerleri ise lityum-iyon bataryalar için bir doğru akım kaynağı ile hücre dengeleme metodu kullanarak [64] uygulamalar yapmışlardır. Günümüzde bu batarya şarj yöntemleri yerini modern şarj yöntemlerine bırakmıştır.

Modern şarj yöntemleri üç gruba ayrılmaktadır. Bu şarj yöntemleri Seviye 1 (Level 1), Seviye 2 (Level 2) ve Seviye 3 (Level 3) olarak adlandırılmaktadır. Günümüzde bu şarj yöntemleri üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Çizelge 2.4'de Seviye 1, 2 ve 3 şarj

tiplerinin temel olarak bir karşılaştırılması yapılmıştır [12], [65]. Ayrıca Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC)/Avrupa, Otomotiv Mühendisleri Birliği (SAE)/ABD, Japon Elektrikli Araç Birliği Standartları (JEVS) ve CHADEMO gibi kuruluşlar öncülüğünde EA'ların şarj modları ve elektrik bağlantıları konusunda uluslararası standartlar oluşturulmuştur. Türkiye'nin de dâhil olduğu IEC komisyonunun 61851 ve 62196 standartları, SAE'nin J1772 numaralı standardı ve CHADEMO'nun ise DC hızlı şarj standartları bulunmaktadır [66].

Çizelge 2. 4 Şarj istasyonlarının tipleri ve özellikleri

	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 3 (DC)
Gerilim Değeri	120 / 220 VAC	380 VAC	380 VAC	600 VDC
Güç Seviyesi	1.2 ~ 3.8 kW	3.8 ~ 15 kW	> 15 ~ 96 kW	> 15 ~ 240 kW
Amperaj	15 ~ 20 A	(5 ~ 20)x3 A	> 85 A	
Şarj Süresi	5 ~ 12 Saat	1 ~ 4 Saat	5 ~ 30 Dk.	

Günlük yaşantıda evlerimizde ve iş yerlerimizde bulunma sürelerimiz genellikle uzundur. Yapılan incelemeler bu sürenin 6 saatin üzerinde olduğunu göstermektedir. Doğal olarak araç sahipleri de bu sürelerde araçlarını park halinde bırakmaktadırlar. Uzun süreli park durumlarında elektrik şebekesine çok fazla yük getirmeyen yavaş şarj istasyonları kullanılmaktadır. Seviye 1 şarj, yavaş şarj olarak da bilinmektedir ve bir fazlı sistemler enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bu şarj tipinde şarj elemanları araca monte halde bulunmaktadır. Seviye 1 şarj istasyonları, şarj etme işleminde herhangi bir güç dönüştürücüsüne sahip değildir. Sadece, araç ile şebeke arasındaki haberleşmeyi sağlamaktadır ve ücretlendirme işlemini yerine getirmektedir [1], [67].

Seviye 2 şarj, orta hızlı bir şarj tipidir. Araç park etme sürelerinin 3 ile 6 saat arasında olduğu yerlerde normal şarj istasyonları kullanılmaktadır. Bu park yerleri, otoparklar, alışveriş merkezleri, sinemalar, piknik alanları vb. olarak düşünülebilir. Bu şarj tipinde de Seviye 1 şarjda olduğu gibi bir fazlı sistemler enerji kaynağı olarak kullanılmakta, şarj elemanları araca monte halde bulunmaktadır. Seviye 1 şarj istasyonlarında olduğu gibi Seviye 2 şarj istasyonlarında sadece, araç ile şebeke arasındaki haberleşmeyi sağlamaktadır ve ücretlendirme işlemini yerine getirmektedir [1], [67].

Seviye 3 şarj, hızlı şarj olarak da bilinmektedir. Mod-3 olarak da adlandırılan hızlı şarj sistemleri enerji ihtiyacının acil gerektiği yerlerde, dinlenme tesislerinde ve yoğun trafiğin olduğu yerlerde kullanılmaktadır. Genel olarak, park sürelerinin yarım saatten az olduğu yerler de denilebilir. Özel olarak koruma elemanları ile imal edilmesi gerektiğinden hızlı şarj istasyonları yüksek güvenlidir. Bağlantı kablolarının her iki tarafında da sinyal ve kontrol pinleri bulunmaktadır. Bu istasyonlarda 250 A maksimum akım seviyesine çıkılabilmektedir. Ayrıca IEC 61851-1 standardına göre mod-4 olarak adlandırılan DC hızlı şarj durumunda ise maksimum 600 V, 400 A seviyesine kadar çıkılmasına izin verilmektedir. Fakat DC hızlı şarj istasyonlarının maliyetleri ise diğer şarj modlarına göre çok daha yüksektir [68]. Tüm bunların yanında hızlı şarj istasyonlarının batarya ömürlerini olumsuz etkilediği de bir gerçektir ancak EA batarya üreticileri bu problemi aşmak için araştırmalarına devam etmektedirler.

Bahsi geçen şarj tipinin Çizelge 2.3’de gösterildiği gibi hem DC hem de AC tipi mevcuttur. Bu şarj tipinin AC olanında üç fazlı sistemler besleme için kullanılırken, DC olanında ise AC şebekeden doğrultularak elde edilen bir DC kaynak besleme için kullanılmaktadır. Seviye 3 şarj tipinde şarj elemanları, AC tipinde araca monte halde bulunurken, DC tipinde araca monte halde bulunmamaktadır [1], [68]. Bundan dolayı Seviye 3 şarj istasyonlarında, AC veya DC tipli olmasına bağlı olarak haberleşme ve ücretlendirme işlemlerinin yanı sıra şarj işlemi için gereken elemanlar da istasyonda ya da araç üzerinde olabilmektedir.



Şekil 2. 16 EA şarj istasyonları [69], [70], [71]

Bu üç şarj yöntemi aynı zamanda şarj istasyonlarında tiplerini oluşturmaktadır. Şekil 2.16'da mevcut Seviye 1, Seviye 2 ve Seviye 3 şarj istasyonlarından bazıları gösterilmiştir.

Her şarj istasyonu ihtiyaç duydukları sistem gereksinimleri dolayısıyla her yerleşim birimine kurulamamaktadır. Çizelge 2.5'de hangi seviyedeki şarj istasyonunun hangi yerleşim birimlerine kurulabileceği gösterilmiştir [72].

Çizelge 2. 5 Tiplerine göre şarj istasyonlarının kuruldukları yerler

Yerleşim Birimleri		Şarj İstasyonu Tipi		
		Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Konutlar	Müstakil Evler	√	√	-
	Apartmanlar	√	√	-
Ticari / İş Merkezleri	Özel Mülkler (Ofisler, iş yerleri)	√	√	-
	Perakende / Ticari (filo ve dağıtım hizmetleri)	√	√	-
	Kamu Alanları (Havaalanları, Oteller, Marketler, Hastaneler, Alışveriş Merkezleri, vb.)	√	√	√
	Hükümet, Üniversiteler ve Belediye Tesisleri	√	√	-
	Bağlantı Geçiş Noktaları	-	√	√
	Benzin İstasyonları	-	√	√
	Park Alanları	√	√	√
Topluma Açık Alanlar	Cadde	-	√	√
	Şehirler Arası Yollar ve Otobanlar	-	-	√

Yukarıda bahsedilen şarj yöntemleri dışında başka bir yöntem de vardır. Üzerinde çalışılan önemli konulardan bir diğeri ise şarjı biten bataryaların tam dolu bataryalarla hızlı bir şekilde değiştirilmesidir. Birçok firma (Tesla Motors, Better Place, Mitsubishi, Renault vb.) batarya değiştirme istasyonları kurarak EA'lar ile daha uzun mesafelerin alınmasını amaçlamaktadır. Bunun yanında taşıtlardaki bataryaların şarj-deşarj ömürlerinin ve kapasitelerinin azalmasından dolayı EA üreticilerinin bir kısmı (Renault vb.) bataryaların kiralanması ve şarj etme yerine bataryanın değiştirilmesi ile müşteri memnuniyetini arttırmayı planlamaktadır [1].



Şekil 2. 17 EA'ların bataryalarının değiştirildiği örnek bir istasyon [73]

2.5 Elektrikli Araçların Dağıtım Sistemlerine Etkileri

EA'ların piyasaya çıkmasıyla bahsi geçen mali ve çevresel problemler azalmaya başlayacaktır. Ancak EA'ların ulaşım piyasasında büyük bir yüzdeye sahip olmasıyla beraber, EA'ların şebeke üzerine bazı etkiler yapması muhtemeldir. Bu bölümde öncelikle ŞEEA'lar şarj edilirken enerji dağıtım sistemine yapabilecekleri etkilerden bahsedilecektir. Ardından da bu etkileri ortadan kaldırmak için çözümler önerilecektir.

2.5.1 Faz Dengesizliği

Üç fazlı kaynaklar daha fazla güç sağlar ve hızlı şarja olanak tanır. Ancak üç fazlı besleme noktalarının durumu şu anda sınırlıdır. Tek fazlı sisteme ait arabirim elemanları daha pratik olması ve her yerde mevcut olması dolayısıyla şarj işleminde ön plana çıkmaktadır. Ancak aynı anda farklı fazlarda farklı miktarlarda araçların şarj işlemleri sonucunda faz akımlarında dengesizler oluşacak, buna bağlı olarak dengesiz gerilim düşümleri ve dolayısıyla da gerilimlerde de dengesizlikler meydana gelebilecektir [74].

2.5.2 Güç Kalitesi Sorunları

Elektriğin iletiminde ve dağıtımında AC gerilim kullanılmaktadır. EA'larda enerji depolama kaynağı olarak batarya kullanıldığından dolayı DC gerilime ihtiyaç duyarlar. TEA'ların şarj işleminde öncelikle bir güç dönüştürücüsü ile AC gerilimin DC gerilime dönüştürülmesi sağlanır. Ardından bahsi geçen DC gerilim bir DC-DC dönüştürücü

aracılığı ile aracın bataryalarını şarj etmekte kullanılır. Bu işlemlerin her aşamasında da harmonik bileşenler üretilmektedir [75].

İnverter ve batarya şarj cihazları gibi lineer olmayan üniteler içeren yüklerin yayılması elektrik dağıtım sistemleri üzerinde gerilim bozulmalarına ve akım harmonik distorsiyonunda önemli bir artışa neden olmaktadır. Bu harmonikler, aşırı nötr akımlarına ve transformatörlerin aşırı ısınması dahil olmak üzere güç sistemi üzerinde birçok probleme neden olabilir [12].

2.5.3 Transformatörler Üzerindeki Etkileri

Transformatör üreticileri, transformatörlerin kendi belirttikleri koşullarda kullanılması halinde transformatörlerin ömürlerinin 40 ile 50 yıl arasında olacağını belirtmektedir. Ancak gerçek koşullar altında bir transformatörün ömrü ortalama olarak 17 yıldır. TEA'ların ve PHEA'ların yaygınlaşmasıyla birlikte şebekeden talep edecekleri enerji sebebiyle transformatörlerin ömürleri üzerinde olumsuz etkiler yapması beklenmektedir. İlk olarak, şarj taleplerindeki artışlar sebebiyle transformatörlerin yüklenmesi artacak ve transformatörlerin ısısı artacaktır. Bu ısı artışı da transformatörün ömrünü kısaltacaktır. İkinci olarak, pik zamanları dışında şarj işleminin yapılmasından dolayı oluşan daha düzgün bir yük profili, transformatörün sıcaklığına bağlı olarak oluşan günlük genleşme ve büzüşmelerini azaltabilir. Bu da transformatörünün mekanik aşınma ve yıpranma miktarını azaltır [76].

TEA'larda ve PHEA'lardaki şarj ünitelerinde dolayı oluşan harmonikler, dağıtım sistemlerinin altyapılarına da olumsuz etkiler yapabilir. Harmonikler sebebiyle transformatörün nüvesi üzerindeki girdap (eddy) akımlarında bir artış olur ve transformatör sargılarının deri derinliğinde azalma olabilir bu sebepler dolayısıyla transformatörün ortalama sıcaklığı artar. Bu sıcaklık artışından dolayı da güç kayıpları oluşur. Sıcaklık ve harmonik distorsiyonu dışında şarj karakteristikleri ile trafo başına düşen araç sayısının artışı da transformatörün kullanım ömrünü azaltmaktadır [77], [78].

Ayrıca, TEA'lar ve PHEV'ların pazar payları belirli bir oranın üzerine çıktığında farklı şarj etme zamanlamalarına bağlı olarak farklı tepe noktaları oluşabilecek ve dağıtım transformatörlerinde kapasite zorlanmalarına sebep olacaktır.

EA'ların büyük oranda ulaşım sektörüne sahip olmasıyla beraber yukarıda belirtilen problemlerin ortaya çıkma ihtimali çok yüksektir. Bu problemlerin çözümüne yönelik araştırmalar yapılmaktadır. Bu problemleri engellemek için ilk akla gelen yöntem, var olan dağıtım transformatörlerinin ve iletkenlerin kapasitelerinin artırılmasıdır. Ancak bu çözüm oldukça pahalıdır. Bu nedenle, var olan elektrik sistemini daha etkin kullanabilmek için, elektrik tüketim talebinin kontrol altında tutulması daha uygundur. EA'ların elektrik talebinin kontrol altında tutulması için çeşitli çalışma durumları vardır. Bütün çalışma durumları Çizelge 2.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 2. 6 EA'ların şebekeyle etkileşimli çalışma durumları

	Bilinen Diğer Adları	Gerçek Zamanlı İletişim	Kullanıcılar İçin Yakıt Ucuzluğu	Zaman Ayarlı Şarj	Yedek Güç Olarak Kullanılabilme	İki Yönlü Çalışma	Pik Saatler Dışında Şarj Olabilme	İhtiyaç Fazlası Yenilenebilir Enerjilerin Depolanması
V0G	Kolay Şarj	X	√	X	X	X	√	X
Zaman Ayarlı Şarj	-	X	√+	√	X	X	√	X
V1G	Akıllı Şarj	√	√	√	X	X	√	X
V2H	V2B	X	√+	√	√	X	√	√
V2G	-	√	√+	√	√	√	√	√
V2G NGU	-	√	√+	√	√	√+	√	√

X: yok, √:var, √+: var (daha iyisi)

V1G çalışma durumunda, ŞEEA şebeke ile gerçek zamanlı olarak iletişim içindedir ve şebekenin uygun olduğu anda şarj işlemi gerçekleştirilir [19].

V2G çalışma durumunda da ŞEEA şebeke ile gerçek zamanlı olarak iletişim içindedir. Şebekeden talep edilen enerji çok yüksek değerlere ulaştığında ŞEEA'ya ait dolu bataryalar şebekeye yedek güç sağlamaktadır ve ŞEEA bir dağıtım generatörü gibi davranmaktadır [12], [20].

V2G NGU çalışma durumu, V2G çalışma durumunun geliştirilmiş halidir. Bu çalışma durumu gelecekte akıllı şebekelerin yaygınlaşmasıyla birlikte ortaya çıkacaktır [19].

V0G'de, araç prize takıldığı anda şarj olmaya başlar. Bu çalışma durumunda herhangi bir kontrol mekanizması olmadığı için özellikle pik anlarda şebeke için risk teşkil etmektedir [20].

Zamanlı şarj çalışma durumunda, araç ayarlanan zamandan önce şarj olmamaktadır. Bu zaman şebekenin pik değerlerine göre ayarlanmaktadır. Bu çalışma durumu V0G'ye göre şebeke açısından daha güvenilirdir [20].

V2H çalışma durumunda, ŞEEA'nın şebekeyle bir etkileşimi bulunmamaktadır ve ŞEEA şebekeden bağımsız olarak bir binanın veya evin enerji ihtiyacını bir generatör gibi karşılamaktadır. Ancak, bu çalışma durumu kullanılacağı zaman adalama işleminin gerçekleştirilmesine dikkat edilmelidir. Dikkat edilmediği takdirde ev ile arızanın olduğu yer arasında enerji olacaktır ve arızayı gidermeye çalışan kişiler zarar görecektir. [19].

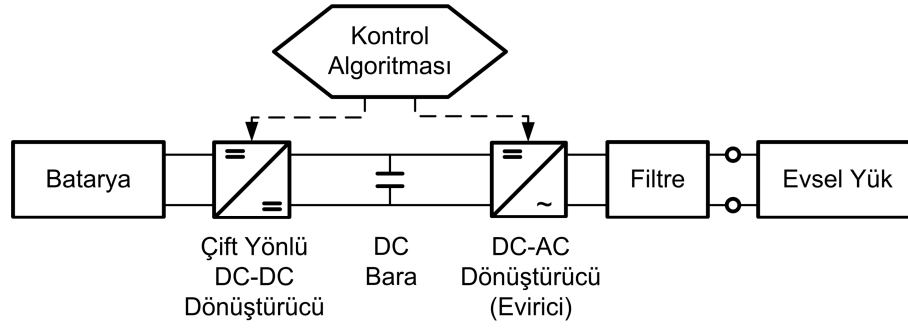
EA'ların bu çalışma durumlarını gerçekleştirmesi için sahip oldukları güç elektroniği devrelerinin ona göre tasarlanması gerekmektedir. Ayrıca tasarlanan devrelerin kontrolü için uygun donanımlar ve yazılımlar hazırlanması önem arz etmektedir.

YAPILAN BENZETİM ÇALIŞMALARI VE SONUÇLARI

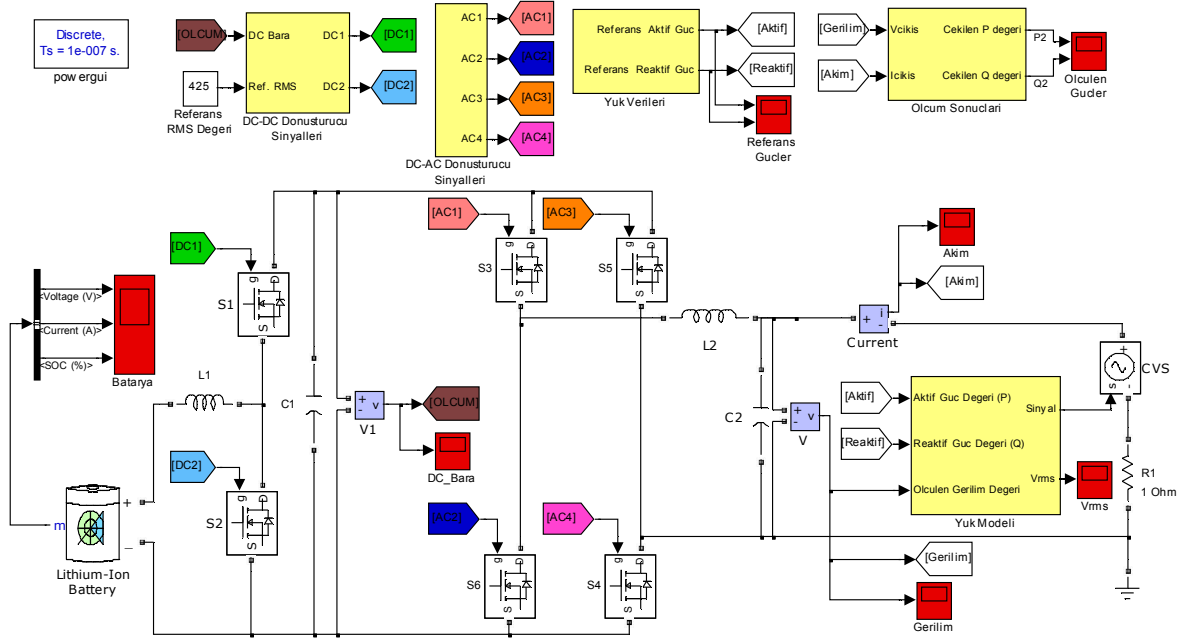
Test platformu üzerinde çalışmalara başlamadan önce yapılması planlanan sistemin, elemanların ve algoritmanın doğruluğunu test etmek ve geliştirmek amacıyla benzetim ortamında çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Benzetim çalışması için MATLAB programı içinde yer alan ve dinamik sistemleri modelleme, çalıştırma ve analiz etmek için hazırlanmış bir yazılım olan Simulink tercih edilmiştir.

Gerçekleştirilen benzetim çalışmasında öncelikle, sistemi meydana getiren bütün alt sistemler teker teker hazırlanmıştır. Hazırlanan alt sistemler sırasıyla, DC-DC dönüştürücü, DC-AC dönüştürücü ve yük modelidir. İlk olarak, dışarıdan aktif ve reaktif güç bilgisini alan ve bu istenilen güç değerini bataryadan talep eden bir yük modeli oluşturulmuştur. Ardından, bu güç değerlerinin bataryadan çekilebilmesi için gerekli olan güç dönüştürücüleri ile filtre üniteleri hazırlanarak, yük beslenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, Şekil 3.1’de blok diyagramı ve Şekil 3.2’de de benzetim modeli verilen sistem oluşturulmuştur. Bu benzetim çalışmasına EA’nın şarj işlemi dahil edilmemiştir. Bu durumun temel sebebi ise benzetimin çok ayrıntılı çalışması ve buna bağlı olarak da benzetimin çok yavaş çalışmasıdır. Bu durumdan dolayı da evi şebekeden ayıracak bir adalama sistemi modellenmemiş ve benzetim çalışmasında kullanılmamıştır.



Şekil 3. 1 Benzetim çalışmasına ait blok diyagramı



Şekil 3. 2 Oluşturulan benzetim sistemi

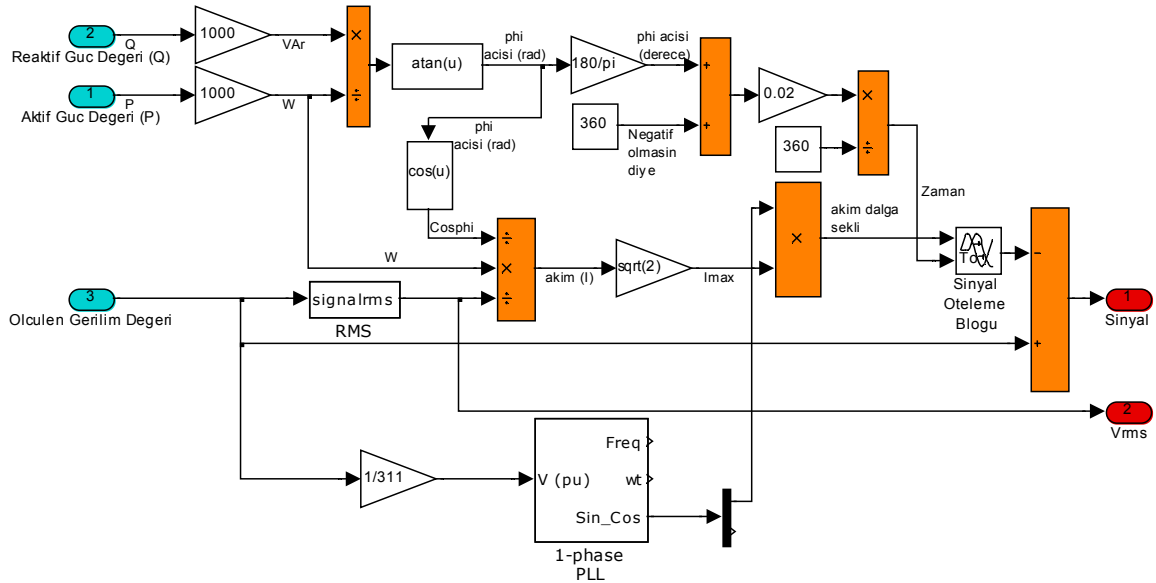
3.1 Benzetim Çalışmasının Oluşturulması ve Kontrolü

Hazırlanan benzetim çalışması 4 üniteden oluşmaktadır. Benzetim çalışmasında sürekli kontrol edilmesi gereken üç ünite bulunmaktadır.

İlk ünite, sürekli olarak kontrole ihtiyaç duymayan batarya ünitesidir. Bu çalışmada, Simulink kütüphanesi içerisinde yer alan bir batarya seçilmiştir. Bu bataryanın cinsi lityum-iyon olmakla beraber değerleri 240V, 10Ah ve bataryanın şarjlılık durumu (State of Charge - SoC) %100 olarak seçilmiştir.

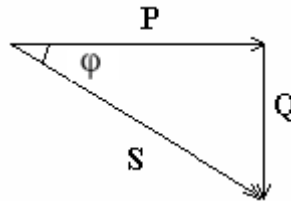
İkinci ünite, benzetim çalışmasında tüketim merkezini modellememizi sağlayan yük ünitesidir. Bu yük ünitesi, bir kontrollü gerilim kaynağı, bir direnç ve kontrollü gerilim kaynağına sinyal gönderen bir kontrol bloğundan oluşmaktadır. Bu sistemin temel

çalışma prensibi, yük ünitesinin kontrol bloğundan gelen sinyali kontrollü gerilim kaynağı referans almakta ve 1 ohm'luk direnç sayesinde güç talep etmektedir. Bu yük ünitesinin kontrol girişleri, aktif güç değeri (P), reaktif güç değeri (Q) ve yük uçlarındaki gerilimin ani değeridir (V). Bahsi geçen P ve Q değerleri benzetim çalışmasına dışarıdan hazır veri olarak girilmektedir. Yük ünitesinin kontrol çıkışları ise, kontrollü gerilim kaynağı için üretilen sinyal ile yük uçlarındaki gerilimin rms (Vrms) değeridir. Şekil 3.3'de kontrollü gerilim kaynağı için sinyalin nasıl üretildiği gösterilmiştir.



Şekil 3. 3 Yük modeline ait kontrol bloğu

Şekil 3.3'de gösterilen kontrol bloğunun temelini Şekil 3.4' gösterilen güç üçgeni oluşturmaktadır.



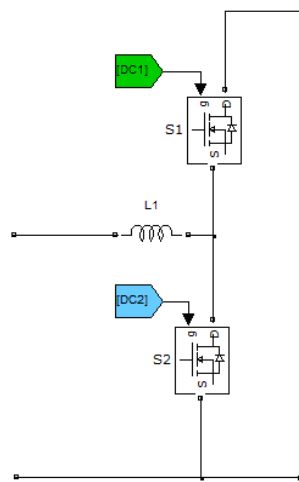
Şekil 3. 4 Aktif, reaktif ve görünen güç fazör diyagramı (Güç üçgeni)

$$\tan\phi = Q/P \quad (3.1)$$

$$P = V \cdot I \cdot \cos\phi \quad (3.2)$$

Şekil 3.3’de işlem sırasında ilk olarak, dışarıdan hazır alınan kW ve kVAr birimlerindeki güç değerleri W ve VAr birimlerine dönüştürülmektedir. Ardından Şekil 3.4’de gösterilen güç üçgeninden elde edilen (3.1) eşitliği yardımıyla önce $\tan\phi$ ardından da ϕ açısı radyan biriminde hesaplanmaktadır. Bu ϕ açısıyla ilk olarak, güç faktörü olarak adlandırılan $\cos\phi$ değeri hesaplanmaktadır. İkinci olarak, ileride oluşturulacak akım sinyali ile mevcut ölçülen gerilim sinyali arasında faz farkı oluşturmak için kullanılmaktadır. Ancak bahsi geçen faz farkını oluşturmak için ϕ açısı radyan biriminden saniye birimine dönüştürülmektedir. Daha sonra, (3.2) kullanılarak akımın rms değeri hesaplanmakta ardından da akımın tepe değeri hesaplanmaktadır. Bütün bu işlemlerin sonrasında, ölçülen gerilim sinyali baz alınarak tepe değeri 1 olan bir sinyal oluşturulmaktadır. Bu sinyal, hesaplanan akımın tepe değeri ile çarpılarak akım sinyali üretilmektedir. Üretilen akım sinyali ile mevcut gerilim sinyali arasında faz farkı bulunmamaktadır. Faz farkını oluşturmak için daha önce de bahsedilen ϕ açısının saniye cinsinden değeri kullanılmakta ve akım sinyali ötelenmektedir. Son olarak da, ölçülen gerilim sinyalinden ötelenmiş olan akım sinyali çıkarılmaktadır. Böylece, yük ünitesinin istenilen güçleri çekmesi için gerekli olan kontrol sinyali üretilmektedir.

Üçüncü ünite, mevcut batarya gerilimini inverter girişi için uygun bir DC gerilim haline getiren DC-DC dönüştürücüdür. Bu DC-DC dönüştürücü hem bataryanın şarj işlemini hem de bataryanın deşarj işlemini gerçekleştireceğinden dolayı iki yönlü çalışması gerekmektedir. Bundan dolayı Şekil 3.5’de gösterilen çift yönlü DC-DC dönüştürücü benzetim çalışmasında kullanılmıştır.

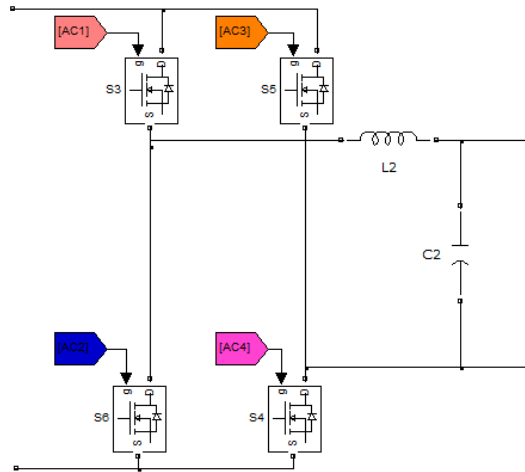


Şekil 3. 5 Benzetim çalışmasında kullanılan DC-DC dönüştürücü

Benzetim çalışmasında bahsi geçen bu çift yönlü DC-DC dönüştürücü bataryayı sadece deşarj edecek şekilde çalışmaktadır. Yani DC-DC dönüştürücü kontrolü, sadece yükseltici çalışma durumu için yapılmıştır. Bu durumun temel sebebi ise benzetimin çok ayrıntılı çalışması ve buna bağlı olarak da benzetimin çok yavaş çalışmasıdır.

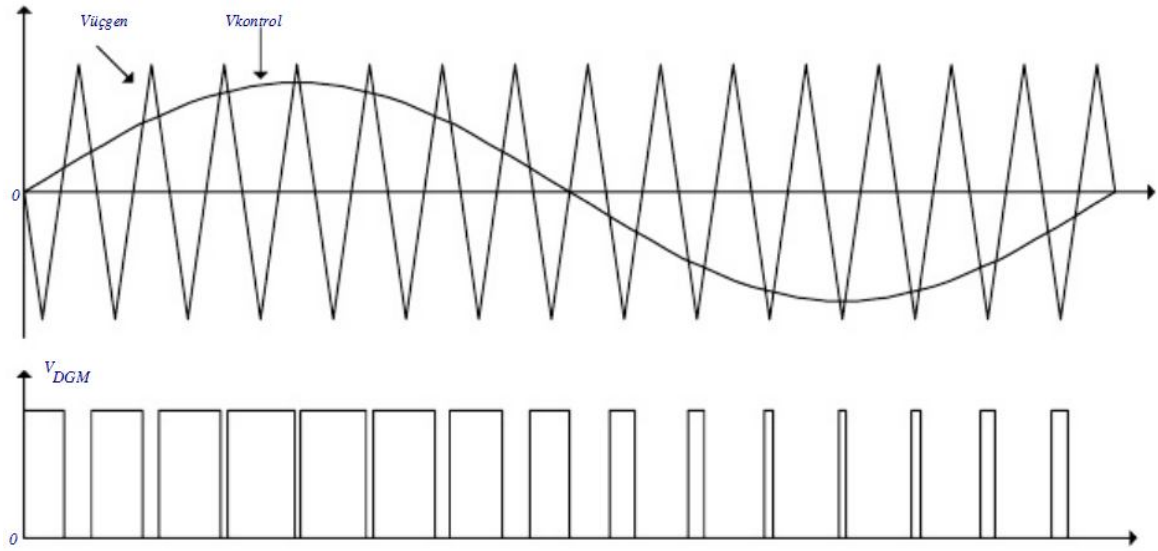
DC-DC dönüştürücünün yükseltici şekilde çalışabilmesi için dönüştürücünün kontrol ünitesinde kullanılması gereken bilgiler ise, DC baradan ölçülen gerilim değeri ve DC bara referans gerilim değeridir. Bu dönüştürücüye ait kontrol ünitesi öncelikle DC-DC dönüştürücü çıkışındaki DC baranın geriliminin bilgisini alır. Ardından gerilim bilgisi ile referans gerilim bilgisini PI kontrolörde işler. DC bara referans gerilim değeri, yük ucundaki gerilimin şebeke gerilimine benzemesi için 425 V DC olarak seçilmiştir. Bu işlemten sonra, PI kontrolör çıkışından alınan sinyal bir testere dışı sinyal ile karşılaştırılarak bir darbe genişlik modülasyonu (DGM, PWM) sinyali elde edilir. Daha sonra, S2 anahtarına elde edilen bu PWM sinyali gönderilirken S1 anahtarına 0 sinyali verilir. Sonuç olarak, DC-DC dönüştürücü gerilim kontrollü olarak yükseltici durumunda çalıştırılmış olmaktadır.

Dördüncü ve son ünite de, DC-DC dönüştürücü çıkışında bulunan DC bara gerilimini evsel yük için gerekli olan AC gerilime çeviren inverter ünitesidir. Bu ünite ayrıca inverter çıkışında yer alan LC filtresini de kapsamaktadır. Bu benzetim çalışmasında Şekil 3.6'da gösterilen bir fazlı tam köprü inverter ile LC filtre hazırlanmıştır.



Şekil 3. 6 Benzetim çalışmasında kullanılan inverter

Bahsi geçen inverterde sinüsoidal darbe genişlik modülasyonu (SPWM) kontrolü uygulanmıştır. SPWM yöntemi sayesinde anahtarlama elemanları (IGBT, MOSFET) her periyot boyunca belirli bir oranlarda iletme ve kesime geçirilmektedir. Sonuçta değişken genlikli sinüs işareti elde edilebilmektedir. SPWM ile anahtarlama elemanı üzerinde yalnızca anahtarlama anında kayıplar meydana gelmektedir. Aksi taktirde anahtarlama elemanının aktif bölgelerinde çalışarak çalışma anında yüksek kayıplar oluşmaktadır. İnverterde istenen frekansta SPWM sinüsoidal dalga elde etmek için, sinüsoidal bir kontrol işareti Şekil 3.7’de gösterildiği gibi daha yüksek frekanslı bir üçgen dalga ile karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırma sonucunda, inverterin çapraz kolları için ihtiyaç duyulan PWM sinyalleri elde edilmektedir.



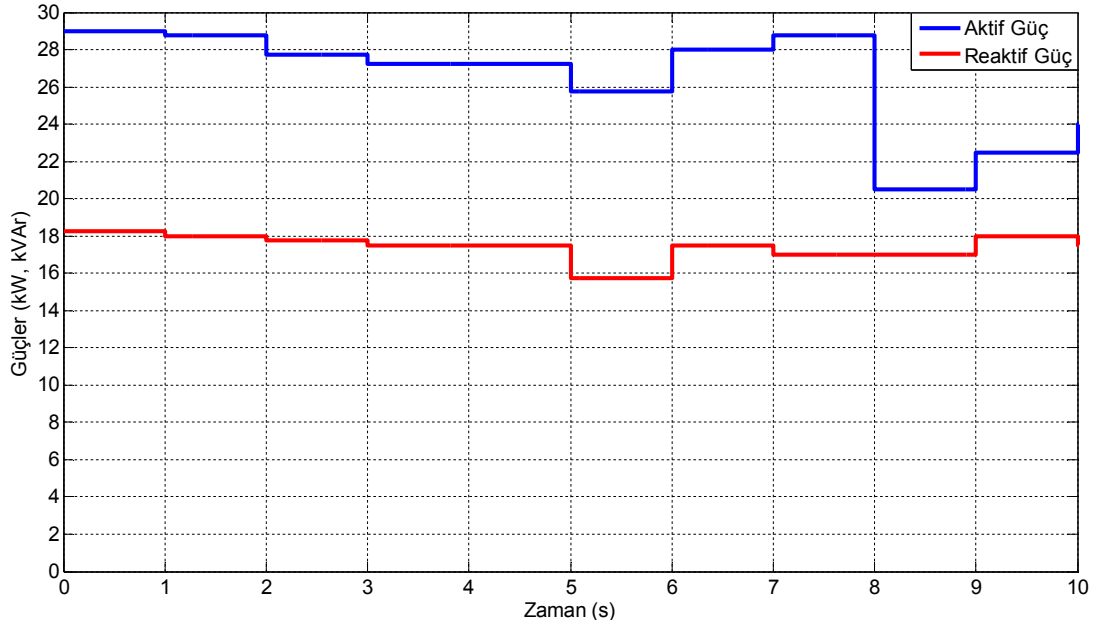
Şekil 3. 7 Bir fazlı inverter için SPWM’nin elde edilmesi

İnverterin çıkışındaki harmoniklerin filtrelenmesi için LC pasif filtre yerleştirilmiştir. Bu L ve C değerleri benzetim ortamında denemeler sonucunda bulunmuş olup, sistem harmoniklerini minimum yapan değerlerdir. Bahsi geçen filtrede endüktansın değeri 0.03mH ve kondansatörün değeri 100µF olarak seçilmiştir.

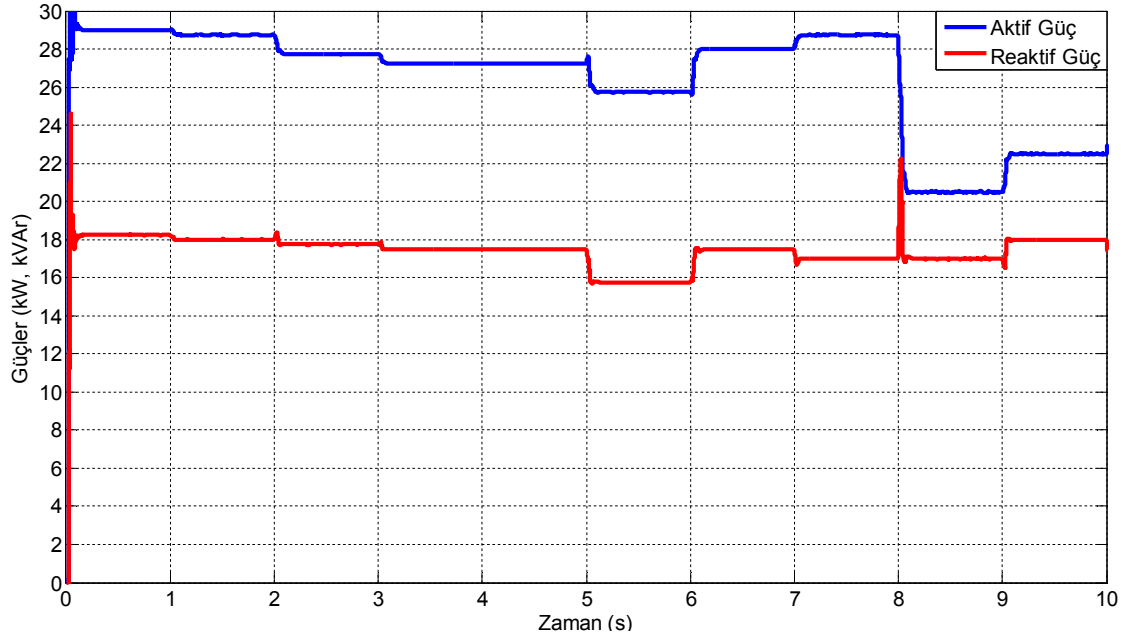
Benzetim çalışmasındaki sistemi oluşturan bütün alt sistemler teker teker hazırlandıktan sonra, bu alt sistemlerin birbiriyle bağlantısı gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, alt sistemlerin birbirleriyle uyum içinde çalışması sağlanıp sonuçlar elde edilmiştir.

3.2 Benzetim Çalışmasının Sonuçları

Benzetim çalışmasında kullanılan yük profili Şekil 3.8’de görülmektedir. Bahsi geçen yük talebi İstanbul’da bulunan üç katlı bir ofis binasının güç talebidir. Ölçüm yapılan zaman aralığında, bina yenileme çalışmaları da gerçekleştiğinden çeşitli elektriksel yüklerin anlık olarak devreye girip çıkmaları da mevcuttur. Benzetim çalışmasında bu değerler EA’dan çekilmesi istenen referans aktif ve reaktif güç değerleri olarak kullanılmaktadır.



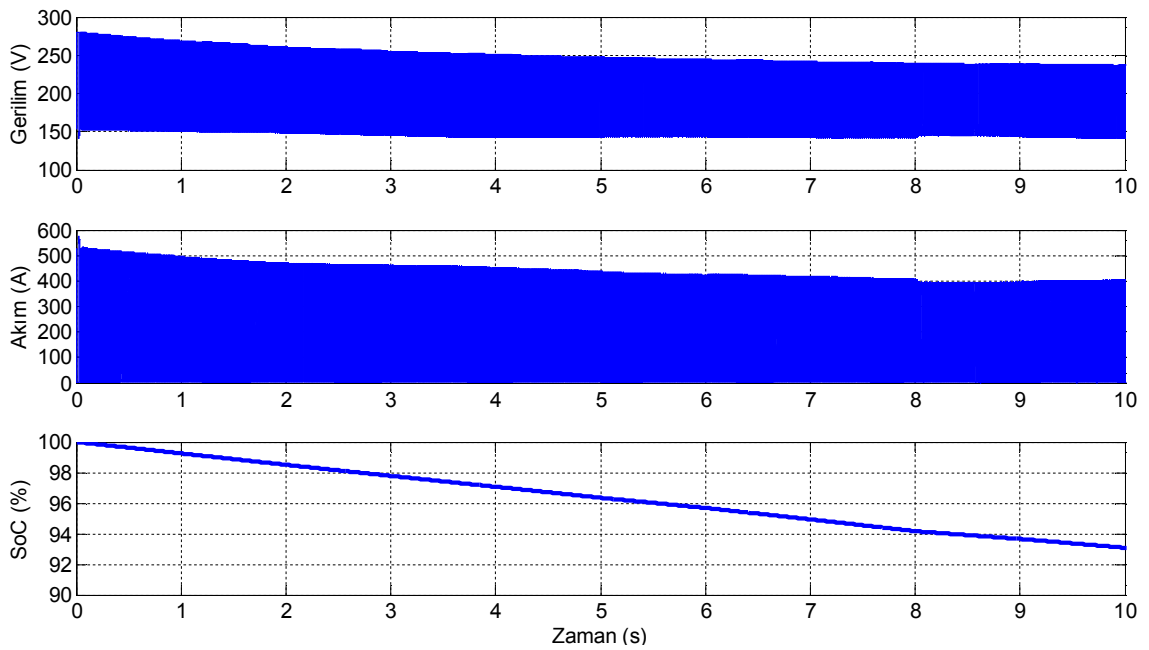
Şekil 3. 8 Elektrikli araçtan talep edilen referans güç değerleri



Şekil 3. 9 Elektrikli araçtan çekilen güç değerleri

Şekil 3.9’de EA’dan çekilen güç değerlerinin değişimi gösterilmiştir. Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da görüldüğü üzere, referans güç değerleri ile inverterden çekilen güç değerleri başarılı bir şekilde birbiriyle örtüşmektedir. Sadece, anlık büyük güç değişimlerinde ani bir değişim görülmüştür. Bunun sebebi, benzetim çalışmasında yapılan matematiksel işlemin anlık tepkisidir. Sonuçta grafiklere genel olarak bakıldığında, hem hazırlanan yük modelinin doğru çalıştığı hem de dönüştürücülerin kontrolünün doğru yapıldığı anlaşılmaktadır.

Yükün talep ettiği bu güçler Şekil 3.9’ da gösterildiği üzere bataryadan çekilmiştir. Bu güçler bataryadan çekilirken bataryanın gerilim seviyesinin değişimi, bataryanın SoC değişimi ve bataryadan çekilen akımın değişimi Şekil 3.10’da gösterilmiştir.

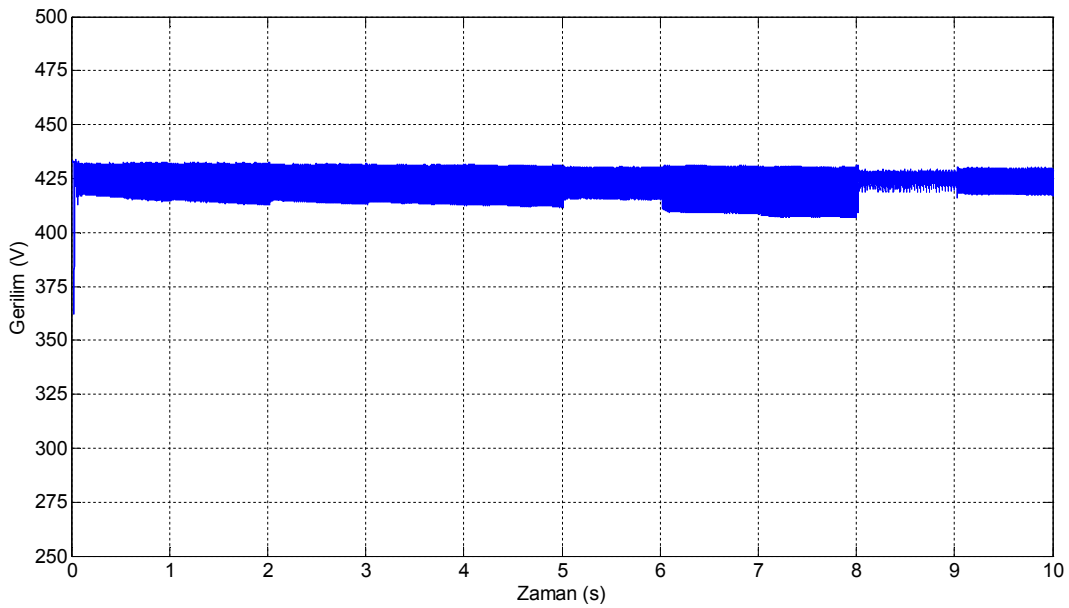


Şekil 3. 10 Batarya gerilimin, bataryadan çekilen akımın ve batarya SoC değişimi

Şekil 3.10’da bataryanın SoC değişimi incelendiğinde, %100 dolu olan batarya 10 saniye sonrasında %93 değerine inmektedir. Bu süre içinde bu kadar değişimin olmasının sebebi tüketim merkezinin talep ettiği yüksek güç değerleridir. Ayrıca Şekil 3.10’da bataryadan çekilen akımın değişimi de gösterilmiştir. Şekil 3.10’dan da görüldüğü üzere batarya akımında fazla bir salınım vardır. Bunun sebebi, DC-DC dönüştürücünün gerilim kontrollü olarak çalıştırılmasıdır. Bu sonuca rağmen DC-DC dönüştürücü gerilim kontrollü olarak çalıştırılmıştır. Çünkü DC-DC dönüştürücü, gerilim kontrollü çalıştırıldığında sistem harmonikleri minimum olmaktadır. Ayrıca, inverterin çalışması

sonucunda DC bara üzerinde 100 Hz’lik salınımlar oluşturmaları da batarya akımının salınmasına neden olabilmektedir. Şekil 3.10’da son olarak batarya gerilimin değişimi gösterilmiştir. Batarya gerilimindeki dalgalanmalarının sebebi batarya akımındaki salınımlardır. Literatürde batarya gerilimini regüle eden çalışmalar mevcuttur. Ancak bu konu bu tez çalışması için gerekli olmadığından dolayı gerilim regülasyonu yapılmamıştır.

Yük ucundaki gerilimin düzgün, istenilen değerde bir sinüs şeklinde olabilmesi için DC bara geriliminin referans olarak verilen değerde tutması önemlidir. DC bara geriliminin zamana göre değişimi Şekil 3.11’de verilmiştir.

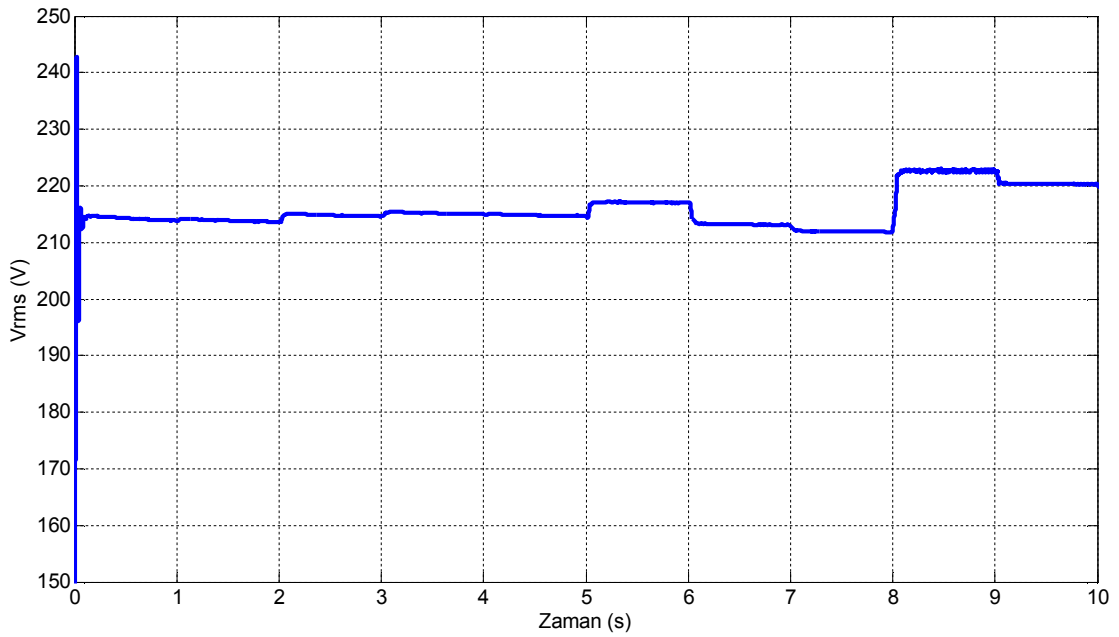


Şekil 3. 11 DC bara geriliminin değişimi

Şekil 3.11’de görüldüğü üzere yükün talep ettiği güç değerleri maksimum olduğu zaman aralıklarında DC baradaki salınımlar fazladır. Yükün talep ettiği güç değerleri nispeten az olduğu zaman aralıklarında DC baradaki salınımlar da azalma göstermiştir. Hatta yükün talep ettiği gücün minimum olduğu 8 ile 9 saniye aralığında salınımlar çok azalmıştır. Sonuç olarak, daha düşük yük değerlerinde DC baranın gerilim değeri referans değerde rahat tutulacaktır.

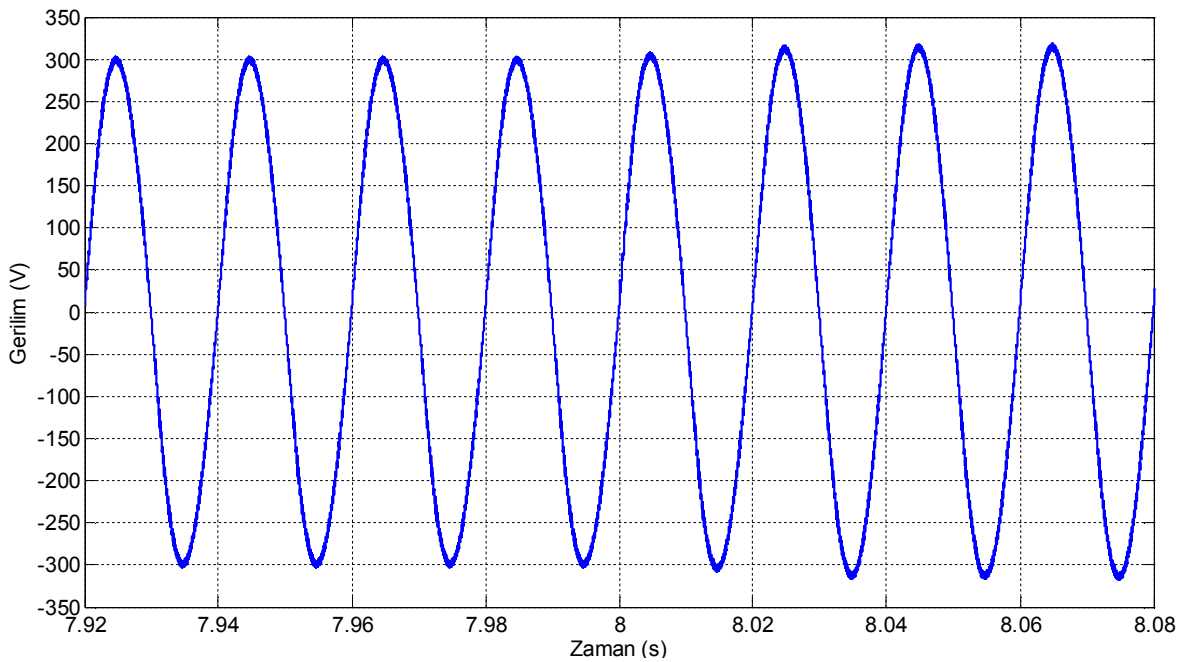
Yük ucundaki gerilimin rms değerinin değişimi Şekil 3.12’de verilmiştir. Şekil 3.12’de görüldüğü üzere güç dönüştürücüleri aracılığıyla bataryadan çekilen yüksek güç değerlerine rağmen, yük ucundaki gerilimin rms değeri 220 Vrms’e yakın değerlerde

tutulmuştur. Yük ucundaki gerilimin rms değerinin 220 Vrms civarında tutulmasıyla sistem harmoniklerinin az olması sağlanmaktadır.



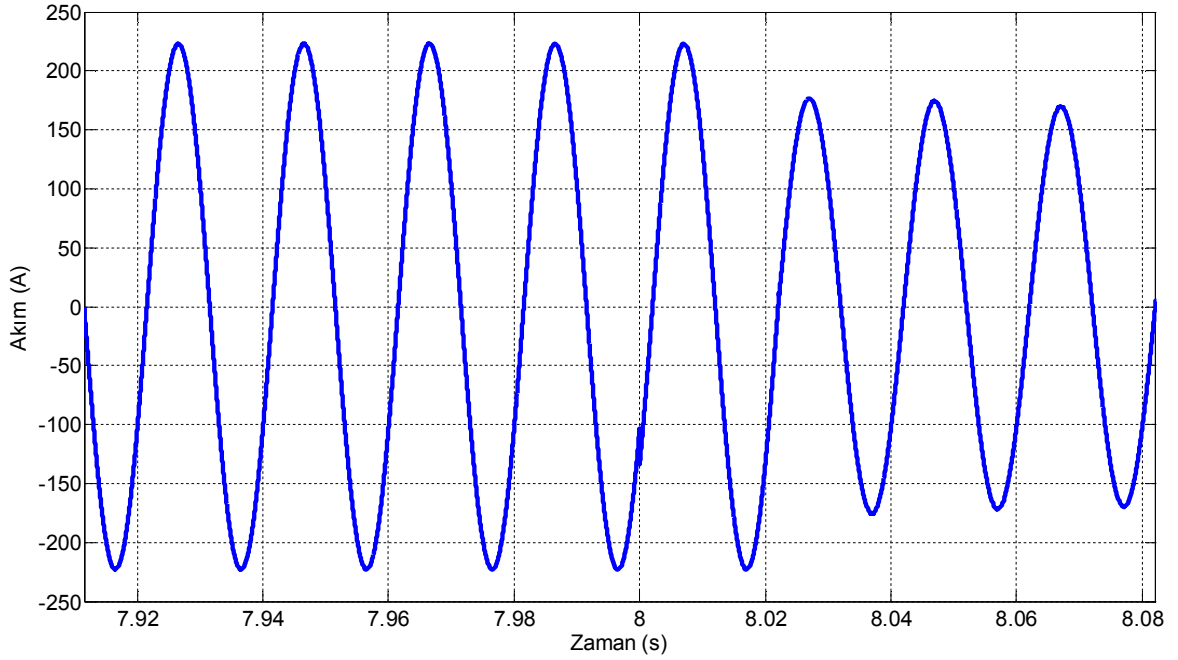
Şekil 3. 12 Yük ucu geriliminin rms değerinin değişimi

Son olarak yük ucundaki gerilimin değişimi ile yükün çektiği akımın değişiminin düzgün olması, bütün sistemin başarılı bir şekilde çalıştığına gösterge olacaktır. Aktif yük değişiminin en fazla olduğu sekizinci saniye civarındaki aralıkta yük ucu gerilimin değişimi Şekil 3.13'de gösterilmiştir.



Şekil 3. 13 Yük ucu ani gerilim değişimi

Şekil 3.14’de de gerilim için seçilen zaman aralığında yükün çektiği akımın değişimi gösterilmiştir. Bu ölçüm inverterin çıkışından yapılmıştır. Şekil 3.14’de görüldüğü üzere akımın dalga şekli düzgün bir sinüs şeklindedir.



Şekil 3. 14 Yük akımının değişimi

Hem Şekil 3.13’de hem de Şekil 3.14’de sekizinci saniyede yük değerlerinde değişim olduğunda sistem buna başarılı bir şekilde adapte olup çalışmasına devam etmektedir.

Sonuç olarak, bütün grafiklerden elde edilen veriler ışığında benzetim sistemini oluşturan bütün alt sistemler istenildiği gibi başarı bir şekilde çalışmaktadır. Bu sonuçlar göstermiştir ki, şarj edilebilir bir EA başarılı bir şekilde kesintisiz güç kaynağı olarak kullanılabilmektedir.

BÖLÜM 4

TEST PLATFORMU

ŞEEA'ların ihtiyaç duyulan zamanlarda kesintisiz güç kaynağı olarak kullanılabileceğini denemek amacı ile bir test platformu kurulmuştur.

Bu tez çalışması, ŞEEA'ların yüksek maliyetinin yanı sıra mevcut alt yapının uygun olmaması sebebi ile gerçek bir EA üzerinde yapılmamıştır. Bunun yerine laboratuvar ortamında bir test platformu oluşturulmuştur. Oluşturulan test platformu üzerinde boyutlar normalize edilerek deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

4.1 Test Platformunda Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar

Laboratuvar ortamında normalize edilmiş koşullarda hazırlanmış olan bu test platformu batarya grubu, inverter ünitesi, akım ve gerilim ölçüm ünitesi, adalama ünitesi, yük ünitesi, ölü zaman oluşturma ünitesi ve dSPACE kontrol ünitesinden oluşmaktadır.

4.1.1 Batarya Grubu

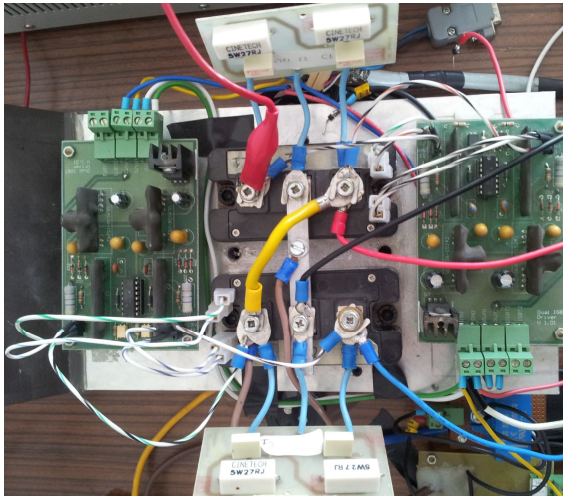
Şekil 4.1'de gösterilen ve bu deneysel çalışmada ŞEEA'nın güç ihtiyacını karşılayan bataryalar, elektrik enerjisinin kesilmesi veya şebeke gerilim seviyesinin belirlenen sınırların dışına çıkması durumunda bir tüketim merkezini besleyebileceği test edilecektir. Test platformunda iki adet 12 V, 18 Ah'lık akü kullanılarak 24 V DC gerilim elde edilmiştir.



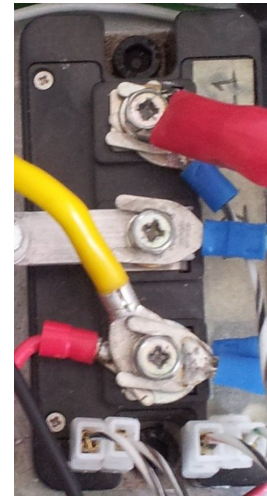
Şekil 4. 1 Test platformunda kullanılan batarya grubu

4.1.2 İnverter Ünitesi

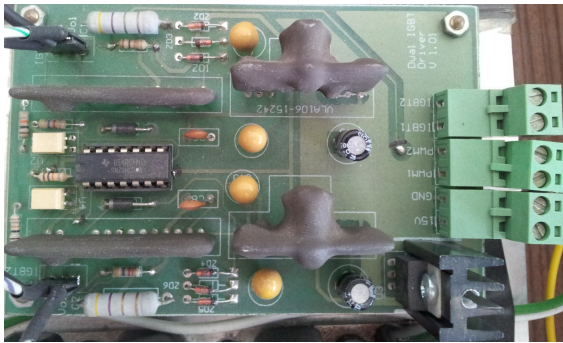
Şekil 4.2’de test platformunda kullanılmak üzere hazırlanmış olan tek fazlı tam köprü inverter ünitesi ve bu ünite de kullanılan güç elemanları ile sürme devreleri gösterilmiştir.



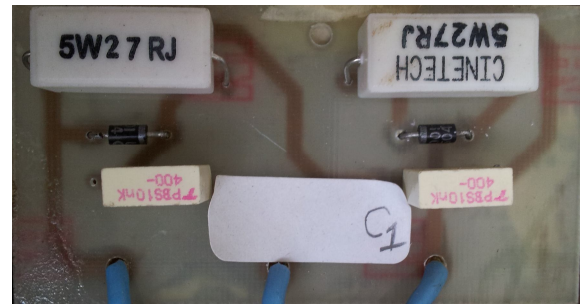
(a)



(b)



(c)



(d)

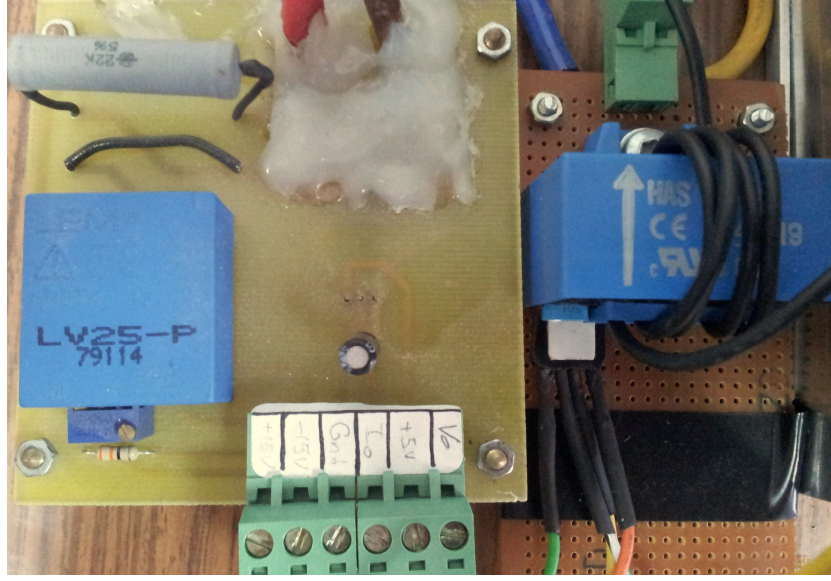
Şekil 4. 2 a) İnverter ünitesi b) IGBT modülü c) IGBT modülü sürme kartı d) bastırma devresi

Şekil 4.2’de görüldüğü üzere inverterde anahtarlama elemanı olarak iki adet IGBT modülü kullanılmıştır. Her bir IGBT modülü tek fazlı tam köprü inverterde bir kolu oluşturmaktadır. Kullanılan her bir IGBT modülünün anahtarlama yapabilmesi için iki ayrı sürme devresi gerekmektedir. Şekil 4.2’de gösterildiği üzere kullanılan her bir sürme kartında, bir IGBT modülü içinde bulunan iki IGBT için iki sürme devresi bulunmaktadır. Kullanılan bu sürme kartları, dSPACE’den gelen sinyaller vasıtasıyla IGBT’lerin anahtarlama yapmasını sağlamaktadır. Bunların dışından IGBT modüllerini korumak için inverter ünitesine paralel RCD bastırma (snubber) devreleri yerleştirilmiştir. Böylece IGBT’lerin anahtarlama yaptığı anlarda üzerlerinde oluşacak gerilim yükselmeleri sınırlanmaktadır.

İnverterlerin çalışması sırasında harmonikler meydana gelir. Bu harmonikleri yok etmek için pasif ve aktif olmak üzere güç filtreleri kullanılmaktadır. Pasif filtreler, endüktans, kapasite ve omik direnç gibi pasif elemanlardan meydana gelir. Pasif filtreler, temel frekans dışındaki harmonik bileşenleri yok etmeyi amaçlarlar. Test platformunda da bu istenmeyen olayları minimize etmek amacı ile pasif bir LC filtresi kullanılmıştır. Filtrede kullanılan endüktansın değeri 1mH ve kondansatörün değeri ise 15 μ F’dır.

4.1.3 Akım ve Gerilim Ölçüm Ünitesi

Şekil 4.3’de akım ve gerilim ölçüm ünitesini oluşturan kartlar gösterilmiştir. Test platformunda bu ünitelerden üç tane bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, inverter çıkışındaki akım ve gerilim değerlerini ölçmektedir. Şekil 4.3’de (a) ile gösterilen kart, inverter çıkışındaki gerilimi ölçmektedir. Şekil 4.3’de (b) ile gösterilen kart ise inverter çıkışındaki akım değerini ölçmektedir. İkincisi akım gerilim ölçüm ünitesi ise, şebeke akımı ile şebeke gerilim değerlerini ölçmek için kullanılmaktadır. Diğeri ise bataryanın çıkışında bulunmaktadır ve sadece bataryanın gerilimini ölçmektedir. Sensörler tarafından ölçülen akım ve gerilim değerleri daha sonra kontrol ünitesi olan dSPACE’e gönderilip değerlendirilmektedir.



(a)

(b)

Şekil 4. 3 Test platformunda kullanılan a) gerilim sensörü b) akım sensörü

4.1.4 Yük Ünitesi

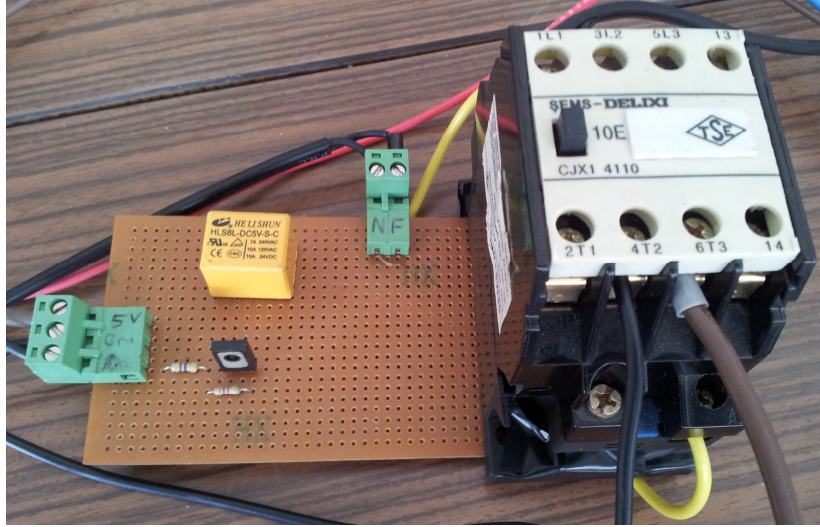
Test platformunda kullanılan yük ünitesi gerçek hayattaki tüketim merkezi olarak düşünülmektedir. Yük ünitesinde 17Ω 'luk bir direnç ile inverteri şebekeye bağlayan transformatör bulunmaktadır.

4.1.5 Adalama Ünitesi

Adalama ünitesi, şebeke ile yük arasındaki elektriksel bağlantıyı ortadan kaldırmaktadır. Test platformu için hazırlanan adalama ünitesi Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Adalama ünitesi sistem güvenliği için çok önemlidir. Çünkü adalama ünitesinin devreye girmesiyle birlikte tüketim merkezi ile şebeke ayrılmaktadır. Böylece ŞEEA'nın ürettiği elektrik enerjisi sadece tüketim merkezine enjekte edilmektedir. Bu sayede hem şebekeye elektrik tekrar geri geldiğinde ŞEEA etkilenmemektedir hem de şebekedeki arızayı gidermeyi çalışan görevliler bu çalışma durumu sebebiyle tehlike altında olmadan arızayı giderebilmektedirler.

Adalama ünitesi ilk olarak aktif değildir ve şebekenin yükü beslemesine izin verir. Daha sonra şebeke tarafında bir arıza oluşması halinde (elektrik kesintisi gibi) dSPACE'den gelen sinyal ile ünite şebekeyle yükü ayırmaktadır. Bu adalama işleminde dSPACE'den gelen sinyal önce transistör iletime sokmaktadır. Ardından sırasıyla önce transistör

röleyi sonra da röle kontaktörü devreye almaktadır. Böylece adalama işlemi gerçekleşmiş olmaktadır.



Şekil 4. 4 Test platformunda yük ünitesini şebekeden ayıran adalama ünitesi

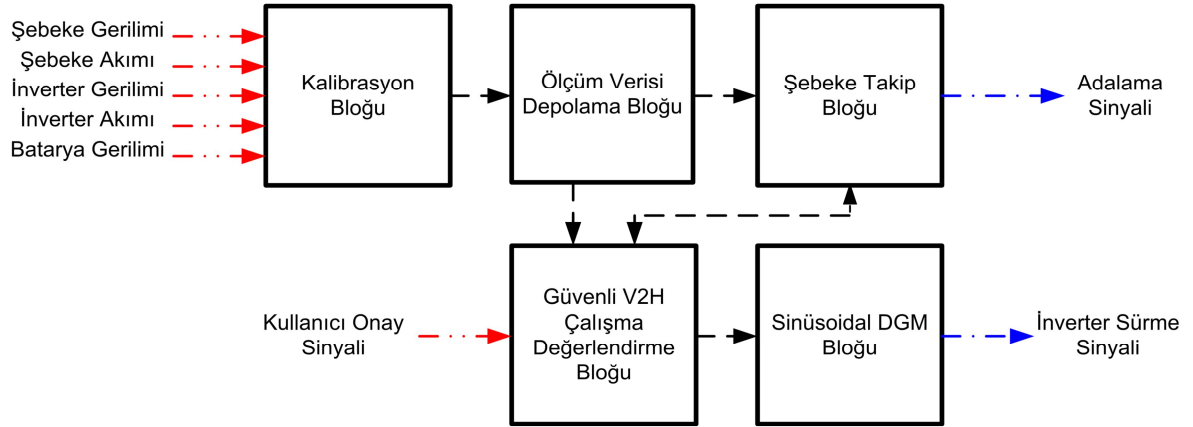
4.1.6 dSPACE Kontrol Ünitesi

Deneyisel çalışmalarda kontrolör olarak Şekil 4.5’de görülen dSPACE gömülü kontrol ünitesi kullanılmıştır. dSPACE ünitesi sayesinde öncelikle batarya grubundan yük ünitesine doğru enerji aktarımının yapılabilmesi amacı ile geliştirilen PWM sinyali ölü zaman oluşturma ünitesi üzerinden inverter ünitesine uygulanmaktadır. Ayrıca üretilen bu sinyale ek olarak, adalama ünitesinin devreye alınmasını ve çıkarılmasını sağlayan sinyal yine dSPACE ünitesi sayesinde adalama ünitesine gönderilmektedir.



Şekil 4. 5 dSPACE micro autobox kontrol ünitesi

Ayrıca akım ve gerilim ölçüm ünitelerinden alınan akım ve gerilim değerleri, dSPACE içine gömülü olan Şekil 4.6'da gösterilen algoritma ile kontrol sinyallerine dönüştürülür.

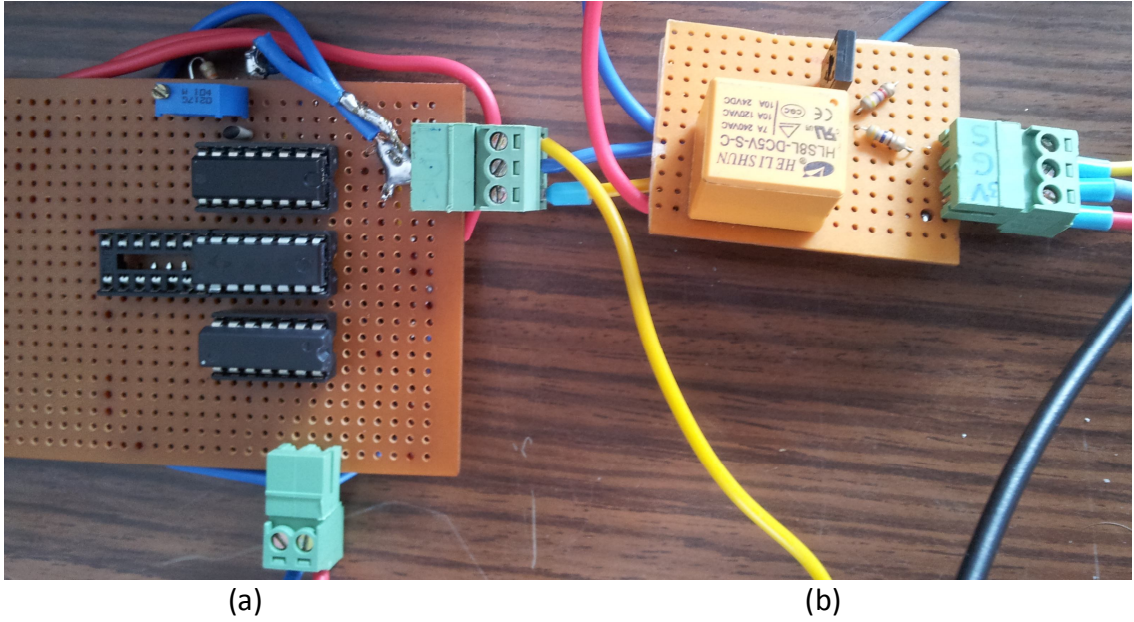


Şekil 4. 6 dSPACE içine gömülü olan kontrol algoritması

Şekil 4.6'da gösterilen kontrol algoritmasında altı adet giriş ve iki adet çıkış sinyali bulunmaktadır. Bahsi geçen bu altı giriş sinyalinden beşi sensörlerden alınan ölçüm verileridir. Bu ölçüm verileri ilk olarak kalibrasyon bloğuna girmektedir ve bu sinyaller teker teker kalibre edilerek gerçek değerlere çevrilmektedir. Daha sonra kalibre edilmiş olan sinyaller veri depolama bloğuna girmektedir. Ardından veri depolama bloğundan ilk olarak şebeke takip bloğuna şebeke ile ilgili gerilim bilgisi gönderilmektedir. Şebeke takip bloğunda, gelen gerilim bilgisinin belirlenen gerilim aralıklarında olup olmadığına bakılır ve bu duruma göre adalama sinyali üretilmektedir. Veri depolama bloğundan ayrıca sistemin güvenli çalışmasını sağlayan güvenli V2H çalışma değerlendirme bloğuna bazı veriler gönderilmektedir. Bu veriler sırasıyla batarya gerilimi ile inverter gerilimidir. İnverterin güvenli çalışmasını sağlayan blok, veri depolama ünitesinden bahsi geçen verilere ek olarak kullanıcı onay veya iptal sinyalini ve şebeke takip bloğundan adalama durumu hakkındaki veri sinyalini almaktadır. Bu blok bütün bu sinyalleri değerlendirerek sinüsoidal PWM bloğunun çalışıp çalışmayacağına ve SPWM bloğunun ne zaman durdurulacağına karar vermektedir. Son olarak da, SPWM bloğu kendisine gelen onay ve iptal sinyaline göre çalışmakta ve inverter için gerekli olan sürme sinyalini üretmektedir. Bu deneysel çalışmada inverter ünitesi 5 kHz'de çalışacak şekilde SPWM bloğunun ayarları yapılmıştır.

4.1.7 Ölü Zaman Oluşturma Ünitesi

dSPACE'den üretilen bir adet kontrol sinyali bu ünitenin girişine verilmektedir. Bu ünite üç adet entegre (DM74LS12N, CD4049BD, HD74LS02P), bir adet ayarlanabilir direnç, bir adet kondansatör ve bir adet röle devresinden oluşmaktadır. Şekil 4.7'de ölü zaman oluşturma ünitesinin tamamı gösterilmiştir.



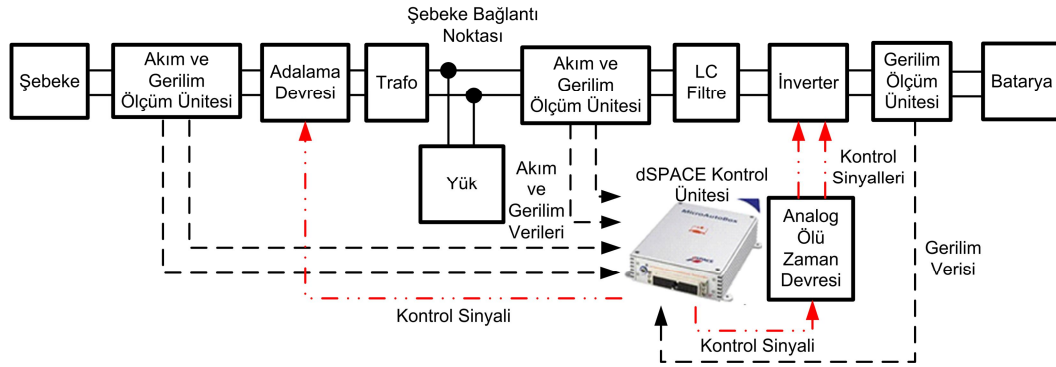
Şekil 4. 7 Ölü zaman oluşturma ünitesi

Şekil 4.7'de (a) ile gösterilen kart, dSPACE'den gelen sürme sinyalini almak ve aralarında ölü zaman olan, iki adet kontrol sinyali üretmektedir. Üretilen sinyaller arasındaki ölü zaman direnç ve kondansatörün değerlerinin değiştirilmesiyle ayarlanabilmektedir [79]. Bu test platformunda kontrol sinyalleri arasındaki ölü zamanın yeterli olup olmadığı osiloskop aracılığıyla kontrol edilmiştir. Sonuç olarak, üretilen bu sinyaller daha sonra inverter sürme devrelerine iletilmektedir.

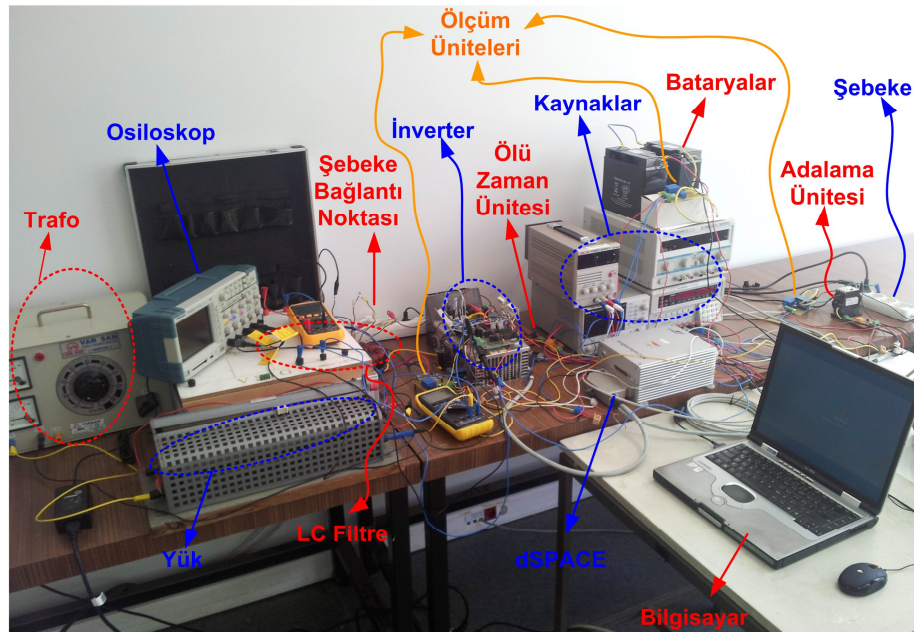
Şekil 4.7'de (b) ile gösterilen kart, ölü zaman ünitesinin çalışmasını kontrol etmektedir. Bu röle devresi adalama ünitesinde kontaktörü devreye alıp çıkaran yapıyla aynı olmakla beraber, bu üniteye ölü zaman oluşturan kartın 5 V DC gerilim beslemesini anahtarlamaktadır. Böylelikle, invertöre sürme devrelerine ya sürekli sinyal gelmekte ya da hiç sinyal gelmemektedir. Sonuç olarak, bu devre ile çapraz kollardan birinin sürekli devrede olması engellenmekte ve bu çalışma durumunun güvenliği daha da arttırılmaktadır.

4.2 Test Platformunun Kurulması ve Testlerinin Yapılması

Şekil 4.8’de genel şeması verilmiş test platformunu oluşturacak cihaz, donanım ve üniteler öncelikle bir araya getirilmiştir. Ardından da gerekli olan bağlantılar ve montajlar tamamlanarak Şekil 4.9’da gösterilen test platformu hazırlanmıştır.



Şekil 4. 8 Oluşturulan test platformunun genel şeması



Şekil 4. 9 Hazırlanan test platformu

Test platformunun çalışmasını madde madde açıklamak gerekirse;

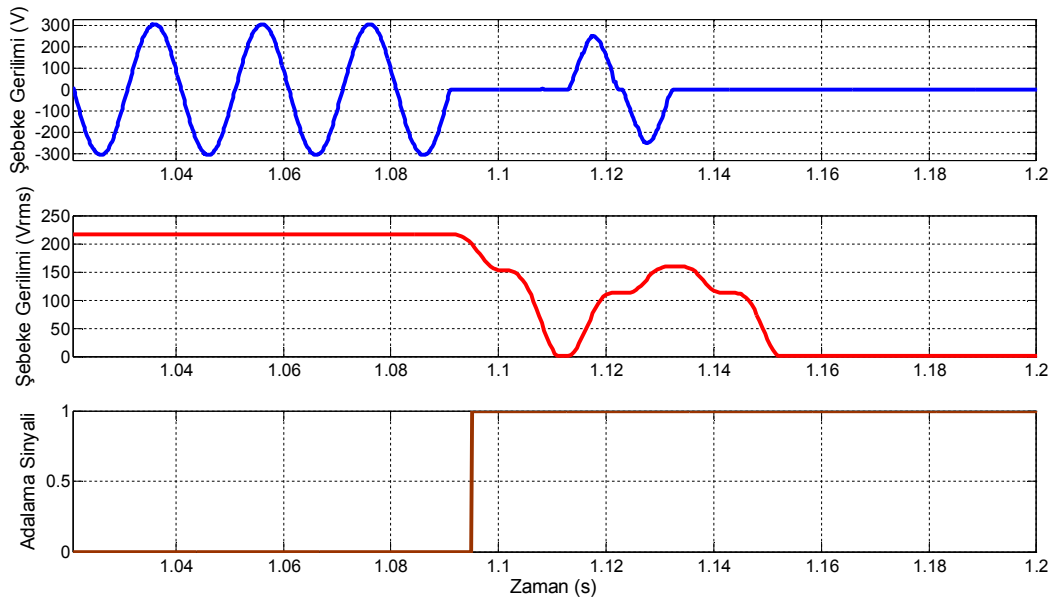
- İlk anda, şebeke bağlantı noktasına ŞEEA’yı temsil eden inverter ünitesi ve batarya grubu transformatör üzerinden bağlanmaktadır. Ancak bu tez çalışmasında ŞEEA’nın kesintisiz güç kaynağı olarak çalıştırılması konu edildiğinden dolayı, bataryanın şarj edilme işlemine deneysel çalışmada yer verilmemiştir. Test platformunda transformatör kullanılmasının sebebi, şebekeye bağlanmak için gerekli gerilime sahip batarya grubunun laboratuvar

bulunmaması ve şebeke tarafında oluşacak arızalara karşı tedbir olarak şebeke kısadevre gücünün kısıtlanmasıdır. Transformatör yardımıyla şebeke gerilimi düşürülmüştür. Böylelikle hem tehlikeli olacak yüksek gerilimler deneysel çalışmada kullanılmamış, hem de çalışmanın maliyeti azaltılmıştır. Şebekenin yükü beslediği ve ŞEEA'nın şarjlı halde beklediği bir anda şebeke tarafında elektrik kesintisi meydana gelmekte ve yük enerjisiz kalmaktadır. Bahsi geçen bu olaylar sonucunda, bizim bu tez çalışmasında incelediğimiz ve önerdiğimiz V2H çalışma durumu gerçekleşecektir. Bu esnada, öncelikle şebeke tarafındaki gerilim sensörü dSPACE'e şebeke gerilim seviyesinin belirlenen sınırların dışında olduğunu bildirmektedir. Bunun sonucunda, dSPACE'de gömülü olan kontrol algoritması sayesinde adalama ünitesine sinyal göndermekte ve şebeke ile yük elektriksel olarak birbirinden ayrılmaktadır.

- Bu andan itibaren inverter kesintisiz güç kaynağı olarak çalışabilmek için gerekli şartların oluşmasını beklemektedir. Batarya başlangıç geriliminin referans gerilimden büyük olması, kullanıcının bu çalışmaya onay vermesi, inverter tarafında gerilimin sıfır olması ve şebeke tarafında enerjinin olmadığını gösteren ölçüm sinyalinin gelmesi bahsi geçen şartlardır. Belirtilen bu şartların sağlanmasından sonra dSPACE ile oluşturulan kontrol sistemi, ŞEEA'nın kesintisiz güç kaynağı olarak çalışmasına izin vermektedir. Bu çalışma durumunda inverter gerilim kontrollü olarak çalışmakta ve bataryadan yüke doğru güç akışı sağlanmaktadır.
- En son aşama ise bu çalışma durumunun sonlandırılmasıdır. Bu çalışma durumunun sonlanması için birkaç şart vardır. Batarya geriliminin belirlenen bir referans gerilimden düşük olması, kullanıcının çalışma durumunu iptal etmesi, şebeke tarafında enerjinin olduğunu gösteren ölçüm sinyalinin gelmesi bahsi geçen şartlardır. Bu şartlardan birinin sağlanması sonucunda öncelikle dSPACE ölü zaman oluşturma ünitesi üzerinden invertere sinyal göndermeyi keser. Ardından, gerekli sensörlerden ihtiyaç duyduğu verileri alıp değerlendirir. Bu değerlendirme sonucunda, güvenlik bakımından bir sorun oluşturmayacağı anda kontaktörün sinyalini keser (yaklaşık 2 periyot). Sonuçta, yük ile şebeke bağlantısı tekrardan gerçekleşmiş olur.

4.3 Yapılan Deneysel Çalışmalar ve Sonuçları

Deneysel çalışma başlatıldığında ilk olarak şebeke gerilimi belirlenen sınırlar içindedir. Bu süreçte, şebeke yükü beslemektedir. Aynı zamanda, ŞEEA da tamamen şarjlı halde şebekeye bağlı olarak beklemektedir. Daha sonra deneysel çalışmanın ilk aşaması olan ve Şekil 4.10'da gösterildiği gibi elektrik şebeke gerilim seviyesinin belirlenen sınırların dışına çıkmaya başlamaktadır. dSPACE, şebeke tarafındaki ölçüm ünitesi sayesinde bu gerilim değerlerini fark etmektedir. Bu durumun sonucunda da, adalama ünitesine sinyal göndererek kontaktörün açmasını sağlamaktadır. Bahsi geçen adalama sinyali, şebeke geriliminin dalga şekli ve rms değerinin değişimi de Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

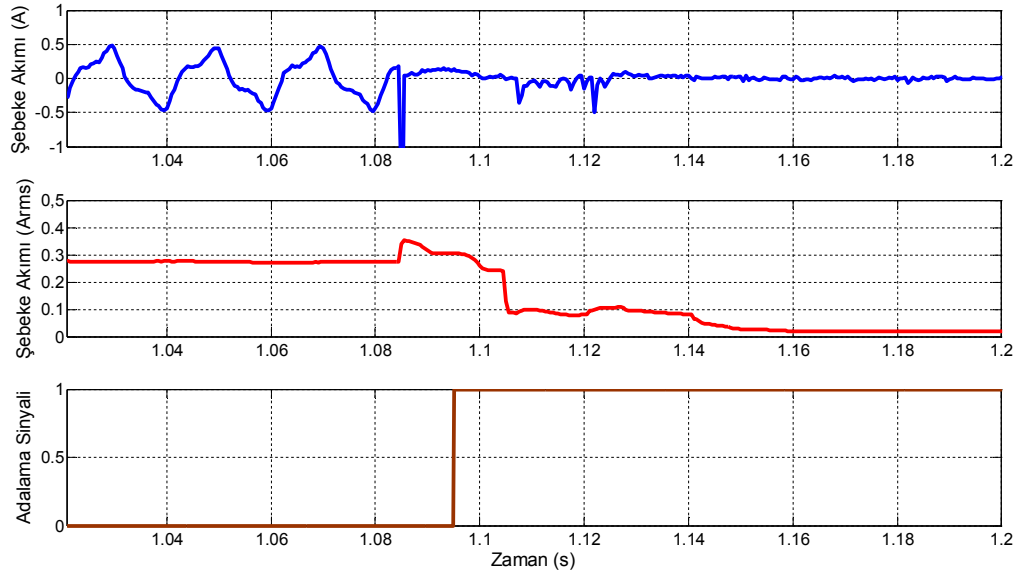


Şekil 4. 10 Elektrik şebekesinde enerji kesildiği anda şebeke gerilimine ait değişimler ile adalama sinyalinin değişimi

Şekil 4.10'da en son gösterilen ve bundan sonraki şekillerde de gösterilecek olan sinyal dSPACE'den adalama ünitesine gönderilen kontrol sinyalidir. Adalama ünitesine gönderilen kontrol sinyalinin 0 olduğu zaman aralıklarında adalama ünitesi devre dışıdır yani şebekeden yüke doğru enerji akışı gerçekleşmektedir. Bahsi geçen sinyal 1 olduğu andan itibaren, adalama ünitesi devreye girmekte ve yük ile şebekeyi elektriksel olarak ayırmaktadır. Adalama sinyalindeki bu durum bundan sonraki şekillerde de geçerliliğini korumaktadır. Ayrıca bu ve bundan sonraki diğer grafiklerde gösterilen rms değişimleri, dalga şekillerinden bir periyod sonra sıfır değerine düşmektedir. Ölçüm cihazları rms değerini bir periyod sonrasında ölçebildiklerinden ve gösterilen düşüş

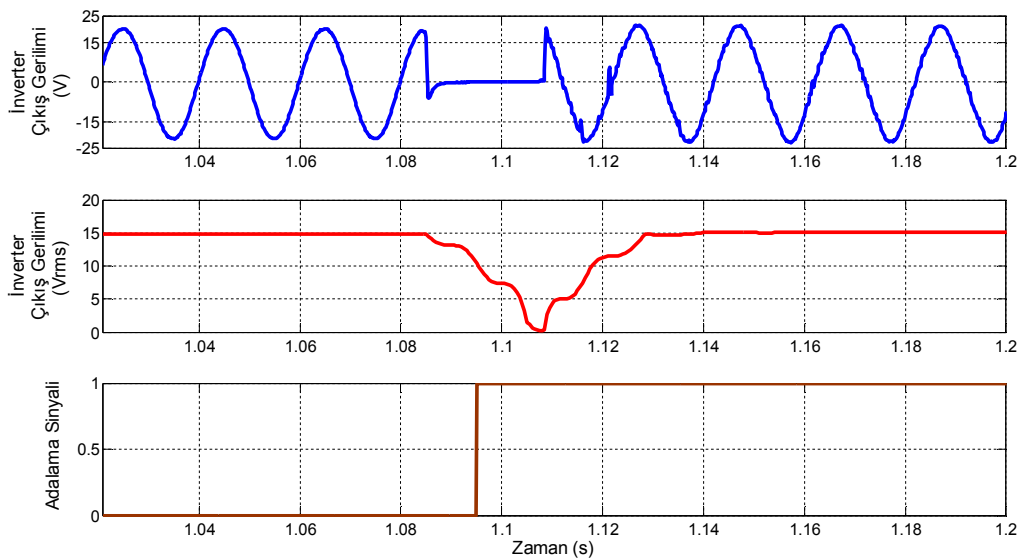
şebekenin bir periyodu içinde gerçekleştiğinden rms değeri bir periyod sonunda sıfır değerine ulaşmaktadır.

Şekil 4.10' da gösterilen aralıkta şebekeden çekilen akımın dalga şekli ve rms değerinin değişimleri Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Yük akımındaki bozukluğun sebebi, yük ünitesi içindeki transformatörden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4. 11 Elektrik şebekesinde enerji kesildiği anda şebeke akımına ait değişimler ile adalama sinyalinin değişimi

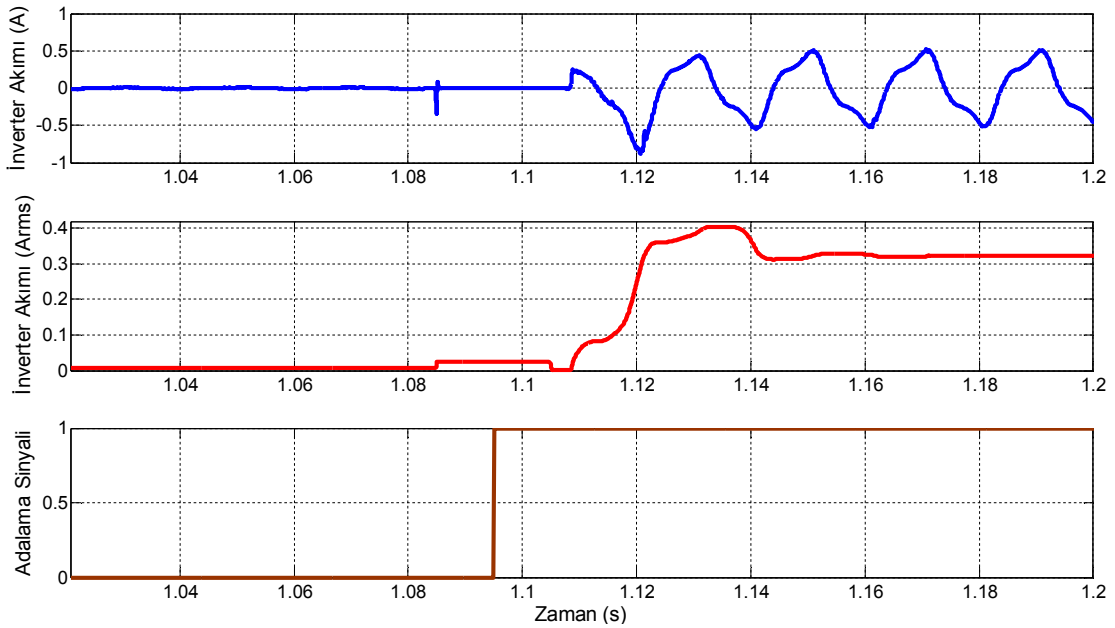
Şekil 4.12' de deneysel çalışmanın ilk aşamasındaki inverter çıkış gerilimi (uç gerilimi) ile rms değeri değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4. 12 Elektrik şebekesinde enerji kesildiği anda inverterin çıkış gerilimine ait değişimler ve adalama sinyalinin değişimi

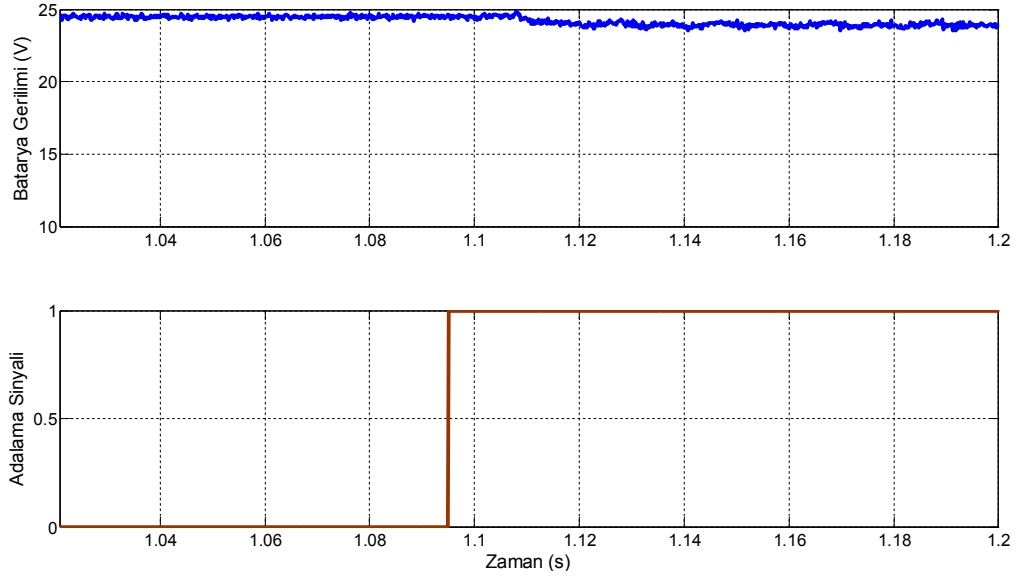
Şekil 4.12’de adalama ünitesi devreye girdikten kısa bir süre sonra ŞEEA yükü beslemeye başlamaktadır. Yaklaşık bir periyotluk bu süreyi test platformun güvenli çalışabilmesi için dSPACE ayarlamaktadır. Bu durum sistemin çalışma prensibinde, sistemin güvenli çalışması için gerekli şartlar kısmında ifade edilmiştir.

Şekil 4.13’de adalama işlemi gerçekleşmeden önce ve gerçekleşikten sonra inverterden çekilen akım ile ilgili verilerin değişimleri gösterilmiştir. Şekil 4.13’de görüldüğü üzere, Şekil 4.11’de gösterilen akımın dalga şekli ve rms değerini tutmaktadır. Bu durum da test platformunun istenildiği gibi çalıştığını göstermektedir.



Şekil 4. 13 Elektrik şebekesinde enerji kesildiği anda inverterden çekilen akıma ait değişimler ve adalama sinyalinin değişimi

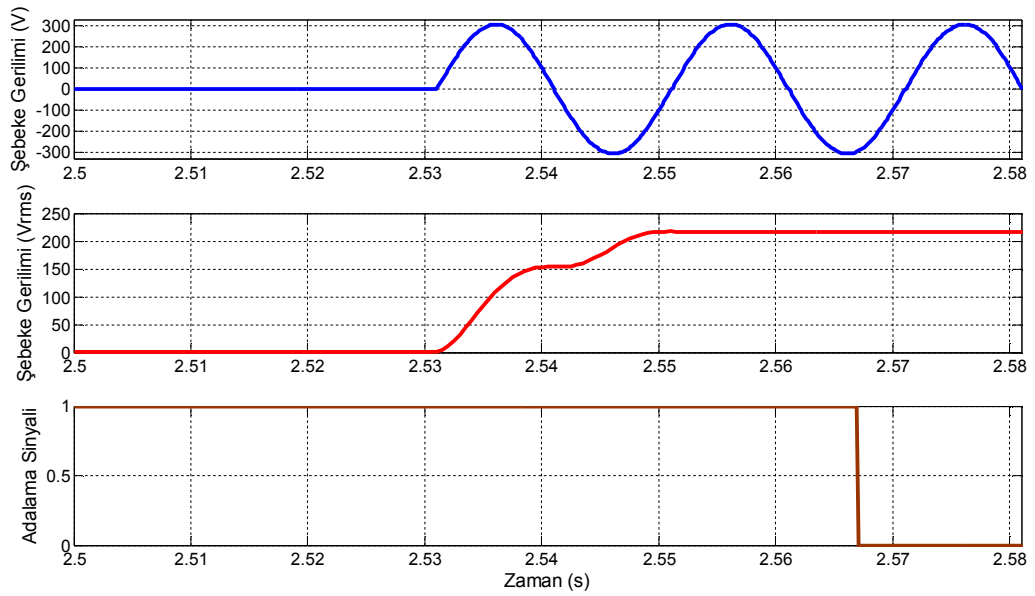
Bu aşamada son olarak, batarya geriliminin adalama sinyaline göre değişimi Şekil 4.14’de gösterilmiştir. Öncelikle batarya şarj edilmiş durumda beklemektedir. Ardından, adalama işlemi gerçekleşmektedir. Adalama işlemi gerçekleştikten sonra, inverter çalışmak için gerekli şartların sağlanmasını beklediği sürede de batarya gerilimi aynı değerde kalmaktadır. İnverter çalışmaya başladıktan sonra batarya yükü beslemektedir ve batarya gerilim değerinde çok az bir azalma olmaktadır.



Şekil 4. 14 Elektrik şebekesinde enerji kesildiği anda batarya geriliminin değişimi ile adalama sinyalinin değişimi

Deneysel çalışmanın son aşamasında da, elektrik şebekesine tekrar enerjinin gelmesi halinde test platformunun bu duruma verdiği cevap incelenmektedir. Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da elektrik şebekesine tekrar enerjinin gelmesiyle beraber ŞEEA’dan yüke doğru olan enerji akışının durduğu ve şebekenin tekrar yükü beslediği gösterilmektedir.

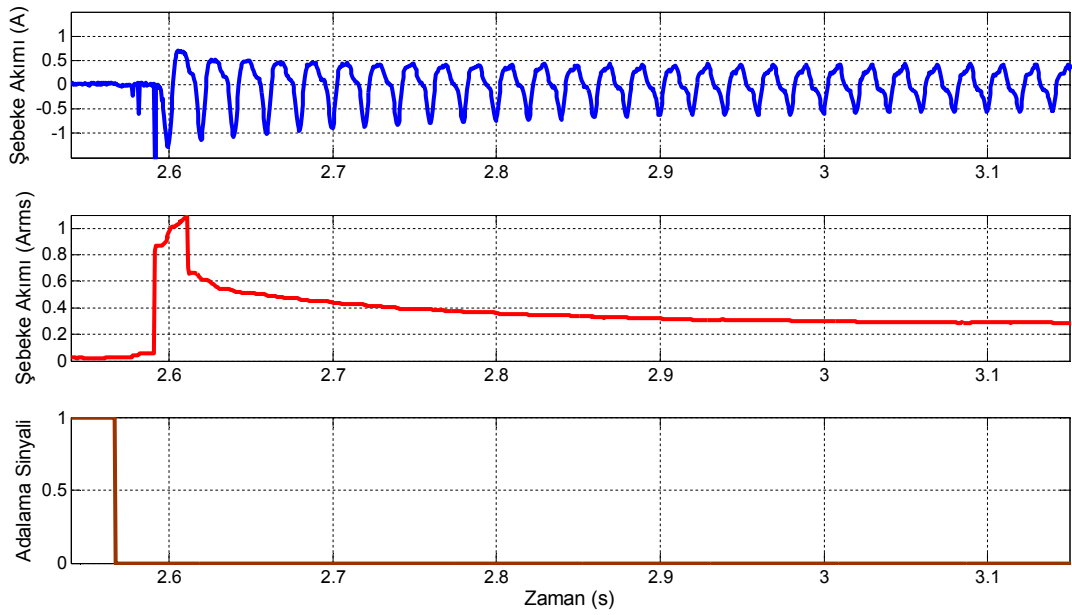
Şekil 4.15’de şebeke gerilimi ile değişimler ve bu değişimlere göre dSPACE ünitesinin adalama ünitesine gönderdiği kontrol sinyali gösterilmiştir.



Şekil 4. 15 Elektrik şebekesine enerji geldiği anda şebeke gerilimine ait değişimler ve adalama sinyalinin değişimi

Şekil 4.15’de görüldüğü üzere şebeke geriliminin belirlenen sınır değerler içine gelmesinden kısa bir süre sonrasında adalama sinyalinin değeri 0 olmaktadır. Böylece adalama ünitesi tekrar devre dışı kalmakta ve şebeke tekrar yükü besleyebilmektedir. Şebeke geriliminin düzelmesine rağmen adalama sinyalinin tekrar 0 olması belli bir süre sonrasında gerçekleşmiştir. Bunun temel sebebi, dSPACE’in daha önce de bahsedilen güvenlik şartlarının gerçekleşmesini beklemesidir.

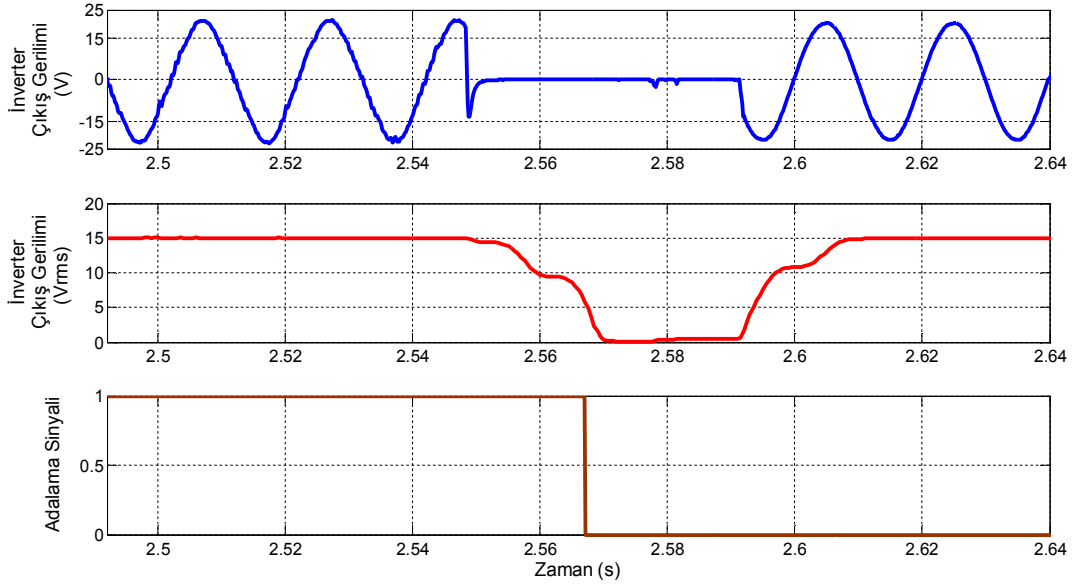
Şekil 4.16’de de deney çalışmasının son aşamasındaki şebeke akımı ile ilgili değişimler gösterilmiştir.



Şekil 4. 16 Elektrik şebekesine enerji geldiği anda şebeke akımına ait değişimler ve adalama sinyalinin değişimi

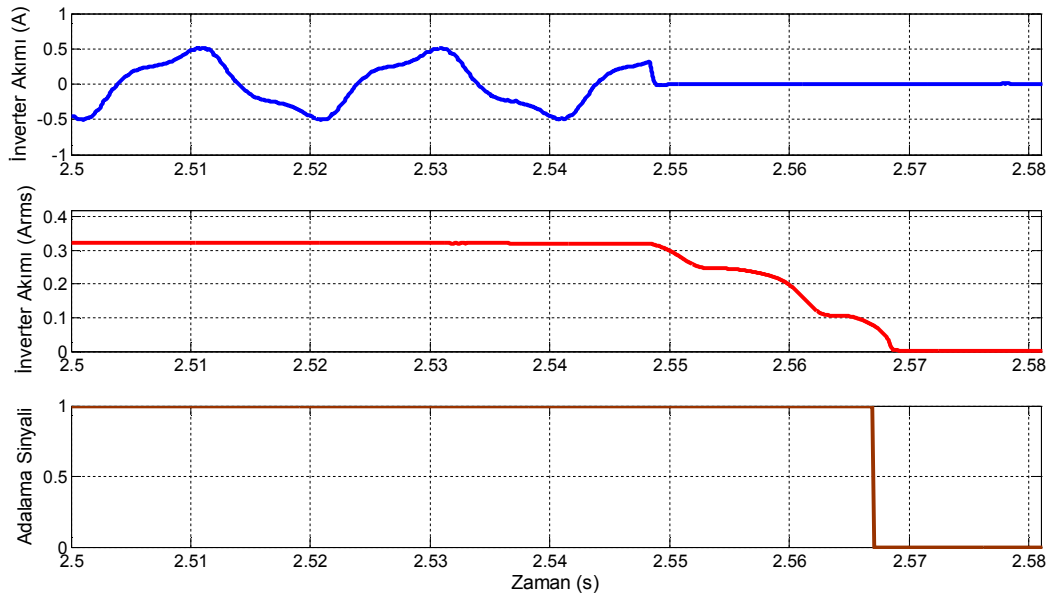
Şekil 4.16’de adalama ünitesinin sistemden çıkmasıyla beraber ilk anlarda, yük yüksek akım çekmektedir. Bu durum yük ünitesi içinde yer alan transformatörden dolayı meydana gelmektedir. Daha sonra yükün akım dalga şekli normal haline dönmektedir.

Şekil 4.17’de inverter çıkış gerilimi ile ilgili verilere göre adalama sinyalinin değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.17’de da görüldüğü üzere, şebeke geriliminin belirlenen sınır değerler içinde olduğu bilgisi geldikten sonra ilk önce inverterin çalışması durdurulmaktadır. Ardından güvenlik açısından inverter çıkış geriliminin rms değeri belli bir değere geldikten sonra adalama işlemi sonlanmaktadır. Böylece şebeke tekrar yükü besleyebilmektedir. Bu durum da Şekil 4.18’de gösterilmiştir.



Şekil 4. 17 Elektrik şebekesine enerji geldiği anda inverterin çıkış gerilimine ait değişimler ve adalama sinyalinin değişimi

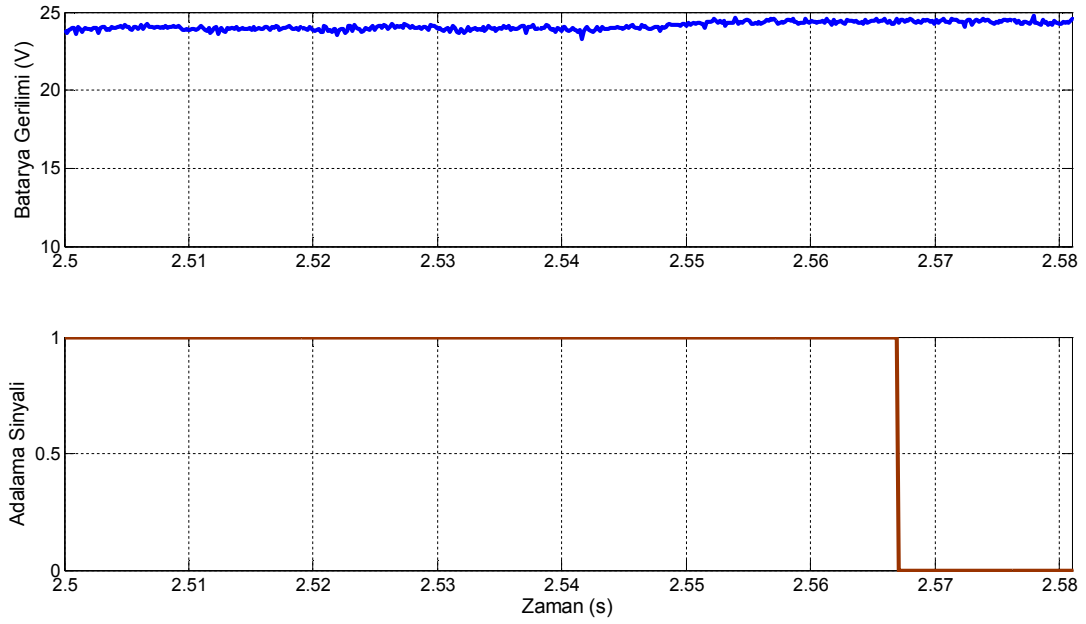
Şekil 4.18’de öncelikle inverterden çekilen akım sıfır olmaktadır, ardından adalama sinyali 0 değerine gelmektedir. Şebeke tekrar yükü beslediğinde inverter akımının sıfır olmasının sebebi bataryanın şarj edilmemesidir.



Şekil 4. 18 Elektrik şebekesine enerji geldiği anda inverterden çekilen akıma ait değişimler ve adalama sinyalinin değişimi

Son olarak Şekil 4.19’da batarya geriliminin değişimi gösterilmiştir. Şebeke geriliminin belirlenen sınır değerlere gelmesinden sonra, ilk önce dSPACE inverterin çalışmasını durdurmaktadır. Bu andan itibaren, batarya gerilim değeri ilk andaki değerine geri

dönmektedir. Daha sonra dSPACE güvenlik için bütün şartların sağlanmasından sonra adalama işlemini sonlandırmaktadır.



Şekil 4. 19 Elektrik şebekesine enerji geldiği anda batarya geriliminin değişimi ile adalama sinyalinin değişimi

Deneysel çalışmanın sonucunda elde edilen veriler ve grafikler bize göstermektedir ki, test platformunu oluşturan bütün üniteler dolayısıyla test platformu, normalize edilmiş koşullar altında başarılı bir şekilde çalışmaktadır. Sonuç olarak, gerekli elektriksel alt yapıların hazırlanması ve inverter kontrolüne dikkat edilmesi halinde ŞEEA'lar başarılı bir şekilde kesintisiz güç kaynağı olarak da kullanılabilir.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR

Nüfus artışı ve gelişen teknolojiye bağlı olarak enerji talebi de giderek artmaktadır ve artan bu ihtiyacı karşılamak için çeşitli kaynaklardan faydalanılmaktadır. Günümüzde enerji talebinin büyük bir kısmının karşılanmasında fosil kökenli yakıtlar kaynak olarak kullanılmaktadır. Büyük oranda fosil kökenli yakıt tüketen sistemlerden biri de ulaşım sistemleridir. Fakat İYM’li araçlara bağlı olarak fosil yakıt tüketimindeki hızlı artış, hem fosil yakıt rezervlerinin azalmasına hem de yakıt tüketimine bağlı olarak, sera gazı etkisi gibi olumsuz çevresel etkilere neden olmaktadır. Bahsedilen bu sorunların üstesinden gelebilmek amacıyla önümüzdeki yıllarda EA’ların özellikle ŞEEA’ların otomobil pazarında önemli bir paya sahip olması beklenmektedir. Bu tezin, ŞEEA’nın bir kesintisiz güç kaynağı gibi kullanılarak araç sahiplerinin belirli kritik yüklerin enerji ihtiyacını karşılamasına ve aynı zamanda aracın mobil bir enerji kaynağı olarak kullanılmasına katkı sağlaması beklenmektedir.

EA’lar sahip oldukları batarya ve güç biçimlendirme üniteleri sayesinde, bir ulaşım aracı olarak kullanılmasının dışında şebeke ve tüketim merkezlerini doğrudan destekleyecek şekillerde de kullanılabilir. Bu tez çalışmasında da bahsedildiği üzere bu kullanım şekillerinden birisi de şebekeden bağımsız olarak bir tüketim merkezinin beslenmesidir. Bu çalışma durumunda araç bir kesintisiz güç kaynağı gibi bir tüketim merkezini besleyebilmektedir. Tez çalışmasına başlamadan önce bir EA’nın sahip olduğu batarya ile genel olarak bir evsel yükün enerji ihtiyacının giderilebileceği öngörülmüştür. Öncelikle bu çalışma benzetim ortamında gerçekleştirilmiştir. Ardından da laboratuvar ortamında normalize edilmiş değerlerle hazırlanan test platformu

üzerinde çalışmalara devam edilmiştir. Ortaya çıkan sonuçlar, bu çalışma durumunun pratik olarak da gerçekleştirilebilirliğini göstermiştir. Tabi bu çalışma durumunun kullanılabilmesi için tüketim merkezlerinin bu çalışma durumuna uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Bunun içinde tüketim merkezini şebekeden ayıracak adalama sistemi yeterli olacaktır. Bu alt yapı işlemleri tamamlandıktan sonra EA'ların acil veya ihtiyaç duyulduğu zamanlar da kesintisiz güç kaynağı olarak kullanılmasında herhangi bir sorun kalmamış olacaktır. Böylece, kesintisiz bir elektrik enerjisi için bir alternatif daha ortaya çıkmış olacaktır. Ayrıca bu çalışma durumu sayesinde, elektrik enerjisinin ücretlendirmesinin gün içinde farklı olması halinde de tüketici için bir avantaj daha ortaya çıkabilecektir. Böyle bir durumda, öncelikle tüketici aracını elektrik enerjisinin birim fiyatının düşük olduğu zamanlarda şarj edecektir. Daha sonra da, elektrik enerjisinin birim fiyatının yüksek olduğu zaman diliminde de evsel yükünü şebekeden ayırarak aracın evsel yükü beslemesine olanak sağlayacaktır. Böylelikle, bu çalışma durumu sayesinde maddi olarak bir tasarruf da söz konusu olabilecektir.

Sonuç olarak, EA'lar günümüzde Ar&Ge çalışmaları yapılan güncel ve popüler konu başlıkları içermektedir. Bu konular üzerinde ülkemizde de çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu güncel konular üzerinde dünya ile aynı anda araştırmalar yapılması çok önemlidir. Çünkü bu konular üzerinde zamanında ve yeterince ilgi gösterilmezse, ülkemizin bu konularda da dışa bağımlı hale gelmesi söz konusu olacaktır. Bu yüzden ülkemizde yapılan bu çalışmaları yeterli görmemeli, bu konular üzerindeki çalışmalara hız verilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Boulanger, A.G., Chu, A.C., Maxx, S., Waltz, D.L., (2011). "Vehicle Electrification: Status and Issues", *Proceedings of the IEEE*, 99(6):1116 -1138.
- [2] Hajian, M., Zareipour, H., Rosehart, W.D., (2009). "Environmental benefits of plug-in hybrid electric vehicles: The case of Alberta", *Power & Energy Society General Meeting*, 26-30 July 2009, Calgary, AB.
- [3] Foley, A.M., Leahy, P.G., McKeogh, E.J., Gallachóir, B.P.O., (2010). "Electric vehicles and displaced gaseous emissions", *Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, 1-3 Eylül 2010, Lille.
- [4] Skerlos, S. J., Winebrake, J. J., (2010). "Targeting plug-in hybrid electric vehicle policies to increase social benefits", *Energy Policy*, 38:705-708.
- [5] Ertaç, Y., (2008). *Elektrikli Taşıtların Tasarımı ve Simülasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [6] Thomas, C. E. S., (2009). "Transportation options in a carbon-constrained world: Hybrids, plug-in hybrids, biofuels, fuel cell electric vehicles, and battery electric vehicles", *International Journal of Hydrogen Energy*, 34:9279-9296.
- [7] Bradley, T. H., Frank, A. A., (2009). "Design demonstrations and sustainability impact assessments for plug-in hybrid electric vehicles", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13:115-128.
- [8] Silva, C., Ross, M., Farias, T., (2009). "Evaluation of energy consumption, emissions and cost of plug-in hybrid vehicles", *Energy Conversion and Management*, 50:1635-1643.
- [9] Smith, W. J., (2010). "Plug-in hybrid electric vehicles - A low-carbon solution for Ireland ?", *Energy Policy*, 38:1485–1499.
- [10] Göransson, L., Karlsson, S., Johnson, F., (2010). "Integration of plug-in hybrid electric vehicles in a regional wind-thermal power system", *Energy Policy*, 38:5482-5492.
- [11] Galus, M. D., Zima, M., Andersson, G., (2010). "On integration of plug-in hybrid electric vehicles into existing power system structures", *Energy Policy*, 38:6736-6745.

- [12] Liu, R., Dow, L., Liu, E., (2011). "A Survey of PEV Impacts on Electric Utilities", Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), 17-19 Ocak 2011, Hilton Anaheim, CA.
- [13] Hadley, S. W., Tsvetkova A., (2008). "Potential Impacts of Plug-in Hybrid Electric Vehicles on Regional Power Generation", Oak Ridge National Laboratory Technical report Operated for the U.S. Department of Energy by Battelle under Contract DE-AC05-00OR22725.
- [14] Markel, T., Brooker, A., Gonder, J., O'Keefe, M., Simpson, A., Thornton, M., (2006). "Plug-In Hybrid Vehicle Analysis", National Renewable Energy Laboratory, Operated for the U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency and Renewable Energy by Midwest Research Institute Battelle Contract No. DE-AC36-99-GO10337.
- [15] Kintner-Meyer, M., Schneider, K., Pratt, R., (2007). "Impacts Assessment of Plug-In Hybrid Vehicles on Electric Utilities And Regional U.S. Power Grids", Pacific Northwest National Laboratory Technical report Operated for the U.S. Department of Energy by Battelle under Contract DE-AC05-76RL01830.
- [16] Sioshansi, R., Fagiani, R., Marano, V., (2010). "Cost and emissions impacts of plug-in hybrid vehicles on the Ohio power system", Energy Policy, 38:6703-6712.
- [17] Pieltain Fernández, L., Gómez San Román, T., Cossent, R., Domingo, C.M., Frías, P., (2011). "Assessment of the Impact of Plug-in Electric Vehicles on Distribution Networks, Power Systems", IEEE Transactions on , 26(1):206 – 213.
- [18] Yiyun, T., Can, L., Lin, C., Lin, L., (2011). "Research on Vehicle-to-Grid Technology", Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring (CDCIEM), 19-20 Şubat 2011, Changsha.
- [19] Rocky Mountain Institute, Smart Garage,
http://move.rmi.org/files/smartgarage/PreRead_v2_Core-1.pdf, 6 Temmuz 2011.
- [20] Rocky Mountain Institute, Smart Garage Charrette Report,
http://move.rmi.org/files/smartgarage/SmartGarageCharretteReport_2.10.pdf, 6 Temmuz 2011.
- [21] Boyalı, A., (2008). Hibrid Elektrikli Yol Taşıtlarının Modellenmesi ve Kontrolü, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [22] Vural, B., (2010). Elektrikli Taşıtlarda Enerji Yönetim Stratejilerinin, Güç Dönüştürücülerinin ve Bağlantı Topolojilerinin Performans ve Verimlilik Üzerine Etkisi, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [23] Tırıs, M., (2003). Elektrikli Araçlar, TÜBİTAK-MAM Yayını, Kocaeli.
- [24] Alley, R., vd. (2007). "Climate Change 2007: The Physical Science Basis", Intergovernmental Panel on Climate Change, 29 January -1 February 2007, Paris.
- [25] U.S. Environmental Protection Agency, Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks 1990-2005, www.epa.gov, 27 Haziran 2011.
- [26] Erginer, V., (2009). Elektrikli Hibrit Araçlar ve Sürme Devreleri, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [27] Uğur, E., (2011). Prototip Bir Elektrikli Araç Üzerinde Enerji Yönetim Sisteminin Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [28] J.D. Power and Associates, (2010). Drive Green 2020: More Hope than Reality?, New York.
- [29] The Automobile Turns 120, images.businessweek.com/ss/06/01/auto_bday/source/1.htm, 26 Mayıs 2012.
- [30] Prologue - Preparing the way for the Columbia cars, and the formation of the Electric Vehicle Company, www.kcstudio.com/electrobat.html, 20 Nisan 2012.
- [31] School of Public and Environmental Affairs at Indiana University, (2011). Plug-in Electric Vehicles: A Practical Plan for Progress, Indiana.
- [32] A bit of EV history: Renault Dauphine Henney-Kilowatt, <http://green.autoblog.com/2008/10/17/a-bit-of-ev-history-renault-dauphine-henney-kilowatt/>, 20 Nisan 2012.
- [33] Akfidan, T., (2010). Bir Hibrit (Yakıt Pili & Güneş Pili) Enerjili Aracın Modellenmesi, Simülasyonu ve Prototip Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [34] Hurst, D., Wheelock, C., (2010). Battery Electric and Plug-in Hybrid Electric Vehicles: OEM Strategies, Demand Drivers, Technology Issues, Key Industry Players, and Global Market Forecasts, Pike Research, New York.
- [35] 1996 General Motors EV1 Electric, <http://www.petersen.org/default.cfm?DocID=1008&index=9>, 20 Nisan 2012.
- [36] Uçarol, H., Kural, E., (2009) “Ulaşımda Enerji Verimliliği için Hibrid ve Elektrikli Araçlar”, Mühendis ve Makina 50:594.
- [37] T.C. Gazi Üniversitesi, Hev (Hybrid Electric Vehicle), www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/hibrit_otomobiller/hev2.htm, 27 Haziran 2011.
- [38] Koot, M.W.T., 2006. Energy Management for Vehicular Electric Power Systems, PhD Thesis, Eindhoven Technical University, Eindhoven.
- [39] Larminie, J. ve Lowry, J., (2003). Electric Vehicle Technology Explained, John Wiley&Sons, West Sussex, England.
- [40] Erdiñç, O., (2008). Dalgacık Dönüşümü/Bulanık Mantık Tabanlı Enerji Yönetim Stratejisi Kullanılarak Yakıt Hücresi/Ultra-Kapasitörlü Hibrit Taşıt Sisteminin Modellenmesi ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [41] Şenol, R., vd., (2006). “Yakıt Pili Teknolojisindeki Gelişmeler ve Taşıtlara Uygulanabilirliğinin İncelenmesi”, Mühendis ve Makina 47:563.
- [42] DEMİR, A., “Güncel ve Gelecekteki Otomobil ve Otopark Trendleri”, Uluslararası Otopark Politikaları ve Uygulamaları Sempozyumu, Mayıs 25, 2011. İstanbul
- [43] Gomez, J.C, Medhat, M.M, (2008). “Impact of EV Battery Chargers on the Power Quality of Distribution Systems”, IEEE Transactions on Power Delivery, 18(3):975-981.

- [44] Morcos, M.M., vd., (2000). "Battery Chargers for Electric Vehicles", IEEE Power Engineering Review IEEE, 20(11):8-11.
- [45] Dhameja, S., (2001). Electric vehicle battery systems, Newnes.
- [46] Shafiei, A., Williamson, S.S., (2010). "Plug-in Hybrid Electric Vehicle Charging: Current Issues and Future Challenges", IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), 1-3 Eylül 2010, Lille.
- [47] Kayıklı, T., Balıkçı, A., (2008). "Elektrikli Araçlarda Kullanılan Lityum-Polimer Aküler İçin Bir Şarj Cihazı Tasarımı", Elektrik - Elektronik Ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ELECO' 2008, 26-30 Kasım 2008, Bursa.
- [48] Nextbigfuture.com İnternet Sitesi, UltraBattery Combines a Supercapacitor and a Lead Acid Battery, <http://nextbigfuture.com/2008/01/ultrabattery-combines-supercapacitor.html>, 6 Temmuz 2011.
- [49] The Credit Suisse Group, Electric Vehicles, www.zyen.info/joomla/londonaccord/images/reports/pdf/ev2_creditsuisse_2009.pdf, 27 Haziran 2011.
- [50] Harding Enegy Inc., Lithium Iron Phosphate, <http://www.hardingenergy.com/index.php/lithiumironphosphate>, 6 Temmuz 2011.
- [51] Ifri.org İnternet Sitesi, The Electric Vehicle in the Climate Change Race Tortoise, Hare or Both?, www.ifri.org, 27 Haziran 2011.
- [52] Halper, M.S., Ellenbogen, J.C., (2006). Supercapacitors : A Brief Overview, Mitre, Virginia.
- [53] Burke, A., (2000). "Ultracapacitors: why, how, and where is the technology", Journal of Power Sources, 91:37-50.
- [54] Maxwell Technologies, Top 10 Reasons for Using Ultracapacitors in Your System Designs, http://www.maxwell.com/pdf/uc/white-papers/top_10_reasons.pdf, 21 Haziran 2011.
- [55] Köklükaya, E., Yıldız, M., Bağcı, S., (2011). "Hibrit Araçlarda Güç Elektroniği Sistemlerinin Genelleştirilmiş Durum Uzay Ortalama Yöntemiyle Modellenmesi", Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu FEEB 2011, 5-7 Ekim 2011, Fırat Üniversitesi-Elazığ.
- [56] Bodur, H., (2010). Güç Elektroniği, Birsen Yayınevi, 1, İstanbul.
- [57] Haines, G., McGordon, A., Jennings, P., Butcher, N., (2009). "The Simulation of Vehicle-to-Home Systems - Using Electric Vehicle Battery Storage to Smooth Domestic Electricity Demand", EVER09 Conference, 26-29 Mart 2009, Monaco.
- [58] El Chehaly, M., Saadeh, O., Martinez, C., Joos, G., (2009). "Advantages and applications of vehicle to grid mode of operation in plug-in hybrid electric vehicles", Electrical Power & Energy Conference (EPEC), 22-23 Ekim 2009, Montreal, QC.
- [59] Kisackoglu, M.C., Ozpineci, B., Tolbert, L.M., (2010). "Effects of V2G reactive power compensation on the component selection in an EV or PHEV bidirectional

- charger”, Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 12-16 Eylül 2010, Atlanta, GA.
- [60] Mitra, P., Venayagamoorthy, G.K., Corzine, K., (2010). “Real-time study of a current controlled plug-in vehicle for vehicle-to-grid transaction”, Power Electronics Conference (IPEC), 21-24 Haziran 2010, Sapporo.
 - [61] Keskin, A., Hibrid Taşıt Teknolojileri ve Uygulamaları, Mühendis ve Makine Cilt:50 Sayı: 597, 5 Ekim 2009.
 - [62] Mukherjee, P., vd., (1998). “A Single Switch High Power Factor Battery Charger”, Power Electronic Drives and Energy Systems for Industrial Growth International Conference on, 1-3 Aralık 1998.
 - [63] Masserant, B.J., Stuart, T.A., (1997). “A Maximum Power Transfer Battery Charger for Electric Vehicles”, IEEE Transactions On Aerospace and Electronics Systems, 33(3):930-938.
 - [64] Elias, M.F.M, Rahim, N.A., Arof, A.K, “Lithium-Ion Battery Charger for High Energy Application”, National Power and Energy Conference, 15-16 Aralık 2003.
 - [65] Virginiaev.org İnternet Sitesi, Choosing Your Chargers, <http://www.virginiaev.org>, 27 Haziran 2011.
 - [66] Foley, A.M.; Winning, I.J.; Gallachoir, B.P.O., (2010). “State of the art electric vehicle charging infrastructure”, Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), 1-3 Eylül 2010, Lille.
 - [67] Haghbin, S., vd., (2010). “Integrated Chargers for EV’s and PHEV’s: Examples and New Solutions”, XIX International Conference on Electrical Machines, 6-8 Eylül 2010, Rome.
 - [68] U.S Department of Energy (DOE), (2008). “Plug-in Hybrid Electric Vehicle Charging Infrastructure Review”, Vehicle Technologies Program- Advance vehicle Testing Activity, Final Report.
 - [69] TEPCO/CHAdeMO Level III "quick" charging station/connector, www.teslamotorsclub.com/showthread.php/4092-TEPCO-CHAdeMO-Level-III-quot-quick-quot-charging-station-connector, 20 Mayıs 2012.
 - [70] ChargePoint Unveils First Public EV Charger In Washington D.C., inhabitat.com/chargepoint-unveils-first-public-ev-charger-in-washington-d-c/, 20 Mayıs 2012.
 - [71] Charge Net™ Electric Vehicle Charging Stations, www.ev-chargeamerica.com/products.html, 20 Mayıs 2012.
 - [72] Cogen, J., (2010). “Report of the Alternative Fuel Vehicle Infrastructure Working Group”, Oregon State Reports.
 - [73] Better Place Unveils an Electric Car Battery Swap Station, <http://www.wired.com/autopia/2009/05/better-place/>, 20 Nisan 2012.
 - [74] Putrus, G. A., vd., (2009). “Impact of Electric Vehicles on Power Distribution Network”, IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, 7-10 Eylül 2009, Dearborn, MI.

- [75] Jewell, W. , Ward, D.J., (2002). "Single Phase Harmonic Limit" in PSERC EMI Power Quality and Safety Workshop, 18-19 Nisan 2002, Wichita State University.
- [76] Farmer, C., Hines, P., Dowds, J., Blumsack S., (2010). "Modeling the Impact of Increasing PHEV Loads on the Distribution Infrastructure", 43rd Hawaii International Conference, 5-8 Ocak 2010, Honolulu, HI.
- [77] Elmoudi, A., Lehtonen, M., Normdan, H., (2006). "Effect of Harmonics on Transformers Loss of Life", in IEEE International Symposium on Electrical Insulation, 11-14 Haziran 2006, Toronto, Ont..
- [78] Maitra, A., v.d., (2009). "Integrating PEV with the Distribution System", C I R E D 20th International Conference on Electricity Distribution, 8-11 Haziran 2009, Prague, Czech Republic.
- [79] Tetikleme devrelerinde ölü zaman oluşturulması, <http://www.denizyildirim.org/mylibrary/lockout/lout.html>, 28 Nisan 2012.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Gökem ŞEN
Doğum Tarihi ve Yeri : 17/08/1988
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : gorkemsen10@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektrik Mühendisliği	Yıldız Teknik Ünivesitesi	2010
Lise	Fen Bilimleri	Haydarpaşa Anadolu Lisesi	2006

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2009	Arçelik A.Ş.	Uzun Dönem Stajyer
2008	Eksen A.Ş.	Stajyer

YAYINLARI

Bildiri

1. TRİSTÖR ANAHTARLAMALI BİR KOMPANZASYON SİSTEMİNİN TASARLANMASI VE UYGULAMASI
2. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ŞARJ YÖNTEMLERİ VE ARAÇLARIN ŞEBEKEYLE BAĞLANTISINDA KARŞILAŞILAN PROBLEMLERE YÖNELİK ÇÖZÜM ÖNERİLERİ