

**GÜNEŞ ENERJİSİ İLE ÇALIŞAN MOTORLU
ARAÇTA HIZ, ZAMAN VE GÜNEŞ
RADYASYONU DEĞERLERİ GÖZETİMİNDE
GÜÇ OPTİMİZASYONU**

**2015
DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

Muhammet Tahir GÜNEŞER

**GÜNEŞ ENERJİSİ İLE ÇALIŞAN MOTORLU ARAÇTA HIZ, ZAMAN VE
GÜNEŞ RADYASYONU DEĞERLERİ GÖZETİMİNDE GÜÇ
OPTİMİZASYONU**

Muhammet Tahir GÜNEŞER

**Karabük Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde
Doktora Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Aralık 2015**

Muhammet Tahir GÜNEŞER tarafından hazırlanan “GÜNEŞ ENERJİSİ İLE ÇALIŞAN MOTORLU ARAÇTA HIZ, ZAMAN VE GÜNEŞ RADYASYONU DEĞERLERİ GÖZETİMİNDE GÜÇ OPTİMİZASYONU” başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Erzat ERDİL

.....

Tez Danışmanı, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir. 17/ 12 /2015

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan: Prof. Dr. Erzat ERDİL (KBÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. İhsan ULUER (KBÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Şemsettin ALTINDAL (GÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Abdulkadir BALIKÇI (GTE)

.....

Üye : Doç. Dr. Necmi Serkan TEZEL (KBÜ)

.....

...../...../ 2015

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Muhammet Tahir GÜNEŞER

ÖZET

Doktora Tezi

GÜNEŞ ENERJİSİ İLE ÇALIŞAN MOTORLU ARAÇTA HIZ, ZAMAN VE GÜNEŞ RADYASYONU DEĞERLERİ GÖZETİMİNDE GÜÇ OPTİMİZASYONU

Muhammet Tahir GÜNEŞER

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Erzat ERDİL

Aralık 2015, 130 sayfa

Bu çalışmada Güneş arabasında, PV (fotovoltaik) panellerden elde edilen ve bataryada bulunan enerjinin verimli kullanımını hedefleyen bir enerji yönetim sistemi yazılım ve donanımı tasarlanmıştır.

Bataryada bulunan enerji miktarı ve PV panelin birim zamanda üreteceği enerji miktarı bilinirse, ulaşmak istenen noktaya gitmek için uygun bir hız değeri seçilerek, yol boyunca PV panellerin ürettiği ve bataryalarda bulunan enerji menzile ulaşmayı sağlayacaktır. Doğru hız değerinden daha yavaş bir hızda yolculuğa devam edilirse araç menzile geç ulaşacak ve ulaştığı anda bataryasında ihtiyacından fazla enerjiyi depolamış olacaktır. Doğru hız değerinden daha hızlı bir yolculuk ise bataryadaki enerjinin erken tükenmesine sebep olacağından menzile ulaşmadan yolda

kalınacaktır. Doğru hız değeri ile yolculuk sonunda menzile ulaşılmakla birlikte bataryadaki enerji de tüketilmiş olacaktır.

Bu çalışmada, modelleme, deney ve uygulamalarda Otomotiv Mühendisliği bünyesinde bulunan Güneş Arabası YILDIZ'dan faydalanılmıştır. 2012 yılında tasarlanan aracın geliştirilmesi ve 2013 yılı TÜBİTAK Formula G yarışlarında veriminin artırılması için çalışmalar yürütülmüştür.

Tasarlanan algoritmada daha doğru veriler elde etmek amacıyla Smart PV projesi kapsamında Leuven Katolik Üniversitesi (KU Leuven) - IMEC Araştırma Merkezi Belçika'da 10 ay süre ile görev yapılmıştır. IMEC'de bulunulan sürede, farklı sıcaklık değerlerinde PV panellerden elde edilen enerji değişimi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Hareket halindeki araçta yüzeysel hava akımı rüzgar olarak da tanımlanabileceğinden, rüzgar etkisinin COMSOL Multiphysics 4.3 ile simülasyonu yapılmıştır.

Güneş arabasının matematiksel modeli geliştirilerek, MATLAB üzerinde eğitim (iniş-yokuş), düz yol ve asfalt - beton yol gibi muhtelif yol senaryoları simüle edilmiştir. Tasarlanan PIC16F877 mikrokontrolör, sıcaklık, akım, gerilim sensörleri içeren devre ile sürüş esnasında araç üzerinden veriler toplanarak simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sürüş boyunca dinamik olarak Arduino Mega üzerinde hız ve menzil, PV hücrelerden elde edilen enerji göz önünde tutularak DC motorun otomatik hız kontrolü PI-FLC (Oransal İntegral – Bulanık Mantık Kontrol) ile sağlanmıştır. Dinamik değişen hız stratejisine göre tasarlanan yazılımla arabanın hız kontrolü pilot yerine, yarı otomatik kontrol edilen bir sürüş sistemi ile yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Güneş arabası, enerji yönetimi, hız kontrolü, güç optimizasyonu.

Bilim Kodu : 905.1.035

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

CONSUMPTION POWER OPTIMISATION OF A SOLAR CAR BASED ON SPEED, TIME AND SOLAR INSOLATION

Muhammet Tahir GÜNEŞER

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical-Electronics Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Erzat ERDİL

December 2015, 130 pages

In this study, to manage energy consumption of a solar electric vehicle, Solar Electrical Vehicle (SEV) at different speeds, a system software and hardware were designed with an aim to improve consumption of energy that is produced by PV panels and stored in a battery bank.

If the amount of energy already stored in the battery bank and the energy produced by PV panels is known at any time, then an optimal SEV speed, that is energy consumption rate, could be chosen to enable travel to a predetermined destination at shortest possible time. If however, the chosen speed is slower than optimal, the vehicle will reach destination with some redundant energy in the battery bank. Similarly, if the chosen speed is higher than optimal, the stored energy will soon be exhausted and the vehicle will stop until the battery bank is recharged by the PV

panels. Ideally, at the optimal speed, the battery bank will be exhausted when the vehicle reach destination.

In this study, a SEV named YILDIZ and kept in the Automobile Engineering Department of Karabuk University, was used during modelling, test and run processes. The vehicle designed and build in 2012, was slightly modified to improve performance for the solar race, TÜBİTAK Formula G 2013.

Experience gained while working on a Smart PV project during training at the Catholic Leuven University (KU- Leuven) IMEC Research Center in Belgium for 10 months, helped obtain more accurate data in this study. During this period, relationship between the energy produced by PV panels and the ambient temperature was studied and modelled. Laminar flow of air over the PV panels, which may be accepted as wind effect, was modelled and simulated using the software COMSOL Multiphysics 4.3.

Mathematical model of YILDIZ was prepared and simulations were performed using MATLAB software for several different road scenarios such as slope (uphill – downhill), flat and asphalt and slab. Data was collected via designed hardware which consisted of PIC16F877 microcontroller, temperature and current sensors, and compared with those obtained by simulation. During the drive, the data such as speed, range, the energy produced by PV panels were evaluated by Arduinio Mega dynamically and the speed of DC motor was controlled with PI-FLC (Proportional Integral – Fuzzy Logic Control). Regarding *variable speed strategy*, software was developed such that speed control of the SEV could be run by drive system instead of a pilot.

Key Words : Solar car, energy management, speed control, power optimization.

Science Code : 905.1.035

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Erzat ERDİL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez izleme sürecinde yakın ilgi ve destekleri ile beni cesaretlendiren ve yönlendiren Bölüm Başkanımız sayın hocam Prof. Dr. İhsan ULUER'e ve TÜBİTAK Enerji Enstitüsü Başkanı Doç. Dr. Abdulkadir BALIKÇI'ya ayrıca teşekkür ederim.

YILDIZ Güneş arabası üzerinde yaptığımız testler sırasında birlikte çalıştığımız KÜGAT ekibinin danışmanı Prof. Dr. Bahattin ÇELİK ve ekibin her bir üyesine, ayrıca çalışmalar sırasında yardımını esirgemeyen, başta Arş. Gör. Turgut ÖZTÜRK olmak üzere tüm mesai arkadaşlarıma da ayrı ayrı teşekkür ederim.

10 ay süreyle laboratuvar ortamlarını kullandığım ve tecrübelerinden istifade ettiğim, başta Prof. Dr. Jef Poortmans, Prof. Dr. Francky Catthoor, Dr. Jonathan Govaerts ve Hans Goverde olmak üzere, Belçika Katolik Leuven Üniversitesi IMEC Araştırma Merkezi'ndeki meslekdaşlarıma da teşekkürü bir borç bilirim.

Sevgili anne-babama manevi destekleri için, eşime ve çocuklarıma hiçbir fedakarlığı esirgemediği yoğun çalışma sürecimde yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

Bu çalışmanın belli kısımları, Karabük Üniversitesi tarafından KBÜ-BAP-13/1-DR-004 no'lu Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. ÇALIŞMANIN AMACI.....	5
1.2. ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ	7
BÖLÜM 2	11
TEZ KONUSU İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR	11
2.1. GENEL ÇALIŞMALAR.....	13
2.1.1. Güneş Arabasında Fotovoltaik Panel Uygulamaları	15
2.1.2. Güneş Arabasında MPPT ve Batarya Uygulamaları	17
2.1.3. Güneş Arabasında Motor Tasarımı ve Kontrol Uygulamaları	20
2.1.4. Güneş Arabasında Enerji Yönetimi Uygulamaları.....	21
2.1.5. Yapılan Tez Çalışmaları	25
2.2. ÇALIŞMANIN KATKILARI	27
2.2.1. Bilimsel Katkılar.....	29
BÖLÜM 3	30
FOTOVOLTAİK SİSTEMLER.....	30

	<u>Sayfa</u>
3.1. GÜNEŞ, GÜNEŞ ENERJİSİ VE FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN ÇALIŞMA PRENSİBİ	30
3.2. FOTOVOLTAİK HÜCRELERİN FİZİKSEL YAPISI	36
3.3. FOTOVOLTAİK PANEL TASARIMLARI VE LAMİNASYON TEKNİKLERİ	37
3.4. FOTOVOLTAİK PANEL AKIM VE GERİLİM DEĞERİNE SICAKLIK ETKİSİ	39
3.5. PV HÜCRE YÜZEYİNDE OLUŞAN RÜZGARIN PANEL SICAKLIĞINA ETKİSİ	42
3.6. COMSOL MP 4.3 VE ISI TRANSFER MODÜLÜ İLE SİMULASYON YÖNTEMİ	44
3.7. SİMULASYON VE DENEY SONUÇLARI, ARACIN COMSOL MODELİ	45
3.8. SONUÇ	52
BÖLÜM 4	53
GÜNEŞ ARABASI TASARIMI.....	53
4.1. GÜNEŞ ARABASI VE GÜNEŞ ARABASI YARIŞLARI.....	53
4.2. YILDIZ GÜNEŞ ARABASINDA (SEV) KULLANILAN KOMPONENTLER	56
4.2.1. Gövde ve Mekanik Aksam Üzerinde Geliştirmeler.....	57
4.2.2. Fotovoltaik (PV) Paneller ve Yerleşimi	60
4.2.3. MPPT (Maximum Power Point Tracker)	62
4.2.4. DC Motor ve Sürücü Tercihî	63
4.2.5. DC Motor ve Sürücü Hesaplamaları, Yol Testleri ve Simulasyonları ...	65
4.2.6. Batarya Grubu.....	68
4.3. SONUÇ	71
BÖLÜM 5	73
GÜNEŞ ARABASININ MATEMATİKSEL MODELİ VE ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI.....	73
5.1. VERİ TOPLAMA VE KONTROL.....	74
5.2. DEVRE TASARIMI	76
5.3. MERKEZİ KONTROL ÜNİTESİ TERCİHİ.....	80
5.4. MATEMATİKSEL MODEL	81

	<u>Sayfa</u>
5.4.1. Güneş Arabasına Etkiyen Kuvvetler, Güç Hesabı.....	82
5.4.2. PV Panel Matematiksel Modeli.....	85
5.4.3. Yol Modeli.....	86
5.4.4. Batarya Modeli	88
5.4.5. Kontrol Sistemi Modeli	90
5.5. HESAPLAMALAR VE SİMULASYONLARIN KARŞILAŞTIRILMASI.	92
5.5.1. Kontrol Yöntemlerinin Karşılaştırılması	93
5.5.2. Maksimum Hız-Minimum Menzil Stratejisi	96
5.5.3. Belirlenen Menzil – Sabit Hız Stratejisi (Optimum Sabit Hız).....	105
5.5.4. Belirlenen Menzil – Değişken Hız Stratejisi (Çözüm Önerisi)	109
5.6. SONUÇ	112
BÖLÜM 6	114
SONUÇ VE ÖNERİLER	114
KAYNAKLAR	118
ÖZGEÇMİŞ	130

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Elektrikli araç şarj istasyonu.	4
Şekil 1.2. YILDIZ Güneş Arabası.	8
Şekil 3.1. Solar spektrum.	31
Şekil 3.2. Dünya üzerinde 1983-2005 arası ortalama günlük ışınım değeri (kWh/m ² yıl).	32
Şekil 3.3. Türkiye'nin yıllık toplam ışınım değeri (kWh/m ² yıl).	32
Şekil 3.4. PV hücrenin yapısı ve fotovoltatik etki.	33
Şekil 3.5. PV sistemi devre modeli.	35
Şekil 3.6. PV sistemin $V_{oc} - I_{sc}$ değerleri ve MPPT etkisi.	35
Şekil 3.7. Negatif ve pozitif terminallerin arka yüzeye taşınması.	37
Şekil 3.8. PV hücreler arası bağlantının sağlanması.	38
Şekil 3.9. Laminasyon işlemi ve kullanılan malzemeler.	39
Şekil 3.10. Arka yüzey bağlantılı PV panel laminasyonu.	40
Şekil 3.11. PV Hücrenin elektriksel modeli.	40
Şekil 3.12. Sıcaklığın PV hücrede akıma ve gerilime etkisi.	41
Şekil 3.13. Güneş simülatörü altında rüzgar düzeneği.	43
Şekil 3.14. Hücre $V-I$ karakteristiği için deney kurulumu.	43
Şekil 3.15. Serbest ısı dağılımı ve uyarılmış ısı dağılımı karşılaştırması.	44
Şekil 3.16. PV hücrenin COMSOL'da katı modeli ve meshing hali.	46
Şekil 3.17. Araba dururken ısı yayılım simülasyonu.	47
Şekil 3.18. Araba 5 m/s hızla hareket yatay PV panelde ısı yayılım simülasyonu ve konuma göre ısı değişim grafiği.	48
Şekil 3.19. YILDIZ Güneş arabasının COMSOL'da modellenmesi.	49
Şekil 3.20. Rüzgar hız testi deney düzeneği.	49
Şekil 3.21. Araba 5 m/s hızla hareket ederken 30 derece açılı PV panelde ısı yayılım simülasyonu ve konuma göre ısı değişim grafiği.	50
Şekil 3.22. Arabanın hızındaki değişimin PV panelin yüzey sıcaklığına ve V_{oc} açık devre gerilimine etkisi.	51
Şekil 4.1. Güneş arabası elektriksel altyapısı.	56
Şekil 4.2. Güneş arabası tasarımlarında gelişim süreci.	58

Şekil 4.3. Karabük Üniversitesi Güneş arabası: YILDIZ.....	59
Şekil 4.4. YILDIZ'ın kasa tasarımı.....	59
Şekil 4.5. Aracın önden görünüşü.....	59
Şekil 4.6. YILDIZ'da kullanılan PV hücre ve PV panel.....	60
Şekil 4.7. YILDIZ'da kullanılan PV panellerin dizilimi.....	62
Şekil 4.8. Motorun test edilme ortamı.....	66
Şekil 4.9. Motorun boştta çalışma devir sayısı.....	66
Şekil 4.10. Motor sürücü yazılım ayarları.....	67
Şekil 4.11. Kullanılan test yazılımı.....	67
Şekil 4.12. Test ekipmanının yazılımı.....	68
Şekil 4.13. Li-polimer bataryanın farklı sıcaklıklardaki deşarj eğrisi (V- %)	69
Şekil 4.14. Batarya grubu montajı.....	71
Şekil 4.15. Yeni tasarım sonrası elektriksel bağlantılar.....	72
Şekil 5.1. Güneş arabası elektronik sistem tasarımı.....	73
Şekil 5.2. Arabanın elektrik tesisatı.....	75
Şekil 5.3. MPPT ve batarya gerilim değerleri okuyan devrenin tasarımı.....	77
Şekil 5.4. Batarya, PV panel sıcaklık değerleri okuyan devrenin tasarımı.....	79
Şekil 5.5. Pilot gösterge ekranları.....	79
Şekil 5.6. Tasarlanan veri toplama devresi ve sıcaklık sensörleri.....	80
Şekil 5.7. Güneş arabasına etkiyen kuvvetler.....	83
Şekil 5.8. Güneş arabasında kullanılan PV hücrenin farklı ortam sıcaklıklarında $I - V$ karakteristiği.....	85
Şekil 5.9. Güneş arabasında kullanılan PV panel grubunun farklı ortam sıcaklıklarında $I - V$ ve sistemin güç karakteristiği.....	86
Şekil 5.10. Güneş arabası blok diyagramı.....	87
Şekil 5.11. Körfez pistinin krokisi.....	88
Şekil 5.12. Batarya grubunun sarj – desarj grafiği.....	89
Şekil 5.13. FOC için tasarlanan PI-FLC blok diyagramı.....	91
Şekil 5.14. PI kontrolör blok diyagramı.....	91
Şekil 5.15. ECE-15 sürüş test parkuru.....	94
Şekil 5.16. ECE-15 parkuru üzerinde PI kontrolürün ve PI-FLC'ün referans hız takip performansı ve hata grafikleri.....	95
Şekil 5.17. ECE-15 parkuru üzerinde PI kontrolürün ve PI-FLC'ün batarya SOC oranları ve bataryadaki enerjinin tüketim grafiği.....	96

Şekil 5.18. Sabit maksimum hız 52 km/h ile ortaya çıkan yol grafiği.	99
Şekil 5.19. PI-FLC kontrol ile 52 km/h sabit hızda; PV panel, batarya, motor akımlarını ve arabanın kalkışta hızlanma, maksimum hıza ulaşma anında, yokuşta ve inişte ise hızın sabitlenmesini gösterir grafikler.....	100
Şekil 5.20. Maksimum hıza (52 km/h) ulaşıldığı ve tepeye ulaşıldığı anda batarya, motor ve PV panel akımları.....	101
Şekil 5.21. Güneş arabasının PI-FLC ile hız kontrol performansı, hata grafiği, maksimum referans hızda bataryanın enerji tüketim değişimi ve SOC grafiği.	102
Şekil 5.22. MATLAB modeli ile yarış pisti hız kontrol sonuçlarının maksimum hız referansında (52 km/h) karşılaştırılması.....	103
Şekil 5.23. MATLAB modeli ile yarış pisti verilerinin; maksimum hız referansında (52 km/h) elektrik motor DC akım giriş değeri ve batarya çıkış akım değeri karşılaştırılması.	104
Şekil 5.24. Yarış pistinde maksimum hız referansında (52 km/h) PV-panel ve batarya çıkış DC akımları, motor giriş DC akımı karşılaştırması.	105
Şekil 5.25. <i>Belirlenen menzil –sabit hız</i> stratejisine göre, 39 km menzil referansı için arabanın durma zamanı, ulaşılan menzil grafiği ve durma zamanı ile menzilin detay görünüm grafikleri.....	107
Şekil 5.26. <i>Belirlenen menzil –sabit hız</i> stratejisi ile 39 km menzilde; PV panel, batarya, motor DC akım, SOC ve enerji tüketim değişim grafikleri. ...	108
Şekil 5.27. <i>Belirlenen menzil - değişken hız</i> stratejisine göre 39 km menzil referansında kontrol sistemi tarafından belirlenen hızlanma ve bataryanın enerji tüketim değişimi, SOC grafiği.	111
Şekil 5.28. <i>Belirlenen menzil - değişken hız</i> stratejisine göre 39 km menzil referansında PV panel, batarya ve motor DC akım grafiği.....	112
Şekil 5.29. <i>Belirlenen menzil - değişken hız</i> stratejisine göre 39 km menzil referansında arabanın durma zamanı ve ulaşılan menzil grafiği.....	112

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1. Batarya tipleri enerji yoğunluğu çizelgesi.	6
Çizelge 3.1. PV panel çeşitlerinin verimlilikleri.....	37
Çizelge 3.2. Simulasyon ve deney sonuçları karşılaştırması	45
Çizelge 4.1. YILDIZ’da kullanılan PV hücrelerin teknik özellikleri.....	61
Çizelge 4.2. YILDIZ üzerindeki PV panellerden elde edilen $V - I$ değerleri.	61
Çizelge 4.3. YILDIZ’da kullanılan MPPT’lerin teknik özellikleri.....	63
Çizelge 4.4. Eski hub motor ve sürücü setinin teknik özellikleri.....	64
Çizelge 4.5. Yeni DC motor ve sürücü setinin teknik özellikleri.	64
Çizelge 4.6. Batarya tipleri ve enerji yoğunluğu karşılaştırması.	69
Çizelge 4.7. Kokam SLPB70205130P Li-polimer batarya karakteristiği.....	70
Çizelge 5.1. Veri toplama sistemi ile alınan veriler.	75
Çizelge 5.2. ACS709 akım sensörü özellikleri.	78
Çizelge 5.3. ACS714 akım sensörü özellikleri.	78
Çizelge 5.4. Körfez pistinin özellikleri.	87

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- α : Yokuş ve inişlerde yolun eğim açısı
 μ_{rr} : Teker sürtünme katsayısı
 η : Verim
 $\Delta\eta$: Verimdeki değişim
 ρ : Hava yoğunluğu
 q : Elektron yükü (1.6×10^{-19} C)
 μm : mikrometre
 a : İvme
 A : Amper
 A_c : Arabanın kesiti
 Ah : Amper x saat
 $^{\circ}C$: Santigrad derece
 C_d : Hava sürtünme katsayısı
 D : Yol
 D_{mh} : Maksimum hız stratejisinde katedilen yol
 D'_{mh} : Maksimum hız stratejisine göre test ortamında katedilen yol
 $D_{yarış}$: Formula G yarış parkur uzunluğu
 E_0 : Batarya grubu elektriksel alan
 F_{ad} : Hava sürtünmesi kuvveti
 F_{hc} : Yol eğiminden kaynaklı arabaya uygulanan kuvveti
 F_{la} : İvmelenme kuvveti
 F_{rr} : Arabanın tekerindeki sürtünme kuvveti
 F_{te} : Araba üzerine etkiyen kayba sebep olan kuvvetlerin toplamı
 g : Yerçekimi ivmesi
 G : Araç vites dişli sayısı
 I_0 : Doyma akımı

I_L	: Foton akımı
I_{nom}	: PV hücrenin yük altındaki akım değeri
I_{sc}	: PV hücre kısa devre akımı
i	: batarya akımı
it	: t anında harcanan enerji miktarı
i^*	: Düşük frekans değişken akımı
K	: Polarizasyon direnç sabiti
K	: Boltzmann sabiti (1.38×10^{-23} J/K)
kWh	: kilo Watt x saat
m	: Araba ve pilotun toplam ağırlığı
n	: Seri bağlı PV hücre sayısı
P_{PV}	: PV panellerin toplam gücü
P_{te}	: Tekere iletilen güç
r	: Araba teker yarıçapı
R_s	: PV panelde iç kayıp direnci
$Q(t)$: Batarya anlık yük (doluluk) miktarı,
Q_0	: Bataryanın dolu haldeki maksimum yük seviyesi (doluluk),
s	: Saniye
T	: Sıcaklık
t_{mh}	: Maksimum hız stratejisinde batarya bitene kadar geçen süre
t_{mm}	: Belirlenen menzil-sabit hız stratejisinde batarya bitene kadar geçen süre
t_{te}	: Arabaya kalkış verebilmek için gereken minimum tork değeri
V_k	: Güneş arabası kritik hızı
V_m	: Güneş arabası maksimum hızı
V_{mm}	: Belirlenen menzil-sabit hız stratejisinde Güneş arabası hızı
V_{nom}	: PV hücrenin yük altındaki gerilim değeri
V_{oc}	: PV hücre açık devre gerilimi
V	: Çıkış gerilimi
v	: Arabanın hızı
ω	: açısal hız

KISALTMALAR

AC	: Alternative Current (Alternatif akım)
BMS	: Batarya Yönetim Sistemi
DC	: Direct Current (Doğru akım)
EMRA	: Energy Market Regulatory Authority (Enerji Piyasası Denetleme Kurulu)
EV	: Electrical Vehicle (Elektrikli Araç)
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
IEA	: International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
MPPT	: Maximum Power Point Tracker (Maksimum güç noktası izleyici)
NREL	: National Renewable Energy Laboratory (Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı)
PV	: Photovoltaic (Fotovoltaik)
PI	: Proportional Integral (Oransal İntegral)
PI-FLC	: Proportional Integral – Fuzzy Logic Control (Oransal İntegral – Bulanık Mantık Kontrol)
SEV	: Solar Electrical Vehicle (Güneş Enerjili Elektrikli Araç)
SOC	: State of Charge (Batarya Şarj Durumu)
TC	: Türkiye Cumhuriyeti
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
YÖK	: Yüksek Öğrenim Kurulu
WEC	: World Energy Council (Dünya Enerji Konseyi)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Uzmanların yaptığı araştırmalar, birincil enerji kaynakları olarak ifade edilen fosil yakıtların hızla tükenmekte olduğunu işaret etmektedir, 100 yıl içerisinde bilinen rezervlerin tümünün tamamen tükeneceği öngörülmektedir [1,2]. Enerji ihtiyacının dünyada hızla arttığı ve kaynakların güvenliğinin temininin her geçen gün daha da zorlaştığı günümüzde, çoğu fosil kökenli kaynakların kullanımı esnasında ortaya çıkan çevre problemlerinin de telafi edilemez seviyelere ulaşması ve ekolojik bozulmalar enerji teminini günümüzün en önemli ulusal ve uluslararası konularından birisi yapmaktadır [1,2].

Eldeki enerjinin tasarruflu ve verimli kullanılmasının önem kazanması ile birlikte, ihtiyaç duyulan enerjinin ekonomik, zararsız ve güvenli yollardan temininin sağlanması ve yeni alternatif enerji kaynaklarının bulunarak kaynakların çeşitlendirilmesi iki temel ihtiyaç olarak görülmektedir [1].

Dünya'nın tümünde stratejik öneme sahip olan enerji ve ucuz enerji kaynaklarına ulaşım, ülkemiz kalkınmasında da kritik bir öneme sahiptir. Petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtlar hususunda yeterli kaynağa sahip olmayan ülkemizde sürdürülebilir, güvenilir, temiz, verimli ve kaliteli enerji kaynaklarına sahip olmak ya da ortaya çıkarmak stratejik hedefler arasında bulunmaktadır. Bu yüzden yakın ve orta vadede gerek yurdumuzda gerekse çevre ülkelerde enerji sektöründeki faaliyetlerin yoğunlaşmaya devam edeceği beklenmektedir [1].

Bilinen tüm enerji kaynaklarının kısa bir zamanda tükenecek olması bir yana, petrol fiyatının düzensizliği, fosil yakıtların çevrede sebep olduğu tahribatlar sonucu çevreci sivil toplum örgütlerinin kuvvetlenmesi alternatif enerji kaynaklarının önemini artırmıştır [2,3].

Güneş, rüzgar, jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmenin temel sebebi fosil kökenli yakıtların temin ve devamlılık problemlerine çözüm oluşturmaktır [2]. Diğer alternatiflere göre Güneş (Fotovoltaik - PV) enerji; üretim ve kurulum maliyetlerin sürekli azalması, sınırsız ve bedelsiz kaynak olması, her boyut ve güçte esnek kurulum imkanı, üretim ve kullanım alanları arasındaki mesafenin yakınlığı dolayısıyla iletim kayıplarının olmaması ve bakım maliyetlerinin düşük olması gibi avantajlarla öne geçmektedir [4].

Dünya'nın varlığı devam ettikçe en yüksek enerji kaynağı olarak değerlendirilen Güneş enerjisi, aslında Dünya'da canlı hayatı için birincil enerji kaynağıdır. Canlıların doğup, büyüyerek hayatini devam ettirmesinde Güneş'in etkisi vazgeçilmez düzeydedir [4].

Malzeme teknolojisinin gelişmesiyle, fotovoltaik (PV) panellerin verimleri de hızla yükselmektedir. Bu yüzden Güneş'in, özellikle fotovoltaik (PV) sistemlerin elastik kurulum imkanı ile yakın gelecekte canlı hayatı gibi teknoloji alanında da en çok kullanılan enerji kaynağı olması beklenmektedir [5].

PV üretiminde 1950'li yıllarda silisyumun kullanımının yaygınlaşmaya başlaması ile Güneş enerjisi çevriminde panel verimi % 3'e yükselmiştir. 1970'li yıllarda oran % 8'e yükselmiştir. Günümüzde ise endüstriyel ürünlerde % 15-22 verim aralığında piyasa oluşmuştur. Laboratuvar ortamında ise % 40'ların üstünde değerler elde edilen araştırmalara rastlanmaktadır [6].

Ekonomik olarak hızlı bir büyüme sürecinde olan ülkemizde de enerji ihtiyacının % 67'si dış kaynaklardan sağlanmaktadır [4]. Enerji güvenliğinin ve temininin stratejik önemi, yerli kaynakların desteklenmesini daha da önemli hale getirmektedir. Ülkemizin güneşlenme süresi ve iklim özellikleri dikkate alındığında güneş enerjisinin yaygınlaştırılması önemli bir stratejik hedef olarak düşünülmelidir [3].

2014 yılı Aralık ayında T.C. Enerji Bakanlığı lisanslı Güneş enerjisi santrallerinin ilkine izin vermesiyle, 2011 yılından itibaren yaygınlaşmaya başlayan Güneş enerjisi santrali kurulumlarının yeni bir ivme kazanması beklenmektedir. Bu kapsamda

Güneş enerjisi ve fotovoltaik teknolojilerde bilimsel ve akademik çalışmalara daha fazla önem verilmelidir. Aksi halde Güneş enerjisi sektörü de ithalat odaklı büyüyen bir endüstriyel sektör olarak ulusal cari açığın artmasına sebep olacaktır [7].

2013 Dünya Enerji Konseyi (WEC) raporlarına göre enerjinin % 50'den biraz fazlası fosil kökenli yakıtlardan, % 26,4'ü petrolden karşılanmaktadır. Çıkarılan petrolün % 25'ten fazlası ise motorlu araçlarda kullanılmaktadır [8]. Petrol ve türevlerinin; 80 bin farklı alanda kullanılma imkanı olmasına rağmen, kalan % 75'in büyük kısmı da elektrik enerjisi üretiminde termik santrallerde tüketilmektedir [4].

Fosil kökenli enerji kaynaklarının yakın gelecekte tükeneceği bilindiğinden alternatif olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi artmaktadır. Güneş enerjisinin potansiyeli, temin kolaylığı ve istifade yöntemlerinin çeşitlenmesi bir yenilenebilir enerji üretim yöntemi olarak fotovoltaik teknolojiyi öne çıkarmaktadır [9].

PV panellerin verimlerinin hızla artmasına ve maliyetinin de ucuzlamasına bağlı olarak fosil yakıtların en yaygın kullanıldığı motorlu araçlar ve ulaşım alanında da fotovoltaik teknolojinin yaygınlaşması amacıyla araştırma, geliştirme çalışmaları yapılmalıdır. Bu kapsamda elektrikli araçlar üzerine yapılan çalışmaların motorlu araçlarda PV panel kullanımı için önemli bir imkan sunmaktadır.

Elektrikli araçların yaygınlaşması için bir çok ülkede özel stratejiler oluşturulmuştur. Bilim adamları elektrikli araçların yaygın kullanımını sağlayabilmek amacıyla, problemlerin çözümü ve maliyetlerin azaltılması yönünde çalışmalar yapmaktadır. Bir çok teknoloji firması ve otomotiv üreticisi de bu alanda ürünler piyasaya sürmeye devam etmektedir. Şubat 2015'te açıklanan verilere göre, Japonya'da elektrikli araç şarj istasyonu sayısı 40 bine ulaşarak, sayısı 34 bin olan akaryakıt istasyonlarından daha yaygın hale geldiği tespit edilmiştir [9]. Avrupa'nın bir çok şehrinde de elektrikli araç kullanımı yaygınlaşmaktadır. Şekil1.1'de bu şarj istasyonlarına iki farklı örnek görülmektedir.

Her ne kadar elektrikli araçlar fosil yakıt tüketmiyor olsalar da, dünyada üretilen elektriğin % 70'ten fazlasının fosil yakıtlardan elde edildiği unutulmamalıdır [10].

Bu çelişkiyi ortadan kaldırmak için elektrikli araçların şarj edilmesi için kurulan istasyonlarda elektrik enerjisi yenilenebilir enerjiden, özellikle de kurulum kolaylığı dolayısıyla PV panellerden sağlanabilir. Bu konuda birçok bilimsel çalışma ve mühendislik uygulama projeleri bulunmaktadır [11].



(a)



(b)

Şekil 1.1. Elektrikli araç şarj istasyonu. a) Augsburg-Almanya, b) Paris-Fransa.

Bu çalışma ise aynı zamanda bir elektrikli araç (EV) olarak da kabul edilen Güneş arabası üzerinde yürütülmüştür. Aracın üzerine monte edilen PV paneller, araca enerji sağlayan batarya ile birlikte ikinci bir kaynak olarak görev yapmaktadır [12]. Bu yüzden aracın isminin Solar Electrical Vehicle (SEV) olarak tanımlanması bu farkı ifade etmek için bir yöntem olarak kabul edilebilir [13].

PV paneller sadece motoru besleyen bir kaynak değil aynı zamanda güneş altında enerji üreterek, bataryayı doldurmaya devam eden bir enerji üretim santrali görevini yerine getirmektedir [14]. Bu sebeple ne kadar uzun süre devrede kalırsa o kadar fazla enerji üretmiş olacaktır. Fakat aynı zamanda aracın yavaş seyretmesi anlamına gelen bu durum sürücü için istenmeyen bir seçenektir. Çünkü sürücü gitmek istediği noktaya olabilecek en kısa zamanda ulaşmak isteyecektir. Bu istek ise motorun daha fazla enerji tüketerek, ulaşmak istenen menzile varamadan bataryadaki enerjinin tüketilmesine sebep olacaktır. Bu iki seçenek arasındaki optimum nokta gidilecek

mesafenin önceden bilinerek, gerekli olan enerjinin hesap edilmesi ve bu enerjinin batarya hariç kısmının PV panellerden elde edilmesi için gerekli sürede yolculuğun bitirilmesidir. Böylece varış noktasına ulaşıldığı anda bataryadaki enerji miktarı da sıfırlanmış olacaktır.

Yukarıda kısaca açıklanan sürüş algoritmasının benzerleri, dünyanın çeşitli bölgelerinde Güneş enerjisini yaygınlaştırmak ve teşvik için düzenlenen Güneş arabaları (SEV) yarışlarına katılan araçların tasarımlarında gözönüne alınmaktadır [15]. Bu çalışmaların bir çoğu yarış şartnamelerine bağlı olarak sınırlı kontroller içermektedir. Bu çalışmada enerji yönetim sistemleri incelenmiş ve 2013 yılında TÜBİTAK Formula-G yarışına katılan, YILDIZ Güneş arabası üzerinde uygulaması geliştirilmiştir.

Günümüzde, Güneş arabaları çoğunlukla Güneş arabası yarışları için tasarlandığından yarışı en hızlı bitirmek amacıyla yol senaryoları ve stratejileri oluşturulmaktadır. Bu çalışmada ise farklı parkurlarda da kullanılabilen, ulaşılmak istenen noktaya en doğru zamanda ulaşma senaryoları ve stratejileri üzerine çalışma yapılmıştır.

1.1. ÇALIŞMANIN AMACI

Endüstriyel uygulama projeleri ve araştırma geliştirme faaliyetleri toplumun çeşitli ihtiyaçlarını temin etmek, hayatını kolaylaştırmak ya da ucuzlatmak amacıyla yapılmaktadır. Günümüzde ulaşım hakkı, İnsan Hakları Evrensel Beyannamesi'ne göre de en önemli insani faaliyetlerden birisi olarak görülmektedir [16]. Bu yüzden insanların ulaşımını kolaylaştıracak ve ucuzlatacak teknolojilerin geliştirilmesi önemli görülmektedir.

Dünya üzerinde kara, deniz ve havada ulaşımı sağlayan motorlu araçların büyük çoğunluğu fosil yakıtlardan enerjisini temin etmek üzerine tasarlanmışlardır. Günümüzde kullanılan motorlu araçların harcanan enerji-yapılan marjinal iş karşılaştırılması yapıldığında çok da verimli olmadığı gözlemlenmektedir. Söz gelimi orta ölçekte bir otomobil 4 kişi kapasiteli ve 1000-1500 kg kendi ağırlığı haricinde

ortalama 600 kg yük taşıma kapasitesine sahiptir. Buna rağmen özellikle şehir içi yolculukların % 68'inde sadece sürücüyü bir yerden bir yere nakletme görevi görmektedir [17]. Bu veriler motorlu taşıtlar ve trafik dizaynında yeni ve köklü bir değişim gerekliliği ortaya koymaktadır. Güvenliği artırılmış, daha küçük ve hafif, şehir içi hız kuralları dikkate alındığında motor gücü ve dolayısıyla enerji tüketimi daha düşük araçlar hem üretim maliyeti hem de kullanım sürecindeki verimlilik açısından daha avantajlı görülmektedir. Bu tanım ise elektrikli araçları tarif etmektedir.

Üretim, nakil ve kullanım kolaylığına sahip elektrik enerjisinin ulaşımda kullanımının yaygınlaştırılması üzerine yapılan çalışmalar tükenmekte olan fosil yakıtlara bağımlılığı azaltacaktır. Elektrikli araçlarda çözüme ihtiyaç duyulan en önemli problemlerden birisi belki de ilki elektrik motoruna enerji sağlayan bataryaların hacim ve ağırlık açısından dezavantaj oluşturmalarıdır. Çizelge 1.1'de görüldüğü gibi günümüz teknolojilerinde bataryaların enerji yoğunluğu elektrikli araçların yeterli bir menzile sahip olamamalarının başlıca sebebi olarak görülmektedir.

Çizelge 1.1. Batarya tipleri enerji yoğunluğu çizelgesi [18].

Batarya Tipi	Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)
Pb /asit	40
NiMH	80
Ni/Zn	60
Ni/Fe	50
Li-ion	160
Li-polimer	200
LiFePO ₄	90

Güneş arabası bu problemin çözümüne gündüz ve açık havada yapılan yolculuklarda belirli oranda katkı sağlayabilmektedir. Her ne kadar sınırlı bir yüzey alanı imkanı sözkonusu olsa da, ikinci bir enerji kaynağı olarak menzilin artmasına katkı sağlamaktadır [12]. Bu katkının oranı bu çalışma sırasında yapılan ölçüm ve deneylerde % 60'ların üstüne çıkmaktadır.

Güneş enerjisinin ek bir kaynak olarak devreye girmesiyle ortaya çıkan bir başka belirsizlik ise aracın enerji kapasitesidir. Bilindiği gibi Güneş'ten elde edilecek enerji, bataryada hapsedilmiş enerji gibi sabit bir değer değildir. Dinamik olarak mikro ölçekte bir enerji santrali davranışı göstermektedir. Üretim ise Güneş ışımaya, çevre sıcaklığına, PV panellerin verimine ve gölgelemeye bağlı olarak anlık değişim gösterebilmektedir. Bunlara ek olarak, seyahat süresi uzadıkça üretilen enerji miktarı, dolayısıyla da ulaşılabilecek menzile artmaktadır.

Bu çalışmada bir Güneş arabasında ulaşılmak istenen belli bir menzile enerji problemi yaşamadan en doğru hızla ulaşabilmek için gerekli yazılım ve donanım tasarlanmıştır. Böylece aracın menzili, ulaşılmak istenen menzile olarak yola çıkmadan önce sabitlemiş ve sürücünün bataryanın bitmesi sebebiyle istediği noktaya ulaşmadan yolda kalması engellenmiş olacaktır.

Aracın ihtiyaç duyduğu enerjinin batarya kapasitesi haricindeki kısmını PV panellerden temin edeceği göz önüne alınarak hızının azaltılması öngörüldüğünden, ihtiyaç duyulandan fazla enerji üretiminin gidilecek noktaya daha geç ulaşmak anlamına geleceği bilinmektedir. Bu sebeple en uygun maksimum hız, aracın vardığı noktada bataryadaki enerji miktarının da sıfırlanmış olmasına bağlı olarak tanımlanmıştır.

Dolayısıyla yapılan çalışmada amaç, sınırlayıcı şartların etkisini minimize etmek ve PV panellerden ve bataryadan olmak üzere iki farklı kanaldan elde edilen enerjinin OPTİMUM seviyede kullanılmasını sağlamak olacaktır. Tasarlanacak kontrol sistemi ile; menzile ulaşıldığı ana kadar bataryada bulunan ve Güneş panellerinden gelen kullanılabilir enerjinin tümünün tüketilmiş olması sağlanacak, böylelikle optimum (en erken) zamanda menzile ulaşılmış olacaktır.

1.2. ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ

Çalışmada hedeflenen yazılım ve donanım altyapısının oluşturulması için bir prototip modele ihtiyaç duyulmuştur. Bilindiği gibi bütün bir sistem olarak Güneş arabası tasarımı ve gerçekleştirilmesi hem büyük bir bütçe hem de geniş bir ekip

gerektirmektedir. Bu yüzden yeni bir araç tasarımı ve gerçekleştirilmesi için imkanlar yeterli olmadığından, 2012 yılında TÜBİTAK tarafından düzenlenen Formula-G yarışına katılan, Şekil 1.2’de görülen YILDIZ Güneş arabası prototip olarak seçilmiştir.

Öncelikle konunun bilimsel literatürdeki yeri ve daha önce yapılan çalışmalar incelenmiş, yapılabilecek katkılar belirlenmiştir. Çoğunlukla üniversitelerin güneş arabası yarışlarına katılmak için tasarladığı sistemler ve bu sistemlerde enerji miktarını tespit ve sürücüye bilgilendirme sağlayan sistemlerle karşılaşılmıştır. Bu sistemlerin tümünün sadece yarışın yapılacağı piste entegre olabilecek dar kapsamlı çözümler olarak tasarlandığı görülmüştür. Birçok bilimsel çalışmada ise sistemin sadece bir ya da birkaç bölümünün iyileştirilmesi veya uyumlaştırılması üzerinde durulmuştur. Bu çalışmalarda PV panel, DC motor, sürücü, MPPT ve batarya gibi sistemi oluşturan unsurların veriminin artırılmasına odaklanıldığı görülmektedir [14,19-28]. Sınırlı bir kaç çalışmada ise bu unsurların beraberce verimli çalışma noktalarının bulunmasına gayret edilmiştir [28,29]. Fakat bu çalışmalarda da sadece bir yarış aracı ve sadece bir güzergah ya da yarış pisti göz önüne alınmıştır [12].



Şekil 1.2. YILDIZ Güneş Arabası.

Çalışmamız sürecinde yapılan araştırmalarda, Dünya genelinde fotovoltaik tasarımda son yıllara kadar sürekli W/m^2 oranı esas alınarak birim metrekareden maksimum enerji elde etmeyi hedefleyen bir trend tespit edilmiştir. Fakat son dönemde elde edilen enerjinin iletimi ve kullanımı aşamalarında karşılaşılan problemlerin çözümü

ve elde edilen enerjinin daha verimli kullanımı konularını ele alan kontrol ve uygulama araştırmaları yaygınlaşmaktadır [30].

Çalışmamızda, bu yeni trend dikkate alınarak, uzunca bir süredir Güneş arabası yarışları ile gündemde olan uygulama ve tasarımları kısmi gölgeleme, sıcaklık, rüzgar gibi çevre şartlarının etkileri de göz önüne alınarak yeni bir optimizasyon algoritması oluşturmak hedeflenmiştir.

Elde edilen optimum değerleri yakalamak ve sistemi yönetmek amacıyla araç üzerinde hız kontrolünün de otomatik gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

Eldeki prototip aracın teknik altyapısı incelenerek, yapılacak değişiklikler ve geliştirme imkanları tespit edilmiş ve uygulanmıştır. Kullanılan DC motor, 3 kW gücünde yeni bir DC motorla değiştirilmiştir. Arabada halihazırda kullanılan jel bataryalar ise 22 seri bağlı Lityum-polimer batarya grubu ile değiştirilmiştir.

Teknik olarak son haline getirilen aracı kontrol için gerekli olan veri toplama sistemi donanımı öncelikle PROTEUS üzerinde tasarlanmıştır. Ardından, tasarlanan bu PCB devre kartın üretimi yapılmıştır. Yardımcı teknik donanım ve sensör, yardımcı mikrobilgisayar gibi malzemeler temin edilerek yazılım üzerindeki çalışmalar da tamamlanmıştır.

Gerekli kontrol ve optimizasyonun yapılabilmesi için Güneş arabasını oluşturan sistemden bir çok verinin elde edilmesi, takibi ve analizi gereklidir. Bu veriler iki temel amaç dolayısıyla toplanmaktadır. Birincisi; aracın ve sürücünün güvenliğini sağlamak için gerekli olanlar, ikincisi ise, kontrolü sağlayacak verilerdir. Bu veriler MATLAB'de hazırlanan simulasyona göre analiz edilmiştir. Simulasyon ve modelleme sonuçlarına göre son haline getirilen yazılım araç üzerinde 2013 Formula-G yarışları ön hazırlıkları sırasında İzmit Körfez Karting pistinde test edilmiş ve test sonuçları ile yapılan simulasyonlar karşılaştırılmıştır.

Bu aşamada tasarlanan sistemi geliştirme imkanlarının araştırılması amacıyla, YÖK Doktora Araştırma Bursu ile Belçika Katolik Leuven Üniversitesi IMEC Araştırma

Merkezi'nde 10 ay süreyle çalışmalar yürütülmüştür. Bu süre zarfında YILDIZ üzerinde kullanılan hücrelerin çevre sıcaklığı ile değişen verimleri incelenerek, hareket halinde olan aracın yüzeyine etki eden rüzgarın hücredeki ısı değişimine etkisi incelenmiştir. Bu incelemeler ve deneyler neticesinde aracın hızı ile değişen yüzeysel rüzgar etkisi ve bu etki ile PV panel yüzeyindeki ısı değişimi incelenmiş, modelleme ve simülasyonlar yapılmış ve deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu veriler neticesinde daha önce oluşturulan yazılım algoritmasında değişikliğe gidilerek tahmini menzilde ek geliştirmeler elde edilmiştir.

BÖLÜM 2

TEZ KONUSU İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Fotovoltaik etki 1839'da Becquerel tarafından, elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilimin elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğunun gözlemlenmesiyle keşfedilmiştir. Katılarda ise ilk olarak selenyum kristalleri üzerinde 1876 yılında G.W. Adams ve R.E. Day tarafından fotovoltaik akım tespit edilmiştir. Bakıroksit ve Selenyuma dayalı foto diyotların, yaygın olarak fotoğrafçılık alanında ışık metrelerinde kullanılması yaygınlaşmıştır. 1914 yılında fotovoltaik diyotların verimliliği % 1 değerine ulaşmış ise de gerçek anlamda Güneş enerjisini % 6 verimlilikle elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik diyotlar ilk kez 1954 yılında Chapin, Fuller ve Pearson tarafından silikon kristali ile gerçekleştirilmiştir. Fotovoltaik güç sistemleri için dönüm noktası olarak kabul edilen bu tarihi izleyen yıllarda, araştırmalar ve ilk tasarımlar uzay araçlarında kullanılacak güç sistemleri için yapılmıştır [20].

İlk yaygın fotovoltaik cihazlar ve PV panelleri elektrikli arabalara uygulama fikrinin 1970'lerin sonundaki petrol krizinden sonra ortaya çıktığı görülmektedir. Hans Tholstrup tarafından 1987 yılında ilk defa 3.000 km'lik Avustralya WSC (World Solar Challenge) yarışları düzenlenmeye başlanmıştır. Bu yarışlara General Motors'un ilgisi büyük olmuştur ve başarılı sonuçlar da alınmıştır [23].

1970'li yılların sonlarından itibaren ortaya çıkan Güneş arabaları ile ilgili çalışmalar özellikle 2000'li yıllardan sonra daha da artmıştır. Fakat bu çalışmaların büyük kısmında bir optimizasyon tasarımı yoktur. Olan sınırlı bir kaç araç ise sadece tek bir yarış için geçerli olan tasarımlara sahiptirler. Daha sonraki yıllarda, özellikle 2010 sonrasında enerjinin verimli kullanımı ile ilgili stratejiler oluşturulmaya başlanmıştır [31,32].

1990'lı yıllarda yeni yeni yaygınlaşmakta olan Güneş arabaları ve Güneş araba yarışları karşısında medyadaki yaklaşım “her ne kadar bu tasarımların ileriye dönük otomotiv piyasasına etkisi beklenmese de...” şeklinde olsa da geçen süreç içerisinde PV üretiminde yeni teknikler, yarı-iletken malzeme sektöründeki gelişmeler, güç elektroniği alanındaki çalışmalar, elektrik motorları alanındaki yeni tasarımlar ve en önemlisi maliyetlerin düşmesi sayesinde günümüzde, elektrikli araçlar artık trafikte kullanılabilir hale gelmiştir. PV paneller de bu araçlarda ek enerji sağlayacak sistemler olarak kabul göreceği düşünülmektedir [33].

2000'li yıllarda da tıpkı 1970'li yıllarda olduğu gibi petrolün dünyaya arzı hususunda siyasi riskler artmaktadır. Ortadoğu bölgesinde özellikle Arap Baharı süreci sonrasında hakim olan kaos, her an dünya petrol talebinin karşılanmasını çözümsüz bir problem haline getirebilir. Bu sebeple aslında petrolden önce 1830'lu yıllarda ilk örneği üretilen elektrikli araçların dünya otomotiv piyasasında tekrar yaygınlaştığı görülmektedir [34]. Bilimsel çalışmaların da buna bağlı olarak arttığı görülmektedir. Önceki yıllarda bazı bilimsel toplantılarda bir-kaç bildiriyle ele alınan elektrikli araçlar konusu hakkında günümüzde özel oturumlar, hatta özel sempozyumlar düzenlenmektedir. 2015 yılının başında IEEE sadece elektrikli araçlara özel bir komite dahi kurmuştur [35].

Benzer dinamik değişim ve gelişim silikon yaprak üretimi, PV hücre ve panel teknolojisi alanında da devam etmektedir. Fotovoltaik etki prensibi ile çoğunlukla Silisyum temelli yarı iletken malzemeler kullanılarak üretilen Güneş hücreleri sayesinde yeryüzüne ulaşan ışımadaki enerjinin bir kısmı elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir. Son yirmi - otuz yıllık periyotta Silisyum tabanlı Güneş hücrelerinde performans artışı ve verimli kullanım ömründeki geliştirmeler yaklaşık % 20'lik bir performans artışını beraberinde getirmiştir [30]. Üstelik; kurulum maliyetlerin sürekli azalması, enerji kaynağının bedelsiz olması, her boyut ve güçte esnek kurulum imkanı, üretim ile kullanım alanları arasındaki mesafenin çok yakın olmasına imkan sağlaması dolayısıyla iletim kayıplarının olmaması ve bakım maliyetlerinin düşük olması gibi avantajlarla bu geliştirme süreci hız kazanarak devam etmektedir [4]. Ancak son yıllara kadar fotovoltaik paneller üzerinde yapılan araştırmaların büyük çoğunluğu ortalama üretim maliyetini düşürmek, kullanım

ömrünü ve verimini yükseltmek üzerine kurgulanmaktaydı. Panelin tasarımı ve üretimde kullanılan malzemelere odaklanılan bu çalışmalarla elde edilen sonuçlar tatmin edici iyileştirmeler ortaya koysa da, 10 - 20 yıl önce elde edilen gözkamaştırıcı neticelerle karşılaştırıldığında verim artırma ve maliyet azaltma sürecinin eskiye göre daha yavaş ilerlediği görülmektedir [36].

Ayrıca enerji talebinin istikrarlı ve kaliteli enerji arzını gerektirmesi dolayısıyla Güneş enerji sistemleri üzerine yapılan laboratuvar çalışmalarında elde edilen verimli tasarımlar endüstride aynı hızda ilerleyememektedir. Güneş enerjisinden fotovoltaik yöntemle elektrik enerjisi üretimi sadece gün ışığında olabilmektedir. Ayrıca enerji üretiminin bazı iklim şartlarına ve coğrafi koşullara bağlı olması dolayısıyla enerjiye sürekli ihtiyaç duyulan ortamlarda sistem dengeleyici ek yardımcı ekipman ve yönetim birimlerine ihtiyaç duyulmaktadır [5]. Özellikle sistem tasarımında kullanılacak diğer ekipmanın optimum verim elde etme prensibine göre tercih edilmesi ve iyi planlanması gerekmektedir [37].

Son yıllarda fotovoltaik panellerin verimini artırmayı hedefleyen araştırmalar, verimin azalmasına sebep olan dış faktörlere göre önlemler geliştirmeye ve bu önlemleri dış etkilerdeki değişime göre yönetmeyi sağlayacak enerji yönetim sistemleri tasarlamaya odaklanmaktadır [38].

Güneş arabası sistemini ele alacak olursak, sistemi oluşturan parçaların herbiri için ayrı ayrı farklı düzeyde yürütülen çalışmaların Güneş arabası (SEV) tasarımlarının gün geçtikçe daha verimli hale gelmesine katkı sağladığı görülmektedir. Bu sebeple sistemin elektriksel olarak temel ekipmanları görülen PV panel, MPPT, batarya ve motor [24] ile ilgili yapılan çalışmalar ile SEV'in sistemini daha verimli hale getirmek, ekipmanlardan veri toplamak ve bu verileri kullanmak amaçlı oluşturulmuş geliştirme ekipmanları [39] hakkında yapılanları ayrı ele almak uygun olacaktır.

2.1. GENEL ÇALIŞMALAR

SEV tasarımında göz ardı edilmemesi gereken en önemli konulardan birisi aerodinamik tasarımıdır. Aracın ön yüzey kesit alanı, birimi metrekare (m^2) olmak

üzere A ve aracın hızı, birimi m/s olmak üzere v olmak üzere seyir halindeyken araca havanın uyguladığı aerodinamik hava sürtünme kuvveti F_{ad} olacaktır. Eşitlik (1.1)'de görülen C_d aerodinamik sürtünme sabiti ve ρ , birimi kg/m^3 olmak üzere havanın yoğunluğu olarak tanımlanmıştır. Kara araçlarında, özellikle güneş arabalarında aerodinamik tasarım hakkında en detaylı bilgi ve öneriler Gora Tamai tarafından hazırlanan “Leading Edge” isimli kitapta verilmiştir [40].

Altı bölümden oluşan kitap, SEV tasarımında genel bilgiler vermekle beraber, uygulama örnekleri üzerinde de yapılan hesaplama ve ölçümler içermektedir [40].

$$\vec{F}_{ad} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot C_d \cdot v^2 \quad (2.1)$$

Eşitlik (2.1)'de de görüldüğü gibi araç üzerinde havanın hareket yönünün tersi yönde uyguladığı kuvvet, hızın karesi ve aracın kesit alanı ile doğru orantılıdır. Hareket halindeki bir araca uygulanan sürtünme kuvvetinin %75'ten fazlası hava sürtünmesi olarak ortaya çıkmaktadır. Bu şartlar altında aracın tasarımı sırasında ön yüzeye gelen havanın en az kesit alanla karşılaşması sağlanmalıdır. Bu da havanın yüzeyi sıyırmasına ya da diğer bir deyişle aracın havayı yarararak ilerlemesine olanak sağlamalıdır. 1920'lerden itibaren bu konuda yapılan çalışmalar gözyaşı damlası (yağmur damlası) metaforu üzerinden ilerlemiştir. Bu tasarımlar denizaltı torpilleri ve kara taşıtlarının tasarımlarında kullanılmıştır. 1980'lere gelindiğinde ise yere yakın ve kambur tasarımların daha düşük hava sürtünme katsayısına sahip olduğu farkedilmiştir [41].

Güneş arabalarında aerodinamik dizayn üzerine simülasyon ve testler yapılarak tasarım gerçekleştirilmektedir. Qian ve Jie kendi tasarımları olan güneş arabasını son haline getirmeden önce bu test ve simülasyonları uygulamışlardır [42].

Aerodinamik tasarım ve dış kabuk diye de tanımlanan SEV kaportasını oluşturan malzeme uzmanlık alanımız ve doktora çalışmamızla ilgili olmadığından burada ele alınmayacaktır. Fakat günümüzde en hafif ve dayanıklı malzeme olarak carbon-fiber tasarımlar öne çıkmaktadır [43].

1987'de Avustralya kıtasını kuzeyden güneye geçen bir rota üzerinde başlatılan World Solar Challenge (WSC) ve üç yıl sonra ABD'de düzenlenmeye başlayan GM Sunrace USA Güneş arabası (Solar car) yarışlarına ilginin artması, rekabeti de beraberinde getirmiştir [23].

Sunrace yarışlarının ilkinde 32 seçkin ABD üniversitesi katılmıştır. Bu ekipler ve günümüzde de halen geleneksel olarak devam ettirilen bu yarışlar arasında karşılaştırma yapan bir çalışma King tarafından 1991 yılında hazırlanmıştır [44].

Güneş arabası dizaynının popülerliğinin artması üzerine 2003 yılında Carroll tarafından Güneş enerjisi ile çalışan yarış arabası tasarımı üzerine bir kitap hazırlanmıştır. Aracın aerodinamik dizaynından, elektriksel altyapısı ve batarya PV panel uyumluluğuna genel bilgiler içeren kitap yarışma ekipleri için el kitabı olarak kullanılmıştır [45].

2.1.1. Güneş Arabasında Fotovoltaik Panel Uygulamaları

Güneş arabasında, yolculuk boyunca enerji üretimini sağlayan temel parçası fotovoltaik hücrelerden oluşan değişik boyutlarda tasarlanmış panellerdir. Bu sebeple herhangi bir Güneş arabası için en uygun panel tasarımı arabanın elektriksel altyapısına ve aerodinamik dizaynına göre farklılıklar göstermektedir [5].

1970'li yıllardaki ilk tasarımlarda fotovoltaik paneller maliyet dolayısıyla araca özel tasarlanmak yerine endüstriyel olarak uzay araçlarında kullanıma hazır panellerin kullanılması tercih edilmiştir. 1991'de Koffke'nin bir elektrikli araç üretmeyi planlayarak yaptığı çalışmada konvansiyonel bir mini otomobilden dönüştürerek 5 kVA batarya parkı ve 500 Wp'lik endüstriyel fotovoltaik panel (PV) taşıyan bir güneş arabası dizaynı yapılmıştır [46].

Üniversitelerarası rekabet alanı haline gelen Güneş arabası yarışlarında 1993'te uzay mekikleri için tasarlanmış özel % 17-18 verim değerlerine sahip PV'lerin kullanılmaya başlandığı görülmektedir [44].

PV panellerden elde edilen enerjinin aracın sürüşüne en uygun şekilde iletiminde PV panellerin ve hücrelerin bağlantı şeklinin etkisini Auttawaitkul ve arkadaşları incelemiştir [47].

PV panel ve hücrelerin dizilim konfigürasyonu ve aktif-pasif by-pass diyot uygulamaları ile elde edilecek enerji miktarının artırılması hakkında, Petrone ve arkadaşları farklı konfigürasyonlar arasında karşılaştırma yapmışlardır [48].

Aracın fiziksel özelliklerine uyumlu, eğim verilebilir yarı esnek fotovoltaiik paneller, daha fazla yüzey alanından enerji üretebilmek amacıyla verimleri düşük olmasına rağmen 1995'ten sonra kullanılmaya başlanmıştır [14].

Güneş arabalarında üretilen enerjinin miktarını artırmak amacıyla PV panellerin verimli çalışmasını sağlayacak çözümler de araştırılmıştır. Glunz ve arkadaşları, düşük ışımada da panellerden elde edilecek verimi artırabilmek için PV panellerin ön yüzey tasarımında rasgele pramit yüzey oluşturma yöntemi araştırılmıştır [49].

Fotovoltaiik hücrelerin ucuzlaması ve laminasyon işlemlerinin yaygınlaşması sürecinde herbir aracın tasarımında aracın yüzey ölçüleri ile uyumlu esnek panellerin tasarlanması ve üretimi mümkün hale gelmiştir. Fenercioğlu, 2010 yılında tasarladıkları Güneş arabasına bu yöntemle %16 verimli PV hücreler kullanarak uygun paneller üretmiştir. Panellerde esnekliği sağlayabilmek için epoksi reçine ile laminasyon yöntemini uygulamışlardır [20].

Nogita ve arkadaşları iletkenliği artırmak ve yanlış lehimleme sebebiyle enerji kayıplarını en aza indirmek için kurşunsuz lehim kullanmayı önermiştir [50]. Yine fotovoltaiik hücrelerin güneş arabası üzerinde veriminin artırılmasına yönelik çalışmalardan birisi de 6 farklı malzeme ile üretilmiş bağlantı elemanlarının performansını test eden Ding ve Cheng tarafından 2011 yılında yapılmıştır [51].

Vorobiev PV panellerden elde edilecek enerjiyi artırmak için, bir otobüs üzerinde Güneş yakalama sistemi simülasyonu yapmıştır. Otobüs yolda manevra yaptıkça, PV panellerin Güneş'e en dik pozisyona döndürülmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmada

ışığa ölçüm datalarından alınan bilgiler mikrokontroller tarafından değerlendirilerek servomotorlara ± 23 °C arasında çift yönlü bir yönlendirme öngörümüştür [52].

2012 yılında daha hafif bir tasarım için PV panellerin ağırlığını azaltmak amacıyla ince film PV panel kullanan Mouniddin ve arkadaşları tasarım farkını MATLAB simülasyonu ile karşılaştırmışlardır [53].

2013 yılında Vineeth ve arkadaşları, bir amorf PV panel kullanmışlar, ekledikleri süper-kapasitör ve batarya arasında enerji yönetimini bir mikrokontroller devre ile sağlamışlardır. Ayrıca sistemin performansını MATLAB simülasyonu ortamında test etmişlerdir [54].

2.1.2. Güneş Arabasında MPPT ve Batarya Uygulamaları

Güneş arabalarında verim için aerodinamik tasarımın uygun hale getirilmesi kadar, aracın ağırlığının azaltılması da önemlidir. Aracın ağırlığını artıran en önemli parçaların MPPT devresi ve batarya grubu olduğu bilinmektedir. Bu yüzden yürütülen bazı çalışmalar sistemin verimi ve komponentler arası uyumluluğu iyileştirmeyi hedeflerken, birçok çalışma da MPPT ve batarya grubunun hafifletilmesine odaklanmaktadır [55].

Tasarlanan ve araç üzerine monte edilen PV paneller tarafından üretilen elektrik enerjisinin bataryalarda depo edilmesi ve hareket halinde ise motorun talep ettiği akımı sağlaması beklenmektedir. Üretilen enerjinin depolanacağı batarya grubunun seçimi ve tasarımı, PV paneller ile uyumlu olmak zorundadır [45].

İlk tasarlanan Güneş arabalarında PV panellerin V_{oc} gerilim değeri, bataryaların nominal voltaj V_{nom} değerinden daha yüksek seçilmekte, böylece güneş altında PV panelin üreteceği enerjinin bataryaları şarj etmesi beklenmekteydi [44].

1997 yılında tasarlanan Güneş arabasında Kumar ve arkadaşları PV panellerden elde edilen enerjinin sıcaklık ve ışığa değerlerine göre farklılık gösterme problemini

çözmek amacıyla bir boost DC/DC dönüştürücü kullanarak batarya giriş gerilimini belirli bir değerde sabit tutmuşlardır [56].

Maksimum güç noktasını tespit eden ve o noktada çalışarak PV panellerden elde edilecek enerjiyi de yükselten MPPT devrelerinin ağır olmalarına rağmen kullanılması 1990'lı yıllarda yaygınlaşmıştır [57].

Daha sonraki yıllarda Güneş arabası tasarımları ile birlikte daha hafif ve elektriksel olarak aracın, bataryaların ve yarışın durumuna en uygun olabilecek algoritmalarla çalışan MPPT tasarımları da yapılı hale gelmiştir. Batarya şarjı özellikle Li-polimer bataryalarda çok hassas kontrolü gerektiren bir süreçtir. Dinamik durumda bataryanın hızlı ve güvenli şarjı için MPPT optimizasyonu üzerinde bir çalışma, Çin Harbin Teknoloji Enstitüsünden Ma ve arkadaşları tarafından 2009 yılında yapılmıştır [19].

Japonya Suzuka F1 pistinde düzenlenen yarışlarında, 2006 yılında bir araç üzerinde birden fazla MPPT kullanarak, güneşlenme oranları ve yerleşim açıları farklı PV panellerin tek dizi üzerinde kullanılması sebebiyle enerjinin kaybedilmesine engel olmak amaçlanmıştır [58].

Üstün ve arkadaşları 2007 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi adına tasarladıkları Arıba II'de 3 ayrı MPPT kullanarak verim artırmayı hedeflemiştir. Ayrıca aracın üzerinde bulunan diğer elektriksel devrelerin beslemesinin bataryadaki enerji ile yapılabilmesi için, sisteme farklı değerlerde çıkışlar üreten DC/DC dönüştürücü eklemiştir [12].

Alnunu ve arkadaşları düzensiz akım giriş ve çıkışlarına karşı bataryaları korumak için bir pasif şarj kontrol devresi tasarlamışlardır [59].

Sabit voltaj, değiştir ve gözle ve artan kapasitif etki gibi yöntemlerden farklı olarak Güneş ışınması ve sıcaklık değişkenleri kullanılarak bulanık mantık algoritmasına göre çalışan bir MPPT tasarımı Kang ve arkadaşları tarafından tasarlanmıştır. Bu çalışmada değişken Güneş ışınma değerleri altında, farklı maksimum güç yakalama

noktası elde etme gerektiren durumlarda bazı hatalarla karşılaşmıştır. Fakat genel ortalamada elde edilen enerji açısından verimin arttığı tespit edilmiştir [60].

Hagdadi ve arkadaşları gölgeleme etkisini ortadan kaldırmak üzere farklı bir yaklaşımla bir MPPT tasarlamışlardır [61].

Yine Güneş arabası üzerinde kullanılacak MPPT tasarımı ve testleri üzerine Suita ve Tadakuma tarafından 2006 yılında Japonya'da bir çalışma daha yapılmıştır. Bu çalışmada iki farklı motor tipi için çözüm üretilmiştir [62].

Hua ve arkadaşları farklı algoritmalarla çalışan MPPTler arasında karşılaştırma yaparak kendi dizaynları için uygun olanı tespit etmeye çalışmışlardır [63].

Elektrikli araçlarda (EV) kullanılan batarya teknolojisi hızlı bir gelişim göstermektedir. Güneş arabaları batarya tercihlerinde elektrikli araçlarla aynı şartlara sahip olduğundan tasarımda da aynı yöntemler tercih edilmektedir. Bu tercihte en önemli etken hafifliktir [14].

Çizelge 1.1'de temel batarya çeşitleri arasında kg başına enerji tutma oranı görülmektedir [18]. Bu oranlara göre günümüzde en avantajlı tercih Li-ion bataryalardır. Fakat maliyetlerinin yüksek olması ve Güneş arabası yarış ekiplerinin ilk zamanlarda birçoğunun yeterli bütçesi olmaması dolayı 2000'li yıllarda tasarlanan Güneş arabalarında dahi Pb /asit bataryaların kullanıldığı görülmektedir [26, 64].

Günümüzde Li-ion bataryalar Elektrikli araçlar (EV) ve Güneş arabaları (SEV) için yaygın kullanılır hale gelmiştir. Wu ve arkadaşları ise ani hızlanma anlarında kullanılmak üzere sisteme bir süper kapasitör eklemiş ve PV panellerden elde edilen enerji ile hem batarya hem de süper kapasitörün sarj ve desarjlarını kontrol eden bir devre tasarlamışlardır [65].

Li-ion batarya grupları, birçok küçük batarya tabletinden oluşmaktadır. Bu yüzden diğer batarya gruplarına göre sarj kontrolü, hem verim hem de güvenlik açısından

daha önemlidir. Bu kapsamda Karadeniz ve arkadaşları tarafından bir batarya kontrol tasarımı yapılmıştır [66].

Akın ve arkadaşları geleneksel, köprüsüz ve dönüşümlü yükselticilerin Li-ion bataryaları şarj etmede performansının karşılaştırıldığı ve köprüsüz yükselticinin %98,2 ile en yüksek verimle çalıştığı tespit edilmiştir [67].

Zarkesh ve arkadaşları bataryaların şarj edilmesi için alternatif çözümler ve bu çözümlerin etkisi ile ilgili bir çalışma yapmıştır [68].

Fas'tan Barrit ve Salih Ali, araçta ihtiyaç duyulan enerjinin bir kısmını şebekeden sarj etme yöntemi ile daha ekonomik bir tasarım gerçekleştirmişlerdir [69].

Roque ve arkadaşları kamp sırasında bir karavanın enerjisini PV panellerden sağlamak amacıyla tasarladıkları sistemde bazı elektrikli aletler için ihtiyaç duydukları alternatif akım için sisteme invertör eklemiştir [70].

2.1.3. Güneş Arabasında Motor Tasarımı ve Kontrol Uygulamaları

İlk Güneş arabalarında verimi yüksek ve daha hafif olduğu, ayrıca elektrikli araçlarda daha yaygın kullanıldığı için öncelikle asenkron motorlar tercih edilmiştir. Ancak 1996 yılında Avustralya'dan Lovatt ve arkadaşları tekerin aksına monte ettikleri fırçasız DC motoru dizayn edilen güneş arabasında kullandıkları görülmektedir [22].

Lovatt ve arkadaşları Csiro ekibi olarak Güneş arabaları için 1997 yılındaki ilk tasarımdan [22] sonra, teker aksına monte edilen fırçasız DC motor tasarımlarını 1998, 1999, 2005, 2011 ve 2014 yıllarında geliştirmeye devam etmişlerdir [71-75].

Dişli ve vites kutusu gibi aktarım organlarında enerji kaybına engel olan fırçasız DC motorun kullanımı yaygınlaşmıştır [39]. Hatta Güneş arabalarına özel düşük akım değerlerinde de yüksek tork elde edilebilecek ve verimin artırıldığı özel tasarımlar

geliştirilmiştir. Al Zaher ve arkadaşları 2010 yılında Biel Motor ile Csiro Motor arasında uzun menzilde performans karşılaştırması yapmışlardır [76].

Cambier, yokuş yukarı aracın hızında kaybın minimuma indirilmesi ve yokuş aşağı da rejeneratif frenleme sistemi ile enerjinin bir kısmının yeniden kazanılması için bir fırçasız DC motor ve sürücü devresi tasarlamıştır [77].

2012 yılında ise Zimmermann ve Nicolice tarafından güneş arabasında fotovoltaiik hücreden gelen akım ve gerilim değerlerini kayıpları azaltacak bir DC/DC dönüştürücü ile düzenleme yöntemi incelenmiştir. Bu çalışma ile motor hız kontrolü DC/DC dönüştürücü üzerinden yapılmakta ve maksimum tork elde edilecek nokta bir potansiyometre ile sürücü tarafından ayarlanabilmektedir [78].

Hart da DC/DC dönüştürücüler hakkında yazdığı kitabında Güneş arabalarında kullanım için uygun olacak dizaynlar hakkında ayrı bir bölüm düzenlemiştir [79]. Park ve arkadaşları planladıkları güneş arabası için uygun olacak bir boost dönüştürücüyü kendileri tasarlayıp, gerçekleştirmişlerdir [80].

Joshi ve Deshmukh araç üzerindeki fırçasız DC Motorun vektör kontrol yöntemi ile tam ve doğru kontrolünü sağlamıştır [81].

Üstün ve arkadaşları da planladıkları Güneş arabasının özelliklerine uygun bir fırçasız DC motor üretmişler ve hazırladıkları yarışa uygun bir motor sürücü devresi tasarlamışlar, 2007 Formula-G yarışlarında birinci olmuşlardır [31].

2.1.4. Güneş Arabasında Enerji Yönetimi Uygulamaları

Güneş arabalarında ilk tasarımlardan sonra, özellikle Solar Car yarışları sebebiyle rekabetin artması ile yeni gelişmeler ve verim artırıcı çözümler uygulanmaya başlanmıştır. Güneş arabası tasarımları her geçen gün daha kompleks hale geldiğinden, tasarım ekipleri genişlemiş, disiplinler arası büyük bütçeler ayrılan bir araştırma alanı haline gelmiştir. Mesela 2012 yılında Iowa Eyalet Üniversitesi 1989 yılından beri aralıksız katıldığı American Solar Challenge (ASC) için 330.000 USD

bütçe ile, 2 yıl süren bir hazırlıkla yeni aracını tasarlamıştır. Benzer tecrübelerde diğer ekipler de araçlarını bir sonraki döneme kadar geliştirmek ya da yeniden tasarlamak için çaba harcamaktadırlar [82].

Bu kapsamda oluşturulan ekiplerde elektronik altyapı ağırlığını artırmış, verim artırıcı dizayna yönelik çalışmaların yanında, enerjinin doğru kullanımı, motorun en verimli devir aralığında çalıştırılması, PV panellerden maksimum güç elde edilmesi için devre tasarımları yapılması, elde edilen verilerin izlenmesi, kaydedilmesi ve işlenmesi yarış odaklı ekiplerde önem kazanmıştır. Önemi artan bir diğer etken ise tecrübe olarak görülmektedir [82]. Nitekim Başoğlu ve arkadaşları da tecrübeleri neticesinde bir Güneş arabasının tasarım kriterlerini belirlemeye çalışmışlardır [83].

Bu dinamik sürecin başlarında 2007 yılında yapılan çalışmada Connors tarafından güneş arabalarında verimi artırmak için uygulanabilecek çözümler ele alınmıştır [55]. Benzer şekilde Güneş arabası dizaynı hakkında Thacher ve Carroll kendi tecrübelerini katarak kapsamlı kitaplar hazırlamışlardır [33,45]. Mangu ve arkadaşları da Kentucky Üniversitesi Güneş arabası ekibinde 2006-2010 tarihleri arasında elde ettikleri tecrübeyi ve dizayn ettikleri 4 farklı araçtaki gelişim evrelerini karşılaştırmışlardır [64].

Delft Üniversitesi (Nuna 1-8) serisi ile 12 yıllık süreçte sekiz ayrı araç tasarlamıştır [84]. Benzer bir başarı Türkiye'den İstanbul Teknik Üniversitesi ekibi tarafından Arıba (I-VII) serisi ile gösterilmiştir [85]. Bu tecrübe birikimi bazı ekiplere çok ileri seviyede tasarımlar ortaya koyma imkanı sağlamıştır. Sözgelimi, İTÜ Güneş Arabası Ekibi, 2011 yılında Avustralya WSC yarışlarında Büyük patlama – büyük çatırtı optimizasyon tekniğine göre enerji yönetimi sistemi geliştirmiştir. Yine de literatürde birçok farklı Güneş arabası ile karşılaşılmasına rağmen bir çoğu bu kadar kompleks değildir [86].

Güneş arabalarında enerji yönetiminden ilk defa Wright tarafından 1997 yılında bahsedilmiştir, fakat enerji yönetimi ya da hesaplaması olarak; günlük katedilmesi gereken yol, bir günde PV panellerden elde edilecek enerjinin miktarı ve bataryadaki enerjinin miktarını hesap etmek olarak tanımlanmıştır [29]. Yine 1997 yılında GM

Sunrace USA Güneş arabası yarışlarına katılan Illinois Üniversitesi ekibinden Daniels ve Kumar'ın aracın üzerine etkiyen kuvvetleri, hızlanma ve yavaşlama sırasında, yokuş yukarı ve yokuş aşağı gidişlerde harcanacak enerji farklarını hesapladığı görülmektedir [56].

1999 yılında WSC'de birinci olan Aurora için yapılan çalışmada Pudney'in, Hamiltonian Optimizasyon Tekniği'ni kullanarak günlük sabit bir hız hesapladığı görülmektedir [15]. 2006 yılında Mocking'in çalışmasında yine WSC yarış parkuru ele alınmış, parkur belirli etaplara bölünerek herbir etap için ayrı bir sabit hız belirlemesi yapılmıştır [87].

Bu hesaplamalar ve ortaya çıkan optimizasyon problemlerinin çözümü için Arsie ve arkadaşları tarafından matematiksel analiz üzerine, durum denklemleri ile çözüm bulma hususunda da ve arkadaşları tarafından çalışmalar yapılmıştır [88,89].

Enerji yönetiminin gerçek zamanlı olarak uygulanabilmesi için araç hareket halindeyken hız, batarya doluluk seviyesi, PV panel anlık enerji üretim seviyesi gibi bazı verilerin elde edilmesi ve işlenmesi gerekmektedir. Aracın hızının, sıcaklığın, batarya ve PV panel akım-gerilim değerlerinin alındığı ve bir telsiz modem vasıtası ile merkezi bir noktaya aktarıldığı ilk enerji yönetimi sistemi uygulaması 2000 yılında McCarthy ve arkadaşları tarafından WSC'de uygulanmıştır [90]. Daha önceden Young Jr. Tarafından özellikle uzun parkurlu yarışlar olan WSC ve GM Sunrace USA'da yarışan araçlarda kullanılmak üzere GPS sisteminin de araçlara eklendiği görülmektedir [91].

2010 yılında Taha ve arkadaşları kablosuz haberleşme frekansı ile araçtan elde edilen verileri merkeze ileten bir sistem tasarlamıştır [92]. 2012 yılında Pino ve arkadaşları da kablosuz haberleşme ile aktarılan verileri aynı anda pilotun önündeki bir ekrana aktaran bir veri iletim sistemi oluşturmuştur [93]. 2011 yılında Hock ve arkadaşları ise kablosuz veri iletim sisteminin maliyetini düşürmek amacıyla ARM işlemcili bir sistem tasarlamışlardır [94]. Menasce ve arkadaşları 2013 yılında African Solar Challenge yarışı için hazırladıkları Ilangal 1 isimli araçta Li-ion batarya grubunun kontrol sistemini tasarlamışlardır [95].

Türkiye’de 2005 yılından itibaren TÜBİTAK organizasyonu ile her yıl yapılan Formula-G yarışları ile birlikte Güneş enerjisi ile ilgili çalışmalara hız verildiği ve başarılı tasarımlar yapıldığı görülmektedir [57].

2007 yılında Ahmet Tüysüz tarafından İTÜ güneş arabası ekibinin TÜBİTAK Formula-G yarışları için hazırladığı araç için bir veri toplama ve haberleşme sistemi geliştirildiği, Yıldırım tarafından da aynı araçta kullanılan fırçasız doğru akım motoru için bir sürücü tasarımı yapılmıştır [24,25].

Türkiye’deki üniversitelerin Formula-G yarışlarında başarılı olduktan sonra uluslararası yarışlara da katıldıkları görülmektedir. 2011’de Avustralya’da yapılan World Solar Challenge yarışları için İTÜ Arıba V’in yol modeli çıkarılmış ve yarış stratejisi oluşturulmuştur [28].

2009 yılında Özgür Üstün ve arkadaşları Güneş arabasında enerji yönetimi sistemi üzerine yeni bir çalışma yaparak, batarya ve güneş panellerinden alınan enerjinin ve bu enerjinin harcadığı birimlerin verilerini analiz ederek bir optimum çalışma noktası elde etmeye çalışmışlardır [31].

Bu çalışmada arabanın ihtiyaç duyulacak birimlerinden veri toplayan, analiz eden ve sistemi oluşturan diğer parçaları bu verilere göre kontrol eden bir veri toplama ve kontrol sistemi tasarlamak hedeflenmiştir. Bu sistem yardımı ile toplanan veriler yarış sırasında aracın harcadığı enerjiyi, bir turda kaç Wh enerji harcadığını, bataryadan ne miktarda enerji kullanıldığını ve bataryada kalan enerji miktarını tanımlayan bilgileri içermektedir. Bu veriler bir merkezi işlemcide toplanarak mevcut sürüş senaryosuyla yarış sonuna kadar yetip yetmeyeceği gibi analizler Visual Basic ortamında geliştirilen bir yazılım yardımıyla elde edilmektedir [31].

Dizayn edilen Güneş arabaları sadece Solar Car yarışları için olmamakla birlikte, teknolojik rekabetin yüksek olması dolayısıyla yenilikler ve gelişmeler yarış araçlarında ortaya çıkmaktadır [39]. Aslında solar car yarışları düzenlenirken esas amaçlanan da PV panellerin günlük hayatta, motorlu taşımacılıkta daha aktif kullanılmasını sağlayacak araştırmaların teşvik edilmesidir.

2003 yılında Bowie hibrit elektrikli araçlarda tavana PV panel koyulmasını teklif etmiştir [96]. Bu kapsamda yarış uygulaması haricinde yapılan çalışmaların birinde, Sorrentino ve arkadaşları tarafından 2009 yılında bir hibrit araca PV panel eklenmiş ve genetik algoritma ile enerji yönetim sistemi geliştirilmiştir [97].

Fabbri ve arkadaşları 2012 yılında bu fikrin simülasyonunu yapmışlardır [98]. 2014 CES fuarında ise Ford, C-Max modelinde uygulamayı gerçekleştirmiştir [99]. Üretimi düşünülen, prototip aşamasında da muhtelif marka ve model elektrikli araçlar bulunmaktadır [100].

2013 yılında Ma ve Mohammed elektrikli araçlar ve hibrit araçlar için PV paneller kullanılarak kurulmuş solar şarj istasyonu modellemiş ve MATLAB yardımı ile simülasyon elde etmişlerdir [101]. Bu kapsamda yenilikçi tasarım olarak; 2012 yılında, Mekke'de Abdel Dayema tarafından, 2012 yılında, Hindistan'da Wamborikar ve Sinha tarafından, PV panel eklenmiş elektrikli araçlar tasarlanmıştır. Ayrıca fiziksel engellilerin kullanımı için uygun olabilecek solar tekerlekli sandalye tasarımı, 2011 yılında, Rattankumar tarafından yapılmıştır [102,104].

2.1.5. Yapılan Tez Çalışmaları

Dünyada bilinen 6 büyük solar car yarışı organize edilmektedir. Bu yarışlara ortalama 20-40 arasında takım katılmaktadır. Herbir ekip içinde onlarca öğrenci ve araştırmacı bulunmaktadır. Dolayısıyla her yıl birçok bilimsel çalışma ve lisans, yüksek lisans ve doktora tezi üretilmektedir [57]. Bu kapsamda dünyadan ve ülkemizden tespit edebildiğimiz tezlerden önemli görülenler aşağıda listelenmiştir.

Pudney Güneş arabası enerji yönetimi ve optimizasyonu alanında 2000 yılında yaptığı çalışma ile ilk doktora tezinin sahibi olarak bilinmektedir [105].

2010 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi'nden Bülent Vural, elektrikli taşıtlarda menzili artırmak için çeşitli simülasyonlarla farklı senaryoları karşılaştırdığı bir doktora tezi hazırlamıştır [106].

2006 yılında Mocking'in Twente Üniversitesi'nde yaptığı yüksek lisans tezinde yine WSC yarış parkuru ele alınmış, parkur belirli etaplara bölünerek herbir etap için ayrı bir sabit hız hesaplaması yapılmıştır [87].

Malezya Pahang Üniversitesi'nden bin Yusof, Güneş arabasının aerodinamik analizi ile ilgili 2010 yılında bir yüksek lisans tezi hazırlamıştır [107].

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nden Bülent Menderes Güneş arabaları üzerine 2005 yılında bir yüksek lisans tezi incelemesi yapmış ve "Enerji - 1" isimli bir güneş arabasının tasarımı yapılmıştır [39].

İstanbul Teknik Üniversitesi'nde Onur Serin 2007 yılında WSC yarış simülasyonu üzerine yüksek lisans tezi hazırlamıştır [28]. Yine aynı üniversiteden Ahmet Yıldırım, fırçasız DC motor sürücü tasarımı ile yüksek lisans tezi hazırlamıştır [24]. Aynı üniversiteden Anıl Tüysüz de yüksek lisans tezinde CAN protokolünde veri aktarım devresi tasarlamıştır [25].

Demirdağ ise 2007 yılında Gazi Üniversitesi'nde yüksek lisans tezinde Güneş arabası için bir buck dönüştürücü tasarlamıştır [108].

Karabük Üniversitesi'nden Özgür Demir 2009 yılında DC Hub motorun bir Güneş arabası üzerinde performansını yüksek lisans tezinde incelemiştir [109].

Turhan Alagöz 2013 yılında Selçuk Üniversitesinde yüksek lisans tezinde faydalı frenleme uygulaması gerçekleştirmiştir. Uygulama çalışmasının simülasyonu yapılarak menzil artırımına etkisi karşılaştırılmıştır [110].

Ortadoğu Teknik Üniversitesi'nden Şamil Özden de 2013 yılında hibrit araçların modellenmesi ve enerji optimizasyonunu sağlamak amacıyla bir yüksek lisans tezi hazırlamıştır [111].

2.2. ÇALIŞMANIN KATKILARI

Yukarıda da belirtildiği gibi literatürde ve hazırlanan tezlerde ele alınan çalışmaların bir kısmında PV panel, DC motor, sürücü, MPPT ve batarya gibi sistemi oluşturan unsurların tasarımı ya da veriminin artırılması üzerinde durulmuştur. Sınırlı bir kaç çalışmada ise bu unsurların beraberce verimli çalışma noktalarının bulunmasına gayret edilmiştir. Ayrıca veri toplama, analiz ve aktarma üzerine yürütülen çalışmalar da görülmektedir.

Enerji yönetimi amaçlı yapılan çalışmalarda ise; WSC ya da GM Sunrace USA gibi bir güzergah ya da yarış pisti ve belli bir araç konfigürasyonu göz önüne alınmıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmalar önemli gelişmeler ortaya koymuştur [112].

Otomotiv sektöründe en önemli gelişmeler endüstriyel aktörlerin çalışma şartlarının zorlandığı Formula 1 yarışları sayesinde olduğu bilinmektedir. Yarışlara hazırlanan ekiplerin karşılaştığı problemlere bulunan çözümler bir süre sonra endüstriyel üretime yansımakta ve teknolojik gelişim devam edebilmektedir [113].

Dünyanın çeşitli bölgelerinde düzenlenen Güneş enerjisi ile çalışan araçların katıldığı Solar yarışlar da bu kapsamda fırsatlar olarak değerlendirilmektedir. Bu yarışmaların yapıldığı ülkedeki Güneş enerjisi yatırımlarına ve bilimsel araştırmaların artışına da olumlu katkıları olduğu tespit edilmiştir [114].

Yürütülen çalışmamızda da 2005 yılından beri Türkiye’de TÜBİTAK’ın organize ettiği Formula-G yarışlarına katılan Karabük Üniversitesi Güneş arabası YILDIZ esas alınmıştır.

Enerji ihtiyacı ve taşımacılıkta kullanılan enerjinin maliyetinin her geçen gün artması alternatif yöntemlerin araştırılmasını zorunlu hale getirmektedir. Elektrikli araçlar (EV) ve hibrit araçlar (HEV) endüstriyel uygulamaları ve 2013 yılından itibaren Uluslararası Otomobil Sporları Federasyonu (FIA)’nın organizasyonunu üstlendiği Formula-E yarışlarının sezon olarak iki yıldır sorunsuz yürütülmesinden anlaşıldığı üzere kabul edilebilir alternatifler olarak görülmektedir [115].

Elektrikli araçların menzil problemleri ve her ne kadar elektrikle çalışıyor olsalar da, ihtiyaç duydukları elektriğin büyük oranda fosil yakıtlardan sağlanıyor olması radikal bir çözüm ihtiyacını ortaya koymaktadır [99].

Enerji kaynağı olarak kullanılan PV panellerin veriminin sıcaklıkla ters orantılı değiştiği bilinmektedir. Hareket halinde olan aracın üst yüzeyine monte edilmiş panellerin yüzeyindeki düzlemsel hava akışı ile hızla ters orantılı bir sıcaklık değişimi beklenmelidir. Arabanın hızındaki artışa bağlı olarak düşecek sıcaklık, PV panellerde üretilen enerjinin artmasını sağlayacaktır. Arabanın hızlanması ise aynı zamanda enerji tüketimini artırarak planlanan menzile ulaşmadan durma riski oluşturmaktadır. Dolayısıyla uygun ve optimum bir hız değerinin seçilmesi ile arabanın hem menzile ulaşması hem de PV panellerin maksimum enerji üretimi sağlayacağı bir sıcaklık değerine ulaşması sağlanabilecektir. Bu belirlenecek hız değeri yola çıkmadan önce yapılacak hesaplamalarla matematiksel olarak belirlenebileceği gibi, değişken Güneş ışınım değerleri ve araba kullanımı sırasında ortaya çıkabilecek yavaşlama, mecburi hızlanma, yön değiştirme ve benzeri planlama dışı veriler göz önüne alınarak yolculuk sırasında dinamik veri akışı ile de sürekli hesaplanabilir.

Çalışmamızda daha önce uygulanan enerji yönetimi uygulamalarından farklı olarak; Güneş arabası üzerinde bulunan PV panellerden elde edilecek enerji, Güneş ışınım değerleri, sıcaklık ve rüzgar etkisi de dahil edilerek öngörülmektedir. Aracın üzerindeki batarya grubunda saklı enerjinin de dinamik hesaplanması ile varılmak istenen menzile en hızlı şekilde ulaşmayı sağlayacak bir hız kontrol stratejisi oluşturulmuştur. Dinamik değişken ve otomatik kontrol altındaki hız değişimi algoritması ve tasarlanan bir PIC kontrollü devre sayesinde pilota sadece direksiyon kullanımı teslim edilmiş, menzile batarya bitmeden hemen önce ve en çabuk ulaşmayı sağlayacak en uygun hız değeri, 0 – 5 V aralığındaki elektriksel işaretlerin otomatik olarak motor sürücü devreye iletilmesiyle elde edilmiştir.

Çalışmada öncelikle ihtiyaç duyulan verileri toplamak için veri toplama sistemi oluşturulmuştur. Proteus ortamında tasarlanan ve simüle edilen devre gerçekleştirilmiştir. Gerekli kontrol ve optimizasyonun yapılabilmesi için Güneş

arabasını oluşturan sistemden bir çok verinin elde edilmesi, takibi ve analizi gereklidir. Bu veriler iki temel amaç dolayısıyla toplanmaktadır. Birincisi; aracın ve sürücünün güvenliğini sağlamak için gerekli olanlar, ikincisi ise, kontrolü sağlayacak verilerdir. Bu veriler sensörler ve ölçüm aletleri ile tespit edilip tasarlanan mikrokontroller devre üzerinden MATLAB tabanlı bir programlama ile analiz edilmiş, Güneş arabası için bir yol simülasyonu oluşturulmuştur. Hedef menzile optimum sürede ulaşmak anlamına gelen varış noktasına ulaşıldığında bataryadaki enerjinin tümüyle kullanılmış olması sağlanmıştır. Bu sonucu sağlayacak hız değeri motor sürücü devresine hazırlanan yazılım tarafından otomatik olarak gönderilmiştir.

Pilot, önünde bulunan kontrol panelinden güvenlikle ilgili veriler olan aracın hızını, batarya sıcaklığını, PV panel, MPPT ve batarya akım-gerilim değerlerini takip edebilmektedir.

Çalışmanın neticesinde daha önce uygulanmış algoritmalara göre % 10,5 daha kısa sürede menzile ulaşılması sağlanmıştır.

2.2.1. Bilimsel Katkılar

Yürütülen çalışmamız TÜBİTAK Bilimsel Araştırma Proje destekleri kapsamında 5.000 TL hibe desteği almıştır. Doktora çalışmaları sürecinde;

1. Yüksek verimde ve küçük ölçekte PV panel tasarımı ile ilgili bir uluslararası sempozyum bildirisi sunulmuştur [116].
2. Küçük ölçekli PV panel tasarımı ile ilgili uluslararası bir hakemli dergide makale yayınlanmıştır [117].
3. Üretilen PV panellerin testleri ve performans artışı ile ilgili bir uluslararası sempozyum bildirisi sunulmuştur [118].
4. Enerji yönetimi ve güneş arabası hız kontrolü hakkında da SCI dergide makale yayınlanmıştır [119].

BÖLÜM 3

FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

3.1. GÜNEŞ, GÜNEŞ ENERJİSİ VE FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

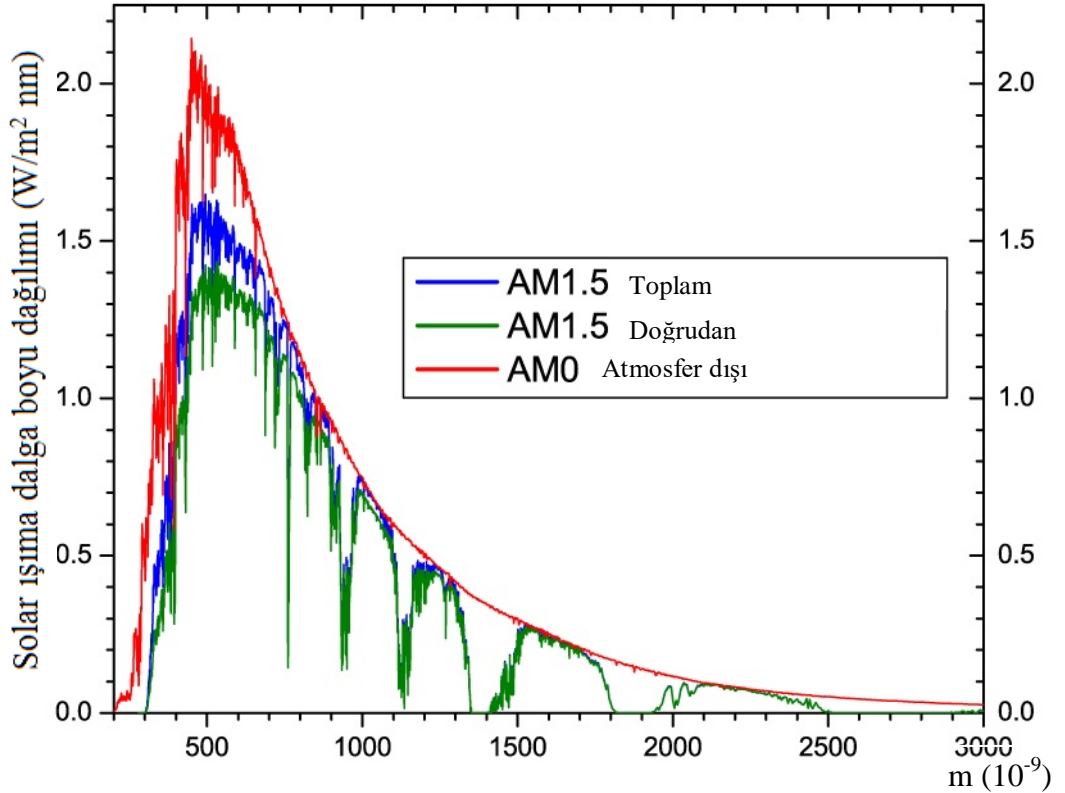
Güneş, dünyamızın doğal ekosistemi için gerekli enerjinin büyük bir bölümünü sağlamaktadır. Çapı yaklaşık 1.4 milyon kilometre olup, iç çevresinde çok yoğun gazlar bulunmaktadır. Yeryüzünden yaklaşık 151.106 milyon km uzaklıktadır. Nükleer yakıtlar dışında, dünyada kullanılan tüm yakıtların ana kaynağıdır. İçinde, sürekli olarak Hidrojen gibi küçük çekirdeklerin birleşerek daha büyük yeni çekirdeklere dönüştüğü füzyon reaksiyonları gerçekleşmektedir ve oluşan kütle farkı, ısı enerjisine dönüşerek uzaya yayılmaktadır. Güneş'in merkezinde füzyon reaksiyonu için uygun bir ortam oluşmaktadır [6].

Sözgelimi Güneş'te oluşan bir reaksiyonda protonla bombardımanı altında Hidrojen molekülü, Hidrojen'in bir izotopu olan Döteryum'a dönüşmektedir. Bu durumda kararsız halde kalan iki Döteryum çekirdeği daha sonra birleşerek daha ağır olan Helyum'a dönüşmektedir. Bu işlem sırasında da iki proton açığa kalmaktadır. Böylelikle reaksiyon zincirinin devamını sağlayacak protonlar da sistemde bulunmaya devam etmiş olmaktadır. Bu reaksiyon sonucunda 4 *MeV* enerji açığa çıkmaktadır. Güneşin halihazırda sahip olduğu enerjiyi elde edebilmesi için bu reaksiyon zincirinin saniyede 10 ile 38 arasında değişen sayıda tekrar ettiği ve bu reaksiyonlarla 657 milyon ton Hidrojen'in 653 milyon ton Helyum'a dönüştüğü bilinmektedir [6].

Güneşte açığa çıkan bu enerjinin çok küçük bir kısmı yeryüzüne ulaşmaktadır. Buna rağmen yeryüzüne ulaşan yıllık enerjinin, yeryüzünde bugüne kadar tespit edilmiş fosil yakıtların 160 katı kadar bir potansiyele sahip olduğu hesaplanmıştır [120].

Dünya atmosferinin dış yüzeyine ulaşan enerji değeri 1366 W/m^2 olarak ölçülmüştür. Bu değer Güneş sabiti olarak da isimlendirilmektedir. Atmosfere giren Güneş ışınları dalga boyu $300 - 2500 \text{ nm}$ arasında değişen geniş bir spektrumla yayılmaktadır [121]. Bu durum Şekil 3.1'deki grafikte net olarak görülmektedir.

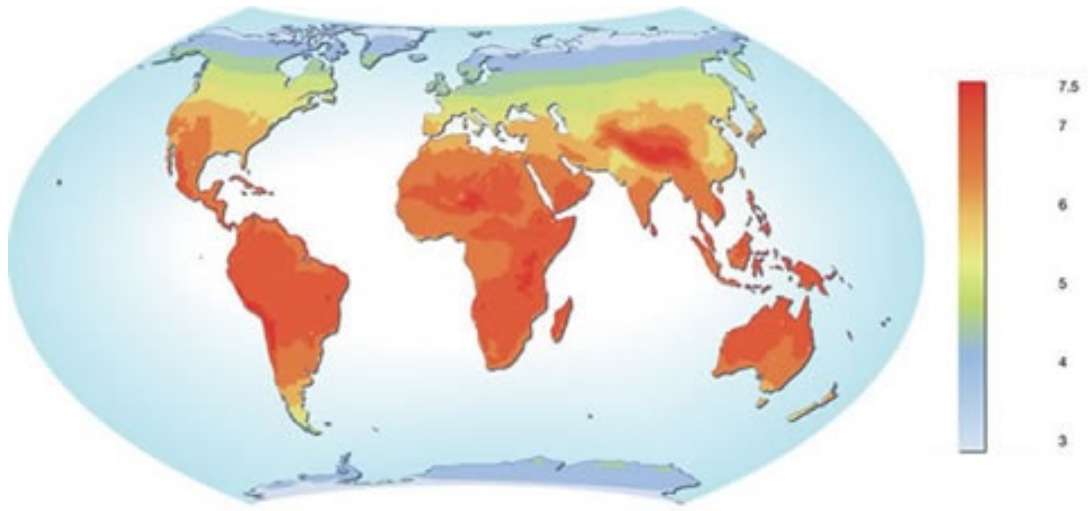
Atmosfere ulaşan ışınların %6'sı uzaya yansırken %16'sı da atmosfer tarafından soğurulmaktadır. Böylece deniz seviyesinde yeryüzüne ulaşan miktar 1020 W/m^2 olarak ölçülmektedir. Pratik olarak yeryüzüne ulaşan güneş ışınım değeri 1000 W/m^2 olarak kabul edilmektedir [122].



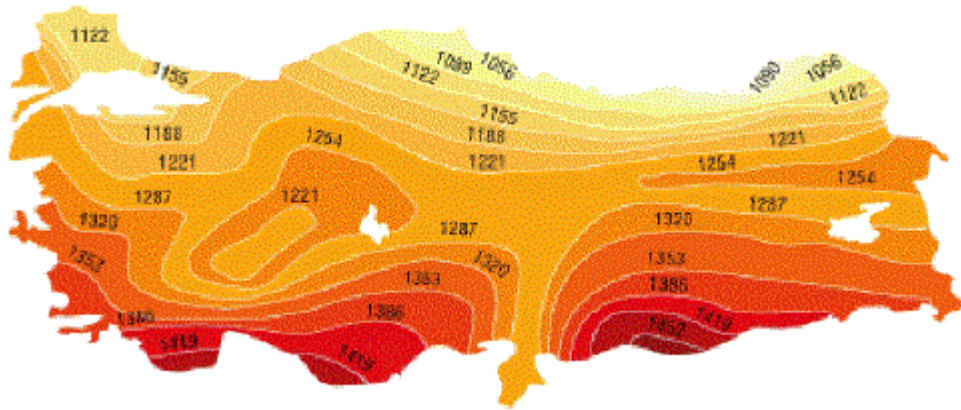
Şekil 3.1. Solar spektrum [122].

Türkiye, Dünya üzerinde 36° - 42° kuzey enlemleri ve 26° - 45° doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Türkiye'nin yıllık ortalama güneş ışınımı 1303 kWh/m^2 yıl, ortalama yıllık güneşlenme süresi ise 2623 saattir. Bu rakam günlük $3,6 \text{ kWh/m}^2$ güce, günde yaklaşık 7,2 saat, toplamada ise 110 günlük bir güneşlenme süresine denk gelmektedir [123].

NASA tarafından hazırlanan dünyanın 1983-2005 yılları arasındaki bölgelere göre yıllık ortalama gün başına düşen ışınım değerini metrekareye düşen enerji miktarı şeklinde gösteren harita Şekil 3.2’de görülmektedir [122]. Şekil 3.3’te de Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü’nün ülkemiz ortalama ışınım değerlerine göre yıllık metrekareye düşen toplam enerji miktarını gösteren harita bulunmaktadır [6]. Her iki harita da Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyeli yüksek ülkeler arasında bulunduğunu göstermektedir. Bu da ülkemizde Güneş enerjisinden daha fazla faydalanmayı hedefleyen çalışmaların önemini ortaya koymaktadır.



Şekil 3.2. Dünya üzerinde 1983-2005 arası ortalama günlük ışınım değeri (kWh/m^2 yıl) [122].



Şekil 3.3. Türkiye’nin yıllık toplam ışınım değeri (kWh/m^2 yıl) [6].

Atmosfere giren Güneş enerjisi fotonlarla taşınmaktadır. Bu enerjinin % 1 civarı bitkilerde fotosentez için kullanılmaktadır [6]. Güneş ölçeğinde çok küçük, fakat dünya için çok büyük olan bu enerjiden faydalanmanın bir diğer yöntemi de elektrik enerjisine dönüştürmektir. Fotovoltaik etki olarak tanımlanan bu süreç enerjiyi taşıyan fotonların belirli bir düzen dahilinde dizayn edilmiş yarı iletken yüzeydeki yarı serbest elektronlara çarparak enerjisini bırakması ile sağlanmaktadır [123].

Bazı maddelerin elektriksel özellikleri ışığa bağlı olarak değişmektedir ve fotovoltaik elektrik üretiminin esasını da bu oluşturmaktadır. PV paneli güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken kristallerden oluşmaktadır. Birbirine benzemeyen herhangi iki malzemenin oluşturduğu alaşımlar da fotovoltaik malzeme olarak kullanılabilir. Temelde bu elementlerin yarı iletken olarak tanımlanan 4. grup elementler ya da 3. grup elementlerle 5. grup elementlerin alaşımları olduğu görülmektedir [124].

Şekil 3.4’de fotovoltaik etkinin p-n katmanında uygulanması görülmektedir.



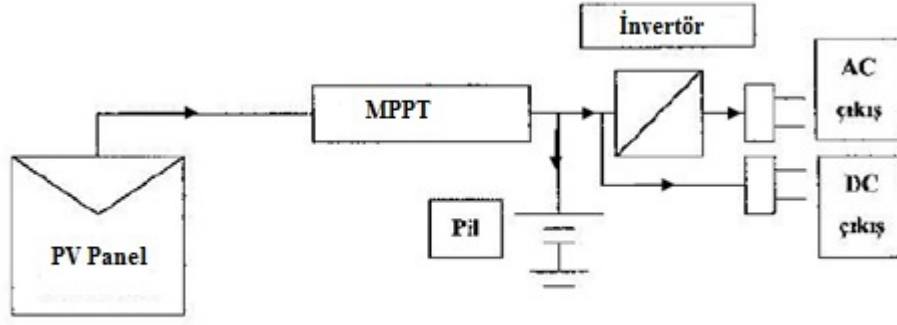
Şekil 3.4. PV hücrenin yapısı ve fotovoltaik etki [20].

Silisyum, Silisyum alaşımları ve Galyum Arsenik (GaAs) içeren malzemeler panellerin üretiminde en yaygın kullanılanlardır. Paneller n-tipi katkı ile

elektron ya da p-tipi katkılanma elektron deliği açısından yarı kararlı hale getirilmektedir. Güneş ışınları ile gelen fotonlardaki enerjinin yarı-iletkenin dış yörüngesindeki valans elektronlarına aktarımı ile eşik enerjisini aşması sağlanır. Serbest kalan elektron ardında bir boşluk bırakır. Açık devre olarak tutulan p-n katmanını uygulanmış bir fotovolttaik panelde p bölgesi ve n bölgesi arasında zıt yönlü bir difuzyon akımı ile elektriksel alan oluşur. Katmana düşürülen fotonların enerjisi ile boşluklar ve elektronlar zıt yönde hareket ederek katmanın iki tarafı arasında bir gerilim farkı oluşmasını sağlar. İki bölge arasına bir yük bağlanmasıyla da elektrik akımını elde edilir [28].

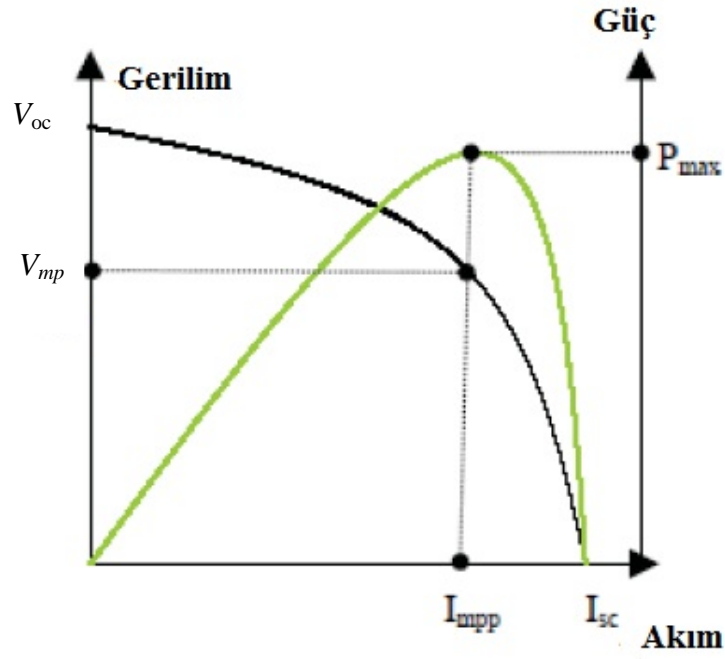
PV paneller enerji ihtiyacının miktarına ve yerine bağlı kalmadan esnek kurulum imkanına sahiptir. İhtiyaç duyulan enerji miktarını sağlayacak sistem kolaylıkla kurulabilmektedir. Fotovolttaik sistemlerin paneller yapısı miliwatttan megawatta kadar geniş güç ihtiyacı aralıklarına cevap verebilmelerini sağlar. Genelde PV panel tasarımları 30 - 72 adet Güneş hücresi içermekte ve böylece tasarlanan bir PV panelin gücü 20 ile 300 W arasında değişmektedir. Yüksek gerilime ihtiyaç duyulduğunda paneller seri olarak, yüksek akıma ihtiyaç duyulduğunda ise paralel olarak monte edilmektedir. İhtiyaca göre daha sonra kullanılmak üzere üretilen enerjinin bir kısmı veya tamamı bataryalarda depolanabilmektedir. PV paneller ile elde edilen akım doğru akım (DC) olduğundan Alternatif akıma (AC) ihtiyaç duyulan sistemler için dönüştürücü (invertör) kullanılmaktadır [124].

Bu temel yaklaşıma uygun standart bir PV sistem elemanları ve bağlantı şeması Şekil 3.5'te görülmektedir. Şekil 3.5'teki modelde PV panel ile sistem arasında bulunan MPPT bir elektronik devre olup, temel amacı PV panel karakteristiklerini göz önüne alarak sistemin çalışma noktasını belirlemesidir. Böylelikle devre maksimum güç elde edilebilecek bir akım ve gerilim değerinde çalışmış olacaktır. Şekil 3.6'teki grafikte bu durum daha net anlaşılmaktadır. İntertör ise, doğru akım olarak üretilmiş elektrik enerjisinin alterantif akıma çevrilmesini sağlamaktadır.



Şekil 3.5. PV sistemi devre modeli.

Güneş enerjisinden fotovoltaik etki prensibine göre yararlanarak elektrik üretme konusundaki çalışmalar, her ne kadar uzay çalışmaları ile hız kazansa da, özellikle 1970'lerden sonra gündeme alındığı görülmektedir. Güneş enerjisi sistemlerinin teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme eğiliminde olması, yukarıda da belirtildiği gibi esnek kurulum ve kullanım koşullarına uyumluluğu ve üretilen panellerin verimlerindeki tatmin edici artışlar ile temiz bir enerji kaynağı olarak kabul edilmesini sağlamıştır [57].



Şekil 3.6. PV sistemin $V_{oc} - I_{sc}$ değerleri ve MPPT etkisi [83].

3.2. FOTOVOLTAİK HÜCRELERİN FİZİKSEL YAPISI

PV hücreleri genelde yarı-iletkenlerden yapılmış, kalınlığı yaklaşık 200 – 250 µm olan dilimler formunda olan elektronik cihazlardır. Katkı işlemi sırasında çok küçük bir miktarda katkı maddesi eklenmekte ve bunla da n- (negatif) ve p- (pozitif) adlarında iki farklı katman oluşturmak hedeflenmektedir. Bir n- tipi malzeme taşıma bandında fazlaca elektron taşımaktayken, p- tipi malzemede pozitif yüklü protonların fazlalığından dolayı elektron delikleri bulundurmaktadır. Genel olarak n- tipi katman oluşturmak için katkı maddesi olarak fosfor, p-tipi katman için ise bor katkılı silikon kullanılır. Pozitif uç bu ince plakanın arkasındaki metal iken negatif terminal cihaza mümkün olduğunca çok güneş ışığının gelmesine müsaade etmektedir. Güneş ışınları ile fotonların enerjileri, çarptıkları elektronlara aktarılarak eşik enerjisinden fazla bir potansiyele sahip olmaları sağlanır. Bu potansiyelle katmanın diğer bölgesine geçen elektronlar, enerjilerini kaybettikleri için tekrar kendi bölgelerine ancak Şekil 3.4'te görüldüğü gibi geçmek durumunda kalarak, devreyi tamamlayıp akım oluşmasını sağlamaktadırlar [6].

Bütün yarı iletkenler fotovoltaik özellik göstermektedir. Ancak, Silisyum (Si), Gallium-arsenide (GaAs), Cadmium-telluride (CdTe) ve Copper-indium-diselenide (CuInSe₂) PV hücresi yapımında kullanılan başlıca yarı iletken malzemelerdir. Elektronik sanayinde çok önemli bir rol oynayan silisyum, gelişmiş teknolojisi ile günümüzde PV panel üretiminde en yaygın kullanılan yarı iletken olarak bilinmektedir [36].

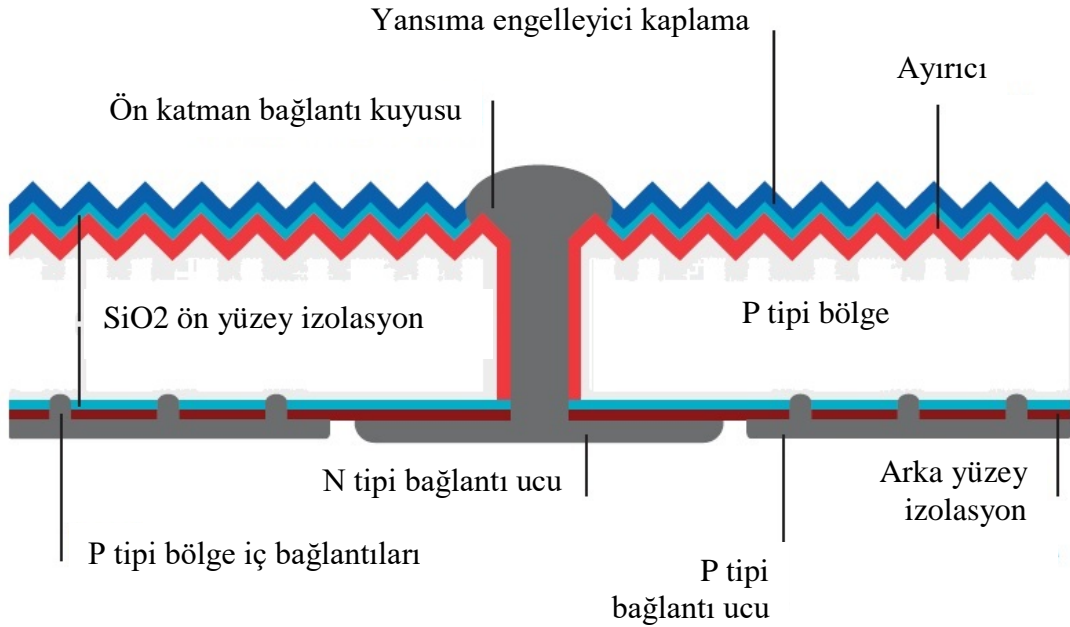
Endüstride fotovoltaik üretim için hammadde rezervi oldukça önemli bir değişkendir. Bu kapsamda Silisyum, doğada en çok bulunan element olması nedeni ile rezerv konusunda oldukça büyük avantaj sağlamaktadır. PV panel yapımı için şu anda kullanılmakta olan bir düzineden fazla maddenin yanı sıra, yüzlerce maddenin de üzerinde çalışılmaktadır. PV teknolojisinin sürekli gelişimlerine bağlı olarak verimlilikleri de artmaktadır. Ancak, karşılaştırılmalı bir kaynak olması amacı ile Fraunhofer Enstitüsü tarafından yapılan deneylerde en yüksek verimlilikleri gösteren özet aşağıdaki Çizelge 3.1'de verilmiştir [4].

Çizelge 3.1. PV panel çeşitlerinin verimlilikleri [4].

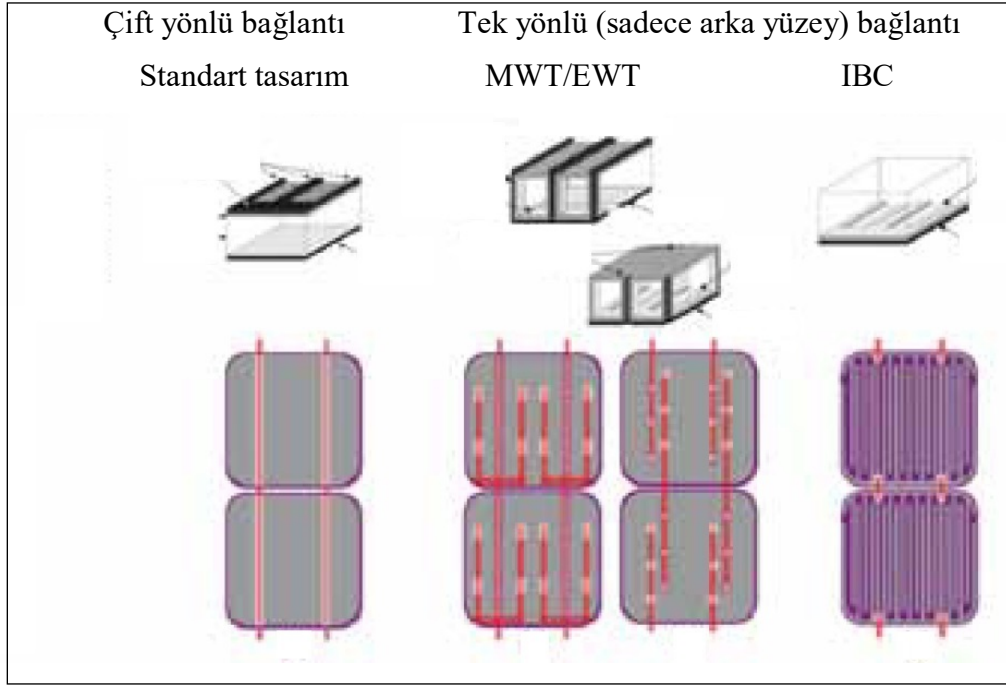
PV cinsi	Verimliliği (%)
Tek kristalli Silisyum	24
Çok kristalli Silisyum	17,4
Amorf Silisyum	14,7
Cu/In GaSe ₂	17,7
CdTe / CDS	15,8
GaAs Tek kristal	23,9

3.3. FOTOVOLTAİK PANEL TASARIMLARI VE LAMİNASYON TEKNİKLERİ

PV hücrelerin tasarım ve birleştirilerek panel haline getirilmesi süreçlerinde verimin artırılması için çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Yapılan araştırmalarda kayıplar optik ve elektronik olarak iki ana başlıkta ele alınmaktadır. Optik kayıplar; yansıma, gölgeleme ve soğurulamayan ışınlar şeklinde sıralanırken; elektronik kayıplar ise, direnç ve katkılama karışım kayıpları olarak belirlenmiştir [49].



Şekil 3.7. Negatif ve pozitif terminallerin arka yüzeye taşınması [38].



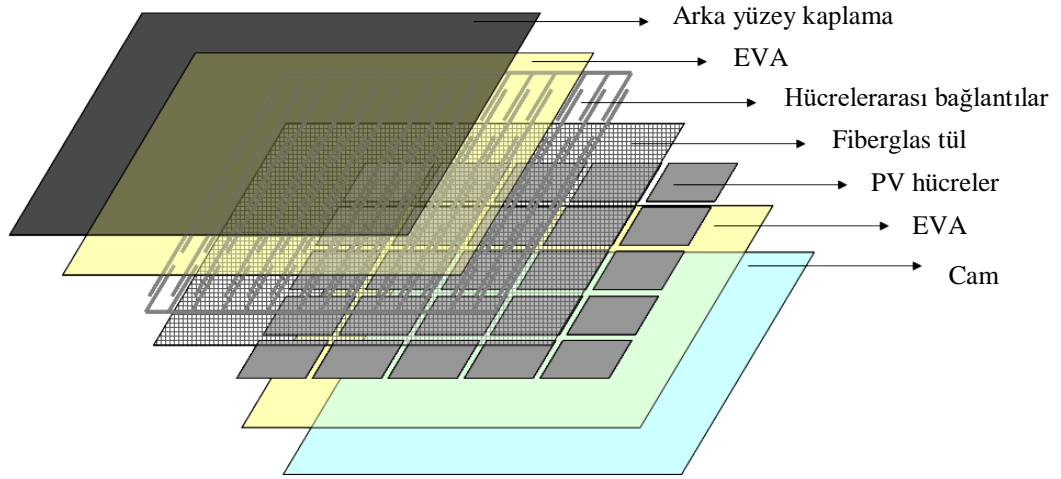
Şekil 3.8. PV hücreler arası bağlantının sağlanması [118].

Kayıpları ortadan kaldırmak için hücrelerin tasarımında farklı çözümler ortaya koyulmaktadır. Yansıma kayıplarını ortadan kaldırmak ya da azaltmak için ön yüzeyde yansıtma oranı düşük camlar kullanılmasına, pasifizasyon işlemi yapılırken silikon yüzeyinde engebeli dizaynlarla karşılaşılmaktadır [38].

Ön yüzey terminallerin gölgelemesini engellemek için bu terminallerin yüzeye gömülmesi gibi uygulamalar olsa da son dönemde endüstride yaygınlaşan bir uygulama olarak Şekil 3.7’de görüldüğü gibi arka yüzeye taşınması benimsenmektedir [118]. Nitekim YILDIZ Güneş arabası üzerindeki hücrelerde de bağlantı terminalleri arka yüzeyde konumlandırılmıştır.

Bu işlem neticesinde fiziksel olarak aynı yüzeyde bulunan negatif ve pozitif terminaller arası bağlantılar için standart çift yönlü hücrelerin birbiri ile bağlantılandırılmasından farklı bir yöntem ihtiyacı duyulmaktadır. Bu karşılaştırma Şekil 3.8’de görülmektedir. Aynı yüzeyde bulunan negatif ve pozitif terminaller arası kısa devre problemini azaltmak için Belçika’da bulunan sürede yeni bir laminasyon tekniği hakkında çalışma gerçekleştirilmiştir [118].

Bu çalışmada, Şekil 3.9’da görülen laminasyon tekniğinde izolasyonu sağlamak amacıyla 0,5 mm fiber-glas tül kullanılan genel standart sisteme alternatif olarak, terminal lehimlerinin % 50 azaltılması ve 0,3 mm fiber-glas kullanılması önerilmiştir. Böylece kullanılan fiber-glas tül miktarı % 40, lehim miktarı da % 50 azaltılmıştır. Şekil 3.10’da da bir örneği görülen deneme uygulamaları başarılı sonuç vermiş ve EUPVSEC 2014’te bildiri olarak sunulmuştur [118].

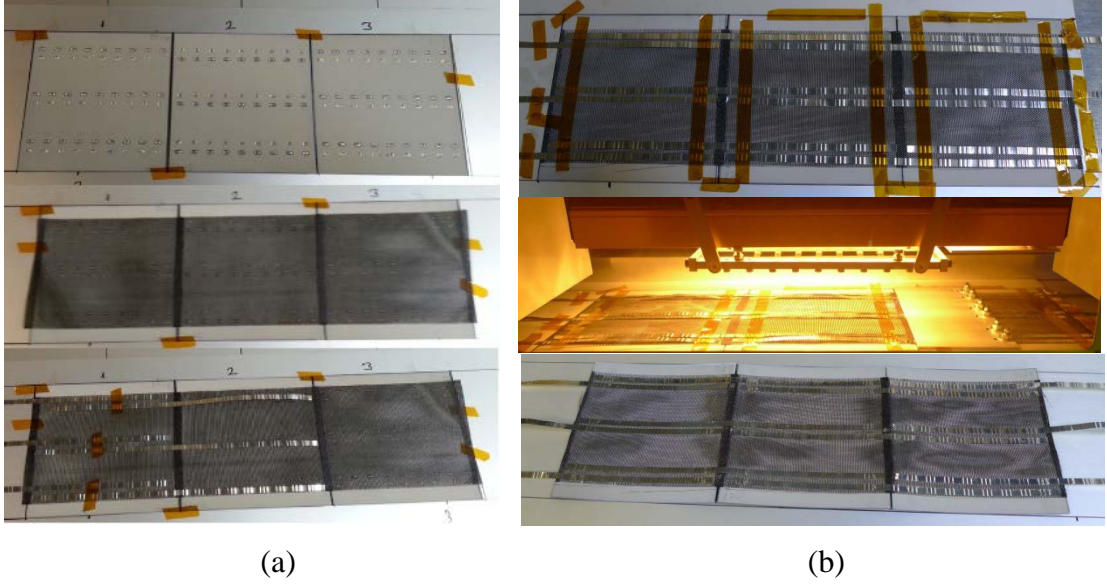


Şekil 3.9. Laminasyon işlemi ve kullanılan malzemeler [118].

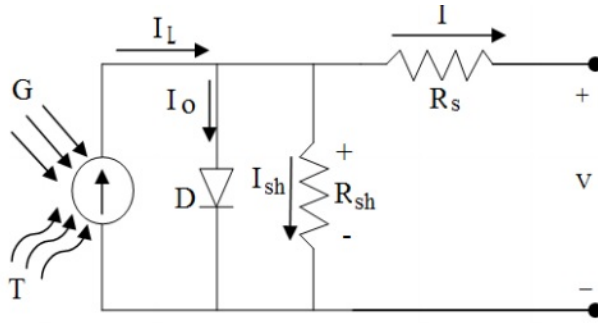
3.4. FOTOVOLTAİK PANEL AKIM VE GERİLİM DEĞERİNE SICAKLIK ETKİSİ

Fotovoltaik etki ile yarı iletken malzemede iki katman arasında potansiyel fark oluşmaktadır. Bu oluşan potansiyel fark, Şekil 3.11’de görülen PV hücresinin basit bir diyot devresi olarak tanımlandığı bir elektriksel modelden de anlaşılabilir. Bu potansiyel fark dolayısıyla eğer iki katman kısa devre edilirse bir elektriksel akım oluşmaktadır [125]. N-tipi ve p-tipi bölgelerde akıma sebep olan elektron ve delik çiftlerinin akış yoğunluğunun; T sıcaklık, I_L foton akımı, $q = 1.6 \times 10^{-19}$ C elektron yükü, $K = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K Boltzmann sabiti, I_0 doyma akımı, R_s iç kayıpları belirten seri direnç, V çıkış gerilimi ve n seri bağlı PV hücre sayısını tanımladığı diyotun doyma akım denklemi Eşitlik (3.1)’de görülmektedir. Bu eşitlikten de anlaşılacağı üzere PV hücrede fotonların eşik gerilimini aşacak enerjiyi yüklediği elektron ve

deliklerin kapalı devreden akıtacağı akım, sıcaklıkla üstel ters orantılı olarak değişmektedir. Bu durumu açıklayan grafikler Şekil 3.12’de görülmektedir [45].



Şekil 3.10. Arka yüzey bağlantılı PV panel laminasyonu. a) Lehimleme öncesi hazırlık, b) Laminasyon öncesi lehimleme.

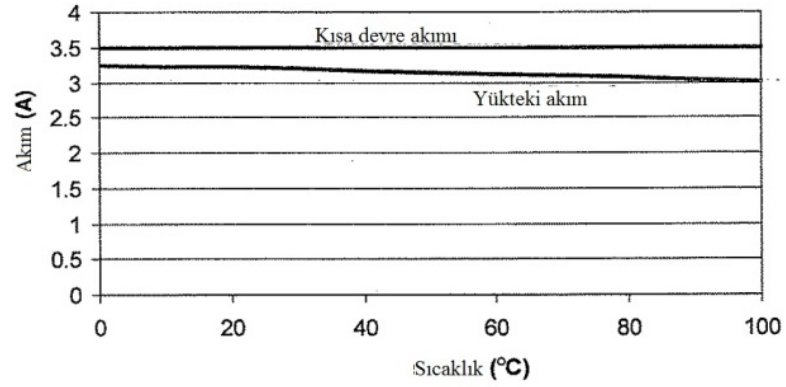


Şekil 3.11. PV Hücresinin elektriksel modeli [125].

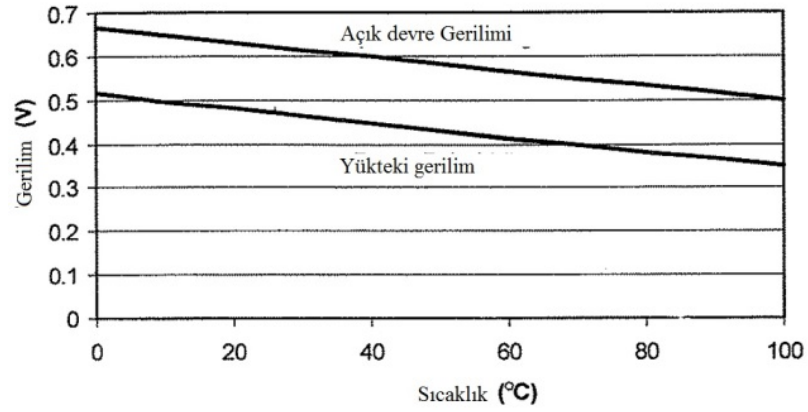
$$I = I_L + I_0 \left[1 - \exp\left(\frac{V - I R_s}{n K T}\right) \right] \quad (3.1)$$

Şekil 3.12’de I_{oc} açık devre akımı fiili olarak devreden akmadığı için değişmemektedir. Devre yük bağlanarak kapalı hale getirildiğinde I akım değeri sıcaklık arttıkça düşmektedir. V_{sc} ise, sıcaklık değişiminde devre kapalı olduğu için ara katmandaki potansiyel fark değiştiğinden düşmektedir.

PV panelin verimini etkileyen faktörler, daha önce de bahsedilen optik ve elektronik kayıplar olarak tanımlanmaktadır. Sıcaklık etkisi, iç kayıpları tanımlayan R_s direnci üzerindeki gerilim düşümü olarak ortaya çıktığından elektronik kayıplar arasında yer almaktadır [49].



(a)



(b)

Şekil 3.12. Sıcaklığın PV hücrede akıma ve gerilime etkisi. a) akım, b) gerilim [33].

PV panelin gölgeleme etkisi gibi optik kayıpların ve bağlantı terminalleri gibi omik kayıpların telafisi ile ilgili bir önceki bölümde yapılan çalışmayla birlikte yine Belçika’da PV panel üzerinde rüzgar etkisi sıcaklığı azaltma ile ilgili bir diğer araştırma daha yapılmıştır. Doktora çalışmamızda da PV hücrelerin araba üzerine monte edilir şekilde kullanılıyor olması ve hareket halindeki aracın hava ile temasının rüzgar etkisine benzerliği dolayısıyla Belçika’da yapılan çalışmanın metodu Güneş arabası üzerinde de uygulanarak, test edilmiştir. Nitekim PV panel

özelliklerini gösterir veri dokümanlarına göre araba üzerindeki PV hücrelerin yüzeyindeki her 1 °C değişim, gerilim değerinde 1,9 mV ve kazançta da % 0,38 değişime sebep olmaktadır [126].

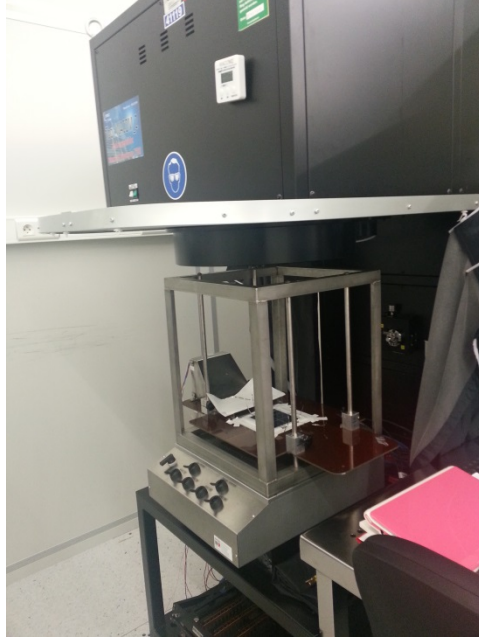
Yapılan simülasyonlar ve ölçümler neticesinde farklı açılarda monte edilmiş PV panellerin yüzeyinde farklı hızlarda esen rüzgarın, hem hava sürtünmesi olarak hem de hava akımının devamından kaynaklı sıcaklık değişimine farklı oranda etkisi tespit edilmiştir.

3.5. PV HÜCRE YÜZEYİNDE OLUŞAN RÜZGARIN PANEL SICAKLIĞINA ETKİSİ

Arabanın enerji yönetim sisteminin algoritmasında, yapılan hesaplamaların daha doğru sonuçlar vermesi için, göz ardı edilen bazı değişkenler işleme alınabilir. Yol simülasyonları yapılırken, bataryada bulunan ve PV panellerden elde edilecek enerjinin hesabında rüzgar etkisi önemli bir değişikliğe sebep olabilir. Rüzgar sıcak ve soğuk havanın yer değiştirmesi şeklinde ortaya çıkmaktadır. PV panellerde enerji üretiminde sıcaklık Eşitlik (3.1)'de de görüldüğü gibi üstel ters orantı olarak etki etmektedir.

Bu sebeple rüzgar etkisiyle PV panellerden elde edilecek enerji miktarında nasıl bir değişim olacağını ele almak, çalışmamıza özgünlük katacak ve enerji yönetimi ile ilgili kurulan bağıntıların daha doğru değerler alacak şekilde değişmesini sağlayacaktır.

Bu amaçla arabanın muhtemel hız değer aralıkları için Comsol Multiphysics 4.3 programının Heat Transfer Module (Isı transfer modülü) kullanılarak arabada bulunan Güneş hücrelerinin performansı incelenmiştir. Ayrıca laboratuvar ortamında, Güneş simülatörü altında, PV hücrenin yüzeyinden 2 mm yüksekliğe kadarki bölgede rüzgar hızının kontrol edilebileceği şekilde hava akımı sağlayacak Şekil 3.13'te görülen düzenek kurulmuştur. Bu düzenek yardımıyla elde edilen $V - I$ karakteristiği ile simülasyondan elde edilen veriler karşılaştırılmıştır.

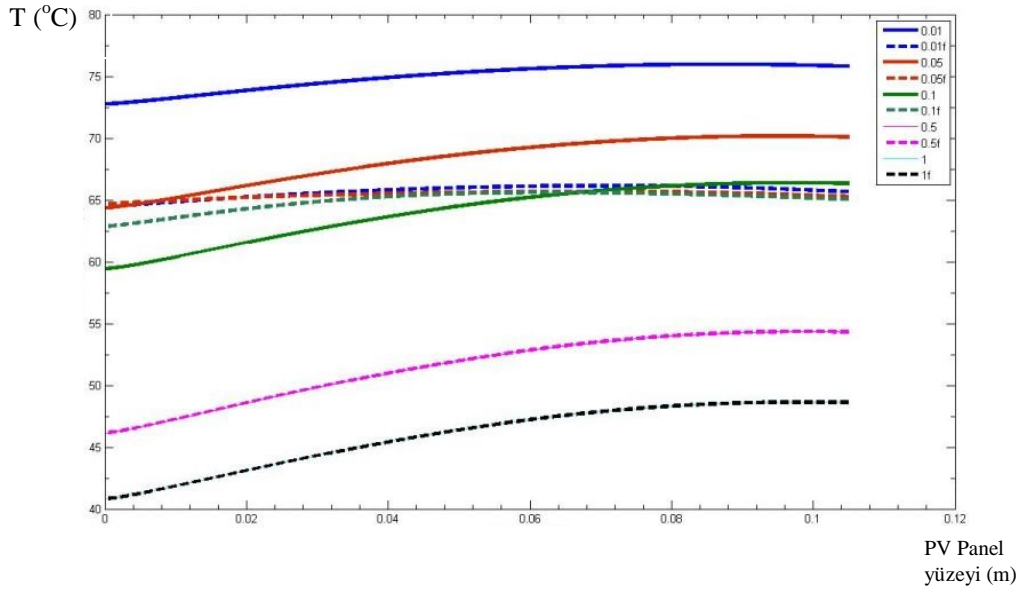


Şekil 3.13. Güneş simülatorü altında rüzgar düzeneği.



Şekil 3.14. Hücre $V-I$ karakteristiği için deney kurulumu.

Rüzgarın hızına bağlı olarak tek bir hücre üzerinde serbest ısı dağılımı ve uyarılmış ısı dağılımı simülasyonu yapılmıştır. Bu değerler Şekil 3.15’de görülen bir grafik üzerinde karşılaştırıldığında rüzgar hızının 5 m/s’den yani 18 km/h’ten yüksek olduğu durumlarda serbest ısı dağılımı etkisinin göz ardı edilmesinin mümkün olduğu görülmüştür.



Şekil 3.15. Serbest ısı dağılımı ve uyarılmış ısı dağılımı karşılaştırması.

Bu durumda Güneş arabası eğer 18 km/h'ten daha hızlı giderse PV panelin yerçekimine karşı gerçekleştirdiği kendi ısını serbest ısı dağılımı ile yayma etkisi gözardı edilebilir düzeyde görülmektedir. 18 km/h'ten daha yüksek hızlarda panel yüzeyinde oluşacak hava akımı ve bu hava akımının PV hücre sıcaklığına, dolayısıyla üretilen enerji miktarına etkisi deneyin bundan sonraki kısımlarında ele alınmıştır.

3.6. COMSOL MP 4.3 VE ISI TRANSFER MODÜLÜ İLE SİMULASYON YÖNTEMİ

COMSOL Multiphysics 4.3 yazılımı Comsol firması tarafından tasarlanan herhangi bir fiziksel sistemin sonlu elemanlar modellenmesi ve simülasyonuna imkan sağlayan bir yazılım programı olarak bilinmektedir. Özellikle sistemlerin elektriksel, akustik ve ısı işlemlerini modellenmesinde çok başarılı ve gerçekçi simülasyon sonuçları elde edilebilmektedir. Dolayısıyla COMSOL MP 4.3 programı ile katı cisimler etrafında akışkan dinamiği hesaplamaları ve simülasyonu mümkün olmaktadır. Yazılım altyapısı SPICE ile uyumlu olduğundan programlama ve malzeme karakteristiklerinin tanımlanması ile katı cismin modeli oluşturulabilmektedir [127].

Bu çalışmada araba üzerine montajı yapılan hücreler modellenerek, aracın Comsol modeli elde edilmiştir. Öncelikle sadece bir hücrenin katı modeli Şekil 3.16’da görüldüğü gibi modellenmiş ve Şekil 3.14’teki deney ortamında elde edilen verilerle karşılaştırılarak modelin doğruluğu tespit edilmiştir.

Elde edilen model üzerinde rüzgarsız ortamda, bir diğer ifade ile arabanın durduğu andaki ısı dağılımı ve Şekil 3.15’teki grafiği doğrulamak için 5 m/s hızla esen rüzgardaki ısı dağılımının simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Deneyde hücrenin hemen altına yerleştirilen sıcaklık sensörü ile ölçülen değerler ve simülasyonda elde edilen değerler Çizelge 3.2’de karşılaştırılmıştır. Simülasyona göre hücrelerin sıcaklığı yaklaşık 67 -68 °C’ye ulaşmaktadır. Laboratuvar ölçüm sonuçları da simülasyon ile uyumlu görülmektedir.

Bu doğrulama verileri neticesinde YILDIZ Güneş arabasının COMSOL modeli oluşturularak simülasyonları elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre aracın üzerindeki PV panellerde farklı hızlarda üretilecek tahmini enerji miktarının enerji yönetim sistemi tarafından hesaplanarak en doğru hız yönetiminin kestiriminin yapılmasına olanak sağlanmıştır.

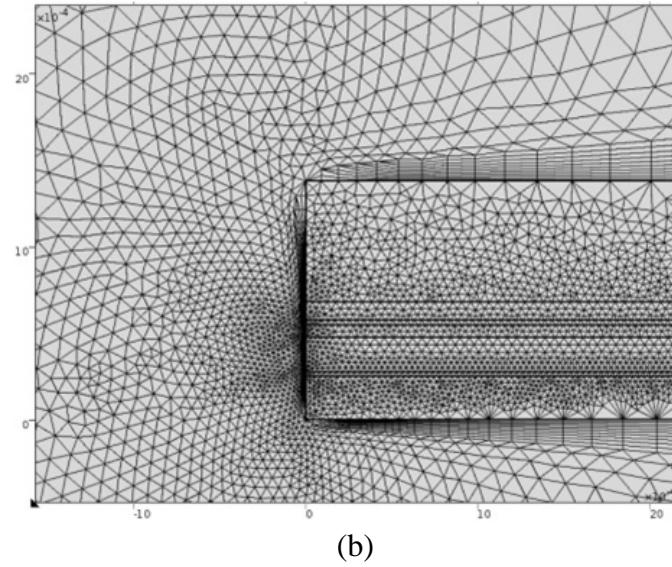
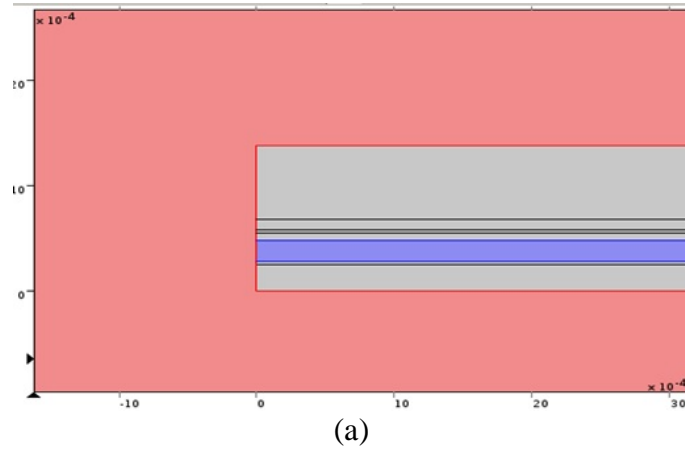
3.7. SİMULASYON VE DENEY SONUÇLARI, ARACIN COMSOL MODELİ

Şekil 3.17’de PV hücrenin Güneş ışını altında ısı değişimi simüle edilmiştir. PV hücreye ulaşan fotonlar sebebiyle, devrede elektrik akımının oluşmasıyla omik direnç etkisi ile ısı artışı ortaya çıkmaktadır. Arabanın durduğunu varsaydığımız ya da rüzgar hareketinin sıfır olduğunu kabul ettiğimiz anda PV hücre yüzey çevresindeki ısı değişimi serbest ısı dağılımı şeklinde gerçekleşmektedir.

Çizelge 3.2. Simülasyon ve deney sonuçları karşılaştırması.

Sıcaklık °C	1. hücre	2. hücre	3. hücre
Ölçüm	66.2	68	66.8
Simülasyon	66.1	66.7	66.1

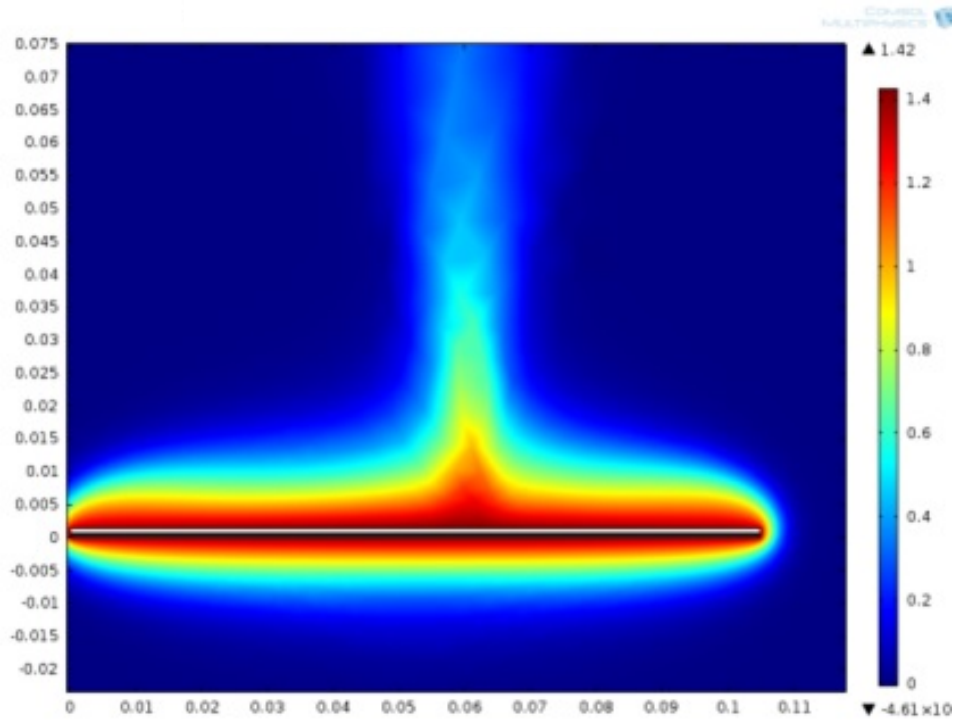
Arabanın 5 m/s hızla hareketi halinde ise PV hücrenin yüzeyinden ısının yüzeysel akış ile hareket yönünün tersine doğru hareket ettiği, ön bölgelerin daha soğuk, arka bölgelerinse daha sıcak olduğu görülmektedir. Bu aşamada ısı yayılımı uyarılmış olarak gerçekleştiği kabul edilerek gerekli karakteristikler oluşturulmuştur. Şekil 3.18(a)'da elde edilen simülasyon sonucu PV hücre yüzeyindeki konuma göre ısı değişiminin, sabit durumun aksine yatay düzlemde olduğunu göstermektedir. Simülasyonda hücre yüzeyinde konum değişikçe sıcaklık değerinin oransal olarak değiştiği Şekil 3.18(b)'deki grafikte net olarak tespit edilebilmektedir.



Şekil 3.16. PV hücrenin COMSOL'da katı modeli ve meshing hali. a) katı model, b) meshing.

Elde edilen veriler neticesinde arabanın COMSOL üzerinde modeli çıkarılarak ısı değişimi ve ısı değişimi ile güneş panellerinden elde edilecek enerjinin arabanın enerji yönetim sistemi tasarımının optimizasyonuna etkisi değerlendirilecektir.

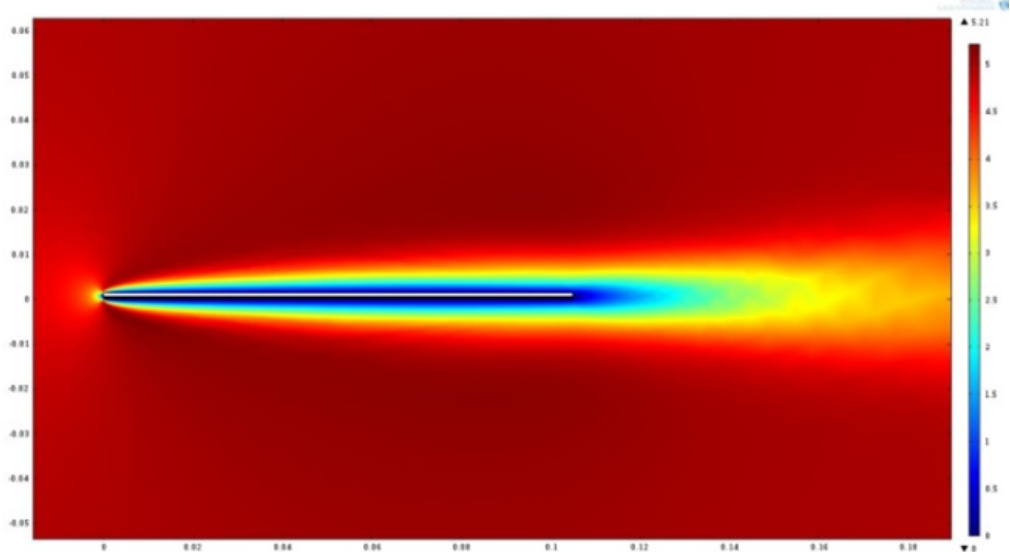
YILDIZ Güneş arabasının tasarımında bilindiği gibi hücrelerin bir kısmı yatay konumlandırılmış olsa da, farklı açılarda yerleştirilmiş hücre grupları da bulunmaktadır. Dolayısıyla gerçekçi 2-boyutlu tasarım Şekil 3.19’da görüldüğü gibi olmalıdır.



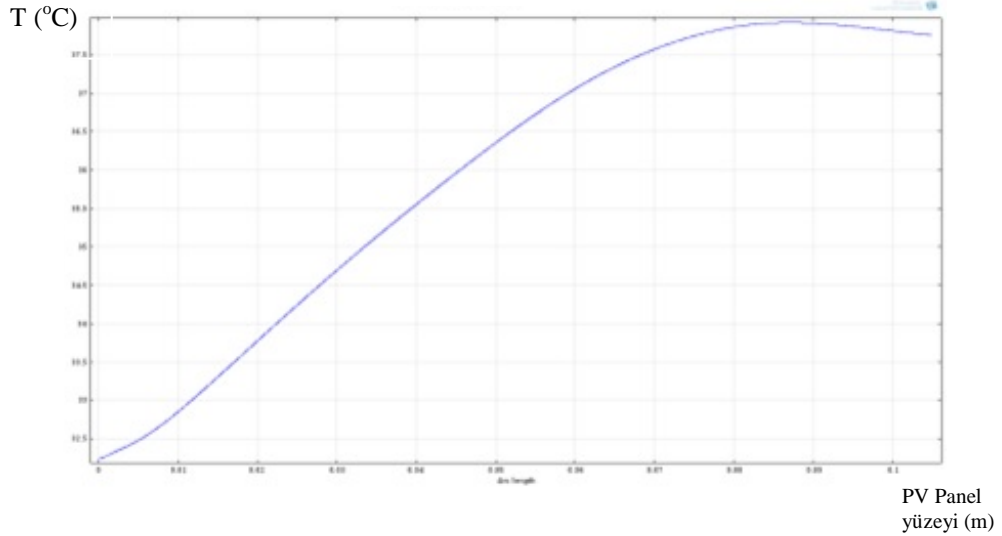
Şekil 3.17. Araba dururken ısı yayılım simülasyonu.

Güneş arabası üzerine montaj açısı ile uyumlu olarak PV panellerin yüzeyindeki ısı yayılımının simülasyonda değerlendirilmesi de Şekil 3.20(a)’da görülmektedir. Bu simülasyonda da görüldüğü gibi hücrenin giriş ucunda bir soğuk hava spotu oluşmakta ve Pv panel yüzeyi tümüyle yatay konumlandırmaya göre daha fazla soğuyabilmektedir. Dolayısıyla PV panellerin açılı yerleştirilmiş olanları, düzlemsel yerleştirilmiş olanlara göre, göreceli olarak daha fazla enerji üretebilecektir. Fakat bu açının Güneş ışınımı ile yapılan açıyı mümkün olduğunca 90 dereceye yakın seçilmesi ile bağlantılıdır. Ayrıca PV panelin üst kısmı yani yüzeyel hava akımının

çıkış ucunda da bir sıcak hava türüblansı oluşmaktadır. Bu türüblans hızın arttığı değerlerde daha yukarı yükselmektedir.



(a)



(b)

Şekil 3.18. Araba 5 m/s hızla hareket yatay PV panelde ısı yayılım simülasyonu ve konuma göre ısı değişim grafiği. a) Araba 5 m/s hızla hareket ederken yatay PV panelde ısı yayılım simülasyonu, b) Araba 5 m/s hızla hareket ederken yatay PV panel yüzeyinde konuma göre ısı değişimi.



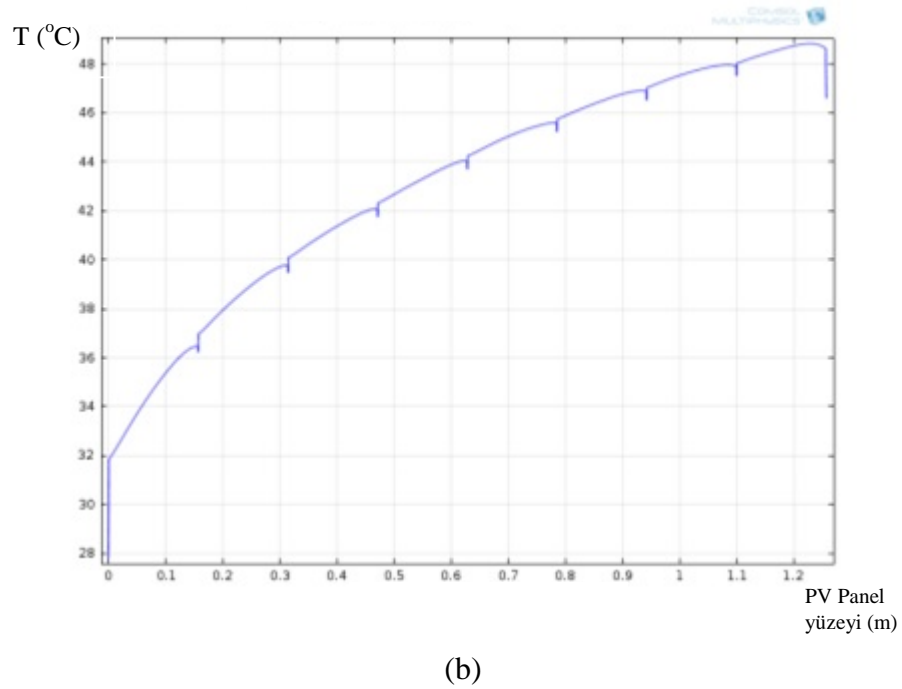
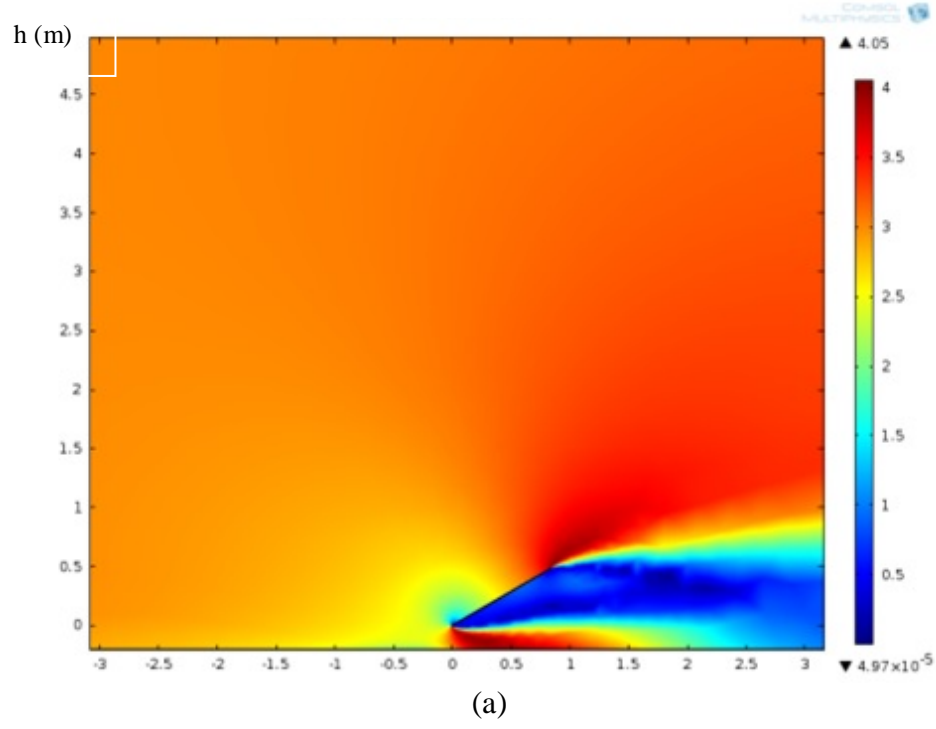
Şekil 3.19. YILDIZ Güneş arabasının COMSOL’da modellenmesi.

Hareket halindeki arabada PV panel üzerinde oluşan sıcaklık farklılıkları ve bu değişimin elde edilecek enerji miktarına etkisini ölçerken hız değişiminin sıcaklığa değer olarak etkisini tespit etmek için Louven Üniversitesi rüzgar tüneli laboratuvarında Şekil 3.20’deki düzenek kullanılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir.

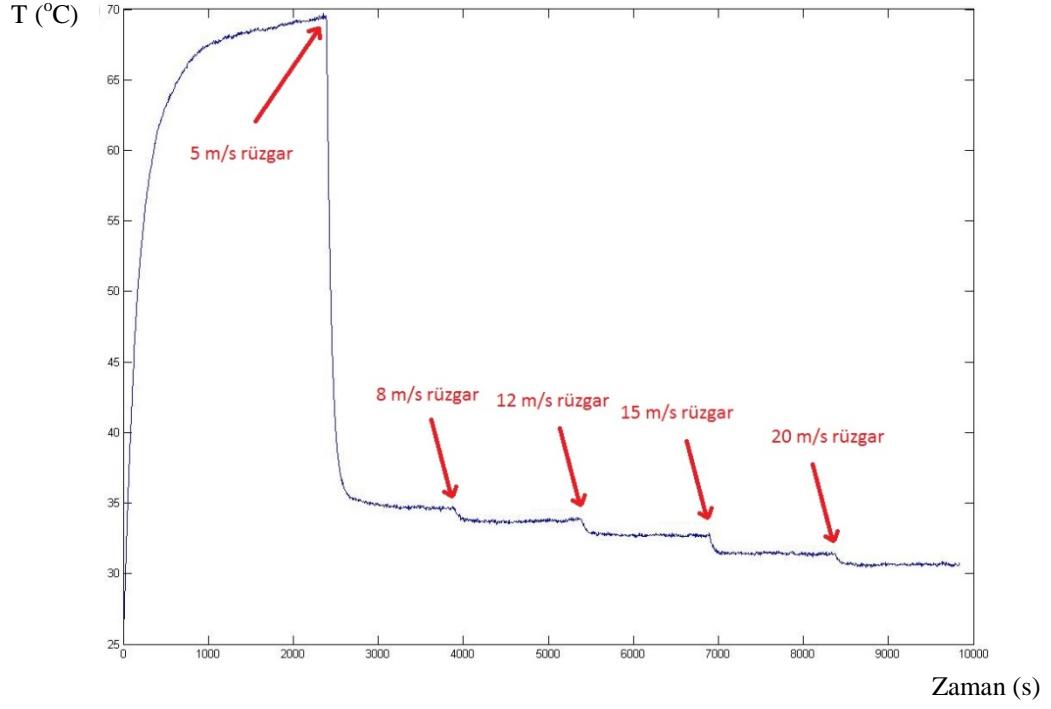
Şekil 3.21(b)’de ise PV panel yüzeyi boyunca konuma bağlı ısı değişimi grafiği görülmektedir. Grafikte görüldüğü gibi PV panel yüzeyinde uç giriş bölgesinde çok soğuk bir bölge bulunmakta ardından yüzey nispeten doğrusal bir ısınma karakteristiği oluşturmaktadır.



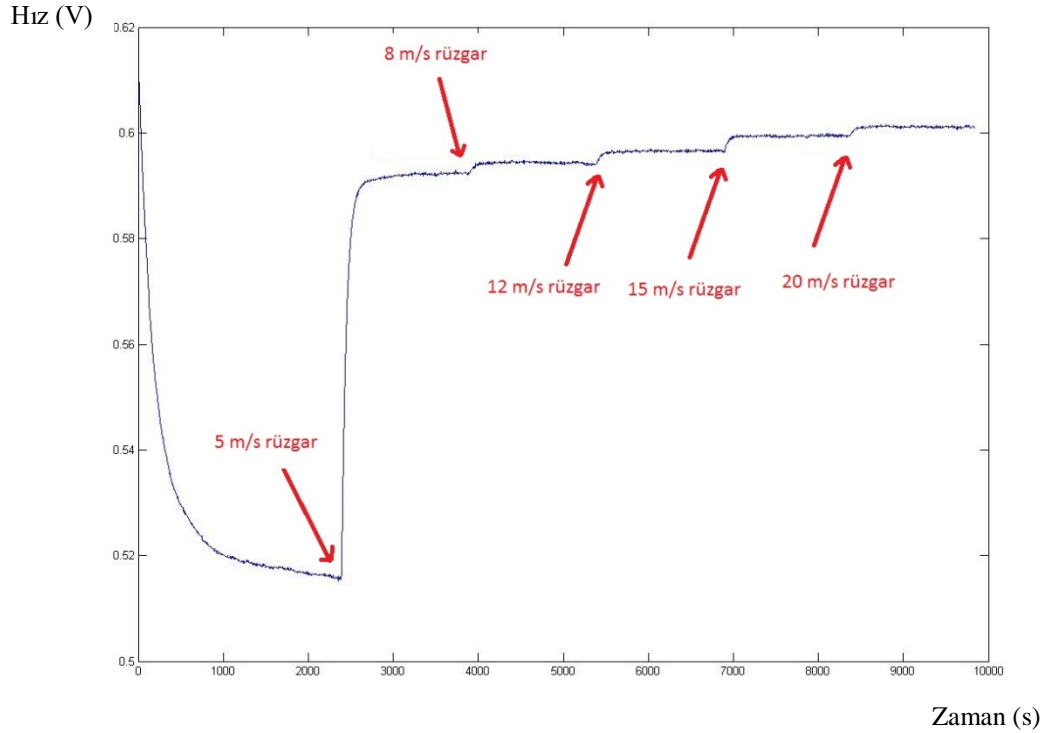
Şekil 3.20. Rüzgar hız testi deney düzeneği.



Şekil 3.21. Araba 5 m/s hızla hareket ederken 30 derece açılı PV panelde ısı yayılım simülasyonu ve konuma göre ısı değişim grafiği. a) Araba 5 m/s hızla hareket ederken 30 derece açılı PV panelde ısı yayılım simülasyonu, b) Araba 5 m/s hızla hareket ederken 30 derece açılı PV panel yüzeyinde konuma göre ısı değişimi.



(a)



(b)

Şekil 3.22. Arabanın hızındaki değişimin PV panelin yüzey sıcaklığına ve V_{oc} açık devre gerilimine etkisi. a) Arabanın hızındaki değişimin PV panelin yüzey sıcaklığına etkisi, b) Arabanın hızındaki değişimin PV panelin V_{oc} açık devre gerilimine etkisi.

Rüzgar hızı değiştirilerek, her bir hız değeri 40 dakika sabit tutulmuş ve böylelikle hem farklı hız değerlerinin PV panel yüzey sıcaklığına etkisi, hem de bu etkinin düzeyinin tespit edilmesi hedeflenmiştir. Şekil 3.22'deki grafiklerden de anlaşıldığı üzere arabanın hızındaki değişim, PV panel yüzeyindeki sıcaklığa düşürücü yönde hemen etki etmektedir. Fakat PV yüzey sıcaklığı, hız sabit tutulduğunda 30. dakikadan itibaren kararlı bir hale gelmekte ve soğuma durmaktadır. Oluşan hava akımı ile soğuyan hücrenin tekrar ısınması ve kararlı bir sıcaklık değerine yükselmesi ise yaklaşık 30 dk.'yı bulmaktadır. Bu durumda hareket halindeki aracın üzerindeki Güneş panelleri, hareketsiz haldeki aynı karakteristiklere sahip bir Güneş panelinden daha verimli halde kullanılabilir.

3.8. SONUÇ

Bu çalışma Güneş arabası için tasarlanacak veri toplama ve enerji yönetim sisteminin doğru algoritma ile kurulabilmesi sürecinde araba üzerindeki PV panellerden elde edilecek enerjinin miktarının doğru kestirimini yapmamız önemlidir. Bu sebeple arabanın hareketi sırasında PV panel yüzeyinde oluşacak hava akımının üretilen enerjiye etkisi incelenmiştir.

Bu amaçla Leuven Üniversitesi laboratuvarları ve rüzgar tüneline yapılan deneyler ile COMSOL Multiphysics 4.3 yazılımında hazırlanan modelin simülasyonu karşılaştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre; Şekil 3.22 (a)'da görüldüğü gibi 54 km/h (15 m/s) hızla esen rüzgar ya da diğer deyişle 15 m/s hızla giden araba üzerindeki PV panel yüzeyindeki hava akımı sebebiyle panel sıcaklığı 67 °C'den, 33 °C'ye düşmektedir. Bu durum kullandığımız PV panelin teknik verilerine göre [126];

$$\Delta\eta = \Delta T \times \%0,38 \quad (3.2)$$

$$\Delta\eta = (67 - 33) \times 3,8 \times 10^{-3} \quad (3.3)$$

$$\Delta\eta = \%12,92 \quad (3.4)$$

verim artışı anlamına gelmektedir.

BÖLÜM 4

GÜNEŞ ARABASI TASARIMI

4.1. GÜNEŞ ARABASI VE GÜNEŞ ARABASI YARIŞLARI

Enerjisinin tamamını ya da bir kısmını fotovoltaiik güneş panellerinden elde eden araçlara Güneş arabası denir. Çoğunlukla bu araçlarda fazladan elde edilen enerjiyi depolamak ve gerek yüksek tork gerektiği durumlarda gerekse panellerden gelen enerjinin yetersiz olduğu durumlarda kullanılmak üzere batarya grupları da mevcut bulunmaktadır. Güneş arabaları günümüzde taşımacılıkta kullanılmamaktadır, fakat yakın gelecekte otomotiv endüstrisinde etkin kullanılacağı beklendiğinden özellikle üniversiteler tarafından bu tarz mühendislik çalışmaları desteklenmektedir. Diğer yandan Güneş enerjisi ile şarj edilen ekipmanlar yaygınlaşmaktadır [39].

Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi bünyesinde oluşturulan Güneş arabası ekibi de 2012 yılında Formula G yarışlarına katılmak üzere bir araç tasarlamıştır. Yıldız ismi verilen aracın veri toplama sistemi ve enerji yönetim birimi olmadığı için 2013 yılındaki yarışlara katılması sürecinde çalışmamızın uygulaması için gerekli olan bu yazılım ve donanım birimi tasarlanmıştır. Böylece 2012 yılı ile 2013 yılı versiyonları arasında performans karşılaştırması yapmak da mümkün hale gelmiştir.

Güneş arabaları çoğunlukla off-road yarışlarda popüler olarak değerlendirilmektedir. Güneş arabası yarışları farklı ülkelerde ve kıtalarda, güneş enerjisinin önemini vurgulamak adına düzenlenen organizasyonlar olarak görülmektedir. Fakat bu süreçte tasarlanıp üretilen araçlar üzerinde denenen bazı teknolojiler endüstriyel uygulama olarak hibrid araçlar üzerinde uygulanmaktadır [33]. Enerji tüketiminde motorlu araçların payı büyük olduğundan yenilenebilir enerji kaynaklarının motorlu araçlarda da kullanımı üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Çoğunlukla hibrit elektrikli araçların batarya sisteminin beslenmesi, ya da hibrid elektrikli motorun kullanacağı

elektriğin yenilenebilir kaynaklardan sağlanması üzerine endüstriyel alanda ciddi mesafeler katedilirken bu ve benzer çalışmalar katalizör vazifesi görmektedir [55].

Güneş enerjili araçların genel mekanik aksamı temelde elektrikli araçların çalışma sistemi ile benzerlik göstermektedir. Elektrikli araçlarda kullanılan enerji, bataryalarla ve tahrik de bir elektrik motoru ile sağlanmaktadır. Güneş arabalarındaki temel fark, Güneş hücreleri ile elde edilen ek enerjinin sistem tarafından kullanılması ve eğer kullanım dışı fazla üretim varsa bu üretimin de bataryalarda depolanmasıdır. Bu kapsamda sistemde ek olarak Güneş hücrelerinin oluşturduğu paneller ve elde edilen enerjinin sisteme aktarımını sağlayan MPPT gibi devreler bulunmaktadır [12].

İlk güneş arabaları yarışı 1985 yılında gerçekleştirilen Tour De Sol olarak bilinmektedir. 1985 – 1993 yılları arasında her yıl düzenlenen yarış bugün Avustralya, Amerika gibi ülkelerde düzenlenmekte olan uzun yol yarışlarının düzenlenmesine zemin hazırlamıştır. 1985 yılındaki ilk yarışta en belirgin kurallar, PV panel yüzey alanının ve bataryadaki enerji kapasitesinin belirli bir değerle sınırlanmış olmasıdır [82]. Sınır değerler olarak, 6 m² Güneş paneli alanı ve 4.8 kWh batarya kapasitesi kurallarla belirlenmiş, günümüzde de bu kurallar tüm yarışlarda % 100'e yakın bir oranda korunmuştur.

Dünya çapında önemli Güneş arabaları yarışı organizasyonları aşağıda verilmiştir [28]:

1. World Solar Challenge
2. South African Solar Challenge
3. European Solar Challenge
4. North American Solar Challenge
5. Suzuka Dream Cup
6. Qatar Eco-Shell [59]
7. TÜBİTAK Formula-G [57]

Güneş arabası tasarımında 5 önemli nokta bulunmaktadır [28]. Bunlar sırasıyla;

1. Aerodinamik
2. Düşük dirençli lastikler
3. Hafif gövde yapısı
4. Verimi yüksek elektriksel altyapı
5. Güneş enerjisinden maksimum verim [18]

olarak sıralanabilir.

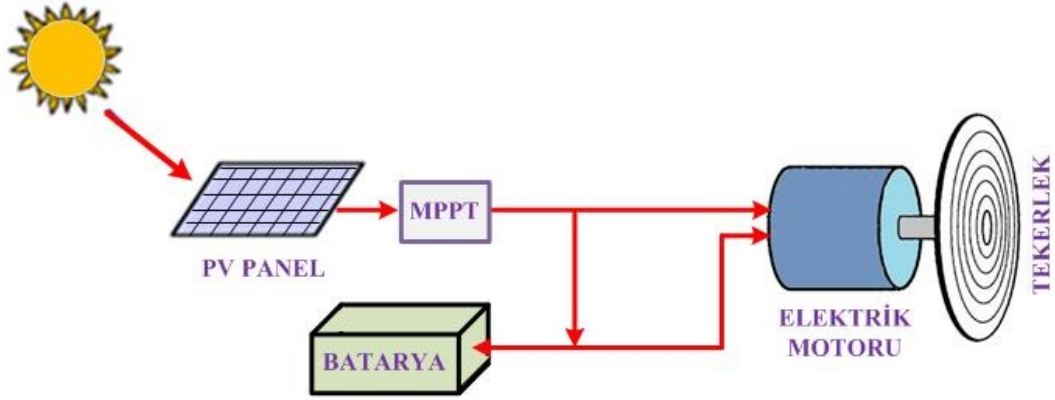
Güneş arabası tasarımı süreci, yukarıda verilen 5 temel ve bunun etrafındaki bir çok yan etken göz önüne alınarak uzun optimizasyonlar isteyen, sonuca ulaşmak için titiz yürütülmesi gereken bir araştırma-geliştirme faaliyeti olarak görülmektedir [39].

Güneş arabası üzerinde bir çok elektronik ve mekanik komponenti barındırmaktadır. Fakat temelde aşağıdaki parçalar esas komponentler olarak listelenebilir [25]. Ayrıca Şekil 4.1’de görülen elektrik altyapı güneş arabasının bağlantılarını açıklamaktadır.

1. Gövde
2. Güneş panelleri
3. MPPT
4. Motor ve sürücü
5. Batarya
6. Veri toplama ve kontrol sistemi

Bir güneş arabasında buraya kadar sayılan komponentlerin yanı sıra yaygın olmasada birçok elektronik devre de kullanılabilir. Bu devreler kısaca ölçüm devreleri, koruma devreleri, haberleşme devreleri, bilgilendirme devreleri olarak sıralanabilir [22].

Güneş arabalarında da normal araçlardaki gibi bir sürücü göstergesi vardır ve bazı veriler pilota buradan iletilebilmektedir. Aracın kontrolü için pilot bu verileri sürekli izlemektedir. Kablosuz telemetri sistemine sahip araçlarda ise, pit ekibinin araçla ilgili birçok ölçüme uzaktan erişim ile ulaşabildiği ve buna göre pilotu bilgilendirip, ayrıca stratejik yönlendirme yapabildiği görülmektedir [28].



Şekil 4.1. Güneş arabası elektriksel altyapısı.

Aracın anlık olarak durumunu kontrol edebilmek adına birçok noktada birçok farklı komponentten ölçüm alınmaktadır. Bu ölçümler sıcaklık, akım, gerilim, yol eğimi, ivme gibi sıralanabilir. Ölçümlerin alındığı noktalardan ana kontrol devresine gönderilmesi için araç içi haberleşme ve data toplama devreleri kullanılmaktadır. Böylece tüm ölçümler bir merkezde toplanarak değerlendirilebilmektedirler. Daha sonra bu değerlendirmeler ışığında görsel elemanlarla sürücü, dış haberleşme ile de takım bilgilendirilmekte, aynı anda kontrol devresine kumanda edilerek olası durumlar için araç kontrol altında tutulmaktadır [21].

4.2. YILDIZ GÜNEŞ ARABASINDA (SEV) KULLANILAN KOMPONENTLER

Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi bünyesinde tasarlanarak 2012 yılı TÜBİTAK Formula-G yarışlarına katılan YILDIZ Güneş arabasının tasarımında gövde, mekanik aksam, yarı esnek PV hücre dizileri, MPPT, DC motor – sürücü seti ve batarya bulunmaktadır. Herbir birim ayrı ayrı incelendiğinde verimin artırılması için çözülmesi gereken bir çok problemle karşılaşmıştır. Bütçe ve teknik imkanlar nispetinde yapılan çalışmalar aşağıda aktarılmaktadır.

4.2.1. Gövde ve Mekanik Aksam zerinde Geliştirmeler

Güneş arabası tasarımında araç gövdesi hem Güneş'ten maksimum enerji alabilecek, hem de rüzgara karşı sürtünmeyi minimum seviyede tutabilecek bir aerodinamik tasarıma sahip olmalıdır [41].

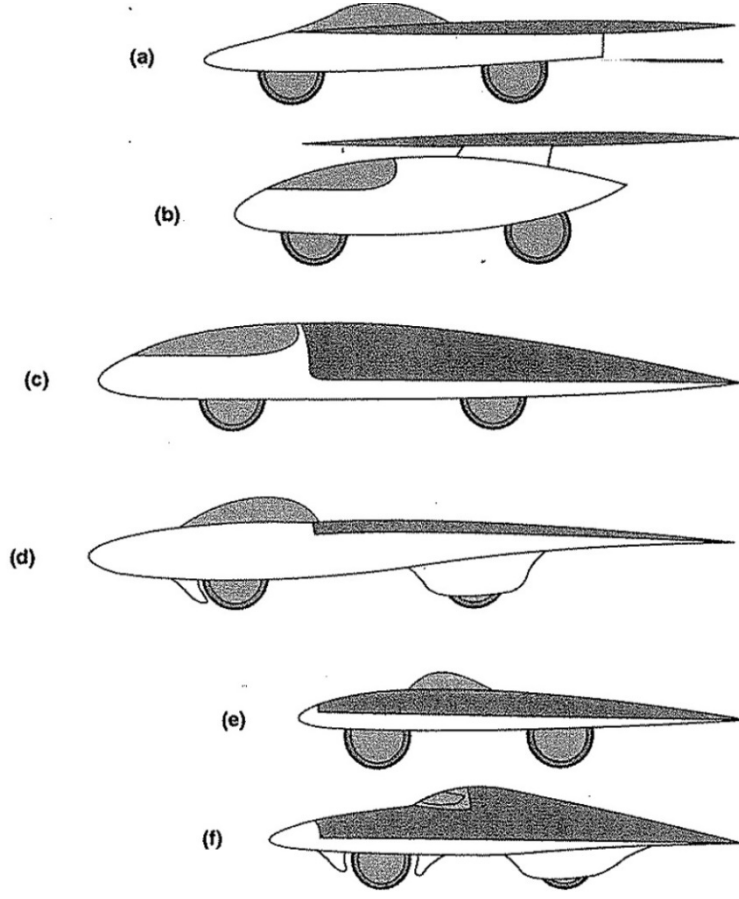
Sürtünmeyi minimum düzeye indirmek için yapılan tasarımlar sadece arabalar için değil; kara, deniz ve hava taşıtlarının tümü için benzer kuralları gözönünde tutarak yapılmaktadır. Fakat kara taşıtları için temelde iki yöntem uygulanmaktadır [40]:

- a. nce ana gövde tasarlanır ve ardından teknik mecburiyetler gereği aerodinamik olmayan ek tasarımlar bu ana gövde üzerine eklenir [40].

Arabaların ilk aerodinamik tasarımlarında, Jaray'ın tespit ettiği en düşük hava sürtünmesine sahip olan gözyaşı damlasından esinlenilmiştir. Bu tasarım tipi deniz torpillerinde kullanılmıştır, fakat kara taşıtlarının tasarımının yol ile uyumlu hale getirilmesi için üst tarafın biraz kamburlaştırılması ve alt tarafın düzleştirilmesi çözüm olarak geliştirilmiştir [23].

- b. Araç için gerekli tasarımlar tespit edilerek, detaylar üzerinde işlemler aerodinamik önceliklere göre düzenlenir [40].

Güneş arabalarında bu yöntem geçerlidir, çünkü aracın tasarımında PV hücrelerin maksimum düzeyde Güneş ışınlarına dik ve aracın üzerindeki ek pilot kabini, anten ve benzer birimlerin gölgelerinden etkilenmeyecek şekilde konumlandırılması gerekmektedir [119]. Bu sınırlama dolayısıyla şekil 4.2'de görüldüğü gibi farklı dizaynlar ortaya çıkmaktadır.



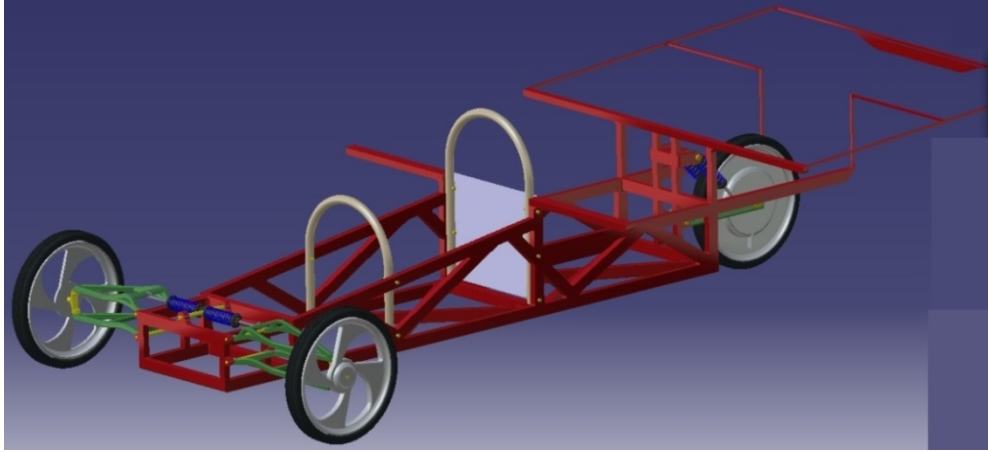
Şekil 4.2. Güneş arabası tasarımlarında gelişim süreci. a) Torpil tarzı, b) Ayrık panel c) Kambur model, d) Teker koruma, e) İdeal damla, f) Estetik tasarım [40].

Bu tasarım farklılıklarında en yüksek verim ideal damla tasarımıdır. Fakat YILDIZ'ın gövde tasarımında aerodinamik kaygılar ikinci planda görülmektedir. Şekil 4.3'te aracın gövde tasarımı, Şekil 4.4'te de kasa tasarımı görülmektedir.

Tez izleme komitesinin de yönlendirmesi ile Şekil 4.5'te görülen ön görünüş karşıdan gelen hava akımını kenarlara süpürecek şekilde tekrar dizayn edilmiştir. Bu dizayna göre 3 parçadan oluşan ön bloğun orta kısmında yukarı uçtan arka tarafa doğru eğimle gelen hava akımını aracın altına süpüren bir ek yapılmıştır. Kenarlardaki dikey bloklar üzerine de hava kanalları açılarak karşıdan gelen rüzgarın çıkış yönü sağlanmıştır. Yeni dizayn sonucu arabanın hava kesit değerinin 1 m^2 'den $0,7 \text{ m}^2$ 'ye düşürüldüğü hesaplanmıştır.



Şekil 4.3. Karabük Üniversitesi Güneş arabası: YILDIZ.



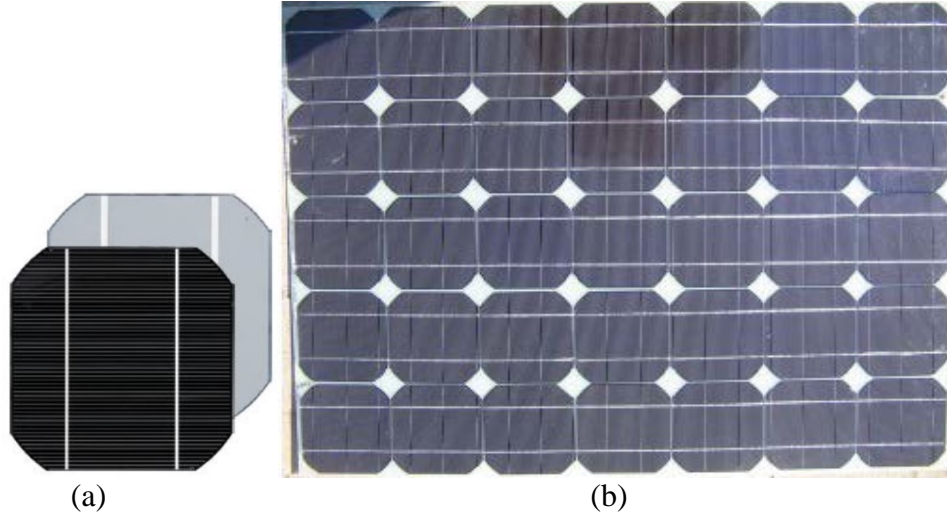
Şekil 4.4. YILDIZ'ın kasa tasarımı.



Şekil 4.5. Aracın önden görünüşü.

4.2.2. Fotovoltaik (PV) Paneller ve Yerleşimi

Güneş arabasında elde edilecek enerjinin artması, seçilen PV hücrenin veriminin bütçenin izin verdiği ölçüde yüksek olmasına ve aynı zamanda da arabanın ağırlığını artırmayacak şekilde hafif malzemeden üretilmiş olmasına ve araç yüzeyinin aerodinamik yapısını bozmamasına bağlıdır [20].



Şekil 4.6. YILDIZ'da kullanılan PV hücre ve PV panel. a) YILDIZ'da kullanılan PV hücre, b) Özel laminasyon yöntemi ile elde edilen yarı esnek PV panel.

Bu şartları yerine getirebilmek için ilk versiyon tasarımda Şekil 4.6(a)'da görülen monokristal hücreler temin edilmiş ve cam laminasyon yerine Şekil 4.6(b)'de görülen yarı esnek, şeffaf polimer malzeme ile laminasyon gerçekleştirilmiştir. Yarı esnek hücreler aracın üzerindeki eğimlere kolaylıkla uygulanmıştır. Araç üzerinde 312 adet Güneş hücresi 36'lı ve 42'li gruplar olarak panel haline getirilmiş ve iki ayrı MPPT (Maximum Power Point Tracker - Maksimum Güç Noktası İzleyicisi) devresine bağlanmıştır. Bu hücreler 125x125 mm boyutlarında ve % 17,5 verimle Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmektedirler. Ayrıntılı teknik özellikler Çizelge 4.1'de görülmektedir.

Sistemin verimini ve performansını artırabilmek için hücre adedi 402'ye çıkarılmış daha önce tek bir MPPT üzerinden 312 adet hücreden oluşan PV panellerin tümü paralel bağlanmışken, yeni tasarımda 3 (X,Y ve Z grupları) ayrı grup üzerinden 3

ayrı MPPT'ye iletilecek, böylelikle farklı açılarda bulunan panellerden alınacak farklı $V-I$ değerleri güç kaybına sebep olmadan ayrı ayrı hatlarla taşınmış olacaktır. Bu kapsamda 28, 36, 42'li hücre grupları Şekil 4.7'de görüldüğü gibi eşleştirilmiştir.

Çizelge 4.1. YILDIZ'da kullanılan PV hücrelerin teknik özellikleri [126].

PV Hücre Özellikleri	
Boyutları	125 mm x 125 mm
Kalınlık	240 μ m
Kaplama	Teflon
V_{oc}	0,6 V
I_{sc}	5,4 A
V_{nom}	0,5 V
I_{nom}	5,2 A
Verim	% 17,5
Sıcaklıkta gerilim değişimi	-1,9 mV/°C
Sıcaklık sabiti	-0,38 %/°C

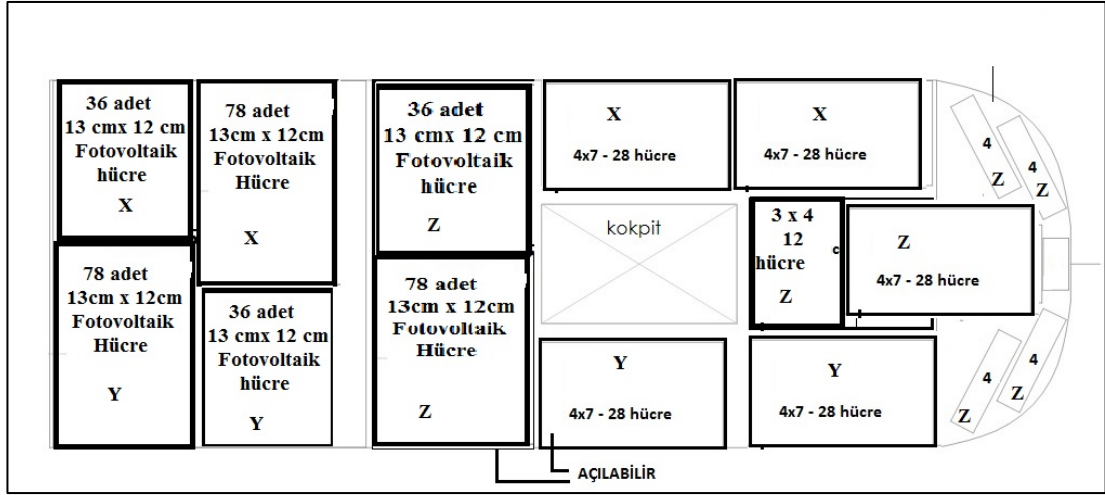
Çizelge 4.2. YILDIZ üzerindeki PV panellerden elde edilen $V - I$ değerleri.

PV Panel	PV Hücre Sayısı	V_{oc}	I_{sc}	V	I
X	134	0,6 x 134 = 80,4 V	5,4 A	73,52 V	4,25 A
Y	134	0,6 x 134 = 80,4 V	5,4 A	74,31 V	4,5 A
Z	134	0,6 x 134 = 80,4 V	5,4 A	76,44 V	4,39 A

Çizelge 4.2'de görülen değerler 01.05.2013 tarihinde saat 11.10'da araç üzerindeki panellerin uçları açık devre edilerek ölçülen değerlerdir. Bu tarihteki Güneş ışıma değeri ise Karabük Üniversitesi Yenilenebilir Enerji Mühendisliği Araştırma Merkezi verilerine göre 670 W/m^2 olarak tespit edilmiştir [128].

Bu değerlere göre PV panellerin üretim tarihinden itibaren geçen süre ve aracın bulunduğu fiziksel koşullar dolayısıyla bazı hücrelerde verim kayıpları bulunduğu tespit edilmiştir. Bu kapsamda elde bulunan yedek panellerle X grubundaki 36'lı panel değiştirilmiştir. Bu şekilde tabloda görülen kayıp telafi edilmiştir.

Bu tasarımda, MPPT'lerin ve sistemin güvenliği için, sigortalardan ve sıcaklık sensörlerinden, üretilen ve harcanan enerjinin tespiti için akım sensörlerinden istifade edilmiştir. Tasarım hakkında her bir birimle ilgili detay ileride açıklanacaktır.



Şekil 4.7. YILDIZ'da kullanılan PV panellerin dizilimi.

4.2.3. MPPT (Maximum Power Point Tracker)

Daha önce yapılan tasarımda tek MPPT kullanılması öngörülmüş ve 312 PV hücreden oluşan tüm PV panel serileri paralel olarak giriş yapılmıştır. Yeni tasarımda ise 402 adete çıkarılan PV hücreler 3 eşdeğer MPPT üzerinden devreye alınarak gölge ve farklı geliş açısı etkileri minimize edilmiştir.

Genel anlamda MPPT'nin bir DC/DC çevirici gibi davrandığı düşünüldüğünde farklı çevirme oranlarında farklı verimlerde çalıştığına dikkat edilmelidir [8]. Bu yüzden 3 ayrı PV panel grubunun ayrı ayrı en yüksek verimi elde edecek çevirme oranlarına sahip olmasına dikkat edilmiştir. Kullanılan MPPT'ye ait teknik veriler Çizelge 4.3'te görülmektedir.

Genelde MPPT'ler, güneş paneli uç gerilimi bara geriliminden yüksek olduğu için düşürücü tip (buck) olarak tasarlanırlar. Fakat kullanım yer ve amacına göre yükseltici tip (boost) çalışması da mümkündür. Devrenin tasarımındaki temel amaç, PV panelden gelen değişken akım ve gerilim değerlerine rağmen maksimum güç noktasını tespit ederek Şekil 3.6'da görüldüğü gibi uygun çalışma noktasında çıkış sağlamaktır. Bu devreler güneş panellerinden elde edilen enerjiyi anahtarladıklarından verimlerinin çok yüksek olması istenir. Bugün piyasada yaklaşık % 99 verimlerde çalışan MPPT bulmak mümkündür [19].

İlk tasarımda MPPT'nin sabit voltaj prensibine göre 68 V çıkış gerilimi üretecek şekilde sistem tasarımı yapıldığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda kullanılan hub motor sürücünün koruma voltaj değeri 70 V olduğu bilinmektedir. Bu durumda bir önceki tasarımda sistem ancak maksimum 69,9V değerinde çalışabilecektir. Muhtemel bir yüksek ışıma değerinde hub motor korumaya girerek aracı durduracaktır. Ayrıca daha önce kullanılan MPPT'nin çalışma sıcaklık aralığı -20 – +60 °C olduğundan yarış pistinde verimin çok düşeceği hatta muhtemel yüksek asfalt sıcaklığında sistemin kapanmasına sebep olması beklenmektedir [41]. Bu riskleri ortadan kaldırmak 3 ayrı MPPT ile yapılan tasarım ile mümkün olabildiği. Yeni tasarımda DC motor sürücüsünün geniş çalışma aralığının da sağladığı imkanla 90 V sabit gerilimde % 98 verimin üstünde kalınabildiği.

Çizelge 4.3. YILDIZ'da kullanılan MPPT'lerin teknik özellikleri.

Fiziksel Özellikler	
Boyutlar	170 x 120 x 65 mm
Ağırlık	720 g
Elektriksel Karakteristik	
Sistem Gerilimi	72, 96, 120, 144,168 V
Öz tüketim	10 mA
Çalışma sıcaklığı	-25 ...+90 °C
PV panel girişi	40 ... 135 V
PV Panel giriş gücü	600 W
Verim	> % 98

İlk tasarımda kullanılan bir adet MPPT'nin 9 kg olduğu gözönüne alındığında yeni tasarımda MPPT sayısı artmasına rağmen Güneş arabasının hafiflemesine de katkı sağlanmıştır.

4.2.4. DC Motor ve Sürücü Tercihi

Güneş arabalarında genel olarak fırçasız doğru akım motoru, hub motorlar ve nadiren asenkron motorlar kullanılmaktadır. Fırçasız DC motorların daha fazla tercih edilmesinin sebebi dış rotorlu olması ve enerjinin dişli gibi hareket aktarım organlarına ihtiyaç duymadan dönme hareketinin direkt tekere aktarılacak şekilde montaj yapılmasıdır [12].

Kullanılan bataryalar sınırlı güce sahip olduğundan ve Güneş hücrelerinin verimleri de çok yüksek olmadığından üretilen enerjinin yüksek verimde tüketilmesi gerekir. Bu da yük biriminin yani motorun yüksek verimli olmasının önemini ortaya koymaktadır [83].

Motorun değişken hızlarda yüksek verimde çalışabilmesi, aşırı akımlardan motoru korumak ve kayıpları minimize etmek için motoru denetleyen bir sürücü devreye ihtiyaç duyulmaktadır [24].

Çizelge 4.4'te daha önceki DC motor ve sürücüye ait teknik veriler incelendiğinde de görüldüğü gibi fotovoltaik hücrelerin paylaşımı ve MPPT çalışma noktasına uyumlu olmayan bir yapı ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 4.4. Eski hub motor ve sürücü setinin teknik özellikleri [41].

Nominal voltaj:	60V, min 48V - max 80V
Nominal çıkış gücü:	2500 W
Maksimum motor ve sürücü verimi:	91%
Maksimum tork:	120 Nm
Maksimum hız:	520 rpm

Çizelge 4.5. Yeni DC motor ve sürücü setinin teknik özellikleri [129].

Nominal voltaj:	48V, min 18V - max 90V
Nominal çıkış gücü:	3000 W
Maksimum motor ve sürücü verimi:	95%
Maksimum tork:	157 Nm
Maksimum hız:	650 rpm
Anma hızı:	530 rpm

Yeni tercih edilen motorda ise daha geniş bir çalışma aralığı ve daha yüksek tork elde etmek mümkün olmaktadır. Çizelge 4.5'de görülen değerlere göre sistemin çalışma noktası 90V'a yakın tespit edilerek, iletim sırasında yüksek akım kaynaklı ısınmanın önüne geçilebileceği görülmektedir.

4.2.5. DC Motor ve Sürücü Hesaplamaları, Yol Testleri ve Simulasyonları

DC Motor araç aksına monte edildikten sonra, boşta çalışma devir sayısı Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da görüldüğü şekilde 663 rpm olarak ölçüldü. Teker yarıçapının 12 inch (1 inch 2,54 cm) olduğu göz önüne alınarak yapılan hesaplamada

$$r = 2,54 \times 12 = 30,48 \text{ cm} \quad (4.1)$$

$$V_{max} = 663 \text{ rpm} \times 2\pi r \times 60 = 76 \text{ km/h} \quad (4.2)$$

olarak ölçülmüştür. Etkin hız ise motorun anma hızı kullanılarak hesaplandığında

$$V_e = 530 \text{ rpm} \times 2\pi r \times 60 = 61 \text{ km/h} \quad (4.3)$$

Laboratuar ortamında yol senaryolarının simulasyonu ile yapılan ölçümlerde asfalt düz yolda anlık maksimum hız $V = 52 \text{ km/h}$ olarak ölçülmüştür. Bu durumda tüm sistemin hız değeri açısından verimi

$$\eta = \frac{V_e}{V_{max}} \times 100 = \% 85 \quad (4.4)$$

olarak kabul edilebilir.

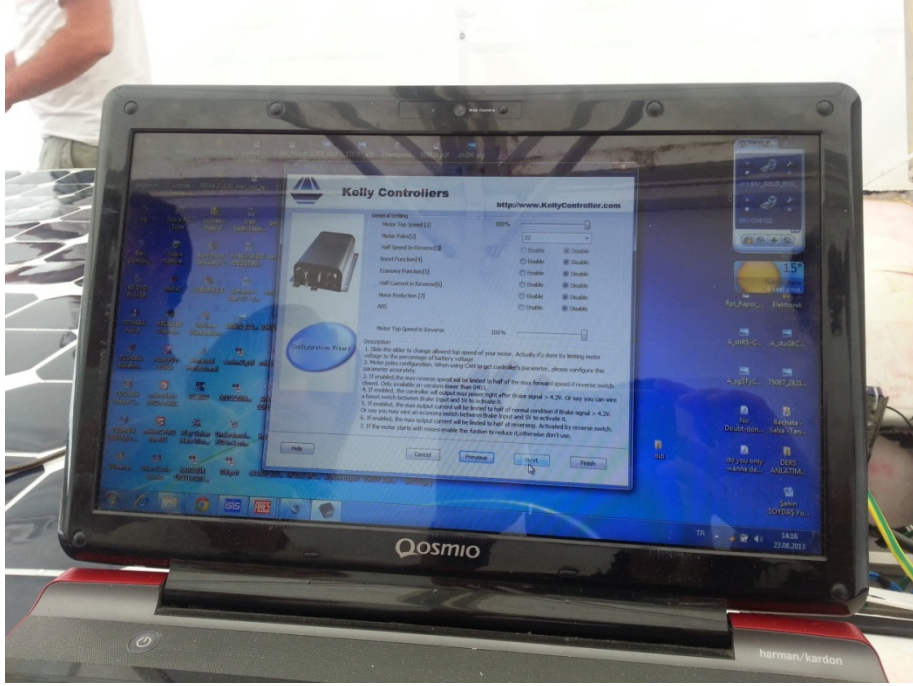
Motor sürücüsü olarak kullanılan aynı üretici tarafından tasarlanmış KEB72301X sürücünün kullanım ayarları Şekil 4.10’da görülen, üretici tarafından sağlanan editör yardımı ile tamamlanmıştır [130]. Li-polimer batarya kullanılıyor olması ve yarış pist senaryosunda eğimin % 2 [132] olması dolayısıyla rejeneratif frenleme kazancından yeterince verim alınamayacağı düşünülmektedir.



Şekil 4.8. Motorun test edilme ortamı.

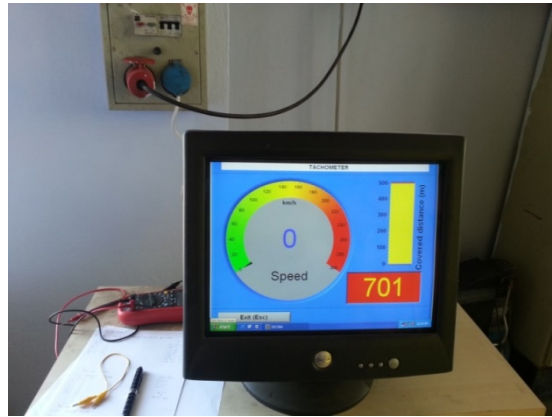


Şekil 4.9. Motorun boşa çalışma devir sayısı.



Şekil 4.10. Motor sürücü yazılım ayarları.

Karabük Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Laboratuvarında Şekil 4.8’de görülen yol simülasyon test ekipmanında yapılan ölçümler aracın kalkış sırasında, % 2 ‘lik bir yokuşta, % 2’lik bir eğimde, düz yolda ve maksimum hız yol senaryolarında harcanan enerji miktarı ve sistemin verimi tespit edilmiştir. Test ortamı ve kullanılan test yazılımı Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de görülmektedir.



Şekil 4.11. Kullanılan test yazılımı.



Şekil 4.12. Test ekipmanının yazılımı.

4.2.6. Batarya Grubu

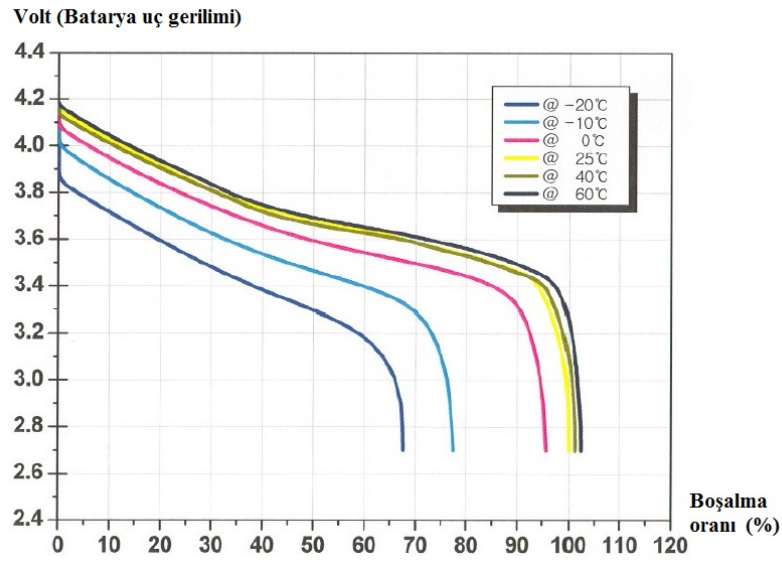
Güneş arabaları, elektrikli araçlardan farklı olarak bataryasız da dizayn edilebilmektedirler. Fakat ivmelenmede ve Güneş ışımalarının sınırlı olduğu bulutlu havalarda ya da gölge ortamlarda ivmelenme sağlanamayacağından bataryalar Güneş arabalarında yine de yaygın olarak kullanılmaktadır [28].

Klasik elektrikli arabalardan farklı olarak, Güneş arabalarında sürekli bir şarj –deşarj durumu söz konusu olduğundan doğru batarya tercihi yapılmalıdır. Batarya tiplerinin birbirine göre çeşitli avantaj ve dezavantajları vardır. Kurşun-asit bataryalar, şarj -deşarj süresi ve çıkış gerilim değerindeki değişimin az olması açısından avantajlıdır. Fakat güneş arabası uygulamalarında fiziksel ağırlık önemli bir faktör olduğundan, kurşun asit bataryaların tercih edilmediği görülmektedir. Dolayısıyla Güneş arabalarında ağırlık ve depolama oranı yani enerji yoğunluğu da tercih edilirken dikkate alınmalıdır. Nikel kadmiyum bataryalar ise kısa şarj ve uzundeşarj süreleriyle diğer bataryalara göre avantajlı olmasına rağmen pahalı olması dolayısıyla az tercih edildiği görülmektedir Enerji yoğunluğu açısından batarya tipleri Çizelge 4.6’da incelenmiştir [18].

Lityum grubu batarya hücrelerinde nominal gerilim çoğunlukla 3.6V olarak dizayn edilmektedir. Bu tip bataryalar $4,2V \pm 0,03V$ ile nominal gerilimin %100-%120’si aralığında şarj olmaktadır. Şarj aralığı ya da çalışma sıcaklık değerleri aşıldığında lityum grubu bataryalar zarar görür ve tekrar kullanılamaz hale gelmekle kalmaz

çevrede de hayati tehlikeye sebep olabilirler. Lityum grubu bataryalar hücresel bazda üretildiklerinden, esnek tasarımla gereken güce ulaşılabilmesi için seri ve paralel bağlanarak istenilen güç ve gerilim değerleri elde edilir [83].

Li-polimer bataryanın farklı sıcaklıklardaki deşarj eğrisi Şekil 4.13'te görülmektedir. Grafikten de anlaşıldığı gibi farklı sıcaklık değerlerinde genel deşarj karakteristiği değişmemekle beraber düşük sıcaklıklarda kullanılan enerji miktarı daha az olmaktadır. Bu eğriye göre oluşturulmuş matematiksel model daha sonraki çalışmalarımızda referans olarak kullanılacaktır.



Şekil 4.13. Li-polimer bataryanın farklı sıcaklıklardaki deşarj eğrisi (V- %) [131].

Çizelge 4.6. Batarya tipleri ve enerji yoğunluğu karşılaştırması [18].

Batarya Tipi	Enerji Yoğunluğu (kW/kg)
Pb /asit	40
NiMH	80
Ni/Zn	60
Ni/Fe	50
Li-ion	160
Li-polimer	200
LiFePO ₄	90

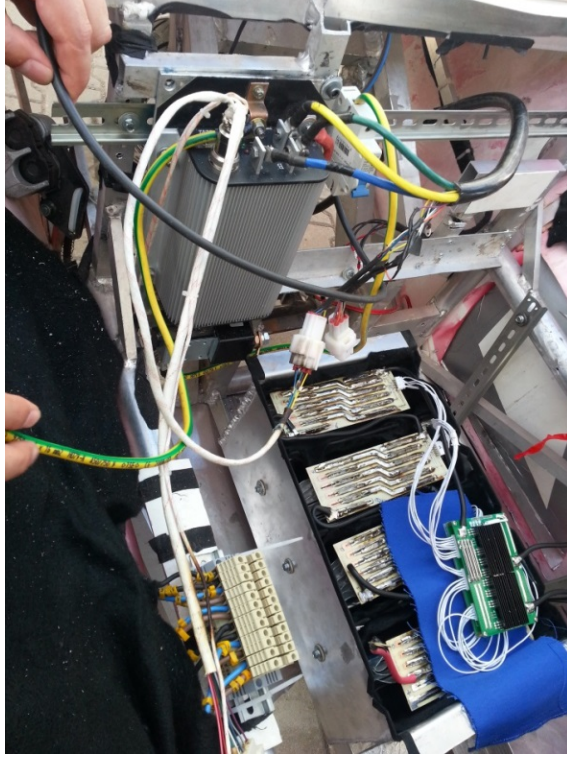
YILDIZ’da önceki tasarımda MPPT giriş gerilimi olarak belirlenen 60 V DC, 5 adet 12 V 16 Ah jel batarya ile sağlanmıştır. Kullanım zorluğu ve ağırlık dezavantajları yanında, motor sürücü ve MPPT çıkış gerilim değerinde yapılan değişikliklerle uyumlu olarak batarya grubu da yeni tasarımla değiştirilmiştir.

Yeni tasarımda 22 Li-polimer batarya hücresi ile oluşturulan grup, tümüyle seri dizayn edilmiştir. Bu şekilde elde edilen batarya bankı tam şarj durumunda 92,4 V değerine ulaşacaktır. Motor sürücü 90 V kesme gerilimine sahip olduğundan batarya bankı güvenli şekilde kullanılabilir olacaktır. 12Ah’lik 22 hücre toplamda 976,8 VAh enerji sağlayacaktır. Ayrıca sıcaklık ve gerilim değerlerini kontrol ederek önlem alınmasını sağlamak amacıyla batarya yönetim sistemi kullanılacaktır.

Çizelge 4.7. Kokam SLPB70205130P Li-polimer batarya karakteristiği [132].

Kapasite		12Ah
Nominal Gerilim:		3,7 V
Şarj şartları	Maksimum Akım	36 A
	Gerilim	4,2 V
Deşarj şartları	Nominal Akım	60 A
	Maksimum Akım	240 A
	Kesme Gerilimi	2,7 V

22 adet seri batarya grubu, şartname gereği Şekil 4.14’de görüldüğü gibi 6-6-6-4’lü 4 ayrı grup halinde ayrılmış, her bir grup alüminyum profilden imal edilmiş batarya kutusu içinde birbirinde ayrı bölmelere yerleştirilmiştir. Bataryaların koruma kutusu ile kısa devre probleminin aşılması için yanmaz kumaş ve cam yünü ile izolasyon sağlanmıştır. Ayrıca batarya kutusunun dış yüzeyinde her bir bölümün iki tarafına da emici ve üfleyci fanlar yerleştirilmiş, bu fanların enerjisi, veri toplama ve enerji yönetimi sistemini de besleyen 2100 mA’lik 4 seri Li-polimer batarya grubundan sağlanmıştır.



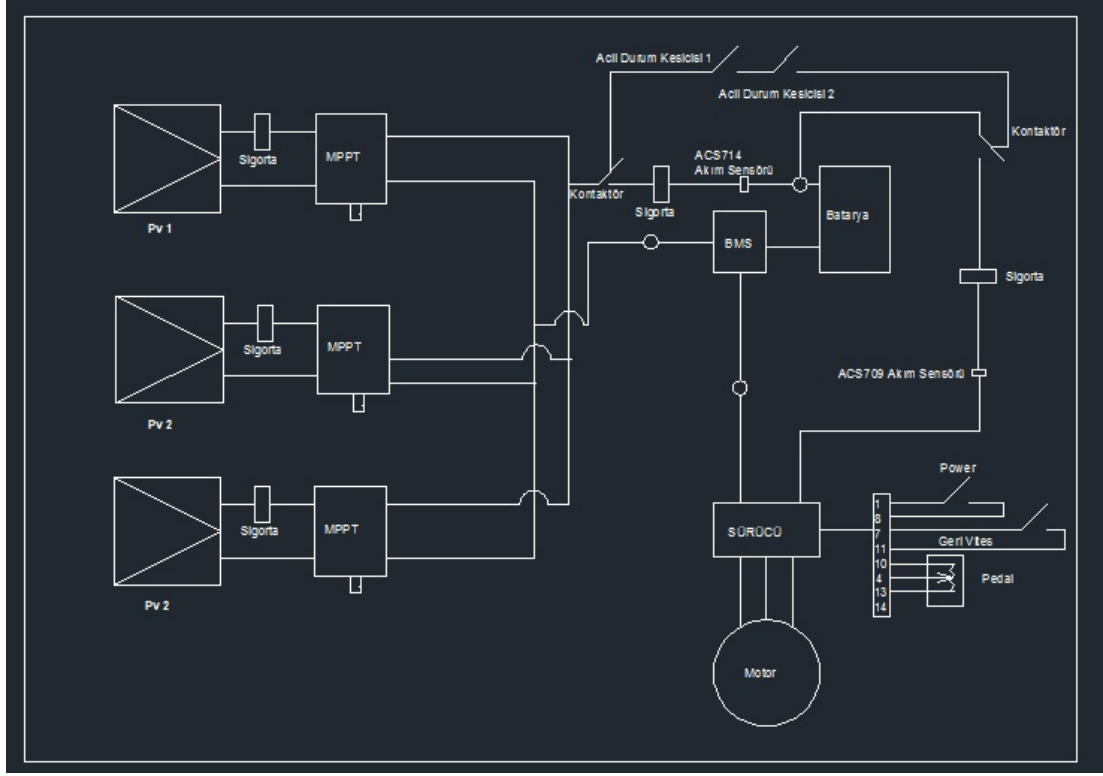
Şekil 4.14. Batarya grubu montajı.

4.3. SONUÇ

2012 TÜBİTAK Formula G yarışlarına Karabük Üniversitesi adına katılan Güneş arabasının tasarımı tekrar değerlendirilerek geliştirilmesi gereken alanlar tespit edilmiştir. Yapılan tespitlere göre;

Aracın tasarımının hava sürtünmesi kayıplarını azaltacak şekilde değiştirilmesi çalışmaları daha önce oluşturulmuş omurganın izin verdiği kadarıyla yapılmıştır.

Gerekli ölçüm ve hesaplamalar sonucunda elektronik aksamda bulunan MPPT'nin ağırlığı ve veriminin düşüklüğü, DC motor ve sürücüsünün çalışma gerilimi uyumsuzluğu ve verimsizliği ve bataryaların daha hafif olan Li-polimer batarya alımı imkanı dolayısıyla değişimlerine karar verilmiştir. Alternatif bütçelere göre temin edilebilecek ürünler tespit edilmiştir. Sınırlı bütçeler dolayısıyla geliştirilen farklı alternatiflerden uygun olan yeni malzemelerle ilgili siparişler yapılmıştır.



Şekil 4.15. Yeni tasarım sonrası elektriksel bağlantılar.

Yarış sonrası tanıtım çalışmaları, organizasyonlar ve nakliyeler dolayısıyla hasar gören mekanik parçalar elden geçirilmiştir. Ayrıca PV panellerin ölçümleri yapılarak, hasar görmüş olanlar tespit edilmiş ve yenileri ile değiştirilmiştir.

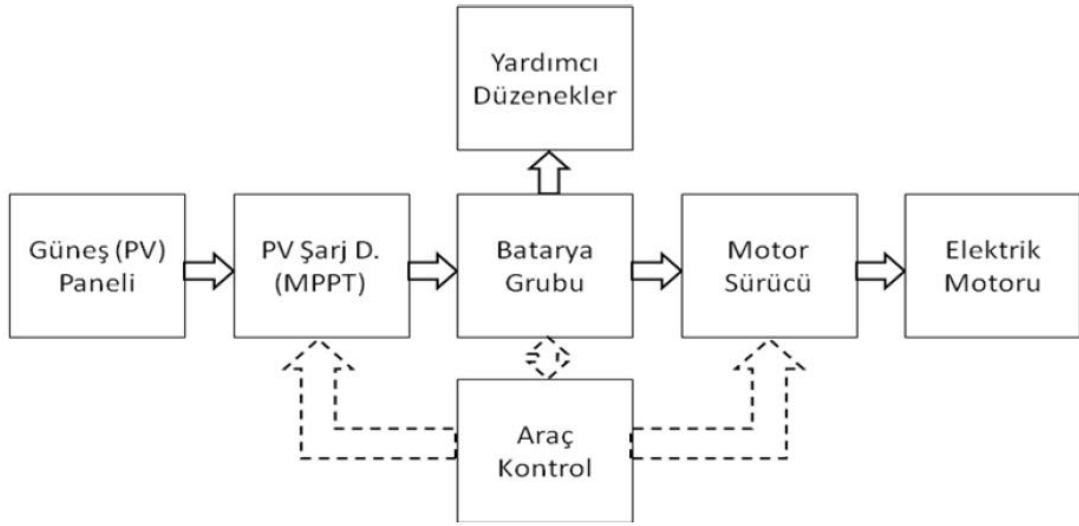
Çizelge 4.2 ve Şekil 4.7'deki gibi gruplanmış PV paneller, eşdeğer MPPTler, sigorta, kontakör ve acil durum butonları, otomatik pilot kontrol birimi, motor ve sürücü batarya grubu bağlantı tasarımı Şekil 4.15'de görüldüğü gibi tamamlanmıştır.

Bu bölümde daha önce hazır olan Güneş arabası üzerinde yapılan değişiklikler ve tasarım yenilemesi anlatıldığı için, daha önce bulunmayan veri toplama ve enerji yönetim sistemi tasarımları bir sonraki bölümde açıklanmıştır.

BÖLÜM 5

GÜNEŞ ARABASININ MATEMATİKSEL MODELİ VE ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI

Güneş arabasının gövde tasarımı haricindeki temel parçalar olarak sayılan PV panel, MPPT, batarya ve motorun oluşturduğu sistemin uyumlu ve olabilecek en yüksek verimde tasarımı tamamlandığında Şekil 5.1’de görülen sistem elde edilmiş olur. Fakat sistemin tüm birimleri ile entegre olacak şekilde kurulan bir kontrol sistemi sayesinde daha verimli ve doğru kullanımı mümkün olacaktır.



Şekil 5.1. Güneş arabası elektronik sistem tasarımı

Bölüm 4’te tasarımı yapılan temel sistem ekipmanlarının tasarlanacak kontrol sistemi ile irtibatını sıcaklık, akım ve gerilim sensörleri sağlamaktadır. Sensörlerden gelen sinyal ve veriler çoğunlukla mikrokontrolör içeren bir donanım ve sistemi yönetecek bir yazılım ile belirlenen sınır koşullarına göre değerlendirilerek kontrol komutları oluşturulmaktadır.

5.1. VERİ TOPLAMA VE KONTROL

Sınır koşullarını oluşturan sebepler pilotun ve aracın güvenliği ve enerjinin verimli üretimini ve kullanımını sağlayacak çalışma noktaları olarak bilinmektedir. Bu koşullara göre sistemin kontrol ve optimizasyonunun yapılabilmesi için sistemden bir çok verinin elde edilmesi, takibi ve analizi gereklidir [87].

PV panellerin X, Y ve Z gruplarından ayrı ayrı gelen akım ve gerilim değerleri ve X, Y ve Z MPPT'lerinin çıkış değerleri yeni tasarımda kullanılan MPPT devrelerinden elde edilebilmektedir [133]. Fakat PV panellerin sıcaklık değerinin tespiti yolculuk süresince üretilecek enerjiyi tahmin etmek için kullanılacaktır.

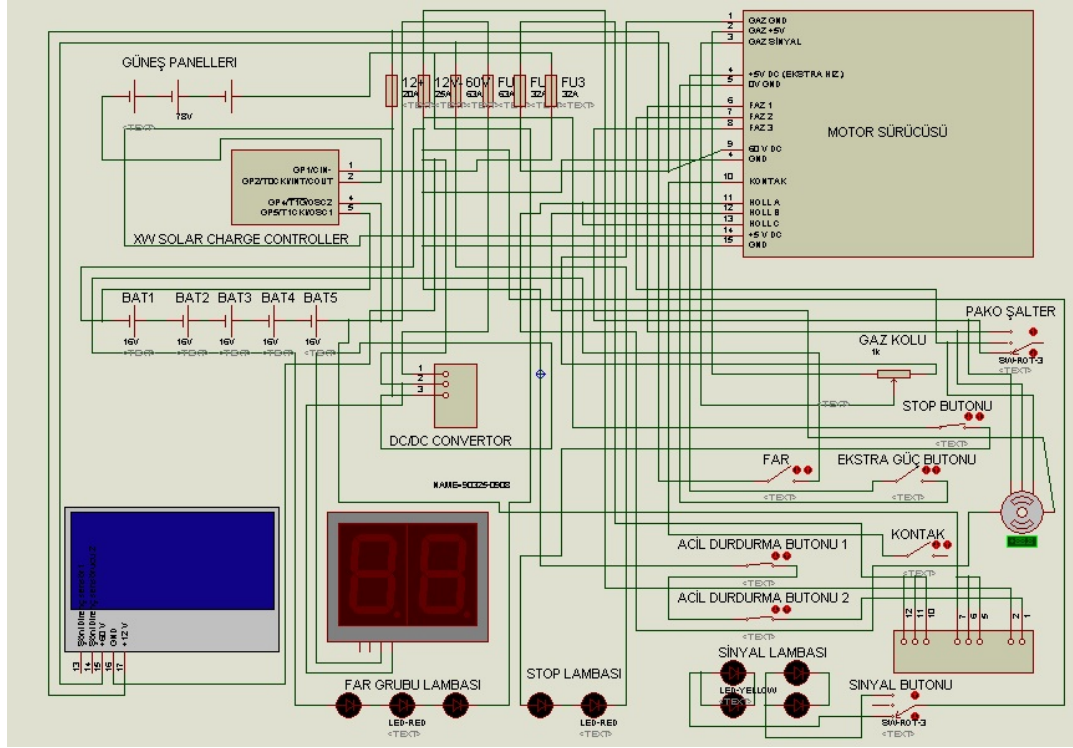
Batarya grubunun çıkış akım ve gerilim değerleri kullanılan ve kalan enerjiyi tespit etmek için gereklidir. Bataryanın sıcaklık değeri güvenlik açısından çok önemlidir. Li-polimer bataryalar çalışma sıcaklığı limitleri aşıldığında yanıcı ve patlayıcı etki gösterdiğinden, soğutma amaçlı batarya kutusuna yerleştirilmiş fanlar araba çalıştığında devreye girecek şekilde tasarlanmıştır. Fanların yetersiz kalması durumunda, Batarya yönetim sistemi (BMS) adı verilen kontrol devresi bataryaları devre dışı bırakacaktır.

Sürücü ve motordan alınacak akım değeri, harcanan enerjiyi ve hızlanmanın harcanan enerjiye etkisini, yavaşlama ve frenin de rejeneratif etkisini ölçmeyi sağlayacaktır. Ayrıca motor ve sürücünün sıcaklığı da güvenlik açısından takip edilmelidir.

Aracın kontrol birimi dışındaki elektriksel tesisatı gösterir devrenin çizimi Şekil 5.2'de görülmektedir. Bu çizimde PV panellerin 3 grup halinde 3 ayrı MPPT üzerinden sisteme eşdeğer batarya olarak tanımlanması uygun görülmüştür. DC/DC konvertör ile yarış şartnamesinde gerekli görülen fren lambası, acil durdurma butonları, ve veri toplama ve kontrol devresi için gerekli enerji sağlanmaktadır.

Çizelge 5.1. Veri toplama sistemi ile alınan veriler.

Analog veriler	Dijital veriler
Batarya sıcaklığı	PV panel $V-I$ değerleri
Motor sıcaklığı	MPPT çıkış gerilimi
Pv panel sıcaklığı	Batarya $V-I$ değerleri
	Hız sensörü



Şekil 5.2. Arabanın elektrik tesisatı.

Çizelge 5.1’de de listelenen bu verilerden faydalanarak,

1. Toplam ve tur başına harcanan enerji,
2. Aracın kat ettiği yol,
3. Menzile kalan mesafe,
4. Akü şarj seviyesi (SOC),
5. Anlık enerji tüketimi,
6. PV panellerde üretilen enerji miktarı,
7. Kalkış sırasında ne kadar enerji harcanacağı,

8. Hızdaki değişimlere göre aracın enerji tüketiminin ne kadar deęiőeceęi tespit edilebilmektedir.

Bu verilerden sadece sürüş güvenliğini ve sürekliliğini ilgilendiren batarya sıcaklığı, arabanın hızı ve bataryada kalan enerji miktarı ile ilgili veriler pilot göstergesine de aktarılmaktadır.

Pilot aracın direksiyonunu kontrol etmekte ve gerekli durumlarda manuel hızlanma kolu ve fren pedalına da müdahale edebilmektedir. Ayrıca güvenlik için tasarlanan iki ayrı acil durdurma butonundan birisi pilotun, diğeri de aracın dışından yaklaşacak bir görevlinin ulaşabileceği noktalara monte edilmiştir.

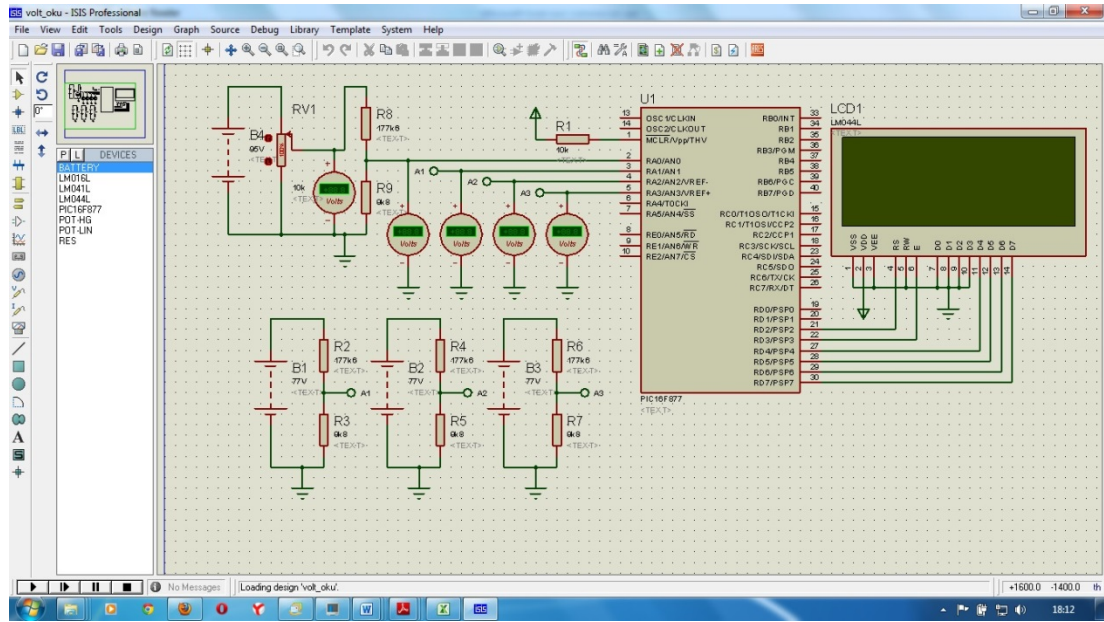
Elde edilen verilerin işlenmesi ile ortaya çıkan sonuçlar, kontrol sistemi olarak belirlenmiş Arduino Mega 2560'ya 5 s aralıklarla aktarılmaktadır. Tekere monte edilen hız tespit sensöründen gelen sinyalleri sayarak hem hızı hem katedilen mesafeyi hem de menzile kadar kalan yolu hesaplayan, ardından da buna göre optimum bir hız tespiti yapan Arduino, motoru uygun gerilim değeri ile sürerek hız kontrolünü sağlamaktadır. Arduino Mega tarafından 0 – 5 V aralığında oluşturulan dijital sinyal motor sürücü devreye araba için gerekli hız bilgisini iletmektedir. Acil durum ve güvenlik sınırlamaları ile karşılaşıldığında motor sürücü devreye 0 V gönderilmektedir.

5.2. DEVRE TASARIMI

Araç kontrol birimine gerekli veriler akım sensörleri ve sıcaklık sensörleri ile elde edilmektedir. Devre için uygun akım ve sıcaklık sensörlerini tespit için ve baskı devrenin ön hazırlığı için PROTEOUS simulasyonundan faydalanılmıştır.

Çizelge 5.1'den de anlaşıldığı gibi, MPPT çıkışı, batarya grubu ve motor girişi $V - I$ değerleri olmak üzere 3 ayrı noktada akım – gerilim sensörü kullanılmıştır. Genellikle gerilim değerleri akım sensörleri ile ölçülen akımın devre üzerinde bir birim direnç üzerinde bıraktığı gerilim değeri üzerinden hesaplanmaktadır. Sensör tercihinde ekonomik bir fayda sağladığından ve devredeki giriş sayısını olumlu

etkilediğinden dolayı çalışmamızda aynı yönde tercih yapılmıştır. Tasarımımızda yapılan hesaplamalar X, Y, ve Z MPPT'lerinin çıkış gerilimleri ve batarya grubunun çıkış gerilim değerinin okunarak PIC16F877'ye aktarılması ve bataryanın doluluk oranının % cinsinden değerini (SOC) pilot göstergesine aktarmayı sağlayan devre tasarımı Şekil 5.3'te görülmektedir. Bu elde edilen veriler ayrıca kontrol algoritmasında işlenerek, motorda harcanan enerji, PV panellerde üretilen enerji ve bataryada kalan enerji hesaplamaları yapılacaktır. Bu hesaplamalar motor eksenine monte edilen encoderden alınan sinyallerle hesaplanan; hız, katedilen yol ve menzile kalan mesafe ile karşılaştırmada kullanılmaktadır. Yapılan hesaplamalar ve Proteus uygulamaları neticesinde detay bilgileri Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3'de verilen ACS714 ve ACS719 akım sensörleri kullanılmıştır [134,135].



Şekil 5.3. MPPT ve batarya gerilim değerleri okuyan devrenin tasarımı.

Sistemde sıcaklık bilgisinin kontrol edileceği motor ve sürücü setinin bilgileri sürücü tarafından iletilmektedir. Batarya ve PV panel yüzeyinin iki farklı noktadan ölçümü ise DS18B20 sıcaklık sensörleri yardımıyla yapılmaktadır. Bu ölçüm değerleri PIC16F877 mikrokontrolörün analog girişlerine Şekil 5.4'te görüldüğü gibi aktarılmaktadır.

Bu değerlerden en kritik olanı batarya sıcaklık bilgisi olduğundan batarya sıcaklık değeri üst sınır olan 60 °C' a yaklaştığında (55 °C) sistem sürücüye uyarı vermektedir.

Çizelge 5.2. ACS709 akım sensörü özellikleri [134].

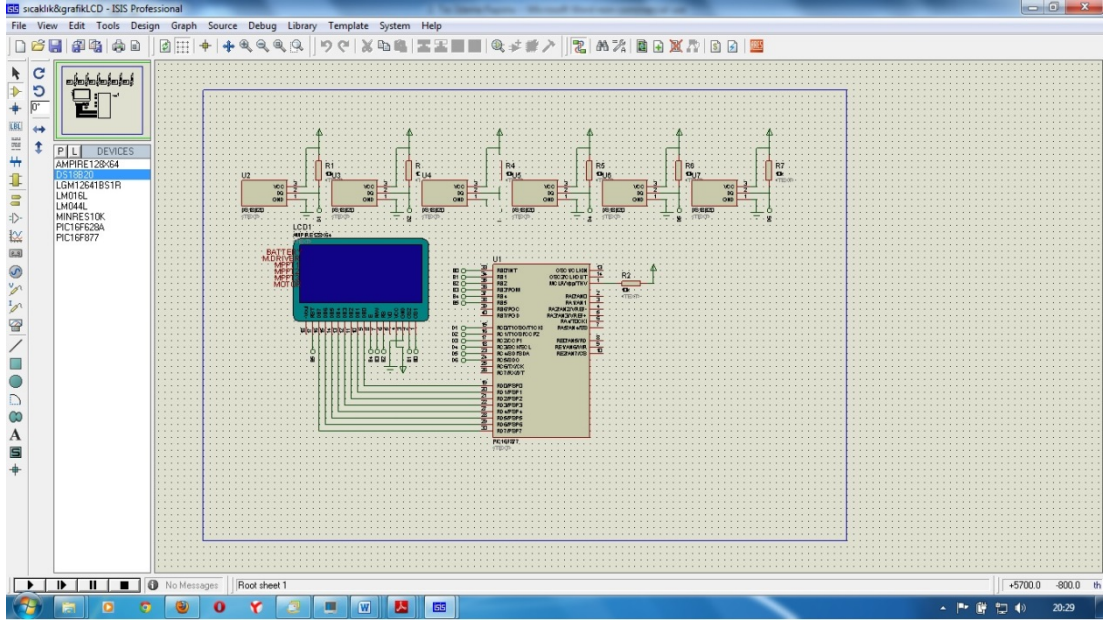
ACS709	
Manyetik etkiye bağlı akım sensörü	
Ölçüm aralığı	
Tek yönlü :	-75 A, +75 A
Çift yönlü :	-37,5 A, +37,5 A
Akım hassasiyeti :	0.018 V/A ($V_{cc}=3.3$ V)
Minimum Çalışma Voltajı :	3V
Maksimum Çalışma Voltajı :	5.5V
Çalışma Akımı :	11mA
Boyutları :	2.08x2,28 cm
Ağırlığı :	1.7 gr

Çizelge 5.3. ACS714 akım sensörü özellikleri [135].

ACS714	
Manyetik etkiye bağlı akım sensörü	
Ölçüm aralığı	
Tek yönlü :	-5 A, +5 A
Akım hassasiyeti :	0.018 V/A ($V_{cc}=5$ V)
Minimum Çalışma Voltajı :	4,5V
Maksimum Çalışma Voltajı :	5,5V
Çalışma Akımı :	13mA
Boyutları :	1,77x2,03 cm
Ağırlığı :	1.3 gr

Pilot göstergesinde iki ayrı ekran bulunmaktadır. Ekranın birisinde aracın hız bilgisi yer alırken, diğer ekranda batarya sıcaklığı, bataryadaki enerjinin doluluk oranının % cinsinden değeri görülebilmektedir. Sadece Formula G yarış kuralları dolayısıyla hız pedalının manuel kontrol edilmesi gerektiği için, bu yarışa özel olmak üzere optimum tavsiye hız değeri de bu ekranda bulunmaktadır. Ekranı gönderilen bu tavsiye hız değerini pilot gaz pedalını kullanarak yakalamaya çalışmaktadır.

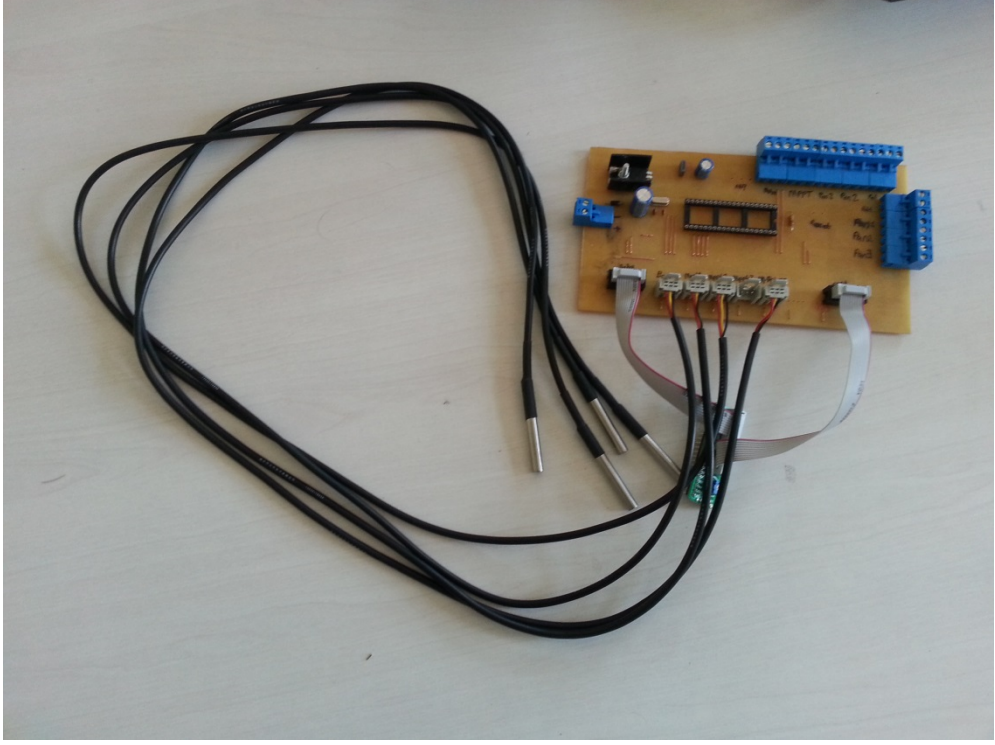
Çalışmamızda ise tavsiye hız değeri merkezi kontrol ünitesi tarafından direkt motor sürücü devreye gönderilecek referans hız değeri olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.4. Batarya, PV panel sıcaklık değerleri okuyan devrenin tasarımı.



Şekil 5.5. Pilot gösterge ekranları.



Şekil 5.6. Tasarlanan veri toplama devresi ve sıcaklık sensörleri.

5.3. MERKEZİ KONTROL ÜNİTESİ TERCİHİ

Ardunio ve Raspberry Pi gibi kompakt olarak tasarlanmış mikro bilgisayarların son dönemde endüstriyel uygulamalarda kullanımı yaygınlaşmaktadır. Raspberry Pi USB ve ethernet girişleri de olan bir mikroişlemcili bilgisayar yapısıdır. Mikro işlemci olarak Arm11 kullanılmaktadır. Linux tabanlı olması ve input output yapısı sistemimize uyumlu olamayacağından dolayısıyla Ardunio Mega 256 tercih edilmiştir [136].

2011 yılında Merç ve Bayılmış dört ayrı fırçasız DC motor kullanarak ürettikleri ve quadrator adını verdikleri insansız hava aracında güç kontrolünü sağlamak için Ardunio Uno mikroişlemci platformunu kullanmışlardır [137].

Bilindiği gibi quadrator da 4 farklı motor sistemden gelen verilerin değerlendirilmesi sonucunda farklı devirlerde sürülmesi gerekmektedir. Güneş arabasında ise tek motor kullanılmaktadır. Fakat Güneş arabasında toplanan dijital ve analog veri sayısı

PIC16F877 giriş sayısına göre fazla olduğundan merkezi kontrol birimi olarak Arduino Mega 2560 kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Arduino Mega 2560, basit bir I/O kartı ve İşleme/Kablolama dilini uygulayan geliştirme çevresi temelleri üzerine kurulu açık kaynaklı fiziksel hesaplama platformudur. Arduino tek başına interaktif nesnelerin geliştirilmesi için kullanılabilceği gibi bilgisayar üzerindeki yazılımlara da bağlanabilir. Açık kaynak olduğundan yazılımları ücretsiz olarak indirilebilmektedir. Yazılımları mevcut olarak Mac OS X, Windows, ve Linux desteklenmektedir [138].

Arduino Mega Atmega2560 tabanlı 16 MHz bir mikroişlemci kartıdır. Üzerinde; 14'ü PWM çıkışları olarak kullanılabilen toplam 54 dijital giriş / çıkış pini, 16 analog giriş, 4 UART seri port bulunmaktadır. USB bağlantısı ile gerekli program aktarımı ve kaydedilmiş verilerin alınması gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca ADK versiyonu ile android uygulama yardımıyla uzaktan kontrol mümkündür [138].

Arduino Mega 2560'ın Özellikleri:

ATmega2560 mikrodnetleyici

Giriş voltajı -> 7-12V

54 Dijital I / O Pini (14 pini PWM çıkışı olarak kullanılabilir)

16 Analog Giriş

256kB Flaş Bellek

16Mhz

5.4. MATEMATİKSEL MODEL

Sınır koşullarının belirlenmesi sürecinin ve veri kontrol sisteminin çalışmasını test edilmesinin direkt donanım üzerinde yapılması büyük riskler oluşturmaktadır. Kullanılan güneş arabası sisteminin pahalı komponentlerden oluşuyor olması ve sistemde kullanılan akım ve gerilim değerlerinin hayati riskler içeriyor olması ve test süreçlerinde komponentlerin zarar görme ihtimali simülasyon tercihini zorunlu kılmaktadır. Nitekim Şekil 5.1'de görülen sistemin MATLAB'de simülasyonunun

yapılması ile gerekli geliştirmeler yapılmış ve hazırlanan yazılım ve donanım sisteme uygulanabilmiştir.

Simulasyon sürecine başlanabilmesi için sistem komponentlerinin ve sistemin uygulanacağı fiziksel şartların matematiksel modelinin oluşturulması ve simulasyonda tanımlanması gerekmektedir. Matematiksel model oluşturabilmek için de bazı bağıntılardan faydalanarak hesaplamalar yapılmalıdır.

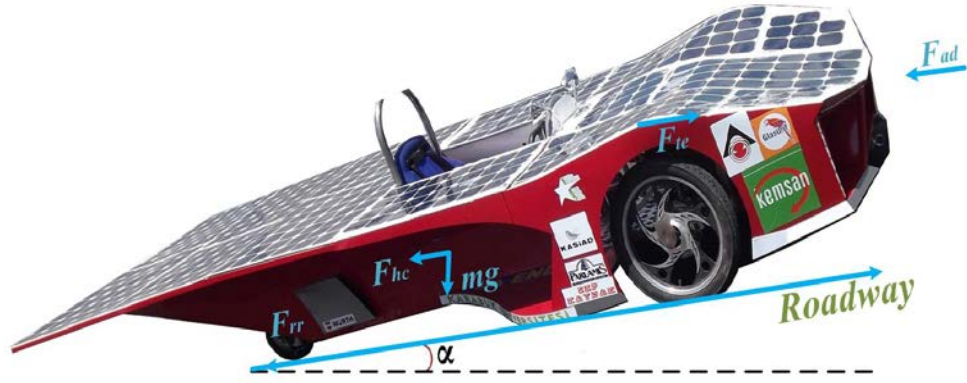
Aracın elde edeceği ve düz yolda, yokuşta ve inişte birim yolda harcayacağı enerji arasında bir bağıntı kurularak bir menzil optimizasyonu oluşturulmalıdır. Araba üzerindeki PV panel alanı $6 m^2$ olarak hesaplanmıştır. PV hücre verimin %17,5 ve packing factor'un 0,90 olduğu bilinmektedir. Bu verilere göre araba üzerindeki PV panellerin gücü;

$$P_{pv}=6 m^2 \times \% 17,5 \times 1000 W / m^2 \times 0,90 = 945 W \quad (5.1)$$

PV panellerden elde edilen enerji yarışın öğle saatlerinde yapılacağı düşünöldöğünde 945 Wh olarak görölmektedir. Dolayısıyla araba yarışta ya da yolda kaldığı her fazla dakikada ek enerji kazanacaktır. Fakat bu durum menzile ulaşmayı geciktireceğinden istenen bir durum değildir.

5.4.1. Güneş Arabasına Etkiyen Kuvvetler, Güç Hesabı

şekil 5.7'de arabanın üzerinde görölen etkiyen kuvvetleri incelediğimizde; hıza bağlı olarak değişen tekerlek sürtünmesi ve hava sürtünmesi, ayrıca yokuşlarda oluşacak pozitif ya da negatif kuvvetler ortaya çıkacaktır [56].



Şekil 5.7. Güneş arabasına etkiyen kuvvetler.

Bu durumda tekerdeki sürtünme kuvveti \vec{F}_{rr} , teker sürtünme katsayısı olan μ_{rr} ile doğru orantılıdır. Tekerin sürtünme katsayısı μ_{rr} , katalog değerlerine göre 0,048 olarak görünmektedir.

$$\vec{F}_{rr} = \mu_{rr} m g \cos(\alpha) \quad (5.2)$$

Hava sürtünmesi kaynaklı kuvvet olarak \vec{F}_{ad} ise, ρ hava yoğunluğu, A_c arabanın kesiti, \vec{v} hız ve C_d havanın sürtünme katsayısı olarak kabul edilmek üzere,

$$\vec{F}_{ad} = 0,5 \rho A_c C_d v^2 \quad (5.3)$$

olarak hesaplanır. Hava sürtünme katsayısı C_d , 0,19 ve ρ , havanın yoğunluğu $0,225 \text{ kg/m}^3$ olarak tespit edilmiştir [40]. Arabanın kesit alanı da $0,7 \text{ m}^2$ olarak ölçülmüştür. Yokuş yukarı negatif, yokuş aşağı pozitif olmak üzere eğim kuvveti \vec{F}_{he} , m aracın ve pilotun kütlesi, g 9,81 yerçekimi ivmesi ve α yolun eğim açısı olmak üzere,

$$\vec{F}_{he} = m \vec{g} \sin(\alpha) \quad (5.4)$$

olarak hesaplanır. Arabanın pilot dahil ağırlığı 270 kg 'dır.

Arabanın ivmelenme kuvveti olarak belirlenen \vec{F}_{la} ise, \vec{a} ivme olmak üzere (5.5) eşitliğinde görüldüğü şekilde hesaplanmaktadır.

$$\vec{F}_{la} = m \vec{a} \quad (5.5)$$

Sistemde kayba sebep olan toplam kuvvet \vec{F}_{te} , (5.6) eşitliğinde görüldüğü şekilde hesaplanmaktadır. Bu kuvvet arabanın kalkış sağlaması için r teker yarıçapı, G vites dişli sayısı olmak üzere (5.7) eşitliğinden de \vec{T}_{te} tork değeri elde edilmektedir. Teker yarıçapı 0,32 metredir. Bu çalışmamızda kullanılan arabada vites dişli sayısı 1 olarak alınmıştır.

$$\vec{F}_{te} = \vec{F}_{rr} + \vec{F}_{hc} + \vec{F}_{ad} + \vec{F}_{la} \quad (5.6)$$

$$\vec{T}_{te} = \vec{F}_{te} \frac{r}{G} \quad (5.7)$$

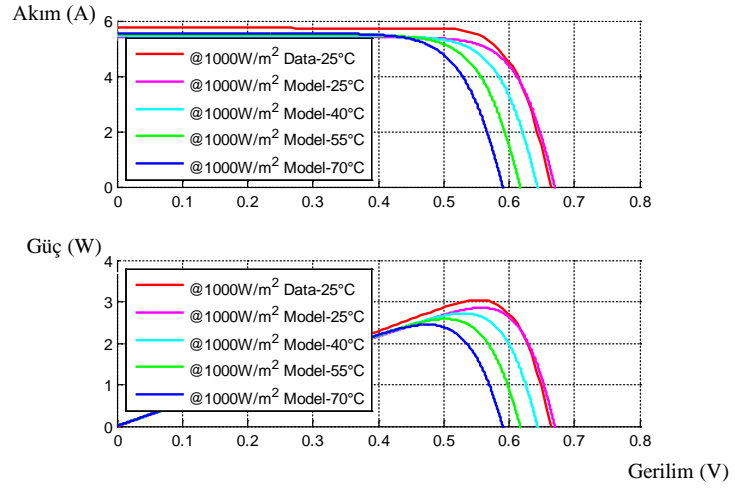
Arabanın hızı v , olarak kabul edildiğinde, bu hareket için gereken güç miktarı (5.8) numaralı eşitlikten hesaplanabilmektedir.

$$P_{te} = \vec{F}_{te} \vec{v} \quad (5.8)$$

Arabada fırçasız DC motor kullanıldığından bu güç direkt tekere iletilmektedir. Bu yüzden tekere iletilen güç P_{te} , açısal hız ω , ile motor momenti T_{te} 'nin çarpımına eşittir [12].

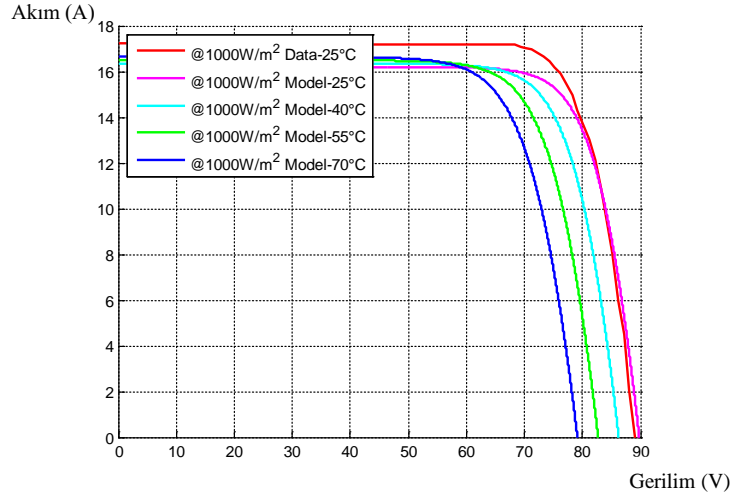
$$P_{te} = \omega \cdot \vec{T}_{te} \quad (5.9)$$

5.4.2. PV Panel Matematiksel Modeli

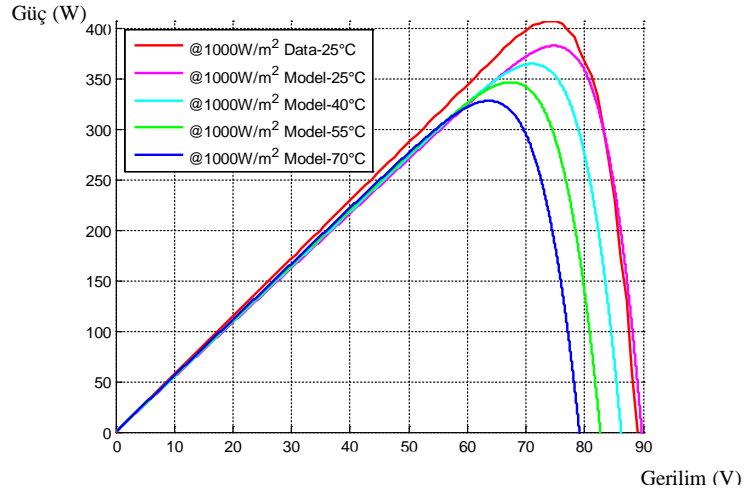


Şekil 5.8. Güneş arabasında kullanılan PV hücrenin farklı ortam sıcaklıklarında $I - V$ karakteristiği.

PV panel grubu ile ilgili 3. bölümde yapılan modelleme burada da kullanılacaktır. Fakat Matlab uygulaması yapıldığında PV hücreni ve panel grubunun farklı sıcaklıklarda ortaya çıkan $I - V$ karakteristiklerini Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da görüldüğü gibi tespit etmek faydalı olacaktır.



(a)

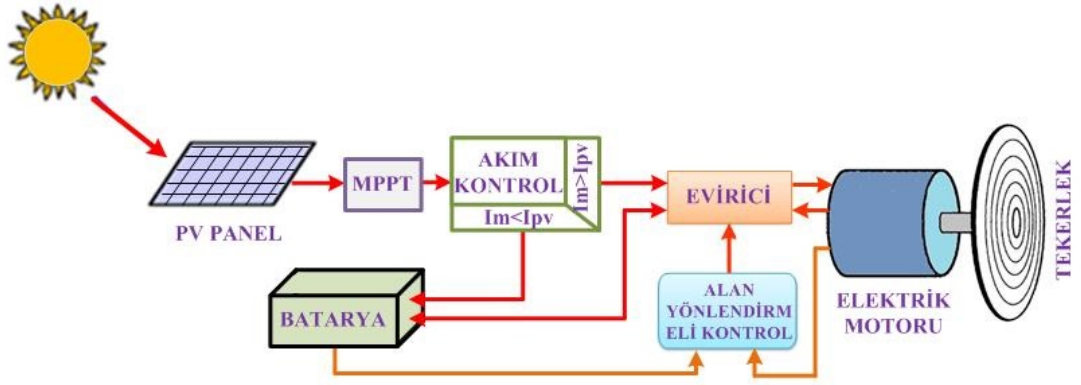


(b)

Şekil 5.9. Güneş arabasında kullanılan PV panel grubunun farklı ortam sıcaklıklarında $I - V$ ve sistemin güç karakteristiği. a) $I - V$ karakteristiği, b) sistemin güç karakteristiği.

5.4.3. Yol Modeli

Bu hesaplamalar ve modellemeyle birlikte yol modelinin çıkarılması gerekmektedir. Ayrıca Şekil 5.10'deki Güneş arabası blok diyagramında da görülen PV panel grubu, batarya grubu, kontrol sistemi, sürücü ve elektrik motoru da matematiksel olarak modellenmelidir [139].



Şekil 5.10. Güneş arabası blok diyagramı.

Yol modelini çıkarabilmek için, arabaya etki eden kuvvetlerin yol üzerinde uğradığı değişimleri tespit etmek gerekmektedir. \vec{F}_{la} ivmelenme kuvveti, ancak hız değişiminde ortaya çıkacağından, sistemin tasarımında hız değişimi minimuma indirilmelidir. En büyük hız değişimi süreci ise aracın kalkışı sırasında yaşanmaktadır [28]. Hız değişimini azaltmak için sürücüye tavsiye hız değerinin her dakikada 1 defa verilmesi uygun görülmüştür.

Çizelge 5.4. Körfez pistinin özellikleri [132].

Körfez Yarış Pisti Özellikleri:	
Pistin uzunluğu:	1.950 metre
Pistin genişliği:	12 metre
Pistin eğimi arka düzlükte:	%2+
Pistin eğimi Start düzlüğü:	%2-

\vec{F}_{hc} eğim kuvveti ise yokuş yukarı pozitif yani motora ek yük getirici etki göstermesine rağmen, inişlerde ise negatif yönlü olmaktadır. Bu yüzden aracın güzergâhındaki eğimlerin bilinmesi hesaplamaların doğruluğu için önem arz etmektedir [64]. Bu durum hazırlanan yazılımda dikkate alınmış ve F_{hc} pozitifken hızın artırılması, negatifken azaltılması öngörülmüştür. Aracın katettiği yol, ortalama hız ve zamana bağlı olduğundan yazılımda aracın konumu ile ilgili hesap bu bağıntıdan yola çıkılarak yapılmış ve her 975 metrede iki farklı senaryo arasında döngü kurulmuştur. Körfez pistinin özellikleri Çizelge 5.4'te görülmektedir [132].



Şekil 5.11.Körfez pistinin krokisi [132].

Pistin ilk yarısında % 2'lik bir yokuş, ikinci yarısında % 2'lik bir iniş eğimi mevcuttur [132]. Bu yol modeline göre (5.2) eşitliği düz bölgeler için, $\alpha = 0$ olduğundan aşağıdaki şekilde değişecektir. Eğimli bölgelerde ise (5.2) eşitliği geçerli olacaktır.

$$\vec{F}_{rr} = \mu_{rr} m \vec{g} \quad (5.10)$$

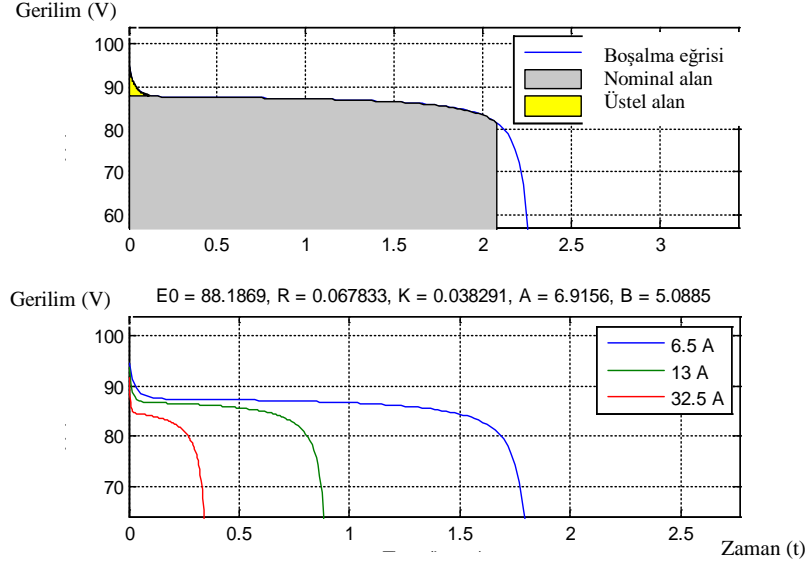
5.4.4. Batarya Modeli

Arabanın yeni tasarımında değiştirilen batarya grubu hakkında 4. bölümde bilgi verilmiştir. 22 seri Li-polimer batarya 81,4 V nominal gerilim değerine ve 976,8 W nominal kapasiteye sahiptir. Li-polimer batarya için deşarj (5.11) ve şarj eğrisi (5.12)'de görülmektedir.

$$f_1(it, i^*, i) = E_0 - \frac{K Q_0}{Q_0 - it} i^* - \frac{K Q_0}{Q_0 - it} it + A \exp(-B it) \quad (5.11)$$

$$f_2(it, i^*, i) = E_0 - \frac{K Q_0}{(it + 0,1 Q_0)} i^* - \frac{K Q_0}{Q_0 - it} it + A \exp(-B it) \quad (5.12)$$

Bu eşitliklerde E_0 batarya grubunun gerilim sabitini, K polarizasyon direnç sabitini, i^* düşük frekans değişken akımını, i batarya akımını, it elektrik yükünü Q_0 dolu haldeki maksimum kapasiteyi tanımlamaktadır. A ve B değerleri de işlem sabitleri olarak bulunmaktadır [140].



Şekil 5.12. Batarya grubunun sarj – desarj grafiği.

Batarya doluluk durumu (State of the Charge - SOC), batarya grubunun besleyebileceği enerji miktarını ifade etmektedir. SOC herhangi bir andaki doluluk oranının yüzde ifadesi, $Q(t)$ anlık kapasite miktarı, Q_0 , dolu haldeki maksimum kapasite, it ise t anında harcanan enerji miktarı olarak tanımlandığında SOC (5.13) eşitliği ile hesaplanabilmektedir [141].

$$SOC = \frac{Q(t)}{Q_0} = \frac{Q_0 - it}{Q_0} \quad (5.13)$$

(5.11) - (5.13) eşitlikleri ve Batarya hücresinin verileri [131] kullanılarak batarya grubunun sarj –desarj grafikleri Şekil 5.12’de görüldüğü gibi elde edilir. Deşarj akımında olabilecek artış arabanın bir yokuş çıktığına ya da hızlandığına işaret etmektedir. Grafikten de anlaşıldığı gibi yüksek desarj akımları SOC değerinin daha hızlı bir şekilde düşmesine sebep olmaktadır.

5.4.5. Kontrol Sistemi Modeli

Arabada oluşturulan kontrol sistemi PV panellerden gelen enerjiyi batarya ve sürücü sistem arasında paylaşmaktadır. Eğer PV panellerden gelen enerji, menzile kalan mesafe için arabanın ulaşması gereken hız için kullanılması gerekmiyorsa batarya şarjına yönlendirilecektir. Eğer belirlenen hız değeri için tam yeterli geliyorsa sadece motor sürücü devreye aktarılmaktadır. PV panellerden gelen enerji gerekli hız değerini yakalamak için yeterli gelmiyorsa, eksik kalan kısım bataryada bulunan enerjiden tamamlanmaktadır.

MATLAB’de yazılan program 4 temel yapıdan oluşmaktadır. Elektrik motor modeli, batarya modeli, PV panel modeli ve bunların kontrollerinin yapıldığı ana model olarak isimlendirilebilir. Kaynak enerji bloğu olarak tanımlanan PV panel ve bataryadan talep edilecek enerji miktarları elektrik motorunun performansına göre belirlenmektedir. Elektrik motorunun en iyi performansta çalışarak takip edilmesi istenen referans hıza ulaşması beklenmektedir. Bunu sağlayabilmek için elektrik motoru, alan yönlendirmeli kontrol (FOC) ve PI ile karşılaştırmalı olarak kontrol edilir.

Enerji yönetim sisteminin optimizasyonu için ise, Şekil 5.12’de görülen PI-Fuzzy Logic Control (Orantısal integral - bulanık mantık) ve Şekil 5.13’de görülen PI (Orantı-İntegral) yöntemleri simule edilerek karşılaştırılmıştır. Detayları ileride verilecek olan bu karşılaştırmada PI-FLC’nin performansının daha yüksek çıkması sonucu tercih edilmiştir.

5.5. HESAPLAMALAR VE SİMULASYONLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Arabanın bataryadaki nominal enerji miktarı daha önce 976,8 W olarak hesaplanmıştır. PV panellerden bir saatte gelmesi beklenen enerji miktarı da 945 Wh olarak ön görülmektedir. Bu durumda motorun yol süresince toplam harcadığı enerji, (5.2) – (5.8) eşitlikleri ile yapılan hesaplarla ortaya çıkacak kuvvetin ortalama hızla çarpımına eşit olacaktır. Bu bağıntıdan yola çıkarak belirlenen birçok kontrol stratejisinde yolculuk boyunca; yolda harcanan enerjinin yola bölümü ile birim yolun alınabilmesi için harcanan enerji sürekli olarak hesaplanmaktadır. Ayrıca PV panellerden elde edilen enerji de sürekli olarak ani ve ortalama değerler olarak tespit edilmektedir.

Bu şartlar altında genel olarak tasarlanan bir enerji yönetimi sisteminde, gidilecek yol, yani menzil daha önceden bilindiğinden kalan yol için gerekli enerji miktarı hesaplanmakta, bataryadaki miktar ve ortalama hıza göre menzile kadar geçecek sürede PV panellerden elde edilecek enerji bu ihtiyacı karşılıyorsa, P_{te} değerini eşitleyen ortalama hız hesaplanmaktadır. Bu değer aracın hızı ile karşılaştırılmakta eğer fark 5 km/h'ten fazla ise sürücüye hızlanması yönünde yönlendirme yapılmaktadır. Gereken enerji miktarını bataryadaki miktar ve ortalama hıza göre menzile kadar geçecek sürede Güneş panellerinden elde edilecek enerji karşılamıyorsa yine P_{te} değerini eşitleyen ortalama hız hesaplanmaktadır. Bu değer aracın hızı ile karşılaştırılmakta eğer fark 5 km/h'ten az ise sürücüye yavaşlaması yönünde yönlendirme yapılmaktadır. Fakat bu yöntemde Güneş ışınım değerinde ve yol boyunca pilot ya da çevresel etkilerle oluşan değişimler karşısında doğru neticeler ortaya çıkarmakta yetersiz kalmaktadır.

İkinci bir yöntem de hız değişimlerinin beraberinde ivmelenme kuvvetini de ortaya çıkardığı bilgisinden hareket ederek, verimi artırmak ve enerjinin hızlanma için harcanmasının önüne geçmek amacıyla menzile ulaşmayı sağlayacak maksimum hız tespit edilerek “maksimum sabit hız- sabit menzil” stratejisi uygulanmaktadır. Bu yöntemde de en önemli çıkmaz, yol şartlarının her an aynı olmaması dolayısıyla sürekli aynı hız değerini yakalamanın zorluğudur. Pilot sürekli belirlenmiş hız

değerini yakalamaya çalışırken ivmelenme kayıpları fazladan enerji harcanmasına sebep olarak menzile ulaşımı imkansız hale getirecektir.

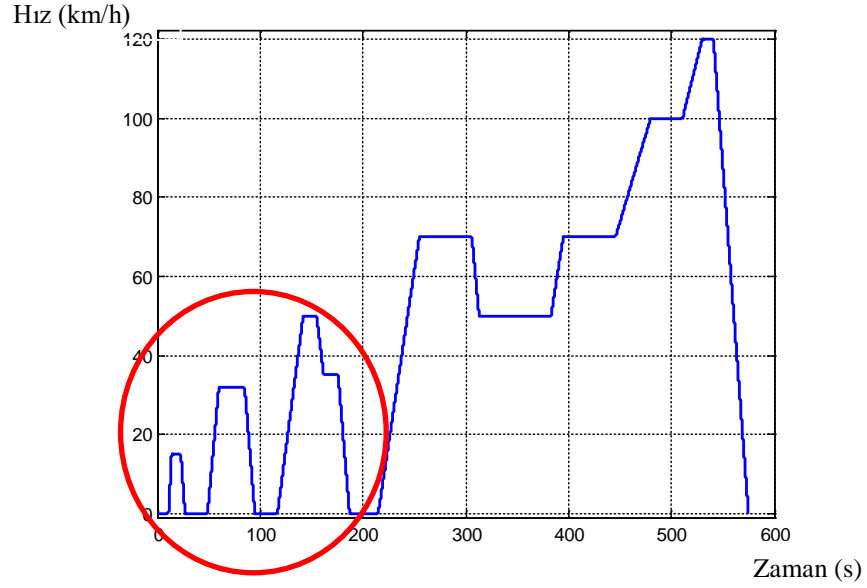
Bu çalışmamızda her an tespit edilen enerji durumu verilerinden faydalanarak, özgün yöntemle yolun geriye kalan kısmında PV panellerden muhtemel elde edilecek enerjiyi de hesap ederek dinamik bir hız değerinin belirlenmesi yöntemi, kısaca “*değişken hız –sabit menzil*” stratejisi uygulanmıştır. Bu sebeple aşağıda sıralanan diğer alternatiflerden 1 ve 3. yöntemlerin simulasyon ve hesaplamaları kendi belirlediğimiz strateji ile karşılaştırılmıştır.

1. Arabanın maksimum hızla gitmesi durumunda PV panellerden gelecek enerji ve bataryadaki enerji ne kadar mesafe katedileceğinin hesaplanması gerekmektedir. Bu senaryoda PV panellerden minimum düzeyde enerji elde edilmiş olacaktır. Dolayısıyla gidilen mesafenin en kısa olduğu simulasyon bu şekilde elde edilmiş olacaktır. Bu işlemde menzile ulaşılamaması sonucu ortaya çıkacaktır.
2. Arabanın PV hücrelerinden elde edilen enerji dikkate alınarak batarya tamamen desarj olmadan menzile ulaşılacak bir hız tercihi yapılması mümkündür. Fakat bu hız çok yavaş olacağından menzile ulaşmak uzun sürecektir. Üstelik menzile ulaşıldığında batarya grubunda enerji bulunuyor olacaktır.
3. Arabanın hedeflenen menzile ulaşabileceği *maksimum sabit hız* değeri tespit edilecektir. Bu simulasyonda enerji ivmelenmede kullanılmamış olacağından menzile en hızlı ulaşımın bu strateji ile olması beklenmektedir.

5.5.1. Kontrol Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Seçilen kontrol sisteminin performansının test edilebilmesi için Formula G yarış pisti, eğim hususunda yeterince çeşitli olmaması dolayısıyla çok uygun görülmemektedir. Bu sebeple uluslararası otomobil yol testlerinde ve simulasyonlarında en fazla kullanılan Şekil 5.15’de karakteristiği görülen ECE-15 standardı üzerinde yapılacak simulasyon, PI kontrolör ile PI-FLC arasında performans karşılaştırması yapmamıza olanak sağlayacaktır. ECE-15, 0-120 km/h

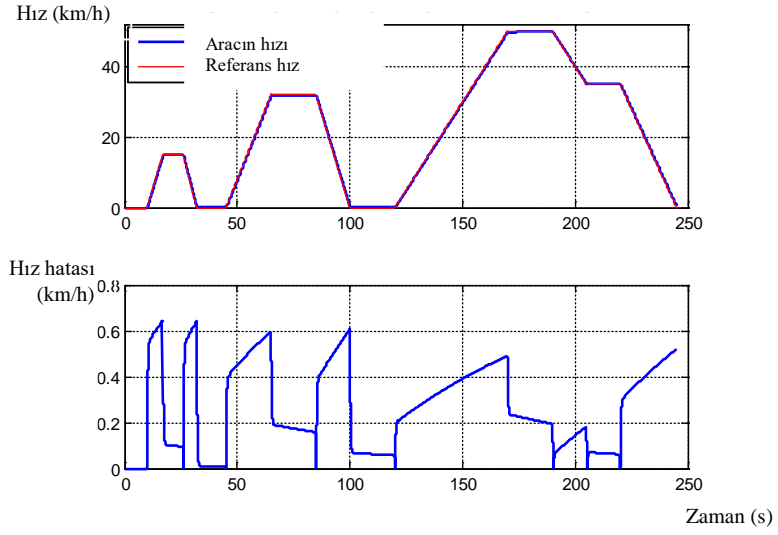
aralığında değişken hızlar ve eğimlerde test değişkenleri içeren, 7,7 km uzunluğunda, 575 saniye süren bir parkur olarak tanımlanmıştır [144].



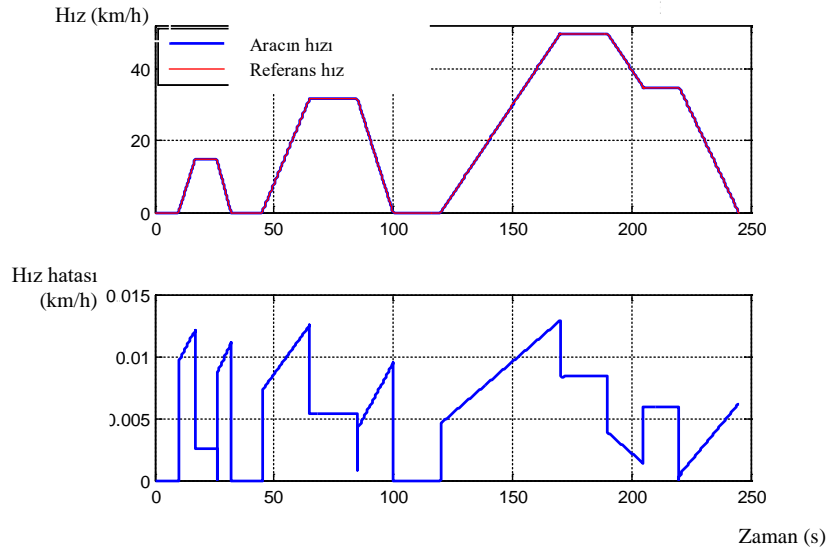
Şekil 5.15. ECE-15 sürüş test parkuru [144].

Daha önce de belirtildiği gibi Güneş arabasının maksimum hızı $V_m = 52$ km/h (14,44 m/s) olduğundan parkurun tamamını test etmek mümkün görülmemektedir. Bu sebeple maksimum hızın 50 km/h olduğu ilk 2000 metrelik bölümde yapılacak test de yeterli görülmektedir. Nitekim Şekil 5.16'da PI ve PI-FLC hata değerleri ve referans hızı takip performansları görülürken, Şekil 5.17'de de *SOC* durumu ve bataryadaki enerji miktarının değişim grafikleri görülmektedir. Enerji harcama oranları iki grafikte de aynı değerlerle karşılaşılmıştır. *SOC* değerleri %80'den %72'ye, bataryadaki enerji miktarı da 845 VAh'ten 752 Ah'değerlerine inmiştir.

Her iki yöntem arasında harcanan enerji miktarı açısından fark görülmemekle birlikte hata grafikleri incelendiğinde PI-FLC'ün hata değerlerinin çok küçük olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre simulasyon ve programlama aşamasında PI-FLC kullanılmaya devam edecektir.

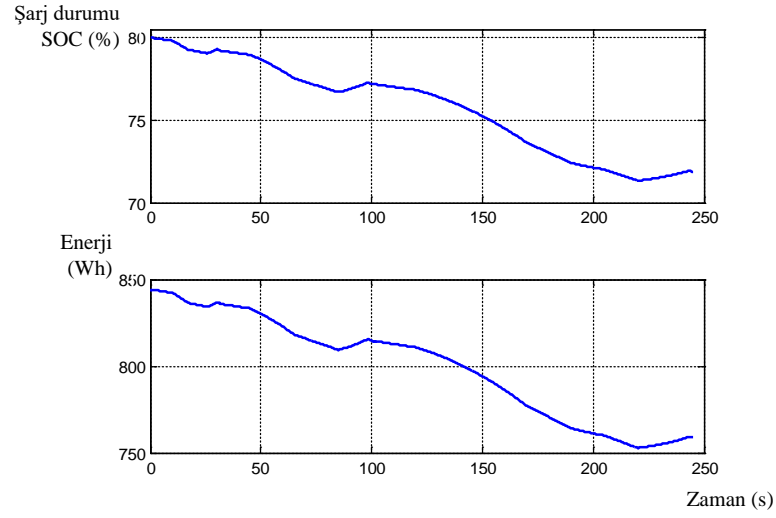


(a)

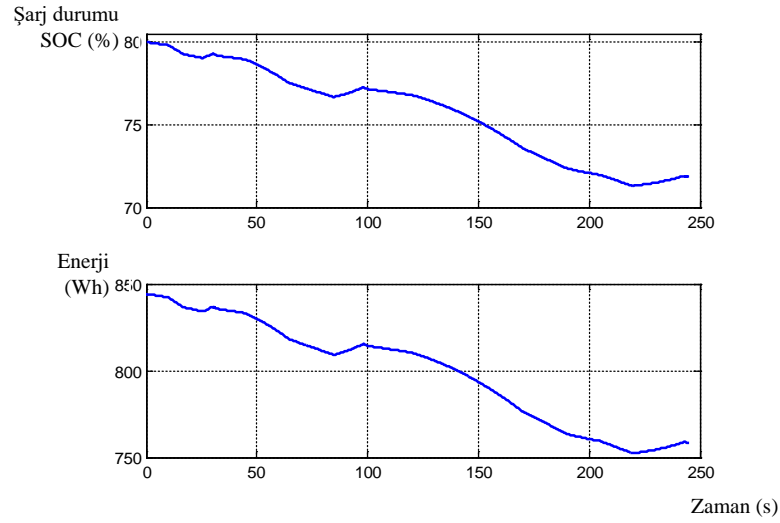


(b)

Şekil 5.16. ECE-15 parkuru üzerinde PI kontrolrünün ve PI-FLC'ün referans hız takip performansı ve hata grafikleri. a) PI kontrolrünün referans hız takip performansı ve hata grafiği, b) PI-FLC'ün referans hız takip performansı ve hata grafiği.



(a)



(b)

Şekil 5.17. ECE-15 parkuru üzerinde PI kontrolrünün ve PI-FLC'ün batarya SOC oranları ve bataryadaki enerjinin tüketim grafiği. a) PI kontrolrünün batarya SOC oranı ve bataryadaki enerjinin tüketim grafiği, b) PI-FLC'ün batarya SOC oranı ve bataryadaki enerjinin tüketim grafiği.

5.5.2. Maksimum Hız-Minimum Menzil Stratejisi

PI-FLC ile kontrol edilen sistemin referans hızını, daha önceki deney ve hesaplamalarda ulaştığımız düz yolda maksimum $V_m = 52$ km/h (14,44 m/sn) hız değerine sabitlediğimizde arabanın “maksimum hız – minimum PV enerjisi” ile ilgili sonuçlarına ulaşılacaktır.

Bu parkurda ilk 975 metrenin +% 2, ikinci 975 metrenin -% 2 eğime sahip olduğu ve bu tur döngüsünün bataryadaki enerji bitene kadar devam edeceği öngörülmektedir. Yokuş yukarı çıkışta arabanın 52 km/h hızı yakalamakta zorlanacağı tahmin edilmektedir.

Hesaplamalarda ilk hızlanma süresi olan 40 s. hariç, sabit hızda $F_{la} = 0$ olacaktır. Bu durumda açısal hız (5.6) ve (5.9) eşitliklerinden $\omega = 452$ rpm olarak hesaplanır.

Başlangıçta bataryadaki enerji miktarı 976,8 VAh olduğu bilinmektedir. Güneş panellerinin her 1 dakika için enerjiye ek katkısı 15,75 Wh olduğu hesaplanmıştır. Bu durumda batarya bitmeden önce ulaşılabilecek en uzak nokta, menzil (5.14) eşitliği ile elde edilebilir.

$$D = 14,44m/s \times t \quad (5.14)$$

(5.3), (5.4) ve (5.10) eşitliklerinden faydalanılarak elde edilen sonuçlar aşağıdaki bağıntıda yerlerine koyularak $\vec{v} = 52km/h$ ($14,44 m/s$) sabit hızda ne kadar yol alınabileceği bulunmuştur.

$$(\vec{F}_{rr} + \vec{F}_{hc} + \vec{F}_{ad}) \cdot \frac{D}{2} + (\vec{F}_{rr} - \vec{F}_{hc} + \vec{F}_{ad}) \cdot \frac{D}{2} = \quad (5.15)$$

$$(976,8 \cdot 3600) + (15,75 \cdot 60 \cdot t)$$

$$\vec{F}_{rr} = 226N \quad (5.16)$$

$$\vec{F}_{hc} = 53,36N \quad (5.17)$$

$$\vec{F}_{ad} = 17,88N \quad (5.18)$$

değerleri (5.15) eşitliğinde yerine koyulursa

$$t = t_{mh} = 1896 \text{ s} \quad (5.19)$$

sonucuna ulaşılır.

Bu durumda maksimum hızla elde gidilecek yol, yani menzil (5.14) eşitliğinden,

$$D = D_{mh} = 14,44 \times (1896 - 40) = 26.801 \text{ m} \quad (5.20)$$

olacaktır. Bu da referans aldığımız Formula G yarışının toplam mesafesi (5.21)'de hesaplanmıştır. Buna göre Güneş arabası maksimum hızla yarışı bitirememektedir.

$$D_{yarış} = 20 \text{ tur} \times 1950 \text{ m} = 39.000 \text{ m} \quad (5.21)$$

Otomotiv mühendisliği laboratuvarında yapılan deneylerde ise menzil ortalama

$$D = D'_{mh} = 22.101 \text{ m} \quad (5.22)$$

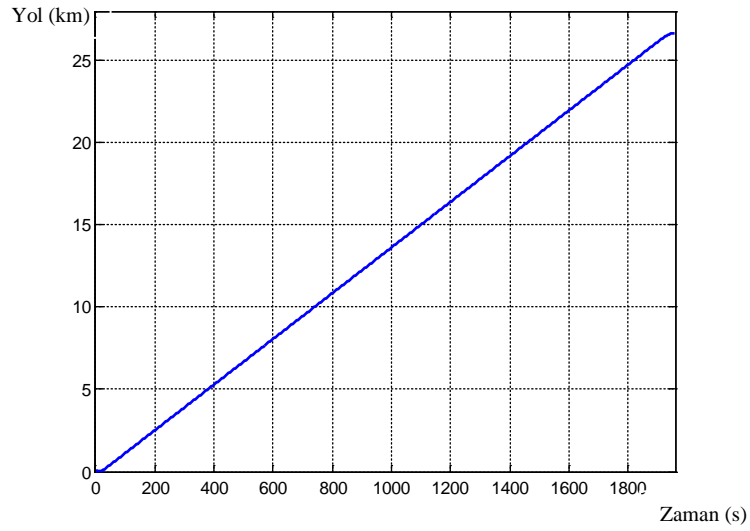
olarak tespit edilmiştir.

Laboratuvar ortamında araba sabit bir platform üzerinde test edildiğinden PV paneller üzerinde soğutucu bir hava akımı oluşmamaktadır. Bu yol farkının PV panellerdeki üretilen enerjinin nispeten daha az olması ile açıklanabilir.

Yapılan hesaplamalar ve deney sonuçlarının beraberinde MATLAB kodları ile programladığımız sistem modelinin menzil simülasyonu sonucu da Şekil 5.18'de paylaşılmıştır. Grafikten de anlaşıldığı üzere 1960. saniyede araç 26.601. metrede iken durmuştur.

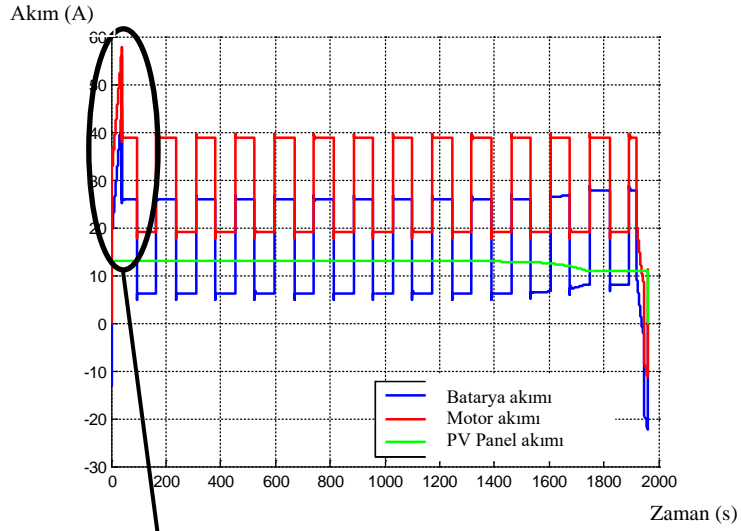
Pist uzunluğu 1950 metre olduğuna göre araba 13. Turu bitirmiş, 14. Tura devam ederken durmuştur. Bu durum sürüş boyunca PV panelden gelen akım I_{PV} , batarya çıkış akımı i ve elektrik motor akımı I_M 'yi gösteren Şekil 5.19(a)'daki döngü sayısından da anlaşılmaktadır. İlk döngüde aracın kalkış ve hızlanması dolayısıyla kırmızı ile çizilmiş motor akım değeri 58 A'e kadar yükselmektedir. Arabanın hızı

referans hız değeri olan 52 km/h'ye ulaşıncaya kadar kontrol sistemi akımı düşürerek ivmelenmeyi durdurmaktadır. Bu durumda yokuş yukarı devam eden parkurda arabanın hızını 52 km/h'de sabit tutmak için 38 A akım çekilmesi yeterli olmaktadır. Döngünün devamında kısa süre sonra parkurun yokuş yukarı kısmı biterek yokuş aşağı kısmına geçiş olması ile birlikte arabayı 52 km/h hızda sabit tutmak için motorun ihtiyaç duyduğu akım değeri 19 A'e kadar düşmektedir. Motor akım değerindeki konuma ve hıza göre ortaya çıkan bu değişimler Şekil 5.19(b)'de büyütülmüş olarak görülmektedir.

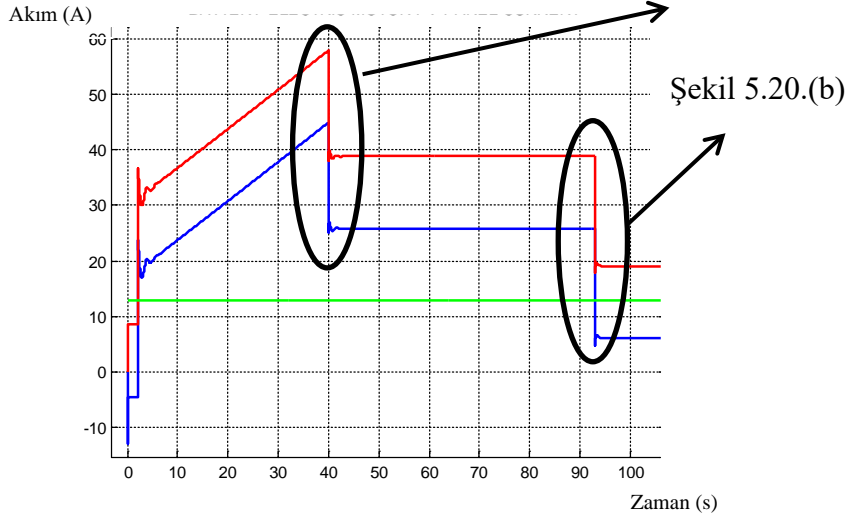


Şekil 5.18. Sabit maksimum hız 52 km/h ile ortaya çıkan yol grafiği.

PI-FLC kontrol performansını daha net görebilmek için hız ve ivmelenme değişim noktalarında motor giriş ve batarya çıkış akımlarının stabil hale gelme zamanlarını incelemek uygun olacaktır. Bu sebeple Şekil 5.19(b)'den aracın hızlanma sonrası maksimum hıza ulaşma anının biraz daha büyütülmüş halini Şekil 5.20(a)'da ve yokuş yukarı yoldan yokuş aşağı yöne dönüş anının büyütülmüş halini de Şekil 5.20(b)'de ele alabiliriz.



(a)

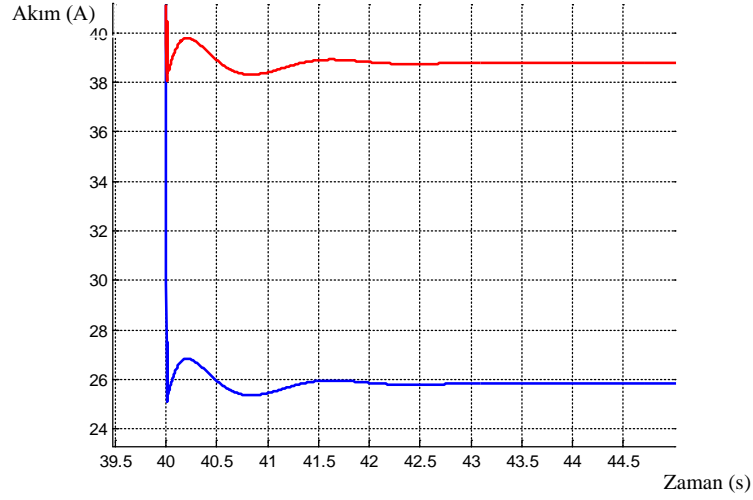


(b)

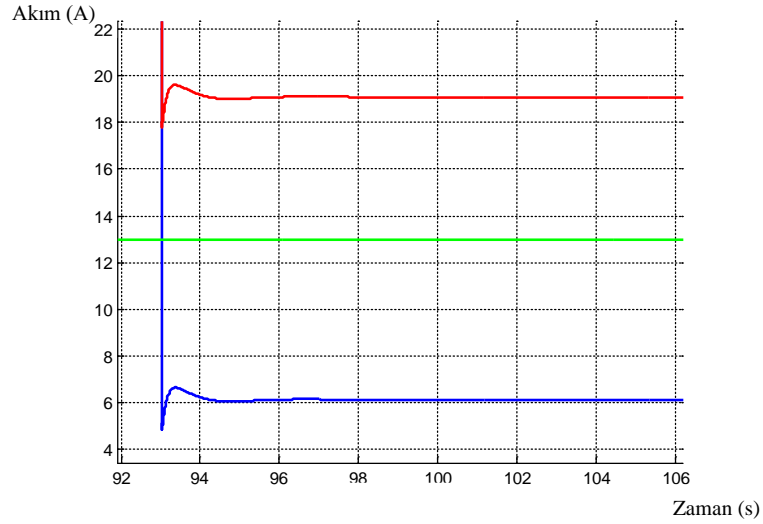
Şekil 5.19. PI-FLC kontrol ile 52 km/h sabit hızda; PV panel, batarya, motor akımlarını ve arabanın kalkışta hızlanma, maksimum hıza ulaşma anında, yokuşta ve inişte ise hızın sabitlenmesini gösterir grafikler. a) PI-FLC kontrol ile 52 km/h maksimum sabit hızda, PV panel, batarya çıkış ve motor giriş akımları, b) hızın kalkışta artışı, 52 km/h sabit maksimum hıza ulaşma anında, yokuşta ve inişte sabitlenmesi.

Şekil 5.20'de görüldüğü gibi 0,1 s içinde kontrol değerleri stabil hale gelmektedir. Şekil 5.19 ve Şekil 5.20'de PV panel, batarya çıkış ve motor giriş DC akımları arasındaki bağıntı da net olarak görülmektedir. Hızlanma ve yokuş yukarı konumlarda PV panellerden elde edilen akım tümüyle motora aktarılmakta, eksik kalan yaklaşık 26 A batarya grubundan sağlanmaktadır. Yokuş aşağı konumda ise

bataryadan talep edilen akım 6 A olmaktadır. Şekil 5.21(b)'de görülen batarya boşalma eğrisinde talep edilen akım değerinin yokuş aşağı ve yukarı farklılaşması görülmektedir.

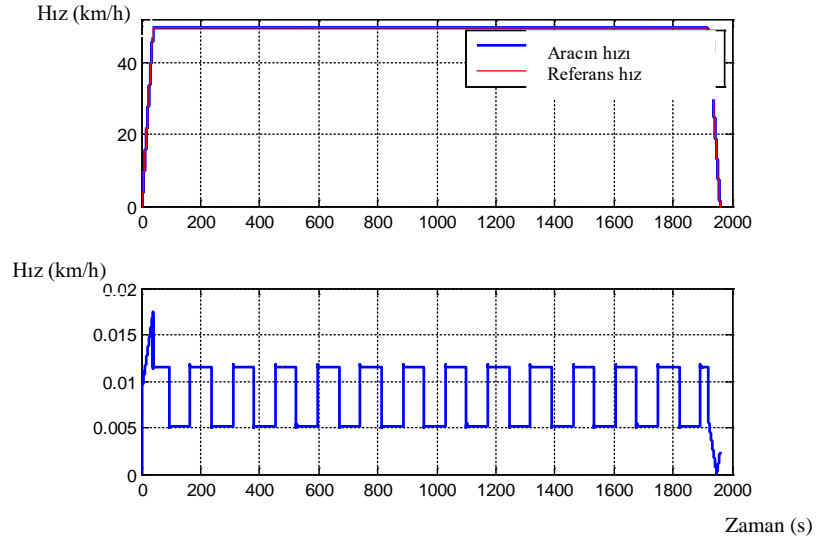


(a)

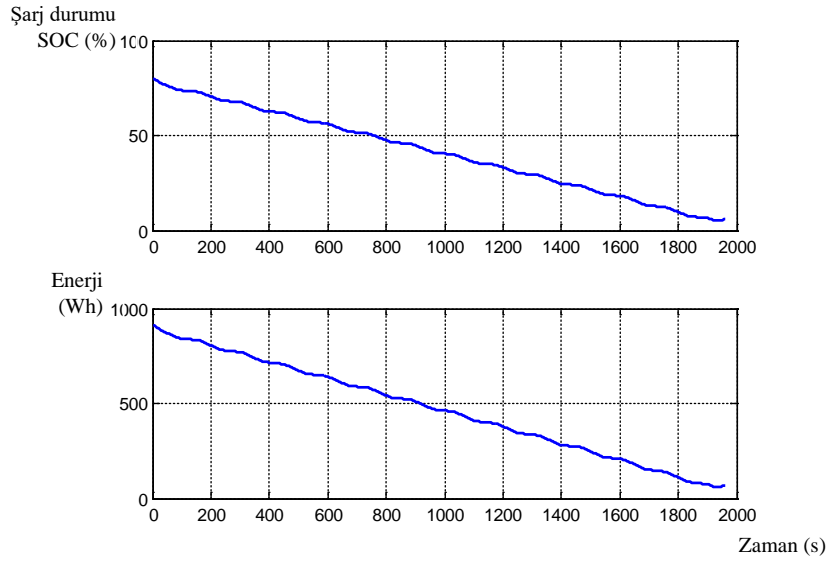


(b)

Şekil 5.20. Maksimum hıza (52 km/h) ulaşıldığı ve tepeye ulaşıldığı anda batarya, motor ve PV panel akımları. a) Maksimum referans hıza (52 km/h) ulaşıldığı andaki batarya ve motor akımları, b) Arabanın yokuşun tepe noktasına ulaştığı andaki batarya, motor ve PV panel akımları.



(a)



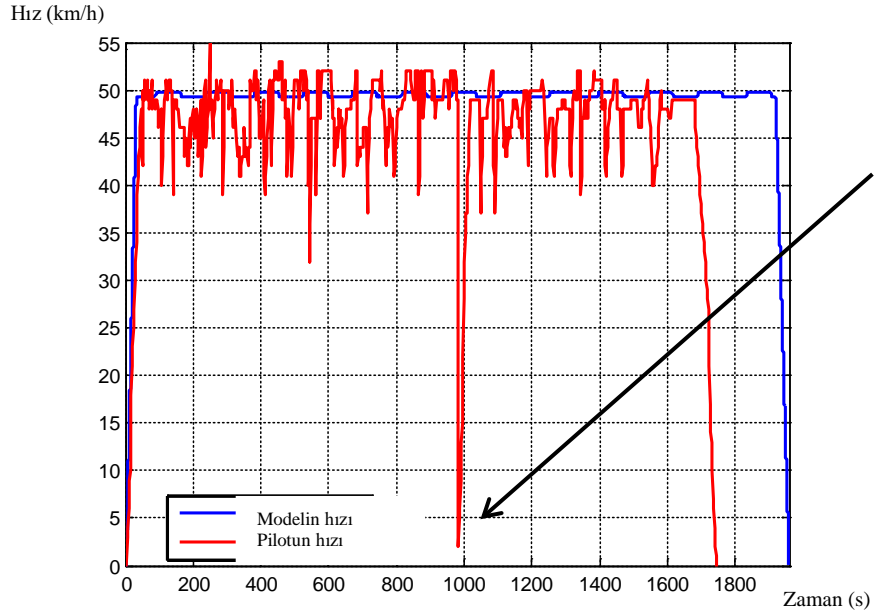
(b)

Şekil 5.21. Güneş arabasının PI-FLC ile hız kontrol performansı, hata grafiği, maksimum referans hızda bataryanın enerji tüketim değişimi ve SOC grafiği. a) Güneş arabasının PI-FLC ile hız kontrol performansı ve hata grafiği, (b) Maksimum referans hızda bataryanın enerji tüketim değişimi ve SOC grafiği.

2013 yılı Formula-G yarışları ön hazırlık aşamasında Güneş arabasının performansını test etmek ve aynı zamanda yukarıda yapılan hesaplamalar, deneyler ve simulasyonun gerçekliğini model alınan yol üzerinde kontrol etmek ve böylelikle tasarladığımız PI-FLC kontrol sisteminin güvenilirliğini de kanıtlayabilmek amacıyla

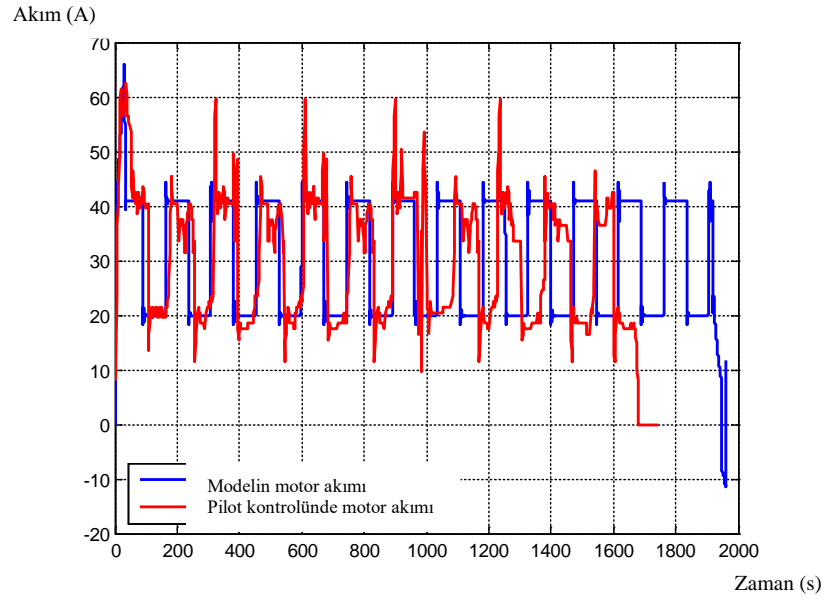
referans değerin maksimum 52 km/h olarak sabit belirlendiği, fakat hız kontrolünü pilotun yaptığı bir deney yarışı verileri Şekil 5.22’de görölmektedir.

Arabanın maksimum hız – minimum menzil simülasyonu 1960. saniyede araç 26.601. metrede duruş göstermektedir. Matematiksel hesaplamada ise 26801’inci metrede 1896 saniyede ulaşılacağını göstermektedir.

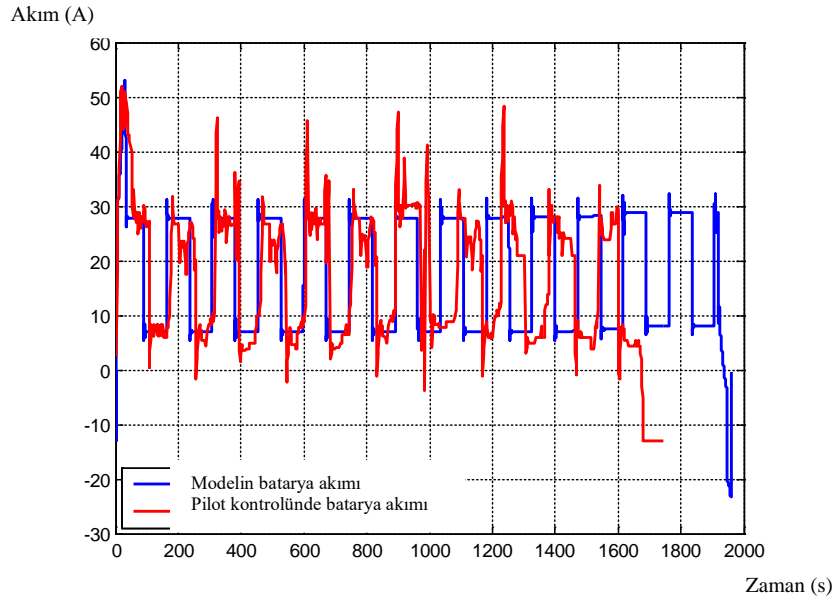


Şekil 5.22. MATLAB modeli ile yarış pisti hız kontrol sonuçlarının maksimum hız referansında (52 km/h) karşılaştırılması.

Mavi grafik MATLAB modelinin hız takibini göstermektedir. Kırmızı grafik ise pilotun göstergede kendisine yapılan yönlendirmeye göre belirlediği hız değerlerini göstermektedir. Grafikte en dikkat çekici nokta, pilotun heyecan ve diğer dış etkenler dolayısıyla hız değerini sayısız defa değiştirmiş olmasıdır. Hatta siyah okla da gösterilen 982. saniyede ufak bir kaza dolayısıyla duraklama ve tekrar hareket etme durumu ile de karşılaşılmıştır.



(a)



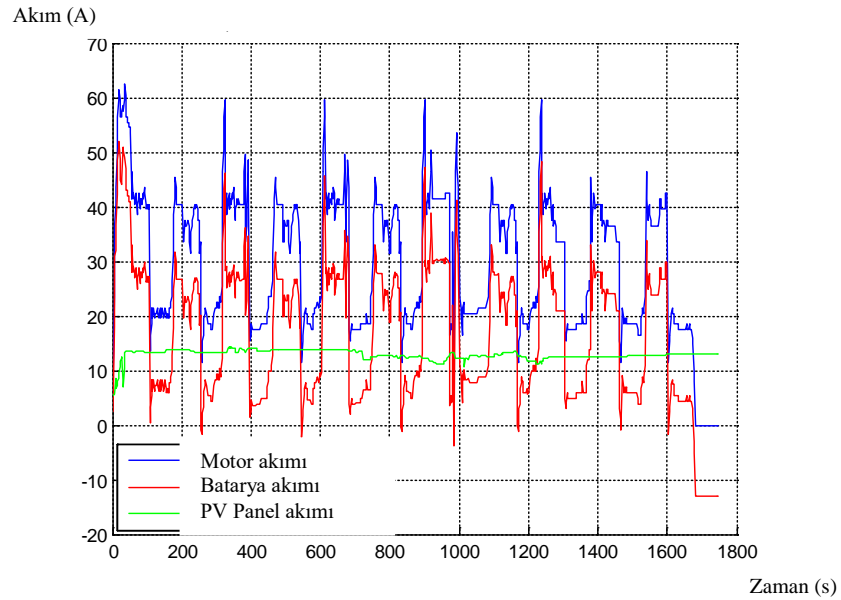
(b)

Şekil 5.23. MATLAB modeli ile yarış pisti verilerinin; maksimum hız referansında (52 km/h) elektrik motor DC akım giriş değeri ve batarya çıkış akım değeri karşılaştırılması. a) elektrik motor DC akım giriş değeri, b) batarya çıkış akım değeri maksimum hız referansında (52 km/h) karşılaştırılması.

Aracın negatif ve pozitif ivmelenmesi, referans hız değerinin hesabı ve göstergeye doğru aktarımı gibi sistem çıktıları algoritmada öngörüldüğü gibi gerçekleşmiştir.

Hesapta olmayan, pilotaj hatası ve ufak bir trafik kazası gibi dış etkilere rağmen elde edilen veriler sistemin doğru işlediğini göstermektedir. Nitekim Şekil 5.23'te görülen motorun giriş ve batarya grubunun çıkış DC akımlarının simulasyon ve gerçek durum karşılaştırması kabul edilebilir bir uyumu göstermektedir.

Şekil 5.24'te ise gerçek yarış pisti üzerinde Güneş arabasının PV panellerinden elde ettiği enerji, bataryadan harcadığı enerji ve motorun harcadığı enerji değişim grafiği görülmektedir.



Şekil 5.24. Yarış pistinde maksimum hız referansında (52 km/h) PV-panel ve batarya çıkış DC akımları, motor giriş DC akımı karşılaştırması.

5.5.3. Belirlenen Menzil – Sabit Hız Stratejisi (Optimum Sabit Hız)

Arabanın teknik özellikleri itibarıyla bataryada mevcut olan ve yarış boyunca Güneş panellerinden elde edeceği enerji ile maksimum hızda yarışı tamamlayamayacağı anlaşıldığından, yarışı tamamlayacağı hız değerini ve yarışı bitirebileceği süreyi hesaplamak mümkündür. Güneş panellerinden dakikada 15,75 Wh enerji elde edilebildiğinden, bataryalarda enerji kalmaz ise yarışın bitirilebilmesi için maksimum hız değeri kısıtlı tüketimin dakikada 15,75 Wh'ten daha düşük olması şeklinde tanımlanabilir. Bu durumda (5.8) eşitliğinde P_{te} değeri yerine koyularak, kritik hız değeri V_k hesaplanabilir.

$$V_k = 3,17m/s = 11,4km/h \quad (5.23)$$

Güneş arabası V_k sabit hızı ile yola devam ederse, bataryadaki enerjiye ihtiyaç duymadan sadece PV panellerden elde edilen enerji ile yoluna devam edebilecektir. Modellediğimiz Güneş arabasında dolu bataryalarımız ek enerji sağladığından ve Güneş arabasının sürekli hareketi yerine ulaşmasını istediğimiz 39 km uzaktaki menzile kadar gitmesini yeterli gördüğümüzden hesaplanacak hız değeri V_k 'dan daha büyük bir değer olacaktır.

(5.15) – (5.18) eşitlikleri kullanılarak bir önceki stratejideki hesap tekrar edilirken, (5.15) eşitliğindeki D (yol) değeri yerine (5.18) eşitliğindeki $D_{yarış}$ değeri koyularak karşı bataryalar dolu başlandığından, elde edilecek hız değeri V_k değerinden daha yüksek olacaktır. Hesaplamalar neticesinde

$$t_{mm} = 4759 s \quad (5.24)$$

sonra 39 km'lik yarış bitirilmiş olacaktır. Buradan sabit hız değeri V_{mm} ;

$$V_{mm} = 29,5m/s \quad (5.25)$$

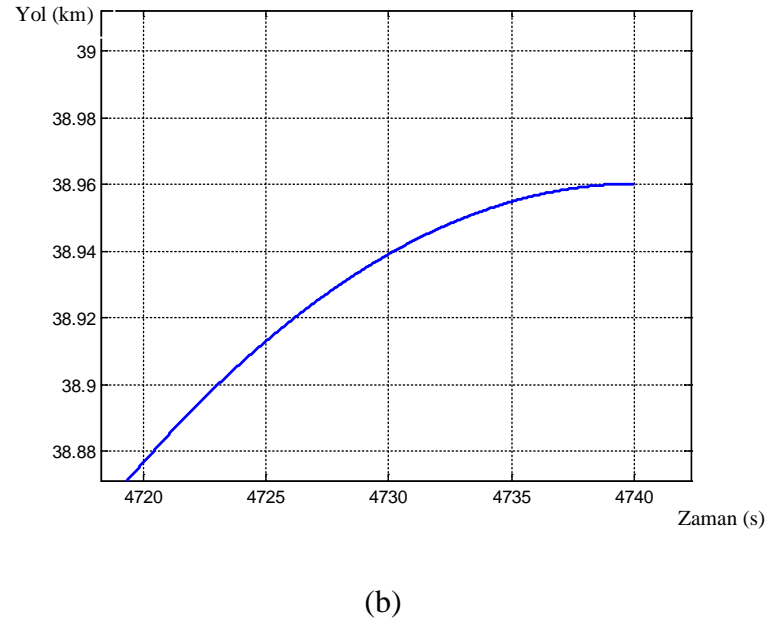
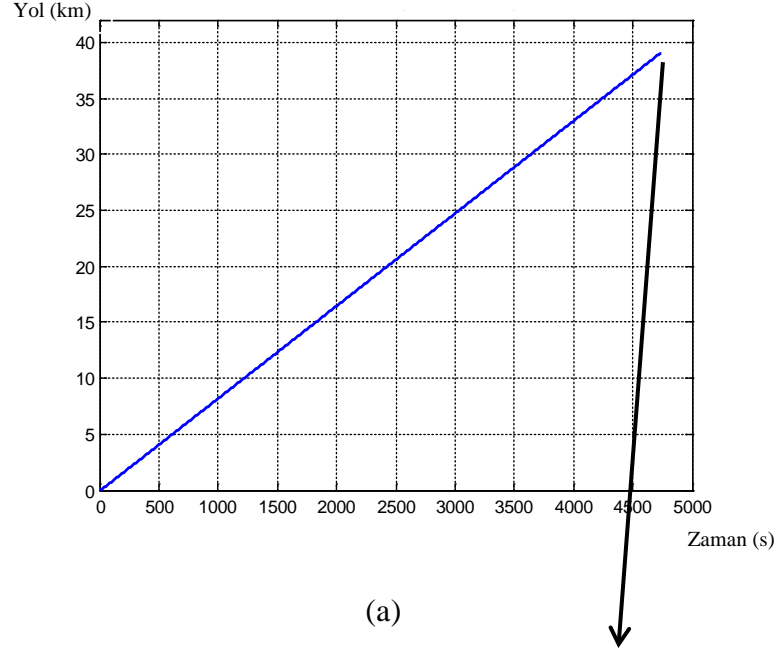
olarak hesaplanmaktadır.

V_{mm} sabit hızının, hazırladığımız simülasyon ve kontrol yazılımına uygulamasının nasıl bir sonuç ortaya çıkaracağını değerlendirmek, tasarımın güvenilirliğini test için uygun bir yöntemdir. V_{mm} hızını MATLAB modeline uygulayarak elde edilecek simülasyonda arabanın $D_{yarış}$ değeri olan 39 km menzili tamamlaması beklenmelidir.

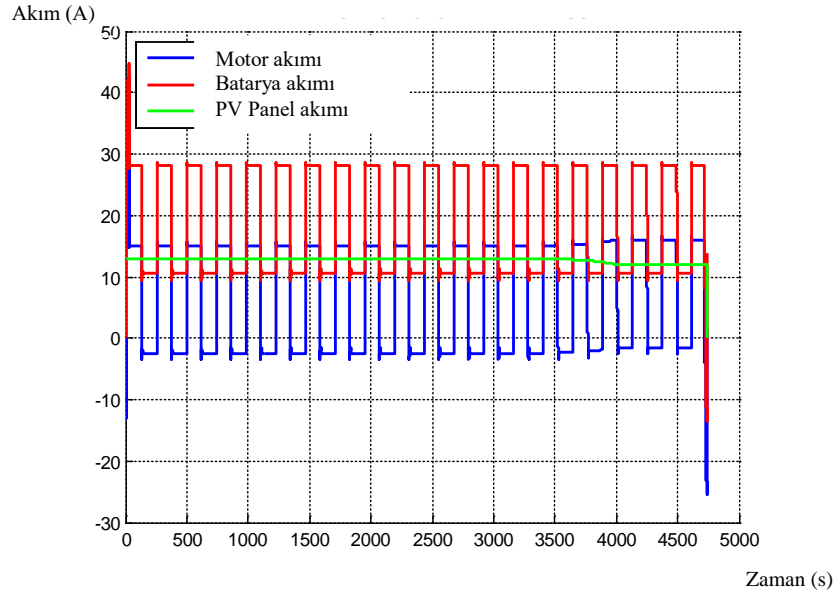
Şekil 5.25'de görülen *zaman – menzil* grafikleri, arabanın 4740. saniyede 38.960'ıncı metrede durduğunu göstermektedir.

V_{mm} hızında $D_{yarış}$ menziline ulaşma süresi t_{mm} , maksimum hız –minimum menzil stratejisindeki t_{mh} ile karşılaştırıldığında oldukça uzundur. Dolayısıyla PV

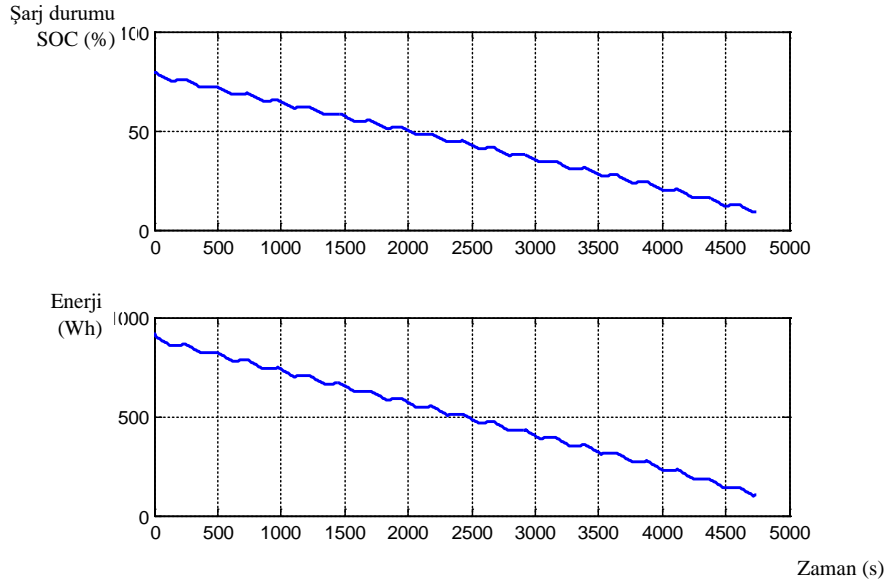
panellerden elde edilen enerji miktarı da daha fazla olacaktır. Bu sebeple gidilen mesafe de daha uzun olmaktadır.



Şekil 5.25. Belirlenen menzil –sabit hız stratejisine göre, 39 km menzil referansı için arabanın durma zamanı, ulaşılan menzil grafiği ve durma zamanı ile menzilin detay görünüm grafikleri. a) Belirlenen menzil –sabit hız stratejisine göre, 39 km menzil referansı için arabanın durma zamanı ve ulaşılan menzil grafiği, b) durma zamanı ve menzilin detay görünümü.



(a)



(b)

Şekil 5.26. Belirlenen menzil –sabit hız stratejisi ile 39 km menzilde; PV panel, batarya, motor DC akım, SOC ve enerji tüketim değişim grafikleri. a) PV panel, batarya ve motor DC akım grafiği, b) bataryanın enerji tüketim değişimi ve SOC grafiği.

Belirlenen menzil –sabit hız stratejisinin MATLAB simülasyonuna göre DC motor, PV panel ve batarya akım değerlerinin kalkış, durma ve yarış pistindeki yokuş ve iniş göre değişimi Şekil 5.26(a) daki grafikte görülmektedir. Arabanın motorunun

çektığı akımın referans hız değerine 40 s içinde ulaşması için 45 A olduğu ve hızın stabil hale gelmesi ile yokuş yukarı tırmanma sırasında 28 A'e düştüğü grafikten anlaşılmaktadır. Yokuş aşağı gidişlerde ise motorun ihtiyaç duyduğu akım 2 A olduğundan, *maksimum hız – minimum menzil* stratejisine göre farklı bir durumla karşılaşılmaktadır. *Belirlenen menzil –sabit hız* stratejisinde yokuş aşağı gidişlerde PV panelde üretilen enerjinin büyük kısmı bataryayı şarj etmekte kullanılmaktadır.

5.5.4. Belirlenen Menzil – Değişken Hız Stratejisi (Çözüm Önerisi)

Bundan önce ele alınan stratejilerde sabit bir hız değeri belirlenmesi ele alınmıştır. Güneş arabasına etkileyen kuvvetleri incelediğimizde (5.5) eşitliğinde de görüldüğü gibi ivmelenme ve hız değişimlerinin enerji ve verim kaybına sebep olduğu görülmektedir. Bu sebeple enerji yönetim stratejileri minimum hız değişimi hedefleyerek tasarlanmaktadır.

Yine bundan önce ele alınan stratejilerde yapılan hesaplama sonuçları, laboratuvar deneyleri ve yarış pisti uygulamaları ile tasarladığımız kontrol sistemi verileri ve simulasyon sonuçları karşılaştırılarak doğruluğu ve güvenilirliği test edilmiştir.

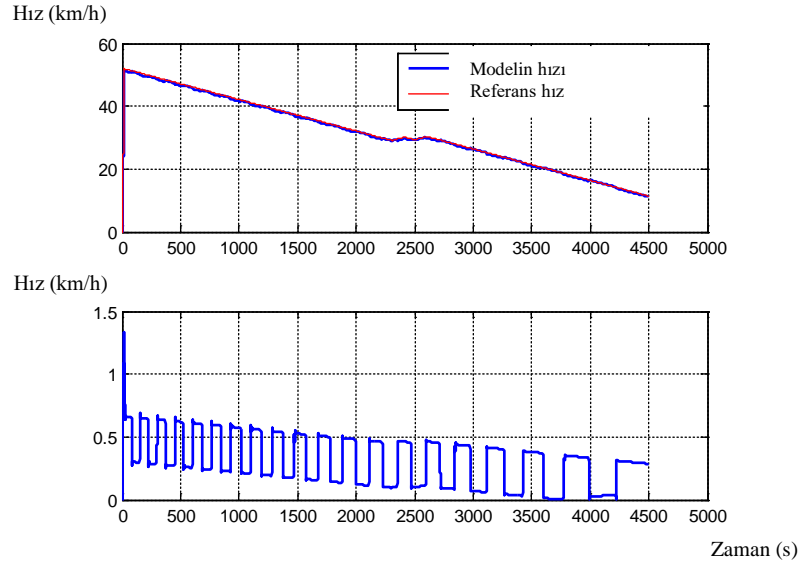
Bu aşamada bir başka strateji olarak PV panelden gelen değişken akım değerleri, bataryanın şarj seviyesi, referans menzilin katedilen miktarı ve kalan miktarı gibi dinamik veriler analiz edilerek, referans hız değerinin de dinamik olarak değiştirilmesi önerilecektir.

Sonuçları Şekil 5.27'de görülen simulasyonda yarışın başlama anından itibaren arabanın maksimum hız seviyesine çıkması önerilmekte, ardından dinamik gelen verilerin analizi sonucu menzile kalan mesafe, bu mesafeyi katetmek için gerekli enerji hesaplanmaktadır. Bu enerjinin; t anında arabanın bataryasında bulunan enerji ve $V(t)$ anlık hızı ile yola devam edildiğinde PV panelden yolun geri kalan süresi içinde elde edilecek enerji miktarının toplamında fazla olması halinde arabaya hızlanma, aynı olması halinde sabit hızda gitme ve az olması halinde de yavaşlama komutu verilmektedir. Böylelikle her bir t anında ve $D(t)$ konumundan menzile

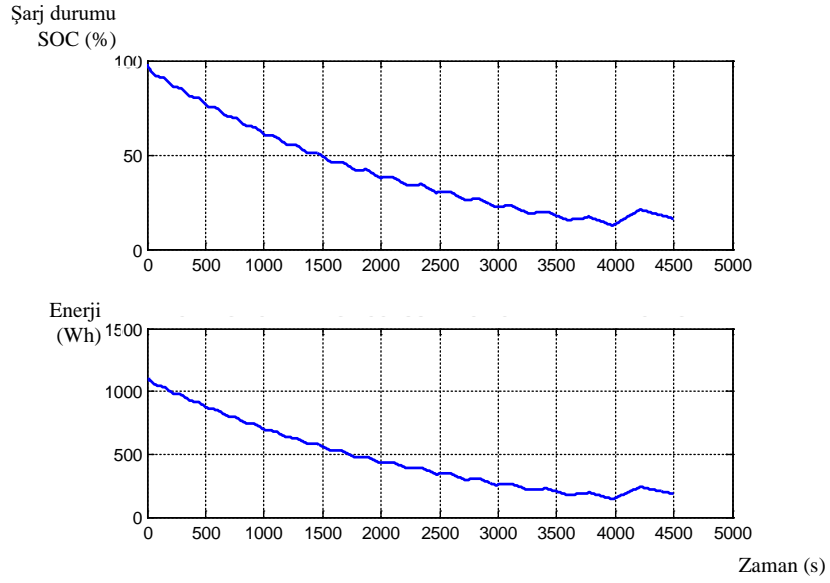
ulaşmak için gereken en yüksek hız hesaplanarak kontrol sistemi tarafından o hıza uygun PWM sinyali ile motorun sürülmesi sağlanmaktadır.

Sisteme beklenen menzil olarak $D_{\text{yariş}}$ 'ın tanımlanmasının ardından arabanın tanımlı maksimum hızı olan 52 km/h'ye çıkışı 40 s içinde gerçekleştirilmektedir. Şekil 5.27(a)'da görüldüğü gibi belirli bir yavaşlama trendi içerisinde Şekil 5.29'da görüldüğü gibi 4498 saniyede menzile ulaşılmaktadır. Bu değer belirlenen menzil – sabit hız stratejisinin menzile ulaşma süresi t_{mm} 'den daha kısa bir süredir. Hız değerinin sabit olmaması dolayısıyla *konum – zaman* grafiği, diğer stratejilerin *konum - zaman* grafiği gibi değildir. Dolayısıyla dinamik hız tasarımı ile menzile en hızlı ulaşım stratejisi elde edilmiştir. Şekil 5.27(b)'de görülen batarya enerji değişimi ve SOC oranı belirli bir hız değerinin altında seyredilirken aynı turda yokuş yukarı harcanan enerjiden daha fazlasını yokuş aşağı kazanmaktadır. Bu durumda aracın tekrar hızlanması sağlanmaktadır.

Şekil 5.28'de PV panel ve batarya çıkış akımları ile motor giriş akımı görülmektedir. Aracın ilk hızlanmasında motor tarafından çekilen akım 81 A'e ulaşırken, hız yokuş yukarı referans maksimum hız değerine ulaştığında 42 A'e düşmektedir. İlk turda yokuş aşağı kısımda ise 20 A'e düşmektedir. Diğer turlarda ise arabanın en uygun (optimum) hız değerini yakalamak için değişken bir seyir izleyen motor akımı hızın azaldığı son turlarda rejeneratif etkisi ile negatif değerler almaya başlamaktadır.

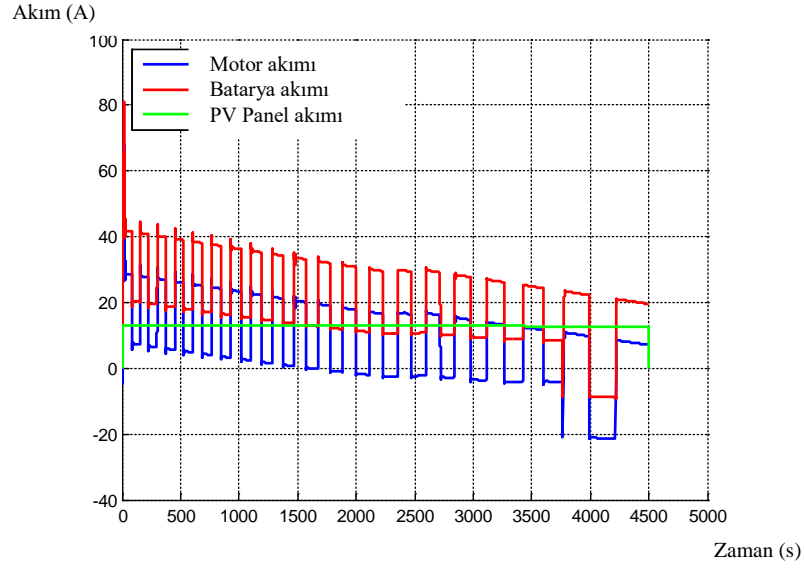


(a)

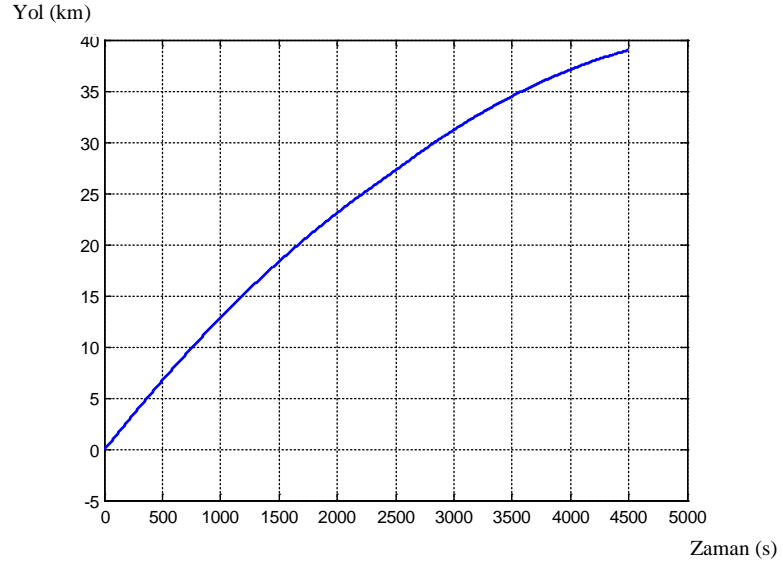


(b)

Şekil 5.27. Belirlenen menzil - değişken hız stratejisine göre 39 km menzil referansında kontrol sistemi tarafından belirlenen hızlanma ve bataryanın enerji tüketim değişimi, SOC grafiği. a) kontrol sistemi tarafından belirlenen hızlanma grafiği, (b) bataryanın enerji tüketim değişimi ve SOC grafiği.



Şekil 5.28. *Belirlenen menzil - değişken hız* stratejisine göre 39 km menzil referansında PV panel, batarya ve motor DC akım grafiği.



Şekil 5.29. *Belirlenen menzil - değişken hız* stratejisine göre 39 km menzil referansında arabanın durma zamanı ve ulaşılan menzil grafiği.

5.6. SONUÇ

Bu çalışmada YILDIZ Güneş arabası üzerinde kullanılan enerji yönetim sisteminin tasarım ve uygulama süreci anlatılmıştır. PV panel, batarya grubu, motor gibi arabanın temel ekipmanının ve arabanın kullanımı planlanan ortam ve şartların

matematiksel modeli tasarlanmış, arabadan ihtiyaç duyulan verilerin toplanarak analiz edilmesi için bir devre oluşturulmuştur.

Arabanın enerji tüketim değerleri, maksimum hızı gibi hesaplamalar yapılmış ve Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Laboratuvarı'nda da yapılan hesapların kontrolünü sağlayacak deneyler ve ölçümler yapılmıştır.

En uygun ve hata oranı düşük kontrol yönteminin tercih edilmesi için PI kontrolör ile PI-FL kontrol sistemi arasında ECE-15 yol standardı üzerinde karşılaştırma yapılmış ve PI-FLC tercih edilmiştir.

Arabanın ve kontrol sisteminin muhtelif senaryolar ve stratejiler için MATLAB'de simülasyonu yapılmış, simülasyon sonuçları Formula-G yarışlarında yarış pistinde de test edilmiştir.

Arabanın belirlenen bir menzile en hızlı şekilde ulaşması için muhtemel senaryolar tartışılmış, simülasyonları ve deneyleri karşılaştırılmış ve araç üzerinden toplanan verilerin kontrol sisteminde değerlendirilmesi ile dinamik hız değişimi öneren bir yarış stratejisi sunulmuştur.

Her bir t anında ve $D(t)$ konumunda kontrol sistemi tarafından bir $V(t)$ hızı önerilmesini ve otomatik olarak DC motor sürücü devreye PWM sinyal olarak uygulanmasını içeren stratejinin simülasyonu gerçekleştirilmiş ve en hızlı menzile ulaşan yöntem olduğu gösterilmiştir.

Bu çalışma bilimsel makale haline getirilmiş ve Advances in Electrical and Computer Engineering isimli SCI dergide Kasım 2015 sayısında yayınlanmıştır.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

20. yüzyılda, ulaşımımızı hızlandırmak amacıyla hayatımıza giren motorlu taşıtların, günümüzde büyük çoğunluğu fosil yakıtlarla çalışmaktadır. Yapılan araştırmalar 100 yıl içerisinde fosil yakıt rezervlerinin tamamen tükeneceğini göstermektedir. Ayrıca başta kalabalık şehirler olmak üzere tüm dünyada hava kirliliği ve çevre problemlerine sebep olan fosil yakıtların kullanıcılara güvenli arzı ile ilgili de ciddi zorluklar yaşanmaktadır. Bu durumda motorlu taşıtlar için yeni, temiz, ucuz ve ulaşılması kolay alternatif enerji kaynaklarına ihtiyaç bulunmaktadır.

Son yıllarda elektrikli araçlar hususunda ciddi araştırmalar yapılmakta, hatta ticari olarak üretilip, kullanıcılar sunulan bir çok elektrikli araç modeli bulunmaktadır. Fakat batarya kapasitelerinin sınırlı olması ve batarya maliyetlerinin yüksek olması, bazı gelişmiş ülkelerin büyük şehirleri haricinde şarj istasyonlarının henüz kolay ulaşılır olmaması, elektrikli araçların kullanımını ve yaygınlaşmasını zorlaştırmaktadır. Batarya ve menzil problemlerine çözüm üretmek amacıyla Güneş enerjisinin motorlu araçlarda kullanımının sadece Güneş arabası yarışlarında değil, tüm kullanımlarda yaygınlaştırılması için çalışmalar yapılmalıdır.

Güneş; temiz, ucuz, yaygın ve fotovoltaik etki prensibine göre elektrik üretiminde kullanımı kolay bir enerji kaynağıdır. Fakat PV panellerin sadece gün ışığında elektrik üretebiliyor olması, hatta bulutlu havalarda dahi üretimin çok düşük seviyeye inmesi, Solar Elektrikli Araçların (SEV) kullanımı ile ilgili önemli bir problem olarak görülmektedir. Bu problemi ortadan kaldırmak için düşük seviyede ışımalarda da elektrik üretimi yapabilen PV panel tasarımları, elektrikli araçların enerji ihtiyacını düşürecek güvenilir, kompakt ve küçük araçların üretimi çözüm olarak görülebilir. Enerjinin verimli kullanımını sağlayacak yazılım ve donanım çözümleri de üretilebilir.

Bu çalışmamızda Güneş arabasında, PV panellerden elde edilen ve bataryada bulunan enerjinin verimli kullanımını sağlayacak bir enerji yönetim sistemi yazılım ve donanımı tasarlanmıştır. Güneş arabaları birçok ekipmandan oluşan kapsamlı büyük ve pahalı bir araştırma geliştirme faaliyeti sonucunda tasarlanan ve üretilen elektromekanik sistemlerdir. Yeni bir araba tasarımının çalışmamızın bütçesini aşacağından test, deney uygulamalarımızın Karabük Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği tarafından tasarlanan araç üzerinde yapılması uygun görülmüştür.

Konu ile ilgili literatür çalışmasından elde edilen veriler yardımıyla test sürecinde kullanılacak Güneş arabası analiz edilmiştir. Geliştirme ve değişim gerektiren ekipman tercihleri üzerinde çalışma yapılmış ve ihtiyaç duyulan malzemeler BAP projesinden alınan destek ve YILDIZ Güneş Arabası Projesi sponsorlarından temin edilen bütçelerle elde edilmiştir.

Bataryada bulunan enerji miktarını ve PV panelin birim zamanda üreteceği enerji miktarını bilirsek, ulaşmak istediğimiz noktaya gitmek için uygun bir hız değeri seçtiğimizde, yol boyunca PV panellerin ürettiği ve bataryalarda bulunan enerji miktarı bizi menzilimize ulaştıracaktır. Enerji yönetimi sisteminin doğru algoritma ile kurulabilmesi sürecinde araba üzerindeki PV panellerden elde edilecek enerjinin miktarının doğru kestirimini yapmamız önemlidir. Doğru hız değerinden daha yavaş bir hızda yolculuğa devam edilirse araç menzile geç ulaşacak ve ulaştığı anda bataryasında ihtiyacından fazla enerjiyi depolamış olacaktır. Doğru hız değerinden daha hızlı bir yolculuk ise bataryadaki enerjinin erken tükenmesine sebep olacağından menzile ulaşmadan yolda kalınacaktır. Doğru hız değeri ile yolculuk sonunda menzile ulaşmakla birlikte bataryadaki enerji de tüketilmiş olacaktır. Bu sebeple arabanın hareketi sırasında PV panel yüzeyinde oluşacak hava akımının üretilen enerjiye etkisi, Belçika Leuven Üniversitesi laboratuvarları ve rüzgar tüneline yapılan deneyler ile COMSOL Multiphysics 4.3 yazılımında hazırlanan katı modelin simülasyonu ile karşılaştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre; 54 km/h (15 m/s) hızla esen rüzgar ya da diğer deyişle 15 m/s hızla giden araba üzerindeki PV panel yüzeyindeki hava akımı sebebiyle panel

sıcaklığı 67 °C'den, 33 °C'ye düşmektedir. Bu sıcaklık farkı her °C değişiminde verimin % 0,38 değiştiği PV paneller için çok büyük değişiklik ifade etmektedir.

Bu hesaplama ve kontrol sistemini içeren bir enerji yönetim sistemi tasarlarken arabanın temel parçaları olan PV panel, batarya grubu, motorun matematiksel verilerinden faydalanarak MATLAB'de simulasyon ve yazılım tasarımı gerçekleştirilmiştir. Aracın düz, yokuş yukarı ve aşağı yollarda harcadığı enerji hesaplanmıştır. Hesaplamaların doğrulaması Karabük Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında farklı yol senaryolarına göre testlerinin yapılması ile sağlanmıştır.

Aracın anlık olarak durumunu kontrol edebilmek için panel ve devrelerin sıcaklığı; panel, MPPT, batarya akım ve gerilim değerleri ölçülerek ana kontrol devresine iletilmektedir. Böylece tüm ölçümler bir merkezde toplanarak değerlendirilebilmektedirler. Daha sonra bu değerlendirmeler bir yazılımla matematiksel hesaplamalar sonucunda pilotun göstergelerle bilgilendirilmesi sağlanmaktadır

Fotovoltaik panellerden elde edilecek enerjinin minimum kayıpla harekete dönüştürülmesi ve bataryada bulunan ve elde edilen enerjinin tümü kullanılmış bir şekilde menzil dikkate alınarak optimum zaman sınırları içerisinde sonuca ulaşmak hedeflenmiştir.

Arabanın belirlenen bir menzile en hızlı şekilde ulaşması için muhtemel senaryolar tartışılmış, simulasyonları ve deneyleri karşılaştırılmış ve araç üzerinden toplanan verilerin kontrol sisteminde değerlendirilmesi ile dinamik hız değişimi öneren bir yarış stratejisi sunulmuştur. Her bir t anında ve $D(t)$ konumunda kontrol sistemi tarafından bir $V(t)$ hızı önerilmesini ve otomatik olarak DC motor sürücü devreye PWM sinyal olarak uygulanmasını içeren stratejinin simulasyonu gerçekleştirilmiş ve en hızlı menzile ulaşan yöntem olduğu gösterilmiştir.

Tasarlanan enerji yönetim sisteminden alınan verilere göre optimum enerji – yol hesaplamalarının tamamlanarak yapılan karşılaştırma simulasyonları neticesinde

aracın hız kontrolünün PI-FLC ile otomatik yapılması uygun görülmüştür. Böylece araç, pilotun sadece direksiyonu kullandığı yarı otomatik bir kullanım imkanı sunmaktadır. Laboratuvar ortamında ve Formula G yarış pistinde aracın enerji yönetim sisteminin test edilmesi ve uygulama sonuçlarının analizi gerçekleştirilerek tezde sunulmuştur.

39 km olarak belirlenen menzile, daha önce uygulanan “sabit ortalama hız” stratejisi ile 4740 saniyede ulaşılabilirken, bu çalışmada önerdiğimiz “değişken optimum hız” stratejisi 4498 saniyede varılmıştır. Bu strateji değişikliği ile % 5,2 daha hızlı bir yarış stratejisi oluşturulmuştur. Daha verimli bir sonuç için, veri toplama sisteminin zenginleştirilmesi ve yüksek verimli malzeme ile yeniden tasarlanmış bir Güneş arabası üzerinde çalışmanın yürütülmesi gerekmektedir.

Bu çalışmanın ardından yapılması uygun olabilecek ilerlemeler aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

1. Veri toplama sisteminin daha da zenginleştirileceği, verimi yüksek malzeme ve aerodinamik dizayna sahip bir elektrikli araçta daha ileri düzeyli bir kazanç yöntemi düşünülebilir.
2. Mikro ölçekli MPPT tasarımı ve uygulaması ile PV panellerin veriminin artırılması üzerine çalışma yapılabilir.
3. Şehir içi kullanımlarda bir ya da iki kişilik, geleneksel trafik sistemine alternatif olacak bir SEV tasarımı yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Energy Market Regulatory Authority, “Turkish energy market: an investor's guide 2012”, *EMRA Report*, Ankara, 8-14 (2012).
2. Güler, Ç. ve Çobanoğlu, Z., “Enerji ve Çevre”, *T.C. Sağlık Bakanlığı*, Ankara, 12 (1997).
3. Gençoğlu, M. T. ve Cebeci, M., “Türkiye'nin enerji kaynakları arasında güneş enerjisinin yeri ve önemi”, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, (1997).
4. Akpınar, A., Kömürcü, M. İ. ve Filiz, M. H., “Türkiye'nin enerji kaynakları ve çevre, sürdürülebilir kalkınma ve temiz enerji kaynakları”, *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'2008*, İstanbul, 12-24 (2008).
5. Cotter, J., Roche, D. and Storey, J., “Speed of Light 2, The Centre for Photovoltaic Engineering” *University of New South Wales Press*, Wales, 5-102 (1999).
6. İnternet: Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, “Türkiye’de Güneş Enerjisi” <http://www.eie.gov.tr> (2010).
7. İnternet: T.C. Enerji Bakanlığı, “Türkiye’de Yenilenebilir Enerji”, <http://www.enerji.gov.tr> (2014).
8. İnternet: Thusi, B., “World Energy Resources, 2013 Survey”, *Dünya Enerji Konseyi (World Energy Council)*, İngiltere, Galler, 3-18 (2013).
9. Coulter, T., “Japan Has More Car Chargers Than Gas Stations”, *Bloomberg Business*, February, (2015).
10. İnternet: International Energy Agency, “IEA Energy Atlas-2014”, *IEA Report*, <http://www.iea.org>, (2015).
11. Mohamed, A., Salehi, V., Ma, T. and Mohammed, O. A., “Real-time energy management algorithm for plug-in hybrid electric vehicle charging parks involving sustainable energy” *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 5 (2): 577-586 (2014).
12. Üstün, Ö., Yılmaz, M., Tüysüz, A., Titiz, F. K., Şahin, A. ve Gökçe, C., “Güneş enerjili yarış aracının elektrik tasarım ölçütlerinin, yol performans simülasyonunun ve enerji yönetim sisteminin geliştirilmesi”, *ELECO 2007*, Bursa, (2007).

13. Arsie, I., Rizzo, G., Sorrentino, M., Petrone, G., Spagnuolo, G., Cacciato, M. and Consoli, A., “Hybrid vehicles and solar energy: a possible marriage?”, *International Conference on Automotive Technology, ICAT06*, İstanbul, (2006).
14. Abusleme, A., Dixon, J. and Soto, D. “Improved performance of a battery powered electric car, using photovoltaic cells”, *IEEE Power Tech Conference*, 3: 1-6 (2003).
15. Pudney, P. and Howlett, P., “Critical speed control of a solar car”, *Optimization and Engineering, Kluwer Academic Publishers*, Hollanda, 3: 97-102 (2002).
16. Başbakanlık, “Birleşmiş Milletler Genel Kurulunun 10/12/1918 Tarihli ve 217 (111) Sayılı Kararıyla Kabul Edilen İlişik “İnsan hakları evrensel beyannamesinin resmî gazete ile yayınlanması hakkında karar”, *Resmi Gazete*, 7217: 16199-16201 (1949).
17. İnternet: İBB Ulaşım Daire Başkanlığı, Ulaşım Planlama Müdürlüğü, “İstanbul Metropolitan Alanı Kentsel Ulaşım Ana Planı”, http://www.ibb.gov.tr/tr-TR/kurumsal/Birimler/ulasimPlanlama/Documents/%C4%B0UAP_Ana_Raporu.pdf (2014).
18. Wisniewski, D. T., “Solar flair: an open-road challenge” *IEEE potentials, January-February 2010*, 6-10 (2010).
19. Ma, X., Sun, Y., Wu, J. and Liu, S., “The Research on the algorithm of maximum power point tracking in photovoltaic array of solar car”, *Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC '09*, 1379-1382 (2009).
20. Fenercioğlu, A., “Güneş enerjili bir araç için PV panel tasarımı”, *Ulusal Elektrik –Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, ELECO'2010*, Bursa, 37-40, (2010).
21. Baykal, T., “Güneş enerjili yarış aracının mekanik ve elektronik sisteminin geliştirilmesi”, *TMMOB Makina Mühendisleri Odası 12. Otomotiv ve Üretim Teknolojileri Sempozyumu*, İstanbul, (2011).
22. Lovatt, H. C., Ramsden, V. S. and Mecrow, B. C., “Design of an in-wheel motor for a solar-powered electric vehicle”, *IEE 1997 Symposium*, 234-238 (1997).
23. King, “Photovoltaic applications for electric vehicles”, *21. IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 2: 21–25 (1990).
24. Yıldırım, A., “ARİba projesi kapsamında 4 bölge FDAM sürücüsü tasarımı”, *ELECO 2007*, Bursa (2007).
25. Tüysüz, A. “Design of a CAN based data acquisition and communication system for ARİba project”, *ELECO 2007*, Bursa, (2007).

26. Ménard, L., Astier, S., Fontès, G., Blaquiere, J. M., Turpin, C. and Gailly, F., “Modeling of an hybrid solar car with a lithium-ion battery”, *Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, 1-6 (2010).
27. Wu, B., Zhuo, F., Long, F., Gu, W., Qing, Y. and Liu, Y., “A management strategy for solar panel –battery –super capacitor hybrid energy system in solar car”, *8th International Conference on Power Electronics – (ECCE Asia)*, G. Kore, 1682-1687 (2011).
28. Serin O., “Güneş arabası yarış simülasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 9-89 (2011).
29. Wright G. S., “Optimal energy management for solar car race”, *IEEE 39th Midwest symposium on Circuits and Systems 1996*, Midwest, (3): 1011-1014 (1996).
30. Poortmans, J., Baert, K., Govaerts, J., Mertens, R., Catthoor, F., Germain, M., Driesen, J. and Das, J., “Linking nanotechnology to gigawatts: creating building blocks for smart PV modules”, *25th EUPVSEC 6-10 September 2010*, Valencia, 3715-3721 (2010).
31. Üstün, Ö., Yılmaz, M., Tüysüz, A., Titiz, F. K., Şahin, A. and Gökçe, C., “Energy management method for solar race car design and application”, *IEEE International Electric Machines and Drives Conference, 2009, IEMDC '09*, 804-811 (2009).
32. Sorrentino, M., Arsie, I., Di Martino, R. and Rizzo, G., “On the use of genetic algorithm to optimize the on-board energy management of a hybrid solar vehicle”, *Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP*, 65(1): 133-143 (2010).
33. Thacher, E. F., “Solar car primer”, *Nova Science Publishers*, New York, 3-267 (2005).
34. Larminie, J. and Lowry, J., “Electric Vehicle Technology Explained”, *John Wiley&Sons*, West Sussex, İngiltere, 67-73 (2003).
35. Krein, P., “IEEE transportation electrification community”, <http://electricvehicle.ieee.org> (2015).
36. Dubey, V., “Preliminary validation and comparison of solar cell thermal model”, Yüksek Lisans Tezi, *Amity Institute of Nanotechnology*, Uttar Presh, 45-48 (2011).
37. Smiley, E. W. and Stamenic, L., “Optimization on building integrated photovoltaic systems”, *Conference Record of the Twenty-Ninth IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 1501-1503 (2002).

38. Govaerts, J., Baert, K., Poortmans, J., Borgers, T. and Ruythooren, W., “An overview of module fabrication technologies for back-contact solar cells”, *Photovoltaics International*, 112-116 (2012).
39. Menderes, B., “Güneş enerjisi ile çalışan araba dizaynı ve imalatı”, Yüksek Lisans Tezi, *GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 12-68 (2005).
40. Tamai, G., “The Leading Edge: Aerodynamic Design of Ultra-streamlines Land Vehicles”, **Bentley Publishers**, Cambridge, ABD, 1-42 (1999).
41. Demir, B. ve Yıldız, N. M., “Formula-G güneş arabaları yarışı için güneş enerjili bir aracın mekanik tasarımı ve üretimi”, *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED) 2009*, 3: 31-42 (2009).
42. Qian, J. and Jie, S., “Aerodynamics analysis on solar car body based on FLUENT”, *2012 World Automation Congress (WAC)*, 1-4 (2012).
43. Li, Y., Kaewpuang, R., Wang, P., Niyato, D. and Han, Z., “An energy efficient solution: integrating plug-in hybrid electric vehicle in smart grid with renewable energy”, *The 1st IEEE INFOCOM Workshop on Communications and Control for Sustainable Energy Systems: Green Networking and Smart Grids*, 73-78 (2012).
44. King, R. J., “Recent solar car technology developments including australian world solar challenge results”, *22. IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 629-634 (1991).
45. Carroll, D. R., “The Winning solar car: a design guide for solar race car teams”, *SAE Press*, 4-235 (2003).
46. Kofkee, W., “The design and construction of a solar electric commuter car”, *22. IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 712-716 (1991).
47. Auttawaitkul, Y., Pungsiri, B., Chammongthai, K. and Okuda, M., “A method of appropriate electrical array reconfiguration management for photovoltaic powered car”, *IEEE Asia-Pacific Conference APCCAS 1998*, 201-204 (1998).
48. Spagnuolo, G., Petrone, G., Lehman, B., Ramos Paja, C. A., Ye Z. and Orozco Gutierrez, M. L. “Control of photovoltaic arrays: dynamical reconfiguration for fighting mismatched conditions and meeting load requests”, *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 9 (1): 62-76 (2015).
49. Glunz, S. W., Dicker, J., Esterle, M., Hermle, M., Isenberg, J., Kamerewerd, F. J., Knobloch, J., Kray, D., Leimenstoll, A., Lutz, F., Osswald, D., Preu, R., Rein, S., Schaffer, E., Schetter, C., Schmidhuber, H., Schmidt, H., Steuder, M., Vorgrimler, C. and Willeke, G., “High-efficiency silicon solar cells for low-illumination applications”, *IEEE Photovoltaic Specialists Conference, IEEE 2002*, 450-453 (2002).

50. Nogita, K., Kennedy, J., Amsler, J., Greaves, M., Tuesley, C. and Nishimura, T., "Lead-free solders for solar and electric vehicles", *ICEP 2014*, 10-13 (2014).
51. Ding, W. and Cheng, X., "Research on efficiency optimization of solar photovoltaic systems" *IEEE 2011 Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE)*, 2389-2392 (2011).
52. Vorobiev, R. and Vorobiev, Y., "Automatic sun tracking solar electric systems for applications on transport", *7th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE 2010)*, Mexico, 66-70 (2010).
53. Moinuddin, A., Hoque, M. J., Sarker, J. C. and Zia, A., "Amorphous silicon (a-Si:H) thin film based omnidirectional control solar powered vehicle", *14th International Conference on Modelling and Simulation*, Bangladesh, 287-292 (2012).
54. Vineeth, V., Vincent, V. and Kamalakkannan, S., "Advanced hybrid system for solar car", *2013 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC)*, 21-27 (2013).
55. Connors J., "On the subject of solar vehicles and the benefits of the technology", *IEEE International Conference on Clean Electrical Power, ICCEP '07*, 700-705 (2007).
56. Daniels, M. W. and Kumar, P. R., "Racing with the sun: the optimal use of the solar powered automobile", *IEEE Control Systems June 1999*, 12-22 (1999).
57. Tok, G. ve Aydın, V., "Güneş arabaları", *TÜBİTAK Bilim ve Teknik Kasım 2003*, 40-41 (2003).
58. (Editor), "Game-changing british car in solar challenge", *Engineering & Technology*, 8 (7): 22 (2013).
59. Alnunu, N., Said, S., Al-Sharman, S., Al-Ibrahimi, A., AbdulAziz, A., Al Hellabi, M., Touati, F., Ghani, S., Mahdi, E. and Benammar, M., "Design of Qatar University's first solar car for Shell Eco-Marathon Competition", *2012 First International Conference on Renewable Energies and Vehicular Technology*, Qatar, 49-54 (2012).
60. Kang, S., Ko, J., Choi, J., Jang, M., Mun, J., Lee, J. and Chung, D. H., "A novel MPPT control of photovoltaic system using FLC algorithm", *11th International Conference on Control, Automation and Systems Oct. 26-29, 2011 in KINTEX*, Gyeonggi-do, Korea, 434-439 (2011).
61. Haghdadi, N., Farivar, G., Iman-Eini, H. and Miragha, F., "An analytic approach for estimation of maximum power point in solar cars", *20th IEEE Iranian Conference on Electrical Engineering, (ICEE2012)*, Mayıs 15-17, Tahrán, İran, 575-580 (2012).

62. Suita Y. and Tadakuma S., “Driving performances of solar energy powered vehicle with novel maximum power tracking control for a solar car rally”, *IEEE International Conference on Industrial Technology, ICIT 2006*, 1218-1223 (2006).
63. Hua, C. and Shen, C., “Comparative study of peak power tracking techniques for solar storage system”, *Applied Power Electronics Conference and Exposition*, Anaheim, 679-685 (1998).
64. Mangu, R., Prayaga, K., Nadimpally, B. and Nicaise, S., “Design, development and optimization of highly efficient solar cars: Gato del Sol I-IV”, *2010 IEEE Green Technologies Conference*, Teksas, 1-6 (2010).
65. Wu, B., Zhuo, F., Long, F., Gu, W., Qing, Y. and Liu, Y., “A management strategy for solar panel-battery-super capacitor hybrid energy system in solar car”, *8th International Conference on Power Electronics - ECCE Asia*, The Shilla Jeju, Korea, 1682-1687 (2011).
66. Karadeniz, M., Sezenoğlu, C. ve Balıkçı, A., “Elektrikli araç batarya sistemleri için aktif hücre dengeleme sistemi”, *ELECO '2012 Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, 29 Kasım - 01 Aralık 2012*, Bursa, 450-454 (2012).
67. Akın, B., “ Elektrikli arabalarda kullanılan Li-ion Akülerin tek fazdan hızlı ve verimli şarjı için güç faktörü düzeltmeli yükselticilerin karşılaştırması”, *EMO Bilimsel Dergi*, Aralık 2012, 3(4): 87-93 (2012).
68. Zarkesh, A., Thiruchelvam, V. and Seeralan, A., “Alternative energy efficient system for charging electric cars”, *4th International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation*, 394-296 (2013).
69. Barrit, D. and Salih-Alj, Y., “Ralos car: solar powered car with a hybrid backup system”, *2012 IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications (ISIEA2012)*, Eylül 23-26, 2012, Bandung, Indonesia, 224-229 (2012).
70. Roque, A., Sousa, D. M. and Casimiro, C., “Camping car with self power generation”, *Power Engineering, Energy and Electrical Drives, POWERENG'09*, 196-201 (2009).
71. Lovatt, H. C., Ramsden, V. S. and Mecrow, B. C., “Design of an in-wheel motor for a solar-powered electric vehicle”, *IEEE Proceedings - Electric Power Applications*, 145 (5): 402-408 (1998).
72. Ramsden, V. S., Mecrow, B. C., Lovatt, H. C. and Gwan, P., “A high efficiency in-wheel drive motor for a solar-powered vehicle”, *IEEE Colloquium Electrical Machine Design for All-Electric and Hybrid-Electric Vehicles*, 196: 3/1-3/6 (1999).

73. Patterson, P. A., Collocott, S. J., Dunlop, J. B., Gwan, P. B., Hunter, G. P., Kalan, B. A. and Lovatt, H. C., "High-torque brushless DC motor for a valve actuator", *8th International Conference Electrical Machines and Systems, ICEMS 2005*, 1, 153-158 (2005).
74. Lovatt, H. C., Elton, D., Cahill, L., Duc H. H., Stumpf, A., Kulkarni, A., Kapoor, A., Ektesabi, M., Mazumder, H., Dittmar, T. and White, G., "Design procedure for low cost, low mass, direct drive, in-wheel motor drive-trains for electric and hybrid vehicles", *37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society - IECON 2011*, 4558-4562 (2011).
75. Nguyen, D., Dutta, R., Fletcher, J., Rahman, F. and Lovatt, H. C., "Performance analysis of a new concentratedwinding interior permanent magnet synchronous machine under field oriented control", *2014 International Power Electronics Conference (IPEC-Hiroshima 2014 - ECCE-ASIA)*, 2679-2685 (2014).
76. Al Zaher R., de Groot, S., Polinder, H. and Wieringa, P., "Comparison of an axial flux and a radial flux permanent magnet motor for solar race cars", *XIX International Conference on Electrical Machines - ICEM 2010*, Rome, (2010).
77. Cambier C. S., "Brushless motors and controllers designed for GM Sunrace", *IEEE AES Magazine*, August 1990, 13-15 (1990).
78. Nicolic M. and Zimmermann H., "Photovoltaic energy harvesting for hybrid/electric vehicles", *9th International Multi-conference on Systems*, 1-7 (2012).
79. Hart, D. W., "DC-DC converters", Power Electronics, 1st ed., *McGraw-Hill*, New York, 211-220 (2011).
80. Park, S., Cha, G., Jung, Y. and Won, C., "Design and application for PV generation system using a soft-switching boost converter with SARC", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 57 (2): 515-522 (2010).
81. Joshi R. and Deshmukh, A. P., "Vector control: a new control technique for latest automotive applications (EV)", *First International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology*, 911-916 (2008).
82. Mills, A. and Stumpges, E., "The American solar challenge 2012", *IEEE Potentials*, Mart 2013, 10-16 (2013).
83. Başoğlu, M. E., Şahin, T., Baştürk, G., Önuömlü, Ö., Oral, Y. ve Çakır, B., "Güneş arabalarının elektrik ve elektronik sisteminin tasarım kriterleri", *Nuclear&Renewable Energy Resources Conference with International Participation 28-29 Eylül 2009*, Ankara, Türkiye, 240-243 (2009).
84. Van Baar, I., el-Bakkali, Z., and van der Schrier, E., "Building a GUI for Nuna's mission control: how to reverse engineer an application for a world leading solar car", *Omniscryptum GmbH & Company Kg.*, 65-69 (2014).

85. İnternet: İstanbul Teknik Üniversitesi Güneş Arabası Ekibi, “Arıba Arabaları”, <http://www.itugae.com/ariba-arabalari> (2015).
86. Yesil, E., Öno1, A.Ö. and İcke, A., “Strategy optimization of a solar car for a long-distance race using big bang – big crunch optimization”, *14th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics, CINTI 2013*, Budapeşte, Macaristan, 521-526 (2013).
87. Mocking, C., “Optimal design and strategy for SolUTra”, Yüksek Lisans Tezi, *University of Twente*, Twente, Hollanda, (2006).
88. Arsie, I., Di Domenico, A., Marotta, M., Pianese, C., Rizzo, G. and Sorrentino, M., “A parametric study of the design variables for a hybrid electric car with solar cells”, *2005 METIME Conference*, University of Galati, İtalya, (2005).
89. Hilliard, A. and Jamieson, G. A., “Ecological interface design for solar car strategy: from state equations to visual relations”, *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, ISIC 2007*, 139-144 (2007).
90. McCarthy, L., Pieper, J., Rues, A., and Wu, C.H., “Performance monitoring in UMR’s solar car”, *IEEE Instrumentation and Measurement Magazine*, Eylül 2000, 19-23, (2000).
91. Young, W.R., Jr., “Tracking electric vehicles with GPS”, *Conference Record Southcon’96*, 285-289 (1996).
92. Taha, Z., Passarella, R., How, H. X., Sah, J. M., Ahmad, N., Ghazilla, R. A. R. and Yap, H. J., “Application of data acquisition and telemetry system into a solar vehicle”, *Second International Conference on Computer Engineering and Applications*, 96-100 (2010).
93. Pino, E. J., Arias, D. E., Aqueveque, P., Melin, P. and Curtis, D. W., “Wireless pilot monitoring system for extreme race conditions”, *34th Annual International IEEE EMBS Conference*, San Diego, California, ABD, 5014-5017 (2012).
94. Hock, G. C., “Development of wireless controller area network using low cost and low power consumption ARM microcontroller for solar car application”, *2011 IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering*, 244-248 (2011).
95. Menasce, D., Grobler, M. and Rensburg, P. J., “High power electrical systems design for a solar car”, *IEEE Conference Publications, AFRICON 2013*, 1-5 (2013).
96. Bowie, E. C., “Photovoltaics for hybrid automobiles”, *3rd World Conference on Pholovoltaic Energy Conversion*, 11-18 Mayıs, Osaka, Japonya, 2827-2832 (2003).

97. Sorrentino, M., Arsie, I., Di Martino R. and Rizzo, G., “On the use of genetic algorithm to optimize the on-board energy management of a hybrid solar vehicle”, *Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP*, 65 (1): 133-143 (2009).
98. Fabbri, G., Carta, A., Boccaletti, C., Cardoso, A. J. M. and Mascioli, F. M. F., “Simulation and design of a photovoltaic roof for automotive applications”, *IEEE International Industrial Electronics Symposium (ISIE’2012)*, 1726-1731 (2012).
99. Howarth, A. and Poultney, L., “Debate: solar powered cars”, *IEEE Engineering & Technology, February 2014*, 26-27 (2014).
100. Rizzo G., “Automotive applications of solar energy”, *2005 METIME Conference*, University of Galati, (2005).
101. Ma, T. and Mohammed, O., “Plug-in vehicles car park photovoltaic farm construction for cost and emission reductions”, *2013 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, 5179-5184 (2013).
102. Abdel Dayema, A. M., “Set-up and performance investigation of an innovative solar vehicle”, *Journal Of Renewable and Sustainable Energy*, 4: 033109 (2012).
103. Wamborikar, Y. S. and Sinha, A., “Solar powered vehicle”, *World Congress on Engineering and Computer Science Vol II, WCECS 2010*, San Francisco, ABD, (2010).
104. Rattankumar, V. and Gopinath, N. P., “Solar powered car using brushless DC hub motor with advanced PIC microcontoller”, *International Conference Emerging Trends in Electrical Engineering and Energy Management (ICETEEEM)*, 422-423 (2012).
105. Pudney, P., “Optimal energy management for solar-powered cars”, Doktora Tezi, *University of South Australia*, 1-41 (2000).
106. Vural, B., “Elektrikli taşıtlarda enerji yönetim stratejilerinin, güç dönüştürücülerinin ve bağlantı topolojilerinin performans ve verimlilik üzerine etkisi”, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 51-53 (2010).
107. Yusof, Y., “Design and analysis of the solar car body”, Yüksek Lisans Tezi, *Universiti Malaysia Pahang*, Pahang, 1-8 (2010).
108. Demirdağ, S., “Gerilim düşüren dönüştürücü tabanlı mikrodenetleyici destekli bağımsız güneş enerji sistemi kontrol kartı tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-6 (2007).

109. Demir Ö., “DA hub motorun monokristal güneş panelleriyle çalıştırılması ve sistem performansının belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 1-85 (2009).
110. Alagöz, T., “Elektrikli araçlarda faydalı frenleme sistemi tasarımı ve gerçekleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-8 (2013).
111. Özden, B. Ş., “Modeling and optimization of hybrid electric vehicles”, Doktora Tezi, *Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2013).
112. Upson, S., “Across the outback on photon alone”, *IEEE Journals & Magazines, IEEE Spectrum*, 45 (2): 50-60 (2008).
113. Özer S., “Motorlu araçlarda ısıl işlemler”, *International Iron & Steel Symposium, 02-04 April 2012*, Karabük, 293-298 (2012).
114. Watt M., “PV applications in Australia”, *25th IEEE PVSC, 13-17 May 1996*, Washington, D.C., 19-24 (1996).
115. İnternet: Piquet, K., “Formula-E: lifestyle”, <http://www.fiaformulae.com> (2015).
116. Gökdağ, M., Güneşer, M. T. and Erdil, E., "A simple lamination unit to manufacture small scale modules", *International Conference on Solar Energy for World Peace*, İstanbul, 17-19 (2013).
117. Gökdağ, M., Güneşer, M. T. and Erdil, E., "Solar panel production for charging mobile phones in Karabuk University Renewable Energy Engineering Research and Applications Center", *Academic Platform Journal of Engineering and Science, APJES*, 1 (3): 56-59 (2013).
118. Güneşer, M. T., Govaerts, J., Van der Heide, A., Dewallef, S., Borgers, T. and Poortmans, J., "Soldering MWT solar cells into solar modules", *EUPVSEC2014*, Amsterdam, (2014).
119. Güneşer M. T., Erdil E., Cernat C. and Öztürk T., “Improving the energy management of a solar electric vehicle”, *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 15 (4), 53-62 (2015).
120. Varınca K. B. ve Gönüllü T., “Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma”, *I. Ulusal Güneş Ve Hidrojen Enerjisi Kongresi (UGHEK’2006)*, Eskişehir, (2006).
121. Maycock P. D. and Stirewalt E. N., “A Guide to the Photovoltaic Revolution”, *Rodale Press*, USA, 19-40 (1981).
122. İnternet: National Renewable Energy Laboratory (NREL), “Solar Spectra: Standard Air Mass Zero”, <http://www.nrel.gov/rredc/> (2015).

123. Gökdağ M. and Güneşer M. T., "A method to obtain daily total solar insolation (kWh/m^2) from daily total output current (Ah) of a PV array", *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 30 (2): 1437-1442 (2013).
124. Gülbahar L., "Türkiye'nin yenilenebilir enerji politikaları", *GENSED Aralık 2010*, İstanbul, (2010).
125. Şahin M. E. ve Okumuş H. İ., "Güneş pili modülünün Matlab/Simulink ile modellenmesi ve simülasyonu", *EMO Bilimsel Dergi*, Cilt 3 (5): 17-25, (2013).
126. İnternet: "Datasheet of A300 Solarcell", www.solarpower.com (2013).
127. Pryor, R. W., "Multiphysics modelling using Comsol", *Jones and Bartlett Publishers*, Sudbury, Massachusetts, USA, 1-25 (2011).
128. İnternet: "Karabük Solar Radyasyon Verileri", <http://yemmer.karabuk.edu.tr/lab> (2013).
129. İnternet: "Hub Motor48V3kW", <http://kellycontroller.com/hub-motor-48v3kw-high-torquedisc-brake-p-158.html> (2013).
130. İnternet: "Datasheet of KEB72301X", <http://kellycontroller.com/keb72301x24v-72v150a30kwe-bike-brushless-controller-regen-p-274.html> (2013).
131. İnternet: Kokam Co., Ltd. "Cell Specification Data of SLPB70205130P", <http://www.kokam.com> (2015).
132. İnternet: "Formula G Körfez Yarış Pisti", <http://www.tubitak.gov.tr/tr/yarismalar/alternatif-enerjili-arac-yarisleri/ic-erik-duyurular> (2013).
133. AERL Ltd, "Product datasheet, Racemax 600B", *Australian Energy Research Labs*, 1-3 (2010).
134. İnternet: Allegro Microsystems Co., "Datasheet of ACS709", <http://www.allegromicro.com>, 1-5 (2013).
135. İnternet: Allegro Microsystems Co., "Datasheet of ACS714", <http://www.allegromicro.com>, 1-5 (2013).
136. İnternet: "What is RaspberryPi?", <http://www.raspberrypi.org/faqs> (2012).
137. Merç Y. ve Bayılmış C., "Dört rotorlu insansız hava aracı (quadrotor) uygulaması", *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, 18-21 (2011).

138. İnternet: “Arduinio Mega 2560”, <http://www.robishop.com/Arduino-Mega-2560,PR-623.html> (2012).
139. Sarkar, T., Sharma M. and Gawre S. K., “A generalized approach to design the electrical power system of a solar electric vehicle”, *2014 IEEE Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science (SCEECS)*, 1-6 (2014).
140. Mohamed, A., Salehi, V., Ma, T. and Mohammed, O. A., “Real-time energy management algorithm for plug-in hybrid electric vehicle charging parks involving sustainable energy”, *IEEE Trans. on Sustainable Energy*, 5 (2): 577-586 (2014).
141. Ceylan, M., Sarikurt, T. and Balıkçı, A., “A novel lithium-ion-polymer battery model for hybrid/electric vehicles”, *23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, 366-369 (2014).
142. Brandstetter, P. and Krecek, T., “Speed and current control of permanent magnet synchronous motor drive using IMC controllers”, *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 12 (4): 69-76 (2012).
143. Khan, M. and Kar, N. C., “Speed tracking performance of fuzzy based vector control of induction motor drives for hybrid electric vehicles”, *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, CCECE 2008*, 607-610 (2008).
144. Shiau, J. K., Wei, Y. C. and Lee, M. Y., “Fuzzy controller for a voltage-regulated solar powered MPPT system for hybrid power system applications”, *Energies, MDPI-Open Access Publishing*, 8 (5): 3292-3312 (2015).

ÖZGEÇMİŞ

Muhammet Tahir GÜNEŞER 1975'te Yozgat'ta doğdu; ilk öğrenimini Yozgat'ın Yerköy ve Kayseri'nin Develi ilçelerinde tamamladıktan sonra orta ve lise öğrenimine İstanbul'da devam etti. 1994 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektronik – Haberleşme Mühendisliği Bölümü'ne girdi; 1999'da mezun olduktan sonra uzun süre özel sektörde yönetici olarak çalıştı. Bu sürede İstanbul Üniversitesi'nde Yüksek Lisans'ını tamamladı. 2009 yılında Karabük Üniversitesi Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Halen 2010 yılında, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başladığı doktora eğitimini sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: 100. Yıl Mah. 1008. Cd.
No: 9/4 Lutuf Apt.
Karabük

Tel: (370) 433 2021-

Faks: (370) 433 3290

E-posta: mtguneser@gmail.com