KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİKLİ ARAÇ TASARIMI VE BATARYA DENGELEME SİSTEMİ UYGULAMASI

İSMAİL MALİK KUNDAKCI

KOCAELİ 2016

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİKLİ ARAÇ TASARIMI VE BATARYA DENGELEME SİSTEMİ UYGULAMASI

İSMAİL MALİK KUNDAKCI

Prof. Dr. H. Metin ERTUNÇ
Danışman, Kocaeli Üniversitesi .....

Yrd. Doç. Dr. Abdulkadir CENGİZ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi .....

Yrd. Doç. Dr. Barış BORU
Jüri Üyesi, Sakarya Üniversitesi .....

Tezin Savunulduğu Tarih: 20.06.2016

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Otomotiv endüstrisi son 150 yılda toplumların sosyoekonomik düzeylerini dahi etkilemiş en önemli endüstrilerden biridir. Ülkemizin ihracat kalemleri arasında da birinci sırada yer almaktadır. Bununla birlikte artan hava kirliliği, petrol rezervlerinin hızla azalması endüstride elektrikli otomobillerin gelişimini zorunlu kılmıştır. Elektrikli otomobillerin yeniden ortaya çıkması ile de batarya teknolojisinin gelişimi ve batarya yönetim sistemlerinin kullanımı kaçınılmaz olmaktadır. Bu kapsamda elektrikli aracın istenen hızda çalışması için gerekli güç ve enerjinin hesaplanmasına yönelik çalışmalar incelenmiş; teori ve uygulama sonuçları karşılaştırılmıştır. Ayrıca lityum bataryalar için kullanılması kaçınılmaz olan batarya dengeleme sistemi tasarlanmış ve uygulanmıştır.

Bu projenin gerçekleştirilmesinde beni yönlendiren sayın hocam Prof. Dr. H. Metin Ertunç'a, desteklerini esirgemeyen çalışma arkadaşlarıma, ve her biri birbirinden değerli üyelere sahip, 2 yıldır büyük bir gururla akademik sorumluluğunu yürüttüğüm Türk Mekatronik takımına teşekkür ederim.

Ayrıca hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen ve beni bugünlere getiren annem ve ağabeyime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran – 2016 İsmail Malik KUNDAKCI

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vii
ÖZET ix
ABSTRACT x
GİRİŞ 1
1. GENEL BİLGİLER 2
1.1. Küresel Isınma 2
1.2. Elektrikli Araçların Tarihi 4
1.2. Elektrikli Araçların Avantajları ve Dezavantajları 7
1.3. Batarya Teknolojisi 8
1.3.1. Batarya parametreleri 9
1.3.1.1. Gerilim değeri 9
1.3.1.2. Şarj kapasitesi 9
1.3.1.3. Depolanan enerji 10
1.3.1.4. Enerji yoğunluğu 10
1.3.1.5. Spesifik enerji ve spesifik güç 10
1.3.1.6. Batarya işletme sıcaklığı 11
1.3.1.7. Batarya çevrim sayısı 11
1.4. Pil Çeşitleri 12
1.4.1. Kurşun asit piller 12
1.4.2. Alkalin piller 12
1.4.3. Nikel demir piller 12
1.4.4. Nikel kadmiyum piller 12
1.4.5. Nikel metal hibrit piller (NiMH) 13
1.4.6. Lityum bataryalar 13
1.5. Bataryaların Karşılaştırılması 13
2. ELEKTRİKLİ ARACIN MEKANİK VE ELEKTRİK HESAPLAMALARI 15
2.1. Aracın Aerodinamik Analizi 15
2.2. Aracın Sürüklenme Katsayısının Belirlenmesi 18
2.2.1. 36 km/h testi 18
2.2.2. 90 km/h testi 21
2.3. Aracın Akselerasyon ve Hız Kestirimi 23
2.3.1. Sürtünme direnci ile oluşan kuvvet (F_{sd}) 23
2.3.2. Aerodinamik direnç ile oluşan kuvvet (F_{ad}) 24
2.3.3. Tırmanma kuvveti (F_{tk}) 25
2.3.4. İvmelenme kuvveti (F_{ik}) 25
2.4. Elektrik Motoru Hesaplamaları 25
2.4.1. Elektrik motorlarında tork denklemi 25
2.5. Aracın Akselerasyon Kestirimi 28

2.6. Batarya Paketi ve Hesapları 31
2.6.1. Şarj kapasitesi 34
2.6.2. Sabit hızda giden bir araçta bataryanın boşalma süresi 37
3. ELEKTRİK TESİSATI 40
3.1. Konvertör 40
3.2. Regülatör Devresi 40
3.3. Hız Kontrol Devresi 41
3.4. Genel Elektrik Şeması 42
4. BATARYA DENGELEME SİSTEMİ 44
4.1. Batarya Topolojileri 44
4.1.1. Merkezi topoloji 44
4.1.2. Dağılmış topoloji 44
4.1.3. Modüler topoloji 45
4.2. Bataryalarda Dengeleme Teknikleri 46
4.2.1. Pasif dengeleme 46
4.2.2. Aktif dengeleme 48
4.3. Batarya Ölçümü 50
4.3.1. Gerilim ölçümü 51
4.3.1.1. Ayrık topoloji 51
4.3.1.2. Bütünleşik topoloji 53
4.3.2. Akım ölçümü 54
4.3.2.1. Şönt direnç yöntemi ile ölçüm 54
4.3.2.2. Alan etkili sensör yöntemi ile ölçüm 55
4.3.3. Sıcaklık ölçümü 55
5. BATARYA DENGELEME SİSTEMİ TASARIMI 57
5.1. Donanım Tasarımı 57
5.1.1. Dengeleme devresi 58
5.1.2. Kontrol kartı 61
5.2. Yazılım Geliştirilmesi 68
5.2.1. Hücre dengeleme işlemi 72
5.3. Akım Ölçümü 73
6. DENEYSEL SONUÇLAR 75
6.1. Tübitak Yarışları Performansı 75
6.2. Araç Mekanik Sonuçlar 79
6.3. Batarya Dengeleme Sistemi Deney Düzeneği 79
6.4. Akım Ölçümü 86
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 88
KAYNAKLAR 90
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 94
ÖZGEÇMİŞ 95

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Deniz suyu sıcaklıkları 2
Şekil 1.2. Fosil yakıt kaynaklı global karbon emisyonları ……..... 3
Şekil 1.3. Karbon emisyonuna neden olan sektörler 4
Şekil 1.4. Camille Jenatzy'nin aracı 5
Şekil 1.5. Batarya eşdeğer devresi 9
Şekil 1.6. Çeşitli türlerde piller için ragone çizimi …. 11
Şekil 2.1. Araç rüzgar altındayken tünel boyutları 16
Şekil 2.2. Rüzgarsız tünel kesit görünümü..... 16
Şekil 2.3. Araç farklı açılarda görünüm 17
Şekil 2.4. Aracın kesit alanı 17
Şekil 2.5. Rüzgar testi tüneli porsche 911..... 18
Şekil 2.6. Araç 3 boyutlu analiz 19
Şekil 2.7. Araç analiz 19
Şekil 2.8. Analiz yandan görünüm..... 20
Şekil 2.9. Analiz vakum etkisi 20
Şekil 2.10. Araç 90 km/h analiz 21
Şekil 2.11. 90 km/h analiz yandan görünüm..... 22
Şekil 2.12. Araç üzerine etkiyen kuvvetler 23
Şekil 2.13. Motenergy ME4201 29
Şekil 2.14. Araç akselarasyon grafiği 30
Şekil 2.15. Araç alınan yol grafiği 31
Şekil 2.16. Panasonic NCR18650PF..... 31
Şekil 2.17. Batarya kutusu 32
Şekil 2.18. Araçta kullanılan batarya kutusunun içten görünümü 32
Şekil 2.19. Batarya kutusunun araçtaki yerleşimi..... 33
Şekil 2.20. Sabit akım batarya boşalım eğrileri 37
Şekil 2.21. Araç sabit hızda batarya boşalım eğrileri..... 39
Şekil 3.1. 84V-12V dönüştürücü..... 40
Şekil 3.2. LM317 regülatör devresi..... 41
Şekil 3.3. Hız Kontrol Devre Şeması 42
Şekil 3.4. Araç Elektrik Şeması 42
Şekil 4.1. Merkezi topoloji..... 44
Şekil 4.2. Dağılmış topoloji 45
Şekil 4.3. Modüler topoloji 45
Şekil 4.4. Tipik bir lityum iyon bataryanın şarj ve deşarj eğrisi.. 46
Şekil 4.5. Pasif dengeleme mantığı 47
Şekil 4.6. Şarj işlemi sırasında pasif dengeleme 47
Şekil 4.7. Geçici kondansatör metodu..... 48
Şekil 4.8. Ardışık olarak dengeleme 49
Şekil 4.9. Tek trafo topolojisi..... 50
Şekil 4.10. Pasif ve aktif dengeleme topolojileri 50
Şekil 4.11. Gerilim bölücü tekniği ile ölçüm 51
Şekil 4.12. Röle anahtarlama tekniği 52

Şekil 4.13. Röle matrisi 52
Şekil 4.14. Dağıtımlı ölçüm metodu 53
Şekil 4.15. LTC6802-2 entegresi ile ölçüm 54
Şekil 4.16. Şönt direnç yöntemi ile ölçüm 54
Şekil 4.17. Alan etkili sensör yöntemi ile ölçüm.. 55
Şekil 5.1. LTC6802-2 pin konfigurasyonu 57
Şekil 5.2. LTC 6802-2 donanım..... 58
Şekil 5.3. Harici FET deşarj devresi 59
Şekil 5.4. Harici deşarj devresi 59
Şekil 5.5. İkinci bataryanın deşarj devresi 60
Şekil 5.6. Adum 1411 entegresi 60
Şekil 5.7. ADUM1411 bağlantısı..... 61
Şekil 5.8. Arduino mega 2560..... 61
Şekil 5.9. SPI donanım bağlantısı 64
Şekil 5.10. Daisy chain metodu SPI bağlantısı 64
Şekil 5.11. Birinci entegre bağlantı şeması..... 65
Şekil 5.12. Birinci entegre konektör bağlantısı..... 65
Şekil 5.13. İkinci entegre bağlantı şeması..... 66
Şekil 5.14. İkinci entegre konektör bağlantısı..... 66
Şekil 5.15. Tasarlanan devrenin 3 boyutlu görünümü 67
Şekil 5.16. Devre dizgi sonrası 67
Şekil 5.17. SPI ayarları..... 70
Şekil 5.18. Konfigürasyon kaydedicilerine yazma 71
Şekil 5.19. Batarya ölçüm pseudo kod..... 71
Şekil 5.20. Hücre gerilim kaydedicileri okuma algoritması 72
Şekil 5.21. Hücre dengeleme algoritması 73
Şekil 5.22. ACS758 sensör kartı 73
Şekil 5.23. ACS 758 devresi 74
Şekil 6.1. Kaza sonrası aracın durumu..... 76
Şekil 6.2. Deney düzeneği..... 80
Şekil 6.3. Batarya ölçüm değerleri..... 80
Şekil 6.4. Batarya ölçüm sonucu..... 82
Şekil 6.5. Batarya dengeleme devresi 82
Şekil 6.6. HC05 bağlantısı 84
Şekil 6.7. Batarya verileri..... 84
Şekil 6.8. Araç kullanıcı arayüzü 85
Şekil 6.9. Batarya bilgileri ekranı 85
Şekil 6.10. Sıcaklık bilgileri ekranı..... 86
Şekil 6.11. Deney düzeneği..... 86
Şekil 6.12. Arduino akım ölçüm verileri..... 87
Şekil 6.13. Fluke ölçüm verileri..... 87
Şekil 7.1. TM-beta önden görünüm 88

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Gazların yeşil sera etkisine yüzdesi 3
Tablo 1.2. Bataryaların çeşitli parametreler yönünden karşılaştırılması 14
Tablo 2.1. Bazı araçların sürükleme katsayıları 22
Tablo 2.2. ISA şartlarında hava yoğunluğu 24
Tablo 2.3. Motor parametreleri 27
Tablo 2.4. Programda kullanılan parametreler 30
Tablo 2.5. ncr18650pf özellikleri 33
Tablo 2.6. Gerilim SoC tablosu 34
Tablo 4.1. DS18B20 ölçüm verileri 56
Tablo 5.1. CVR tablosu 69
Tablo 6.1. Elektromobil yarışları resmi sonuçları 77
Tablo 6.2. Test sürüş süreleri 79
Tablo 6.3. Ölçüm değerleri karşılaştırması 81
Tablo 6.4. Dengeleme sonrası batarya gerilim ölçümü 83

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A : Araç Ön İzdüşüm Alanı, (m^2)
B : Manyetik Akı Yoğunluğu, (Wb/m^2)
C : Dolum Kapasitesi
C_d : Sürükleme Katsayısı
C_p : Peukart Kapasitesi
E : Batarya Gerilimi, (V)
E_b : Zıt Elektromotor Kuvveti, (V)
E_s : Kaynak Gerilimi
F_{ad} : Aerodinamik Direnç Kuvveti
F_{ck} : Çekiş Kuvveti, (V)
F_{ik} : İvmelenme Kuvveti, (N)
F_{sd} : Sürtünme Kuvveti, (N)
F_{tk} : Eğime Karşı Uygulanan Kuvvet, (N)
g : YerçekimiİvmesI, (m/s^2)
G : Dişli Oranı
I : Akım, (A)
l : Kablo uzunluğu, (m)
k : Peukart Sabiti
K_m : Motor Sabiti
m : Kütle (kg)
n : Sarım Sayısı
R : Direnç (Ω)
r : Bobin Yarıçapı, (m)
T : Tork, (Nm)
T_o : Başlangıç Tork Değeri, (Nm)
t : Süre
U_n : n. Hücre Gerilimi
V : Gerilim, (V)
V_o : Çıkış Gerilimi, (V)
v : Hız,
μ : Sürtünme Katsayısı
ρ : Hava Yoğunluğu, (kg/m^3)
ψ : Eğim Açısı
η : Aktarma verimi
φ : Manyetik Akı, (Wb)
ω : Açısal hız, (rad/s)

Kısaltmalar

ADC : Analog Dijital Çevirici
BED : Boşalan Etkin Dolum
CARB : California Air Resources Board (Kaliforniya Hava Kaynakları Birimi)

CDIAC : Carbondioxide Information Analysis Center (Karbondioksit Bilgi Analiz Merkezi)
CFGR : Configuration Register (Konfigürasyon Kaydedicisi)
CVR : Cell Voltage Register (Hücre Gerilim Kaydedicisi)
DoD : Depth of Discharge (Deşarj Derinliği)
FLGR : Flag Register (Bayrak Kaydedicisi)
Li-ion : Lityum İyon
MSB : Most Significant Bit (En Yüksek Değerlikli Bit)
NiCd : Nikel Kadmiyum
NiMH : Nikel Metal Hibrid
PEC : Packet Error Code (Paket Hata Kodu)
RDCV : Read Cell Voltage Command (Hücre Gerilim Okuma Komutu)
RTD : Resistance Temperature Detectors (Dirençsel Sıcaklık Sensörü)
SP : Spesific Power (Spesifik Güç)
SE : Spesific Energy (Spesifik Enerji)
SED : Sağlanan Etkin Dolum
SoC : State of Charge (Şarj Durumu)
TMPR : Temperature Register(Sıcaklık Kaydedicisi)
WRCFG : Write Configuration (Konfigurasyon Yazma Komutu)

ELEKTRİKLİ ARAÇ TASARIMI VE BATARYA DENGELEME SİSTEMİ UYGULAMASI

ÖZET

Otomobil son 200 yıldır insanoğlu için en önemli makinelerden biridir. Ayrıca ekonomide yarattığı katma değer üretme hedefi Türkiye başta olmak üzere bir çok ülkede en ön sıralarda gelmektedir. Günümüz otomobilleri hala ezici bir çoğunlukla içten yanmalı motorlar ile çalışmasına rağmen, hava kirliliği, küresel ısınma, petrol rezervinin azalması gibi nedenlerden dolayı ilgiler ve araştırmalar elektrik motorlu araçlara doğru dönmeye başlamıştır. Bu araçların modellenmesi, ihtiyaca yönelik kısıtlarda tasarlanması ve batarya sağlığı için en önemli komponent olan batarya yönetim sistemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında bir elektrikli araç tasarlanmış ve batarya dengeleme sistemi uygulanmıştır.

Bu çalışmanın amacı, belli bir ihtiyaca yönelik bir elektrikli otomobilin, belli kısıtlar altında tasarlanmasıdır. Araç Tübitak Alternatif Enerjili Araç Yarışları için Kocaeli Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği'nde tasarlanmıştır. Bu açıdan aracın kısıtları yarış konseptine uygun olarak belirlenmiştir. Araç bilgisayar ortamında modellenmiş, ve yarış için istenen parametrelere uygun olarak üretilmiştir. Aracın enerjisi lityum batarya ile sağlandığından pasif dengeleme sistemi tasarlanmış ve uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Araç Modelleme, Batarya Yönetim Sistemi, Elektrikli Otomobil, Pasif Dengeleme.

DESIGNING ELECTRIC VEHICLE AND REALISING BATTERY BALANCING SYSTEM

ABSTRACT

In the last two centuries, automobile has been one of the most important machine for the mankind. In addition, the value added created in the economy has come to the forefront in many countries, especially in Turkey. Although today's cars still overwhelmingly operate with internal combustion engines, electric vehicles show an important increase due to air pollution, global warming and reduction of oil reserves. These cars need to be modeled and designed under specific constraints. Also, battery management system which is the most important component for the health of battery should be developed. An electric vehicle was designed and battery balancing system was implemented within the scope of this work.

The aim of this work is to design and produce an electric vehicle for particular needs, under specific constraints. This vehicle was designed and produced for Tübitak Efficiency Challenge Electric Vehicle competition. In this respect, constraints of the vehicle were stated according to concept of the competition. Modeling of the vehicle was performed in the computer environment and its production was performed properly considering the requested competition parameters. Power of the vehicle is supplied by a lithium battery and a passive balancing system was designed and performed for the execution of energy supply.

Keywords: Vehicle Modelling, Battery Management System, Electric Vehicle, Passive Balancing.

GİRİŞ

Otomotiv endüstrisinde yaklaşık 200 yıldır süregelen gelişim, araştırmacıları ve sektörü Türkiye'de ve Dünya'da, küresel ısınma ve petrol rezervlerinin azalması ile birlikte elektrik motoru tahrikli araçlara yönlendirmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında bir elektrikli aracın modellenmesi yapılmış, üretim için gereken bütün parçalar bilgisayar ortamında tasarlanmış, gereken analizler yapılmış ve tasarım gerçekleştirilmiştir. Araçta kullanılan lityum bataryalar için de bir batarya dengeleme sistemi tasarlanmış ve uygulanmıştır. Bir otomobilin tasarımı çok geniş bir konu olduğu için tezin içeriği aracın istenen parametrelere göre modellenmesi ve batarya dengeleme sistemi ile sınırlandırılmıştır. Araç TÜBİTAK'ın 2015 yılı Ağustos ayında düzenlemiş olduğu alternatif enerjili araç yarışlarına da katılmış ve yarışı tamamlamıştır.

Bölüm 1'de elektrikli araç üretimi için gerekçeler, tarihçe, gelecek için önemi anlatılmış, batarya teknolojisi hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Bölüm 2'de bir aracın modellenmesi için gereken elektrik ve mekanik hesaplamalar anlatılmıştır.

Bölüm 3'de aracın elektrik tesisatı hakkında teknik açıklamalar yapılmıştır.

Bölüm 4'de batarya yönetim sistemleri tanıtılmış, sınıflandırılmaları yapılmış ve aktif ve pasif dengeleme sistemleri karşılaştırılmış ve birbirlerine üstünlükleri incelenmiştir.

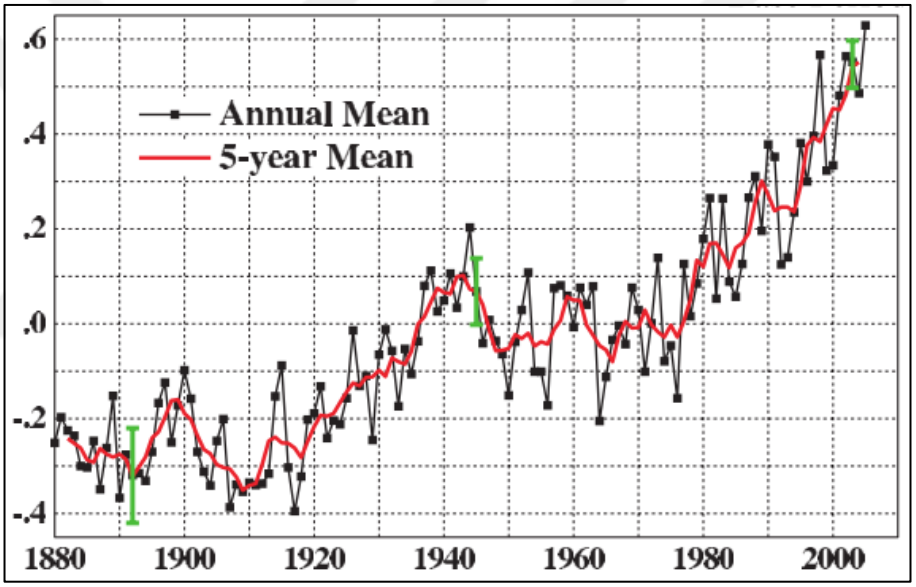
Bölüm 5'de araç için tasarlanan pasif dengeleme sistemi hakkında bilgi verilmiştir.

Bölüm 6'da aracın TÜBİTAK yarışlarındaki performansı incelenmiş ve teorik hesaplarla TÜBİTAK'ın verdiği enerji sarfiyatının karşılaştırılması yapılmıştır ve Batarya Dengeleme Sisteminin dengeleme sonuçları, gerilim ve akım ölçümü incelenmiş ve hassas bir ölçü aleti ile alınan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Küresel Isınma

İnsanlık son 50 yılda küresel ısınma olarak isimlendirilen yeni bir sorun ile karşı karşıya kalmıştır. Yapılan araştırmalara göre 2000 yılında sona eren 100 yıllık süreçte dünya yüzeyine yakın ortalama hava sıcaklığındaki artış miktarı 0,6±0,2 derece olarak saptanmıştır. Bu artış 2005 yılında sona eren geçmiş yüz yıllık süreç içerisinde ise 0,74±0,18°C'ye yükselmiştir [1].



Şekil 1.1. Deniz suyu sıcaklıkları [2]

Şekil 1.1'de son 120 yıllık küresel ısınma sonucu meydana gelen deniz suyu sıcaklıkları verilmektedir. Grafikte 0 derece (referans noktası) 1961-1980 arası ortalama sıcaklık olarak belirlenmiştir. Grafikten de anlaşıldığı üzere son yüzyılda yaklaşık olarak deniz suyu sıcaklığı 0,8 derece artmıştır.

Yeşil sera etkisi yerküreye güneşten gelen güneş ışınlarının atmosferde tutularak veya atmosferden tekrar dünya yüzeyine yansıtılması sonucunda oluşan dünya yüzey sıcaklığının artması olarak tanımlanır [3].

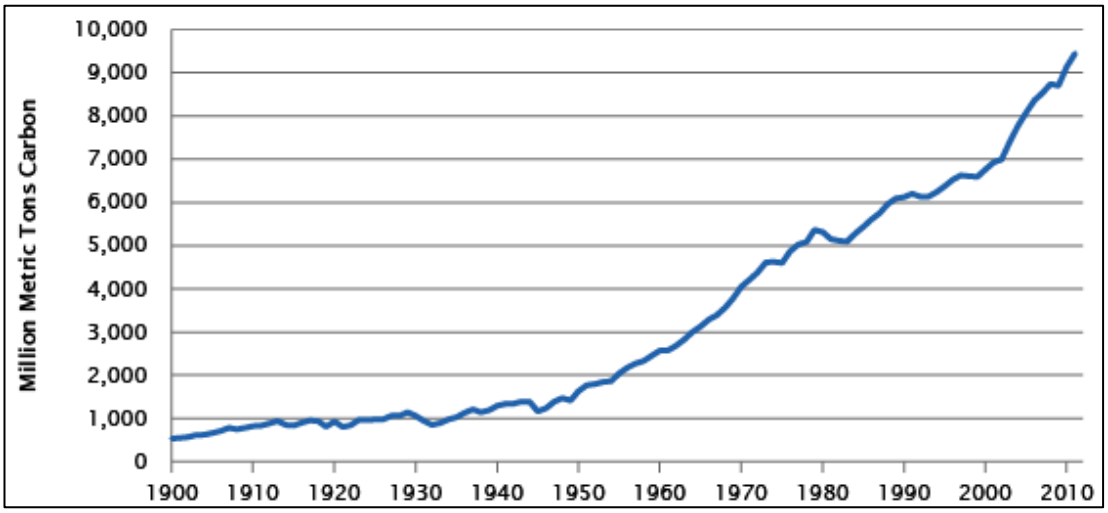
Yeşil Sera etkisine neden olan yeşil sera gazları, atmosferde bulunan enerjiyi absorbe eder. Tablo 1.1'de yeşil sera etkisine neden olan bazı gazlar ve etki yüzdeleri gösterilmektedir.

Tablo 1.1. Gazların yeşil sera etkisine yüzdesi [4]

Gaz	Yeşil Sera Etkisine Yüzdesi
Su Buharı	% 36 - %72 arası
Karbondioksit	% 9 - % 26 arası
Metan	% 4 - %9 arası
Ozon	% 3 - %7 arası

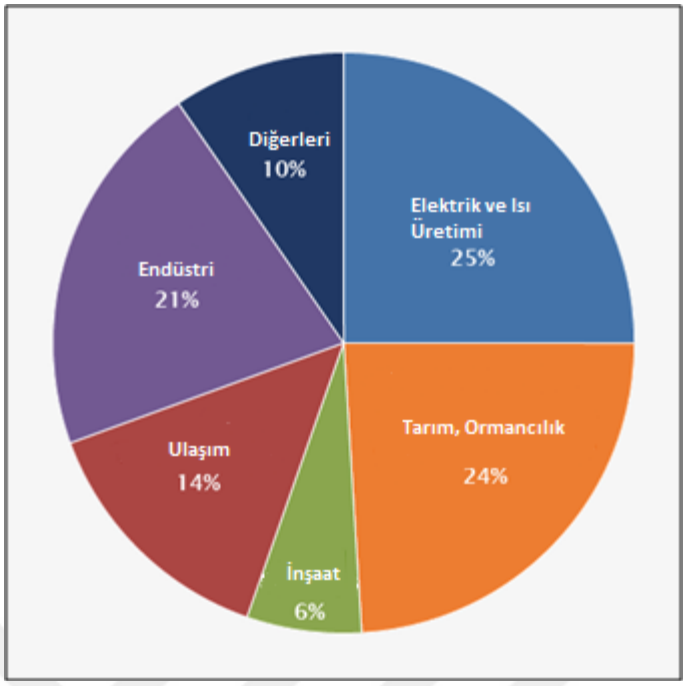
Tablo 1.1 incelendiğinde yeşil sera etkisine en çok neden olan ikinci gazın karbondioksit olduğu görülmektedir. Bu da karbon emisyonu konusunun ciddiyetini gözler önüne sermektedir.

Karbondioksit Bilgi Analiz Merkezinin (CDIAC) çalışmalarına göre fosil yakıtların neden olduğu karbon emisyonu son yüzyılda önemli ölçüde artmıştır [5]. Şekil 1.2'de fosil yakıtların neden olduğu karbon emisyonu grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Fosil yakıt kaynaklı global karbon emisyonları [5]

Grafikten de anlaşıldığı üzere fosil yakıtların neden olduğu karbon emisyonu miktarı yüzyılın başından itibaren yaklaşık 20 kat artmıştır.



Şekil 1.3. Karbon emisyonuna neden olan sektörler [6]

Şekil 1.3'te görüldüğü üzere ulaşım sektörü %14 'lük oranıyla azımsanmayacak ölçüde karbon emisyonuna neden olmaktadır. Bu durum sıfır emisyonlu araçların önemini ortaya koymaktadır.

İlgili literatür incelendiğinde dünyanın tehdit altında olduğu ve zaman kaybetmeden harekete geçilmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

1.2. Elektrikli Araçların Tarihi

Günümüzde elektrikli otomobillerin üzerindeki kalın örtü yeni yeni aralanmaya başlamakla beraber, düşünülenin aksine tarihteki ilk motorlu araç elektrik enerjisiyle çalışmaktaydı. 1837 yılında üretilen bu araçtan sonra bir çok petrol veya benzin ile tahrik alan araç denemeleri olmuştur. Ancak ilk benzin yakıtlı araç 1886 yılında Karl-Benz tarafından üretilen araç olarak kabul edilmektedir [7].

Elektrikli otomobiller 19.yy'ın ortalarında ve 20.yy'ın başlarında oldukça popülerdi. 1901'de "New York Taxi" firması elektrikli araçları taksi olarak kullanmaya başlamıştır. İçten yanmalı motorların üstünlüğü ele geçirmesinden önce, elektrikli otomobiller birçok hız ve mesafe rekoruna sahiptiler. Bu rekorlar arasında en dikkat çekici olan Camille Jenatzy tarafından 29 Nisan 1899'da kendisine ait olan Şekil

1.4'te görülen roket tipli aracı Jamais Contente ile 100 km/saat rekorunun 106 km/saat'lik bir hızla kırılmasıdır [8].



Şekil 1.4. Camille Jenatzy'nin aracı

1920'lerden önce, elektrikli otomobiller, petrol yakıtlı otomobiller ile şehir içinde kullanım kalitesi olarak rekabet etmekteydi. Elektrik starterinin 1912 yılında Charles Kettering tarafından icat edilmesi benzinli motorun döndürme kolu olmadan çalıştırılmasına olanak sağlamıştır. Egzost susturucusunun 1897 deki icadı benzinli motorların rahatsız edici sesini azaltmıştır. Bunlara ek olarak petrollü otomobillerin geniş çeşitliliği, daha hızlı bir şekilde enerji yüklenebilmesi, gelişen petrol altyapısı, Ford Motor Şirketi gibi şirketlerin seri konvansiyonel araç üretimi benzinli otomobillerin elektrikli otomobiller ile aynı fiyata gelmesine hatta daha ucuz olmasına sebep olmuştu. Bu gelişmeler sonucunda 1930'larda elektrikli otomobiller ABD piyasasından silindi. Ancak zamanla azalan petrol rezervleri ve artan hava kirliliği elektrikli otomobillerin yeniden gündeme gelmesini sağladı. 1970'li yıllarda elektrikli araçlar yeniden popüler olmaya başladı [9].

1990'ların başlarında CARB (California Air Resources Board) verimli, düşük emisyonlu, nihai hedef olarak da sıfır emisyonlu araç üretimi için istekte bulunmuştu. Bunun neticesinde otomobil üreticileri bir çok elektrikli araç geliştirmişlerdir. General Motors EV1 ve S10, Honda EV Plus hatchback, Nissan Altra EV ve Toyota

RAV4 EV bunlardan bazılarıdır. GM, EV1 adlı aracı daha önce alışılagelmiş bir yöntemle satmak yerine süreli kontrat yoluyla müşterilerine kiralamıştır.

CARB benzer teknolojilerin yaygınlaşması için California eyaletinde faaliyet gösteren bütün otomobil şirketlerine yıl bazında sıfır emisyonlu araç satışı için minimum kota koymuştur. Bu karar doğrultusunda araç satışlarının 1998 yılına kadar %2 si, 2001 yılına kadar %5'i ve 2003 yılına kadar %10'u olmak zorundaydı [10]. Bu karar üzerine büyük otomobil üreticileri ve petrol endüstrisi temsilcileri tarafından tepkiyle karşılanmış CARB'a davalar açılmış ve satış oranlarını karşılamamak için bir çok girişimde bulunulmuştur.

Yönetmenliğini Chris Paine'in yaptığı "Who Killed the Electric Car?" adlı belgesel filme göre GM'in ürettiği ve müşterilerinden büyük ilgi gören EV1 model araçlar kira süresi dolduğunda geri alınmış, müşterilerin bütün protestolarına rağmen satışa çıkarılmamış, bir çoğu imha edilmiş ve birkaç tanesi de deaktif edilerek bazı mühendislik okullarına ve müzelere bağışlanmıştır.

Bütün olumsuzluklara rağmen elektrik motoru tahrikli araçların üretimi ve araştırma faaliyetleri devam etmektedir. Günümüzde ise Mitsubishi, Nissan, Renault, Chevrolet, Honda, BMW gibi otomobil devleri elektrikli araç piyasasında yerlerini almışlardır. 2015 yılında bütün dünyada kullanılan elektrikli araç sayısı bir milyona ulaşmıştır [11].

Büyük bir otomotiv ihracatçısı olan Türkiye'de elektrikli araç üzerine çalışmalar sürmektedir. Tübitak tarafından düzenlenen Alternatif Enerjili Araç Yarışlarında 2014 yılından itibaren elektrikli araç kategorisi de eklenerek yaklaşık 500 araca destek verilmiş ve 10000 adet üniversite öğrencisine ulaşılmıştır [12]. Ayrıca orta ve büyük ölçekli pek çok firma elektrikli araç tasarımı, dönüşümü ve üretimi üzerine çalışmaktadır.

Türkiye Otomotiv Distribütörleri Derneği'nin açıkladığı verilere göre 2015 yılında, 85kW altı 38 adet, 121kW üstü ise 82 adet olmak üzere 120 adet elektrikli otomobil satışı gerçekleşmiştir. Bu sayı 2014 yılında 85kW altı 22 adet, 121kW üstü ise 25 adet olmak üzere 47, 2013 yılında ise 85kW altı 31 adet olmak üzere elektrikli otomobil satışı gerçekleşmiştir {Formatting Citation}. Türkiye'de şu anda yaklaşık

olarak 30 adet şarj istasyonu bulunmaktadır. Elektrikli araç piyasası Türkiye'de ve dünyada şu an pazarda ciddi bir pay elde edemese de bilimsel ve ticari çalışmaların nicelik ve nitelik yönünden artması bu konunun önemini arttırmaktadır.

1.2. Elektrikli Araçların Avantajları ve Dezavantajları

Elektrikli araçlarda güç elde edilebilmesi için gerekli olan enerji, fosil yakıtın kimyasal reaksiyon ile yakılarak karbon ve nitrojen bileşenleri üretilsi yerine bataryadan sağlanan elekrikten elde edildiği için elektrikli araçlarda emisyon açığa çıkmamaktadır. Bu yüzden elektrikli araçlar sıfır emsiyonlu araçlar olarak adlandırılmışlardır. Elektriğin üretilmesinde az miktarda emisyon açığa çıksa bile tüm yakıt çevrimi boyunca konvansiyonel taşıtlara göre daha az seviyede toksik ve ozon tabakasına zarar verici emisyonlar açığa çıktığı görülmüştür [16].

Elektrikli araçlarda petrol türevi yakıtlar kullanılmadığı için herhangi bir yakıtın patlaması, lineer hareketin dairesel harekete çevrilmesi için mekanik parçaların kullanılması gerekmemektedir. Bu da aracın sessiz çalışması anlamına gelir. Ayrıca rejeneratif frenleme sayesinde fren esnasında kaydedilen kinetik enerjinin bir kısmı geri kazanılabilir. Hareketli parçaları içten yanmalı motorlu araçlara göre daha azdır. Bu da bakım maliyetini düşürmektedir.

Bunların yanında elektrikli araçların maliyeti günümüz şartlarında İYM (İçten yanmalı motorlu) araçlara göre halen pahalıdır. Kilometre başına yakıt maliyeti düşünüldüğünde elektrikli araçlar İYM araçlara göre daha ekonomik olmasına karşın mevcut batarya teknolojisinin en son geldiği nokta dikkate alındığında ise batarya paketinin 3-5 yılda bir değişmesi gerekmektedir. Bu batarya değiştirme ihtiyacı artı maliyet olarak müşteriye yansımaktadır. Fakat batarya teknolojisinin üzerine yapılan çalışmaların elektrikli araç maliyetlerini düşüreceği tahmin edilmektedir.

Konvansiyonel araçların yakıt doldurma işlemi 2 - 3 dakika sürerken elektrikli araçların tam şarj durumuna gelmesi 5 - 8 saat arası sürmektedir. Şarj istasyonları son yıllarda artmakla beraber benzin istasyonları ile nicelik olarak henüz karşılaştırılamayacak durumda olduğu açıktır. Türkiye'de yaklaşık olarak 13 bin benzin istasyonu bulunurken şarj istasyonlarının sayısı 30 civarındadır. Elektrikli araçlar full şarj ile maksimum 180-200 km yol alabilirken konvansiyonel araçlar

600-650 km yol alabilmektedir [16]. Bu durum yakıt doldurma süresi de eklendiğinde elektrikli araçlar için en büyük dezavantajlardan biridir. Yalnız gelişen batarya teknolojisi ile birlikte bu durum önümüzdeki dönemde biraz olsun iyileşecektir. Ayrıca bataryalar için süreli anlaşmalar yapılarak müşterilerin batarya değişim istasyonlarında yaklaşık 3 dk. içinde boş batarya ve dolu batarya değişiminin yapılabileceği sistemler üzerine çalışılmaktadır.

1.3. Batarya Teknolojisi

Elektrik bataryası iki veya daha fazla elektrik hücresinin birleşiminden meydana gelir. Elektrik hücreleri ise kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çeviren cihazlardır. Elektrik hücreleri elektrolite yerleştirilmiş pozitif ve negatif elektrotlardan oluşur. Elektrolit ve elektrotlar arasındaki kimyasal reaksiyon DC elektrik üretimini sağlar. Şarj edilebilir pillerde bu proses terslenebilir. Hücreye akım uygulandığında, kimyasal reaksiyon tersine işler.

Kurşun asit bataryalar en çok kullanılan şarj edilebilir batarya türü olmakla birlikte batarya teknolojisi sürekli gelişmekte ve yeni batarya türleri üzerine akademik çalışmalar yoğunlaştırılmaktadır. Fakat batarya parametreleri göz önüne alındığında ticari olarak piyasaya sürülen batarya türleri kısıtlıdır. Yaklaşık 2 asırlık çalışmalara rağmen elektrikli araçların yaygın kullanımına olanak veren bir batarya halen geliştirilememiştir. Yalnız bu konudaki çalışmalar hızla sürdürülmektedir.

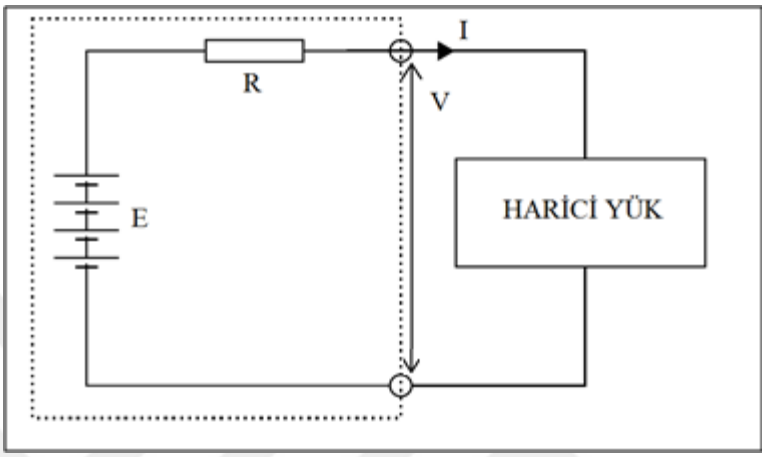
Bataryalar için aşağıdaki kriterler göz önünde bulundurulmalıdır;

- Spesifik Enerji
- Enerji Yoğunluğu
- Spesifik Güç
- Karakteristik Gerilim
- Amp-saat verimliliği
- Enerji verimliliği
- Maliyet
- İşletme sıcaklığı
- Batarya Ömrü ve Derin Çevrim Sayısı

1.3.1. Batarya parametreleri

1.3.1.1. Gerilim değeri

Bütün elektrik hücreleri nominal bir gerilim değerine sahiptir. Elektrik hücreleri seri bağlanarak istenen gerilimde bir batarya gerilimi elde edilebilir.



Şekil 1.5. Batarya eşdeğer devresi

Şekil 1.5'te bir bataryanın eş değer devresi görülmektedir. Batarya gerilimi E iken yük üzerindeki gerilim V olur. Çünkü her bataryanın bir iç direnci mevcuttur. Devreden geçen akım I olarak ifade edilirse Denklem (1.1) elde edilir.

$$V = E - IR \tag{1.1}$$

I akımının sıfır olduğu durumda V gerilimi E'ye eşit olacaktır. Bundan dolayı E açık devre gerilimi olarak adlandırılır. I akımı ters yönde verildiğinde yani batarya dolum sırasında ise V değeri IR kadar artacaktır.

1.3.1.2. Şarj kapasitesi

Bataryaların en önemli parametrelerinden biridir. Bataryanın verebileceği akım zaman birimi de denebilir. 20 Ah kapasiteli bir pilin 1 saat boyunca 20 A verebileceği veya 2 saat boyunca 10 A verebileceği varsayılır. Yalnız bu durum batarya kalitesi verimi vb. yüzünden pratikte böyle gerçekleşmeyebilir. Çekilen akım miktarı arttıkça bataryanın tükenme süresi de azalacaktır.

Bataryanın şarj kapasitesini anlamak için bir diğer önemli kavram da C (dolum kapasitesi) değeridir. 20 Ah şarj kapasitesine sahip bir bataryanın 2C'lik deşarj akımı

ve 0,8 C şarj akımı olduğu söylendiğinde 40A deşarj akımı kullanabileceği 16A şarj akımı uygulanması gerektiği anlaşılmaktadır.

1.3.1.3. Depolanan enerji

Bir bataryada depolanan enerji o pilin gerilimine ve şarj kapasitesine bağlıdır ve birimi Wh'tir. Bir bataryada depolanan enerji, batarya gerilimi ile şarj kapasitesinin çarpımı ile bulunur.

1.3.1.4. Enerji yoğunluğu

Bir bataryanın enerji yoğunluğu bataryanın her metreküpü için şarj edilmiş enerji miktarıdır. Birimi $Wh.m^{-3}$'tür. Araç için gerekli olan batarya hacminin belirlenmesi için kullanılır.

1.3.1.5. Spesifik enerji ve spesifik güç

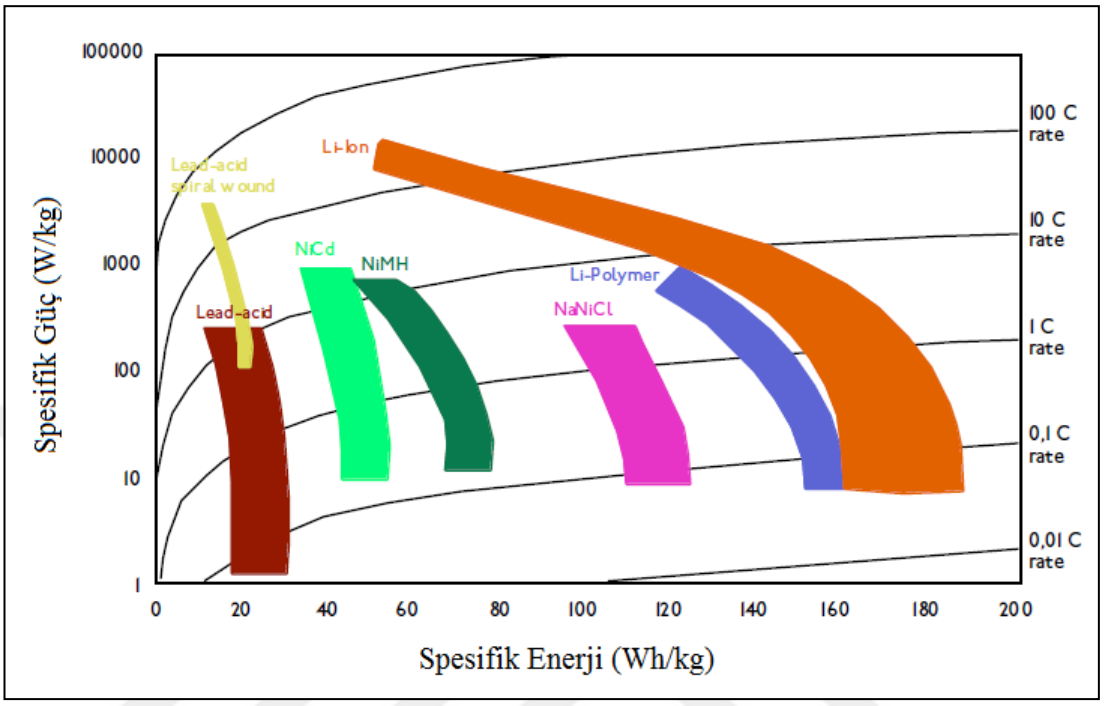
Spesifik enerji pil kütlesinin depolanan enerji miktarına bölümü ile bulunur. Birimi $Wh.kg^{-1}$'dır. Spesifik güç miktarı ise pilin gücünün ağırlığına bölümü ile bulunur. Birimi $W.kg^{-1}$'dir Bataryanın spesifik güç miktarı bağlanan yük ile de ilintilidir. Bununla birlikte pillerin maksimum güç ile çalışmaları belli bir süre ile kısıtlıdır ve maksimum güç ile çalışmaları verimli değildir. Yani yüksek spesifik güç düşük spesifik enerji ile sonuçlanır. Çünkü bataryadan kısa zamanda çekilen yüksek akım, batarya enerjisini azaltacaktır.

Elektrikli araçlarda tasarım sırasında bu durum önemli bir parametredir. Araç tasarımcısı tasarlanacak araçlarda spesifik enerji ve spesifik güç arasındaki dengeyi kurmalıdır. Spesifik gücü yüksek bataryalar ile çalışan araçlar daha yüksek ivme değerlerine sahipken, spesifik enerjisi yüksek piller ile çalışan araçlar daha uzun menzil değerlerine sahip olurlar.

Bu karşılaştırma için ragone ilişkisi ve ragone çizimi olarak bilinen yöntem kullanılır. Şekil 1.6'da çeşitli türdeki bataryalar için ragone çizimi verilmiştir. Bütün batarya türleri için Spesifik gücün bir kuvvetinin, spesifik enerji ile çarpımından bir sabit elde edilir. Denklem (1.2) grafiksel olarak gösterildiğinde bataryanın karakteristiği hakkında bilgi vermektedir.

$$(SP)^n (SE) = \lambda \text{ [17]} \quad (1.2)$$

Denklemdeki n ve λ eğri uydurma sabitleridir.



Şekil 1.6. Çeşitli türlerde piller için ragone çizimi [18]

Ragone çiziminde spesifik güç miktarı yönünde artış ivmelenme artışı, spesifik enerji yönündeki artış da menzil artışı olarak değerlendirilebilir.

1.3.1.6. Batarya işletme sıcaklığı

Bataryaların türüne göre değişen işletme sıcaklıkları vardır. Bazı bataryalar ortam sıcaklığında çalışırken, bazı bataryalar verimli çalışma için ısıtılmaya ihtiyaç duyar. Bazı bataryalar da çalışma esnasında soğutulmaya ihtiyaç duyar. Elektrikli araç tasarımında tasarım sırasında bataryanın işletme sıcaklığı göz önünde bulundurulmalıdır.

1.3.1.7. Batarya çevrim sayısı

Elektrikli araçlarda en büyük maliyet kalemlerinden biri bataryalardır. Bu nedenle bataryanın derin çevrim sayısı ve dolayısıyla ömrü tasarım sırasında göz önüne alınması gereken en önemli parametrelerdendir.

1.4. Pil Çeşitleri

Elektrikli araçlarda günümüzde ticari olarak kullanılabilen pil çeşitleri şunlardır;

- Kurşun asit piller
- Alkalin piller
- Nikel piller
- Lityum piller

1.4.1. Kurşun asit piller

Günümüzde otomotiv teknolojisinde en çok kullanılan ve en iyi bilinen pil çeşididir. İçten yanmalı motorlu araçlarının tamamında kullanılmaktadır. Elektrikli araçlarda da yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kurşun asit piller 1859 yılında fransız fizikçi Gaston Plante tarafından icat edilmiştir [19]. Kurşun asit pillerde pozitif plaka kurşun dioksit metal ile kaplıdır. Negatif plakalar da kurşuna sahiptir. Elektrolit sıvısı ise seyreltik bir sülfirik asit çözeltisidir. Sülfirik asit, kurşun ve kurşundioksit tepkimeye girerek su ve kurşun sülfat açığa çıkartır. Bu sırada elektrik enerjisi açığa çıkar.

1.4.2. Alkalin piller

Alkalin piller pozitif plakada nikel bulunduran ve negatif plakada kadmiyum, demir, çinko veya hidrojen bulunduran pillerdir. Yüksek enerji yoğunluğuna, düşük iç dirence ve uzun ömürlü olmasına rağmen maliyeti yüksektir.

1.4.3. Nikel demir piller

Negatif plakada demir elementini bulunduran pillerdir. 1900'lerin başında oldukça popüler olmakla birlikte düşük sıcaklıklardaki düşük verimliliği ve yüksek su tüketimi nedeniyle kullanımı oldukça azalmıştır.

1.4.4. Nikel kadmiyum piller

Negatif plakasında metalik kadmiyum bulunduran pillerdir. NiCad piller doğru olarak kullanıldığında 1000 defa şarj deşarj edilebilir. Yıpranmaya ve kötü şartlarda kullanıma karşı dayanıklıdır. Kurşun asit pillerin iki katı spesifik enerjiye sahiptir.

1.4.5. Nikel metal hibrit piller (NiMH)

Bu türdeki piller negatif elektrot kısmında hidrojen kullanırlar ve negatif elektrotları bir yakıt hücresi gibi davranır. Karakteristik özellikleri NiCd pillere benzemekle beraber daha yüksek kapasiteye sahiptirler. Yalnız yüksek akım taleplerine NiCd piller kadar istikarlı cevap veremezler. Yüksek akım taleplerinde ani gerilim düşüşü yaşarlar.

1.4.6. Lityum bataryalar

Lityum en yüksek negatif potansiyele ve en düşük atom ağırlığına sahip metaldir. Lityum içerikli bataryalar, elektrikli araçlarda ivmelenme ve menzil değerlerinde yüksek performans gösterdiği içim teknolojik atılım için en yüksek potansiyele sahiptir. Lityum bataryaların deşarjı sırasında lityum iyonları anottan ayrılarak elektrolit aracılığıyla katoda ulaşırlar. Lityum iyonları katoda ulaştığında katot materyali ile hızla birleşir. Bu proses kolayca terslenebilir. Lityum iyonlarının bu özelliği sayesinde lityum-iyon (li-ion) bataryalar kurşun-asit ve NiMH bataryalara göre daha hızlı bir şekilde şarj ve deşarj edilebilir. %40 daha küçük ve yarı ağırlıktaki Li-ion bataryalar NiMH bataryalar ile aynı enerjiyi üretebilir [20].

Üretiminin yaygın olması ve enerji yoğunluğunun yüksek olması nedeniyle genelde elektrikli araçlarda li-ion piller kullanılmaktadır. Örneğin Renault Fluence Z.E., Nissan Leaf ve Ford Focus Elektrikli araçları batarya paketlerinde li-ion piller kullanılan araçlardandır [21].

Kolay bulunabilirlik, yüksek enerji yoğunluğu sayesinde Lityum-iyon piller elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

1.5. Bataryaların Karşılaştırılması

Batarya seçimi kullanılacak duruma göre yapılması gerekmektedir. Büyük güçler gerektirmeyen tekerlekli sandalye gibi uygulamalarda kurşun asit en uygun pil olacaktır. Yalnız daha yüksek güç gerektiren uygulamalarda ağırlık parametresi de düşünülmelidir.

Tablo 1.2'ye göre elektrikli araçlar için kullanılan ticari piller sıralanmıştır [18]. Bir elektrikli otomobil için önemli parametreler; uygun menzil için spesifik enerji uygun bir ivme için spesifik güç, piyasada bulunabilirlik ve çevrim sayısı olarak sıralanabilir. Son yıllarda elektrikli araçlarda kullanılan lityum bazlı piller bu ihtiyaçların tümüne optimum bir çözüm sunmaktadır.

Tablo 1.2. Bataryaların çeşitli parametreler yönünden karşılaştırılması

Teknoloji	Spesifik Enerji	Spesifik Güç	Çevrim Sayısı	Çalışma Sıcaklığı Aralığı (°C)	Verim	Kendi Kendine Boşalma	Bakım	BYS
Kurşun Asit	40	250	500	20-40	%80-85	düşük	hayır	Önerilir
NiCd	60	200	1350	0-40	%70-75	düşük	evet	Önerilir
NiMH	70	350	1350	0-40	%70	yüksek	hayır	Önerilir
NiZn	75	200	-	0-40	%70	-	hayır	Önerilir
NaNiCl	125	200	1000	-	%90-95	yüksek	hayır	Entegre
Lityum	125	400	1000	0-40	%90	düşük	hayır	Zaruri
ZnBr	80	100	-	20-40	-	-	evet	Zaruri
Zn-air	200	70	-	“20-40	-	-	evet	Önerilir

2. ELEKTRİKLİ ARACIN MEKANİK VE ELEKTRİK HESAPLAMALARI

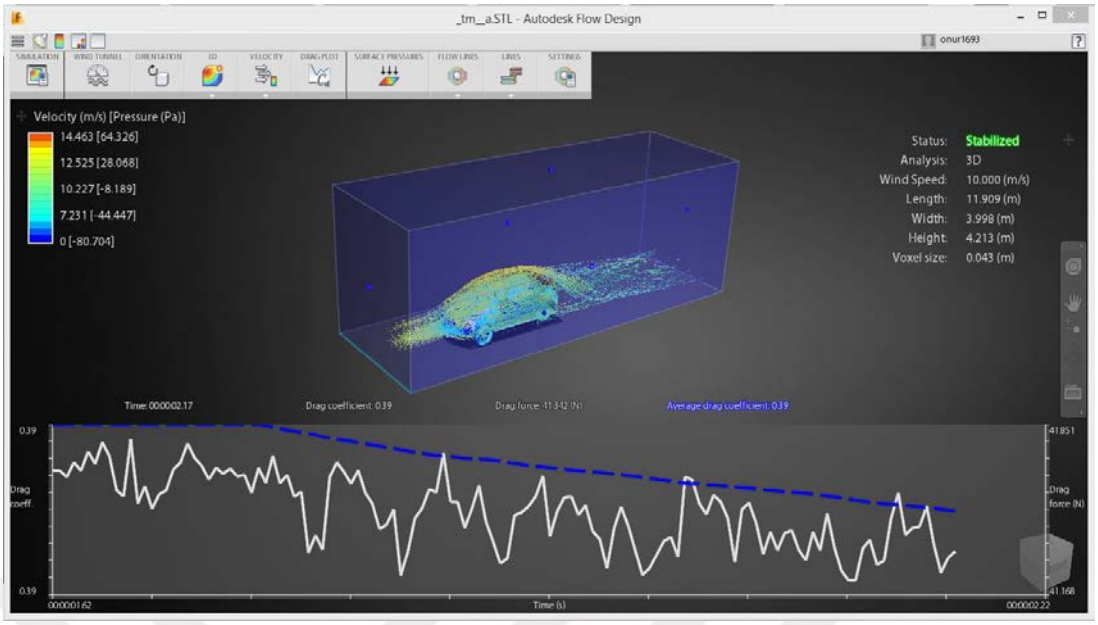
Elektrikli aracın tasarımı sırasında araçta kullanılacak motor, aracın ağırlığı, çıkması istenilen hız, lastik yarıçapı ve aracın diğer bir çok parametresi için ekonomik kısıt ve istenilen koşullara oranla uygun malzeme seçimi yapılmalıdır. Bundan dolayı tasarımdaki parametre değişiklikleri aracın performansını etkileyecektir. Bu amaçla aracın mekanik ve elektrik hesaplamaları için uygun bir model oluşturulmalıdır. Öncelikle üretilecek olan aracın aerodinamik testi yapılmış, elde edilen sürükleme katsayısı, araçta seçilmesi gereken motor, aracın çıkabileceği maksimum hız ve akselerasyon tepkisi hesaplanmış, bunun sonucunda batarya kapasitesi ile aracın menzili simüle edilmiştir.

2.1. Aracın Aerodinamik Analizi

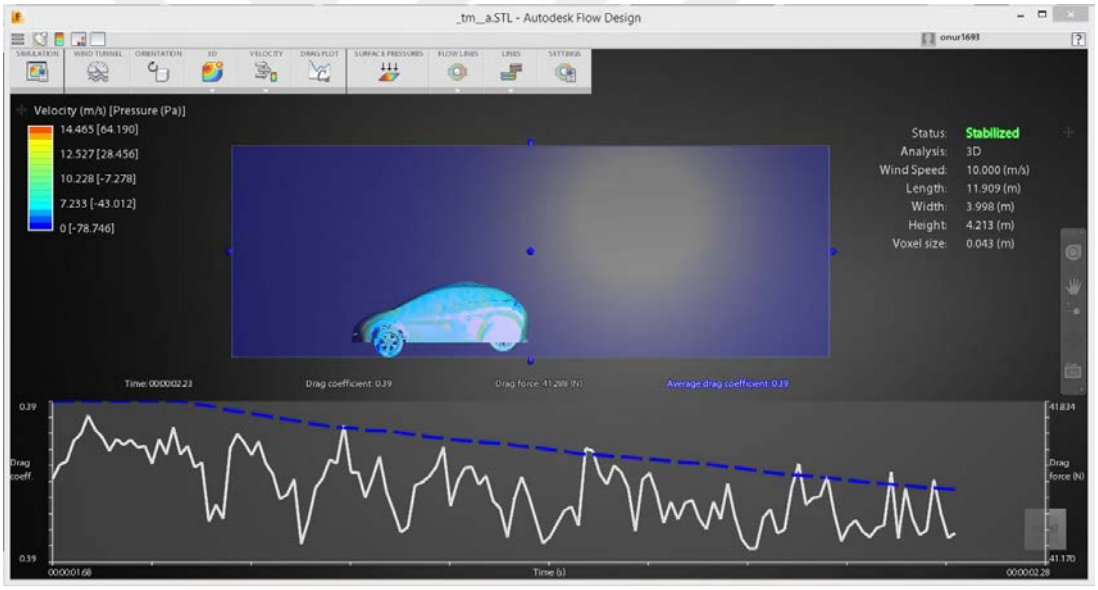
Arabanın üç boyutlu modellenme süreci Solidworks 2015 programında yapılmıştır. Gerçek bir rüzgar tünelini simule edebilmek için Autodesk Flow Design programı kullanılmıştır. Analizde i5 3230 2.8 GHz işlemcili, 8GB bellek kapasiteli, 2 GB NVidia GeForce 740M ekran kartına sahip bir bilgisayar kullanılmıştır. Analiz yaklaşık olarak 4 saat sürmüştür.

Aracın analizi 2 hızda yapılmıştır. Önce analiz düşük bir hız olarak düşünülen 36 km/h'te, daha sonra aracın maksimum hızı olarak düşünülen 90 km/h'te simüle edilmiştir. Araç TÜBİTAK alternatif enerjili araç yarışları konseptine göre tasarlandığı için yarışı ortalama 60 km/h hızla bitirmesi gerekmektedir. Bu açıdan aracın maksimum hızının 90 km/h olması makul görülmüştür.

Aracı uygun koşullarda simüle edebilmek için rüzgar tünelinin boyutları ve hava lülesinin çıkış kısmı öncelikle belirlenmelidir. Aracın benzetim koşullarının uygun olması için model kesit alanının deney odası kesit alanına oranı %10 veya daha düşük olmalıdır. Aracın ağırlık merkezi ise hava çıkışına 4.7 m uzaklığa yerleştirilmesi uygundur [22]. Aracın yerleştirildiği tünelin boyutları Şekil 2.1'de rüzgar altında ve Şekil 2.2'de rüzgarsız perspektif görüntüsü olarak görülmektedir.



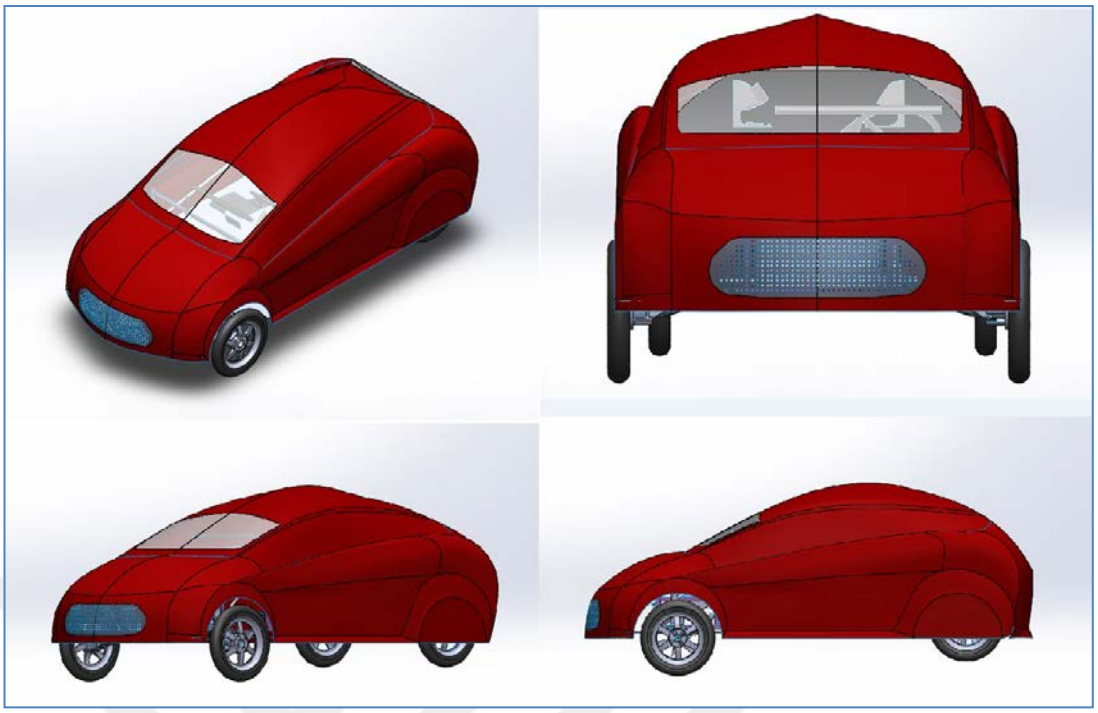
Şekil 2.1. Araç rüzgar altındayken tünel boyutları



Şekil 2.2. Rüzgarsız tünel kesit görünümü

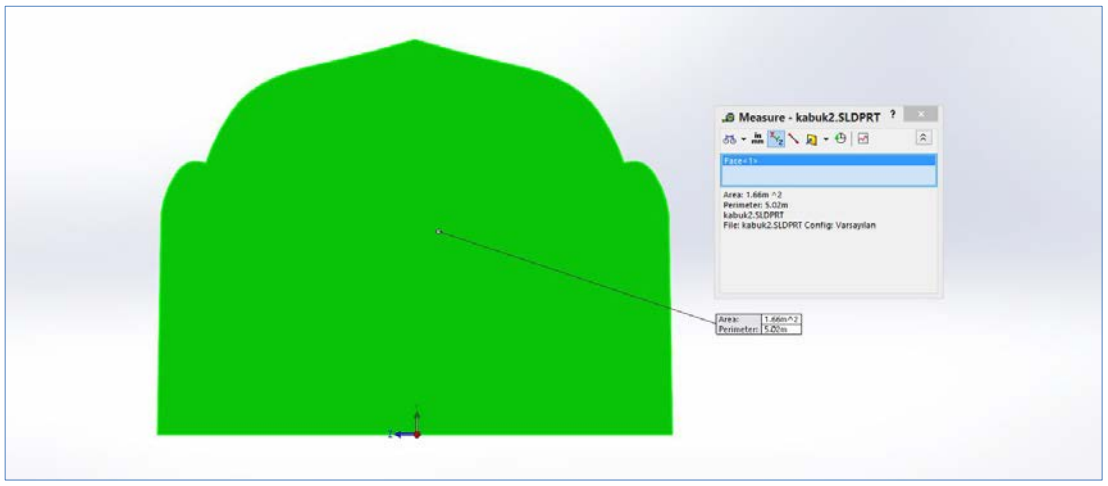
Tünelin uzunluğu 11,909 m, genişliği 3,998 m, yüksekliği ise 4,213 m olarak belirlenmiştir.

Araç bir şehir içi hatchback araç tipinde tasarlanmıştır. Aracın farklı açılardan görünümü Şekil 2.3'te gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Araç farklı açılarda görünüm

Rüzgar tünelimizin kesit alanı 16,8 metrekaredir. Aracın kesiti ise Solidworks üzerinden Şekil 2.4'te hesaplandığı üzere 1,66 metrekare olarak gözükmektedir.



Şekil 2.4. Aracın kesit alanı

Yapılan hesaplamalarda araç kesit alanının deney kesit alanına oranı yaklaşık olarak %6 olarak hesaplanmıştır. %10'un altında olduğu için alınan değerler uygundur.

2.2. Aracın Sürüklenme Katsayısının Belirlenmesi

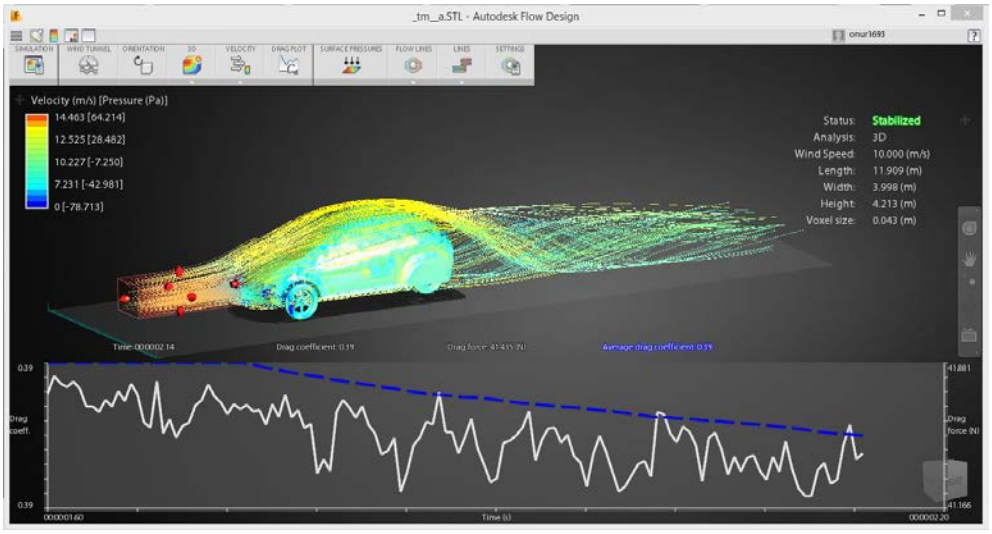
Her aracın geometrik şeklinden dolayı sahip olduğu bir sürükleme katsayısı vardır. Sürükleme katsayısı C_d ile ifade edilir. Sürükleme katsayısını bulmak için araç iki hızda CFD (Computational Fluid Dynamics) analizine sokulmuştur. CFD analizi statik ve dinamik(araç dinamiği) olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Geometrik şekilden dolayı sahip olunan sürükleme katsayısını bulmak istediğimiz için araca yalnızca statik rüzgar akış testi uygulanmıştır. Testlerin tam sonuç vermesi ve rüzgarın tepkisini gözlemleyebilmek için, rüzgar tüneline aracın sokulması gerekmektedir. Bu imkan dahilinde olmadığı için aracın testi yalnızca bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.5'te Rüzgar testine sokulan Porsche 911 model aracın testi gözükmektedir. Gerçek şartlarda uygunan testlerde aracın rüzgara verdiği tepki daha doğru gözlemlenebilmektedir.



Şekil 2.5. Rüzgar testi tüneli Porsche 911

2.2.1. 36 km/h testi

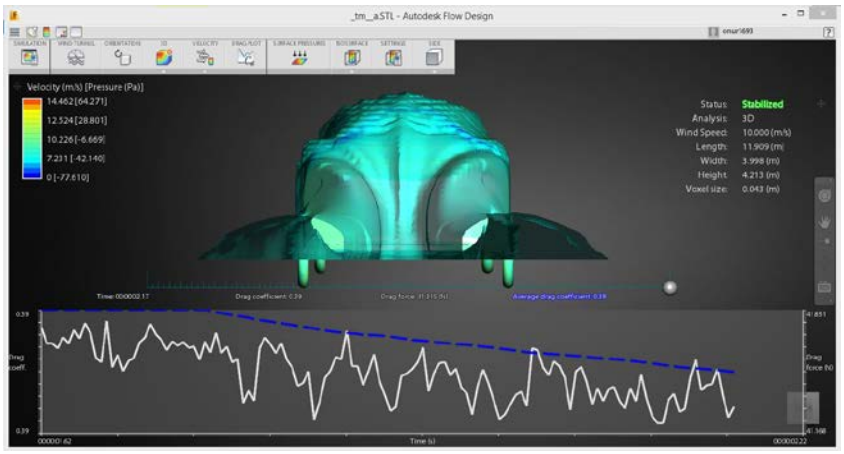
Araç ilk önce 36 km/h hız altında test edilmiştir. Bu hız m/s cinsinden ifade edildiğinde 10 m/s hıza tekabül eder. Test 2 boyutlu ve 3 boyutlu analiz olacak şekilde 2 analiz yapılmıştır. 3 boyutlu analizdeki ilk resim Şekil 2.6'da gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Araç 3 boyutlu analiz

Araç üzerine lineer şekilde gönderilen hava akışı gözükmektedir. Ön taraftan 10m/s hız ile gelen hava akışı aracın önüne çarparak yaklaşık olarak 14m/s hıza çıkmaktadır. daha sonra havanın bir kısmı pil kutusuna girerken kenarlara çarpan hava iki şekilde yol izlemektedir. Bu yol aracın kaput üstünden yukarı veya şasi altından geçmektedir. Havanın bir kısmı araç üzerinden geçerken bir kısmı da aracın altından yol almaktadır.

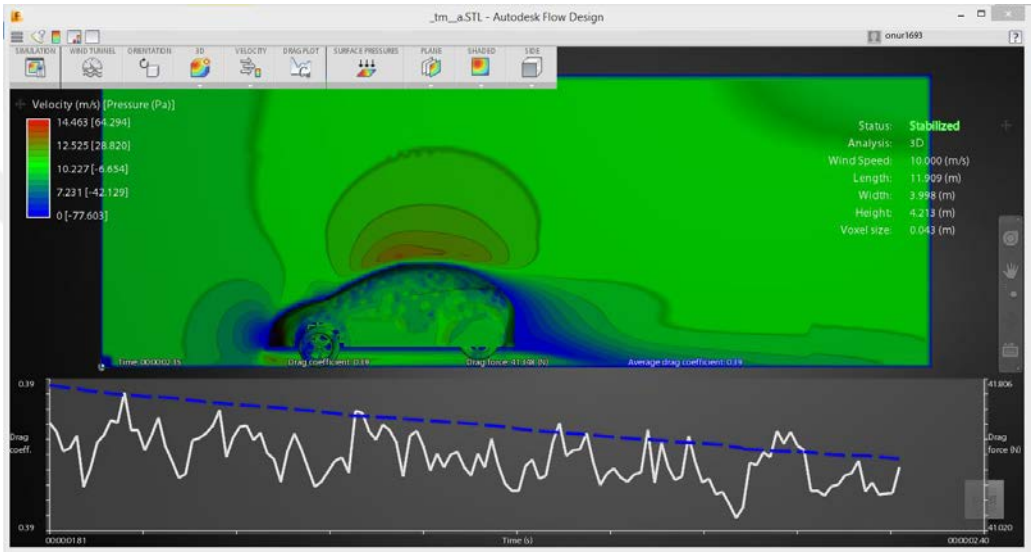
Üst taraftan geçen hava aracın balık sırtı geometrisinden dolayı iki yönde ayrılmaktadır. Bu durum Şekil 2.7'de gösterilmektedir.



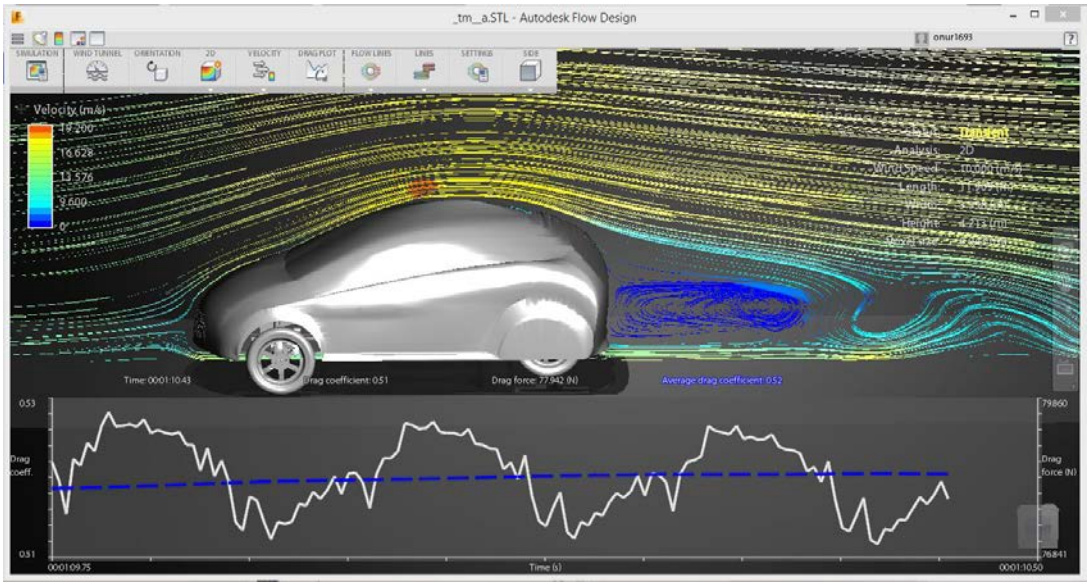
Şekil 2.7. Araç analizi

Üstten gelen havanın hızı ve basıncı alt kısımdan gelen havanın hızı ve basıncına göre fazladır. Bu basınç ve hız farkından dolayı aracın tabana yaptığı basıncın etkisi görülmektedir.

Aracın arka cam üst kısmından tampon altına kadar olan bölgesi herhangi bir rüzgar basıncına maruz kalmadığı için vakum etkisi yaratmaktadır ve bu vakum etkisi vektörel ifade olarak -6 ile -77 Pa arasında hat boyunca lineer olarak artmaktadır. Bu durum Şekil 2.8'de ve Şekil 2.9'da açıkça görülmektedir. Aracın arka kısmında çıkan ve mavi renk ile görülen kısım o bölgede ters yönde bir rüzgar etkisini göstermektedir. Bu etki araç tasarımında istenmeyen bir durumdur fakat hatchback olarak tasarlanan araçlarda bu durum oluşmaktadır.



Şekil 2.8. Analiz yandan görünüm

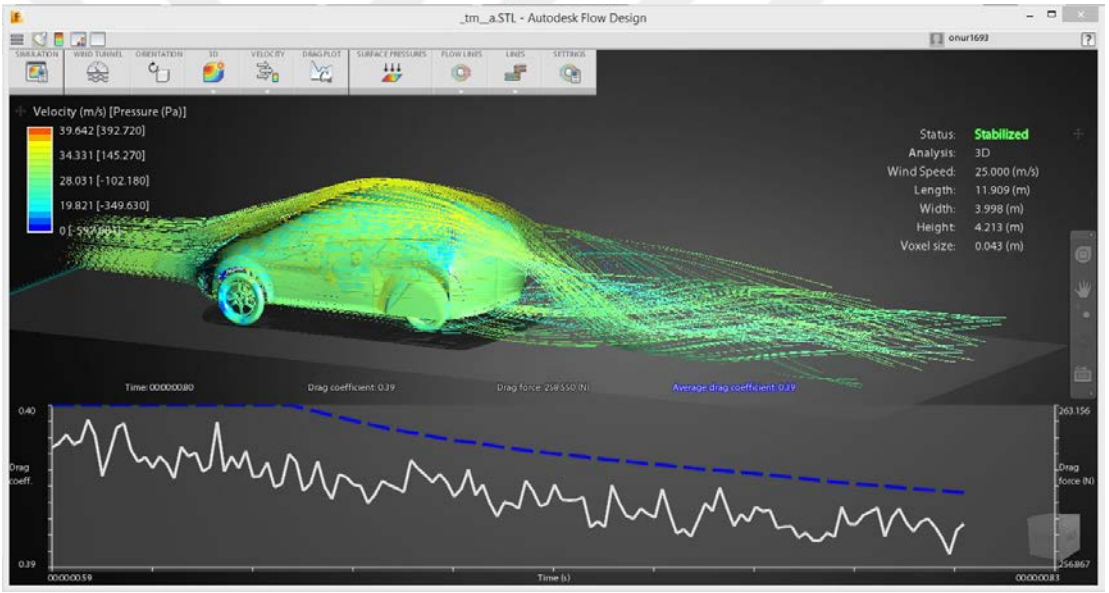


Şekil 2.9. Analiz vakum etkisi

3 boyutlu CFD analizinde aracın ortalama sürüklenme katsayısı 0,39 olarak hesaplanmıştır. 2 boyutlu CFD analizinde ise aracın aerodinamik sürüklenme katsayısı 0,52 olarak bulunmuştur. Fakat 3 boyutlu analizde çıkan değer gerçek değere daha çok yakınsayacağı için aracın diğer analizlerinde de bu değer kullanılmaktadır.

2.2.2. 90 km/h testi

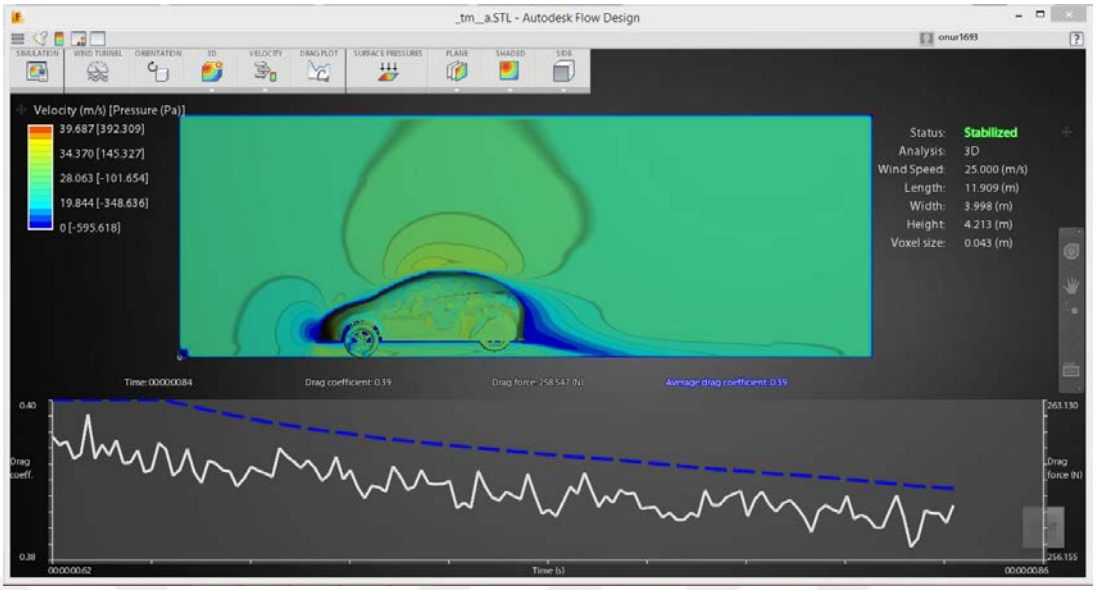
Araç bölüm başında da belirtildiği gibi nominal hız olarak belirlediğimiz 36 km/h ve maksimum 90 km/h olarak iki hız altında test edilmiştir. 90 km/h altında da beklenildiği gibi sürüklenme katsayısı 0.39 olarak çıkmıştır. Çıkan sonuçlar Şekil 2.10'da görülmektedir.



Şekil 2.10. Araç 90 km/h analiz

36 km/h hızdan farklı olarak aracın beklenildiği sürüklenme kuvveti 258 N olarak gözükmektedir. Aynı parametre 36 km/h analizinde 41 N civarında çıkmıştır. Bunun nedeni sürüklenme kuvvetinin hızın karesi ile bağıntılı olmasından ileri gelir. Bundan dolayı aerodinamik sürüklenme katsayısı araç tasarımında en önemli parametrelerdendir.

Şekil 2.11'de 3 boyutlu analizin kesit bakışında görüldüğü üzere mavi bölgeler 0 hızı işaret etmektedir. Aynı şekilde hatchback arabalarının dezavantajı olarak araç arka bölgesinde bir vakum etkisi görülmektedir.



Şekil 2.11. 90 km/h analiz yandan görünüm

Aracın 2 boyutlu analizinde de sürüklenme katsayısı 0,51 olarak ilk hızda bulunan değerle hemen hemen aynı çıkmıştır.

Aracı aerodinamik açıdan incelediğimizde aracın arka tarafında oluşan vakum etkisinin aracın sürüklenme katsayısına olumsuz bir katkı yaptığı görülmektedir. Fakat literatürde bir çok kaynakta belirtildiği üzere sürüklenme katsayısı beklenildiği üzere 0,3-0,5 arasında tespit edilmiştir. Tablo 2.1'de çeşitli marka ve model araçların sürükleme katsayıları görülmektedir.

Tablo 2.1. Bazı araçların sürükleme katsayıları[23]

Araç Marka ve Model	Sürükleme Katsayısı	Üretim Yılı
Volkswagen XL1	0,189	2013
Mercedes-Benz W221	0,26	2006-2013
Toyota Camry	0,28	2001
Toyota Yaris	0,29	2006-2011
BMW M3 Coupe	0,32	2005
Dodge Charger	0,33	2006
Ford Escort	0,36	1997-2002
Fiat 500	0,38	1957-1975
Subaru Forester	0,405	1997-2002
Mercedes Benz G-Class	0,54	1979 - günümüz

Tablo 2.1'e bakıldığında tasarlanan aracın standart binek araç sınıfındaki araçlara yakın bir sonuç aldığı görülmektedir.

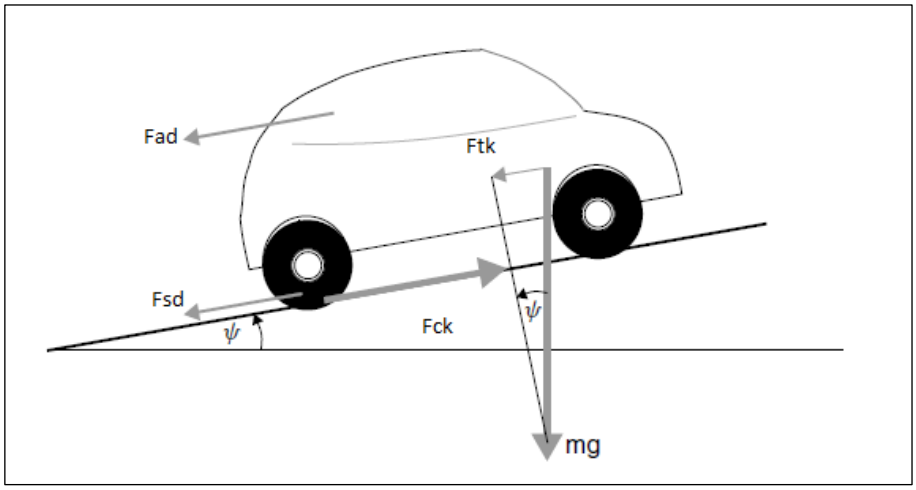
2.3. Aracın Akselerasyon ve Hız Kestirimi

Bir araç tasarımında hız ve akselarasyon kestirimi oldukça önemli bir yer teşkil eder. Çünkü aracın hızı ve ivmelenmesi aracın kullanılacağı yere göre birincil olarak önceliklidir. Bunu kestirebilmek için araçta kullanılacak motor, aracın ağırlığı, aracın hızı gibi parametreler ekonomik kısıtlar ile birlikte optimum şartlarda belirlenmelidir.

Bir aracın ivmelenmesi üzerine hesaplamalar yaparken ilk başta çekiş kuvveti olarak bilinen kuvvet için bir denklem üretmek gerekir.

Çekiş kuvveti Şekil 2.12'de gösterildiği gibi aşağıdaki parametrelere bağlıdır;

- Sürtünme direnci ile oluşan kuvvet (lastik ve zemin arasında) (F_{sd})
- Aerodinamik direnç ile oluşan kuvvet (F_{ad})
- Zemin eğimli ise eğime karşı uygulanması gereken kuvvet (F_{tk})
- İvmelenme kuvveti (F_{ik})



Şekil 2.12. Araç üzerine etkiyen kuvvetler

2.3.1. Sürtünme direnci ile oluşan kuvvet (F_{sd})

Sürtünme direnci lastik ile zemin arasında oluşan kuvvettir. Lastiğin yapısı ve lastikteki hava basıncı ile doğrudan ilgilidir. Sürtünme direncinin oluşturduğu kuvvet Denklem (2.1) ile ifade edilir;

$$F_{sd} = \mu mg \tag{2.1}$$

μ değeri lastiğin kalitesi ve hava basıncına göre 0,005 – 0,02 arasında değişebilir.

2.3.2. Aerodinamik direnç ile oluşan kuvvet (F_{ad})

Aerodinamik direnç, aracın havaya karşı oluşturduğu dirençtir. Aracın gövde tasarımı, aynalar, hava kanalları ve pek çok parametre ile yakından alakalıdır. Bu kuvvet Denklem (2.2) ile ifade edilir.

$$F_{ad} = \frac{1}{2}\rho A C_d v^2 \tag{2.2}$$

Burada "ρ" hava yoğunluğunu, A aracın frontal alanını, C_d ise aracın aerodinamik sürtünme katsayısını gösterir. Denklemden de anlaşılacağı üzere oldukça büyük bir kuvvettir. Çünkü hızın karesi ile orantılıdır. Bu yüzden uygun bir gövde tasarımı araç için oldukça hayati bir öneme sahiptir.

Tipik bir sedan araçta C_d değeri 0,3 – 0,5 arasında değişebilir. Otobüs ve motosikletlerde ise bu değer 0,7 civarındadır.

Uluslararası standart atmosfer (ISA) şartlarında hava yoğunluğu Tablo 2.2 de görülebilir [24].

Tablo 2.2. ISA şartlarında hava yoğunluğu

Yükseklik (ft)	Hava Basıncı hPa [Hg]	Hava Sıcaklığı C [F]	Hava Yoğunluğu
0	1013,25 [29,92]	15 [59,0]	1,225
1000	977,18 [28,86]	13 [55,4]	1,190
2000	942,12 [27,82]	11 [51,8]	1,155
3000	908,18 [26,82]	9,1 [48,4]	1,121
4000	875,14 [25,84]	7,1 [44,8]	1,088
5000	843,13 [24,90]	5,1 [41,2]	1,056
6000	812,02 [23,98]	3,1 [37,6]	1,024

Buradan hareketle hava yoğunluğunun 1,225 kg/m^3 olarak alınması uygun görülmüştür. Çünkü aracımızın yarışacağı alan deniz seviyesindedir.

2.3.3. Tırmanma kuvveti (F_{tk})

Şekil 2.12'den de görüleceği üzere aracın eğim durumunda iken zemine paralel oluşan kuvvettir. Denklem (2.3) ile ifade edilir.

$$F_{tk} = mg\sin(\psi) \tag{2.3}$$

2.3.4. İvmelenme kuvveti (F_{ik})

İvmelenme kuvveti oldukça iyi bilinen Newton'un ikinci yasasıdır. Kütle ve ivmenin çarpımı ile elde edilir.

Rotasyonal ivme kuvveti için Denklem (2.4) kullanılmaktadır.

$$F_{ri} = I\left(\frac{G}{\eta r^2}\right)a \tag{2.4}$$

Buradaki "I" motorun atalet momentidir. Atalet momenti kullanılmadan yaklaşık bir sonuç elde edilebilir. Bu yüzden ivmelenme kuvvetinde kütlenin %5 oranında arttırılması bir çok uygulamada doğru sonuçlar vermiştir [25].

Bütün bu bilgiler ışığında çekiş kuvveti Denklem (2.5) ile gösterilmiştir.

$$F_{ck} = F_{sd} + F_{ad} + F_{tk} + F_{ik} + F_{ri} \tag{2.5}$$

2.4. Elektrik Motoru Hesaplamaları

Elektrik motoru elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren aygıttır. Her elektrik motoru biri sabit (Stator) ve diğeri kendi çevresinde dönen (Rotor ya da Endüvi) iki ana parçadan oluşur. Bu ana parçalar, elektrik akımını ileten parçalar (örneğin: sargılar), manyetik akıyı ileten parçalar ve konstrüksiyon parçaları (örneğin: vidalar, yataklar) olmak üzere alt bölümlere ayrılır. Elektrik motorları elektrikli araçlar için anahtar bileşendir.

2.4.1. Elektrik motorlarında tork denklemi

Bir elektrik motorundaki kablonun uzunluğunu "l", taşıdığı akımı "I" ve oluşturduğu manyetik alanı "B" ile ifade edilirse kablodaki kuvvet Denklem (2.6) ile ifade edilir.

$$F = BIl \tag{2.6}$$

Bobin yarıçapı “r” ise ve armatür “n” tur sarım içeriyorsa motor torku Denklem (2.7) ve manyetik akı Denklem (2.8) ile ifade edilir.

$$T = 2nrBIl \tag{2.7}$$

$$2Blr = ø \tag{2.8}$$

İki denklem birleştirildiğinde Denklem (2.9) elde edilir.

$$T = nøI \tag{2.9}$$

Teoride bu eşitliği elde etsek de motorun bobininim tam olarak düzgün ve dairesel olduğu varsayımı yanlıştır. Bundan dolayı motor hesaplamalarında "K_m" olarak ifade edilen motor sabiti parametresi kullanılabilir. Motor sabitinin değeri sarım sayısı, kutup çiftlerinin sayısı ve motor dizaynına göre değişir [25]. Buradan da Denklem (2.10) elde edilir.

$$T = K_m øI \tag{2.10}$$

Denklem (2.10)’dan görüldüğü üzere motor torku akıma bağlıdır. Akım da armatür gerilimine (E_s) ve armatür direncine bağlıdır (R_a). Elektrik motoru olarak ifade ettiğimiz makineler jenaratör veya dinamo olarak çalışabilir. Motor çalıştığı esnada üretilen gerilim E_b olarak ifade edilirse Denklem (2.11) elde edilir.

$$E_b = Blv \tag{2.11}$$

Ters EMK kuvveti olarak ifade edilen E_b sarımın manyetik alandaki hızına bağlıdır. Radyal bir harekette de hızın açısal hız ve yarıçap ile ifade edilebileceğini düşünürsek ($v=r\omega$), ters EMK Denklem (2.12) ile ifade edilebilir.

$$E_b = 2Blr\omega \tag{2.12}$$

Bu denkleme sarım sayısını da eklediğimizde Denklem (2.13) elde edilir.

$$E_b = 2nBlr\omega \tag{2.13}$$

K_m sabiti tekrar kullanılırsa elde edilecek nihai denklem zıt EMK'yı Denklem (2.14) verir.

$$E_b = K_m \phi \omega \tag{2.14}$$

Bu gerilim besleme gerilimine karşı olarak üretilir. Bundan dolayı armatür akımı hesaplanırken toplam gerilim E_s-E_b olarak alınmak durumundadır. Bu noktada elde edilen denklemler ile armatür akımı Denklem (2.15) ile ifade edilebilir.

$$I = \frac{E_s - E_b}{R_a} = \frac{E_s}{R_a} - \frac{K_m \phi}{R_a}\omega \tag{2.15}$$

Armatür akımı denklemi Tork denklemi ile birleştirildiğinde Denklem (2.16) elde edilir.

$$T = \frac{K_m \phi E_s}{R_a} - \frac{(K_m \phi)^2}{R_a}\omega \tag{2.16}$$

Bu denklemden anlaşıldığına göre tork hızın sıfır olduğu noktada maksimum değerdedir. Bununla birlikte maksimum akımın motor sürücüsü tarafından sınırlandırılması gerekmektedir. Örnek için Motenergy firmasının ME-1003 kodlu motorunu incelenmiştir. İlgili motorun firma kataloğundan alınan değerler Tablo 2.3'te gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Motor parametreleri[26]

Armatür Direnci	0,01 Ω
Gerilim Sabiti	50 RPM/V
Maksimum Tork	98 Nm
Maksimum Akım	500 A

Motordan alınan hız-gerilim değeri ile Denklem (2.16) birleştirildiğinde;

$$\omega = \frac{E}{K_m \phi} \text{rad.s}^{-1} = \frac{60}{2\pi K_m \phi} E \text{ rpm} \tag{2.17}$$

$$\frac{60}{2\pi K_m ø} = 50 \tag{2.18}$$

Bu yaklaşım ile Denklem (2.17) vasıtasıyla Tablo 2.3'teki özelliklere bakarak Denklem (2.18)'e ulaşılır. Buradan $K_m ø = 0{,}191$ sonucuna varılır. Besleme gerilimi 72 V alınırsa motor tork denklemi de Denklem (2.19) şeklinde oluşur.

$$T = 1375{,}2 - 3{,}65\omega \tag{2.19}$$

Sıfır hızda zıt EMK oluşmadığı için;

$$I = \frac{E_s}{R_a} = \frac{72}{0{,}01} = 7200 \text{ A} \tag{2.20}$$

sonucu bulunur.

Bu akım sargıların dayanabileceğinden çok daha fazladır. Üretici firmanın verdiği özelliklere göre sargılar maksimum 500 A akıma dayanabilir. Bundan dolayı akım, sürücü tarafından sınırlandırılmalıdır.

Elimizdeki değerlere ve Denklem (2.10)'a göre maksimum tork Denklem (2.21)'de hesaplanmıştır.

$$T = K_m ø I = (0{,}191)(500) = 95{,}5 \tag{2.21}$$

Bu değer firmanın verdiği değere (98 Nm) oldukça yakındır ve hesaplamaların doğru olduğu sonucu çıkmaktadır.

2.5. Aracın Akselerasyon Kestirimi

Aracın akselerasyon kestiriminde önceki bölümlerde elde ettiğimiz denklemler kullanılacaktır. Elektrik motoru ile ilgili hesaplarda torkun kritik hıza bağlı bir fonksiyon olduğu görülmüştür. Akımın sınırlandırıldığı durumlarda tork belli bir hıza kadar ω_k sabittir. Daha sonra hızın artması ile düşecektir.

Dişli Oranı (G) ve lastik yarıçapı (r) da hesaba katıldığında aşağıdaki Denklem (2.22) ve Denklem(2.23) elde edilir. G motor tahriğinden lastiğe yapılan tahriğin dönüşüm oranını ifade eder.

$$\omega < \omega_k \qquad \text{ise} \qquad T = T_{max} \tag{2.22}$$

$$\omega > \omega_k \qquad \text{ise} \qquad T = T_0 - x\omega \tag{2.23}$$

Açısal hız yerine aracın hızını kullandığımızda Denklem (2.24) elde edilir.

$$T = T_0 - x(\frac{G}{r})\nu \tag{2.24}$$

Eğer elde edilen denklemler Denklem (2.6)'da yerine koyulduğunda nihai olarak Denklem (2.23) elde edilir.

$$(\frac{G}{r})T = \mu mg + \frac{1}{2}\rho AC_d\nu^2 + mgsin(\psi) + 1,05m\frac{d\nu}{dt} \tag{2.25}$$

Denklemdeki 1,05 katsayısı motorun atalet momentinden dolayı gelmektedir. Atalet momenti motor üreticileri tarafından verilmediğinden dolayı kütleye %5 eklenerek yaklaşık ve uygun bir değer bulunabilmektedir.

Bu işlemin daha kolay yapılabilmesi için MATLAB-GUI ile bir arayüz oluşturulmuş ve gerekli hesaplamalar arayüzün içine gömülmüştür.



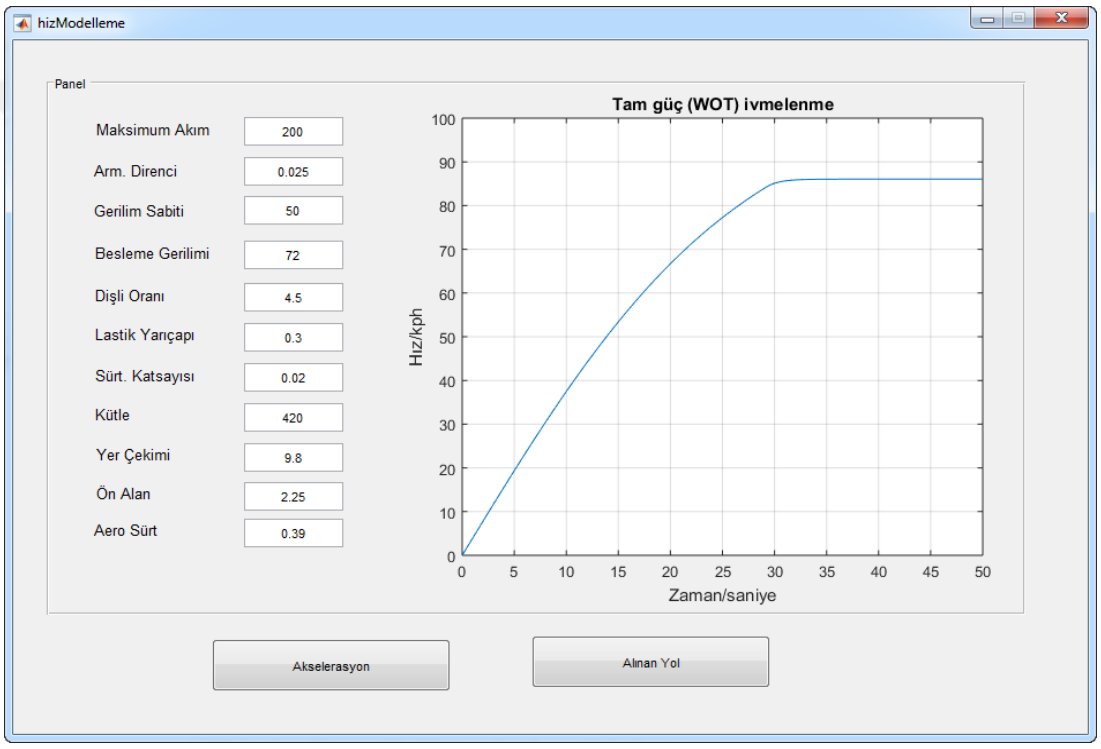
Şekil 2.13. Motenergy ME4201

Araçta kullanılan motor Motenergy firmasının ME4201 kodlu ürünüdür. Şekil 2.13'te gösterilmektedir. Motorun özellikleri ve aracın hesap sırasında verilmesi gereken özellikleri Tablo 2.4' te verilmiştir.

Tablo 2.4. Programda kullanılan parametreler

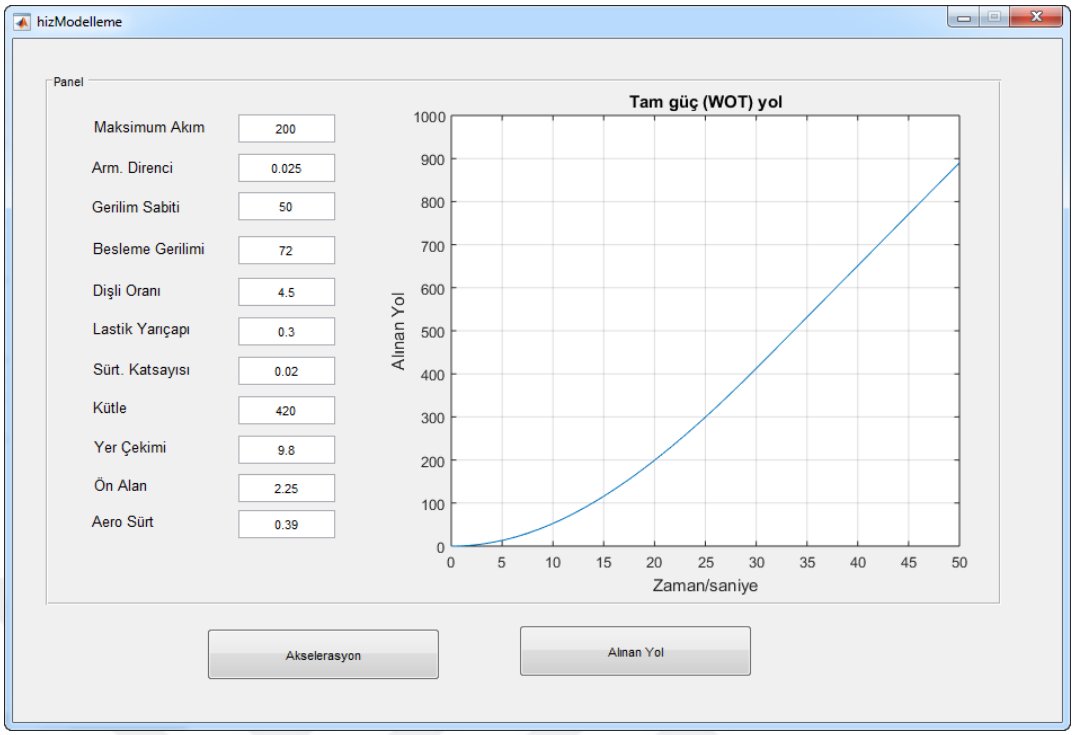
Araç Ağırlığı:	420 kg	LastikYarıçap:	0,27 m
Arm. Direnci:	0,025 Ω	Sürt. Kats:	0,02
Gerilim Sabiti:	50 RPM/Volt	Ön Alan:	1,4 m^2
Besleme Ger.	72 V	Aero Sürt:	0,39
Dişli Oranı:	4,5		

Şekil 2.14'te verilen parametrelere göre aracın 90 km hıza yaklaşabildiği gözükmektedir. Bu da amaçlanan hıza ulaşıldığı anlamına gelir.



Şekil 2.14. Araç akselarasyon grafiği

Şekil 2.15'te ise aracın aynı parametreler ile aldığı yol gösterilmektedir. Aracın sabit hıza ulaştığı 25. saniyeden sonra alınan yol lineer olarak artmaktadır.



Şekil 2.15. Araç alınan yol grafiği

2.6. Batarya Paketi ve Hesapları

Araçta kullanılan batarya Panasonic firmasının ncr18650pf model kodlu pilidir. Araçta kullanılan bataryalar 14 paralel 20 seri olarak düzenlenmiştir. Bunun nedeni TÜBİTAK alternatif enerjili araç yarışlarındaki maksimum güç kısıtıdır. Batarya da kullandığımız piller Şekil 2.16'da, batarya özellikleri Tablo 2.5'te belirtilmektedir.



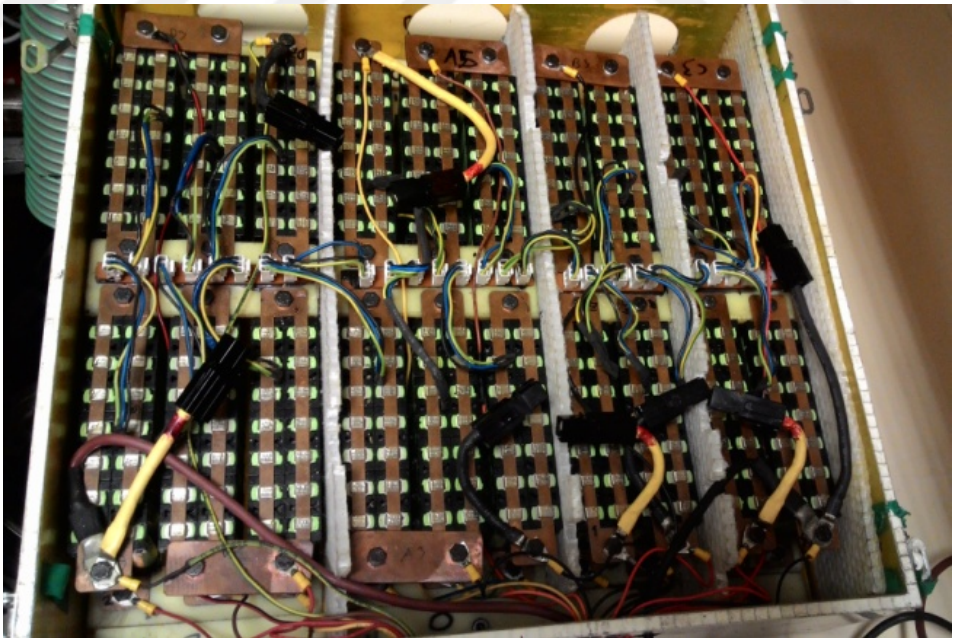
Şekil 2.16. Panasonic NCR18650PF

Batarya kutusunun kapağına ve ön kısmına hava delikleri açılmış, batarya paketinin soğuması sağlanmıştır. Şekil 2.17'de bu durum gözükmektedir.



Şekil 2.17. Batarya kutusu

Şekil 2.18'de pillerin batarya kutusuna yerleşimi görülmektedir. Piller 14 seri 20 paralel olacak şekilde bağlanmıştır.



Şekil 2.18. Araçta kullanılan batarya kutusunun üstten görünümü

Tablo 2.5. ncr18650pf özellikleri

Nominal kapasite	2880 mAh
Nominal Gerilim	3,6 V
Şarj	CC-CV std. 1365 mA, 4,2 V, 4 saat
Deşarj	540 mA (max)
Sıcaklık	Şarj: +10 +45 arası (Celsius) Deşarj: -20 -60 arası (Celsius) Saklama: -20 +50 arası (Celsius)
Enerji Yoğunluğu	Hacimsel: 565 Wh/l Kütlesel : 213 Wh/l

Şekil 2.19'da batarya kutusunun araç üzerindeki yerleşimi gösterilmektedir. Batarya kutusu aracın ön tarafına sabitlenmiştir.



Şekil 2.19. Batarya kutusunun araçtaki yerleşimi

Elektrikli araçlar için bataryanın modellenmesi aracın performansı açısından önemlidir. Yalnız bataryaların modellenmesi pilin sıcaklığı, kullanım kalitesi, üretim toleransı gibi bir çok etkene bağlıdır. Bataryadaki elektrokimyasal olaylar bir çok öngörülemez sonuca yol açar. Buna rağmen batarya modellemeleri elektrikli araç hakkında bize fikir verebilir [25].

Bataryalar modellenirken açık devre geriliminin DoD'ye (Depth of Discharge/Deşarj Derinliği) bağlı fonksiyonu elde edilmelidir. Tablo 2.6'da Li-ion pillerde belli

gerilim aralıklarında SoC (State of Charge/Şarj Durumu) oranı yüzdelik olarak verilmiştir [27].

Tablo 2.6. Gerilim SoC tablosu[27].

	Gerilim		Doluluk Oranı	
	V_d	V_y	SoC_d	SoC_y
1	4,10	4,18	90	100
2	4,06	4,10	80	90
3	4,03	4,06	70	80
4	4,01	4,03	60	70
5	3,98	4,01	50	60
6	3,94	3,98	40	50
7	3,90	3,94	30	40
8	3,83	3,90	20	30
9	3,76	3,83	10	20
10	3,32	3,76	0	10

SOC ve DOD arasındaki ilişki Denklem (2.26)'da verilmiştir.

$$DoD = 1 - SoC \text{ [28]} \tag{2.26}$$

Tablodaki veriler kullanılarak eğri uydurma yöntemi ile Denklem (2.27) elde edilmiştir. Tablodaki V_d gerilim alt sınırı, V_y ise gerilim üst sınırı, SoC_d SoC alt sınırı, SoC_y ise SoC üst sınırı ifade eder. Matlab Polyfit eğri uydurma komutu ile elde edilen eğri karşılıklı olarak hem gerilim değerlerinde hem de SoC değerlerinde orta nokta baz alınarak yapılmıştır.

$$V = -4{,}118(SoC)^4 + 5{,}5768(SoC)^3 - 1{,}9269(SoC)^2 - 0{,}3267(SoC) + 4{,}1747 \tag{2.27}$$

2.6.1. Şarj kapasitesi

Bir pilin kapasitesi değişkenlik gösterir. Akımın daha hızlı çekilmesiyle batarya kapasitesinin de azalacağı ilk bölümde belirtilmişti. Bu yüzden yüksek akımlarda pilin modellenmesi için peukert etkisi eşitliği yani Denklem (2.28) kullanılabilir [29].

$$Cp = I^k T \tag{2.28}$$

Bu değer li-ion bataryalar için çok düşüktür. Dolayısıyla lityum iyon bataryalarda hızlı boşalım kapasite üzerinde çok etkili olmayacaktır. Denklem (2.29) ile bu durum anlaşılabilir. Peukert sabiti arttıkça batarya boşalım süresi azalacaktır.

$$T = \frac{Cp}{I^k} \tag{2.29}$$

Denklem (2.29)'dan da anlaşılacağı üzere peukert kapasitesi şunu ifade eder. Pilden I akımı kadar geçtiğinde kapasite bakımında pilden I^k kadar akım geçmiş gibi davranır. Nikel-kadmiyum ve kurşun asit bataryalarda bu değer lityum pillere göre çok daha yüksektir. Bundan dolayı peukert etkisi bu bataryalarda çok daha fazla gözlemlenir.

Bu açıdan değerlendirildiğinde, bataryadan boşalan akım zaman yönünde incelendiğinde, bataryadan boşalan etkin dolum $(\Delta t)I^k$ olarak hesaplanır. Burada Δt geçen süreyi ifade eder. Süre saniye biçiminde alınıp amper-saat olarak boşalan etkin dolum(BED) hesaplanırsa Denklem (2.30)'a ulaşılır. Eşitlikte BED boşalan etkin dolmu ifade eder. Her adımda bir önceki toplam BED eklenir.

$$BED_{n+1} = BED_n + \frac{(\Delta t)I^k}{3600} \tag{2.30}$$

Aynı şekilde sağlanan etkin dolum (SED) ise de aşağıdaki Denklem (2.31) ile hesaplanır.

$$SED_{n+1} = SED_n + \frac{(\Delta t)I^k}{3600} \tag{2.31}$$

Bir bataryanın deşarj derinliği de boşalan etkin dolumun peukert kapasitesine oranı ile hesaplanır. Denklem (2.32) bunu ifade eder.

$$DoD_n = \frac{BED_n}{C_p} \tag{2.32}$$

Bu eşitlikler vasıtasıyla yapılan simülasyon çalışmasında batarya paketinin sabit akım altında boşalım eğrisi incelenmiştir. Batarya paketinin bazı özelliklerini hesaplarsak, 14 paralel 20 seri batarya paketinde 14 paralel pil 1 adet hücre olarak düşünülebilir. Bu açıdan 1 hücrenin toplam nominal akımı Tablo 2.5'in yardımıyla;

$$\text{ToplamKapasite} = (2880)(14) = 40,32\text{Ah}$$

olarak bulunur.

Batarya paketinin nominal boşalım süresini hesaplanırken tipik kapasite için gerekli deşarj akımına bakılması gereklidir. Bu da Tablo 2.5'e göre 0.54 A'dir. Buradan nominal kapasite için boşalma süresi hesaplanırsa;

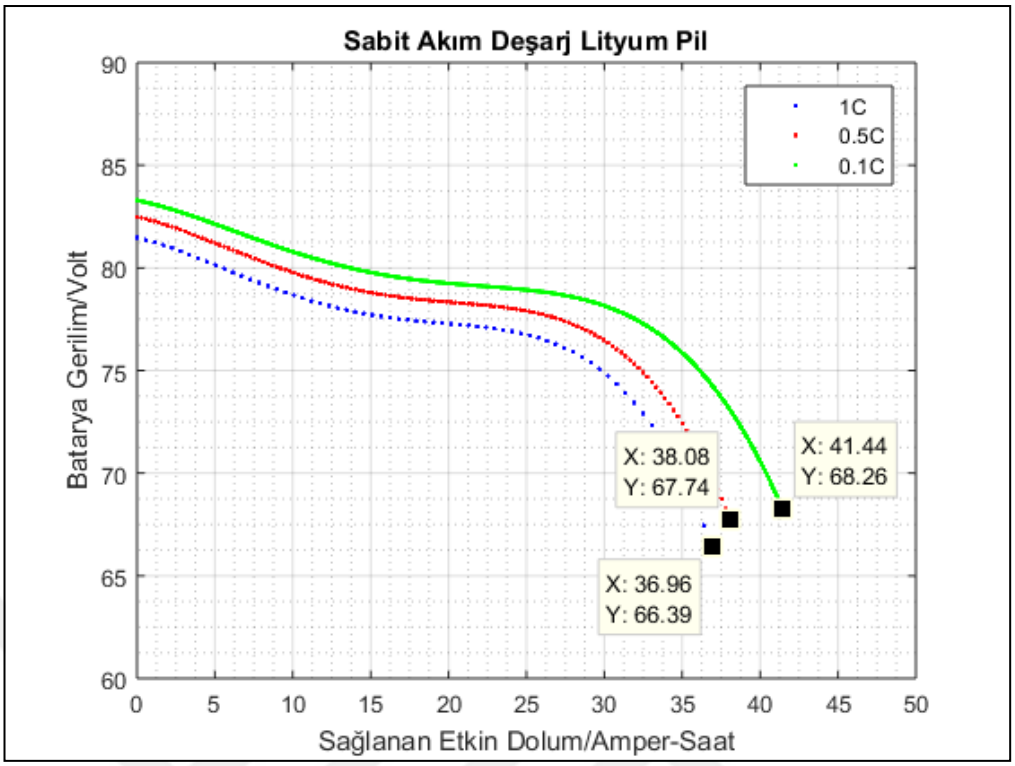
$$t = \frac{\text{NormalKapasite}}{0,54\text{A}} = \frac{2.88\text{Ah}}{0,54\text{A}} = 5,33\text{h}$$

olarak bulunur.

Peukert kapasitesini Denklem (2.26) yoluyla hesaplarken akım 0.54 A, süre 5.33 saat olarak hesaplanmalıdır. Bütün bu hesaplamaları MATLAB programı ile analiz edildiğinde elde edilen eğri Şekil 2.20'de gösterilmiştir.

Şekilde görülen eğriler bataryanın 3 farklı akım altında boşalma eğrisini göstermektedir. Şekilden de anlaşıldığı üzere lityum bataryaların avantajlarından biri olarak, deşarj akımının kapasiteye etkisi azdır.

Şekildeki C ile ifade edilen değişken bataryanın nominal akım değerini ifade eder. C değişkeni bataryanın nominal boşalım değeridir. 1 C ile boşalım nominal boşalımı ifade eder. 0.5 C ise nominal boşalım akımının yarısıdır.



Şekil 2.20. Sabit akım batarya boşalım eğrileri

2.6.2. Sabit hızda giden bir araçta bataryanın boşalma süresi

Sabit Hızda giden aracın boşalma süresi için aracın sabit hızda harcadığı gücü bulmak gereklidir. Belirtildiği üzere aracın sabit hızda harcadığı güç için Denklem (2.33) kullanılır. Aracın sabit hızda menzilini hesaplarken yol sıfır eğimde kabul edilmiştir.

$$F_{ck} = F_{sd} + F_{ad} + F_{tk} \tag{2.33}$$

Denklem (2.6)'dan farklı olarak araç sabit hızda akselerasyon için bir kuvvet harcamaz. Bu yüzden o kuvvetler denklemden çıkarılmıştır. Bu durumda sabit hız için gereken kuvvet Denklem (2.34) ile gösterilir.

$$(\frac{G}{r})T = \mu mg + \frac{1}{2}\rho A C_d v^2 + mg\sin(\psi) \tag{2.34}$$

Bu denklemdeki kuvveti sabit hızla çarptığımızda gereken gücü (2.35) eşitliği ile elde ederiz.

$$P = F_{ck} \nu \text{ [17]} \tag{2.35}$$

Birinci bölümde belirtildiği üzere bir batarya grubundan çekilen akıma bağlı gerilim Denklem (1.1) ile ifade edilmektedir. Güç ise elektriksel olarak gerilim ve akım değerlerinin çarpımı ile elde edilir.Denklem (2.36) bunu ifade eder.

$$P = V_{ger} I \tag{2.36}$$

Denklem (1.1) ve Denklem (2.36) eşitliklerini birleştirdiğimizde;

$$P = VI = (E - IR)I = EI - IR^2$$

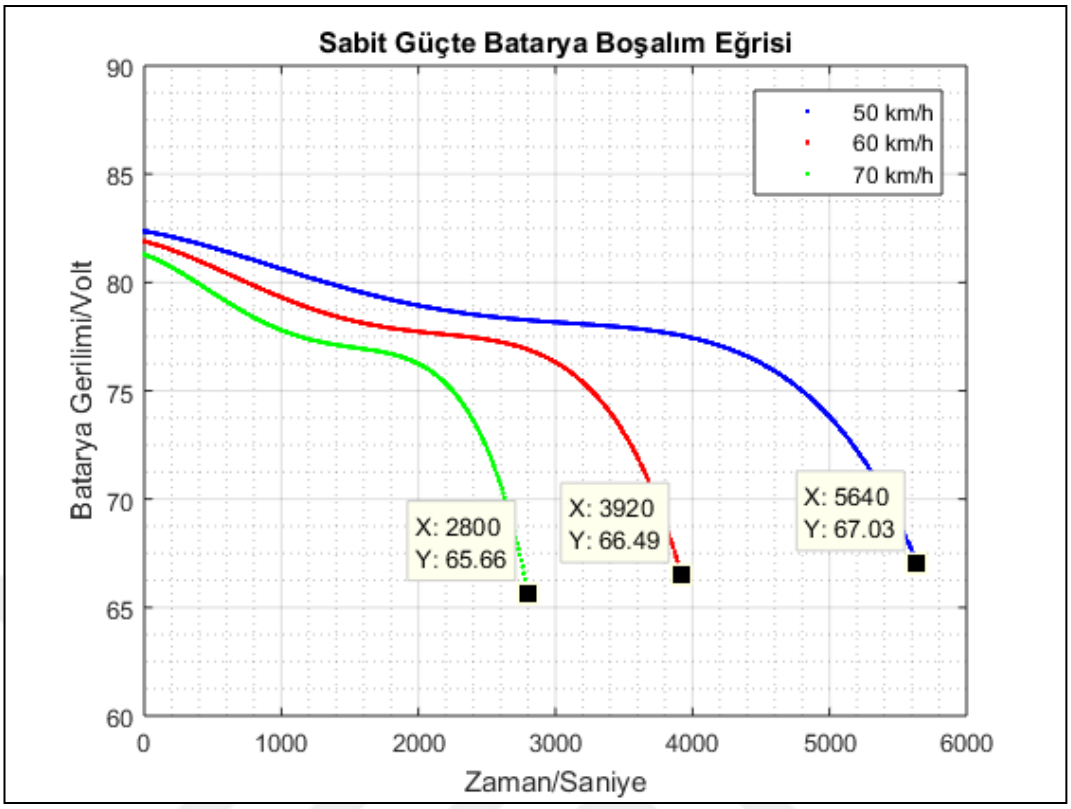
$$IR^2 - EI + P = 0 \tag{2.37}$$

Denklem (2.37) elde edilir.

İkinci derece denklemin çözümü ile Denklem (2.38) elde edilir.

$$I = \frac{E - \sqrt{E^2 - 4RP}}{2R} \tag{2.38}$$

Aracın sabit hızda harcadığı güç ve Denklem (2.36)'nın birleştirilmesiyle yapılan MATLAB analizinde Şekil 2.21 elde edilmiştir.



Şekil 2.21. Araç sabit hızda batarya boşalım eğrileri

Şekil 2.21'de görüldüğü üzere araç 60 km/h saat sabit hızda giderken 3920 saniye yol almaktadır. Basit bir dönüşümle sabit hızda aracın aldığı yolu hesaplarsak 50 km/h hızda giden aracın menzili 78,3 km, 60 km/h'de 65,33 km, 70km/h hızda giden aracın ise 54,4 km yol alacağı hesaplanmıştır.

3. ELEKTRİK TESİSATI

Tasarlanan elektrikli araçta silecekler, korna, far, batarya dengeleme sistemi zorunlu tutulmuştur. Aracın elektrik tesisatı TÜBİTAK Alternatif Enerjili Araç Yarışları kurallarına göre belirlenmiştir.

3.1. Konvertör

Aracın bütün enerjisi bataryalardan sağlanacağı için araçta 12 V ile çalışan sistemler için elektrikli bisikletlerde kullanılan 84V-12V bir dönüştürücü kullanıldı. Maksimum 10 Amper akım verebildiği için bütün elektrik aksamını besleyebilir. Kullanılan konvertör Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



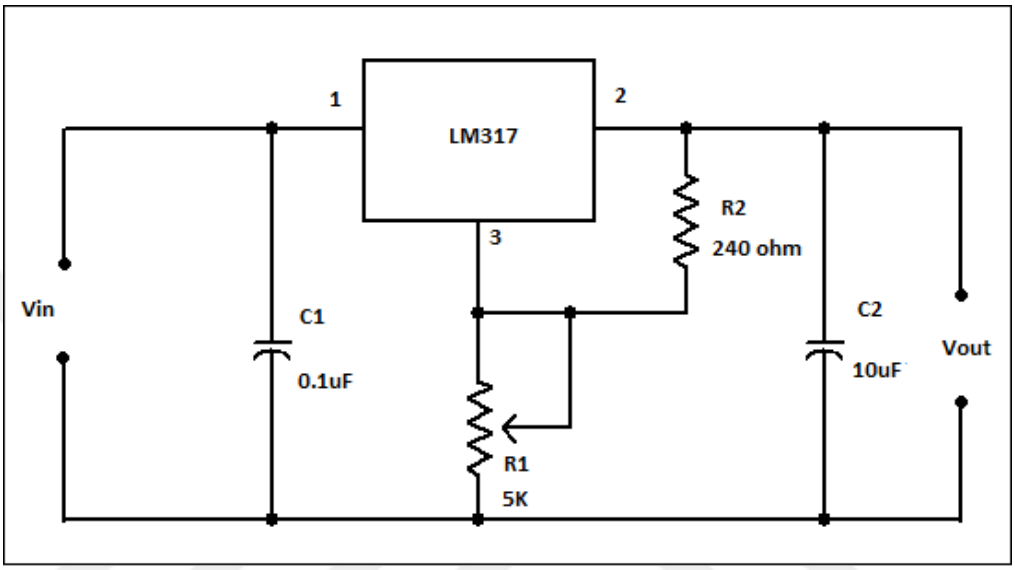
Şekil 3.1. 84V-12V dönüştürücü

3.2. Regülatör Devresi

Fakat kontrol kartı ve diğer 5 V ile çalışan sistemler için LM317 regülatörü ile basit bir devre tasarlanmıştır. Bu devre arduino kontrol kartını, hız ölçüm devresini ve araçtaki diğer 5-9V ile çalışan devreleri beslemektedir. Tasarlanan devrenin şeması

Şekil 3.2'de gösterilmektedir. Şekil 3.2'de görülen R1 direnci ile devrenin çıkış gerilimi 0-12 V arasında ayarlanabilir. Devrenin çıkış gerilimi LM317'nin veri sayfasında Denklem (3.1) ile gösterilmiştir.

$$V_o = 1.25V\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)+\left(I_{adj}R_2\right) \quad (3.1)$$

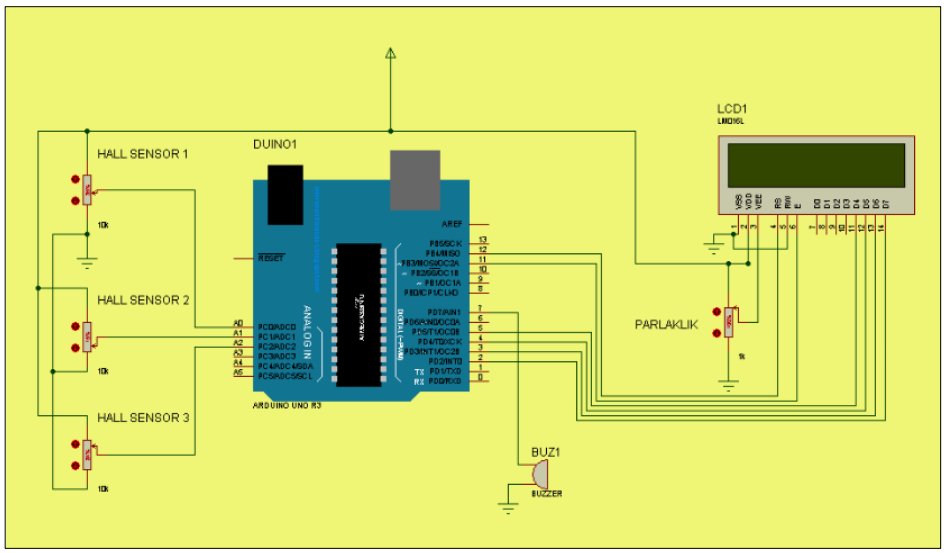


Şekil 3.2. LM317 regülatör devresi

3.3. Hız Kontrol Devresi

Araçta bir adet hız kontrol devresi bulunmaktadır. Bu sistem de arduino kartı ile tasarlanmıştır. Tekerlek ve mile birer adet mıknatıs yerleştirilmiş ve mıknatısın her geçişinde üretilen sinyal sayılarak hıza dönüştürülmüştür.

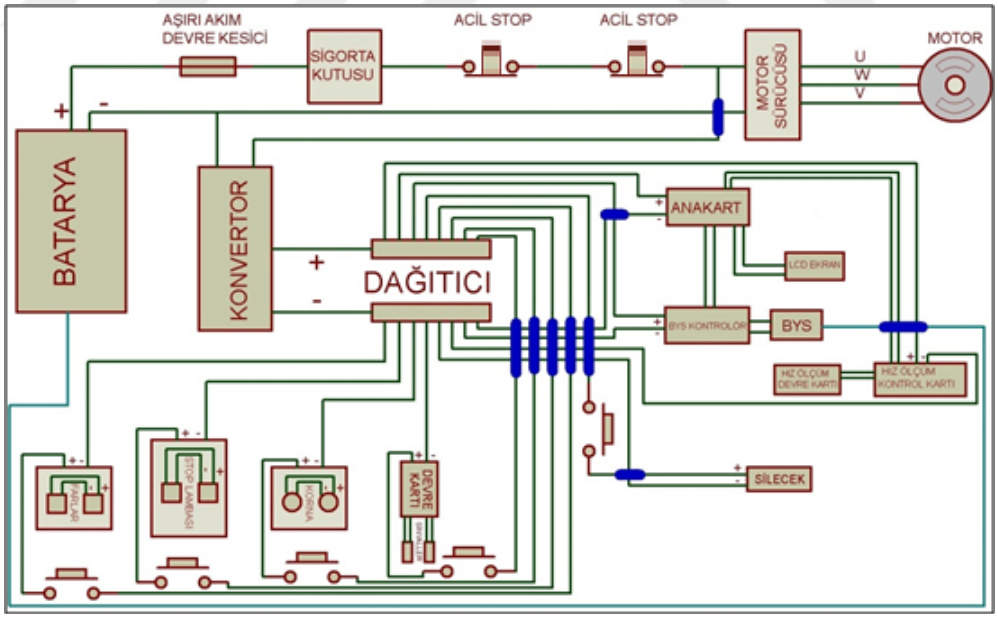
Tasarlanan devrenin elektrik şeması Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Hız kontrol devre şeması

3.4. Genel Elektrik Şeması

Tasarlanan araç Tübitak Alternatif Enerjili Araç Yarışlarına katıldığı için aracın özellikleri yarış şartnamesine göre hazırlanmıştır. Aracın genel elektrik şeması Şekil 3.4'te gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Araç Elektrik Şeması

Araç bütün gücünü bataryalardan almaktadır. Şartname gereği araçta silecek, stop lambası, konvertör, hız ölçüm kontrol kartı ve iki adet acil stop butonu

bulunmaktadır. Ayrıca farlar 2016 yarışlarında mecburi olacağından tesisatı çekilmiş vaziyettedir.

Aracın en önemli elektronik komponentlerinden olan batarya dengeleme sistemi 4. ve 5.bölümde anlatılmaktadır.

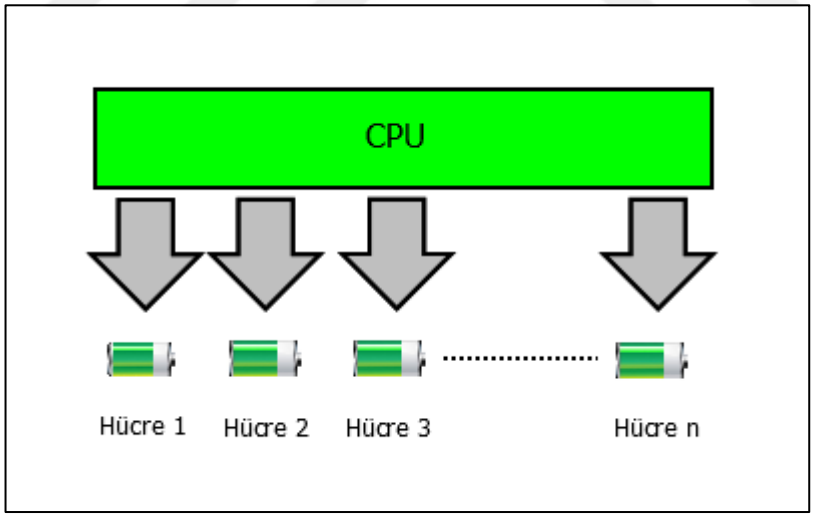
4. BATARYA DENGELEME SİSTEMİ

Batarya yönetim sistemleri, seri bağlı batarya paketlerinde bataryanın gerilimini, sıcaklığını ve akımını kontrol ederek sağlıklı batarya kullanımını amaçlar. Dengeleme sistemi ise batarya paketindeki her bir hücrenin geriliminin eşitlenmesini ifade eder. Batarya dengeleme sistemlerinde genel olarak 3 topoloji mevcuttur[30].

4.1. Batarya Topolojileri

4.1.1. Merkezi topoloji

Kurulumu zor olmakla beraber tek bir kontrol kartı içerdiği için en ucuz yöntemdir. Her bir hücre biriminden kontrol kartına kadar kablo çekilmesi gerekmektedir. Kurulumun zorluğu bundan kaynaklanmaktadır. Şekil 4.1'de merkezi topoloji gösterilmektedir. Hücre 1'den Hücre n'e kadar bütün batarya hücreleri tek bir CPU ile kontrol edilmektedir.

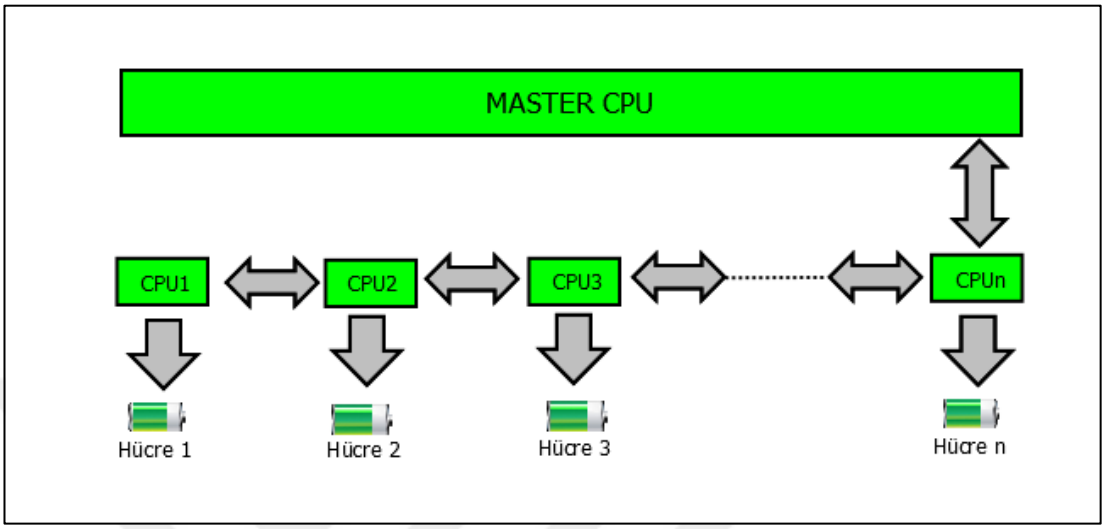


Şekil 4.1. Merkezi topoloji

4.1.2. Dağılmış topoloji

Tek bir haberleşme hattı üzerinde, her bir bataryaya bağlanan kartlardan veri alınan topoloji türüdür. Yapısı esnek ve kurulumu kolaydır. Her bir hücre için ayrı kart gerektiğinden dolayı tasarımı daha zor ve pahalıdır. Şekil 4.2'de dağılmış topoloji gösterilmektedir. Her bir hücre CPU_1'den CPU_n'e kadar bir kontrol kartı ile kontrol

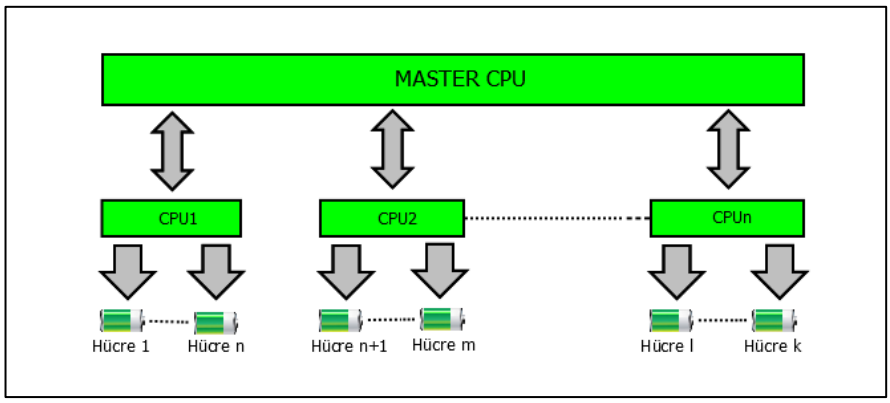
edilmektedir. Slave CPU'lar birbiri ile haberleşir ve CPU'lardan bir Master CPU'ya bilgi gönderir. Master CPU da gerekli kontrol emirlerini bu haberleşme hattı üzerinden gönderir.



Şekil 4.2. Dağılmış topoloji

4.1.3. Modüler topoloji

Bir kaç kontrol kontrol kartının bir kaç batarya hücresini kontrol ettiği topolojidir. Önceki iki kontrol topololojisinin hem avantajlarını hem de dezavantajlarını barındırır. Kullanıldığı yere göre oldukça kullanışlı çözümler üretebilir. Dağılmış topolojiye göre daha ucuz, merkezi topolojiyi göre ise kurulumu daha kolaydır. Şekil 4.3'de modüler topoloji gösterilmektedir. CPU_1'den CPU_n'e kadar bütün slave CPUlar belli sayıda batarya hücresini kontrol eder ve master CPU ile bir haberleşme hattına sahiptir. Master CPU bu haberleşme hattı üzerinden slave CPUlara komut gönderir.

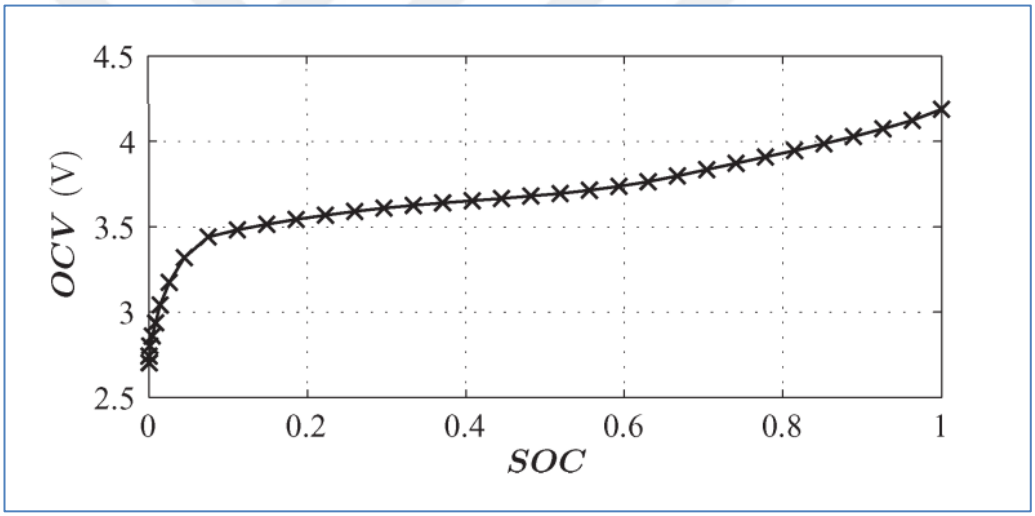


Şekil 4.3. Modüler topoloji

4.2. Bataryalarda Dengeleme Teknikleri

Hücrelerin seri olarak bağlandığı batarya paketlerinin kapasitesi, en zayıf hücrenin kapasitesi ile sınırlıdır. Bundan dolayı hücrelerin gerilimlerinin her zaman olabildiğince eşit olması gerekmektedir. Bataryaların doldurup boşaltma döngüsünde, bataryaların performansını sınırlayan, her bir hücrenin şarj voltaj sınırı ve deşarj voltaj sınırı bulunmaktadır. Bu sınırlar bataryanın doğru bir şekilde çalışması için hayatidir. Hatta bu sınırları aşmak bataryada güvenlik sorunlarına neden olacaktır [31].

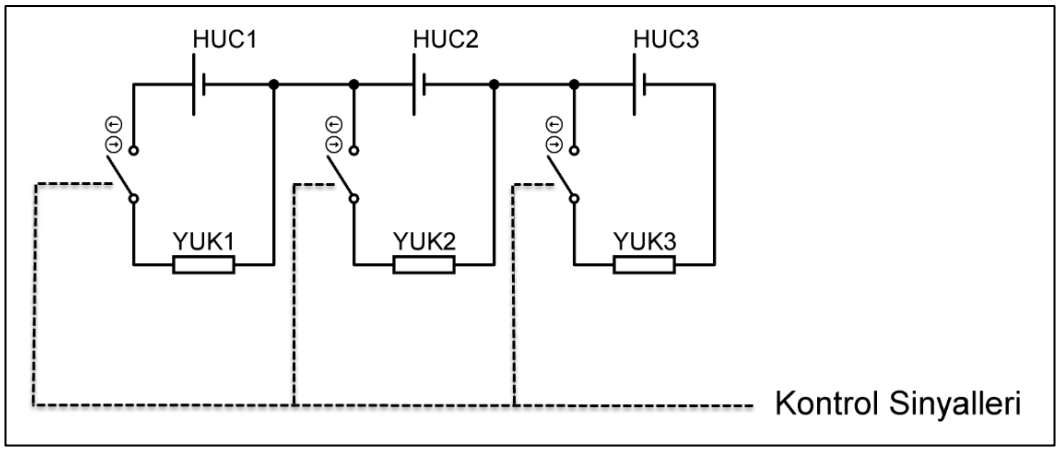
Şekil 4.4'te tipik bir lityum iyon bataryanın şarj ve deşarj sırasındaki alt ve üst sınırları gösterilmektedir [32]. Şekilde görüldüğü üzere alt sınır 2,7 V, üst sınır ise 4,2 V civarındadır.



Şekil 4.4. Tipik bir lityum iyon bataryanın şarj ve deşarj eğrisi [32]

4.2.1. Pasif dengeleme

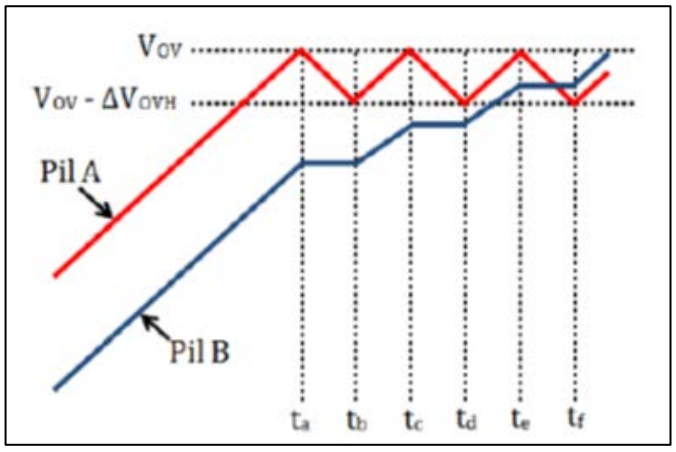
Pasif dengeleme bir hücredeki fazla enerjinin direnç üzerinden boşaltılması ile yapılır. Fazla olan bataryaya bağlı anahtarlama elemanı kontrol edilerek bataryadaki fazla enerji bir direnç vasıtasıyla ısı olarak atılır. Şekil 4.5'de bu durum gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Pasif dengeleme mantığı

Örneğin Pil 1, diğer hücreler ile arasında kabul edilen farktan yüksek bir gerilime sahip ise ona bağlı anahtarlama elemanı kapanır ve fazla enerji Pil 1'e bağlı yük üzerinden boşaltılır.

Pasif dengeleme şarj ve deşarj sırasında uygulanabilir. Şarj sırasında uygulamak için şöyle bir yöntem izlenir. Şarj edilen batarya grubunda bir hücre şarj voltaj sınırına ulaşırsa şarj durdurulur ve yüksek gerilime sahip hücre direnç üzerinden boşaltılır. Fark belli bir sınıra ulaştıktan sonra devam edilir. Hücre yine en yüksek sınıra ulaştığında proses tekrarlanır ve hücreler arasındaki fark belli bir sınıra ulaştığında şarj işlemi sonlandırılır. Bu işleme ilişkin bir grafik Şekil 4.6'da gösterilmektedir. [21]



Şekil 4.6. Şarj işlemi sırasında pasif dengeleme

Pasif dengelemede verim arttırmanın yollarından biri dengeleme algoritmasının düzgün kurulmasından geçer. Bununla birlikte enerji, ısı yoluyla atıldığı için aktif

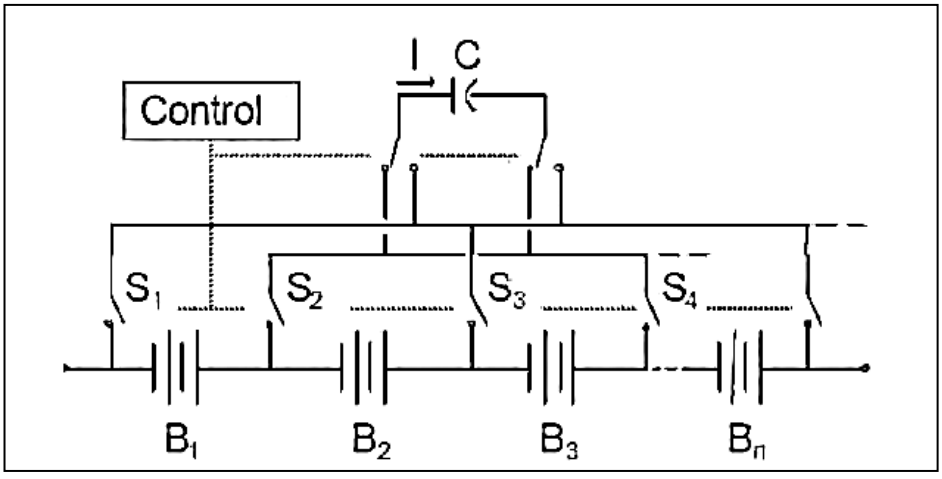
dengeleme sistemine göre daha verimsizdir. Fakat kullanıldığı yere göre daha basit olduğu için tercih edilmektedir. Ayrıca birim maliyeti aktif dengelemenin 10'da 1'i kadardır [33]. Renault Fluence'in elektrikli olan ilk modelinde batarya işlemcisinin kapasitesinden dolayı pasif dengeleme tercih edilmiştir [34].

4.2.2. Aktif dengeleme

Bir batarya hücresindeki fazla enerjinin daha az olan hücrelere aktarılması yoluyla bataryaların gerilim seviyelerinin eşitlendiği dengeleme türüdür. Fazla enerji ısı yoluyla atılmadığı için pasif dengelemeye göre daha verimlidir. Yalnız bunun yanında daha karmaşık algoritmalar ve daha çok eleman gerektirdiği için tasarımı daha zordur ve maliyeti daha fazladır.

Batarya hücreleri arası dengeleme işlemi için literatürde bir çok yol mevcuttur. Bu yöntemler şarj aktarma (charge shuttling) ve enerji dönüşümü olmak üzere iki sınıfta incelenebilir [35].

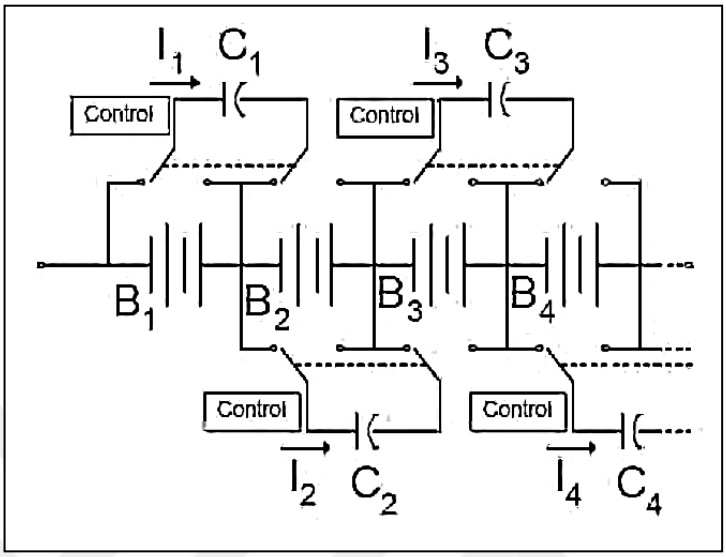
Şarj Aktarma metodunda ana prensip şu şekilde işler: Bir enerji depolayan eleman bir miktar enerjiyi kendi üstüne bir batarya hücresinden alır ve gerilim seviyesi düşük olan başka bir hücreye aktarır. Bu şekilde tüm bataryaların gerilimleri eşitlenmiş olur.



Şekil 4.7. Geçici kondansatör metodu

En çok kullanılan şarj aktarma topolojisi Şekil 4.7'de gösterilmektedir. Geçici kapasitor (flying capacitor) olarak adlandırılan bu metotta, batarya hücresi önündeki anahtarlama elemanları ve kapasitör önündeki anahtarlama elemanları ile enerji

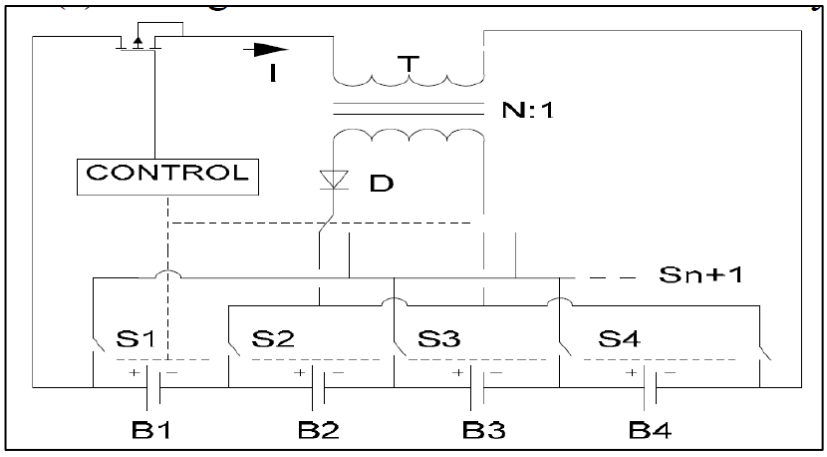
aktarılır. DC gerilim altındaki kapasitör bağlı olduğu kaynağın gerilimine eşitleninceye kadar dolar. Üzerindeki enerjiyi daha sonra daha düşük gerilimdeki hücreye aktarır.



Şekil 4.8. Ardışık olarak dengeleme

Başka bir topoloji ise Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Bu topolojide dengeleme daha çok vakit alır. Çünkü bir batarya hücresi yalnızca yanındaki hücre ile enerji alışverişi yapmaktadır.

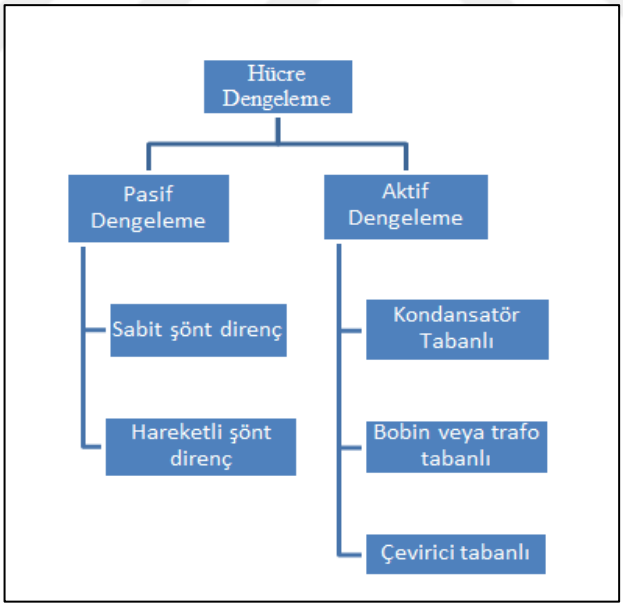
Enerji dönüşümü metodu ise benzer bir prosesi bobinleri veya transformatörleri kullanarak gerçekleştirir. Şekil 4.9'da tek trafo (single transformer) topolojisi gösterilmektedir.



Şekil 4.9. Tek trafo topolojisi

Bu metotta enerji bütün bir batarya paketinden alınarak en zayıf hücreye aktarılır [36]. Bu açıdan geçici kapasitör tekniğine benzetilebilir.

Literatürde bu konuda daha bir çok araştırma bulunmaktadır. Konunun anlaşılması adına bu örnekler yeterli görülmüştür. Şekil 4.10 konunun daha genel bir çerçevesini çizmektedir.



Şekil 4.10. Pasif ve aktif dengeleme topolojileri

4.3. Batarya Ölçümü

Bataryalardaki Dengeleme Sistemi için öncelikle kaliteli bir ölçüm yapılması gerekmektedir. Dengeleme sisteminin sağlıklı bir şekilde yapılması için aşağıdaki parametreler hassas bir şekilde ölçülmelidir;

- Batarya Hücre Gerilimi
- Batarya Paketi Sıcaklığı
- Batarya Akımı

4.3.1. Gerilim ölçümü

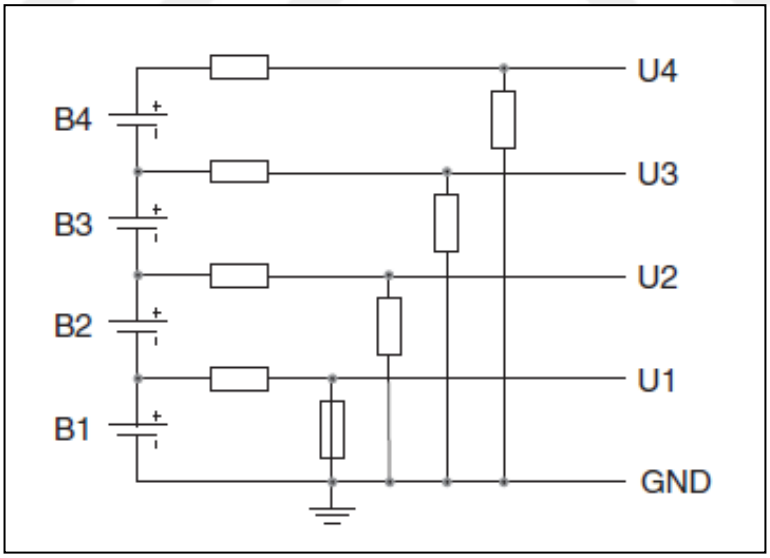
Batarya Hücre Gerilimi Ölçülürken genel olarak 2 metod vardır;

- Ayrık Topoloji
- Bütünleşik Topoloji

4.3.1.1. Ayrık topoloji

Ayrık Topolojide batarya gerilimlerini ölçmek için bir örnekleme devresi ve analog dijital çevirici kullanılır.

Gerilim Bölücü metodu ile ölçüm yapılırken ortak mod ile ölçüm ortak toprak ölçümüne dönüştürülür. Bundan dolayı gerilim ortak topraktan itibaren alınır ve her bir ölçümün önceki basamaktan farkı alınarak, o basamaktaki bataryanın gerilimi bulunur. Şekil 4.11'de bu ölçüm tipinin şeması gösterilmektedir.

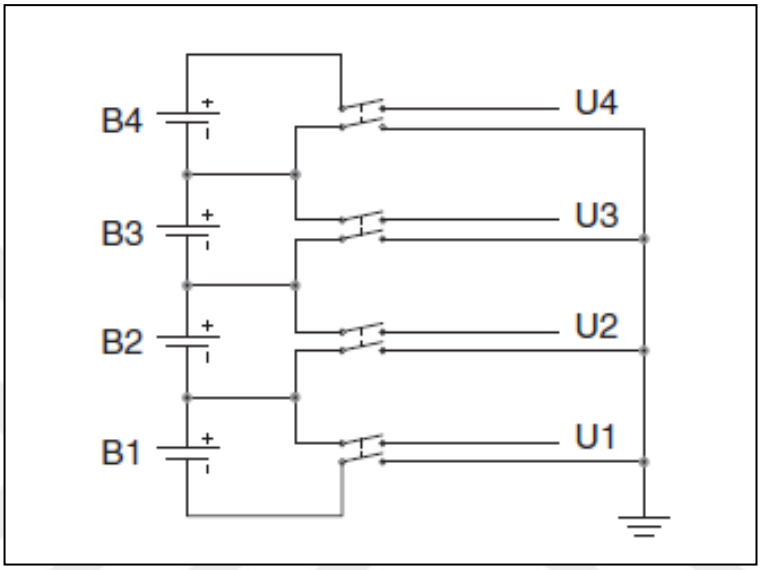


Şekil 4.11. Gerilim bölücü tekniği ile ölçüm

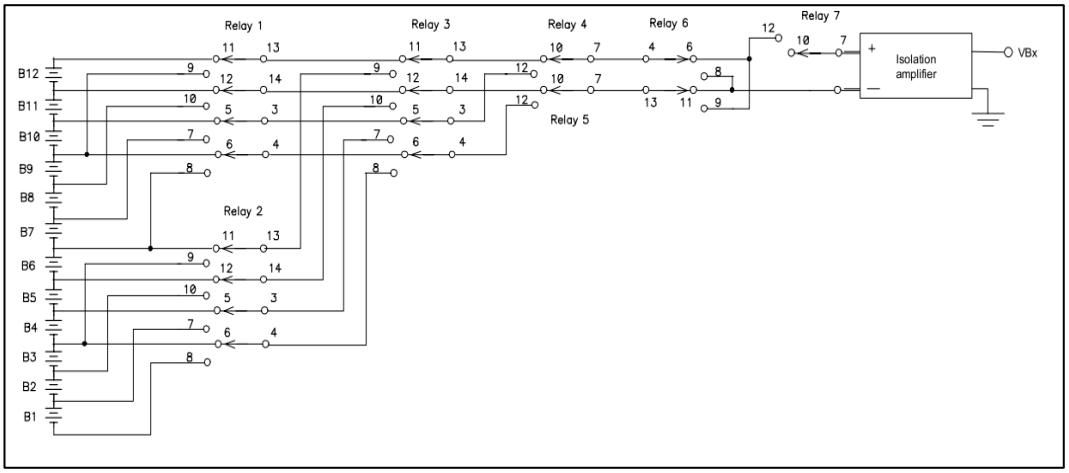
Bu teknikte U_n gerilimi ölçülür ve U_{n-1} gerilimi çıkarılır ve aradaki fark analog-dijital çevirici tarafından okunur. Fakat bu teknikte dirençlerin ve devre elemanlarının tolerans değerlerinden kaynaklı hata oranları oluşmaktadır. Hassasiyeti düşüktür.

Bununla birlikte kullanılan devre bileşenlerinin bulunabilirliği ve fiyatı yöntemi bazı uygulamalarda tercih sebebi yapmaktadır.

Şekil 4.12'daki röle anahtarlama tekniği ile ölçüm yapılırken ise her seferde yalnızca bir anahtar kapatılarak mevcut gerilim ölçülür. Bu sayede batarya gerilimi ve toprak arasındaki gerilim ölçülebilir.



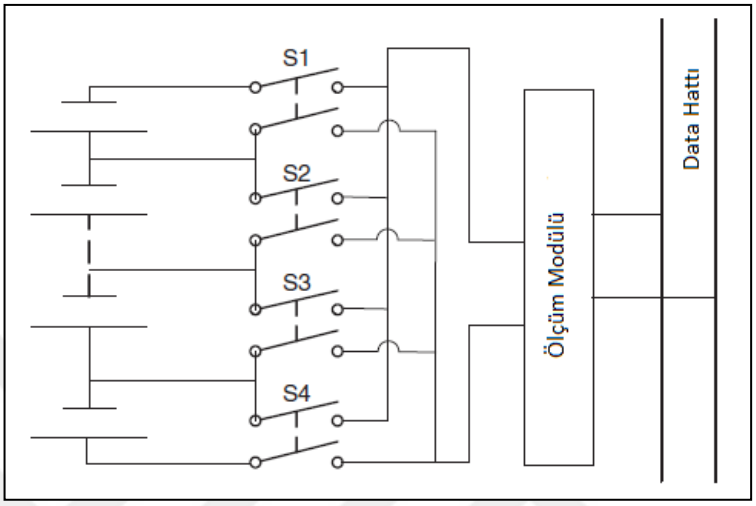
Şekil 4.12. Röle anahtarlama tekniği



Şekil 4.13. Röle matrisi[37]

Bu teknik çeşitli kombinasyonlarla genişletilebilir. Yapılan bir çalışmada Şekil 4.13'da görülen röle kombinasyonu uygulanmış ve ± % 0,3 hata oranıyla bataryalar ölçülmüştür [37].

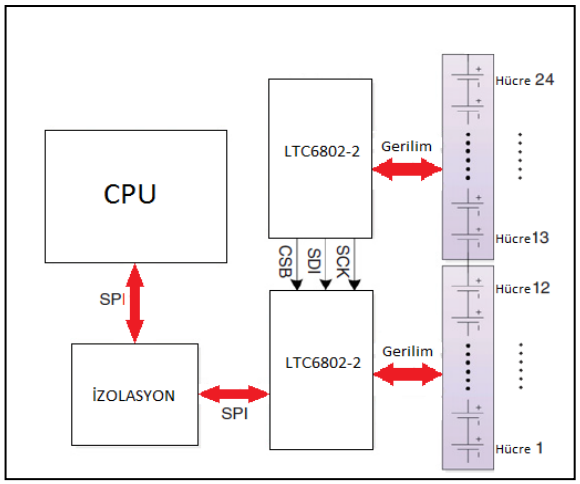
Dağıtımlı Ölçüm Metodu ile ölçüm yapılırken röle tekniğinde olduğu gibi her seferinde yalnızca bir röle kapanarak batarya gerilimini ölçüm modülüne gönderir ve ölçüm modülü ölçülen veriyi veri hattına gönderir. Bu sayede ortak toprak problemi yaşanmaz. Şekil 4.14'de dağıtımlı ölçüm metodu şeması gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Dağıtımlı ölçüm metodu

4.3.1.2. Bütünleşik topoloji

Elektronik teknolojisinin gelişimi ve elektrikli araçların gelişimi batarya yönetim sistemleri için yeni çözümler geliştirilmesini sağlamıştır. Bu sayede bir çok firma batarya ölçüm, dengeleme ve ADC çözümlerini tek bir bütünleşik entegrede toplamışlardır. Texas Instruments, Linear Technology, Motorola, Microchip gibi dünya çapında bir çok firma bu konuda piyasaya bir çok entegre sunmuştur ve sunmaya devam etmektedir. Şekil 4.15'de Linear Technology firmasına ait bir entegre olan LTC6802 entegresi ile yapılan ölçüm çalışmasının topolojisi gösterilmektedir.



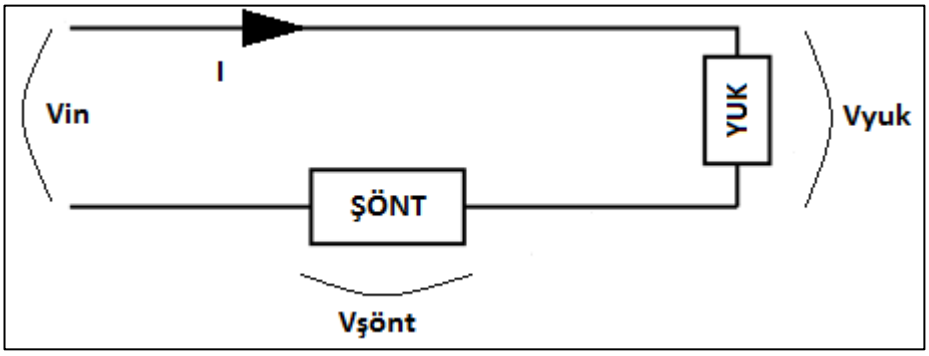
Şekil 4.15. LTC6802-2 entegresi ile ölçüm

4.3.2. Akım ölçümü

Akım ölçümünde, özellikle endüstriyel uygulamalarda kullanılan 2 yöntem vardır.

4.3.2.1. Şönt direnç yöntemi ile ölçüm

Devrede yüke göre oldukça küçük, hatta ihmal edilebilir olan bir direnç üzerinden geçen akımın, gerilim cinsinden okunması yöntemidir. Ucuz bir yöntem olduğu için en çok kullanılan yöntemdir.



Şekil 4.16. Şönt direnç yöntemi ile ölçüm

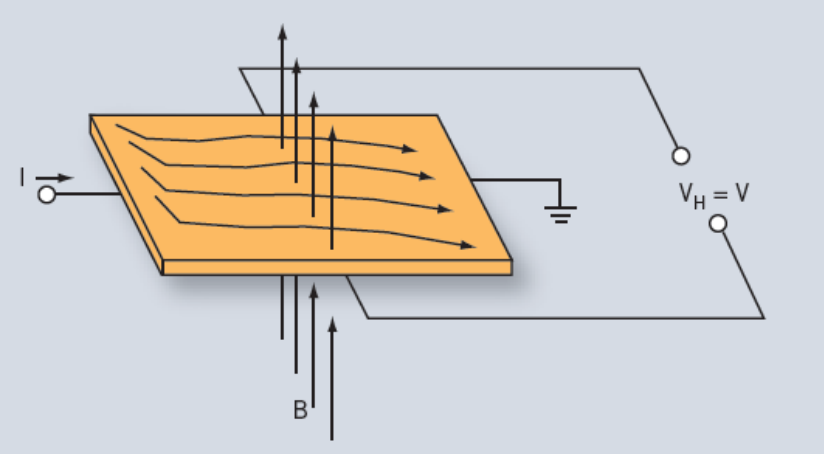
Bu yöntemde Şekil 4.16'dan da anlaşılacağı üzere $R_{şönt}$ üzerindeki gerilim Denklem (4.1) ile ifade edilebilir.

$$V_{şönt} = IR_{şönt} \tag{4.1}$$

Direnç değeri de bilindiği için oldukça hassas akım ölçümü yapılabilir.

4.3.2.2. Alan etkili sensör yöntemi ile ölçüm

Alan etkisi içerisinden akım geçen bir iletkende meydana gelen değişim olarak tanımlanır. Bu bağlamda akım ölçümünde alan etkili sensör yönteminde maddenin bu özelliğinden faydalanılır. Şekil 4.17'de alan etkili sensör yöntemi ile ölçüm örneği gösterilmektedir.



Şekil 4.17. Alan etkili sensör yöntemi ile ölçüm[38]

Alan etkili akım sensörleri ekonomik olarak çok uygun olmasa da hassasiyetleri yüksektir. Çok geniş akım aralığında ölçüm yapabilen akım sensörleri üretilmektedir.

4.3.3. Sıcaklık ölçümü

Bataryalarda sıcaklık ölçümü özellikle lityum bataryalar için hayati derecede önemlidir. Lityum bataryalar elektrolit, anot, katot ve ayırıcı etkisinden dolayı güvenlidir [39]. Yalnız hızlı deşarj, şarj vb. yüklenme durumlarında lityum bataryalarda kimyasal ve elektrokimyasal durumlar meydana gelir. Fazla şarj durumunda batarya sıcaklığı yükselir, ısıl sürüklenme durumu oluşur, patlama ve yangın riski ortaya çıkar. Lityum iyon bataryalarda uygun çalışma aralığı 25-50 C'dir [40]. Bu değerlerin üstüne çıkılması hayati tehlikelere neden olabilir. 2014 yılında Sakarya Üniversitesi'nde batarya şarjı sırasında çıkan yangında yaklaşık 300.000 TL'lik maddi hasar meydana gelmiştir [41]. Bu sebeplerden dolayı lityum bataryaların sıcaklığı sürekli ölçülmeli ve gerekli durumlarda kontrol edilmelidir.

Sıcaklık ölçümü için RTD (Dirençsel sıcaklık sensörleri), Termokupl veya termistor kullanılabilir; fakat yarı iletken teknolojisindeki gelişmeler son yıllarda entegre devre

sıcaklık sensörlerinin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Dallas Semiconductor firmasının ürettiği DS18B20 en çok kullanılan sıcaklık sensörlerinden biridir. DS18B20 dijital termometre 9 bit ile 12 bit arasında Celsius sıcaklık ölçümü sağlar ve 1- wire protokolü ile iletişim yapar. -55°C - +125°C arasında ±0.5°C hassasiyetle ölçüm yapar. Her bir DS18B20 eşsiz 64- bitlik serial koda sahiptir. Bu da birden çok DS18B20 olması durumunda aynı 1-Wire üzerinde tümünün çalışmasına olanak sağlar. Aşağıda DS18B20 sensörünün genel özellikleri verilmiştir;

- Eşsiz 1-Wire arayüzü iletişimi için sadece bir tane portun kullanılması yeterlidir.
- Her cihaz, ROM'un içinde eşsiz bir 64-bitlik serial kod depolamaya sahiptir.
- Harici komponentlere ihtiyaç duymaz
- Power supply 3,0 – 5,0 V arasında olmalıdır.
- 12 - bit ile ölçüldüğünde dönüşüm süresi max 750ms'dir.

FPGA tabanlı DS18B20 ile yapılan bir ölçüm çalışmasında ölçüm sonuçları çok hassas bir dijital termometre olan DTI-1000 ile karşılaştırılmış ve gerçek değere çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. Alınan sonuçlar Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

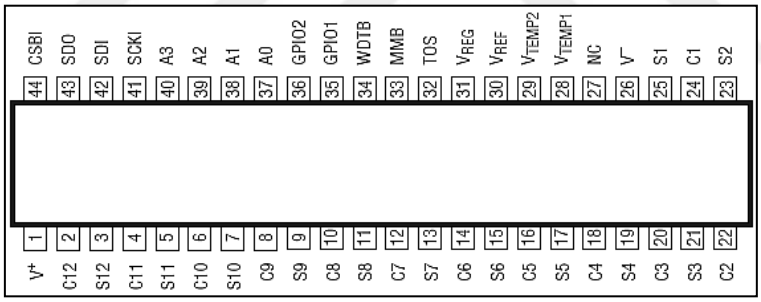
Tablo 4.1. DS18B20 ölçüm verileri [42]

Sensör	Ölçülen Değerler								
DS18B20A	1,0	3,7	12,4	25,5	28,4	34,3	36,6	38,9	41,5
DS18B20B	1,0	3,7	12,4	25,5	28,4	34,3	36,6	38,9	41,5
DS18B20C	1,0	3,7	12,4	25,5	28,4	34,3	36,6	38,9	41,5
DTI-1000	1,02	3,73	12,37	25,51	28,39	34,33	36,58	38,87	41,52

5. BATARYA DENGELEME SİSTEMİ TASARIMI

5.1. Donanım Tasarımı

Tasarlanan Batarya Dengeleme Sistemi Linear Technology firmasının LTC6802-2 entegresi ile yapılmıştır. LTC 6802-2 12 adete kadar olan batarya paketlerini ölçer ve SPI protokolü ile mikroişlemciye iletir. Her bir entegre maksimum ve minimum potansiyel fark arası 60 V olana kadar ölçüm yapabilir. Ayrıca adresleme metoduyla 96 adet bataryaya kadar ölçüm yapabilir. Pasif dengeleme opsiyonu olduğundan dolayı harici FET devresi kurularak dengeleme hızı isteğe bağlı olarak ayarlanabilir. Harici bir besleme girişine ihtiyaç duymaz. Enerjisini bataryalardan alır ve ölçüm yapabilmesi için en az 4 adet seri bağlı batarya olması gerekmektedir. Entegre üzerinde bataryalar ile oluşacak potansiyel fark en az 10 V olmalıdır. Şekil 5.1'de LTC6802-2 entegresinin pin konfigurasyonu gösterilmektedir.



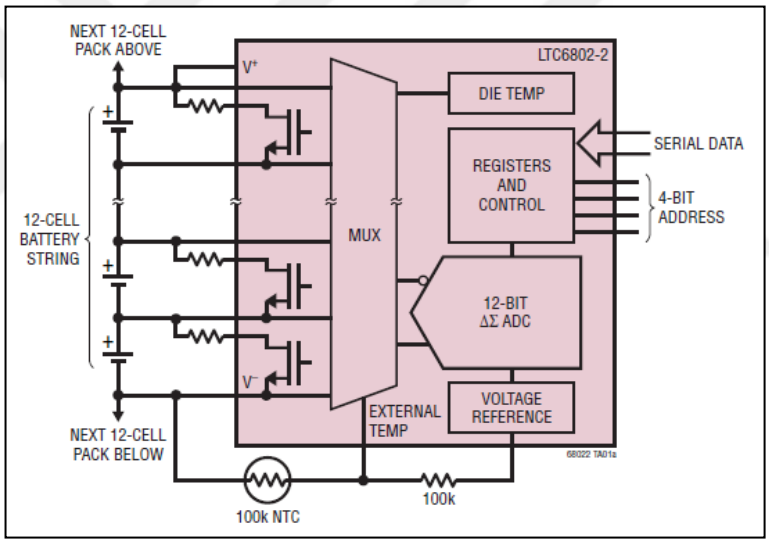
Şekil 5.1. LTC6802-2 Pin Konfigurasyonu [43]

Pin konfigurasyonunda gösterilen C1,C2...C12 ile gösterilen pinler bataryaların girişi olarak tasarlanmıştır. S1,S2...S12 ile gösterilen pinler ise dengeleme pinleridir. A0,A1,A2 ve A3 pinleri ise adresleme pinleridir. Bu pinler Vreg veya V- ye bağlanarak LTC6802-2 entegresinin adresi belirlenir. Birden çok LTC6802-2 entegresi kullanılması durumunda hangi LTC6802-2 entegresinin aktif olacağını bu adres pinleri sayesinde gerçekleşir. Örneğin adresimizi 0x81 belirlediğimiz zaman A0 1 diğer pinler(A1,A2,A3) 0 olan entegre aktif olur. Burada 0x81 deki birler basamağındaki sayıya göre adres belirlenmiş olur. 8 rakamı ise 0 dan 7 ye kadar olan diğer komut kodlarının dolu olmasından dolayı yazılmıştır ancak 0x91 de yazarsak aynı işlevi yapacaktır.

LTC6802-2 entegresi batarya görüntüleme ve dengeleme entegresidir. LTC6802-2 entegresi içerisinde bir adet 12 bitli delta-sigma ADC, bir adet yüksek gerilim giriş multiplexer, bir adet hassas voltaj referansı, bir adet SPI arayüzü bulundurur. Her LTC6802-2 entegresi 12 tane seri bağlı Li-ion pil grubunun gerilimlerini hesaplayabilir ve giriş gerilimi maksimum 60V olan gerilimi kontrol edebilir. Buna ilave olarak, birden fazla LTC6802-2 entegresi kullanılabilir ve bu sayede 12 pilden daha fazla olan batarya gruplarındaki pillerin gerilimlerini ölçülebilir. Hata payı en fazla ± 5mV seviyesindedir.

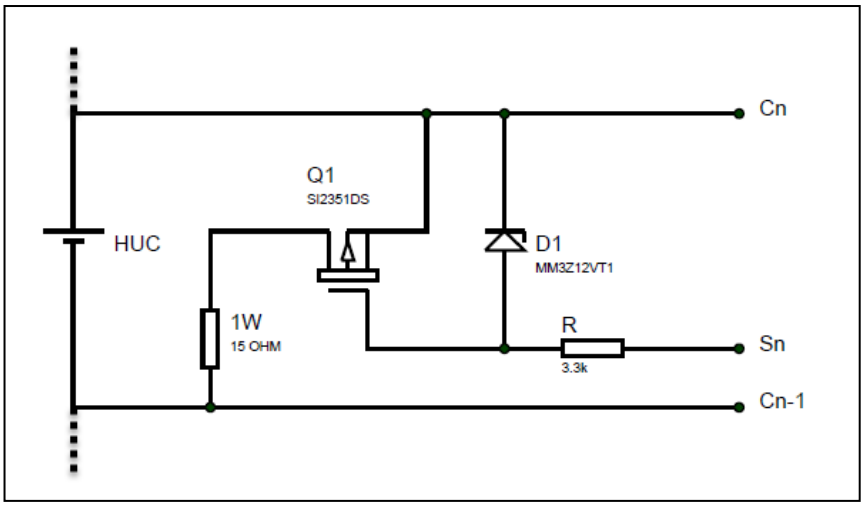
5.1.1. Dengeleme devresi

LTC6802-2 veri sayfasından alınan entegrenin içerdiği elektronik devre şeması Şekil 5.2'de gösterilmektedir.



Şekil 5.2. LTC 6802-2 donanım[43]

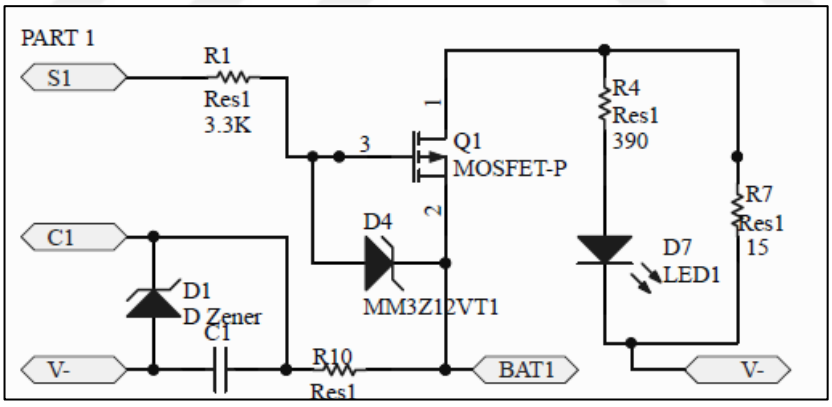
Şekil 5.2'de görüldüğü üzere her batarya hücresi için entegre içinde bir mosfet bulunmaktadır. Bu mosfetler aracalığıyla gerilim değeri yüksek olan piller deşarj edilebilir. Yalnız bu durumda yüksek akım ile deşarj gerçekleştirilemez. Çünkü yüksek akım dahili mosfetlerin ısınmasına dolayısıyla entegrenin ısınmasına yol açacaktır. Bundan dolayı harici FET deşarj devresi gerekmektedir. Entegrenin veri sayfasına sadık kalınarak şekil 5.3'teki FET devresi kullanılmıştır.



Şekil 5.3. Harici FET deşarj devresi

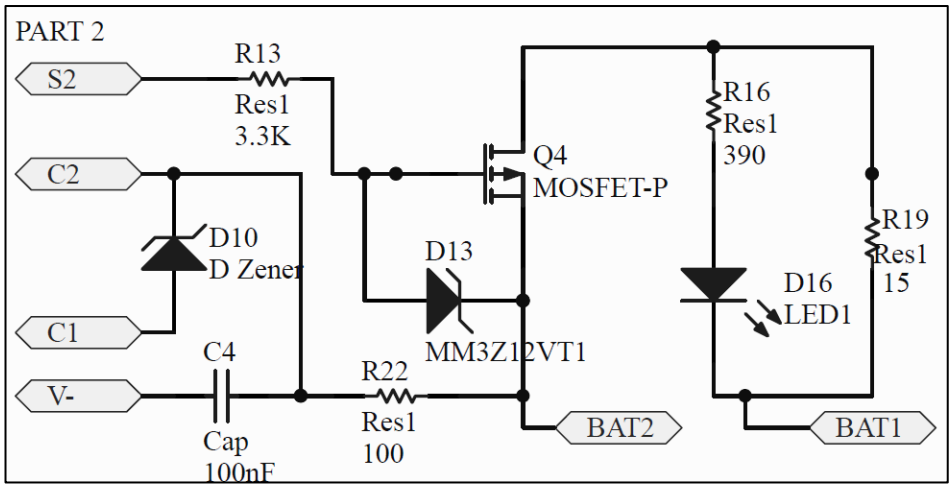
Bu harici devre sayesinde Q1 Mosfeti Sn pini ile tetiklenerek fazla enerjinin 15 Ω - 1W direnç üzerinden boşaltılması sağlanmıştır. Bu sayede deşarj sırasında entegrenin ısınması engellenmiş ve deşarj süresi kısaltılmıştır.

Teorik olarak Şekil 5.3'te gösterilen devre, birkaç ekleme ile Şekil 5.4'teki halini almıştır.



Şekil 5.4. Harici deşarj devresi

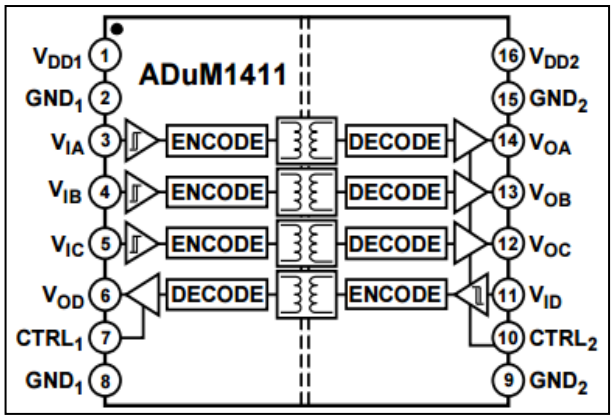
Şekil 5.4'te görülen devre Şekil 5.3'ten farklı olarak filtre ve led devresi içermektedir. Led devresi o anda dengeleme olup olmadığını fiziksel olarak gözlemlemek için koyulmuştur. Devredeki "V-" bataryanın eksisini göstermektedir. İlk batarya olduğu için D1 zenerinin bağlantısı şekildeki gibi yapılmaktadır. Zenerin görevi istenmeden oluşabilecek yüksek gerilimlere karşı entegreyi korumaktur. Şekil 5.5'te ise ikinci bataryanın deşarj devresi görülmektedir.



Şekil 5.5. İkinci bataryanın deşarj devresi

Şekil 5.5'te görüldüğü üzere ikinci bataryanın deşarj devresi ilki ile tamamen aynı olmakla beraber tek fark D10 zenerinin bağlantı şeklindedir.

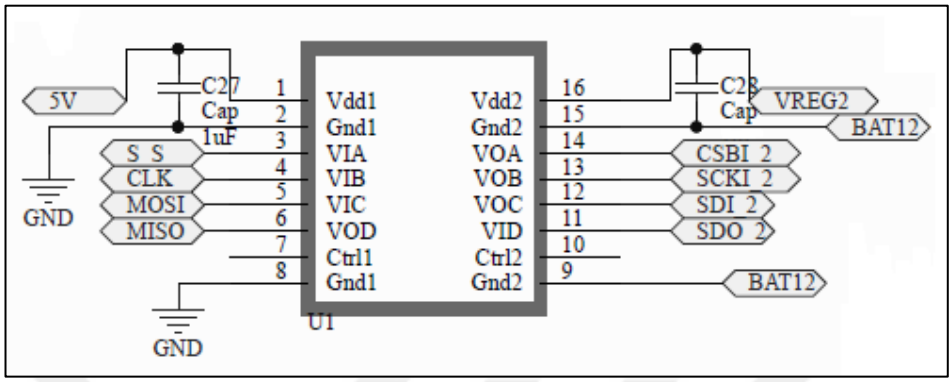
Ortak toprak SPI haberleşmesinde veri bağlantısının kopmasına ya da verinin iletilmemesine sebep olabilir. Çünkü LTC6802-2 entegresi beslemesini seri bağlı batarya paketinden alır. Fakat mikrodenetletyici gücünü voltaj regülatöründen almak zorundadır. Bundan dolayı izolatör kullanmak gereklidir. Entegre ve mikrodenetleyici arasındaki SPI haberleşme 1MHZ ve üzerinde olmaktadır. Fakat standart optokuplörler bu frekanslarda çalışamazlar. [44] Bundan dolayı Analog Devices firmasının ADUM1411 kodlu izolatör entegresi kullanılmıştır.



Şekil 5.6. Adum 1411 entegresi[45]

ADUM1411 entegresine bakıldığında veri giriş çıkış pinlerinden bir diğerlerinden terstir. Bu entegrenin tercih edilmesinin nedeni SPI haberleşmesinde kullanılan 4 sinyal hattından biri olan SDO sinyalinin diğer 3 sinyalden farklı olarak slave

birimden ana birime gitmesidir. Bundan dolayı Şekil 5.6'da görüldüğü üzere sinyal pinlerinden birinin yönü diğerlerine terstir. ADUM1411 bağlantısı Şekil 5.7'de gösterilmektedir.

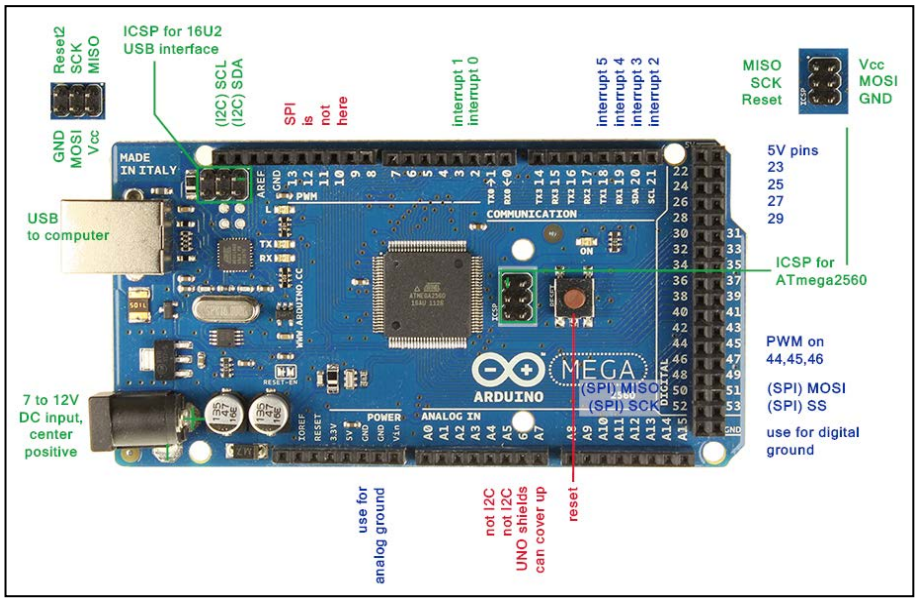


Şekil 5.7. ADUM1411 bağlantısı

Şekil 5.7'de görülen 1'den 8'e kadar olan bacakların olduğu taraf mikrokontrolöre giden pinleri göstermektedir. Bunlar SS (CSBI), CLK (SCKI), MOSI (SDI) ve MISO (SDO) olarak belirtilen SPI pinleridir.

5.1.2. Kontrol kartı

Mikrokontrolör olarak Arduino Mega 2560 kullanılmıştır ve şekil 5.8'de gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Arduino mega 2560

Arduino Mega Özellikleri;

- Çalışma Gerilimi 5V
- Giriş Gerilimi (önerilen) 7-12V
- Giriş Gerilimi (limit) 6-20V
- Dijital I/O Pinleri 54 (15 tanesi PWM çıkışı)
- Analog Giriş Pinleri 16
- Her I/O için Akım 40 mA
- 3.3V Çıkış için Akım 50 mA
- Flash Hafıza 256 KB (Atmega2560SRAM 8 KB (ATmega2560)
- EEPROM 4 KB (ATmega2560)
- Tetikleme saat frekansı: 16 MHz

LTC6802-2 entegresi SPI haberleşmesi kullanarak kontrol komutlarının transferini, batarya voltajlarının, sınırlarının durumunu görüntüler ve dengeleme pinlerini aktif edebilir.

SPI (The Serial Peripheral Interface Bus) protokolünün ismi Motorola tarafından verilmiştir ve çift yönlü (full duplex) olarak çalışır [46]. SPI haberleşmesinin genel özellikleri maddeler halinde aşağıda sıralanmıştır;

- Çift yönlü, senkron haberleşme (İki veya tek hat üzerinden).
- Master ve Slave konfigürasyonu.
- 8 adet SPI frekans seçimi.
- Maksimum 10MHZ hızla haberleşme.
- Donanımsal veya yazılımsal slave seçimi.
- Programlanabilir saat darbesi faz ve polaritesi
- MISO, CS(SS), MOSI,CLK olmak üzere yalnızca 4 pin ile haberleşme.

SPI protokolünde 4 sinyal hattı bulunur. SCK haberleşme hızını belirleyen saat sinyalidir. Diğer sinyaller SDI (Serial Data In), SDO (Serial Data Out), CS (Chip Select) olarak isimlendirilir. SDI seri data girişi, SDO seri data çıkış sinyalidir. SCK olarak isimlendirilen saat sinyalini ana(master) birim üretir ve sinyal tüm diğer slave birimlerde giriştir. Ana birim hangi slave birimin CS ucunu aktif hale getirirse ilgili slave birim ile haberleşme sağlanır. Master – Slave haberleşmesi gerçekleşir.

Verinin, saat sinyalinin hangi geçişinde okunması gerektiği ile ilgili 4 ayrı çalışma modu kullanılır [47].

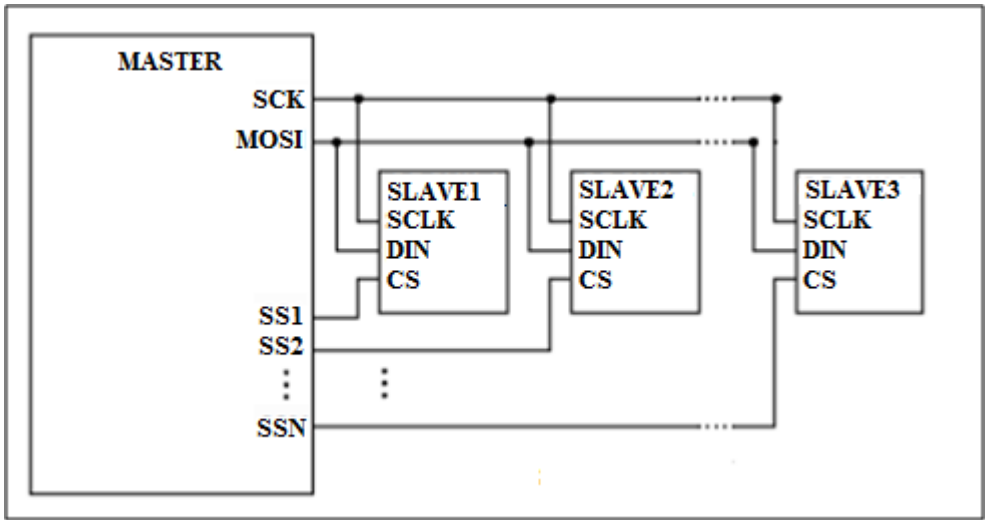
Mod0 durumunda haberleşme yokken ve haberleşme öncesi saat sinyali düşük seviyededir. Veri, saat darbesinin düşen kenarında yazılır ve yükselen kenarında okunur.

Mod1 durumunda haberleşme yokken ve haberleşme öncesi saat sinyali düşük seviyededir. Veri, saat darbesinin yükselen kenarında yazılır ve düşen kenarında okunur.

Mod2 durumunda haberleşme yokken ve haberleşme öncesi saat sinyali yüksek seviyededir. Veri, saat darbesinin yükselen kenarında yazılır ve düşen kenarında okunur.

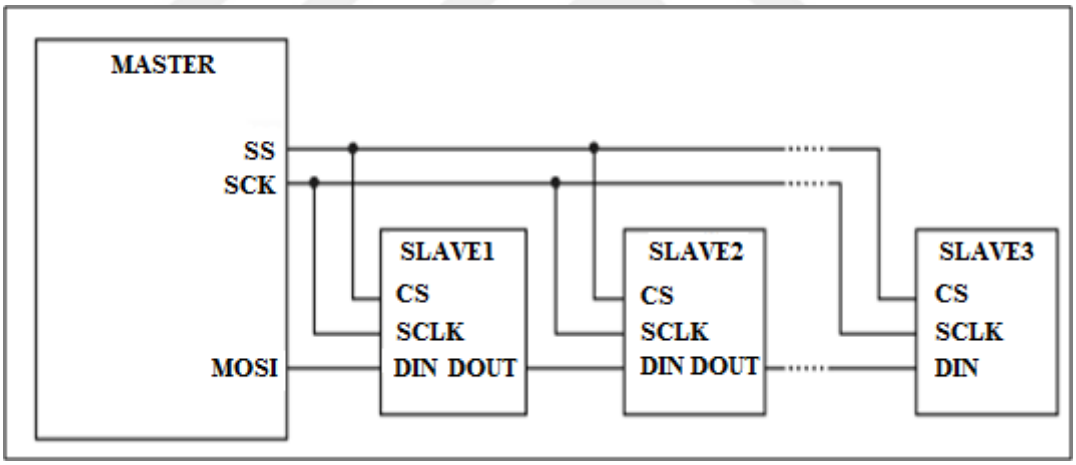
Mod3 durumunda haberleşme yokken ve haberleşme öncesi saat sinyali yüksek seviyededir. Veri, saat darbesinin düşen kenarında yazılır ve yükselen kenarında okunur.

SPI haberleşmesinde birden fazla cihazın haberleşmesinde bir kaç yöntem kullanılabilir. Bunlardan biri CS pini ile her bir cihazın ayrı ayrı seçilmesidir. Bazı SPI cihazları özgün adresleme yapısına sahip olmadığından bu yöntemin kullanılması gerekir. Fakat bunun için ana cihazda her bir SPI cihazı için bir SS slave cihaz seçim pini bulunması gerekir. Bu bağlantı yapısı Şekil 5.9'da gösterilmiştir.



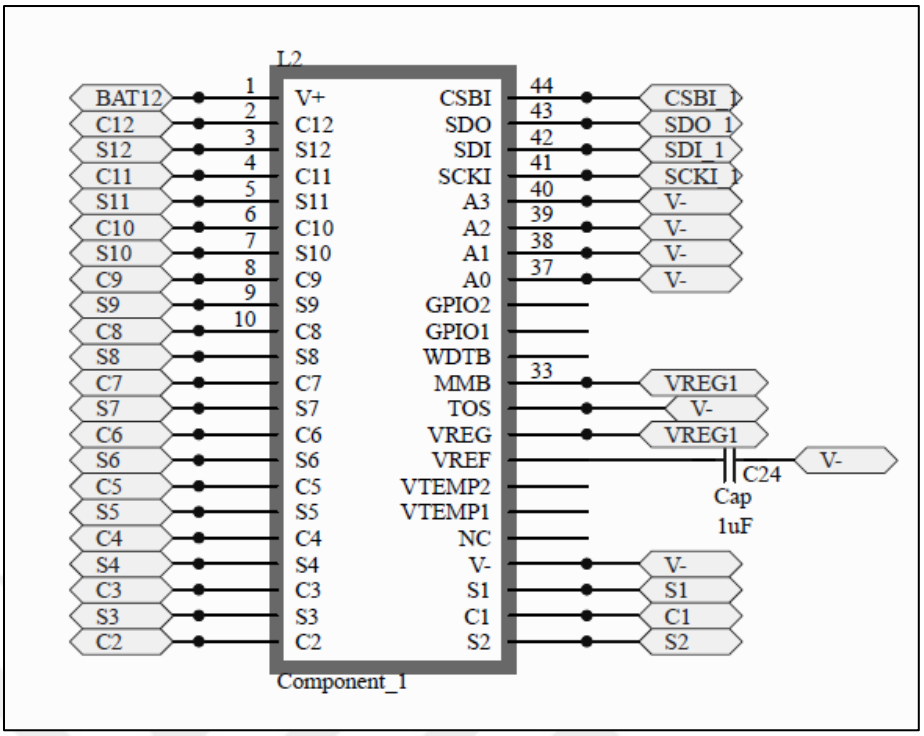
Şekil 5.9. SPI donanım bağlantısı

SPI haberleşmesinde slave cihazların kendine özgü adresleme yapısı mevcut ise Şekil 5.10'da gösterilen yapı kullanılabilir. Bu sayede ana cihazda birden fazla SS pini kullanılması gerekmez.



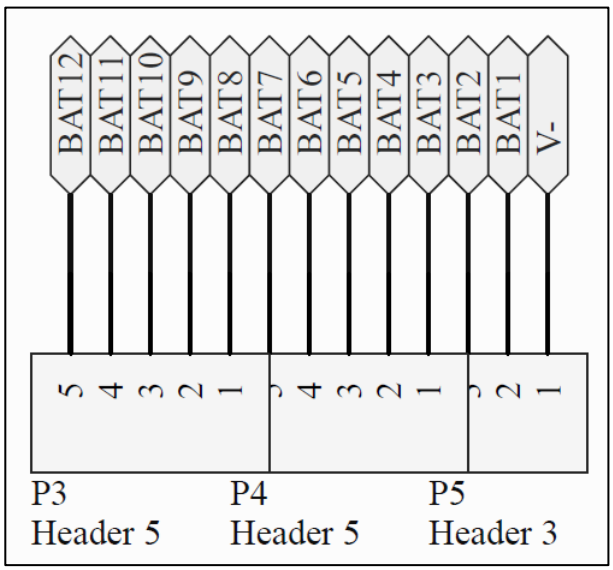
Şekil 5.10. Daisy chain metodu SPI bağlantısı

Tasarlanan batarya yönetim sisteminde de benzer bir metod kullanılmıştır. Farklı olarak ana birim slave birimin adresine göre haberleşme sağlar. Entegre bağlantı şeması Şekil 5.11'de gösterilmiştir.



Şekil 5.11. Birinci entegre bağlantı şeması

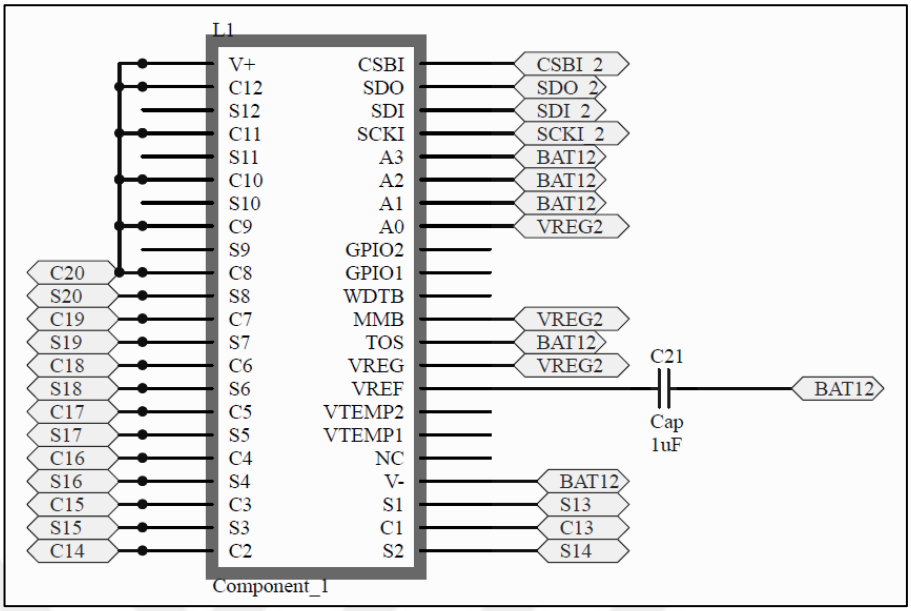
Şekil 5.11'de gösterilen devre birinci entegrenin bağlantılarını içerir. İlgili devrenin bağlı olduğu konektör Şekil 5.12'de gösterilmektedir.



Şekil 5.12. Birinci entegre konektör bağlantısı

Şekil 5.12'de belirtilen C1 pini konektörde BAT1 pinine bağlanmıştır. Bu da birinci batarya hücresinin artı kutbudur. Aynı şekilde ilk konektörün bağlantıları onikinci bataryaya kadar gitmektedir.

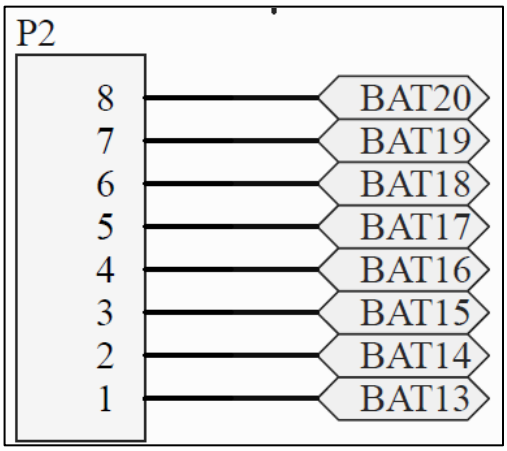
İkinci entegrenin bağlantı şeması ise Şekil 5.13'te görülmektedir.



Şekil 5.13. İkinci entegre bağlantı şeması

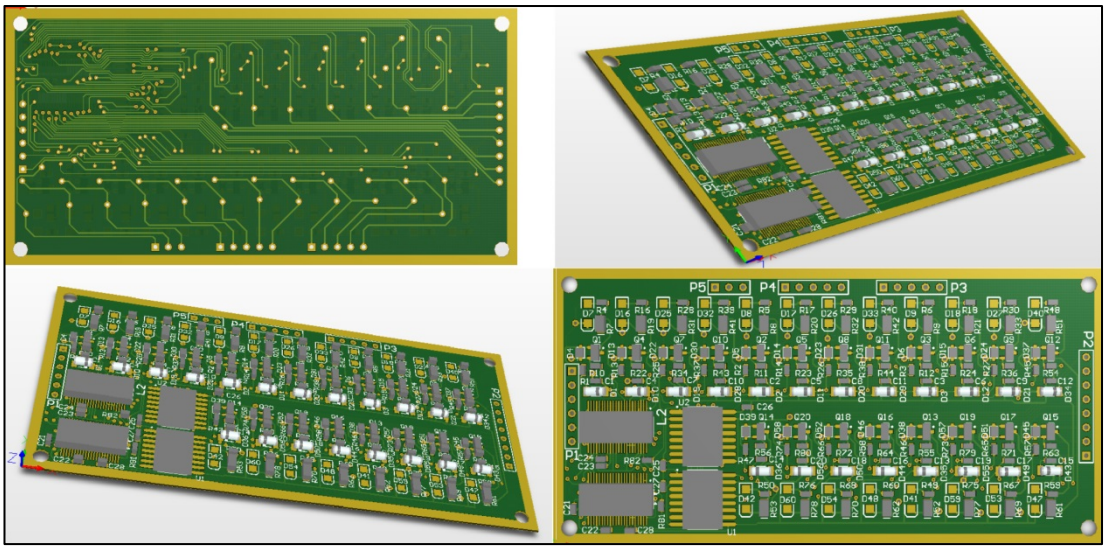
Şekil 5.13'de görüldüğü üzere 2.entegrenin bağlantısı 20. pile kadar devam etmektedir. Entegrenin kalan pinleri entegrenin V+ pini ile birleştirilir. A0'dan A3'e kadar bağlı olan adresleme pinleri Şekil 5.11'den farklı olarak A0 pinine, VREG2 ile gösterilen pine bağlanmıştır. Bu pin +5 voltu ifade eder. Bu sayede 2 entegrenin adresi birbirinden farklı olmaktadır.

İkinci entegrenin ilgili konektörünün bağlantısı Şşekil 5.14'te gösterilmektedir.



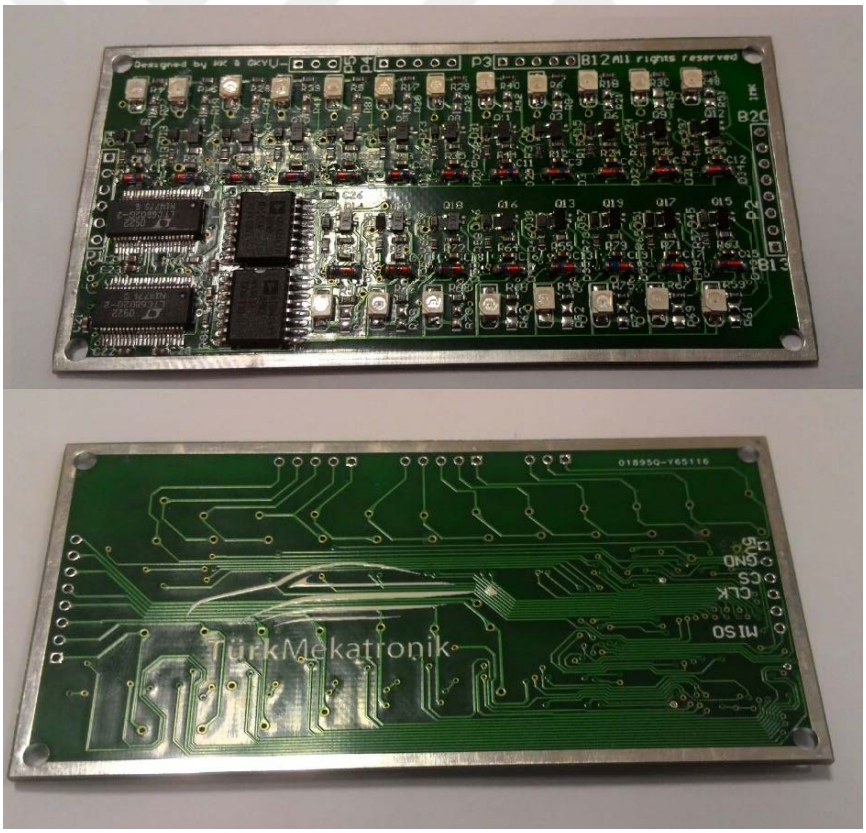
Şekil 5.14. İkinci entegre konektör bağlantısı

Tasarlanan devrenin 3 boyutlu görüntüleri Şekil 5.15'te gösterilmektedir.



Şekil 5.15. Tasarlanan devrenin 3 boyutlu görünümü

Tasarlanan devrenin dizgi sonrası görüntüleri Şekil 5.16'da gösterilmektedir.



Şekil 5.16. Devre dizgi sonrası

LTC6802-2 entegresi de bataryaları dengelemek için dahili deşarj devresi içerir. Dahili MOSFET'ler deşarj için kullanılabilir. Bu dahili MOSFET'lerin harici dengeleme devrelerini kontrol etmek için kullanılmasını entegrenin ısınmasını

engellediği gibi daha hızlı deşarj yapılmasını da sağlayabilir. Dahili mosfet ile deşarj da maksimum deşarj akımı 12 mA civarında olurken tasarlanan harici deşarj devresinde bu akım 250 mA civarına kadar çıkmaktadır. LTC6802-2 bu mosfetlerin açılıp kapanmasına karar vermez. Bunun kontrolü tamamen mikrodenetleyici ile gerçekleşir. Mikrodenetleyici vasıtasıyla konfigürasyon kayıtlarını değiştirerek bu mosfetler kontrol edilir.

5.2. Yazılım Geliştirilmesi

Tasarlanan devre için yazılım geliştirilirken SPI protokolü ile haberleşme ve kullanılan entegrenin veri sayfasından faydalanmak gereklidir. SPI protokolünün özelliklerinden önceki bölümde bahsedilmiştir. Bu bölümde entegrenin yazılımsal özellikleri hakkında bilgi verilecektir.

LTC6802-2 entegresinde SPI ile haberleşme başladıktan sonra bütün haberleşme entegreye gönderilen komutlar üzerinden gerçekleştirilmektedir. LTC6802-2 entegresinin bir karar verme yetkisi yoktur. Dengeleme, okuma yazma işlemleri kontrol kartından gelen komutlar ile gerçekleştirilir.

Kullanılan BMS entegrelerinde Bekleme (Standby) Modu, Ölçüm (Measure) Modu ve Monitor (Görüntüleme) Modu olmak üzere üç adet mod bulunur.

Bekleme Modunda enerji minimum düzeyde harcanır. Seri arayüz ve voltaj regülatörü dışındaki bütün çevre birimleri kapalıdır.

Ölçüm modunda LTC 6802-2 batarya gerilimini ölçer ve sonuçları hafızada saklar. Ayrıca her hücrenin üst ve alt gerilim değerlerini denetler.

Monitör modunda cihaz yalnızca hücre gerilimlerinin alt ve üst sınırlarını denetler.

LTC6802 entegresi önceki bölümde de belirtildiği üzere dengeleme işlemine veya ölçüm işlemine kendisi karar vermez. Kontrol kartından gelen emirler doğrultusunda bunu sağlar. Kontrol kartından entegreye giden emirler kaydedicilere yazma biçimiyle gerçekleşir. Aynı şekilde kontrol kartı kaydedicilerdeki değerleri okuyarak karar verir.

LTC6802-2 entegresinde konfigürasyon kaydedicileri (CFGR), hücre gerilim kaydedicileri (CVR), bayrak kaydedicileri (FLGR), sıcaklık kaydedicileri (TMPR) ve paket hata kodu (PEC) kaydedicileri olmak üzere 5 çeşittir.

CFGR, CFGR0'dan CFGR5'e kadar 8 bitlik 6 adet kaydediciyi ifade eder. Kaydedicilere istenilen değerler yollanarak görev çevrimi (duty cycle), üst gerilim sınırı ve alt gerilim sınırı, watch dog timer, genel amaçlı giriş çıkış pinleri gibi bir çok parametre belirlenir.

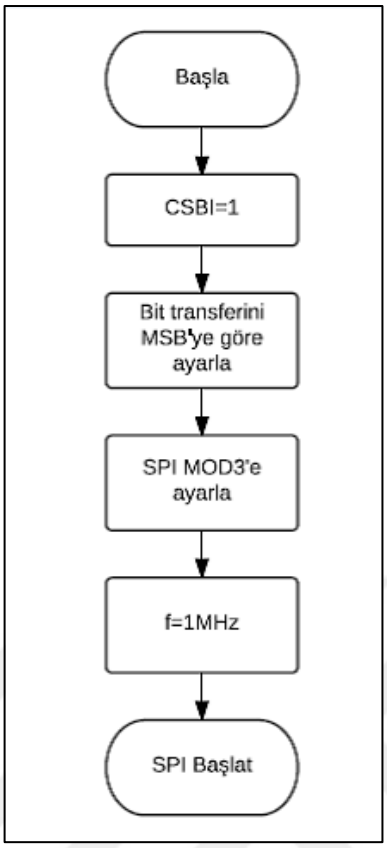
CVR ise CVR00'dan CVR17'ye kadar 8 bitlik, 18 adet kaydediciyi ifade eder. Her bir hücrenin gerilimi 12 bit içinde saklanır. Bir adet entegre 12 adet hücreye bağlanabildiği için her bir hücre bir adet kaydedicinin tamamını ve başka bir kaydedicinin 4 bitini kullanır. Bu durum ilk iki hücre için Tablo 5.1'de gösterilmektedir. Kalan hücreler benzer mantıkla ilerlemektedir.

Örnek olarak birinci pil için C1V[0] dan C1V[11] e kadar okunması gerekir bu yüzden CVR0'ın tamamını okuyup CVR1'in ilk 4 biti okunması gerekir. SPI ayarları projede MSB'ye göre ayarlandığı için CVR0'ı 8 bit sağa kaydırıp CVR1'in ilk 4 bitini toplamak gerekir. Bunun için 1.hücre gerilimi okunurken CVR0 kaydedicisi alınır. CVR1 kaydedicisi bit maskelemenin ardından kaydırılır ve toplanır.

Tablo 5.1. CVR tablosu

CVR	7. bit	6.bit	5.bit	4.bit	3.bit	2.bit	1.bit	0.bit
CVR0	C1V[7]	C1V[6]	C1V[5]	C1V[4]	C1V[3]	C1V[2]	C1V[1]	C1V[0]
CVR1	C2V[3]	C2V[2]	C2V[1]	C2V[0]	C1V[11]	C1V[10]	C1V[9]	C1V[8]
CVR2	C2V[11]	C2V[10]	C2V[9]	C2V[8]	C2V[7]	C2V[6]	C2V[5]	C2V[4]

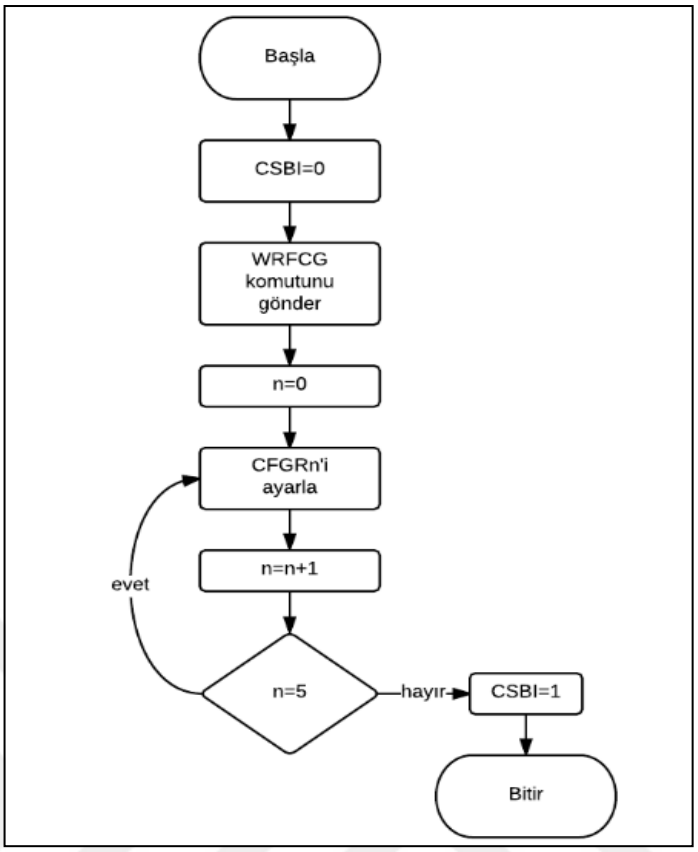
Entegre ve kontrol kartı haberleşmesi için öncelikle SPI haberleşmesini sağlamak gerekir. Şekil 5.17'de yapılan SPI ayarları adım adım gösterilmektedir. Bit transferi MSB'ye, SPI MOD3'e göre ayarlanmıştır. Frekans 1MHz'dir. 1 MHz entegrenin veri sayfasında tavsiye edilen frekans ayarı olarak belirtilmiştir.



Şekil 5.17. SPI ayarları

SPI haberleşmesinin başlamasının ardından kaydedicilere yazma işlemi başlatılır. Yazılımda öncelikle konfigürasyon kaydedicileri ayarlanmalıdır. Konfigürasyon kaydedicisine yazmak için Şekil 5.18'teki algoritma izlenmelidir.

Şekil 5.18'te görüldüğü üzere öncelikle yazma işlemini aktif etmek için CSBI biti 0 yapılır. Daha sonra WRCFG komutu gönderilir. Bu komut entegrenin bilgi sayfasında belirlenmiş bir komut sayısıdır. Bu komut gönderildikten sonra entegrenin konfigürasyon kaydedecilerine yazma işlemi yapılabilir. Daha sonra CFGR1 kaydedicisine gerekli değerler yüklenir. Daha sonra CFGR5 kaydedicisine kadar gerekli değerler yüklendikten sonra CSBI biti 1 yapılır ve yazma işlemi sonlandırılır.

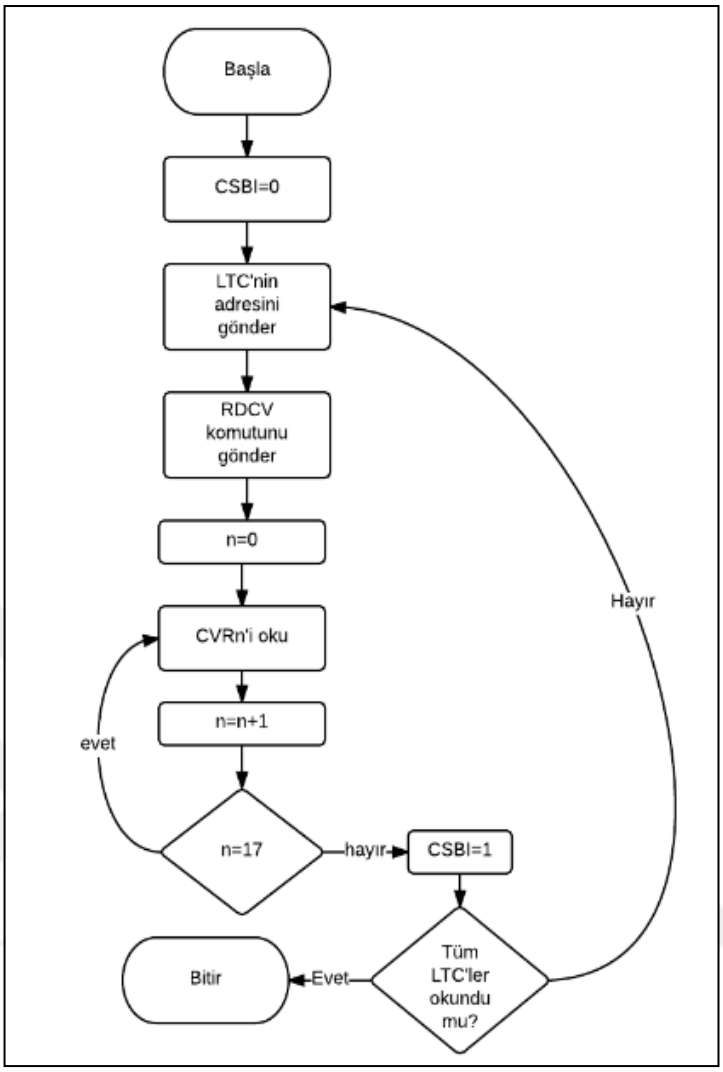


Şekil 5.18. Konfigürasyon kaydedicilerine yazma

Okunan değerin sayısal veriye dönüştürme için gereken sözde kod Şekil 5.19'da verilmiştir. Hücre gerilim kaydedicilerini okurken Şekil 5.20'de görüldüğü üzere öncelikle CSBI biti 0'a çekilir. Ardından entegrenin adresi gönderilir. Bu SPI haberleşmesinin hangi entegre yapılacağı ile ilgilidir. Daha sonra RDCV komutu gönderilir. Bu komut entegrenin veri sayfasında belirtilen bir sayıdır ve bu sayede okuma işlemi gerçekleştirilebilir. Bunun ardından hücre gerilim kaydedicilerin hepsi okunur ve ikinci entegre için aynı adımlar tekrarlanır.

```
for(x=1:toplam_pil_sayısı)
{
voltage(x)= register(x)*1.5mV
x++
}
```

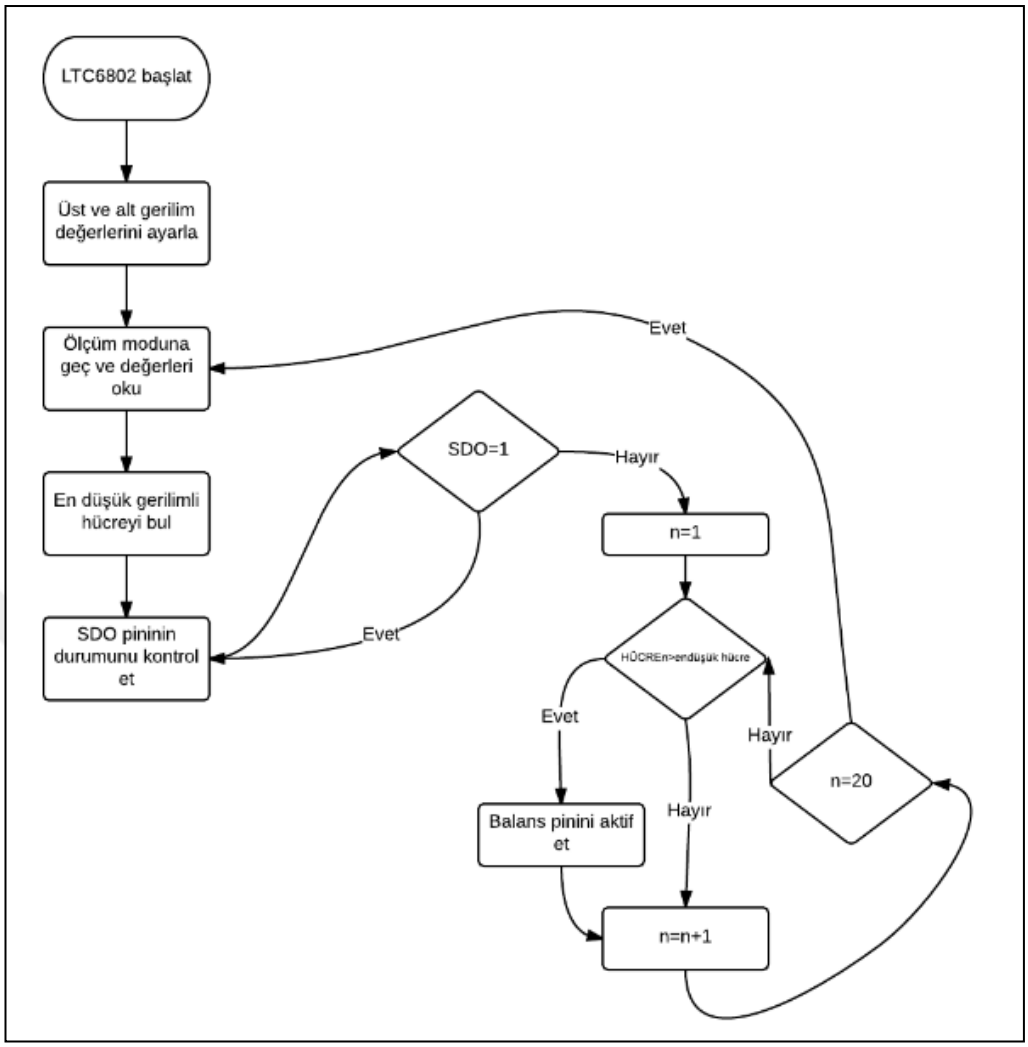
Şekil 5.19. Batarya ölçüm sözde kod



Şekil 5.20. Hücre gerilim Kaydedicileri okuma algoritması

5.2.1. Hücre dengeleme işlemi

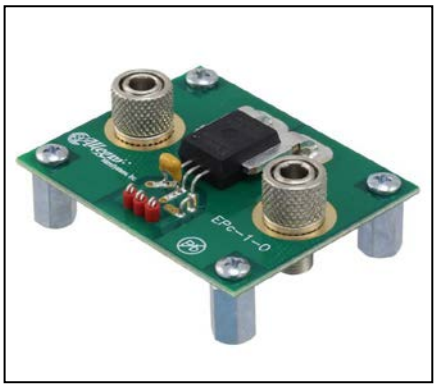
Hücre dengeleme işlemi için tasarlanan FET deşarj devresi Şekil 5.4'de gösterilmiştir. Yazılımsal olarak işlem sırası şu şekildedir. Öncelikle SPI haberleşmesi sağlanır ve konfigürasyon kaydedicilerine gereken değerler yazılır. Ardından bütün hücrelerin gerilimi ölçülür. En düşük hücre belirlenir ve ardından bütün hücreler taranarak en düşük batarya ile arasındaki farka bakılır. Şayet fark 0.03 volt ve üzeri ise dengeleme işlemi başlar. Bütün hücreler sırasıyla taranır ve en düşük olan hücreye eşit olana kadar devam eder. Hücre dengeleme işleminin algoritması Şekil 5.21'de verilmiştir.



Şekil 5.21. Hücre dengeleme algoritması

5.3. Akım Ölçümü

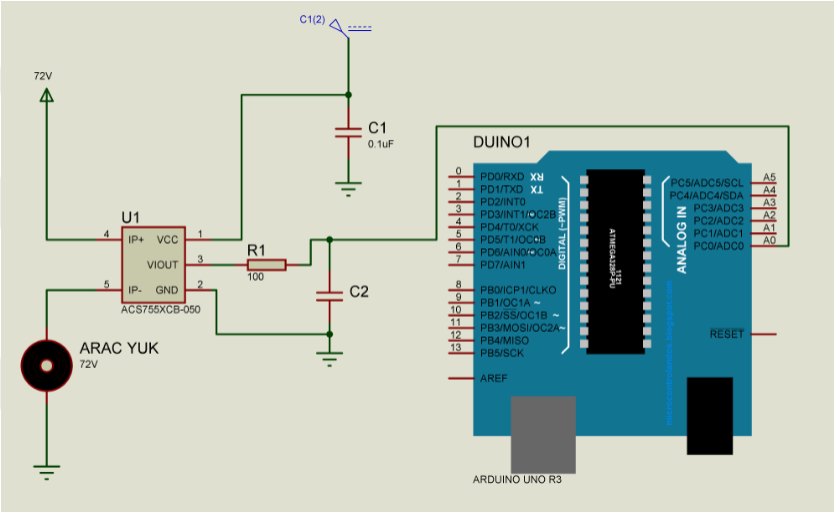
Akım ölçümü için ACS758 alan etkili akım sensörü kullanılmıştır. Kullanılan board Şekil 5.22'de gösterilmektedir. ACS758 150 A'e kadar olan akımları ölçebilir.



Şekil 5.22. ACS758 sensör kartı

ACS758 ile tasarlanan devre Şekil 5.23'te gösterilmektedir. Devredeki elemanlar kart üzerinde bulunmaktadır. ARAC YUK ile ifade edilen devre elemanı motor ile beraber araçta enerji harcayan bütün birimleri ifade etmektedir. Sensör çıkışından alınan veri kontrol kartının ADC modülü ile okunarak devreden geçen akımın tespit edilmesi sağlanmıştır.

Batarya yönetim sistemlerinde akım ölçümü önemli bir yer teşkil eder. Çünkü fazla akım çekilmesi araçta bir zorlanmanın veya arızanın göstergesidir. Fazla akım çekildiğinde sistem kendini kapatarak aracın durmasını sağlamaktadır.



Şekil 5.23. ACS 758 devresi

6. DENEYSEL SONUÇLAR

Araç daha önce de belirtildiği üzere 2015 yılı Ağustos ayında yapılan Tübitak Alternatif Enerjili Araç Yarışları için tasarlanmış ve üretilmiştir. Yarışa teknik kontrolleri geçerek katılan araç sayısı 31'dir.

6.1. Tübitak Yarışları Performansı

Tübitak alternatif enerjili araç yarışlarında sonuç puanlaması Denklem (6.1) ile yapılmaktadır.

$$X = (\text{TurSayısı})(\frac{5000}{30}) - \text{EnerjiTüketimi} \tag{6.1}$$

Araç 2015 yılı, ağustos ayında yapılan Tübitak alternatif enerjili araç yarışlarının ilk 5 turunda iyi bir performans göstermesine rağmen 6. Turda sol ön taraftan yaptığı bir kaza ile pistin ortasında durmuştur. Araç yeniden çalıştırılmaya çalışıldığında aracın motoru kesime gitmiş ve araç dur kalk şeklinde yaklaşık 15 dakikada pite girebilmiştir. Aracın pitte arızasına bakıldığında aracın sol ön rotlarında yamulma olduğu gözlenmiş ve yaklaşık 20 dakika boyunca pit stopta aracın tamir edilmesine çalışılmıştır. Yaklaşık 35 dakikalık kayıptan sonra araç tam randıman ile olmasa da tekrar yarışa dönmüş ve 64 dakikada 10 tur daha atmayı başarmış ve yarışa katılabilen 35 takım arasında yarışı 20. olarak tamamlamıştır. Kaza sonrası aracın bir fotoğrafı Şekil 6.1'de gösterilmektedir. Şekilde de görüldüğü üzere araç sol ön taraftan darbe almış ve kabuk bağlantı noktası kopmuştur.



Şekil 6.1. Kaza sonrası aracın durumu

Yarışın resmi sonuçları Tablo 6.1’de gösterilmektedir.

Tablo 6.1. Elektromobil yarışları resmi sonuçları

No	Üniv. - Araba	Atılan Tur	Süre	Geçerli Tur	Tur Ceza	Son Değer Tur	Tüketim (Wh)	Ceza Wh	Final (Wh)	Puan
1	İstanbul Üni. - Socrat EV 15	30	63:44:00	30		30	904	2	906	4094,00
2	İstanbul Üni. - Milat	30	64:45:00	30		30	1362,2		1362,2	3637,80
3	Yıldız Teknik Üni. - Electra	29	64:29:00	29		29	1253,6		1253,6	3579,73
4	Ataturk Üni. - Yakutiye	30	63:11:00	30		30	1422		1422	3578,00
5	Çukurova Üni. - Akıncı	30	64:55:00	30	1	29	1600,6		1600,6	3232,73
6	Trakya Üni. - Pehlivan ElekTrak	30	64:39:00	30		30	185,5		185,5	4814,50
7	Karadeniz Teknik Üni.- e-Vira	30	64:52:00	30		30	1711		1711	3289,00
8	Ataturk Üni. -Palandöken	30	60:41:00	30		30	2156		2156	2844,00
9	Karabük Üni. - Nar V2	30	64:12:00	30		30	2210	20	2230	2770,00
10	Dokuz Eylül Üni. - Demobil	25	64:11:00	25		25	1595,6		1595,6	2571,07
11	Gediz Üni. - Revolution	27	63:54:00	27		27	2006,3		2006,3	2493,70
12	Çukurova Üni. - Atok	29	62:33:00	29		29	2350,8		2350,8	2482,53
13	Süleyman Üni. - Teknomobil	30	64:39:00	30		30	2546,6		2546,6	2453,40
14	Çukurova Üni. - 1.5 Adana	29	64:32:00	29		29	2437,9		2437,9	2395,43
15	Gaziantep Üni. - Ecotron	28	64:35:00	28	2	26	1944,8		1944,8	2388,53
16	Süleyman Üni. - Cimbi Mobil	29	62:48:00	29		29	2804	42	2846	1987,33
17	Namık Kemal Üni. - Kiraz	21	64:27:00	21	2	19	1508	40	1548	1618,67
18	İstanbul Gelişim Üni. - Gelişim	26	59:59:00	26	2	24	2723,3	20	2743,3	1256,70
19	İnönü Üni. - Battalgazi	27	62:18:00	27	2	25	2883,8	52	2935,8	1230,87
20	Kocaeli Üni. - TM-Alfa	15	64:12:00	15		15	1301,6		1301,6	1198,40
21	Afyon Kocatepe Üni. - AKÜ'lü araba	17	64:49:00	17	1	16	1512,5	250	1762,5	904,17
22	Bülent Ecevit Üni. - Voltran	19	64:04:00	19	4	15	1600		1600	900,00
23	Cumhuriyet Üni. - Kangal	17	53:08:00	17	4	13	1283		1283	883,67
24	Mersin Üni. - Özgecan	15	44:51:00	15	1	14	1426,7	42	1468,7	864,63
25	Bozok Üni. - 3M Elektro	18	51:27:00	18	1	17	1943	50	1993	840,33
26	KTO Karatay Üni. - Doru	20	61:43:00	20	1	19	2352		2352	814,67
27	Yıldırım Beyazıt Üni. - Thunderbolt 2	16	36:08:00	16	2	14	1591,6	20	1611,6	721,73
28	Çankaya Üni. - Bee-R	13	45:22:00	13		13	1685	92	1777	389,67
29	Dumlupınar Üni - Dev-A	2	13:13	2	1	1	132,8		132,8	33,87
30	Düzce Üni. - Cezeri	16	36:01:00	16	3	13	2104,7	50	2154,7	11,97
31	Gazi Üni.i - Leo	12	63:41:00	12	6	6	1241	24	1265	-265,00

Tablo 6.1'de görüldüğü üzere araç 64 dakikada 15 tur tamamlamış ve 1301.6 Wh enerji harcamıştır. Pit stop ve kaza sonrası pite giriş süreleri dikkate alındığında araç yaklaşık olarak 29 dakikada 15 tur atmıştır. Pist uzunluğu 2 km olduğu için aracın ortalama hızı 60 km/h civarındadır.

Eğer kaza olmasaydı aracın tüm yarış boyunca yaklaşık olarak 2400-2600 Wh enerji harcayacağı ve puanının da yaklaşık olarak Denklem (6.1)'e göre 2400-2600 bandında olacağı görülmektedir. Bu açıdan aracın ilk 10 sıralamasında olabileceği anlaşılmaktadır.

Aracın pite girmeden önceki durumunda motor çok ısındığı için harcadığı enerji normalden daha fazladır. Bu durumda dahi aracın bir turda harcadığı enerji ortalama olarak 86 Wh olarak hesaplanmaktadır.

2. bölümde araç sabit 60 km/h hızda yaklaşık olarak 66 km yola alabildiği hesaplanmıştır. Aracın bataryası yine 2. bölümde belirtildiği üzere 2903 Wh'tir. Yani teorik olarak araç yaklaşık 2900 Wh enerji depolayabilir. Yarıştaki ortalama hızda yaklaşık olarak 60 km/h'tir ve 15 turda 30 km yol yapmıştır. Aracın harcadığı toplam enerji yaklaşık olarak Denklem (6.2) ile hesaplanabilir.

$$\text{ToplamEnerji} = (2900)(\frac{30}{66})\text{Wh} \tag{6.2}$$

Denklemdeki "ToplamEnerji" harcanması gereken yaklaşık enerjiyi vermelidir. Bu değer de 1318 Wh enerjiye tekabül eder. Yani TÜBİTAK'tan alınan resmi sonuçlar ile yapılan teorik çalışmalar %98 oranında uyum göstermektedir.

6.2. Araç Mekanik Sonuçlar

Araç 2. bölümde hesaplanan teorik hızlara ulaşmış ve beklenildiği üzere km başına 60 km/h sabit hızda 86-90 Wh arası bir enerji harcamıştır. Aracın körfez pisti test turlarında aldığı süreler Tablo 6.2'de gösterilmiştir.

Tablo 6.2. Test sürüş süreleri

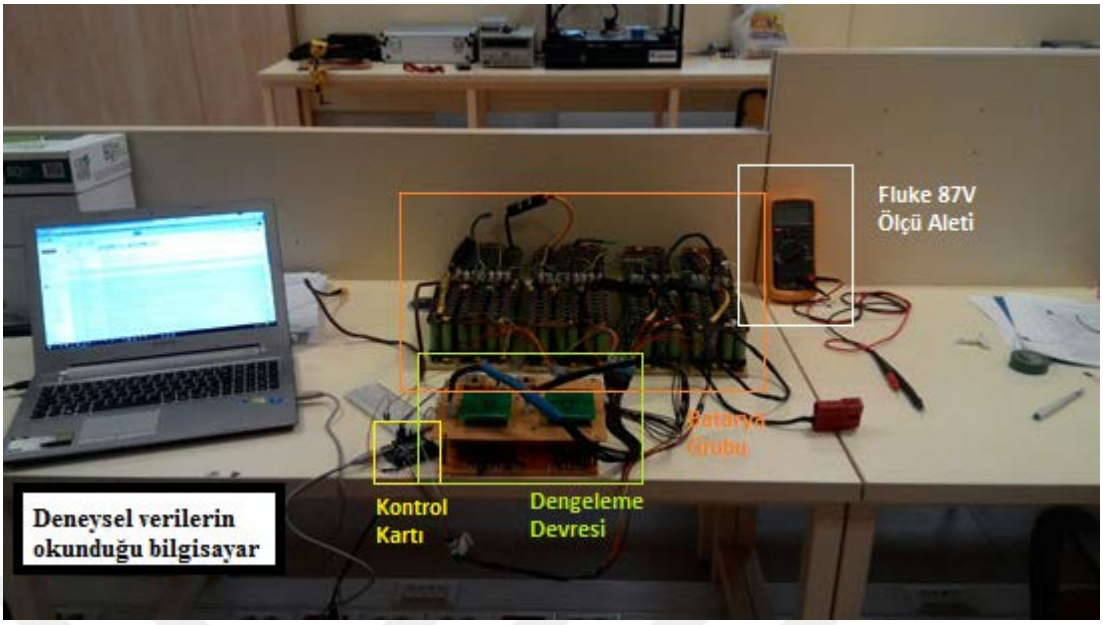
Tur	Süre	Toplam
1	02:22:27	02:22:27
2	01:41:01	04:03:28
3	02:01:16	06:04:44
4	02:09:01	08:13:45
5	02:05:59	10:19:44
6	01:58:36	12:18:20
7	02:15:06	14:33:26
8	02:07:14	16:40:40
9	01:52:46	18:33:26
10	01:55:10	20:28:36
11	01:55:41	22:24:17
12	02:05:44	24:30:01
13	01:55:27	26:25:28
14	02:09:37	28:35:05

Aracın en hızlı turu 01:41 süre ile ikinci turdur. Pistin 2 km olduğu göz önünde bulundurulduğunda aracın bu turdaki ortalama hızının 70 km/h olduğu anlaşılmaktadır.

Bu da hesaplanan teorik hız ile gerçekte ulaşılan hızların uyumlu olduğunu kanıtlamaktadır.

6.3. Batarya Dengeleme Sistemi Deney Düzeneği

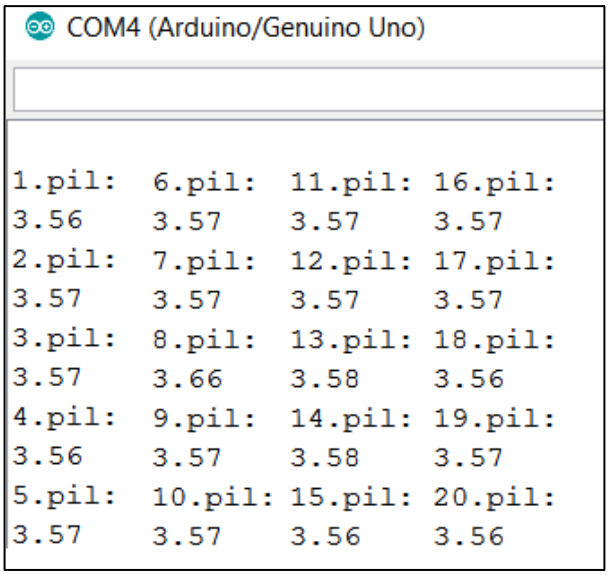
Batarya Dengeleme Sistemi'nin test etmek için bir deney düzeneği kurulmuştur. Düzenekte batarya hücreleri tasarlanan karta bağlanmış gerilimleri ölçülmüş ve dengeleme işlemi gözlenmiştir. Ölçümü karşılaştırmak için Fluke 87V ölçü aleti kullanılmıştır. Fluke 87V'nin DC ölçüm hassasiyeti %0.05'tir.



Şekil 6.2. Deney düzeneği

Şekil 6.2'de deney düzeneği gösterilmektedir. Öncelikle yapılan ölçümler neticesinde okunan değerler ile Fluke 87V de okunan değerler karşılaştırılmıştır. Laboratuvar ortamında kullanılan dengeleme devresi ön prototiptir.

Arduino'dan okunan değerler Şekil 6.3'te gösterilmektedir.



Şekil 6.3. Batarya ölçüm değerleri

Batarya ölçümünde tez çalışması kapsamında alınan değerler ile ölçü aletinden alınan değerler karşılıklı olarak Tablo 6.3'te gösterilmiştir.

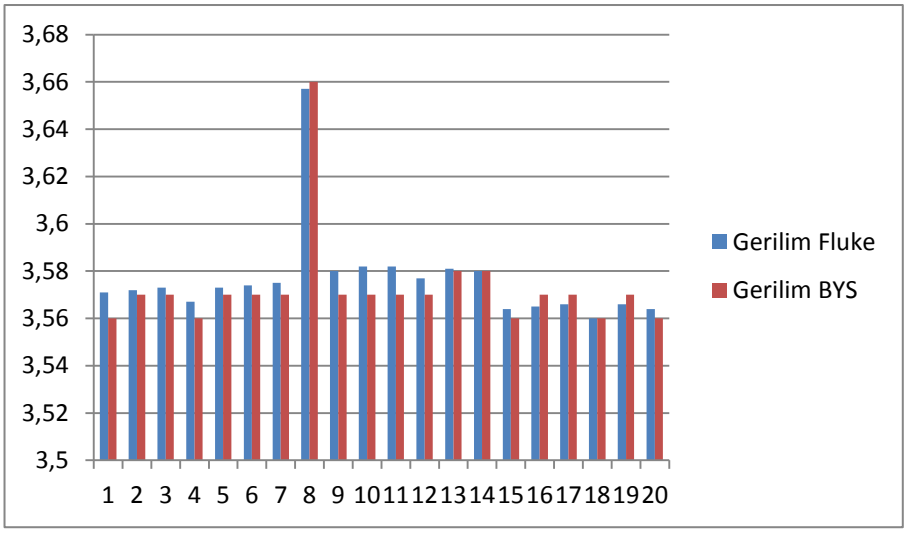
Tablo 6.3. Ölçüm değerleri karşılaştırması

Hücreler	Gerilim Fluke	Gerilim BYS	Fark	Bağıl Hata%
1	3,571	3,56	-0,011	0,31
2	3,572	3,57	-0,002	0,06
3	3,573	3,57	-0,003	0,08
4	3,567	3,56	-0,007	0,20
5	3,573	3,57	-0,003	0,08
6	3,574	3,57	-0,004	0,11
7	3,575	3,57	-0,005	0,14
8	3,657	3,66	0,003	0,08
9	3,580	3,57	-0,01	0,28
10	3,582	3,57	-0,012	0,34
11	3,582	3,57	-0,012	0,34
12	3,577	3,57	-0,007	0,20
13	3,581	3,58	-0,001	0,03
14	3,580	3,58	0	0,00
15	3,564	3,56	-0,004	0,11
16	3,565	3,57	0,005	0,14
17	3,566	3,57	0,004	0,11
18	3,560	3,56	0	0,00
19	3,566	3,57	0,004	0,11
20	3,564	3,56	-0,004	0,11

Bağıl hata değeri Denklem (6.3) ile hesaplanmaktadır.

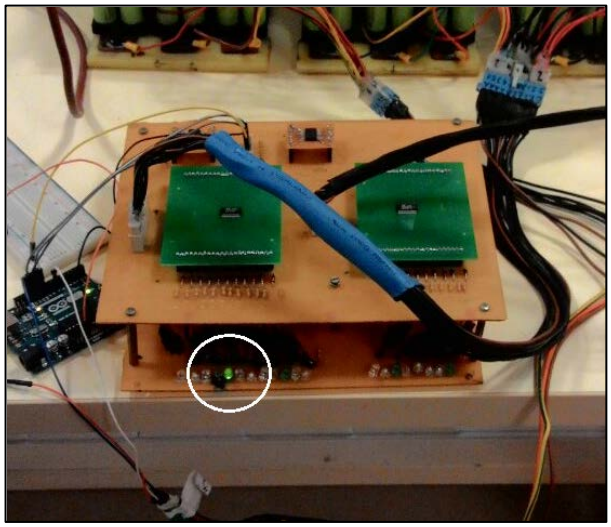
$$\text{BağılHata} = \frac{\left|\text{ÖlçülenDeğer} - \text{GerçekDeğer}\right|}{\text{GerçekDeğer}}(100\%) \tag{6.3}$$

Tablo 6.3'te görüldüğü üzere en yüksek fark 0,012 V ile 10. hücrededir. Her bir hücre için bağıl hata ise %0,34 değerini aşmamaktadır.



Şekil 6.4. Batarya ölçüm sonucu

Şekil 6.4'te görüldüğü üzere bir bataryanın gerilim değeri diğer bataryalardan yüksektir. Test amaçlı olarak bir bataryanın değeri diğer bataryalardan farklı olarak yükseltilmiştir. Programımızda batarya paketi ölçülmekte ve herhangi bir bataryanın gerilimi, en düşük bataryadan 0.03 V'tan yüksek ise dengeleme işlemi başlatılmaktadır. Yapılan deneyde dengeleme işlemi başlatılmış ve yalnızca 8. bataryanın dengelenmeye başladığı görülmüştür. Şekil 6.5'te görüldüğü üzere yalnızca 8. bataryanın deşarj ledi yanmaktadır.



Şekil 6.5. Batarya dengeleme devresi

Dengeleme işlemi 15 Ω'luk bir direnç üzerinden yapıldığı için deşarj akımı yaklaşık olarak 250 mA'dir. Her bir hücrenin 40 Ah olduğu bataryanın deşarjı sonlandırması yaklaşık 11-12 saat alacaktır. Çünkü en düşük olan hücre ile arasındaki fark 0,1

V'tur. Dengeleme işleminin aralarındaki farkın 0,03 V olana kadar devam etmesi beklenmektedir. Yani hücrenin geriliminin 0,07 V düşmesi gerekmektedir. Yaklaşık 4 saat sonunda ölçüm yapıldığında 8. bataryanın geriliminin 3,64 V olduğu görülmüştür. Bu da dengelemenin yapıldığını göstermektedir. Sürenin uzunluğu deney için bir batarya hücresinin abartılı bir şekilde arttırılmasından kaynaklanmaktadır.

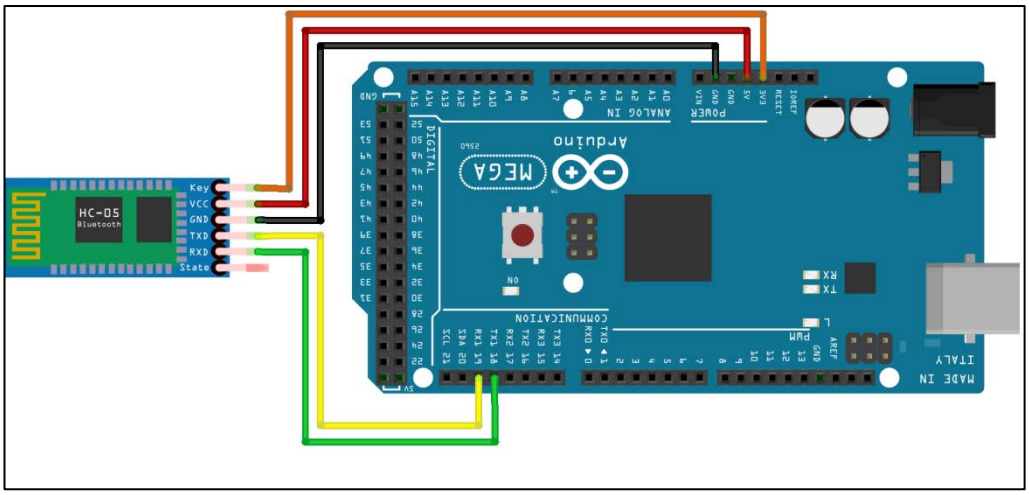
4 saat sonunda yapılan ölçümlerde bataryaların gerilim değeri Tablo 6.4'te gösterilmiştir.

Tablo 6.4. Dengeleme sonrası batarya gerilim ölçümü

Hücreler	Gerilim Fluke	Gerilim BYS
1	3,571	3,56
2	3,572	3,57
3	3,573	3,57
4	3,567	3,56
5	3,573	3,57
6	3,574	3,57
7	3,575	3,57
8	3,639	3,64
9	3,580	3,57
10	3,582	3,57
11	3,582	3,57
12	3,577	3,57
13	3,581	3,58
14	3,580	3,58
15	3,564	3,56
16	3,565	3,57
17	3,566	3,57
18	3,560	3,56
19	3,566	3,57
20	3,564	3,56

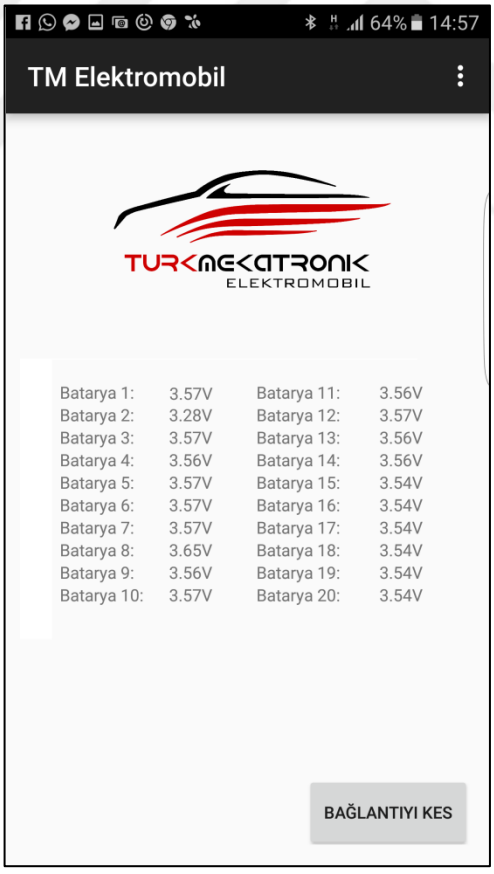
Tablo 6.4'de görüldüğü üzere sekizinci bataryanın gerilimi 3,639 V'a kadar düşmüştür. Bu da dengeleme işleminin yapıldığını göstermektedir.

Batarya ölçüm verileri bluetooth haberleşme ile android işletim sistemli mobil cihaza da aktarılmaktadır. Haberleşme HC-05 bluetooth modülü ile sağlanmaktadır. Modül mikrokontrolör bağlantısı Şekil 6.6'da gözükmektedir.



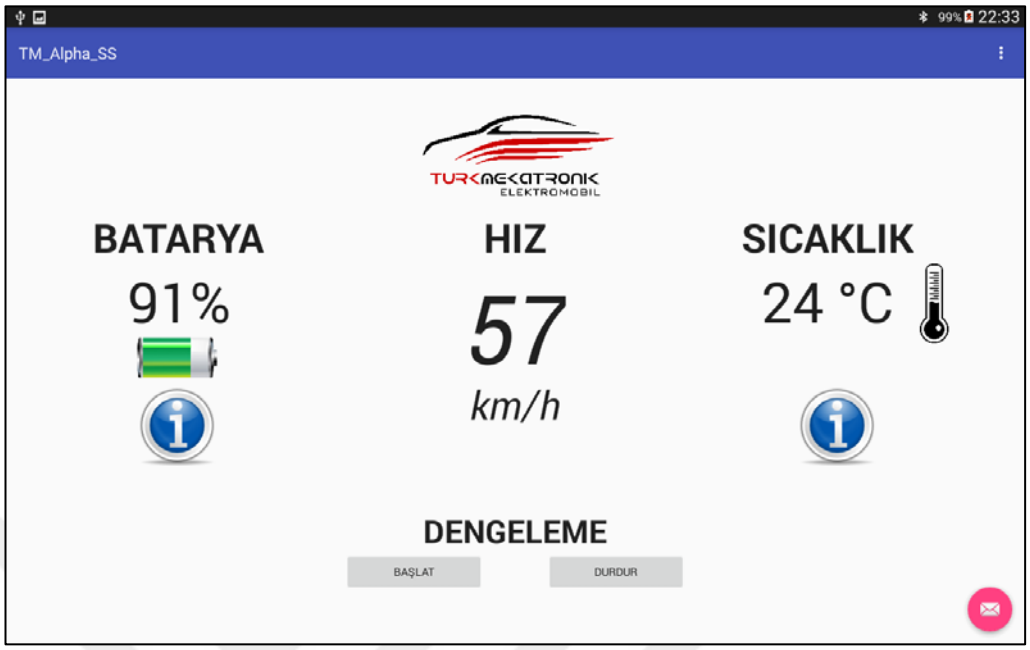
Şekil 6.6. HC05 bağlantısı

Batarya'dan alınan verilerin android işletim sistemli mobil cihazda ekran görüntüsü Şekil 6.7'de verilmiştir.



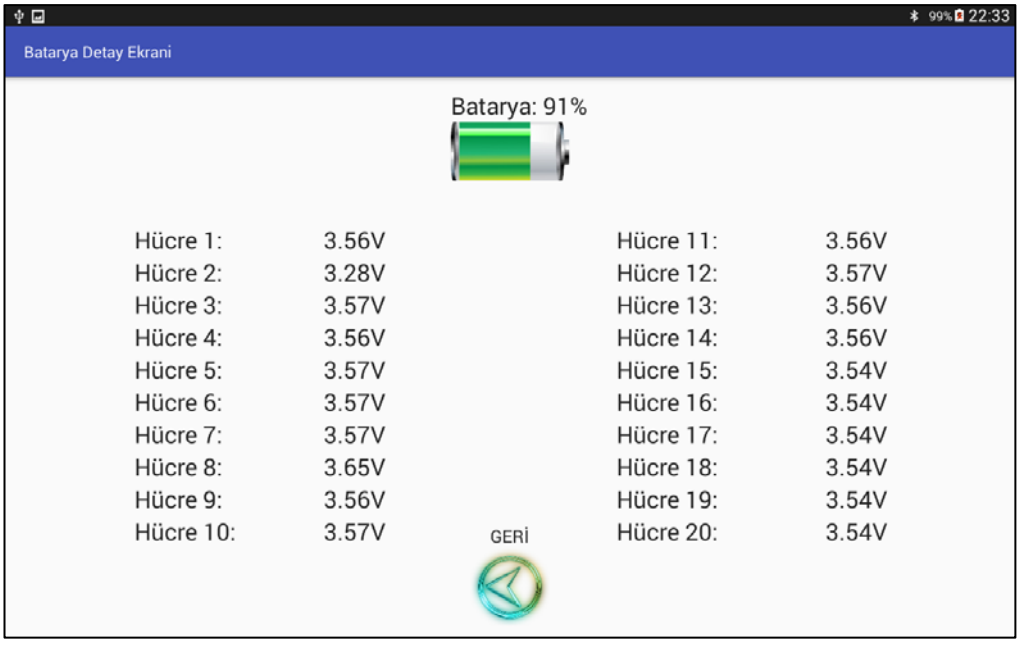
Şekil 6.7. Batarya verileri

Ayrıca araç içinde anlık veriler bir tablet vasıtasıyla görüntülenmektedir. Bilgi arayüzü ana ekranı Şekil 6.8'de gösterilmektedir.

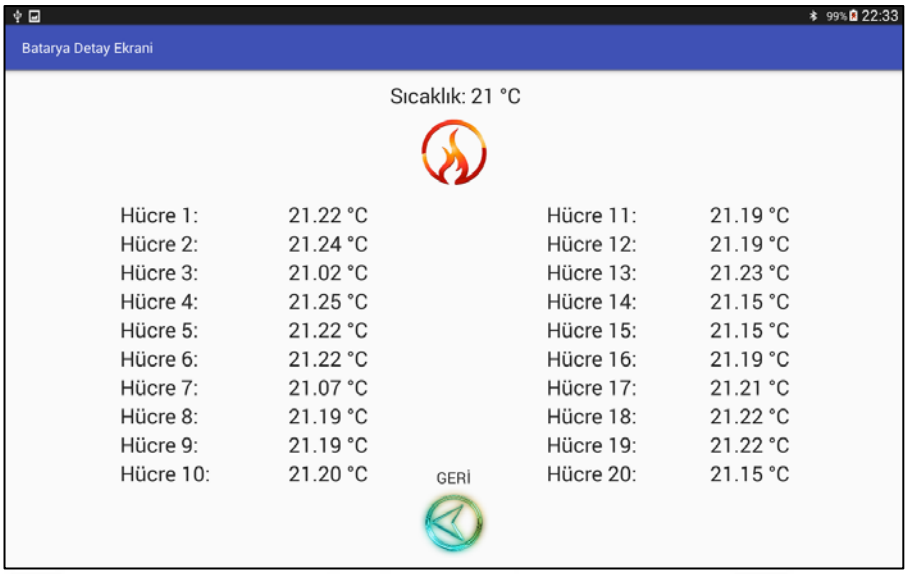


Şekil 6.8. Araç kullanıcı arayüzü

Ana ekrandan hücrelerin sırayla bilgilerini almak amacıyla, gerilim ve sıcaklık bilgileri için ayrı bir ekrana geçiş yapılmaktadır. Şekil 6.9'da gerilim, Şekil 6.10'da ise sıcaklık bilgisi ekranı gösterilmektedir.



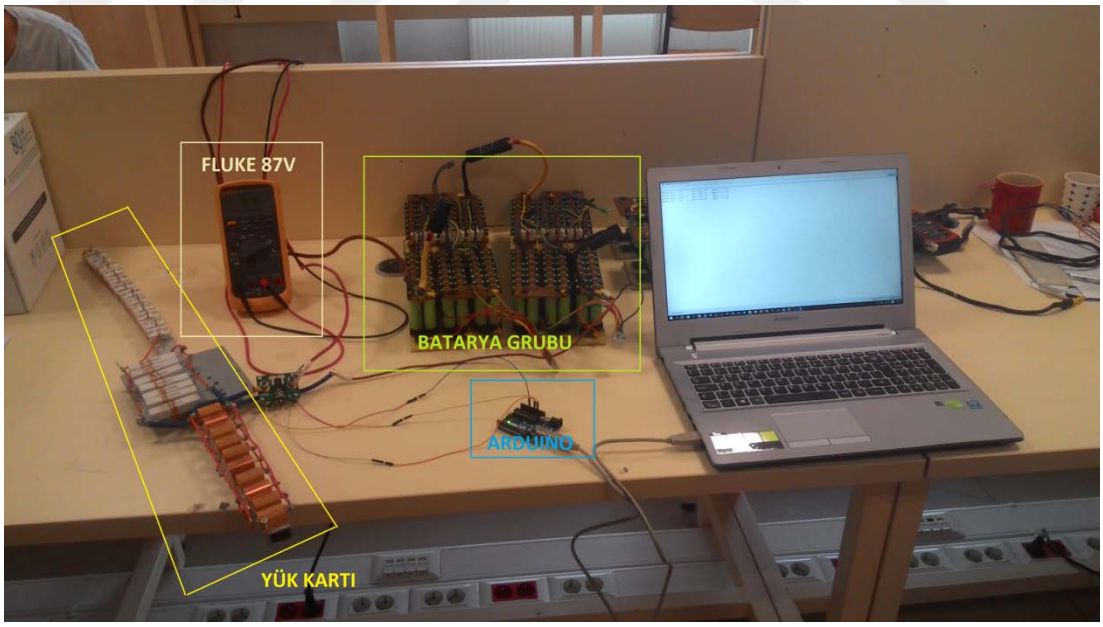
Şekil 6.9. Batarya bilgileri ekranı



Şekil 6.10. Sıcaklık bilgileri ekranı

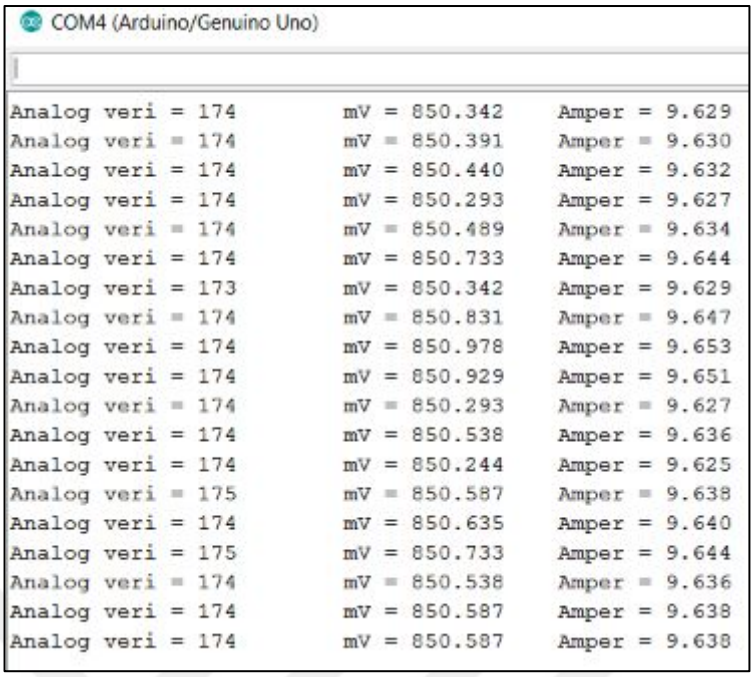
6.4. Akım Ölçümü

Akım ölçümü için 12 adet batarya hücresi seri bağlanmış ve ACS758 akım sensörü ile ölçüm alınmıştır. 12 adet batarya hücresi 42,66 V enerji sağlamaktadır. Yük kartı ise 4,4 Ω dirence sahiptir. Deney düzeneği Şekil 6.11'de gösterilmektedir.



Şekil 6.11. Deney düzeneği

Okunan veriler seri monitör arayüzü ile izlenmiştir. Alınan veriler Şekil 6.12'de gösterilmektedir.



Şekil 6.12. Arduino akım ölçüm verileri

Kontrol kartı ile alınan akım ölçüm verilerinde akımın ortalama 9,640 A civarında olduğu görülmektedir. Fluke 87V'den alınan ölçüm sonucu Şekil 6.13'de gösterilmektedir.



Şekil 6.13. Fluke ölçüm verileri

Denklem (6.3)'e göre bağıl hata değeri hesapladığındığında %0,62 değeri bulunmuştur.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Elektrikli araç çalışması kapsamında bir aracın modellenmesi, hız ve enerji analizleri yapılmış, araç üretimi gerçekleştirilmiş, batarya dengeleme sistemi tasarlanmış ve uygulanmıştır. Çalışma Tübitak'ın düzenlemiş olduğu Alternatif Enerjili Araç yarışları için yapılmıştır.

Yarış sırasında yarış konseptinin gereği olarak Tübitak tarafından bir enerji ölçüm cihazı bağlanmıştır. Tübitak'ın ölçüm verileri ile teorik olarak hesaplanan enerji harcama verileri arasındaki fark belirlenmiştir.

Enerji verimliliğinin arttırılması için araçlarda öncelikle aerodinamik yapının iyileştirilmesi ve aracın hafifletilmesi gerekmektedir. Aracın devamı olarak tasarlanmakta olan TM-beta adlı aracın aerodinamik yapısı iyileştirilmiş ve aracın kabuğu karbonfiber olarak düşünülmüştür. TM-alfa'da araç ağırlığı kullanıcı dahil 420-450 kg aralığındayken yeni araçta ağırlığın kullanıcı dahil 310-340 kg aralığında olacağı ön görülmüştür.

TM-Beta tasarımının önden görünümü Şekil 7.1'de gösterilmektedir. Tasarım sonrası yapılan CFD analizinde sürükleme katsayısı 0,25 civarında olduğu görülmüştür.



Şekil 7.1. TM-beta önden görünüm

Araçta ayrıca daha önceden kullanılan demir profil şasi yerine karbon fiber şasi

kullanılacaktır. Bu da ağırlığı azaltan etmenlerden biridir. Araçta 2 adet karbonfiber plaka arasına koyulan strafor aracın tabanını oluşturacak, yürüyen aksam bu tabanın üzerinde şekillenecektir.

Yarış konsepti gereği, yerli komponent olarak bir batarya yönetim sistemi tasarlanmış ve araca uygulanmıştır. Sistemden alınan ölçüm verileri ile hassas bir ölçü aleti verileri karşılaştırılmış hata oranları belirlenmiştir. Pasif dengeleme için bir batarya hücresinin gerilim değeri yükseltilmiş pasif dengeleme durumu gözlenmiştir.

TM-beta'da araca yerleşik şarj birimi eklenerek pasif dengeleme sisteminin tam olarak etkin kullanımı amaçlanmaktadır. Bu sayede batarya kutusu araçtan çıkarılmadan pillerin şarj edilmesi sağlanacaktır. Ayrıca enerjinin maksimum kullanımı için aktif dengeleme sistemi çalışmalarına başlanmıştır. 2016 Tübitak Alternatif Enerjili Araç Yarışlarına yetiştirilmesi planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

[1] Erdoğan N., Balık İ., Düzgüneş E., Küresel Isınma ve İklim Değişikliği, *E.Ü. Su Ürünleri Derg.*, 2008, **25**(1), 89–94.

[2] Hansen J., Sato M., Ruedy R., Lo K., Lea D. W., Medina-Elizade M., Global temperature change., *Proceedings of the National Academy of Sciences.*, 2006, **103**(39), 14288–14293.

[3] http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/annexessglossary-e-i.html (Ziyaret Tarihi: 15 Aralık 2015).

[4] http://www.realclimate.org/index.php?p=142 (Ziyaret Tarihi: 12 Ocak 2016).

[5] https://www3.epa.gov/climatechange/ghgemissions/global.html (Ziyaret Tarihi: 12 Ocak 2016).

[6] https://www3.epa.gov/climatechange/ghgemissions/global.html#two (Ziyaret Tarihi: 12 Ocak 2016).

[7] http://inventors.about.com/library/weekly/aacarsgasa.htm. (Ziyaret Tarihi: 1 Mayıs 2015).

[8] Holthusen P. J. R., *The Fastest Man on Earth*, 1st ed., Sutton Publishing, Phoenix Mill, 1999.

[9] Chan C. C., The Rise & Fall of Electric Vehicles in 1828-1930: Lessons Learned, *Proc. IEEE*, 2013, **101**(1), 206–212.

[10] Chau K. T., Chan C. C., *Modern Electric Vehicle Technology*. 1st ed., Oxford University Press, Oxford, UK, 2001.

[11] http://www.theicct.org/blogs/staff/global-milestone-first-million-electric-vehicles. (Ziyaret Tarihi: 4 Nisan 2016).

[12] https://www.tubitak.gov.tr/tr/haber/alternatif-enerjili-arac-yarislari-basladi-0. (Ziyaret Tarihi: 12 Kasım 2015).

[13] http://odd.org.tr/folders/2837/categorial1docs/815/BASINBULTENI5OCAK2014.pdf (Ziyaret Tarihi: 10 Nisan 2016).

[14] http://odd.org.tr/folders/2837/categorial1docs/1103/BASINBULTENI4SUBAT2015.pdf (Ziyaret Tarihi: 10 Nisan 2016).

[15] http://odd.org.tr/folders/ 2837/categorial1docs/1447/BASINBULTENI2SUBAT2016.pdf(Ziyaret Tarihi: 10 Nisan 2016).

[16] Ünlü N., Karahan Ş., Tür O., Uçarol H., Özsu E., Yazar A., Turan L., Akgün F., Tırıs M., *Elektrikli Araçlar*, 1st ed., Tübitak MAM, Kocaeli, 2003.

[17] Hussein I., *Electric and Hybrid Vehicles: Design Fundamentals*, 1st ed., CRC Press, Boca Raton, 2003.

[18] Van den Bossche P, Vergels F, Van Mierlo J, Matheys J, Van Autenboer W., SUBAT: An assessment of sustainable battery technology, *Journal of power sources*, 2006, **162**(2), 913–919.

[19] http://www.corrosion-doctors.org/Biographies/PlantelBio.htm (Ziyaret Tarihi: 3 Nisan 2016).

[20] Dhameja S., *Electric Vehicle Battery Systems*, 1st ed., Newnes, Boston, 2002.

[21] Aldoğan E., Elektrikli Araçlar İçin Batarya Yönetim Sistemi Donanımı Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2012, 313052.

[22] Demircioğlu T. K., Bir Araç Modelinin Aerodinamik Analizi ve Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 2007, 177988.

[23] https://en.wikipedia.org/wiki/Automobile_drag_coefficient (Ziyaret Tarihi: 3 Haziran 2015).

[24] Torenbeek E., *Advanced Aircraft Design: Conceptual Design, Analysis and Optimization of Subsonic Civil Airplanes*, 1st ed., Wiley, West Sussex, 2013.

[25] Larminie J., Lowry J., *Electric Vehicle Technology Explained*, 1st ed., Wiley, West Sussex, 2003.

[26] http://www.evdrives.com/v/images/motors/me1003/product_info_me1003-1.pdf (Ziyaret Tarihi: 1 Temmuz 2015).

[27] Jiang J., Zhang C., *Fundamentals and Applications of Lithium-ion Batteries in Electric Drive Vehicles*, 1st ed., Wiley, Solaris, 2015.

[28] Glaize C., Genies S., *Lithium Batteries and Other Electrochemical Storage Systems*, 1st ed., Wiley-ISTE, West Sussex, 2013.

[29] Omar N., Van den Bossche P., Coosemans T., Van Mierlo J., Peukert revisited-critical appraisal and need for modification for lithium-ion batteries, *Energies*, 2013, **11**(6), 5625–5641.

[30] Altun Ş., Elektriikli Araçlar için Batarya Yönetim Sistemi Algoritması Tasarımı ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2012, 313053.

[31] Einhorn M., Roessler W., Fleig J., Improved Performance of Serially Connected Li-ion Batteries with Active Cell Balancing in Electric Vehicles,

IEEE Trans. Veh. Technol., 2011, **60**(6), 2448–2457.

[32] Einhorn M., Guertlschmid W., Blochberger T., Kumpusch R., Permann R., Conte F. V., Kral C., Fleig J., A current equalization method for serially connected battery cells using a single power converter for each cell, *IEEE Trans. Veh. Technol.*, 2011, **60**(9), 4227-4237.

[33] Andrea D., *Battery Management Systems for Large Lithium Ion Battery Packs*, 1st ed., Artech House, London, 2010.

[34] Sayın A., Yüksel İ., Elektrikli Renault Fluence Aracı Lityum-İyon Bataryasının Modellenmesi ve Bataraya Yönetimi, *Mühendis ve Makina*, 2011, **52**(615), 75-82.

[35] Wei X., Zhu B., The research of vehicle power Li-ion battery pack balancing method," *9th Int. Conf. Electron. Meas. Instruments*, Beijing, China, 16-19 August 2016.

[36] Daowd M., Omar N., Van Den Bossche P., Van Mierlo J., Passive and active battery balancing comparison based on MATLAB simulation, *2011 IEEE Veh. Power Propuls. Conf. VPPC*, Chicago, USA, 6-9 September 2011.

[37] Hande A., Kamalasadan S., Srivastava A., A Selective Voltage Measurement System for Series Connected Battery Packs, *IEEE Southeastcon*, Memphis, USA, 31 March - 2 April 2006.

[38] https://www.ttieurope.com/docs/CP/8169/201PETttelectronicsYarbor2.pdf (Ziyaret Tarihi: 10 Kasım 2015).

[39] Lee C. Y., Lee S. J., Tang M. S., Chen P. C., In situ monitoring of temperature inside lithium-ion batteries by flexible micro temperature sensors, *Sensors*, 2011, **11**(10), 9942–9950.

[40] Weinert J. X., Burke A. F., Wei X., Lead-acid and lithium-ion batteries for the Chinese electric bike market and implications on future technology advancement, *Journal of Power Sources*, 2007, **172**(2), 938–945.

[41] http://www.hurriyet.com.tr/sakarya-universitesinde-yangin-gunes-ve-hidrojen-enerjisiyle-calisan-arabalar-yandi-27469944. (Ziyaret Tarihi: 20 Ekim 2015)

[42] Runjing Z., Hongwei X., Guanzhong R., Design of Temperature Measurement System Consisted of FPGA and DS18B20, *Int. Symp. Comput. Sci. Soc. ISCCS*, Kota Kinabalu, Malaysia, 16-17 July 2011.

[43] http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/68022fa.pdf (Ziyaret Tarihi: 20 Nisan 2015).

[44] Shi-Qi A., An-Ning Q., Yu-Wei Z., Design and realization of SPI interface in lithium ion battery voltage measuring system, *6th Int. Conf. Comput. Sci. Educ. Final Progr. Proc.*, Singapore, Singapore, 3-5 August 2011.

[45] http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADuM1400_1401_1402.pdf (Ziyaret Tarihi: 20 Mart 2015).

[46] Székács Á., Szakálf T., Hegyközi Z., Realising the SPI communication in a multiprocessor system, *5th Int. Symp. Intell. Syst. Informatics*, Subotica, Serbia, 24-25 August 2007.

[47] Leens F., An introduction to I2C and SPI protocols, *IEEE Instrum. Meas. Mag.*, 2009, **12**(1), 8–13.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] **Kundakcı İ. M.**, Ertunç H. M., Elektrikli Araçlarda Elektrik ve Mekanik Özelliklere Göre İvmelenme Eğrisi, *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı - TOK2015*, Denizli, Türkiye, 10-12 Eylül 2015.

[2] Kırcı A., Sezal. F., Biçil H., **Kundakcı İ. M.**, Ertunç H. M., Elektrikli Araçlarda Batarya Paketi Gerilim Ölçümü için Bir Sistem Tasarımı, *8.Otomotiv Teknolojileri Kongresi - OTEKON 2016*, Bursa, Türkiye, 23-24 Mayıs 2016.

ÖZGEÇMİŞ

Mart 1987'de Denizli'de doğmuştur. 2001 yılında ilköğrenimini Denizli Hürriyet İlköğretim Okulu'nda, lise öğrenimini ise Denizli Türk Eğitim Vakfı Anadolu Lisesi'nde tamamlamıştır. 2005 yılında girdiği ÖSS'de Gazi Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nü kazanmıştır ve 2011 yılında Elektrik-Elektronik Mühendisi olarak mezun olmuştur. Lisans öğrenimin son yılında MHM Teknoloji firmasında aydınlatma ürünleri tasarımında çalışmıştır. Oradan ayrıldıktan sonra EYS Elektronik firmasında otoyol tünel otomasyonunda PLC programcısı olarak, daha sonra girdiği SEM Transformatör A.Ş'de Trafo Tasarım Mühendisi olarak çalışmıştır. Askerlik görevini tamamladıktan sonra Arçelik A.Ş. Bolu Pişirici Cihazlar İşletmesi'nde Otomasyon Bakım Mühendisi olarak görev yapmıştır. Arçelik A.Ş'de çalışırken 2013 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisansına başlayan yazar, 2014 yılında aynı bölüme araştırma görevlisi olarak atanmıştır ve halen aynı bölümde görevine devam etmektedir.