

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

**ELEKTROKİMYASAL AKÜMÜLATÖRLERİN TERMAL
ANALİZİ**

ONUR YARAY

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISI PROSES PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ.DR. ÖZDEN AĞRA**

İSTANBUL, 2016

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTROKİMYASAL AKÜMÜLATÖRLERİN TERMAL
ANALİZİ**

Onur YARAY tarafından hazırlanan tez çalışması 02.05.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Özden AĞRA
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Özden AĞRA
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İsmail TEKE
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Seyhan UYGUR ONBAŞIOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Fosil yakıtların tüketim hızının artmasıyla ortaya çıkan çevre kirliliği, maliyetlerin yükselişi ve bu yakıtlarla çalışan cihazların teknik gelişiminin yavaşlaması gibi faktörler, araç tasarımcılarını yeni alanlara yönlendirmiştir. Elektrikli araçlar veya hibrit elektrikli araçlar, bu yönelimin en somut tasarım örnekleri olarak öne çıkmaktadır. Hibrit elektrikli araçların ana güç merkezi ise elektriksel gücün deposu görevinde olan elektrokimyasal akümülatör gruplarıdır.

Akümülatör gruplarının termal yönetimi, verimlilik ve çalışma ömrü gibi ana konularda iyileştirmelerin ve geliştirmelerin en yoğun yaşandığı teknik araştırma sahasıdır. Termal yönetimlerin tasarım aşamasında doğru yorumlanması, sistem ile ilgili simülatif, deneysel ve bilgisayar destekli hesaplamalar üzerinden yapılan çalışmalara bağlıdır. Çalışma kapsamında Avrupa sürüş normları çerçevesinde yoğun olarak kullanılan Artemis şehir içi sürüş çevrimine ait simülasyon değerleri teknik değerlendirmede temel alınmış, çevrim koşulları içinde oluşan termodinamik unsurlar doğru analiz edilmeye çalışılmıştır. Buna ek olarak enerji verimliliğinde maksimizasyonun oluşturulması ve ısı transferi mekanizmasının sistem çalışmasına etkisi yine bu simülasyon yazılımları üzerinden dinamik sonuçlarla ortaya konulmuştur.

Tez çalışmasında, teknik bilgi ve donanımını paylaşan sayın hocam Doç.Dr. Özden AĞRA başta olmak üzere, çalışma ve araştırmalarımda bana destek olan Altınay Robot Teknolojileri A.Ş.'ye ve bana her konuda desteğini tereddüt etmeksizin gösteren sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs, 2016

Onur YARAY

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT.....	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.1.1 Akümülatörlerin Termal Yönetimleri İçin Geliştirilen Eşanjör Tasarımları.....	2
1.1.2 Lityum İyon Piller ve Diğer Akümülatörler ile İlgili Araştırmalar	9
1.1.3 Termal Direnç.....	11
1.1.4 Isı Transfer Mekanizmaları	12
1.1.5 Elektrokimyasal Yorumlar ve Matematik Yaklaşımlar.....	12
1.2 Tezin Amacı.....	16
1.3 Hipotez.....	20
BÖLÜM 2	
ISI EŞANJÖRÜ MODÜLÜ TASARIMI	22
2.1 Tasarımın Teknik Alanı ve Amaçları	23
2.2 Tasarımın Çalışma Prensibi	23
2.3 Standart Model.....	27
2.4 Tek Akış Kanallı Yeni Model.....	28
BÖLÜM 3	
SÜRÜŞ ÇEVİRİMLERİ VE TERMAL YÖNETİM YORUMLARI.....	32
3.1 Artemis Şehir İçi Sürüş Çevrimi Simülasyonel Analizler	32

3.1.1	Alt Simülasyon Programları	32
3.1.2	Isı Çevrimine Ait Simülasyon Programı	34
3.1.3	Değişen Deşarj Oranlarında Artemis Prosesi İncelemesi.....	37

BÖLÜM 4

SONUÇLAR.....	65
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	69

SİMGE LİSTESİ

$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
Li	Lityum
LiMO _x	NiLityum Metal Oksitler
Wh	Watt - saat
V	Volt (Gerilim)
Li - Ion	Lityum iyon
ΔT	Sıcaklık değişimi
R_T	Toplam termal direnç
R_{CON}	Konveksiyonla oluşan toplam termal direnç
R_{ADV}	Adveksiyonla oluşan toplam termal direnç
T_{MIN}	Isı geçisi sırasında ortaya çıkan minimum sıcaklık
T_{MAX}	Isı geçisi sırasında ortaya çıkan maksimum sıcaklık
A	Havanın akış kanalındaki kesit alanı
h	Konveksiyonla ısı transferi katsayısı
Q	Verilen toplam ısı
q	Verilen özgül ısı
ρ_{pf}	Havanın yoğunluğu
C_{pf}	Isı sığası
t_1, t_2	Ardıl zaman
P_{pil1}	Akümülatörlerden çekilen güç
Q_t	Akümülatörlerde oluşan toplam ısı
Q_C	Soğutucunun çektiği ısı
P_{cooler}	Soğutucu gücü
T_{CT2}	Soğutma sonrası sıcaklık
I_{net}	Batarya net akım yükü
P_{heat}	Bataryadan açığa çıkan ısı gücü
R_{sis}	Bağlı pillerin oluşturduğu toplam direnç
c_c	Akümülatör malzemesi özgül ısı
n	Şarj sayısı
F	Faraday sabiti

δE_e	Elektromotif güç
I_C	Batarya şarj akımı
Q_1	Kimyasal reaksiyon ısısı
R_{tc}	Toplam batarya direnci
R_e	Elektrik direnci
$h_{s,t}$	Toplam ısı taşınım katsayısı
A_s	Batarya yüzey alanı
T_s	Soğutma sıvı sıcaklığı
T_b	Batarya yüzey sıcaklığı
A_s	Batarya yüzey alanı
h_b	Batarya malzemesi ısı taşınım katsayısı
k_{al}	Alüminyum ısı iletim katsayısı
h_f	Soğutma sıvısı ısı taşınım katsayısı (fluent)
L_{al}	Alüminyum malzeme uzunluğu
L_{al}	Alüminyum malzeme uzunluğu
$r_{al,d}, r_{al,i}$	Alüminyum malzeme dış ve iç yarıçapı
Ah	Ampersaat
C-rate	Deşarj oranı

KISALTMA LİSTESİ

COP	Coefficient of Performance
DOD	Depth of Discharge
FEA	Finite Element Analysis
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
HEA	Hibrit Elektrikli Araçlar
SOC	State of Charge
VRLA	Valve Regulated Lithium Accumulators

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1. 1 Contalı Plakalı Isı Değiştiricisi.....	2
Şekil 1. 2 Yağ Soğutmalı ve Hava Soğutmalı Sistem Performans Grafikleri [4]	4
Şekil 1. 3 İlave Pasajlar Eklenen Soğutma Eşanjörü [5]	5
Şekil 1. 4 Soğutma Eşanjörü [6]	6
Şekil 1. 5 Hava Soğutmalı Isı Eşanjörü Çalışma Şeması ve Soğutma Pasajının Teknik Görseli [7]	7
Şekil 1. 6 İki Farklı Model İçin Star CCM Yazılımıyla Elde Edilen Analiz Sonuçları [7]	8
Şekil 1. 7 Termal Direnç Mekanizmaları ve Pasaj Sayısına Göre Artışını Gösteren Grafik [7]	12
Şekil 1. 8 Reaksiyon Isısının Deşarj ve Şarj Prosesindeki Davranışı [10]	14
Şekil 1. 9 SOC Değerine Bağlı Olarak Sıcaklık ve İç Direnç Değişimleri [11].....	15
Şekil 1. 10 Deşarj Oranlarına Göre Potansiyel - Akım Değişimleri [2].....	16
Şekil 1. 11 Deşarj Oranlarına Göre Açığa Çıkan Isı Değişimleri [13].....	16
Şekil 1. 12 FEA Yöntemi ile Yapılan Analize Göre Akü İç Sıcaklık Değişimleri [14] ..	17
Şekil 1. 13 Hibrit Elektrikli Araçların İç Yapısı.....	18
Şekil 1. 14 NCR18650 Model Lityum İyon Pil.....	20
Şekil 1. 15 Elektrokimyasal Akümülatörler İçin Geliştirilmiş Patentli Isı Eşanjörü	21
Şekil 2. 1 Plakalar ve Plakaların Oluşturduğu Laminasyon Grubu	22
Şekil 2. 2 Isı Eşanjörünün Çalışabileceği Çevrimler	24
Şekil 2. 3 Birinci ve İkinci Plaka, Mekanizma Plaka, Birleşimleri ile Oluşan Laminasyon Grubu.	25
Şekil 2. 4 Isı Eşanjörünün Yan ve Üst Parçaları İle Örnek İmalat Görseli.....	26
Şekil 2. 5 Standart Model Merkezi Plaka ve Sabit Plakası[3]	27
Şekil 2. 6 Tüm Merkezi Plakalara Ait Üstten Görünüş	28
Şekil 2. 7 Tek Akış Kanallı Yeni Model Merkezi Plaka	29
Şekil 2. 8 Standart Model Plaka ile İmal Edilen Örnek Eşanjöre Ait Önden Gör.	30
Şekil 2. 9 Std. Model Plaka ile İmal Edilen Örnek Eşanjöre Ait Üstten Görünüş	30
Şekil 2. 10 Std. Model Plaka Tasarımı İle İmal Edilen Laminasyon Grubuna Ait Çeşitli Görseller	31
Şekil 3. 1 Artemis Şehir İçi Çevrimi Zamana Bağlı Hız Grafiği.....	33
Şekil 3. 2 Artemis Şehir İçi Çevrimine Bağlı Soğutma Simülasyon Algoritması.....	35
Şekil 3.3 Artemis Şehir İçi Çevrimi Güç-Enerji Bilgilerinin Zaman Göre Değişim Grafiği	38
Şekil 3.4 Panasonic NCR18650 Model Pile Ait Deşarj Karakteristik Eğrisi [19]	39
Şekil 3.5 Araç İçi Sıgıtma Sistemine Ait Elemanları ve Çevrim Gösteren Çalışma Şeması	39

Şekil 3.6	0,2 C Deşarj Oranında Çalıştırılan Simülasyona Ait Veriler	40
Şekil 3.7	0,5 C Deşarj Oranında Çalıştırılan Simülasyona Ait Veriler	40
Şekil 3.8	1,0 C Deşarj Oranında Çalıştırılan Simülasyona Ait Veriler	41
Şekil 3.9	2,0 C Deşarj Oranında Çalıştırılan Simülasyona Ait Veriler	41
Şekil 3.10	İki Farklı Deşarj Oranında Çalıştırılan Simülasyona Ait İşletme Fonksiyonu Başabaş Grafiği	43
Şekil 3.11	Farklı Deşarj Oranları ile Oluşturulan Sistemine Ait Ağırlık Bilgisi Grafiği	44
Şekil 3.12	Soğutma Sıvısının Hava Yolu ile Soğutulduğu Sisteme Ait Şema	47
Şekil 3.13	İki Farklı Soğutma Sistemi Çalıştırılan Simülasyona Ait İşletme Fonksiyonu Başabaş Grafiği	46
Şekil 3.14	Akü yüzey Sıcaklığına Bağlı Voltaj Değişimi Grafiği	47
Şekil 3.15	2 C Aküler İçin 5000 W Soğ.Sırasında Akü Sıcaklığın Zamana Bağlı Değişim Grafiği.	48
Şekil 3.16	1 C Aküler İçin Farklı Güçlerde Soğutma Prosesi ve Zamana Bağlı Çekilen Güç Grafiği	49
Şekil 3.17	Isı Transferi Tabanlı Çözümlerde Kullanılan Algoritma	50
Şekil 3.18	Taşınım İle Isı Transferi Katsayısı Tayini	51
Şekil 3.19	1 C Modeli İçin Sıcaklık-Zaman Grafiği.....	52
Şekil 3.20	0,5 C Modeli İçin Sıcaklık-Zaman Grafiği.....	53
Şekil 3.21	0,3 C Modeli İçin Sıcaklık-Zaman Grafiği.....	53
Şekil 3.22	0,25 C Modeli İçin Sıcaklık-Zaman Grafiği.....	54
Şekil 3.23	0,2 C Modeli İçin Sıcaklık-Zaman Grafiği.....	54
Şekil 3.24	COP Değeri Tayini	55
Şekil 3.25	Soğutma Sistemi Mevcut Aküden Beslenme Durumunda Sıcaklık Artışı Algoritması	56
Şekil 3.26	1 C Modelinde Soğutma Sistem Çalışması Sırasında Çektiği Elektriksel Güç Grafiği.	56
Şekil 3.27	1 C Modelinde Ortalama Soğutma Sistemi Çalışması Sırasında Çekilen Elektriksel Güç Grafiği	57
Şekil 3.28	1 C Modelinde Kısmi Zamanlı Soğutma Sistem Elektriksel Güç Grafikleri	58
Şekil 3.29	1 C Modelinde Ortalama Soğutma Sisteminin Elektriksel Güç Grafikleri ..	58
Şekil 3.30	0,5 C Modelinde Kısmi Zamanlı Soğutma Sisteminin Elektriksel Güç Grafiği.	59
Şekil 3.31	0,5 C Modelinde Ortalama Soğutma Sisteminin Elektriksel Güç Grafikleri	59
Şekil 3.32	0,3 C Modelinde Kısmi Zamanlı Soğutma Sisteminin Elektriksel Güç Grafiği.	60
Şekil 3.33	0,3 C Modelinde Ortalama Soğutma Sisteminin Elektriksel Güç Grafiği. .	60
Şekil 3.34	1 C Modelinde Ortalama Soğutma Sisteminin Sıcaklık Değişimi Grafiği...	60
Şekil 3.35	0,5 C Modelinde Ortalama Soğutma Sisteminin Sıcaklık Değişimi Grafiği	62
Şekil 3.36	0,3 C Modelinde Ortalama Soğutma Sistemi Sıcaklık Değişimi Grafiği.....	62
Şekil 3.37	0,25 C Modelinde Ortalama Soğutma Sistemi Sıcaklık Değişimi Grafiği...	63
Şekil 3.38	0,2 C Modelinde Ortalama Soğutma Sistemi Sıcaklık Değişimi Grafiği.....	63
Şekil 3.39	Tüm Modeller İçin Sıcaklık Artışı İle Pil Sayısının Karşılaştırıldığı Grafik	64

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1. 1 FEA Yöntemi İle Yapılan Analiz Son.Nümerik Çözümlerle Karş.	7
Çizelge 2. 1 Standart Model Plakaya Ait Mekanik Özellikler	28
Çizelge 2. 2 Standart Model Laminasyon Grupları ile İmal Edilen Örnek Eşanjör Özellikleri.....	31
Çizelge 3. 1 Deşarj Oranına Bağlı Olarak Değişen Sistem Kurulum Değerleri.....	39
Çizelge 3. 2 Farklı Deşarj Oranlarında Simülasyona Ait Ekipman Listesi ve Yaklaşık Maliyet.	42
Çizelge 3. 3 Farklı Soğutma Sistemi Çalıştırılan Simülasyona Ait Ekipman Listesi ve Yaklaşık Maliyet.	45
Çizelge 3. 4 Değişen Deşarj Oranlarına Bağlı Elektriksel Bilgiler	52

ELEKTROKİMYASAL AKÜMÜLATÖRLERİN TERMAL ANALİZİ

Onur YARAY

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Özden AĞRA

Elektrokimyasal akümülatörlerin termal analizi veya termal yönetimi, akümülatörlerin yığın halde yerleştirilmiş olduğu ısı değiştiricilerin, bu ekipmanlar üzerinde oluşturduğu termal düzenleyicilik etkisine göre performanslarında oluşan değişimi inceler. Bu tez çalışmasında, farklı geometrik modellere sahip plakalı bir ısı değiştiricisi içine yerleştirilen lityum iyon akümülatörlerin çalışmaları sırasında oluşan ısı değişimlerinin regülasyonu dinamik simülasyonlar aracılığı ile yorumlanmıştır.

Literatürde hibrit elektrikli araçların enerji depoları ile ilgili yapılan termal yönetim çalışmaları özetlenmiştir.

Termal yönetim optimizasyonunun dinamik olarak incelenmesi ve bir işletme fonksiyonu haline getirilmesi için Artemis şehir içi çevrimine ait güç bilgileri üzerinden hazırlanan alternatif çalışma sistemleri oluşturulmuştur. Çevrim bilgisi ile oluşturulan simülasyon dahilinde, akülerin termal yönetimi ile ilgili yatırım ve işletme fonksiyonları karşılaştırmalı olarak çalışmaya dahil edilmiştir. Buna ek olarak, geliştirilen plaka modeline ait ısı transferi sisteminin analizlere etkisi simülasyondan elde veriler ile incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektrokimyasal Akümülatörler, Termal Analiz, Artemis Sürüş Çevrimi, Plakalı Isı Eşanjörleri, Laminasyon Grupları

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ABSTRACT

THERMAL ANALYSIS OF ELECTROCHEMICAL ACCUMULATORS

Onur YARAY

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assist. Prof. Dr. Özden AĞRA

The thermal analysis or thermal management of electrochemical accumulators reviews the performance changes of accumulators where inserted as stacked type in heat exchangers by their thermal regulation effects. In this thesis, heat changes of Li - Ion accumulators which are inserted in a plated heat exchanger formed by different geometry lamination groups are interperated by dynamic simulations.

Thermal management studies are summarized about energy storages of hybrid electrical vehicles in literature investigations.

Alternative working systems are created by power generation datas of Artemis Urban Cycle for dynamical resarch of thermal management optimization and to be brought into them a management function. Within information of simulations which work by the cycle, the investment and working functions of thermal management of accumulators has been involved to the thesis. In addition, the effect on analysis of heat transfer system of plates are researched by datas which taken from simulations.

Keywords: Electrochemical Accumulators, Thermal Analysis, Artemis Driving Cycle, Plated Heat Exchangers, Lamination Groups

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

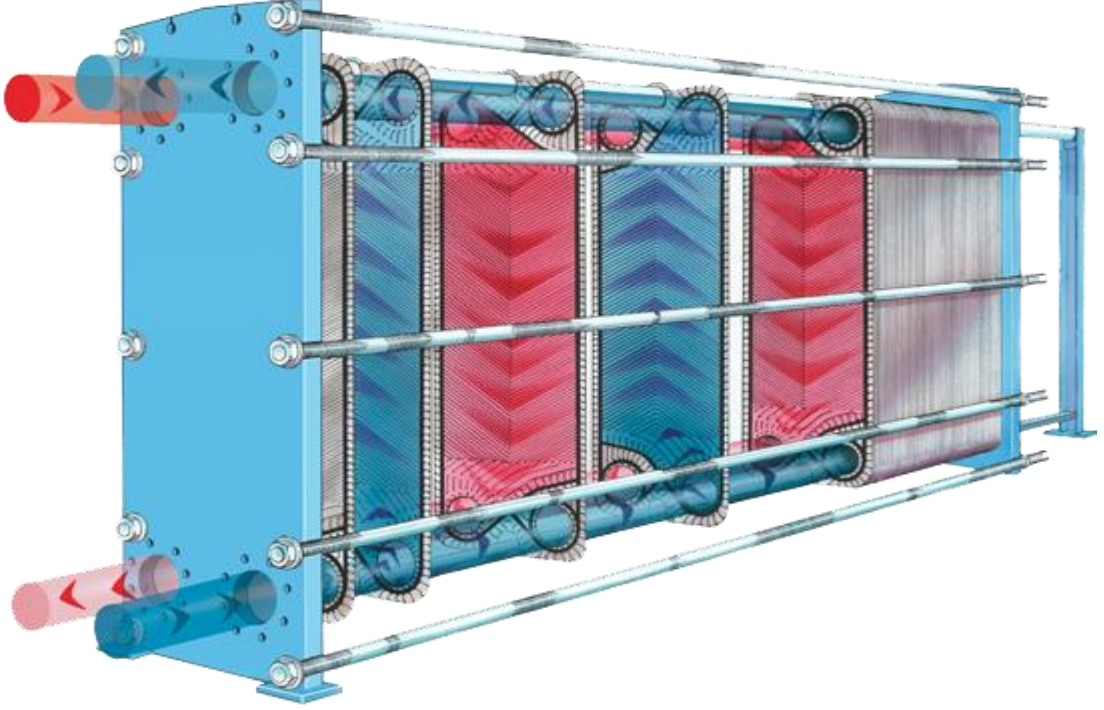
Mühendislik uygulamalarının en önemli ve en çok karşılaşılan işlemlerinden birisi, farklı sıcaklıklardaki iki veya daha fazla akışkan arasındaki ısı değişimidir. Bu değişimin yapıldığı cihazlar, genelde ısı değiştirici olarak adlandırılmakta olup, pratikte termik santrallerde, kimya endüstrilerinde, ısıtma, iklimlendirme, soğutma tesisatlarında, taşıtlarda, elektronik cihazlarda, alternatif enerji kaynaklarının kullanımında, ısı depolanması vb. birçok yerde bulunabilmektedir. Pratikte kullanılan bu ısı değiştiricilerinde en basit örnek birbirinden katı bir cidar ile ayrılan iki akışkan arasındaki ısı geçişidir.

Isı değiştiricileri, endüstrinin en önemli ısı tekniği cihazları olup buharlaştırıcı, yoğuşturucu, ısıtıcı, soğutucu gibi değişik adlar altında kullanılmaktadırlar. Isı değiştiricileri, malzeme, mukavemet, termodinamik, akışkanlar mekaniği ve ısı geçişi bilim dallarının hepsini içeren çok iyi bir uygulamadır.

Isı değiştiricileri ısı transfer prosesine göre temel olarak yüzeyli ısı değiştiricileri, karışımli ısı değiştiricileri ve rejeneratif ısı değiştiriciler olmak üzere 3 ana başlıkta toplanabilir [1].

Bu tezin konusu kapsamında incelenecek contalı levhalı ısı değiştiricileri yüzeyli ısı değiştiricileri sınıfına dahil olmaktadır. Contalı plakalar akışkanları ayıran bir dizi oluklu veya dalgalı ince plakalardan meydana gelir. Burada contalar, dışarıya sızıntının olmasını engeller ve plakalar içinde akışkanları arzulanan şekilde yönlendirir. Akış düzeni genelde akışlıdır.

Contalı plakalı ısı değiştirgeçleri gövde boru tipi ısı değiştirgeçleri ile karşılaştırıldıklarında, contalı plakalı ısı değiştirgeçlerinin daha düşük çalışma sıcaklığı ve basıncına sahip oldukları görülür [2].



şekil 1. 1 Contalı Plakalı Isı Değiştiricisi

1.1.1 Akümülatörlerin Termal Yönetimleri İçin Geliştirilen Eşanjör Tasarımları

Modern elektrokimyasal akülerin performansının, çalışma sıcaklığına oldukça bağımlı oldukları, tekniğin bilinen durumunu en iyi şekilde özetlemektedir. evre sıcaklığı akülerin durgun haldeki sıcaklığına yakın olsa dahi, ak gövdesinden geçen elektrik akımı nedeniyle işletim sırasında ısı açığa çıkması söz konusudur. Bu nedenle, bir akümülatörün ya da bir modül gövdesine bağlı akümülatör grubunun işletimleri sırasında daha iyi performans göstermeleri için sıcaklıkları gerçek zamanda regüle edilmelidir.

Özellikle araçların enerji kaynağı durumunda olan akülerin, atmosferik koşullardan bağımsız olarak hizmet vermesi gerekmektedir. Bu nedenle, bir akümülatörün sıcaklık regülasyon işlemi, yalnızca işletme sırasında açığa çıkan ısıya bağlı olarak değil atmosferik koşullara bağlı olarak da verimli halde tasarlanmalıdır.

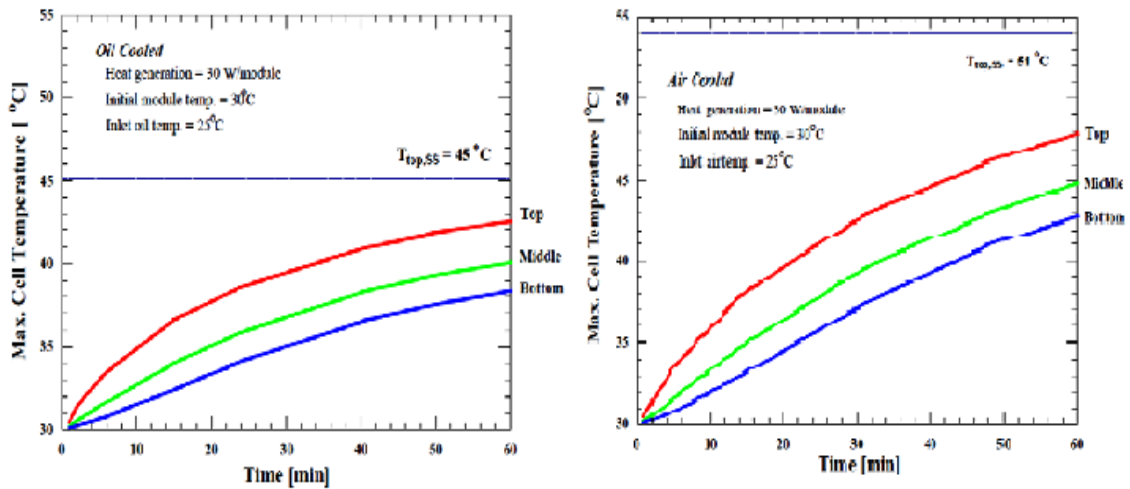
Sıcaklık regülasyonu ya da bir diğer deyişle termal yönetimler için çeşitli hava pervaneli sistemler önerilmiştir. Bununla birlikte, hava yalnızca modülün dış

kısımlarında bulunan akümülatörlere temas ettiği ve modülün iç kısımlarında bulunan aküleri etkin şekilde şartlandıramadığı için düzgün bir termal dağılım oluşturulamadığı görülmüştür. Bu durumun, aküler arası işletim sıcaklıkları farkının açılmasına ve sistem veriminin düşmesine de neden olduğu tespit edilmiştir.

Hava şartlandırılmalı sistemlerin veriminde iyileştirmeye yönelik çalışmalar yapıldığında ise, kompakt sistem prensibinden uzaklaşıldığı ve konvansiyonel ısı değişimi sağlamak için çok parçalı sistemler oluşturulması gerektiği ortaya çıkmıştır.

Bir diğer çalışmada ise derin çekme yöntemi ile oluşturulmuş ısı değişimi tüplerinin içine akülerin yerleştirilmesiyle oluşturulan termal yönetim sistemi denenmiştir. Çalışma örnek imalatları sonrası, işletme sırasında eşanjör tüplerinde blokajlar olduğu ortaya çıkmıştır. Buna ek olarak, ısı değiştirici sıvının toplanma noktasında oluşan yığılma, düzgün bir izotermal ortam oluşumunun önüne geçmiştir. Yığılmaya bağlı olarak, birçok bağlantı noktasında sıvı kaçağı olduğu da gözlemlenmiştir [3].

Pesaran [4] , hava soğutmalı ve yağ soğutmalı sistemleri karşılaştırmıştır. Eşanjörlerin alt, orta ve üst noktalarından kalorimetreler aracılığı ile veriler toplayarak sistemleri yorumlamıştır. Çalışmasına göre yağ soğutmalı sistemler, akümülatörleri hava soğutmalı sistemlere nazaran daha hızlı soğutmaktadır. Prosesin kararlı hale hızlı geçmesi sonucu yağ soğutmalı sistemlerde ısıl iletkenliğin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Araştırmalarda her iki sistemin de sıcaklık gradyeninin eşit çıkması nedeniyle, soğutma prosesinin belirleyici özellikleri arasında eşanjör geometrisinin en önemli yerş tuttuğu belirtilmiştir.



Şekil 1. 2 Yağ Soğutmalı ve Hava Soğutmalı Sistem Performans Grafikler [4]

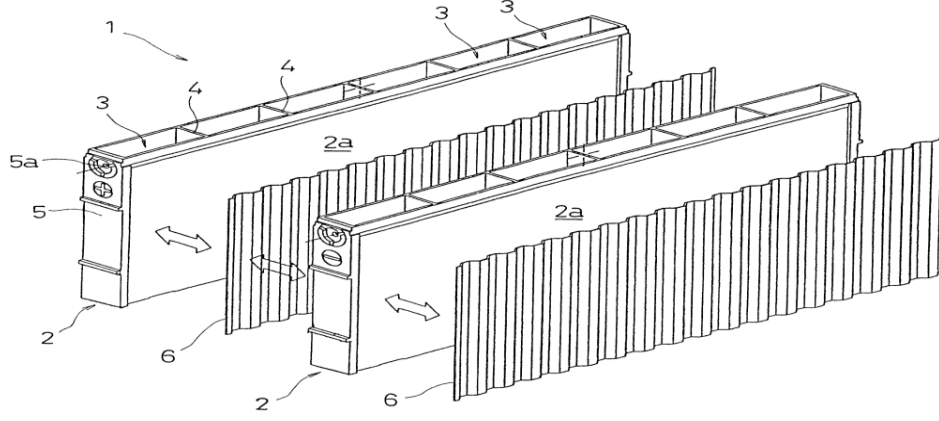
Çalışmada, termal yönetim tasarımlarının aşağıda bulunan adımlar takip edilerek yapılabileceği belirtilmiştir;

- Termal yönetimin amaç ve kısıtlamalarının belirlenmesi,
- Isı değişimi yapılacak sisteme ait ısı kapasitelerinin belirlenmesi,
- Termal yönetimden beklenen öncelikli durumların saptanması ve doğru değerlendirmeler yapılması,
- Batarya soğutucu modülünün ve bu modülün termal eğiliminin ön görülmesi,
- Ön tasarım oluşturulması,
- Prototip imalatı ve test işlemlerinin yapılması,
- Yapılan ilk tasarımın geliştirilmesi ve çalışır sistemlere uyumlu hale getirilmesi.

Pesaran [4] çalışmalarında, modüller arası ısı üretiminin ve ısı dağılımının dengeli olmadığı durumları araştırmıştır. Üniform olmayan ısı dağılımlarının oluşmasına etken durumları ise modüllerin en / boy oranları, modüle yerleştirilen akü sayısı, modül geometrisi, modülün imal edildiği malzemenin ısı iletim değeri, akülerin elektriksel bağlantı şekilleri ve akümülatörlere ait iç yoğunluk değişimleri olarak özetlemiştir.

Ogata ve Hamada [5] , elektrokimyasal akümülatörlerin soğutma prosesinde kullanılan eşanjörlerin verimini artırmak için, enine büyüyen tasarımlar geliştirmişler ancak bu tasarımlarının iç basınca karşı dayanımının oldukça düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Cidar kalınlığının artırılması denenmiş ancak ısı transfer oranının düşüşü nedeniyle bu teknikten vazgeçilmiştir.

Tasarım verimliliğini artırmak için eşanjör soğutma gruplarının aralarına ilave pasajlar yerleştirmiş, bu pasajları çıkıntılı aralayıcı parçalarla doldurmuşlardır. Soğutma paketinin uzun kenarları arasına konulan farklı yapıdaki ayırıcılar ısı transfer katsayısına etki ederek soğutma performansını artırmışlardır.

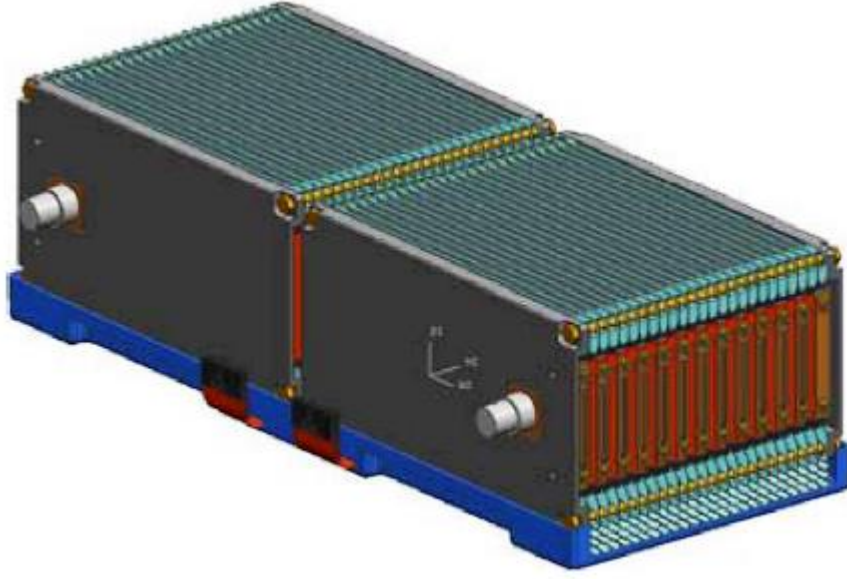


Şekil 1. 3 İlave Pasajlar Eklenen Soğutma Eşanjörü [5]

Şekil 1.3'de görülen tasarımda farklı geometrideki ayırıcılar (6), blok dış yan yüzeyleri (2a) arasına yerleştirilerek, mukavemeti arttığı ve basınca karşı dayanım sağlandığı için soğutucu blok malzemesinin kalınlığının azaltılabilmesine olanak sağlamıştır. Ayrıca paket büyüklüğünü artırmadan bu incelme sonrası ayırıcının yerleştirildiği pasajın genişliği artırılabilir. Bu iki faktör ısı transferine doğrudan etkiyerek sistem verimliliğini artırmaktadırlar.

Mi vd. [6], geliştirdikleri hava soğutmalı ısı eşanjörü çalışmaları kapsamında yaptıkları ölçümlerde, akümülatörlerin çalışmaya başladıktan bir süre sonra ısı rejiminin sürekli hale geçtiğini gözlemlemişlerdir. Şarj ve deşarj anında açığa çıkan ısı miktarının yine belirli bir süre zarfının ardından birbirine eşitlendiğini belirlemişlerdir. Hesaplarında, eşanjöre geçen ısı ile aküler tarafından üretilen ısıyı birbirilerine eşit kabul etmişlerdir. Tasarımlarını sayısal analizlere tabi tutarken hücreler arası ısı transferi olmadığı ve eşanjörün alt ve üst kısımlarının izole edildiğini kabul etmişlerdir.

Üretilen ısı miktarının hesaplamalarında genel olarak kullanılan elektrik güç formüllerine alternatif olarak, empedans yöntemi ile hesaplama yapılmıştır. İki hesap türü arasında hataların olduğu görülmüş, bu farklılıkların nedenleri ise hesap hataları, akü iç dirençlerinde tahmin hataları ve elektrotlarda iletimle oluşan ısı kayıpları olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. 4 Soğutma Eşanjörü [6]

Çalışmalarında atmosferik koşulların etkisine de değinen Mi vd. [6], dış hava koşullarının 50 °C yi geçtiği durumlarda, aküleri, maksimum çalışma sıcaklıkları olan 40 °C ye indirilmeksizin aracın kalkış yapamayacağını tespit etmişlerdir. Tasarlanan eşanjör gücüne bağlı olarak yapılan hesaplamalarda bu iki sıcaklık arası farkın kapatılması için, aküler çalışmaksızın, 16 dakika boyunca ön soğutma yapılması gerektiği saptanmıştır. Buna ek olarak, akülerin verimliliği ile yaptıkları optimizasyonda, en yüksek performansla çalıştıkları sıcaklığın 30 °C olduğunu, dolayısıyla soğutmanın bu değere kadar yapılması gerektiğini belirtmişlerdir.

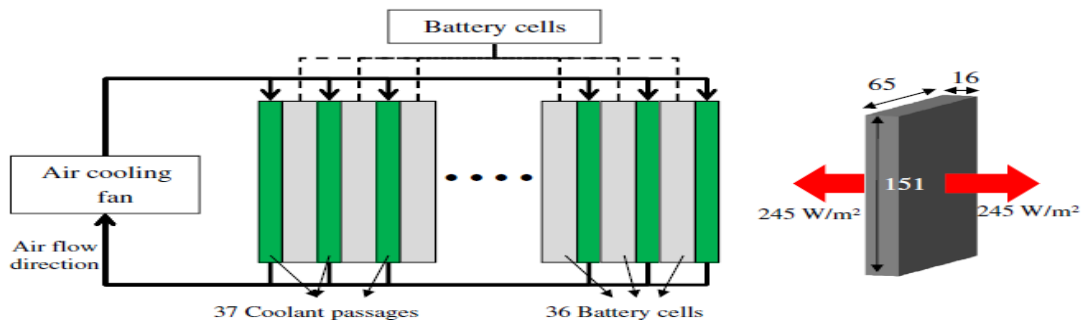
Sayısal analizlerde sonlu elemanlar yöntemini FEA (Finite Element Analysis) kullanarak, elde ettikleri sonuçlar ile yapılan nümerik çözümleri karşılaştırmış ve hata yüzdelерini çalışmalarında paylaşmışlardır. Yapılan tespitler Çizelge 1.1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. 1 2010 FEA Yöntemi İle Yapılan Analiz Sonuçlarının Nümerik Çözümlerle Karşılaştırılması

	Nümerik Çözümler	Analiz Çözümü	Hata Oranı
En Düşük Sıcaklık Artışı (°C)	11	10,8	1.8%
En Yüksek Sıcaklık Artışı (°C)	16,4	17,3	9.5%
Sıcaklık Gradyeni (°C)	5,4	6,5	1,1 °C
Giriş / Çıkış Hava Sıcaklığı Farkı (°C)	16,3	15,8	3.2%
En Düşük Eşanjör Sıcaklığı (°C)	9	9	-
En Yüksek Eşanjör Sıcaklığı (°C)	40,7	39,6	2.8%

Park [7], hibrit elektrikli araçlar için zorlamalı akışlı hava soğutmalı sistemler ile lityum iyon piller için bir termal yönetim oluşturmaya çalışmıştır. Teorik çalışmaları analizlerle karşılaştırarak bir yorum yapmış ve tasarımı ile akümülatörler arası üniform bir sıcaklık dağılım alanı elde edebildiğini tespit etmiştir.

Isı değiştirici havanın giriş ve çıkış hatlarına konulacak konik manifoldlar ve basınç tahliye ventilleri ile sistemin maksimum sıcaklığının ayarlanabileceğini belirtmişlerdir. Havanın giriş ve çıkış uçlarının, hibrit elektrikli araçların tasarımına uyumlu olmaları için aynı yönde olması için aynı yönde olmaları gerektiği belirtilmiştir. Basınç kaybını minimize edilecek önlemler alındığı taktirde, sistemi besleyen fana ait elektrik çekiş gücünün regüle edilebileceğini ortaya koymuşlardır.



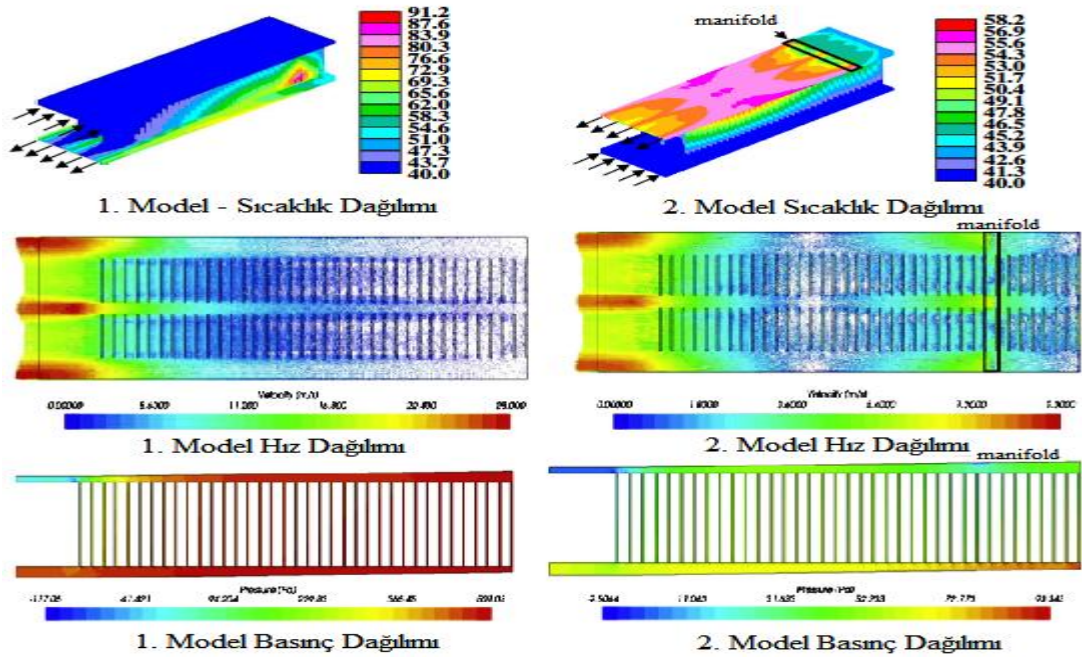
Şekil 1. 5 Hava Soğutmalı Isı Eşanjörüne Ait Çalışma Şeması ve Soğutma Pasajının Teknik Görseli [7]

Park [7], Şekil 1. 5'te şematize edilen prensipte tasarladığı eşanjörde 270 V geriliminde ve 1400 Wh gücünde, toplamda 72 adet akümülatörü termal dengeye getirmeye çalışmıştır. Isı eşanjörünün iki farklı geometrisi için sıcaklık ve hız dağılımlarını, özel

bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılım olan Star CCM programı ile hesaplamıştır. İki konstrüksiyon arasındaki temel farkı, tezinin temelini oluşturan ilave hava atış manifoldunun varlığı olarak savunmuştur.

Yazılım ile yapılan hesaplamalarda, standart k- ϵ yöntemi kullanılmış, havanın sıkıştırılmaz olduğu ve sürekli akış koşulları kabul edilmiştir. Meshing işlemlerinde polyhydral yöntemiyle elde edilen yaklaşık 2,4 milyon eleman üzerinden hesaplamalar yapılmıştır.

Analizler sonucunda, hücrelerdeki maksimum hava sıcaklığının, soğutma pasajlarındaki hava akış debisine bağlı olduğu ve hava basıncının giriş noktasından pasajlara doğru düşürerek devam eden bir akış modelinin hava dağılımı ve debiyi etkilediğini dolayısıyla soğutma veriminin yükseldiği gözlemlenmiştir. Hava atış manifoldunun (açıklığının), hız ve basınç dağılımını dengeleyerek verimliliğe pozitif yönde etki ettiği ve farklı akış kanalı modellerinin ısı dağılımına doğrudan etki ettiği saptanmıştır. Sonuçlara ilişkin bazı görseller Şekil 1. 6' da sunulmuştur.



Şekil 1. 6 İki Farklı Model İçin Star CCM Yazılımı ile Elde Edilen Analiz Sonuçları [7]

Smith ve Wang [8], akümülatörlerin şarj ve deşarj anındaki performanslarını ayrı olarak incelemiş, hibrit elektrikli araçlar için geliştirilmiş lityum iyon pillerin termal dirençlerini sönmölemek üzere, tasarımlarda iyileştirmeler önermişlerdir.

Akümülatörlerin işletimi sırasında, bir diğer deyişle deşarj anlarında, bu enerji depolarının enerji aktarımı için bulundukları kontak noktalarında, Ohmic Resistance adı verilen bir direnç tespit edilmiştir. Bu direncin güç iletimini düşürdüğü ve enerji akışını yavaşlatarak verimi azalttığı belirlenmiştir.

Buna ek olarak, akülerin üst çalışma sıcaklık sınırı 52 °C olarak saptanmış, aşırı sıcaklık durumlarında tüm şarj ve deşarj proseslerinde akü verimliliğinde düşüş olduğu belirtilmiştir. İşletme sıcaklıklarında aşırı düşüşlerin ise akü içindeki difüzyon mekanizmasını , ısı iletim değerini ve reaksiyon hızını olumsuz etkilediği, bunun nedeninin ise voltaj dağılımının zamanla dengesiz bir hal alması olduğu belirtilmiştir.

1.1.2 Lityum İyon Piller ve Diğer Akümülatörler ile İlgili Araştırmalar

Pesaran'a göre [4], lityum iyon pillerin çalışma sıcaklığı aralığının belirlenmesinde imalat üzerine çalışan tasarım ekipleriyle, bunları araçlarda uygulayan ekipler arasında zaman zaman görüş ayrılıkları oluşmaktadır. Bu duruma örnek olarak bir asit batarya gösterilebilmektedir. Asit bataryanın çalışma aralığı üretici firmalara göre 25 °C ile 45 °C iken araç tasarımcılarının beklediği operasyonel sıcaklık aralığı -30 °C ile 60 °C dir.

Akümülatörlerin ısı üretimi ve ısıl kapasitelerini etkileyen faktörlerin başında elektrokimyasal entalpi değişimi ve elektriksel direnç kaynağına bağlı ısıl değişimlerdir. Bahsi geçen değişimleri doğrudan etkileyen faktörler ise aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Akülerin kimyasal modelleri,
- Akülerin konstrüktif yapıları,
- İmalat grubu tarafından belirlenen çalışma sıcaklığı aralığı,
- Şarj durumu ve ortalama ömrü,
- Şarj - deşarj profili.

Ortam sıcaklığına bağlı çalışabilen akümülatörlerden başlıcaları vana regüleli aküler (VRLA), nikel hidrit aküler ve (NiMH), lityum iyon (Li-Ion) olarak sıralanabilir. Bu akümülatörlerin ortam sıcaklığına bağlı davranışları ile ilgili yapılan çalışmaya ilişkin sonuçlar şöyledir;

- Akümülatörlerin termal davranışlarındaki farklılığın nedeni, enerji verimliliği ve sıcaklık değişimlerine karşı gösterdikleri hassasiyet olduğu saptanmıştır,

- İşletme sırasında NiMH bataryaların daha çok ısı ürettiği belirlenmiştir. Bu tip bataryaların ısı verimliliği, duruma bağlı olarak daha düşüktür,
- Oda sıcaklığında NiMH akünün VRLA ve Li-Ion akülere göre daha az ısı ürettiği görülmüştür. Buna karşın sıcaklık düşümü ile hücre içi direnç arttığı ve deşarj oranı arttıkça üretilen ısıнын artış gösterdiği gözlemlenmiştir,
- Lityum iyon akünün, 50 °C sıcaklıkta yapılan bir ölçümde endotermik reaksiyon göstermiştir. Dolayısıyla bu tip bataryaların enerji yönetiminde daha hassas tasarımlar ön görülmelidir,
- VRLA ve Li-Ion aküler, birbirine benzer termal reaksiyonlar göstermektedirler. VRLA akünün diğerine göre güvenlik ve düşük sıcaklıklarda performans düşümü gibi eksi yönleri bulunmaktadır.

Mi vd. [6], HEA'ların tasarımı ve uygulanabilirliğinin büyük oranda enerji depolama sistemlerine dayandığını savunmuştur. Lityum iyon aküleri, yüksek enerji ve güç yoğunluğu gibi avantajları düşük maliyetlerle sağladığı için tercih edilebilir olarak tanımlamıştır. Lityum iyon akülerin çalışma sıcaklık aralığının -10 °C ile 50 °C olduğunu belirterek, termal yönetimin elektrikli araçların optimizasyonunda en büyük yere sahip olduğunu vurgulamıştır.

Elektronik cihazlarda kendine geniş bir kullanım alanı bulan Li-Ion akülerin, termal limitleri nedeniyle HEA'larda daha sınırlı bir kullanıma sahiplerdir. Çalışmada aküleri birbirine mümkün olduğunca seri bağlayacak bir paket tasarımı yapılmaya çalışılmış, bu yolla gerekli voltajı yakalamak hedeflenmiştir.

Park [7], HEA'larda, uzun ömürlü sürüş ve yüksek performans beklentilerine karşılık, belirli süreli şarj durumu ve karşılanabilir fiyat aralıklarında temin edilebilme özelliklerine sahip akümülatörlerin kullanımının uygun olduğunu savunmaktadır. Seri bağlı yüksek voltajlı aküler ve yüksek enerji yoğunluğu beklentisini karşılamaya çalışan elektro - kimya sektörünün, yanmazlığı ve voltaj aralığının genişletilmesini sağlamak amacıyla çeşitli solventler kullandığını belirtmiştir.

Yaptığı çalışmalar sonucunda lityum iyon akülerin ömrünün, 30 °C ile 40 °C aralığındaki her 1 °C artışla ömründen 2 ay yitirdiğini belirlemiştir. Aynı çalışmaların sonucunda, çalışma sıcaklığının 40 °C altında tutulmasının ve sıcaklık değişimlerinin $\Delta T = 5$ °C ile sınırlandırılması gerektiği ortaya konulmuştur.

Smith ve Wang [8], maksimum ve minimum voltajlarda yapılan araştırmalarda, yeni nesil araçların ihtiyacı olan gücü sağlayan akülerin 16 °C'nin altındaki sıcaklıklarda düşük verimlilik haline geçtiğini belirlemiştir. Sıcaklık değişimlerine bağlı olarak, akülerin şarj ve deşarj oranlarını belirlemeye yönelik çalışmaları mevcuttur.

1.1.3 Termal Direnç

Park [7], eşanjör soğutucu pasajları üzerinde, soğutma sırasında oluşan termal rezistansı incelemiştir. Termal direncin matematiksel önermesi olarak, direncin maksimum ve minimum sıcaklıklar arasındaki farkın uygulanan ısıya oranını sunmuştur. Toplam termal direncin hesaplamalarında kullanılacak olan bu önermeye konveksiyon ve adveksiyonla oluşan termal direncin toplamına eşitlik sınırlaması getirilmiştir.

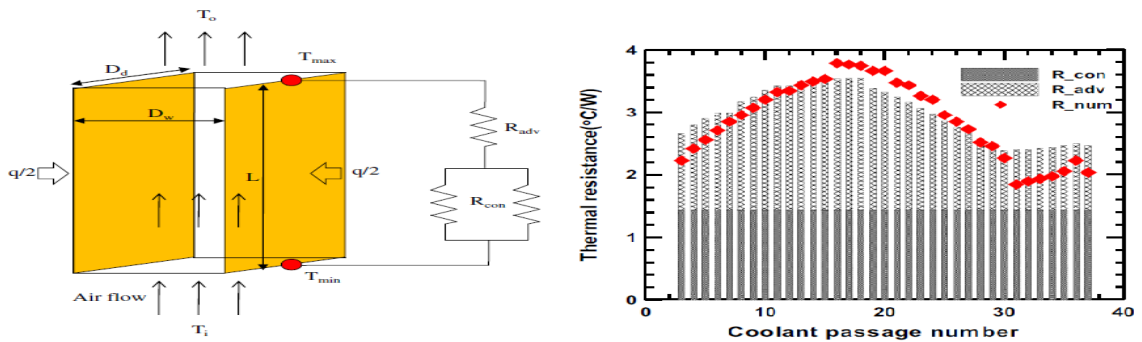
$$R_t = \frac{T_{max} - T_{min}}{q} = R_{con} + R_{adv} \quad (1.1)$$

$$R_{con} = \frac{1}{2.A.h} \quad (1.2)$$

Hava akış kanalları ile akümülatörler arasında oluşan sıcaklık farkı nedeniyle ortaya çıkan konveksiyonla ısı transferine bağlı direnç, 1.2 numaralı denklemle ifade edilmiştir. A, havanın akış kanalındaki kesit alanını, h ise konveksiyonla ısı transferi katsayısını temsil etmektedir.

$$R_{adv} = \frac{1}{Q.\rho_{pf}.c_{pf}} \quad (1.3)$$

Adveksiyonla ısı transferi mekanizması, ısının absorpsiyonu sırasında oluşan sıcaklık farkları sonucu ortaya çıkmaktadır. 1.3 numaralı denklemde Q akış debisini, ρ_{pf} hava yoğunluğunu ve C_{pf} ısı sığasını temsil etmektedir.



Şekil 1. 7 Termal Direnç Mekanizması ve Pasaj Sayısına Göre Artışını Gösteren Grafik [7]

Park [7], maksimum ve minimum hava sıcaklıkları arasındaki farkın regülasyonu sonucu termal direncin minimize edilebileceğini savunmuştur. Isı transfer mekanizmasının daha sağlıklı çalışması ve sistemden istenilen verimin sağlanabilmesi için direncin düşürülmesinin gerekliliğini vurgulamıştır.

Soğutucu pasajların sayısının artışına bağlı olarak, termal direncin artış oranlarını gösteren çalışma Şekil 1.7'de sunulmuştur. Çalışmaya göre, konveksiyonla ısı transferi pasaj sayısından bağımsız olarak değerini korurken, adveksiyonla ısı transferi pasaj sayısına bağlı olarak değişkenlik göstererek toplam direnci etkilemektedir. Buna ek olarak, çalışmada yapılan sayısal analiz ile elde edilen sonuçlar, ölçümlere yakınlık göstermiştir.

1.1.4 Isı Transfer Mekanizmaları

Pesaran [4], termal yönetim sistemlerinin; hava soğutma, likit soğutma, faz değiştiren soğutucular ile soğutma ve farklı kombine akışkanlar ile soğutma şeklinde ayrıldığını belirtmiştir.

Buna göre hava soğutmalı sistemler doğrudan modül çevresinde oluşturdukları akım ile çalışırlar. Likit sistemler ise dolaylı ve doğrudan temas sistemler olarak ikiye ayrılır. Dolaylı temas sistemler ceketli ve tüplü sistemler şeklinde özetlenirken doğrudan temaslı sistemler dielektrik sıvılı sistemler ile tanımlanır. Bu tip sistemlerde su ve glikol gibi sıvı ürünler kullanılabilir. Doğrudan temaslı sistemlerde dielektrik sıvı kullanılması zorunludur.

Doğrudan temaslı sistemler daha ince sınır tabakalara ve yüksek ısı iletimi gibi özelliklere sahip olmaları nedeniyle, hava soğutmalı sistemlere göre daha avantajlıdır. Ancak yüksek viskozite ve kullanılan pompa gücü nedeniyle COP leri zaman zaman hava soğutmalı sistemlerin yanında düşüktür.

Dolaylı temaslı sistemler ise doğrudan temaslı sistemlere göre düşük viskozite ve yüksek termal iletkenlik özellikleri ile daha verimlilik açısından avantajlıdır.

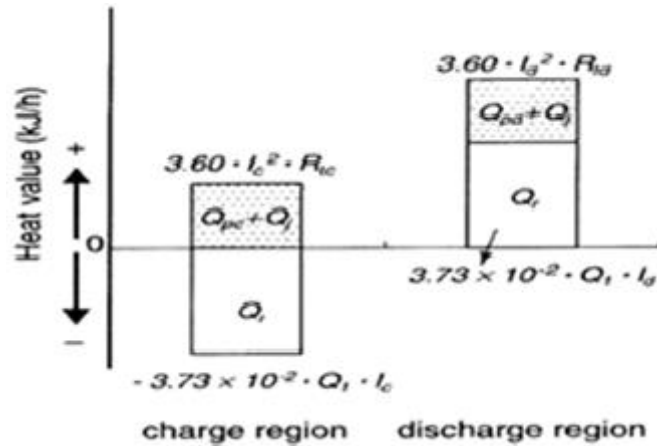
1.1.5 Elektrokimyasal Yorumlar ve Matematik Yaklaşımlar

Sato [9], çalışmaları sonrası tespitlerinde, elektrokimyasal reaksiyonlarda akülerin açığa çıkardığı ısı, yine akülerin iç yapısına bağlı olan dört farklı unsur tarafından ortaya çıkarıldığını savunmuştur.

Bunların ilki ve en etkin olanı, akünün iç dinamiklerinden oluşan reaksiyon ısısı olarak gösterilmektedir. İkincisi, bataryanın sahip olduğu elektrot potansiyeli üzerinden polarizasyon, açığa çıkan atık gazlar üzerinden entropi ve iç dirençlerden kaynaklı olmak üzere üç farklı enerji ile açığa çıkan ısıнын, akülerin çalışma sırasında açığa çıkardığı toplam ısıyı temsil ettiği şeklinde açıklanmaktadır.

Fleckenstein vd. [10] yaptıkları çalışmalarında elektrokimyasal aküler tanımlanırken, sahip oldukları kapasite C-rate şeklinde tanımlanmıştır. C-rate, akünün sahip olduğu kapasitenin kullanıma uygun oranının belirlenmesidir. Buna göre 100 Ah gücünde bir akü 1 C oranında çalışıyorsa, 1 saatte 100 A akım deşarj eder, 5 C oranında ise bu miktar 500 A olur. Küçük ebatlı aküler genelde 0,2 – 1 C aralığında çalışmaktadırlar.

Aynı çalışmada pozitif elektrot kullanılan akülerde şarj prosesi ve deşarj prosesi arasında ısı mekanizmada farklılıklar görüldüğü belirtilmiştir. Buna göre bu tipte çalışan akülerde ısı değişim, reaksiyon gereği şarj anında endotermik, deşarj anında ise egzotermik olarak gerçekleşmektedir.

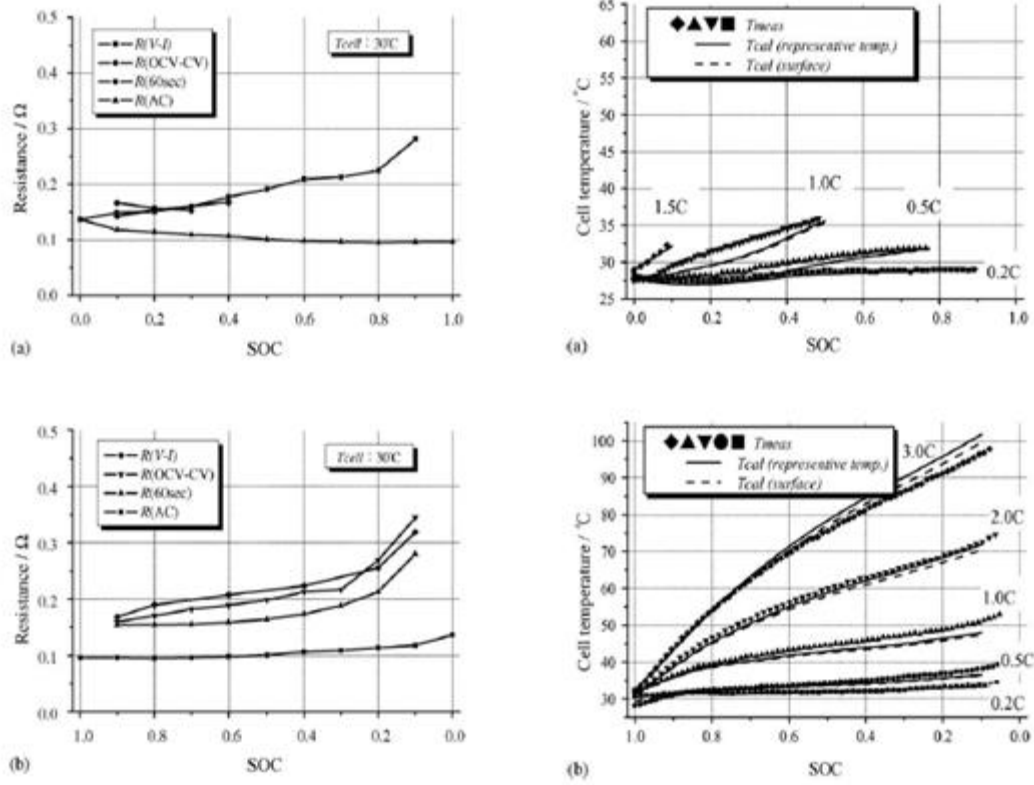


Şekil 1. 8 Reaksiyon ısısının Deşarj ve Şarj Prosesindeki Davranışı [10]

Onda ve Ohshima [11], SOC (State of Charge) terimi ile bataryanın o anki kapasitesinin maksimum kapasitesine oranı şeklinde tanımlanmıştır. Bir diğer deyişle, bataryanın doluluk oranını temsil eder. DOD (Depth of Discharge) ise bataryanın deşarj olmuş kapasitesinin maksimum kapasitesine oranıdır. SOC değerine alternatif olarak geliştirilmiştir. DOD değeri % 30 olan bir akünün SOC değeri %70 dir.

Çalışmalarında bu oransal değerın çalışma sistemlerini nasıl etkilediğini anlatan deneysel ve matematiksel çalışmalar yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar SOC

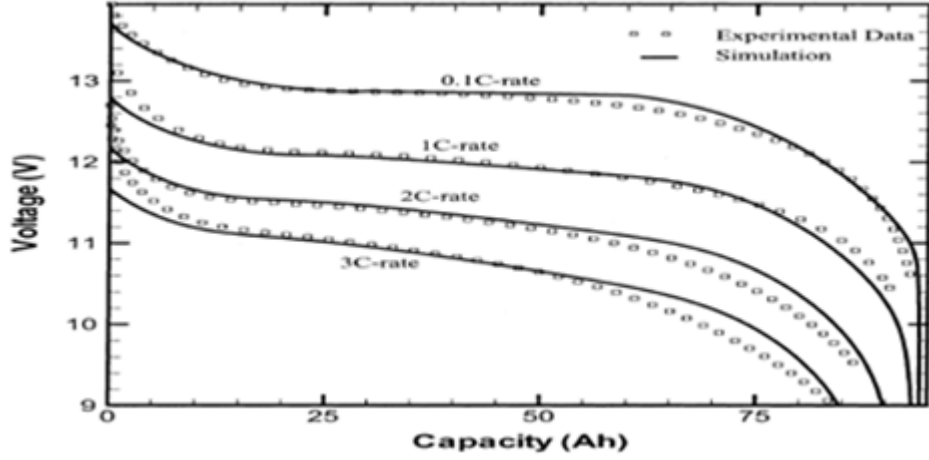
miktarının artışı yani deşarj sisteminde hücre iç direncinin artış gösterdiği, bu oranın azalışı yani deşarj anında ise iç dirençlerde belirgin bir azalma olduğu belirtilmiştir. Ayrıca bu oransal değere bağlı olarak, deşarj anında açığa çıkan ısı ile sıcaklık değişimi miktarının şarj prosesine göre daha yüksek miktarlarda olduğunu deneysel ve matematiksel verilerle açıklanmıştır.



Şekil 1. 9 SOC Değerine Bağlı Olarak Sıcaklık ve İç Direnç Değişimleri [11]

Wang ve Srinivasan [12], farklı batarya sistemleri üzerinde termal yönetimler arası bağıntıları kurmaya çalışmışlardır. Farklı ölçeklerde ve farklı elektriksel bağlantı şekilleri ile çalışmalar yürüten ekibin elde ettikleri sonuçlar, C-rate olarak tanımlanan ve deşarj oranı olarak literatürümüze giren unsurun hücre çalışma sistemine doğrudan etkileyen bir özellik olduğu, bu özelliğin ise elektriksel bağlantıların seri ve paralel yapısına bağlı olarak ortaya çıktığını ortaya koymuştur. Metal hidrür aküler ile lityum iyon akülerin, bu oranın değişimi karşısında benzer ısıl hareketler sergilediğini belirtmişlerdir. Esas olarak, düşen deşarj oranına bağlı olarak hücre potansiyelinin azaldığını, genel olarak aynı akımı çekmeye çalışacak olan sistemlerin yüksek ısı açığa çıkardığını ve bir süre sonra akü ömrünün sonlandığını savunmuşlardır. Elde ettikleri

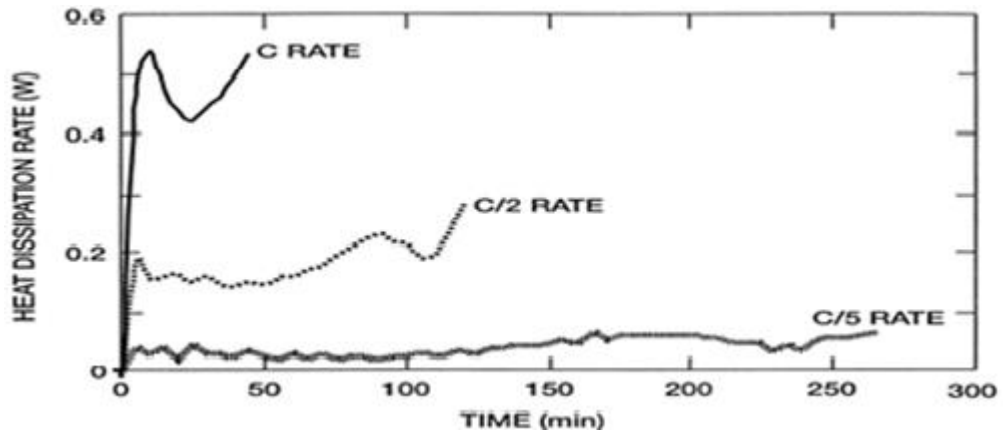
deneysel verileri simülasyondan elde edilen verilerle karşılaştırmış ve sonuçların büyük oranda benzerlik gösterdiğini çalışmalarında belirtmişlerdir.



Şekil 1. 10 Deşarj Oranlarına Göre Potansiyel - Akım Değişimleri [12]

Vaidyanathan vd. [13], Wang ve Srinivasan [12] tarafından yapılan çalışmayı destekler nitelikte olmuştur. Değişen iyon oranları ile lityum piller üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda, deşarj oranının artması ile akülerin çalışma sırasınra açığa çıkardıkları ısı miktarının artış gösterdiği belirtilmiştir. Farklı olarak, deşarj oranına yalnızca elektriksel bağlantılar ile karar verilemeyeceği, akülerin çalışma süresi, tipi, boyutları ve dinlenme sürelerinin de bu oranın belirlenmesi sırasında etkin faktörler olacağı savunulmuştur.

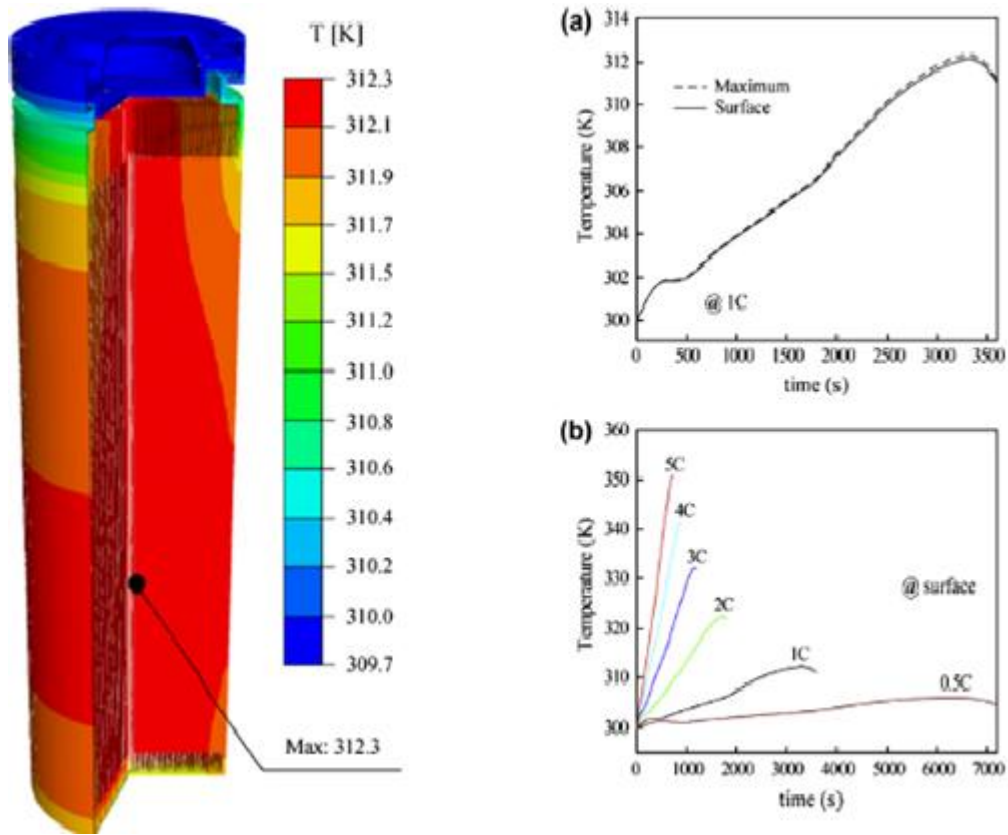
Buna göre deşarj oranı yüksek sistemlerde açığa çıkan ısı miktarının daha yüksek olmasının yanı sıra, bu ısının toplamda açığa çıkma süresinin daha kısa olduğu öne sürülebilir. Isıl piklerin akü ömrüne olumsuz yönde etki yaptığını vurgulayan çalışma, deşarj oranının dikkatli bir optimizasyon sonucu seçilmesi gerektiğini vurgulamıştır.



Şekil 1. 11 Deşarj Oranlarına Göre Açığa Çıkan Isı Değişimleri [13]

Jeon ve Baek [14], deşarj prosesi sırasında silindirik akülerin termal hareketlerini incelemişlerdir. FEA (Finite Element Analysis) yöntemi ile analizlerini gerçekleştiren ekip, zorlamalı konveksiyon sistemler ile akülerin soğutulmasının bir seçenek oluşturabileceğini ancak bu sistemle yapılacak termal yönetimin batarya içinde üniform olmayan bir yapı oluşmasına sebebiyet vererek batarya performansını olumsuz yönde etkileyebileceğini belirtmiştir.

Sistemlerin düşük deşarj oranlarına bağlı olarak kurulmasının üniform yapıda termal koşulların oluşturulabilmesi ve sistem performansının yukarıya çekilmesinde tercih edilmesi gereken bir yöntem olduğunu savunmuşlardır.



Şekil 1. 12 FEA Yöntemi ile Yapılan Analize Göre Akü İç Sıcaklık Değişimleri [14]

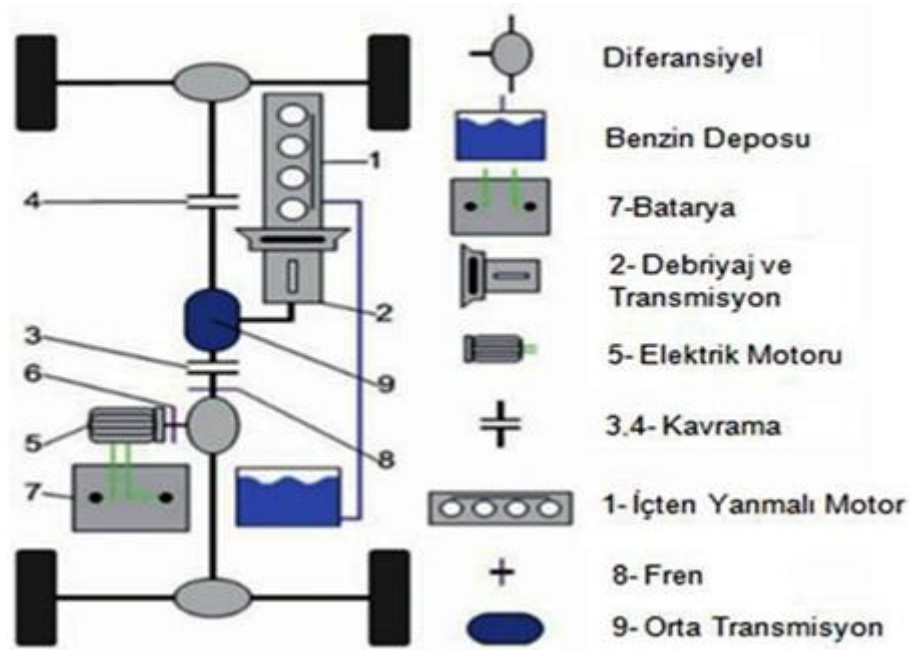
1.2 Tezin Amacı

Hibrit elektrikli araçlar (HEA), birden fazla güç kaynağı kullanılan ve bu güç kaynaklarının çeşitli kullanım versiyonları ile tasarlanan araç tipleridir. Hibrit araçlar genel olarak seri hibrit, paralel hibrit ve seri / paralel hibrit araçlar olmak üzere üç ana

başlık altında toplanmaktadırlar. Hibrit araçlar arasındaki genel fark taşıtın hareketi için gerekli olan gücün elektrik motoru tarafından hangi ölçüde karşılandığı ile ilgilidir.

Hibrit elektrikli araçlar için enerji dönüşüm sistemi; enerji depolama sistemi, güç ünitesi ve taşıtı itici sistemlerini içermektedir. Enerji depolama konusundaki başlıca elemanlar ise bataryalar, süper kapasitörler ve volanlar olarak sıralanabilir.

Hibrit elektrikli araçlarda güç ünitesi olarak otto motorlar, dizel motorlar, gaz türbinleri ve yakıt pilleri yaygın olarak kullanılmaktadır. İtici kuvvet ise seri hibrit modelindeki gibi elektrik motoruyla, yahut paralel hibrit modelindeki gibi elektrik motoruna ilave olarak içten yanmalı motordan karşılanabilmektedir [15].



Şekil 1. 13 Hibrit Elektrikli Araçların İç Yapısı

Hibrit elektrikli araçların tasarımları gereği sağladıkları avantajları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- Kullanılan içten yanmalı motorlar küçük boyutlu olduğundan motor ağırlığı azalır,
- Yakıt veriminde artış ve gaz emisyonlarında büyük oranda azalma görülür,
- Alternatif yakıtların kullanılabilirliği nedeniyle fosil yakıtlara bağımlılık azalır,
- Motor gürültü düzeyi en alt seviyeye indirilerek ses kirliliğinin önüne geçilmiş olur,

- Geliştirilen rejeneratif frenleme tekniği ile enerji kaybı en aza indirilir.

Elektrokimyasal akümülatörler veya elektrokimyasal piller, işletilen sistemin enerji ihtiyacını sağlamak amacıyla tasarlanan, seri ve paralel halde bağlı çalışan ve çeşitli alışımlarla oluşturulabilen enerji depolama sistemleridir. Tez çalışması kapsamında termal yönetimi analize tabi tutulacak elektrokimyasal akümülatörler lityum iyon piller olarak adlandırılan, deşarj olduktan sonra tekrar şarj edilebilme özellikleri nedeniyle ikincil piller olarak adlandırılan tasarımlardır. Bu piller yüksek enerji yoğunluğuna sahip, güvenli, uzun ömürlü, bakımı kolay, kısa sürede şarj edilebilen ve çevreye zarar vermeyen enerji kaynaklarıdır.

Lityum İyon pillerde, hücreler diğer pil sistemlerinde olduğu gibi enerjiyi üretmek ve depolamaktan birincil derece sorumlu üç ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlar anot, katot ve elektrolit olarak sıralanabilir. Anot malzeme negatif elektrot, katot ise pozitif elektrot olarak görev alır. Pozitif elektrotlar genelde tünel veya tabakalı yapılara sahip metal oksitlerden (LiMOx) oluşurlar. Negatif elektrot malzemeler de tabakalı yapılara sahiplerdir. Bu yapılar sayesinde hücrenin şarjı ve deşarjı esnasında Li iyonları pozitif ve negatif elektrotları arasında karşılıklı olarak yer değiştirebilmektedir. Bu olay yer değiştirme reaksiyonu olarak tanımlanır. Reaksiyonda aktif malzemeler anot ve katot olup lityum için ev sahipliği görevini görürler, lityum ise misafir olarak bir elektrottan diğerine yer değiştirir.

Hücrede bu reaksiyonların oluşması için elektrot malzemelerinin elektrik iletkenliği sağlanmalıdır. Bu amaçla, elektrot malzemeleri yüksek iletken metal folyolar üzerine lamine edilir veya folyo üzerine biriktirilir. Folyoların üzerindeki elektrotlar arasında gerçekleşmesi muhtemel kısa devreyi önlemek için mikro gözenekli seperatörler ve iletkenliği sağlamak için sıvı / jel / katı elektrolitler kullanılarak hücre içerisinde lityum iyonlarının yer değiştirmesi sağlanır [16].

Tez çalışması kapsamında termal yönetimi izlenecek olan piller Panasonic marka, NCR18650 model, 3,6 V voltaja sahip, 65,3 mm boyunda ve 18,5 mm çapında olan, yüksek enerji yoğunluklu, uzun ömürlü ve bir çok elektronik cihaza uyumlu lityum iyon pillerdir. Kompakt olmaları, çalışma sıcaklık aralığının optimizasyona uygunluğu ve tedarik noktasında kolaylık sahibi olması bu pillerin tercih edilmesinde rol oynayan başlıca sebepler olarak gösterilebilir.



Şekil 1. 14 NCR18650 Model Lityum İyon Pil

Hibrit elektrikli araçlarda bulunan akümülatör sistemlerinin termal yönetiminin araç performansına birçok noktarda etkilemesi, konunun araç tasarımlarında oldukça önemli bir yere sahip olmasına neden olmuştur. Akümülatörlerin şarj ve deşarj anlarında ortaya çıkan ısıнын regülasyonu, termal yönetimlerin özünü oluşturmaktadır.

Yapılan çalışmalarda, işletim sırasında ortaya çıkan ısıнын, bataryanın ulaşabileceği maksimum gücü olumsuz yönde etkilemesi, depolanan enerjinin etkin kullanımının önüne geçmesi, bataryanın şarj edilebilme yeteneğine ve geri dönüşümlü enerji sistemlerinin kullanımına eksi yönde etki yapması ve pil ömründe kısaltmaya neden olması gibi gerekçelere bağlı olarak sistemin genel verimini düşürdüğü belirlenmiştir [16].

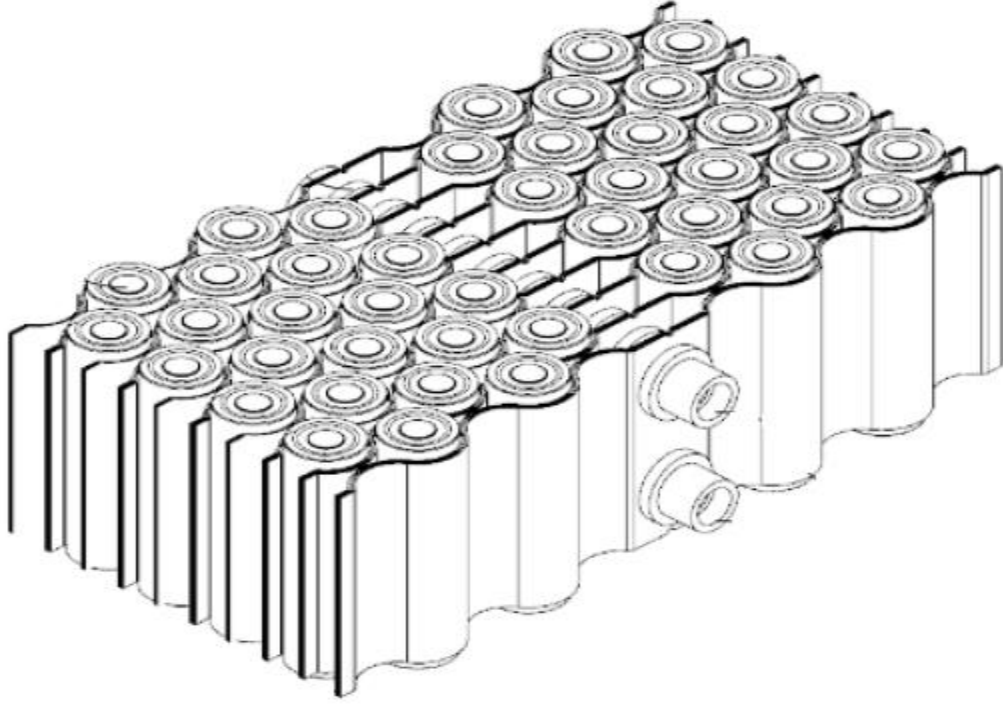
Çalışmalarda buna ek olarak, aşırı atmosferik koşulların neden olduğu düşük sıcaklık ortamında elektrokimyasal akümülatörlerin iç yapısında bozunmalar, reaksiyon hızlarının azalması ve genel verimlilikte düşüş olduğu da saptanmıştır. Dolayısıyla bahsi geçen akülerin belirli bir çalışma sıcaklığı aralığında tutulması gerektiği tespit edilmiştir.

Sistemlerin termal yönetiminde akülerin ısıl dengesini sağlamak üzere tasarlanan çeşitli ısı değıştiriciler teoride ve uygulamada kendilerine yer bulmuştur. Tezin konusunu oluşturan ve Altınay Robot Teknolojileri A.Ş. nin patentli ürünü olan elektrokimyasal akümülatörler için geliştirilmiş ısı eşanjörü modülü, birçok akü hücrelerini barındırmak ve onların ısıl dengesini sağlamak üzere tasarlanmıştır.

Tez çalışması kapsamında, ürünün özünü oluşturan ve dalgalı forma sahip laminasyon gruplarının, akülerin işletmeye alındığı durumda sergileyeceği termal davranışlar göz önüne alınarak zamana bağlı veriler üzerinden hareketle dinamik analiz sonuçlarıyla

örölü simölasyon yazılımları oluşturulacak, bu çalışma dataları üzerinden sistem kurulumlarının temel parametreleri belirlenmeye çalışılacaktır.

1.3 Hipotez



şekil 1. 15 Elektrokimyasal Akümülatörler İçin Geliştirilmiş Patentli Isı Eşanjörü Modülü [3]

Bir çok aküyü bir arada bulundurmak için tasarlanan bu ısı eşanjörü, bir akış girişini, bir akış çıkışını ve bu akış hacmindeki sıvı ile iletişim halinde olan laminasyon guruplarından oluşmaktadır. Yapılan çalışmalarda eşanjör performansının, gövdesini oluşturan laminasyon guruplarında bulunan merkezi plakanın geometrisine bağlı olarak gösterdiği farklılıklar incelenmiştir. Isı transferi sıvısının dolaşım kanallarını oluşturan merkezi plaka tasarımı, transfer mekanizmasının işlevselliği ve verimliliği konusunda belirleyici unsur olduğu n grlmştir.

Tasarımın temelini oluşturan ve laminasyon guruplarının sahip olduğu dalgalı form, bir çok aküyü bir arada bulundurabilmesi ve ısı transfer yüzey alanını malzeme dayanım sınırlarının izin verdiği lde artırılması hedefiyle dizayn edilmiştir.

Buna ek olarak, koşulları standartlarca belirlenmiş çevrimlere dahil olduğu durumlarda bu batarya grubunun ve gruba monte halde olan akülerin performansının incelenmesi adına dinamik simölasyonlar geliştirilmesi öngörölmektedir.

Geliştirilen bu simölasyon ve koşturulması sonucu elde edilecek veriler üzerinden araç içi dizayn koşullarının, değişen parametrelere bağlı olarak akü performansı değişimlerinin, sistem kurulumları ile ilgili yatırım maliyetleri oranlarının ve geliştirilen modöle bağlı ısı transferi mekanizmasının akülerin termal yönetimindeki rolünün tespit edileceği düşünölmektedir. Elde edilen sonuçlar üzerinden yapılacak sistem kurulumları ile araç sürüş performansı ve akü termal yönetimleri sonucu elektrokimyasal verimlilikte maksimizasyon sağlanacağı ortaya konulmaktadır.

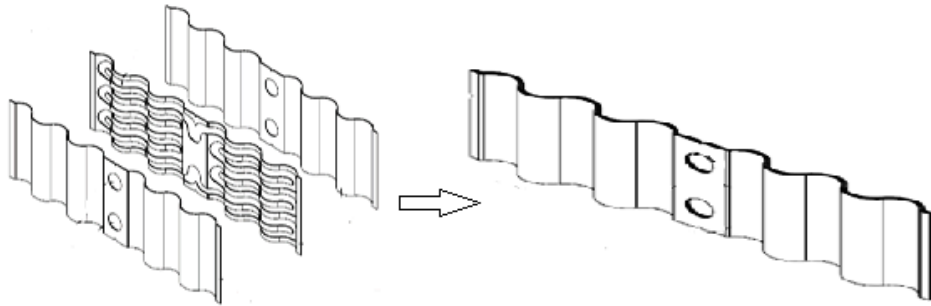
BÖLÜM 2

ISI EŞANJÖRÜ MODÜLÜ TASARIMI

Altınay Robot Teknolojileri A.Ş. tarafından hibrit elektrikli araçlar ve elektrikli araçlarda kullanılması ön görülerek tasarlanmış olan, elektrokimyasal akümülatörler için geliştirilen ısı eşanjörü modülü adı altında projesi yürütülen model, tez çalışmasının özünü oluşturmaktadır.

Tasarım, bir çok elektrokümyasal aküyü barındırmak ve onların ısınısını değiştirmek için bir ısı eşanjörü modülü oluşturmak olarak açıklanmaktadır. Isı eşanjörü modülü, bir akış girişini, bir akış çıkışını ve akış giriş - çıkışı ile sıvı iletişimi içindeki en az iki laminasyon grubunu içerir. Tasarıma göre laminasyon grubu bir birinci plakayı, bir ikinci plakayı ve birinci ile ikinci plaka arasına yerleştirildiğinde akış kanallarını oluşturan kesiklere sahip bir merkezi plakayı içerir.

Tercih edilen bir tasarım yapılandırmasına göre ise laminasyon grubunu oluşturan plakalar, sabit bir hacimde mümkün olduğunca çok aküyü barındırmak ve ısı transfer yüzey alanını artırmak amacıyla dalgalı bir enine kesite sahip olacak şekilde ondulelidirler.



Şekil 2. 1 Plakalar ve Plakaların Oluşturduğu Laminasyon Grubu

2.1 Tasarımın Teknik Alanı ve Amaçları

Tasarım geliştirilmesindeki esas amaç , barındıracağı çok sayıda enerji akümülatörlerinin çalışmaları sırasında daha iyi bir performans göstermelerini sağlamak için ısıl değişimleri regüle etmektir. Elektrokimyasal akümülatörlerin pek çoğu, genellikle bir batarya grubu ile işletilen aygıtın, özellikle de batarya grubu ile işletilen bir taşıtın enerji ihtiyacını sağlamak amacıyla yine çoğu kez nikel metal hidrür aküler veya iyon akülerini içerir. Tez konusu kapsamında yapılan çalışmalar sırasında, eşanjörün termal hareketleri, gövdesinde lityum iyon batarya barındırdığı kabul edilerek incelenmiştir.

Eşanjör tasarımını bir diğer amacı ise eşanjör konteyneri içinde düzgün izotermal koşullar oluşturmaktır. Çalışma sırasında açığa çıkan ısıнын, eşanjör paketi içinde bulunan akümülatörler arasında düzgün dağılımlı olması ve bu ısıнын sınır koşulları içinde tutulması akü performansını doğrudan etkileyen bir dizayn hedefidir.

Tasarıma ait diğer dizayn hedeflerini aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz;

- Modül içinde sıvı kaçağı riskini azaltmak için bir sıvı girişine ve bir sıvı çıkışına sahip olmak,
- Azaltılmış bir ısı değişimi sıvısı gerektiren kompakt yapıda olmak,
- Dengelenen izotermal koşullara bağlı olarak akülerin daha uzun ömürlü hizmet verebilmesini sağlamak,
- Düşük hacimli, hafif ağırlıkta olmak ve yüksek verimlilikle çalışmak.

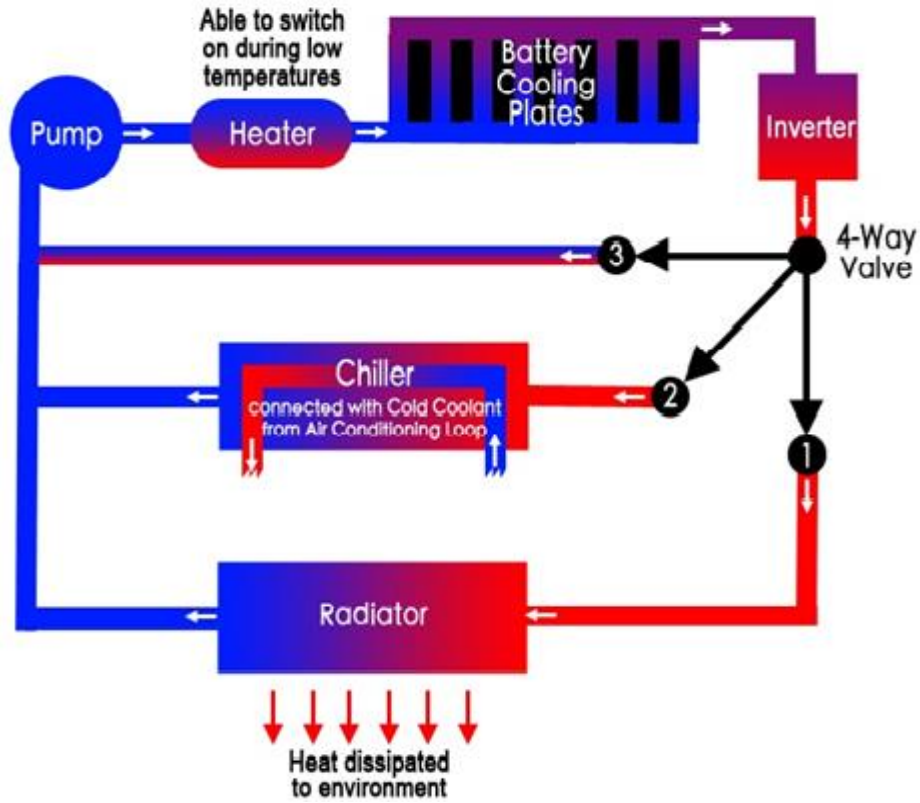
2.2 Tasarımın Çalışma Prensipleri

Isı eşanjörü modülü, laminasyon grupları arasında soğutma sıvısını dolaştırmak için bir akış girişine ve bir akış çıkışına sahiptir. Isı değişimi sıvısı su veya uygun ısı değişimi özelliklerine sahip herhangi bir sıvı olabilir. Isı değişimi sıvısının, batarya konteyneri ile şarj edilen aygıtın kullanımı için tasarlandığı yerdeki atmosferik koşullara bağlı olarak yeterli şekilde düşük bir donma noktasına ve yüksek buharlaşma noktasına sahip olması tercih edilir.

Tipik olarak, ısı değişimi sıvısı bir pompa aracılığıyla ısı eşanjörü modülüne tedarik edilir ve modül içinde dolaşan sıvının ısıtma veya soğutma koşullarına bağlı olarak bir

çevrim içinde şartlandırılması sağlanır. Tez çalışması kapsamında soğutma sıvısının su olduğu kabul edilmiştir.

Çeşitli çevrimlerde çalışmak üzere tasarım parametreleri belirlenen ısı eşanjörü, bulunduğu çevrimlerde ısı dengeyi koruma, soğutma veya ısıtma görevi görebilmektedir.



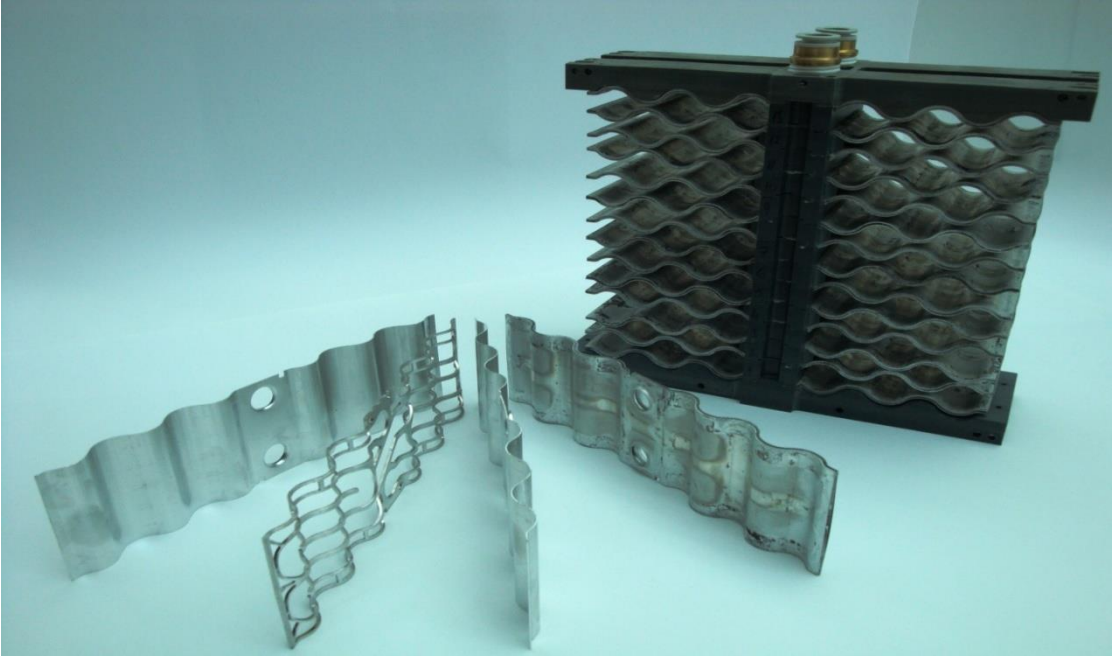
Şekil 2. 2 Isı Eşanjörünün Çalışabileceği Çevrimler

Yer alabileceği çevrimler Şekil 2.2 de şematize edilen ısı eşanjörünün atmosfer koşullarına ve barındırdığı akülerin çalışma sırasında oluşturacakları termal koşullara bağlı olarak kullanım şekilleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Çalışma sırasında açığa çıkan ısının düşürülmesi için düşük sıcaklıklarda atmosferik koşullara sahip kullanım alanlarında, radyatör aracılığıyla soğutulan bir ısı değişimi sıvısı ile akülerden ısı çekilerek izotermal denge sağlanabilir (1 numaralı güzergah),
- Çalışma sırasında açığa çıkan ısı ile oluşan sıcaklığın, kullanım alanına ait atmosfer sıcaklığının altında kaldığı durumlarda, kompakt bir chiller ile soğutulan bir ısı değişimi sıvısı ile akülerden ısı çekilerek izotermal denge sağlanabilir (2 numaralı güzergah),

- Çalışan akülerin açığa çıkarttığı ısı miktarı birbiri ile dengeli olmayan ancak kendi aralarında yapılacak bir ısı geçişi ile termal dengeyi yakalayabilen sistemlerde, bir pompa aracılığı ile ısı değişimi sıvısı batarya içinde dolaştırılır ve aküler arası ısı geçişi ile izotermal denge sağlanabilir (3 numaralı güzergah),
- Çalışma alanına ait atmosferik sıcaklık koşulları, akülerin en düşük çalışma sıcaklığının altında olduğu durumlarda, bir heater aracılığı ile ısı değişimi sıvısına ısı verilerek, akülerin çalışma sıcaklık aralığına ulaşması sağlanabilir (ısıtma devresi).

Isı eşanjörü modülünü oluşturan laminasyon grupları üç plakanın birleşimi ile meydana gelmektedir. Merkezi plaka, içinden ısı değişimi sıvısının aktığı kanallara sahip olması gerçeği dışında birinci ve ikinci plakalar ile benzer geometrik özelliklere sahiptir. Kanallar tipik olarak merkezi plakadan sac metali keserek ve çıkartarak şekillendirilir, öyle ki merkezi plaka diğer plakalar arasına yerleştirildiğinde kesilip çıkarılan kısımlar kanalları doğal olarak oluşturur.



Şekil 2. 3 Birinci ve İkinci Plakalar, Merkezi Plaka, Birleşimleri ile Oluşan Laminasyon Grubu ve Isı Eşanjörünün Örnek İmalat Görseli

Plakalar, ısı değişimi sıvısının kanallara geçiş yapması amaçlı giriş ve çıkış açıklıklarına sahiptirler. Isı değişimi sıvısı kollektörün giriş kolundan geçtikten sonra bu açıklıklardan laminasyon grubuna geçiş yaptıktan sonra, kanallarda dolaşarak ısı

transferini gerçekleştirir ve laminasyon grubunu terk eder. Laminasyon grubunu terk eden sıvı kollektöre bağlı dönüş kolu ile eşanjörden çıkış yapar.



Şekil 2. 4 Isı Eşanjörünün Yan ve Üst Parçaları İle Örnek İmalat Görseli

Isı eşanjörünü oluşturan laminasyon grupları, ısı değişimi sıvısında kaçak olmasını önlemek amacıyla, kollektöre mükemmel şekilde contalanırlar. Laminasyon grupları arası sızdırmazlığı geliştirmek için iki laminasyon yığını arasına mesafe parçaları kullanılmıştır. Bu mesafe parçaları, laminasyon grubu ile sıkı oturmaya sahip olacak şekilde imal edilmişlerdir. Örnek imalatlarda kollektör ve mesafe parçaları özel alaşımlı PVC malzemeden imal edilmiş ve birbirleriyle özel yapıştırıcılar ile birleştirilmişlerdir.

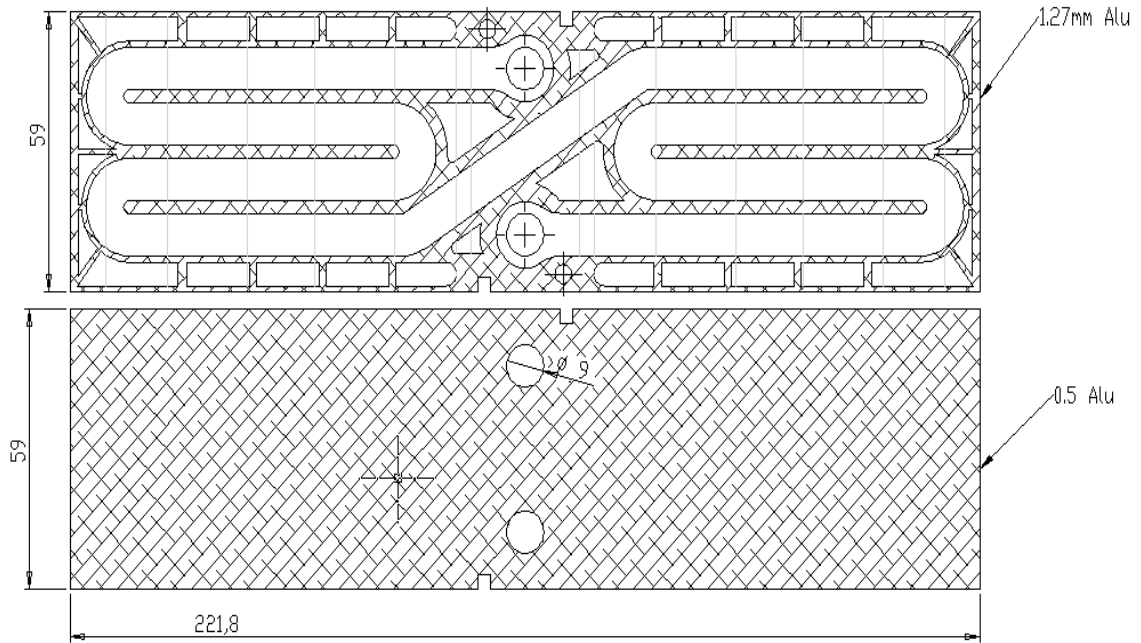
Laminasyon grubunu oluşturan plakalar yapıştırma ile bağlama, perçinleme, lehimleme, kaynaklama, TIG, MIG, MAG veya fırın kaynaklaması gibi yöntemlerle sızdırmaz bir şekilde birleştirilebilirler. Örnek imalatlarda bu plakalar fırın kaynaklaması tekniği ile birleştirilmişlerdir.

Plakalar, yüksek ısı transfer katsayısı, düşük ağırlık ve çok iyi anti korozyon özellikleri nedeniyle alüminyum veya alüminyum alaşımlı malzemelerden üretilmişlerdir [3].

Laminasyon gruplarının en önemli parçası, ısı değiştirme sıvısına yön veren, soğutma sıvısının toplam hacmini ve hızını belirleyen faktörleri tasarım özellikleri üzerinde toplayan merkezi plakalardır.

2.3 Standart Model

Altınay Robot Teknolojileri A.ř. tarafından geliştirilen ve temel model olarak adlandırılan merkezi plaka modelidir. Bu modelde soğutma sıvısı, giriş kollektöründen dağıtım ile merkezi plaka ile sabit plaka üzerinde eř eksenli olarak bulunan bir adet açıklıktan giriş yapmakta, laminasyon grubu içinde dolaşımını ve ısı transferi işlemini tamamladıktan sonra diğer açıklıktan çıkış yaparak çıkış kollektörüne bağlanmaktadır.

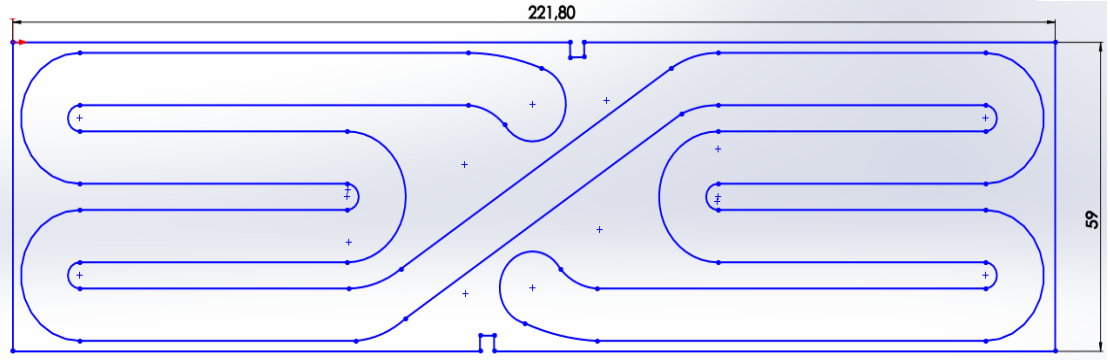


şekil 2. 5 Standart Model Merkezi Plaka ve Sabit Plakası [3]

İki boyutlu ilk tasarımdan yola çıkılarak, SOLIDWORKS programı aracılığıyla plakaların katı modelleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Programda tasarlanan merkezi ve sabit plakalar, yine aynı programda oluşturulan montaj klasörlerinde hem eř merkezlilik hem de çakışıklık ilişkileri ile ilişkilendirilerek bir laminasyon grubunun katı modellemesi tamamlanmıştır.

Gerek sabit plakaların, gerekse de merkezi plakaların tasarımlarında şten görünüş tasarımın öngörüsüne sadık kalınarak sabit tutulmuştur. Sabit ve merkezi plakaların sahip olduğu dalgalı yapıyı temsil eden bu görünüm ve ölçüler katı modellemelerin

Standart modelde şartlandırma sıvısının dolaşım yaptığı akış kanalları bu yeni modelde plakanın uzun kenarlarına yaklaştırılmıştır. Kanalların kenara yaklaştırılması ile birlikte, standart modelde plaka ağırlığını azaltmak için kesilerek çıkartılan malzeme boşlukları ortadan kalkmıştır. Sıvının modüle giriş - çıkış açıklıkları ile ilgili ölçüler ve akış kanallarının genişliği değiştirilmemiştir. Tek bir noktadan giriş yapan sıvı, tek bir çizgisel güzergah izleyerek laminasyon grubunu terk etmektedir.

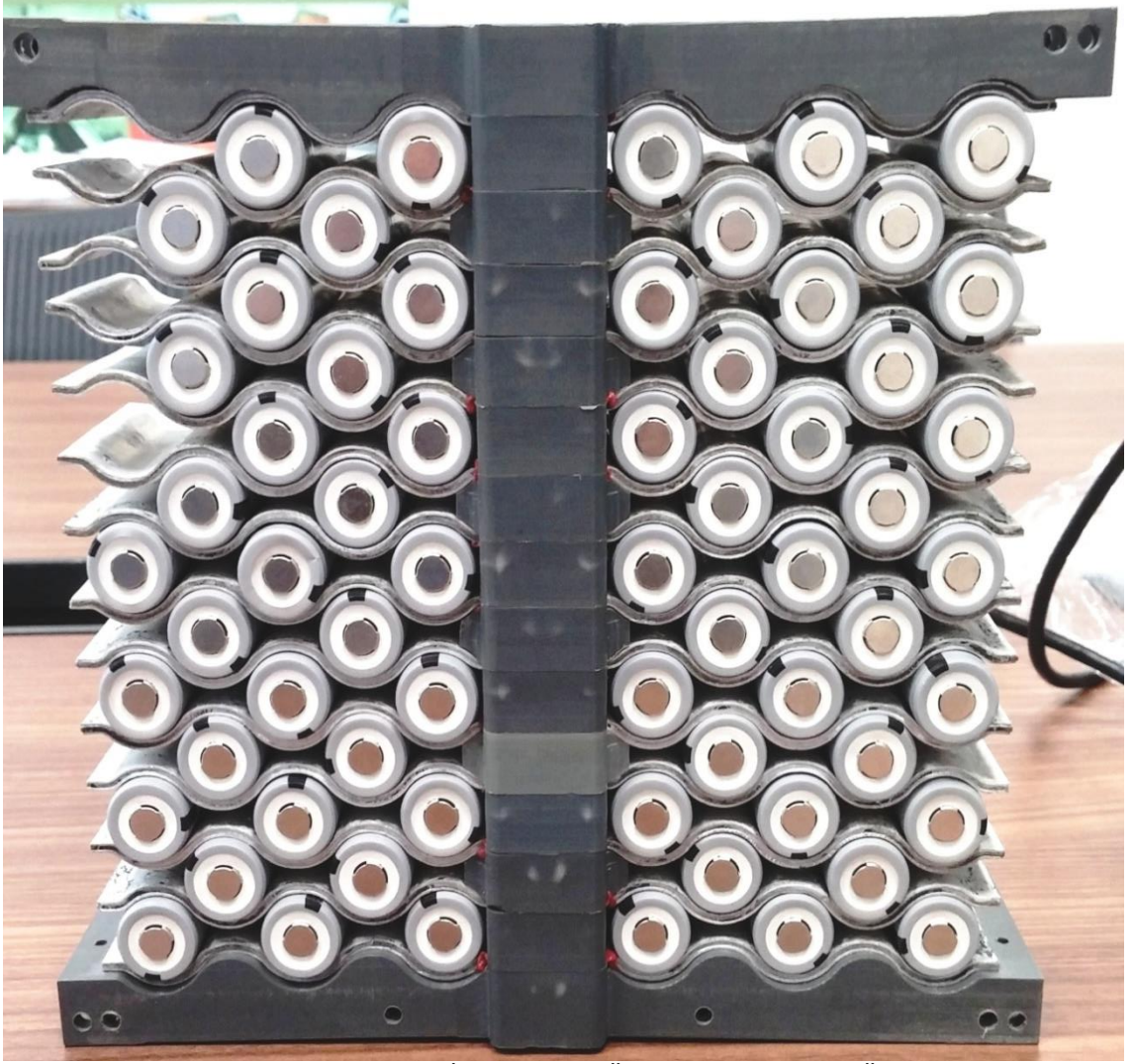


Şekil 2. 7 Tek Akış Kanallı Yeni Model Merkezi Plaka

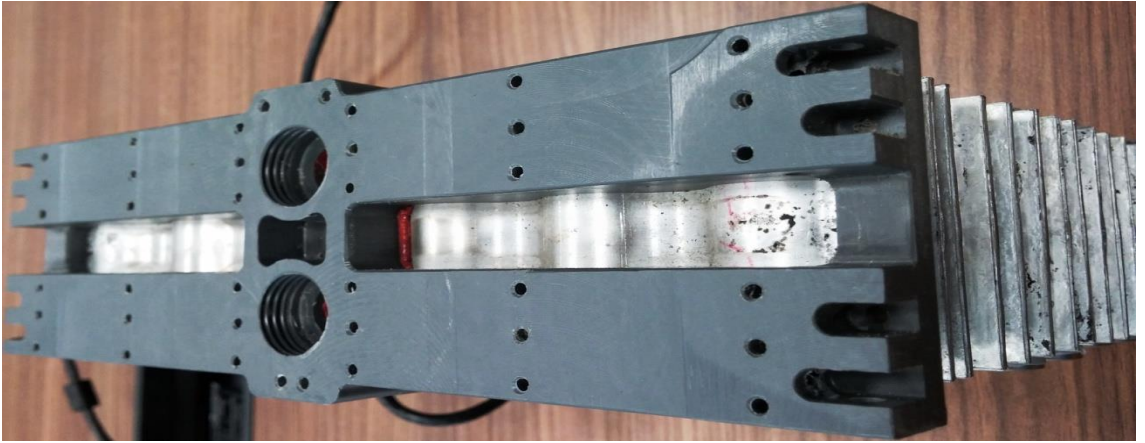
Daha önce de belirtildiği üzere, plakanın üstten görünüşü standart model plaka ile aynı ölçülerde ve biçimdedir. Mekanik özellikleri açısından standart plakadan tek farkı, sabit plakalarla birleşerek oluşturduğu laminasyon grubunun ağırlığıdır. Bu modelin montaj halindeki laminasyon grubu ağırlığı 69,4 gramdır.

Tasarımın ilk örneği, Altınay Robot Teknolojileri A.Ş. tarafından geliştirilen standart model plaka ile oluşturulan ve bir kollektör sistemi ile çalışır hale getirilmesi planlanan eşanjörün üretimiyle ortaya çıkarılmıştır.

Standart model merkezi plaka, sabit plakalarla alüminyum fırınlama yöntemi ile birleştirilmiştir. Sonrasında ise siyah PVC malzemedен mamül gidiş - dönüş kollektörüne daha önce belirtilen çevrilerek montaj prensibine bağlı kalınarak monte edilmiştir. Son olarak numune olarak ithal edilen Panasonic marka NCR 18650 model akümülatörler eşanjörde oluşan yuvalara oturtulmuştur. Oluşturulan bu prototip, 14 adet laminasyon grubu ve 66 adet akümülatör barındıracak ve bu akümülatörler çalışır haldeyken açığa çıkardıkları ısıyı sönümleyecek şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 2.8 Standart Model Plaka ile İmal Edilen Örnek Eşanjöre Ait Önden Görünüş



Şekil 2.9 Standart Model Plaka ile İmal Edilen Örnek Eşanjöre Ait Üstten Görünüş



Şekil 2.10 Standart Model Plaka Tasarımı ile İmal Edilen Laminasyon Grubuna Ait Çeşitli Görseller

Çizelge 2. 2 Standart Model Laminasyon Grupları ile İmal Edilen Örnek Eşanjör Özellikleri

Standart Model Plaka ile İmal Edilen Örnek Eşanjör	
Eşanjöre Ait Genişlik	272,2 mm
Eşanjöre Ait Yükseklik	346,4 mm
Eşanjöre Ait Derinlik	99 mm
Laminasyon Grupları Malzemesi	Alüminyum
Kollektör Malzemesi	Siyah PVC
Eşanjör Toplam Ağırlığı	4483,8 gr.
Araç İçi Yerleşim Alanları	Araç Altı, Şaft Tüneli , Yakıt Deposuna Yakın Alanlar, Bagajın Yere Yakın Kısımları
Kullanılan Soğutma Sıvısı	Su (Antifriz Katkısı için Glikol İlave Edilebilir)

SÜRÜŞ ÇEVİRİMLERİ VE TERMAL YÖNETİM YORUMLARI

3.1 Artemis Şehir İçi Sürüş Çevrimi Simülasyonel Analizler

Tez konusu kapsamında yapılacak analizler öncesi, ısı eşanjörünün çalışması sırasında bulunacağı sınır koşullarını belirleme, sistemin devrede olduğu ve devre dışı kalacağı koşulları ve süreleri tespit etmek adına çeşitli simülasyon programları geliştirilmiştir. Bu programlar tekil olarak kullanılabildiği gibi, elde edilen verilerin aktarımıyla birlikte, birbirileri ile uyumlu olarak da sonuç verebilmektedirler.

3.1.1 Alt Simülasyon Programları

Çalışmalarda, elektrokimyasal akümülatörler için geliştirilen ısı eşanjörünün termal analizlerini yaparken kullanılan temel parametre, akümülatörlerin çalışma sırasında ortaya koyduğu termal davranıştır.

Konvansiyonel araç sistemleri seçilimine bağlı olarak, taşıt veri dosyası, içten yanmalı motor veri dosyası, egzoz sistemi veri dosyası ve ek donanımlar veri dosyası gibi çeşitli alt sistemlere bir arada çalışacağı bir gövde yazılım sayesinde çeşitli veriler elde edilebilmektedir.

Programlar kullanılırken, advisor veri tabanında bulunan çevrimlerden biri seçilebileceği gibi, kullanıcı tarafından da sürüş çevrimi tanımlanabilmektedir. Aynı araç birden çok simülasyon programına sokularak çeşitli sonuçlar elde edilebilmekte ve bu sonuçlar karşılaştırılabilmektedir [18].

Simülasyon sonuçlarını elde etmek adına basınç, dış hava koşulları, aracın katettiği yol tipi ve eğimi, ortalama hız, maksimum hız, ivmelenme ve süre gibi parametrelerin girişi serbest olarak yapılabilmektedir.

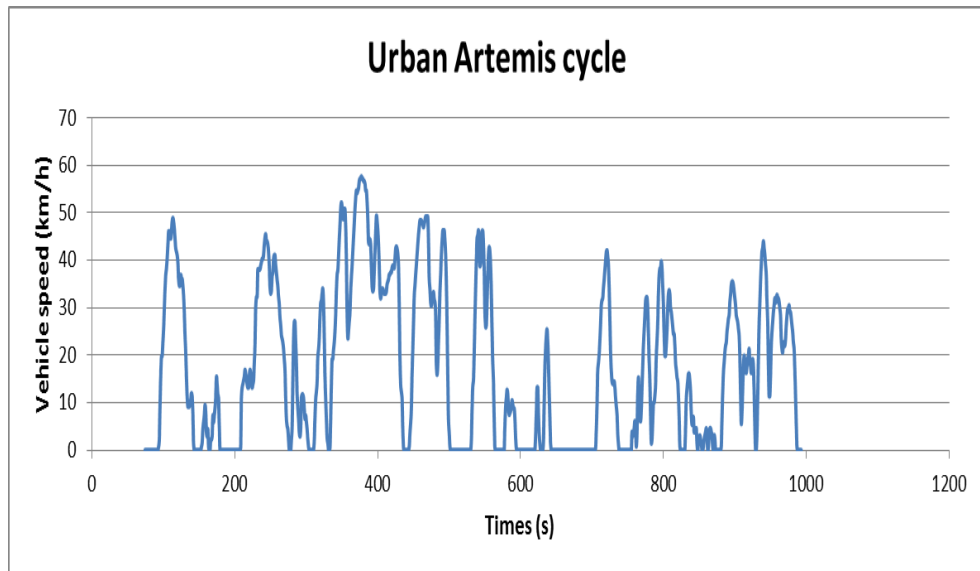
Tez konusu olan simülasyon programına veri sağlayacak alt simülasyon programı, Artemis sürüş çevrimine bağlı olarak sonuçlar vermiştir. Program için belirlenen temel parametreler, yaklaşık 1500 kg ağırlığında sedan bir araç için 700 Wh enerji sağlayacak, 2000 ile 3000 adet akümülatör tarafından enerji ihtiyacı karşılanacak bir araca ait olacak şekilde girilmiştir. Aracın ulaşacağı maksimum hız 120 km/h, dış hava sıcaklığı 25 °C olarak belirlenmiştir.

Son yıllarda Avrupa normlarına uygun olarak geliştirilen ve yoğun olarak kullanılan iki adet araç sürüş çevrimi bulunmaktadır. Bunlardan ilki NEDC (New European Driving Cycle), diğeri ise Artemis sürüş çevrimidir.

Çevre kirliliği, aracın fiziksel özellikleri, hibrit araçlara uyumluluğu ve çeşitli tiplerde düzenlenebilirliği nedeniyle Artemis çevrimleri, kullanım anlamında yoğunluktur.

Tez çalışmasında da Artemis çevrimi gözönüne alınmıştır.

Otoyol, kırsal ve şehir içi olmak üzere üç tip olarak düzenlenen Artemis çevrimlerinden Şehir İçi (Urban) çevrimine ait , aracın çalışması sırasında bataryalarda çektiği güç dataları Altınay Robot A.Ş. den güncel haliyle alınarak çalışma yapılmıştır.



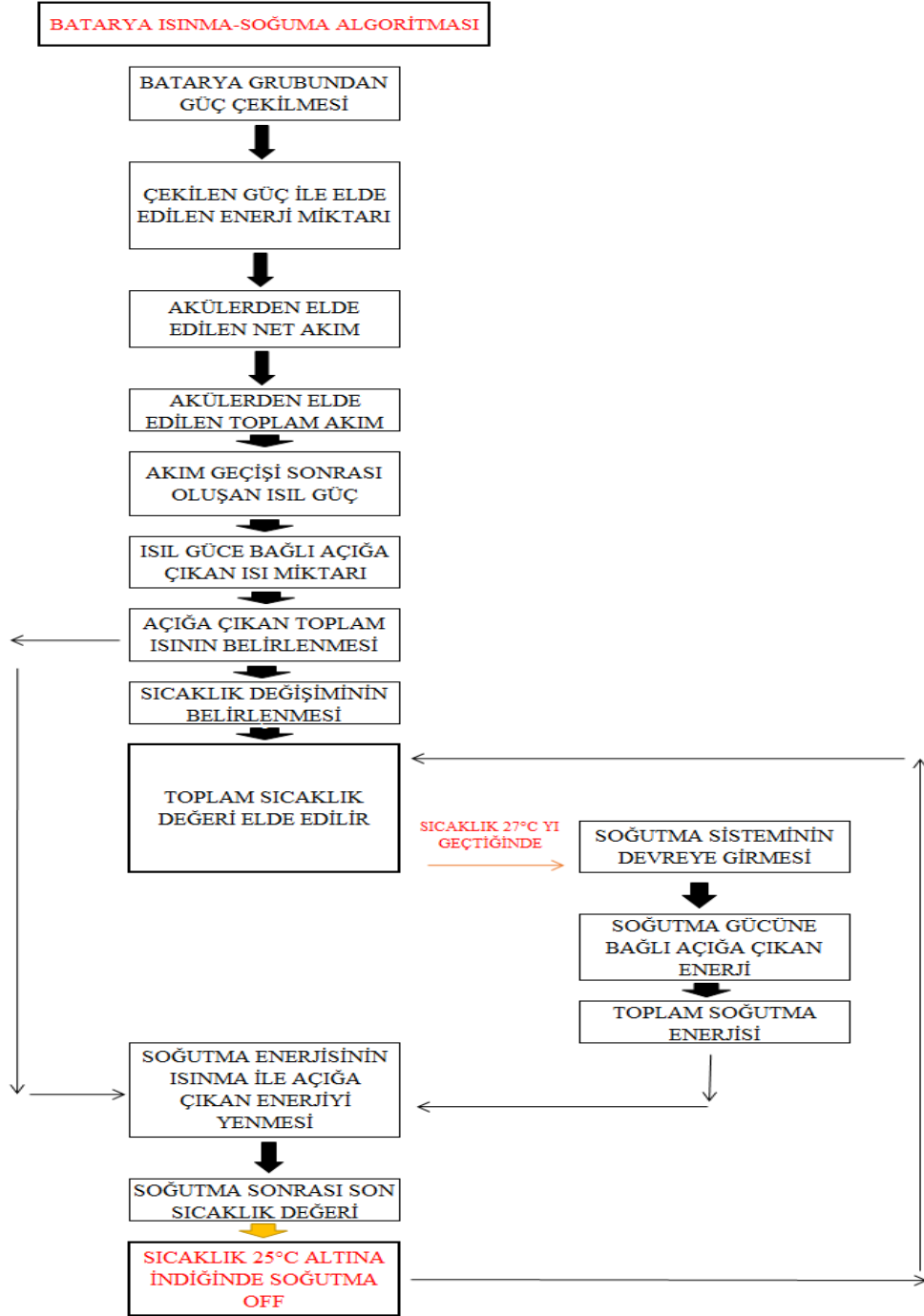
Şekil 3. 1 Artemis Şehir İçi Çevrimi Zamana Bağlı Hız Grafiği

3.1.2 Isı Çevrimine Ait Simülasyon Programı

Altınay Robot Teknolojileri A.Ş. firmasının Ar-Ge gurubu ile geliştirilen ve akümülatörlerin çalışması sırasında oluşacak ısı değişimleri gözlemlemek üzere kurgulanan simülasyon programı, hesaplamalarında kullanacağı ilk dataları (araç çalışır haldeyken akülerden çekilen güç), akülerin kullanılacağı öngörülen araca ait bir alt simülasyon programından almıştır.

Elde edilen bu güç bilgisi üzerinden akülerle elde edilen net akım değeri belirlenmiş, bu akım ile oluşan ısı güç ve enerji denklilikleri kullanılarak zamana bağlı dinamik değerler elde edilmiştir. Son olarak, açığa çıkan ısı enerjisinin aküler üzerinde ortaya koyduğu sıcaklık değişimi belirlenmiş ve soğutma prosesinin devreye girişi ile oluşan değişimler simülatif değerler olarak ortaya konulmuştur.

Sıcaklık değişimine bağlı olacak şekilde çalışan soğutma prosesi, başlangıç sıcaklığı 25 °C olan akü grubunun sıcaklığı 27 °C' yi geçiğinde devreye giren ve yine 25 °C değeri elde edildiğinde devre dışı kalacak şekilde simüle edilmiştir. Simülasyona ait algoritma verisi Şekil 3.2 de sunulmuştur.



Şekil 3. 2 Artemis Şehir İçi Çevrimine Bağlı Soğutma Simülasyon Algoritması

Simülasyon programında sütunlara dağıtılmış bilgilerin ilki olan ve hesaplamaların temelini oluşturan datalar, Artemis çevrim simülasyonundan gelen, akümülatörlerden çekilen toplam güç bilgisidir. Hesaplamaların devamında çekilen güç ile elde edilen enerji miktarı aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$Q = I^2 \cdot R \cdot T = P \cdot T \rightarrow Q_t = [(P_{pil2} + P_{pil1})/2] [(t_2 - t_1)/2]/3600 \quad (3.1)$$

Simülasyon dataları hesaplanırken veriler 0,5 saniye aralıklarla kaydedilmiştir. Formüllerde 2 indisi ile temsil edilen değerler anlık datayı temsil ederken, 1 indisi ile temsil edilenler bu datanın 0,5 saniye önceki değerini belirtecektir. Burada Q_t her 0,5 saniye sonraki akümülatörlerden çekilen toplam ısıyı, P_{pil1} ile P_{pil2} çekilen ardıl güç değerlerini, t_1 ile t_2 ise geçen ardıl zamanı temsil etmektedir. Formülün sonunda bulunan bölen ile saat - saniye dönüşümünü sağlamaktadır.

Çekilen elektrik gücü ile ortaya çıkan net ısı gücü belirlemek için öncelikle bataryanın net akım yükü (I_{net}), sonrasında ise bu değer üzerinden hesaplanan ve açığa çıkan ısı (P_{heat}) olarak tanımlanan değer hesaplanacaktır.

$$P = I^2 \cdot R = I \cdot V \rightarrow I_{net2} = (P_{pil2} \cdot 1000) / V_B \quad (3.2)$$

$$P = I^2 \cdot R \rightarrow P_{heat2} = (I_{net2})^2 \cdot R_{sis} \quad (3.3)$$

Burada V_B , bağlı pillerin oluşturduğu potansiyel, R_{sis} yine bağlı pillerin oluşturduğu toplam iç direnç değerini temsil etmektedir. Elde edilen bu ısı güç verisi, oluşturulan denklemler ve bağıntılarla, zamana bağlı olarak, ortaya çıkardıkları toplam sıcaklık farkı şeklinde nümerik bir data haline getirilmiştir. 0,5 saniye aralıklarla yapılan ölçümler ve hesaplamalar, denklemler arası aktarımlar ile kümülatif hale getirilmiştir.

$$\Delta Q_{heat} = [(P_{heat2} + P_{heat1}) / 2] [(t_2 - t_1) / 2] / 3600 \quad (3.4)$$

$$Q_{T2} = \Delta Q_{heat} + Q_{heat1} \quad (3.5)$$

$$\Delta T_{heat} = Q_{T2} / (m_{sis} \cdot c_c) \quad (3.6)$$

$$T_{T2} = \Delta T_{heat} + T_{heat1} \quad (3.7)$$

Burada Q_{heat} , ölçüm yapılan anda, akümülatörlerin yaydığı toplam ısıyı, ΔT_{heat} ise yayılan bu ısı sonucu ortaya çıkan sıcaklık değişimini temsil eder. Sıcaklık değişim değerini elde etmek için, sistemde bulunan akümülatörlerin toplam ağırlığı (m_{sis}) ve akümülatör malzemesinin özgül ısısı (c_c) dikkate alınmıştır.

Simülasyonun esas aldığı durum, 25°C dış yüzey sıcaklığı ile çalışmaya başlayan sistemin, 27 °C sıcaklığa ulaşıldığında bir soğutma sisteminin devreye sokularak, dış yüzey sıcaklıkları tekrar 25°C veya biraz altına düşene kadar soğutma yapması ve sonrasında devre dışı kalmasıdır. Yapılan değerlendirme sonrası yaklaşık 2000 W ile 5000 W gücünde bir soğutucu devreye sokularak bu işlemin yapılması ön görülmüş, simülasyonun soğutma tarafına ısınma prosesine benzer denklem dönüşümleri ile sonuçlar elde edilmiştir. Bir " transmission oil heat exchanger " yardımıyla yapılması tasarlanan bu soğutma sistemi, sıcaklığı 25°C' ye düşürene kadar devrede kalacak şekilde hesaplamalara dahil edilmiştir.

$$\Delta Q_c = [(P_{\text{cooler2}} + P_{\text{cooler1}})/2] [(t_2 - t_1)/2]/3600 \quad (3.7)$$

$$Q_{CT2} = (\Delta Q_c / \text{COP}_{\text{cooler}}) + Q_{CT1} \quad (3.8)$$

Burada P_{cooler} devreye giren soğutucunun gücünü temsil etmektedir. Simülasyonda 2000 W ile 5000 W aralığında bir seçim yapılmış ve seçilen değer sabit kabul edilmiştir. Q_c , soğutucunun çektiği ısıyı belirtmekten, bu değer daha önce hesaplanan Q_{heat} değerini yendiği durumda soğutma gerçekleşmektedir. Q_{CT} değeri, çekilen ısıнын zamana bağlı kümülatif değerini temsil eder.

$$\Delta T_{\text{cool}} = (\Delta Q_{\text{heat}} - \Delta Q_c) / (m_{\text{sis}} * c_c) \quad (3.9)$$

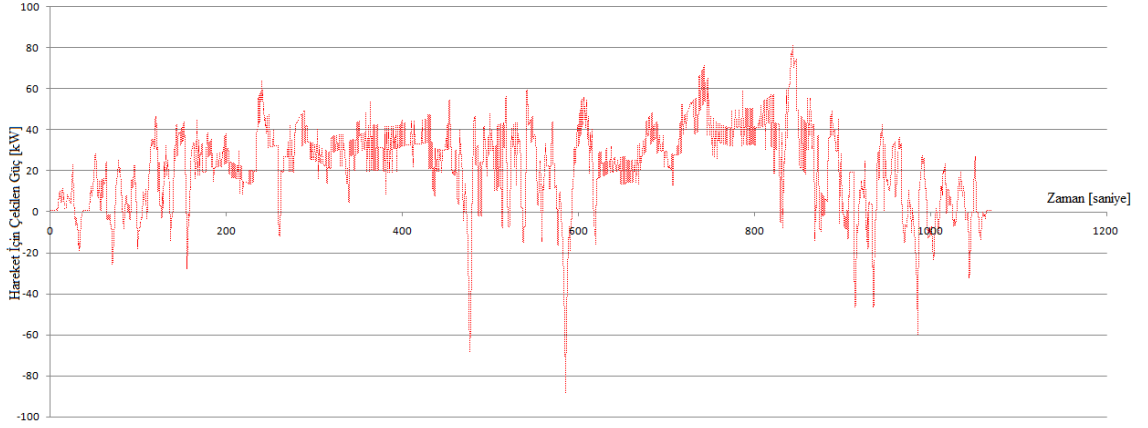
$$T_{CT2} = \Delta T_{\text{cool}} + T_{\text{cool1}} \quad (3.10)$$

Burada T_{CT2} değeri soğutma sonrası akülerin sıcaklık değerini temsil etmektedir. Buna göre, T_{CT2} değeri 25°C' nin altına düştüğünde soğutma devre dışı kalacaktır. Sıcaklık değişimi değeri negatif değer taşıyarak, kümülatif toplamalar ile değer azalma eğilimi göstermesine neden olacak ve soğutma devresi tamamlanmış olacaktır.

3.1.3 Değişen Deşarj Oranlarında Artemis Prosesi İncelemesi

Çalışma kapsamında, şehir içi çevrime bağlı olarak akülerden çekilen enerji bilgisine bağlı kalınarak, elektriksel model temelinde birbirinden farklı sistemler ile ilgili modeller ortaya konulmuştur. Bu modeller, akülerin farklı C-rate oranlarında, bir

başka deyişle farklı seri ve paralel bağlantı şekillerinin belirlenmesi ile oluşturulmuştur. Sonraki adımda bu seçilime bağlı olarak akü iç direnci ve akım gücü bilgisi edinilmiş, akıma bağlı ısı değişimleri üzerinden bir termal model belirlenmiştir. Çevrim bilgisine bağlı sıcaklık değişimi termodinamik ifadelerle ortaya konularak, soğutma ve ısıtma prosesinin devreye gireceği zaman aralıkları ve bu zaman zarfında sarfedecekleri enerji miktarları saptanmıştır.

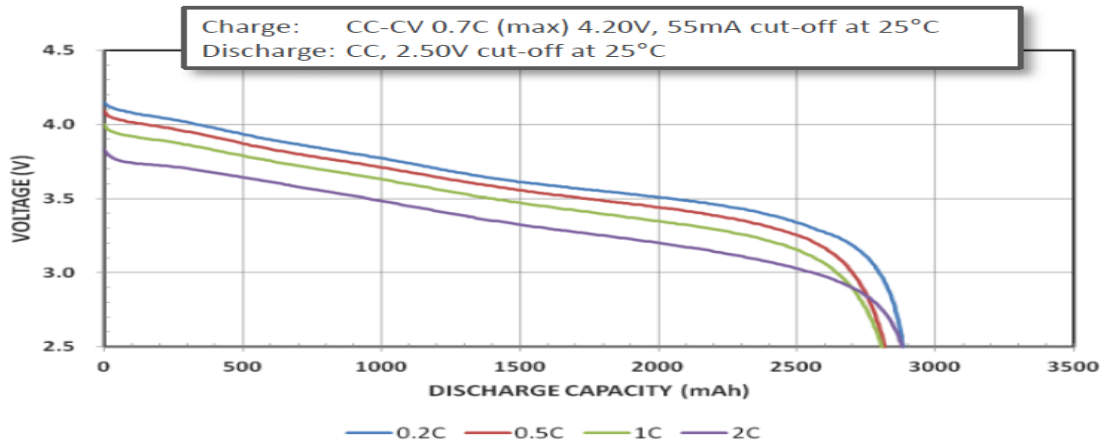


Şekil 3.3 Artemis Şehir İçi Çevrimi Güç-Enerji Bilgilerinin Zaman Göre Değişim Grafiği

Panasonic firmasına ait katalog grafikleri üzerinden yapılan okumalarda NCR18650 pilin 2 C oranında 900 mAh toplam ve 1,8 A net akım, 1 C oranında 1100 mAh toplam ve net 1,1 A akım, 0,5 C oranında 1600 mAh toplam ve 0,8 A net akım ve 0,2 C oranında 1800 mAh toplam ve 0,36 A net akım gücüne sahip olduğu belirlenmiştir.

Simülasyonda bu akım oranları 180 V ve 44 Ah temel parametrelili algoritmaya girilmiş, seri ve paralel bağlantı sayılı akü sayısı belirlenerek eşdeğer direnç saptanmış ve bu bilgiye bağlı olarak aküler 27 °C – 25 °C (0,2 C 26 °C – 25 °C) aralığında çalıştırılacak şekilde simülasyon geliştirilmiştir.

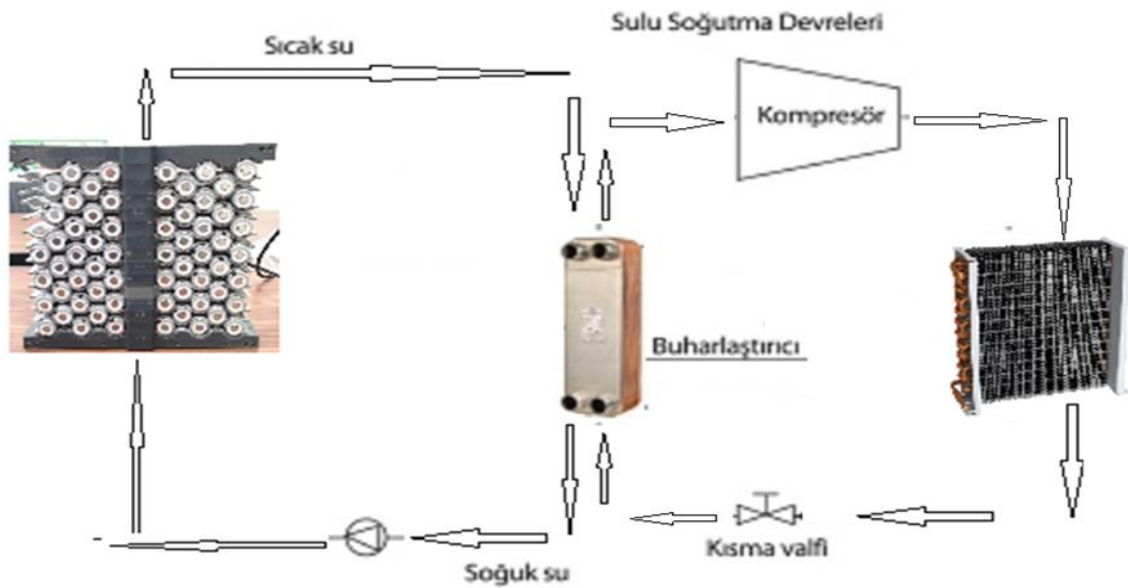
Discharge Characteristics (by rate of discharge)



Şekil 3.4 Panasonic NCR18650 Model Pile Ait Deşarj Karakteristik Eğrisi [19]

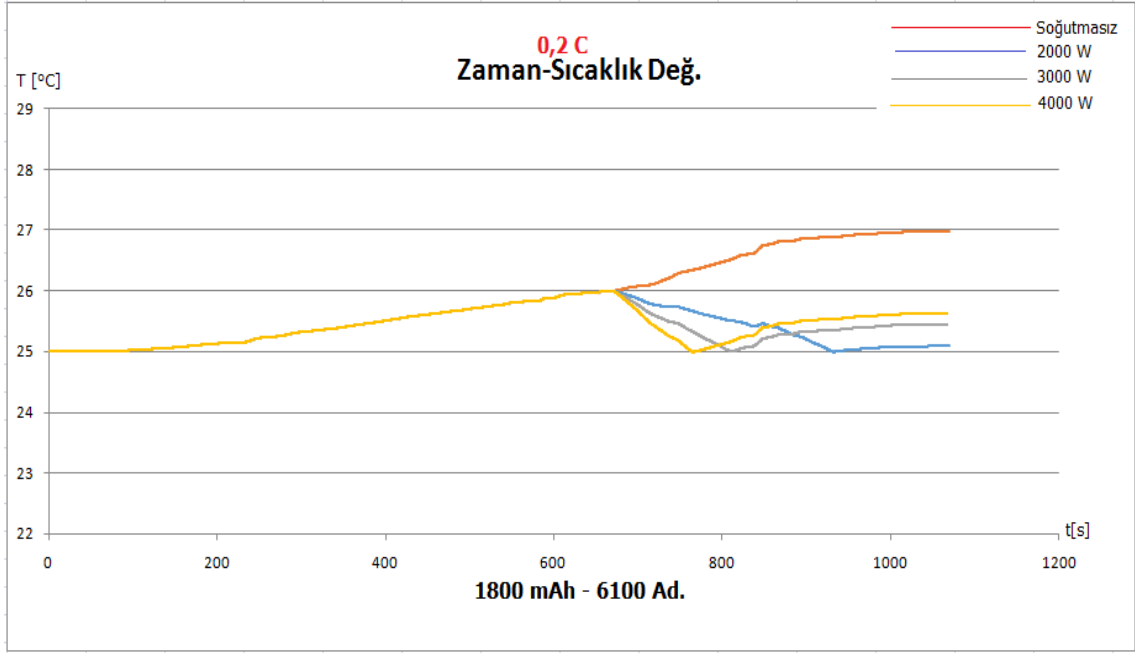
Çizelge 3. 1 Deşarj Oranına Bağlı Olarak Değişen Sistem Kurulum Değerleri

DEŞARJ ORANI	ÇEKİLEN TOPLAM AKIM [mAh]	ÇEKİLEN NET AKIM [A]	SERİ BAĞLI AKÜ SAYISI	PARALEL BAĞLI AKÜ SAYISI	TOPLAM AĞIRLIK [kg]	TOPLAM DİRENÇ [Ω]
0,2 C	1800	0,36	50	122	305	0,0143
0,5 C	1600	0,8	50	55	137,5	0,0318
1 C	1100	1,1	50	40	100	0,0437
2 C	900	1,8	50	25	62,5	0,0716

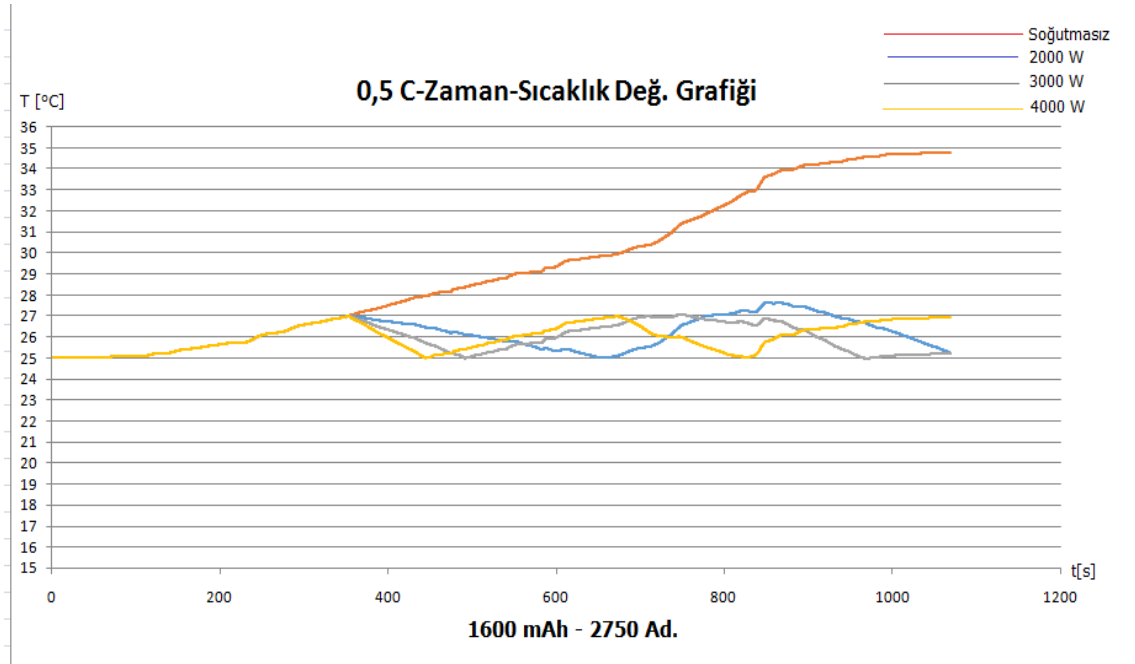


Şekil 3.5 Araç İçi Sıgıtma Sistemine Ait Elemanları ve Çevrimi Gösteren Çalışma Şeması (Chiller Sistem)

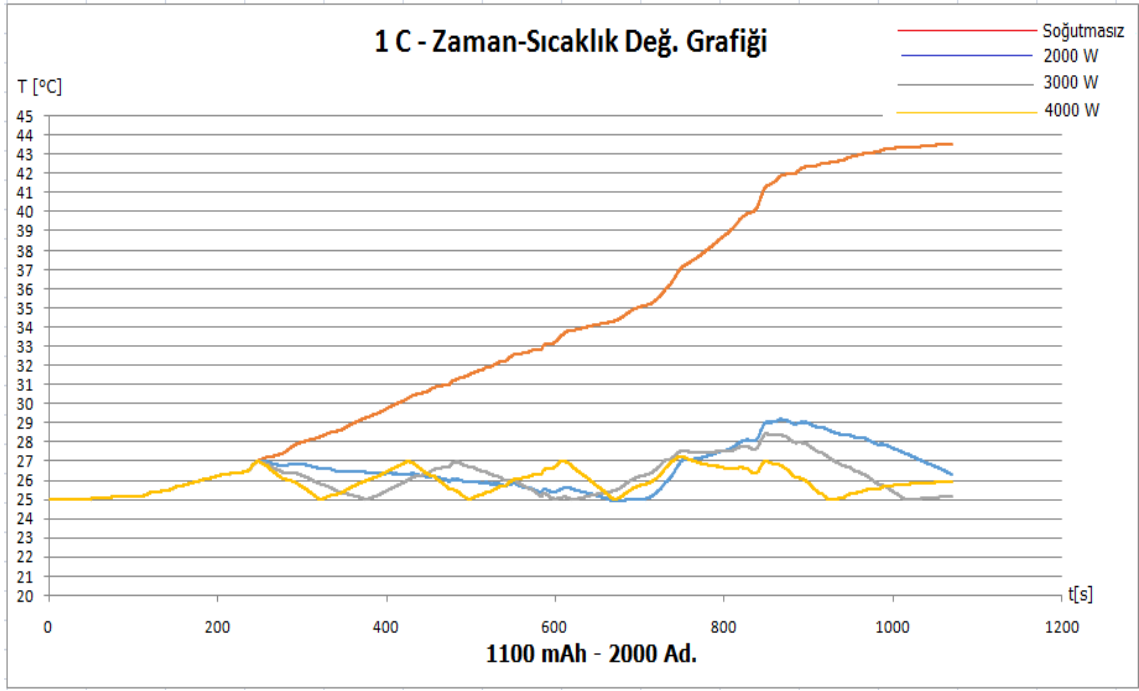
Buna ek olarak, akü yüzey sıcaklığı 27°C ye ulaştığında devreye girecek 2000 W, 3000 W ve 4000 W şeklinde üç farklı kapasitede soğutma uygulanmış, sıcaklık değişimi dataları aynı grafiğe işlenmiştir.



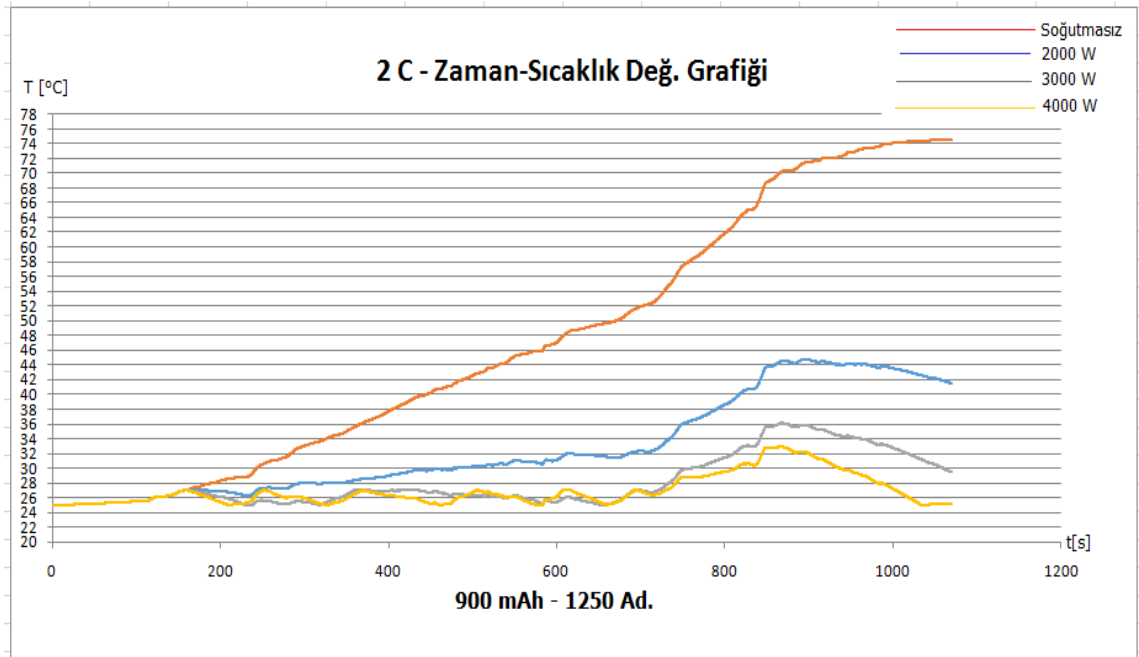
Şekil 3.6 0,2 C Deşarj Oranında Çalıştırılan Simülasyona Ait Veriler



Şekil 3. 7 0,5 C Deşarj Oranında Çalıştırılan Simülasyona Ait Veriler



Şekil 3. 8 1,0 C Deşarj Oranında Çalıştırılan Simülasyona Ait Veriler



Şekil 3. 9 2,0 C Deşarj Oranında Çalıştırılan Simülasyona Ait Veriler

Elde edilen grafikler yorumlandığında, C-rate oranının artışına bağlı olarak akü sayısı azaldığı ancak eşdeğer direnç arttığı görülmüştür. Yine bu parametreye göre C-rate oranı arttıkça akü yüzeyindeki sıcaklık değişimi de artmıştır.

2000 W gücündeki soğutma sistemi 1 C ve 2 C kullanımlarında yetersiz kalmıştır. 3000 W gücündeki soğutucunun çevrime en uyumlu sistem olduğu belirlenmiştir.

Genel olarak; akü sayısının artışının getirdiği yatırım maliyetinin yanında daha zayıf bir soğutma sisteminin yeterli olabileceği, akü sayısının azalması ile ilk maliyetin düşük olmasına karşın daha gelişmiş bir soğutma grubuna ihtiyaç duyulacağı anlaşılmıştır.

Akülerin bağlantı şekline göre ortaya çıkan bu durum, oluşturulan bir işletme fonksiyonuyla yorumlanmaya çalışılmıştır. Çalışmada akü sayısının artışı ile ekipmanlar üzerinden yatırım maliyeti yükselen ancak daha düşük bir işletme maliyetine sahip olan sistem ile akü sayısının azalması ile yatırım maliyeti düşen ancak işletme maliyetleri yüksek olan sistem karşılaştırılmaya çalışılmıştır.

Çizelge 3. 2 Farklı Deşarj Oranlarında Çalıştırılan Simülasyonlara Ait Ekipman Listesi ve Yaklaşık Maliyetleri

0,5 C UYGULAMASI - 3000 W SOĞUTMA - Y1 FONKSİYONU		1 C UYGULAMASI - 3000 W SOĞUTMA-Y2 FONKSİYONU	
EKİPMAN	FİYAT [\$]	EKİPMAN	FİYAT [\$]
PİL SAYISI (2750 Ad.)	19250	PİL SAYISI (2000Ad.)	1400
BATARYA PAKETİ	2750	BATARYA PAKETİ	2000
KURULUM, BORULAMA	200	KURULUM, BORULAMA	200
LEHİMLİ EŞANJÖR	226	LEHİMLİ EŞANJÖR	226
POMPA (Elk : 3 kWh)	720	POMPA (Elk : 2,2 kWh)	540
KOMPRESÖR (Elk : 1,38 kWh)	607	KOMPRESÖR (Elk : 1,38 kWh)	607
KONDENSER (Elk: 0,06 kWh)	70	KONDENSER (Elk: 0,06 kWh)	70
TOPLAM	23823	TOPLAM	17643

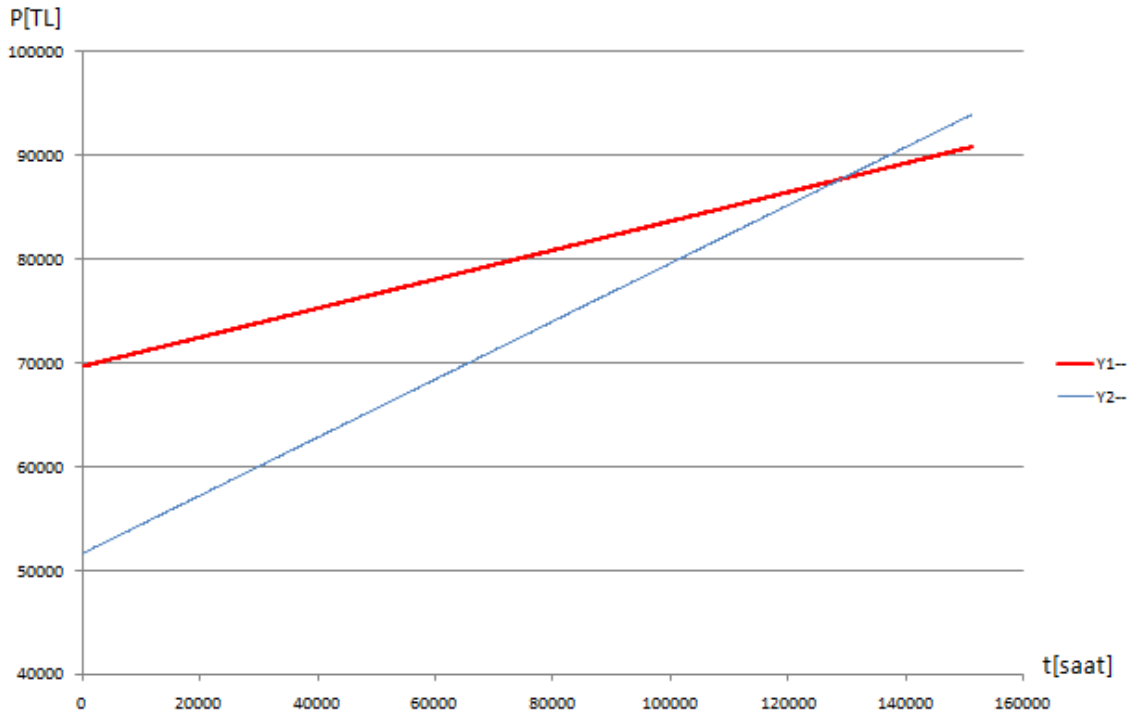
Buna göre yapılan simülasyon dataları üzerinden elde edilen okumalarda 0,5 C oranında çalıştırılan sistemde soğutma grubu 0,11 saat, 1 C oranında çalıştırılan sistemde ise soğutma grubu 0,25 saat devrede kalmıştır.

Dolar kurunun 2,9229 TL/\$, elektrik sarfiyatı tutarının 0,30 TL/kWh olarak kabul edildiği, değişkenin saat olduğu durumda işletme fonksiyonları aşağıdaki hali alır;

$$Y1 = 69632,24 \text{ TL} + 0,14x \quad (3.11)$$

$$Y2 = 51568,7 \text{ TL} + 0,28x \quad (3.12)$$

İki fonksiyon için oluşturulan zamana bağlı çizelgeler ile bir başa baş noktası yakalanmaya çalışılmıştır. Aynı soğutma kapasitesinde iki farklı C-rate oranında geliştirilen sulu soğutma sistemlerinin işletme analizi yapıldığında aşağıdaki fonksiyon cetveli elde edilmiştir.

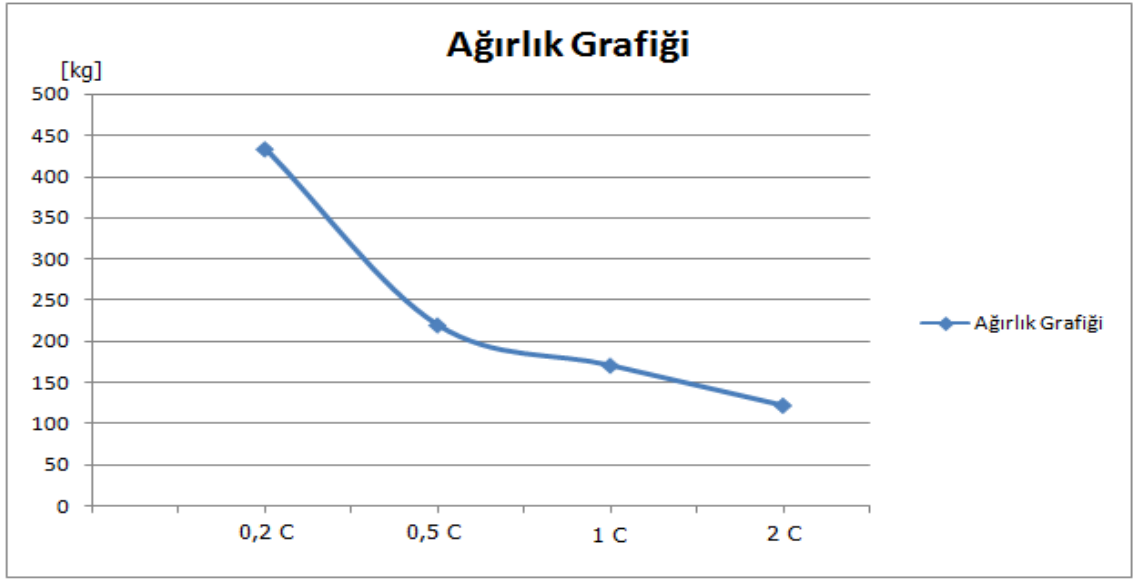


Şekil 3.10 İki Farklı Deşarj Oranında Çalıştırılan Simülasyonlara Ait İşletme Fonksiyonları Başabaş Grafiği

0,5 C oranda kullanımla akü sayısının artışına bağlı olarak diğer ekipmanlar üzerinden yatırım maliyetinin arttığı görülmüştür. Buna karşın soğutma sisteminin devrede kaldığı süre göz önüne alındığında 1 C oranında kullanımda sürenin daha uzun olduğu ve işletme maliyetinin daha yüksek olacağı saptanmıştır.

Geliştirilen işletme fonksiyonlarına bağlı başa-baş eğrisi yorumlandığında, işletme maliyeti üzerinden oluşan farkın yatırım maliyetleri arası farkı çok uzun sürede amorti ettiği, dolayısıyla işletme maliyeti yüksek olmasına karşın 1 C oranındaki kullanımın daha avantajlı olacağı belirlenmiştir.

Araç içi yerleşimi, araç aerodinamiği ve aracın hareket mekanizmasını doğrudan etkileyen bir diğer faktör de aracın ağırlığıdır. Dört farklı çalışma modeli için geliştirilen sistemlerde yapılan seçimler üzerinden, kurulan sistemlerin araçlara getireceği ağırlık miktarları tez kapsamında paylaşılmıştır.

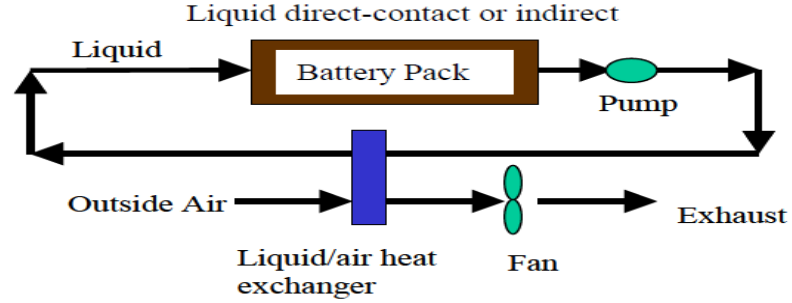


Şekil 3.11 Farklı Deşarj Oranları ile Oluşturulan Sistemlere Ait Ağırlık Bilgisi Grafiği

Tasarlanan sistemde, akülerin çalışma sıcaklık aralığı 25 °C ile 27 °C arasında tutulmaya çalışılmıştı. Bu sıcaklık aralığında çalışması için bataryaya giriş suyu sıcaklığının 18 °C ile 20 °C aralığında olması gerektiği görülmekteydi ancak bu sistem atmosferik koşullarla elde edilemediği için özel eşanjörler ve ilave bir chiller sistemi ile soğutulacak soğutma sıvısı koşuluna doğrudan bağımlıydı.

Akü yüzey sıcaklığı aralığının 25 °C ile 35 °C aralığında bir toleransla çalıştırılması unsuru göz önüne alınarak, soğutma sıvısının soğutma sisteminin hava soğutmalı batarya sistemi ile doğrudan soğutulması ve maliyet yükü oluşturan chiller sisteminin devre dışı bırakılması tasarıma yeni bir anlayış olarak getirilmiştir.

Yapılan çalışmada, aynı bağlantı şekli ile (aynı C-rate oranında) iki sistemin, soğutma sıvısının soğutulması durumunu değişken kabul ederek ikinci bir işletme fonksiyonu ortaya konulmaya çalışılmıştır.



Şekil 3.12 Soğutma Sıvısının Hava Yolu ile Soğutulduğu Sisteme Ait Şema

Çizelge 3. 3 Farklı Soğutma Sistemlerinde Çalıştırılan Simülasyonlara Ait Ekipman Listesi ve Yaklaşık Maliyetleri

2 C -CHILLER - 5000 W SOĞUTMA		2 C- HAVA SOĞ. - 5000 W SOĞUTMA	
EKİPMAN	FİYAT [\$]	EKİPMAN	FİYAT [\$]
PİL SAYISI (1250Ad.)	8750	PİL SAYISI (1250 Ad.)	8750
BATARYA PAKETİ	1250	BATARYA PAKETİ	1250
KURULUM, BORULAMA	200	KURULUM, BORULAMA	100
LEHİMLİ EŞANJÖR	312	POMPA (Elk : 3 kWh)	720
POMPA (Elk : 2 kWh)	580	APAREY BATARYA (Elk: 0.18 kWh)	270
KOMPRESÖR (Elk : 0,9 kWh)	779		
KONDENSER (Elk: 0,08 kWh)	90		
TOPLAM	11961	TOPLAM	11090

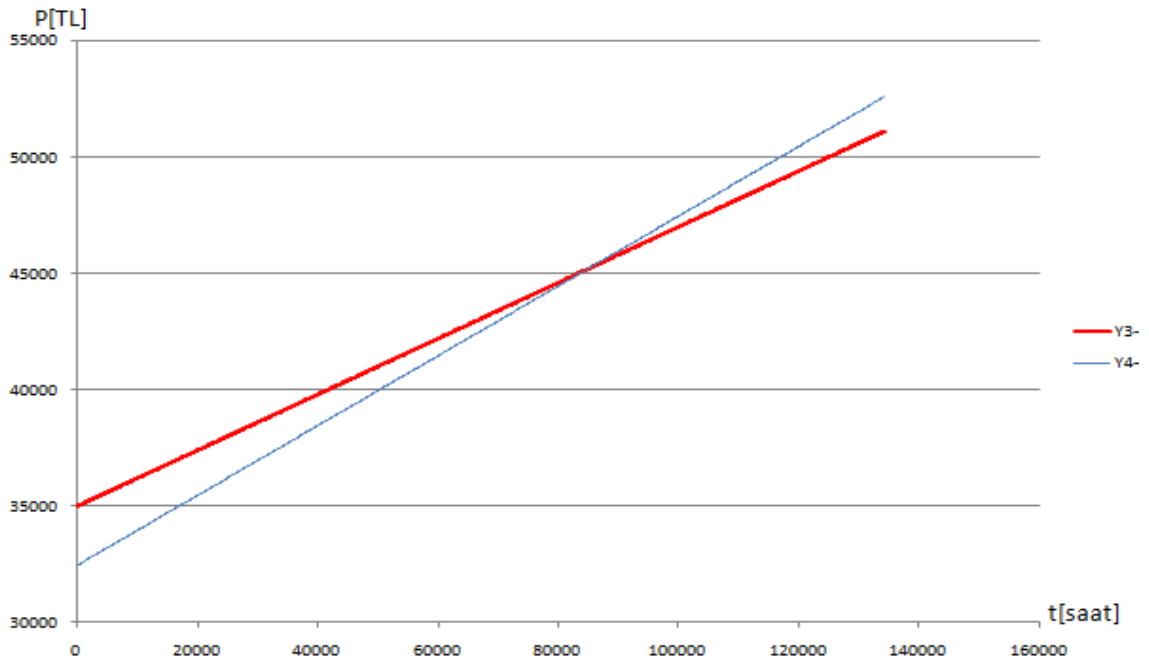
Buna göre yapılan simülasyon dataları üzerinden elde edilen okumalarda 2 C oranında chiller sistemde çalıştırılan soğutma grubu 0,15 saat devrede kalmıştır. Hava soğutmalı sistem ekipmanları da aynı kapasitede seçildiğinden, devrede kalacakları sürenin aynı olacağı varsayılabilir. Sıcaklık aralığı büyüdüğü ve C-rate oranı yüksek seçildiği için 5000 W gücünde soğutma uygulaması simüle edilmiştir.

Yine dolar kurunun 2,9229 TL/\$, elektrik sarfiyatı tutarının 0,30 TL/kWh olarak kabul edildiği, değişkenin saat olduğu durumda işletme fonksiyonları aşağıdaki hali alır;

$$Y3 = 34960,8 \text{ TL} + 0,12x \quad (3.13)$$

$$Y2 = 32415 \text{ TL} + 0,15x \quad (3.14)$$

İki fonksiyon için oluşturulan zamana bağlı çizelgeler ile bir başa baş noktası yakalanmaya çalışılmıştır. Aynı C-rate oranında iki farklı soğutma suyu soğutma sistemi için geliştirilen fonksiyonların işletme analizi yapıldığında aşağıdaki fonksiyon cetveli elde edilmiştir.



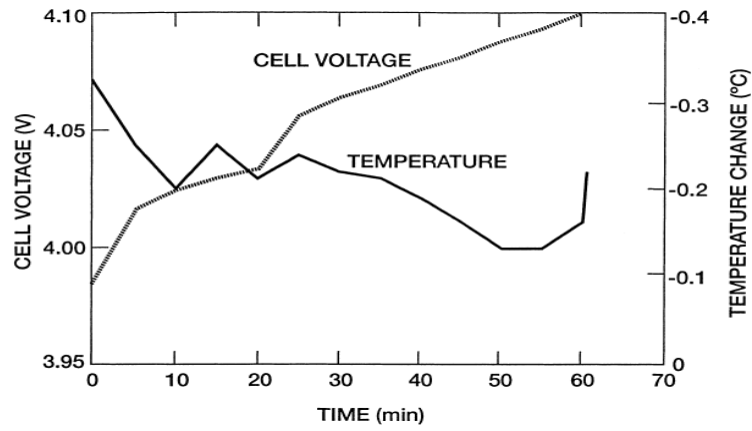
Şekil 3.13 İki Farklı Soğutma Sistemiyle Çalıştırılan Simülasyonlara Ait İşletme Fonksiyonları Başabaş Grafiği

Hava soğutmalı sistemlerde atmosferik koşullardan yararlanıldığı için sistem 35°C-25°C şeklinde simüle edilmiştir. Açığa çıkan yüksek ısı nedeniyle 5000 W gücünde soğutucu işleme dahil edilmiştir. Yapılan işletme analizi sonucu hava soğutmalı sistemlerin yatırım maliyetlerinin çok daha düşük olduğu ancak daha uzun süre devrede

kalarak işletme maliyeti noktasında chiller sisteme göre daha verimsiz olduğu görülmüştür.

Buna karşın işletme maliyetlerinin yatırım maliyeti farkını çok uzun sürede amorti ettiği tespit edilmiştir. İşletme fonksiyonuna bağlı olarak yapılacak yoruma göre hava soğutmalı sistemler daha avantajlı görünmektedir.

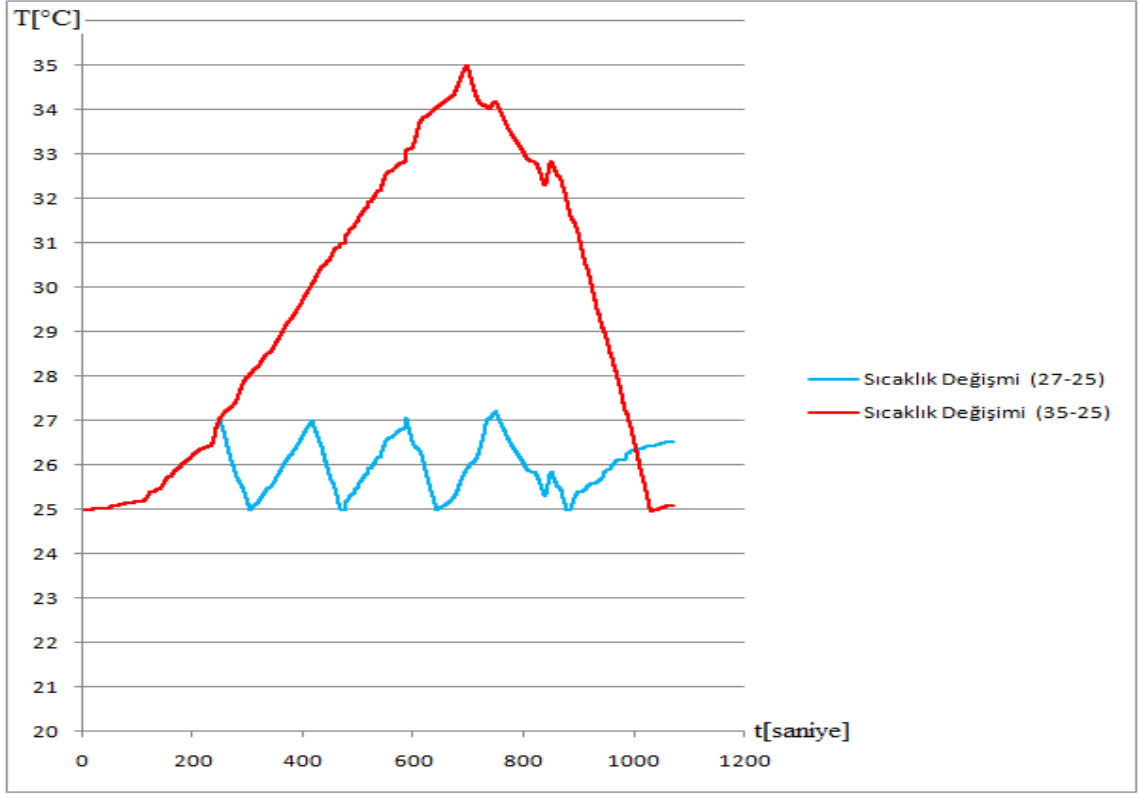
Literatüre göre akülerin çalışma sıcaklığı ile voltaj miktarları ters orantılı olarak değişmektedir. Buna göre aynı C-rate oranına sahip iki sistemde voltaj düşümüne bağlı olarak, sistemin aynı gücü sağlamaya kendisini zorlaması üzerine, açığa çıkan ısı miktarında artış görülmüştür.



Şekil 3.14 Akü yüzey Sıcaklığına Bağlı Voltaj Değişimi Grafiği

Buna ek olarak, düşük sıcaklık aralığında çalışan akülerin performanslarının çok daha yüksek olduğu bilinmektedir. Yaşanan ısıl pikler akülerin ve sistemlerin ömrünü azaltmaktadır. Simülasyon verileri bu bilgi devamında geliştirilmiş ve çalışma sıcaklık aralıklarının değişimine göre açığa çıkan ısı profili ve yüze sıcaklıklarının zamana bağlı değişim grafikleri elde edilmiştir.

Bu nedenle soğutma sıvısının hava soğutmalı sistemle soğutulması daha ekonomik olmasına karşın, sistem çalışma parametrelerine bakıldığında uygulanması doğru görülmemektedir.

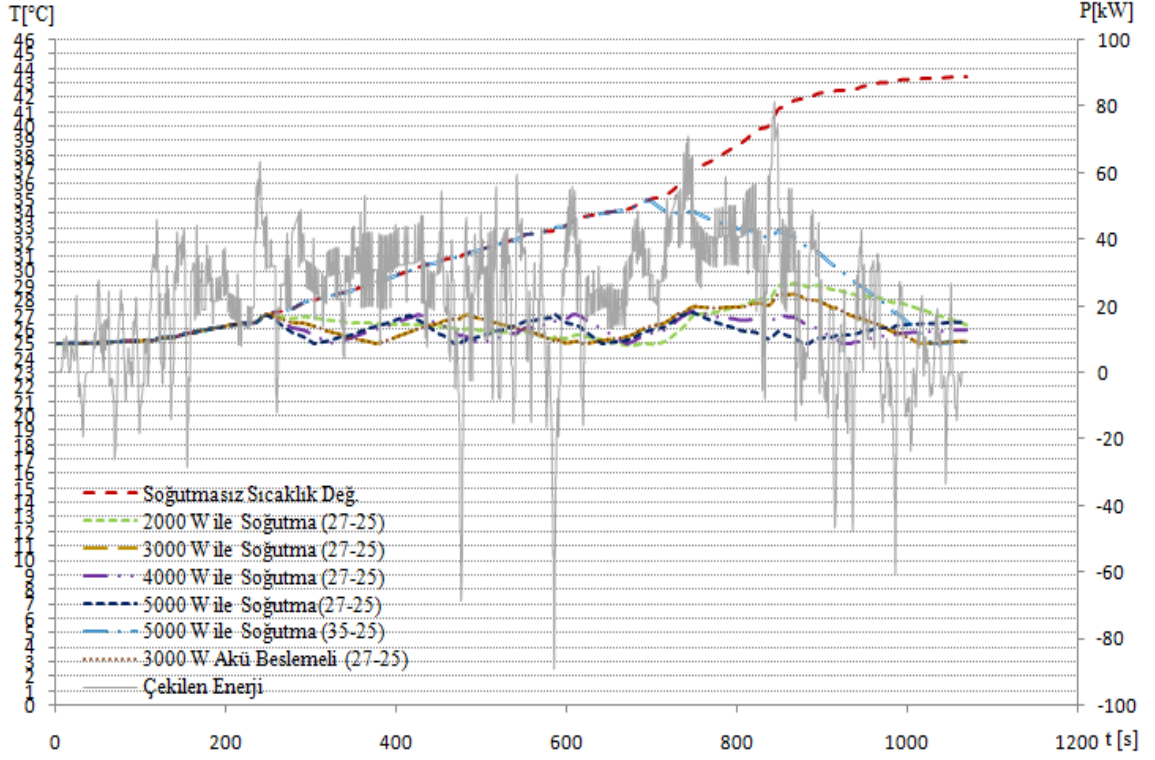


Şekil 3.15 2 C Deşarj Kapasiteli Aküler İçin 5000 W Gücünde Soğutma Sırasında Akü Sıcaklıklarının Zamana Bağlı Değişimi Grafiği

Yapılan simülatif değerlendirmeler sırasında, soğutma sistemlerinin bağımsız bir enerji birimi tarafından besleneceği düşünülerek hareket edilmiştir. Değerlendirmelerin son kısmında, soğutma sisteminin harcadığı enerji akülerden çekilen enerji kısmına eklenerek sistem tekrar koşturulmuştur.

Simülasyon sonuçlarında, aküden hareket için çekilen gücün yanında soğutma için harcanan gücün az olması ve çevrim boyunca sınırlı sürelerde devrede olması nedeniyle aküler üzerinde ciddi bir sıcaklık değişimine sebebiyet vermediği tespit edilmiştir.

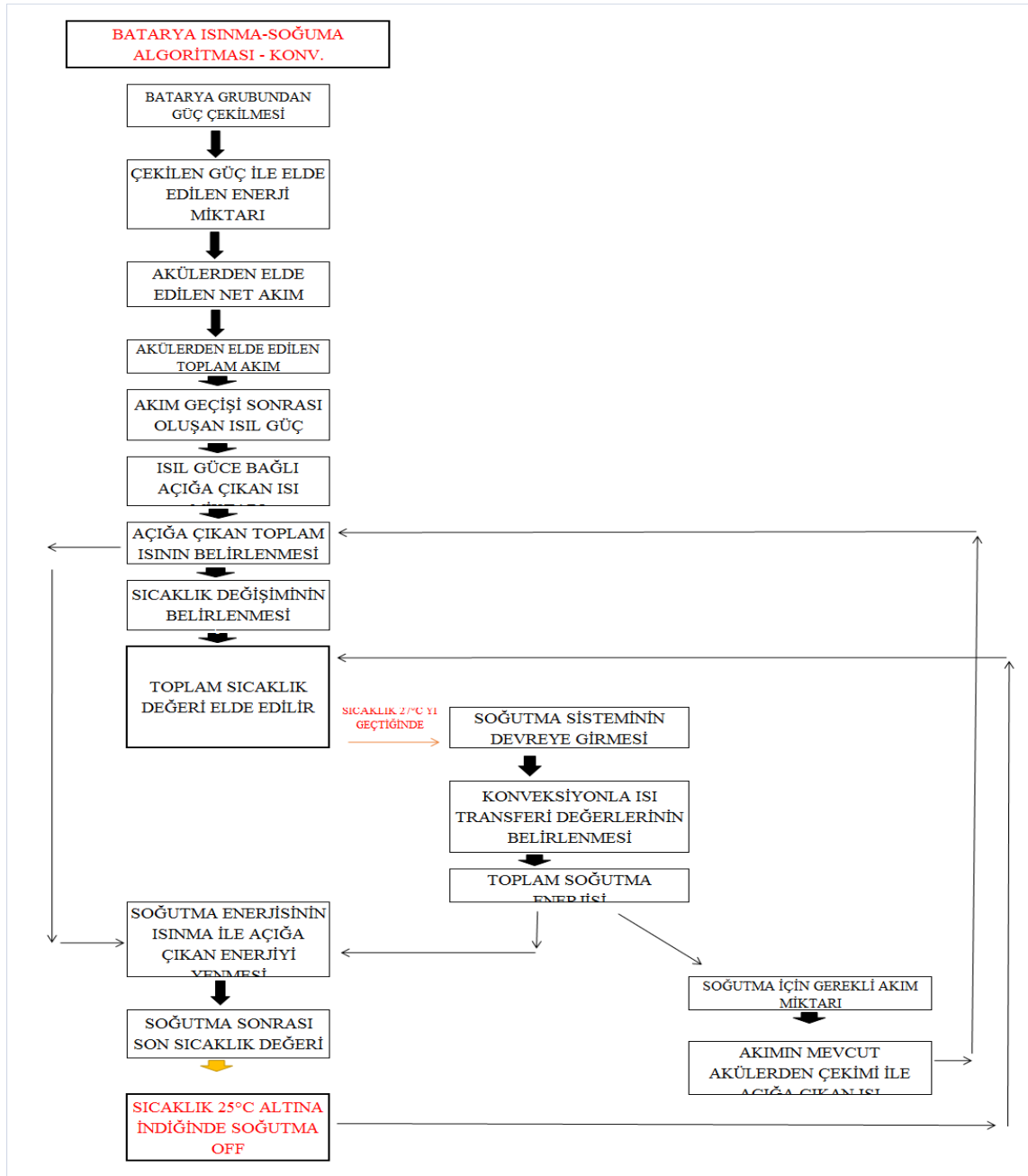
Elde edilen bilgilerin sentezlenebilmesi için dataların birleştirildiği grafik aşağıda sunulmuştur.



Şekil 3.16 1 C Deşarj Kapasiteli Aküler İçin Farklı Güçlerde Soğutma Prosesleri ve Zamana Bağlı Çekilen Güç İki Eksenli Grafiği

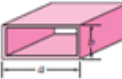
Simülasyon hesaplamalarının ilk kısmında, akülerin çalışması sırasında açığa çıkacak olan ısıнын sönümlenmesi için sabit soğutma kapasitesinde soğutucuların gücü temel parametre olarak ve sabit değer görülerek kabul edilmiştir. Çalışma sonuçlarının geliştirilmesi ve plakanın kanal yapısının getirisi olan ısı transferi mekanizmasının hesaplamalara etkisinin araştırılması için, plaka kanalı arasında dolaşan soğutma sıvısına ait taşınım ile ısı transferi değerleri üzerinden simülasyonlara ikinci bir yorum getirilmiştir.

Kanal içi akış korelasyonlarına bağlı olarak elde edilen değerler ile soğutma simülasyonu revize edilmiştir. Sistemin başlangıç parametrelerinden olan taşınım ile ısı transferi değeri de bu bilgiler ışığında elde edilmiş ve tüm alternatif çözümlerde sabit değer olarak kabul görmüştür. Şekil 3.17 de bu simülasyona ait algoritmayı görmektedir.

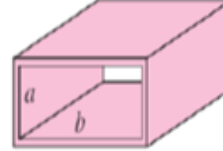


Şekil 3.17 Isı Transferi Çözümlerinde Kullanılan Algoritma

Akülerin çalışması sırasında açığa çıkardıkları ısı miktarı, önceki hesaplamaların benzeri olması nedeniyle ilgili korelasyonlar tekrar paylaşılmayacaktır. Konveksiyonla ısı transferi katsayısının belirlenmesinde laminar akışta kanal içi akış ifadeleri kullanılacaktır. Deneysel ve matematiksel yöntemlerle elde edilen cetveller yardımıyla katsayının belirlenişi Şekil 3.18'de sunulmuştur.

Tube Geometry	a/b or θ°	Nusselt Number		Friction Factor f
		$T_s = \text{Const.}$	$q_s = \text{Const.}$	
Circle 	—	3.66	4.36	64.00/Re
Rectangle 	1	2.98	3.61	56.92/Re
	2	3.39	4.12	62.20/Re
	3	3.96	4.79	68.36/Re
	4	4.44	5.33	72.92/Re
	6	5.14	6.05	78.80/Re
	8	5.60	6.49	82.32/Re
	∞	7.54	8.24	96.00/Re
Ellipse 	1	3.66	4.36	64.00/Re
	2	3.74	4.56	67.28/Re
	4	3.79	4.88	72.96/Re
	8	3.72	5.09	76.60/Re
	16	3.65	5.18	78.16/Re
Triangle 	θ			
	10°	1.61	2.45	50.80/Re
	30°	2.26	2.91	52.28/Re
	60°	2.47	3.11	53.32/Re
	90°	2.34	2.98	52.60/Re
	120°	2.00	2.68	50.96/Re

Rectangular duct:



$$D_h = \frac{4ab}{2(a+b)} = \frac{2ab}{a+b}$$

$$D_h = (2 \cdot (9 \times 1,27)) / (9 + 1,27) = 2,226 \text{ mm}$$

$$a/b = 9/1,27 = 7,086 \text{ --- } > \text{Nu} = 6,24 \text{ (Ent.)}$$

Laminer Akışta Nusselt Sayısı

$$\text{Nu} = (h \times D_h) / k = 6,24$$

Taşınmıla Isı Tra. Katsayısı [W/m²°K]

$$h = (\text{Nu} \cdot k) / D_h = (6,24 \times 0,00226) / 0,600$$

$$h = 1656,64 \text{ W/m}^2 \text{ °K}$$

Şekil 3.18 Taşınım İle Isı Transferi Katsayısı Tayini

$$Q_{\text{cool}2} = (h_{\text{cooler}2} \cdot A_c \cdot (T_2 - 23^\circ\text{C})) \quad (3.14)$$

$$\Delta E_c = [(Q_{\text{cooler}2} + Q_{\text{cooler}1}) / 2] [(t_2 - t_1) / 2] / 3600 \quad (3.15)$$

$$\Delta T_{\text{cool}} = (\Delta Q_{\text{heat}} - \Delta E_c) / (m_{\text{sis}} \cdot c_c) \quad (3.16)$$

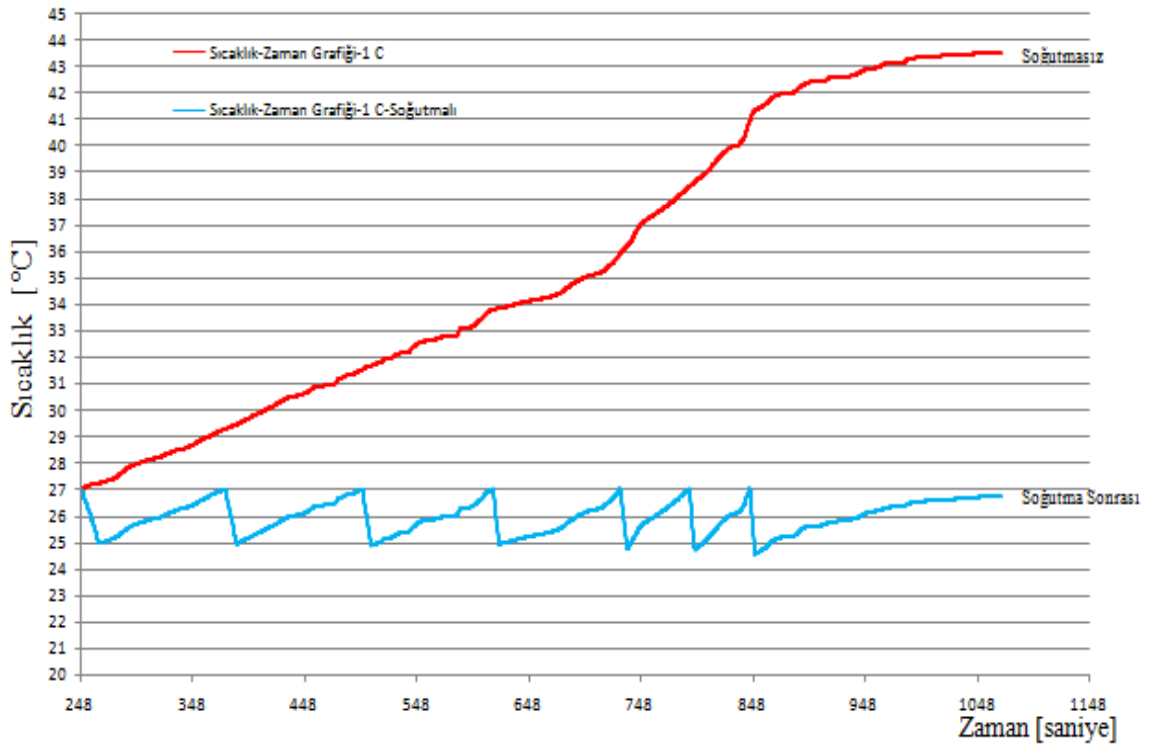
$$T_{\text{CT}2} = \Delta T_{\text{cool}} + T_{\text{cool}1} \quad (3.17)$$

Burada $Q_{\text{cool}2}$ taşınım ile ısı transferi miktarını göstermektedir. Bu sırada oluşan soğutma enerjisi ve sıcaklık değişimi değerleri de Çizelge 3.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 4 Değişen Deşarj Oranlarına Bağlı Elektriksel Bilgiler

DEŞARJ ORANI	ÇEKİLEN TOPLAM AKIM [mAh]	ÇEKİLEN NET AKIM [A]	SERİ BAĞLI AKÜ SAYISI	PARALEL BAĞLI AKÜ SAYISI	TOPLAM KONV. YÜZEY ALANI [m ²]	TOPLAM DİRENÇ [Ω]
0,2 C	1800	0,36	50	122	5,8468	0,01431
0,25 C	1750	0,44	50	100	4,7924	0,0175
0,3 C	1700	0,51	50	86	4,1215	0,02028
0,5 C	1600	0,8	50	55	2,6358	0,0318
1 C	1100	1,1	50	40	1,917	0,04375

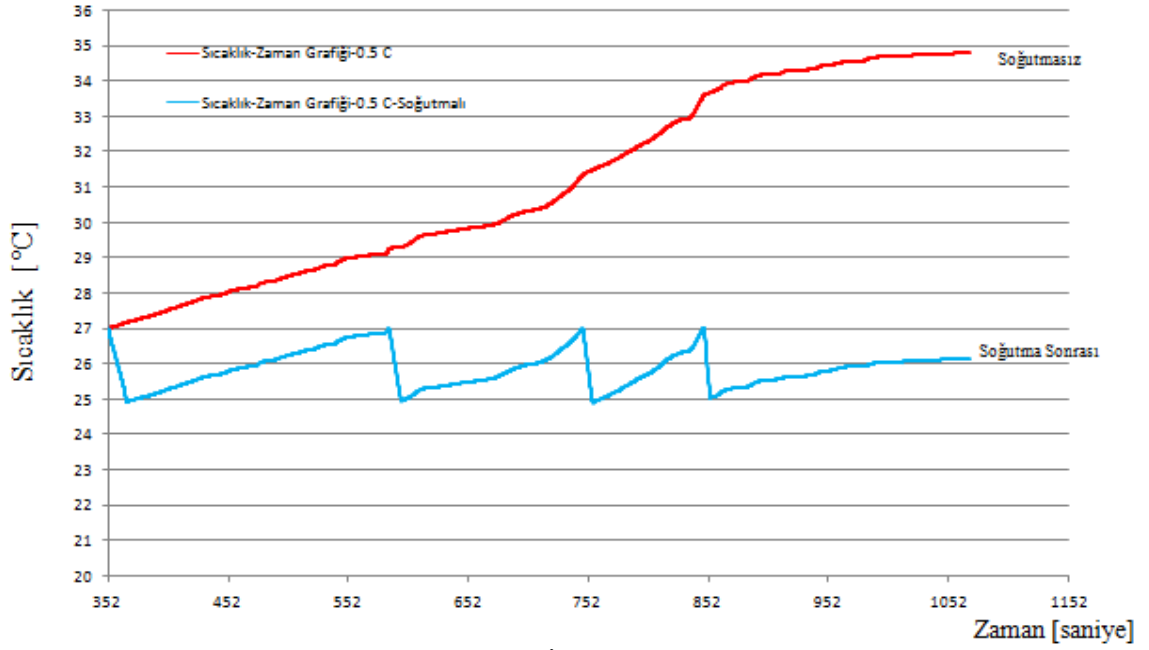
Soğutma sisteminin harici bir enerji besleme merkezi tarafından çalıştırıldığı varsayımıyla, beş farklı bağlantı modeli üzerinde taşınım ile ısı transferi gerçekleştiği durum ile soğutmanın yapılmadığı durumu karşılaştıran grafikler sırası ile sunulmuştur. Çalışma sisteminde 25 °C en düşük, 27 °C en yüksek sıcaklık değeri olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.19 1 C Modeli İçin Sıcaklık-Zaman Grafiği

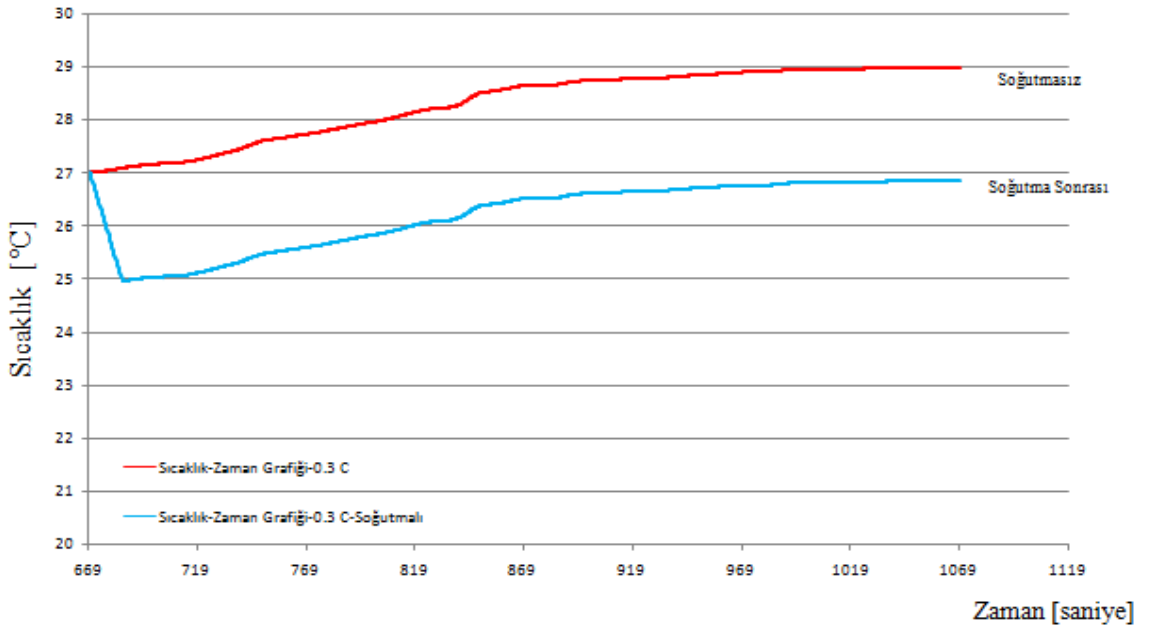
Soğutma sisteminin mevcut akülerden bağımsız bir enerji sistemi ile beslendiği durumda, yalnızca aracın hareketin için güç çekişi ile açığa çıkan ısıнын çevrim sonunda 1 C bağlantı modelinde sıcaklığı 44 °C ye kadar çıkardığı gözlemlenmiştir. Bu yüksek

sıcaklık, konveksiyonla ısı transferinin devreye girmesi ile 7 kademede sönümlenmiş ve batarya sıcaklığı 25 °C-27 °C arasında dengelenmeye çalışılmıştır.



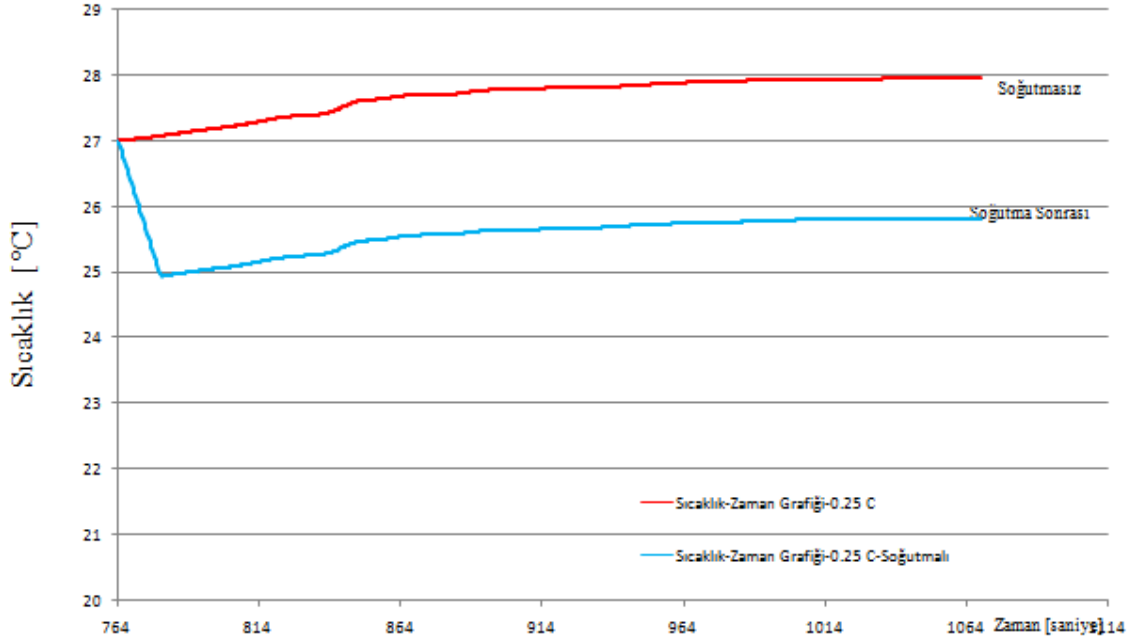
Şekil 3.20 0,5 C Modeli İçin Sıcaklık-Zaman Grafiği

Aynı sistemin 0,5 C elektriksel bağlantı modelinde uygulanması sonrası açığa çıkan ısıнын çevrim sonunda sıcaklığı 35 °C ye kadar çıkardığı gözlemlenmiştir. Sıcaklık artışı, taşınım ile ısı transferinin devreye girmesi ile 4 kademede sönümlenmiş ve batarya sıcaklığı 25 °C-27 °C arasında dengelenmeye çalışılmıştır.

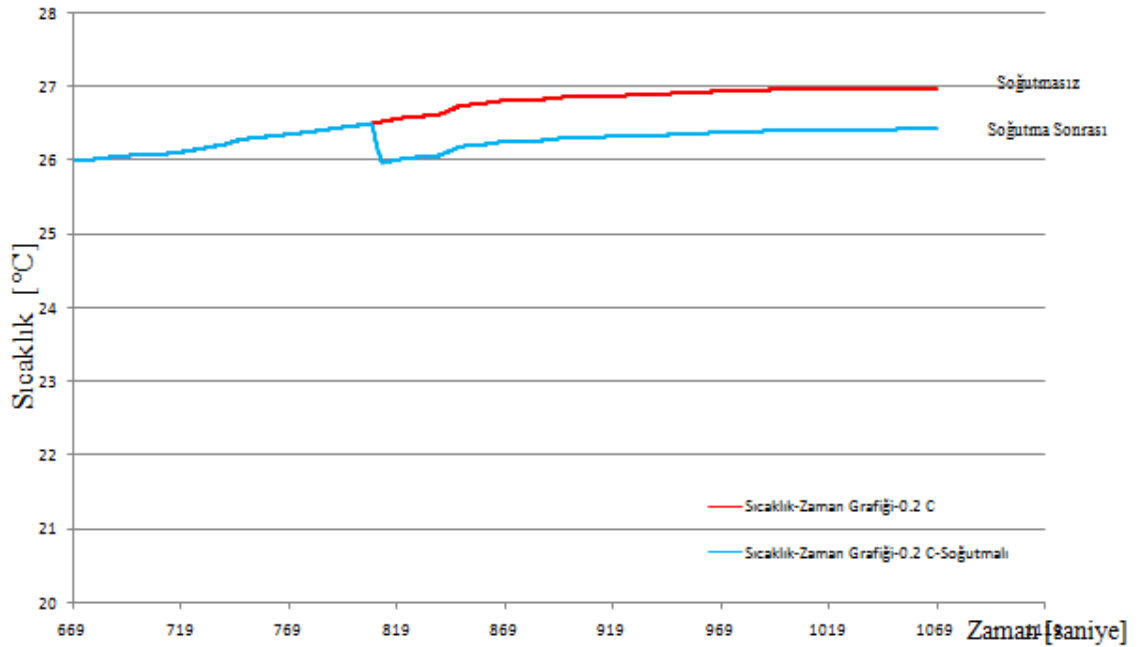


Şekil 3.21 0,3 C Modeli İçin Sıcaklık-Zaman Grafiği

Sistem prensibi sabit tutularak 0,3 C elektriksel bağlantı modelinde uygulanması sonrası açığa çıkan ısıнын çevrim sonunda sıcaklık 29 °C değerlerine ulaşmıştır. Taşınım ile ısı transferinin uygulanması sonucu bu sıcaklık artışı 1 kademedeki sönümlenmiştir.



Şekil 3.22 0,25 C Modeli İçin Sıcaklık-Zaman Grafiği



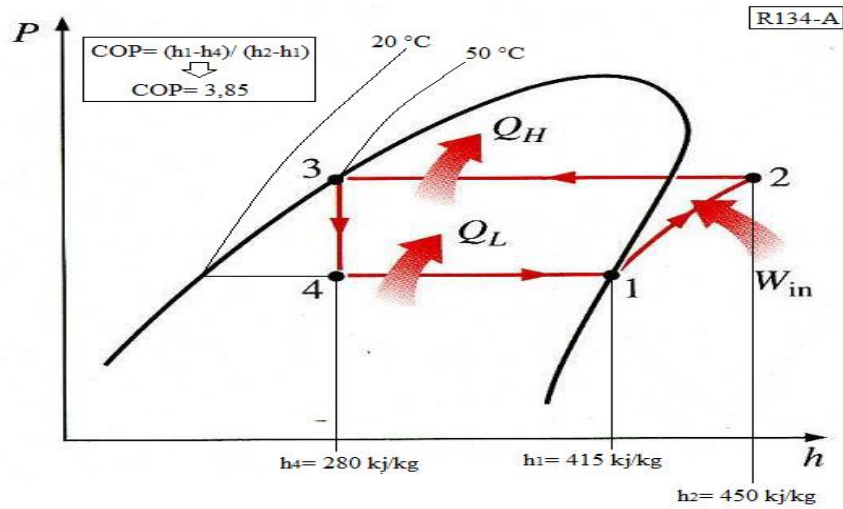
Şekil 3.23 0,2 C Modeli İçin Sıcaklık-Zaman Grafiği

0,25 C ve 0,2 C elektriksel bağlantı modelinde uygulamanın tekrarı ile elde edilen değerler grafikler ile paylaşılmıştır. Burada 0,2 C modelinin çalışması sırasında oluşan

sıcaklık değişiminin hedeflenen sıcaklık aralığında kaldığı görülmüştür. Dolayısı ile bu tip çalıştırma yapıldığı durumda soğutma sisteminin devreye girmesine gerek olmadığı söylenebilir ancak sistemin getirdiği akü sayısı artışı faktörü tasarımda diğer modellere yönelimi gerektirmiştir.

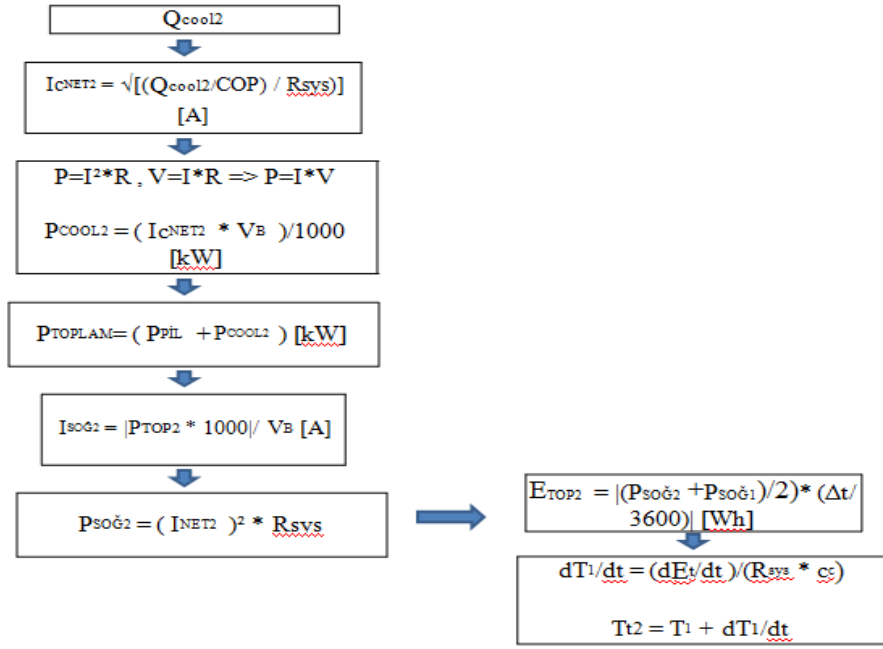
Soğutma prosesi devam ederken, daha önceki çalışmalarda soğutma için gerekli elektriksel gücün harici bir kaynaktan besleneceği düşünülerek tasarım yapılmıştı. Analizlerin doğruya daha yakın yorumlar vermesi için soğutma sisteminin de çalışmak için gerekli enerjiyi soğuttuğu akülerden çekeceği öngörülerek çalışma bir başka safhaya taşınmıştır. Soğutma grubunun akülerden çekeceği elektriksel gücü ve buna bağlı olarak akülerde meydana gelecek olan sıcaklık artışını çalışmanın devamında bulunan korelasyonlar ile elde edebilmekteyiz.

Soğutma sisteminin performansı (COP), akülerin yaklaşık çalışma sıcaklık aralığında ve R134A akışkanına ait P-h grafik değerleri üzerinden hesapla elde edilmiştir.



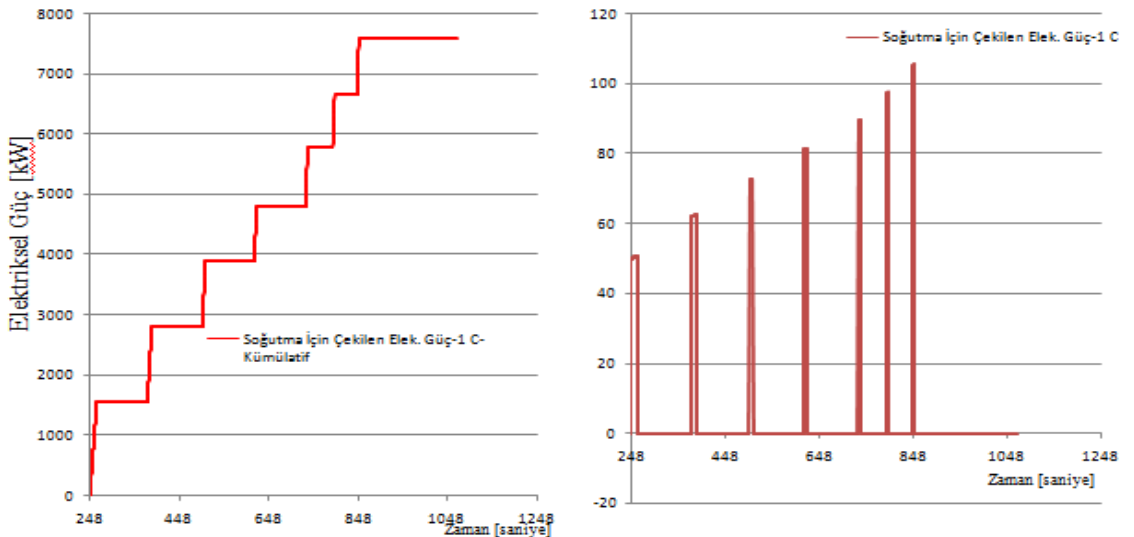
Şekil 3.24 COP Değeri Tayini

Belirlenen bu COP değeri üzerinden soğutma sırasında çekilecek elektriksel güç belirlenmiştir. Güç değeri önceki analizlerde bağımsız kabul edilirken, araç içi yerleşimin buna uygun olmayacağı düşünülerek soğutma sisteminin de mevcut akülerden beslendiği durum ele alınmıştır.



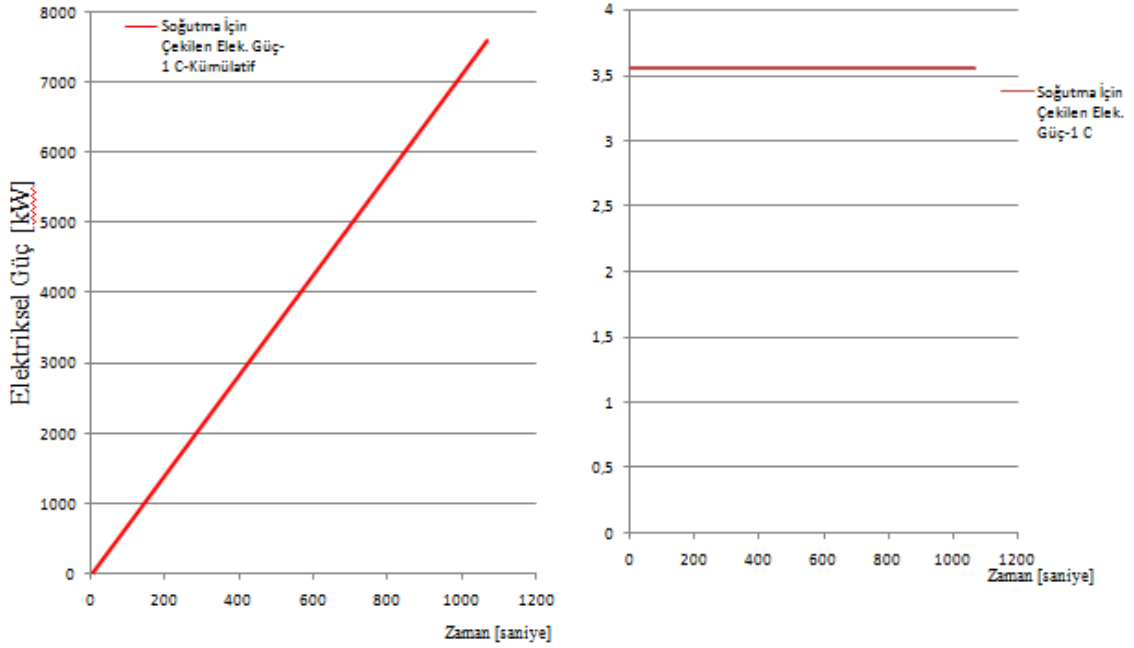
Şekil 3.25 Soğutma Sisteminin Mevcut Aküden Beslenme Durumunda Sıcaklık Artışı Algoritması

Soğutma kapasitesinin COP değerine bölünmesi ile net iş elde edilmiş, sonrasında akülerin ısınma prosesine benzer şekilde bu güç kaynağı için gerekli akımın mevcut sistem direnci üzerinden geçişi ile açığa çıkan ısı miktarı tespit edilmiştir. Bu değer, aracın hareket için güç çektiği sırada ortaya çıkan ısı birikimine eklenerek toplam değerler üzerinden simülasyon revize edilmiştir.



Şekil 3.26 1 C Modelinde Soğutma Sisteminin Çalışması Sırasında Çektiği Elektriksel Güç Grafikleri (Kümülatif ve Periyodik)

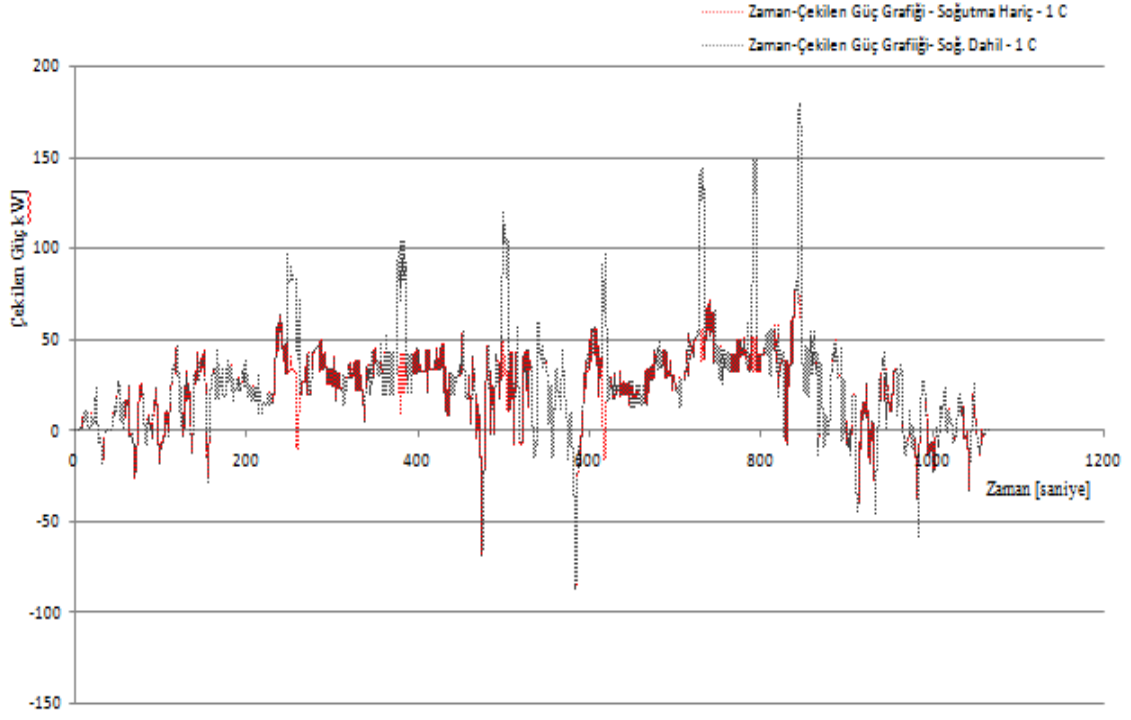
Soğutma sisteminin devreye girmesi ile birlikte çekilecek elektrisel güç bilgileri grafiklerle aşağıda açıklanmıştır. Taşınım ile ısı geçişinin getirdiği yüksek değerler, sistem üzerinde çeşitli pikler oluşmasına yol açmıştır. Bu piklerin batarya grubuna getireceği aşırı zorlamayı elemine etmek için çekilen toplam güç değeri, tüm proses boyunca uygulanacak ortamala bir soğutma değerine dönüştürülmüştür. Yapılan çalışma revizyon Şekil 3.26'da görülmektedir.



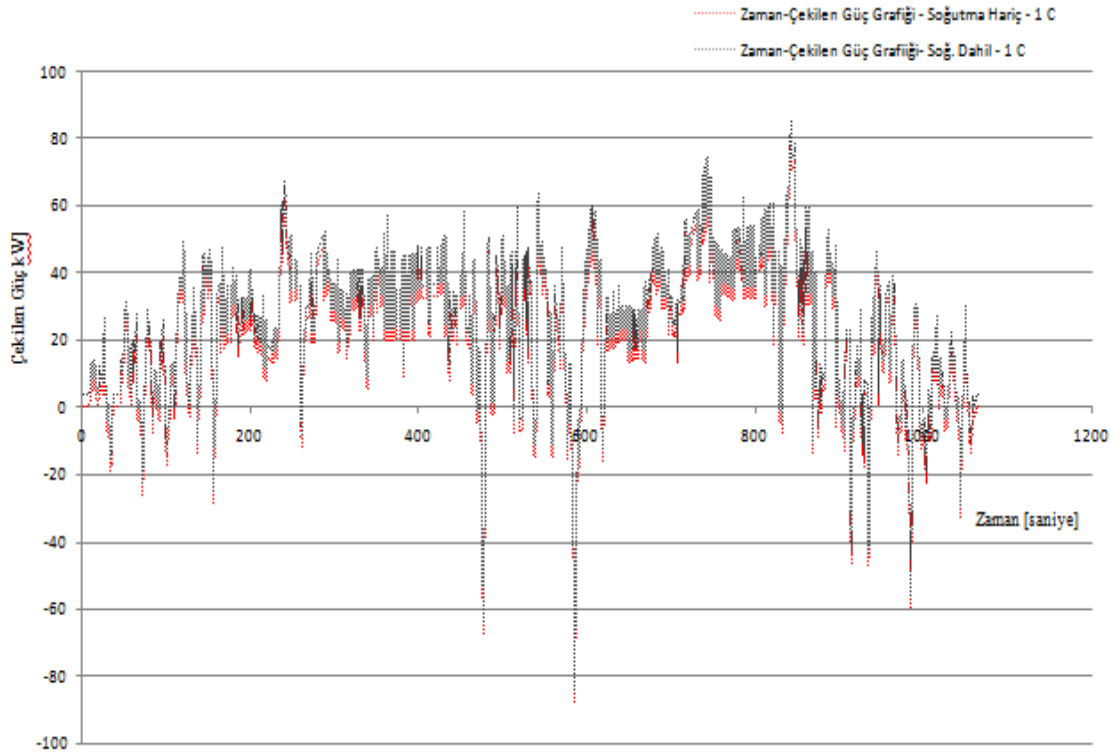
Şekil 3.27 1 C Modelinde Ortalama Soğutma Sisteminin Çalışması Sırasında Çektiği Elektriksel Güç Grafikleri (Kümülatif ve Periyodik)

Elde edilen bu ortalama elektriksel güç çekişi değerleri, aracın hareketi için gerçekleştirdiği güç çekişi değerleri ile birleştirildiğinde yapılan revizyonun getirileri belirgin bir hale gelmiştir. Kısmi zamanlı soğutma sisteminin batarya grubunda oluşturduğu piklerin revizyonla ortadan kaldırıldığı, zorlamanın azaldığı sistemde sıcaklık değişiminde de bir regülasyon olduğu görülmüştür.

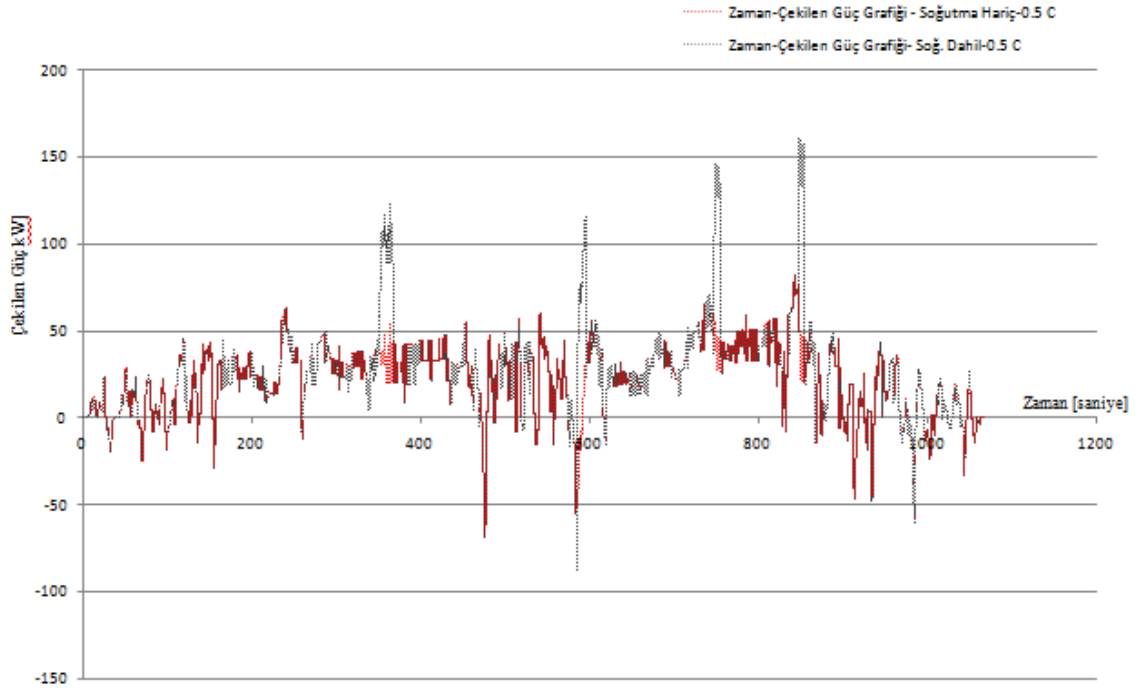
Çekilen güç durumunun regülasyonu ile soğutma sisteminin mevcut akülerden beslenmesi sonucu açığa çıkacak yüksek gerilimler ve pil ömrünün kısılması gibi unsurların oluşumu engellenmiştir. Tüm bağlantı sistemleri için uygulanan bu durumun örnek oluşturan üç model için kısmi zamanlı ve ortalama regülasyonlu durumları Şekil 3.28'de ve devamında sunulmuştur.



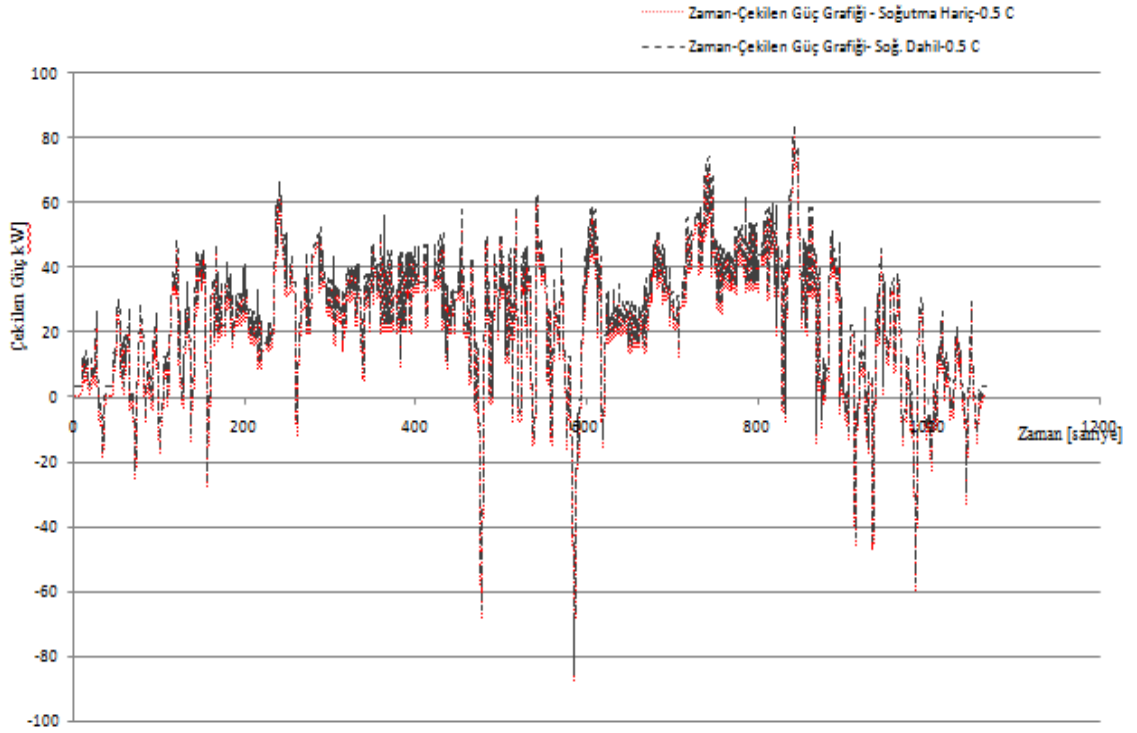
Şekil 3.28 1 C Modelinde Kısmi Zamanlı Soğutma Sisteminin Çalışması Sırasında Araç Hareketi İle Birlikte Çekilen Elektriksel Güç Grafikleri



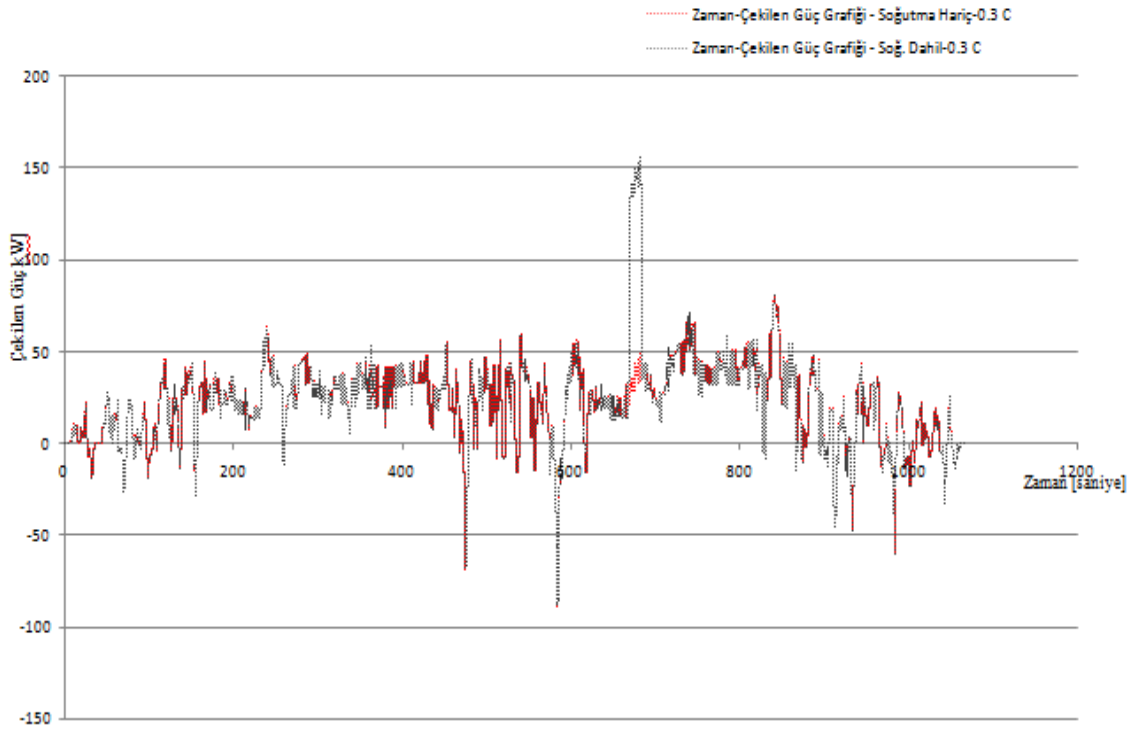
Şekil 3.29 1 C Modelinde Ortalama Soğutma Sisteminin Çalışması Sırasında Araç Hareketi İle Birlikte Çekilen Elektriksel Güç Grafikleri



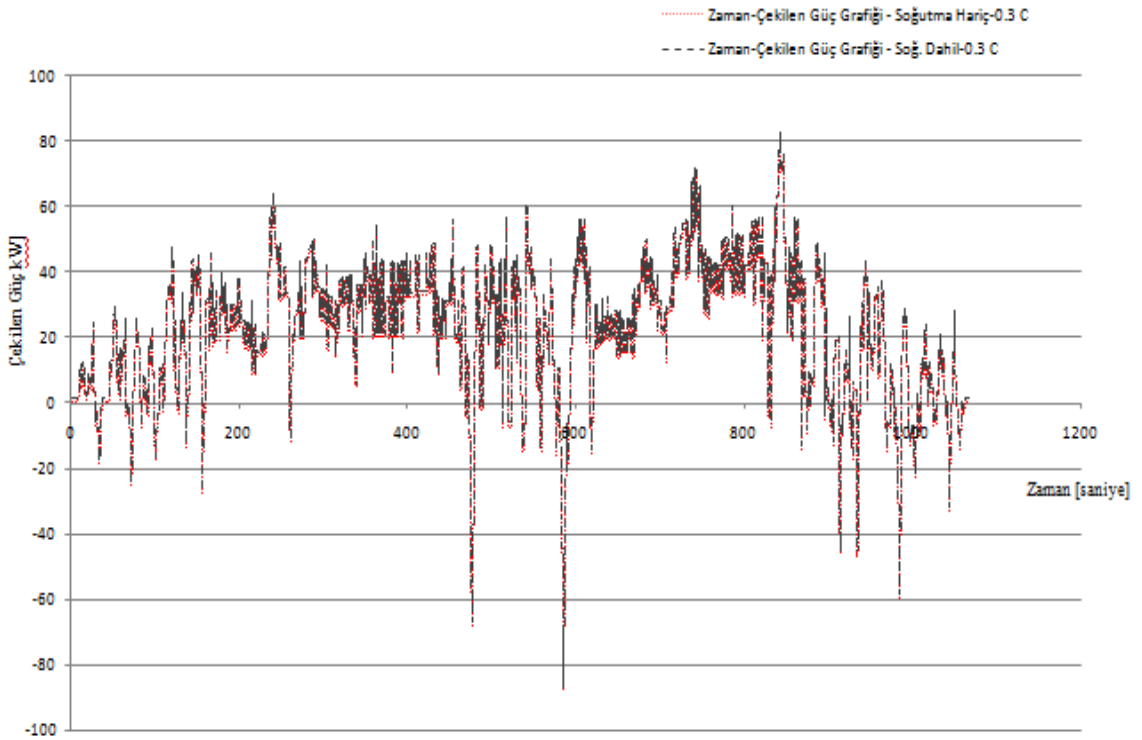
Şekil 3.30 0,5 C Modelinde Kısmi Zamanlı Soğutma Sisteminin Çalışması Sırasında Araç Hareketi İle Birlikte Çekilen Elektriksel Güç Grafikleri



Şekil 3.31 0,5 C Modelinde Ortalama Soğutma Sisteminin Çalışması Sırasında Araç Hareketi İle Birlikte Çekilen Elektriksel Güç Grafikleri



Şekil 3.32 0,3 C Modelinde Kısmi Zamanlı Soğutma Sisteminin Çalışması Sırasında Araç Hareketi İle Birlikte Çekilen Elektriksel Güç Grafikleri

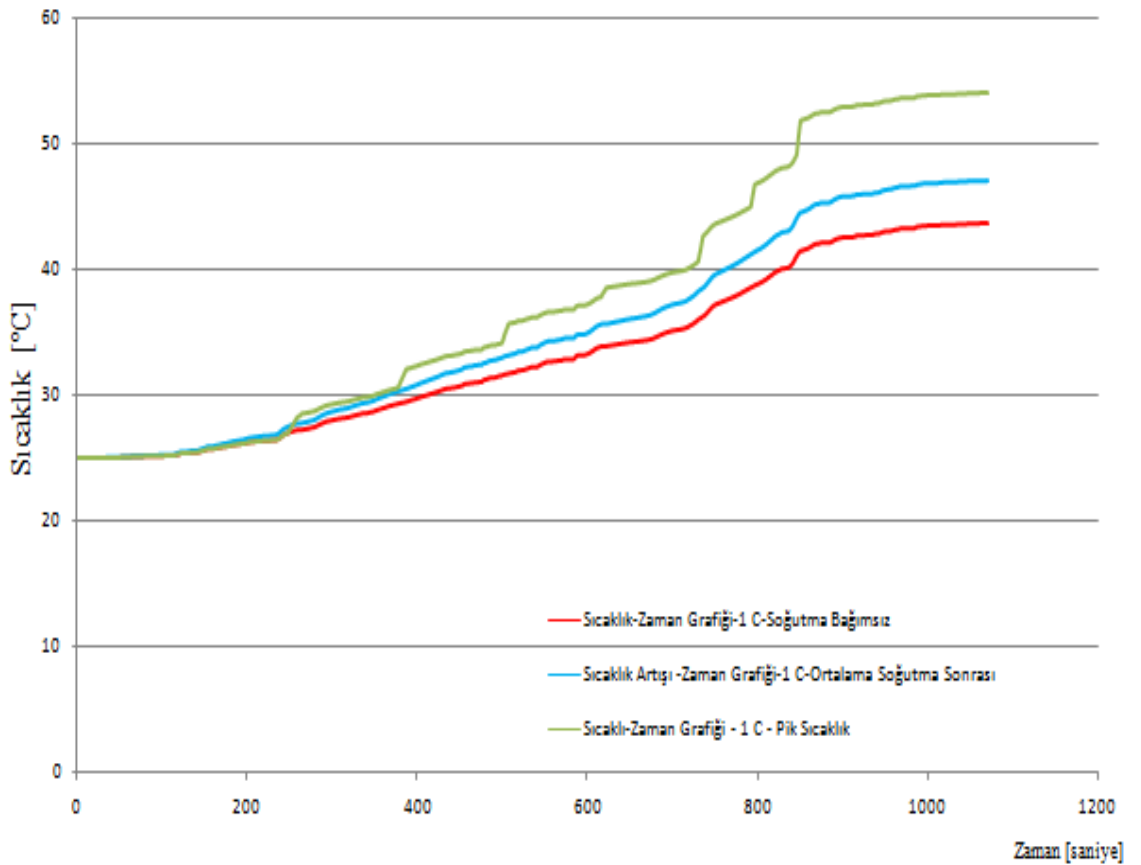


Şekil 3.33 0,3 C Modelinde Ortalama Soğutma Sisteminin Çalışması Sırasında Araç Hareketi İle Birlikte Çekilen Elektriksel Güç Grafikleri

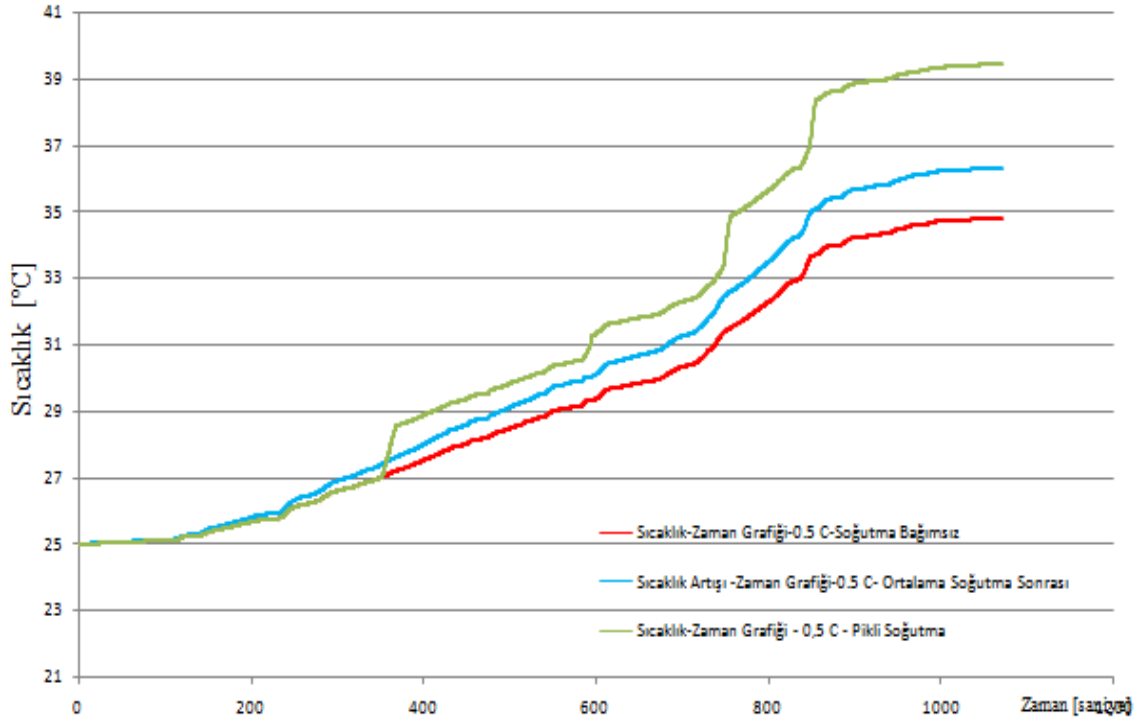
Yapılan revizyonlar ile elde edilen değişikliklerin gözlemlenmesi adına, tüm bağlantı şekillerinde soğutma sisteminin mevcut akülerden beslendiği varsayımı ile sıcaklık değişimi grafikleri elde edilmiştir.

Grafiklerde sıcaklık artışının en yüksek halini temsil eden durum, soğutmanın mevcut aküler üzerinden devrede olduğu kısmi zamanlı soğutma sistemlerini işaret etmiştir. Soğutmanın bağımsız bir enerji kaynağı tarafından beslendiği durum en düşük sıcaklık artışı eğrisini verse de gerçek olmaya uzak kalması durumu sisteminin yeniden yorumlanmasını gerektirmiştir.

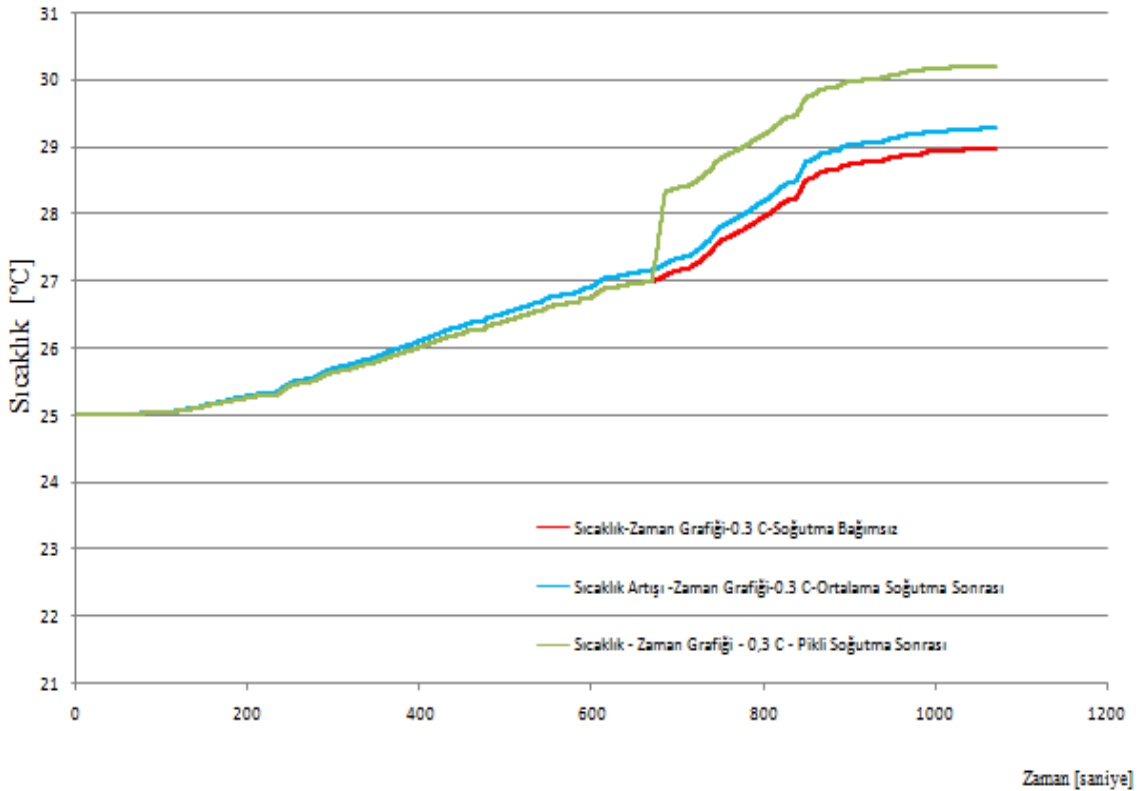
Son olarak ortalama bir değeri temsilen ortaya konulan sıcaklık artışı değeri, soğutma sisteminin mevcut akülerden beslenmesi halinde soğutmanın proses boyunca ortalama bir değerde uygulanması prensibini yansıtmıştır.



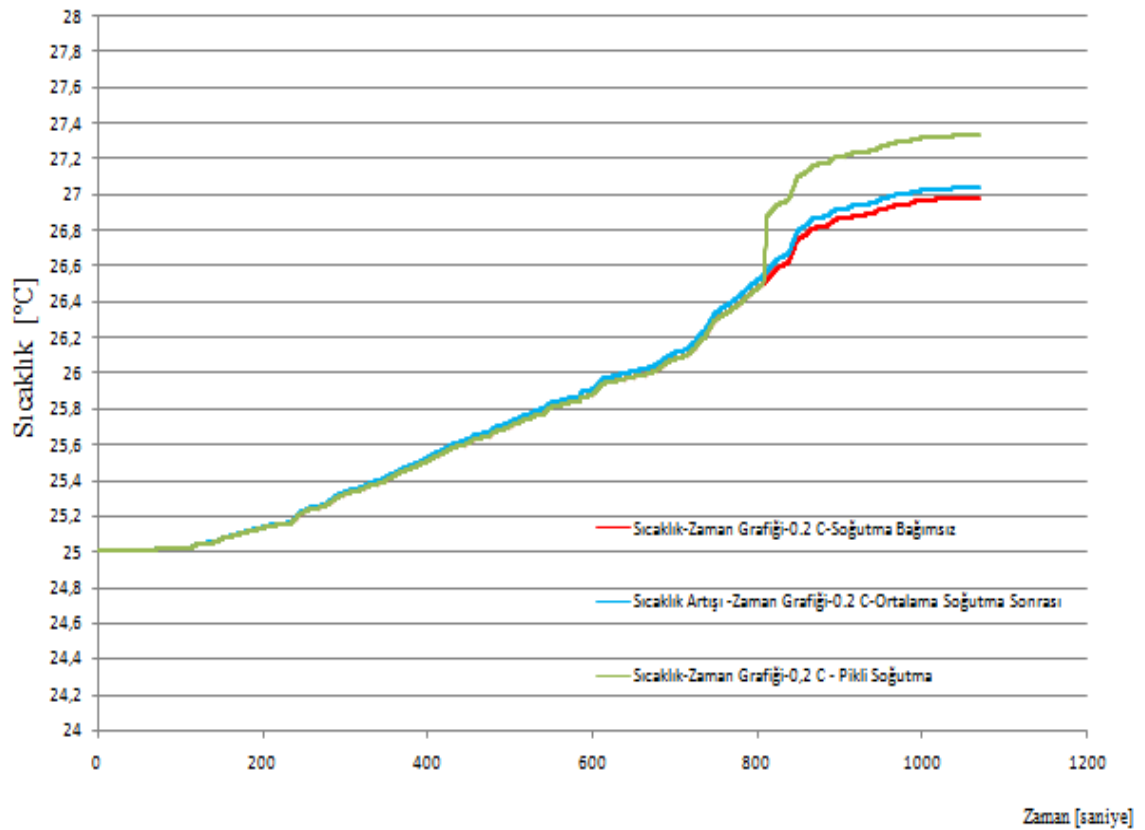
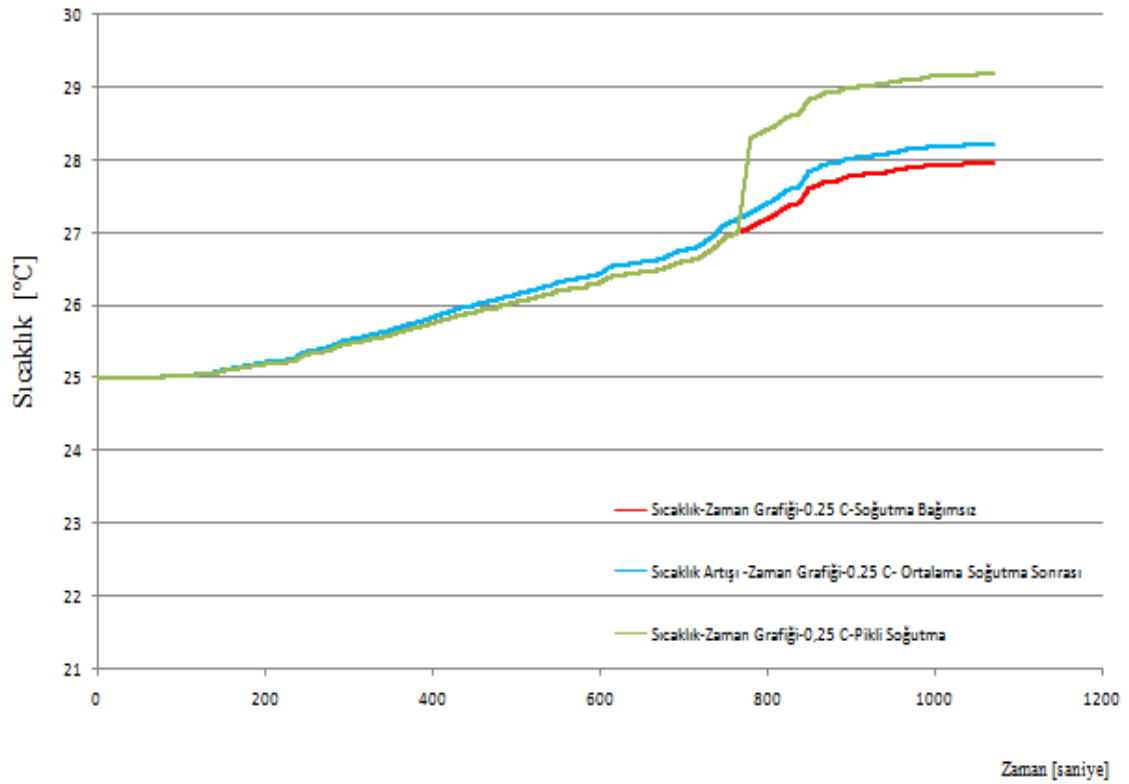
Şekil 3.34 1 C Modelinde Ortalama Soğutma Sisteminin Çalışması Sırasında Batarya Grubu Sıcaklık Değişimi Grafiği



Şekil 3.35 0,5 C Modelinde Ortalama Soğutma Sisteminin Çalışması Sırasında Batarya Grubu Sıcaklık Değişimi Grafiği

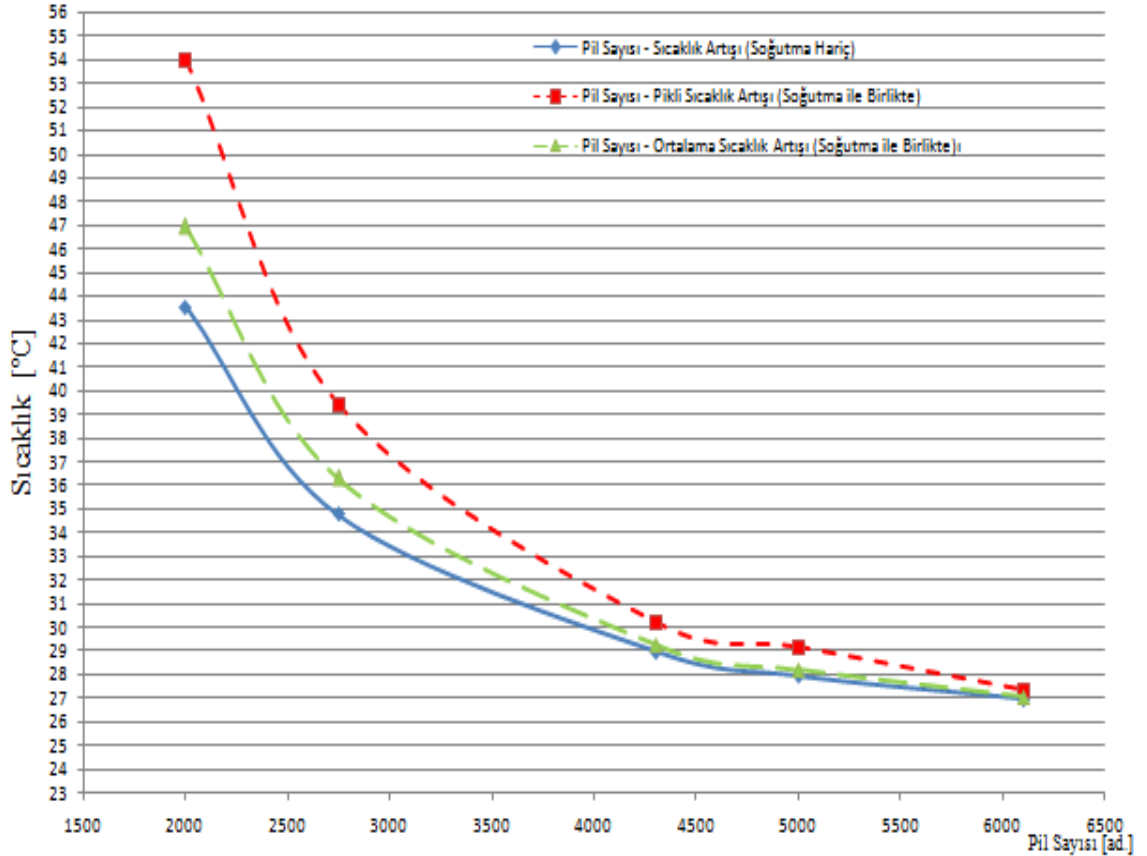


Şekil 3.36 0,3 C Modelinde Ortalama Soğutma Sisteminin Çalışması Sırasında Batarya Grubu Sıcaklık Değişimi Grafiği



Elde edilen grafik değerlerine bakıldığında, akülerin belirlenen ortalama soğutma gücü değerlerine bağlı olarak soğutulmasının termal getrisinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumu, yapılan sistem revizyonunun doğruluğunu ortaya koymaktadır.

Sistem kurulum değerlerinin netleştirilmesi adına soğutmanın bağımsız bir enerji sistemince desteklendiği durum ile soğutmanın aküden beslenen durumunun iki versiyonuna ait değerler Şekil 3.39'da tek baskıda sunulmaya çalışılmıştır.



Şekil 3.39 Tüm Modeller İçin Sıcaklık Artışı İle Pil Sayısının Karşılaştırıldığı Grafik

Grafik okuması yapıldığında, sistem soğutma aralığı 25 °C ile 27 °C arasında tutulduğu durumlarda ve sistemin çalışma aralığı 25 °C ile 30 °C olarak kabul edildiğinde sistem kurulumunda kullanılması gereken ideal akümülatör sayısının 4200 adet olduğu söylenebilmektedir. Soğutma sıvısı sıcaklığının 23 °C, COP değerinin 3,85 olarak belirlendiği sistem için 84 adet paralel ve 50 adet seri bağlantı hattı ile kurulacak sistemin çevrim ihtiyacını karşılayacağı görülmektedir.

BÖLÜM 4

SONUÇLAR

- Artemis Sürüş Çevrimi güç dataları ile oluşturulan termodinamik tabanlı simülasyon sonuçlarına bakıldığında, deşarj oranının azalmasıyla açığa çıkan ısı miktarının azaldığı ancak akü sayısına bağlı olarak sistem yatırım maliyetinin yükseldiği görülmektedir. Genel olarak; düşük deşarj oranı yüksek sayıda akü ve maliyet anlamına gelirken, açığa çıkan ısıнын azalması nedeniyle daha düşük bir işletme giderine sahiptir.
- 0,5 C ve 1 C deşarj oranlarında iki sistem için oluşturulan işletme fonksiyonlarına ait eğrilerin ortak grafikte birleştirilmesi sonucu bir başabaş grafiği elde edilmiştir. Buna göre işletme maliyeti üzerinden oluşan farkın yatırım maliyetleri arası farkı çok uzun sürede amorti ettiği, dolayısıyla işletme maliyeti yüksek olmasına karşın 1 C oranındaki kullanımın daha avantajlı olacağı net bir şekilde ortaya konulmuştur.
- Akü yüzey sıcaklığı aralığının 25 °C ile 35 °C aralığında bir toleransla hava soğutmalı sistem ile çalıştırılması, su soğutmalı chiller sistem ile karşılaştırılmış, çalışma sırasında aynı bağlantı şekli ile (aynı C-rate oranında) iki sistemde hava soğutmalı sistemlerin yatırım maliyetlerinin chiller sisteme göre çok daha düşük olduğu belirlenmiştir. İşletme fonksiyonuna bağlı olarak yapılacak yoruma göre hava soğutmalı sistemler daha avantajlıdır.
- Buna ek olarak, literatüre göre akülerin çalışma sıcaklığı ile voltaj miktarları ters orantılı olarak değiştiği görülmektedir. Düşük sıcaklık aralığında çalışan akülerin performanslarının çok daha yüksek olduğu, yaşanan ısıl pikler akülerin ve sistemlerin ömrünü azalttığı belirlenmiştir.

- Bu nedenle soğutma sıvısının hava soğutmalı sistemle soğutulması daha ekonomik olmasına karşın, sistem çalışma parametrelerine bakıldığında uygulanması doğru olmadığı tez çalışmasının temel savunmasını oluşturmaktadır.
- Plakalı eşanjör formunun taşınımıyla ısı transferi yoluyla elde edilecek soğutma gücü üzerinden analizler revize edilmiştir. Soğutma sisteminin mevcut bataryadan bağımsız ve bağımlı durumları incelemesi sonucu kısmi zamanlı soğutma uygulanamalarının yerine ortalama değerde ve tam zamanlı soğutma sistemlerinin uygulanmasının doğruluğu ortaya konulmuştur.
- Farklı elektriksel bağlantı modelleri üzerinden yapılan çalışmalar ile sistem kurulumu ve işletmesi için ideal parametreler tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Canbaz, H., (2011). Kanatlı Borulu Bir Isı Eşanjöründeki Isı Geçişinin Sayısal Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- [2] Kor, O., (2008). Kanatlı Borulu Bir Isı Değiştirgeçlerinin Karışık Taşınım Şartları İçin Sayısal Analiz, Bitirme Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- [3] Patent Yazısı, Elektrokimyasal Akümülatörler İçin Geliştirilmiş Isı Eşanjörü Modülü, Application No: 2011/07319, Altınay Robot Teknolojileri Anonim Şirketi.
- [4] Pesaran, A.A., (2001). "Thermal Management in EVs and HEVs: Issues and Solutions, National Renewable Energy Laboratory", Advanced Automotive Battery Conference, February 6-8, 2001, Las Vegas, Nevada, 1:379-384.
- [5] Ogata Y. ve Hamada S., (2000). "Battery Pack Investigation", Journal of Power Sources, 100:96-102.
- [6] Mi, C. vd., (2007). "Advanced Electro-Thermal Modeling of Lithium-ion Battery System for Hybrid Electric Vehicle Applications", IEEE, 1: 107-111.
- [7] Park, H., (2013). "A Design of Air Flow Configuration for Cooling Lithium Ion Battery in Hybrid Electric Vehicles", Research & Development Division, Hyundai Motor Company, Republic of Korea, 1:31-35.
- [8] Smith, K. ve Wang, C.Y., (2006). "Power and Thermal Characterization of a Lithium-Ion Battery Pack for Hybrid-Electric Vehicles", Electrochemical Engine Center (ECEC), Department of Mechanical and Nuclear Engineering, The Pennsylvania State University, University Park, PA 16802, USA, 160:662-673.
- [9] Sato, N., (2010). "Thermal Behavior Analysis of Lithium-ion Batteries for Electrical and Hybrid Vehicles", Journal of Power Sources, 99:70-77.
- [10] Fleckenstein, M. ve Bohlen, O., (2011). "Current Density and State of Charge Inhomogenities in Li-on Battery ", BMW Group, 80788 Munich, Germany, 196:4796-4778.

- [11] Onda, K. ve Ohshima T., (2005). "Thermal Behavior of Small Li-on Battery During Rapid Charge and Discharge Cycles", Department of Electrical and Electronic Engineering, Toyohashi University of Technology, 1-1 Hibarigaoka, Tenpaku-cho, Toyohashi-shi, Aichi-ken 441-8580, Japan, 158:535-542.
- [12] Wang, C.Y. ve Srinivasan, V., (2002). "Computituonal Battery Dynamics (CBD) - Electrochemical/Thermal Coupled Modeling and Multi-Scale Modeling", Electrochemical Engine Center, Department of Mechanical and Nuclear Engineering, Pennsylvania State University, University Park, PA 16802, USA, 110: 364-376.
- [13] Vaidyanathan, H. vd., (2000). "Heat Dissipation in A Lithium Ion Cell", COMSAT Laboratories, Clarksburg, MD, USA, 93:112-122.
- [14] Jeon, D.H. ve Baek, S.M., (2011). "Thermal Modeling of Cyclindrical Lithium Ion Battery During Discharge Cycle", School of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University, Seoul 151-744, Republic of Korea, 52:2973–2981.
- [15] Kerem A., (2014). “Elektrikli Araç Teknolojisinin Gelişimi ve Gelecek Beklentileri”, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 5 (1): 1-13 .
- [16] Polat, B.D. ve Keleş Ö., (2012). Metalürji Mühendisleri Odası Dergisi (Teknik Yazı) - Lityum İyon Pil Teknolojisi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [17] Mülâyim, A., (2010). Kanatlı Borulu Isı Değişiricilerinde Kullanılan Kollektörlerdeki Basınç Kaybının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- [18] Çengel, Y.A. ve Cimbala J.M. (2008). Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları, İkinci Baskı, 1:219-220.
- [19] Panasonic NCR 18650 Li-on Battery Guide, industrial.panasonic.com/cdb/www.data/pdf2/ACA4000/ACA4000CE240.pdf, 15 Mayıs 2016.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Onur YARAY
Doğum Tarihi ve Yeri : 10.11.1989 , Bahçelievler
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : yarayonur@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y.Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2016
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2011
Lise	Fen Bilimleri	Bahçelievler Dede Korkut Anadolu Lisesi	2007

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2011-2014	İstek İstanbul Teknik Isı Sistemleri Servis ve Taahhüt Ltd. Şti.	Mekanik Tesisat Proje Yöneticisi
2014-2016	Genel Mühendislik Yapı San. ve Tic Ltd. Şti.	Mekanik Tesisat Şantiye Şefi
2016	Ertek Müh. Elek. Mek. İmalat ve San. Tic. A.Ş.	Mekanik Tesisat Şantiye Şefi

