

T.C.
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAVA AKIŞ YÖNLENDİRİCİ KANATLARIN KULLANIMININ
PRİZMATİK LİTYUM-İYON BATARYA SICAKLIĞI ÜZERİNE
ETKİSİNİN FARKLI ÇALIŞMA ŞARTLARINDA DENEYSEL VE
SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Muhammet Yasin KABA

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali CELEN

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

ERZİNCAN
2023

Her Hakkı Saklıdır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HAVA AKIŞ YÖNLENDİRİCİ KANATLARIN KULLANIMININ PRİZMATİK LİTYUM-İYON BATARYA SICAKLIĞI ÜZERİNE ETKİSİNİN FARKLI ÇALIŞMA ŞARTLARINDA DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Muhammet Yasin KABA

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali CELEN

Günümüzde elektrikli araçlar, çevre dostu ve oldukça verimli olmaları nedeniyle içten yanmalı motorlu araçlara göre daha fazla öne çıkmaktadırlar. Elektrikli araçlar genellikle büyük hacimli bir batarya paketi, elektrik motoru ve rejeneratif frenleme sisteminden oluşmaktadırlar. Elektrikli araçları oluşturan en önemli ekipmanlardan biri olan bataryanın seçimi ve termal yönetimi önemlidir. Araştırmacılar hava ile, sıvı ile, faz değiştiren malzeme ile ve hibrit termal yönetim sistemleri gibi birçok farklı teknik ile bataryaların çalışma sıcaklığını istenilen seviyede (20°C-40°C) tutmaya çalışmaktadırlar. Bu çalışmada, elektrikli araçlarda kullanılan 20 Ah kapasiteye sahip torba tipi bir prizmatik lityum-iyon bataryanın termal yönetimi deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Akışkan olarak hava kullanılmış olup, akışkan giriş sıcaklığının (15°C, 25°C, 35°C), akışkan giriş hızının (0,5 m/s, 1 m/s, 1,5 m/s) ve deşarj hızının (2C, 3C, 4C) batarya yüzey sıcaklığına, batarya yüzey sıcaklık farkına ve ısı transfer hızına etkisi araştırılmıştır. Artan deşarj hızı ve hava giriş sıcaklığı ile batarya yüzey sıcaklıkları yükselirken, artan hava hızı ile batarya yüzey sıcaklıklarının azaldığı gözlemlenmiştir. Hava akış yönlendirici kanat kullanımı ile ortalama batarya yüzey sıcaklığında 6,35°C'ye varan iyileştirme gözlenmiş ve batarya yüzeyinde daha homojen sıcaklık dağılımı sağlanmıştır.

2023, 98 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Batarya termal yönetimi, Elektrikli araçlar, Hava ile soğutma, Termal performans

ABSTRACT

Master Thesis

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF THE USAGE OF AIR DIVERTER FINS ON TEMPERATURE OF PRISMATIC LI-ION BATTERY FOR DIFFERENT OPERATION CONDITIONS

Muhammet Yasin KABA

Erzincan Binali Yıldırım University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ali CELEN

Nowadays, electric vehicles stand out more than vehicles with internal combustion engines since electric vehicles are environmentally friendly and highly more efficient. Electric vehicles usually consist of a large-volume battery pack, electric motor and regenerative braking system. Selection and thermal management of the battery, which is one of the most important equipments that constitutes electric vehicles, are important. Researchers are trying to keep the operating temperature of the batteries at the desired level (20°C-40°C) with many different techniques such as air, liquid, phase change material and hybrid thermal management systems. In this study, the thermal management of a 20 Ah pouch-type prismatic lithium-ion battery used in electric vehicles was investigated experimentally and numerically. Air was used as the fluid, and the fluid inlet temperature (15°C, 25°C, 35°C), fluid inlet velocity (0,5 m/s, 1 m/s, 1,5 m/s) and discharge rate (2C, 3C, 4C) on the battery surface temperature, the battery surface temperature difference and the heat transfer rate were investigated. It was observed that the surface temperatures of the battery increased with increasing discharge rate and air inlet temperature, while the surface temperatures of the battery reduced with increasing air velocity. With the use of air diverter fins, improvements were observed in the average battery surface temperature up to 6,35°C and more homogeneous temperature distribution was achieved on the battery surface.

2023, 98 Pages

Keywords: Battery thermal management, Electric vehicles, Air cooling, Thermal performance

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının her aşamasında kıymetli bilgisini ve tecrübelerini benimle paylaşan, karşılaştığım her zorlukta beni teşvik eden, akademik bilgi birikiminin yanı sıra yolumu aydınlatan, kendisiyle beraber çalışmaktan ve her zaman öğrencisi olmaktan gurur duyduğum değerli danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Ali CELEN'e teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez çalışması boyunca çalışmalarına yardımcı olan ve yardıma ihtiyacım olduğum her anımda desteğini benden esirgemeyen değerli hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Orhan KALKAN'a teşekkürü borç bilirim.

Bu yüksek lisans tez çalışmasını, FBA-2021-809 proje numarası ile destekleyen Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkür ederim.

Sevgilerini hayatımın her aşamasında kalbimde hissettiğim, motivasyon ve desteklerini benden esirgemeyen değerli aileme şükranlarımı sunar ve teşekkür ederim.

Muhammet Yasin KABA

Mayıs, 2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	11
3. KURAMSAL TEMELLER.....	18
3.1. Batarya ile İlgili Temel Kavramlar	18
3.2. Elektrikli Araçlarda Batarya Termal Yönetim Sistemleri.....	21
3.2.1. Akışkan türüne göre batarya termal yönetim sistemleri.....	22
3.2.2. Enerji tüketim yöntemine göre batarya termal yönetim sistemleri	27
3.2.3. Soğutma sisteminin düzenine göre batarya termal yönetim sistemleri	28
3.2.4. Gelişmekte olan soğutma sistemleri.....	28
3.2.5. Batarya termal yönetim sistemlerinin karşılaştırılması.....	30
4. MATERYAL ve YÖNTEM.....	32
4.1. Materyal	32
4.2. Yöntem	34
4.2.1. Deneysel yöntem	34
4.2.2. Sayısal yöntem	39
5. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	43
5.1. Kanatsız Geometri İçin Deney Sonuçları.....	43
5.2. Kanatsız Geometri İçin Sayısal Analiz Sonuçları	47
5.3. Kanatsız Geometri İçin Deneysel ve Sayısal Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması	57
5.4. Kanatlı Geometri İçin Deney Sonuçları	57
5.5. Kanatlı Geometri İçin Sayısal Analiz Sonuçları	62
5.6. Kanatlı Geometri İçin Deneysel ve Sayısal Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması	71
5.7. Kanatsız ve Kanatlı Geometri İçin Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması	71

5.8. Kanatsız ve Kanatlı Geometri İçin Sayısal Analiz Sonuçların Karşılaştırılması	75
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	87
KAYNAKLAR	89



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Elektrikli Araçların Temel Bileşenleri.....	3
Şekil 1.2. Türkiye’de Elektrikli Araç Satışlarının Yıllara Göre Değişimi.....	4
Şekil 1.3. 2020 yılı Türkiye Otomobil Pazarı	5
Şekil 1.4. 2010-2020 Yılları Arasındaki Piyasa Verileri	6
Şekil 3.1. Batarya Termal Yönetim Sistemlerinin Sınıflandırılması	21
Şekil 3.2. Sıvı ile Batarya Termal Yönetim Sistemleri.....	23
Şekil 3.3. Hava ile Batarya Termal Yönetim Sistemleri.....	27
Şekil 4.1. Deneylerde Kullanılan Materyaller.....	32
Şekil 4.2. Kanat Geometrisi	34
Şekil 4.3. Veri Kayıt Cihazı	35
Şekil 4.4. Termal Anemometre	36
Şekil 4.5. Batarya Yüzeyindeki Sıcaklık Ölçüm Noktaları.....	37
Şekil 4.6. Bataryanın Hava Kanalına Yerleştirilmiş Görüntüsü	38
Şekil 4.7. Deney Düzeneği.....	39
Şekil 4.8. Mesh Yapısı	41
Şekil 5.1. Farklı Deşarj Hızlarında Batarya Voltajının Zamana Bağlı Değişimi.....	43
Şekil 5.2. Kanatsız Geometride 1,5 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzey Sıcaklığının Zamana Göre Deneysel Değişimi	44
Şekil 5.3. Kanatsız Geometride 1,0 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzey Sıcaklığının Zamana Göre Deneysel Değişimi	45
Şekil 5.4. Kanatsız Geometride 0,5 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzey Sıcaklığının Zamana Göre Deneysel Değişimi	46
Şekil 5.5. Kanatsız Geometride 1,5 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzey Sıcaklığının Zamana Göre Sayısal Değişimi.....	50
Şekil 5.6. Kanatsız Geometride 1,0 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzey Sıcaklığının Zamana Göre Sayısal Değişimi.....	51
Şekil 5.7. Kanatsız Geometride 0,5 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzey Sıcaklığının Zamana Göre Sayısal Değişimi.....	52
Şekil 5.8. Kanatsız Geometride 1,5 m/s Hava Hızında Isı Transfer Hızının Zamana Göre Sayısal Değişimi.....	53
Şekil 5.9. Kanatsız Geometride 0,1 m/s Hava Hızında Isı Transfer Hızının Zamana Göre Sayısal Değişimi.....	54

Şekil 5.10. Kanatsız Geometride 0,5 m/s Hava Hızında Isı Transfer Hızının Zamana Göre Sayısal Değişimi	55
Şekil 5.11. Kanatsız Geometri İçin Sayısal Analiz Sıcaklıklarının Deneysel Sıcaklıklara Göre Değişimi.....	57
Şekil 5.12. Kanatlı Geometride 1,5 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzey Sıcaklığının Zamana Göre Deneysel Değişimi	58
Şekil 5.13. Kanatlı Geometride 1,0 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzey Sıcaklığının Zamana Göre Deneysel Değişimi	59
Şekil 5.14. Kanatlı Geometride 0,5 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzey Sıcaklığının Zamana Göre Deneysel Değişimi	60
Şekil 5.15. Kanatlı Geometride 1,5 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzey Sıcaklığının Zamana Göre Sayısal Değişimi.....	63
Şekil 5.16. Kanatlı Geometride 1,0 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzey Sıcaklığının Zamana Göre Sayısal Değişimi.....	64
Şekil 5.17. Kanatlı Geometride 0,5 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzey Sıcaklığının Zamana Göre Sayısal Değişimi.....	65
Şekil 5.18. Kanatlı Geometride 1,5 m/s Hava Hızında Isı Transfer Hızının Zamana Göre Sayısal Değişimi.....	66
Şekil 5.19. Kanatlı Geometride 1,0 m/s Hava Hızında Isı Transfer Hızının Zamana Göre Sayısal Değişimi.....	67
Şekil 5.20. Kanatlı Geometride 0,5 m/s Hava Hızında Isı Transfer Hızının Zamana Göre Sayısal Değişimi.....	68
Şekil 5.21. Kanatlı Geometri İçin Sayısal Analiz Sıcaklıklarının Deneysel Sıcaklıklara Göre Değişimi.....	71
Şekil 5.22. Kanatsız ve Kanatlı Geometride 1,5 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzey Sıcaklığının Zamana Göre Deneysel Değişimi.....	72
Şekil 5.23. Kanatsız ve Kanatlı Geometride 1,0 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzey Sıcaklığının Zamana Göre Deneysel Değişimi.....	73
Şekil 5.24. Kanatsız ve Kanatlı Geometride 0,5 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzey Sıcaklığının Zamana Göre Deneysel Değişimi.....	74
Şekil 5.25. Kanatsız ve Kanatlı Geometride 1,5 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzey Sıcaklığının Zamana Göre Sayısal Değişimi	76
Şekil 5.26. Kanatsız ve Kanatlı Geometride 1,0 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzey Sıcaklığının Zamana Göre Sayısal Değişimi	77
Şekil 5.27. Kanatsız ve Kanatlı Geometride 0,5 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzey Sıcaklığının Zamana Göre Sayısal Değişimi	78
Şekil 5.28 Kanatsız ve Kanatlı Geometride 1,5 m/s Hava Hızında Isı Transfer Hızının Zamana Göre Sayısal Değişimi	79
Şekil 5.29 Kanatsız ve Kanatlı Geometride 1,0 m/s Hava Hızında Isı Transfer Hızının Zamana Göre Sayısal Değişimi	80

Şekil 5.30. Kanatsız ve Kanatlı Geometride 0,5 m/s Hava Hızında Isı Transfer Hızının Zamana Göre Sayısal Değişimi	81
Şekil 5.31. 4C deşarj hızı sonunda 15°C hava giriş sıcaklığında batarya yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımları.....	82
Şekil 5.32. 4C deşarj hızı sonunda 25°C hava giriş sıcaklığında batarya yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımları.....	82
Şekil 5.33. 4C deşarj hızı sonunda 35°C hava giriş sıcaklığında batarya yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımları.....	83
Şekil 5.34. 3C deşarj hızı sonunda 15°C hava giriş sıcaklığında batarya yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımları.....	83
Şekil 5.35. 3C deşarj hızı sonunda 25°C hava giriş sıcaklığında batarya yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımları.....	84
Şekil 5.36. 3C deşarj hızı sonunda 35°C hava giriş sıcaklığında batarya yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımları.....	84
Şekil 5.37. 2C deşarj hızı sonunda 15°C hava giriş sıcaklığında batarya yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımları.....	85
Şekil 5.38. 2C deşarj hızı sonunda 25°C hava giriş sıcaklığında batarya yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımları.....	85
Şekil 5.39. 2C deşarj hızı sonunda 15°C hava giriş sıcaklığında batarya yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımları.....	86

TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1.1. 2021 Yılına Ait Bazı Elektrikli ve Hibrit Araçlar.....	6
Tablo 1.2. Uygulamalarda Kullanılan Batarya Çeşitleri ve Özellikleri	7
Tablo 1.3. Elektrikli Araçlarda Batarya Paketi Oluşumunun Şematik Gösterimi	9
Tablo 3.1. Hibrit Batarya Termal Yönetim Sistemi Türleri.....	26
Tablo 3.2. Batarya Termal Yönetim Sistemlerinin Karşılaştırılması.....	30
Tablo 4.1. Deneylerde Kullanılan Bataryaya Ait Özellikler.....	33
Tablo 4.2. Sayısal Analiz Model Parametreleri ve Sınır Şartları.....	40
Tablo 4.3. Mesh Bağımsızlık Analizi	42
Tablo 5.1. Kanatsız Geometri İçin Batarya SoC %0 Olduğu Anlardaki Deneysel Sonuçlar.....	48
Tablo 5.2. Kanatsız Geometri İçin Batarya SoC %0 Olduğu Anlardaki Sayısal Analiz Sonuçları.....	56
Tablo 5.3. Kanatlı Geometri İçin Batarya SoC %0 Olduğu Anlardaki Deneysel Sonuçlar.....	61
Tablo 5.4. Kanatlı Geometri İçin Batarya SoC %0 Olduğu Anlardaki Sayısal Analiz Sonuçları.....	69

SİMGELER ve KISALTMALAR

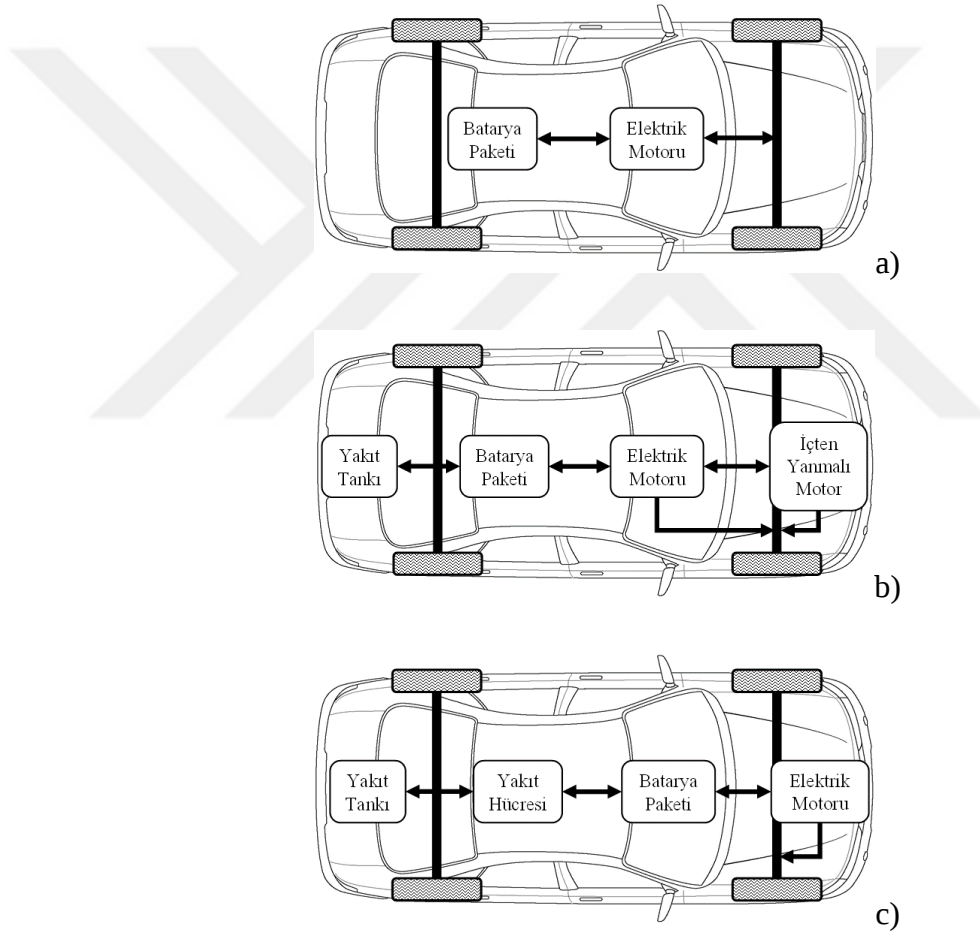
BTYS	Batarya termal yönetim sistemi
CCV	Kapalı devre voltajı
CFD	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
CNC	Bilgisayarlı sayısal kontrol
DoD	Deşarj oranı
LFP	Lityum demir fosfat
MSMD	Çoklu-ölçek çoklu-alan
NASA	Ulusal havacılık ve uzay dairesi
NCM	Nikel kobalt mangan
NiCd	Nikel kadmiyum
NiMH	Nikel metal hidrit
NTGK	Newman, Tiedemann, Gu ve Kim
OCV	Açık devre voltajı
OPEC	Petrol ihraç eden ülkeler örgütü
SEI	Katı elektrolit arayüzü
SoC	Doluluk oranı
T	Batarya yüzey sıcaklığı (K)
T _i	Akışkan giriş sıcaklığı (°C)
V	Akışkan giriş hızı (m/s)

1. GİRİŞ

Günümüzde içten yanmalı motorlara sahip araçlarla karşılaştırıldıklarında çevreci ve daha yüksek verimli olmaları sebebiyle elektrikli araçlar ön plana çıkmaktadırlar. Elektrikli araçların tarihçesi 19. yüzyıl dönemine dayanmakta olup tarihte bilinen ilk elektrikli aracı (lokomotif) Thomas Davenport 1835 yılında Amerika'da üretmiştir. Robert Anderson aynı yıllarda (1832-1839) İskoçya'da yaptığı çalışmalar sonucunda bir elektrikli araç (otomobil) geliştirmiş olup, bu araç şarj edilebilen bataryalara sahip değildi (Fessler, 2019). 19. yüzyılın sonlarına gelindiğinde ise Belçikalı yarışçı Camille Jenatzy'nin 1899 yılında geliştirdiği 'La Jamais Contente' olarak da bilinen elektrikli aracı 106 km/saat hız ile karada 100 km/saat hız sınırını aşan ilk araç olmuştur. Bu yıllardan sonra elektrikli araçlara talep artmış ve lokomotif, bisiklet ve otomobil üretilmeye başlanmıştır (Larminie ve Lowry, 2012). Üretilen otomobillerin dünyadaki ilk elektrikli taksi olarak New York'ta yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir. Bu elektrikli araçların kullanımı ile elektrikli araçlar %38'lik bir pazar payına sahipti. Dönemin piyasasında üretilen içten yanmalı motora sahip araçlar oldukça pahalı olup zor ve gürültülü çalışmaktaydı. 1908 yılında Henry Ford tarafından ilk seri üretilen Model T adlı benzinli araç, 1912 yılına gelindiğinde Amerikan araç piyasasında büyük değişikliklere yol açmıştır. Bu değişikliklerin başında seri üretildikleri için benzinli araçların fiyatlarının düşük ve menzillerinin ise daha yüksek olması gelmiştir. Bu sebeple elektrikli araçlar piyasadaki önemlerini kaybetmişlerdir. 1960'lı yılların başında Avrupa ve Amerika'daki hava kirliliğinin oluşumunda büyük bir rol oynayan yoğun üretim yapan fabrikalar, binlerce kişinin sağlık sorunları yaşamasına ve hatta hayatını kaybetmesine neden olmuştur. Araç sayısının artması ve ısınmada kullanılan zararlı yakıtlar sebebi ile elektrikli araçlar tekrar gündeme gelmişlerdir (Hedef Filo, 2021). 1971 yılında ise General Motors ve Boeing tarafından NASA için LRV (Lunar Roving Vehicle) adında Ay'ın düşük yer çekimli ortamında çalışmak üzere tasarlanmış hafif, elektrikli bir araç üretilmiştir. Bu araç Ay yüzeyinde hareket etme kabiliyetine sahip olup, Apollo astronotlarının uzay dışı faaliyetlerinin kapsamını genişletmelerine izin vermiştir. Bunun yanı sıra elektrikli araçların prestijini de yükseltmeye faydada bulunmuştur (Nasa Space Science Data Coordinated Archive, 2021). Alman araç üreticisi BMW, 1972 yılında 1602 E adlı bir konsept araç tasarlayıp, bu aracı dönemin

Münih Olimpiyat Oyunları'nda sergilemiş olmasına rağmen asla üretime geçememiştir. 1973 yılında çıkan OPEC Petrol Krizi sebebi ile benzin maliyetlerinin yükselmesi elektrikli araç konusunun tekrar gündeme gelmesine olanak sağlamıştır. Takip eden yıllarda Vanguard-Sebring adlı markanın üretmiş olduğu CitiCar adlı model, Washington DC'deki Elektrikli Araç Sempozyumunda sergilenmiştir. Citicar aracın amaçlanan kullanımı şehir içi olmasına rağmen, aracın klima ve açılır pencerelere sahip olmaması kamuoyunun bu araç hakkındaki fikrini olumsuz yönde etkilemiştir. 1975'te Consumer Reports adlı kuruluş Citicar'ı kabul edilemez olarak derecelendirinceye kadar aracın 2000 adetten fazla satışı yapılmıştır (Palinski, 2017). 1996 yılında General Motors tarafından EV1 isimli elektrikli araç Amerika'da üretilmiş ve finansal kiralama (leasing) aracılığıyla kullanıcıyla buluşturulmuştur. Daha sonra bu araç kullanıcılardan çok olumlu tepkiler almasına rağmen aracın üretimi durdurulmuş ve kiralanan araçlar firma tarafından geri çağırılmıştır (Fessler, 2019). 1998 yılına gelindiğinde ise Toyota, Prius adlı modelini tanıtmıştır. Bu model dünyada ilk kez ticari olarak pazarlanan ve seri üretilen hibrit araç olma özelliğini taşımaktadır. Üretildiği yıl yaklaşık 18 bin adet satılmış olup dünya çapında satışa sunulduğu ilk yıl ise 50 bin adet satılmıştır (Hedef Filo, 2021). 2010 yılında General Motors firması tarafından Chevrolet Volt adlı araç piyasaya sürülmüştür. Bu araç ticari olarak satılan ilk şarjlı hibrit araç olma özelliğini taşımaktadır. Yine 2010 yılının sonlarında Japon araç üreticisi Nissan, tamamen elektrikli, Nissan Leaf adlı modeli piyasaya sürmüştür. 2011 yılında Mitsubishi i-MiEV 10 binden fazla satış yapan ilk elektrikli araç olma unvanını almıştır. 2012 yılında Tesla şirketi dünyanın önde gelen otomobil gazetecileri ve tüketici teknolojisi inceleme şirketi Consumer Reports'tan hızla en yüksek puanları alan modelini (Model S) piyasaya sürmüştür. Bu araç çoğu kişi tarafından, dünyadaki her türden en iyi seri üretim arabası olarak kabul edilmiştir. 2013 yılında Nissan Leaf 50 binden fazla satış yapan ilk elektrikli araç olmuştur. Yine 2013 yılının belirli aylarında Nissan Leaf ve Tesla Model S, Norveç'te tüm araç kategorilerinde en çok satış yapan elektrikli araç olma unvanını kazanmıştır. Aynı yıl Renault ve Nissan firmaları bir çatıda birleşerek dünya çapında 100 bin şarjlı hibrit araç satışı gerçekleştirmiş ve bunu yapan ilk şirket olmuşlardır. 2014 yılında araç üreten firmaların büyük bir çoğunluğu mevcut modellerine hibrit araçlar ekleyerek veya tam elektrikli araçlar üreterek elektrikli araç piyasasında yer kazanmışlardır (Clean Technica, 2021).

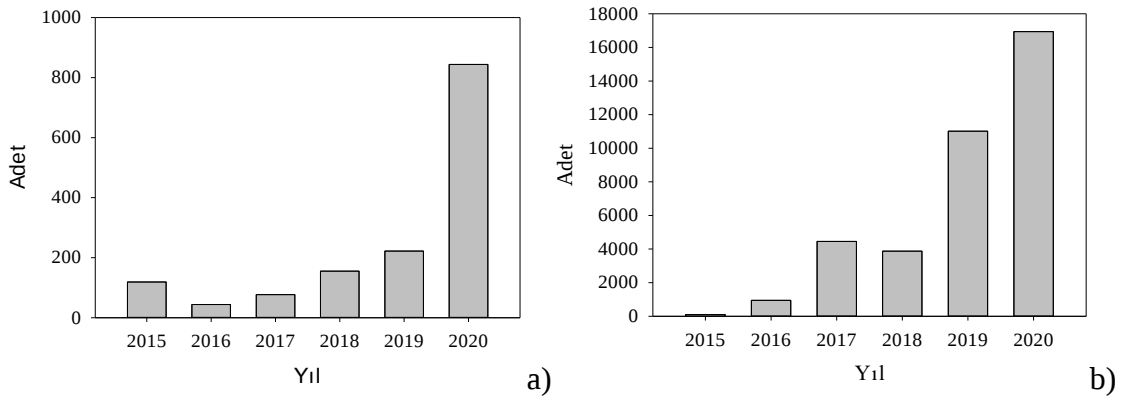
Karbondiyoksit, karbon monoksit, hidrokarbonlar, nitrojen oksitler gibi zararlı gazların çevreye salınımının olmadığı elektrikli motorlu araçların üretiminin ve piyasada kazandığı önemin artmasıyla birlikte, günümüzde araştırmacılar da elektrikli araçlar üzerine çalışmalarını arttırmışlardır. Yapılan çalışmalarda, içten yanmalı motorlara kıyasla daha düşük maliyetli işletme koşullarına sahip, egzoz emisyonu düşük ve sessiz bir ortam sağlayan elektrik motorlu araçların geliştirilmesi de ele alınmıştır (Tie ve Tan, 2013). Toplumdaki çevreye duyarlılığın da bu ölçütte artmasına ile birlikte küresel ısınma ve fosil yakıtların azalması gibi insan hayatını etkileyen birçok etkiden dolayı elektrikli araçlar birçok tüketicinin de tercihi olmaktadır (Şenlik, 2015).



Şekil 1.1. Elektrikli Araçların Temel Bileşenleri, a) %100 Elektrikli Araçlar, b) Hibrit Araçlar ve c) Yakıt Hücreli Araçlar

Elektrikli araçlar, tamamen elektrikli araç, hibrit araç ve yakıt hücreli araç olmak üzere üç ana sınıfa ayrılırlar (Ehsani vd., 2018). Şekil 1.1a)'dan da görülebileceği üzere, tamamen elektrikli araçlar temel olarak bünyesinde büyük hacme sahip bir bataryaya

paketi ve elektrik motorunu barındırırlar. Bataryadan alınan enerji kullanılarak elektrik motorlar sayesinde hareket sağlanması ve rejeneratif frenleme sayesinde bataryanın şarj edilebilmesi elektrikli araçların avantajları olarak sıralanırken, hibrit araçlara kıyasla daha büyük ağırlıklara sahip bataryalar kullanılması, içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla kısıtlı menzile sahip olmaları ve tam şarjlarının uzun süre almaları gibi dezavantajları da mevcuttur. Şekil 1.1b)'de şematik resmi verilen hibrit araçlar ise küçük hacme sahip bir batarya paketi, elektrik motoru, içten yanmalı bir motor ve yakıt tankından oluşmaktadırlar. Hibrit araçlar elektrik güçlerine göre mikro (2-5 kW), küçük (10-20 kW), tam (15-100 kW) ve şarjlı hibrit (70 kW'tan büyük) olarak sınıflandırılmaktadır. Bu araçların avantajları hem elektrik motorlarına hem de içten yanmalı motorlara sahip olmaları dolayısıyla veriminin büyük ölçüde artması ve egzoz emisyonlarının önemli oranda azalması olarak ifade edilebilirken dezavantajları ise elektrikli motor kullanılarak kat edilebilecek menzilin kısıtlı olması ve araç maliyetlerinin yüksek olmasıdır (Dinçer vd., 2016). Şekil 1.1c)'de şematik resmi verilen yakıt hücreli araçlarda ise güç, havanın ve yakıtın elektrokimyasal tepkimesi sonucu elektrik üreten yakıt hücresi sistemleri aracılığıyla elde edilir. Yakıt hücreleri genellikle anot, katot ve elektrolitten oluşurlar. Bu araçlarda yakıt hücreleri, elektrik motorunun ihtiyacı olan enerjiyi ürettikleri için elektrikli araç sınıfına girmektedirler. Yakıt hücreli araçlar yakıt hücresi, yakıt tankı, elektrik motoru ve bataryadan oluşmaktadırlar. Yüksek verimlilik, egzoz emisyonlarının önemli oranda az olması, gürültüsüz olmaları, hafif ve kompakt yapıda olmaları gibi avantajları varken, pahalı olmaları, hidrojenin

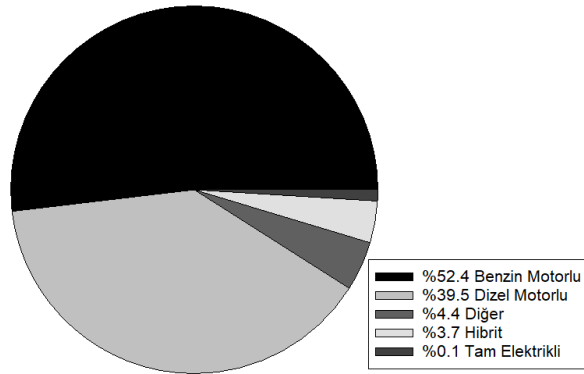


Şekil 1.2. Türkiye'de Elektrikli Araç Satışlarının Yıllara Göre Değişimi a) %100 Elektrikli araçlar, b) Hibrit araçlar (Türkiye Elektrikli ve Hibrit Araçları Derneği, 2021)

üretimi, dağıtımı ve depolanmasının zorlukları gibi dezavantajları vardır (Mustaffa vd., 2010).

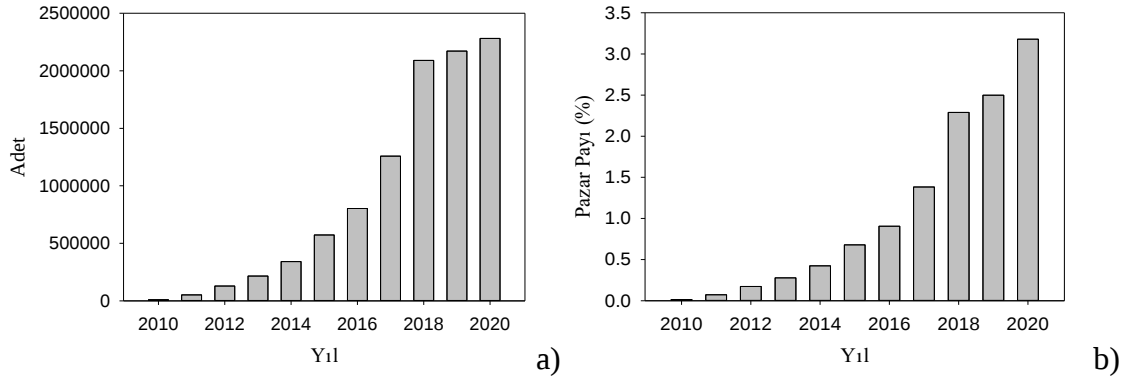
Elektrikli araçlar için günümüzün en yaygın problemlerinden birisi de şarj konusu olup çeşitli güçlerde şarj istasyonları ve çeşitli tiplerde şarj soketleri mevcuttur. Elektrikli araçlarda şarj, temaslı ve temassız olmak üzere ikiye ayrılır. Temaslı şarj elektrikli aracın bir kablo aracılığıyla şebeke ya da şarj istasyonuna bağlanması sonucu gerçekleşir. Temassız şarj ise cep telefonu gibi birçok elektronik cihazda kullanılan hem kablosuz hem de hızlı şarj teknolojisinin elektrikli araçlarda da uygulanması durumudur (Durmuş ve Kaymaz, 2020).

Ülkemizde önceki yıllar ile karşılaştırıldığında 2020 yılında elektrik araçlara olan talebin artmış olduğunu ve bu elektrikli araçlar arasından hibrit araçların daha çok tercih edildiği fark edilmektedir. Bu fark Şekil 1.2a) ve Şekil 1.2b)'deki elektrikli araç satışlarının yıllara göre değişimini gösteren grafikten de açıkça görülmektedir. 2020 Türkiye Otomobil Pazarı'na bakıldığında ise elektrikli araçlar bu pazarın %3,8'ini kapsamaktadırlar. Şekil 1.3'te de görüldüğü üzere bu pazarın geri kalan %52,4'ünü benzin motorlu araçlar, %39,5'ini dizel motorlu araçlar ve geriye kalan %4,4'ünü ise diğer araçlar oluşturmaktadır (Türkiye Elektrikli ve Hibrit Araçları Derneği, 2021).



Şekil 1.3. 2020 yılı Türkiye Otomobil Pazarı (Türkiye Elektrikli ve Hibrit Araçları Derneği, 2021)

Şekil 1.4a) ve Şekil 1.4b)'de verilen grafiklerde sırası ile 2010-2020 yılları arasında küresel çapta elektrikli araçların satış sayıları ve bu satışların otomobil piyasasındaki pazar payı görülebilmektedir (International Energy Agency, 2021). Bu grafiklerden de



Şekil 1.4. 2010-2020 Yılları Arasındaki Piyasa Verileri a) Dünyadaki Elektrikli Araçların Satış Sayısı, b) Elektrikli Araçların Küresel Pazardaki Payı (International Energy Agency, 2021)

anlaşılacağı üzere elektrikli araçların satış adetleri 2018 yılından itibaren hızla artmış ve dünya pazarında daha fazla yer almaya başlamışlardır.

2021 yılı için yapılan bir araştırmada dünya çapındaki birçok araç üreticisi arasından seçilmiş en iyi elektrikli ve hibrit araçların (Forbes, 2021a; Forbes, 2021b) batarya kapasitesi, beygir gücü, tork, yakıt tüketimi menzil ve fiyatlarına göre karşılaştırmalı listesi Tablo 1.1’de verilmiştir.

Tablo 1.1. 2021 Yılına Ait Bazı Elektrikli ve Hibrit Araçlar

Araç Adı	Model Yılı	Tipi	Batarya	Beygir	Tork	Karışık	Menzil	Fiyat
			Kapasitesi	Gücü	Yakıt	Tüketimi		
			kWh	hp	lb-ft	MPGe		
Audi e-tron (Car and Driver, 2021a)	2021	EV	95	355	414	78	220	80195
Chevrolet Bolt (Car and Driver, 2021b)	2021	EV	60	200	266	118	259	42695
Ford Mustang Mach-E (Car and Driver, 2021c)	2021	EV	68	266	428	93	211	50800
Honda Insight (Car and Driver, 2021d)	2021	HEV	1,2	151	99	48	540	30035
Honda Accord (Car and Driver, 2021e)	2021	HEV	1,3	212	129	48	614	35805
Hyundai Ioniq (Car and Driver, 2021f)	2020	HEV	1,6	139	109	55	654	32195
Hyundai Kona (Car and Driver, 2021g)	2021	EV	64	201	291	120	258	45600
Hyundai Sonata (Car and Driver, 2021h)	2021	HEV	1,62	192	139	47	594	36305
Kia Optima (Car and Driver, 2021i)	2020	HEV	1,76	192	271	42	668	23390
Lexus ES (Car and Driver, 2021j)	2020	HEV	29,1	215	163	44	567	39900
Porsche Taycan (Car and Driver, 2021k)	2021	EV	93,4	750	774	68	190	204330
Tesla Model 3 (Car and Driver, 2021l)	2021	EV	82	506	487	315	113	51190
Tesla Model Y (Car and Driver, 2021m)	2021	EV	75	456	471	303	111	55190
Toyota Avalon (Car and Driver, 2021n)	2021	HEV	-	215	163	43	567	44395
Toyota Camry (Car and Driver, 2021o)	2021	HEV	1,6	208	163	46	580	33715
Toyota Corolla (Car and Driver, 2021p)	2020	HEV	1,3	121	105	52	700	24095
Toyota Prius (Car and Driver, 2021q)	2021	HEV	8,8	121	105	52	610	33645
Toyota RAV4 Prime (Car and Driver, 2021r)	2021	HEV	18,1	219	163	40	594	33975
Volkswagen ID.4 (Car and Driver, 2021s)	2021	EV	82	201	229	97	250	45190

Tablo 1.2. Uygulamalarda Kullanılan Batarya Çeşitleri ve Özellikleri (Battery University Group, 2021b; Battery University Group, 2021c; Battery University Group, 2021d)

Özellik	Kurşun Bazlı					Nikel Bazlı					Lityum Bazlı					
	SLI (Sulu)	Derin Döngülü (Sulu)	AGM (Kuru)	Jel (Kuru)	ALC	NiCd kadmiyum	NiMH metal hidrit	NiFe	NiZn	NiH	LCO	LMO	NMC	LFP	NCA	LTO
Nominal Gerilim (V)		2					1,20		1,65	1,25	3,60	3,70-3,80	3,60-3,70	3,20-3,30	3,60	2,40
Şarj (V)	2,45	>2,40	<2,40	2,45		-			1,9	-	4,20		>4,20	3,65	4,20	2,85
Deşarj (V)		1,75						-				3,00		2,50	3,00	1,80
Minimal Gerilim (V)		-						-				2,50		2,00	2,50	1,50
Spesifik Enerji (Wh/kg)		30-50			20-30	45-80	60-120	50	100	40-75	150-200	100-150	150-220	90-120	200-260	70-80
Şarj Hızı (C)		0,1-0,5			>2-4	>1	0,5-1	-	Düzenli	-		0,7-1		1	1	1-5
Deşarj Hızı (C)	Yüksek	Orta	Orta veya Yüksek	Yüksek	>1	1	Orta	Yüksek	-	1	1-10	1-2	1-25	1	1-10	
Çevrim Ömrü	12-15	150-200	5-10 Yıl	>5-10	1000	300-500	20 Yıl	200-300	>70000	500-1000	300-700	1000-2000	1000-2000	500	3000-7000	
Termal Sınır (°C)		-						-			150	250	210	270	150	Yok
Kullanım	Otomobiller (Marş, Işık)	Az Sayıda Döngüye İhtiyaç Duyan Araç/ Cihazlar	Askeri, Uçak, Yarış Araçları, Nascar Araçları, Denizcilik	Otobüsler, Kanyonlar, Endüstri	Otomobiller, Askeri, Enerji Depolama	Uçaklar, Geniş Sıcaklık Aralığı Gereken Durumlar	Hibrit Araçlar, Tüketiciler	Bombalar, Roketler, Madencilik, Demiryolu	Ticari Pazar	Uydular	Cep Telefonu, Tablet, Laptop, Kamera	Elektrikli Aletler, Tıbbi Cihazlar, Aktarma Organları	Elektrikli Bisikletler, Tıbbi Cihazlar, Elektrikli Araçlar	Yüksek Akım ve Dayanıklılık Gerektiren Durumlarda	Medikal, Endüstriyel, Elektrikli Araçlar	Elektrikli Araçlar, Güneş Enerjili Aydınlatma

Bir elektrikli/hibrit araç tasarımında en önemli parametrelerden birisi uygun batarya tipinin seçimidir. Uygun batarya seçimi aracın performansı ve menzilinı doğrudan etkilemektedir. Elektrikli araçlarda kullanılabilecek birçok batarya çeşidi bulunmaktadır. Bu batarya çeşitleri Tablo 1.2’de nominal gerilim, şarj, deşarj, minimal gerilim, spesifik enerji, şarj hızı, deşarj hızı, çevrim ömrü, termal sınır ve uygulama alanlarına göre karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Batarya terminolojisinde önemli kavramlardan olan nominal gerilim, bataryanın deşarjı süresince sağladığı gerçek gerilim değeridir. Minimal gerilim, bataryanın üretici firma tarafında tavsiye ettiği deşarj kesme gerilimi olarak tanımlanabilir. Bir bataryanın spesifik enerjisi birim ağırlık başına sahip olduğu enerji miktarını temsil etmektedir. Bataryanın şarj ve deşarj hızı olarak bilinen değerler ise sırasıyla bataryaya aktarılan ve bataryadan çekilen akım miktarlarının, batarya kapasitesine oranı olarak tanımlanmıştır. Bununla birlikte bataryanın kaç adet şarj/deşarj döngüsü yapabildiği, bataryanın çevrim ömründen anlaşılmaktadır. Bataryalar için belirlenen termal sınır ise batarya sıcaklığının çıkabileceği maksimum değeri göstermektedir (Battery University Group, 2021a; Battery University Group, 2021b; Battery University Group, 2021c; Battery University Group, 2021d).

Bu bataryalar içinden genellikle lityum iyon bataryalar, yüksek özgül enerji (118-250 Wh/kg), yüksek enerji yoğunluğu (200-400 Wh/L), yüksek özgül güç (200-430 W/kg), yüksek çevrim ömrü (2000) ve ideal çalışma sıcaklığı (-20°C-60°C) gibi özellikleri nedeniyle tercih edilmektedirler (Yong vd., 2015).

Lityum iyon bataryalar genelde silindirik veya prizmatik geometrik yapıya sahiptir. Lityum iyon bataryalar kendi aralarındaki elektriksel bağlantı konfigürasyonları değiştirilerek (seri ya da paralel) elektrikli araçlarda kullanılmak üzere gruplar, modüller ve batarya paketlerini oluşturmaktadırlar. Tek bataryalar hücre olarak adlandırılmaktadırlar. Hücrelerin birbirlerine bağlanması ile gruplar, grupların birbirlerine bağlanmasıyla modüller, modüllerin birbirlerine bağlanmasıyla ise batarya paketleri oluşmaktadır (Lelie vd., 2018).

Tablo 1.3’te silindirik lityum iyon bataryaların kullanılması ile oluşturulan bir %100 elektrikli araca ait batarya paketi görülmektedir. Tablo 1.3’te gösterildiği gibi, bir adet batarya (hücre) 3,75 V gerilime, 3,1 Ah akıma ve 11,625 Wh güce sahiptir. 74 adet

bataryanın birbirleri ile paralel bağlanması sonucu bir adet grup oluşmaktadır. Bu grup 3,75 V gerilime, 229,4 Ah akıma ve 860,25 Wh güce sahiptir. 6 adet grubun birbirleri ile seri bağlanması sonucunda bir adet modül oluşmaktadır. Bu modül 22,5 V gerilime, 229,4 Ah akıma ve 5161,5 Wh güce sahiptir. 16 adet modülün birbirleri ile seri bağlanması sonucunda ise bir adet batarya paketi oluşmaktadır. Bu batarya paketi 360 V gerilime, 229,4 Ah akıma ve 82584 Wh güce sahiptir (Celen ve Kaba, 2021).

Lityum iyon bataryalar belirli çalışma sıcaklıkları aralığında verimli çalışmaktadır. Batarya sıcaklığının 20°C-40°C aralığının dışında ve bataryalar arası maksimum sıcaklık farkının 5°C'nin üzerinde olması durumunda, bataryaların performansının, ömrünün ve güvenliğinin olumsuz yönde etkilendiği farklı araştırmacılar tarafından ortaya koyulmuştur (Pesaran, 2002; Ye vd., 2015; Chen vd., 2016; Wang vd., 2016; Arora, 2018; Zhang vd., 2018; Lu vd., 2020; Celen ve Kalkan, 2021; Kalkan vd., 2021b).

Tablo 1.3. Elektrikli Araçlarda Batarya Paketi Oluşumunun Şematik Gösterimi (Celen ve Kaba, 2021)

	Gerilim	Akım
Hücre	3,75 V	3,1 Ah
(Tek Batarya)	↓	↓
Grup	3,75 V	229,4 Ah
(74 adet bataryanın birbirleri ile paralel bağlanması)	↓	↓
Modül	22,5 V	229,4 Ah
(6 adet grubun birbirleri ile seri bağlanması)	↓	↓
Paket		
(16 adet modülün birbirleri ile seri bağlanması)	360 V	229,4 Ah

Buna ek olarak, bataryalardaki sıcaklık artışının elektrikli araçların performansını etkilemesinin yanı sıra bataryaların ömrünü de olumsuz açıdan etkilemektedir. Sıcaklık, bataryadaki katı elektrot ara yüzey katmanının oluşum hızını ve çatlak yayılma hızını

doğrudan etkilediği için batarya ömrünü belirleyen önemli bir faktördür. Daha düşük sıcaklıktaki çalışma koşulları, katı elektrot ara yüzey katmanının büyümesini yavaşlatarak batarya ömrünü uzatır. Sıcaklık artışına bağlı olarak oluşan lityum iyon kayıpları nedeni ile batarya kapasitesinin de azaldığı görülür. Daha yüksek sıcaklıklar, bataryadaki çatlak büyüme oranını ve elektrot ara yüzey katmanı tabakasının büyüme oranını arttırarak, çatlak yüzeylerde daha fazla elektrot tabakası ara yüzey katmanı oluşumuna neden olur. Bataryada oluşan çatlak yayılması sıcaklığın artmasıyla artar ve bu çatlakların yayılmasının kapasite ve güç kaybına sebep olur (Li vd., 2018).

Bu çalışmada, batarya yüzeyinde daha etkin bir soğutma yapabilmek (ortalama batarya sıcaklığını düşürmek ve batarya yüzeyinde daha homojen bir sıcaklık dağılımı sağlamak) için hava akış yönlendirici kanatlar üretilmiş olup bunların kullanımının soğutma performansına etkisi incelenmiştir. Yapılan deneylerle ve sayısal analizlerle farklı hava giriş sıcaklıklarında, hava hızlarında ve deşarj hızlarında hava akış yönlendirici kanatların kullanıldığı batarya ile bu kanatların kullanılmadığı durumda termal performansların karşılaştırılması yapılmıştır. Bataryaların havayla soğutulması konusundaki deneysel çalışmaların kısıtlı sayıda olması sebebi ile tez kapsamında yapılan çalışma ile literatürdeki boşluğun doldurulması düşünülmektedir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Literatürde elektrikli araçların bataryaları genellikle sıvı akışkan kullanılarak soğutulmakta olup hava ile soğutulduğu kısıtlı sayıdaki çalışmalar şöyle özetlenmiştir:

Giuliano vd. (2012) yüksek kapasiteli lityum titanat bataryaların hava ile soğutulmasını alüminyum köpük tabanlı bir ısı değiştiricisi kullanarak deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada bir batarya paketi, 2,88-3,96 m³/saat hava debisinde bataryanın şarj ve deşarj durumunda ortaya çıkan sıcaklıklarını araştırmışlardır. Deneysel sonuçlar bataryadaki sıcaklık artışının 200 A şarj ve deşarj döngüsü durumunda dahi 10°C altında olduğunu göstermiştir ve hava soğutmalı bir sistemin termal yönetimi için gerçekçi bir çözüm olduğunu ortaya koymuştur. Buna ek olarak, güç tüketimi için yapılan hesaplamalar ile böyle bir soğutma sisteminin elektrikli bir araçta oluşturacağı enerji ek yükünün kabul edilebilir bir seviyede olduğunu ve bunun da genel araç verimliliğini artırdığını saptamışlardır.

Jin vd. (2014) çalışmalarında, elektrikli araç bataryalarının termal yönetimi için tasarladıkları bir mini kanallı soğutucu plakanın sayısal ve deneysel analizini yapmışlardır. 4 adet li-iyon bataryayı soğutmak üzere tasarlanan soğutucu plakanın düz kanatçıklı ve eğik kanatçıklı olmak üzere iki farklı konfigürasyonu bulunmaktadır. Soğutucu akışkan olarak su kullanılmış ve suyun farklı debilerinin soğutma performansına etkisi incelenmiştir. Soğutucu plakanın bir CFD yazılımı ile iki boyutlu simülasyonu farklı çalışma şartlarında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada, bataryanın farklı şarj/deşarj hızlarındaki yaydığı 220 W-1240 W aralığındaki ısı yük altında soğutucu plakanın performansı incelenmiştir. Sonuç olarak, eğik kanatçıklı tasarımla ısı transfer katsayısında %25 artış elde edilmiştir.

Sun ve Dixon (2014) yaptıkları sayısal ve deneysel çalışmada, hava giriş ve çıkışının aynı tarafta olduğu (U tipi) ve karşıt taraflarda olduğu (Z tipi) akış kanallarının batarya paketleri üzerindeki soğutma performanslarını incelemişlerdir. Deneysel çalışmada 80 adet batarya hücresi, hücre soğutma plakaları ve alt-üst soğutma plakaları içeren bir batarya paketi kullanılmıştır. Deneyde kullanılan batarya paketinde U tipi bir akış kanalı kullanılmıştır. Soğutma için kullanılan hava 101.88 m³/saat debisine ve 29°C sabit sıcaklığa sahiptir. Bu incelemelerde, giriş ve çıkış akış kanallarının geometrilerinin,

soğutma kanallarının akış hızlarının, soğutmada kullanılan plakaların malzemelerinin batarya paketinin ısıl davranışı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Sonuç olarak, batarya paketinde bulunan hücreler arası sıcaklık farkı yaklaşık 1,1°C'ye kadar düşürülmüştür. Bunula birlikte batarya paketindeki toplam basınç kaybının %43 daha iyileştirebilecek şekilde tasarım önerilerinde bulunmuşlardır.

Wu vd. (2016) Li-iyon bataryalardan oluşan bir batarya paketini hava ile soğutmak için bakır ağ ile geliştirilmiş kompozit faz değişim malzemelerini kullanmışlardır. Yapılan deneysel çalışmada, 12 Ah kapasiteye sahip 5 bataryadan oluşan batarya grubu kullanılmış olup, hava hızının (0-4 m/s) ve deşarj hızının (1-5C) batarya sıcaklığı üzerine etkisi araştırılmıştır. Kullanılan geliştirilmiş kompozit faz değişim malzemelerinin, özellikle zorlu çalışma koşullarında, geleneksel doğal taşınım ve faz değişim malzemesi teknolojisine kıyasla çok daha iyi akışkan sıcaklık dağılımı ve sıcaklık homojenliği sağladığını belirlemişlerdir.

Panchal vd. (2017) yaptıkları deneysel ve sayısal çalışmada, prizmatik bir Li-iyon pil hücresine yerleştirilmiş mini kanallı soğuk plakalar içindeki sıcaklık ve hız dağılımlarını incelemişlerdir. Çalışmalarında 20 Ah kapasiteye sahip batarya kullanılmış olup 0.5784 m/s hızındaki akışkan (su) ile soğutulmuştur. 1C ve 2C deşarj hızlarında çalıştırılan bataryada akışkan giriş sıcaklığı 5°C -25°C arasındaki sıcaklıklarda tutulmuştur. Yapılan çalışma sonucunda; mini kanallı soğutma plakalarının sıcaklığının artan deşarj hızı ile arttığı ve en yüksek sıcaklığın batarya anot ve katot bağlantı bölgesinde olduğu gözlemlenmiştir.

Ping vd. (2018) Li-iyon batarya modülünün hava ile soğutulmasında faz değiştirici materyal ve kanatlardan oluşan bir yapının soğutma performansına etkilerini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Deneysel çalışmada 10 Ah kapasiteye sahip batarya kullanılmış olup 1-3C deşarj hızı aralığında batarya ısı performansını araştırmışlardır. Deneysel çalışma kısmında doğal taşınım, ısı emici plakalar, faz değiştirici materyal ve faz değiştirici materyaller ile bütünleşen kanat yapısının etkilerini incelemişlerdir. Sayısal çalışmalarında ise beş hücreden oluşan batarya takımını farklı kimyasal bileşime sahip faz değiştirici materyallerin, kanat kalınlıklarının, faz değiştirici materyal kalınlıklarının etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, faz değiştirici materyal ile kanat yapısının birlikte kullanıldığı durumlarda diğer soğutma durumlarına göre en düşük

batarya sıcaklığı ve bataryalar arasında en düşük sıcaklık farkını elde etmişlerdir. Ayrıca kanat ya da faz değiştirici materyalin kalınlığının uygun olarak belirlenmesinin de soğutma performansını etkilediğini belirtmişlerdir.

Wang vd. (2019) 37 Ah kapasiteye sahip bir Li-iyon bataryanın hava ile soğutulmasını deneysel olarak incelemişlerdir. Yapılan çalışmada, batarya 3C deşarj hızına kadar ulaşırken ve 10-15-20 m³/saat debisindeki hava kullanılmış olup bu şartlarda hava akış hızının, akış yönünün, hava akışını tersine çevirme zamanlamasının ve hava kanalı kalınlığının batarya yüzeyinde oluşturduğu sıcaklık dağılımını araştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, doğal konveksiyonlu deşarj işleminde elektrotlara yakın olan kısmın en yüksek sıcaklığa ulaştığı ve en düşük sıcaklık bölgesinin ise elektrotlardan uzak kısımda olduğu gözlemlenmiştir. Buna ek olarak, ısı üretim hızı elektrot tarafında önemli ölçüde daha yüksek olup maksimum yüzey sıcaklığı farkının 3C deşarj hızında yaklaşık 12,2°C olduğunu da belirtmişlerdir.

Li vd. (2019) prizmatik bataryaların hava ile soğutulmasını bakır ağ ile birleştirilmiş silika soğutma plakaları ile deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Deneysel çalışmada 16 Ah kapasiteye sahip batarya kullanmış olup 5 m/s hızındaki hava ile soğutulmuştur. 1-5C deşarj hızı aralığında çalıştırılan bu bataryada silika soğutma plakası kalınlığının, fan sayısı, hava hızının ve hava giriş pozisyonunun soğutma performansına etkilerini incelemişlerdir. Sayısal çalışmalarında ise tek bir batarya ve çift silika plakalı beş hücreden oluşan batarya takımının farklı hava hızları ve deşarj hızları altında soğutma performansını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda silika levhanın optimum kalınlığı 1.5 mm olarak belirlenmiş olup bataryanın maksimum sıcaklığı hava hızının artmasıyla azalmış ancak optimum hava hızı 3,5 m/s olarak tespit edilmiştir.

Sheng vd. (2019) serpantin kanallara sahip bir soğutma plakası kullanarak Li-iyon bataryaların termal yönetimi hakkında sayısal bir araştırma yapmışlardır. Yapılan çalışmada 8 Ah kapasiteye sahip batarya kullanılmış olup, 250-2000 L/s debiye sahip akışkan (su) ile soğutulmuştur. 3-9 C deşarj hızı aralığında çalıştırılan bataryada 7 farklı soğutma plakası kullanılmıştır. Araştırmada, bu soğutma plakalarının arasındaki tasarım, kanal genişlikleri, akışkanın plaka üzerindeki giriş ve çıkış yerinin batarya yüzeyindeki sıcaklık dağılımına etkisi 30°C sabit akışkan giriş sıcaklığında

incelenmiştir. Çalışma sonucunda çift girişli ve çıkışlı soğutma plakası kanalının termal yönetim kabiliyeti, tek giriş ve çıkışa sahip soğutma plakası kanalından daha üstün olduğunu, kanal genişliğini arttırmanın, hücre maksimum sıcaklık artışının yanı sıra sıcaklık farkı üzerinde küçük bir etkisinin olduğunu; ancak, güç tüketimi oranı, kanal genişliğinin artmasıyla belirgin bir şekilde azaldığını belirtmişlerdir.

Liu vd. (2019) ağaç benzeri bir konfigürasyona sahip mini kanallı soğutucu plaka ile bir prizmatik bataryanın ısıl yönetimini sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Yapılan deneysel çalışmada 10 Ah kapasitede bir adet LFP bataryanın 4C deşarj oranı ile ısı üretimi elde edilirken soğutucu akışkan olarak 25°C giriş sıcaklığına sahip su kullanılmıştır. Bataryanın ön ve arka yüzeyine 1–4 mm² arasında değişen kesit alanlarına sahip mini kanallı iki adet soğutucu plaka yerleştirilerek soğutma sistemi oluşturulmuştur. Soğutucu plakada paralel akış uygulaması ile maksimum batarya sıcaklığı 33,08°C, maksimum sıcaklık farkı 5,25°C olarak ölçülmüştür. Ters akış uygulamasında ise maksimum batarya sıcaklığı 31,82°C, maksimum sıcaklık farkı 2,96°C olarak ölçülmüştür. Çalışmada ayrıca soğutucu plaka kanal genişliği ve açılarının optimizasyonu yapılmıştır. Optimize edilen kanal yapısı ile maksimum batarya sıcaklığında 0,52°C azalma, sistemdeki basınç kaybında ise 6,73 Pa artış gözlemlenmiştir.

Li vd. (2019) mini kanallı soğutucu plaka ile soğutulan 50 V gerilime sahip bir Li-iyon batarya paketinin eşdeğer devre modeli kullanılarak üç boyutlu termal model oluşturmuşlardır. Batarya paketinde 14 adet 20 Ah kapasiteye ve Li [Ni-CoMn]O₂ (NCM) katot malzemesine sahip prizmatik batarya kullanılmıştır. 0.5C ile 4C arasında değişen deşarj oranı ve 0,1 m/s ile 0,01 m/s arasında değişen soğutucu akışkan debisi şartlarında sistemin simülasyonu yapılmıştır. 0,1 m/s debi ile yüksek deşarj oranlarında maksimum batarya sıcaklık farkı 5°C'nin altında tutulabilirken, debi 0,01 m/s olduğunda sıcaklık farkı 10°C'yi geçtiği tespit edilmiştir. Bataryalar arası homojen olmayan bu sıcaklık değerinin ise bataryalar arasında dengesiz indirgenmelere sebep olduğu belirtilmiştir.

Liu vd. (2020) bir batarya paketinin ısıl performansı üzerinde şarj/deşarj oranı, ortam sıcaklığı, ısıl kaynak karakteristiği ve ısıl kapasitans değerlerinin etkilerini araştırmak için sıvı bazlı bir BTYS'ni deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler, batarya paketinin

195 A ve 120 A değerinde şarjı/deşarjı ile yapılmıştır. Hücresler arasına U-tipi serpantin yapısına sahip soğutucu plakalar yerleştirilerek batarya paketinin ısıl yönetimi sağlanmıştır. Soğutucu akışkan olarak ise %50 karışım oranında su-glikol kullanılmıştır. Ortam sıcaklığı -20°C ile 45°C arasında belirli sıcaklıklarda sabit tutularak sistem performansına etkileri incelenmiştir. Soğutucu akışkan sıcaklığı ise 15°C ile 40°C arasında değiştiği belirtilmiştir. Ayrıca soğutucu plakalardaki akış düzeni ve basınç kaybını optimize etmek için sistemin CFD simülasyonu yapılmıştır. Yapılan simülasyon ile soğutucu plakalardaki akış bölmelerinin optimum açıları belirlenerek en uygun geometrik yapı oluşturulmuştur.

Patil vd. (2020) alışmalarında elektrikli araçlarda kullanılan su soğutmalı Li-iyon pil hücresi ve paketinin, U dönüşü tipi mikro kanallı soğutucu plaka ile yüksek deşarj hızında ısıl performansını incelemişlerdir. Yapılan alışmada 20 Ah kapasiteye sahip batarya kullanılmış olup, 0.83-3.33 ml/s debisindeki akışkan (su) ile soğutulmuştur. 3C ve 4C deşarj hızlarında çalıştırılan bataryada 4 farklı soğutma plakası kullanılmıştır. Çalışmada, bu soğutma plakaları arasındaki tasarım ve plakada bulunan kanalın hidrolik çapının termal performansa etkisi 5-35°C arasında değişen akışkan giriş sıcaklıklarında incelenmiştir. Çalışma sonucunda yüzey alanı kapsama oranı ve kanal hidrolik çapı sırasıyla 0.750 ve 1.54 mm olan soğutucu plaka, bataryada soğutmayı iyileştirmek için önermişlerdir. Önerilen tasarımın sıcaklık ve sıcaklık farkını sırasıyla %32,2 ve %950,1 azalttığını tespit etmişlerdir.

Amaleśh ve Narasimhan (2020) yüksek deşarj hızlarında Li-iyon pil modüllerinin soğutulması için yedi farklı yeni mini kanallı soğutma plakası (MCP) tasarımı önermişlerdir. alışmalarında 45 Ah kapasiteli 5 adet batarya kullanılmış olup 0,1 m/s giriş hızındaki akışkan (su) ile soğutulmuştur. 1C-3C arasında deşarj hızlarında çalıştırılan bataryalarda akışkan giriş sıcaklığı sabit 25°C de tutulmuştur. Yapılan alışma sonucunda mini kanal içeren soğutucu plakaların yüksek deşarj oranlarında Li-iyon bataryaların soğutulması için en uygun yöntem olduğu buna ek olarak kanalların termo-hidrolik performanslarının geleneksel dikdörtgen plakalarla karşılaştırıldığında daha iyi bir soğutma performansı gösterdiklerini açıklamışlardır. Bu çalışmada göz önüne alınan tasarımlardan dairesel yarık ve zig-zag ile nitelendirilen kanal tasarımlarının yapılan 7 tasarım içerisinden en iyi soğutma performansına sahip

olduklarının tespit etmişlerdir. Tüm tasarımların geleneksel dikdörtgen plakalara kıyasla daha iyi bir sıcaklık homojenliği elde ettiğini ancak yine dairesel yarı ve zig-zag ile nitelendirilen kanal tasarımlarının yapılan 7 tasarım içerisinde en iyi sıcaklık homojenliği elde ettiğini belirtmişlerdir. Bu sayısal çalışma göstermektedir ki batarya yüzeyine eklenecek kanatlar batarya ortalama sıcaklığının düşürülmesine imkân sağlamaktadır.

Sheng vd. (2019), Patil vd. (2020), Jin vd. (2014), Liu vd. (2019), Liu vd. (2020), Panchal vd. (2017), Amalesh ve Narasimhan (2020) yaptıkları çalışmalarda Li-iyon bataryaların sıvı ile soğutulmasını incelemişlerdir. Bataryaların soğutulması esnasında batarya yüzeylerine farklı kalınlıklara ve hidrolik çaplara sahip soğutma plakaları kullanmışlardır. Kullandıkları bu plakalarda akışın batarya yüzeyinde homojen bir sıcaklık sağlamak amacı ile yönlendirilmeye ihtiyaç duyulduğunu tespit etmişlerdir. Bu yönlendirmeler sayesinde batarya yüzeyine uygulanan soğutma performansını iyileştirmişler ve ayrıca batarya yüzeyinde daha homojen bir sıcaklık dağılımı elde etmişlerdir.

Celen ve Kalkan (2021) NCM bataryaların hava ile soğutulmasında kanatlı yüzey kullanımının etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Deşarj hızı 3C-5C ve hava hızı 1-3 m/s aralığında sınır şartları tanımlanmıştır. İnceleme sonunda deşarj hızı ve hava hızının hem düz hem de kanatlı yüzeylerde ortalama pil sıcaklığı, maksimum pil sıcaklığı ve toplam ısı aktarım hızı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Araştırma sonunda kanatsız yüzeylerin yalnızca düşük deşarj oranları için yeterli olduğunu ve yüksek deşarj oranlarında batarya yüzey sıcaklığını istenen çalışma sıcaklığında tutmak için kanatlı yüzey kullanımının gerekli olduğunu belirtmişlerdir. Çalışma sonucunda kanatlı yüzey kullanımıyla ortalama ve maksimum batarya sıcaklıklarının sırasıyla 7,9°C ve 8,6°C düştüğü gözlenmiştir.

Konu ile ilgili olarak literatür incelendiğinde, yapılan önceki çalışmalarda batarya yüzeylerinde hava akış yönlendirici kanatlar kullanılmamış olup hava doğrudan batarya yüzeyine temas ettirilmiş ya da kanatlı plaka ile soğutma sağlanmıştır. Ayrıca bu çalışmalarda hava giriş sıcaklığı her bir çalışmada sabit tutularak farklı hava giriş sıcaklığının batarya ortalama sıcaklığına ve yüzey sıcaklık dağılımına etkisi incelenmemiştir. Bu çalışmada batarya yüzeylerinde hava akış yönlendirici kanatlar

kullanılmış olup batarya termal yönetimine etkisi farklı çalışma şartlarında incelenmiştir. Buna ek olarak bataryanın tüm yüzeyindeki sıcaklıkları belirlemek için sayısal bir çalışma yapılmıştır.

Soğutma sistemlerinde soğutulacak yüzey alanının artırılmasının aynı zamanda soğutma performansını da iyileştirdiği bilinmektedir. Yüzey alanı artırma işlemi yüzeye eklenecek kanatlar vasıtası ile yapılmakta olup kanatların uzunluğu arttıkça ısı transferi performansı da artmaktadır (Cengel ve Ghajar, 2015).



3. KURAMSAL TEMELLER

3.1. Batarya ile İlgili Temel Kavramlar

Bataryaların çalışma koşullarını belirlemek için sıkça kullanılan terimler bulunmaktadır ve şarj edilebilir bataryaların bulunduğu sistemlerin incelenmesi için bu terminolojinin doğru bir şekilde anlaşılması önemlidir.

Elektrot, elektrik akımını bir devre veya elektrokimyasal hücre içinde iletme için kullanılan iletken bir materyaldir. Elektrotlar, genellikle metalik malzemelerden yapılmış olup, bir elektrokimyasal hücredeki temel unsurlardan biridir. Elektrotlar, elektrokimyasal reaksiyonlarda iyonların hareketini kolaylaştırarak, elektrik akımının akışını sağlarlar. Elektriksel özelliklerine bağlı olarak, elektrotlar yüzeylerinde elektrokimyasal reaksiyonlara neden olabilirler veya bu reaksiyonlara katılabilirler.

Anot, bir elektrokimyasal hücredeki iki elektrottan biridir ve elektrokimyasal reaksiyon sırasında elektron kaybeden elektrottur. Anot, elektrokimyasal hücrede oksidasyon reaksiyonuna neden olan elektrottur ve elektrolitin içindeki negatif iyonlara elektron verir. Elektronların anottan ayrılması, anotun pozitif yüklü olmasına neden olur ve böylece elektrokimyasal hücredeki elektrotlar arasında bir potansiyel farkı oluşur. Elektron akışı, anottan katoda doğru gerçekleşir ve bu akım, elektrokimyasal hücredeki elektrik akımını oluşturur.

Katot, elektrokimyasal hücrelerdeki pozitif yüklü elektrot olarak tanımlanır. Elektrokimyasal reaksiyon sırasında, elektrolitteki pozitif yüklü iyonlar (katyonlar) katoda doğru hareket eder ve bu sırada katot, bu iyonları yakalar ve indirger. Bu süreçte, katot, elektrokimyasal hücredeki redüksiyon reaksiyonunun gerçekleştiği yerdir ve elektronları alır. Katotun elektrokimyasal hücredeki görevi, elektrolit içindeki iyonları indirgemek ve böylece elektrokimyasal hücredeki elektrik akımını sağlamaktır. Elektrokimyasal hücredeki anot ve katot arasındaki elektron akışı, elektrokimyasal hücrenin elektriksel özelliklerini belirler.

Elektrolit, sulu çözeltilerde veya erimiş haldeki tuzlar, asitler veya bazlar gibi iyonik bileşiklerdir. Elektrolitler, çözeltide iyonik bağlarla birbirlerine bağlı pozitif ve negatif yüklü iyonlardan oluşur. Bu yüklü iyonlar, elektrolitler sıvı veya çözelti içinde olduğunda, elektriksel iletkenlik gösterirler ve elektrokimyasal reaksiyonlarda önemli bir rol oynarlar. Elektrolitler, elektrokimyasal hücrelerde de kullanılır ve hücre içindeki iyon hareketleri, elektrolitlerin iyonik özellikleri sayesinde gerçekleşir. Örneğin, bir pildeki elektrolit, hücredeki iyonlar arasında elektron akışını sağlayarak elektrokimyasal reaksiyonların gerçekleşmesine yardımcı olur.

Ayırıcı, elektrokimyasal hücrelerde anot ve katot arasındaki elektrolitlerin ayrılması için kullanılan malzemedir. Ayırıcı, iki elektrot arasındaki kimyasal reaksiyonların gerçekleşmesine izin verirken, elektrotlardaki malzemelerin karışmasını önleyerek elektrokimyasal hücrenin verimli çalışmasını sağlar. Ayırıcı, ayrıca elektrokimyasal hücredeki elektrolitler arasındaki iyon hareketinin engellenmesine de yardımcı olur. Bu, elektrokimyasal hücredeki elektrotlar arasındaki potansiyel farkının korunmasına ve elektrokimyasal reaksiyonun verimli bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak sağlar. Ayırıcı malzeme olarak sıklıkla kullanılan malzemeler arasında selüloz, cam elyaf, polimer filmler ve özel zarlar bulunur.

Batarya kapasitesi, bir bataryanın belirli bir zaman dilimi boyunca depolayabileceği maksimum enerji miktarını ifade eder. Kapasite genellikle amper-saat (Ah) veya miliamper-saat (mAh) birimleriyle ölçülür.

C oranı, bataryanın kapasitesinin belirli bir süre içinde boşaltılabilme hızını ifade eder. C oranı, bataryanın amper-saat cinsinden kapasitesine bölünerek hesaplanır. Örneğin, bir 1 Ah kapasiteli bataryanın 1 saat içinde 1 amperlik bir akım sağlayabileceği söylenebilir. Bu durumda, C oranı 1 olarak kabul edilir. Ancak, daha büyük bir C oranı (örneğin, 2C) bataryanın daha hızlı bir şekilde boşaltılabileceği anlamına gelir. Örneğin, 1C'lik bir bataryanın kapasitesi bir saat boyunca boşaltılarak tamamen tüketilebilirken, 2C'lik bir bataryanın aynı kapasitesi yarım saatte boşaltılabilir. C oranı, bataryanın ne kadar hızlı boşaltılabileceğini ifade ettiğinden, bir bataryanın maksimum boşaltma hızını belirlemek için de kullanılabilir.

Çevrim ömrü, bir bataryanın belirli bir sayıda tam şarj/deşarj döngüsünden sonra kapasitesinin ne kadar azaldığını ifade eder. Yani, bir bataryanın çevrim ömrü, tam şarjdan tamdeşarja kadar (veya tam tersi) bir döngü yapabilme sayısıdır. Bataryanın çevrim ömrü, batarya tipine ve kullanım şartlarına bağlı olarak değişebilir. Örneğin, bir lityum-iyon bataryanın genellikle 500-1000 tam şarj/deşarj döngüsü vardır, ancak batarya sıcaklığı, kullanım sıklığı, şarj/deşarj hızı ve diğer faktörler gibi çeşitli faktörler bataryanın çevrim ömrünü etkileyebilir. Bir bataryanın çevrim ömrünün sona ermesi, bataryanın kapasitesinin azalması ve daha kısa çalışma süreleriyle sonuçlanabilir.

Özgül enerji, bir bataryanın birim ağırlık başına depolayabileceği maksimum enerji miktarını ifade eder. Özgül enerji genellikle Wh/kg (watt-saat/kilogram) veya J/kg (joule/kilogram) birimleriyle ölçülür. Özgül enerji, bir bataryanın performansını değerlendirmek için önemli bir parametredir. Daha yüksek özgül enerji, daha uzun çalışma süreleri ve daha hafif bataryalar anlamına gelir. Ancak, farklı batarya teknolojilerinin farklı özgül enerji değerleri vardır ve bazı batarya teknolojileri, özgül enerji açısından diğerlerinden daha iyi performans gösterirken, diğerlerinden daha düşük performans gösterir. Özgül enerji, bataryanın kapasitesi, gerilimi ve ağırlığı gibi faktörlere bağlıdır.

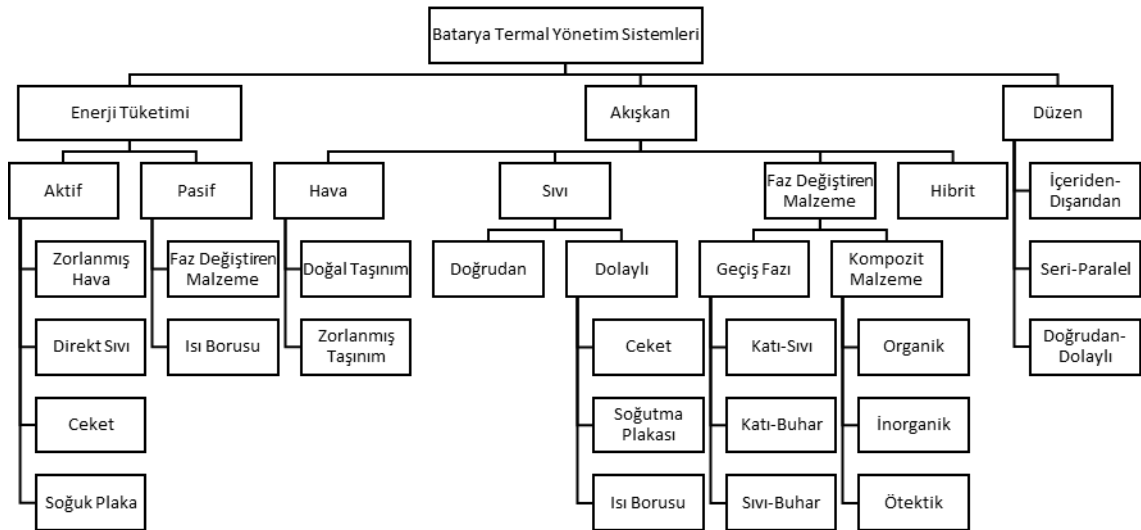
Özgül güç, bir bataryanın birim ağırlık başına ne kadar hızlı bir şekilde enerji sağlayabileceğini ifade eder. Özgül güç genellikle W/kg (watt/kilogram) birimleriyle ölçülür. Özgül güç, bir bataryanın performansını değerlendirmek için önemli bir parametredir, çünkü bazı uygulamalar daha yüksek özgül güç gerektirebilir. Örneğin, elektrikli araçlar, ani hızlanma ve yüksek hızlar için yüksek özgül güç gerektirirken, taşınabilir elektronik cihazlar gibi diğer uygulamalar, daha düşük özgül güce sahip bataryalarla çalışabilir. Özgül güç, bataryanın iç direnci, yüzey alanı ve malzeme özellikleri gibi faktörlere bağlıdır. Özgül güç, bataryanın özgül enerjisi gibi performans parametreleriyle birlikte ele alınarak, bir bataryanın performansını tam olarak değerlendirmek için önemlidir.

Doluluk oranı (SoC), bir bataryanın mevcut şarj seviyesini, toplam kapasitesine oranla yüzde olarak ifade eder. SoC, bir bataryanın ne kadar dolu olduğunu gösterir ve genellikle yüzde (%) olarak ifade edilir. Örneğin, bir bataryanın toplam kapasitesi 100 amper saat (Ah) ise ve şu anda 50 Ah enerjiye sahipse, SoC değeri %50'dir. Doluluk

oranı, bataryanın ömrü ve performansı açısından önemlidir, çünkü bataryaların ömrü, sıklıkla tam şarj veya tam boşaltma durumlarından kaynaklanan streslere bağlı olarak değişebilir. Bataryaların uzun ömürlü olması için, tipik olarak bataryaların tamamen şarj edilmemesi veya tamamen boşaltılmaması önerilir. Bataryaların genellikle %20 ile %80 arasında SoC değerlerinde kullanılması, bataryaların ömrünü ve performansını korumak için iyi bir uygulamadır.

Deşarj oranı (DoD), bir bataryanın depolanmış enerjisinin ne kadarının kullanıldığını ifade eden bir orandır. DoD, genellikle yüzde (%) olarak ifade edilir ve bataryanın toplam kapasitesine oranla belirtilir. Örneğin, bir bataryanın toplam kapasitesi 100 amper saat (Ah) ise ve 50 Ah enerji tükettiyseniz, DoD oranı %50'dir. Bu, bataryanın tamamının boşaltılmadığı, sadece yarısının kullanıldığı anlamına gelir. Bataryaların belirli bir DoD değeri aralığında kullanılması genellikle önerilir, çünkü bataryaların ömrü ve performansı, deşarj oranına bağlı olarak değişebilir. Yüksek DoD değerleri bataryaların ömrünü kısaltabilirken, düşük DoD değerleri bataryaların daha uzun süre dayanmasına yardımcı olabilir. Bununla birlikte, bataryanın ömrünü uzatmak için, genellikle bataryanın %20 ila %80 arasında SoC değerlerinde tutulması önerilir.

3.2. Elektrikli Araçlarda Batarya Termal Yönetim Sistemleri



Şekil 3.1. Batarya Termal Yönetim Sistemlerinin Sınıflandırılması (Arora, 2018)

Elektrikli araçların bataryalarındaki sıcaklık artışını önlemek ve bataryaların performansının, ömrünün ve güvenliğinin olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak amacı ile birçok farklı termal yönetim sistemi araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir. Batarya termal yönetim sistemleri Şekil 3.1’de görüldüğü üzere enerji tüketimine göre, yöntemde kullanılan akışkanın türüne göre ve soğutma sisteminin düzenine göre sınıflandırılmaktadır (Arora, 2018).

3.2.1. Akışkan türüne göre batarya termal yönetim sistemleri

3.2.1.1. Hava ile batarya termal yönetim sistemleri

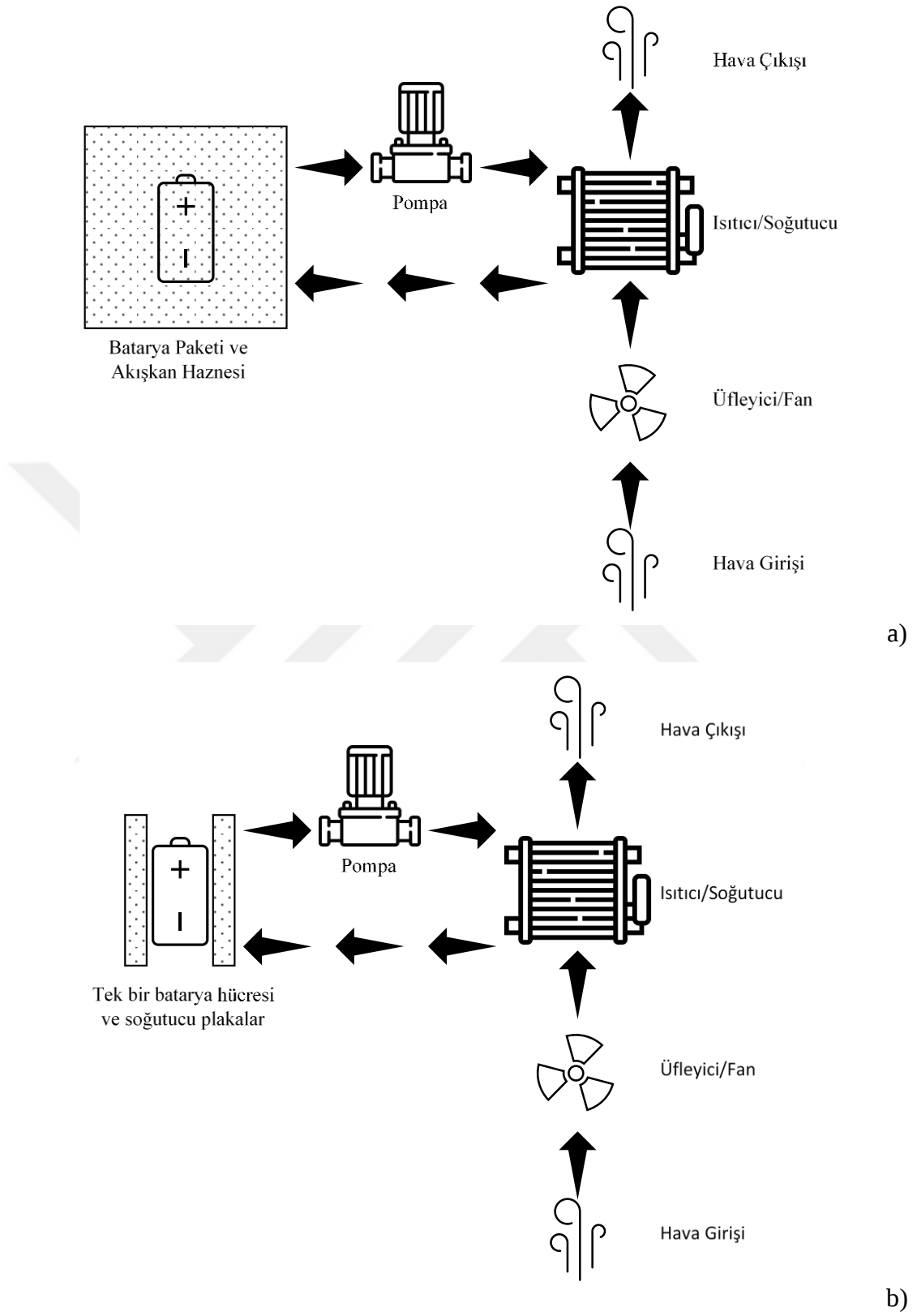
Hava ile batarya termal yönetim sistemleri doğal ve zorlanmış taşınımlı sistemler olmak üzere iki grupta incelenirler. Bu sistemlerde, bataryayı ısıtmak/soğutmak için kullanılacak hava doğrudan atmosferden ya da araç kabininden alınabilir (Sökmen ve Çavuş, 2017).

Batarya termal yönetim sistemlerinde akışkan olarak hava kullanılmasının avantajları düşük maliyet, kolay bakım, düşük ağırlık, basit tasarım ve kaçak sorununun olmaması iken dezavantajları havanın düşük ısıl performansı, bataryalar arasında oluşan yüksek sıcaklık farkı, sistemde kullanılan yüksek fan gücü ve gürültüsü olarak ifade edilebilir

3.2.1.2. Sıvı ile batarya termal yönetim sistemleri

Sıvı ile batarya termal yönetim sistemleri doğrudan ve dolaylı batarya termal yönetim sistemleri olarak iki gruba ayrılırlar.

Doğrudan batarya termal yönetim sistemlerinde bataryalar sıvı ile doğrudan temas halindedir. Bu sistemler, uygulamada yaygın olarak kullanılsa da yüksek güce sahip batarya paketlerinin yüksek hızlardaki şarjı/deşarjı sırasında açığa çıkabilecek aşırı ısınmanın önüne geçebilmek için kullanılabilir. Bu sistemlerde kullanılan akışkanın düşük viskoziteye, yüksek termal iletkenliğe ve termal kapasiteye sahip dielektrik bir yapıda olması istenir. Şekil 3.2a)’da doğrudan sıvı soğutmanın kullanıldığı bir batarya termal yönetim sistemi verilmiş olup bu sistemlerde akışkan bir ısıtıcı/soğutucu (ısı değiştiricisi) vasıtası ile şartlandırılır. Şartlandırma işleminin ardından sıvı, batarya paketine gönderilir ve batarya yüzeyine doğrudan temas ederek soğutma işlemini



Şekil 3.2. Sıvı ile Batarya Termal Yönetim Sistemleri a) Doğrudan ve b) Dolaylı

gerçekleştirir. Batarya paketinden ayrılan akışkan bir pompa aracılığı ile tekrar ısı değiştiricisine gönderilerek çevrimin tamamlanması sağlanır (Li ve Zhu, 2014).

Dolaylı batarya termal yönetim sistemlerinde ise akışkan batarya yüzeyleri ile doğrudan temas etmemekte olup batarya ve akışkan arasında soğutucu plaka, sıvı kanalı (ceketi), ısı borusu vb. gibi ekipmanlar kullanılır. Akışkan olarak ise genellikle su-glikol karışımı kullanılmaktadır. Dolaylı batarya termal yönetim sistemleri, doğrudan batarya termal yönetim sistemleri ile karşılaştırıldıklarında pratikliği, güvenilirliği ve kararlılığı sebebi ile elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu sistemlerden biri olarak soğutucu plaka ile soğutma yöntemi Şekil 3.2b)'de gösterilmiştir. Isı borusu, sıvı kanalı (ceketi) vb. ekipmanların kullanıldığı soğutma sistemlerindeki kullanılan araçlar da neredeyse aynıdır. Bu sistemin çalışma prensibi doğrudan batarya termal yönetim sistemi ile aynı olup tek fark sıvının batarya yüzeyine doğrudan temas etmek yerine batarya ile sıvı yüzey arasında bulunan bir katı yüzey üzerinden akmasıdır (Moghaddam ve Mazhar 2018). Batarya termal yönetim sistemlerinde akışkan olarak sıvı kullanılmasının avantajları soğutma sistemi kompaktlığı, yüksek ısı yüklerinde etkin soğutma performansı ve bataryalar arası homojen sıcaklığı dağılımı iken dezavantajları sıvı kaçak sorunu ve ekipmanlarda meydana gelebilecek korozyon olarak karşımıza çıkmaktadır (Kalkan vd., 2021a)

3.2.1.3. Faz değiştiren malzeme ile batarya termal yönetim sistemleri

Elektrikli araçların bataryalarının termal yönetiminde kullanılan faz değiştiren malzemeler, bataryadaki fazla ısıyı emerek veya serbest bırakarak faz değişimine uğrarlar. Elektrikli aracın bataryasının ürettiği fazla ısı, batarya paketine yakın faz değişim malzemeleri tarafından emilir ve bataryanın sıcaklığı faz değişim malzemesinin erime sıcaklığına ulaşırsa, ısı gizli ısı biçiminde depolanıp batarya paketindeki sıcaklık artışı en aza indirilir. Faz değiştiren malzeme ile batarya termal yönetim sistemleri, bataryaların çalışma sıcaklığını nispeten sabit bir sıcaklık aralığında tutar (Talluri vd., 2020).

Bu yöntem, termal anlamda daha güçlü bir yönetim mekanizmasına sahiptir. Sıcaklık dağılımı bataryanın tamamında daha homojendir ve bitişik batarya hücrelerinde termal kaçak meydana gelirse, ortaya çıkabilecek kötü etkiyi sınırlayabilir. Faz değiştiren

malzemenin gizli ısı arttıkça daha yüksek sıcaklıklarda çalışan bataryalarda kullanılabilirliği artmaktadır (Bhattacharjee vd., 2020).

Faz değıştiren malzeme ile batarya termal yönetim sistemler, faz değıştiren malzemenin bileşimine göre organik, inorganik ve ötektik olmak üzere üçe, faz değıştiren malzemenin fazlarına göre katı-sıvı, katı-buhar ve sıvı-buhar olmak üzere de üçe ayrılırlar. Organik faz değıştiren malzemeler, bileşiminde parafin olan ve parafin olmayan malzemeler olarak sınıflandırılırlar. Bunlar arasında parafin olmayan bileşikler, stearik asit, polioller, uzun zincirli alkanlar ve benzerlerini içerirler. Organik faz değıştiren malzemeler, korozyon direnci, zehirsiz olmaları, iyi kimyasal dayanıklılık ve neredeyse hiç aşırı soğutma yapmama avantajlarının yanında zayıf ısıl iletkenlik ve faz değıştirme işlemi sırasında kolayca sızdırma gibi dezavantajları da vardır. İnorganik faz değıştiren malzemeler arasında genellikle su, hidratlı tuzlar, eritilmiş tuzlar ve metal bulunur, bunların arasında hidratlı tuzlar ve metal yaygın olarak kullanılır. Yüksek gizli ısı kapasitesi, yanmazlık, sızıntı yapmama ve nispeten düşük maliyet avantajlarının yanında, hidratlı tuzların aşındırıcı olması, kolay faz ayrımı ve aşırı soğutma yapması gibi dezavantajları vardır. Ötektik faz değıştiren malzemeler, genellikle organikler, inorganikler veya hem inorganik hem de organik bileşikler dahil olmak üzere düşük erime sıcaklığına sahip iki veya daha fazla maddenin birleştirilmesiyle hazırlanırlar. Bu malzemeler eş zamanlı erime ve katılaşma ile karakterize edilebilen birkaç çözünür bileşenin kristal karışımlarıdır. Erime noktaları ve donma noktaları genellikle saf maddelerinkinden daha düşüktür. Mevcut inorganik tuzların ve organiklerin bol miktarda bulunması nedeniyle, ötektik faz değışim malzemeleri, inorganik ve organik bileşiklerin kombinasyonu ile artmaktadır. Bu artış ise her sıcaklık aralığına karşılık gelen ötektik seçeneğe yol açmaktadır; bu, organik veya inorganik faz değıştiren malzemeler ile karşılaştırıldığında üstün seçim avantajıdır (Liu vd.,2020).

3.2.1.4. Hibrit batarya termal yönetim sistemleri

Hibrit batarya termal yönetim sistemleri, iki ya da daha fazla temel batarya termal yönetim sisteminin kombinasyonu ile oluşmaktadır. Farklı batarya termal yönetim sistemlerinin her birinin avantaj ve dezavantajları vardır. Hibrit batarya termal yönetim sistemleri bu sistemlerin avantajlarını birleştirir ve daha yüksek termal performansa ulaşır. Bunlara ek olarak, hibrit batarya termal yönetim sistemleri hacim, ağırlık ve

enerji tüketimi ile ilgili bazı problemler içerebilirler. Temel hibrit batarya termal yönetim sistemleri türleri Tablo 3.1’de listelenmiş olup hibritleşmede göz önüne alınması

Tablo 3.1. Hibrit Batarya Termal Yönetim Sistemi Türleri (Zhao vd., 2020)

Tür		Hibrit Termal Yönetim Sistemi
1	Hava ya da sıvı ile birleştirilmiş ısı borusu ile aktif soğutma	Isı Borusu + Hava
		Isı Borusu + Sıvı
2	Isı borusu ile birleştirilmiş faz değiştiren malzeme	Faz Değiştiren Malzeme + Isı Borusu
		Faz Değiştiren Malzeme + Isı Borusu + Hava
		Faz Değiştiren Malzeme + Isı Borusu + Sıvı
3	Hava ya da sıvı ile birleştirilmiş faz değiştiren malzeme ile aktif soğutma	Faz Değiştiren Malzeme + Hava
		Faz Değiştiren Malzeme + Sıvı
4	Diğer termal yönetim sistemleri ile birleştirilmiş termoelektrik soğutma	Termoelektrik Soğutma + Hava + Sıvı
		Faz Değiştiren Malzeme + Termoelektrik Soğutma
5	Hava ile birleştirilmiş sıvı	Sıvı + Hava

gerekenler aşağıda verilmiştir:

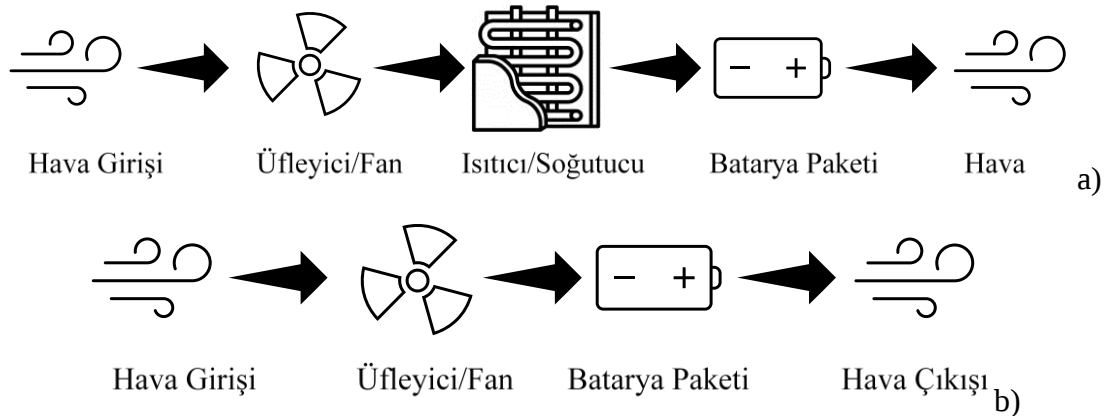
- ✓ Aktif soğutma yöntemleri, pasif soğutma yöntemleri ile kıyaslandığında ısı transferini iyileştirirler.
- ✓ Sıvı ile soğutmanın ısı transferi performansı hava ile soğutmadan daha üstündür, ancak düşük ısı yüklerinde zorlanmış hava ile soğutma genellikle yeterli olmaktadır.
- ✓ Hibrit termal yönetim sistemlerinde faz değiştiren malzemenin sisteme eklenmesi sahip oldukları önemli gizli ısıları nedeniyle termal homojenliği ve performansı artırır.

- ✓ Isı borusu ve termo-elektrik ile soğutma, yerel ısı transferini önemli ölçüde hızlı bir şekilde iyileştirir.
- ✓ Isı borusu/termo-elektrik ile soğutma ve faz değıştiren malzeme kombinasyonu daha iyi performans ve kararlılığa sahiptir. Isı borusunda, ısı emicisinin tasarımında iyileştirmeler yaparak performansı artırabilir (Zhao vd., 2020).

3.2.2. Enerji tüketim yöntemine göre batarya termal yönetim sistemleri

Hava ile batarya termal yönetim sistemleri doğal ve zorlanmış taşınımli sistemler olmak üzere iki grupta incelenirler. Bu sistemlerde, bataryayı ısıtmak/soğutmak için kullanılacak hava doğrudan atmosferden ya da araç kabininden alınabilir (Sökmen ve Çavuş, 2017).

Batarya termal yönetim sistemlerinde standart tanıma göre, soğutma/ısıtma sistemi ısı değıştirciler, üfleyiciler/fanlar veya pompalar gibi güç tüketen herhangi bir ekipmanı içeriyorsa, bu sistem aktif bir sistem olarak kabul edilir, aksi takdirde pasif sistem olarak adlandırılır. Uygulamada aktif sistemler, soğutma hızının aktif olarak kontrol edildiği bir batarya termal yönetim sistemi olarak tanımlanır (Arora, 2018).



Şekil 3.3. Hava ile Batarya Termal Yönetim Sistemleri **a) Aktif** ve **b) Pasif**

Elektrikli araçlarda kullanılan hava ile aktif batarya termal yönetim sistemlerinde Şekil 3.3a)'dan da görülebileceği üzere hava, bir üfleyici/fan tarafından sisteme yönlendirilir. Ardından bir buharlaştırıcıdan ya da bir ısıtıcıdan geçerek batarya paketine gönderilir. Gerekli soğutma/ısıtma işlemi yapıldıktan sonra kullanılan hava egzoz tarafından atmosfere atılır. Hava ile pasif batarya termal yönetim sistemlerinde ise atmosferden ya

da araç kabininden sisteme giren hava bir üfleyici tarafından batarya paketine gönderilir. Şekil 3.3b)'de gösterildiği gibi batarya paketinde gerekli ısıtma/soğutma işlemi yapıldıktan kullanılan hava egzoz tarafından atmosfere atılır (Li ve Zhu, 2014).

3.2.3. Soğutma sisteminin düzenine göre batarya termal yönetim sistemleri

Soğutma sisteminin düzenine göre batarya termal yönetim sistemleri üç ana başlıkta incelenir. Burada soğutma sisteminin düzeni, çalışma akışkanının batarya paket içerisindeki dağıtım yöntemini ifade eder. Bu yöntemler içeriden-dışarıdan, seri-paralel ve doğrudan-dolaylı olarak adlandırılır (Arora, 2018).

3.2.4. Gelişmekte olan soğutma sistemleri

3.2.4.1. Termoelektrik soğutma

Termoelektrik soğutmada kullanılan termoelektrik soğutucu, gürültüsüz, çevre dostu, işletim ve bakım masrafı olmayan katı hal yarı iletken bir cihazdır. Temel olarak, tek bir termoelektrik soğutucu ünitesi, termoelektrik ayaklarının elektrikselsel olarak seri olarak bağlandığı n-tipi ve p-tipi termoelektrik ayaklarından oluşur. Termoelektrik soğutucu, tipik bir buzdolabına kıyasla daha az voltaj ve akım gerektirir. Ayrıca, termoelektrik soğutma sistemleri tipik soğutma sistemleri ile karşılaştırıldığında, termoelektrik sistemler küçük boyutları sebebiyle daha az güç yoğunluğuna ihtiyaç duyarlar (Garett vd., 1993). Ek olarak, termoelektrik soğutma sistemlerinin maksimum termal verimliliği %10'dan azdır (Liu vd., 2014). Termoelektrik modülünün tasarımı ısı emici, zorlanmış hava soğutma veya sıvı soğutmanın bir kombinasyonudur. Her termoelektrik soğutucunun soğuk tarafında, U şeklinde hazırlanmış sıvı kanallı bir alüminyum blok bulunmaktadır. Sistemin çalışması sırasında ısı, soğutucudan bu soğuk tarafa hızla geçecektir. Alüminyum blok ve termoelektrik soğutucu, başka bir alüminyum şerit ve vidalarla soğutucuya kenetlenir. İki taraftan olası ısı iletimini önlemek için tüm civataların uçları plastikle kapatılmalıdır (Lyu vd., 2019). Hibrit şekilde kullanıldığında, Termoelektrik soğutma gürültüsüz ve çevre dostu olması, işletim ve bakım maliyetinin olmaması, daha az güç gerektirmesi gibi avantajları ile batarya termal yönetiminde bir seçim olmaktadır.

3.2.4.2. Termoakustik soğutma

Termal gradyanların ses oluşumuna neden olabileceği bilinmektedir. Termodinamik ve akustik arasındaki etkileşim bu nedenle bir soğutma etkisi üretmek için de kullanılabilir. Termoakustik soğutucular, Stirling döngüsüne dayanır ve ısıyı pompalamak için çalışma sıvısı olarak rezonant yüksek yoğunluklu ses dalgaları ve sıkıştırılabilir bir inert gaz karışımı kullanır. Bir termoakustik soğutucu düzeneği, ilgili ısı pompalama işlemleri için bir yığın veya rejeneratör olarak adlandırılan rejeneratif bir ünite ve iki ısı değiştiricisi içeren gazla doldurulmuş bir rezonans tüpü içerir. Termoakustik soğutucular yağlama işlemi, kayar contalar veya pahalı bileşenler gerektirmez. Yalnızca düşük toleranslı işlenmiş parçalar kullanılarak üretilbilirler. Ayrıca, mevcut titreşimler, düşük hareketli kütleli ve yüksek salınım frekanslı kompresörleri kullandıklarından termoakustik soğutucularda kolayca izole edilebilir (Garrett vd., 1993). Hareketli parçaların ve titreşimlerin olmaması ve düşük üretim maliyetleri, termoakustik soğutma sistemlerini elektrikli araçlarda, batarya termal yönetim sistemi konusunda mükemmel bir alternatif haline getirebilir (Arora, 2018).

3.2.4.3. Manyetik soğutma

Bazı ferromanyetik malzemeler ve paramanyetik katılar, kristal kafeslerinin dış manyetik alana içsel bağlanmasıyla karakterizedir. Bunlara manyetokalorik malzemeler denir ve bu bağlantı manyetokalorik etki olarak bilinir. Adyabatik koşullar altında, değişken bir dış manyetik alana maruz kalması üzerine manyetik entropisindeki varyasyona bağlı olarak manyetik katıda gözlemlenen tersine çevrilebilir bir sıcaklık değişikliği ile nitelendirilir (Pecharsky, vd., 1999)

Bir manyetik alanın uygulanması, manyetokalorik materyallerde spin polarizasyonunu indükler, bu da moleküllerini daha kararlı hale getirir. Böylece manyetik alanın uygulanması serbestlik derecelerini ve manyetik entropiyi azaltır. Manyetik bir katının toplam entropisi, adyabatik koşullar korunursa sabit kaldığından, kristal kafesteki titreşimler ve malzemedeki serbest elektronların entropisi, kayıp manyetik entropiyi telafi etmek için artar. Sonuç olarak, malzeme sıcaklığında bir artış kaydedilir. Bunun tersine, harici olarak uygulanan manyetik alan kaldırıldığında kristal kafes ve serbest

elektronlardan termal enerji emilerek, moleküler manyetik sıralama ilk hizalama durumuna dönerken bir soğutma etkisi gözlenir (Cremades vd., 2012).

Manyetik soğutucular, çok fazla bakıma ihtiyaç duymadan Carnot çevriminin %30-%60 veriminde çalışabilir (Yu vd., 2003). Ayrıca, yüksek hızlarda dönen veya ileri geri hareket eden büyük kütleli bileşenlere ihtiyaç duymazlar. Bu nedenle kompakt ve neredeyse gürültüsüz olabilirler. Ek olarak, geleneksel soğutma yöntemleriyle karşılaştırıldığında %50'ye varan enerji tasarrufu da sağlayabilirler (Zhong, vd., 2011). Gelecekte elektrikli araçların batarya paketlerinin de manyetik soğutma yöntemlerinden yararlanabilmesi muhtemeldir.

3.2.5. Batarya termal yönetim sistemlerinin karşılaştırılması

Elektrikli araçların bataryalarının termal yönetim sistemlerinin üç ayrı başlıkta incelendiği ve sınıflandırmanın ise sistemdeki akışkan kullanımına, enerji kullanımına ve sistemin soğutma düzenine göre yapıldığı görülmüştür.

Tablo 3.2. Batarya Termal Yönetim Sistemlerinin Karşılaştırılması (Arora, 2018)

Kriter	Zorlanmış Hava	Sıvı Soğutma Ceket	Sıvı		Faz Değiştiren Malzeme	Termo-Elektrik	Termo-Akustik	Manyetik
			Soğutma Plakası	Isı Borusu				
<i>Kullanım Kolaylığı</i>	Basit	Zor	Orta	Orta	Basit	Orta	Orta	Orta
<i>Montaj</i>	Basit	Zor	Orta	Orta	Basit	Orta	Orta	Zor
<i>Enerji Verimliliği</i>	Düşük	Yüksek	Orta	Yüksek	Yüksek	Orta	Orta	Yüksek
<i>Sıcaklık Değişimi</i>	Yüksek	Orta	Orta	Orta	Düşük	Orta	Orta	Düşük
<i>Soğutma Seviyesi</i>	Düşük	Yüksek	Orta	Yüksek	Yüksek	Orta	Orta	Yüksek
<i>Rejenerasyon Oranı</i>	Yüksek	Orta	Yüksek	Orta	Düşük	Yüksek	Orta	Yüksek
<i>COP</i>	0,4-0,7	1,8-2,1	1,5-1,9	-	-	0,7-1,2	1,0'a kadar	1,8
<i>Bakım</i>	Zor	Basit	Orta	Orta	Zor	Orta	Zor	Zor
<i>Yatırım Maliyeti</i>	Düşük	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta	Yüksek	Düşük	Orta
<i>Ölçeklendirilebilirlik</i>	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük	Yüksek	Orta	Orta	Yüksek
<i>Teknik Risk</i>	Düşük	Yüksek	Orta	Orta	Düşük	Orta	Yüksek	Orta
<i>Geliştirme Durumu</i>	Ticari	Prototip	Ticari	Prototip	Prototip	Ticari	Deneyisel	Deneyisel

Tablo 3.2'de batarya termal yönetim sistemleri kullanım kolaylığı, montaj, enerji verimliliği, sıcaklık değişimi, soğutma seviyesi, rejenerasyon oranı, COP, bakım,

yatırım maliyeti, ölçeklendirilebilirlik, teknik risk ve geliştirme durumuna göre karşılaştırılmıştır (Arora, 2018). Bu sistemlerin tercih kriterlerinden en önemlisi araçların bataryalarının gerektirdiği soğutma gücüdür. Örneğin, hibrit araçlarda kullanılan bataryalar çok güçlü olmadığından hava ile termal yönetim sistemi kullanılırken tam elektrikli araçlarda ise bataryalar çok güçlü olduğundan sıvı ile termal yönetim sistemi kullanılmaktadır (Celen ve Kalkan, 2021; Kalkan vd., 2021a).



4. MATERİYAL ve YÖNTEM

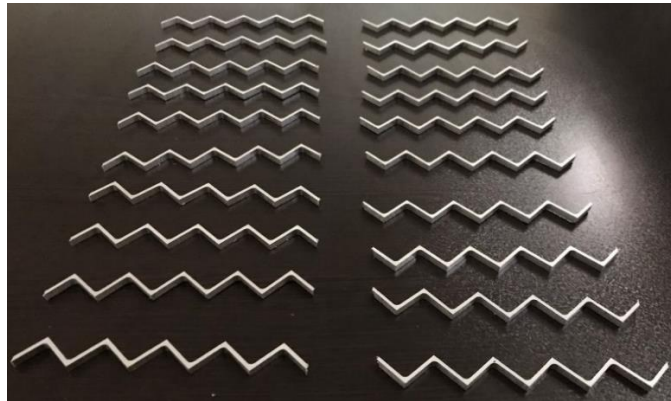
4.1. Materyal

Taşıyım koşullarında prizmatik bir bataryada oluşan sıcaklık dağılımını incelemek üzere yapılan çalışmalarda bataryalarda oluşan maksimum sıcaklığın, minimum sıcaklığın ve sıcaklık farkının değişimi araştırmacılar tarafından incelenmiştir.

Bu çalışmada Şekil 4.1a)'da gösterilen ve Tablo 4.1'de özellikleri verilen 20 Ah kapasiteye sahip bir torba tip prizmatik lityum-iyon bataryanın ilk olarak batarya yüzeyinde kanat olmadığı durumlarda, yüzeyden farklı deşarj hızlarında havanın hız ve sıcaklığı şartlandırılarak bataryanın ısıl yönetimi deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Daha



a)



b)

Şekil 4.1. Deneylerde Kullanılan Materyaller a) Torba Tip Prizmatik Lityum-iyon Batarya ve b) Hava Akış Yönlendirici Kanatlar

sonra ise, bataryanın termal yönetimini geliştirmek amacı ile batarya yüzeyine konumlandırılan ve Şekil 4.1b)'de gösterilen hava akış yönlendirici kanatlar tasarlanıp üretilmiştir.

Tablo 4.1. Deneylerde Kullanılan Bataryaya Ait Özellikler (A123 Systems, 2023)

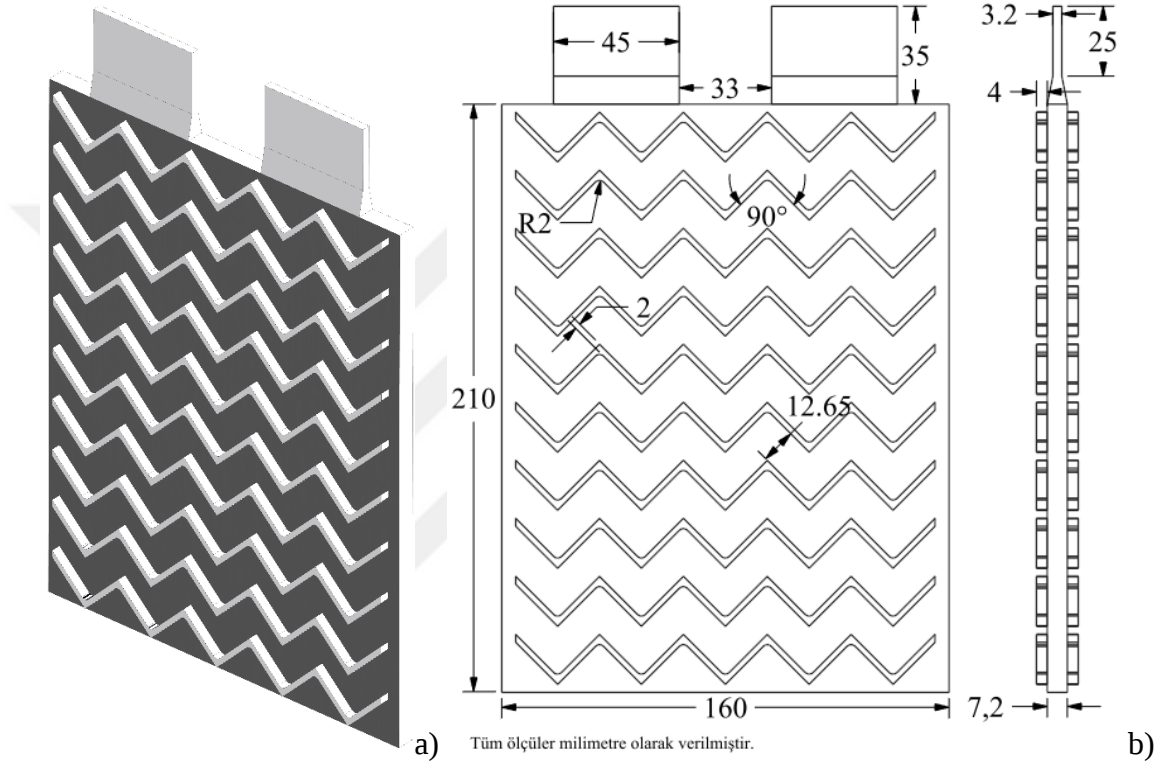
Parametreler	Değerler
Marka-model	A123 Systems/AMP20
Katot malzemesi	LiFePO ₄
Anot malzemesi	Grafit
Elektrolit malzemesi	Karbon bazlı
Nominal kapasite	20 Ah
Minimum kapasite	19,5 Ah
Nominal voltaj	3,3 V
Voltaj aralığı	2,0 V – 3,6 V
Mutlak maksimum terminal voltajı	4,0 V
Maksimum şarj voltajı	3,6 V
Şarj kesme	2,0 V
Standart şarj akımı	20 A
Maksimum şarj akımı	100 A
Maksimum sürekli deşarj akımı	200 A
AC direnç empedansı	0,78 mOhm
DC direnç empedansı	1,5 – 3 mOhm
Çalışma sıcaklığı	-30°C-55 °C
Saklama sıcaklığı	-40°C-60 °C
Ağırlık	496 g
Çevrim ömrü (%80 batarya ömrüne kadar)	300-2000 çevrim
Ölçüler	7,2 mm x160 mm x227 mm

Batarya yüzeyine bu kanatların olduğu durumlarda, yüzeyden farklı deşarj hızlarında hava şartlandırılarak bataryanın ısıl yönetimi deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir.

4.2. Yöntem

4.2.1. Deneysel yöntem

Tasarlanan hava akış yönlendirici kanatlar için levha tip Alüminyum malzeme seçilmiş olup 227x160x7,25 boyutlarında kesilmiştir. Kesilen bu plakalar CNC tezgâhta frezeleme yöntemiyle işlenip Şekil 4.2'deki gibi kanatlar elde edilmiştir.



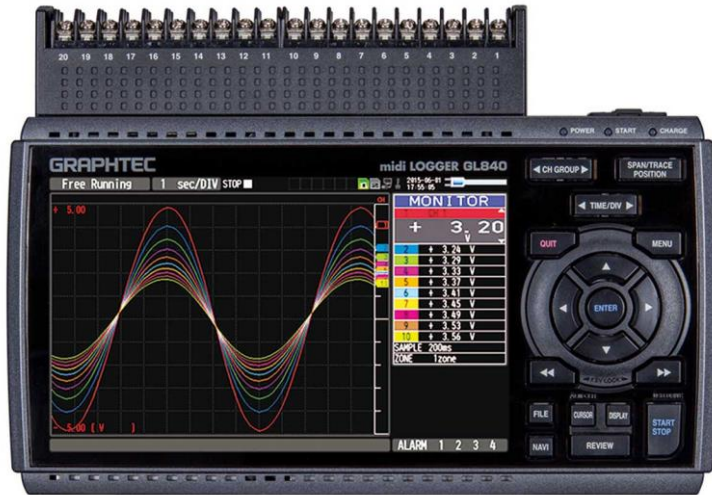
Şekil 4.2. Kanat Geometrisi a) 3D Görünüm ve b) Teknik Görünüm

Hava sıcaklığını istenilen seviyede tutabilmek adına deneylerde su banyosu kullanılmıştır. Kullanılan su banyosunu sıvı hacmi 15 litre, çalışma sıcaklık aralığı 0°C-99,9°C arasında olup sıcaklık hassasiyeti 0,1°C'dir. Su banyosundan suyu belirlenen özelliklerde kanatlı borulu ısı değiştiricisine göndermek için sirkülasyon pompası kullanılmıştır. Kullanılan pompanın maksimum debisi 8,8 m³/saat, maksimum basma yüksekliği 10 metre, maksimum işletme basıncı 10 bar, maksimum devir hızı 4450 devir/dakika, minimum devir hızı 1000 devir/dakika, maksimum güç tüketimi 190 W, maksimum akışkan sıcaklığı -20°C ve maksimum akışkan sıcaklığı 110°C'dir. Pompanın debisi ise türbin tip bir debimetre ile ölçülmüştür. %1 ölçüm doğruluğu, 6-

200 L/saat ölçüm aralığı ve 5 bar'a kadar çalışma basıncına dayanan debimetre -10°C-80°C ölçüm aralığında çalışmaktadır.

Deney düzeneğinde akışkan sıcaklığı ve batarya yüzey sıcaklıklarını ölçmek için iki farklı tip sıcaklık ölçüm sensörü kullanılmıştır. Akışkan sıcaklığının ölçümünde PT100 daldırma tipli sıcaklık sensörü, batarya yüzeyindeki farklı noktalarındaki sıcaklık ölçümünde ise T tipi ısıl çiftler kullanılmıştır. Kullanılan PT100 sensörleri $\pm 0,1^\circ\text{C}$ ölçüm hassasiyetine sahipken, T tipi ısıl çiftler $\pm 1^\circ\text{C}$ ölçüm hassasiyetine sahiptir.

PT100 ve T tipi ısıl çiftler Şekil 4.3'te gösterilen veri kayıt cihazı ile bağlantıları yapılarak ölçüm ve kayıt işlemleri yapılmıştır. Kullanılan veri kaydedici 20 adet ölçüm kanalına sahip ve sıcaklığı $\pm 1,55^\circ\text{C}$, voltajı $\pm \%0,1$ doğrulukla okuyabilmektedir.



Şekil 4.3. Veri Kayıt Cihazı

Deneylerde hava hızını ölçmek için Şekil 4.4'te gösterilen termal anemometre kullanılmıştır. Kullanılan anemometre -20°C ile +60°C aralığında sıcaklık ölçümünü $\pm 0,5^\circ\text{C}$ doğrulukla ve $0,1^\circ\text{C}$ çözünürlükle yapabilirken hava hızını 0 m/s ile 30 m/s aralığında $\pm 0,1$ m/s doğrulukla $0,01$ m/s çözünürlükle yapabilmektedir.

Bataryanın şarj işlemi sırasında doğru akım güç kaynağı kullanılırken deşarj işlemi sırasında ise doğru akım elektronik yük deşarj cihazı kullanılmıştır. Şarj cihazı 0 V ile 80 V voltaj çıkış aralığında, 0 A ile 27 A akım çıkış aralığında $\pm \%0,1$ doğrulukla çalışırken, deşarj cihazı 300 W elektriksel güç ve $\pm \%0,03$ çözünürlükle çalışmaktadır.



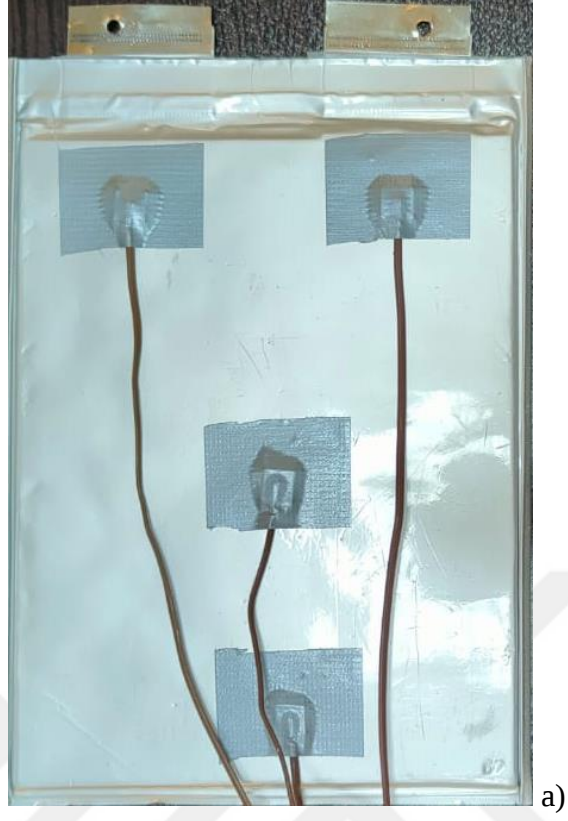
Şekil 4.4. Termal Anemometre

Bataryanın üzerinden akan havayı şartlandırmak amacı ile bir kanatlı borulu ısı değıştircisi kullanılmıştır. Bu ısı değıştircisinin önüne yerleştirilen bir fan yardımı ile hava akışı sağlanmış olup, hava debisini kontrol etmek amacı ile de bir fan kontrolcüsü kullanılmıştır.

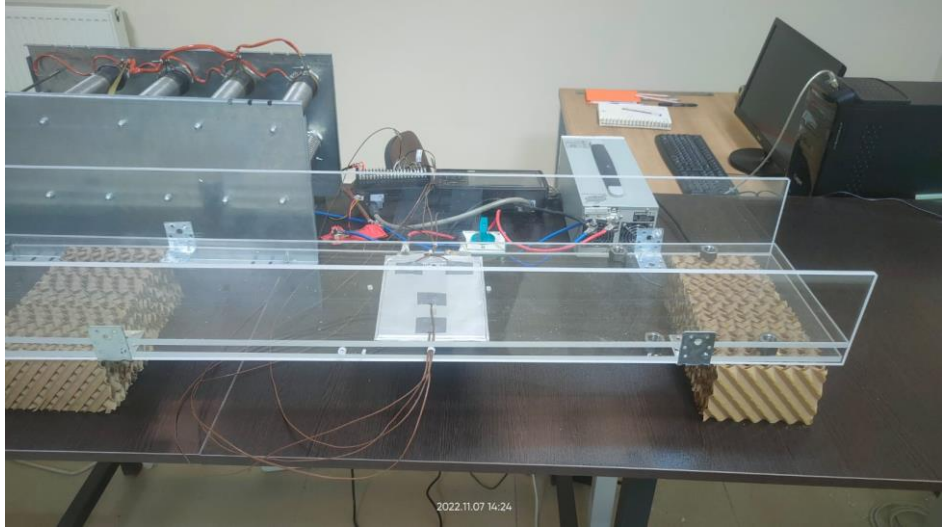
Test bölgesi oluştururken 9,5 mm kalınlığındaki akrilik levhalar kesilerek bir hava kanalı oluşturulmuş olup, bu hava kanalının giriş kısmına ise hava akış düzenleyici konumlandırılmıştır.

Bu çalışmada, kanatsız ve kanatlı geometri için tasarlanan batarya yüzeyindeki sıcaklık ölçüm noktaları Şekil 4.5a) ve 4.5b)'de verilmiştir. Batarya yüzeyinde çok fazla noktadan sıcaklık ölçümü mümkün olmasına rağmen literatürdeki çalışmalar incelendiğinde batarya yüzeyinde genellikle 5-9 farklı noktadan sıcaklık ölçümü yapıldığı görülmüştür (Sun ve Dixon, 2014; Chen vd., 2016; Panchal vd., 2017; Wang vd., 2017; Ping vd., 2018; Gao vd., 2019; Sheng L vd., 2019; Celen, 2023). Şekil 4.5a) ve Şekil 4.5b)'de görüldüğü üzere bataryanın ön yüzeyinden 4 adet, arka yüzeyinden 4 adet olmak üzere toplam 8 noktadan sıcaklık ölçümü yapılmıştır.

Deneylerde öncelikle bataryanın her iki yüzeyine termal macun kullanılarak termokupllar yerleştirilmiş, daha sonra ise batarya Şekil 4.6'deki gibi hava kanalına yerleştirilerek şarj/deşarj kabloları bağlanmıştır.



Şekil 4.5. Batarya Yüzeyindeki Sıcaklık Ölçüm Noktaları a) Kanatsız Geometri ve b) Kanatlı Geometri

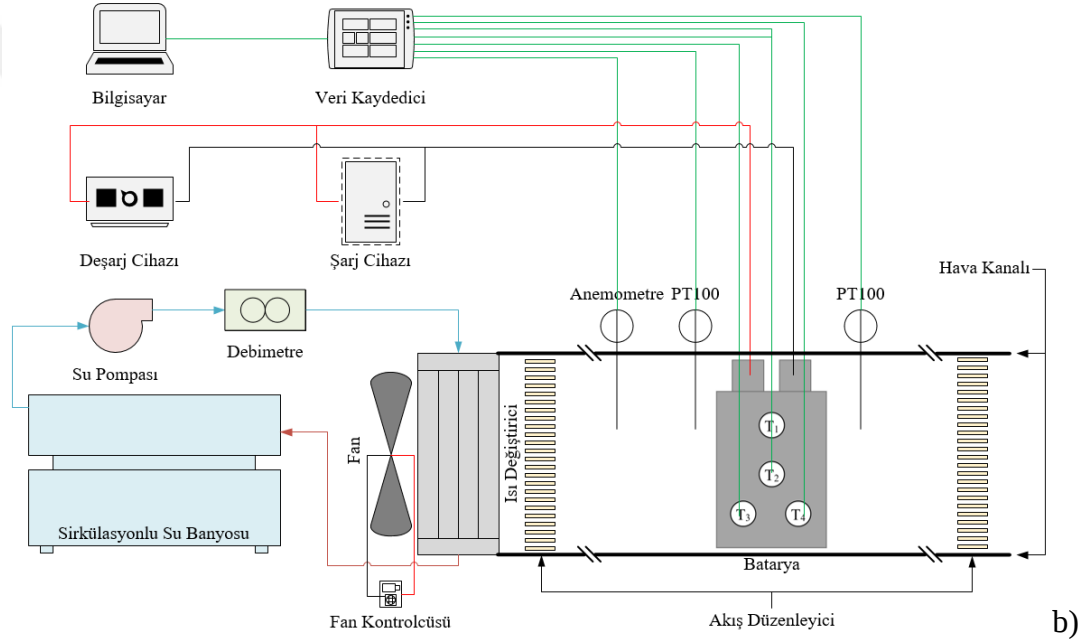


Şekil 4.6. Bataryanın Hava Kanalına Yerleştirilmiş Görüntüsü

Hava giriş sıcaklığının istenilen değere ayarlanabilmesi için hava kanalının girişine fan entegreli kanatlı borulu tip bir ısı değiştiricisi yerleştirilmiştir. Bu ısı değiştiricisinde havanın şartlandırılması, sirkülasyonlu su banyosu aracılığıyla yapılmıştır. Farklı çalışma şartlarında yüzey sıcaklıklarının belirlenmesi için kurulan deney düzeneği; batarya şarj ve deşarj cihazları, veri kayıt cihazı, Pt100/termokupl sıcaklık ölçüm sensörleri, hava hız ölçer, su pompası, debimetre ve sirkülasyonlu su banyosundan oluşmaktadır. Deney düzeneğinin fotoğrafı ve şematik resmi sırasıyla Şekil 4.7a) ve Şekil 4.7b)'de verilmiştir.

Sistemin çalışma sistemi şöyle açıklanabilir:

- Her deneyden önce batarya CC/CV modunda güç kaynağı aracılığıyla şarj edilir.
- Sirkülasyonlu su banyosu istenilen sıcaklığa ayarlanır ve soğutma suyu, debimetre ve ısı değiştiricisinden geçecek şekilde sirküle edilir.
- Fan kontrolcüsü aracılığıyla fan çalıştırılır ve istenilen hızda hava akışı sağlanır.
- Batarya istenilen deşarj hızında çalıştırılmaya başlanır.
- Deney süresince gerekli akışkan sıcaklığı, batarya yüzey sıcaklığı, hava hızı, voltaj ve akım ölçümleri veri kayıt cihazı aracılığıyla kaydedilir.
- Deneyler, kesme voltajı olan 2 Volt değerinde sonlandırılır.



Şekil 4.7. Deney Düzeneği a) Fotoğraf ve b) Şematik Resim

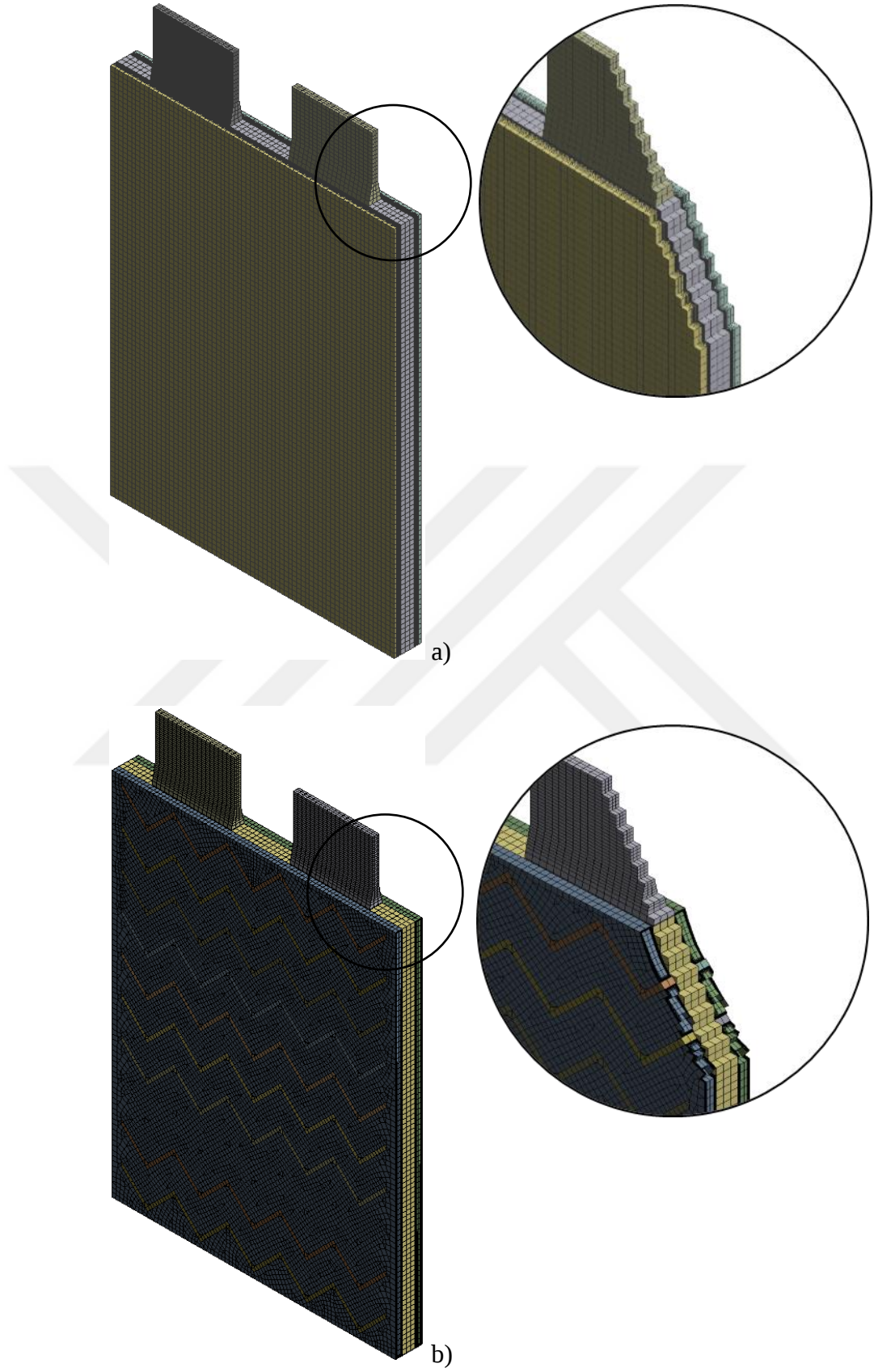
4.2.2. Sayısal yöntem

Bataryanın farklı koşullar altındaki termal performansı deneysel olarak incelendikten sonra hesaplamalı akışkanlar dinamiği uygulaması olan ANSYS FLUENT 2022R1 kullanılarak sayısal analizi yapılmıştır.

Sayısal analizler yapılmadan önce batarya üzerinden akan havanın akışının laminar bölgede kaldığı hesaplanmıştır. Sayısal model oluşturulurken bu koşul göz önünde bulundurularak akış tipi laminar seçilmiştir. Ayrıca hava ideal gaz olarak kabul edilmiş,

Tablo 4.2. Sayısal Analiz Model Parametreleri ve Sınır Şartları (Gerver ve Meyers, 2011; Patil vd., 2020)

Parametre	Değer
<i>Batarya Özellikleri</i>	
Çözüm metodu	MSMD
Elektrokimyasal metot	NTGK Empirical Model
Nominal kapasite (Ah)	20
Deşarj kesme voltajı (V)	2,00
Şarj kesme voltajı (V)	3,65
<i>Batarya Modeli Malzeme Özellikleri</i>	
Aktif Malzeme	
Yoğunluk (kg/m ³)	1940
Özgül ısı (J/kg.K)	1000
Isıl iletkenlik (W/m.K)	18.2
Elektriksel iletkenlik uds-0 (S/m)	$-3,25T^3+3707T^2-150 \times 10^4T+2,408 \times 10^8$
Elektriksel iletkenlik uds-1 (S/m)	$-3,889T^3+5465T^2-218 \times 10^4T+3,52 \times 10^8$
Pozitif Malzeme	
Alüminyum	
Yoğunluk (kg/m ³)	2719
Özgül ısı (J/kg.K)	871
Isıl iletkenlik (W/m.K)	202,4
Negatif Malzeme	
Bakır	
Yoğunluk (kg/m ³)	8978
Özgül ısı (J/kg.K)	381
Isıl iletkenlik (W/m.K)	387.6
<i>Akışkan Özellikleri</i>	
Hava	
Yoğunluk (kg/cm ³)	1,225
Özgül Isı (J/kg.K)	1006,43
Isıl iletkenlik (W/m.K)	0,0242
Viskozite (kg/m.s)	$1,7894 \times 10^{-5}$
<i>Sınır Şartları</i>	
Akış rejimi	Laminer
Deşarj oranı (C)	2-3-4
Başlangıç (ortam) sıcaklığı (°C)	23
Akışkan giriş sıcaklığı (°C)	15-25-35
Akışkan hızı (m/s)	0,5-1-1,5



Şekil 4.8. Mesh Yapısı a) Kanatsız Geometri ve b) Kanatlı Geometri

başlangıç şartında batarya yüzeyindeki sıcaklık dağılımı homojen olarak kabul edilmiş ve batarya yüzeyinde oluşan radyasyon ile ısı transferi ihmal edilmiştir.

Deneylerde kullanılan lityum iyon batarya; anot (negatif) elektrot tabakası, katot (pozitif) elektrot tabakası, anot akım toplayıcı, katot akım toplayıcı, ayırıcı tabaka, anot ucu ve katot ucu olmak üzere 7 bölgeden oluşmaktadır. Sayısal modellemeye bataryanın, pozitif elektrot, negatif elektrot, pozitif akım toplayıcı, negatif akım toplayıcı ve ayırıcı tabakadan oluşan kısımları aktif malzeme olarak tanımlanmıştır. Sayısal analizde kullanılan 3D model Şekil 4.2’de verilirken diğer parametreler ve sınır şartları Tablo 4.2’de verilmiştir.

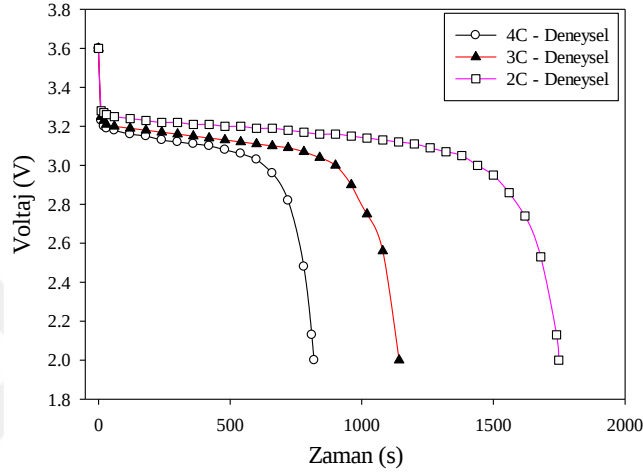
Tablo 4.3. Mesh Bağımsızlık Analizi

Geometri	Mesh Sayısı	Ortalama Sıcaklık (°C)	Bağıl Hata Oranı (%)
Kanatlı	10000	47,7450	0,036
	35000	47,7625	0,018
	58000	47,7713	0,018
	104000	47,7800	0,010
	159000	47,7850	0,000
	236000	47,7850	-
Kanatlı	11000	46,0650	1,537
	94000	45,3675	0,478
	149000	45,1513	0,163
	200000	45,2250	0,388
	323000	45,0500	0,729
	408000	44,7238	0,490
	490000	44,8300	0,055
	597000	44,8550	-

Şekil 4.8’de gösterildiği üzere sayısal analizlerin çözümünde hibrit mesh yapıları kullanılmıştır. Ortalama batarya yüzey sıcaklığının mesh sayısına göre değişimi baz alınarak, sayısal modelin mesh bağımsızlık analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 4.3’te verilmiştir. Tablo 8 incelendiğinde, kanatlı ve kanatlı geometriler için sırasıyla 159000 ve 490000 adet mesh sayılarının kullanıldığı görülmektedir.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bataryanın deşarjı süresince voltajının zaman bağılı değişimi deneysel olarak Şekil 5.1’de verilmiştir. Batarya tam dolu halde 3,6 V gerilime sahip olup, kesme voltajı olan 2 V gerilime geldiğinde deşarjı sonlandırılmıştır. Şekilde görüleceği üzere, deşarj hızının artması ile hem deşarj süresi hem de voltaj değeri azalmıştır.



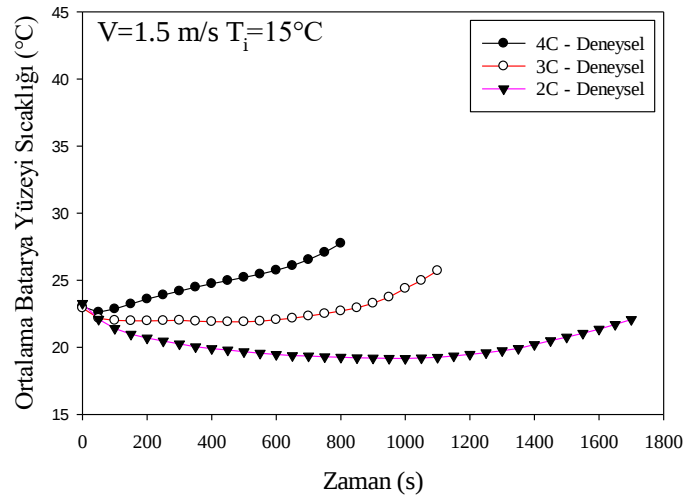
Şekil 5.1. Farklı Deşarj Hızlarında Batarya Voltajının Zamana Bağlı Değişimi

5.1. Kanatsız Geometri İçin Deney Sonuçları

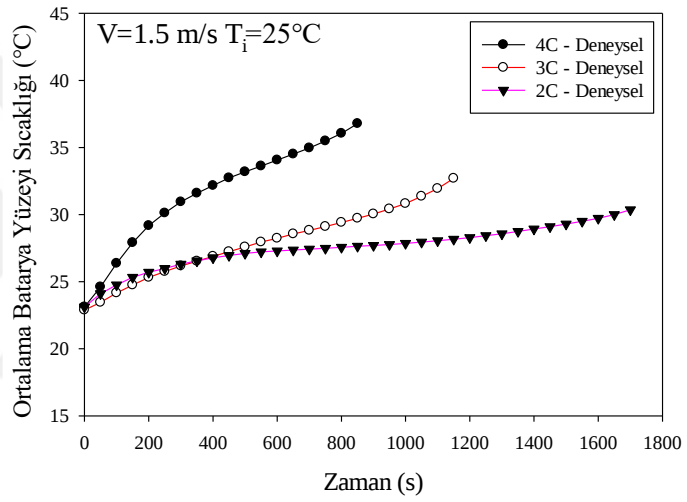
Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’te farklı deşarj hızlarında hava giriş sıcaklıklarının ve hızlarının ortalama batarya yüzey sıcaklığına etkisi zamana göre incelenmiştir. Farklı hava giriş sıcaklıklarının ortalama batarya yüzey sıcaklığına etkisi sırasıyla 1,5 m/s, 1 m/s ve 0,5 m/s hava hızları için verilmiştir.

Şekil 5.2a), Şekil 5.2b) ve Şekil 5.2c)’de görüleceği üzere deşarj hızının 2C’den 4C’ye artması durumunda, 15°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 23,27°C, 26,28°C ve 28,42°C ve ulaştığı, 25°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 30,50°C, 23,91°C ve 36,78°C ulaştığı, 35°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 37,49°C, 39,14°C ve 41,10°C ulaştığı görülmüştür.

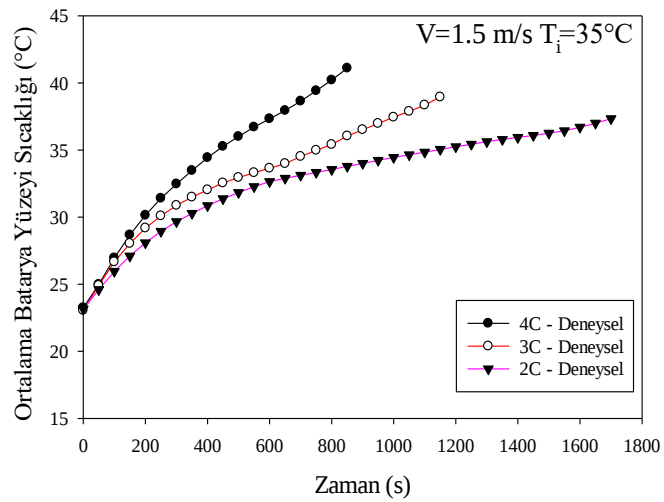
Şekil 5.3a), Şekil 5.3b) ve Şekil 5.4c)’de görüleceği üzere deşarj hızının 2C’den 4C’ye artması durumunda, 15°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey



a)

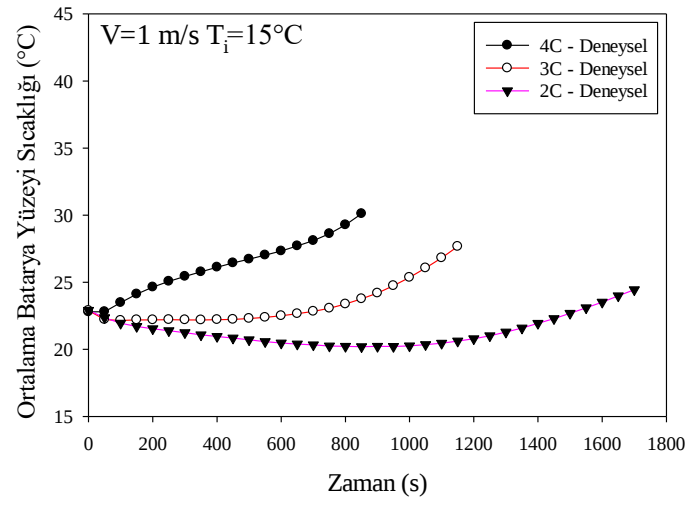


b)

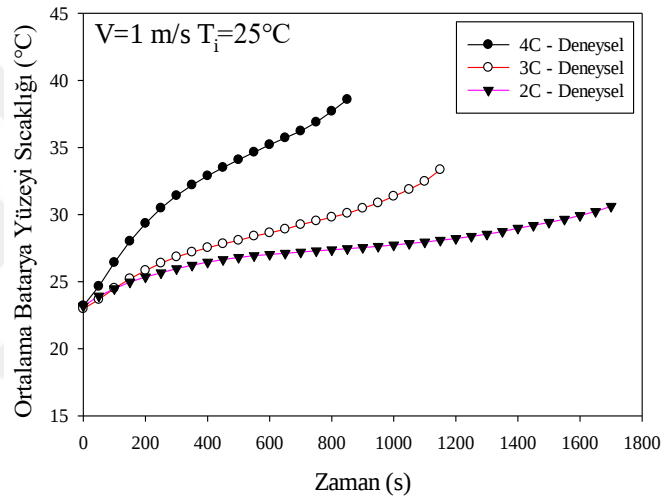


c)

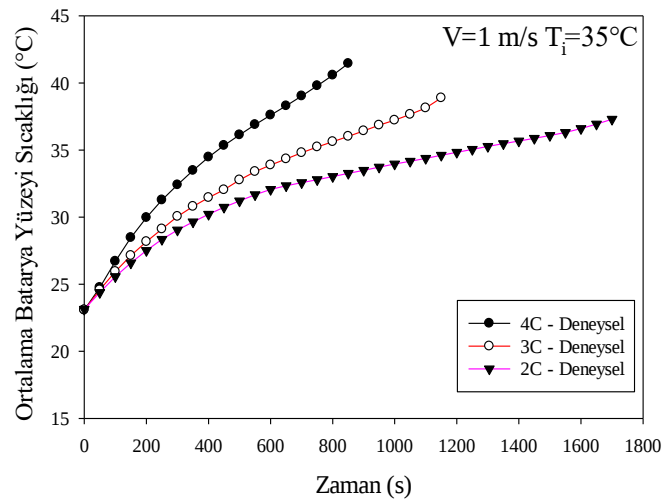
Şekil 5.2. Kanatsız Geometride 1,5 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzey Sıcaklığının Zamana Göre Deneyisel Değişimi a) 15°C , b) 25°C ve c) 35°C



a)

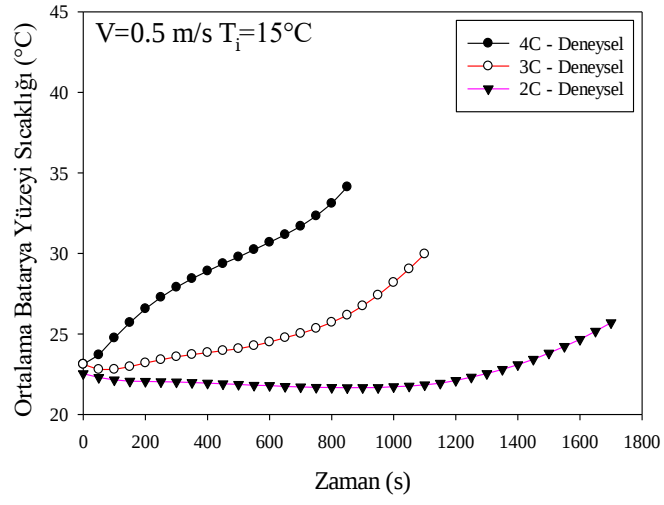


b)

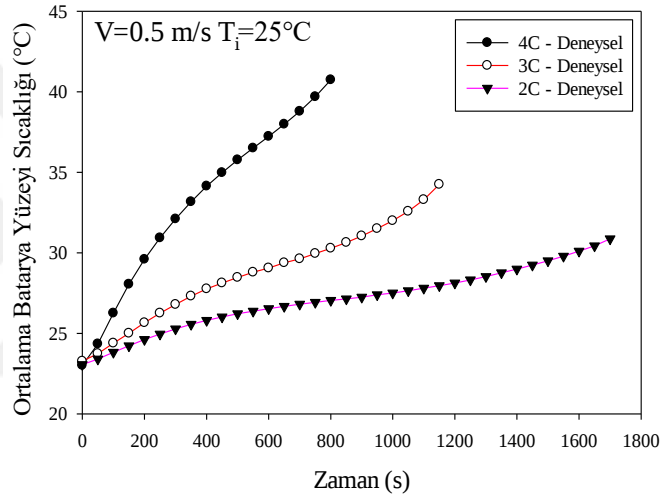


c)

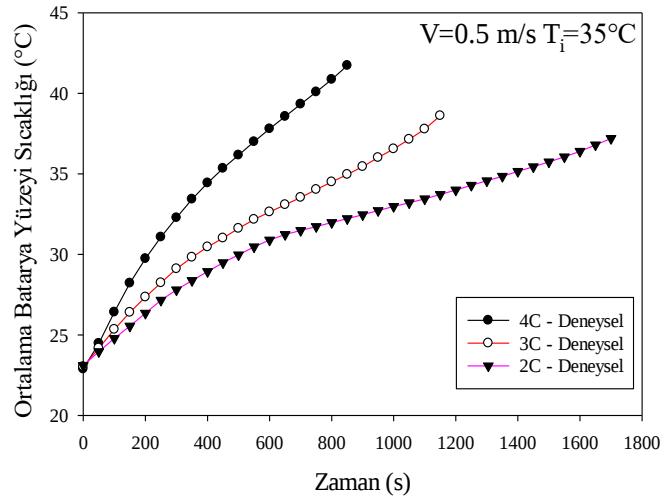
Şekil 5.3. Kanatsız Geometride 1,0 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzey Sıcaklığının Zamana Göre Deneysel Değişimi a) 15°C , b) 25°C ve c) 35°C



a)



b)



c)

Şekil 5.4. Kanatsız Geometride 0,5 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzey Sıcaklığının Zamana Göre Deneyisel Değişimi a) 15°C , b) 25°C ve c) 35°C

sıcaklıklarının maksimum 24,52°C, 27,67°C ve 30,12°C ulaştığı, 25°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 30,80°C, 33,54°C ve 38,57°C ulaştığı, 35°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 37,45°C, 39,10°C ve 41,46°C ulaştığı görülmüştür.

Şekil 5.4a), Şekil 5.4b) ve Şekil 5.4c)'de görüleceği üzere deşarj hızının 2C'den 4C'ye artması durumunda, 15°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 25,94°C, 30,76°C ve 34,13°C ulaştığı, 25°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 31,05°C, 34,25°C ve 41,75°C ulaştığı, 35°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 37,36°C, 38,82°C ve 41,73°C ulaştığı görülmüştür.

Bu grafikler incelendiğinde 1,5 m/s ve 1m/s hava giriş hızlarında, 35°C hava giriş sıcaklığında 4C deşarj hızında ortalama batarya yüzey sıcaklığının 40°C'nin üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. 0,5 m/s hava giriş hızında 35°C ve 25°C hava sıcaklıklarında 4C deşarj hızında ortalama batarya yüzey sıcaklığının 40°C'nin üzerinde olduğu görülmektedir. Diğer tüm durumlarda ise ortalama batarya yüzey sıcaklığının 20°C ile 40°C arasında olduğu gözlemlenmiştir. Artan hava giriş hızı ile batarya yüzeyinde gerçekleşen taşınım ile ısı transferinin arttığı ve bu sebeple batarya yüzey sıcaklıklarında düşme olduğu söylenebilir.

Farklı deşarj hızları, hava sıcaklıkları ve hava giriş hızlarında göre bataryanın tam deşarjı sonucunda elde edilen minimum, ortalama ve maksimum sıcaklık değerleri Tablo 9'da verilmiştir. Tablo 5.1 incelendiğinde batarya yüzeyinde oluşan maksimum ve minimum sıcaklık farklarının 27 adet durumdan 12'sinde 5°C'nin üzerinde olduğu görülmektedir.

5.2. Kanatsız Geometri İçin Sayısal Analiz Sonuçları

Farklı deşarj hızlarında hava giriş sıcaklıklarının ve hızlarının ortalama batarya yüzey sıcaklığına etkisi Şekil 5.5, Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'de zamana göre incelenmiştir. Farklı hava giriş sıcaklıklarının ortalama batarya yüzey sıcaklığına etkisi Şekil 5.5, Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'de sırasıyla 1,5 m/s, 1 m/s ve 0,5 m/s hava hızları için verilmiştir.

Tablo 5.1. Kanatsız Geometri İçin Batarya SoC %0 Olduğu Anlardaki Deneysel Sonuçlar

Geometri	Deşarj Hızı (C)	Akışkan Hızı (m/s)	Akışkan Giriş Sıcaklığı (°C)		Ortalama Sıcaklık (°C)	Maksimum Sıcaklık (°C)	Sıcaklık Farkı (°C)
			Minimum Sıcaklık (°C)	Ortalama Sıcaklık (°C)			
Kanatsız	2	1,5	35	36,60	37,49	38,15	1,55
			25	28,90	30,50	31,89	2,99
			15	20,11	22,23	23,91	3,80
		1	35	36,11	37,45	38,49	2,38
			25	29,05	30,80	32,28	3,23
			15	22,04	24,52	26,70	4,66
		0,5	35	35,12	37,36	39,30	4,18
			25	29,25	41,05	32,43	3,18
			15	23,48	25,94	28,12	4,64
		1,5	35	37,68	39,14	40,79	3,11
			25	30,44	32,91	35,28	4,84
			15	22,70	26,28	28,90	6,20
	3	1	35	37,41	39,10	41,00	3,59
			25	30,87	33,54	35,79	4,92
			15	23,80	27,67	30,23	6,43
		0,5	35	37,55	38,82	40,90	3,35
			25	31,92	34,25	36,15	4,23
			15	26,48	30,76	33,46	6,98
		1,5	35	36,86	41,10	44,13	7,27
			25	32,59	36,78	38,93	6,34
			15	24,82	28,42	31,09	6,27
	4	1	35	37,45	41,46	44,02	6,57
			25	33,77	38,57	41,61	7,84
			15	25,45	30,12	33,11	7,66
		0,5	35	37,96	41,73	43,83	5,87
			25	36,77	41,75	44,35	7,58
			15	28,56	34,13	37,01	8,45

Deşarj hızının 2C'den 4C'ye artması durumunda Şekil 5.5a), Şekil 5.5b) ve Şekil 5.5c)'de, 15°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 23,00°C, 24,92°C ve 29,65°C ulaştığı, 25°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 29,48°C, 32,97°C ve 36,79°C ulaştığı, 35°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 38,60°C, 42,22°C ve 43,95°C ulaştığı görülmüştür.

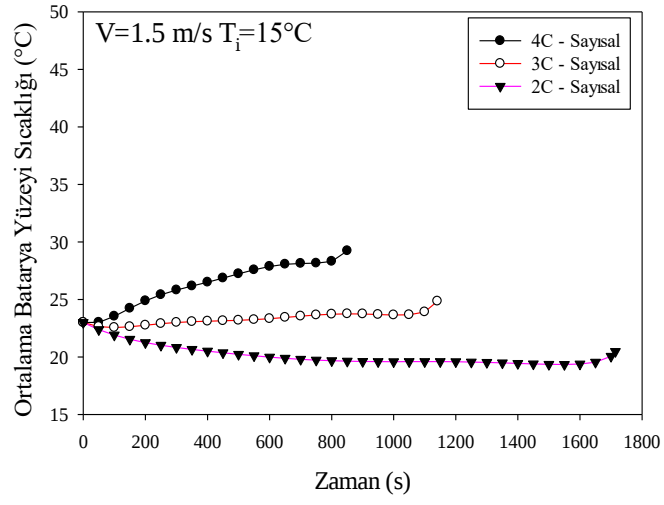
Deşarj hızının 2C'den 4C'ye artması durumunda Şekil 5.6a), Şekil 5.6b) ve Şekil 5.6c)'de, 15°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 23,00°C, 26,05°C ve 31,12°C ulaştığı, 25°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 29,98°C, 33,77°C ve 37,72°C ulaştığı, 35°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 38,86°C, 41,56°C ve 44,45°C ulaştığı görülmüştür.

Deşarj hızının 2C'den 4C'ye artması durumunda Şekil 5.7a), Şekil 5.7b) ve Şekil 5.7c)'de, 15°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 23,00°C, 28,38°C ve 33,77°C ulaştığı, 25°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 30,93°C, 35,21°C ve 39,55°C ulaştığı, 35°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 39,24°C, 42,12°C ve 45,23°C ulaştığı görülmüştür.

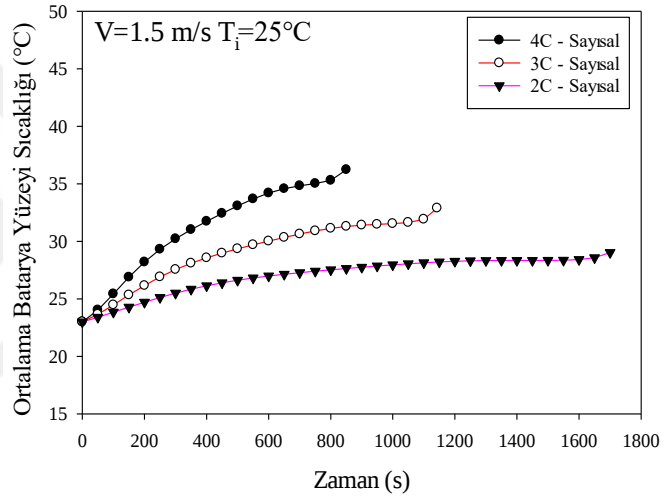
Bu grafiklere bakıldığında 1,5 m/s hava giriş hızında, 35°C hava giriş sıcaklığında, 4C ve 3C deşarj hızlarında ortalama batarya yüzey sıcaklığının 40°C'nin üzerinde olduğu, 15°C hava giriş sıcaklığın, 2C deşarj hızında ise 20°C'nin altında olduğu görülmektedir. 1m/s hava giriş hızında, 35°C hava giriş sıcaklığında, 4C ve 3C deşarj hızlarında ortalama batarya yüzey sıcaklığının 40°C'nin üzerinde olduğu görülmektedir. 0,5 m/s hava giriş hızında, 35°C hava giriş sıcaklığında, 4C ve 3C deşarj hızlarında ortalama batarya yüzey sıcaklığının 40°C'nin üzerinde olduğu görülmektedir. Diğer tüm durumlarda ise ortalama batarya yüzey sıcaklığının 20°C ile 40°C arasında olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da sırasıyla 1,5 m/s, 1 m/s ve 0,5 m/s hava hızlarında batarya yüzeyinde hava akış yönlendirici kanatların kullanılmadığı durumlarda, farklı deşarj hızlarında ve farklı hava giriş sıcaklıklarında batarya yüzeyinde oluşan ısı transfer hızının zamana göre değişimi gösterilmektedir. Tüm durumlarda deşarj hızının arttıkça ısı transfer hızının da arttığı, hava hızının arttıkça ısı transfer hızının arttığı ve hava giriş sıcaklığı arttıkça ısı transfer hızının azaldığı görülmektedir.

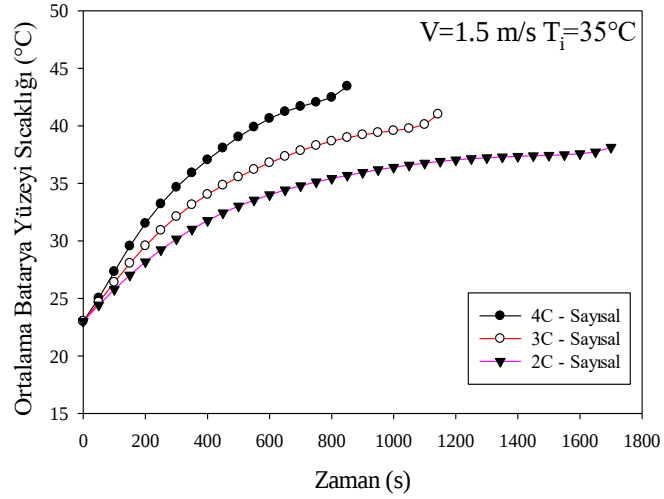
Farklı deşarj hızları, hava sıcaklıkları ve hava giriş hızlarında göre bataryanın tam deşarjı sonucunda elde edilen minimum, ortalama ve maksimum sıcaklık değerleri Tablo 5.2'de verilmiştir. Tablo 5.2 incelendiğinde batarya yüzeyinde oluşan maksimum



a)

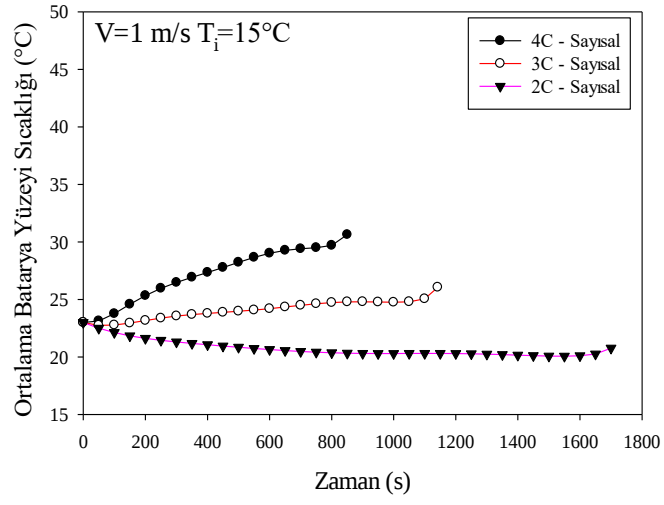


b)

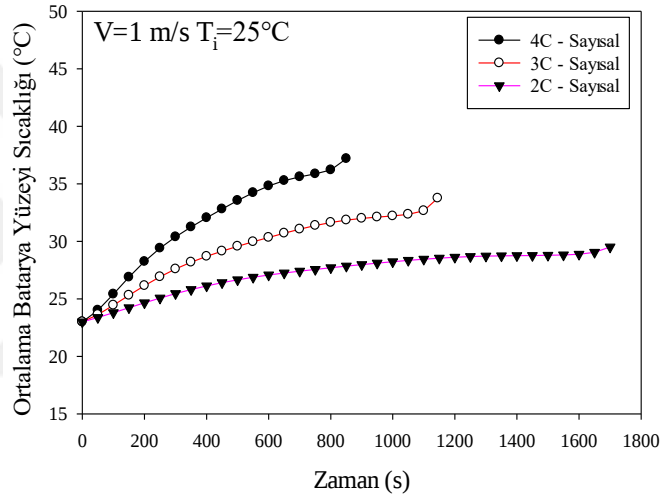


c)

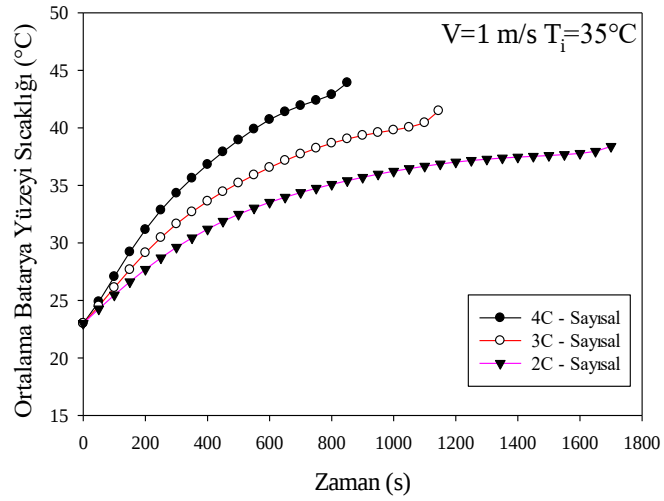
Şekil 5.5. Kanatsız Geometride 1,5 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüze Sıcaklığının Zamana Göre Sayısal Değişimi a) 15°C , b) 25°C ve c) 35°C



a)

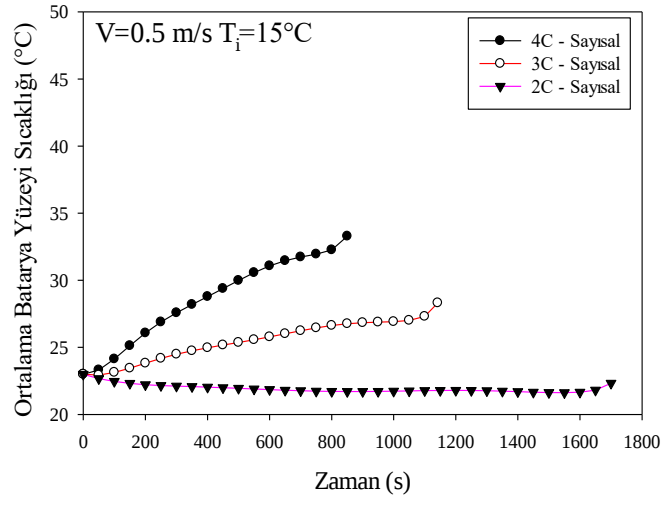


b)

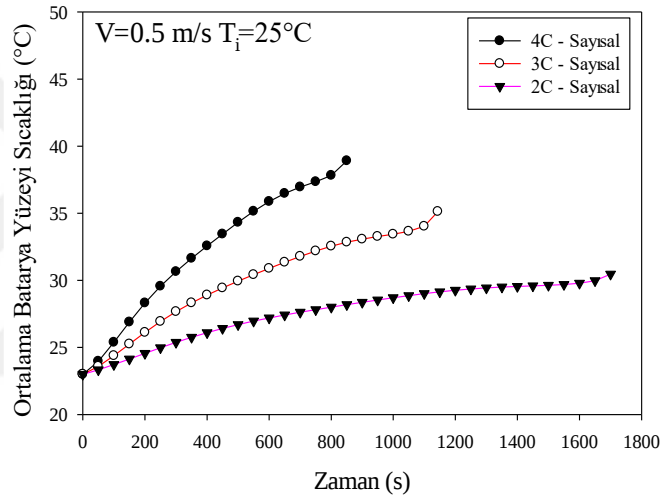


c)

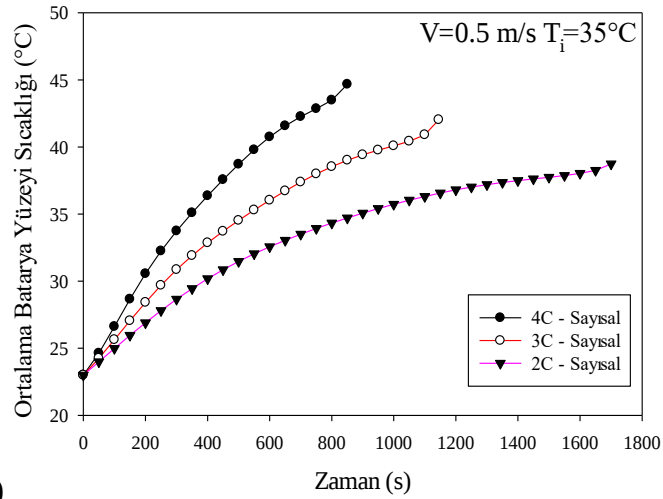
Şekil 5.6. Kanatsız Geometride 1,0 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzey Sıcaklığının Zamana Göre Sayısal Değişimi a) 15°C , b) 25°C ve c) 35°C



a)

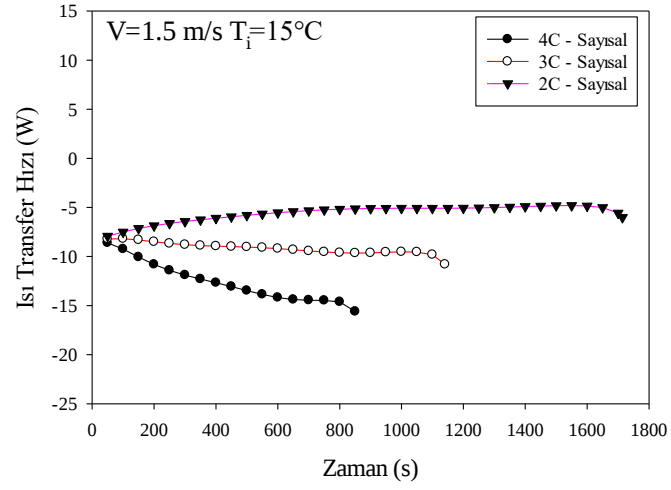


b)

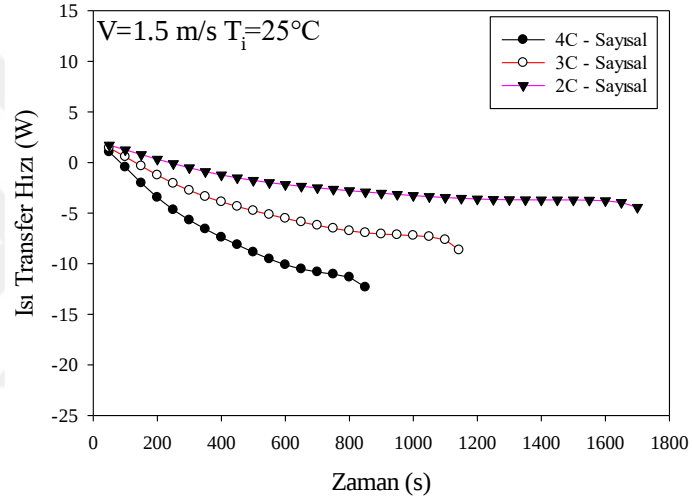


c)

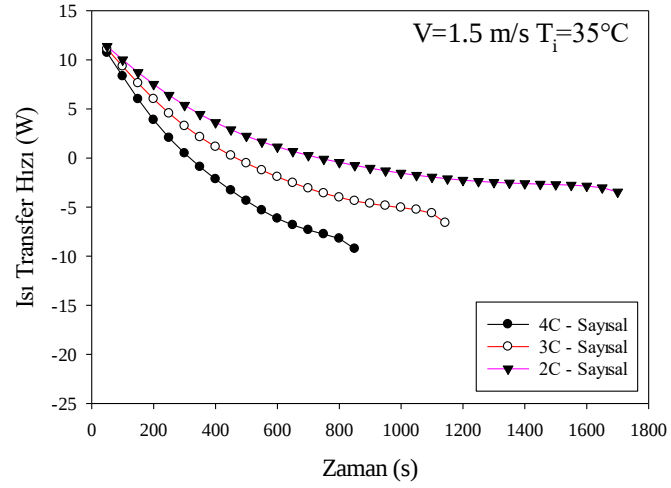
Şekil 5.7. Kanatsız Geometride 0,5 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzey Sıcaklığının Zamana Göre Sayısal Değişimi a) 15°C , b) 25°C ve c) 35°C



a)

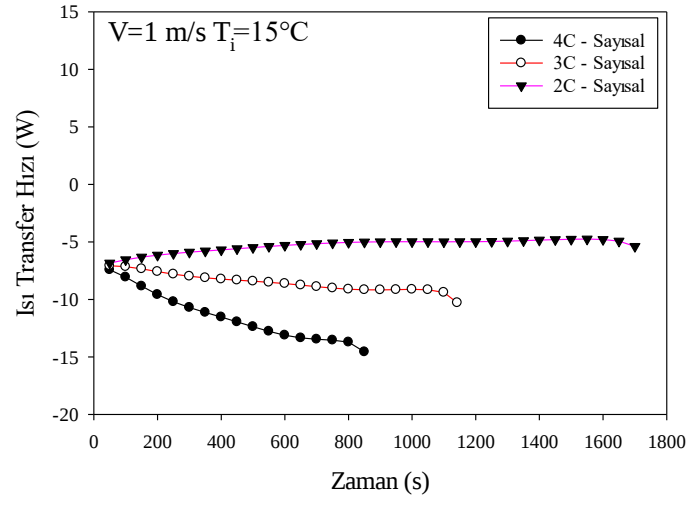


b)

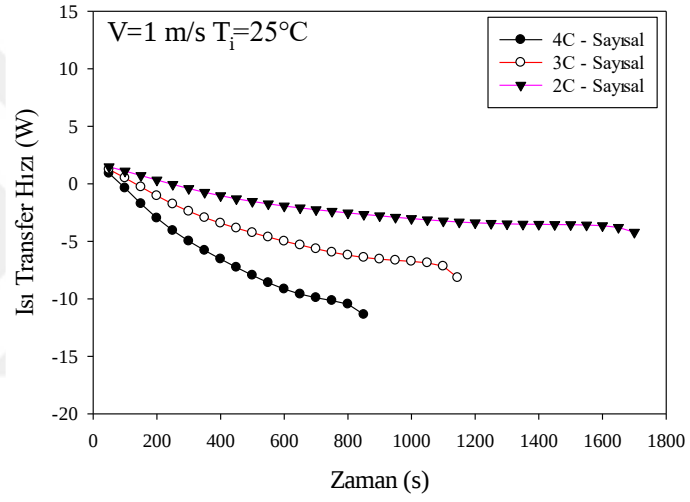


c)

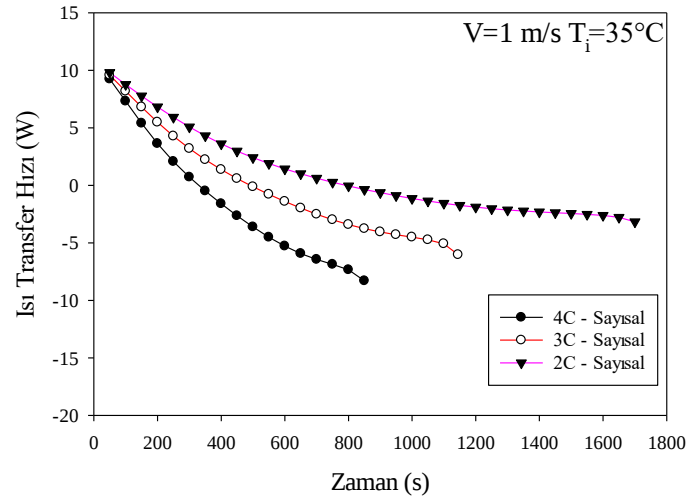
Şekil 5.8. Kanatsız Geometride 1,5 m/s Hava Hızında Isı Transfer Hızının Zamana Göre Sayısal Değişimi a) 15°C , b) 25°C ve c) 35°C



a)

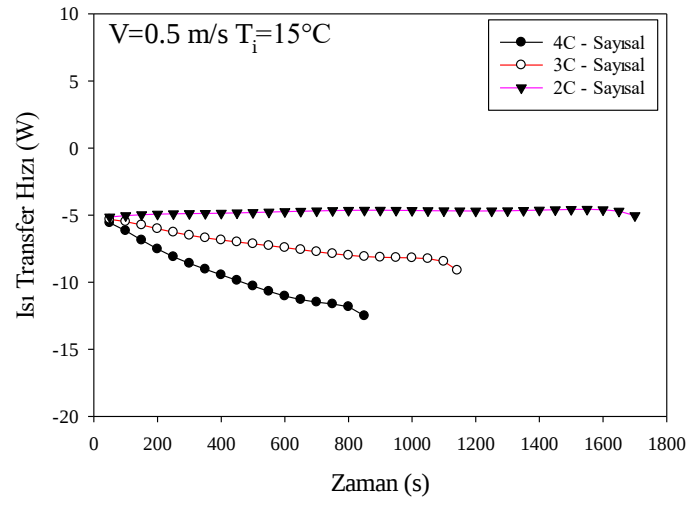


b)

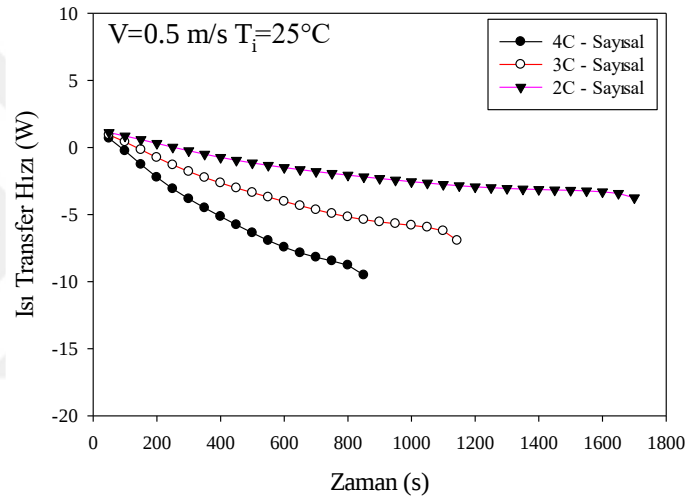


c)

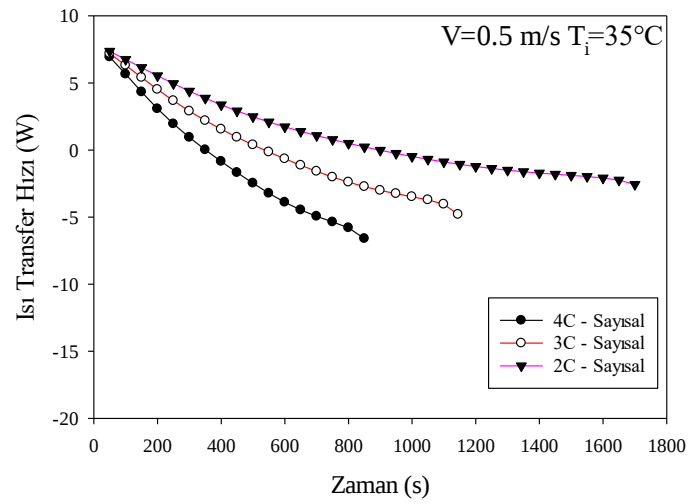
Şekil 5.9. Kanatsız Geometride 0,1 m/s Hava Hızında Isı Transfer Hızının Zamana Göre Sayısal Değişimi a) 15°C , b) 25°C ve c) 35°C



a)



b)



c)

Şekil 5.10. Kanatsız Geometride 0,5 m/s Hava Hızında Isı Transfer Hızının Zamana Göre Sayısal Değişimi a) 15°C , b) 25°C ve c) 35°C

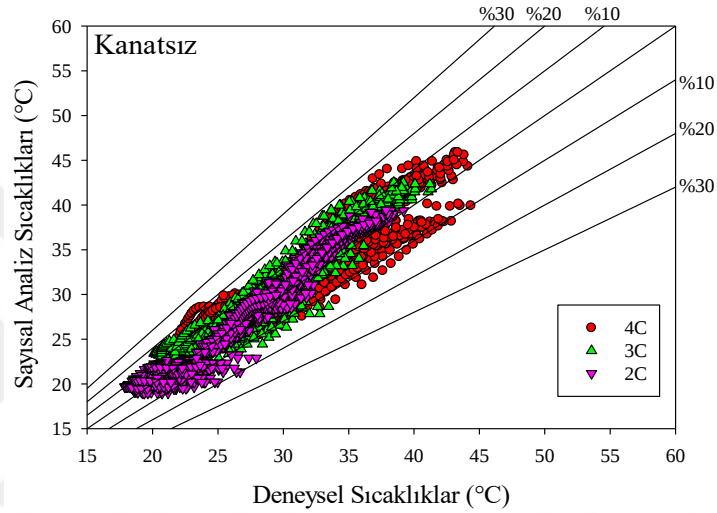
ve minimum sıcaklık farklarının 27 adet durumdan 6'sında 5°C'nin üzerinde olduğu görülmektedir.

Tablo 5.2. Kanatsız Geometri İçin Batarya SoC %0 Olduğu Anlardaki Sayısal Analiz Sonuçları

Geometri	Deşarj Hızı (C)	Akışkan Hızı (m/s)	Akışkan Giriş Sıcaklığı (°C)	Minimum Sıcaklık (°C)	Ortalama Sıcaklık (°C)	Maksimum Sıcaklık (°C)	Sıcaklık Farkı (°C)
Kanatsız	2	1,5	35	37,37	38,60	39,12	1,75
			25	27,97	29,48	30,11	2,14
			15	18,63	20,48	21,22	2,59
		1	35	37,69	38,86	39,40	1,71
			25	28,49	29,98	30,64	2,15
			15	19,31	21,17	21,96	2,65
		0,5	35	38,13	39,24	39,82	1,69
			25	29,44	30,93	31,70	2,26
			15	20,79	22,73	23,69	2,90
		1,5	35	39,09	41,22	42,16	3,07
			25	30,29	32,97	34,09	3,80
			15	21,57	24,92	26,23	4,66
	3	1	35	39,54	41,56	42,53	2,99
			25	31,15	33,77	34,94	3,79
			15	22,76	26,05	27,43	4,67
		0,5	35	40,23	42,12	43,15	2,92
			25	32,66	35,21	36,54	3,88
			15	25,12	28,38	29,99	4,87
		1,5	35	40,84	43,95	45,36	4,52
			25	32,87	36,79	38,43	5,56
			15	24,82	29,65	31,51	6,69
	4	1	35	41,50	44,45	45,88	4,38
			25	33,95	37,72	39,42	5,47
			15	26,67	31,12	33,06	6,39
		0,5	35	42,49	45,23	46,74	4,25
			25	35,95	39,55	41,41	5,46
			15	29,30	33,77	35,98	6,68

5.3. Kanatsız Geometri İçin Deneysel ve Sayısal Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Şekil 5.11’de kanatsız geometri için yapılan deneyler ve sayısal analizlerden elde edilen toplam 8208 adet veri ile karşılaştırma yapılmıştır. Yapılan karşılaştırmada verilerin %89,37’sinin $\pm\%10$ hata bandının altında olduğu, %10,48’inin $\pm\%10$ ile $\pm\%20$ hata bandı arasında olduğu, %0,15’inin ise $\pm\%20$ hata bandının üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan karşılaştırmada maksimum hata $\pm\%21,44$ olarak bulunmuştur.

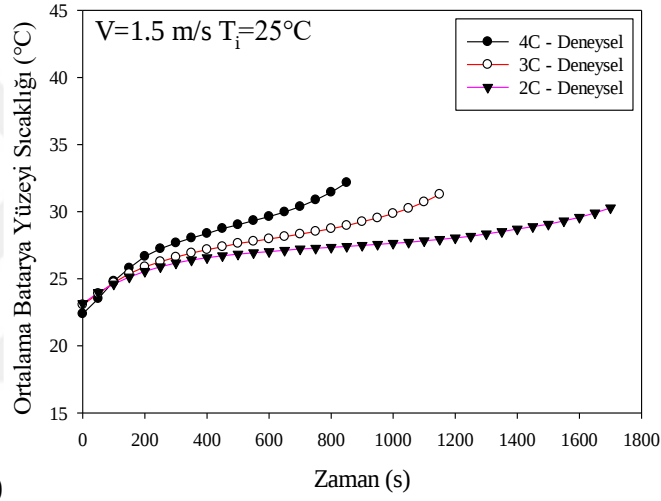
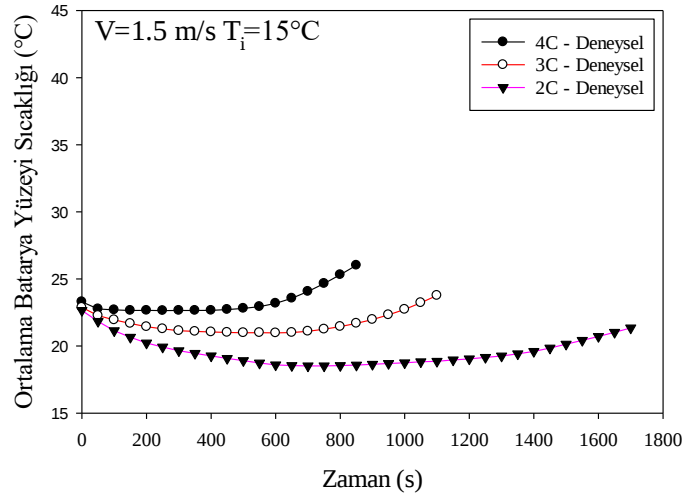


Şekil 5.11. Kanatsız Geometri İçin Sayısal Analiz Sıcaklıklarının Deneysel Sıcaklıklara Göre Değişimi

5.4. Kanatlı Geometri İçin Deney Sonuçları

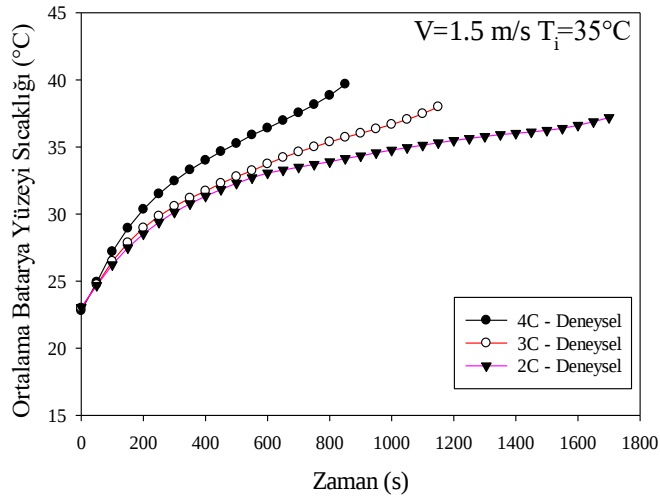
Kanatlı geometrinin kullanıldığı deney sonuçları farklı deşarj hızlarında hava giriş sıcaklıklarının ve hızlarının ortalama batarya yüzey sıcaklığına etkisi Şekil 5.12, Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’te zamana göre incelenmiştir. Şekil 5.12, Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’te farklı hava giriş sıcaklıklarının ortalama batarya yüzey sıcaklığına etkisi sırasıyla 1,5 m/s, 1 m/s ve 0,5 m/s hava hızları için verilmiştir.

Deşarj hızının 2C’den 4C’ye artması durumunda Şekil 5.12a), Şekil 5.12b) ve Şekil 5.13c)’de, 15°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 22,68°C, 24,22°C ve 26,49°C ulaştığı, 25°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 30,43°C, 31,29°C ve



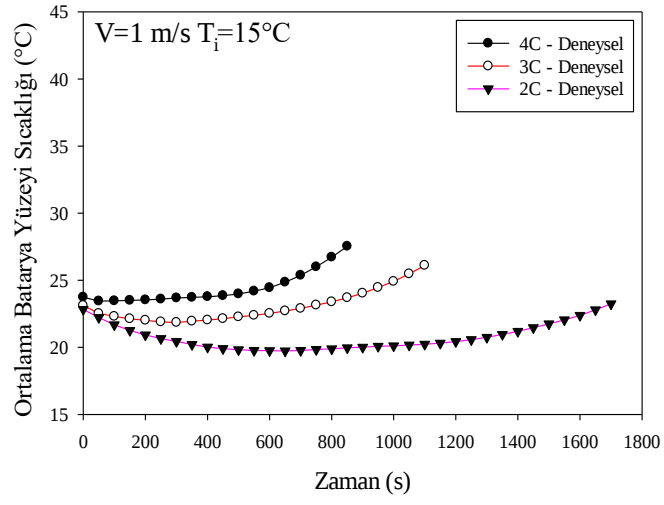
a)

b)

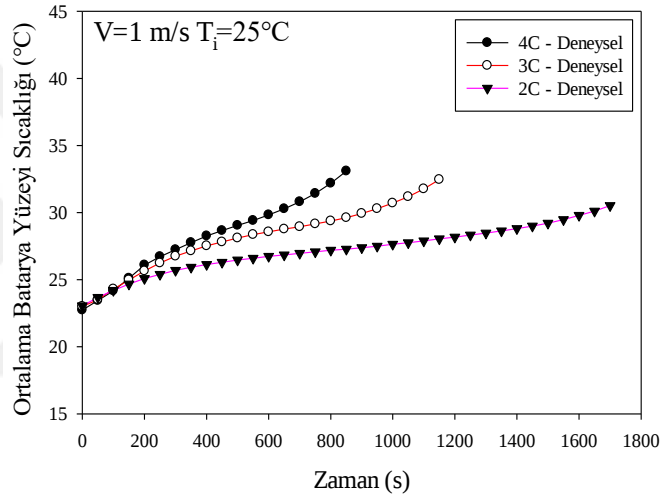


c)

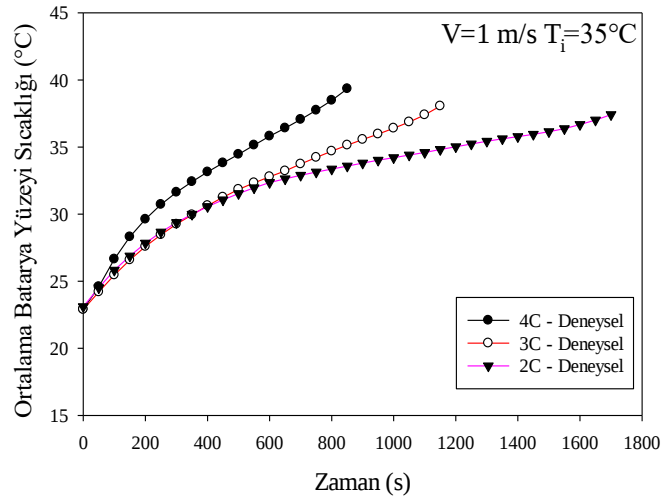
Şekil 5.12. Kanatlı Geometride 1,5 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzey Sıcaklığının Zamana Göre Deneyssel Değişimi a) 15°C , b) 25°C ve c) 35°C



a)

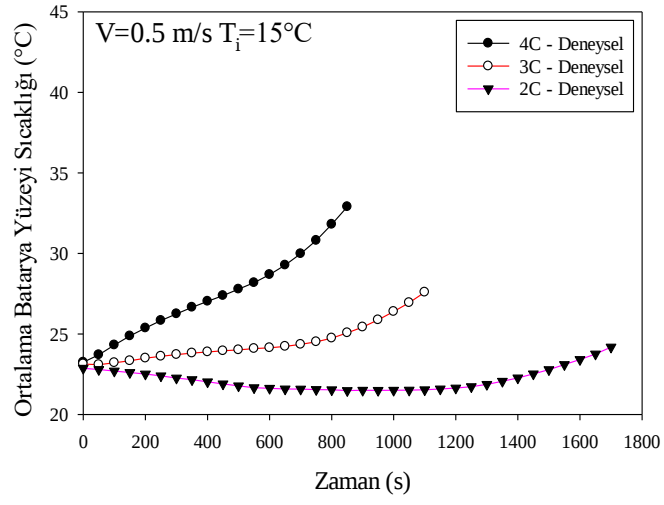


b)

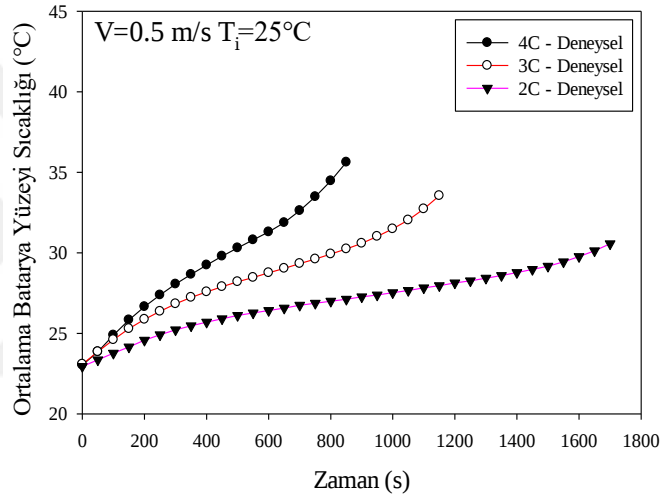


c)

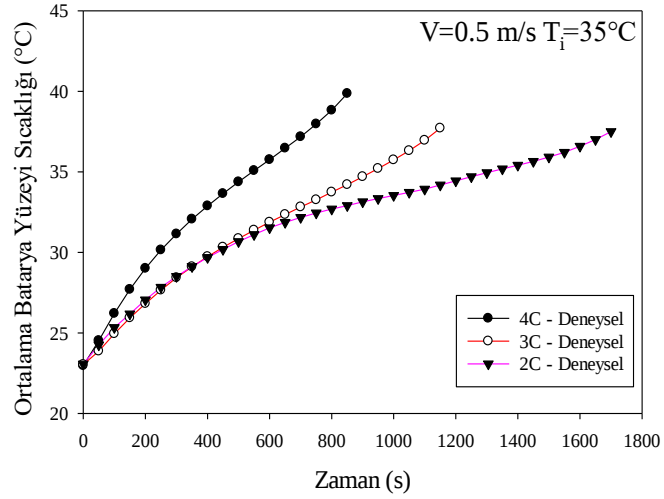
Şekil 5.13. Kanatlı Geometride 1,0 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzey Sıcaklığının Zamana Göre Deneysel Değişimi a) 15°C , b) 25°C ve c) 35°C



a)



b)



c)

Şekil 5.14. Kanatlı Geometride 0,5 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzey Sıcaklığının Zamana Göre Deneyisel Değişimi a) 15°C , b) 25°C ve c) 35°C

Tablo 5.3. Kanatlı Geometri İçin Batarya SoC %0 Olduğu Anlardaki Deneysel Sonuçlar

Geometri	Deşarj Hızı (C)	Akışkan Hızı (m/s)	Akışkan Giriş Sıcaklığı (°C)	Minimum Sıcaklık (°C)	Ortalama Sıcaklık (°C)	Maksimum Sıcaklık (°C)	Sıcaklık Farkı (°C)
Kanatlı	2	1,5	35	37,10	37,35	38,02	0,92
			25	29,69	30,43	31,25	1,56
			15	20,48	21,47	22,26	1,78
		1	35	37,32	37,59	38,36	1,04
			25	29,83	30,68	31,47	1,64
			15	22,17	23,43	24,33	2,16
		0,5	35	36,51	37,70	38,56	2,05
			25	30,08	30,74	31,49	1,41
			15	23,02	24,38	25,37	2,35
	3	1,5	35	37,89	38,12	38,80	0,91
			25	30,41	31,29	32,20	1,79
			15	22,59	24,22	25,44	2,85
		1	35	37,86	38,20	38,95	1,09
			25	31,31	32,46	33,62	2,31
			15	26,93	26,70	27,91	0,98
		0,5	35	37,37	37,90	38,43	1,06
			25	32,45	33,55	34,71	2,26
			15	26,42	28,13	29,30	2,88
	4	1,5	35	39,36	39,87	40,54	1,18
			25	31,33	32,33	33,14	1,81
			15	24,33	26,19	27,52	3,19
		1	35	39,14	39,76	40,33	1,19
			25	31,82	33,50	34,23	2,41
			15	25,66	27,53	29,09	3,43
		0,5	35	39,50	40,32	41,10	1,6
			25	35,16	36,17	37,10	1,94
			15	30,65	33,12	34,88	4,23

32,33°C ulaştığı, 35°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 37,35°C, 38,12°C ve 39,87°C ulaştığı görülmüştür.

Deşarj hızının 2C'den 4C'ye artması durumunda Şekil 5.13a), Şekil 5.13b) ve Şekil 5.13c)'de, 15°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 23,43°C, 29,70°C ve 27,53°C ulaştığı, 25°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 30,68°C, 32,46°C ve

33,50°C ulaştığı, 35°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 37,59°C, 38,20°C ve 39,76°C ulaştığı görülmüştür.

Deşarj hızının 2C'den 4C'ye artması durumunda Şekil 5.14a), Şekil 5.14b) ve Şekil 5.14c)'de, 15°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 24,38°C, 28,13°C ve 33,12°C ulaştığı, 25°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 30,74°C, 33,55°C ve 36,17°C ulaştığı, 35°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 37,70°C, 37,90°C ve 40,32°C ulaştığı görülmüştür.

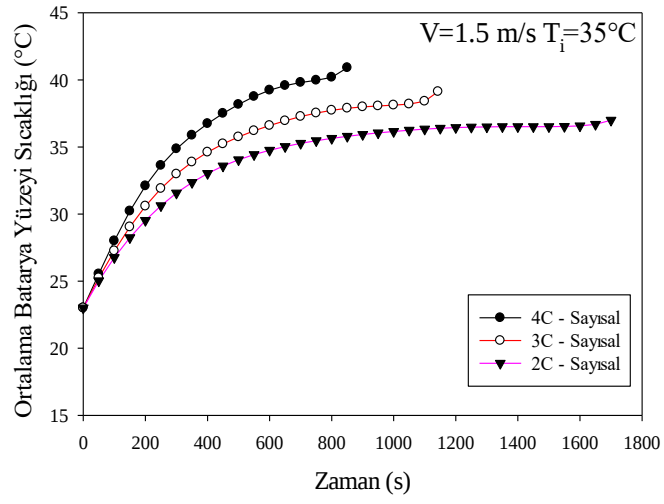
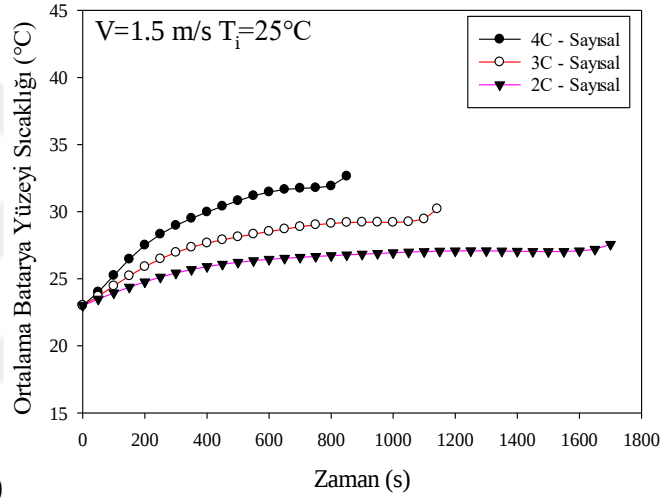
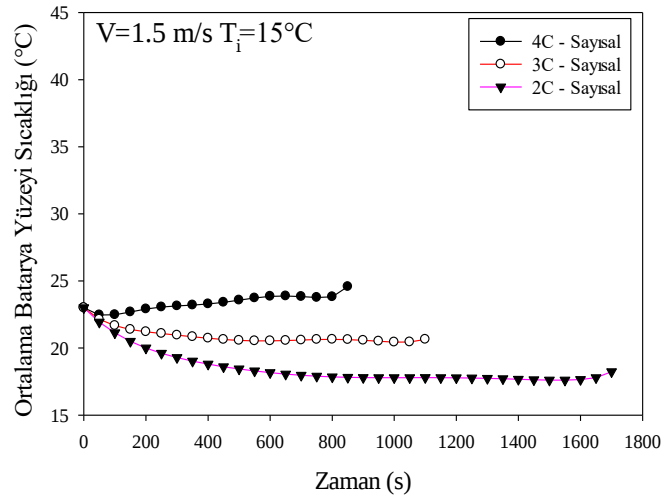
Grafikler ışığında 1,5 ve 1 m/s hava giriş hızlarında 15°C hava sıcaklığında 2C deşarj hızında ortalama batarya yüzey sıcaklığının 20°C'nin altında olduğu görülmektedir. Diğer tüm durumlarda ortalama batarya yüzey sıcaklığının 20°C ile 40°C arasında olduğu gözlemlenmiştir. Artan hava giriş hızı ile batarya yüzeyinde gerçekleşen taşınım ile ısı transferinin arttığı ve bu sebeple batarya yüzey sıcaklıklarında düşme olduğu söylenebilir.

Farklı deşarj hızları, hava sıcaklıkları ve hava giriş hızlarında göre bataryanın tam deşarjı sonucunda elde edilen minimum, ortalama ve maksimum sıcaklık değerleri Tablo 5.3'te verilmiştir. Tablo 5.3 incelendiğinde batarya yüzeyinde oluşan maksimum ve minimum sıcaklık farklarının 27 adet durumdan hiçbirinde 5°C'nin üzerinde olduğu görülmektedir.

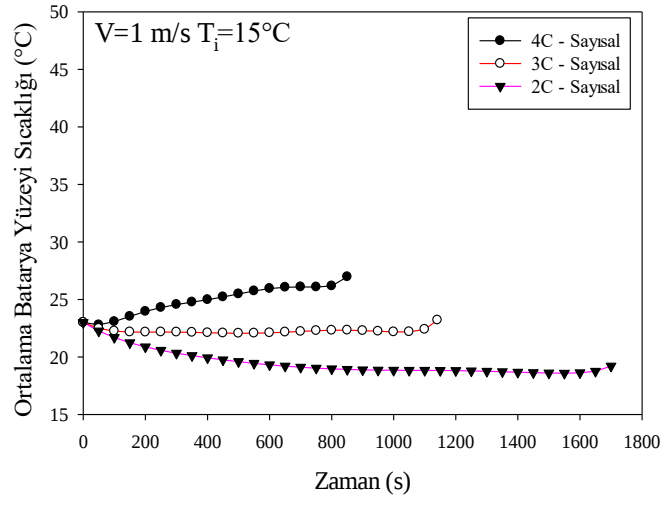
5.5. Kanatlı Geometri İçin Sayısal Analiz Sonuçları

Kanatlı geometrinin kullanıldığı sayısal analiz sonuçları farklı deşarj hızlarında hava giriş sıcaklıklarının ve hızlarının ortalama batarya yüzey sıcaklığına etkisi Şekil 5.15, Şekil 5.16 ve Şekil 5.17'de zamana göre incelenmiştir. Şekil 5.15, Şekil 5.16 ve Şekil 5.17'de farklı hava giriş sıcaklıklarının ortalama batarya yüzey sıcaklığına etkisi sırasıyla 1,5 m/s, 1 m/s ve 0,5 m/s hava hızları için verilmiştir.

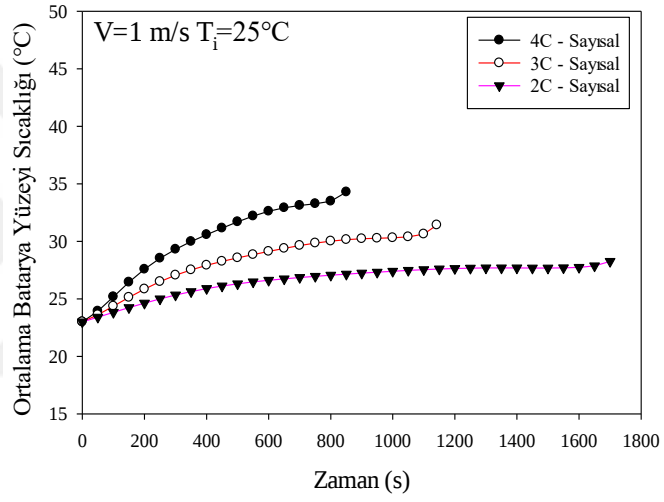
Deşarj hızının 2C'den 4C'ye artması durumunda Şekil 5.15a), Şekil 5.15b) ve Şekil 5.15)'de, 15°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 23,00°C, 23,00°C ve 24,90°C ulaştığı, 25°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 27,92°C, 30,27°C ve



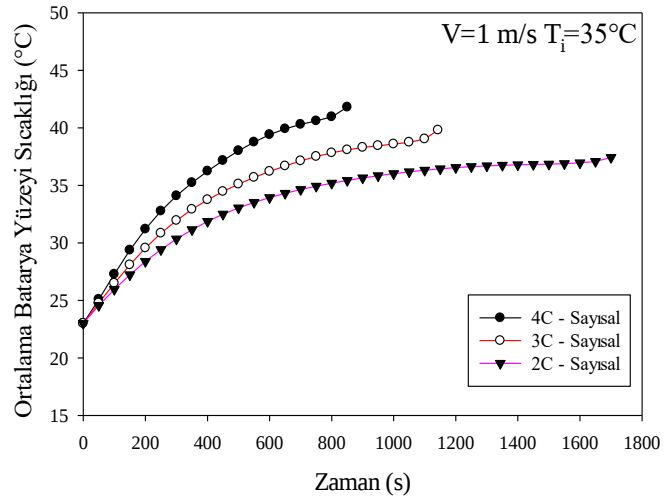
Şekil 5.15. Kanatlı Geometride 1,5 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzey Sıcaklığının Zamana Göre Sayısal Değişimi a) 15°C , b) 25°C ve c) 35°C



a)

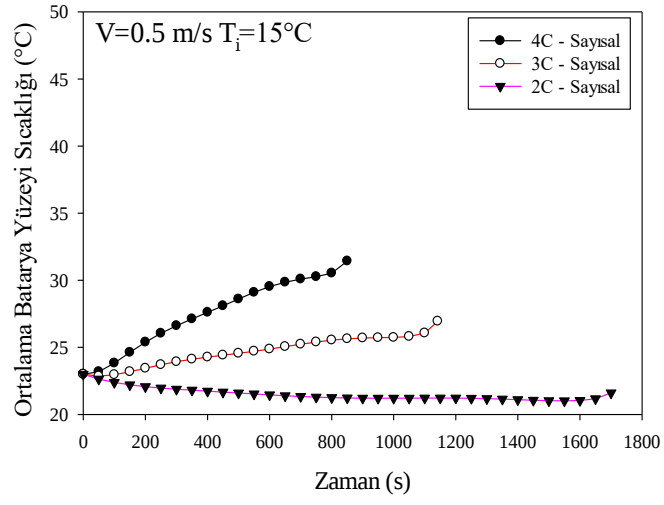


b)

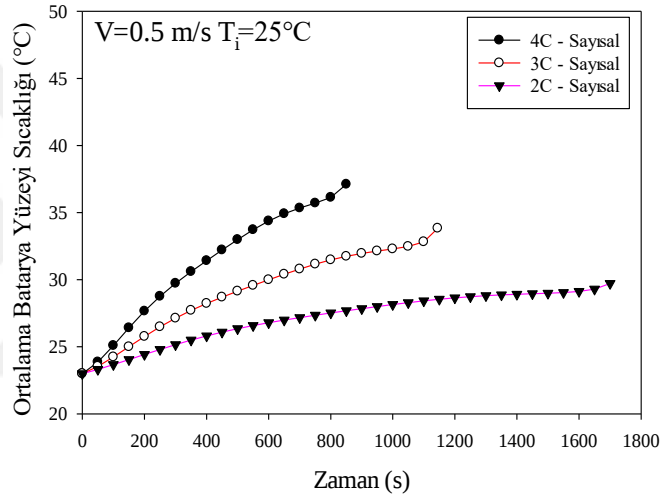


c)

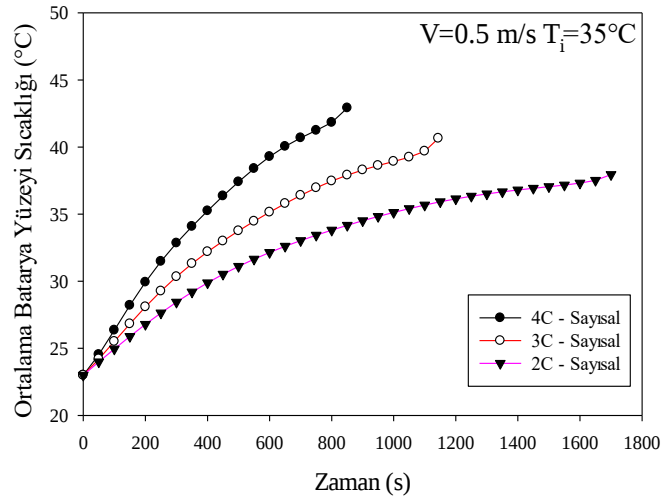
Şekil 5.16. Kanatlı Geometride 1,0 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzeği Sıcaklığının Zamana Göre Sayısal Değişimi a) 15°C , b) 25°C ve c) 35°C



a)

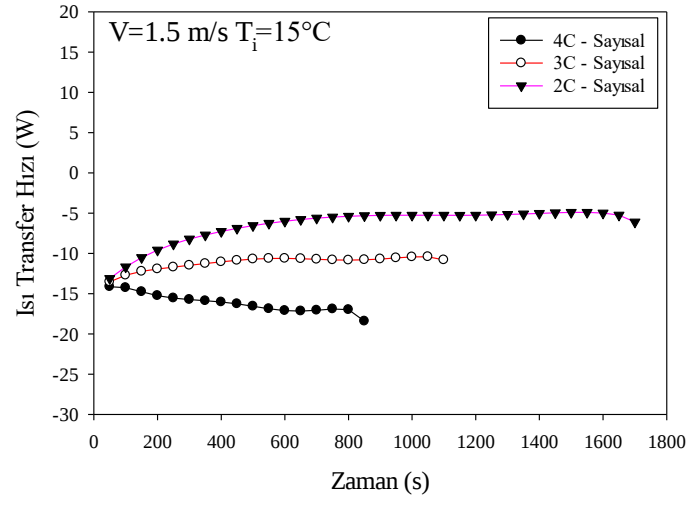


b)

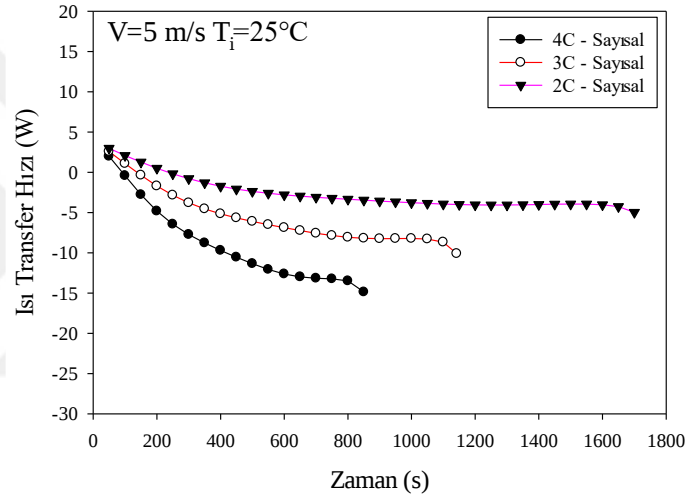


c)

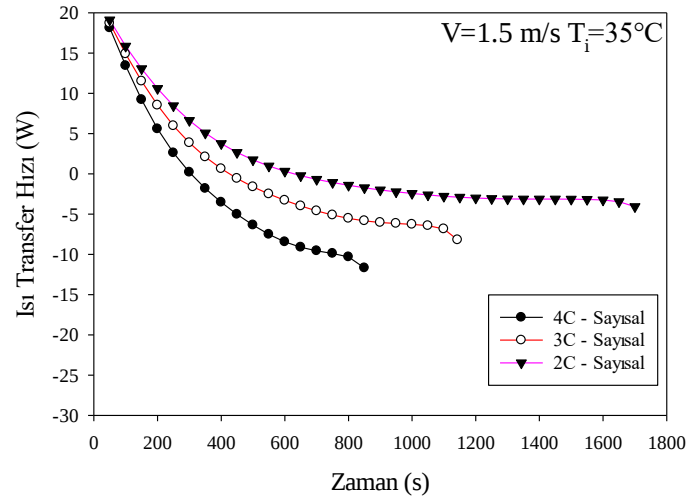
Şekil 5.17. Kanatlı Geometride 0,5 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzey Sıcaklığının Zamana Göre Sayısal Değişimi



a)

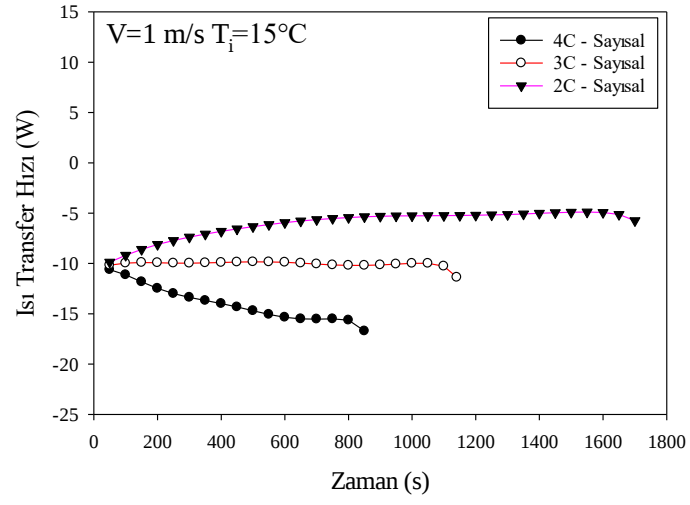


b)

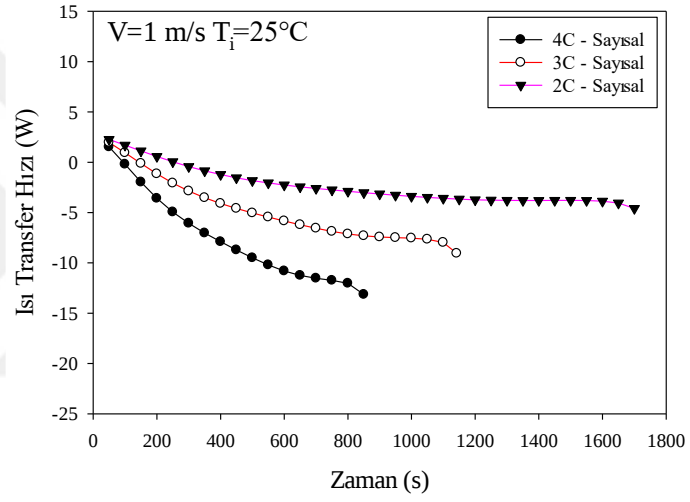


c)

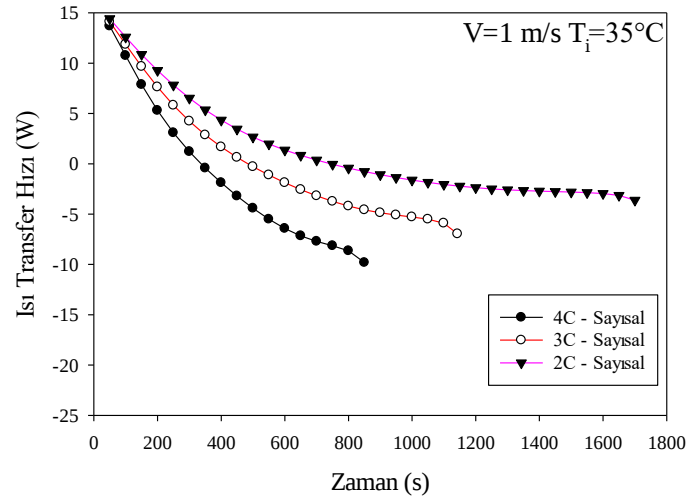
Şekil 5.18. Kanatlı Geometride 1,5 m/s Hava Hızında Isı Transfer Hızının Zamana Göre Sayısal Değişimi



a)

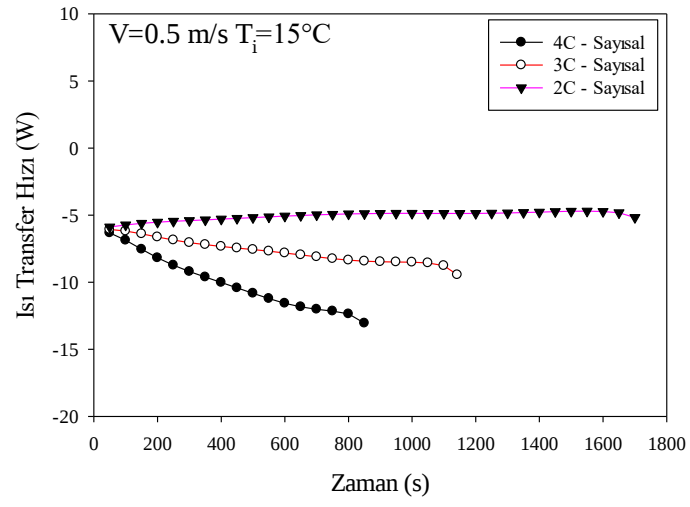


b)

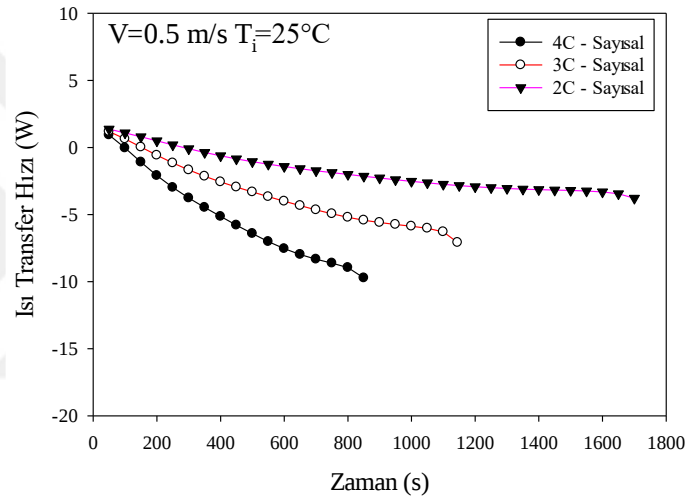


c)

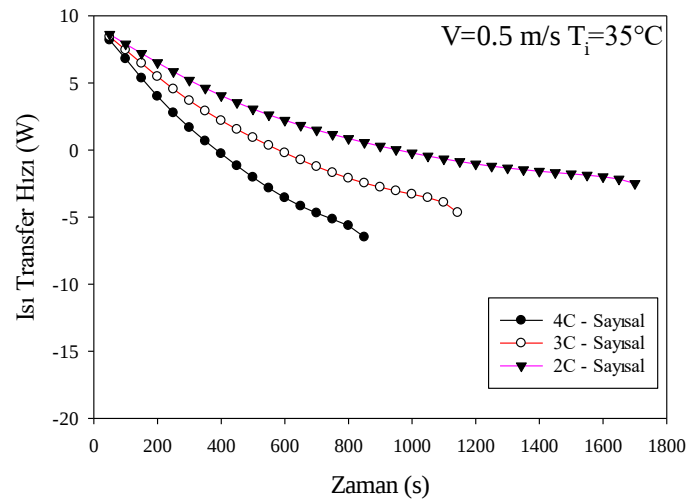
Şekil 5.19. Kanatlı Geometride 1,0 m/s Hava Hızında Isı Transfer Hızının Zamana Göre Sayısal Değişimi



a)



b)



c)

Şekil 5.20. Kanatlı Geometride 0,5 m/s Hava Hızında Isı Transfer Hızının Zamana Göre Sayısal Değişimi

Tablo 5.4. Kanatlı Geometri İçin Batarya SoC %0 Olduğu Anlardaki Sayısal Analiz Sonuçları

Geometri	Deşarj Hızı (C)	Akışkan Hızı (m/s)	Akışkan Giriş Sıcaklığı (°C)	Minimum Sıcaklık (°C)	Ortalama Sıcaklık (°C)	Maksimum Sıcaklık (°C)	Sıcaklık Farkı (°C)
<i>Kanatlı</i>	2	1,5	35	36,89	37,42	38,00	1,11
			25	27,42	27,92	28,30	0,88
			15	17,89	18,56	19,58	1,69
		1	35	37,41	37,83	38,43	1,02
			25	28,00	28,62	29,08	1,08
			15	18,68	19,53	20,48	1,80
		0,5	35	37,85	38,39	39,06	1,21
			25	29,35	30,14	30,75	1,40
			15	20,76	27,96	22,92	2,16
		1,5	35	38,60	39,29	40,12	1,52
			25	29,32	30,27	30,99	1,67
			15	20,19	21,41	22,47	2,28
	3	1	35	39,26	39,99	40,89	1,63
			25	30,42	31,55	32,38	1,96
			15	21,69	23,21	24,35	2,66
		0,5	35	39,81	40,78	41,75	1,94
			25	32,51	33,84	34,88	2,37
			15	24,96	26,95	28,13	3,17
		1,5	35	40,35	41,39	42,51	2,16
			25	31,59	33,03	34,10	2,51
			15	23,10	24,90	26,10	3,00
	4	1	35	41,30	42,40	43,63	2,33
			25	33,11	34,75	35,93	2,82
			15	25,17	27,33	28,69	3,52
		0,5	35	42,06	43,49	44,80	2,74
			25	35,84	37,68	39,15	3,31
			15	29,24	31,86	33,49	4,25

33,03°C ulaştığı, 35°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 37,42°C, 39,29°C ve 41,39°C ulaştığı görülmüştür.

Deşarj hızının 2C'den 4C'ye artması durumunda Şekil 5.16a), Şekil 5.16b) ve Şekil 5.16c)'de, 15°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 23,00°C, 23,21°C ve 27,33°C ulaştığı, 25°C hava giriş sıcaklığı için

sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 28,62°C, 31,55°C ve 34,75°C ulaştığı, 35°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 37,83°C, 39,99°C ve 42,40°C ulaştığı görülmüştür.

Deşarj hızının 2C'den 4C'ye artması durumunda Şekil 5.17a), Şekil 5.17b) ve Şekil 5.17c)'de, 15°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 23,00°C, 26,95°C ve 31,86°C ulaştığı, 25°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 30,14°C, 33,84°C ve 37,68°C ulaştığı, 35°C hava giriş sıcaklığı için sırasıyla ortalama batarya yüzey sıcaklıklarının maksimum 38,89°C, 40,78°C ve 43,49°C ulaştığı görülmüştür.

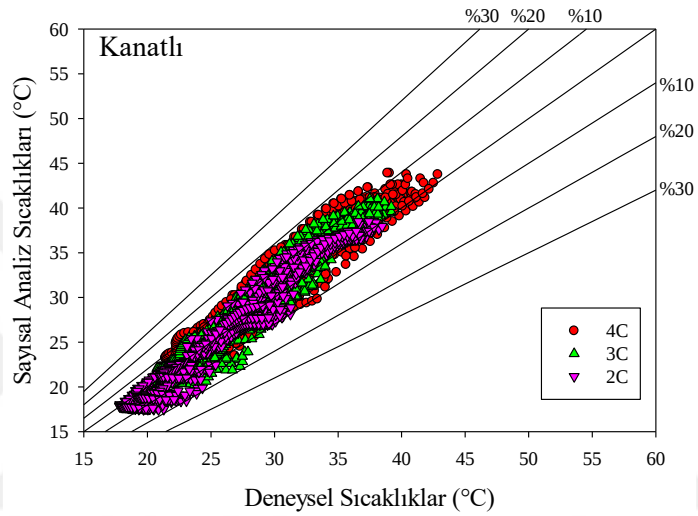
Bu grafiklere bakıldığında 1,5 m/s, 1 m/s ve 0,5 m/s hava giriş hızlarında, 35°C hava giriş sıcaklığında, 4C deşarj hızında ve 0,5 m/s hava giriş hızında 35°C hava sıcaklığında, 4C deşarj hızında, ortalama batarya yüzey sıcaklığının 40°C'nin üzerinde olduğu, 1,5 m/s ve 1 m/s hava giriş hızlarında, 15°C hava giriş sıcaklığında, 2C deşarj hızında ise 20°C'nin altında olduğu görülmektedir. Diğer tüm durumlarda ise ortalama batarya yüzey sıcaklığının 20°C ile 40°C arasında olduğu gözlemlenmiştir.

Batarya yüzeyinde hava akış yönlendirici kanatların kullanıldığı durumlarda, Şekil 5.18, Şekil 5.19 ve Şekil 5.20'de sırasıyla 1,5 m/s, 1 m/s ve 0,5 m/s hava hızlarında, farklı deşarj hızlarında ve farklı hava giriş sıcaklıklarında batarya yüzeyinde oluşan ısı transfer hızının zamana göre değişimi gösterilmektedir. Tüm durumlarda deşarj hızının arttıkça ısı transfer hızının da arttığı, hava hızının arttıkça ısı transfer hızının arttığı ve hava giriş sıcaklığı arttıkça ısı transfer hızının azaldığı görülmektedir.

Farklı deşarj hızları, hava sıcaklıkları ve hava giriş hızlarında göre bataryanın tam deşarjı sonucunda elde edilen minimum, ortalama ve maksimum sıcaklık değerleri Tablo 5.9'da verilmiştir. Tablo 5.9 incelendiğinde batarya yüzeyinde oluşan maksimum ve minimum sıcaklık farklarının 27 adet durumdan hiçbirinde 5°C'nin üzerinde olduğu görülmektedir.

5.6. Kanatlı Geometri İçin Deneysel ve Sayısal Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Şekil 5.21’de kanatlı geometri için yapılan deneyler ve sayısal analizlerden elde edilen toplam 8208 adet veri ile karşılaştırma yapılmıştır. Yapılan karşılaştırmada verilerin %88,04’ünün $\pm\%10$ hata bandının altında olduğu, %11,94’ünün $\pm\%10$ ile $\pm\%20$ hata bandı arasında olduğu, %0,02’sinin ise $\pm\%20$ hata bandının üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan karşılaştırmada maksimum hata $\pm\%22,68$ olarak bulunmuştur.

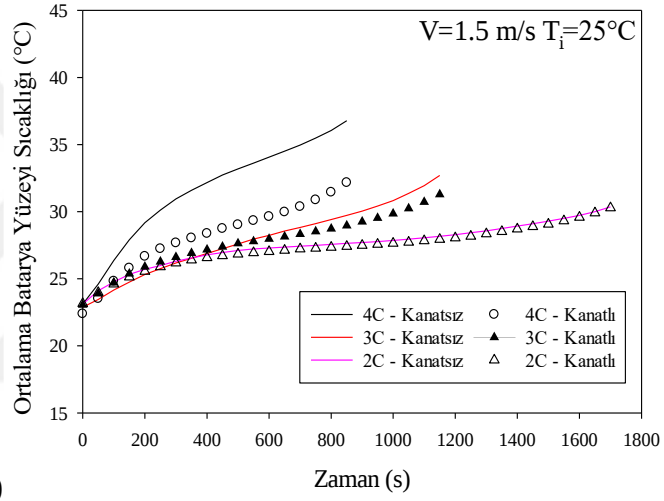
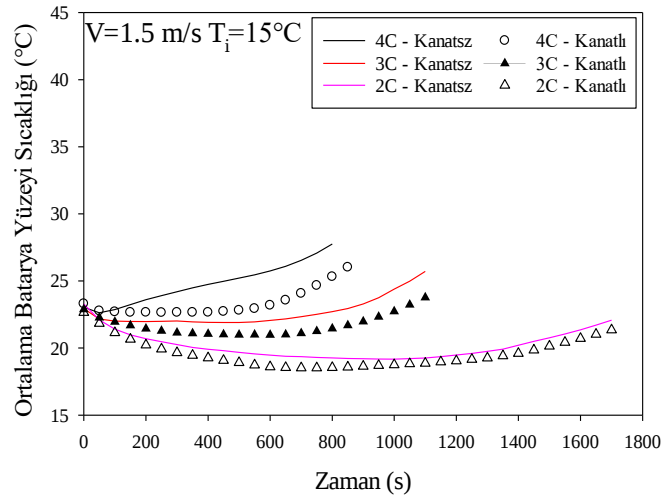


Şekil 5.21. Kanatlı Geometri İçin Sayısal Analiz Sıcaklıklarının Deneysel Sıcaklıklara Göre Değişimi

5.7. Kanatsız ve Kanatlı Geometri İçin Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması

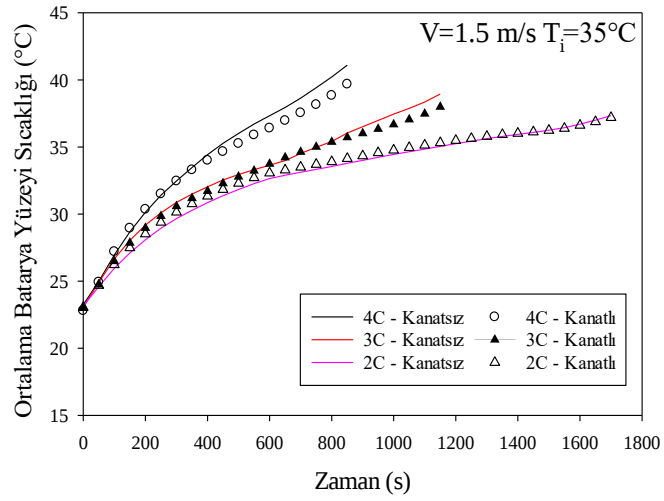
Kanatsız ve kanatlı geometrinin kullanıldığı, 2C’den 4C’ye artan deşarj hızlarında, 1,5 m/s hava hızı ve 15°C, 25°C, 35°C hava giriş sıcaklıklarında yapılan deneylerin karşılaştırıldığı grafikler sırasıyla Şekil 5.22a), Şekil 5.22b) ve Şekil 5.22c)’de verilmiştir. Kanatlı geometrinin kullanıldığı deneylerde ortalama batarya yüzey sıcaklığında 4C’de 4,62°C, 3C’de 2,06° ve 2C’de 0,87°C’ye varan düşüş gözlenmiştir.

2C, 3C, 4C ve 4C deşarj hızlarında kanatsız ve kanatlı geometrinin kullanıldığı, 1 m/s hava hızı ve 15°C, 25°C, 35°C hava giriş sıcaklıklarında yapılan deneylerin karşılaştırıldığı grafikler sırasıyla Şekil 5.23a), Şekil 5.23b) ve Şekil 5.23c)’de verilmiştir. Kanatlı geometrinin kullanıldığı deneylerde ortalama batarya yüzey sıcaklığında 4C’de 5,54°C, 3C’de 1,13° ve 2C’de 1,23°C’ye varan düşüş gözlenmiştir.



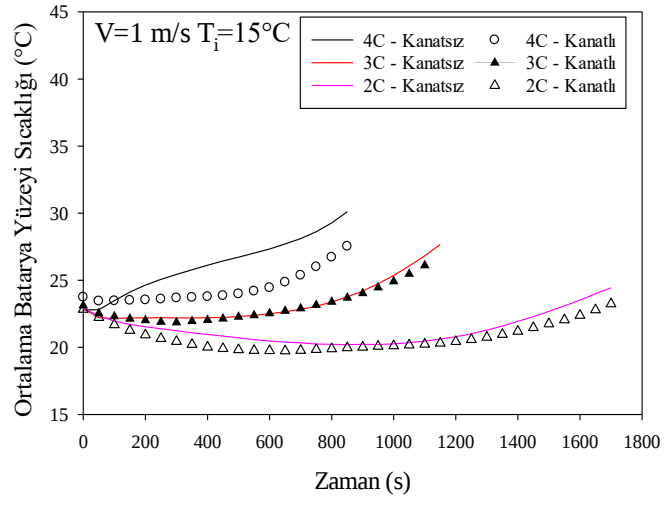
a)

b)

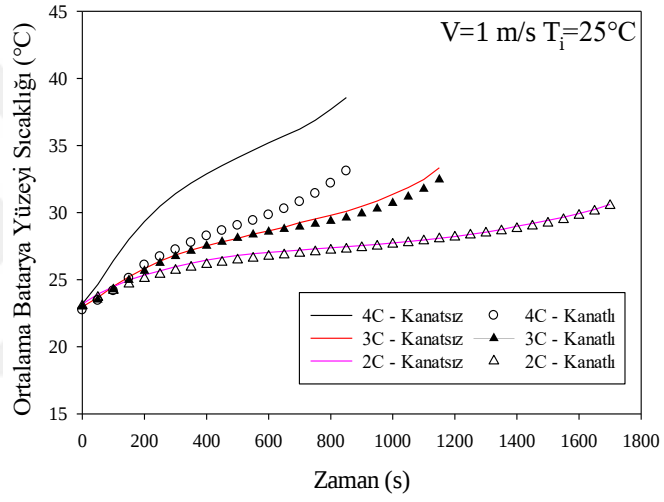


c)

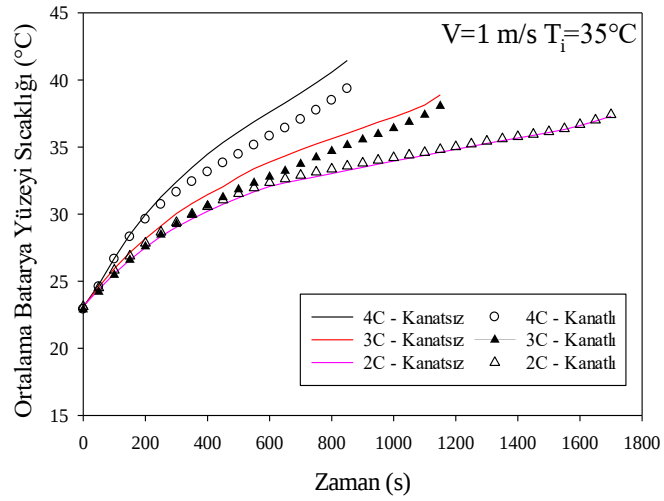
Şekil 5.22. Kanatsız ve Kanatlı Geometride 1,5 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzeği Sıcaklığının Zamana Göre Deneysel Değişimi a) 15°C, b) 25°C ve c) 35°C



a)

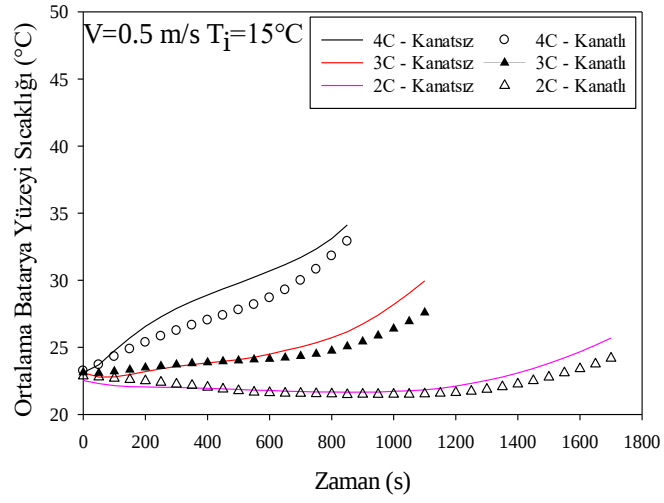


b)

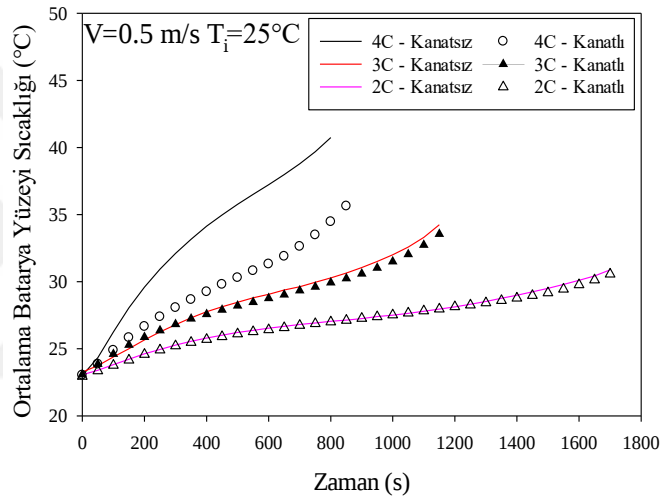


c)

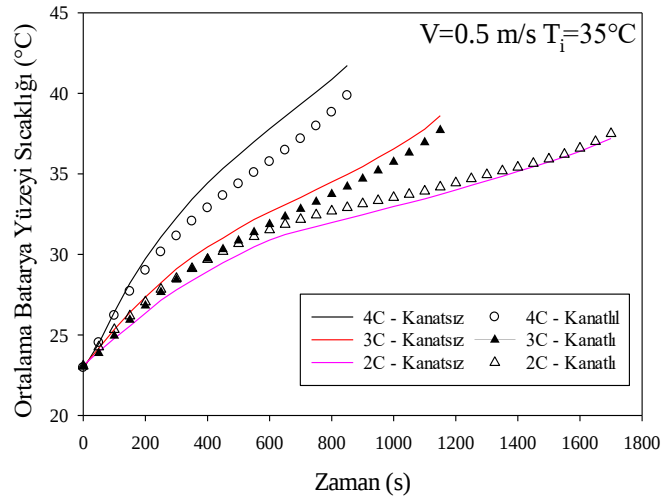
Şekil 5.23. Kanatsız ve Kanatlı Geometride 1,0 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzey Sıcaklığının Zamana Göre Deneyisel Değişimi a) 15°C, b) 25°C ve c) 35°C



a)



b)



c)

Şekil 5.24. Kanatsız ve Kanatlı Geometride 0,5 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzey Sıcaklığının Zamana Göre Deneyisel Değişimi a) 15°C , b) 25°C ve c) 35°C

0,5 m/s hava hızında, 2C'den 4C'ye artan deşarj hızlarında kanatsız/kanatlı geometrinin kullanıldığı ve 15°C, 25°C, 35°C hava giriş sıcaklıklarında yapılan deneylerin karşılaştırıldığı grafikler sırasıyla Şekil 5.24a), Şekil 5.24b) ve Şekil 5.24c)'de verilmiştir . Kanatlı geometrinin kullanıldığı deneylerde ortalama batarya yüzey sıcaklığında 4C'de 6,35°C, 3C'de 2,63° ve 2C'de 1,56°C'ye varan düşüş gözlenmiştir.

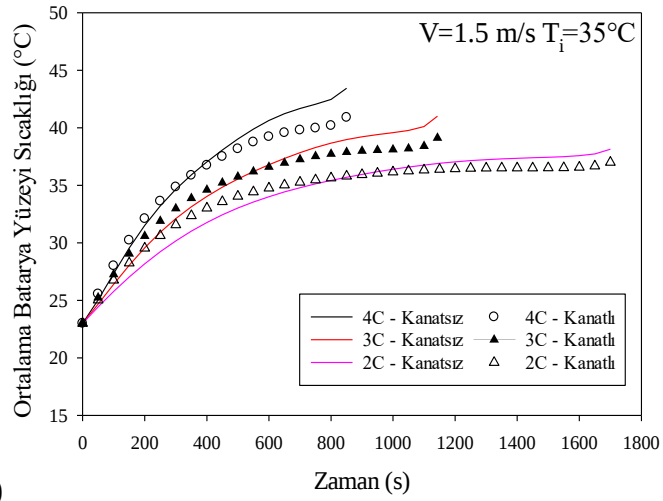
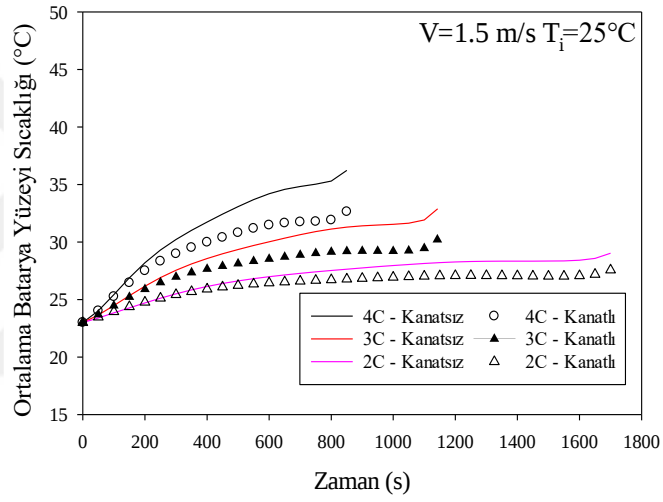
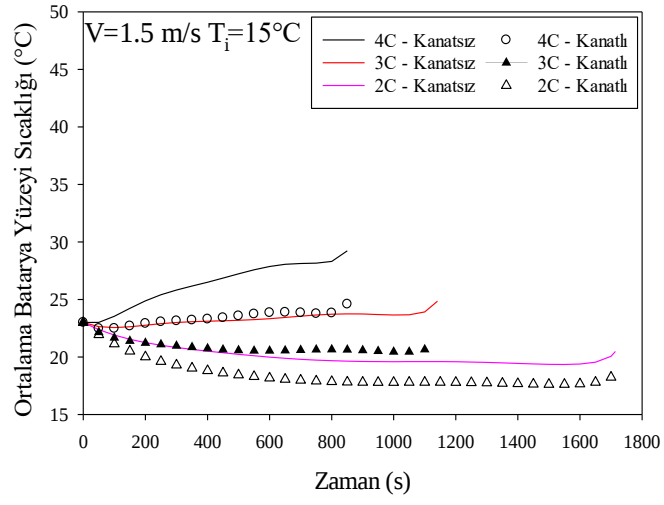
5.8. Kanatsız ve Kanatlı Geometri İçin Sayısal Analiz Sonuçların Karşılaştırılması

Şekil 5.25a), Şekil 5.25b) ve Şekil 5.25c) 1,5 m/s hava hızında, 2C'den 4C'ye artan deşarj hızlarında kanatsız/kanatlı geometrinin kullanıldığı ve 15°C, 25°C, 35°C hava giriş sıcaklıklarında yapılan deneylerin karşılaştırıldığı grafikler verilmiştir. Kanatlı geometrinin kullanıldığı deneylerde ortalama batarya yüzey sıcaklığında 4C'de 4,70°C, 3C'de 2,45° ve 2C'de 1,64°C'ye varan düşüş gözlenmiştir.

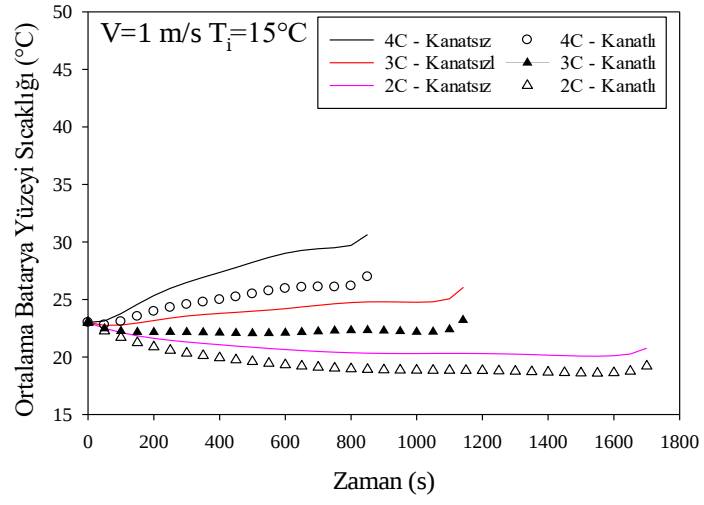
1 m/s hava hızında, 2C'den 4C'ye artan deşarj hızlarında kanatsız/kanatlı geometrinin kullanıldığı ve 15°C, 25°C, 35°C hava giriş sıcaklıklarında yapılan deneylerin karşılaştırıldığı grafikler Şekil 5.26a), Şekil 5.26b) ve Şekil 5.26c)' verilmiştir. Kanatlı geometrinin kullanıldığı deneylerde ortalama batarya yüzey sıcaklığında 4C'de 5,01°C, 3C'de 4,01° ve 2C'de 2,08°C'ye varan düşüş gözlenmiştir.

Kanatsız ve kanatlı geometrinin kullanıldığı, 2C'den 4C'ye artan deşarj hızlarında, 0,5 m/s hava hızı ve 15°C, 25°C, 35°C hava giriş sıcaklıklarında yapılan deneylerin karşılaştırıldığı grafikler sırasıyla Şekil 5.27a), Şekil 5.27b) ve Şekil 5.27c)'de verilmiştir. Kanatlı geometrinin kullanıldığı deneylerde ortalama batarya yüzey sıcaklığında 4C'de 5,13°C, 3C'de 4,81° ve 2C'de 2,39°C'ye varan düşüş gözlenmiştir.

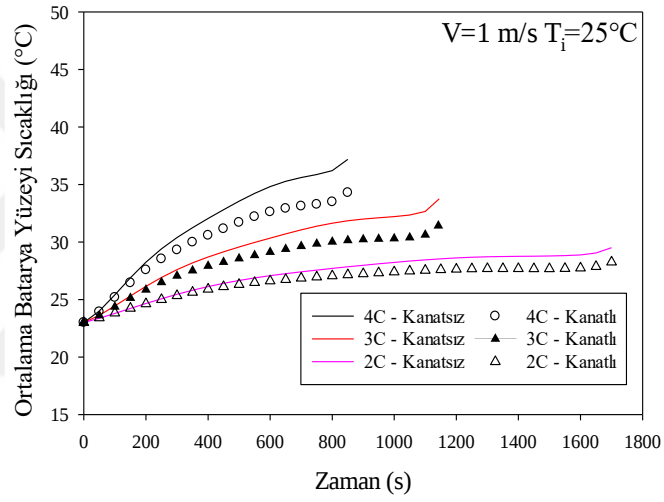
Şekil 5.28, Şekil 5.29 ve Şekil 5.30'da sırasıyla 1,5 m/s, 1 m/s ve 0,5 m/s hava hızlarında, farklı deşarj hızlarında ve farklı hava giriş sıcaklıklarında kanatsız ve kanatlı geometri için batarya yüzeyinde oluşan ısı transfer hızının zamana göre değişimi gösterilmektedir. Kanatlı geometrinin kullanılması ile ısı transfer hızında 1,5 m/s hava hızında 15°C, 25°C ve 35°C hava giriş sıcaklıkları için sırasıyla maksimum 7,20 W, 2,84 W ve 10,57 W, 1 m/s hava hızında 15°C, 25°C ve 35°C hava giriş sıcaklıkları için sırasıyla maksimum 6,18 W, 1,92 W ve 6,06 W, 0,5 m/s hava hızında 15°C, 25°C ve



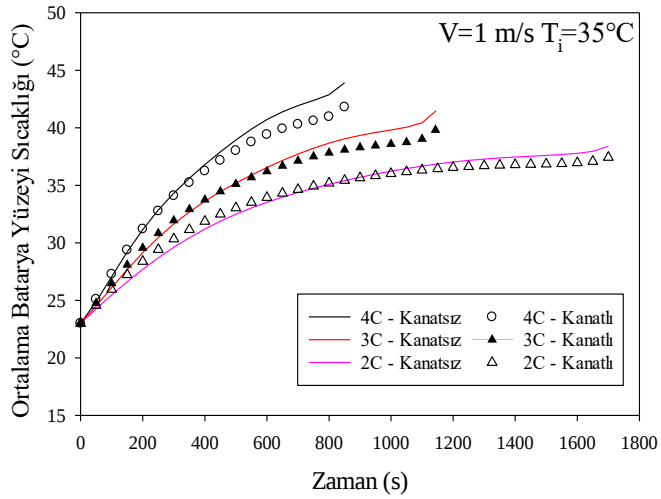
Şekil 5.25. Kanatsız ve Kanatlı Geometride 1,5 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzeği Sıcaklığının Zamana Göre Sayısal Değişimi a) 15°C, b) 25°C ve c) 35°C



a)

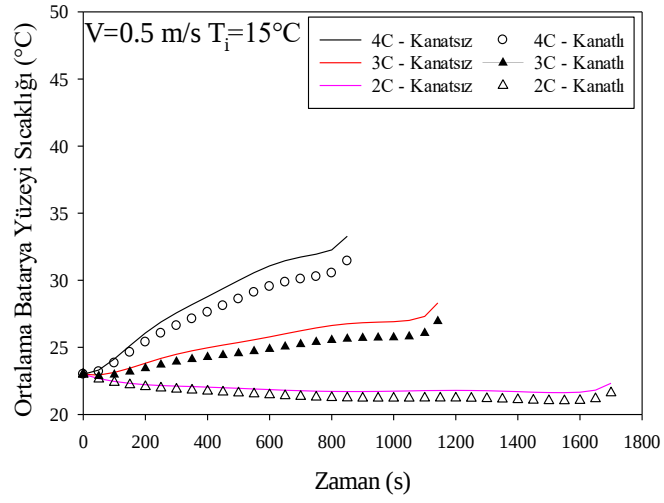


b)

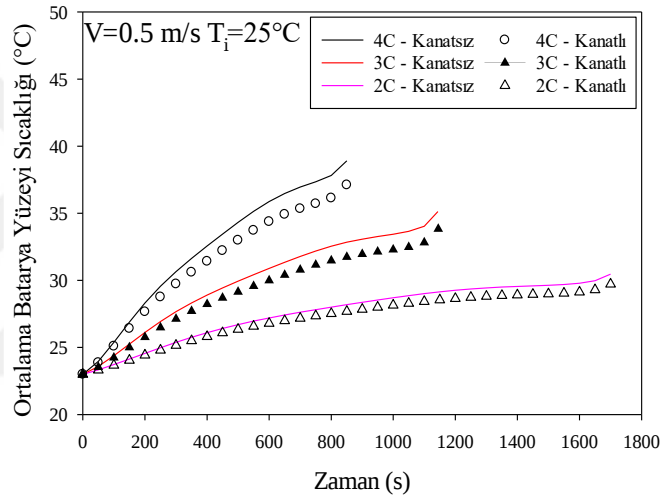


c)

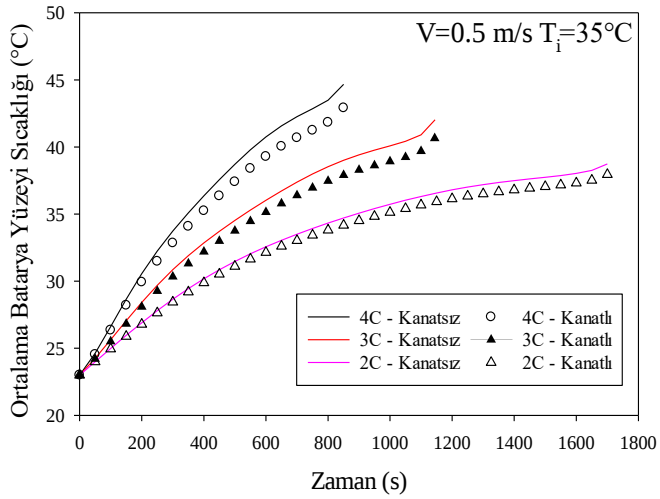
Şekil 5.26. Kanatsız ve Kanatlı Geometride 1,0 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzeği Sıcaklığının Zamana Göre Sayısal Değişimi a) 15°C , b) 25°C ve c) 35°C



a)

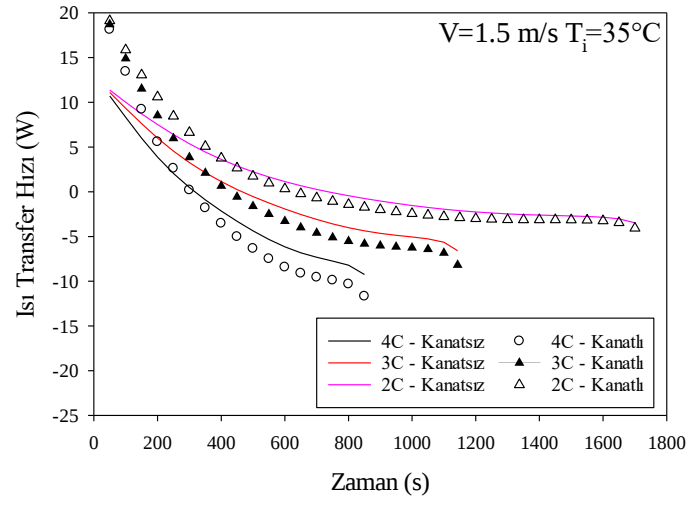
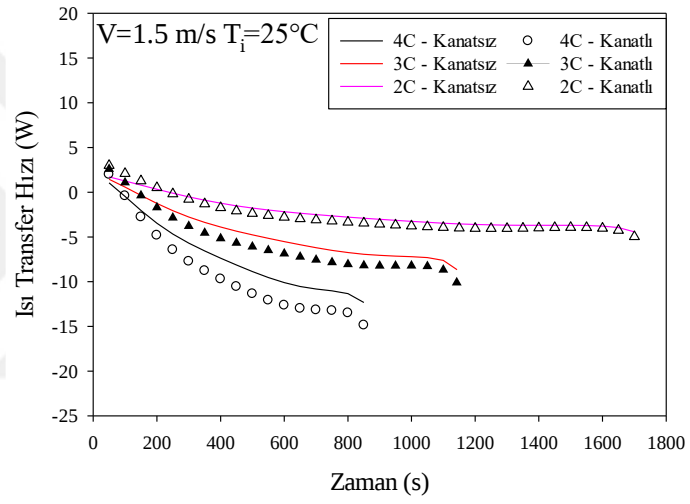
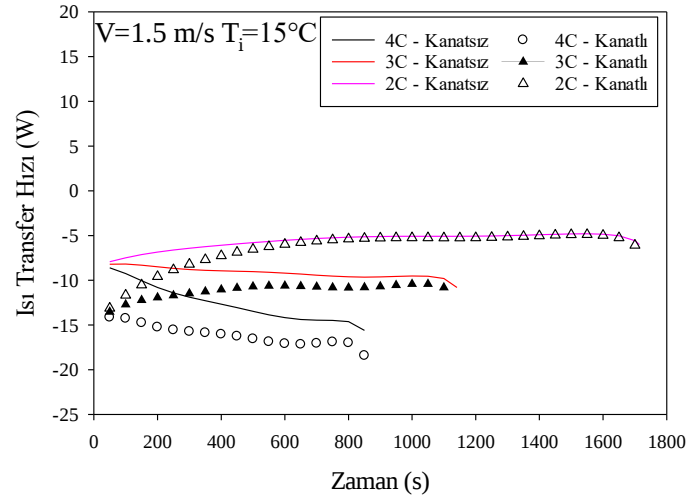


b)

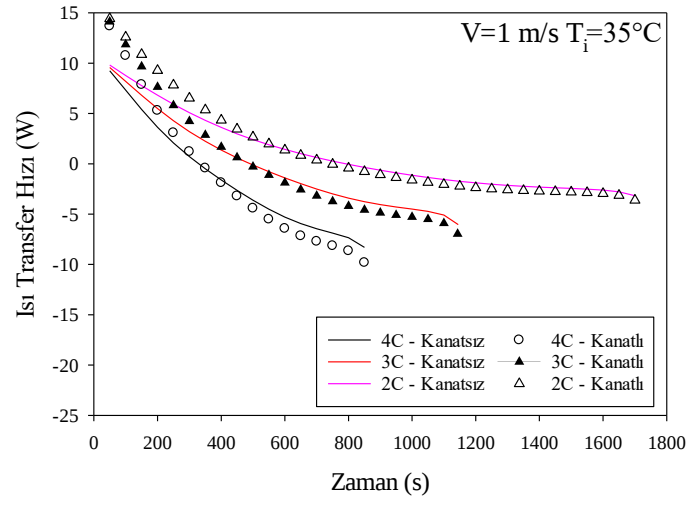
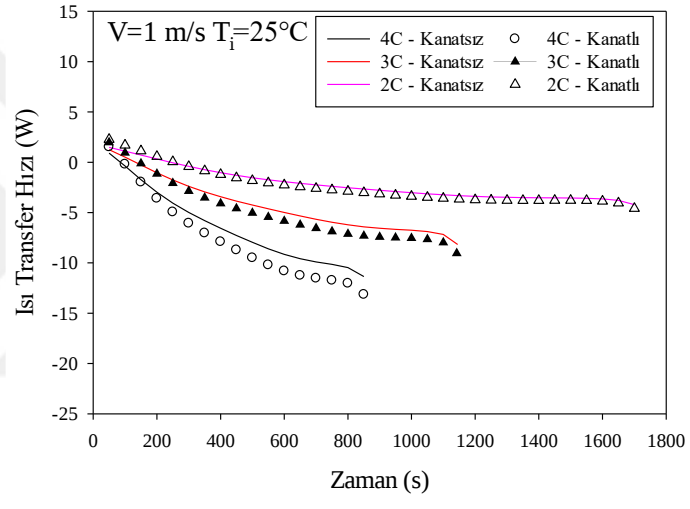
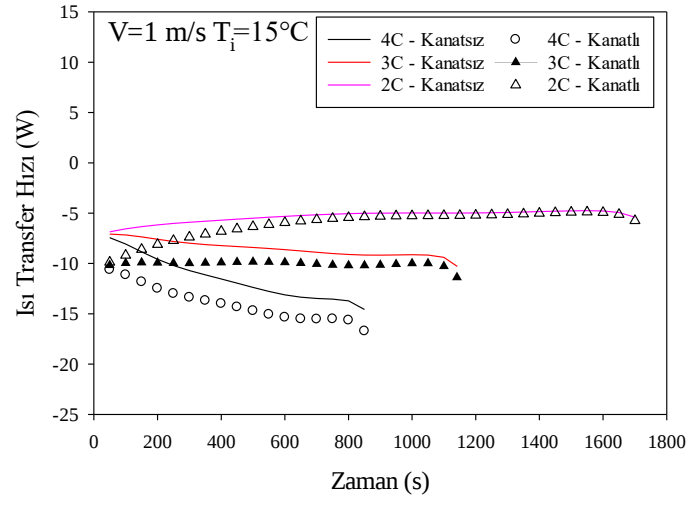


c)

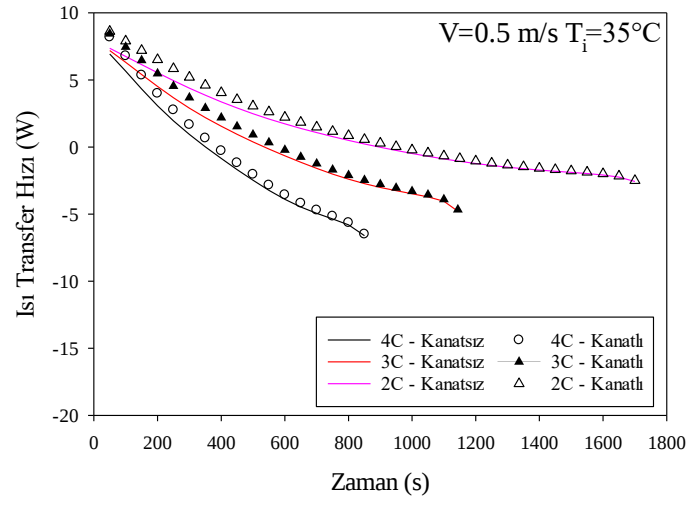
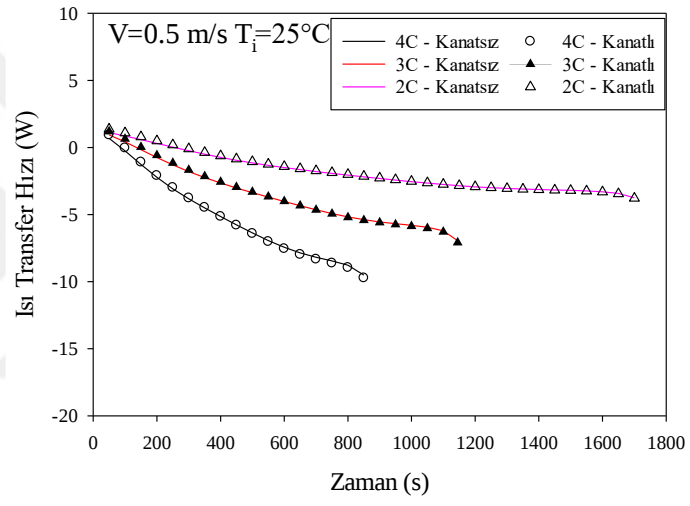
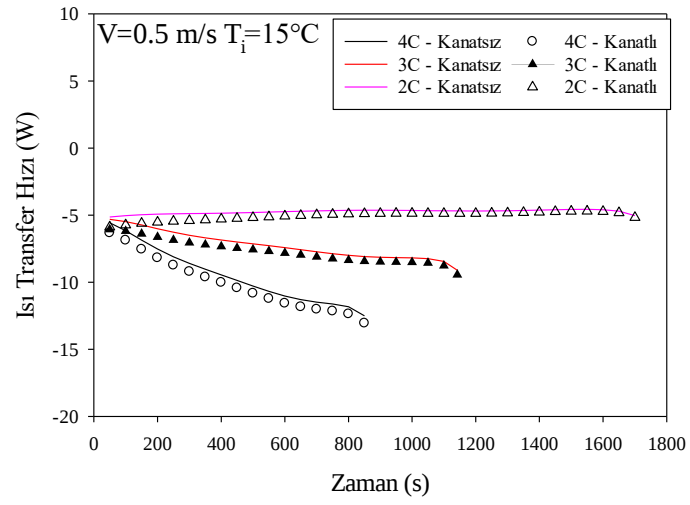
Şekil 5.27. Kanatsız ve Kanatlı Geometride 0,5 m/s Hava Hızında Ortalama Batarya Yüzeği Sıcaklığının Zamana Göre Sayısal Değişimi a) 15°C , b) 25°C ve c) 35°C



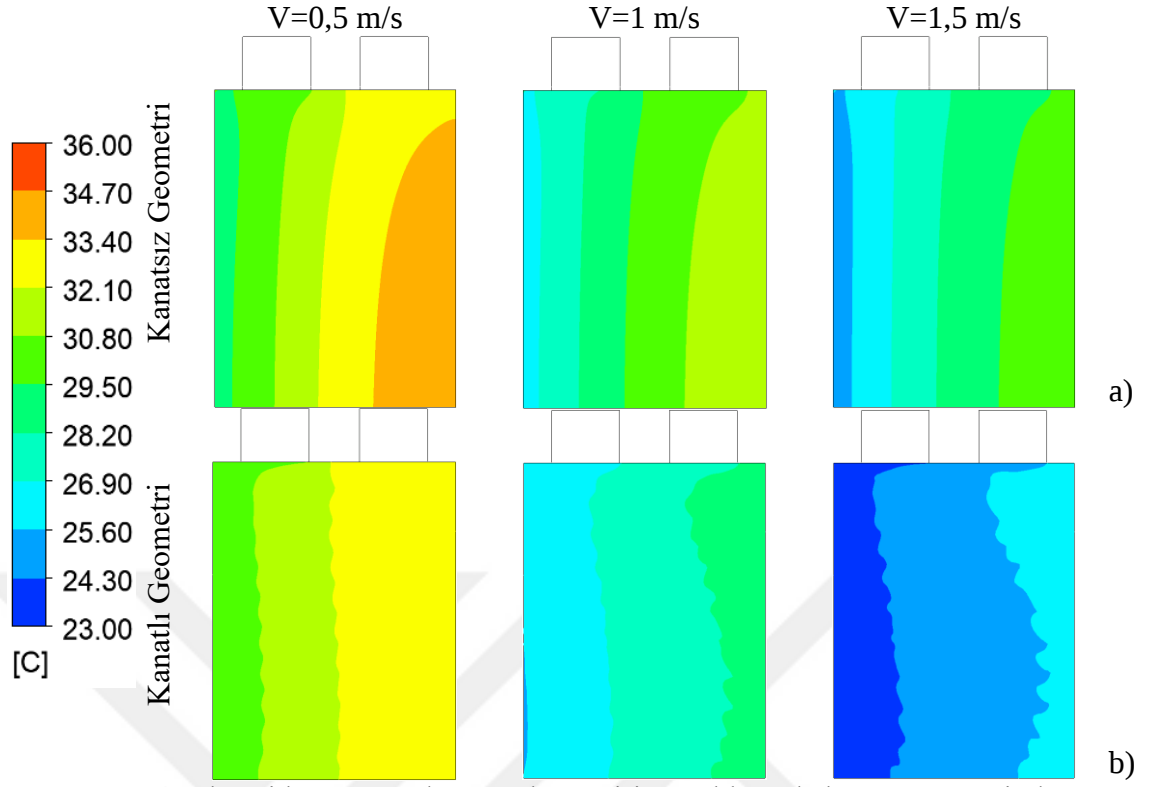
Şekil 5.28. Kanatsız ve Kanatlı Geometride 1,5 m/s Hava Hızında Isı Transfer Hızının Zamana Göre Sayısal Değişimi a) 15°C , b) 25°C ve c) 35°C



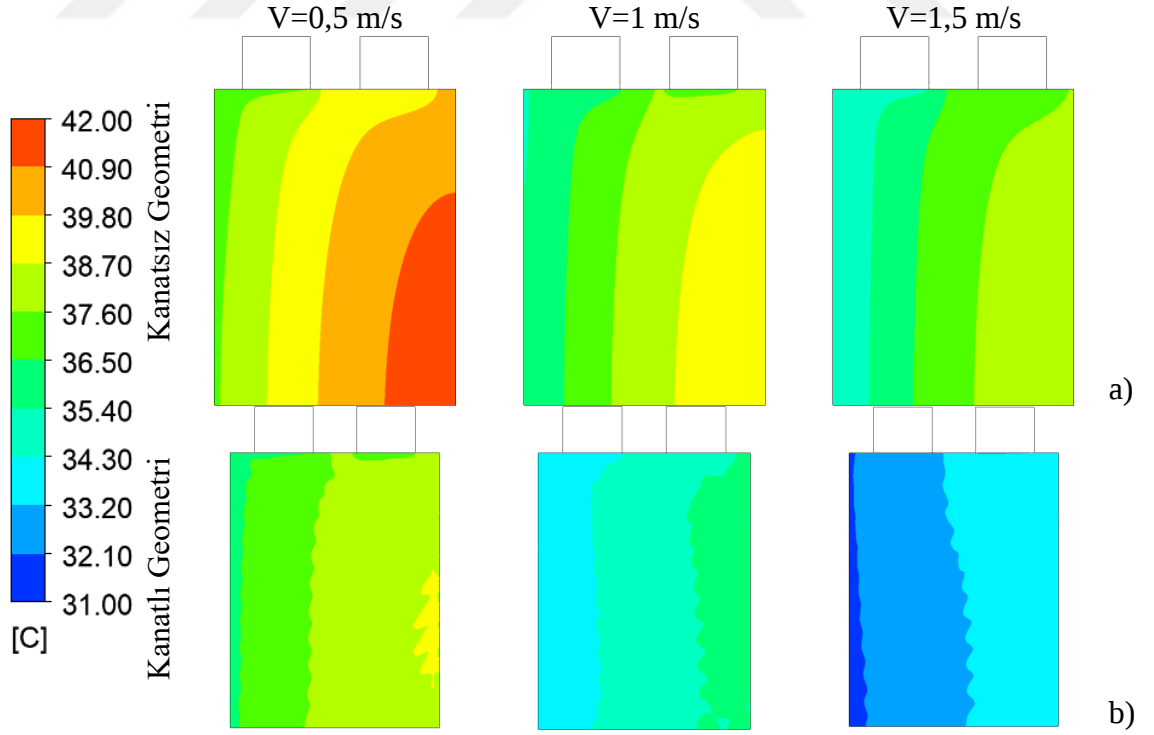
Şekil 5.29. Kanatsız ve Kanatlı Geometride 1,0 m/s Hava Hızında Isı Transfer Hızının Zamana Göre Sayısal Değişimi a) 15°C, b) 25°C ve c) 35°C



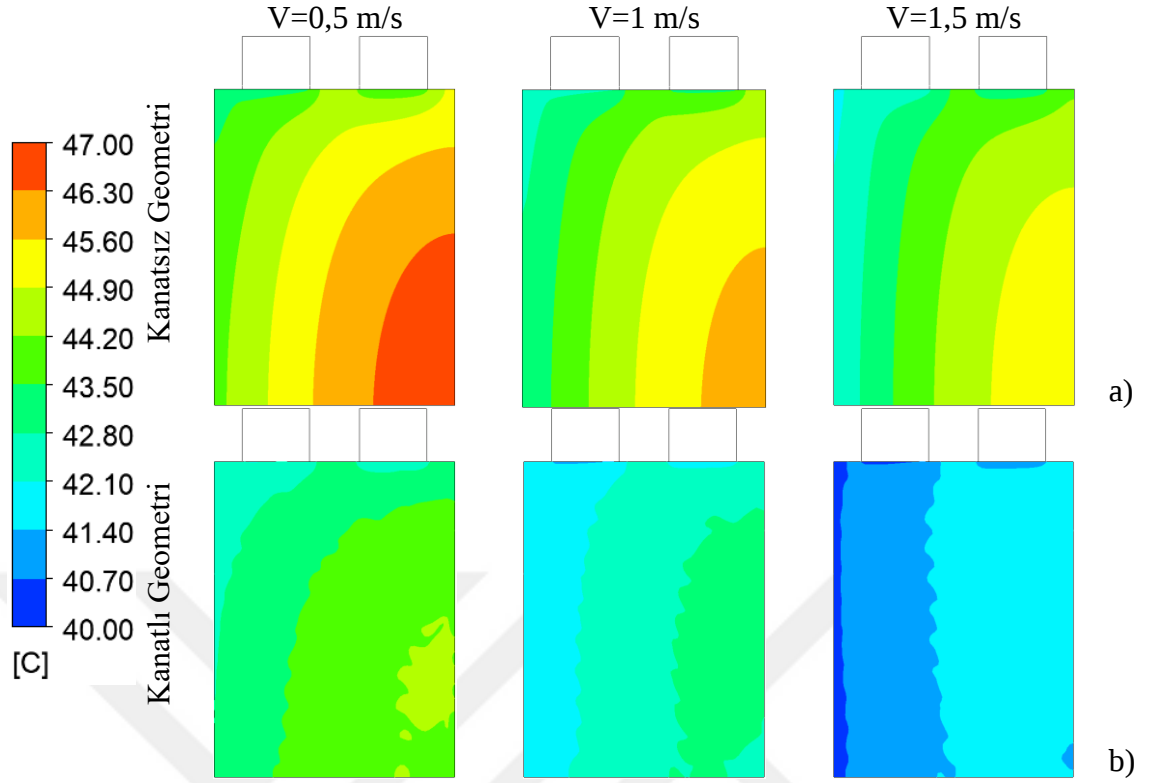
Şekil 5.30. Kanatsız ve Kanatlı Geometride 0,5 m/s Hava Hızında Isı Transfer Hızının Zamana Göre Sayısal Değişimi a) 15°C, b) 25°C ve c) 35°C



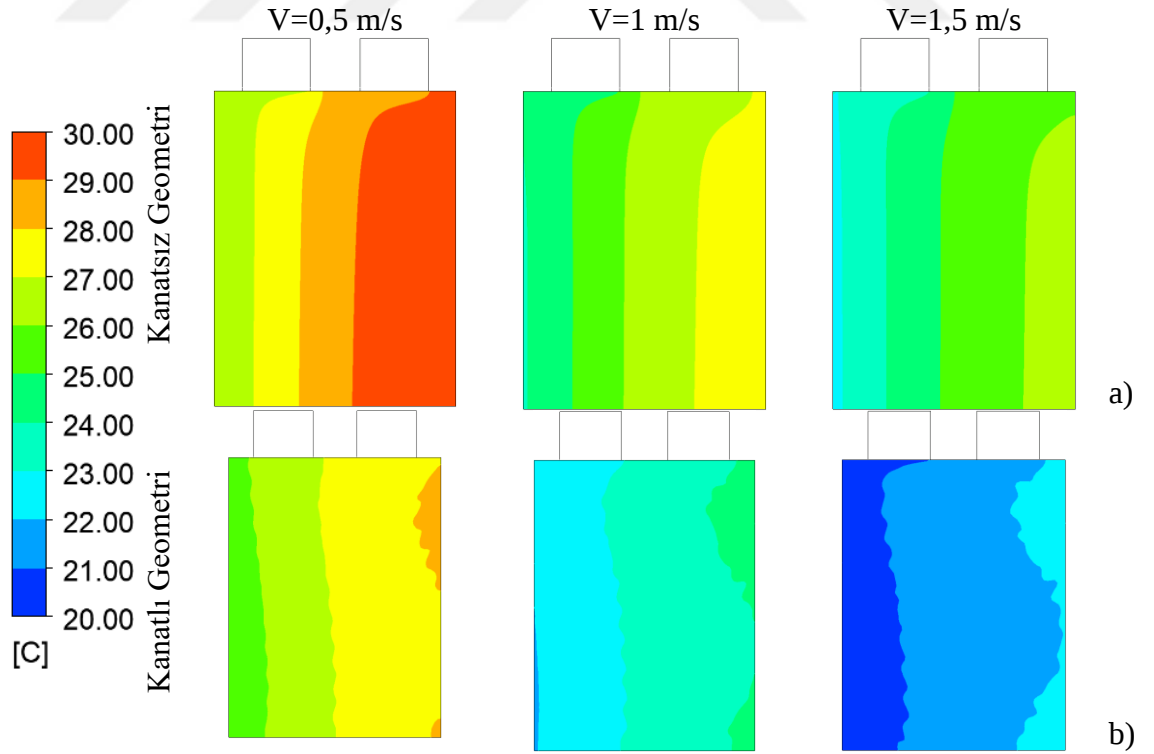
Şekil 5.31. 4C deşarj hızı sonunda 15°C hava giriş sıcaklığında batarya yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımları a) kanatsız geometri ve b) kanatlı geometri



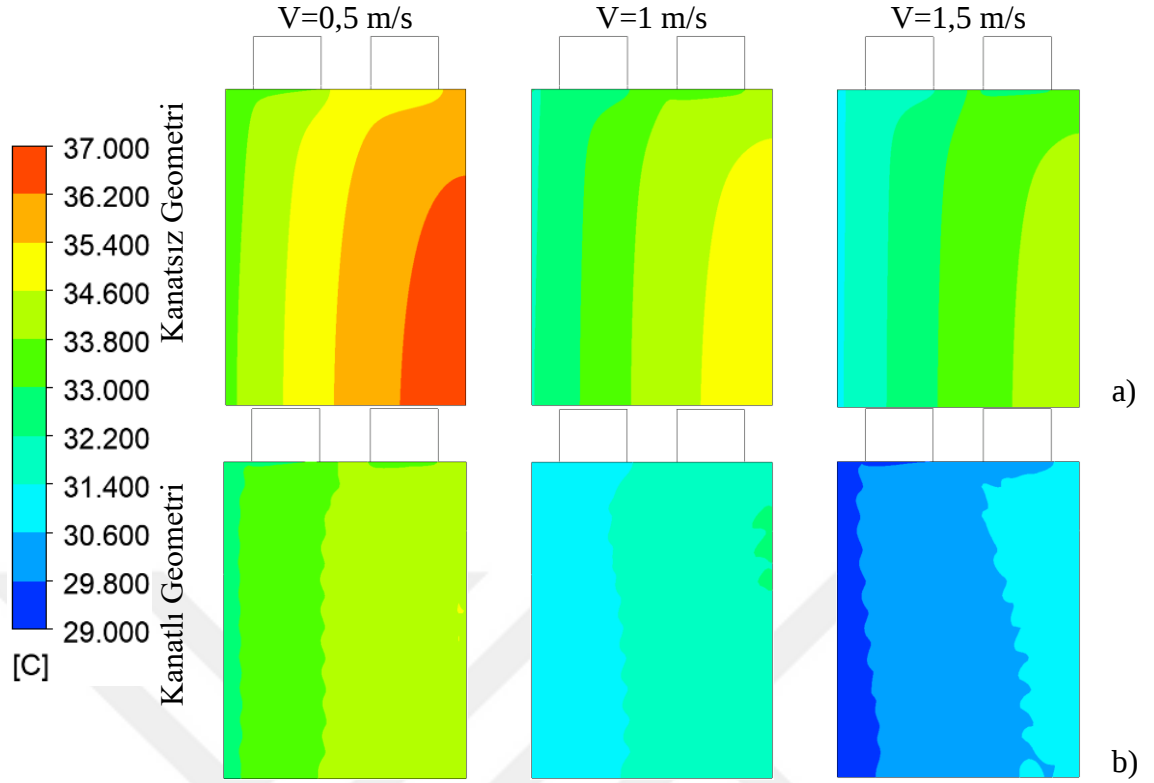
Şekil 5.32. 4C deşarj hızı sonunda 25°C hava giriş sıcaklığında batarya yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımları a) kanatsız geometri ve b) kanatlı geometri



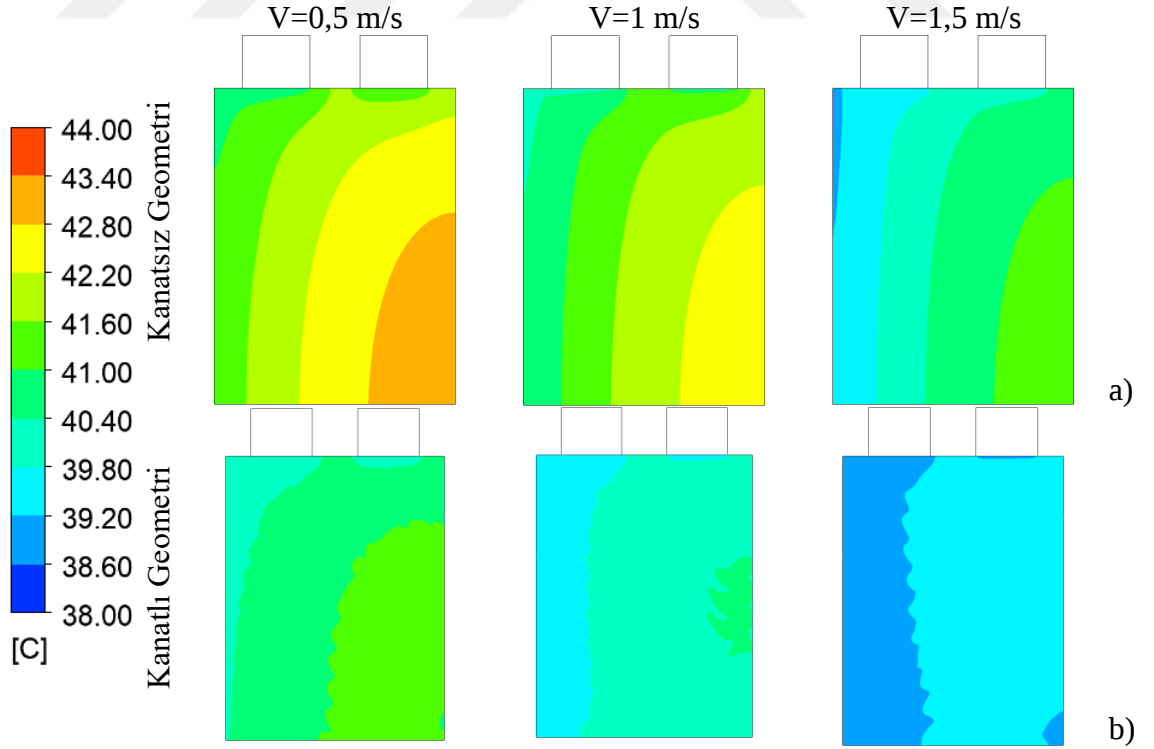
Şekil 5.33. 4C deşarj hızı sonunda 35°C hava giriş sıcaklığında batarya yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımları a) kanatsız geometri ve b)kanatlı geometri



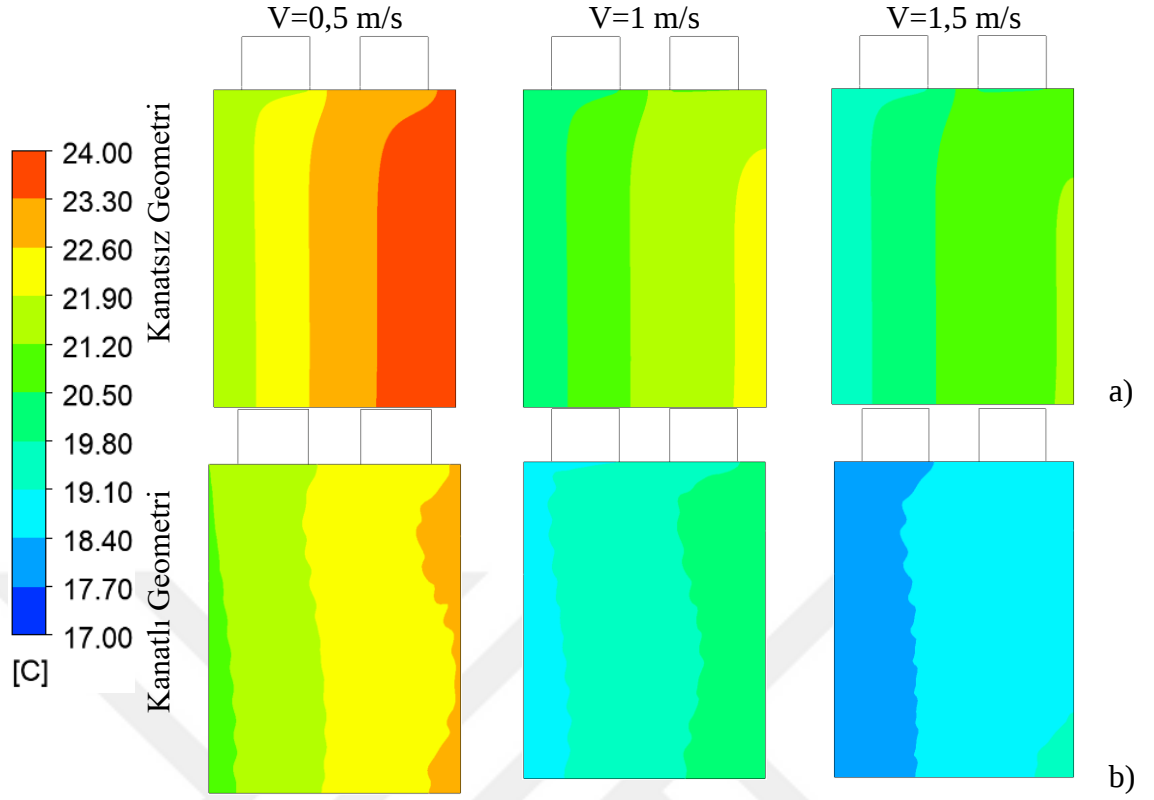
Şekil 5.34. 3C deşarj hızı sonunda 15°C hava giriş sıcaklığında batarya yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımları a) kanatsız geometri ve b)kanatlı geometri



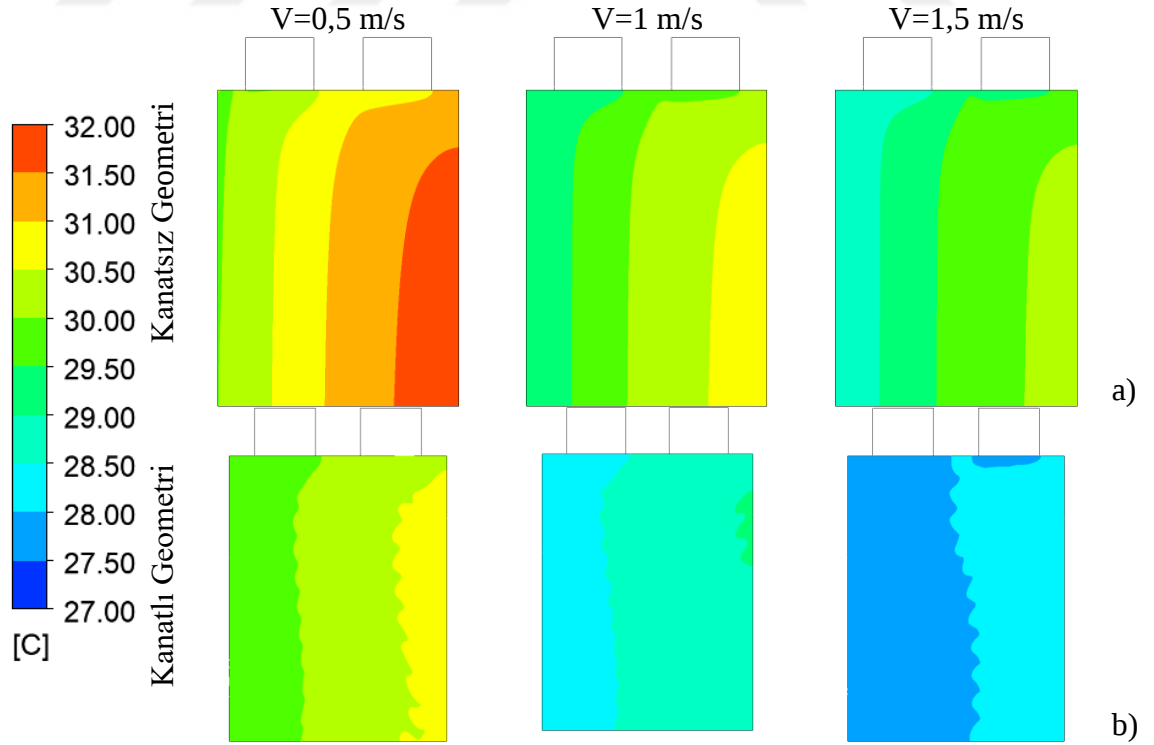
Şekil 5.35. 3C deşarj hızı sonunda 25°C hava giriş sıcaklığında batarya yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımları a) kanatsız geometri ve b)kanatlı geometri



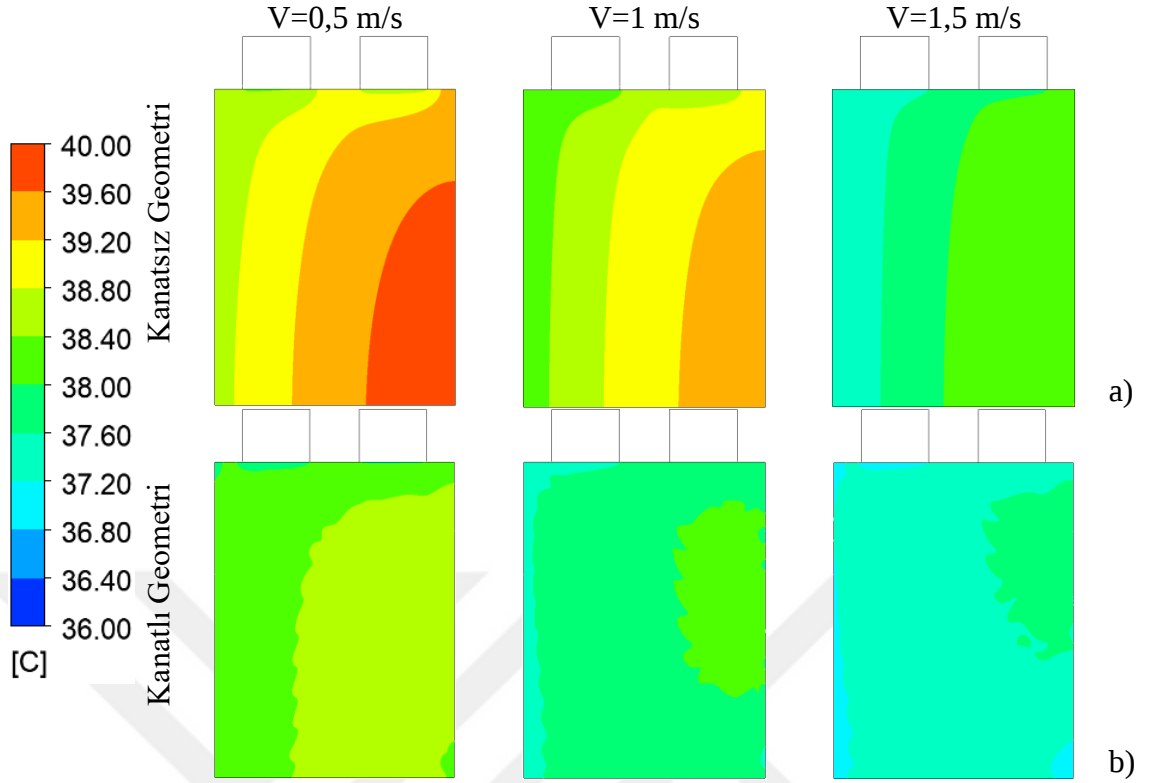
Şekil 5.36. 3C deşarj hızı sonunda 35°C hava giriş sıcaklığında batarya yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımları a) kanatsız geometri ve b)kanatlı geometri



Şekil 5.37. 2C deşarj hızı sonunda 15°C hava giriş sıcaklığında batarya yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımları a) kanatsız geometri ve b)kanatlı geometri



Şekil 5.38. 2C deşarj hızı sonunda 25°C hava giriş sıcaklığında batarya yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımları a) kanatsız geometri ve b)kanatlı geometri



Şekil 5.39. 2C deşarj hızı sonunda 15°C hava giriş sıcaklığında batarya yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımları a) kanatsız geometri ve b) kanatlı geometri

35°C hava giriş sıcaklıkları için sırasıyla maksimum 1,13 W, 0,32 W ve 1,77 W'a varan artış gözlemlenmiştir.

Şekil 5.31, Şekil 5.32, Şekil 5.33, Şekil 5.34, Şekil 5.35, Şekil 5.36, Şekil 5.37, Şekil 5.38 ve Şekil 5.39'da bataryanın 2C, 3C ve 4C deşarjı durumlarında, 0,5 m/s, 1 m/s ve 1,5 m/s hava giriş hızlarında ve 15°C, 25°C, 35°C hava giriş sıcaklıklarında kanatsız ve kanatlı geometrinin kullanımının batarya yüzeyindeki sıcaklık dağılımına etkisi görülmektedir. Tüm durumlarda, kanatlı geometrinin kullanımının batarya yüzeyindeki maksimum sıcaklığı düşürdüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca kanatlı geometri kullanımı batarya yüzeyinde homojen bir sıcaklık dağılımı sağlamıştır.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında elektrikli ve hibrit araçlarda kullanılan torba tip prizmatik lityum-iyon bataryaların farklı şartlar altında hava ile termal yönetimi gerçekleştirilmiş olup batarya yüzeyinde hava akış yönlendirici kanatlar kullanılmasının batarya sıcaklığına etkisi deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Hava akış yönlendirici kanat kullanımı batarya ısı transfer yüzey alanını arttırdığı için yüzeyden havaya olan ısı transfer hızını artırır, bu da batarya yüzeyinde daha etkin bir termal performans sağlamaktadır. Kullanılan hava akış yönlendirici kanatlar ile batarya yüzeyinde daha homojen bir sıcaklık dağılımı sağlanmıştır. Yapılan bu çalışmalar ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Çalışmalarda deşarj hızının artması ile batarya içerisindeki kimyasal reaksiyonların hızlanması ve bu sebeple bataryanın iç direncine bağlı ısı üretiminin artması sebebiyle batarya yüzey sıcaklığının da arttığı görülmüştür.
- Batarya yüzeyindeki havanın hızının artmasıyla yüzey ile akışkan arasındaki ısı transfer hızını arttırdığı ve batarya yüzey sıcaklığının azaldığı görülmektedir.
- Hava giriş sıcaklığı batarya yüzey sıcaklığından daha düşük olduğu durumlarda batarya yüzeyinden daha fazla ısı çekildiği gözlemlenmiştir.
- Deşarj hızının, hava giriş sıcaklığı ve hava hızına kıyasla batarya yüzey sıcaklığına daha fazla etki ettiği gözlemlenmiştir.
- Kanatsız geometrinin kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde 4C deşarj hızında batarya yüzeyindeki ortalama sıcaklığın uygun çalışma sıcaklığı aralığı (20°C-40°C) dışına çıktığı tespit edilmiştir.
- Kanatsız geometrinin kullanıldığı deneysel çalışmalarda tüm şartlarda batarya yüzeyinde görülen maksimum sıcaklık değeri 44,35°C olarak ölçülmüştür.
- Kanatsız geometrinin kullanıldığı çalışmalarda 3C ve 4C deşarj hızlarında batarya yüzeyindeki maksimum ve minimum sıcaklık farklarının 5°C üzerinde olduğu belirlenmiştir.
- Kanatlı geometri için yapılan çalışmalarda sadece 4C deşarj hızı, 0,5 m/s hava giriş hızında ve 35°C hava giriş sıcaklığında ortalama batarya yüzey sıcaklığının uygun çalışma sıcaklığı aralığı (20°C-40°C) dışına çıktığı tespit edilmiştir.

- Kanatlı geometrinin kullanıldığı deneysel çalışmalarda tüm şartlarda batarya yüzeyinde görülen maksimum sıcaklık değeri 41,10°C olarak ölçülmüştür.
- Kanatlı geometrinin kullanıldığı çalışmalarda hiçbir durumda batarya yüzeyindeki maksimum ve minimum sıcaklık farklarının 5°C üzerinde olmadığı görülmüştür.
- Kanatsız ve kanatlı geometri için yapılan çalışmalar karşılaştırıldığında kanatlı geometri kullanımının tüm şartlarda ortalama batarya yüzey sıcaklığında maksimum 6,35°C düşüş sağladığı görülmüştür.
- Kanatsız ve kanatlı geometri için yapılan çalışmalar karşılaştırıldığında kanatlı geometrinin kullanılmasıyla batarya yüzeyindeki ısı transfer hızında tüm durumlarda maksimum 10,57 W artış görülmüştür.
- Yapılan çalışmalar ışığında 3C ve üzeri deşarj hızlarında hava ile soğutmanın yetersiz kalabileceği görülmüştür. Yüksek deşarj hızlarının kullanımında farklı batarya termal yönetim sistemlerinin kullanılması tavsiye edilmektedir.
- Farklı kanat geometrilerinin kullanımının batarya yüzey sıcaklıklarına etkisi incelenebilir.
- Farklı kanat sayılarının kullanımının batarya yüzey sıcaklıklarına etkisini belirlemek için optimizasyon çalışması yapılabilir.
- Birden fazla batarya kullanılarak oluşturulacak batarya grubunda ortaya daha yüksek ısı yükleri ortaya çıkacağı için hava akış yönlendirici kanatları kullanımının termal performansı nasıl etkileyeceği araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- A123 Systems, “AMP20 Lithium Ion Prismatic Pouch Cell”,
<https://www.buya123products.com/uploads/vipcase/b24d4f5b63934c59d43e93b3bb4db60a.pdf> , Son Erişim Tarihi: 21 Şubat 2023
- Amalesh T. and Narasimhan N.L. (2020) “Introducing New Designs of Minichannel Cold Plates for The Cooling of Lithium-Ion Batteries”, *Journal of Power Sources*, 479, 228775.
- Arora, S. (2018) “Selection of Thermal Management System for Modular Battery Packs of Electric Vehicles: A Review of Existing and Emerging Technologies”, *Journal of Power Sources*, 400, 621-640.
- Battery University Group, “BU-205: Types of Lithium-ion”,
<https://batteryuniversity.com/article/bu-205-types-of-lithium-ion>, Son Erişim Tarihi: 27 Nisan 2021a.
- Battery University Group, “BU-214: Summary Table of Lead-based Batteries”,
<https://batteryuniversity.com/article/bu-214-summary-table-of-lead-based-batteries>, Son Erişim Tarihi: 27 Nisan 2021b.
- Battery University Group, “BU-215: Summary Table of Nickel-based Batteries”,
<https://batteryuniversity.com/article/bu-215-summary-table-of-nickel-based-batteries>, Son Erişim Tarihi: 27 Nisan 2021c.
- Battery University Group, “BU-216: Summary Table of Lithium-based Batteries”,
<https://batteryuniversity.com/article/bu-216-summary-table-of-lithium-based-batteries>, Son Erişim Tarihi: 27 Nisan 2021d.
- Bhattacharjee, A., Mohanty, R. K. and Ghosh, A. (2020) “Design of an Optimized Thermal Management System for Li-Ion Batteries under Different Discharging Conditions”, *Energies*, 13(21), 5695.
- Car and Driver, “2020 Hyundai Ioniq Limited Hatchback Features and Specs”,
https://www.caranddriver.com/hyundai/ioniq/specs/2020/hyundai-ioniq-hyundai-ioniq-hybrid_2020/411990, Son Erişim Tarihi: 27 Nisan 2021a.

- Car and Driver, “2020 Kia Optima EX Auto Features and Specs”, https://www.caranddriver.com/kia/optima/specs/2020/kia_optima_kia-optima-hybrid_2020/408076, Son Erişim Tarihi: 27 Nisan 2021b.
- Car and Driver, “2020 Lexus ES ES 300h FWD Features and Specs”, https://www.caranddriver.com/lexus/es/specs/2020/lexus_es_lexus-es300h_2020/411185, Son Erişim Tarihi: 27 Nisan 2021c.
- Car and Driver, “2020 Toyota Corolla Hybrid LE CVT (Natl) Features and Specs”, https://www.caranddriver.com/toyota/corolla/specs/2020/toyota_corolla_toyota-corolla-hybrid_2020/404764, Son Erişim Tarihi: 27 Nisan 2021d.
- Car and Driver, “2021 Audi E-Tron / E-Tron Sportback Prestige Quattro Features and Specs”, https://www.caranddriver.com/audi/e-tron/specs/2021/audi_e-tron_audi-e-tron_2021/416244, Son Erişim Tarihi: 27 Nisan 2021e.
- Car and Driver, “2021 Chevrolet Bolt EV Premier 5dr Wgn Features and Specs”, https://www.caranddriver.com/chevrolet/bolt-ev-2021/specs/2021/chevrolet_bolt-ev_chevrolet-bolt-ev_2021/418205, Son Erişim Tarihi: 27 Nisan 2021f.
- Car and Driver, “2021 Ford Mustang Mach-E Premium AWD Features and Specs”, https://www.caranddriver.com/ford/mustang-mach-e/specs/2021/ford_mach-e_ford-mach-e_2021/415586, Son Erişim Tarihi: 27 Nisan 2021g.
- Car and Driver, “2021 Honda Accord Touring Sedan Features and Specs”, https://www.caranddriver.com/honda/accord/specs/2021/honda_accord_honda-accord-hybrid_2021/418420, Son Erişim Tarihi: 27 Nisan 2021h.
- Car and Driver, “2021 Honda Insight Touring CVT Features and Specs”, https://www.caranddriver.com/honda/insight/specs/2021/honda_insight_honda-insight_2021/413228, Son Erişim Tarihi: 27 Nisan 2021i.
- Car and Driver, “2021 Hyundai Kona Electric Ultimate FWD Features and Specs”, https://www.caranddriver.com/hyundai/kona-electric/specs/2021/hyundai_kona-electric_hyundai-kona-electric_2021/416046, Son Erişim Tarihi: 27 Nisan 2021j.

- Car and Driver, “2021 Hyundai Sonata Limited 2.0L Features and Specs”,
https://www.caranddriver.com/hyundai/sonata/specs/2021/hyundai_sonata_hyundai-sonata-hybrid_2021/416760, Son Erişim Tarihi: 27 Nisan 2021k.
- Car and Driver, “2021 Porsche Taycan Turbo S AWD Features and Specs”,
https://www.caranddriver.com/porsche/taycan/specs/2021/porsche_taycan_porsche-taycan_2021/418548, Son Erişim Tarihi: 27 Nisan 2021l.
- Car and Driver, “2021 Tesla Model 3 Performance AWD Features and Specs”,
https://www.caranddriver.com/tesla/model-3/specs/2021/tesla_model-3_tesla-model-3_2020/412469, Son Erişim Tarihi: 27 Nisan 2021m.
- Car and Driver, “2021 Tesla Model Y Performance AWD Features and Specs”,
https://www.caranddriver.com/tesla/model-y/specs/2021/tesla_model-y_tesla-model-y_2020/412746, Son Erişim Tarihi: 27 Nisan 2021n.
- Car and Driver, “2021 Toyota Avalon Hybrid Limited FWD (Natl) Features and Specs”,
https://www.caranddriver.com/toyota/avalon/specs/2021/toyota_avalon_toyota-avalon-hybrid_2021/413789, Son Erişim Tarihi: 27 Nisan 2021o.
- Car and Driver, “2021 Toyota Camry Hybrid XSE CVT (Natl) Features and Specs”,
https://www.caranddriver.com/toyota/camry/specs/2021/toyota_camry_toyota-camry-hybrid_2021/416041, Son Erişim Tarihi: 27 Nisan 2021p.
- Car and Driver, “2021 Toyota Prius Limited (Natl) Features and Specs”,
https://www.caranddriver.com/toyota/prius/specs/2021/toyota_prius_toyota-prius_2021/413844, Son Erişim Tarihi: 27 Nisan 2021q.
- Car and Driver, “2021 Toyota RAV4 Hybrid Hybrid XLE Premium AWD (Natl) Features and Specs”,
https://www.caranddriver.com/toyota/rav4-hybrid/specs/2021/toyota_toyota-rav4-hybrid_rav4-hybrid_2021/414763, Son Erişim Tarihi: 27 Nisan 2021r.
- Car and Driver, “2021 Volkswagen ID.4 1st Edition RWD Features and Specs”,
https://www.caranddriver.com/volkswagen/id4/specs/2021/volkswagen_i.d.-crozz_volkswagen-i.d.-crozz_2021/418044, Son Erişim Tarihi: 27 Nisan 2021s.

- Celen, A. (2023) “Experimental Investigation on Single-Phase Immersion Cooling of a Lithium-Ion Pouch-Type Battery under Various Operating Conditions”, *Applied Sciences*, 13(5), 2775.
- Celen, A. and Kalkan, O. (2021) “Numerical Investigation on the Usage of Finned Surface in Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxides Batteries by Using Air Cooling Method”, *Energy Storage*, e216.
- Celen, A., and Kaba, M. Y. (2021) “Elektrikli Araçlarda Kullanılan Silindirik Lityum İyon Bataryaların Soğutulmasının Parametrik İncelenmesi”, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 33(1), 49-61.
- Cengel, Y.A. and Ghajar, A.J. (2015) Heat and Mass Transfer 5. Basım, New York: *McGraw- Hill Education*.
- Chen, D., Jiang J., Kim, G., Yang, C. and Pesaran, A. (2016) “Comparison of Different Cooling Methods for Lithium Ion Battery Cells”, *Applied Thermal Engineering*, 94, 846-854.
- Clean Technica, “Electric Car Evolution”, <https://cleantechnica.com/2015/04/26/electric-car-history/>, Son Erişim Tarihi: 27 Nisan 2021.
- Cremades, E., Gómez-Coca, S., Aravena, D., Alvarez, S. and Ruiz, E. (2012) “Theoretical Study of Exchange Coupling in 3d-Gd Complexes: Large Magnetocaloric Effect Systems”, *Journal of The American Chemical Society*, 134(25), 10532-10542.
- Dinçer, I., Hamut, H. S., and Javani, N. (2016) “Thermal Management of Electric Vehicle Battery Systems”, *John Wiley & Sons*.
- Durmuş, F. S., and Kaymaz, H. (2020) “Elektrikli Araç Şarj Yöntemleri”, *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 3(2), 123-139.
- Ehsani, M., Gao, Y., Longo, S., and Ebrahimi, K. M. (2018) “Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles”, *CRC press*.
- Fessler, D. C. (2019) “The Energy Disruption Triangle: Three Sectors That Will Change How We Generate, Use, And Store Energy”, *John Wiley & Sons*.

- Forbes, Best Electric Cars For 2021, <https://www.forbes.com/wheels/best/electric-cars/>, Son Erişim Tarihi: 27 Nisan 2021a.
- Forbes, Best Hybrid Cars For 2021, <https://www.forbes.com/wheels/best/best-hybrid-cars/>, Son Erişim Tarihi: 27 Nisan 2021b.
- Gao Q., Liu Y., Wang G., Deng F. and Zhu J. (2019) “An Experimental Investigation of Refrigerant Emergency Spray on Cooling and Oxygen Suppression for Overheating Power Battery”, *Journal of Power Sources*, 415, 33-43.
- Garrett, S. L., Adeff, J. A. and Hofler, T. J. (1993) “Thermoacoustic Refrigerator for Space Applications”, *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 7(4), 595-599.
- Gerver, R. E. and Meyers, J. P. (2011) “Three-Dimensional Modeling of Electrochemical Performance and Heat Generation of Lithium-Ion Batteries in Tabbed Planar Configurations”, *Journal of The Electrochemical Society*, 158(7), A835.
- Giuliano, M.R., Prasad, A.J. and Advani, S.G. (2012) “Experimental Study of an Air-Cooled Thermal Management System for High Capacity Lithium–Titanate Batteries”, *Journal of Power Sources*, 216, 345-352.
- Hedef Filo, “Elektrikli Araçların Tarihçesi”, <https://ev.hedef filo.com/elektrikli-arac-tarihcesi#:~:text=Tarihte%20bilinen%20ilk%20elektrikli%20motor,batarya%20kullanılan%20küçük%20bir%20lokomotifti>, Son Erişim Tarihi: 27 Nisan 2021.
- International Energy Agency, “Global Electric Car Sales by Key Markets 2010-2020e”, <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-electric-car-sales-by-key-markets-2010-2020>, Son Erişim Tarihi: 27 Nisan 2021.
- Jin L.W., Lee P.S., Kong X.X., Fan Y. and Chou S.K. (2014) “Ultra-Thin Minichannel LCP for EV Battery Thermal Management”, *Applied Energy*, 113, 1786-1794.
- Kalkan, O., Celen, A. and Bakirci, K. (2021b) “Experimental and Numerical Investigation of The Lifepo4 Battery Cooling by Natural Convection”, *Journal of Energy Storage*, 40, 102796.

- Kalkan, O., Celen, A., Bakirci, K. and Dalkilic, A. S. (2021a) “Experimental Investigation of Thermal Performance of Novel Cold Plate Design Used in A Li-Ion Pouch-Type Battery”, *Applied Thermal Engineering*, 191, 116885.
- Larminie, J., and Lowry, J. (2012) “Electric Vehicle Technology Explained”, *John Wiley & Sons*.
- Lelie, M., Braun, T., Knips, M., Nordmann, H., Ringbeck, F., Zappen, H., and Sauer, D. U. (2018) “Battery Management System Hardware Concepts: An Overview”, *Applied Sciences*, 8(4), 534.
- Li X., He F., Zhang G., Huang Q. and Zhou D. (2019) “Experiment and Simulation for Pouch Battery with Silica Cooling Plates and Copper Mesh Based Air Cooling Thermal Management System”, *Applied Thermal Engineering*, 146, 866-880.
- Li Y., Zhou Z. and Wu W.T. (2019) “Three-Dimensional Thermal Modeling of Li-Ion Battery Cell And 50 V Li-Ion Battery Pack Cooled by Mini-Channel Cold Plate”, *Applied Thermal Engineering*, 147, 829-840.
- Li, J. and Zhu, Z. (2014) “Battery Thermal Management Systems of Electric Vehicles”, Master’s Thesis, *Chalmers University of Technology*, Göteborg, Sweden.
- Li, J., Adewuyi, K., Lotfi, N., Landers, R. G., and Park, J. (2018) “A Single Particle Model with Chemical/Mechanical Degradation Physics for Lithium Ion Battery State Of Health (SOH) Estimation”, *Applied Energy*, 212, 1178-1190.
- Liu H., Shi H., Shen H. and Xie G. (2019) “The Performance Management of a Li-Ion Battery by Using Tree-Like Mini-Channel Heat Sinks: Experimental and Numerical Optimization”, *Energy*, 189, 116150.
- Liu J., Li H., Li W., Shi J., Wang H. and Chen J. (2020) “Thermal Characteristics of Power Battery Pack with Liquid-Based Thermal Management”, *Applied Thermal Engineering*, 164, 114421.
- Liu, C., Xu, D., Weng, J., Zhou, S., Li, W., Wan, Y. and Huang, Q. (2020) “Phase Change Materials Application in Battery Thermal Management System: A Review”, *Materials*, 13(20), 4622.

- Liu, Y., Yang, S., Guo, B. and Deng, C. (2014) “Numerical Analysis and Design of Thermal Management System for Lithium Ion Battery Pack Using Thermoelectric Coolers”, *Advances in Mechanical Engineering*, 6, 852712.
- Lu, M., Zhang, X., Ji, J., Xu, X. and Zhang, Y. (2020) “Research Progress on Power Battery Cooling Technology for Electric Vehicles”. *Journal of Energy Storage*, 27, 101155.
- Lyu, Y., Siddique, A. R. M., Majid, S. H., Biglarbegian, M., Gadsden, S. A. and Mahmud, S. (2019) “Electric Vehicle Battery Thermal Management System with Thermoelectric Cooling”, *Energy Reports*, 5, 822-827.
- Moghaddam H. and Mazyar S. (2018) “Designing Battery Thermal Management Systems (BTMS) for Cylindrical Lithium-ion Battery Modules Using CFD”, Master’s Thesis, *Kth School of Industrial Engineering And Management*, Stockholm, Sweden.
- Mustaffa, M. R., Atan, R., and Mohamed, W. A. N. W. (2010) “Preliminary Analysis on Fuel Cell Power Plant Design for Racing Vehicles”, *International Conference on Advance in Mechanical Engineering*, Shah Alam, Malaysia.
- Nasa Space Science Data Coordinated Archive, “The Apollo Lunar Roving Vehicle”, https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/lunar/apollo_lrv.html, Son Erişim Tarihi: 27 Nisan 2021.
- Palinski, M. (2017), “A Comparison of Electric Vehicles and Conventional Automobiles: Costs and Quality Perspective”, Bachelor’s Thesis, *Novia University of Applied Sciences*, Finland.
- Panchal S., Khasow R., Dincer I., Agelin-Chaab M., Fraser R. and Fowler M. (2017) “Thermal Design and Simulation of Mini-Channel Cold Plate for Water Cooled Large Sized Prismatic Lithium-Ion Battery”, *Applied Thermal Engineering*, 122, 80-90.
- Patil M.S., Seo J.H., Panchal S., Jee S.W. and Lee M.Y. (2020) “Investigation on Thermal Performance of Water-Cooled Li-Ion Pouch Cell and Pack at High Discharge Rate with U-Turn Type Microchannel Cold Plate”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 155, 119728.

- Pecharsky, V. K. and Gschneidner Jr, K. A. (1999) “Magnetocaloric Effect and Magnetic Refrigeration”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 200(1-3), 44-56.
- Pesaran, A. A. (2002) “Battery Thermal Models for Hybrid Vehicle Simulations”, *Journal of Power Sources*, 110(2), 377-382.
- Ping P., Peng R., Kong D., Chen G. and Wen J. (2018) “Investigation on Thermal Management Performance of PCM-fin Structure for Li-Ion Battery Module in High-Temperature Environment”, *Energy Conversion and Management*, 176, 131-146
- Sheng L., Su L., Zhang H., Li K., Fang Y., Ye W. and Fang Y. (2019) “Numerical Investigation on A Lithium Ion Battery Thermal Management Utilizing A Serpentine-Channel Liquid Cooling Plate Exchanger”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 141, 658-668.
- Sökmen, K. F. ve Çavuş, M. (2017) “Review of Batteries Thermal Problems and Thermal Management Systems”, *Journal of Innovative Science and Engineering (JISE)*, 1(1), 35-55.
- Sun H. and Dixon R. (2014) “Development of Cooling Strategy for An Air Cooled Lithium-Ion Battery Pack”, *Journal of Power Sources*, 272, 404-414.
- Şenlik, İ. (2015) “Uyuyan Devrim: Elektrikli Araçlar”, *Elektrik Mühendisliği Dergisi*, 455, 64-67.
- Talluri, T., Kim, T.H. and Shin, K.J. (2020) “Analysis of A Battery Pack with A Phase Change Material for the Extreme Temperature Conditions of an Electrical Vehicle”, *Energies*, 13(3), 507.
- Tie, S. F., and Tan, C. W. (2013) “A Review of Energy Sources and Energy Management System İn Electric Vehicles”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 82-102.
- Türkiye Elektrikli ve Hibrit Araçları Derneği, “2020 Yılı Elektrikli ve Hibrit Satış Rakamları Belli Oldu”, <http://tehad.org/2021/01/16/2020-yili-elektrikli-ve-hibrid-otomobil-satis-rakamlari-belli-oldu/>, Son Erişim Tarihi: 27 Nisan 2021.

- Wang C., Zhang G., Meng L., Li X., Situ W., Lv Y. and Rao M. (2017) “Liquid Cooling Based on Thermal Silica Plate for Battery Thermal Management System”, *Internal Journal of Energy Research*, 41, 2468–2479.
- Wang, Q., Jiang, B., Li, B. and Yan, Y. (2016) “A Critical Review of Thermal Management Models and Solutions of Lithium-Ion Batteries for the Development of Pure Electric Vehicles”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 64, 106-128.
- Wang S., Li K., Tian Y., Wang J., Wu Y. and Ji S. (2019) “Improved Thermal Performance of a Large Laminated Lithium-Ion Power Battery by Reciprocating Air flow”, *Applied Thermal Engineering*, 152, 445-454.
- Wu W., Yang X., Zhang G., Ke X., Wang Z., Situ W., Li X. and Zhang J. (2016) “An Experimental Study of Thermal Management System Using Copper Mesh-Enhanced Composite Phase Change Materials for Power Battery Pack”, *Energy*, 113, 909-916.
- Ye, Y., Saw, L. H., Shi, Y., and Tay, A. A. (2015) “Numerical Analyses on Optimizing a Heat Pipe Thermal Management System for Lithium-Ion Batteries During Fast Charging”, *Applied Thermal Engineering*, 86, 281-291.
- Yong, J. Y., Ramachandramurthy, V. K., Tan, K. M., and Mithulananthan, N. (2015) “A Review on the State-Of-The-Art Technologies of Electric Vehicle, Its Impacts and Prospects”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 365-385.
- Yu, B. F., Gao, Q., Zhang, B., Meng, X. Z. and Chen, Z. (2003) “Review on Research of Room Temperature Magnetic Refrigeration”, *International Journal of Refrigeration*, 26(6), 622-636.
- Zhao, C., Zhang, B., Zheng, Y., Huang, S., Yan, T. and Liu, X. (2020) “Hybrid Battery Thermal Management System in Electrical Vehicles: A Review”, *Energies*, 13(23), 6257.
- Zhang, Z., Wang, J., Feng, X., Chang, L., Chen, Y. and Wang, X. (2018) “The Solutions to Electric Vehicle Air Conditioning Systems: A Review”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 443-463.

Zhong, X. C., Tang, P. F., Liu, Z. W., Zeng, D. C., Zheng, Z. G., Yu, H. Y. and Zou, M. (2011) “Magnetic Properties and Large Magnetocaloric Effect in Gd–Ni Amorphous Ribbons for Magnetic Refrigeration Applications in Intermediate Temperature Range”, *Journal of Alloys and Compounds*, 509(24), 6889-6892.

