
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

ELEKTRİKLİ ARAÇ BATARYA SOĞUTMA SİSTEM PERFORMANSI ÜZERİNE NANOAKIŞKANLARIN ETKİSİ

Murat Hüseyin GÜMÜŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ŞUBAT 2025

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Murat Hüseyin GÜMÜŞ

03/02/2025

ELEKTRİKLİ ARAÇ BATARYA SOĞUTMA SİSTEM PERFORMASI ÜZERİNE NANOAKIŞKANLARIN ETKİSİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Murat Hüseyin GÜMÜŞ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Şubat 2025

ÖZET

Enerji verimliliğin yüksek, çevresel etkilerinin düşük olması nedeniyle elektrikli araçların kullanımı günümüzde artan taleplere istinaden giderek cazip hale gelmektedir. Sınırlandırılmış batarya kapasitesi, uzun şarj süreleri ve batarya ömürlerinin kısıtlı olması, elektrikli araçlarının yaygınlaşmasındaki en büyük engeller olarak belirtilebilir. Bununla birlikte sıcaklığın batarya ömrü üzerindeki olumsuz etkisi araştırmalar sonucunda bulunmuş ve bu etki elektrikli araçlarda termal yönetim sisteminin gerekliliğini zorunlu hale getirmiştir. Bununla birlikte Nanoparçacıkların bir sıvı içerisindeki süspansiyonları nanoakışkan olarak adlandırılır. Nanoakışkanlar yüksek ısıl iletim katsayılarıyla ısı transferi artırımı için gelecek vaat etmektedirler. Tez çalışmasında, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizi'nde elektrikli taşıt batarya soğutma sistemi tasarımı üzerinden, mevcut seri üretimlerde soğutucu akışkanı olarak kullanılmakta olan Su-Etilen Glikol sıvı karışımına farklı özelliklerde nanopartiküllerin farklı derişim oranlarında eklenerek soğutma sistem performansının geliştirilmesi ve gözlemlenmesi istenmiştir. Ana soğutma sıvısı olarak %50 Etilen Glikol %50 Su karışımı, nanopartikül olarak farklı derişimlerde $ZnFe_2O_4$, $NiFe_2O_4$, $CoFe_2O_4$ Manyetik Ferrit nano parçalarının nano boyutta soğutma sıvısı karışımına belirli oranlarda katılarak meydana gelen nanoakışkan termofiziksel özellikleri teorik olarak literatürdeki modellerin kullanılması ile belirlenmiştir. %1, %2, %3 oranlarında konsantrasyon değerleri farklı nanoakışkanların ısıl iletkenlik, özgül ısı, viskoziteleri hesaplanarak, modeller birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Bilim Kodu	:	92816
Anahtar Kelimeler	:	Elektrikli araç, nanoakışkan, batarya modeli, soğutma
Sayfa Adedi	:	75
Danışman	:	Prof. Dr. Adnan SÖZEN

EFFECTS OF NANOFLUIDS ON ELECTRIC VEHICLE BATTERY COOLING SYSTEM PERFORMANCE

(M. Sc. Thesis)

Murat Hüseyin GÜMÜŞ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOLL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

February 2025

ABSTRACT

The use of electric vehicles is becoming increasingly attractive in response to growing demand due to their high energy efficiency and low environmental impact. The limited battery capacity, long charging times, and the restricted lifespan of batteries can be considered the main obstacles to the widespread adoption of electric vehicles. However, the negative impact of temperature on battery life has been found through research, making the thermal management system in electric vehicles a necessity. Additionally, suspensions of nanoparticles in a liquid are referred to as nanofluids. Nanofluids hold promise for enhancing heat transfer due to their high thermal conductivity. In my thesis, using Computational Fluid Dynamics (CFD) analysis, the cooling system design of electric vehicle batteries was studied by adding nanoparticles with different properties and concentrations to the existing coolant mixture of Water-Ethylene Glycol used in mass production. The aim was to improve and observe the performance of the cooling system. The main coolant fluid, a 50% Ethylene Glycol and 50% Water mixture, was combined with magnetic ferrite nanoparticles $ZnFe_2O_4$, $NiFe_2O_4$, $CoFe_2O_4$ in varying concentrations of 1%, 2%, and 3%. The thermophysical properties of the resulting nanofluids were determined theoretically using models from the literature. The thermal conductivity, specific heat, and viscosity of the nanofluids at different concentrations were calculated, and the models were compared with one another.

Science Code	:	92816
Key Words	:	Electric vehicle, nanofluid, battery model, cooling
Page Number	:	75
Supervisor	:	Prof. Dr. Adnan SÖZEN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmalarım esnasında desteğini esirgemeyen, çalışma azmini aşılayan ve yol gösteren değerli danışmanım, sayın Prof. Dr. Adnan SÖZEN'e en içten teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Yükesk lisans çalışmalarımı gerçeklememe olanak sağlayan ülkemizin gözbebeği şirketi ASELSAN'a, manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim kıymetli yöneticilerime çalışmalarımın her safhasında yardımını ve desteğini esirgemeyen tüm ekip arkadaşlarıma çok teşekkür ediyorum.

Son olarak kaybettiğim babam başta olmak üzere beni yetiştiren annem ve ablalarıma, çok kıymetli eşim ve oğluma bu uzun soluklu çalışmanın her anında gösterdikleri özveriden dolayı sonsuz teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ viii

ŞEKİLLERİN LİSTESİ ix

SİMGELER VE KISALTMALAR xii

1. GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR TARAMASI 19

2.1. Batarya Soğutma Metotları 19

2.2. Soğutma Sistemlerinde Nanoakışkan Uygulamaları 23

3. YÖNTEM 29

3.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Yöntemi 29

3.2. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Modeli 33

3.3. Nanoakışkanların Termofiziksel Değerlerinin Hesaplanması 39

3.3.1. Isıl iletkenlik 41

3.3.2. Özgül ısıl kapasitesi 44

3.3.3. Viskozite 45

4. BULGULAR 47

5. TARTIŞMA 65

6. SONUÇ 67

KAYNAKLAR 69

ÖZGEÇMİŞ 75

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 1.1. Şarj edilebilirliği olan lityum iyon pillerin avantaj- dezavantajları..... 6

Çizelge 1.2. Kullanım alanı yaygın olan Li-Ion bataryaların karşılaştırması 7

Çizelge 1.3. Ürün spesifikasyonları 17

Çizelge 2.1. Araştırma çalışmalarına ilişkin özet açıklamalar 24

Çizelge 3.1. HAD analiz modelinde kullanılan katı malzeme özellikleri 37

Çizelge 3.2. Mekansal ayrıklaştırma ayarları 38

Çizelge 3.3. Modül analizlerinin (Dört hücreli) sınır ve başlangıç şartları 39

Çizelge 3.4. Analiz koşumlarında baz soğutma sıvısı olarak kullanılan malzemelerin Isıl İletkenlik, Özgül Isı, Vizkozite ve Yoğunluk verileri 39

Çizelge 3.5. Nanoakışkan termal iletkenlik modelleri 42

Çizelge 3.6. Hibrit nanoakışkan termal iletkenlik modelleri 43

Çizelge 3.7. Nanoakışkanlarda özgül ısı modelleri 44

Çizelge 3.8. Hibrit nanoakışkanlarda özgül ısı modelleri 44

Çizelge 3.9. Nanoakışkanlarda viskozite modelleri 45

Çizelge 4.1. Deney Tasarımı 1 için Isıl iletkenlik, Özgül Isı, Vizkozite, Hacimsel Isı Atımı, giriş-çıkış sıcaklık ve fark verileri 49

Çizelge 4.2. Deney Tasarımı 2 için Isıl iletkenlik, Özgül Isı, Vizkozite, Hacimsel Isı Atımı, giriş-çıkış sıcaklık ve fark verileri 53

Çizelge 4.3. Deney Tasarımı 3 için Isıl iletkenlik, Özgül Isı, Vizkozite, Hacimsel Isı Atımı, giriş-çıkış sıcaklık ve fark verileri 58

Çizelge 4.4. Deney Tasarımı 1&Deney Tasarımı 2&Deney Tasarımı 3 için Hacimsel Isı Atım verileri ve yüzdesel karşılaştırmalı değerleri 62

Çizelge 4.5. Deney Tasarımı 1&Deney Tasarımı 2&Deney Tasarımı 3 için Hacimsel Isı Atım verileri ve yüzdesel karşılaştırmalı değerleri 63

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 1.1. Li-Ion bataryaların çalışma disiplini 5

Şekil 1.2. Li-Ion batarya kimyasal reaksiyonları 5

Şekil 1.3. Bataryaların yapısı 6

Şekil 1.4. Optimize edilerek gerçekleştirilen bir hava ile soğutma sistemi 10

Şekil 1.5. İlave Bakır plakalı FDM ile soğutma sistemi 11

Şekil 1.6. Soğutma plakaları kullanımıyla sıvı ile soğutma yöntemi 13

Şekil 1.7. $ZnFe_2O_4$, $NiFe_2O_4$, $CoFe_2O_4$ Manyetik Nanopartiküller 17

Şekil 2.1. Li-Ion bataryalarda hava ile soğutma sistem mukayesesi 20

Şekil 2.2. Li-Ion bataryalarda hava ile soğutma sistem mukayesesi 21

Şekil 3.1. Dört hücreden meydana gelen soğutma plakalarıyla sıvı soğutma yöntemi kullanılan batarya modülü 33

Şekil 3.2. Soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntemi 34

Şekil 3.3. Soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem görünümü 34

Şekil 3.4. Soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem ağ yapısı 35

Şekil 3.5. Soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem ağ yapısı kesit görünümü 35

Şekil 3.6. Soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem ağ yapısı kesit alma yeri 36

Şekil 3.7. Soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem ağ yapısı kesit görüntüsü 36

Şekil 3.8. Soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem akış yönü görünümü 37

Şekil 4.1. %50-%50 su-etilen glikol Sıcaklık (K), soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem akış görünümü 47

Şekil 4.2. %50-%50 su-etilen glikol Hız (m/s), soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem akış görünümü 48

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.3. %50-%50 su-etilen glikol Toplam Yüzey Isı Akısı (W/m2), soğutucu plaka kullanımı ile soğutma yöntem akış görünümü 48

Şekil 4.4. %1 $ZnFe_2O_4$ Nanoakışkan İlavesi sonrasında Sıcaklık (K), soğutucu plaka kullanımı ile soğutma yöntem akış görünümü 49

Şekil 4.5. %1 $ZnFe_2O_4$ Nanoakışkan İlavesi sonrasında Hız (m/s), soğutucu plaka kullanımı ile soğutma yöntem akış görünümü 50

Şekil 4.6. %1 $ZnFe_2O_4$ Nanoakışkan İlavesi sonrasında Toplam Yüzey Isı Akısı (W/m2), soğutucu plaka kullanımı ile soğutma yöntem akış görünümü 50

Şekil 4.7. %1 $NiFe_2O_4$ Nanoakışkan İlavesi sonrasında Sıcaklık (K), soğutucu plaka kullanımı ile soğutma yöntem akış görünümü 51

Şekil 4.8. %1 $NiFe_2O_4$ Nanoakışkan İlavesi sonrasında Hız (m/s), soğutucu plaka kullanımı ile soğutma yöntem akış görünümü 51

Şekil 4.9. %1 $NiFe_2O_4$ Nanoakışkan İlavesi sonrasında Toplam Yüzey Isı Akısı (W/m2), soğutucu plaka kullanımı ile soğutma yöntem akış görünümü 51

Şekil 4.10. %1 $CoFe_2O_4$ Nanoakışkan İlavesi sonrasında Sıcaklık (K), soğutucu plaka kullanımı ile soğutma yöntem akış görünümü 52

Şekil 4.11. %1 $CoFe_2O_4$ Nanoakışkan İlavesi sonrasında Hız (m/s), soğutucu plaka kullanımı ile soğutma yöntem akış görünümü 52

Şekil 4.12. %1 $CoFe_2O_4$ Nanoakışkan İlavesi sonrasında Toplam Yüzey Isı Akısı (W/m2), soğutucu plaka kullanımı ile soğutma yöntem akış görünümü 53

Şekil 4.13. %2 $ZnFe_2O_4$ Nanoakışkan İlavesi sonrasında Sıcaklık (K), soğutucu plaka kullanımı ile soğutma yöntem akış görünümü 54

Şekil 4.14. %2 $ZnFe_2O_4$ Nanoakışkan İlavesi sonrasında Hız (m/s), soğutucu plaka kullanımı ile soğutma yöntem akış görünümü 54

Şekil 4.15. %2 $ZnFe_2O_4$ Nanoakışkan İlavesi sonrasında Toplam Yüzey Isı Akısı (W/m2), soğutucu plaka kullanımı ile soğutma yöntem akış görünümü 55

Şekil 4.16. %2 $NiFe_2O_4$ Nanoakışkan İlavesi sonrasında Sıcaklık (K), soğutucu plaka kullanımı ile soğutma yöntem akış görünümü 55

Şekil 4.17. %2 $NiFe_2O_4$ Nanoakışkan İlavesi sonrasında Hız (m/s), soğutucu plaka kullanımı ile soğutma yöntem akış görünümü 56

Şekil 4.18. %2 $NiFe_2O_4$ Nanoakışkan İlavesi sonrasında Toplam Yüzey Isı Akısı (W/m2), soğutucu plaka kullanımı ile soğutma yöntem akış görünümü 56

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.19. %2 $CoFe_2O_4$ Nanoakışkan İlavesi sonrasında Sıcaklık (K), soğutucu plaka kullanımı ile soğutma yöntem akış görünümü 57

Şekil 4.20. %2 $CoFe_2O_4$ Nanoakışkan İlavesi sonrasında Hız (m/s), soğutucu plaka kullanımı ile soğutma yöntem akış görünümü 57

Şekil 4.21. %2 $CoFe_2O_4$ Nanoakışkan İlavesi sonrasında Toplam Yüzey Isı Akısı (W/m2), soğutucu plaka kullanımı ile soğutma yöntem akış görünümü 57

Şekil 4.22. %3 $ZnFe_2O_4$ Nanoakışkan İlavesi sonrasında Sıcaklık (K), soğutucu plaka kullanımı ile soğutma yöntem akış görünümü 58

Şekil 4.23. %3 $ZnFe_2O_4$ Nanoakışkan İlavesi sonrasında Hız (m/s), soğutucu plaka kullanımı ile soğutma yöntem akış görünümü 59

Şekil 4.24. %3 $ZnFe_2O_4$ Nanoakışkan İlavesi sonrasında Toplam Yüzey Isı Akısı (W/m2), soğutucu plaka kullanımı ile soğutma yöntem akış görünümü 59

Şekil 4.25. %3 $NiFe_2O_4$ Nanoakışkan İlavesi sonrasında Sıcaklık (K), soğutucu plaka kullanımı ile soğutma yöntem akış görünümü 60

Şekil 4.26. %3 $NiFe_2O_4$ Nanoakışkan İlavesi sonrasında Hız (m/s), soğutucu plaka kullanımı ile soğutma yöntem akış görünümü 57

Şekil 4.27. %3 $NiFe_2O_4$Nanoakışkan İlavesi sonrasında Toplam Yüzey Isı Akısı (W/m2), soğutucu plaka kullanımı ile soğutma yöntem akış görünümü 60

Şekil 4.28. %3 $CoFe_2O_4$ Nanoakışkan İlavesi sonrasında Sıcaklık (K), soğutucu plaka kullanımı ile soğutma yöntem akış görünümü 61

Şekil 4.29. %3 $CoFe_2O_4$ Nanoakışkan İlavesi sonrasında Hız (m/s), soğutucu plaka kullanımı ile soğutma yöntem akış görünümü 61

Şekil 4.30. %3 $CoFe_2O_4$ Nanoakışkan İlavesi sonrasında Toplam Yüzey Isı Akısı (W/m2), soğutucu plaka kullanımı ile soğutma yöntem akış görünümü 67

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
Ag	Gümüş
Au	Altın
cp	Bataryanın özgül ısısı [J/(kgK)]
***cp*,c**	Soğutucu plaka özgül ısısı [J/(kgK)]
***cp*,bf**	Baz akışkanın özgül ısısı [J/(kgK)]
***cp*hn**	Nanoakışkan özgül ısı değeri [kJ/kgK]
Cu	Bakır
cp	Bataryanın özgül ısısı [J/(kgK)]
***cp*,c**	Soğutucu plaka özgül ısısı [J/(kgK)]
***cp*,bf**	Baz akışkanın özgül ısısı [J/(kgK)]
k*b*	Bataryanın ısı iletim katsayısı [W/mK]
***k*e**	Nanoakışkanın efektif ısıl iletkenlik değeri [W/mK]
kc	Soğutma plakasının ısı iletim katsayısı [W/mK]
***k*b, *k*t**	Akışkanın (Baz) ısıl iletkenlik değeri [W/mK]
***k*np**	Nanopartikül ısıl iletkenlik değeri [W/mK]
μ	Viskozite [kg/ms]
ρ*b*	Bataryanın yoğunluğu [kg/m3]
ρhn	Nanoakışkanın yoğunluğu [kg/m3]
φnp	Nanoparçacık hacimsel oranı [%]
ρhn	Nanoakışkan yoğunluğu [kg/m3]
ρc	Soğutucu plaka yoğunluğu [kg/m3]
T	Sıcaklık [K, °C]
$CoFe_2O_4$	Kobalt Demir Oksit
$NiFe_2O_4$	Nikel Demir Oksit
$ZnFe_2O_4$	Çinko Demir Oksit

Simgeler	Açıklamalar
Li-Ion	Lityum İyon
TiS_2	Titanyum Disülfür
$LiCoO_2$	Lityum Nikel Oksit
$Li_4Ti_5O_{12}$	Titanat
Pt	Platin
PW	Pure Water (Saf Su)
$MnFe_2O_4$	Mangan Demir Oksit
Al_2O_3	Aluminyum Oksit
Co_3O_4	Kobalt Oksit
CeO_2	Cerium Oksit
SiO_2	Silikon Dioksit
Lh	Hidrodinamik girişinin uzunluğu [m]
Dh	Hidrolik çap [m]
Um	Soğutucu akışkanın ortalama hızı [m/s]
$\dot{m}$	Soğutucu akışkanın kütlesel olarak debisi [kg/s]
Acs	Kanal kesitinin alanı [m2]
Re	Reynolds Sayısı
$fapp$	Görünür sürtünmenin faktörü
ffd	Tam gelişmiş akışlar için Fanning sürtünmesi faktörü
L	Serpantin kanalın uzunluğu [m]
$L+$	Boyutsuz olarak kanal uzunluğu
$K(\infty)$	İnkremental basınç düşümü
c	Uyum katsayısı
α	Kanalın yüksekliğinin genişliğine oranı
w	Kanalın genişliği [m]
h	Kanalın yüksekliği [m]
P	Basınç Değeri [Pa]
cp, f	Soğutucu akışkan özgül ısı değeri [J/(kgK)]
kf	Soğutucu akışkan ısı iletim katsayısı [W/(mK)]
$\vec{V}$	Hız vektör değeri [m/s]

Simgeler	**Açıklamalar**
ρf	Soğutucu akışkan yoğunluğuk değeri [kg/m3]
g	Yer çekimi ivmesi vektör değeri [m/s2]
$\Delta Ptotal$	Toplam basınç düşüm değeri [Pa]
ΔPf	Sürtünme kayıpları kaynaklı basınç düşüm değeri [Pa]
$\Delta P180°$	180º dönüş nedenli basınç düşüm değeri [Pa]

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
ANSYS	Mühendislikte kullanılan simülasyon yazılımı
CFD	Computational fluid dynamics
FDM	Faz değiştiren materyal
FLUENT	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı
HAD	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği

1. GİRİŞ

Günümüzde içten yanmalı motorların kullanıldığı taşıtlardan kaynaklanan kirleticilerin neden olduğu çevresel kirliliklerin en önemlilerinden biri olan hava kirliliğinin yanı sıra, küresel ısınmanın kaynağını etkileyen sera gazlarıyla fosil yakıtlara olan bağlılığı azaltmak amacıyla dünya çapında hemen hemen bütün otomotiv üreticileri, elektrikli araçların tasarlanması ve üretilmesi süreçlerine kaynaklarını yönlendirmektedir. Elektrikli araç bileşenlerinden en önemlilerinden biri olan kimyasal olarak elde edilen enerji mekanik enerji olarak çevirmekte kullanılan bataryalardır. Batarya paketlerinin çalışma disiplin gereği olarak elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu ısı meydana gelmektedir. Belirtilen termal tepkimeler neticesinde ortaya çıkan ısıyı bataryalardan en hızlı bir biçimde uzaklaştırmak için bataryalar da termal yönetim sistemlerinin kullanılması gerekmektedir.

Termal yönetim sistemine sahip olan elektrikli araç batarya sistemlerinin temel amacı bataryanın paketinin en yüksek sıcaklıklarını belirli bir değerin altında tutmak, batarya hücrelerinin oluşturduğu modüller ve bu modüllerden oluşan paketin içinde oluşan termal farklılıklarını belirlenen en düşük düzeylerde sabitlemek gibi kritik vazifeleri bulunmaktadır. Bu görevler kapsamında, batarya modüllerinden oluşan paketlerinin kullanım yaşam döngüsünü, ömrünü uzatmaya; Batarya yaşam döngüsü boyunca mümkün olan en fazla verimlilikle performansı elde etmeye, korumaya ve batarya paketlerinin belirlenen güvenlik standart koşullarında çalışmasını sağlamaya destek olmaktadır.

Elektrik enerji kullanan taşıtlarda, termal yönetim sistemlerine sahip olan batarya paketlerinde farklı çalışma disiplinlerine sahip soğutma yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlere sıvıyla soğutma, havayla soğutma, ısı borularıyla soğutma ve faz değişimine imkân tanıyan malzemeler kullanılarak soğutma disiplinleri örnek olarak gösterilebilir. Kullanılan bu yöntemlerin birbirlerine göre dezavantajları ve avantajları da mevcuttur. Bununla birlikte belirtilen metotların birlikte kullanıldığı sistemsel yapılarda bulunmaktadır.

Belirtilen yöntemlerden ticari pazarda en çok kullanılan ve tercih edileni olan sıvı kullanımı ile soğutma sistemleri, batarya modül ve batarya paketlerini oluşturan hücrelerde açığa çıkan ısının, soğutma plakaları vasıtasıyla, genellikle farklı tasarıma sahip olan kanalın iç kısmından geçen sıvıya aktarılma prensibinden faydalanarak çalışan bir yöntemdir.

Bu nedenle sıvı kullanılan soğutma sistemlerinde süreci etkileyen; Soğutucu akışkan tipi, soğutucu akışkan debisi, kanal geometrisi, akışın özellikleri, kanal tipi gibi ısıl transferi, sistem performansını ve toplam basınç düşüm fark parametreleri önem taşımaktadır. Gelişen teknolojik çalışmalar ve analiz yöntemleri sayesinde soğutma sisteminin verimliliğini etki eden ve bu parametreleri oluşturan değerlerin optimizasyon çalışmaları hız kazanarak, önem seviyesi artmıştır.

Çalışmamda dört hücreden oluşan batarya paketi ve soğutma plakası tasarlanmış olan lityum iyon pil sisteminin; Elektrikli araç batarya soğutucu çevrim verimliliğinin arttırılması için kullanılan nanopartiküllerin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizi'nde mevcut seri üretimlerde kullanılmakta olan su-etilen glikol sıvısına farklı derişim oranlarında eklenerek soğutma sisteminin performansının gözlemlenmesi amaçlanmıştır.

Enerji verimliliği

Teknolojik gelişmeler ile birlikte enerji kaynaklarının kullanımı günümüzde daha kritik bir hâle getirmiştir. Bu kapsamda birçok alanda enerjiye duyulan talep ve ihtiyaç artmıştır: Endüstriyelleşme ile birlikte Ulaşım, sanayi ve günlük yaşamda enerjiye olan talep artışıyla birlikte enerji kaynaklarının artan tüketim talepleri ve verdiği çevresel zararları da bilinmekte olan fosil kaynaklarında rezerv kaynaklarında azalma görülmektedir. Enerji kaynağına ulaşma arayış ihtiyacı ortaya çıkmış ve yenilenebilir enerji kaynaklarından en önemlisi olan nükleer enerji, tüm dünyada ve eş zamanlı olarak ülkemizde de kritikliği yıldan yıla artmaktadır. Ayrıca, fosil olarak adlandırılan kaynakların kısıtlı olması ve enerjiye olan ihtiyaçların günden güne artımı ile enerji verimliliği, özellikle gelişmekte olan ülkelerin önemli politikaları haline gelmiştir. Ülkelerin sosyal ve ekonomik alanlarda kalkınmasının en büyük etkenlerinden birisi, enerjiye kaynaklarına sahip olmaları ya da bu kaynakları yönetebilmeleridir. Bu kapsamda enerji ihtiyacına olan arz günden güne artış göstermektedir. Doğal enerji kaynakların azalması nedeniyle son dönemlerde çevreci özellikleri ile öne çıkan yenilenebilir enerji kaynaklarına olan arz durumunda artış gözlenmiştir. Bu enerji kaynaklarına arzın artışı ile birlikte, enerji verimlilik kapsamında yapılan çalışma sayılarında da artış gözlemlenmiştir [1].

Enerji kaynaklarının tükenmesi, doğal kaynakların kısıtlı olması ve çevresel emisyon yönetmeliklerinde tanımlanan zorunluluklar kapsamında ulaşım endüstrisi zorluklarla karşı karşıya gelmiştir. Tam elektrikli ve hibrit araçlar enerji kullanımı bakımından

değerlendirildiğinde içten yanmalı motorlara sahip araçlardan daha verimli ve çevreye olan etkileri daha azdır. Çevre sorunları bakımından düşük karbon emisyonları nedeniyle içten yanmalı motorlu taşıtların en ümit veren seçeneğini sundukları için otomobil sanayisi düşünüldüğünde elektrikli araçlar daha yaygın olarak kabul görmüştür. Günümüz batarya hücre teknolojileri değerlendirildiğinde Li-Ion bataryalar, düşük ağırlık, yüksek özgül enerji, ömür uzunluğu gibi pek çok avantajları sebebiyle kullanılmakta olan araçların (Elektrikli, hibrit) temel güç kaynağıdır [2].

Elektrikli araç batarya sistemleri

Gelecek düşünüldüğünde batarya, batarya paketlerinin makine, cihaz ve teçhizatlarına güç ihtiyaçlarını cevap verecek duruma getirilmesi için en az dört kattan daha fazla, beş kata yakın enerji ve güç kapasitesine sahip, kazanılan deneyimlerle gözler önüne sermektedir. Bununla birlikte mevcut Li-ion bataryaları güvenli olarak kullanılabilen bir ekipman olamazken, gelecekte performanslı arttırılacak biçimde tasarlanması planlanan bataryalarının, güç yüksekliği ve enerji yoğunlukları nedeniyle muhtemel olarak değerlendirildiğinde risklerin artacağı ve güvenlik sorunu yaratacağı öngörülmektedir [3].

Batarya ya da batarya paketini, üreticisinin teknik gereksinimler kapsamında optimum sıcaklıktan daha yüksek değerlerde ya da daha düşük bir sıcaklık bant genişliğinde aktif halde tutmak, ısıl etkilere ve çevresel hasarlara sebep olabilmektedir. İlgili durum, batarya paketlerinin çalışma performansın değerini, ömrünü ve kapasitesini değiştirebilir. Olumsuz senaryo kurgulandığında da hücrenin belirlenen optimum değere göre ısınarak alevlenmesine veya patlama olayının yaşanmasına sebep olabilir. Bu durum değerlendirildiğinde literatürde "thermal runaway" olarak tanımlanmaktadır. Bu kapsamda değerlendirildiğinde, termal yönetim sistemi zorunludur ve kritik öneme sahiptir. Tasarımı iyi detaylandırılmış bir termal yönetim yapısı ve gerekleri, bataryanın nominal çalışma sıcaklık değerleri arasında kalarak çalışmasını sağlar [4].

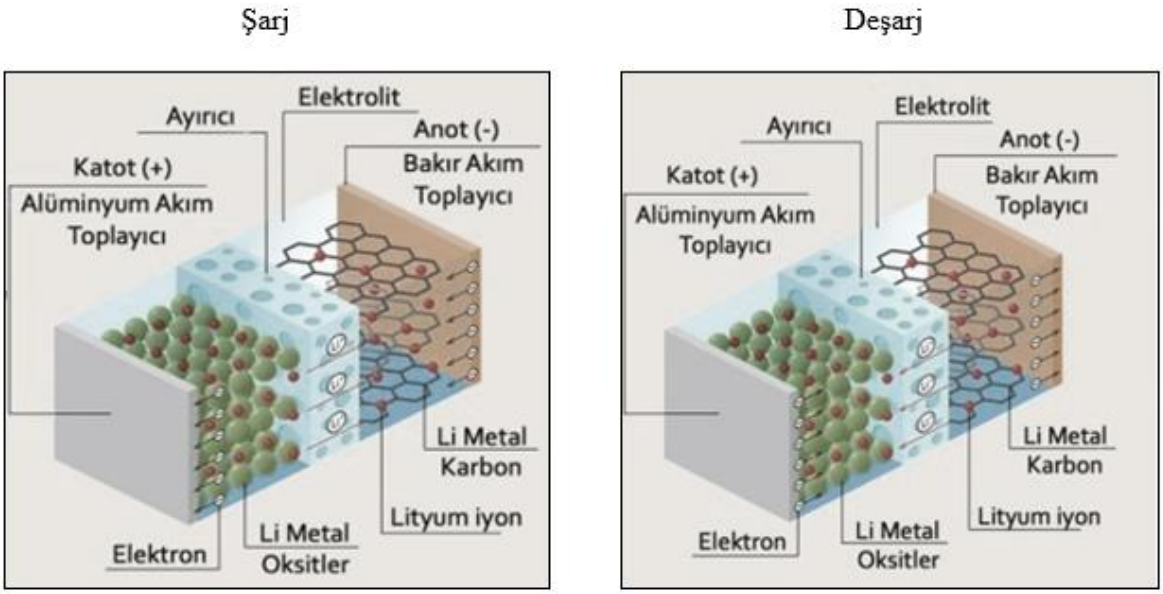
Literatür taramalarında Li-ion bataryaların optimum aktif kalma koşullarının optimum değerleri kapsamında dış ortam sıcaklığı −30 ile 60 °C aralığında değer verilmektedir. Benzer sıcaklık aralığının tanımlanan üst limiti (~80 °C) geçmesi koşuluyla Li-ion batarya hücresinde termal runaway olayının gerçekleşebileceği potansiyeli bilgisi paylaşılmaktadır. Bu durumun neticesinde batarya paketinde batarya hücrelerinin yanması ve ilerleyen aşamalarda patlama

sebep olabileceği aktarılmaktadır [2]. Bu nedenle, Li-ion bataryaların ve batarya paketlerinin ısıl yönetim sistemleri doğru tasarlanması kritik öneme sahiptir. Mevcut durumda bilinmekte olan en çok kullanıla ısının yönetimi sistemlerinde soğutma sistemi olarak hava-sıvı ile soğutma ve faz değiştirebilen malzemeler ile birlikte soğutma sistemlerine emsal olarak belirtilebilir.

Li-ion bataryaların yapısı ve çeşitleri

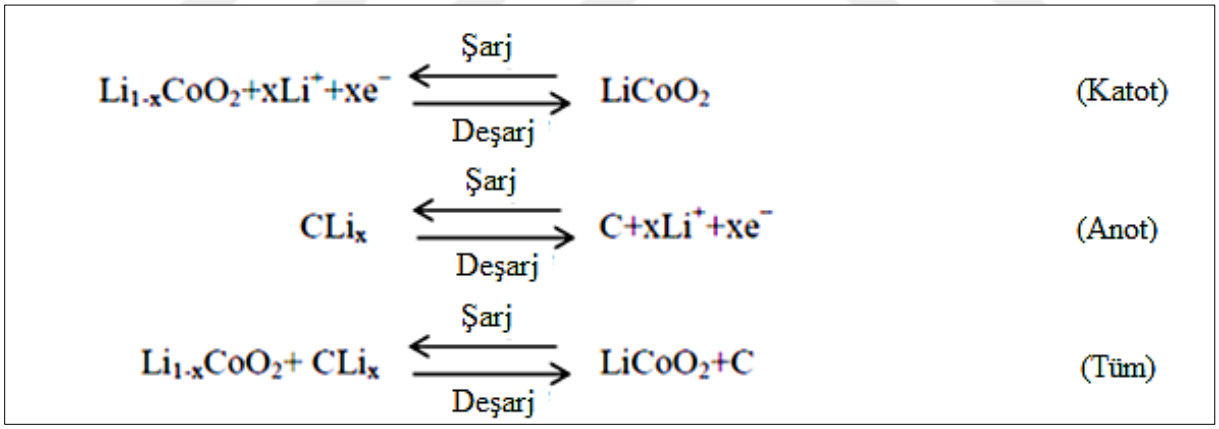
1970 yılında gerçekleştirilen çalışmalar kapsamında lityum metalinin enerji uygulamalarında kullanımına ait avantajlar ve dezavantajlar anlaşıldıktan sonra 1972'de Exxon ilk defa TiS_2 yapısında katot üretimini gerçekleştirerek anot olarak kullanılan lityum pilini üretmiştir. 1980 yılında tabakalı yapıya sahip olan sülfür maddesini içeriğinde bulunduran katot materyallerinin uzun zaman döngüleri boyunca kararlılığını koruyamadığı keşfi gerçekleştirilmiştir. Goodenough, farklı seçenek olarak bir materyal kapsamında metal oksitlerden katot olarak değerlendirilmesini teklif etmişlerdir. 1991 yılında ise ilk kez Sony ilgili düşünceyi geliştirip, ticari anlamda değer kazanan ilk Lityum iyon pil hücresini üretmiştir. $LiCoO_2$ katot, karbonun ise anot olarak çevirme dahil edildiği hücrelerde 3,6 V değerinden daha fazla potansiyel değerlere ulaşılmış, uzun dönemsel çevrimler sonrasında stabilite sergileyen lityum iyon pillerin üretimini gerçekleştirilebilmiştir. İlerleyen dönemlerde batarya teknolojilerinde ticari anlamda rekabet günden güne artmış ve özellikle bataryaların çevrimsel ömürleri, hacimsel enerji yoğunlukları, spesifik enerjileri, güvenlik durumları ve yüksek sıcaklıklarda kararlı yapıları üzerinde gerçekleştirilen geliştirme çalışmaları hız kazanmış ve hız kazanmaya devam etmektedir [5-6].

Li-ion yapısına sahip bataryalarda elektrot pozitif, elektrot negatif ve seperatör olarak tanımlanan 3 temel bileşen ile içlerinde bulunan elektrolit olarak tanımlanan bir kimyasal yapıdan meydana gelir. Pozitif elektrot, lityum nikel oksit ($LiNiO_2$), lityum kobalt oksit ($LiCoO_2$), veya lityum demir fosfat ($LiFePO_4$) gibi metal oksitlerden meydana gelebilir. Negatif elektrot, titanattan ($Li_4Ti_5O_{12}$) veya karbondan (grafit) meydana gelebilir. Lityum yapılı bataryalarda negatif olarak adlandırılan elektrot olarak enerjinin az yoğunluk miktarına göre daha güvenilir sınırların içinde olması sebebiyle fazlaca karbon elementi kullanılmaktadır. Elektrotlar içinde yer alan elektrolitin esas hedefi ise iyon hareketliliğini sağlamaktır [7]. Şekil 1.1'de Li-ion bataryaların kullanım esnasında çalışma disiplini gösterilmektedir.



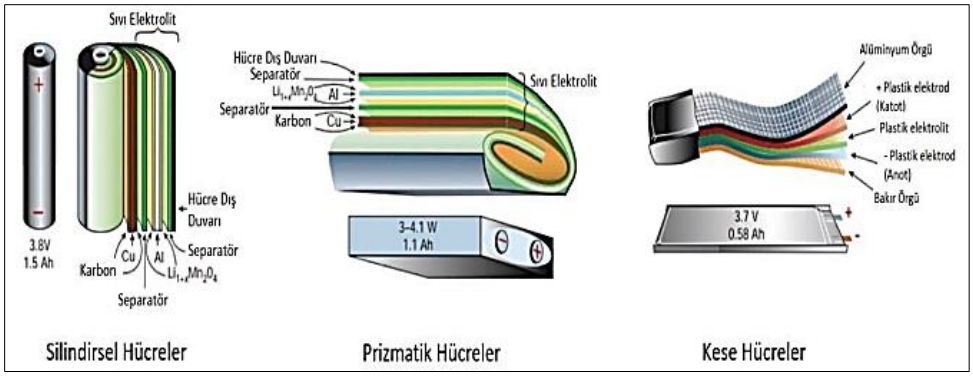
Şekil 1.1. Li-ion bataryaların çalışma disiplini [7]

Batarya üreticileri tarafından yayınlanmakta olan teknik dokümantasyona göre, en çok kullanılan Li-ion batarya çeşitlerinde bir tanesi olan $LiCoO_2$ (katot) ve grafit (anot) bazlı bataryaların iç yapısında meydana gelen kimyasal tepkimeler Şekil 1.2'de sunulmuştur.



Şekil 1.2. Li-ion batarya kimyasal reaksiyonları [4]

Yaklaşık olarak tüm Li-ion bataryalarda akım toplayıcı malzemeleri aynı olarak tasarlanmaktadır. Katot kısmında alüminyum, Anot kısmında bakır kullanılır [4]. Ancak, temel olarak incelendiğinde materyal olarak benzerlik gösterse bile, Li-Ion bataryalar dış kabuk yapısı geometrik olarak farklı şekillerde tasarlanabilirler. Bu örnek Şekil 1.3' te gösterilmektedir.



Şekil 1.3. Bataryaların yapısı (Li-ion): Silindirik, Prizmatik, Kese hücre [4]

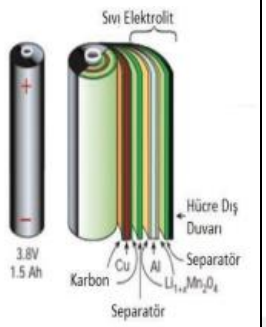
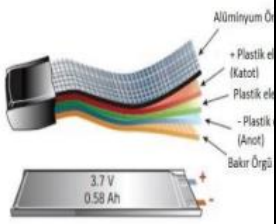
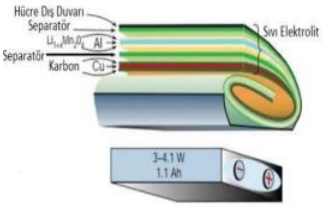
Li-ion bataryalar için şarj edilebilir piller ikincil piller olarak tanımlanmaktadırlar. Deşarj işlemi tamamlandıktan sonra tekrar şarj edilerek kullanılabilen elektrokimyasal hücrelerdir. Çizelge 1.1'de Lityum iyon pillerin diğer ikincil pillerle (nikel-çinko, gümüş-çinko, nikel-hidrojen) genel presnsipler kapsamında karşılaştırıldıklarında sergiledikleri avantaj ve dezavantajlar sıralanmıştır [6].

Çizelge 1.1. Şarj edilebilirliği olan lityum iyon pillerin avantaj-dezavantajları [6]

Avantajlar	Dezavantajlar
• Kapalı hücre yapısı • Bakım azlığı (gerektirmemesi) • Uzun ömürlü yapıya sahip olmaları • Geniş sıcaklık aralığında çalışabilmeleri (−30 ile 60 °C) • Raf bekleme ömürlerinin uzun olması • Hızlı şarj olabilmeleri • Deşarj kapasitesinin yüksek güçlü olması • Yüksek enerji verimine sahip olması • Spesifik enerjisinin yüksek olması • Enerji yoğunluğunun yüksek olması • Hafıza etkisinin mevcut olmayışı	• Maliyetler • Yüksek sıcaklıklarda yapısal bozulma görünmesi (60 ile 100 °C) • Kullanım ömrünün yaklaşık 8-12 yıl ve şarj döngüsünün 1500-2500 aralığında öngörülmesi, batarya şarj kapasite değerinin ömür ile birlikte %70-%80 mertebelerine düşmesi) • Koruyucu devre yapı ihtiyacının olması • Aşırı şarj neticesinde termal denge bozulmaları ve kapasite kayıpları

Elektrikli araç ve endüstriyel uygulama faaliyet alanlarında kullanım alanı yaygın olan Li-ion batarya hücre yapılarının mukayesesi Çizelge 1.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.2. Kullanım alanı yaygın olan Li-Ion batarya hücre yapılarının karşılaştırması [8]

	Silindir Yapı	Kese Yapı	Prizmatik Yapı
Görsel/Özellik			
Elektrotlarınların Yerleşimi	Sarılı Yapı Halinde	Yığın Yapısı Halinde	Sarılı Yapı Halinde
Mekanik Mukavemet	++	–	+
Isı Yönetim Sistemi	–	+	+
Özgül Enerjisi	+	++	+
Enerji Yoğunluk	+	+	++

Silindirik yapılı hücre

Silindirik yapılı hücre, bataryalar endüstrisi içerisinde en fazla kullanım alanı olan hücre tip modellerinden bir tanesidir. Silindirik yapılı hücrenin kabuk tarafında paslanmaz çelik malzemeden üretilmiş bir kabuk (kasa) yapısı vardır. Silindirik yapılı hücrelerin en önemli avantajı, birim başına maliyetin düşük, esnek yapı gerektiren sistemlerde kullanımı için uygun olması, boyutsal bakımdan küçük ve malzeme et kalınlığı sebebiyle sıcaklığı kontrol altında tutulmasının kolay olmasıdır. Ancak bu yapı tipinde birim başına düşmekte olan kapasite değerinin düşük olması başlıca dezavantajdır [9].

Kesme yapılı hücre

Kese yapılı hücre tipinde, prizmatik yapılı olan hücrelere benzer biçimde ince dikdörtgen bir tasarım yapısına sahiptir. Hücre yapısı, iç kısım bileşenlerinde (ayırıcı, anot ve katot) kat kat olacak biçim dikdörtgen katman yapısında birbirleri üzerinde dizilimin yığın formu tipine

gelmesiyle oluşur. Dış kabuk yapısı bakımından kasa olarak prizmatik yapılı hücrelerden farkı değerlendirildiğinde, esnek malzeme ve polimer yapılı keseler ya da lamineli alüminyum kullanılır. Prizmatik yapılı hücrelere benzer sert bir metal kasanın kullanımı olmadığı için hücrenin maliyet değeri ve kütle ağırlık değeri daha düşüktür. Bununla birlikte hücrenin deforme olması ile görülen, şişme kaynaklı boyutsal yapısının bozulması sorunu yaşanabilir ve bu koşullarda bataryanın kapasitesini azaltarak kullanım ömrünü düşürür. Bununla birlikte güvenlilik durumunu daha düşük hale getirir [9].

Prizmatik yapılı hücre

Prizmatik yapılı hücre, yüksek enerji barındırması ile bilinmekte olan ve yapısal olarak silindirik yapılı hücrelerle benzer özellikler taşıyan hücreler oalrak adlandırılır. Dış kabuğunda bulunan prizmatik yapının malzemesi alüminyumdur. Elektrotlar kısmı ve ayırıcı olarak nitelendirilen yapısı, silindirik hücrelerle eşdeğer olarak yuvarlanabilir ya da dikdörtgenlerin katman katman olarak bir yığın olarak konumlandırılabilir. Prizmatik yapıya sahip hücreler elektrikli araçlar ve hibrit sistemlerinde yaygın olarak tercih edilmektedirler [9].

Li-ion bataryaların ısıl davranışları

Li-ion malzemesi kullanılarak üretilen batarya yapılarının çalışma esnasında oluşan yük altında ısının davranışı, bataryaların çalışma performanslarında kritik etkenlerden biri ve hem performans hem de güvenlik açısından bataryaların değerlendirilmesiyle alakalıdır. Bütün bataryaların hücre, modül ve paketleri belirlenen sıcaklık değerleri arasında optimum olarak çalışır.

Elektrikli araç bataryalarının kullanımı esnasında enerjisinin belirli bir bölümü omik direnç ve yük transferi, vb. bir kısım kimyasal ve elektriksel unsurlar sebebiyle açığa çıkan ısı üretimi yoluyla yok olur. Bu durumda enerji kayıplarına sebep olması kaynaklı bataryaların elektriksel verimlilik değerini düşürür.

Isı üretimi kapsamında, batarya yapısında iletim vasıtasıyla aktarım sağlanır ve iletim ya da taşınım vasıtasıyla ortam şartları ile batarya arasında ısı transferi meydana gelir. Bu sebeple, Li-ion yapısında olan batarya ısıl davranışını anlamlandırmak amacıyla dış çevre koşulları da önem teşkil etmektedir. Bataryaların, şarj ve deşarjları sırasında önemli olarak belirlenen

(tanımlanan) optimum çalışabilirlik sıcaklığı aralık ve sınırları içerisinde kontrol altına alındığı sürece ısıl açıdan güvenilir koşulları sağlayacaktır. Ayrıca, ısı üretimi orantılı biçimde artmazsa bu durum bataryanın kritik eşik sıcaklıklarına varmasına sebep olabilir. Bu sebeple batarya yapısının termal dengesini (kararlılığını) koruyamayacağı ve bataryada tanım olarak belirtilen termal runaway meydana geleceği belirtilebilir. Isı üretimi ile birlikte, ortamın sıcaklığı, batarya çalışma sıcaklığını kritik bir eşiğe taşıyacak kadar yüksek durumda olduğunda, çevresel koşullar da bataryanın termal runaway olmasına sebep olabilir [4].

Elektrikli araç batarya soğutma sistemleri

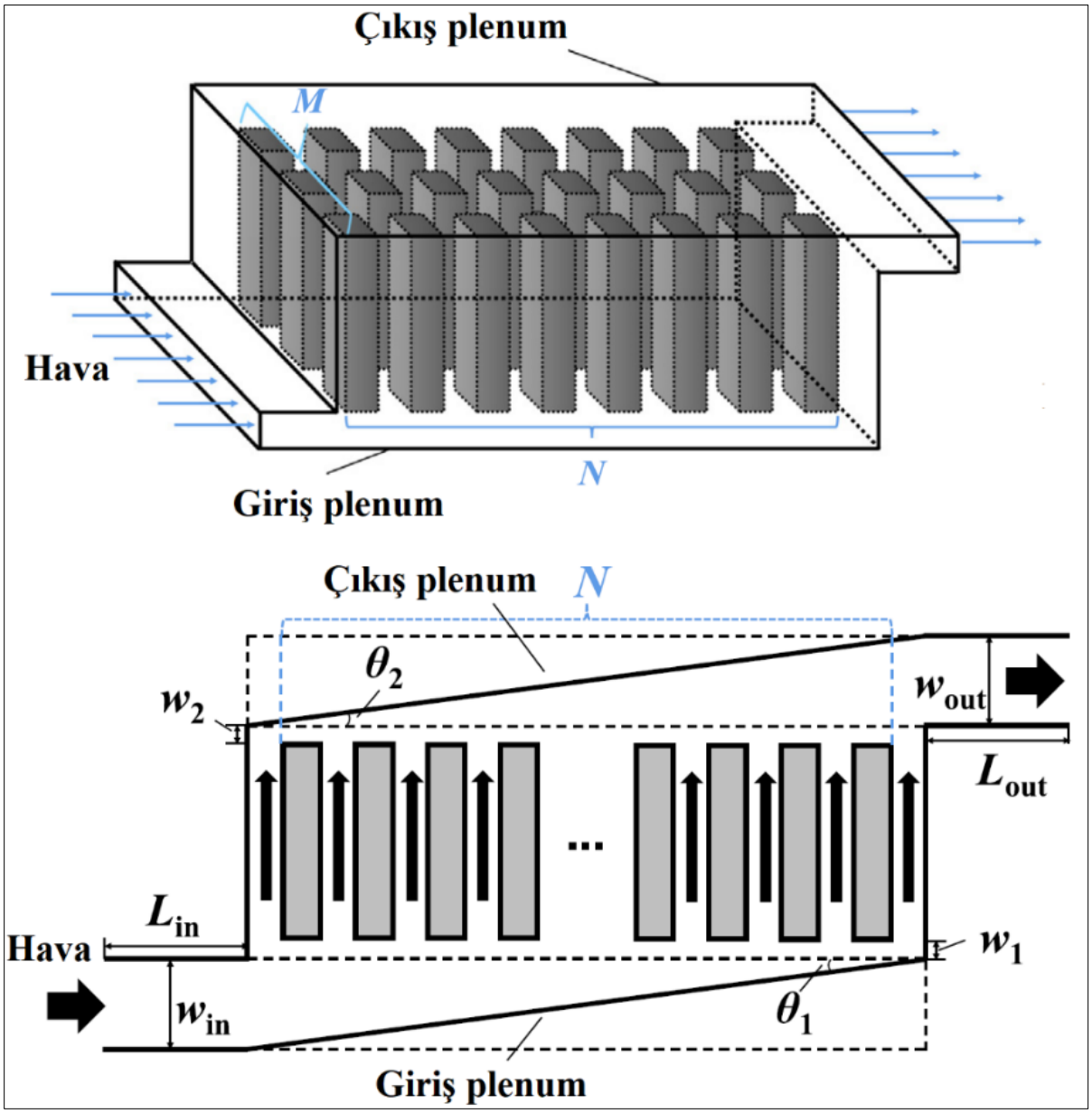
Batarya yapılarında termal sistemlerinin yönetimlerinde, bataryaların en yüksek sınır sıcaklıklarında belirlenen ortalama çalışma sıcaklarının altında ve batarya modül/paket içerisindeki sıcaklık farklarını en alt seviyede stabil hale getirmek gibi önemli vazifeleri vardır. Bu vazifeler; Batarya paketinin yaşam döngüsünü arttırmaya, batarya hücre yaşam döngüsü boyunca mümkün olan en yüksek performansı vermeye ve bataryanın güvenirliğini kontrol altında tutmaya destek olmaktadır. Batarya paketinin termal davranış karakteristiğini kararlı hale getirilebilmesi için bataryaların, batarya modüllerinin ve batarya paketlerinin sayısal ve deneysel koşullar altında ısıl modellerinin oluşturulması gerekmektedir.

Batarya paketlerinde gerçekleşen elektrokimyasal reaksiyonların verimliliği sıcaklık düşmelerinde özellikle soğuk ortam koşullarında dramatik olarak düşmektedir. Batarya termal yönetim sistemleri gerektiğinde bataryaların nominal koşullara getirilmesi için ısıtılmasını da sağlamadır. Bataryaların, batarya paketlerinin ısıtılması çalışma şartları için kritik bir konu olsa da, bu çalışmada, bataryaların soğutulması üzerine çalışılmıştır. Hibrit ve Elektrikli taşıtlarda havayla soğutma, sıvıyla soğutma, ısı borusuyla soğutma ve faz değiştirebilen maddelerle soğutma gibi farklı disiplinlerde yöntemler kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda belirtilen yöntemler birlikte kullanılmıştır. Belirtilen yöntemler birbirlerine göre değerlendirildiğinde avantajları ve dezavantajları gözlemlenmektedir [10].

Havayla soğutma yöntemleri

Havayla soğutma metodu düşük maliyetlidir. Bakım faaliyetleri ve montaj faaliyetleri göz önünde bulundurulduğun da kolaydır. Bununla birlikte havanın özgül ısı değerinin düşük olması nedeniyle hibrit araçlar kümüle ısı üretim miktarının daha düşük olarak

değerlendirildiğinde batarya modül sistemlerinde kullanılmasının uygun olduğu Şekil 1.4'de görülmektedir [10].

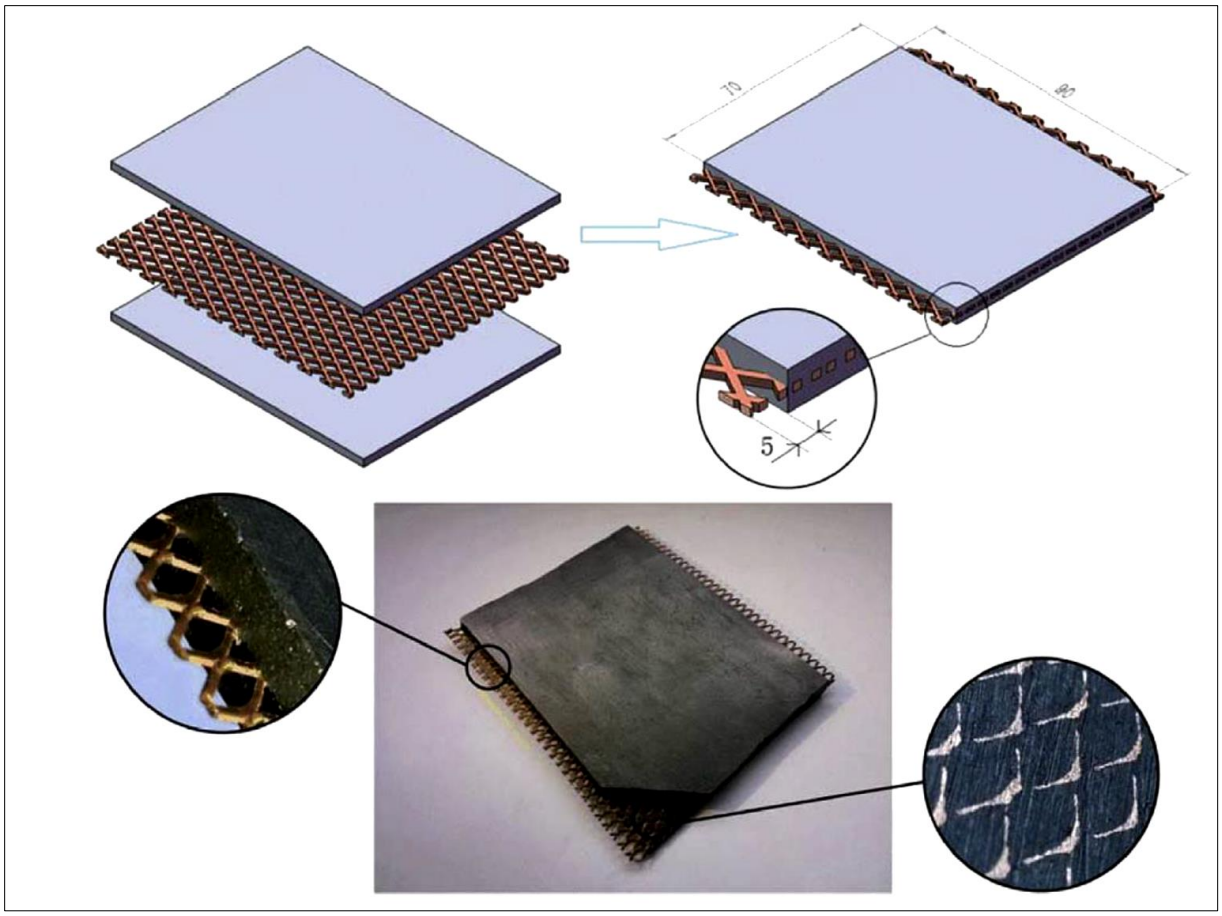


Şekil 1.4. Optimize edilerek gerçekleştirilen bir hava ile soğutma sistemi [60]

Faz değişimi olan malzemeler ile soğutma yöntemleri

Faz değişim özelliği olan malzemeler hedef olarak belirlenen sıcaklık aralığında eriyebilen veya katı faza geçebilen, ortaya çıkan gizli olan ısıyı depolayabilen malzemelerdir. Şekil 1.5'de görülmektedir. Sıcaklık değeri olarak; Erime noktasına sıcaklık değerine kadar bataryanın termal sıcaklığını koruyabilen aktif olmayan bir soğutma yöntemi olarak tanımlanabilir.

Kullanılan bu metot yalnız olarak kullanılmak istendiğinde yetersiz kalabilir; bu nedenle hava ile ya da sıvı ile soğutma yöntemleri ile birlikte kullanılabilir. Ayrıca farklı soğutma metotları ile beraber kullanılabilmesi ve sistem bazında çekilen enerjinin düşmesi gibi kazanımlarından dolayı günümüzde bu materyaller üzerine gerçekleştirilen çalışmalar hızla artış göstermektedir [11].

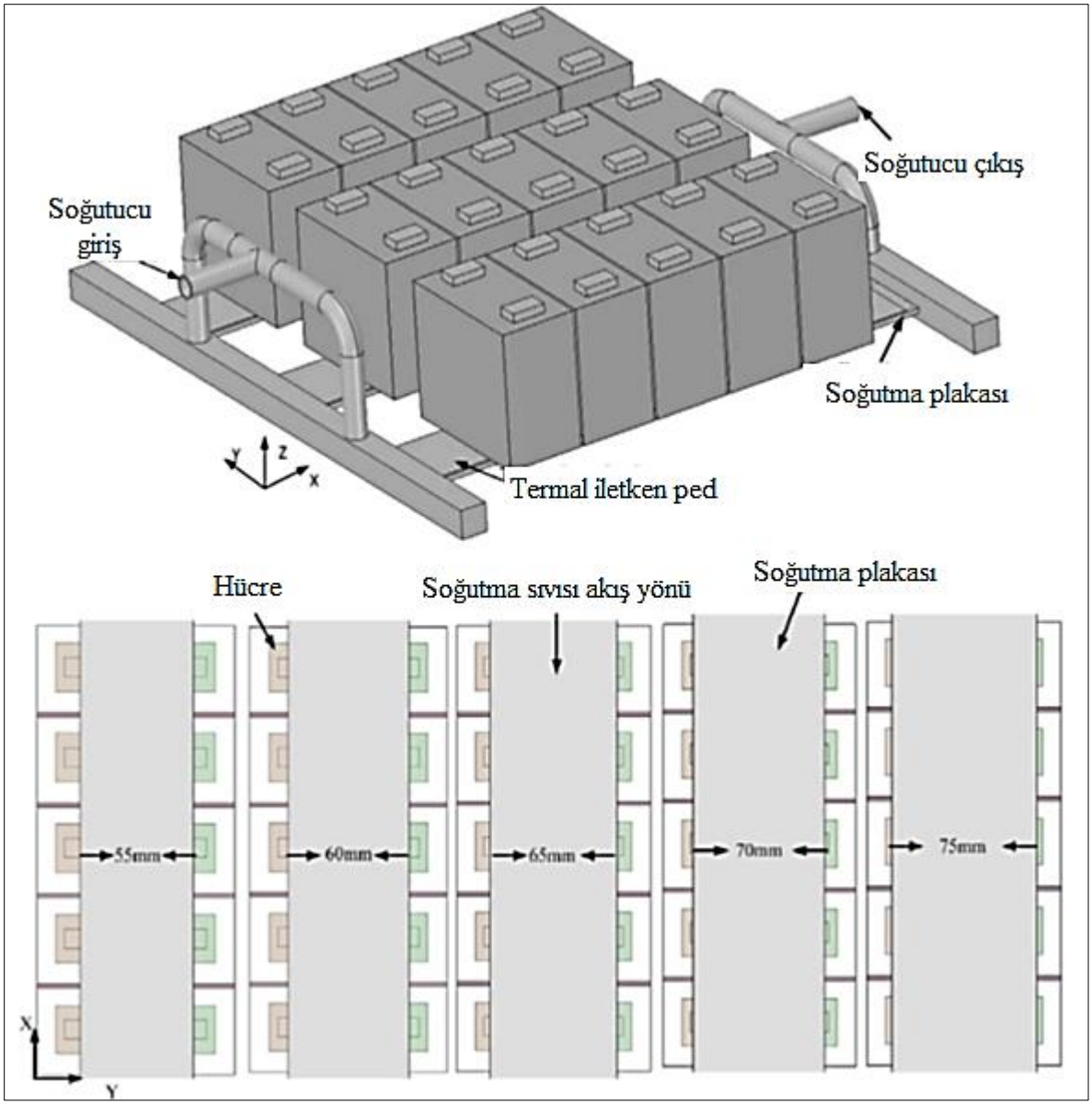


Şekil 1.5. İlave bakır plakalı FDM ile soğutma sistemi [60]

Sıvıyla soğutma yöntemleri

Sıvıyla soğutma metodu elektrikli taşıtlarda yüksek akım yardımıyla şarj-deşarj, yüksek ivme ile hızlanma ve fren enerjisi yüksek mertebelerde geri kazanım oranları ile de soğutma performansında en iyi değerleri gözler önüne seren soğutma metodudur. Şekil 1.5'de görülmektedir. Havayla soğutma metoduna istinaden kapasitif olarak daha fazla soğutma sağlamaktadır. Pompa, soğutma sıvısını bulundurmak için depo olarak, ısının değişimi için kullanılacak ısı değiştirici vb. gibi elemanlar nedeniyle havayla soğutma yöntemlerine göre

ağırlık olarak fazla ve maliyet olarak daha maliyetlidir. Diğer sistemlere göre tamir ve bakım faaliyetleri göz önünde bulundurulduğunda zorluk derecesi daha fazla ve maliyeti yüksektir. Isı borusuyla soğutma metodu aktif olmayan sıvı ile soğutma metodu olarak değerlendirilerek sınıflandırılabilir. Isı borularının sahip olduğu yüksek ısıl iletim katsayısı, evoparatör yüzeyinde hemen hemen stabil sıcaklık sağlaması, tasarım açısından esnek bir geometriye sahip olması, farklı ölçülerde boşluklu yapılara kolayca uygulanabilmesi ve farklı soğutma metotlarıyla bir arada değerlendirilebilmesi gibi avantajlar sahiptir. Bununla birlikte ısı boru maliyetlerinin yüksek ve üretim tekniklerini kolay olmaması gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Günümüzde farklı yapılarda soğutucu akışkan çeşitleri, farklı soğutma plakaları, soğutucu plakalar üzerinde optimizasyon faaliyetleri ve farklı türde soğutma metotlarını birlikte kullanma gibi pek çok alanda, fazla sayıda faaliyetler gerçekleştirilmiştir [11].



Şekil 1.6. Soğutma plakaları kullanımıyla sıvı ile soğutma yöntemi [26]

Batarya soğutma sistemlerinde kullanılan nanosoğutucu ve uygulamaları

Isıtma ve soğutma sistemlerinde gerçekleştirilen ısı transferi uygulama çalışmalarına yaşamın her aşamasında karşılaşılmaktadır. Bu sebeple, ilgili sistem yapıları için enerji verimliliği kapsamında faaliyetleri gerçekleştirmek kaçınılmaz hale gelmiştir. Isı borusu uygulama çalışmalarında metal oksitler ile baz akışkan karışımı gerçekleştirilerek hazırlanan nanoakışkanların kullanımıyla birlikte verimlilik değerini arttırmaya yönelik faaliyetler gerçekleştirilmiştir [12-13].

Bu kapsamda gerçekleştirilen çalışmalar, akışkanda bulunan termofiziksel özelliklerin farklılaştırılması ile birlikte ısı iletkenliğinin artışı sonucunda gerçekleşebilmiştir.

Termofiziksel özelliklerin değiştirilmesi ile birlikte, sistem seviyesi bileşenleri içerisinde akışın türü ve sınır koşulları farklılaştırılarak da ısı transfer değerini arttırmak mümkün olmaktadır. Günümüzde gerçekleştirilen faaliyetler analiz edildiğinde, katı fazdaki parçacıkların (metal oksit), temel (baz) akışkana ilave edilerek, akışkan ısıl iletkenlik değerinin arttırılmasına neden olduğu görülmektedir [14-15].

Bu faaliyetlerde, nano boyuta düşürülebilen metal oksit, saf su ve etil alkol vb. çalışma akışkanları ile homojenize olarak karışım elde edilmesiyle nanoakışkan olarak tanımlanan süspansiyonlar meydana getirilerek ısıl boru sistemlerinde uygulanmıştır [15-16].

Batarya soğutma sistemlerinde kullanılan nanoakışkanların özellikleri

Nanoakışkanlar, yaygın olarak kullanılmakta olan diğer süspansiyonlara istinaden pek çok farklı avantajı sunmaktadır. Bu kapsamda değerlendirildiğinde nanoakışkanların özellikleri şöyle tanımlanabilir:

Gerçekleştirilen faaliyetlere göre, nanoakışkanların termal iletkenlik değerlerinin yüksek olduğu düşüncesi öne çıkmaktadır [17-19].

Nanoakışkanlar, farklı kolloidal süspansiyonlarla ile karşılaştırıldığında daha özel yüzey alanı, yüksek mertebelerde stabilite, düşük pompa çıkış gücü ve kontrol edilebilirliğinin yüksek seviyesini barındırmaktadır [14-20].

Nanoakışkan hazırlanırken mevcut olarak bilinen avantajların yanı sıra, dezavantaj olarak değerlendirilebilecek en büyük konu ise sistem içerisinde bağlantı elemanları ve komponentlerde kesitlerin kapanmasına neden olan partiküllerdir. Bu kapsamda öngörülen dezavantajlarla karşı karşıya gelmemek amacıyla nanoakışkan hazırlama aşamasında partikül boyutsal büyüklüğünü mümkün olabildiğince en düşük boyutta sabitlememiz gerekmektedir [14-17].

Nanoakışkan kullanımı ile gerçekleştirilen pek çok faaliyette, temel olarak kullanılan akışkanlar üzerinde termal iletkenlik değerlerinde artış tespit edildiği paylaşılmıştır. Özellikle, metal oksitlerin temel sıvıları içerisinde gözlemlenen davranışları, termal iletkenlikte yükseliş meydana getirdiği; Bununla birlikte sistem seviyesi içerisinde, termal verimliliğinin artış eğilimleri faaliyetlerde belirtilmiştir [15-16].

Çalışmalarda kullanılmak için hazırlanan nanoakışkan termal özelliklerinin tanımlanması, belirlenebilmesi ve sistem yapısı içerisinde uygulanabilir seviyeye gelmesi adına

gerçekleştirilen faaliyetlerde pek çok deneysel teknik metot kullanılmıştır. Farklı deneysel yöntemlerin ve deney setlerinin kullanımı ile birlikte birçok farklı sonuç elde edilmiştir. Farklılık olarak gözlemlenen pek çok değerin nanopartiküllerin zayıf karakter özelliklerinden geldiği belirtilmektedir [15].

Nanoakışkanlar ile oluşturulan süspansiyonların üzerinde incelenmesi gereken başlıca özelliklerden bir tanesi de viskozitedir. Faaliyetlerin pek çoğunda nanoakışkan viskozite deneylerinde, norma dışı eğilimlere yaklaşımların görüldüğü tespit edilmiştir [17].

Ana akışkan olarak belirlenen sıvı içerisinde, yüzey gerilmesini yenme faaliyetini gerçekleştiremeyen milimetre, mikrometre ebatlarındaki partiküllerle hazırlanan ilgili akışkanların, süspansiyon içerisinde yüzey alanlarında tutunması kolay olmadığı için çökelmelere neden olduğu gözlemlenmiştir. Ortaya çıkan bu çökelmelerden kaynaklı, moleküllerde kullanılmakta olan sistem seviyesi yapısı ve bileşenleri içerisinde kesit daralması ve tıkanıklıklara neden olduğu belirlenmiştir. Bu nedenlerden yüzünden akışkan içinde bulunan nanopartiküllerin 100 nm'den daha küçük ve partiküllerin süspansiyondaki yüzde derişim oran değerlerinin de en çok yaklaşık %10 mertebesinde olması gerektiği savunulmaktadır. Nanoakışkan içerisinde ilgili boyutlarda ve yüzde karışımda nanopartikül kullanıldığı durumlarda, küçük ebatlarda olan nanoparçacıkların birbirleriyle gerçekleştirdikleri etkileşimleri sebebiyle temas yüzey alanlarının artacağı ve ortaya çıkan koşulun, ısıl iletkenlik değerinin artışına neden olacağı ifade edilmektedir [20].

Manyetik nanoakışkanlar ve termofiziksel özellikleri

Nanopartiküllerin, kimyasal kompozisyonlarına göre; Metal Esaslı (Metaller, Metal Oksitler), Karbon Esaslı (Fulerinler, Karbon Nanotüpler, Grafen), Nanokompozitler (Seramik Matris, Metal Matris, Polimer Matris) olarak sınıflandırılır.

Nanopartiküllerin birbirlerinden farklı üretilebilme kolaylıkları sebebiyle dikkat çekici nano mertebelerinde ölçeklendirilen sistemlerdir. Nanopartiküllerin olağan olmayan karakteristik kimyasal disiplinde yapısal özellikleri, küçük boyutlarına, yüzey yapı ve alanına, yüzey reaktivitesine, yüzeye bağlı gruplara ve yüzey kaplamalara; kimyasal bileşimlerine, kristallik ve elektronik özelliklerine; şekil, çözünürlük, kümelenme özelliklerine ve yüzey üzerine gelen yüklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedirler. Nanopartiküllerin diğer özellikleri, birbirlerinden farklı ortamlarda gösterdikleri davranışları ve onları yığın olmaktan büyük ölçüde ayıran özellikleri, yüksek yüzey enerjisini barındırmalarına bağlıdır. Benzer olmayan

özelliklerinden bir tanesi de onlara yüksek fizikokimyasal dinamiklik ve reaktivite sağlayan büyük hacim- yüzey alanı oranıdır.

Nanopartiküller benzersiz özellikleri sebebiyle teknolojik altyapısı olan sektörler, endüstriyel ve biyomedikal uygulama sahalarında genellikle elektronik, otomotiv endüstrisi, gıda, tekstil, teknoloji ve biyomedikal vb. alanlarda büyük yer bulurak çalışılmaktadır.

Nanopartiküller; Ebat, şekil, boyut, fiziki ve kimyasal yapı vb. özellikler ve bileşenlere göre farklı tür ve sınıflandırmalarda incelenebilir. En çok yer bulan nanopartiküller; metal nanopartiküller, karbon temelli nanopartiküller, metal oksit nanopartiküller, polimerik nanoparçacıklar, yarı iletken olan nanoparçacıklar, lipid bazlı yapısal forma sahibi olan nanopartiküllerdir.

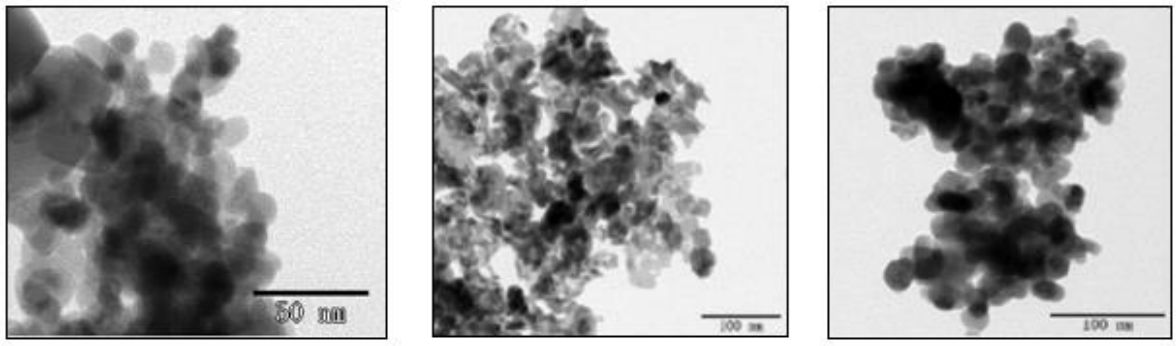
Metal nanopartiküllerin varlığı ilk olarak 1857 yılında Faraday tarafından yapılan araştırmalar sonucu meydana gelmiştir. Faraday' ın 1857 tarihinde çalışmaları sonrasında yayınlanan makalesinde boyutları küçülen altın elementinin farklı özellikler göstermesine istinaden bilgi vermesi o tarihlerde nano boyutta malzemelerin incelendiğini, üzerinde araştırmalar yapıldığını göstermektedir. Metalik nanopartiküllerin fiziksel özellikleri nano boyuttadır. Son zamanlarda gelişen teknolojide yer bulan malzemelerinde, Metal nanopartiküllerin sentez yöntemi, parçacıkların şekil, ebat ve boyutları büyük bir kritiklik taşımaktadır. Gelişime açık ve araştırmaların hızlandığı optik özellikleri nedeniyle Metal naopartiküllerin birçok araştırma alanında uygulama sahaları da bulunmaktadır. Metal nanopartiküller içinde soy metallerin nanopartikülleri Au, Ag, Pt ve bunların analogları ilaç ve medikal uygulamalarla birlikte gündelik hayatımızda yer bulan kozmetik ürünlerden deterjan, temizlik malzemeleri vb. gibi ticari olarak kullanılan ürünlerde de yaygın olarak yer bulmaktadır. Nanoparçacık altın kaplama, yüksek kaliteli SEM görüntülemelerinin de elde edilmesinde de yaygın olarak kullanım alanına sahiptir.

Metal oksit nanoparçacıklar, nanopartiküller malzeme, fizik, kimya, sağlık bilimlerinin birçok alanında kritik bir öneme sahiptir. Fiziksel yapıları çeşitli oksit bileşiklerini meydana getirebilirler. Bunlar, farklı boyutsal geometriye sahip yarı iletken, yalıtkan ve metalik özellikler gösterebilen elektronik partiküllerdir. Bu nanopartiküllerin en çok bilinmekte olan lokal yüzey rezonans özellikleri nedeniyle benzersiz optik elektronik fiziksel yapıda özelliklere sahiptir.

Geleneksel baz akışkanların termofiziksel özelliklerine büyük katkıları nedeniyle, nanofluidler son zamanlarda bir çalışma akışkanıyla çalışan ısı transfer cihazlarının termal performansını artırmak için sıklıkla kullanılmıştır. Demir gibi manyetik özelliklere sahip bu tür nanopartiküller nanofluid hazırlamada kullanılmıştır ve genellikle manyetik nanofluid olarak adlandırılırlar. Üç termal sistemin termal performansı, geleneksel olanlar yerine mono ve hibrit manyetik nanofluidler kullanılarak deneysel ve teorik olarak araştırılmıştır. Her manyetik nanofluidin termofiziksel özellikleri, farklı çalışma koşulları altında sayısal korelasyonlar uygulanarak hesaplanmıştır. Bu araştırmanın sonuçlarında kullanılan $ZnFe_2O_4$, $NiFe_2O_4$, $CoFe_2O_4$, manyetik nanopartiküllerinin önemli gösterge detayları Çizelge 1.3'de verilmiştir. Her manyetik nanopartikülün TEM görüntüleri Şekil 1.7'de gösterilmiştir [61].

Çizelge 1.3. Ürün Spesifikasyonları

Ürün Adı	Formül	Görünüm (Biçim)	Görünüm (Renk)	Boyut (nm)	Morfoloji	Saflık (%)
Çinko Demir Oksit	$ZnFe_2O_4$	Toz	Kahverengi	8-28 nm	Küresel	98.7
Nikel Demir Oksit	$NiFe_2O_4$		Kahverengi	25 nm		98.99
Kobalt Demir Oksit	$CoFe_2O_4$		İnce Siyah	30 nm		99.5



Şekil 1.7. $ZnFe_2O_4$, $NiFe_2O_4$, $CoFe_2O_4$ Manyetik Nanopartiküller [61]

2. LİTERATÜR TARAMASI

Elektrikli araçlarda kullanılmakta olan batarya paketlerinde depo edilen, kimyasal enerjiyi dönüştürerek elektrik enerjisine çeviren taşınabilir cihazlardır [22]. Dönüştürme işlevini de verimliliği yüksek elektrokimyasal redoks reaksiyonları ile gerçekleştirmektedirler. Belirtilen prosesin tam olarak tersi de gerçekleşerek şarj edilecek batarya paketleri şarj edilebilir. Elektrokimyasal redoks reaksiyonları olarak tanımlana reaksiyonlar, elektrik devresi üzerinden, malzemeden diğer bir malzemeye elektron geçişi ile meydana gelmektedir. Elektron geçişiyle olan reaksiyonlarda paslanma veya yanma olmaz ve sadece ısı ortaya çıkar. Elektrikli araçlarda, bataryalardan yüksek verim alabilmek adına batarya paket sıcaklıklarını belirtilen güvenli çalışma sınır aralıklarında tutabilecek ve batarya hücreleri arasındaki sıcaklık deltalarını azaltacak batarya termal yönetim sistemlerine gereksinim duyulmaktadır. Bataryaların termal olarak yönetsel sistemlerinden beklenen gerekler aşağıdaki gibi listelenebilir [10-23]:

- Batarya modülündeki batarya paketini oluşturan hücrelerin a ve modüllerden oluşan batarya paketinin her bölgesi arasında sıcaklık farkları istenen değerlerin üzerinde olmamalıdır.
- Batarya paketlerindeki bütün hücrelerin çalışma sıcaklığı belirlenen güvenlik sınır aralığında tutulmalıdır.
- Kompakt yapılı, ağırlık olarak incelendiğinde hafif ve montaj kolaylığı olmalıdır.
- Güvenilir, dayanıklı ve yaşamsal döngüleri uzun olmalıdır.
- Enerji tüketim miktarı düşük olmalıdır.
- Bakım faaliyetleri kolay ve bakım maliyeti düşük olmalıdır.

2.1. Batarya Soğutma Metotları

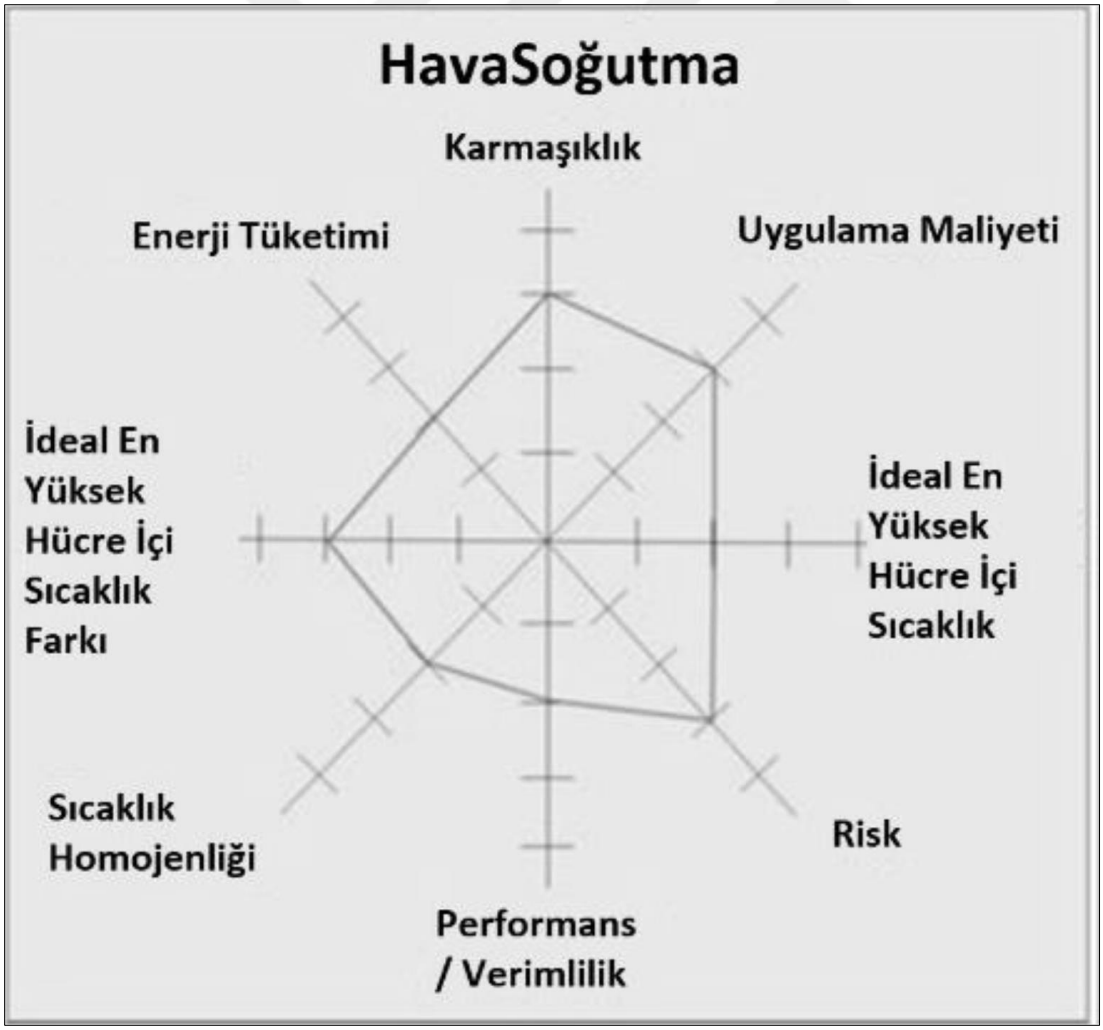
Batarya paketlerinde meydana gelen elektrokimyasal reaksiyonların verimliliği soğuk ortam koşullarında azalmaktadır. Batarya paketlerinde termal yönetim sistemleri gerektirdiğinde bataryaların gerekli şartları sağlaması adına ısıtılmasını da sağlamadır. Tez çalışmasında, dört hücreden meydana gelen batarya modülünün soğutulması üstüne çalışma gerçekleştirilmiştir.

Elektrikli ve hibrit araçlarda hava, sıvı, ısı borusu ve faz değiştiren maddelerle soğutma olarak farklı metotlar kullanılmaktadır. Bu çalışmalar kapsamında bazı yöntemler birlikte de kullanılmıştır. Bu metotların birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır [10].

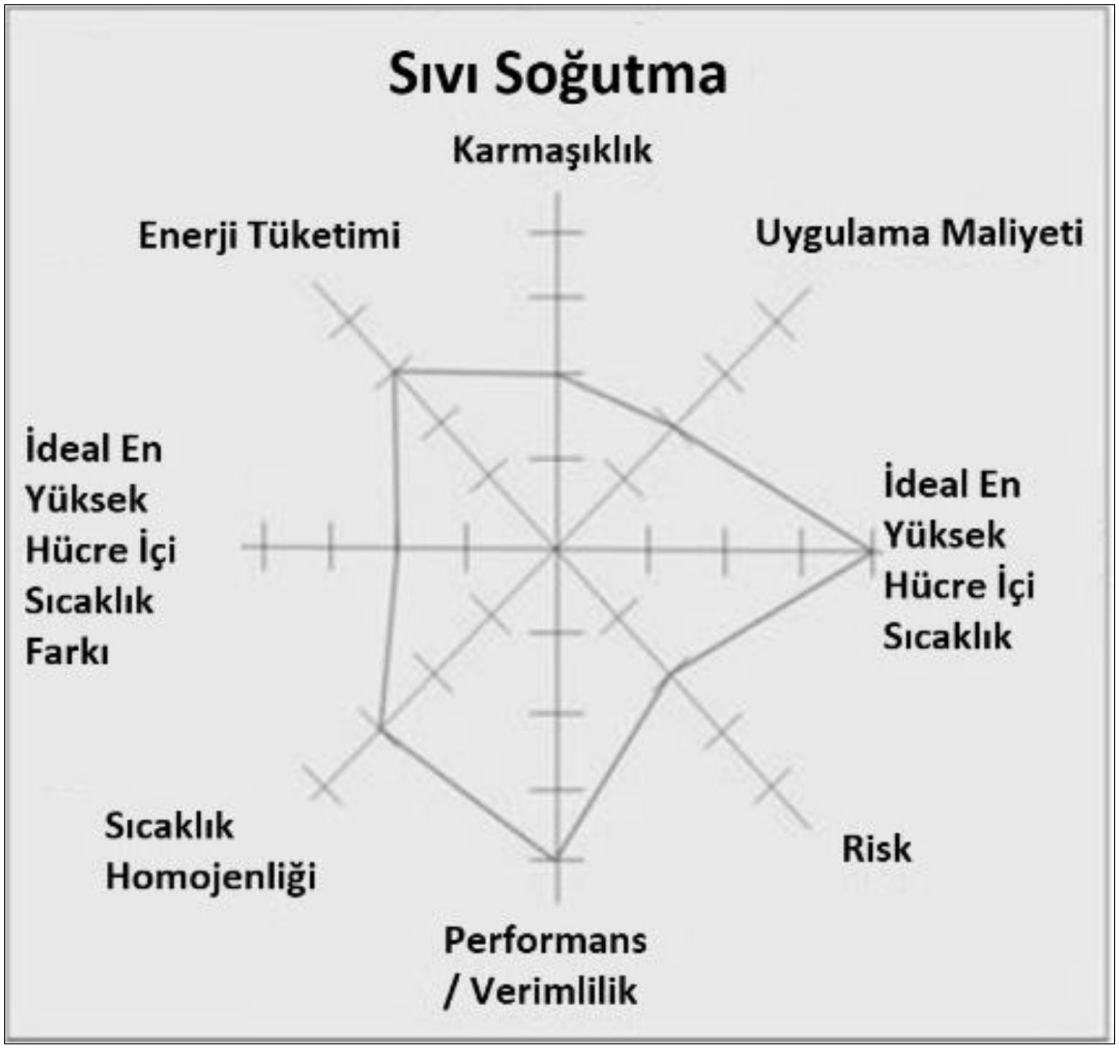
Sıvıyla soğutma metodu, hava soğutmaya göre daha fazla avantajlara sahiptir. Soğutma sıvısı kullanmanın en önemli avantajları, yüksek güç uygulamaları, ortam sıcaklıklarının yüksek olması gibi kurgularda yüksek soğutma yüklerinin üstünden gelebilmesidir. Sıvıyla soğutma kullanım açısında esas dezavantajı, karmaşık ve kompleksliğinin olması, sızıntı, kaçak potansiyel ihtimaline sahip olması ve maliyetlerinin yüksek olmasıdır [24].

Sıvı ile soğutma metodu için giriş kütle akış hızı, kanal sayısı, akışın yönü ve kanalın boyutsal olarak genişliği olmak üzere temel olarak belirtilebilecek dört ana değişken vardır. Hava ile soğutma yönteminde mevcut olduğu gibi, bu değişkenler sistem verimlilik değerini arttırabilir ya da azaltabilir [25].

Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'de Li-Ion bataryalarda hava ile soğutma sistem mukayeseleri gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Li-ion bataryalarda hava ile soğutma sistem mukayesesi [4]



Şekil 2.2. Li-ion bataryalarda hava ile soğutma sistem mukayesesi [4]

Li-ion bataryalara sıvı soğutma yöntemlerinin avantajları aşağıda listelenmiştir [4]:

- Hava ile soğutma metoduna göre miktaren yüksek ısı absorbe edebilme özelliği sayesinde ısı iletkenliği ve ısıl transfer değerlerinde yüksek katsayıya sahip olması sebebiyle hava ile soğutmaya göre daha etkin olabilir.
- Değişken kurgularda, miktaren yüksek soğutma yükleri altında yeterli soğutmayı sağlayabilme.
- Sıvı ile soğutma metodu kullanılarak verimli ve iyi bir ısıl dengeyle homojen yapı sağlanabilir.

Li-ion bataryalarda sıvı soğutma yöntemlerinin dezavantajları aşağıda listelenmiştir [4]:

- Sıvı ile soğutma metodu, ısı eşanjörlerinin ve devrelerinin sisteme ilave edilmesi sebebiyle hava soğutma yöntemine göre daha kompleks bir kurguya sahiptir.
- Hava ile soğutmayla mukayese edildiğinde maliyetleri daha yüksektir.
- Soğutma sistem özgül ağırlık ve sıvı yoğunluk değerlerinin yüksek olması kaynaklı soğutucu grubu ağırlığı fazladır.
- Soğutucu akış hızındaki artış miktarı, enerji tüketimin değerlerinin artışına karşılık gelir.
- Hava ile soğutma yöntemleri frekans olarak daha sık bakım gerektirmektedir.
- Sızıntı kaynaklı yaşanabilecek sorunlarla ilgili potansiyeli vardır.

Li-ion bataryalarda hava ile soğutma yöntemlerinin avantajları aşağıda listelenmiştir [4]:

- Soğutucu sıvının geri dönüştürülememe özelliği nedeniyle hava soğutma yöntemi elektrikli ve hibrit araçların iç kısmında daha az hacim kaplar.
- Yapının basit olması, kolayca bakım yapılabilmesi, maliyetlerin düşük ve hava viskozitesi nedeniyle sistem işletim prosesinde gürültü olarak değerlendirilebilecek enerji tüketimi düşüktür.
- Prizmatik yapıya sahip hücre modeli için, hibrit araçlar vb. durumlarda hava ile soğutma yöntemi yeterlidir.
- Prizmatik yapılı hücrelerin, 55 °C sınırının altında olan en yüksek sıcaklığı ve hücredeki 5 °C'den daha fazla olmayan sıcaklık farklılıklarını kontrol edebilen normal sürüş döngüleri sırasında araçların (Elektrikli ve hibrit) hava soğutma sistemi çok daha verimli çalışır.

Li-ion bataryalarda hava ile soğutma yöntemlerinin dezavantajları aşağıda listelenmiştir [4]:

- Havanın ısıl yük kapasitesinin düşük olması ve batarya modülü boyunca ısıl farklılıklara yol açması.
- Havanın ısı kapasitesinin düşük ve hissedilebilecek ısıl yolla soğutma, kısıtlı bir soğutma yeterliliği ile sonuçlanır ve ayrıca batarya paketinin konumlandırılmasında da bazı kısıtlamalar getirir. Isıl yükün, araç kabininin hava sıcaklık değerine bağlı olarak ortalama 325–800 W ile sınırlandırılmış olmasıdır.
- Batarya paket ölçeğinin büyük olduğu durumda, sistemin güç çıkışının yüksek olması gerekliliğinden dolayı ve ortamın sıcaklık değerinin yüksek veya düşük olduğunda, hava ile soğutma sisteminin ısıl yönetim gereksinimlerine yeterli olamayabilir.
- Performanslı sürüş dinamiklerinin görüldüğü döngüler esnasında ve çalışma sıcaklıklarını da yüksek olması senaryosunda prizmatik yapılı bataryanın kullanılması, kaçınılmaz olarak bataryalarda daha büyük ve homojenize olmayan sıcaklık dağılımına neden olacaktır. Performanslı ve agresif olarak tanımlanabilecek bir çevrim esnasında en yüksek sıcaklık istenen sınır değerlerinde daha yüksek mertebelerde gerçekleşebilir.

2.2. Soğutma Sistemlerinde Nanoakışkan Uygulamaları

Mevcutta sık sık kullanmakta olduğumuz soğutma yönetim sistemlerinde çalışan soğutucu sıvı bileşeninde nanopartiküllerin kullanılmasıyla hazırlanmakta olan süspansiyonların kullanılmakta olduğu pek çok çalışma bulunmaktadır [28-29]. Bandgar ve diğerleri kompresör kullanarak soğutma yönetim sistemlerinde verimlilik artış çalışmaları yapmışlardır. Soğutma çevrim yapısı döngüsünde en çok güç tüketimine neden olan ekipmanın kompresör olduğunu belirtmişlerdir. Yarıca yazarlar, soğutma sisteminde kompresör içerisinde bulunan yağın bir kısmının soğutucu gaz ile karışma eğilimi göstererek termal çevrim içerisinde yer aldığını belirtmişlerdir. Bu nedenle, kompresör yağı içeriğinde metaller, oksitler ve karbon nanotüp gibi nanoparçacıkları ekleyerek, elde edilen süspansiyon ile verimlilik oranını arttırma çalıştıklarını belirtmişlerdir. [27]

Çizelge 2.1. Araştırma çalışmalarına ilişkin özet açıklamalar

Yazarlar	Manyetik Nanoakışkanlar	Yüzdesel Hacim	Bağımlı Değişkenler: Sıcaklık, Debi, Sıcaklık ... vb.	Çalışma Türü	Elde Edilen Sonuçlar
Article *in* Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers · March 2021	NiFe2O4 Nanoparticles	%0,01 and %0,05	%0,01 ve %0,05 hacim kesri olan Nikel Ferrit nanofluid, 0,5 ila 3 Lit/dak arasında değişen üç farklı hacim akış hızı	NiFe2O4/Su kullanan parabolik güneş kollektörünün verimliliği	Nikel Ferrit nanofluidinin yüksek akış hızlarında uygulanmasının PTSC'de çok daha etkili ve uygun olduğunu ortaya koydu. Maksimum %51 verimlilik, %0,05 hacim kesri ve 3 Lit/dk akış hızıyla emici olarak U-tüplü Nikel Ferrit nanofluid ile ilişkiliydi, bu da saf sudan %22 daha yüksekti. Termal verimliliğinin nanofluidin akış hızı ve hacim kesriyle arttığını gösterdi.
W.A. Khan1, Z.H. Khan2,3, and R.U. Haq4, a, March 2015	Ferrofluidler (Fe3O4, CoFe2O4, Mn-ZnFe2O4)	φ 0,01-0,1-0,2	Isı transfer oranı, yüzey sürtünmesi, nanopartikül hacim kesri	NanoFerrofluidlerin düz bir plaka üzerinde akışı ve ısı transferi Üniform ısı akışı	Ferrofluidlerin (Fe3O4, CoFe2O4, Mn-ZnFe2O4) ve yüzey sürtünmesini ısı transfer oranını artırdığı sonucuna varılmıştır.
Ajay Tripathi1, H. Chandra2, 2015	ZnFe2O4, etilen glikol ve su karışımı (50:50)	%1	ısı transfer katsayısı, ısı transfer hızı, Nanoakışkan hacimsel oran	ZnFe2O4 ile Çalışan Otomobil Radyatörünün Nano Sıvı Bazlı Soğutma Sıvısı ile Performans Araştırması	bir temel sıvıya %1 ZnFe2O4 parçacıklarının eklenmesiyle yaklaşık %78 ısı transfer iyileştirmesinin elde edilebileceği gözlemlendi.

Çizelge 2.1. (devam) Araştırma çalışmalarına ilişkin özet açıklamalar

Yazarlar	Manyetik Nanoakışkanlar	Yüzdesel Hacim	Bağımlı Değişkenler: Sıcaklık, Debi, Sıcaklık ... vb.	Çalışma Türü	Elde Edilen Sonuçlar
İpek Aytaç, 2020	CuO+ZnO, MgO+CuO, MgO+ZnO	%0,5, %1, %2, %2,5	Isıl iletkenlik, özgül ısı, vizkozite, nanoakışkan hacimsel oran	Hibrit Nanoakışkanların Termofiziksel Özelliklerinin Isıl Davranışları	Farklı konsantrasyon değerine sahip nanoakışkanların ısıl iletkenlik, özgül ısı, vizkozite değerleri hesaplanarak modeller arasında karşılaştırma yapılmıştır.
Andrew T. Nelson, Joshua T. White, David A. Andersson, Jeffery A. Aguiar, Kenneth J. McClellan, Darrin D. Byler, Michael P. Short and Christopher R. Stanek	Nikel Ferrit NiFe2O4	%3, %5	Isı Kapasite, Isıl İletkenlik, Isıl Genleşme	Nikel Ferritin kimyasal, yapısal, Manyetik ve elektronik yapısı nedeniyle, Spintronik4 ve manyetik depolamacihazlarında uygulaması.	NiFe2O4'ün termal genleşmesi, özgül ısı kapasitesi, termal difüzivitesi ve termal iletkenliği oda sıcaklığından 1473 K'ye kadar ölçüldü. Sıcaklığın bu özellikler üzerindeki etkisi, genel olarak bir yalıtım malzemesinden beklenene benzerliği gözlemlendi.
Baba et al., 2018	Fe_3O_4/PW	%0,02, %0,04, %0,06, %0,08, %0,1, %0,2, %0,4	40 lpm	İçerisine kanatlar yerleştirilmiş karşı akışlı DPHE'de kullanılan manyetik nanoakışkanlar	MNF kullanımı termal performansı %80-%90 oranında artırdı.

Çizelge 2.1. (devam) Araştırma çalışmalarına ilişkin özet açıklamalar

Yazarlar	Manyetik Nanoakışkanlar	Yüzdesel Hacim	Bağımlı Değişkenler: Sıcaklık, Debi, Sıcaklık ... vb.	Çalışma Türü	Elde Edilen Sonuçlar
Abdulwahab et al., 2020	Fe_3O_4/PW	%0,2, %0,4, %0,6	5000 W/m^2	Gambit & Fluent yazılımları ile dairesel, kare ve üçgen olmak üzere farklı kesit alanlarına sahip üç farklı düz kanalda MNF kullanılmıştır.	CHTC, Re sayısının artmasıyla artar. CHTC'nin maksimum değerleri dairesel tüpte %0,6 VF'de ortaya çıktı
Rashmi Mannu, Vaithinathan Karthikeyan , Nandakumar Velu , Chandravadhana Arumugam, Vellaisamy A. L. Roy , Anantha-Iyengar Gopalan, Gopalan Saianand , Prashant Sonar , Kwang-Pill Lee, Wha-Jung Kim, Dong-Eun Lee and Venkatramanan Kannan	ZnFe2O4-su ve MnFe2O4-su	%1	Isıl İletkenlik, Vizkozite, termofiziksel özelliklerinin	Bu çalışmada, iki farklı ferrofluidin (ZnFe2O4-su ve MnFe2O4-su) termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi.	Ölçülen verilere dayanarak, hem viskozite hem de termal iletkenlik için katı hacim oranı ve sıcaklığa göre korelasyonlar sunulmuştur. Hazırlanan ferrofluidlerin etkin termal iletkenliği de hesaplandı. Sonuçlar, su bazlı ZnFe2O4 nanofluidinin MnFe2O4'ten daha düşük termal iletkenliğe sahip olduğunu gösterdi. Her iki ferrofluidin viskozite değerleri karşılaştırıldığında, hafif bir fark gözlemlendi.

Çizelge 2.1 (devam) Araştırma çalışmalarına ilişkin özet açıklamalar

Yazarlar	Manyetik Nanoakışkanlar	Yüzdesel Hacim	Bağımlı Değişkenler: Sıcaklık, Debi, Sıcaklık ... vb.	Çalışma Türü	Elde Edilen Sonuçlar
Shahsavar, 2019	Tetrametilamonyum hidroksit kaplı Fe3O4	-	Basınç düşüşü, pompalama gücü	Hibrit nanofluidin etkilerini araştırmak için karşı akımlı çift borulu mini ölçekli ısı değiştirici incelendi	%1,5-%9,71 basınç düşümü, %1,5-%9,71 pompalama gücü ve %18,24-%19,60 performans değerlendirme kriterinin hesaplanmasında yüksek hataya yol açmaktadır.
Maddah, 2018	Al_2O_3-TiO_2	%0,2 %1,5	Reynolds sayısı (3000-12000) 2 ile 8 arasında çevrim oranı	Hibrit nanofluid kullanan çift borulu bir ısı değiştiricinin performansını teorik olarak inceledi	Sonuçlar, nanokompozitlerin ve büküm bantlarının kullanılmasının, çalışma sıvısı olarak saf suya karşılık gelen ekserji verimliliğini artırdığını gösterdi
Sözen et al.,2016	alümina ve uçucu kül	.%2	Kütle akış hızı, giriş gücü	Nanofluid çalışma akışkanı altında paralel ve çapraz akışlı konsantrik borulu ısı değiştiricinin ısı transferinin iyileştirilmesi	Sistemde çalışma akışkanı olarak uçucu kül nanofluidinin kullanılması durumunda, paralel ve karşı akışlı konsantrik borulu ısı değiştirici sistemlerinin verimlilikleri sırasıyla %31,2 ve %6,9 olmuştur.
Sözen et al., 2017	Yanma fırını cürufu nanopartikülleri	%3	Kütle akış hızı, giriş ısısı, ağırlık yüzdesi	Nanofluidlerin iki fazlı kapalı bir termosifonun termal yönleri üzerindeki etkileri	Bulgular, ticari olanların yerine bu tip çalışma akışkanının kullanılmasıyla ısı borusunun endeks faktörünün %22 oranında iyileştirildiğini göstermiştir.

3. YÖNTEM

Bu tez çalışmasında Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizi'nde 4 hücreden oluşan 1 Modül elektrikli taşıt batarya soğutma sistemi tasarımı üzerinden, mevcut seri üretimlerde soğutucu akışkanı olarak kullanılmakta olan Su-Etilen Glikol sıvı karışımına farklı nanopartiküllerin farklı derişim oranlarında eklenmesi ile soğutma sistem performans değerini geliştirmek ve gözlemlemek istendi. Ana soğutma sıvısı olarak seçilen %50 Etilen Glikol %50 Su karışımı, nanopartikül olarak farklı derişimler de $ZnFe_2O_4$, $NiFe_2O_4$, $CoFe_2O_4$ Manyetik Ferrit nano parçacıklarının boyutsal olarak nano boyutta olacak biçimde soğutma sıvısı karışımı içerisine belirlenen miktar ve oransal olarak katılımı sonucunda meydana getirilen nanoakışkanların termofiziksel olarak yapısal özellikleri teorik incelemeler kapsamında literatürdeki modellemeler kullanılarak belirlenmiştir. %1, %2, %3 olacak şekilde farklı konsantrasyonda nanoakışkanların ısıl iletkenlik, özgül ısı, viskozite değer hesaplamaları yapılarak modeller üzerinde Hacimsel Isı Atımları karşılaştırılmıştır. Çalışmanın bu bölümünde kullanılan materyal ve yöntemler açıklamaları ile anlatılmıştır.

3.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Yöntemi

Bir akışkanın hareket, ısı transferi ve kimyasal reaksiyonlarını içeren sistemleri içerisinde barındıran bilgisayar yazılım desteğiyle analiz etmemize olanak sağlayan HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) yöntemi uygulanmıştır. HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) çözüm metodunda sonlu hacimler yöntemi kullanılmaktadır. Sonlu hacimler yönteminde ilk aşama olarak çözüm bölgesi belirlenen sayıda ayrık kontrol hacimlerine bölünerek korunum denklemlerinin her hacim elemanı üzerinde integrasyonu gerçekleştirilir. Kontrol hacmi olarak belirlenen değer için kullanılan integral formundaki denklemler matematiksel denklemlere çevrilir ve iteratif metotlar kullanılarak yaklaşık sonuçlar elde edilmeye çalışılır [30].

Katı bölgelerde kullanılan enerji korunum denklemi Denklem 3.1' de verilmiştir [31-33].

$$\frac{\partial(\rho_c c_{p,c} T)}{\partial t} = \nabla \cdot (k_c \nabla \mathrm{T}) \tag{3.1}$$

ρc [kg/m^3] soğutma plaka yoğunluğunu, cp, c [J/(kgK)] soğutma plaka özgül ısısını, kc [W/(mK)] soğutma plaka ısıl iletkenlik katsayısını göstermektedir.

Akışkan bölgesinde kütle, momentum ve enerji korunum denklemleri Denklem 3.2, 3.3 ve 3.4.' de verilmiştir [34-36].

$$\frac{\partial(\rho_f)}{\partial \mathrm{t}} + \nabla \cdot \left(\rho_f \vec{V}\right) = 0 \tag{3.2}$$

$$\frac{\partial(\rho_f \vec{V})}{\partial \mathrm{t}} + \rho_f(\vec{V} \cdot \nabla)\vec{V} = -\nabla p + \nabla \cdot \left(\mu \nabla \vec{V}\right) + \rho_f \vec{g} \tag{3.3}$$

$$\frac{\partial\left(\rho_f c_{p,f} T\right)}{\partial \mathrm{t}} + \vec{V} \cdot \nabla\left(\rho_f c_{p,f} T\right) = \nabla \cdot \left(k_f \nabla \mathrm{T}\right) \tag{3.4}$$

ρf [kg/m3] akışkan yoğunluğu, cp, f [J/(kgK)] akışkan özgül ısısı, kf [W/(mK)] akışkan ısıl iletim katsayısı, $V^{\rightarrow}$ [m/s] akışkan hızı, p [Pa] akışkan basıncı ve g [m/s2] yer çekim ivmesini göstermektedir.

HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) ile hesaplanan basınç düşüm değeri teorik olarak basınç düşümü modellemeleriyle doğrulanmıştır. Basınç düşümünün teorik modellenmesinde Denklem 3.5 ve Denklem 3.15 arasındaki denklemler kullanılmıştır [34-37].

$$\Delta Ptotal = \Delta Pf + \Delta P180° \tag{3.5}$$

ΔPf sürtünme kayıplarından dolayı oluşan basınç düşümünü, $\Delta P180°$ 180º'lik dönüşlerden kaynaklı basınç düşümünü ve $\Delta Ptotal$ ise ΔPf ve $\Delta P180°$'den kaynaklı basınç düşümleri toplam değerini ifade etmektedir.

$$L_h \approx 0.05\,\mathrm{Re} \cdot D_h \tag{3.6}$$

$$D_h = 2.\frac{(w \cdot h)}{(w + h)} \tag{3.7}$$

$$U_m = \frac{\dot{m}}{\rho_l . A_{cs}} \tag{3.8}$$

$$Re = \frac{(\rho_l U_m D_h)}{\mu} \tag{3.9}$$

Bu kısımda Lh [m] hidrodinamik girişinin uzunluğu, Um [m/s] soğutucu akışkanın ortalama hızı, $\dot{m}$ [kg/s] soğutucu akışkanın kütlesel debisi, Dh [m] hidrolik çapı, Acs [m^2] soğutma kanalının kesit alanı, μ [Pa.s] soğutucu akışkanın dinamik viskozitesini, Re Reynolds Sayısını göstermektedir.

Eğer kanal veya borunun toplam uzunluk değeri hidrodinamik girişinin uzunluğundan azsa sürtünmeden kaynaklı oluşan basınç düşümü gelişmekte olan ve gelişmiş akış hareketi denklem 3.10 ile hesaplanabilir.

$$\Delta P_f = \frac{\rho_l . . \mathrm{U}_m^2}{2}\left(\frac{4 f_{app} L}{D_h}\right) \tag{3.10}$$

$$f_{app} = \frac{3.44}{Re\sqrt{L^+}} + \frac{(f_{fd}.Re) + \frac{K_{(\infty)}}{4L^+} - \frac{3.44}{\sqrt{L^+}}}{Re\left(1 + \frac{c}{(L^+)^2}\right)} \quad (3.11)$$

$$L^+ = \frac{L/D_h}{Re} \quad (3.12)$$

$$K_{(\infty)} = 0.674 + 1.2501\alpha + 0.3417\alpha^2 - 0.8358\alpha^3 \quad (3.13)$$

$$c = (0.1811 + 4.3488\alpha + 1.6027\alpha^2)x10^{-4} \quad (3.14)$$

$$\alpha = \min(w,h)\ /\max(w,h) \quad (3.15)$$

$$f_{fd} = \frac{24}{Re}(1 - 1.3553\alpha + 1.9467\alpha^2 - 1.7012\alpha^3 + 0.9567\alpha^4 - 0.2537\alpha^5) \quad (3.16)$$

Bu kısımda görünmekte olan Fanning sürtünme $fapp$ Denklem 3.11 kullanımı ile hesaplanabilir. Cidar kısmındaki sürtünmeden kaynaklı kuvvetin atalet kuvvet değerine oranı olan Fanning sürtünme faktörünü (ffd) ise Denklem 3.16 kullanımı ile hesaplanabilir. Denklemlerdeki L kanalın uzunluğunu, Denklem 3.13 ile hesaplanan $K(\infty)$ tam gelişmiş kademeli basınç düşümü katsayısını, Denklem 3.12 ile hesaplanan $L+$ boyutsuz kanal uzunluğunu, Denklem 3.14 ile hesaplanan c ayarlama katsayısı, Denklem 3.15 ile hesaplanan α en değerinin boy değerine oranını göstermektedir.

180º'lik dönüş kısımlarından meydana gelen basınç kaybı Denklem 3.17 ile hesaplanmıştır.

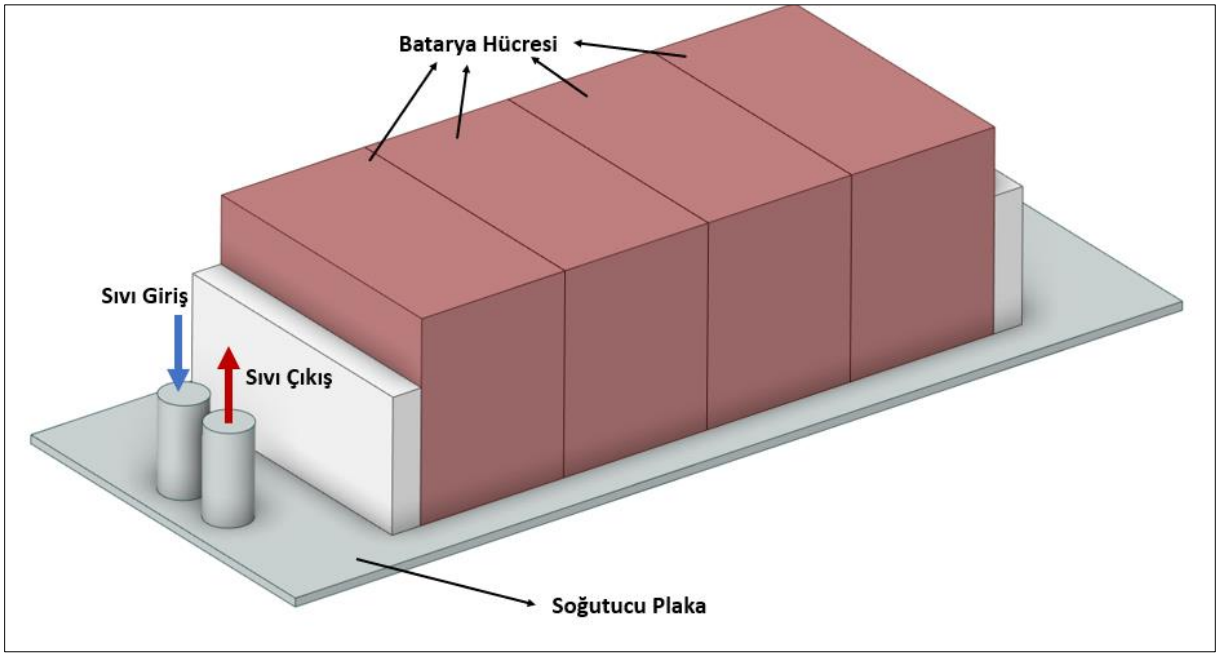
$$\Delta P_{180^\circ} = \frac{1}{2}\rho_l \cdot U_m^2 \sum_{i=1}^{n} \xi_i \quad (3.17)$$

$$\xi = 0.46(Re)^{\frac{1}{3}}(1 - 0.18C + 0.016C^2)(1 - 0.2\beta - 0.0022\beta^2)\left[1 + 0.26\left(\frac{L_s}{D_h}\right)^{\frac{2}{3}} - 0.0018\left(\frac{L_s}{D_h}\right)^2\right] \quad (3.18)$$

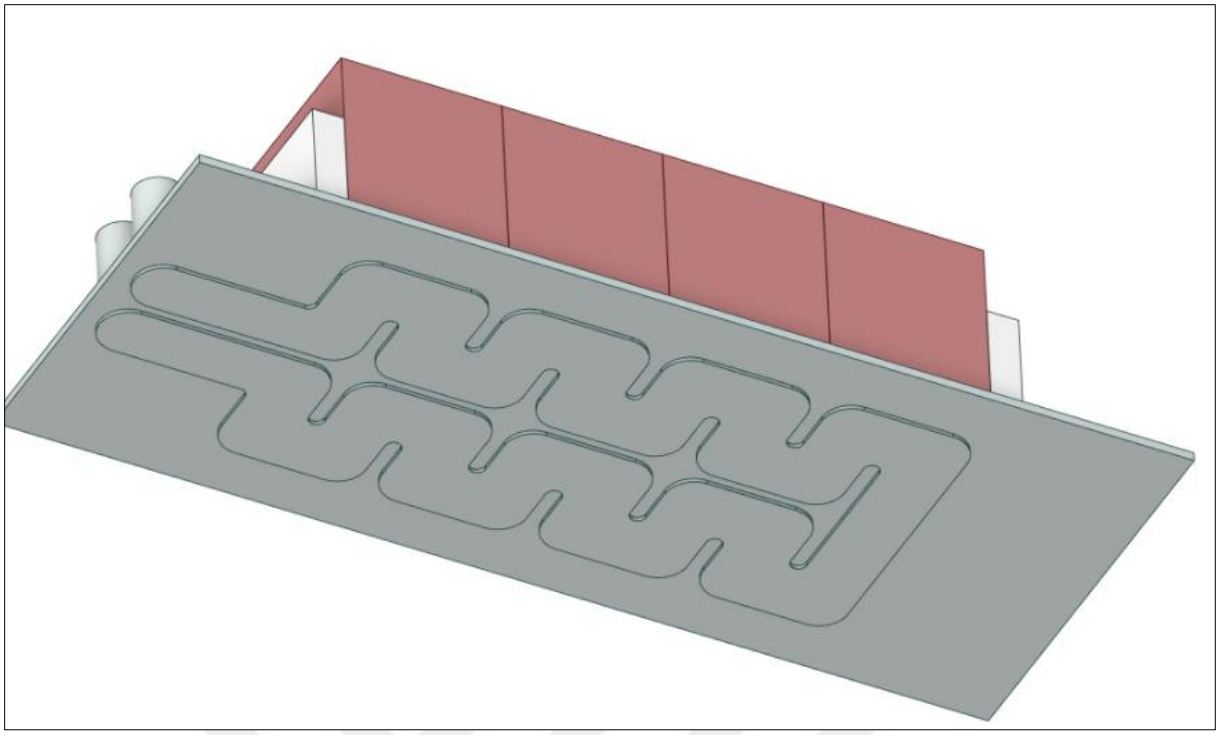
Bu kısımda n 180º'lik mertebede dönüş değerinin ve Denklem 3.18. ile hesaplanan (ξ)Reynolds Sayısının 100-1000 arasındaki olduğu durumlardaki dirsek yapısı kayıp katsayısını, Shah, 1978 yılında tarafınca tanımlanan C 180º dönüşlerin çap oranını, β kanal yüksekliğinin kanal genişliğine orantısının ve Ls ise serpantine kanalların arasındaki dikey mesafeyi tanımlamaktadır.

3.2. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Modeli

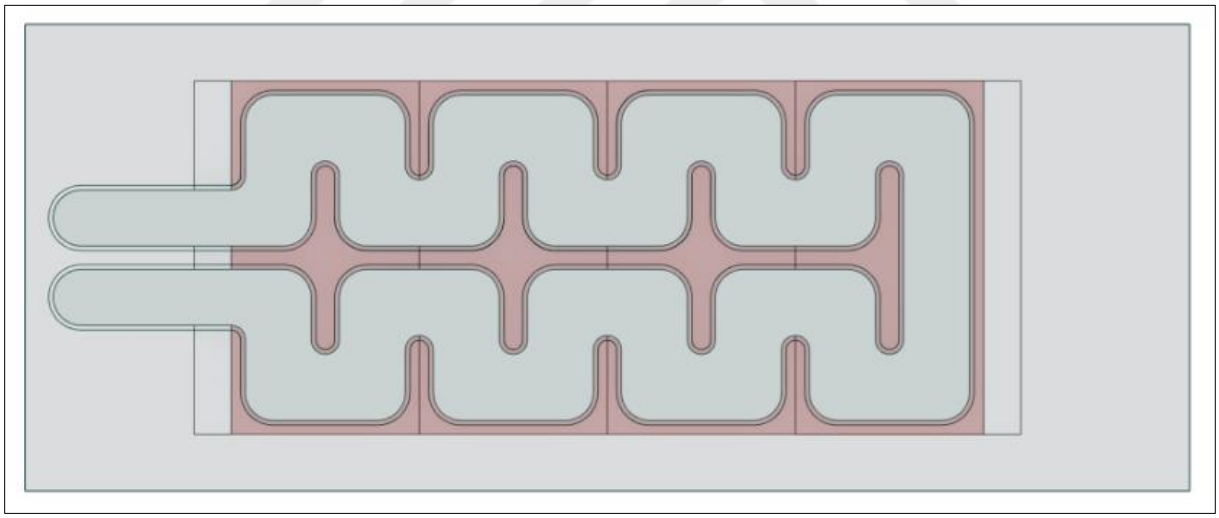
Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği analiz çalışmaları için tasarımı gerçekleştirilen 4 Hücreden oluşan Modül'ün çalışma prensibi Şekil 3.1'de, Modül ve Soğutucu plaka 3 Boyutlu Modelleri Şekil 3.2 ve Şekil 3.3 ile gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Dört hücreden meydana gelen soğutma plakalarıyla sıvı soğutma yöntemi kullanılan batarya modülü

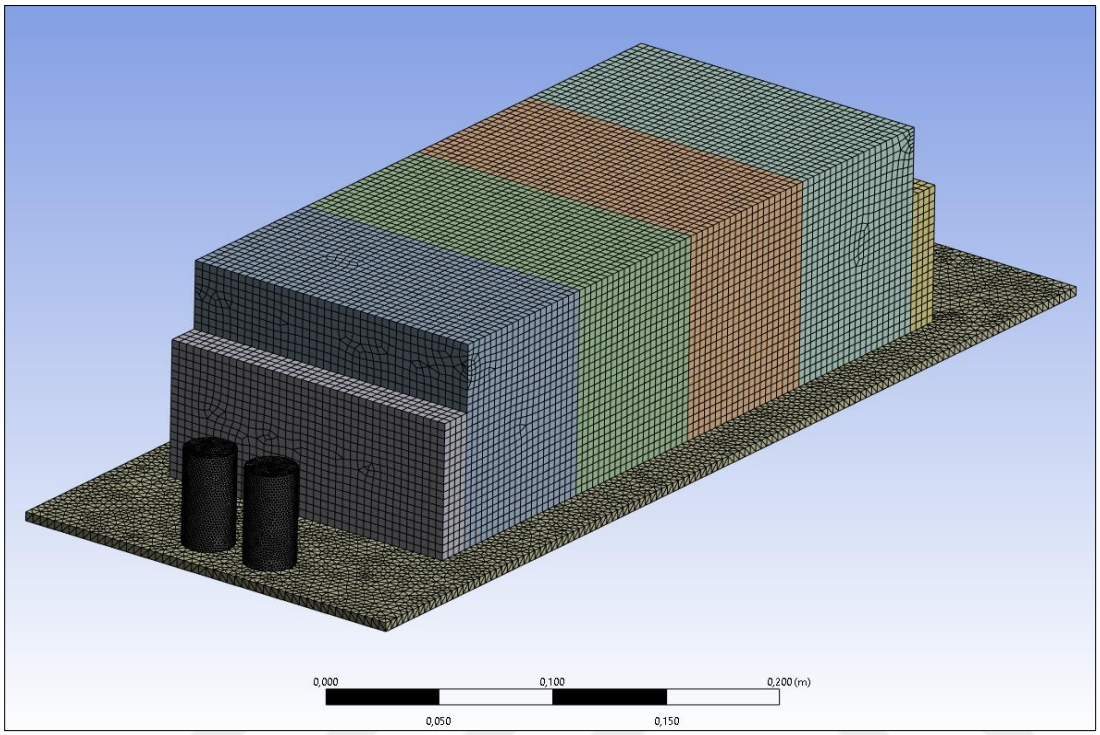


Şekil 3.2. Soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntemi

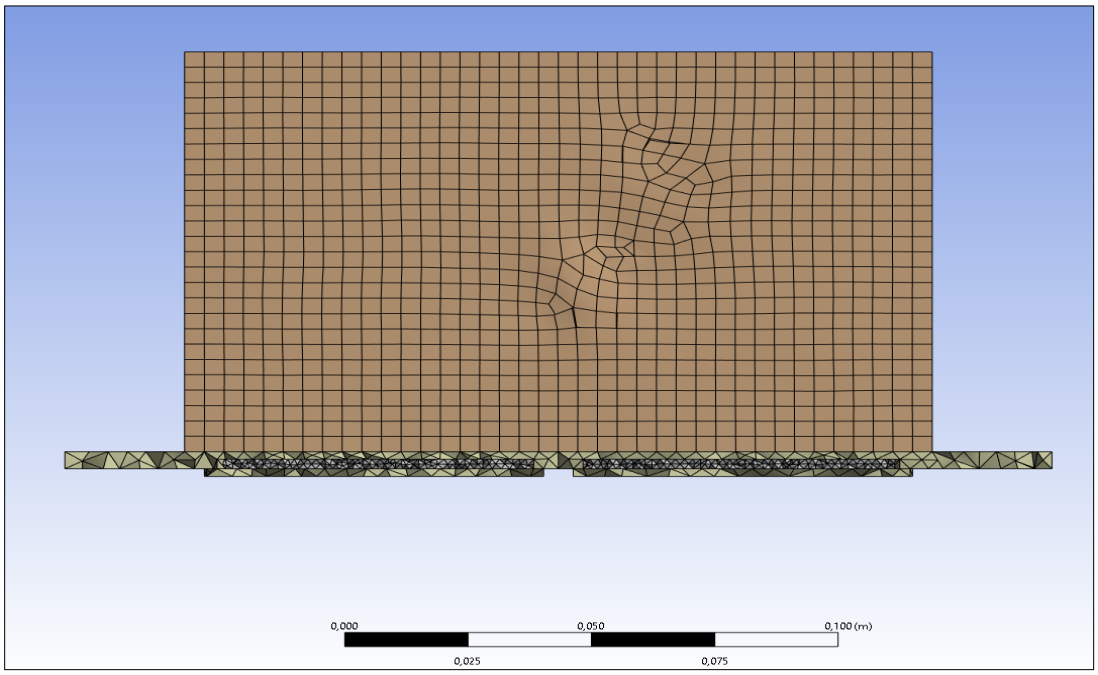


Şekil 3.3. Soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem görünümü

940 000 Düğüm (Node) ve 531 000 Parça (Element) yapısı için tasarım değişkenleri belirlenip 3 boyutlu model haline getirildikten sonra HAD analizleri için ağ yapısı (mesh) oluşturulmuştur.

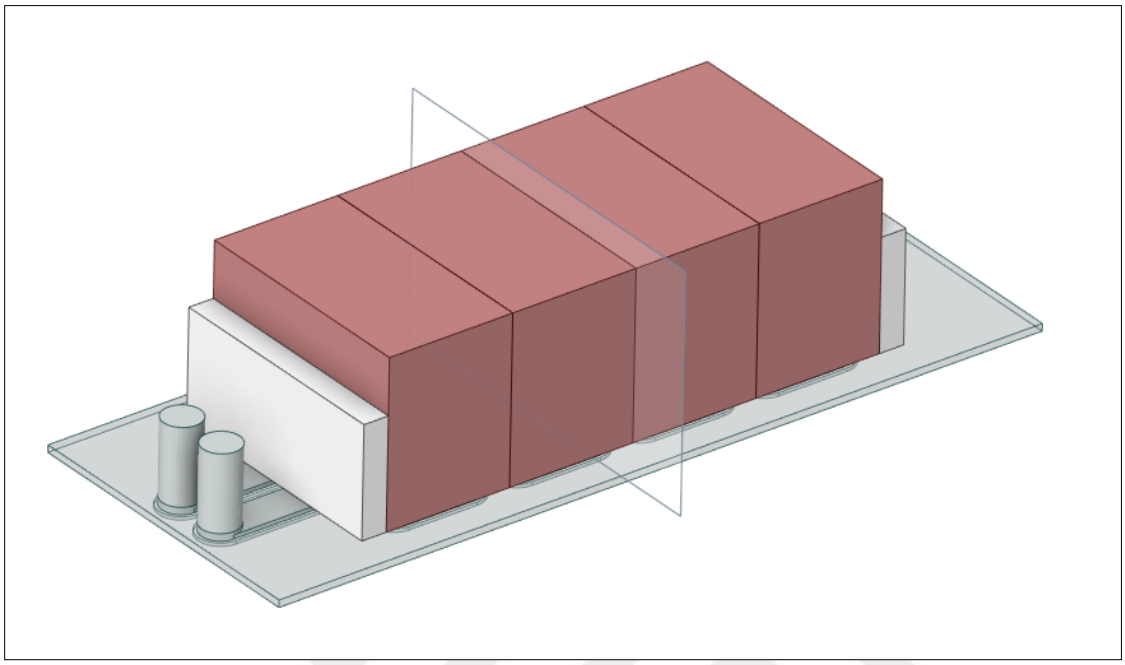


Şekil 3.4. Soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem ağ yapısı

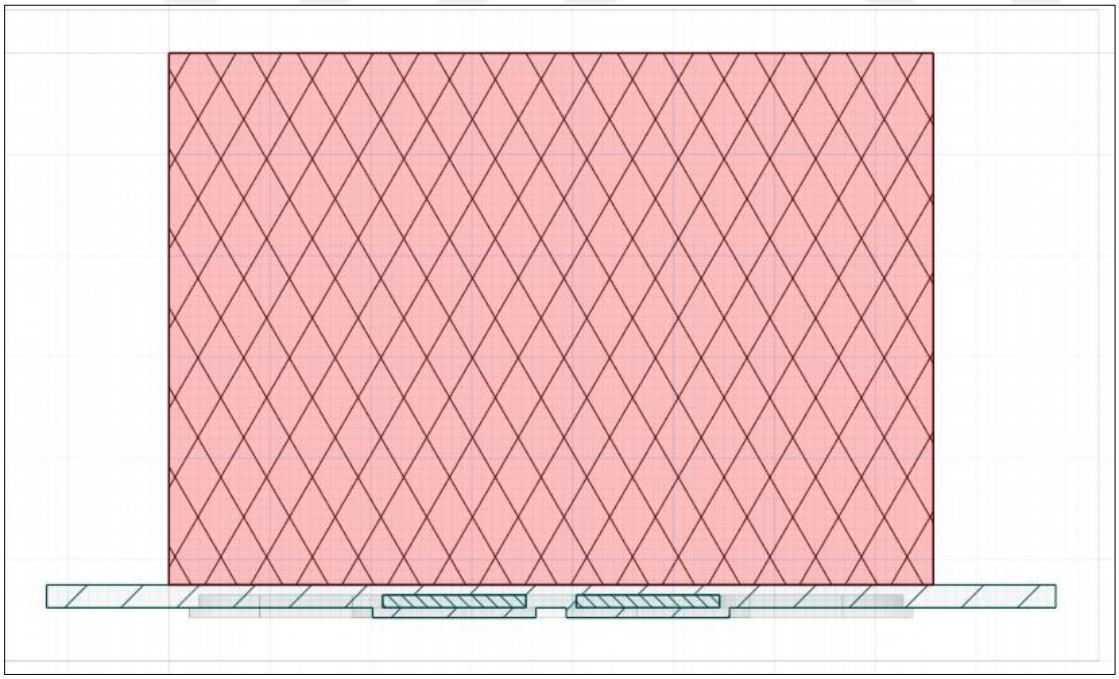


Şekil 3.5. Soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem ağ yapısı kesit görünümü

Analizlerde 940 000 Düğüm (Node) ve 531 000 Parça (Element) ağ yapısı kullanılmıştır. Ağ yapısı aşağıdaki Şekil 3.6 ve 3.7 ile gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem ağ yapısı kesit alma yeri



Şekil 3.7. Soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem ağ yapısı kesit görüntüsü

HAD analiz çalışmaları boyunca ANSYS Spaceclaim ve FLUENT yazılımları kullanılmıştır. HAD analiz modelinde basınç tabanlı (pressure-based) çözücü kullanılmıştır. Zaman ayrıklaştırma şeması olarak sürekli (steady) ayarı seçilmiştir.

Türbülans modeli olarak gerçekleştirilebilir (Realizable) k-e, Gelişmiş Sınır Fonksiyonu (Enhanced Wall Function) ayarı kullanılmıştır. Enerji seçeneği aktif hale getirilmiştir.

HAD analiz modelinde kullanılan katı malzeme özellikleri aşağıdaki Çizelge 3.1'de verilmiştir. Bu çalışmada batarya hücresi ısıl iletkenlik özelliği bakımında anizotropik (Farklı yönlerdeki eksenler boyunca ölçüldüğünde farklı değerlere sahip özellikler sergileme niteliği) olarak modellenmiştir.

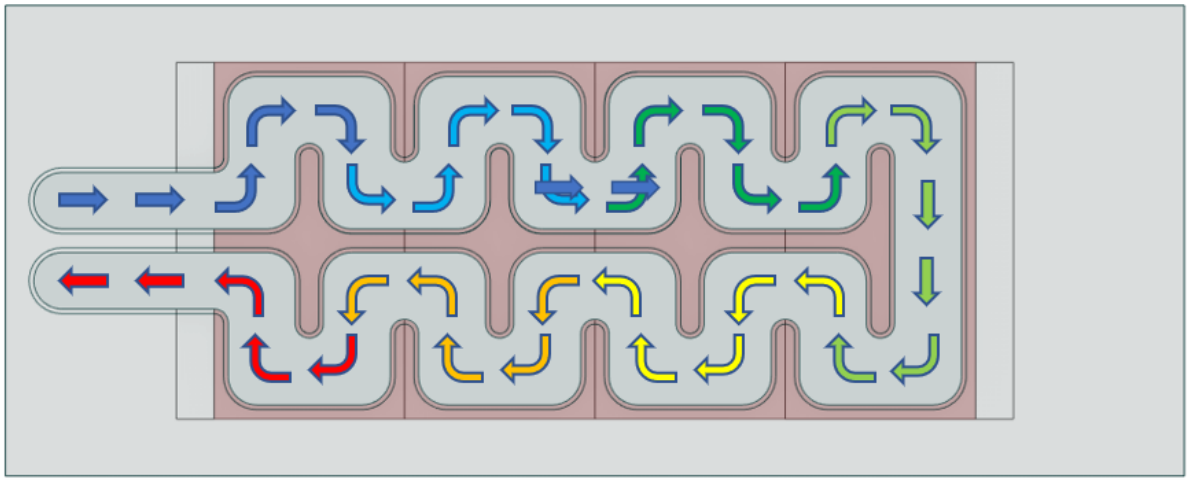
Çizelge 3.1. HAD analiz modelinde kullanılan katı malzeme özellikleri

	Batarya Hücresi	Alüminyum
Yoğunluk (kg/m^3)	2275	2719
Özgül Isı (J/kgK)	989	871
Isıl iletkenlik (W/mK)	0,35 x-yönünde 22,0 y-yönünde 22,0 z-yönünde	202,4

Sınır koşul değerlerinde batarya hücrelerinin hacimsel sıcaklık değeri 363K (90°C) olarak alınmış ve analiz çalışmaları boyunca sabit bırakılmıştır.

Soğutucu plaka girişinden giren akışkan hızı 0.368415 m/s (10 litre/dakika) ve türbülans şiddeti %5, türbülanslı viskozite oranı değeri de 10 olarak alınmıştır.

Giren soğutucu akışkanın sıcaklık değeri 333 K (60 °C) olarak alınmıştır. Çıkış sınır koşulunda gösterge basıncı 0 ve basınç profil çarpanı 1 olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.8. Soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem akış yönü görünümü

Çözüm metot ayarlarında düzen tasarımı olarak basınç-hız bağlantı eşleşmesi olacak şekilde coupled şeması kullanılmıştır. Mekansal ayrıklaştırma (Spatial discretization) ayarları aşağıdaki Çizelge 3.2 ile verilmiştir.

Çizelge 3.2. Mekansal ayrıklaştırma ayarları

Gradyan	Hücre Tabanlı En Küçük Kareler
Basınç	İkinci Derece
Momentum	İkinci Derece Sayısal Analiz Yöntemi
Türbülanslı Kinetik Enerji	Birinci Derece Sayısal Analiz Yöntemi
Türbülanslı Dağılma Oranı	İkinci Derece Sayısal Analiz Yöntemi
Enerji	İkinci Derece Sayısal Analiz Yöntemi
Sahte Zaman Yönetimi	Küresel Zaman Adımı

Çözüm residuallarında analiz yakınsama ayarları contunity ve momentum denklemleri için 10^{-3}, Enerji denklemi için 10^{-6} olacak şekilde ayarlanmıştır.

Ortam havası ile temas halinde olan tüm yüzey alanlarında sınır şartı verilmiş olan ve 5 W/(m^2K) değerinde taşınımla ısı transferi katsayısı belirlenmiştir.

Nümerik analiz değerine ait olan başlangıç ve sınır şartları Çizelge 3.3' de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Modül analizlerinin (Dört hücreli) sınır ve başlangıç şartları

Başlangıç/Sınır Şartları	Değer/Tip
Giriş Yapısı Tipi	Kütlesel Debisi
Çıkış Yapısı Tipi	Basınç Çıkış Değeri
Giriş Kütlesel Debi Miktarı	10 lite/dakika
Çıkıştaki Basınç Değeri	0 Pascal
Su Sıcaklığı Değeri	60 (ºC)
Batarya Sıcaklığı Değeri	90 (ºC)
Soğutucu Plaka Sıcaklık Değeri	60 (ºC)
Ortam Sıcaklığı Değeri	20 (ºC)
Simülasyon Rejimi	Sürekli Rejim Değeri

Analiz koşumlarında baz soğutma sıvısı olarak kullanılan malzemelerin Isıl iletkenlik, Özgül Isı, Vizkozite ve Yoğunluk verileri Çizelge 3.4' de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Analiz koşumlarında baz soğutma sıvısı olarak kullanılan malzemelerin Isıl İletkenlik, Özgül Isı, Vizkozite ve Yoğunluk verileri

Tanım	Birim	%50 Su + %50 Etilen Glikol
Özgül Isı	J/kgK	3488,5
Isıl iletkenlik	W/mK	0,3976
Yoğunluk	kg/m^3	1077
Viskozite	cP	2,70

3.3. Nanoakışkanların Termofiziksel Değerlerinin Hesaplanması

Enerjinin bir noktada bir başka noktaya geçişi için ısı boru ve eşanjörleri vb. sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemler ısıyı transfer etmekle görevli çalışan akışkan olarak su, yağ ve etilen glikol vb. geleneksel kolayca temin edilebilen sıvılar kullanılmaktadır. Soğutma ve ısıtma sistem yapılarında kullanılmakta olan akışkan ısıl performansını etkileyen en önemli parametreleri ısıl iletkenlik, özgül ısı kapasitesi, viskozite vb. termofiziksel özellikler oluşturmaktadır. Saf su gibi geleneksel olarak yaygın olarak kullanılan çalışma akışkanların ısıl iletkenliğinin düşük olması sebebiyle ısıl sistemlerin performansında istenilen başarı sağlanamamaktadır. Isıl sistemlerin tasarımında verimin arttırılabilmesi amacıyla nano boyutlu parçacıkların baz akışkan içerisine ilavesi ile oluşturulan nanoakışkanlar ile ilgili çalışmalar son yıllarda hız kazanmıştır. Son yıllarda nano parçacıkların ısı transferi üzerime olumlu etkileri ile ilgili çalışmalar katlanarak artış göstermektedir. Nanoakışkanların ısı transferi performans ve verimliliğin olumlu yönde gelişimini sağlayan bir takım fiziksel olaylar vardır [38].

Choi, nanometre ebatlarında olan katı faz yapısında partikülleri içeren çalışma akışkanlarını nano akışkan olarak tanımını gerçekleştiren ilk araştırmacı olarak bilinmektedir. Choi vd., saf su, makina yağı, etilen glikol vb. sıvı vakum pompası içine konulmak için süspanse hazırlanmış nano boyutlu parçacıkların kullanılmasıyla akışkanların iletkenliğini test etmişler; Nano parçacıklı akışkan süspansiyonlarının termal iletkenlikleri için baz akışkana göre daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir [39]. Han vd., çalışma esnasında akışkan olarak farklı derişimdeki Al_2O_3 nanoakışkanı kullanmışlar, ısı eşansjöründe ısı transferi performansını geliştirmek amacıyla nanoakışkan etkisini deneysel olarak analiz etmiş ve incelemeyi gerçekleştirmişlerdir [40]. Ardekani vd., iki farklı nanoakışkanın kullanılması ile nanoakışkanların ısı transfer özelliklerini türbülanslı akış için deneysel olarak incelemesini gerçekleştirmişlerdir. Nanoparçacık hacim konsantrasyonu göz önünde bulundurulduğunda geometrik olarak kabul edeilecek parametrelerin akış üzerine etkilerini incelemişlerdir. Nanoakışkanların viskozitesini ve ısıl iletkenliğini farklı farklı hacim ve sıcaklıklarda deneysel olarak incelemişlerdir [41].

Teng vd., nanoakışkanlar ile şarj edilmiş ısı borusunun ısıl verim değerinin arttırılması çalışmalarını incelemişlerdir. Çalışma akışkanı şarj miktarının, ısı borusunun eğim açısının ve nano partiküllerin ağırlık değeri oranlarının, ısı borusunun ısıl verimliliği üzerine olan etkilerini tartışmışlardır. Gerçekleştirilen deney sonuçları incelendiğinde ısı borusunun optimum koşullu nano parçacıkların %1 derişimde iken olduğunu tespit etmişlerdir [42]. Anitha vd., (Al_2O_3+Cu) /su hibrit nanoakışkanının nanoparçacıkların hacimsel konsantrasyon değerinin, ısı eşanjörlerinde ısı transfer performansı üzerine etkilerimi araştırmışlardır. Hibrit olarak değerlendirilen nanoakışkan kullanılan sistem yapıları için mevcut kullanım alanları olan akışkanlara oranla, yüksek ısı transfer performansını yakalayabileceğini belirtmişlerdir [43]. Sundar vd., su ve etilen glikolü baz akışkan olarak kullanmışlar ve süspansiyon içinde GrO ve Co_3O_4'den oluşan hibrit nanoparçacıkların ilave edilmesi ile hazırlanan nanoakışkanın termofiziksel oalrak belirlenen yapısal özellikleri üzerine inceleme faaliyetleri gerçekleştirmişlerdir [44]. Murshed vd., TiO_2 nanoparçacıklarını içeren ve baz akışkan silikon yağı olan nanoakışkanın termofiziksel yapısal özelliklerini deneysel koşullar altında incelemişlerdir. Nanoakışkan viskozite değerinin hacim konsantrasyonunun artması ile arttığını, ancak artan sıcaklıkla da doğrusal olmayan bir biçimde düşme eğiliminde olduğunu belirtmişlerdir [45]. Turgut vd., %3 olarak belirlenen hacimsel konsantrasyon değerinde olan TiO_2 – su nanoakışkanın 13-55 °C sıcaklık değerleri arasında ısıl iletkenlik ve viskozite değerlerinde olan değişimi araştırmışlardır. Sonuç olarak, termal iletkenliğin partiküllerin hacim artışı ile artmakta olduğunu aynı zamanda viskozite değerlerinde de artışın çok fazla

olduğunu gözlemlemişlerdir [46]. Ghasemi vd., gerçekleştirdikleri çalışmalarda CuO nano parçacıklarının kütle konsantrasyon değerlerinin ve sıcaklığın sıvı parafin bazlı nanoakışkanın dinamik viskozitesi değeri üzerine olan etkilerini deneysel koşullar altında inceleleyerek analiz etmişlerdir. Nanoparçacık yüzdesel derişimin arttırılmasıyla, nanoakışkanın dinamik viskozite değerinin baz akışkana göre artış gösterdiğini ve sıcaklık artışı ile de nanoakışkanın viskozitesinin önemli ölçüde azalma eğilimine girdiğini gözlemlemişlerdir [47]. Tiwari vd., CeO_2, Al_2O_3, TiO_2 ve SiO_2 nano parçacıkları içeren nanoakışkanların kullanımı ile gerçekleştirilen deneysel olarak ısı transferi performanslarını karşılaştırmışlardır. Temel akışkan üzerine olan etkilerde en yüksek ısı transferi değerini yakalayabilmek amacıyla optimum parçacık konsantrasyonları belirlemişlerdir. Çalışmada, CeO_2/su nanoakışkanının, çalışan nanoakışkanlar içerisinde daha düşük olan optimum konsantrasyonla performansını en iyi değerlere taşıdığını belirtmişlerdir [48]. Onyiriuka vd., çalışmada, mango meyvesi kabuğundan yapılan yeni bir nano-sıvı sınıfı olarak tanımlanan malzemenin ısı transferi özelliklerini sayısal olarak incelemişlerdir. Sonuç olarak, nanoakışkanın ısı transfer katsayısının temel akışkan değerinde yaklaşık olarak yaklaşık iki kat daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir [49]. Wang vd., karbon nanotüptenden oluşan nanoakışkanın nano parçacık boyutsal yapısı ve sıcaklığın özgül ısı kapasite değerini olan etkisini incelemişlerdir. Özgül ısının belirli bir sıcaklıkta nano parçacık boyut, şekline ve yapısına bağlı olmadığı sonuçlarına varmışlardır [50].

3.3.1. Isıl iletkenlik

Akışkan veya parçacıkların ısıyı sıcak bir yerden alarak daha soğuk olan bölgeye doğru iletebilme kapasitesine ısıl iletkenlik denir. Nanoakışkan kullanmanın en önemli nedenleri ise ısıyı transfer edebilme özelliği miktaren daha yüksek olan ısı transfer akışkanı ile çalışma ihtiyacıdır. Nanoakışkanların termal iletkenlik verileri, karışımların performanslarını göstermeleri açısından oldukça önemlidir [38]. Hibrit olarak kullanım alanına sahip olan nanoakışkanların kullanımıyla birlikte, tek tip nano parçacık içermekte olan nano akışkanlara göre daha yüksek termal iletkenlik elde edilmesi beklenmektedir. Isı transferi uygulama çalışmalarında yaygın olarak kullanılmakta olan nanoakışkanın ısıl iletim değeri, nano parçacığın hacimsel konsantrasyon değeri, nano parçacık şekil ve parçacık yapısal boyutu ayrıca temel sıvının türü, kararlılık, sıcaklık, pH değeri vb. değişken olan parametrelere bağlı olarak değişmektedir. Literatür incelendiğinde hem oksit hem hibrit nanoakışkanların ısıl iletkenlik değerlerine ulaşabilmesi amacıyla çeşitli teorik çalışmalar gerçekleştirilmiş, pek çok modelleme geliştirilmiştir.

1881 tarihinde Maxwell tarafından hazırlanan ısıl iletim modeli, diğer ısı iletim modellerine oranla daha büyük parçacıklara sahip katı-sıvı karışımı için öne sürülen ilk modellerden biridir ve küre biçimli nano parçacıkların baz akışkan içindeki süspansiyonu için geliştirilmiştir [51]. Çizelge 3.5 ile Nanoakışkanlar için termal iletkenlik modelleri gösterilmiştir [52]. Çizelge 3.6 ile Hibrit Nanoakışkanlar için termal iletkenlik modellemeleri gösterilmiştir [53].

Çizelge 3.5. Nanoakışkan termal iletkenlik modelleri [52]

Model	İfade	Açıklama
Maxwell	$\frac{k_e}{k_l} = \frac{k_p + 2k_l + 2(k_p - k_l)\phi}{k_p + 2k_l - 2(k_p - k_l)\phi}$	Küresel partiküller için geçerlidir.
Hamilton-Crosser	$\frac{k_e}{k_l} = \frac{k_p + (n-1)k_l - (n-1)(k_l - k_p)\phi}{k_p + (n-1)k_l + (k_l - k_p)\phi}$	Küresel ve küresel olmayan partiküller alınmıştır; küresel partiküller için n=3, silindirik partiküller için n=6
Wasp	$\frac{k_e}{k_l} = \frac{k_p + 2k_l - 2(k_l - k_p)\phi}{k_p + 2k_l + (k_l - k_p)\phi}$	Katı-sıvı karışımların ısıl iletkenliğini hesaplamak için önerilmiştir.
Yu-Choi	$\frac{k_e}{k_l} = \frac{k_p + 2k_l + (k_p - k_l)(1+\beta)^3\phi}{k_p + 2k_l - (k_p - k_l)(1+\beta)^3\phi}$	İki fazlı karışımların etkili ısıl iletkenliğini hesaplamak için alternatif bir teoridir. β=1
Bruggeman	$k_e = \frac{1}{4}\left[(3\phi - 1)k_p + (2 - 3\phi)k_t\right] + \frac{k_t}{4}\sqrt{\Delta}$ $\Delta = \left[(3\phi - 1)^2(k_p/k_l)^2 + (2 - 3\phi)^2 + 2(2 + 9\phi - 9\phi^2)(k_p/k_l)\right]$	Homojen küresel partiküller içeren iki fazlı karışımlar için önerilmiştir.

Çizelge 3.6. Hibrit nanoakışkan termal iletkenlik modelleri [53]

Model Tanımı	Formülasyon
Maxwell	$k_{hn} = k_b \dfrac{\left[\frac{(\phi_{np1}k_{np1}+\phi_{np2}k_{np2})}{\phi_{hnf}} + 2k_b + 2\left(\phi_{np1}k_{np1} + \phi_{np2}k_{np2}\right) - 2\phi k_b\right]}{\frac{(\phi_{np1}k_{np1}+\phi_{np2}k_{np2})}{\phi_{hn}} + 2k_b - 2\left(\phi_{np1}k_{np1} + \phi_{np2}k_{np2}\right) - k_b}$
Hamilton-Crosser	$\dfrac{k_e}{k_b} = \dfrac{\left[\frac{(\phi_{np1}k_{np1}+\phi_{np2}k_{np2})}{\phi_{hn}} + 2k_b - 2\left(\phi_{np1}k_{np1} + \phi_{np2}k_{np2}\right) - 2\phi_{hn}\right]}{\frac{(\phi_{np1}k_{np1}+\phi_{np2}k_{np2})}{\phi_{hn}} + 2k_b + 2\left(\phi_{np1}k_{np1} - \phi_{np2}k_{np2}\right) - \phi_{hn}}$
Yu-Choi	$\dfrac{k_e}{k_b} = \dfrac{\left[\frac{(\phi_{np1}k_{np1}+\phi_{np2}k_{np2})}{\phi_{hn}} + 2k_b - 2\left(\phi_{np1}k_{np1} + \phi_{np2}k_{np2}\right)(1+\beta)^3\phi_{hn}\right]}{\frac{(\phi_{np1}k_{np1}+\phi_{np2}k_{np2})}{\phi_{hn}} - 2k_b - 2\left(\phi_{np1}k_{np1} - \phi_{np2}k_{np2}\right)(1+\beta)^3\phi_{hn}}$

Denklemlerde geçmekte olan k_{np} partikülün ısıl iletkenlik, k_b temel akışkanın ısıl iletkenlik, k_e karışımın efektif ısıl iletkenlik, φ partikülün hacimsel oranıdır. CuO, ZnO ve MgO nano parçacıklarının saf su ile süspansiyonu ile elde edilen hibrit ve oksit nanoakışkanların hacimsel oranda derişim değerine bağımlı olarak hesaplanmış literatür modellerinin termal iletkenlik ve sapma değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6'da verilmiştir. Modellemeler arasında ısıl iletkenlik ve sapma değerinin formülü 3.19 denkleminde gösterilmiştir.

$$\text{Sapma değeri } (\varepsilon_k) = \frac{(\varepsilon_{model1} - \varepsilon_{model2})\ X\ 100}{\varepsilon_{model1}} \tag{3.19}$$

Hibrit nanoakışkanlarda termal iletkenliğin en yüksek değerleri her hacimsel olarak derişimde Maxwell modeli ile elde edilmiştir. Literatür incelendiğinde hacimsel konsantrasyonla birlikte hibrit olan nanoakışkanlarda ısıl iletkenlik değerinde artışın sağlanması beklenmektedir [54]. Hibrit olan nanoakışkanının ısıl iletkenlik değerleri bütün karışım oranlarında baz akışkanının ısıl iletkenliğinden daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada %1, %2, %3 Hacimsel derişimlerde Nanopartiküllerin baz soğutma sıvısına eklenmesi ile Maxwell denklemi kullanılarak termal iletkenlik değerleri hesaplanarak elde edilmiştir.

3.3.2. Özgül ısı kapasitesi

Nanoakışkanların özgül ısı değeri; 1 gram nanoakışkanın sıcaklığını 1 santigrat derece mertebesine kadar arttıracak olan sıcaklık değeridir. Özgül ısı kapasitesi değeri ve yoğunluk değeri, nanoakışkanlarda taşınım ile ısı transferini iyileştirme amacıyla, ısının depolanmasında ve ısı transfer hızlarını etkilemede kritik bir yere sahiptir. Özgül ısı değerinin düşük olması, sıcaklığı artırabilmek için miktaren daha az olan tüketiminin yapılabilecek olduğunun göstergesidir. Nanoakışkanların ve Hibrit Nanoakışkanların özgül ısı değerlerine ulaşabilmek için literatürdeki gelişim gösteren modeller yaygın olarak yer bulmaktadır. Bu modellemeler Çizelge 3.7 ve Çizelge 3.8 ile gösterilmiştir [55, 56].

Çizelge 3.7. Nanoakışkanlarda özgül ısı modelleri [55]

Model	Formülasyon
Xuan ve Roetzel	$c_{pnanoakışkan} = \frac{(1-\varphi)\left(\rho c_p\right)_{bazakışkan} - \varphi\left(\rho c_p\right)_{nanopartikül}}{(1-\varphi)(\rho)_{bazakışkan} + \varphi(\rho)_{nanopartikül}}$
Pak ve Cho	$c_{pnanoakışkan} = \varphi\left(c_p\right)_{partikül} + (1-\varphi)\left(c_p\right)_{bazakışkan}$

Çizelge 3.8. Hibrit nanoakışkanlarda özgül ısı modelleri [56]

Model	Formülasyon
Xuan ve Roetzel	$c_{phn} = (1-\varphi)\left(c_p\right)_{cpbaz} + \left(\frac{\varphi_{np1}}{2} \times c_{pnpl} + \frac{\varphi_{np2}}{2} \times c_{pnp2}\right)$
Pak ve Cho	$c_{phn} = \left[\varphi_{np1}\, c_{p,np_1} + \varphi_{np2} c_{p,np2} + \left(1-\varphi_{np1}-\varphi_{np2}\right)\rho_{baz} c_{baz}\right]/\rho_{hn}$

ZnO, CuO, ve MgO nanoparçacıkların saf su ile süspansiyonuyla elde edilmiş oksit ve hibrit nanoakışkanların parçacık hacimsel konsantrasyon değerine istinaden değişen özgül ısı ve sapma değerlerinin literatür modellemelerinin karşılaştırılması Çizelge 3.7 ve Çizelge 3.8 ile verilmiştir. Modellemeler arasındaki özgül ısı sapma değeri hesaplama formülü 3.20 denkleminde verilmiştir.

$$\text{Sapma değeri } (\varepsilon_{cp}) = \frac{(\varepsilon_{model1} - \varepsilon_{model2})\ \text{X}\ 100}{\varepsilon_{model1}} \qquad (3.20)$$

Bu çalışmada %1, %2, %3 Hacimsel derişimlerde Nanopartiküllerin baz soğutma sıvısına eklenmesi ile Xuan ve Roetzel denklemi kullanılarak özgül ısı değerleri hesaplanarak elde edilmiştir.

3.3.3. Viskozite

Viskozite bir akışkanın akmaya karşı gösterdiği iç direnç olarak tanımlanır. Nanoakışkanlarda, taşınım (zorlanmış) esnasında basınç düşüm değerlerini etkilemesi nedeniyle uygulama çalışmalarında ısı transferini olumlu yönde geliştirmekte kullanılan en etkin parametrelerden bir tanesi viskozitedir. Nano parçacıkların baz akışkana ilavesiyle sıvının viskozite değerinde bazı değişimler meydana gelmektedir. Viskozite değeri, ihtiyaç duyulan, gerek görülen pompalama gücünü de direkt etkilediği için verimlilik uygulamalarında önemli bir yere sahiptir. Basınç düşüşü viskozite ile ilgili olması nedeniyle, basınç düşüm değerinin artmasıyla birlikte pompalama gücü ihtiyacı da artar. Sıcaklık, nano parçacıkların boyutu, kayma gerilimi vb. kararlılığı artırma amacı ile kullanılmakta olan yüzeyi aktifleştiren maddelerin eklenmesi ve temel akışkanın cinsi viskozite değerini etkilemektedir. Örnek olarak çalışmakta olan akışkanın ısıtılarak sıcaklığın artması ile moleküllere enerjilenmektedir ve moleküllerin rastsal hareketi olan Brownian hareket eğilimi artar buna istinaden molekülleri birlikte tutan Van der waals çekim kuvvetlerinin etkisi de azalır [57]. Viskoziteye etkileyen diğer etkenlerden bir tanesi de nanoparçacık hacimsel konsantrasyonudur ve konsantrasyon değeri arttıkça viskozite değerinin de arttığı tespit edilmiştir [58]. Literatür incelendiğinde, nanoakışkanların viskozite değerlerine varabilmek için araştırmacılar çeşitli teorik çalışmalar yapmış ve modeller geliştirmiştir. Einstein, küçük hacim oranlarındaki küresel parçacıklar için model geliştirmiştir. Bu modeller Çizelge 3.9 ile verilmiştir.

Çizelge 3.9. Nanoakışkanlarda viskozite modelleri [24]

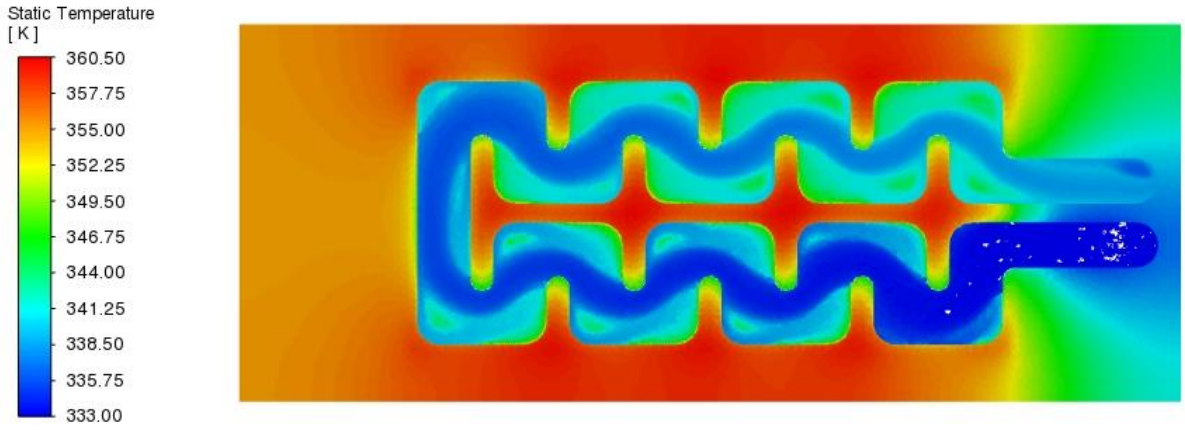
Model Tanımı	Formül
Einstein	$\frac{\mu_{nanoakışkan}}{\mu_{bazakışkan}} = 1 + 2.5\varphi$
Maiga	$\mu_{nanoakışkan} = \mu_{bazakışkan}(1 + 7.3\mu + 123\varphi^2)$
Buongiomo	$\mu_{nanoakışkan} = \mu_{bazakışkan}(1 + 39.11\varphi - 533.9\varphi^2)$

Bu çalışmada %1, %2, %3 Hacimsel derişimlerde Nanopartiküllerin baz soğutma sıvısına eklenmesi ile Einstein denklemi kullanılarak Viskozite değerleri hesaplanarak elde edilmiştir.

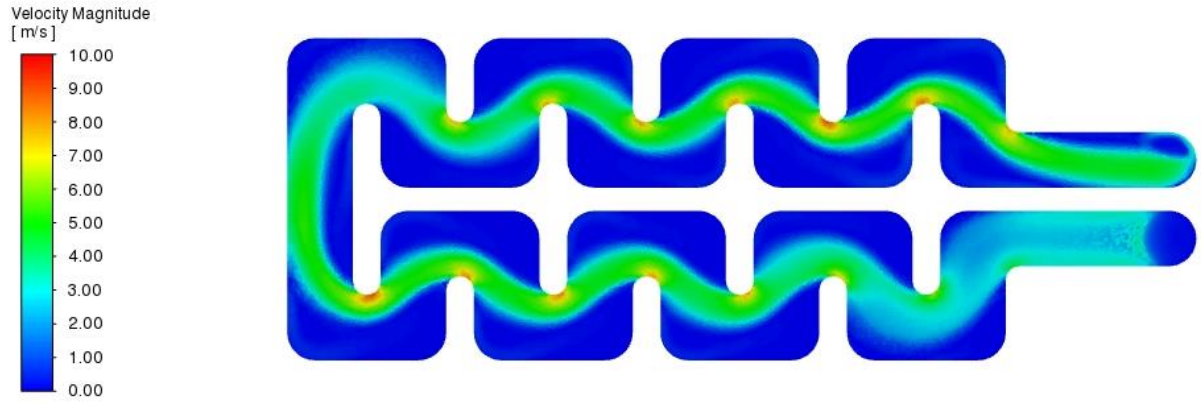
4. BULGULAR

Tez çalışmasında dört hücreden oluşan batarya modül yapısı için HAD analiz çalışmaları yapılmıştır. Bu kısımda batarya modül soğutma performansını geliştirmek için yapılan inceleme, çalışma ve bulgular paylaşılacaktır.

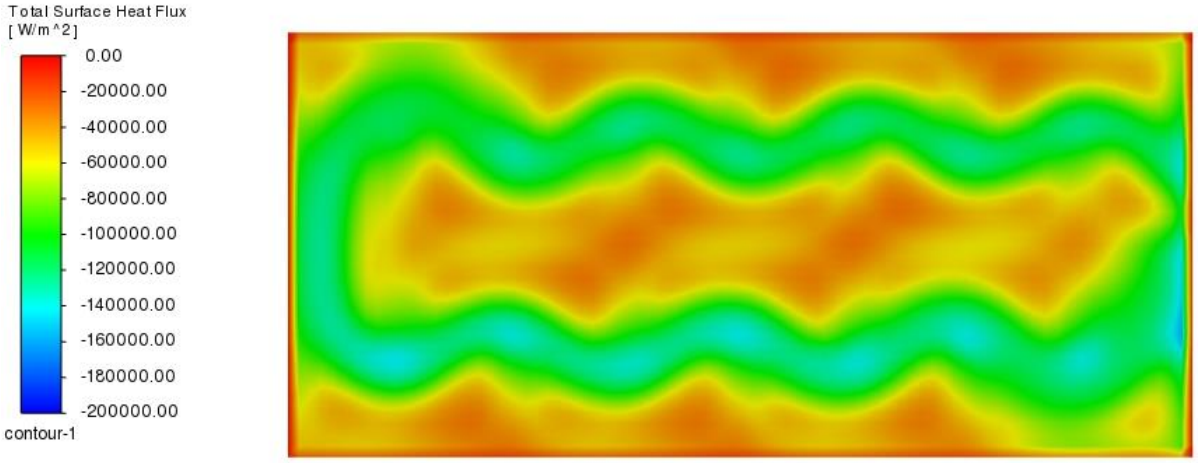
Nanoparçacıklar, ısıl sisteme efektif performans sağlayan yenilikçi olarak tanımlanan nano teknoloji ürünü olan malzemelerdir. Nanoparçacıklar çok düşük boyut ve ebatlarda olduklarından dolayı gerekli şartlarında sağlanmasıyla birlikte kullanıldıkları sistemlerde başarlı performans göstermektedirler [26]. Tez çalışmasında, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizi'nde elektrikli taşıt batarya soğutma sistemi tasarımı üzerinden, mevcut seri üretimlerde soğutucu akışkanı olarak kullanılmakta olan %50 Su- %50 Etilen Glikol sıvı miktarına farklı nanopartiküllerin farklı yüzdesel derişim oranlarında eklenerek soğutma sisteminin performansı geliştirilmek ve gözlemlenmek istenmiştir. Ana soğutma sıvısı olarak %50 Etilen Glikol %50 Su karışımı, nanopartikül olarak farklı derişimlerde $ZnFe_2O_4$, $NiFe_2O_4$, $CoFe_2O_4$ Manyetik Ferrit nano parçacıklarının nano boyutta olacak biçimde soğutma sıvısı karışımı içerisine belirlenen oranlarda eklenerek elde edilen nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin teorik olarak literatürdeki modellemeleri kullanılarak belirlenmiştir. %1, %2, %3 yüzdesel değerlerde olacak biçimde farklı konsantrasyon değerlerine sahip olan nanoakışkanların ısıl iletkenlik, özgül ısı, viskozite değerleri hesaplanarak modeller birbirleriyle karşılaştırılmıştır. %50-%50 su-etilen glikol Sıcaklık (K), Hız (m/s), Toplam Yüzey Isı Akısı (W/m^2) Soğutma plakaları ile sıvı soğutma yöntemi akış görünümü Şekil 4.1, 4.2, 4.3 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.1. %50-%50 su-etilen glikol Sıcaklık (K), soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem akış görünümü



Şekil 4.2. %50-%50 su-etilen glikol Hız (m/s), soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem akış görünümü



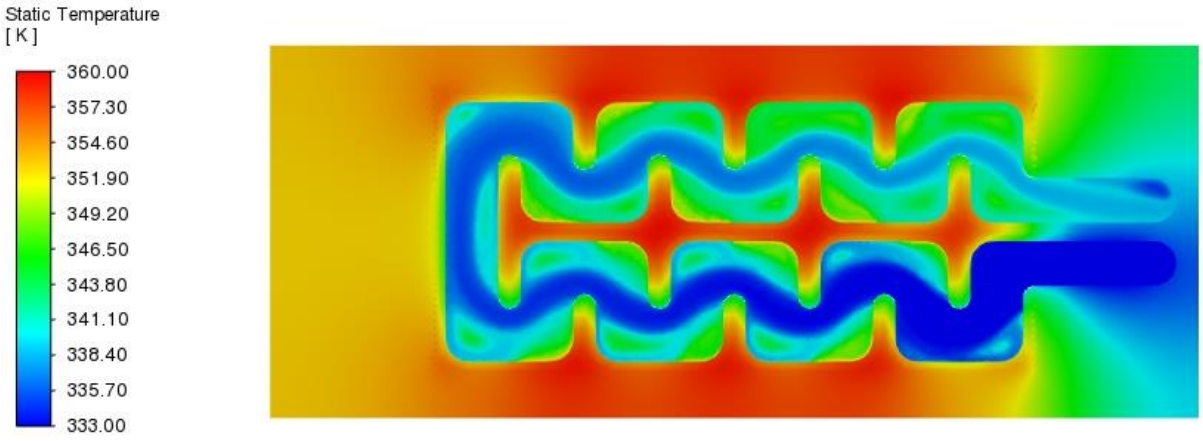
Şekil 4.3. %50-%50 su-etilen glikol Toplam Yüzey Isı Akısı (W/m^2), soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem akış görünümü

Deney Tasarımı 1: Mevcut Durum %50-%50 su-etilen glikol test koşumu +%1 Nanoakışkan ilavesi sonrasında ilgili denklemlerin kullanılması ile Isıl iletkenlik, Özgül Isı, Vizkozite Hacimsel Isı Atımı, giriş-çıkış sıcaklık ve fark verileri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

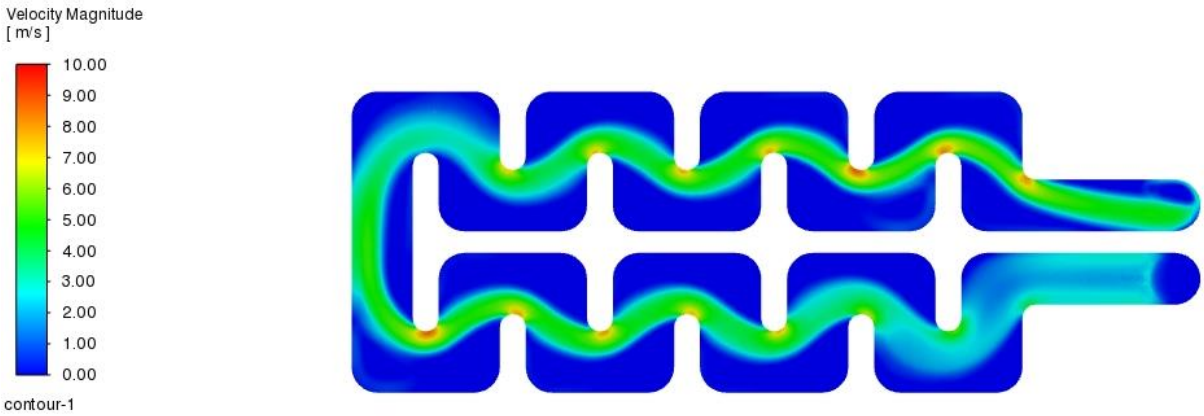
Çizelge 4.1. Deney Tasarımı 1 için Isıl iletkenlik, Özgül Isı, Vizkozite, Hacimsel Isı Atımı, giriş- çıkış sıcaklık ve fark verileri

	Su+Etilen Glikol	$ZnFe_2O_4$	$NiFe_2O_4$	$CoFe_2O_4$
Özgül Isı (J/kgK)	3488,5	3462,63	3459,61	3460,61
Isıl İletkenlik (W/mK)	0,3976	0,4133	0,4103	0,4095
Yoğunluk (kg/m^3)	1077	1116,35	1120,33	1115,3
Viskozite(cP)	2,700	1,010	1,030	1,090
Q (Watt)	2185,0	2424,0	2456,0	2422,0
Giriş T (K)	333,0	333,0	333,0	333,0
Çıkış T (K)	336,49910	336,73450	336,70150	336,68040
Delta_T (K)	3,49910	3,73450	3,70150	3,68040
m_dot	0,1790283	0,19211043	0,19343367	0,19176137

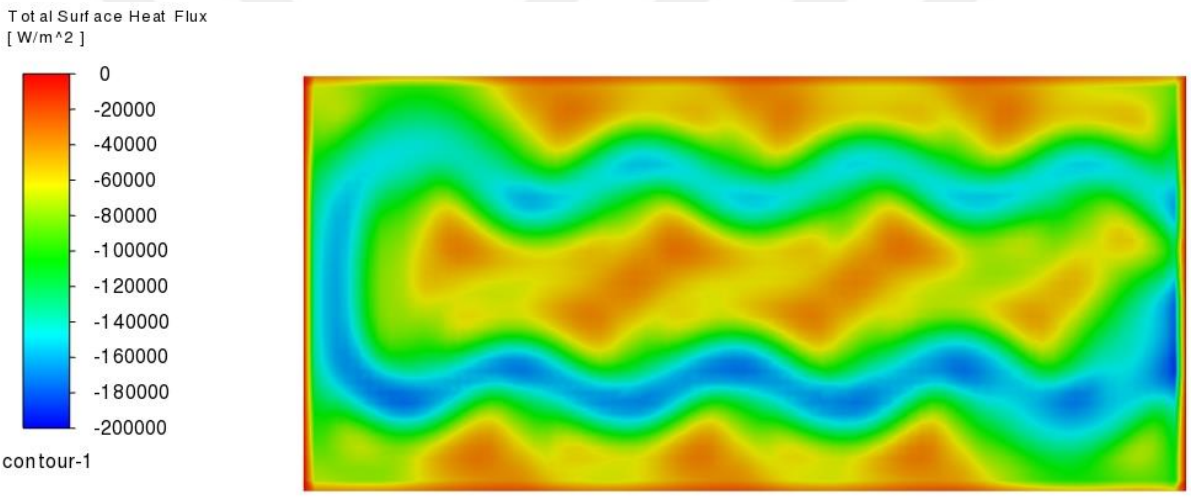
Deney Tasarımı 1 için %1 $ZnFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Sıcaklık (K), Hız (m/s), Toplam Yüzey Isı Akısı (W/m^2) Soğutma plakaları ile sıvı soğutma yöntemi akış görünümü Şekil 4.4, 4.5, 4.6 ile gösterilmiştir



Şekil 4.4. %1 $ZnFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Sıcaklık (K), soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem akış görünümü

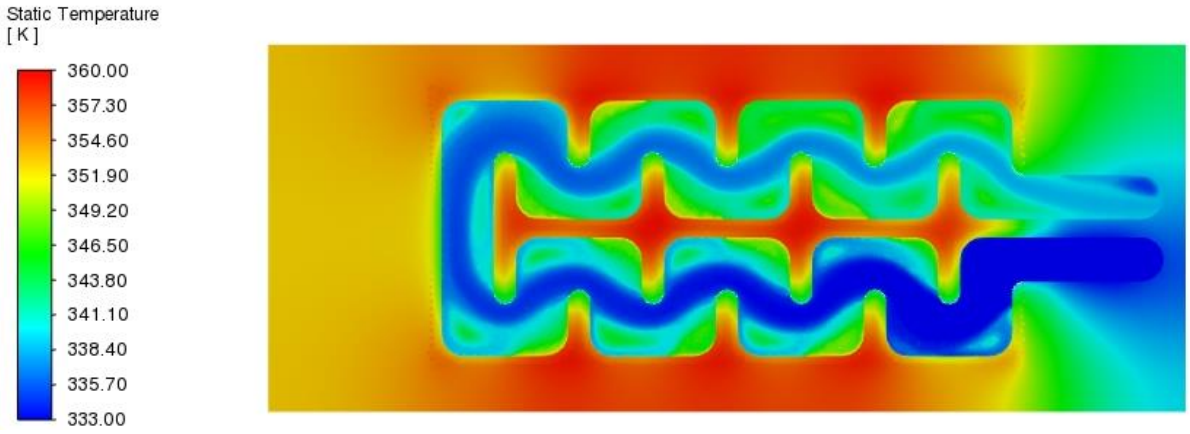


Şekil 4.5. %1 $ZnFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Hız (m/s), soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem akış görünümü

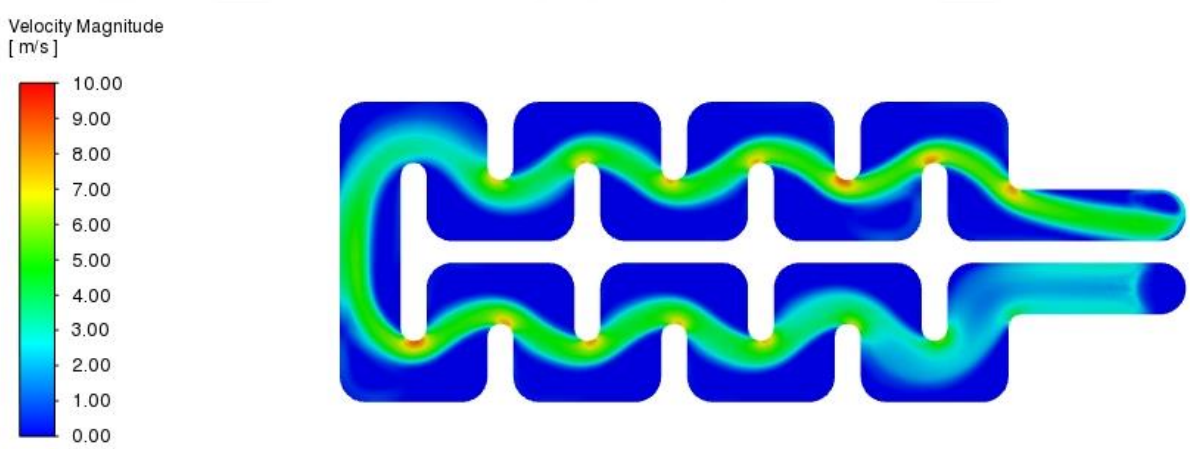


Şekil 4.6. %1 $ZnFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Toplam Yüzey Isı Akısı (W/m^2), soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem akış görünümü

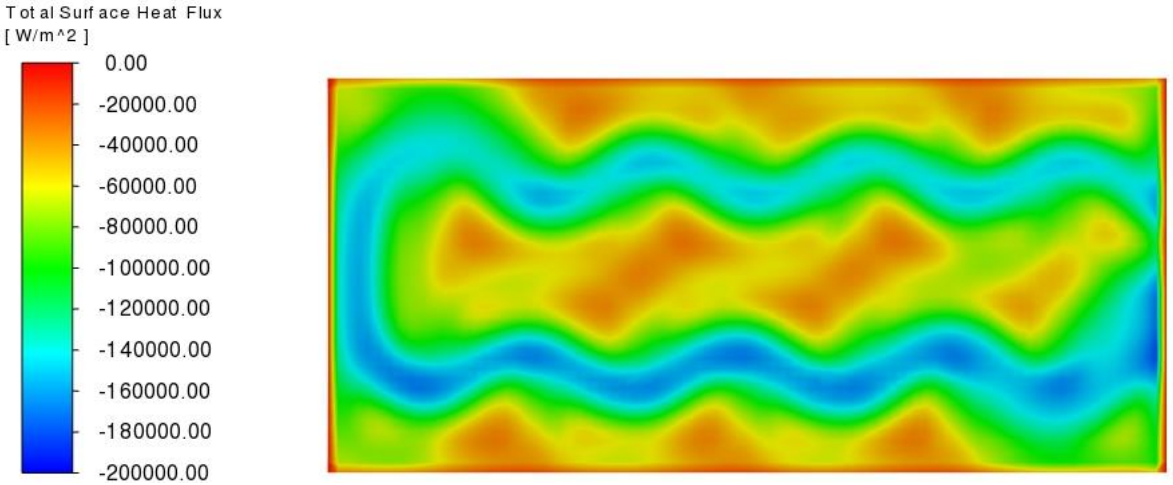
Deney Tasarımı 1 için %1 $NiFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Sıcaklık (K), Hız (m/s), Toplam Yüzey Isı Akısı (W/m^2) Soğutma plakaları ile sıvı soğutma yöntemi akış görünümü Şekil 4.7, 4.8, 4.9 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.7. %1 $NiFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Sıcaklık (K), soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem akış görünümü

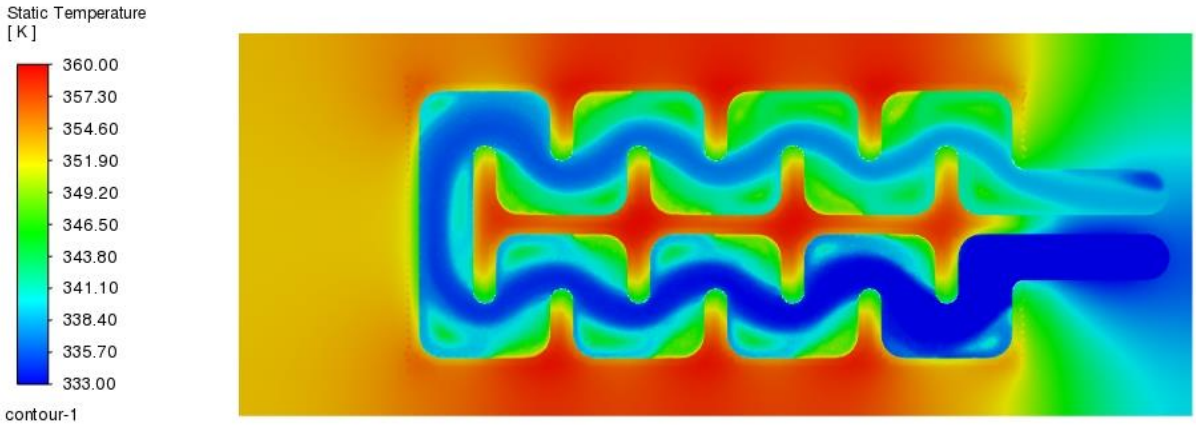


Şekil 4.8. %1 $NiFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Hız (m/s), soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem akış görünümü

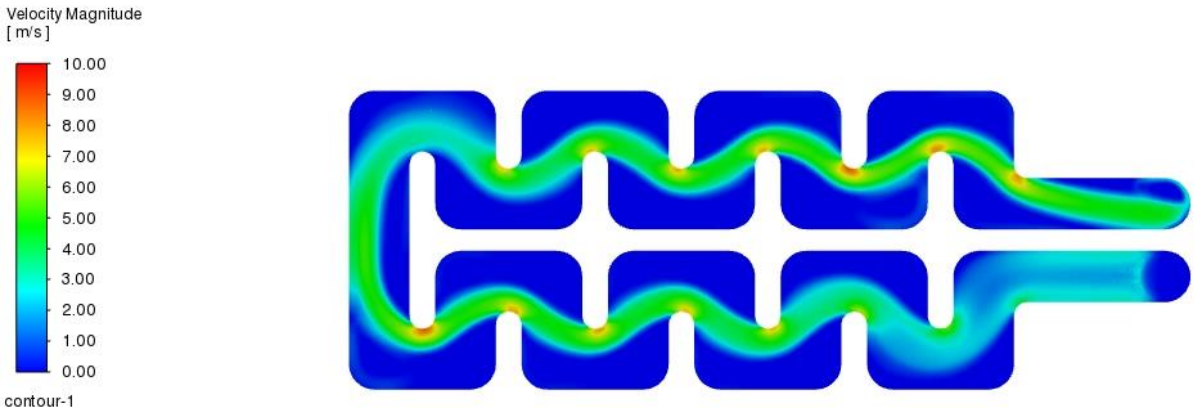


Şekil 4.9. %1 $NiFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Toplam Yüzey Isı Akısı (W/m^2), soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem akış görünümü

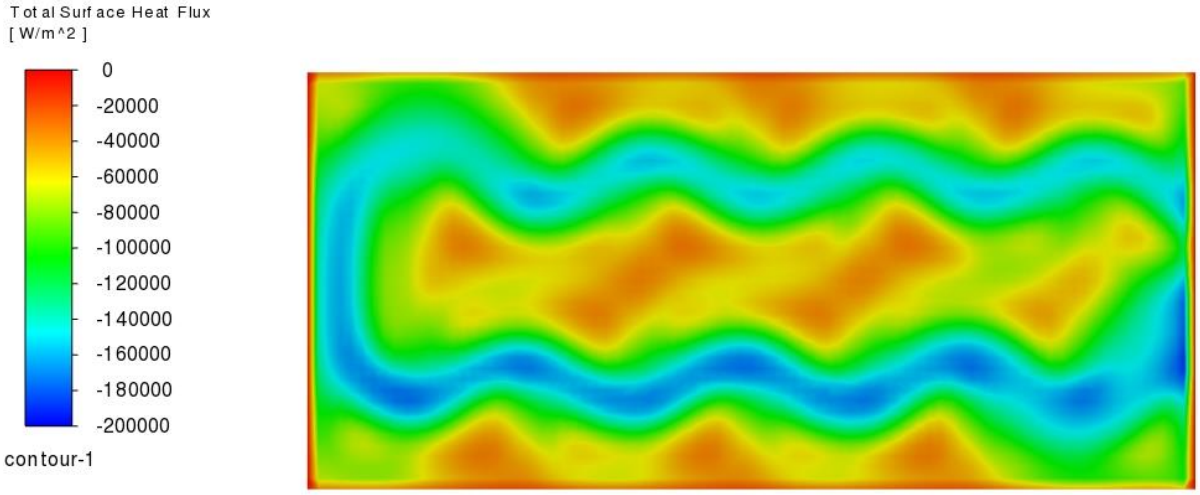
Deney Tasarımı 1 için %1 $CoFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Sıcaklık (K), Hız (m/s), Toplam Yüzey Isı Akısı (W/m^2) Soğutma plakaları ile sıvı soğutma yöntemi akış görünümü Şekil 4.10, 4.11, 4.12 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.10. %1 $CoFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Sıcaklık (K), soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem akış görünümü



Şekil 4.11. %1 $CoFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Hız (m/s), soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem akış görünümü



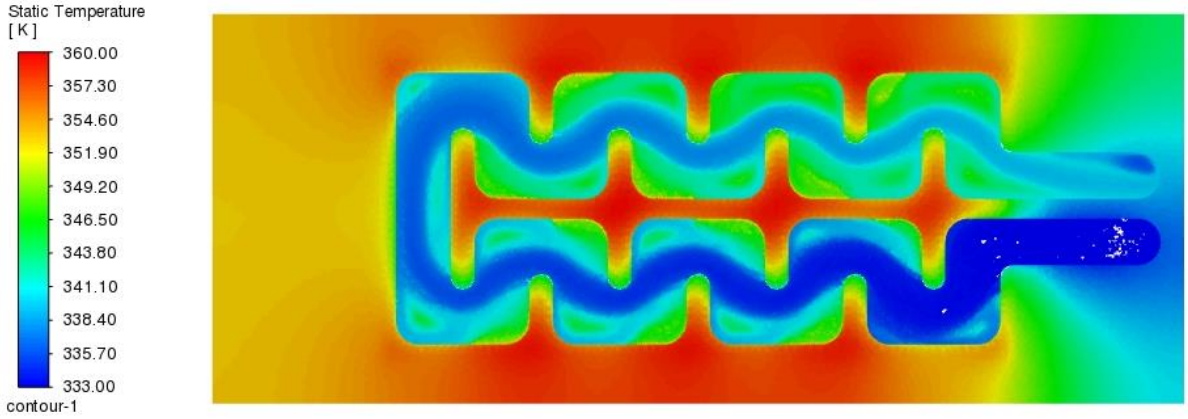
Şekil 4.12. %1 $CoFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Toplam Yüzey Isı Akısı (W/m^2), soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem akış görünümü

Deney Tasarımı 2: Mevcut Durum %50-%50 su-etilen glikol test koşumu +%2 Nanoakışkan ilavesi sonrasında ilgili denklemlerin kullanılması ile Isıl iletkenlik, Özgül Isı, Vizkozite Hacimsel Isı Atımı, giriş-çıkış sıcaklık ve fark verileri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

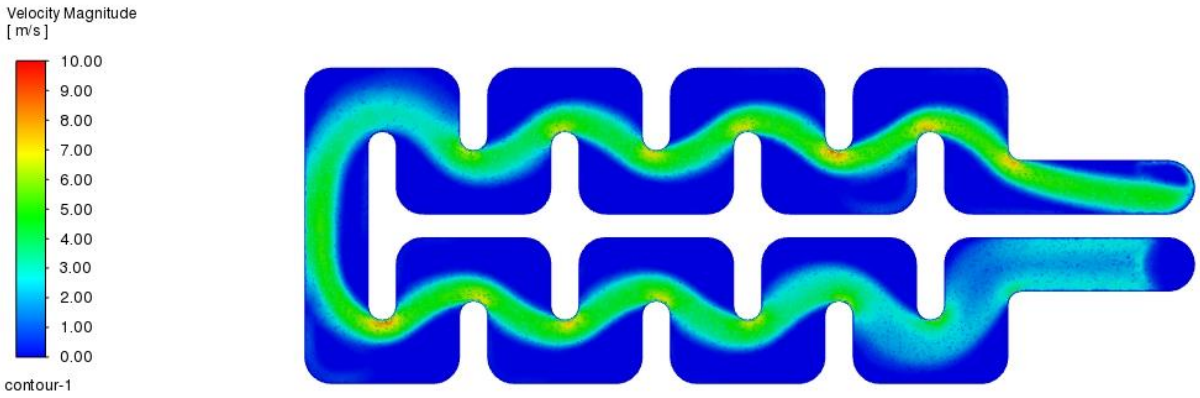
Çizelge 4.2. Deney Tasarımı 2 için Isıl iletkenlik, Özgül Isı, Vizkozite, Hacimsel Isı Atımı, giriş -çıkış sıcaklık ve fark verileri

	Su+Etilen Glikol	$ZnFe_2O_4$	$NiFe_2O_4$	$CoFe_2O_4$
Özgül Isı (J/kgK)	3488,5	3436,76	3430,73	3432,73
Isıl İletkenlik (W/mK)	0,3976	0,42978	0,42344	0,4216
Yoğunluk (kg/m3)	1077	1155,7	1163,66	1153,6
Viskozite(cP)	2,700	1,050	1,070	1,130
Q (Watt)	2185,0	2466,0	2456,0	2423,0
Giriş T (K)	333,0	333,0	333,0	333,0
Çıkış T (K)	336,4991	336,73450	336,70150	336,68040
Delta_T (K)	3,4991	3,73450	3,70150	3,68040
m_dot	0,1790283	0,19211043	0,19343367	0,19176137

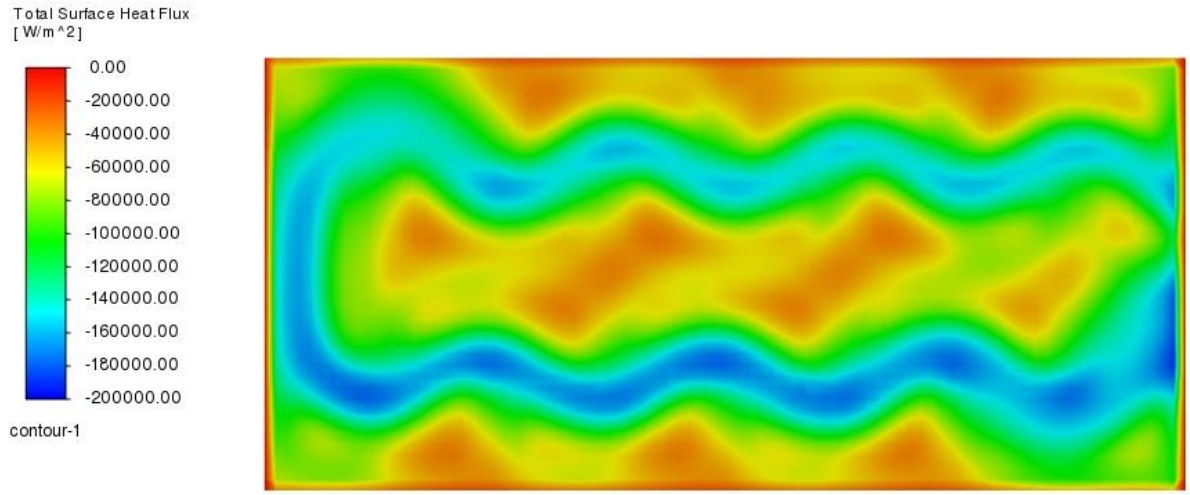
Deney Tasarımı 2 için %2 $ZnFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Sıcaklık (K), Hız (m/s), Toplam Yüzey Isı Akısı (W/m^2) Soğutma plakaları ile sıvı soğutma yöntemi akış görünümü Şekil 4.13, 4.14, 4.15 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.13. %2 $ZnFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Sıcaklık (K), soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem akış görünümü

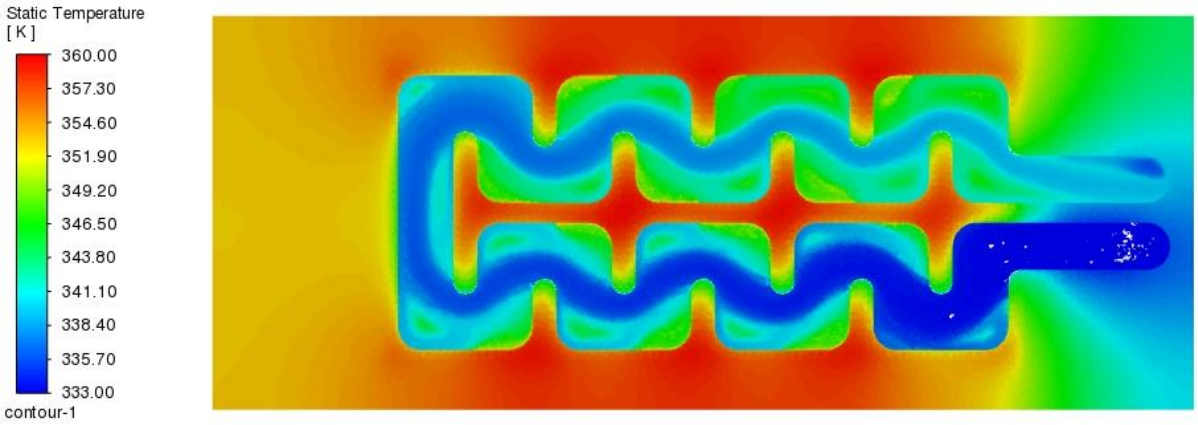


Şekil 4.14. %2 $ZnFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Hız (m/s), soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntemi akış görünümü

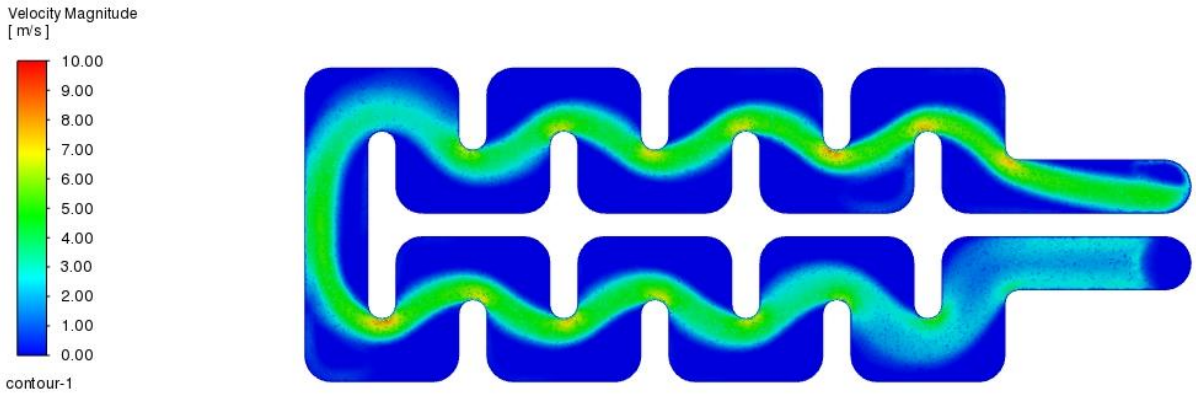


Şekil 4.15. %2 $ZnFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Toplam Yüzey Isı Akısı (W/m^2), soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem akış görünümü

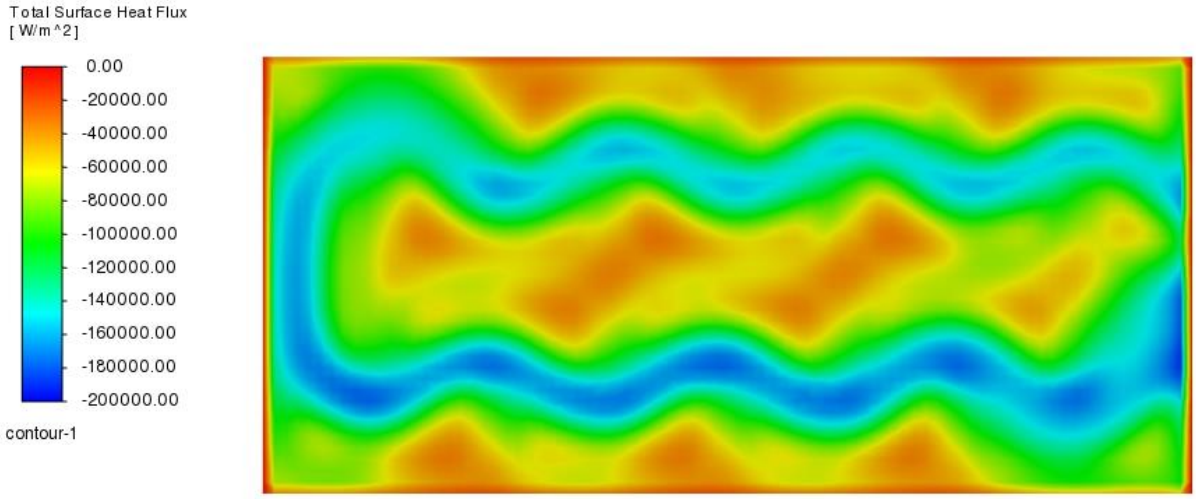
Deney Tasarımı 2 için %2 $NiFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Sıcaklık (K), Hız (m/s), Toplam Yüzey Isı Akısı (W/m^2) Soğutma plakaları ile sıvı soğutma yöntemi akış görünümü Şekil 4.16, 4.17, 4.18 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.16. %2 $NiFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Sıcaklık (K), soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem akış görünümü

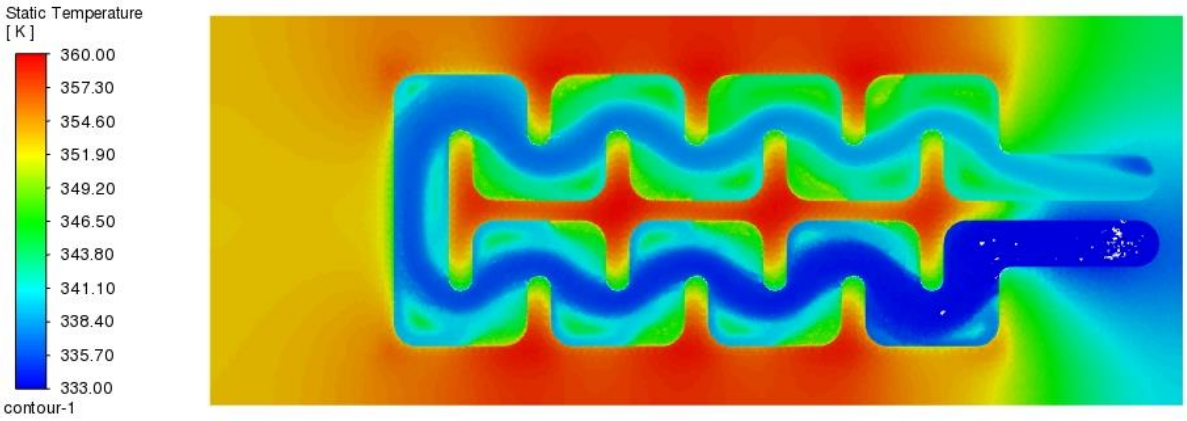


Şekil 4.17. %2 $NiFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Hız (m/s), soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem akış görünümü

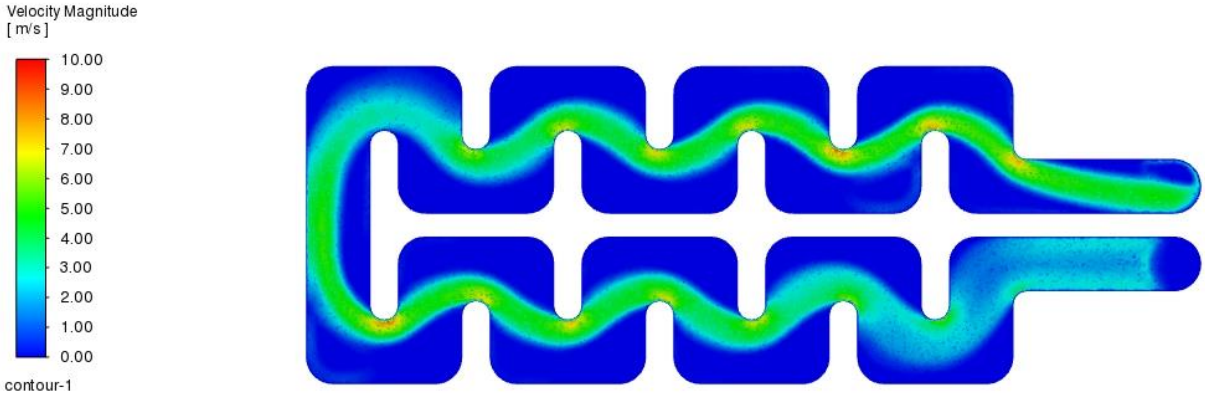


Şekil 4.18. %2 $NiFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Toplam Yüzey Isı Akısı (W/m^2), soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem akış görünümü

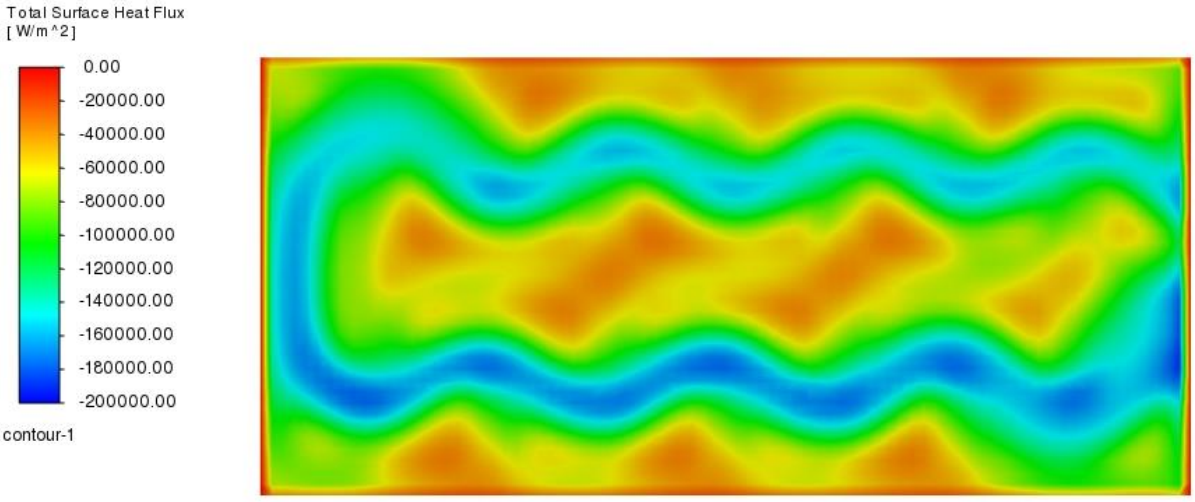
Deney Tasarımı 2 için %2 $CoFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Sıcaklık (K), Hız (m/s), Toplam Yüzey Isı Akısı (W/m^2) Soğutma plakaları ile sıvı soğutma yöntemi akış görünümü Şekil 4.19, 4.20, 4.21 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.19. %2 $CoFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Sıcaklık (K), soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem akış görünümü



Şekil 4.20. %2 $CoFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Hız (m/s), soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem akış görünümü



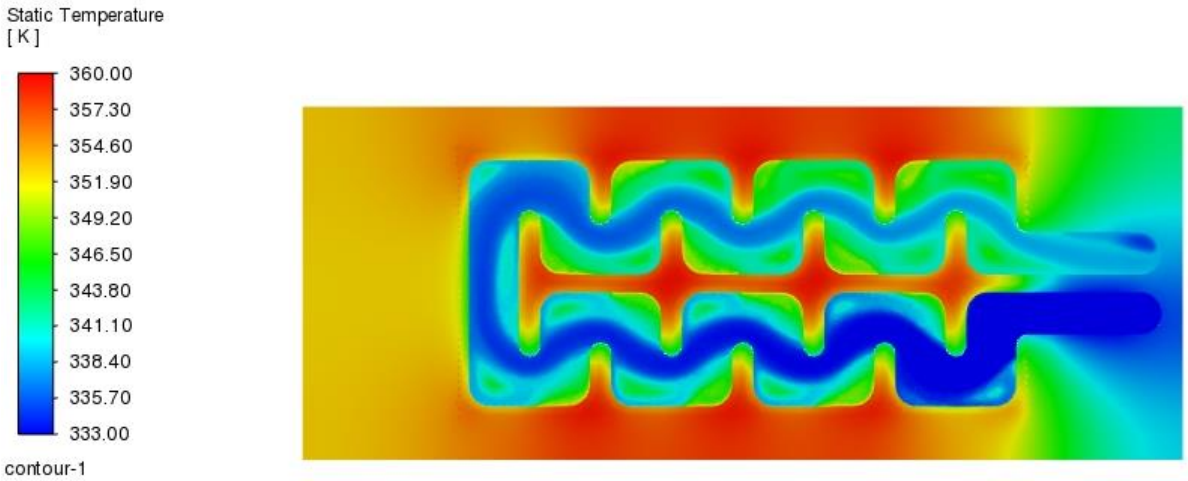
Şekil 4.21. %2 $CoFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Toplam Yüzey Isı Akısı (W/m2), soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem akış görünümü

Deney Tasarımı 3: Mevcut Durum %50-%50 su-etilen glikol test koşumu +%3 Nanoakışkan ilavesi sonrasında ilgili denklemlerin kullanılması ile Isıl iletkenlik, Özgül Isı, Vizkozite Hacimsel Isı Atımı, giriş-çıkış sıcaklık ve fark verileri Çizelge 4.3'de verilmiştir.

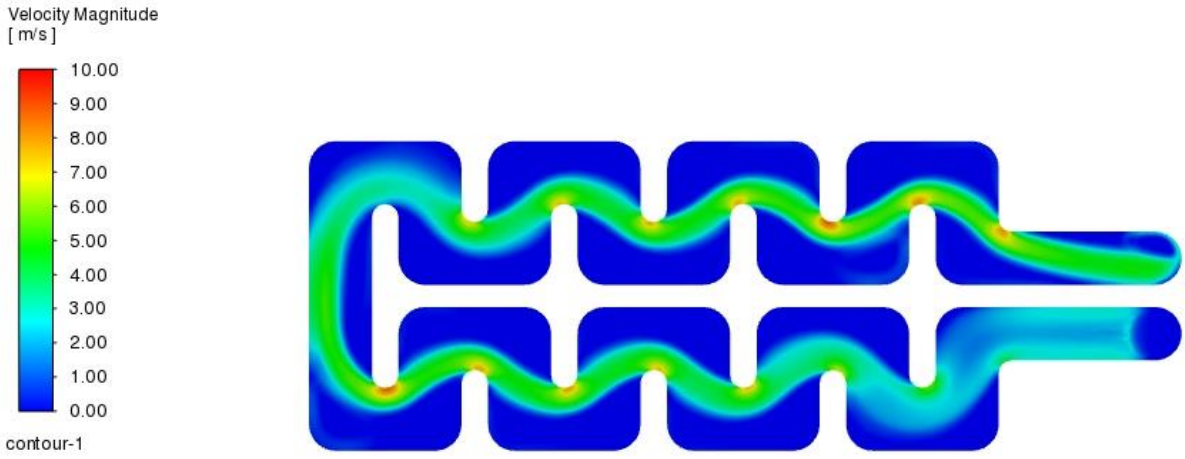
Çizelge 4.3. Deney Tasarımı 3 için Isıl iletkenlik, Özgül Isı, Vizkozite, Hacimsel Isı Atımı, giriş - çıkış sıcaklık ve fark verileri

	Su+Etilen Glikol	$ZnFe_2O_4$	$NiFe_2O_4$	$CoFe_2O_4$
Özgül Isı (J/kgK)	3488,5	3410,89	3401,84	3404,84
Isıl İletkenlik (W/mK)	0,3976	0,4468	0,437	0,4342
Yoğunluk (kg/m3)	1077	1195,05	1197,75	1191,9
Viskozite(cP)	2,700	1,070	1,090	1,150
Q (Watt)	2185,0	2505,0	2485,0	2457,0
Giriş T (K)	333,0	333,0	333,0	333,0
Çıkış T (K)	336,49910	336,69630	336,66910	336,64240
Delta_T (K)	3,49910	3,69630	3,66910	3,64240
m_dot	0,179028	0,198652	0,1991	0,198128

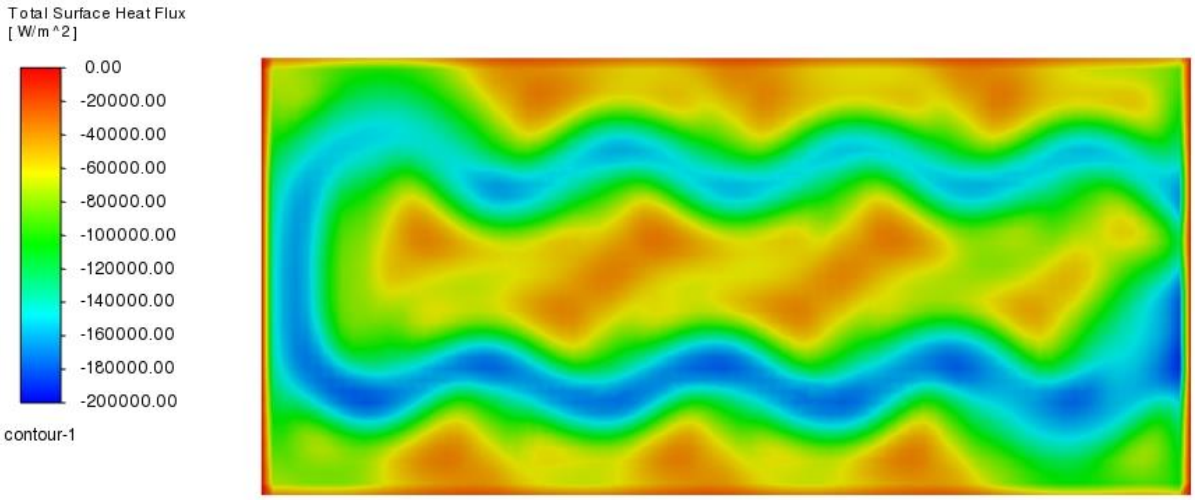
Deney Tasarımı 3 için %3 $ZnFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Sıcaklık (K), Hız (m/s), Toplam Yüzey Isı Akısı (W/m^2) Soğutma plakaları ile sıvı soğutma yöntemi akış görünümü Şekil 4.22, 4.23, 4.24 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.22. %3 $ZnFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Sıcaklık (K), soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem akış görünümü

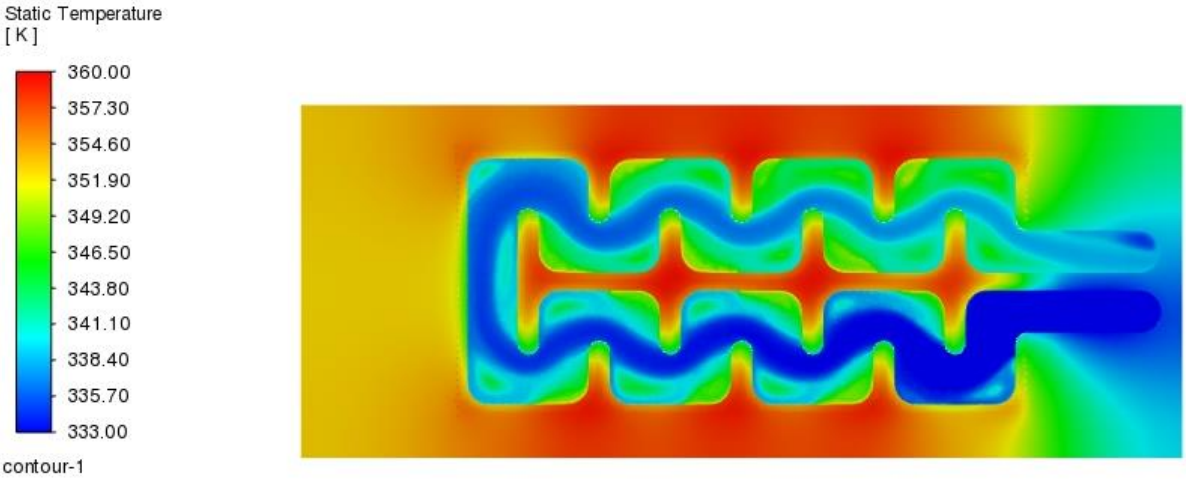


Şekil 4.23. %3 $ZnFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Hız (m/s), soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem akış görünümü

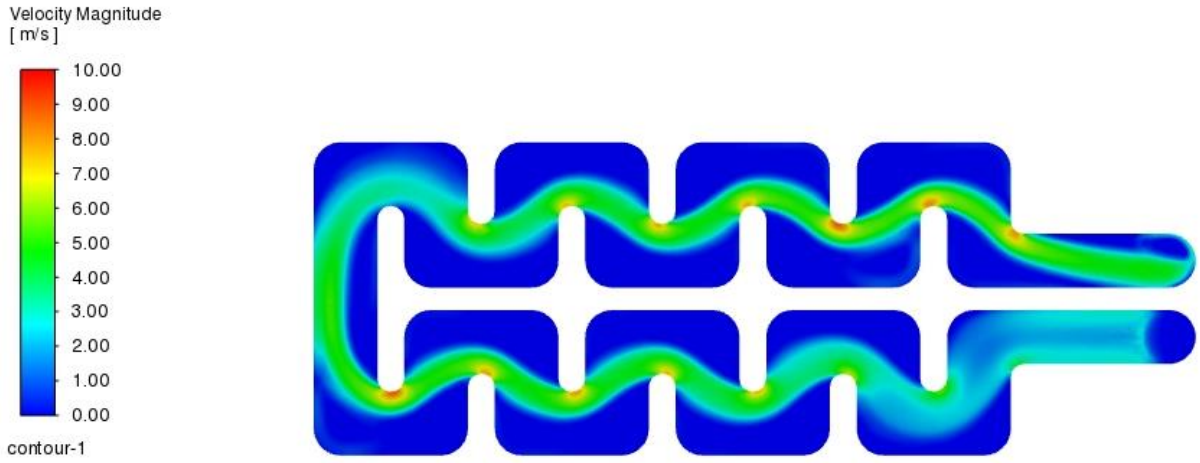


Şekil 4.24. %3 $ZnFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Toplam Yüzey Isı Akısı (W/m^2), soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem akış görünümü

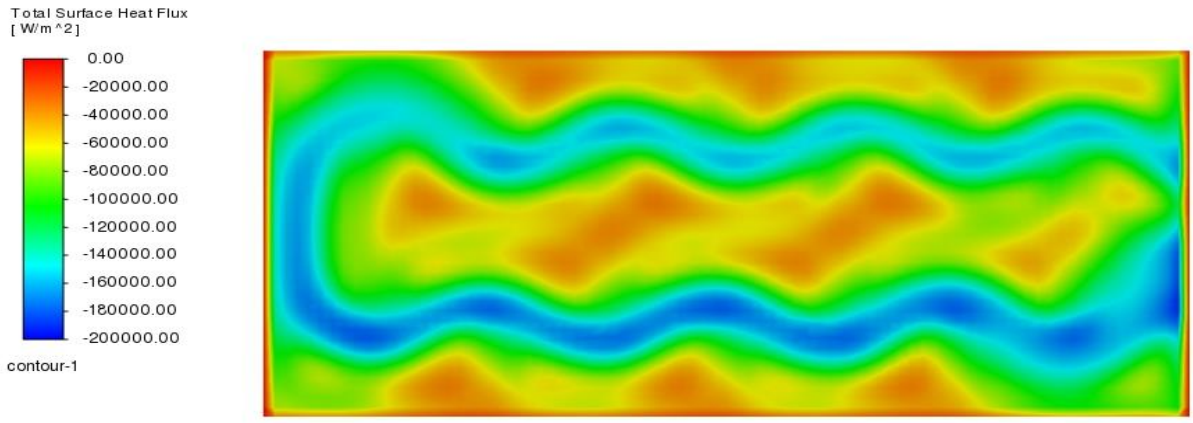
Deney Tasarımı 3 için %3 $NiFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Sıcaklık (K), Hız (m/s), Toplam Yüzey Isı Akısı (W/m^2) Soğutma plakaları ile sıvı soğutma yöntemi akış görünümü Şekil 4.25, 4.26, 4.27 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.25. %3 $NiFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Sıcaklık (K), soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem akış görünümü

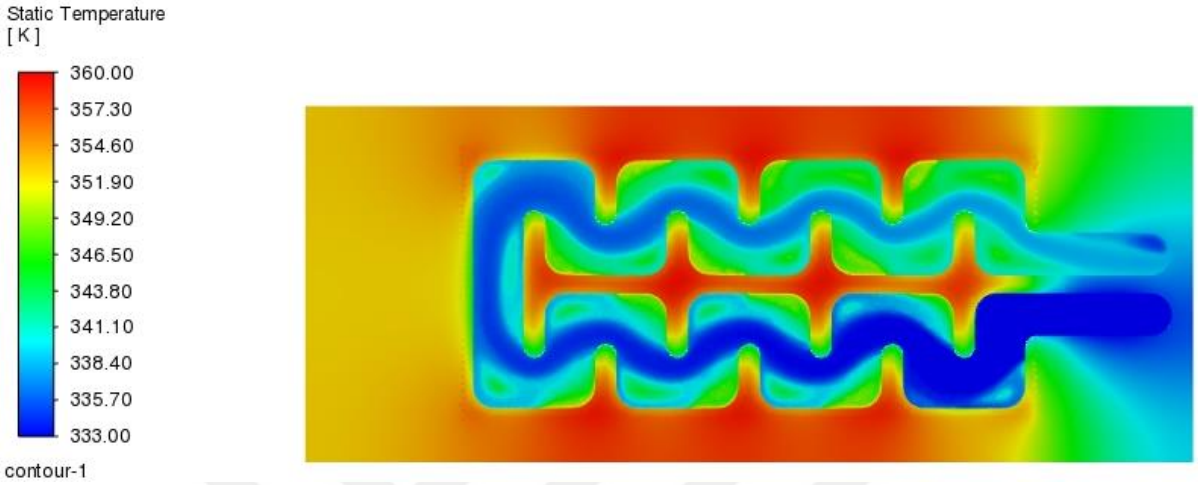


Şekil 4.26. %3 $NiFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Hız (m/s), soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem akış görünümü

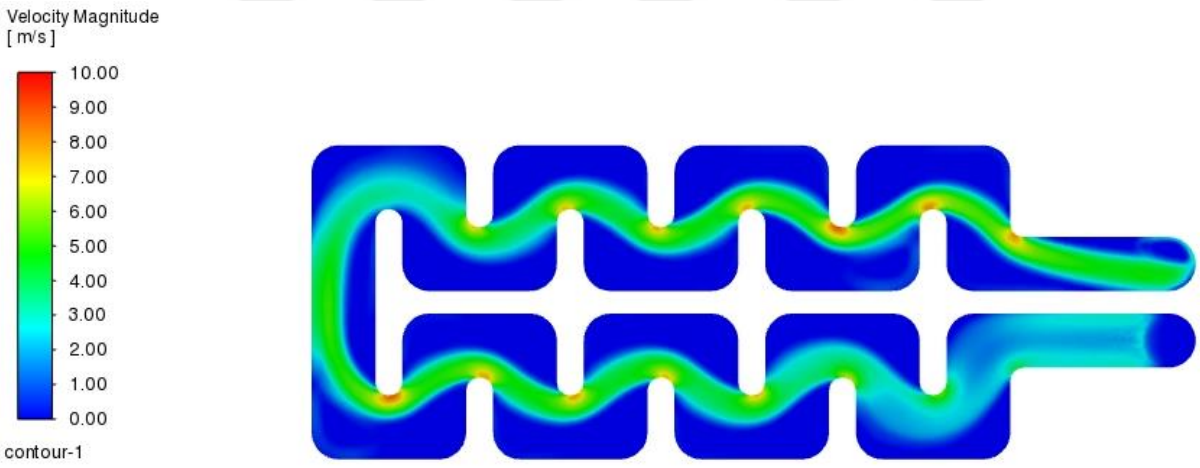


Şekil 4.27. %3 $NiFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Toplam Yüzey Isı Akısı (W/m^2), soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem akış görünümü

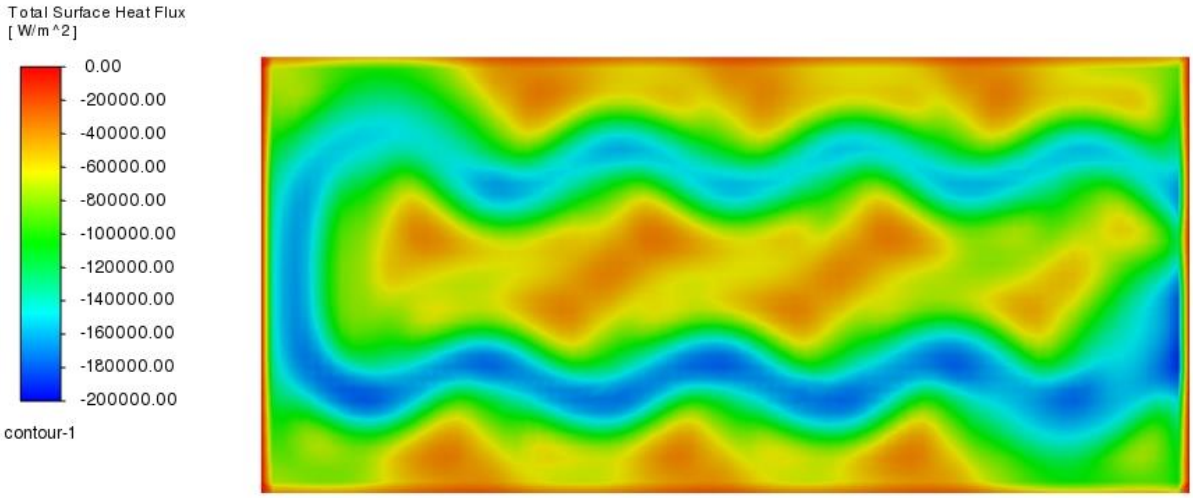
Deney Tasarımı 3 için %3 $CoFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Sıcaklık (K), Hız (m/s), Toplam Yüzey Isı Akısı (W/m^2) Soğutma plakaları ile sıvı soğutma yöntemi akış görünümü Şekil 4.28, 4.29, 4.30 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.28. %3 $CoFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Sıcaklık (K), soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem akış görünümü



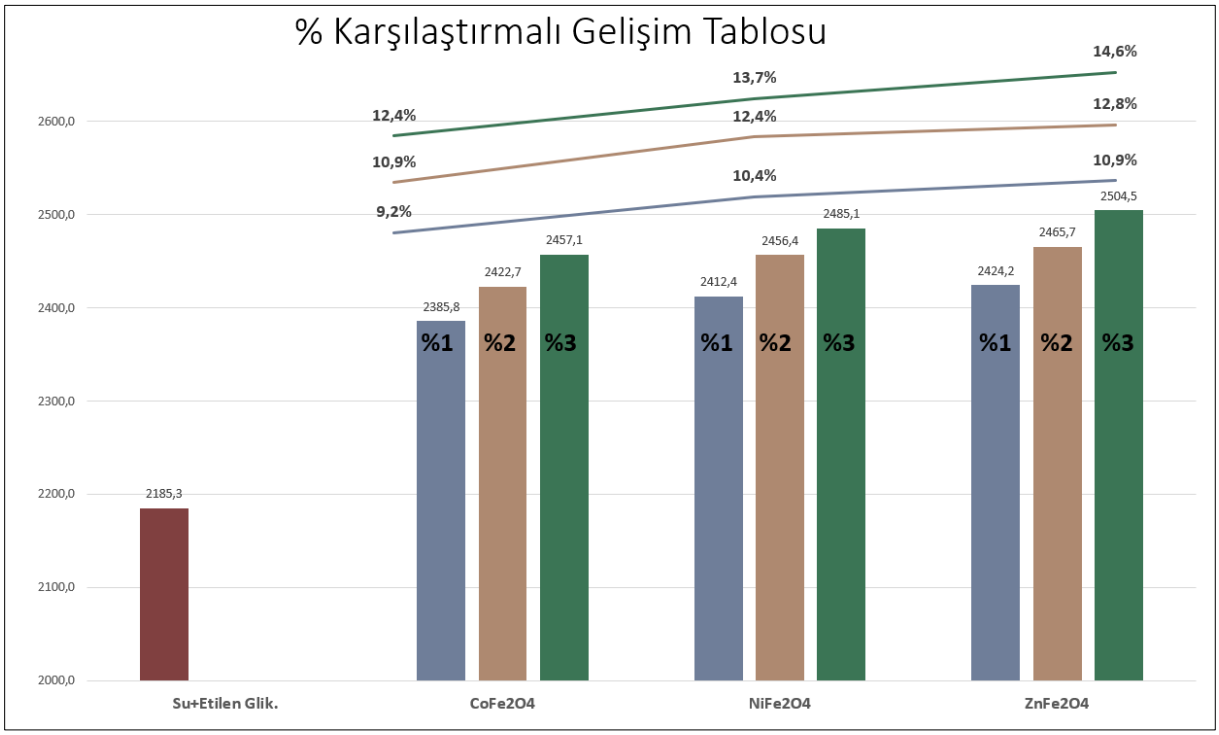
Şekil 4.29. %3 $CoFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Hız (m/s), soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem akış görünümü



Şekil 4.30. %3 $CoFe_2O_4$ Nanoakışkan ilavesi sonrasında Toplam Yüzey Isı Akısı (W/m^2), soğutucu plaka kullanımı ile sıvı soğutma yöntem akış görünümü

Mevcut Durum %50-%50 su-etilen glikol test koşumu +%1, +%2, +%3 Nanoakışkan ilavesi sonrasında ilgili denklemlerin kullanılması ile Deney Tasarımı 1, Deney Tasarımı 2, Deney Tasarımı 3 için Hacimsel Isı Atımı verileri ve yüzdesel karşılaştırmalı değerleri Çizelge 4.4' de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Deney Tasarımı 1, Deney Tasarımı 2, Deney Tasarımı 3 için Hacimsel Isı Atımı verileri ve yüzdesel karşılaştırmalı değerleri



Mevcut Durum %50-%50 su-etilen glikol test koşumu +%1, +%2, +%3 Nanoakışkan ilavesi sonrasında ilgili denklemlerin kullanılması ile Deney Tasarımı 1 & Deney Tasarımı 2 & Deney Tasarımı 3 için Isıl iletkenlik, Özgül Isı, Vizkozite verileri ve yüzdesel değerleri Çizelge 4.5.'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Deney Tasarımı 1, Deney Tasarımı 2, Deney Tasarımı 3 için Hacimsel Isı Atım verileri ve yüzdesel değerleri

Su+Etilen Glikol	$CoFe_2O_4$	$NiFe_2O_4$	$ZnFe_2O_4$	$CoFe_2O_4$	$NiFe_2O_4$	$ZnFe_2O_4$
2185,3	2385,8	2412,4	2424,2	9,2%	10,4%	10,9%
	2422,7	2456,4	2465,7	10,9%	12,4%	12,8%
	2457,1	2485,1	2504,5	12,4%	13,7%	14,6%

Hesaplamalar esnasında manyetik nanoakışkanların Hacimsel Isı Atımı 400 W olarak sabit alınmamıştır f (T, SOC) , 90 °C constant temperature, 60 °C sıvı giriş sıcaklığında delta T 30 °C olarak alınmıştır .%1, %2 ve %3 derişimlerde hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Ana soğutma sıvısı olarak %50 Etilen Glikol %50 Su karışımına, nanopartikül olarak seçilen $CoFe_2O_4$ %1 derişimde eklendiğinde Özgül Isı 3460,61 J/kgK, Hacimsel Isı Atımı 2385,8 Watt, %2 derişimde eklendiğinde Özgül Isı 3432,73 J/kgK, Hacimsel Isı Atımı 2422,7-Watt ve %3 derişimde eklendiğinde Özgül Isı 3404,84 J/kgK, Hacimsel Isı Atımı 2457,1-Watt olarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Ana soğutma sıvısı olarak %50 Etilen Glikol %50 Su karışımına, nanopartikül olarak seçilen $NiFe_2O_4$ %1 derişimde eklendiğinde Özgül Isı 3459,61 J/kgK, Hacimsel Isı Atımı 2412,4 Watt, %2 derişimde eklendiğinde Özgül Isı 3430,73 J/kgK, Hacimsel Isı Atımı 2456,4-Watt ve %3 derişimde eklendiğinde Özgül Isı 3401,84 J/kgK, Hacimsel Isı Atımı 2485,1-Watt olarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Ana soğutma sıvısı olarak %50 Etilen Glikol %50 Su karışımına, nanopartikül olarak seçilen $ZnFe_2O_4$ %1 derişimde eklendiğinde Özgül Isı 3462,63 J/kgK, Hacimsel Isı Atımı 2424,2 Watt, %2 derişimde eklendiğinde Özgül Isı 3436,76 J/kgK, Hacimsel Isı Atımı 2465,7-Watt ve %3 derişimde eklendiğinde Özgül Isı 3410,89 J/kgK, Hacimsel Isı Atımı 2504,5-Watt olarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Hacimsel Isı Atımında, Su+Etilen Glikol karışımına göre %1, %2, %3 derişim oranlarına göre $CoFe_2O_4$ için sırasıyla %9,2, %10,9, %12,4 performans gelişimi sağlanmıştır.

Hacimsel Isı Atımında, Su+Etilen Glikol karışımına göre %1, %2, %3 derişim oranlarına göre $NiFe_2O_4$ için sırasıyla %10,4, %12,4, %13,7 performans gelişimi sağlanmıştır.

Hacimsel Isı Atımında, Su+Etilen Glikol karışımına göre %1, %2, %3 derişim oranlarına göre $ZnFe_2O_4$ için sırasıyla %10,9, %12,8, %14,6 performans gelişimi sağlanmıştır.

Hacimsel Isı Atımında, Su+Etilen Glikol - $CoFe_2O_4$ %1, %2, %3 derişim oranlarındaki karışımının, Su+Etilen Glikol - $NiFe_2O_4$ %1, %2, %3 derişim oranlarındaki karışımına göre $NiFe_2O_4$ için sırasıyla %1,2, %1,5, %1,3 performans gelişimi sağlanmıştır.

Hacimsel Isı Atımında, Su+Etilen Glikol - $CoFe_2O_4$ karışımına göre %1, %2, %3 derişim oranlarına göre Su+Etilen Glikol - $ZnFe_2O_4$ için sırasıyla %1,7, %1,9, %2,2 performans gelişimi sağlanmıştır.

Hacimsel Isı Atımında, Su+Etilen Glikol - $NiFe_2O_4$ karışımına göre %1, %2, %3 derişim oranlarına göre Su+Etilen Glikol - $ZnFe_2O_4$ için sırasıyla %0,5, %0,4, %0,9 performans gelişimi sağlanmıştır.

Hacimsel Isı Atımı değerleri Su+Etilen Glikol karışımına göre %1, %2, %3 derişim oranlarına göre kıyaslandığında bariz farklar görülmektedir. Hacimsel olarak hesaplanna derişim değeri artarken her bir modelde de Hacimsel Isı Atım değerlerinde artış sağlanmıştır.

5. TARTIŞMA

Tez çalışmasında dört hücreden meydana gelen batarya modülünün sıvıyla soğutma yönteminde farklı hacimsel derişimlerde nanopartiküllerin eklenmesiyle oluşturulan nanoakışkanların kullanılma ile içinde soğutucu olarak hazırlanan akışkanın geçtiği kanallarda bulunan soğutucu plakalarının hacimsel ısı atım karşılaştırılması kapsamında analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Dört hücreden omeydana gelen batarya modülünün ve soğutma plaka tasarımı sonrasında mesh bağımısızlı analizi sonrasında çıktıların belirlenmesi ardından draft analiz ve nihai analiz koşumlarının gerçekleşirilmesi için süreç tasarımı hazırlanmıştır.

Hücre ve katı model malzeme özellikleri ve soğutucu sıvı özellikleri olan Özgül Isıl Kapasitesi, ısıl İletkenlik Katsayısı, Vizkozite, Yoğunluk değerleri hesaplanmıştır. Hacimsel Isı Atımı 400 W olarak sabit alınmamıştır f (T, SOC), 90 °C constant temperature, 60 °C sıvı giriş sıcaklığında delta T 30 °C olarak alınmıştır. %1, %2 ve %3 Konsantrasyonda hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmaya istinaden bazı çıkarımlar aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

- Artan nanopartikül konsantrasyonu tüm sistemlerin termal verimliliğini artırmıştır.
- Hacimsel Isı Atımında, %50 Su+%50 Etilen Glikol karışımına göre %1, %2, %3 derişim oranlarında $ZnFe_2O_4$, için sırasıyla %10,9, %18,4, %14,6 olarak yüzdesel verimlilik artışı sağlanmıştır.
- Hacimsel Isı Atımında, %50 Su+%50 Etilen Glikol karışımına göre %1, %2, %3 derişim oranlarında $NiFe_2O_4$, için sırasıyla %10,4, %12,4, %13,7 olarak yüzdesel verimlilik artışı sağlanmıştır.
- Hacimsel Isı Atımında, %50 Su+%50 Etilen Glikol karışımına göre %1, %2, %3 derişim oranlarında $CoFe_2O_4$ için sırasıyla %9,2, %10,9, %12,4 olarak yüzdesel verimlilik artışı sağlanmıştır.
- Isıl İletkenlik bakımından, %50 Su+%50 Etilen Glikol karışımına göre %1, %2, %3 derişim oranlarına göre $ZnFe_2O_4$ için sırasıyla 0,4133 W/mK, 0,42978 W/mK, 0,4468 W/mKolarak hesaplanmıştır.

- Isıl İletkenlik bakımından, %50 Su+%50 Etilen Glikol karışımına göre %1, %2, %3 derişim oranlarına göre $NiFe_2O_4$ için sırasıyla 0,4103 W/mK, 0,42344 W/mK, 0,437 W/mK olarak hesaplanmıştır.
- Isıl İletkenlik bakımından, %50 Su+%50 Etilen Glikol karışımına göre %1, %2, %3 derişim oranlarına göre $CoFe_2O_4$ için sırasıyla 0,4095 W/mK, 0,4216 W/mK, 0,4342W/mK olarak hesaplanmıştır.
- Özgül Isı, %50 Su+%50 Etilen Glikol karışımına göre %1, %2, %3 derişim oranlarına göre $ZnFe_2O_4$, için sırasıyla 3462,63J/kgK, 3436,76 J/kgK, 3410,89 J/kgK olarak hesaplanmıştır.
- Özgül Isı, %50 Su+%50 Etilen Glikol karışımına göre %1, %2, %3 derişim oranlarına göre $NiFe_2O_4$ için sırasıyla 3459,61 J/kgK, 3430,73 J/kgK, 3401,84 J/kgK olarak hesaplanmıştır.
- Özgül Isı, %50 Su+%50 Etilen Glikol karışımına göre %1, %2, %3 derişim oranlarına göre $CoFe_2O_4$ için sırasıyla 3460,61 J/kgK, 3432,73 J/kgK, 3404,84 J/kgK olarak hesaplanmıştır.
- Giriş-Çıkış Sıcaklık Farkı, %50 Su+%50 Etilen Glikol karışımına göre %1, %2, %3 derişim oranlarına göre $ZnFe_2O_4$, için sırasıyla 3,7727 K, 3,7345 K, 3,6963 K olarak hesaplanmıştır.
- Giriş-Çıkış Sıcaklık Farkı, %50 Su+%50 Etilen Glikol karışımına göre %1, %2, %3 derişim oranlarına göre $NiFe_2O_4$, için sırasıyla 3,7442 K, 3,7015 K, 3,6691 K olarak hesaplanmıştır.
- Giriş-Çıkış Sıcaklık Farkı, %50 Su+%50 Etilen Glikol karışımına göre %1, %2, %3 derişim oranlarına göre $CoFe_2O_4$, için sırasıyla 3,7186 K, 3,6804 K, 3,6424 K olarak hesaplanmıştır.

6. SONUÇ

Nanoakışkanlar yüksek ısıl iletim katsayılarıyla ısı transferi artırımı için gelecek vaat etmektedirler. Tez çalışmasında, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizi'nde elektrikli taşıt batarya soğutma sistemi tasarımı üzerinden, mevcut seri üretimlerde soğutucu akışkanı olarak kullanılmakta olan su-etilen glikol sıvısına farklı nanopartiküllerin farklı derişim oranlarında eklenmesi ile soğutma sisteminin performansı geliştirilmek ve gözlemlenmek istenmiştir. Ana soğutma sıvısı olarak %50 Etilen Glikol- %50 Su karışımı, nanopartikül olarak farklı yüzdesel derişimlerde $ZnFe_2O_4$, $NiFe_2O_4$, $CoFe_2O_4$ manyetik ferrit nano parçacıklarının nano boyutta olacak biçimde soğutma sıvı karışımı içine belirlenen miktar ve oranlarda ilavesiyle elde edilen nanoakışkanların termofiziksel spesifikasyonları teorik olarak literatürde bulunan modellemeler kullanılarak belirlenmiştir. %1, %2, %3 olacak biçimde birbirlerinden farklı derişim oranlarına sahip nanoakışkanların ısıl iletkenlik, özgül ısı, viskozite değerleri hesaplanarak modellemeler karşılaştırılmıştır.

Oksit ve hibrit nanoakışkanların ısıl iletkenlik değerinin tüm karışım oranlarında temel akışkanın ısıl iletkenliğinden daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Sonuçlara istinaden kullanılan tüm modellemelerde nanoakışkanların hacimsel yüzdesel derişimi arttığında özgül ısı değerleri azalmaktadır.

Hacimsel ısı atımı değerleri su ve etilen glikol karışımına göre %1, %2, %3 derişim oranlarına göre kıyaslandığında bariz farklar görülmektedir. Hacimsel olarak yüzdesel derişim artarken her modellemede Hacimsel Isı Atımında artış gözlemlenmiştir. Ana soğutma sıvısı olarak %50 Etilen Glikol %50 Su karışımına, nanopartikül olarak seçilen $CoFe_2O_4$ %1 derişimde eklendiğinde Hacimsel Isı Atımı 2385,8 Watt, %2 derişimde eklendiğinde Hacimsel Isı Atımı 2422,7-Watt ve %3 derişimde eklendiğinde Isıl İletkenlik Hacimsel Isı Atımı 2457,1Watt olarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Ana soğutma sıvısı olarak %50 Etilen Glikol %50 Su karışımına, nanopartikül olarak seçilen $NiFe_2O_4$ %1 derişimde eklendiğinde Isıl İletkenlik Hacimsel Isı Atımı 2412,4 Watt, %2 derişimde eklendiğinde Isıl İletkenlik Hacimsel Isı Atımı 2456,4Watt ve %3 derişimde eklendiğinde Hacimsel Isı Atımı 2485,1-Watt olarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Ana soğutma sıvısı olarak %50 Etilen Glikol %50 Su karışımına, nanopartikül olarak seçilen $ZnFe_2O_4$ %1 derişimde eklendiğinde Hacimsel Isı Atımı 2424,2 Watt, %2 derişimde eklendiğinde Hacimsel Isı Atımı 2465,7-Watt ve %3 derişimde eklendiğinde Isıl İletkenlik Hacimsel Isı Atımı 2504,5-Watt olarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Gelecekte gerçekleştirilecek olan çalışmalarda farklı konsantrasyon değerlerinde farklı yapılara sahip nano akışkanların kullanılması ile belirlenmekte olan termofiziksel özelliklerin performans üzerine etkileri incelenebilir, ayrıca deneysel olarak gerçekleştirilebilecek çalışmalarla literatür modellerinin mukayeselendirilmesi üzerinde inceleme ve araştırmalar yapılabilir. Farklı yapıda olan nanoparçacıkların hacimsel oran değerleri ve farklı sıcaklık değerlerlerinin termofiziksel özelliklerine etkisi için ölçümler gerçekleştirilebilir. Deneysel çalışmalar kontrol altında tutularak yapılmalı, akışkan kararlılığı, çökelme, birikme, yığın oluşumu gibi verimliliği etkileyen parametrelerin göz önüne alınması gerekmektedir. Su-etilen glikol karışımı yerine farklı temel akışkan malzemelerin kullanılması ile belirlenen termofiziksel spesifikasyonların performans üzerine etki ve değerlendirmeleri yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Patterson M.G. (1996). What is energy efficiency: Concepts, indicators and methodological issues. *Energy Policy*, 24(5), 377-390.

2. Zhang, H., Li, C., Zhang, R., Lin, Y., and Fang, H. (2020). Thermal analysis of a 6s4p Lithium-ion battery pack cooled by cold plates based on a multi-domain modeling framework. *Applied Thermal Engineering*, 24(3), 2-3.

3. Gümüşsu, E. (2017). Thermal Modeling of Lithium Ion Batteries. *Applied Thermal Engineering*, 12(5), 3.

4. Ali, H. A. A., ve Abdeljawad, Z. N. (2020). Thermal Management Technologies of Lithium-Ion Batteries Applied for Stationary Energy Storage Systems. *Investigation on the Thermal Behavior of Lithium-Ion Batteries. Energies,* 13(16), 3.

5. Yoshio, M., Brodd, R.J. and Kozawa, A., (2009). Lithium-Ion Batteries. *Science and Technologies, Springer Science and Business*, 4(11), 183-185.

6. Ozawa, K., (2009). *Lithium Ion Rechargeable Batteries*, Weinheim, Wiley-VCH Verlag , 4.

7. Chawla, N., Bharti, N., and Singh, S. (2019). Recent advances in non-flammable electrolytes for safer lithium-ion batteries. *Batteries*, 5(1), 19.

8. Miao, Y., Hynan, P., Von Jouanne, A., and Yokochi, A. (2019). Current Li-ion battery technologies in electric vehicles and opportunities for advancements. *Energies*, 12(6), 1074.

9. Mekonnen, Y., Sundararajan, A., and Sarwat, A. I. (2016, March). *A review of cathode and anode materials for lithium-ion batteries*. In SoutheastCon.

10. Pesaran, A. A. (2001, February). *Advanced automotive battery conference*, Las Vegas: NV

11. Emre Bulut (2022) *Elektrikli araçlarda batarya termal yönetim sistemlerinin optimum tasarımı*, Doktora tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 4-8.

12. Gürü, M., Sözen, A., Karakaya, U. and Çiftçi, E. (2019). Influences of bentonite-deionized water nanofluid utilization at different concentrations on heat pipe performance: An experimental study. *Applied Thermal Engineering*, 148(1), 632-640.

13. Saidur, R., Leong, K. Y. and Mohammed, H. A. (2011). A review on applications and challenges of nanofluids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1646-1668.

14. Keblinski, P., Prasher, R. and Eapen, J. (2008). Thermal conductance of nanofluids: is the controversy over? *Journal of Nanoparticle Research*, 10(7), 1089-1097.

15. Sözen, A., Gürü, M., Khanlari, A. and Çiftçi, E. (2019). Experimental and numerical study on enhancement of heat transfer characteristics of a heat pipe utilizing aqueous clinoptilolite nanofluid. *Applied Thermal Engineering*, 160(1), 114.

16. Krishnakumar, T. S., Sheeba, A., Mahesh, V. and Prakash, M. J. (2019). Heat transfer studies on ethylene glycol/water nanofluid containing TiO_2 nanoparticles. *International Journal of Refrigeration*, 102(1), 55-61.

17. Bianco, V., Vafai, K., Manca, O. and Nardini, S. (2015). *Heat transfer enhancement with nanofluids*. Boca Raton: CRC press. 1(2),12-19.

18. Choi, S. U. and Eastman, J. A. (1995). *Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles.* San Francisco, ASME: Mechanical Engineering.

19. Saidur, R., Leong, K. Y. and Mohammed, H. A. (2011). A review on applications and challenges of nanofluids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1646- 1668.

20. Karakaya, U. (2018). *Nano mineralojik akışkanların termofiziksel özellikleri ve ısıl sistemdeki performansa etkisi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 7-18.

21. Rand Ahmed Adeeb Babat (2023) *Magnetıc nanofluıds ın thermal applıcatıons*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 11.

22. Whittingham M. S. (2012). *History, Evolution, and Future Status of Energy Storage*, Proceedings of the IEEE 100, Special Centennial Issue, 1518–1534.

23. Reddy T. B. (2011). *Linden's Handbook of Batteries.* Fourth Edition, New York, NY: McGraw-Hill Education, 4.

24. Deng, T., Ran, Y., Yin, Y., & Liu, P. (2020). Multi-objective optimization design of thermal management system for lithium-ion battery pack based on Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II. *Applied Thermal Engineering*, 164(66), 114-394.

25. Senthilkumar, A. P. (2012). Effectiveness study on Al_2O_3-TiO_2 Nanofluid Heat Exchanger. *International Journal of Engineering and Robot Technology*, 3(2), 86.

26. Shang, Z., Qi, H., Liu, X., Ouyang, C., and Wang, Y. (2019). Structural optimization of lithium-ion battery for improving thermal performance based on a liquid cooling system. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 130(1), 33-41.

27. Bandgar, M. S., Ragit, S. S., Kolhe, K. P. and Biradar, N. S. (2016). Effect of nano lubricant on the performance of vapour compression refrigeration system: A review. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 3(4), 56-59.

28. Kumar, D. S. and Elansezhian, R. (2014). ZnO nanorefrigerant in R152a refrigeration system for energy conservation and green environment. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 9(1), 75-80.

29. Vikram Babu, B., Vijaya Babu, K., Tewodros Aregai, G., Seeta Devi, L., Madhavi Latha, B., Sushma Reddi, M., Samatha, K., and Veeraiah, V. (2018). *Structural and electrical properties of $Li_4Ti_5O_{12}$ anode material for lithium-ion batteries.* Results in Physics, 3(2), 284-289

30. Sevilgen, G. (2010). *Otomobil kabininde hız ve sıcaklık dağılımının üç boyutlu sayısal analizi*, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 22-28.

31. Gu H. (1983). Mathematical-Analysis of a Zn/Niooh Cell. *Journal of The Electrochemical Society*, 130(1), 1459-1464.

32. Deng, T., Zhang, G., Ran, Y., and Liu, P. (2019). Thermal performance of lithium ion battery pack by using cold plate. *Applied Thermal Engineering*, 160(6), 114.

33. Bulut, E., Albak, E. İ., Sevilgen, G., and Öztürk, F. (2021). A new approach for battery thermal management system design based on Grey Relational Analysis and Latin Hypercube Sampling. *Case Studies in Thermal Engineering,* 28(2),10.

34. Shah, R.K., London, A.L. (1978). *Laminar Flow Forced Convection in Ducts*. New York, NY, ABD, 78-62274.

35. Mirmanto. (2013). Developing Flow Pressure Drop and Friction Factor of Water in Copper Microchannels. *Journal of Mechanics Engineering and Automation,* 3(1), 641–649.

36. Kilic, M., Aktas, M., and Sevilgen, G. (2020). Thermal assessment of laminar flow liquid cooling blocks for LED circuit boards used in automotive headlight assemblies. *Energies*, 13(5), 3.

37. Sevilgen, G., Kilic, M., and Aktas, M. (2021). Dual-separated cooling channel performance evaluation for high-power led Pcb in automotive headlight. *Case Studies in Thermal Engineering*, 25(6), 4.

38. Aytaç, İ. (2020). *Hibrit Nanoakışkanların Termofiziksel Özelliklerinin Isıl Davranışları.* Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım Ve Teknoloji, 8(4), 810-829.

39. Wang, X., Xu, X. and Choi, S. U. S. (1999). Thermal conductivity of nanoparticle–fluid mixture, *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 13(4), 474-480.

40. Han, D., He, W. and Asif, F. Z. (2017). Experimentalstudy of heat transfer enhancement using nanofluid in double tube heat exchanger, *Energy Procedia*, 142(1), 2547-2553.

41. Ardekani, A. M., Kalantar, V. and Heyhat, M. M. (2019). Experimental study on heat transfer enhancement of nanofluid flow through helical tubes, *Advanced Powder Technology*, 30(9), 1815-1822.

42. Teng, T. P., Hsu, H. G., Mo, H. E. and Chen, C. C. (2010). Thermal efficiency of heat pipe with alümina nanofluid, *Journal of Alloys and Compounds*, 504(1), 380-384.

43. Anitha, S., Thomas, T., Parthiban, V. and Pichumani, M. (2019). What dominates heat transfer performance of hybrid nanofluid in single pass Shell and tube heat exchanger, *Advanced Powder Technology*, 30(12), 3107-3117.

44. Sundar L. S., Singh M. K., Ferro M. C., and Sousaa A. C. M. (2017). Experimental investigation of the thermal transport properties of grapheneoxide/Co_3O_4 hybrid nanofluids, *Inernational Communiccations in Heat and Mass Transfer*, 84(1), 1-10.

45. Murshed, S.M.S., Santos, F.J.V., Nieto de Castro, C.A. (2018). Morphology and thermophysical properties of non-aqueous titania nanofluids, *Heat Mass Transfer* 54(1), 2645–2650.

46. Turgut A., Tavman I., Chirtoc M., Schuchmann H.P., Sauter C. and Tavman S. (2009). Thermal conductivity and viscosity measurements of water-based TiO_2 nanofluids, *International Journal of Thermophysics*, 30(4), 1213-1226.

47. Ghasemi S. and Karimipour A. (2018). Experimental investigation of the effects of temperature and mass fraction on thedynamic viscosity of CuO-paraffin nanofluid, *Applied Thermal Engineering*, 128(1), 189-197.

48. Tiwari, A. K., Ghosh, P. and Sarkar, J. (2013). Performance comparison of the plate heat exchanger using different nanofluids, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 49(1), 141-151.

49. Onyiriuka, E., Ighodaro, O., Adelaja, A., Ewim, D. and Bhattacharyya, S. (2019). A numerical investigation of the heat transfer characteristics of water-based mango bark nanofluid flowing in a double-pipe heat exchanger, *Heliyon*, 5(9), 24.

50. Wang B.X., Zhou L.P. and Peng X.F. (2006). Surface and size effects on the specific heat capacity of nanoparticles, *International Journal of Thermophysics*, 27(1), 139-151.

51. Nguyen, C., Desgranges, F., Galanis, N., Roy, G., Mare, T. and Boucher, S. (2008). Viscosity data for Al_2O_3–water nanofluid—hysteresis:is heat transfer enhancement using nanofluids reliable? *International Journal of Thermal Science*, 47(2), 103–111.

52. Kumar, P. M., Kumar, J., Tamilarasan, R., Sendhilnathan, S. and Suresh, S. (2015). Review on nanofluids theoretical thermal conductivity models, *Engineering Journal*, 19(1), 67–83.

53. Bellos, E. and Tzivanidis, C. (2017). Parametric investigation of nanofluids utilization in parabolic trough collectors, *Thermal Science and Engineering Progress*, 2(1), 71–79.

54. Maxwell, J. C. (1954). *A treatise on electricity and magnetism second ed*., Oxford, UK, Clarendon Press, 552.

55. Gupta, M., Singh, V., Kumar, R. and Said, Z. (2017). A review on thermophysical properties of nanofluids and heat transfer applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,74(2), 638–670.

56. Huminic, G. and Huminic, A. (2018). Hybrid nanofluids for heat transfer applications–A state-of the art review, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 125(1), 82–103.

57. Sözen, A., Variyenli, H. İ., Özdemir, M. B., Gürü, M. and Aytaç, İ. (2016). Heat transfer enhancement using alumina and fly ash nanofluids in parallel and cross-flow concentric tube heat exchangers, *Journal of the Energy Institute*, 89(3), 414-424.

58. Chandrasekar, M., Suresh, S., Chandra B. A. (2010). Experimental investigations and theoretical determination of thermal conductivity and viscosity of Al_2O_3/water nanofluid, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 34(2), 210-216.

59. Chen, K., Wang, S., Song, M., and Chen, L. (2017). Structure optimization of parallel air-cooled battery thermal management system. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 111(4), 943–952.

60. 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(1), 909–916.

61. Nanografi Nanotechnology (2024) Zinc Iron Oxide, Nickel Iron Oxide, Cobalt Iron Oxide Technical Data *Nanopowder/Nanoparticles*, URL: http://nanografi.com/nanoparticles, Erişim Tarihi:15.12.2024



Gazili olmak ayrıcalıktır