

**HİBRİT VE ELEKTRİKLİ ARAÇ BATARYALARININ
SOĞUTULMASININ HESAPLAMALI OLARAK
ARAŞTIRILMASI**

Esra YALÇINSOY



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HİBRİT VE ELEKTRİKLİ ARAÇ BATARYALARININ SOĞUTULMASININ
HESAPLAMALI OLARAK ARAŞTIRILMASI**

Esra YALÇINSOY

Prof. Dr. Erhan PULAT
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2023
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Esra YALÇINSOY tarafından hazırlanan “HİBRİT VE ELEKTRİKLİ ARAÇ BATARYALARININ SOĞUTULMASININ HESAPLAMALI OLARAK ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Erhan PULAT

Başkan	:	Prof. Dr. Atakan AVCI 0000-0002-5985-2449 Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı	İmza
Üye	:	Prof. Dr. Erhan PULAT 0000-0003-2866-6093 Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı	İmza
Üye	:	Doç. Dr. Kemal Furkan SÖKMEN 0000-0001-8647-4861 Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı	İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali KARA
Enstitü Müdürü

.././.....

B.U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

22/06/2023

Esra YALÇINSOY

TEZ YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı takdirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü. Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

Danışman Adı-Soyadı
Tarih

Prof. Dr. Erhan PULAT

03.07.2023

Okudum anladım.

Öğrencinin Adı-Soyadı
Tarih

Esra YALÇINSOY

03.07.2023

Okudum anladım.

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum
anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum
anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HİBRİT VE ELEKTRİKLİ ARAÇ BATARYALARININ SOĞUTULMASININ HESAPLAMALI OLARAK ARAŞTIRILMASI

Esra YALÇINSOY

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Erhan PULAT

Artan emisyon oranı ve hava kirliliği nedeniyle elektrikli araçlara talep gün geçtikçe artmaktadır. Artan talepler neticesinde elektrikli araç ve elektrikli araçlara güç sağlayan bataryalar ile ilgili çalışmalarda artmaktadır. Elektrikli araçlarda en önemli konulardan birisi bataryaların etkin ve güvenli bir biçimde soğutulmasıdır. Soğutulmanın yeterli ve homojen şekilde yapılamaması durumunda bataryalarda aşırı ısınma, batarya hücrelerinde bozunma hatta bazen patlama gibi güvenlik problemi karşılanabilir.

Bu çalışmada da elektrikli ve hibrit araçlarda kullanılan Li-ion batarya paketi Ansys Fluent’de analizler 2 farklı giriş çıkış durumu için Standart k- ϵ scalable wall function türbülans modeli kullanılarak soğutulması incelenmiştir. Öncelikle giriş hızı sabit 6 m/s için incelenmiştir. Bu tez kapsamında pulsatile (titreşimli) akış durumunun sabit hızda uygulanan giriş hızı durumuna göre ısı transferine etkisi conjugate (iletim+taşıma) incelenmiştir. Analizler 3 boyutlu modellenerek akışkan olarak hava kullanılmıştır. Titreşimli akış durumu için akış sinüzoidal olarak tanımlanmıştır.

Bu iki durum için batarya ve akış hacmi içerisindeki havanın sıcaklık basınç ve hız dağılımları incelenerek batarya yüzeyindeki ortalama ısı transfer katsayılarına ait grafikler çizdirilmiştir.

Literatürde giriş akış hızının sinüzoidal akış kullanılarak verilmesi ve giriş hızının sabit hız kullanılması durumu karşılaştırılması ile alakalı çalışmalar bataryalarda fazla yapılmamıştır. Bu nedenle bu çalışmanın yenilikçi ve özgün bir şekilde literatüre kazandırılması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli araç batarya soğutma yöntemleri, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD), eşlenik ısı transferi, türbülanslı akış, ANSYS Fluent
2023, vii + 230 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

COMPUTATIONAL INVESTIGATION OF THE COOLING OF HYBRID AND ELECTRIC VEHICLE BATTERIES

Esra YALÇINSOY

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Erhan Pulat

Due to the increasing emission rate and air pollution, the demand for electric vehicles is increasing day by day. As a result of increasing demands, studies on electric vehicles and batteries that power electric vehicles are increasing. One of the most important issues in electric vehicles is the effective and safe cooling of the batteries. If the cooling is not done adequately and homogeneously, safety problems such as overheating of the batteries, deterioration of the battery cells and sometimes even explosions may be encountered.

In this study, the cooling of the Li-ion battery pack Ansys Fluent, which is used in electric and hybrid vehicles, was investigated using the Standard k - ϵ scalable wall function turbulence model for 2 different input and output situations. Firstly, the input velocity is investigated for a constant 6 m/s. Within the scope of this thesis, the effect of the pulsatile (vibrating) flow state on the heat transfer according to the inlet velocity applied at constant speed was investigated. The analyzes were modeled in 3D and air was used as the fluid. For the pulsating flow situation, the flow is defined as sinusoidal.

For these two cases, the temperature, pressure and velocity distributions of the air in the coil and flow volume were examined and graphs of the average heat transfer coefficients on the coil surface were drawn.

In the literature, studies related to the comparison of the inlet flow rate using sinusoidal flow and the inlet velocity using constant velocity have not been done much in batteries. For this reason, it is aimed to bring this study to the literature in an innovative and original way.

Key words: Electric vehicle battery cooling methods, computational fluid dynamics (HAD), conjugate heat transfer, turbulent flow, ANSYS Fluent
2023, vii + 230 pages.

TEŞEKKÜR

Tez alıőmam boyunca değerli zamanımı bilgi ve birikimini benimle paylaőarak bana yol gösteren ve destek olan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Erhan PULAT'a ve bu süreçte her zaman emeğini ve desteğini esirgemeyen Dr. Ebubekir BEYAZOğLU'na ve lisans eğitimimden bu sürece kadar olan eğitim hayatımda bana yol gösteren tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Hayatımın her alanında ve her kararımda yanımda oldukları gibi tez yazım süresi boyunca maddi ve manevi hep yanımda olan çok kıymetli annem Melek YALÇINSOY ve babam İsmail YALÇINSOY'a teşekkür ederim. Hayatımın en değerli parçaları olan ve desteklerini her daim bir an bile esirgemeyen kardeőlerime de teőekkürlerimi sunarım.

Esra YALÇINSOY
22/06/2023

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xx
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
2.1. Elektrikli Araçlar ve Tarihçesi	2
2.2. Elektrikli Araçların Dünyada ve Türkiye’deki Gelişimi.....	12
2.3. Elektrikli Araçların Çalışma Prensibi	20
2.4. Elektrikli Araç Üretiminin Tercih Sebepleri.....	22
2.5. Elektrikli Araçlarda Kullanılan Enerji Depolama Yöntemleri.....	23
2.5.1. Volan	24
2.5.2. Ultrakapasitörler.....	25
2.5.3. Bataryalar	25
2.6. Batarya Tarihi.....	27
2.7. Batarya Tipleri	29
2.7.1 Kurşun-Asit (Pb-Asit) Bataryalar	31
2.7.2 Nikel-Kadmiyum (Ni-Cd) Bataryalar	32
2.7.3 Nikel-Metal Hidrit (Ni-MH) Bataryalar	33
2.7.4 Lityum-Sülfür (Li-S) Bataryalar	34
2.7.5 Nikel Çinko Bataryalar	36
2.7.6 Sodyum Sülfür Bataryalar.....	36
2.7.7 Sodyum Metal Klorid (Zebra) Bataryalar	37
2.7.8 Lityum İyon Batarya	37
2.8. Lityum İyon Pillerin Çalışma Prensibi.....	38
2.9. Lityum İyon Batarya Parametreleri.....	39
2.9.1. Voltaj.....	39
2.9.2. Kapasite.....	40
2.9.3. Akım.....	40
2.9.4. Sarj	40
2.9.5. Deşarj	40
2.9.6. Çevrim Sayısı (Cycle).....	40
2.9.7. Depolama	41
2.9.8. Depolanan Enerji.....	41
2.9.9. Spesifik Enerji.....	41
2.9.10. Spesifik Güç	41
2.9.11. Enerji Verimliliği	41
2.9.12. DoD (Deşarj Derinliği)	41
2.9.13. Hafıza Etkisi.....	42
2.9.14. Kendi Kendine Boşalım Oranı (Self-Discharge)	42

2.10. Lityum İyon Batarya Optimum Çalışma Şartları ve Isıl Sürüklenme.....	42
2.11. Araç Çeşitleri ve Elektrikli Araçlarla Karşılaştırılması	43
2.11.1. İçten Yanmalı Motorlar.....	44
2.11.2. Tamamen Elektrikli Araçlar.....	45
2.11.3. Hibrit Elektrikli Araç Tipleri	47
2.12. Batarya Soğutma Yöntemleri.....	52
2.12.1. Sıvı Soğutmalı Sistem.....	54
2.12.2. Hava Soğutmalı ve Isıtılmalı Sistem.....	57
2.12.3 Isı Pompalı Sistem	58
2.12.4. Evaporatif Soğutma Sistemi.....	58
2.13. Literatürdeki Batarya Soğutma Çalışmaları.....	59
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	66
3.1. Hesaplama Akışkanlar Mekaniği Tarihi	66
3.2. HAD Akış Diyagramı	68
3.2.1. Problemin Tanımlanması	68
3.2.2. Ön İşlemler.....	69
3.2.3. Çözüm	69
3.2.4. Sonuçların Değerlendirilmesi.....	69
3.3. HAD Yazılımının Kullandığı Denklemler	70
3.4. Türbülans Modelleri ve Denklemler	71
3.4.1 Doğrudan Sayısal Similasyon (DNS).....	71
3.4.2. Reynolds Ortalamalı Navier Stokes Denklemleri (RANS).....	72
3.4.3. İki Denklemliler Modeller.....	73
3.5. Eşlenik (Conjugate) Isı Transferi	76
3.6. Darbeli (Pulsatile flow) Akışlar	77
3.7. Doğrulama İçin Ağdan Bağımsızlık Çalışmaları	79
3.8. Analiz Geometri Ölçüleri.....	107
3.8.1. Sınır Şartları	110
3.8.2. Tez Kapsamında İncelenen Geometri İçin Ağdan Bağımsızlık Çalışması	112
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	183
4.1. Durum 1 sabit hız için sonuçlar	183
4.2. Durum 1 sinüzoidal hız için sonuçlar.....	191
4.3. Durum 2 sabit hız için sonuçlar	203
4.4. Durum 2 sinüzoidal hız için sonuçlar.....	211
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	220
KAYNAKLAR	223
ÖZGEÇMİŞ	230

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler Açıklama

c_p	özgül ısı (J/kgK)
ϵ	Türbülans kinetik enerji yayılımı
$E_{giriş}$	Sisteme giren enerji
$E_{çıkış}$	Sistemden çıkan enerji
h	Isı transfer katsayısı
k	Isı iletim katsayısı
k	Türbülans kinetik enerji
t	Zaman (s)
ρ	Yoğunluk (kg/m ³)
Φ	Viskoz dağılım fonksiyonu
u	X yönündeki hız bileşeni
\bar{u}	Ortalama hız bileşeni
u'	Çalkantı bileşeni
v	Y yönündeki hız bileşeni
y^+	Cıdardan boyutsuz uzaklık
ν	Kinematik viskozite
w	Z yönündeki hız bileşeni
ω	Türbülans frekansı
q	Yerel ısı akısı
μ	Dinamik viskozite (kg/ms)
ρ	Yoğunluk (kg/m ³)
β	Standard k- ω türbülans modeli sabiti
μ_t	Türbülans viskozitesi
μ_{eff}	Efektif vizkozite
σ_k	Standard k- ω türbülans modeli sabiti
σ_ω	Standard k- ω türbülans modeli sabiti

Kısaltmalar Açıklama

CFD (HAD)	Hesaplamalı Akışkanlar Mekaniği
DNS	Doğrudan Sayısal Simulasyon (Direct Numerical Simulation)
HEA	Hibrit elektikli araçlar
HEV	Hibrit Elektrikli Araçlar
EA	Elektrikli araçlar
kWh	Enerji (kilowatt-saat)
kW	Güç (kilowatt)
İYM	İçten yanmalı motorlar
LES	Büyük Girdap Simulasyonu (Large Eddy Simulation)
Li-ion	Lityum-iyon
NiCd	Nikel kadmiyum
NiMH	Nikel metal hidrit
RANS	Reynolds Ortalamalı Navier Stokes Denklemler
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
Wh/kg	Özgül enerji (Enerji yoğunluğu)
Wh/m ³	Enerji yoğunluğu
Wh/L	Enerji yoğunluğu
W/m ³	Güç yoğunluğu

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Elektromote (Singh 2013).....	3
Şekil 2.2. New York'taki elektrikli taksi (Larminie ve Lowry 2003,..... Chan 2013)	4
Şekil 2.3. Elektrikli araç tarihçesi özeti (Tübitak, 2003)	5
Şekil 2.4. Citicar (Tubitak, 2003).....	12
Şekil 2.5. Genaral Motors EV1 (Tubitak, 2003).....	13
Şekil 2.6. Toyota Pirus (Tubitak, 2003).....	13
Şekil 2.7. Toyota RAV4 elektrikli araç (Tubitak, 2003)	14
Şekil 2.8. Nissan Leaf (Tubitak, 2003)	15
Şekil 2.9. Mitsubishi i-MiEV (Tubitak, 2003).....	15
Şekil 2.10. Ford Think City elektrikli araç (Tubitak, 2003).	16
Şekil 2.11. Nissan Hypermini elektrikli araç (Tubitak, 2003)	17
Şekil 2.12. Honda Insight elektrikli araç (Tubitak, 2003).....	18
Şekil 2.13. Honda Civic hibrid araç (Tubitak, 2003).....	18
Şekil 2.14. Tesla Model S (Tubitak, 2003)	19
Şekil 2.15. TOGG tarafından geliştirilen yerli araç (Tubitak, 2003).....	20
Şekil 2.16. Yakıt çeşitlerine göre tüketim ve karbon monoksit salınım değerleri(Eberhald ve Tarpenning 2006).....	23
Şekil 2.17. Volan (Kozak ve Kozak 2012)	24
Şekil 2.18. Batarya yönetim sistemi şeması (Batarya ve Yenilikçi Enerji Teknolojileri Çalışma Raporu 2020)	26
Şekil 2.19. Hücre tipleri	26
Şekil 2.20. a) Volta b) Daniell Pili.....	28
Şekil 2.21. Kurşun-asit pil şeması (Küçükdeveci, 2018).....	31
Şekil 2.22. Ni-Cd pil şeması (Küçükdeveci, 2018).....	32
Şekil 2.23. Ni-MH pil şeması (Küçükdeveci, 2018).....	34
Şekil 2.24. Li-S pilin yapısı (Küçükdeveci, 2018).....	35
Şekil 2.25. Lityum iyon pil hücre yapısı	39
Şekil 2.26. Bataryada hafıza etkisi.....	42
Şekil 2.27. Araç sınıflandırılması (Tie ve ark. 2013).....	43
Şekil 2.28. Elektrik motoru ve benzinli motorun karşılaştırılması (Ehsani ve ark 2018)	44
Şekil 2.29. Elektrikli araçların tırmanış durumu performans eğrisi (Ehsani ve ark 2018).....	45
Şekil 2.30. Tümü-EA şematik gösterimi (Tuncay ve Üstün 2005).....	46
Şekil 2.31. Tümü-EA'ya örnek iç yapı (UKIP 2014)	47
Şekil 2.32. HEA şematik gösterimi (UKIP 2009).....	48
Şekil 2.33. Örnek HEA iç yapısı	49
Şekil 2.34. Seri hibrit elektrikli araç modelinde güç aktarma sistemi	49
Şekil 2.35. Paralel hibrit elektrikli araç modelinde güç aktarma sistemi....	50
Şekil 2.36. Seri-paralel hibrit elektrikli araç modelinde güç aktarma sistemi.....	50
Şekil 2.37. Plug-In hibrit elektrikli araç modelinde güç aktarma	51

Şekil 2.38.	Batarya soğutma sistemleri	53
Şekil 2.39.	Batarya termal yönetim sistemlerinin akış tipine göre detaylı sınıflandırılması (Arora, 2018).....	53
Şekil 2.40.	Batarya termal yönetim sistemlerinin karşılaştırılması (Arora, 2018).....	54
Şekil 2.41.	Pasif sıvı soğutmalı sistem (Li ve Zhu 2014)	55
Şekil 2.42.	Aktif sıvı soğutmalı sistem (Li ve Zhu 2014).....	56
Şekil 2.43.	Direkt temaslı sıvı soğutmalı sistem (Li ve Zhu 2014).....	57
Şekil 2.44.	Hava soğutmalı sistem (Li ve Zhu 2014).....	57
Şekil 2.45.	Klima birleşik ısı pompası sistemi (Li ve Zhu 2014)	58
Şekil 2.46.	Evaporatif soğutma sistemi (Li ve Zhu 2014)	59
Şekil 3.1.	HAD akış diyagramı	68
Şekil 3.2.	Ortalama hız ve ortalama çalkantı terimlerinin gösterimi	72
Şekil 3.3.	Conjugate (taşınım + iletim) şematik gösterimi	77
Şekil 3.4.	Akış tiplerinin detaylıca gösterimi (Çarpınlioğlu ve Özahi 2012)	78
Şekil 3.5.	Dalga parametrelerinin gösterimi	79
Şekil 3.6.	Sony 18650 Li-ion pilin yapısı	80
Şekil 3.7.	Yazılıma girilen malzeme özellikleri.....	81
Şekil 3.8.	Sony 18650 Li-ion pilin ağ yapısı.....	82
Şekil 3.9.	Kaba, orta ve sık ağ yapısı için ağdan bağımsızlık grafiği	83
Şekil 3.10.	$T_0=25^{\circ}\text{C}$, 1C deşarj hızında gerçekleşen analiz sonucu dağılımı (a) ve $T_0=25^{\circ}\text{C}$, 1C deşarj hızında gerçekleşen analiz sonucu iç sıcaklık dağılımı (b).....	83
Şekil 3.11.	Taylan'ın çalışmasındaki FloEFD yazılımı ile elde edilen batarya yüzeyi sıcaklık dağılımı (a) Termal kamera ile ölçülen batarya yüzeyi sıcaklık dağılımı (b)	84
Şekil 3.12.	Çalışmanın daha önceki deneysel ve sayısal çalışmalarla karşılaştırılması.....	85
Şekil 3.13.	Kondjoyan ve Daudin (1995) referans geometrisi.....	86
Şekil 3.14.	Referans geometri için ağ yapısı.....	86
Şekil 3.15.	Silindir üzerinden akış için silindir etrafına uygulanan ağ yapısının detaylı görünümü	87
Şekil 3.16.	Silindir üzerinden akış için akış giriş ve çıkış bölgeleri	88
Şekil 3.17.	Standart k- ϵ scalable wall function kaba ağ yapısı iterasyon grafiği	89
Şekil 3.18.	Standart k- ϵ scalable wall function kaba ağ yapısındaki hız dağılımı.....	89
Şekil 3.19.	Standart k- ϵ scalable wall function orta ağ yapısı iterasyon grafiği	90
Şekil 3.20.	Standart k- ϵ scalable wall function orta ağ yapısındaki hız dağılımı.....	90
Şekil 3.21.	Standart k- ϵ scalable wall function sık ağ yapısı iterasyon grafiği	91
Şekil 3.22.	Standart k- ϵ scalable wall function sık ağ yapısındaki hız dağılımı.....	91

Şekil 3.23.	Standart k- ϵ scalable wall function kaba orta ve sık ağ yapısının referans çalışmadaki deneysel ve sayısal sonuçlarla karşılaştırılması	92
Şekil 3.24.	Relizable scalable wall function orta ağ yapısı iteasyon grafiği (1000 iterasyon için).....	93
Şekil 3.25.	Relizable scalable wall function orta ağ yapısındaki hız dağılımı (1000 iterasyon için).....	93
Şekil 3.26.	Relizable scalable wall function orta ağ yapısı iterasyon grafiği (2000 iterasyon için).....	94
Şekil 3.27.	Relizable scalable wall function orta ağ yapısındaki hız dağılımı (2000 iterasyon için).....	94
Şekil 3.28.	RNG scalable wall function orta ağ yapısı iterasyon grafiği (1000 iterasyon için).....	95
Şekil 3.29.	RNG scalable wall function orta ağ yapısındaki hız dağılımı (1000 iterasyon için).....	95
Şekil 3.30.	RNG scalable wall function orta ağ yapısı iterasyon grafiği (2000 iterasyon için).....	96
Şekil 3.31.	RNG Scalable wall function orta ağ yapısı hız dağılımı (2000 iterasyon için).....	96
Şekil 3.32.	Standart k- ϵ enhanced wall treatment orta ağ yapısı iterasyon grafiği	97
Şekil 3.33.	Standart k- ϵ Enhanced Wall Treatment orta ağ yapısındaki hız dağılımı.....	97
Şekil 3.34.	k- ϵ non-equilibrium orta ağ yapısı iterasyon grafiği.....	98
Şekil 3.35.	k- ϵ non-equilibrium orta ağ yapısındaki hız dağılımı	98
Şekil 3.36.	Standart k-w orta ağ yapısı iterasyon grafiği	99
Şekil 3.37.	Standart k-w orta ağ yapısındaki hız dağılımı	99
Şekil 3.38.	Sst k-w orta ağ yapısı iterasyon grafiği	100
Şekil 3.39.	Sst k-w orta ağ yapısındaki hız dağılımı.....	100
Şekil 3.40.	Bsl k-w orta ağ yapısı iterasyon grafiği	101
Şekil 3.41.	Bsl k-w orta ağ yapısındaki hız dağılımı	101
Şekil 3.42.	k-w türbülans modellerinde elde edilen sonuçların referans çalışmadaki deneysel ve sayısal sonuçlarla karşılaştırılması ...	102
Şekil 3.43.	k-w low-Re correction türbülans modellerinde elde edilen sonuçların referans çalışmadaki deneysel ve sayısal sonuçlarla karşılaştırılması.....	102
Şekil 3.44.	Tüm türbülans modellerinde elde edilen sonuçların referans çalışmadaki deneysel ve sayısal sonuçlarla karşılaştırılması ...	103
Şekil 3.45.	Referans geometri üzerinde y^+ değerinin hesaplandığı bölgenin şematik gösterimi.....	104
Şekil 3.46.	Standart k- ϵ scalable wall function y^+ grafikleri	104
Şekil 3.47.	Standart k- ϵ scalable wall function orta ağ yapısındaki y^+ grafiği	105
Şekil 3.48.	Standart k- ϵ scalable wall function orta ağ yapısındaki kayma gerilmesi grafiği.....	106
Şekil 3.49.	Standart k-e türbülans modellerindeki orta ağ yapısında kayma gerilmeleri grafiği.....	107
Şekil 3.50.	Durum bir için akışkan giriş çıkış bölgeleri.....	108

Şekil 3.51.	Durum iki için akışkan giriş çıkış bölgeleri.....	108
Şekil 3.52.	Durum bir için geometri ölçüleri	109
Şekil 3.53.	Durum iki için geometri ölçüleri	110
Şekil 3.54.	k- ϵ türbülans modeli y^+ plus değerleri	112
Şekil 3.55.	Durum bir ve iki için ağ yapısı	114
Şekil 3.56.	Akış hacmi içerdeki ağ yapısının gösterimi için A-A kesiti.....	115
Şekil 3.57.	Akış hacmi içerisindeki ağ yapısı	115
Şekil 3.58.	Ağ yapısının yakın görüntüsü	116
Şekil 3.59.	Durum bir kaba ağ için iterasyon grafiği (2000 iterasyon için)	117
Şekil 3.60.	Durum bir kaba ağ için bataryanın içerisindeki ve yüzeyindeki ortalama sıcaklık grafiği	117
Şekil 3.61.	Durum bir kaba ağ için batarya yüzeyindeki lokal sıcaklık dağılımı.....	118
Şekil 3.62.	Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı	118
Şekil 3.63.	Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	119
Şekil 3.64.	Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı	119
Şekil 3.65.	Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	120
Şekil 3.66.	Durum bir kaba ağ için batarya yüzeyindeki global sıcaklık dağılımı.....	120
Şekil 3.67.	Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı	121
Şekil 3.68.	Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	121
Şekil 3.69.	Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı	122
Şekil 3.70.	Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	122
Şekil 3.71.	Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki hız dağılımı	123
Şekil 3.72.	Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki hız dağılımı	123
Şekil 3.73.	Durum bir kaba ağ için iterasyon grafiği (4000 iterasyon için).....	124
Şekil 3.74.	Durum bir kaba ağ için bataryanın içerisindeki ve yüzeyindeki ortalama sıcaklık grafiği	124
Şekil 3.75.	Durum bir kaba ağ için batarya yüzeyindeki lokal sıcaklık dağılımı.....	125
Şekil 3.76.	Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı	125
Şekil 3.77.	Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	126
Şekil 3.78.	Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı	126
Şekil 3.79.	Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	127

Şekil 3.80.	Durum bir kaba ağ için batarya yüzeyindeki global sıcaklık dağılımı.....	127
Şekil 3.81.	Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı	128
Şekil 3.82.	Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	128
Şekil 3.83.	Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı	129
Şekil 3.84.	Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (tansparan görünüm).....	129
Şekil 3.85.	Durum bir için modül içerisindeki hız dağılımı.....	130
Şekil 3.86.	Durum bir için modül içerisindeki hız dağılımı.....	130
Şekil 3.87.	Durum bir kaba ağ için iterasyon grafiği (6000 iterasyon için).....	131
Şekil 3.88.	Durum bir kaba ağ için bataryanın içerisindeki ve yüzeyindeki ortalama sıcaklık grafiği	131
Şekil 3.89.	Durum bir kaba ağ için batarya yüzeyindeki lokal sıcaklık dağılımı.....	132
Şekil 3.90.	Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı	132
Şekil 3.91.	Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	133
Şekil 3.92.	Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı	133
Şekil 3.93.	Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	134
Şekil 3.94.	Durum bir kaba ağ için batarya yüzeyindeki global sıcaklık dağılımı.....	134
Şekil 3.95.	Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı	135
Şekil 3.96.	Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	135
Şekil 3.97.	Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı	136
Şekil 3.98.	Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	136
Şekil 3.99.	Durum bir için modül içerisindeki hız dağılımı	137
Şekil 3.100.	Durum bir için modül içerisindeki hız dağılımı	137
Şekil 3.101.	Durum bir orta ağ için iterasyon grafiği (2000 iterasyon için)	138
Şekil 3.102.	Durum bir orta ağ için bataryanın içerisindeki ve yüzeyindeki ortalama sıcaklık grafiği	138
Şekil 3.103.	Durum bir orta ağ için batarya yüzeyindeki lokal sıcaklık dağılımı.....	139
Şekil 3.104.	Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı	139
Şekil 3.105.	Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	140

Şekil 3.106.	Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı	140
Şekil 3.107.	Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	141
Şekil 3.108.	Durum bir orta ağ için batarya yüzeyindeki global sıcaklık dağılımı.....	141
Şekil 3.109.	Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı	142
Şekil 3.110.	Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	142
Şekil 3.111.	Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı	143
Şekil 3.112.	Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	143
Şekil 3.113.	Durum bir için modül içerisindeki hız dağılımı	144
Şekil 3.114.	Durum bir için modül içerisindeki hız dağılımı	144
Şekil 3.115.	Durum bir orta ağ için iterasyon grafiği (4000 iterasyon için)	145
Şekil 3.116.	Durum bir orta ağ için bataryanın içerisindeki ve yüzeyindeki ortalama sıcaklık grafiği	145
Şekil 3.117.	Durum bir orta ağ için batarya yüzeyindeki lokal sıcaklık dağılımı.....	146
Şekil 3.118.	Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı	146
Şekil 3.119.	Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	147
Şekil 3.120.	Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı	147
Şekil 3.121.	Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	148
Şekil 3.122.	Durum bir orta ağ için batarya yüzeyindeki global sıcaklık dağılımı.....	148
Şekil 3.123.	Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı	149
Şekil 3.124.	Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	149
Şekil 3.125.	Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı	150
Şekil 3.126.	Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	150
Şekil 3.127.	Durum bir için modül içerisindeki hız dağılımı	151
Şekil 3.128.	Durum bir için modül içerisindeki hız dağılımı	151
Şekil 3.129.	Durum bir orta ağ için iterasyon grafiği (6000 iterasyon için)	152
Şekil 3.130.	Durum bir orta ağ için bataryanın içerisindeki ve yüzeyindeki ortalama sıcaklık grafiği	152
Şekil 3.131.	Durum bir orta ağ için batarya yüzeyindeki lokal sıcaklık dağılımı.....	153
Şekil 3.132.	Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı.....	153

Şekil 3.133.	Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	154
Şekil 3.134.	Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı	154
Şekil 3.135.	Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	155
Şekil 3.136.	Durum bir orta ağ için batarya yüzeyindeki global sıcaklık dağılımı 155	
Şekil 3.137.	Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı	156
Şekil 3.138.	Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	156
Şekil 3.139.	Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	157
Şekil 3.140.	Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı	157
Şekil 3.141.	Durum bir için modül içerisindeki hız dağılımı	158
Şekil 3.142.	Durum bir için modül içerisindeki hız dağılımı	158
Şekil 3.143.	Durum bir sık ağ için iterasyon grafiği (2000 iterasyon için) ..	159
Şekil 3.144.	Durum bir sık ağ için bataryanın içerisindeki ve yüzeyindeki ortalama sıcaklık grafiği	159
Şekil 3.145.	Durum bir sık ağ için batarya yüzeyindeki lokal sıcaklık dağılımı 160	
Şekil 3.146.	Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı.....	160
Şekil 3.147.	Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	161
Şekil 3.148.	Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı.....	161
Şekil 3.149.	Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	162
Şekil 3.150.	Durum bir sık ağ için batarya yüzeyindeki global sıcaklık dağılımı.....	162
Şekil 3.151.	Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı.....	163
Şekil 3.152.	Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	163
Şekil 3.153.	Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı.....	164
Şekil 3.154.	Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	164
Şekil 3.155.	Durum bir için modül içerisindeki hız dağılımı	165
Şekil 3.156.	Durum bir için modül içerisindeki hız dağılımı	165
Şekil 3.157.	Durum bir sık ağ için iterasyon grafiği (4000 iterasyon için) ..	166
Şekil 3.158.	Durum bir sık ağ için bataryanın içerisindeki ve yüzeyindeki ortalama sıcaklık grafiği	166
Şekil 3.159.	Durum bir sık ağ için batarya yüzeyindeki lokal sıcaklık dağılımı.....	167

Şekil 3.160.	Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı.....	167
Şekil 3.161.	Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	168
Şekil 3.162.	Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı.....	168
Şekil 3.163.	Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	169
Şekil 3.164.	Durum bir sık ağ için batarya yüzeyindeki global sıcaklık dağılımı.....	169
Şekil 3.165.	Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı.....	170
Şekil 3.166.	Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	170
Şekil 3.167.	Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı.....	171
Şekil 3.168.	Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	171
Şekil 3.169.	Durum bir için modül içerisindeki hız dağılımı	172
Şekil 3.170.	Durum bir için modül içerisindeki hız dağılımı	172
Şekil 3.171.	Durum bir sık ağ için iterasyon grafiği (6000 iterasyon için) ..	173
Şekil 3.172.	Durum bir sık ağ için bataryanın içerisindeki ve yüzeyindeki ortalama sıcaklık grafiği	173
Şekil 3.173.	Durum bir sık ağ için batarya yüzeyindeki lokal sıcaklık dağılımı.....	174
Şekil 3.174.	Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı.....	174
Şekil 3.175.	Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	175
Şekil 3.176.	Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı.....	175
Şekil 3.177.	Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	176
Şekil 3.178.	Durum bir sık ağ için batarya yüzeyindeki global sıcaklık dağılımı.....	176
Şekil 3.179.	Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı.....	177
Şekil 3.180.	Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	177
Şekil 3.181.	Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı.....	178
Şekil 3.182.	Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm).....	178
Şekil 3.183.	Durum bir için modül içerisindeki hız dağılımı	179
Şekil 3.184.	Durum bir için modül içerisindeki hız dağılımı	179
Şekil 3.185.	Kaba ağ yapısındaki batarya yüzey sıcaklık dağılımları (a) lokal (b) global	180

Şekil 3.186.	Orta ağ yapısındaki batarya yüzey sıcaklık dağılımları (a) lokal (b) global	180
Şekil 3.187.	Sık ağ yapısındaki batarya yüzey sıcaklık dağılımları (a) lokal (b) global	181
Şekil 3.188.	Akış hacmi içerisindeki sıcaklığın çizdirilebilmesi için kullanılan çizgi	181
Şekil 3.189.	Akış hacmi içerisindeki sıcaklığın kaba, orta ve sık ağda elde edilen sonuçları.....	182
Şekil 4.1.	Durum bir için akışkan giriş çıkış bölgesinin şematik gösterimi	183
Şekil 4.2.	Durum bir sabit hız için iterasyon grafiği (6000 iterasyon için)	184
Şekil 4.3.	Durum bir sabit hız için bataryanın içerisindeki ve yüzeyindeki ortalama sıcaklık grafiği	184
Şekil 4.4.	Sabit hız 6 m/s hız için batarya yüzey sıcaklık dağılımları (a) lokal (b) global	185
Şekil 4.5.	Sabit hız 6 m/s hız için modül içerisindeki akışkanın sıcaklık dağılımı (a) lokal (b) global.....	185
Şekil 4.6.	Sabit hız 6 m/s hız için modül içerisindeki akışkanın sıcaklık dağılımının giriş tarafından gösterimi (a) lokal (b) global (transparan görünüm)	185
Şekil 4.7.	Sabit hız 6 m/s hız için modül içerisindeki akışkanın sıcaklık dağılımının çıkış tarafından gösterimi (a) lokal (b) global.....	186
Şekil 4.8.	Sabit hız 6 m/s hız için modül içerisindeki akışkanın sıcaklık dağılımının çıkış tarafından gösterimi (a) lokal (b) global (transparan görünüm)	186
Şekil 4.9.	Sabit hız 6 m/s hız için türbülans kinetik enerji	186
Şekil 4.10.	Sabit hız 6 m/s modül içerisindeki hız dağılımı	187
Şekil 4.11.	Sabit hız 6 m/s hız için modül içerisindeki basınç dağılımının giriş tarafından gösterimi (a) lokal (b) global.....	187
Şekil 4.12.	Sabit hız 6 m/s hız için modül içerisindeki basınç dağılımının çıkış tarafından gösterimi (a) lokal (b) global	187
Şekil 4.13.	Batarya içerisindeki yüzey dağılımını elde edebilmek için kesit alınan bölgeler	188
Şekil 4.14.	$z = 120$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm)	188
Şekil 4.15.	$z = 100$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm)	189
Şekil 4.16.	$z = 80$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm)	189
Şekil 4.17.	$z = 60$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm)	190
Şekil 4.18.	$z = 40$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm)	190
Şekil 4.19.	$z = 20$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm)	191
Şekil 4.20.	Batarya yüzeyindeki ortalama ısı transfer katsayısı	191
Şekil 4.21.	Durum bir ve iki için giriş hızı olarak verilen sinüsoidal hız profili	192
Şekil 4.22.	Durum bir sinüzoidal hız için iterasyon grafiği.....	193

Şekil 4.23.	Durum bir sinüzoidal hız için bataryanın içerisindeki ve yüzeyindeki ortalama sıcaklık grafiği	193
Şekil 4.24.	Sinüzoidal giriş hızı için batarya yüzey sıcaklık dağılımları (a) lokal (b) global 2700.sn	194
Şekil 4.25.	Sinüzoidal giriş hızı için modül içerisindeki akışkanın sıcaklık dağılımı (a) lokal (b) global 2700.sn	194
Şekil 4.26.	Sinüzoidal giriş hızı için modül içerisindeki akışkanın sıcaklık dağılımının giriş tarafından gösterimi (a) lokal (b) global (transparan görünüm) 2700.sn	194
Şekil 4.27.	Sinüzoidal giriş hızı için modül içerisindeki akışkanın sıcaklık dağılımının çıkış tarafından gösterimi (a) lokal (b) global 2700.sn	195
Şekil 4.28.	Sinüzoidal giriş hızı için modül içerisindeki akışkanın sıcaklık dağılımının çıkış tarafından gösterimi (a) lokal (b) global (transparan görünüm) 2700.sn	195
Şekil 4.29.	Sinüzoidal giriş hızı için türbülans kinetik enerji 2700.sn	195
Şekil 4.30.	Sinüzoidal giriş hızı için hız dağılımı 2700.sn	196
Şekil 4.31.	Sinüzoidal giriş hızı için modül içerisindeki basınç dağılımının giriş tarafından gösterimi (a) lokal (b) global 2700.sn	196
Şekil 4.32.	Sinüzoidal giriş hızı için modül içerisindeki basınç dağılımının çıkış tarafından gösterimi (a) lokal (b) global 2700.sn	196
Şekil 4.33.	Batarya yüzeyinde meydana gelen sıcaklıklar (a) 200.saniye (b) 600.saniye (c) 1000.saniye (d) 1400.saniye (e) 1800.saniye (f) 2200.saniye (g) 2600.saniye (h) 2700.saniye	198
Şekil 4.34.	$z = 120$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm) 2700.sn	198
Şekil 4.35.	$z = 100$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm) 2700.sn	199
Şekil 4.36.	$z = 80$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm) 2700.sn	199
Şekil 4.37.	$z = 60$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm) 2700.sn	200
Şekil 4.38.	$z = 40$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm) 2700.sn	200
Şekil 4.39.	$z = 20$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm) 2700.sn	201
Şekil 4.40.	Batarya yüzeyindeki ortalama ısı transfer katsayısı	201
Şekil 4.41.	$z = 120$ mm için batarya yüzeyindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm) (a) 200.saniye (b) 600.saniye (c) 1000.saniye (d) 1400.saniye (e) 1800.saniye (f) 2200.saniye (g) 2600.saniye (h) 2700.saniye	202
Şekil 4.42.	Durum iki için akışkan giriş çıkış bölgesinin şematik gösterimi	203
Şekil 4.43.	Durum iki sabit hız için iterasyon grafiği	203
Şekil 4.44.	Durum iki sabit hız için bataryanın içerisindeki ve yüzeyindeki ortalama sıcaklık grafiği	204
Şekil 4.45.	Sabit hız 6 m/s hız için batarya yüzey sıcaklık dağılımları (a) lokal (b) global	204

Şekil 4.46.	Sabit hız 6 m/s hız için modül içerisindeki akışkanın sıcaklık dağılımı (a) lokal (b) global.....	205
Şekil 4.47.	Sabit hız 6 m/s hız için modül içerisindeki akışkanın sıcaklık dağılımının giriş tarafından gösterimi (a) lokal (b) global (transparan görünüm)	205
Şekil 4.48.	Sabit hız 6 m/s hız için modül içerisindeki akışkanın sıcaklık dağılımının çıkış tarafından gösterimi (a) lokal (b) global.....	205
Şekil 4.49.	Sabit hız 6 m/s hız için modül içerisindeki akışkanın sıcaklık dağılımının çıkış tarafından gösterimi (a) lokal (b) global (transparan görünüm)	206
Şekil 4.50.	Sabit hız 6 m/s hız için türbülans kinetik enerjisi	206
Şekil 4.51.	Sabit hız 6 m/s modül içerisindeki hız dağılımı	206
Şekil 4.52.	Sabit hız 6 m/s hız için modül içerisindeki basınç dağılımının giriş ve çıkış tarafından gösterimi	207
Şekil 4.53.	$z = 120$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm)	207
Şekil 4.54.	$z = 100$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm)	208
Şekil 4.55.	$z = 80$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm)	208
Şekil 4.56.	$z = 60$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm)	209
Şekil 4.57.	$z = 40$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm)	209
Şekil 4.58.	$z = 20$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm)	210
Şekil 4.59.	Batarya yüzeyindeki ortalama ısı transfer katsayısı	210
Şekil 4.60.	Sinüzoidal giriş hızı için batarya yüzey sıcaklık dağılımları (a) lokal (b) global 2700.sn	211
Şekil 4.61.	Durum iki sinüzoidal hız için iterasyon grafiği.....	211
Şekil 4.62.	Durum iki sinüzoidal hız için bataryanın içerisindeki ve yüzeyindeki ortalama sıcaklık grafiği	212
Şekil 4.63.	Sinüzoidal giriş hızı için modül içerisindeki akışkanın sıcaklık dağılımı (a) lokal (b) global 2700.sn	212
Şekil 4.64.	Sinüzoidal giriş hızı için modül içerisindeki akışkanın sıcaklık dağılımının giriş tarafından gösterimi (a) lokal (b) global (transparan görünüm) 2700.sn.....	213
Şekil 4.65.	Sinüzoidal giriş hızı için modül içerisindeki akışkanın sıcaklık dağılımının çıkış tarafından gösterimi (a) lokal (b) global 2700.sn.....	213
Şekil 4.66.	Sinüzoidal giriş hızı için modül içerisindeki akışkanın sıcaklık dağılımının çıkış tarafından gösterimi (a) lokal (b) global (transparan görünüm) 2700.sn.....	213
Şekil 4.67.	Sinüzoidal giriş hızı için türbülans kinetik enerjisi 2700.sn	214
Şekil 4.68.	Sinüzoidal giriş hızı için hız dağılımı 2700.sn	214
Şekil 4.69.	Sinüzoidal giriş hızı için modül içerisindeki basınç dağılımının giriş ve çıkış tarafından gösterimi	214

Şekil 4.70.	Batarya yüzeyinde meydana gelen sıcaklıklar (a) 200.saniye (b) 600.saniye (c) 1000.saniye (d) 1400.saniye (e) 1800.saniye (f) 2200.saniye (g) 2600.saniye (h) 2700.saniye	216
Şekil 4.71.	$z = 120$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm) 2700.sn.....	216
Şekil 4.72.	$z = 100$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm) 2700.sn.....	217
Şekil 4.73.	$z = 80$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm) 2700.sn.....	217
Şekil 4.74.	$z = 60$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm) 2700.sn.....	218
Şekil 4.75.	$z = 40$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm) 2700.sn.....	218
Şekil 4.76.	$z = 20$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm) 2700.sn.....	219
Şekil 4.77.	Batarya yüzeyindeki ortalama ısı transfer katsayısı	219
Şekil 4.78.	$z = 80$ mm için batarya yüzeyindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm) (a) 200.saniye (b) 600.saniye (c) 1000.saniye (d) 1400.saniye (e) 1800.saniye (f) 2200.saniye (g) 2600.saniye (h) 2700.saniye	220
Şekil 4.79.	Durum bir sabit ve pulsatile hız profiline kıyaslanması	223
Şekil 4.80.	Durum iki sabit ve pulsatile hız profiline kıyaslanması	224
Şekil 4.81.	Durum bir pulsatile hız profili batarya yüzey sıcaklığının zamana bağlı incelenmesi	224
Şekil 4.82.	Durum iki pulsatile hız profili batarya yüzey sıcaklığının zamana bağlı incelenmesi	225
Şekil 4.83.	İncelenen durumlar için ısı transfer katsayıları.....	225

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. İlk elektrikli araç gelişmeleri (Ünlü ve ark. 2003, Sayın ve Yüksel 2011, Chan 2013 ve Singh 2013)	2
Çizelge 2.2. EA'lar ve özellikleri (Ünlü ve ark. 2003).....	6
Çizelge 2.3. Türkiye'de Trafikteki Motorlu Araçların Yakıt Türlerine Göre Dağılımı (ODD Türkiye pazarı raporundan derleme (Mayıs 2018.).....	8
Çizelge 2.4. EV1 elektrikli aracın özellikleri (Tubitak, 2003)	12
Çizelge 2.5. Toyota RAV 4 EV elektrikli aracın özellikleri (Tubitak, 2003)	14
Çizelge 2.6. Nissan Hypermini elektrikli aracın özellikleri (Tubitak, 2003)	16
Çizelge 2.7. Honda Insight hibrit elektrikli araç modelinin özellikleri (Tubitak, 2003)	17
Çizelge 2.8. Enerji Depolama Yöntemleri.....	23
Çizelge 2.9. Taşınabilir pillerin gruplandırılması.....	29
Çizelge 2.10. Pil çeşitleri	30
Çizelge 2.11. Kurşun asit bataryaların avantaj ve dezavantajları	31
Çizelge 2.12. Nikel kadmiyum bataryaların avantaj ve dezavantajları ...	33
Çizelge 2.13. Nikel-metal hidrit batayaların avantaj ve dezavantajları.....	34
Çizelge 2.14. Lityum-sülfür batayaların avantaj ve dezavantajları.....	35
Çizelge 2.15. Nikel-çinko bataryaların avantaj ve dezavantajları	36
Çizelge 2.16. Sodyum-sülfür bataryaların avantaj ve dezavantajları	36
Çizelge 2.17. Zebra bataryaların avantaj ve dezavantajları	37
Çizelge 2.18. Lityum iyon bataryanın avantaj ve dezavantajları (Linden ve Reddy 2002)	38
Çizelge 2.19. Hibrit elektrikli araçların karşılaştırılması (Ünlü ve ark 2003)	52
Çizelge 2.20. Soğutucu sıvı akışkanların sınıflandırılması	52
Çizelge 2.21. Sıvı soğutmalı sistem kullanılmasının avantajları ve dezavantajları	55
Çizelge 3.1. HAD Tarihi.....	66
Çizelge 3.2. Denklem sayısına göre türbülans modelleri	73
Çizelge 3.3. Doğrulama geometrisi için kullanılan sınır şartları (iletim için)	80
Çizelge 3.4. Doğrulama geometrisinde kullanılan bataryanın malzeme özellikleri	81
Çizelge 3.5. Doğrulama geometrisi için kaba, orta ve sık ağ sayıları (iletim için)	82
Çizelge 3.6. Doğrulama geometrisi için kaba, orta ve sık ağ sayıları (taşınım için)	87
Çizelge 3.7. Doğrulama geometrisi için kullanılan akışkanın termofiziksel özellikleri (taşınım için).....	88
Çizelge 3.8. Standart k- ϵ scalable wall function y^+ değerleri.....	105
Çizelge 3.9. k- ϵ türbülans modelleri orta ağ için y^+ değerleri	107
Çizelge 3.10. Analizlerde kullanılan batarya ölçüleri.....	110
Çizelge 3.11. Analizlerde kullanılan sınır koşulları	111

Çizelge 3.12.	Analizlerde kullanılan akışkan özellikleri	111
Çizelge 3.13.	Analizlerde kullanılan batarya malzeme özellikleri	111
Çizelge 3.14.	Kaba, orta ve sık ağ sayıları	113
Çizelge 3.15.	Ağ eleman kalitesi değerlendirme kriterleri	113

1. GİRİŞ

Fosil yakıtlı otomobillere erişimin kolaylığı insanların yaşamsal faaliyetlerini etkileyecek boyutta hava kirliliğine sebep olmaktadır. Fosil yakıtların da tükenebilir enerji sınıfında olmasından dolayı maliyeti de oldukça fazladır. Bu gibi sebeplerden dolayı elektrikli motorlara sahip araçların kullanımı tercih sebebi olmaya başlamıştır. Elektrikli araçların çevre için sağladığı en önemli fayda hava kirliliğinin azalmasıdır. Bununla birlikte benzin ve mazotlu araçlara kıyasla düşük maliyet de sağlamaktadır. Ancak bununla birlikte elektrikli araçlarda bataryanın ısı yönetiminin etkili bir şekilde yapılması oldukça önemlidir.

Literatürde silindirik batarya hücresi ile yapılmış olan analiz çalışmaları sınırlıdır. Batarya soğutma analizleri akışkan olarak hava ve akış rejimi olarak türbülanslı akış incelenerek gerçekleştirilmiştir. Bu tez çalışmasında ticari yazılım olarak Ansys Fluent kullanılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Elektrikli Araçlar ve Tarihçesi

İçten yanmalı motorlardan farklı olarak elektrik motorundan güç sağlayan taşıtlara elektrikli araç adı verilir. Bu araçlarda elektrik motorları batarya ve piller vasıtasıyla çalışır.

1769 ilk buharlı taşıt Cugnot tarafından Fransa'da üretilmiştir. 1990'lü yıllarda Henry Ford'un seri üretim nedeniyle maliyetlerin düşmesi ile Amerika Birleşik Devletleri'nde otomotiv endüstrisi gelişmeye başlamıştır. 1960 yılında Toyota firması öncülüğünde Yalın üretime geçiş ile otomotiv sanayinde dönüm noktası olmuştur. Bu sistem sayesinde kaliteli daha az maliyetle kaliteli uygun fiyatla otomobiller üretilmektedir. (Freeman ve Soete, 2004).

Elektrikli araçların tarihçesi ise sanıldandan daha eskiye dayanmaktadır. İlk elektrikli araç gelişmeleri Çizelge 2.1'de aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. İlk elektrikli araç gelişmeleri (Ünlü ve ark. 2003, Sayın ve Yüksel 2011, Chan 2013 ve Singh 2013)

GELİŞTİREN KİŞİ VEYA KURUM	GELİŞTİRİLEN ARAÇ	YIL
Profesör Stratingh	İlk elektrikli araç	1835
Robert Davidson	Elektrikli lokomotif (6,4 km/h)	1838
	Kurşun-asit bataryalar	1859
Siemens	Dünyanın Elektromote isimli ilk elektrikli trolleybüsü	1882
Karl Benz	Motorwagen (3 tekerlekli)	1886
Londra Elektrikli Taksi Şirketi	Elektrikli Taksi	1897

Elektromote Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Elektromote (Singh 2013)

1901’de elektrikli araçlar elektrikli taksi olarak kullanmaya başlanmıştır (Larminie ve Lowry 2003). New York’taki elektrikli taksi Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2. New York'taki elektrikli taksi (Larminie ve Lowry 2003, Chan 2013)

Çizelge 2.1. İlk elektrikli araç gelişmeleri (Ünlü ve ark. 2003, Tuncay ve Üstün. 2012) (devam)

GELİŞTİREN KİŞİ VEYA KURUM	GELİŞTİRİLEN ARAÇ	YIL
French	Electroautomobile (ilk hibrit araç)	1903
French	Krieger adında (ilk hibrit araç)	1903
Ferdinand Porsche	Mixt Wagen (deneysel hibrit araç)	1903
Woods	Paralel hibrit elektrikli araç	1916

Elektrikli araçların en önemli dönüm noktaları Şekil 2.3.'de Elektrikli araç tarihçesi özetlenerek gösterilmiştir.

EA'ların tarihçesindeki dönüm noktaları :

1800	Volta primer hücre ve bataryayı geliştirdi.
1821	Faraday elektrik motorunun temel prensibini ortaya koydu.
1834	Davenport primer bataryalı ilk elektrikli yol aracının uygulamasını yaptı.
1859	Plante sekonder hücre ve bataryayı geliştirdi.
1869	Gramme 1 BG' den daha fazla ilk DC elektrik motorunu yaptı.
1881	Trouve sekonder bataryalı ilk elektrikli aracı yaptı.
1885	Benz ilk İYM'lu aracın uygulamasını gerçekleştirdi.
1887-98	Avrupa'da ve Amerika'da kullanılan EA'ların menzili geliştirildi.
1899	Jenatzy 105.9 km/saat ile dünya hız rekorunu kırmış ve bu rekoru 3 yıl elinde tutmuştur.
1900	Eşit sayıdaki buharlı, elektrikli ve benzinli araçlar birbirleriyle yarıştı.
1900-12	EA'ların altın dönemi yaşandı.
1921-60	Benzin motorlu araçlar tamamen yaygınlaşmaya EA'lar ise yok olmaya başladı.
1960-90	EA'lar çok az sayıda da olsa tekrar görünmeye başladı.
1990	Yeni batarya teknolojileri ile artan sayıda elektrikli araç görülmeye başladı.

Şekil 2.3. Elektrikli araç tarihçesi özeti (Tübitak, 2003)

1920-1960 yılları arasında elektrikli araçlara olan ilgi azalıp içten yanmalı motorlara olan ilgi artmasının sebepleri aşağıda maddeler halinde belirtilmektedir. (Ünlü ve ark. 2003, Sayın ve Yüksel. 2011).

- Amerika'daki yolların düzeltilmesi ve buna bağlı olarak uzun menzilli araç talebi
- Teksas'ta petrolün bulunmasına bağlı olarak bezin fiyatlarında düşüş
- 1912 yılında marş motorunun Charles Kettering'in tarafından icat edilmesi
- İçten yanmalı motorların Henry Ford tarafından seri olarak üretilmeye başlaması ve buna bağlı olarak maliyetin düşmesi. 1912 yılında elektrikli araçların satış fiyatı 1,750\$ Benzinli araçlar ise 650\$ idi.

Yukarıda sayılan özelliklerden dolayı elektrikli araçlar 1935 yıllarında hiç piyasada yoktu ve 1960'lı yıllara kadar da geliştirilmesine yönelik hiçbir çalışma yapılmamıştır. (Sayın ve Yüksel. 2011).

İçten yanmalı motorların hava kirliliğine sebep olduğu anlaşıldığında hava kirliliğini önlemek için EA'ları üretmeye başlamıştır. Ayca 1970'li yıllarda meydana gelen petrol krizi ile 1960'lı yıllarda Amerika, İngiltere, Almanya, Fransa, İtalya ve Japonya gibi ülkelerin elektrikli araçlara ilgisi artmıştır. (Leitman ve Brant. 2008, Ünlü ve ark. 2003).

1980'li yıllarda EA'ların çevre dostu olmaları nedeniyle bu araçlarla da ilgilenilmeye başlanması ile 1990'dan sonra yeni gelişen batarya teknolojileri ile birçok araç firması; Ford-Think City, Nissan-Altra EV ve Peugeot 106-Electric gibi EA modellerini geliştirmeye başlamıştır (Ünlü ve ark. 2003). Bu araçlardan bazıları ve özellikleri Çizelge 2.2.'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. EA'lar ve özellikleri (Ünlü ve ark. 2003)

Üretici	Citroen	Daihatsu	Ford	GM	GM
Model İsmi	AX/Saxo Electrique	Hijet EV	Think City	EV1	EV1
Tahrik Tipi	DC Motor	SM Senkron	3 Fazlı Asenkron	3 Fazlı Asenkron	SM Senkron
Batarya Tipi	NiCd		NiCd	Pb-Asit	NiMH
Güç (kW)	20		27	102	102
Gerilim (V)	120		114	312	343
Batarya Enerji Kapasitesi	12		11.5	16.2	26.4
Şarj Konnektörü			İletken	Endüktif	Endüktif
Hız (km/h)	91	100	90	129	129
Menzil (km)	80	100	85	95	130
Şarj Süresi(saat)	7	7	5-8	6	6
Satış Fiyatı (\$)		23 990 \$			

Çizelge 2. 2. EA'lar ve özellikleri (devam)

Üretici	Honda	Nissan	Nissan	Peugeot	Renault
Model İsmi	EV Plus	Hypermini	Altra EV	106 Electric	Clio Electric
Tahrik Tipi	SM Senkron	SM Senkron	SM Senkron	DC Motor	AC Senkron
Batarya Tipi	NiMH	Li-İyon	Li-İyon	NiCd	NiCd
Güç (kW)	49	24	62	20	22
Gerilim (V)	288		345	120	114
Batarya Enerji Kapasitesi		15	32	12	11.4
Şarj Konnektörü	İletken	İletken	İletken		İletken
Hız (km/h)	129	100	120	90	95
Menzil (km)	190	115	190	150	80
Şarj Süresi(saat)	6-8	4	5	7-8	
Satış Fiyatı (\$)		36 000 \$		27 000 \$	27 400 \$

2000 yılında ise fosil yakıt ile çalışan içten yanmalı motorların çevre kirliliği yaratması nedeniyle yerine çevre dostu araçların üretilmesi artmaya başlamıştır. Çevre dostu araçların üretilmek istenmesinin temel sebepleri hava kirliliğinin ve karbon emisyonunun azaltılması ve petrol gibi fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılmasıdır (Lepetun 2011).

Elektikli araçlar üç temel opsiyon ile üretilmektedir. İlki içten yanmalı motor ile şarj olan bataryanın birlikte kullanıldığı hibrit araçlar, ikincisi tümü elektrikli araçlar, üçüncüsü ise hidrojen yakıt hücreli elektrikli araçlardır.

2017 yılında elektrikli araç satışı 2016 yılına göre %54 artış göstermiştir. Norveç’de %39 pazar payıyla elektrikli araçların en çok yaygınlaştığı ülke olmuştur. Noveç’in ardından %11,7 ve %6,3 pazar payıyla İzlanda ve İsveç gelmektedir.

Çin elektrikli araç satışında dünya çapındaki satışların %40’ından fazlasına sahiptir. 2010-2017 döneminde 3 milyon elektrikli araç satılmıştır (Global EV Outlook 2018).

Türkiye’de ise 2017 yılında satılan yüz bin araçtan yaklaşık on bir tanesi elektrikli araçtır. Yüz bin araçtan 623 tanesi ise hibrit araçtır. Bu araçlardan bazıları ve özellikleri Çizelge 2.3.’de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Türkiye’de Trafikteki Motorlu Araçların Yakıt Türlerine Göre Dağılımı (ODD Türkiye pazarı raporundan derleme (Mayıs 2018.))

Motor Hacmi	Motor Cinsi	2011	2012	Toplam	Ötv %	KDV %
≤ 1600cc	B/D	530 069	514 851	4 466 236	45-50 -60	18
1601cc-≤2000cc	B/D	52 396	35 850	214 045	100- 110	
≥2001cc	B/D	11 054	5 385	40 977	160	
≤ 85 kW	ELEKTRİK	-	184	353	3	
86 kW-≤120kW	ELEKTRİK	-		-	7	
≥121 kW	ELEKTRİK	-		149	15	
≤1600cc	HİBRİT			2460	60	
≤1601cc- ≤1800cc (≤50 kW)	HİBRİT			-	110	
≤1601cc- ≤1800cc (>50 kW)	HİBRİT			4592	60	

Çizelge 2.3. Türkiye’de Trafikteki Motorlu Araçların Yakıt Türlerine Göre Dağılımı
(ODD Türkiye pazarı raporundan derleme (Mayıs 2018.) (devam))

1801cc- ≤2000cc	HİBRİT			154	110	
2001cc≤2500cc (≤100kW)	HİBRİT			0	160	
2001cc≤2500cc (>100kW)	HİBRİT			320	110	
>2500cc	HİBRİT			54	160	
TOPLAM		593 519	556 280	4 729 340		
Motor Hacmi	Motor Cinsi	2013	2014	Toplam	Ötv %	KDV %
≤ 1600cc	B/D	626 047	558 995	4 466 236	45-50 -60	18
1601cc-≤2000cc	B/D	32 609	22 536	214 045	100- 110	
≥2001cc	B/D	5 968	5 753	40 977	160	
≤ 85 kW	ELEKTRİK	31	22	353	3	
86 kW-≤120kW	ELEKTRİK	-	-	-	7	
≥121 kW	ELEKTRİK	-	25	149	15	
≤1600cc	HİBRİT			2460	60	
≤1601cc- ≤1800cc (≤50 kW)	HİBRİT			-	110	
≤1601cc- ≤1800cc (>50 kW)	HİBRİT			4592	60	

Çizelge 2.3. Türkiye’de Trafikteki Motorlu Araçların Yakıt Türlerine Göre Dağılımı (ODD Türkiye pazarı raporundan derleme (Mayıs 2018.) (devam))

1801cc- ≤2000cc	HİBRİT			154	110	
2001cc≤2500cc (≤100kW)	HİBRİT			0	160	
2001cc≤2500cc (>100kW)	HİBRİT			320	110	
>2500cc	HİBRİT			54	160	
TOPLAM		664 655	587 331	4 759 340		
Motor Hacmi	Motor Cinsi	2015	2016	Toplam	Ötv %	KDV %
≤ 1600cc	B/D	695 113	729 324	4 466 236	45-50 -60	18
1601cc-≤2000cc	B/D	23 105	22 521	214 045	100- 110	
≥2001cc	B/D	6 284	4 089	40 977	160	
≤ 85 kW	ELEKTRİK	38	23	353	3	
86 kW-≤120kW	ELEKTRİK	-	-	-	7	
≥121 kW	ELEKTRİK	82	21	149	15	
≤1600cc	HİBRİT	963	886	2460	60	
≤1601cc- ≤1800cc (≤50 kW)	HİBRİT	-		-	110	
≤1601cc- ≤1800cc (>50 kW)	HİBRİT	3	-	4592	60	
1801cc- ≤2000cc	HİBRİT	-	89	154	110	
2001cc≤2500cc (≤100kW)	HİBRİT	-	-	0	160	
2001cc≤2500cc (>100kW)	HİBRİT	2	-	320	110	
>2500cc	HİBRİT	6	35	54	160	
TOPLAM		725 596	756 938	4 759 340		

Çizelge 2.3. Türkiye’de Trafikteki Motorlu Araçların Yakıt Türlerine Göre Dağılımı
(ODD Türkiye pazarı raporundan derleme (Mayıs 2018.) (devam))

Motor Hacmi	Motor Cinsi	2017	2018 Ocak-Şubat	Toplam	Ötv %
≤ 1600cc	B/D	694 464	117 363	4 466 236	45-50 -60
1601cc-≤2000cc	B/D	21 568	3 460	214 045	100- 110
≥2001cc	B/D	2 144	350	40 977	160
≤ 85 kW	ELEKTRİK	55	36	353	3
86 kW-≤120kW	ELEKTRİK	-	-	-	7
≥121 kW	ELEKTRİK	21	12	149	15
≤1600cc	HİBRİT	464	147	2460	60
≤1601cc- ≤1800cc (≤50 kW)	HİBRİT	-	-	-	110
≤1601cc- ≤1800cc (>50 kW)	HİBRİT	3 704	885	4592	60
1801cc-≤2000cc	HİBRİT	63	2	154	110
2001cc≤2500cc (≤100kW)	HİBRİT	-	-	0	160
2001cc≤2500cc (>100kW)	HİBRİT	266	52	320	110
>2500cc	HİBRİT	10	3	54	160
TOPLAM		722 759	122 310	4 729 340	

2.2. Elektrikli Araçların Dünyada ve Türkiye’deki Gelişimi

1973 yılında elektrikli araç konusunun tekrar gündeme gelme sebebi petrol krizi ve benzin maliyetleridir. Vanguard-Sebring isimli markanın ürettiği CitiCar modeli şehir içinde kullanılması amaçlanarak sergilenmiştir. 1975 yılında Consumer Reports CitiCar’ı düşük derece olarak derecelendirene kadar 2000 adetten fazla satılmıştır. CitiCar’ın kliması ve pencerelerinin açılmaması olumsuz değerlendirilmesine sebep olmuştur (Palinski, 2017).



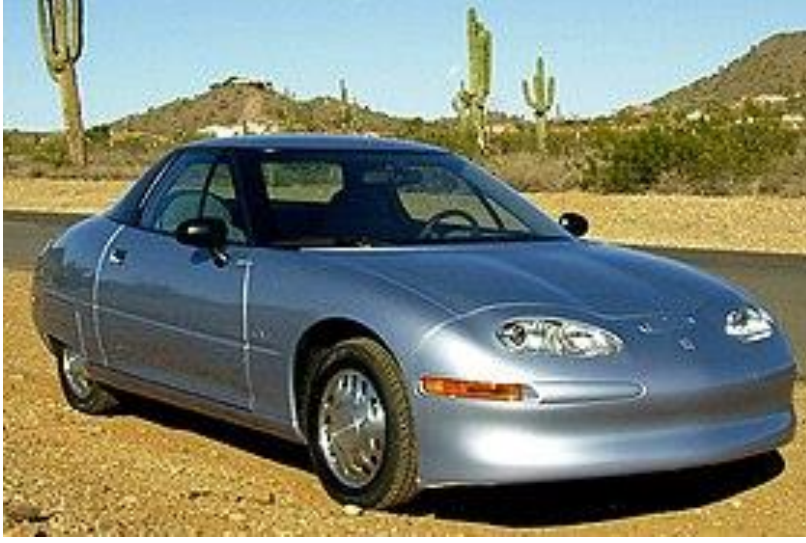
Şekil 2.4. CitiCar (Tubitak, 2003)

1996 yılında General Motors tarafından EV1 isimli elektrikli araç üretilmiş fakat üretimi daha sonra durdurulmuştur (Fessler, 2019). GM EV1 aracı 600 km menzile kadar çıkabilmektedir. 2000 yılında üretimi durdurulmuştur.

Çizelge 2.4’te EV1 elektrikli aracın özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.4. EV1 elektrikli aracın özellikleri (Tubitak, 2003)

Kullanılan Motor	Batarya tipi	Menzil	Çevrim	Ağırlık	Depolama
Asenkron Motor	VRLA (Valf regulated lead acid)	145 km	450 derin deşarj çevrimi	530 kg	16,2 kWh



Şekil 2.5. Genaral Motors EV1 (Tubitak, 2003)

1998 yılında Toyota, Prius adlı dünyadaki ilk ticari olarak seri üretilen hibrit araç modelidir. Yaklaşık olarak 18 bin adet satılmıştır. Dünya genelinde 50 bin tane satılmıştır.

Toyota Prius hibrid elektrikli araçta güç paylaşımı planet dişli sistemi ile yapılır. İçten yanmalı motor mili planet dişli taşıyıcısına bağlıdır. Bu araçta NiMH batarya kullanılmıştır (Tubitak, 2003).



Şekil 2.6. Toyota Pirus (Tubitak, 2003)

Toyota RAV 4 EV görüntü ve konfor açısından içten yanmalı motor kullanılan araçlara en yakın olan bu araçta iki kademeli dişli kutusu bulunmakta ve tahrik senkron motordan sağlanmaktadır (Şekil 2.7.).

Çizelge 2.5'te Toyota RAV 4 EV elektrikli aracın özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.5. Toyota RAV 4 EV elektrikli aracın özellikleri (Tubitak, 2003)

Motor azami güç	Motor azami tork	Azami hız	Batarya tipi	Menzil	Ağırlık	Depolama
50 kW	190 Nm	125 km/h	Nikel-metal hidrür bataryaları	200 km	450 kg	27 kWh



Şekil 2.7. Toyota RAV4 elektrikli araç (Tubitak, 2003)

2010 yılında General Motors firması ticari olarak satılan ilk şarjlı hibrit araç olan Chevrolet Volt adlı aracı piyasaya sürülmüştür. 2010 yılının sonunda Nissan, tamamen elektrikli, Nissan Leaf isimli modeli üretmiştir.



Şekil 2.8. Nissan Leaf (Tubitak, 2003)

Mitsubishi i-MiEV 2011 yılında 10 binden fazla satış yapan ilk elektrikli araçtır.



Şekil 2.9. Mitsubishi i-MiEV (Tubitak, 2003)

Ford Think City, 1999 yılı kasım ayından beri üretimde olan şehir içi kullanımına uygun 2 kişilik elektrikli araçtır (Şekil 2.10). Bu aracın motorunda AC senkron motor kullanılmış olup gücü 27 kW civarındadır.

50 km/saate toplam 7 saniyede ulaşabilmektedir ve azami hızı 90 km/saattir. Nikelkadmiyum bataryalar kullanılmaktadır.



Şekil 2.10. Ford Think City elektrikli araç (Tubitak, 2003).

Nissan Hypermini iki kişilik ve motoru arka tekerlekler ile tahrik edilen düşük titreşim ve gürültü ile iyi ivmelenmeye sahip araçtır. Birçok yönden Think City'ye benzemektedir (Şekil 2.11.).

Çizelge 2.6'da Nissan Hypermini elektrikli aracın özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.6. Nissan Hypermini elektrikli aracın özellikleri (Tubitak, 2003)

Motor azami güç	Motor azami tork	Azami hız	Batarya tipi	Enerji Yoğunluğu	Depolama
24 kW	130 Nm	6700 d/d senkron motor	Lityum-iyon batarya	90 Wh/kg	15 kWh

Lityum-iyon batarya enerji depolama yönünden kurşun asit bataryalara göre üç kat nikel-kadmiyum bataryalara göre de iki kat daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. (Tubitak, 2003).



Şekil 2.11. Nissan Hypermini elektrikli araç (Tubitak, 2003)

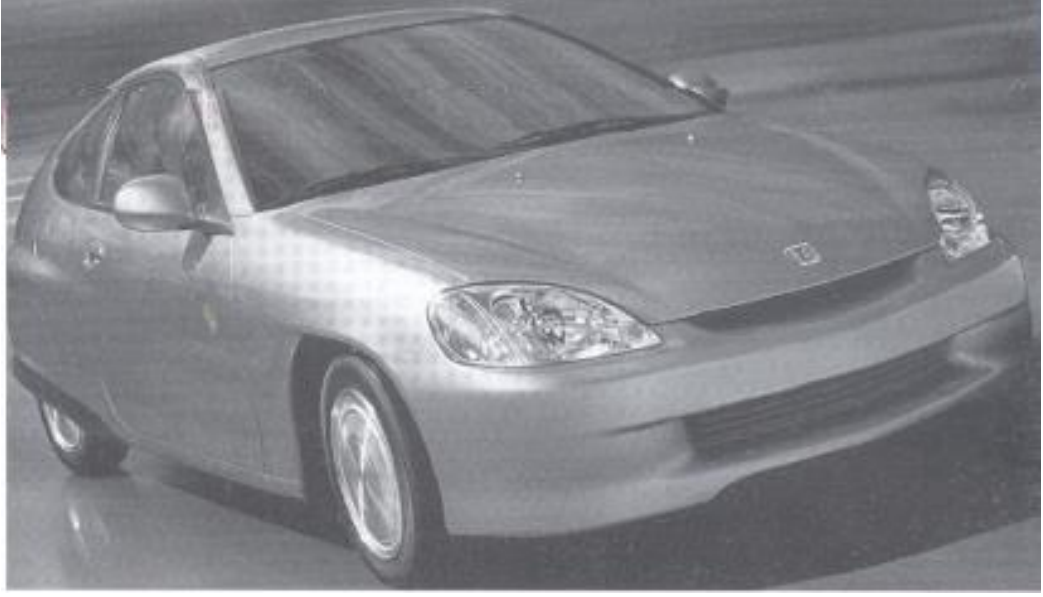
Honda Insight hibrit elektrikli araç modelinde içten yanmalı motoru hafif malzemedен yapılmış aynı zamanda yüksek verimlidir.

Çizelge 2.7’de Honda Insight hibrit elektrikli araç modelinin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.7. Honda Insight hibrit elektrikli araç modelinin özellikleri (Tubitak, 2003)

Yakıt tüketimi	Motor azami tork	Motorun gücü	Batarya tipi	Ağırlık	Depolama
28 km/litre	113 Nm	56 kW	Nikel-metal hidrür bataryaları	20 kg	0,94 kWh

Sadece rejeneratif frenleme ile şarj olan 144 V NiMH bataryalardan almaktadır ve bu araçta 5 kademeli dişli kutusu kullanılmıştır. Araç iki kişiliktir. Araç 12 saniyede 100 km hıza ulaşır, yakıt tüketimi 28 km/litre ve aynı zamanda azami hızı 180 km/saattir.



Şekil 2.12. Honda Insight elektrikli araç (Tubitak, 2003).

Honda Civic Hibrid 2003 modelinde kullanılan mıknatıslı elektrikli motorun gücü 4000 d/d'da 13.4 BG'dir ve 144 hücreden oluşan NiMH bataryalar kullanılmaktadır. Bu aracın içten yanmalı motor özellikleri 5700 d/d da 85 BG'dir ve 8 sübaplıdır.



Şekil 2.13. Honda Civic hibrid araç (Tubitak, 2003).

2012 yılında modelini Model S'i piyasaya sürmüştür.



Şekil 2.14. Tesla Model S (Tubitak, 2003).

2013 yılında Nissan Leaf 50 binden fazla satış yapan ilk elektrikli araçtır. Nissan Leaf ve Tesla Model S, en çok satış yapan elektrikli araç olmuştur.

2013 yılında Renault ve Nissan firmaları 100 bin şarjlı hibrit araç satışı gerçekleştiren ilk şirkettir.

Renault, 2012 yılında elektrikli Fluence Z.E. aracını üretmesine rağmen 2013 yılının sonunda hedeflediği satışa ulaşamadığından üretim sonlanmıştır.

2018 yılında tümü elektrikli araç modelleri Renault Zoe, BMW İ3 ve Jaguar I-PACE ve şarj edilebilir hibrit araç modelleri ise BMW İ8, BMW 740'e, BMW X5 xDrive 40'e, BMW 330'e, BMW 225xe, Mercedes Benz GLC350e, Porsche Panamera ve Volvo XC90 T8'dir (TEHAD 2018).

Türkiye Gemlik Bursa da 2018 yılında kurulan Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu Sanayi ve Ticaret A.Ş. (TOGG) 30 dakikanın altında %80 doluluğa ulaşan şarj ve 300+ ve 500+ km menzil seçeneği ile iki farklı segment olarak kullanıcılarına sunulacak olan bu otomobilin SUV modeli Şekil 2.15.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.15. TOGG tarafından geliştirilen yerli araç (Tubitak, 2003)

1900 yıllarında fosil yakıtların zamanla tükenme tehlikesinden dolayı ve fosil yakıtlarda dışa bağıllığın azaltılması en önemlisi de hava kirliliğinden dolayı elektrikli araçlara olan ilgi tekrar artmıştır (Global EV Outlook 2013).

2.3. Elektrikli Araçların Çalışma Prensibi

Elektrikli araçlara gücü indüksiyon motoru vermektedir. İndüksiyon motorunun 2 temel parçası stator ve rotordur. Rotor iletken çubukların belirli bir çevreye yerleştirilmesi ile oluşturulmuş dönen bir yapıdır. Stator sabit bir yapıdır. Üzerinde katmanlar bulunur ve bu katmanların oluklarından sargılar geçmektedir.

Bu sargılardan geçen 3 faz dönen bir manyetik alan oluşmasına sebep olmaktadır. Bu manyetik alan rotorda çevreye yerleştirilmiş akım ve elektromanyetik kuvvetle birlikte rotorun dönmesine neden olur. Rotor devri her zaman manyetik alan devrinden geride kalmaktadır.

İndüksiyon motorunun en önemli faydalarından birisi rotor hızının alternatif akım hızına bağlı olmasıdır. Motorun frekansını değiştirilerek tekerlek hızı değiştirilebilir.

Bunun sayesinde elektrikli aracın hız kontrolü kolay ve hassas şekilde ayarlanabilmektedir. Motorun dakikadaki devir sayısı Tesla-5 de 0-18000RPM'e kadar çıkabilmektedir. Yüksek devir sayısına çıkabilmesi elektrikli araçların içten yanmalı araçlara göre en önemli avantajıdır. Çünkü içten yanmalı motor sınırlı devir aralıklarında verimli güç ve tork üretebilir ayrıca bu sınırlı devir durumundan dolayı içten yanmalı motorun sağladığı dönme doğrudan tekerleklere aktarılamamaktadır. İçten yanmalı motorları verimli devirlerde kalarak kullanabilmek için dişli sistemi kullanılmalıdır. Araç kalkış esnasında dişliler arasındaki oran fazla olduğundan tork fazladır ve bu da aracın kolayca kalkmasına sebep olmaktadır. Aracın devamında hızlanabilmesi için farklı dişli oranlarına sahip dişli çiftine geçilmesi gerekmektedir. İçten yanmalı motorlarda pistonun doğrusal hareketi krank mili sayesinde dönel bir harekete çevrilir. Oluşan güç sonucu meydana gelebilecek titreşim sorunları için önlem amacıyla volan kullanılmaktadır. Volan süspansiyon gibi gücün yumuşatılmasına sebep olur. Elektrik ihtiyacı akü, alternatör ve yardımcı bileşenlerle karşılanır. Tüm bu fonksiyonların sağlıklı bir biçimde çalışabilmesi için içten yanmalı motorlarda çok fazla parça kullanılmaktadır. İndüksiyon motorunda bu kadar fazla parça kullanılmamaktadır. Dolayısıyla bu durum aracın hafiflemesine neden olan önemli bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır.

Elektrikli araçlarda indüksiyon motoru herhangi bir devir aralığında yüksek çalışabilmektedir.

Bu yüzden devri düzenlemeye gerek duyulan şanzımana ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu motorda hareket doğrudan dönel hareket olarak üretilir. Devre göre güç çıkışı dengeli olduğundan volana ihtiyaç duyulmamaktadır. Elektrikli araçlar hassas motor tepkisi ve ağırlık oranı ile içten yanmalı motorlara göre yüksek performans sunmaktadır. İndüksiyon motorunu çalıştıracak güç bataryadan gelir. Batarya pil bütününden oluşmaktadır. Piller doğru akım oluşturur ancak motor alternatif akım ile çalışır. Bu nedenle doğru akımı alternatif akıma çevirecek invertör kullanılmaktadır. Doğru akımın yönü değişmez alternatif akım ise belirli aralıklarla yönünü tersine çevirmektedir. Bu devre tam köprü invertörü olarak adlandırılmaktadır. Akımın yönü anahtar çiftleri sayesinde değiştirilmektedir. Bu işlemler sonucu kare dalga yani sinüs eğrisine yakın alternatif akım üretilmiş olur. Elektrikli araçlar kare dalga kullanılarak çalıştırıldığında uğultu sesine ve fazla ısınma oluşmasına neden olur. İnvörtörler aynı zamanda alternatif

akım frekansını da kontrol eder. Elektrikli araç için oldukça önemlidir. Kaza sonucunda zarar görmemesi için sağlam bir dış yapı içerisindedir. Elektrikli araçlar geniş bir devir bandında verimli çalışabildiği için tek vitesli basit bir dişli kutusu içerir. Elektrikli araçlarda karmaşık mekanik donanımlar yerine yazılımlar kullanılır. Bilgisayar algoritmaları, sensör ve kontrol ekipmanları kullanılır.

2.4. Elektrikli Araç Üretimine Tercih Sebepleri

Enerjiye duyulan ihtiyacın artması, fosil yakıt rezervlerinin giderek azalması ve çevre bilincinin aynı hızla gelişmesi ile alternatif yakıtlar günümüzde popüler hale gelmiştir. Özellikle, içten yanmalı motorlar, atmosfere yüksek oranda karbondioksit (CO₂), karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO_x), metan (CH₄), kükürt dioksit (SO₂) gibi zararlı gazlar ve egzoz dumanlarında bulunan bazı maddeleri (is, toz, tanecik vb.) yaymaktadır. Bu da sera etkisinin artmasına ve iklimlerin değişmesine sebep olmaktadır.

Elektrikli araçlar emisyon ve hava kirliliğinin ve sera gazı emisyonu oranının artması sayılabilir.

Fosil yakıtların hava kirliliğine etkileri Uluslararası Enerji Ajansı'nın 2017 raporuna göre, toplam emisyonun yüzde %50'sini içerir.

2020 yılı itibariyle Dünya'da 7,7 milyar nüfus ve bu nüfusa karşılık 1,25 milyar araç bulunmaktadır. 2030 yılında 1,65 milyar, 2050 yılında ise 2,0 milyar taşıtın yollarda olması beklenmektedir. Bu da doğal olarak alternatif yakıtların kullanımının artırılmasını ve geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Şekil 2.16. 'da farklı enerji kaynağı ve farklı araç türlerine göre, enerji kaynağı CO₂ içeriği, kaynaktan tekere verimlilik ve CO₂ emisyon değerleri verilmiştir.

Teknoloji	Örnek Araç	Enerji Kaynağı	Kaynaktan-Tekere		
			CO ₂ İçeriği	Verimlilik	CO ₂ Emsiyonu
Doğal Gaz	Honda CNG	Doğal Gaz	52,8 g/MJ	0,32 km/MJ	166,0 g/km
Hidrojen Hücresi	Honda FCX	Doğal Gaz	52,8 g/MJ	0,35 km/MJ	151,7 g/km
Dizel	VW Jetta	Ham Petrol	73,0 g/MJ	0,48 km/MJ	152,7 g/km
Benzin	Honda Civic VX	Ham Petrol	73,0 g/MJ	0,52 km/MJ	141,7 g/km
Hibrit (Gaz/Elektrik)	Toyota Prius	Ham Petrol	73,0 g/MJ	0,56 km/MJ	130,4 g/km
Elektrik	Tesla Roadster	Doğal Gaz	52,8 g/MJ	1,15 km/MJ	46,1 g/km

Şekil 2.16. Yakıt çeşitlerine göre tüketim ve karbon monoksit salınım değerleri (Eberhald ve Tarpenning 2006)

2.5. Elektrikli Araçlarda Kullanılan Enerji Depolama Yöntemleri

Elektrikli araçlarda kullanılan başlıca enerji depolama üniteleri batarya, volanlar, süperkapasitörler, güneş fotovoltaikleri ve yakıt pilleri sayılabilir.

Enerji depolama sistemleri istenen enerjiyi en az hacimde ve ağırlıkta depolayabilmektir. Bunu yaparken de istenen verimin fazla kayıpların az ve uzun ömürlü olması istenir. Bu çalışmada lityum iyon batarya tipi analizi gerçekleştirileceğinden lityum iyon batarya kısmında detaylıca bilgiye yer verilmiştir.

Çizelge 2.8’de enerji depolama yöntemleri görülmektedir.

Çizelge 2.8. Enerji Depolama Yöntemleri

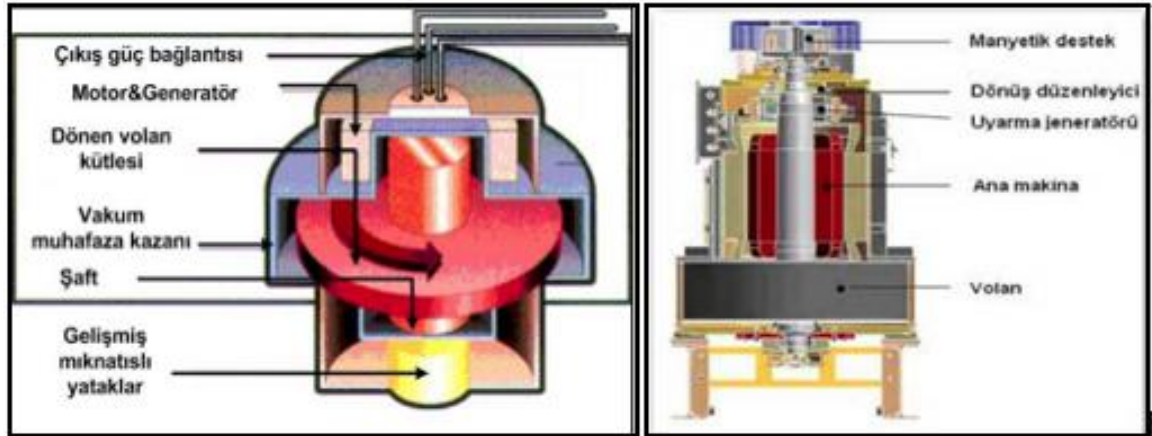
ENERJİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ			
Mekanik Enerji Depolama	Elektrik Enerji Depolama	Kimyasal Enerji Depolama	
Volan	Süperkapasitörler	Batarya	Yakıt Hücresi

2.5.1. Volan

Volan geniş çalışma aralığı, uzun çevrim oranı ve yüksek verimlilik, güç ve enerji yoğunluğu için ideal mekanik enerji depolama yöntemidir. Volan en eski yöntemde kullanım amacı olarak volanın ataletinden yararlanarak depolanan kinetik enerjiyi bağlı olduğu sisteme aktarmaktır. Diğer kullanım amacı kinetik enerjinin elektrik enerjisi olarak depolanmasıdır.

Volanın enerji bakımından tam dolu olmasının sebebi enerji depolayacağı zaman önceden kendisini istenilen maksimum hıza kadar ivmelendirebilmesidir. Bu depolanan enerjinin aktarılma biçimi elektriksel olabileceği gibi direkt dönme ile de olabilir ve bu enerji harcanmak istendiği zaman volan jeneratör gibi davranarak kinetik enerjiyi sisteme aktarır. (Wagner ve ark 2002).

Volanlarda kullanılan malzeme hafif ve yüksek mukavemetli olmalıdır. Bu nedenle modern volanlar enerji yoğunluğunun artması için kompozit malzemelerden üretilmektedir.



Şekil 2.17. Volan (Kozak ve Kozak 2012)

Teknolojinin gelişmesi ile elektrik-mekanik dönüşümlerinin yapılarak verimlerinin atması volanın birçok yerde kullanılmasını sağlamıştır. Volanın ilk kullanımlarında mekanik enerjiyi depolayıp sistemin ihtiyacı halinde kinetik enerji olarak kullanılmaktaydı.

Mekanik-mekanik dönüşümleri ilk olarak demir döner bir yapıdan oluşmaktaydı. Fakat gelişen teknoloji ile hafif malzemelerden yapılarak girişte aldığı elektrik enerjisini motorun çalışması ile kinetik enerjiye dönüştürür.

İhtiyaç halinde bu enerjiyi jeneratör çalışmayla tekrar elektrik enerjisi şeklinde çıkış olarak verir. (Kozak ve Kozak 2012)

Elektrikli araçlar ve benzeri uygulamalarda boyutun ve ağırlık önemlidir. Yavaş ve büyük volanlar genellikle 7000 d/d'de çalışır ve çapları 1 metre veya 1 metreden daha fazladır (Sahay ve Dwivedi 2009).

2.5.2. Ultrakapasitörler

Kapasitörler atan taleple neticesinde gelişerek ultrakapasitör haline getirilmiştir. Ultrakapasitörlerin diğer bir ismi süperkapasitördür. Patenti 1957 yılında General Elektrik tarafından alınmıştır ancak kullanmamıştır. Patenti alınıp kullanılan 1978'deki ilk ultrakapasitör bilgisayarlardaki veri kaybını önlemek için kullanılmıştır ve 5m³ ve daha küçük boyutlardaki cihazlarda kullanılarak 5V gerilim değerine ulaşmıştır.

1990'larda Moskova'daki şirketlerden biri kapasitörler bir tasarım geliştirip mesafe olarak km'lik kullanım süresine sahip olan bu güç depolama sistemini elektrikli otobüste kullanmışlardır. 2010 yılında Şangay'da şarj süresi 20s olan uygulamalar yapılmıştır.

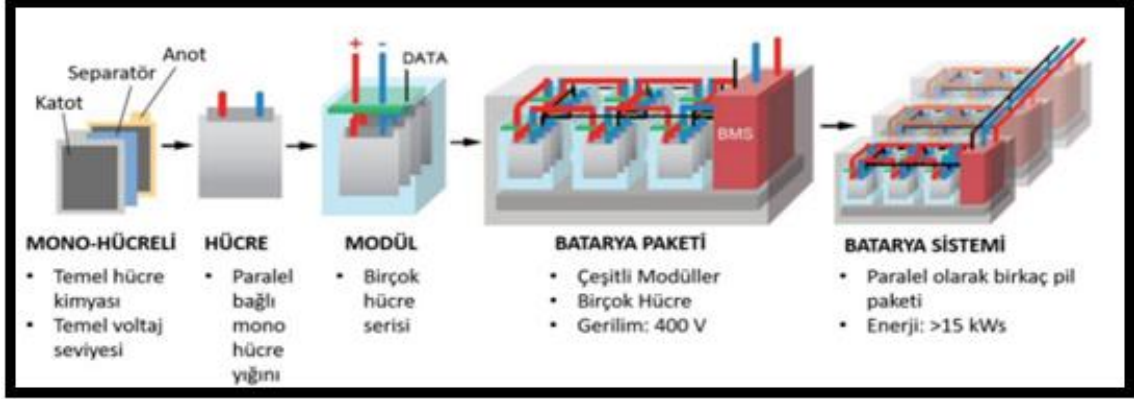
Ultrakapasitör temel olarak frenleme esnasında kaybolan enerjinin depolanması ve ısı enerjisine dönüştürülmesi için kullanılır.

2.5.3. Bataryalar

Bataryalar temelde kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürerek güç depolayan sistemlerdir.

Bataryalar içlerindeki kimyasal isimlendirmesine göre farklı tipte olabilmektedir. Bataryalar en küçük birim olarak hücreden oluşur.

Hücreler paralel ve seri olarak istenilen şekilde bağlanarak modül haline gelmektedir. Modüllerin birleştirilmesiyle ve aralarından soğutma kablolarının geçmesi ile batarya paketi meydana gelmektedir. Batarya paketlerine batarya yönetim sistemi takılmasıyla batarya sistemi oluşur. Şekil 5 de genel bir batarya yönetim sistemi şeması görülmektedir.



Şekil 2.18. Batarya yönetim sistemi şeması (Batarya ve Yenilikçi Enerji Teknolojileri Çalışma Raporu 2020)

Bataryada kullanılan hücre şekline göre 3 tip hücre çeşidi oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla pouch (kese), prizmatik ve silindirik olmak üzere 3 ayrıdır. Şekil 2.19.'da bu hücre tipleri gösterilmektedir.



Şekil 2.19. Hücre tipleri

Pouch (kese) hücresinin avantajı, geometrisinin kolay ölçeklendirilmesi ve üretiminin diğer hücre tiplerine kıyasla daha kolay olmasıdır.

En yaygın olan ikinci hücre yapısının öne çıkan en önemli özellikleri iyi sıcaklık dağılımı ve basit enerji yönetimidir. Prizmatik hücre ise katmanlı yaklaşımı kullanarak alanı optimum şekilde kullanır.

Prizmatik hücre gövdesi üretimi daha karmaşık olsa da yüksek düzeyde enerji yoğunluğu sunar. Elektrikli otomobillerde en sık kullanılan hücre formatıdır.

Silindirik hücre ise pil üretiminde kanıtlanmış bir teknolojidir. Otomotiv üretiminde genelde tip 21700 kullanılır. Yapısı gereği bu hücre tipi maksimum şarj miktarı açısından sınırlıdır. Bu nedenle de yüksek bir performans için çok sayıda hücreye ihtiyaç duyulur. Silindir hücreler, bir seperatör tarafından ayrılmış ve silindir bir ruloya sarılmış olan bir anot ve katottan oluşur. Bununla birlikte, modül düzeyinde yuvarlak yapı önemli ölçüde alan kaybına neden olur. Ayrıca silindirik hücreler, yüksek hacimlerde ve yüksek kalitede üretilebilmektedir ve silindir hacimleri sağlam ve yapısal olarak şok ve titreşime karşı dayanıklıdır.

2.6. Batarya Tarihi

Kimyasal enerjiyi bir veya daha fazla elektrokimyasal hücre aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştüren depolama birimine pil denir. Pillerin oluşturdukları pil grupları “batarya” olarak isimlendirilir (Winter and Brodd, 2004) (Güven ve Gedik, 2019). En eski piller M.Ö. 250 ve M.S. 640 yılları arasında kullanılan Bağdat Pilleridir. (Von Handorf, 2002).

Alessandro Volta tarafından 1800 yılında bulunan ilk pildir Volta pilidir. Pil tasarımı 1836 yılında John Frederick Daniell tarafından standartlaştırılmıştır. 1991'de Sony ve Asahi Kasei tarafından ticari kullanımı gerçekleştirilmiştir (Kul, 2020).

Şekil 2.20'de Volta pili ve Daniel Pili gösterilmiştir.



Şekil 2.20. a) Volta b) Daniell Pili

1839 yılında ise William Robert Grove ilk yakıt hücresini geliştirmiştir. 1859 yılında kurşun asit bataryayı (akü) Gaston Planté bulmuş ve bu batarya ilk şarjlı batarya olarak tarihe geçmiştir. 1868 yılında Fransız bilim adamı Georges Leclanché fener ve radyolarda kullanılan kuru pilleri icat etmiştir. 1881 yılında Faure ilk çinko karbon pil aküsünü icat etmiştir.

İlk nikel kadmiyum pili 1899 yılında bulunmuştur. Ayrıca bu pil sarj edilebilir. 1902 yılında Thomas Edison demir-nikel pili geliştirmiştir. 1908 yılında ise elektrolite lityum hidroksit ekleyerek demir nikelin performansını arttırmıştır.

1912’de Gilbert Newton Lewis tarafından ilk şarj edilemeyen Lityum İyon pil yapılmıştır. Fakat 1970’lerde uygulanabilir hale gelmiştir fakat güvenlik sorunları nedeniyle bu çalışmalardan vazgeçilmiştir.

1990 yılında Sony şirketi güvenlik önlemlerini alarak lityum iyon pili satışa çıkarmıştır. Günümüzde kullanılan modern batarya ve piller daha güçlü ve kullanışlıdır. En yaygın kullanılan kuru pilin çok çeşidi bulunur ve en çok kullanılan türü lityum iyon pildir. Hibrit araçlarda da kullanılmaktadır. 2000 yılında ise batarya kullanımının artması ile yapılan çalışmalarda artmaya başlamıştır.

Zamanla oluşan tüm bu gelişmelerle birlikte 2003 yılında kurulan Alaska'da Fairbanks şehrinde bulunan, tamamen bataryalardan oluşan enerji depolama tesisi kapasitesi ve çıkış gücü ile Guinness Rekorlar Kitabına giren bu tesisin temel amacı elektrik kesintilerinde geçici güç sağlamaktır.

2003 yılında Finlandiyalı maden uzmanı tekrar şarj edilebilen alüminyum hava bataryası patenti almıştır. 2004 yılında Toshiba cep telefonları için metanol yakıt pili üretmiştir. 2005 yılında Masahuru Satoh batarya üretmiş ismini Organik Radikal Batarya koymuştur.

2.7. Batarya Tipleri

Batarya temel olarak bir veya daha fazla elektrokimyasal hücre içeren enerji depolama elemanıdır ve bağlı olduğu sisteme güç sağlar. Batarya anot (-) ve katot (+) elektrotları, elektrolit ve ayırıcı kısımdan meydana gelir. Anot, bataryada yükseltgenmenin gerçekleştiği, katot ise indirgenmenin gerçekleştiği elektrottur. Elektrolit, iyonik olarak yük aktarımı için gerekli ortamı sağlar.

Son olarak ayırıcı da batarya içerisindeki yük aktarımını engeller ve olası bir kısa devreyi önler. Bataryaların özellikle anot ve katot elektrotları için kullandıkları malzemeler çeşitlilik gösterir, bu yüzden bataryaların özellikleri ve kullanım alanları genellikle birbirinden farklıdır.

Günlük yaşamımızdaki en güncel uygulama yerleri olan enerji kaynakları batarya ve pillerdir. Taşınabilir pilleri 3 gruba da toplanabilir.

Çizelge 2.9. Taşınabilir pillerin gruplandırılması

Şarj edilmeyen piller (Primer)	Şarj edilebilen piller (Sekonder)	Düğme piller
Çinko	Nikel-kadmiyum	Gümüş-oksit
Alkalin	Nikel-metal hidrit	Çinko-hava
Lityum	Lityum-İyon	Lityum
	Lityum-polimer	Alkalin

Birincil pillerin en önemli dezavantajları şarj edilemez ve tek kullanım özelliğine sahip olmalarıdır. Deşarj olduklarında tekrar şarj edilmezler. En fazla kullanılan birincil pil alkali pildir. Çevre dostu ve yüksek özgül enerjiye sahiptirler.

İkincil pillerde (şarj edilebilen) kimyasal enerji elektrik enerjisine dönüştürülür. Sürekli olarak şarj edilip boşaltılabildiği için yeniden kullanılabilir pildir. Kullanım sayısı malzemesine bağlıdır. Bu bataryalar için birçok kimyasal yapıya sahip çeşitleri vardır. Örnek olarak lityum-iyon (Li-ion), nikel-kadmiyum (NiCd), nikel-metal hidrür (NiMH) verilebilir. İkincil bataryaların büyük boyutlu olanları depolama bataryası olarak adlandırılabilir. Hibrit araç ve gemilerde kullanılabilmektedir. Bu tez kapsamında hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan batarya analizi incelendiği için bu pil çeşitleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Çizelge 2.10. Pil çeşitleri

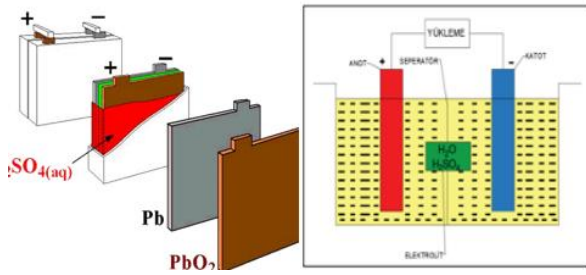
Pil Çeşitleri	Nominal Voltaj (V)	Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	Hacimsel enerji yoğunluk (Wh/L)	Özgül Enerji (W/kg)	Çevrim Ömrü	Kendi kendini deşarj etme	Hafıza Etkisi	Çalışma Sıcaklığı	Üretim maliyet (\$ / kWh)
Lityum asit (Pbasit)	2	35	100	180	1000	<5	Yok	-15, +50	60
Nikel-Kadmiyum (NiCd)	1,2	50-80	300	200	2000	10	Var	-20, +50	250-300
Nikel metalhidrit (NiMH)	1,2	70-95	180- 220	200-300	<3000	20	Nadiren	-20, +60	200-250
Zebra	2,6	90-120	160	155	>1200	<5	Yok	+245, +350	230-345
Lityum iyon (Li-ion)	3,6	118- 250	200- 400	200-430	2000	<5	Yok	-20, +60	150
Lityum iyon polimer (LiPo)	3,7	130- 225	200- 250	260-450	>1200	<5	Yok	-20, +60	150
Lityum demirfosfat (LiFePO4)	3,2	120	220	2000-4500	>2000	<5	Yok	-45, +70	350
Çinko-hava (Znhava)	1,65	460	1400	80-140	200	<5	Yok	-10, +55	90-120
Lityum sülfür(LiS)	2,5	350- 650	350	-	300	8- 15	Yok	-60, +60	100-150
Lityum-hava (Lihava)	2,9	1300-2000	1520-2000	-	100	<5	Yok	-10, +70	-

Bu çalışmadaki analizler lityum iyon batarya kullanılarak incelendiği için lityum iyon bataryaların özellikleri hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

2.7.1 Kurşun-Asit (Pb-Asit) Bataryalar

Pb-asit bataryalar Gaston Plante tarafından 1859 yılında icat edilen ilk ticari ve şarj edilebilir pil türü olmasının yanı sıra eski bir teknoloji olduğu için birçok uygulamada kullanılmaktadır. Pb-asit bataryalar günümüzde en yaygın uygulama alanları otomobil ve ulaşım endüstrisidir.

Kurşun asit batarya da anotta kurşun katotta ise kurşun dioksitten oluşmaktadır. Şekil 2.21’de görüldüğü gibi negatif kurşun metalden yapılmış bir plaka ile kurşun dioksitten oluşan pozitif bir plakanın kükürt asitten oluşan bir elektrolit içine batırılması ile meydana gelir. Enerji depolama ve boşaltma işlemi elektrokimyasal reaksiyonlarla meydana gelir.



Şekil 2.21. Kurşun-asit pil şeması (Küçükdeveci, 2018)

Bu bataryaların avantaj ve dezavantajları aşağıdaki Çizelge 2.11’de özetlenmiştir.

Çizelge 2.11. Kurşun asit bataryaların avantaj ve dezavantajları

Avantajlar	Dezavantajlar
Düşük enerji yoğunluğuna rağmen güç yoğunluğu fazladır.	Düşük enerji yoğunluğuna sahiptir.
Çeşitli boyut ve tasarım için kullanılabilirlik	Düşük çevre sıcaklığından etkilenir.

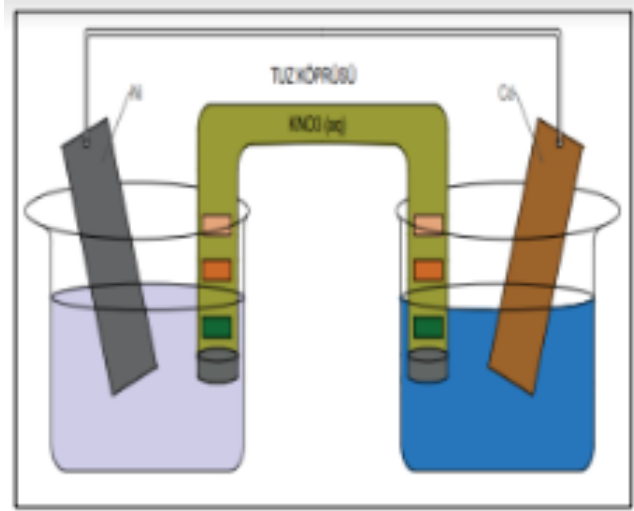
Çizelge 2.11. Kurşun asit bataryaların avantaj ve dezavantajları (devam)

Geniş sıcaklık aralığında çalışabilme	Depolamada kendi kendine deşarj hızları yüksektir.
Bu bataryanın ömrü yaklaşık %80 deşarj koşullarında 1000 çevrimdir.	Kalıcı kapasite kaybı
Geri kazanım yeteneği yüksektir.	
Düşük maliyet	

2.7.2 Nikel-Kadmiyum (Ni-Cd) Bataryalar

Nikel elementinin korozyon ve termal sorunlardan oluşabilecek bozulmaya karşı yüksek direnç göstermesi sebebiyle Ni-Cd batarya 1899 yılında Waldemar Jungner tarafından yapılmıştır.

Ni-Cd batarya da anotta kadmiyum metali katotta ise ve katotta ise Ni(OH)_2 oluşmaktadır. Şekil 2.22' de görüldüğü gibi Pozitif elektrottadaki elektronlar kadmiyum ve hidroksit ile negatif elektrota gider ve kadmiyum hidroksit oluşur. Elektrolit potasyum hidroksittir. Bu gerçekleşen reaksiyon tersinir olduğu için batarya şarj edilebilmektedir.



Şekil 2.22. Ni-Cd pil şeması (Küçükdeveci, 2018)

Bu bataryaların avantaj ve dezavantajları aşağıdaki Çizelge 2.12'de özetlenmiştir.

Çizelge 2.12. Nikel kadmiyum bataryaların avantaj ve dezavantajları

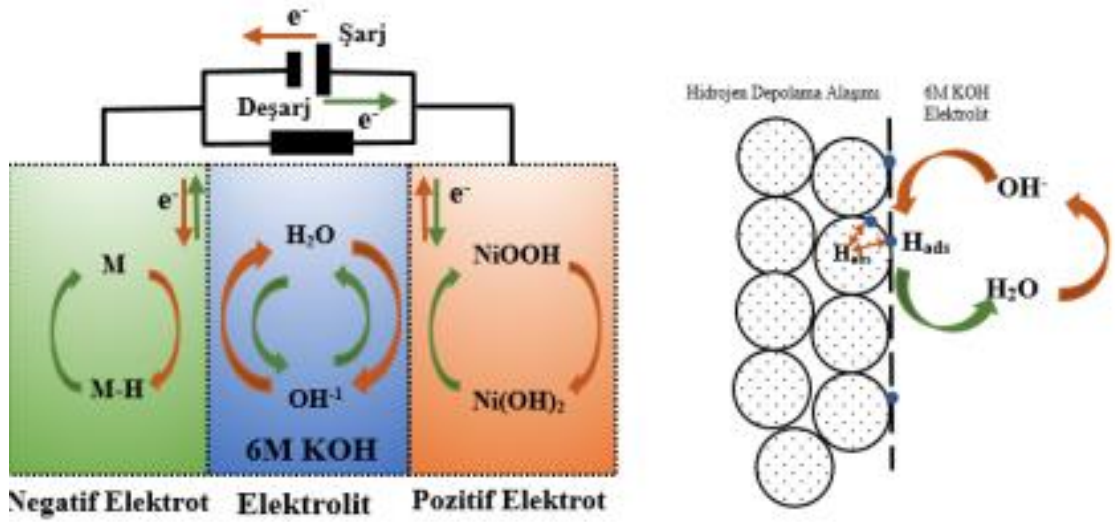
Avantajlar	Dezavantajlar
Geniş çalışma aralığı, ve hızlı şarj (1 saat)	ABD’de kadmiyumun toksik ve çevreye zararlı olmasından dolayı kullanımları durdurulmuştur.
Yüksek spesifik güç ve çevrim sayısı 1200	Batarya yapısında oluşan kadmiyum kalıntıları hafıza etkisine sebep olmaktadır
Mekanik ve termal etkilere karşı yüksek direnç	
% 70-80 verim	

2.7.3 Nikel-Metal Hidrit (Ni-MH) Bataryalar

Elektrikli ve hibrit elektrikli araçlarda kullanılan Ni-MH bataryaların patenti Stanford R. Ovshinsky tarafından alınmıştır.

Ni-MH batarya da anotta metal hidrür katotta ise ve katotta ise $Ni(OH)_2$ oluşmaktadır. Elektrolit potasyum çözeltisidir. İki elektrot arasındaki ayırıcı poliamid veya polipropilen keçe veya gazlı bezdir. Nikel kadmiyum bataryalara göre enerji yoğunlukları yüksektir ve darbelere daha dayanıklıdır. Nikel metal hidrit bataryalar; kadmiyum ve kurşun gibi zehirli ağır metaller içermezler. Elektrolitleri batarya kutusunun içinde sıvı değil, katı halde bulunur.

Hidrojenin element halinde elde edilmesi basitçe suyun ayrışması ile elde edilmektedir. Hidrojen elementi ilk önce metal (negatif elektrot) yüzeyine çekilir daha sonra metalin içine difüze olarak hidrojen soğurması ile hidrür oluşumu gerçekleşir.



Şekil 2.23. Ni-MH pil şeması (Küçükdeveci, 2018)

Bu bataryaların avantaj ve dezavantajları aşağıdaki Çizelge 2.13’de özetlenmiştir.

Çizelge 2.13. Nikel-metal hidrit bataryaların avantaj ve dezavantajları

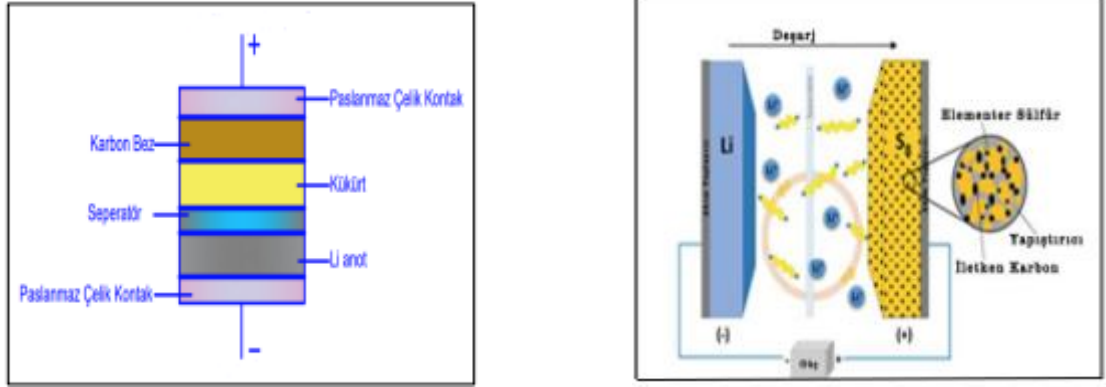
Avantajlar	Dezavantajlar
Düşük maliyet	Yüksek kendi kendine deşarj hızı
Uzun çevrim oranı	Düşük güç
Yüksek güç çıkışı	Düşük enerji yoğunluğu
Güvenlik oranı yüksek	Kapasite tutma etkisi az

2.7.4 Lityum-Sülfür (Li-S) Bataryalar

Lityum katı haldeyken en hafif metalken sülfür ise yüksek güç yoğunluğuna sahiptir.

Lityumun spesifik kapasitesi 3860 mAhg⁻¹ dır.

Sülfür doğada çok bulunması sebebiyle ekonomik açıdan ucuz ve çevre dostu bir elementtir. Bataryalarda sülfürü katot olarak ilk kullanan 1962 yılında Ulam ve Herbert’dir.



Şekil 2.24. Li-S pilin yapısı (Küçükdeveci, 2018)

Şekil 2.24.'de görüldüğü gibi bu pilin yapısı sıkıştırılmış anot, katot, elektrolit ve ayırıcılardan oluşmaktadır.

Li-S bataryada anotta Li metali katotta ise $S(S_8)$ bulunur. Şarj işlemi S_8 'nin lityum ile reaksiyonu sonucu oluşur (Zhangand J.A., 2012).

Deşarj işleminde ise S_8 poly-sülfid (PS) olarak isimlendirilen yapıya dönüşür.

Şarj işleminde çözünmeyen PS oksitlenerek daha fazla sülfür haline getirilir ve bu şarj işlemi bittiğinde karbon yüzeyine çökeltiyerek iletken olmayan kaplama haline gelir bu durum deşarj performansını olumsuz yönde etkileyebilir.

Bu bataryaların avantaj ve dezavantajları aşağıdaki Çizelge 2.14'te özetlenmiştir.

Çizelge 2.14. Lityum-sülfür bataryaların avantaj ve dezavantajları

Avantajlar	Dezavantajlar
Yüksek enerji	Düşük çevrim oranı
Hafif ve çevre dostu	Güvenlik oranı düşük
Geniş çalışma sıcaklığı	Yüksek kendi kendine deşarj oranı
Depolama kapasitesi yüksek	Şarj verimi düşük

2.7.5 Nikel Çinko Bataryalar

1901 yılında Thomas Alva Edison'a şarj edilebilir bir nikel-çinko pil sistemi için patent verildi. Batarya daha sonra İrlandalı kimyager Dr. James J. Drumm (1897-1974) tarafından geliştirildi.

Nikel-çinko bataryada, anot çinkodan katod ise nikel oksitten oluşan elektrokimyasal bir enerji depolama kaynağıdır.

Bu bataryaların avantaj ve dezavantajları aşağıdaki Çizelge 2.15'te özetlenmiştir.

Çizelge 2.15. Nikel-çinko bataryaların avantaj ve dezavantajları

Avantajlar	Dezavantajlar
Yüksek güç ve enerji yoğunluğuna sahiptir ve -39 ile +81 derece arası geniş bir çalışma sıcaklığı vardır.	Bu bataryadaki temel problem şarj sırasında çinko plaka üzerinde dendrit oluşması sebebiyle batarya ömrünün 300 çevrim kadar kısa olmasıdır.

2.7.6 Sodyum Sülfür Bataryalar

Sodyum sülfür (NaS) bataryalar, Sodyum (tuz) madeninin yüksek sıcaklıkta eritilmiş biçimde korunduğu bir batarya türüdür. Yüksek enerji yoğunluğu sayesinde uzun çevrim ömrü sağlayabilirler. Bu bataryaların avantaj ve dezavantajları Çizelge 2.16'da özetlenmiştir.

Çizelge 2.16. Sodyum-sülfür bataryaların avantaj ve dezavantajları

Avantajlar	Dezavantajlar
Yüksek güç ve enerji yoğunluğuna sahiptir ve batarya ömrü 1000 çevrimdir. Bu batarya yaklaşık 350 derece gibi yüksek sıcaklıklarda çalışabilmektedir.	200 derece altında sodyum elektrolidinin donmasından dolayı batarya çalışamaz ve bu durum bataryaya zarar verir.

2.7.7 Sodyum Metal Klorid (Zebra) Bataryalar

Çalışma sıcaklığı 300-350 °C olduğundan termal batarya olarak da bilinir. Sodyum temelli bataryaların hepsi çalışmak için yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyar. Bu bataryaların avantaj ve dezavantajları aşağıdaki Çizelge 2.17’de özetlenmiştir.

Çizelge 2.17. Zebra bataryaların avantaj ve dezavantajları

Avantajlar	Dezavantajlar
Verim %90-95 ve batarya ömrü 1000 çevrimdir.	Sarj süresi 8 saattir ancak elektrikli araçlarda kullanılamamasının asıl nedeni yüksek çalışma sıcaklığıdır.

Bu tezdeki çalışma kapsamında lityum iyon batarya ele alındığı için bu batarya özellikleri genişçe ele alınmıştır.

2.7.8 Lityum İyon Batarya

Bataryalar, kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren elektrolit, pozitif ve negatif anotlardan oluşan sistemlerdir. Elektrolit ve elektrotlar arasındaki kimyasal reaksiyon sonucu enerji üretilmektedir. Elektrikli araçlarda enerji depolama ünitesi olarak en çok kullanılması tercih edilen lityum-iyon bataryalardır.

Lityum iyon batarya tekrar sarj edilebilir ikincil batarya grubunda yer alır aynı zamanda hacim ve ağırlıklarına oranla yüksek enerji sağlayabildikleri için birçok alanda tercih edilebilmektedir. Lityum iyon bataryalar diğer batarya türlerine göre tamamen deşarj olmadıklarında sarj işlemi uygulandığında (hafıza etkisi) ciddi bir kapasite kaybına uğramadıkları için göstermedikleri için tercih sebebidir. Menzilleri 150 km civarında da olsa lityum-iyon bataryalar, CO2 salınımını ciddi oranda azalttığı için ve uzun çevrim oranı ile şehir içi kullanımda tercih sebebidir.

Lityum iyon bataryaların tercih edilme sebepleri Çizelge 2.18.’de detaylıca açıklanmıştır.

Çizelge 2.18. Lityum iyon bataryanın avantaj ve dezavantajları (Linden ve Reddy 2002)

Avantajlar	Dezavantajlar
Kapalı hücre, bakım gerektirmemesi	Fiyatı
Uzun çevrim ömrü	Yüksek sıcaklıklarda bozunması
Geniş çalışma sıcaklık aralığı (+10 ile +55)	Koruyucu devre ihtiyacının oluşu
Uzun raf ömrü	Aşırı şarj sonucunda kapasite kaybı
Çabuk şarj olabilme kabiliyeti	Diğer pillere göre yüksek maliyet
Yüksek güçlü deşarj kapasitesi	Toplam şarj-deşarj ömrü düşük
Yüksek enerji verimi	Kullanılmasa dahi üretildiği günden itibaren kapasite azalması
Yüksek spesifik enerji ve enerji yoğunluğu	
Hafıza etkisinin olmayışı	

2.8. Lityum İyon Pillerin Çalışma Prensibi

Lityum iyon bataryalar hücrelerden oluştuğu için pil hücrelerinde pil seridi mevcuttur. Pil seridi, pil çeşidine göre içerdiği farklı kimyasallardan oluşan katmanlar içerir. En üst katmanda alüminyum ve alüminyum üstüne kaplanan katot malzemesinden oluşmaktadır. Katot altına bir seperatör katmanı yerleştirilir. Bakırın üzerine yapılan bir kaplamayla da anot oluşturulur. Bu katmanın altında iyonların yayılabilmesi için seperatör katmanı gelir. Seperatörün altında anod malzemesi bulunmaktadır. İyon hareketi için arada bir elektrolid sıvısı vardır. Sarj deşarj işlemi aslında en temelde + kutupta bulunan iyonların – tarafa geçerken oluşan akımı sarj yani enerji olarak tanımlanırken tersi de deşarj olarak tanımlanmaktadır. Gerçekleşen kimyasal tepkimeler aşağıda açıklanmıştır.

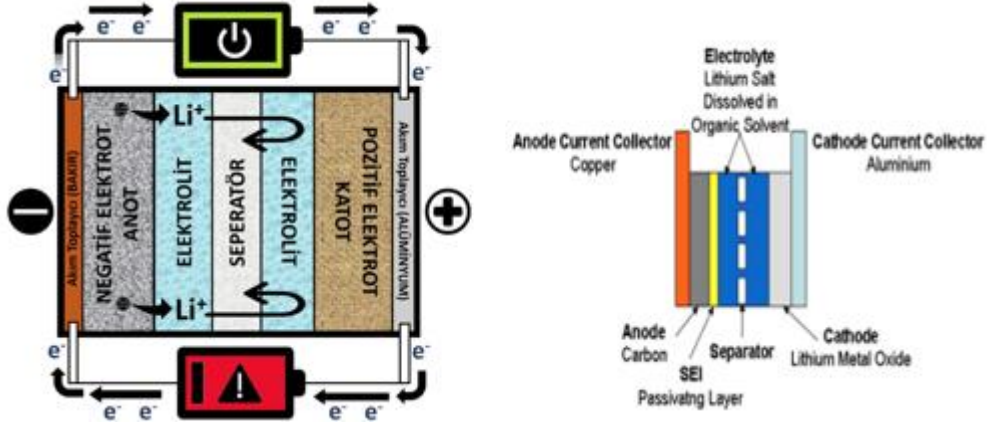
Pozitif elektrod reaksiyon



Negatif elektrod reaksiyon



Elektrolit, hücre içindeki elektrotlar arasında iyonları transfer etmek için ortamdır ve ayırıcı, elektrotları izole etmek için kullanılır. Ayrıca katı elektrolit arayüzü (SEI), ilk şarj sırasında karbon anodun yüzeyinde oluşan ince pasivasyon tabakasıdır. Reaksiyon hızını yavaşlatır ve akımı azaltır.



Şekil 2.25. Lityum iyon pil hücre yapısı

2.9. Lityum İyon Batarya Parametreleri

Elektrikli araçlarda lityum iyon bataryalarda pil sayısı modele ve tasarıma göre farklılık göstermektedir. Enerjiyi daha fazla depolayabilmek için hücre sayısı, pil sayısı ve modül sayısı fazla olmalıdır. Araçların daha uzun menzilli olmasını sağlar. Ancak bu durum etkin bir soğutma gerektirir. Az sayıda büyük hücre yerine çok sayıda küçük hücre kullanımı etkili soğutma sağlar. Yoğuşmaları en aza indirerek daha fazla pil şarj-desarj döngüsüne izin vereceğinden pilin uzun ömürlü olmasını sağlar. Bataryaların daha güvenli ve uzun ömürde kullanılabilmesi için bazı kontrol edilmesi gereken ve baz alınması gereken parametreleri mevcuttur. Öncelikle bataryalarla ilgili temel terimler açıklanmıştır.

2.9.1. Voltaj

Lityum iyon pillerin nominal voltajı 3.6 veya 3.7 voltur. Nominal voltaj tamamen dolu bir pili nominal deşarj akımıyla tamamen boşalttığımızda deşarj sırasındaki ortalama voltaj olarak tanımlanabilmektedir. Aslında kullanım boyunca alabileceğimiz ortalama voltajdır. Piller seri bağlandığında voltaj paralel bağlandığında kapasite artar.

2.9.2. Kapasite

Pillerin veri setlerin (data sheet) de veya üzerlerinde kapasiteleri belirtilmektedir. Pil kapasitesi standarda bağlı yapılmaktadır. Bu standart pili tamamen doldurduktan sonra oda sıcaklığında ve kapasitenin %20 si kadar akımla deşarj ederek test edilmelidir. Deşarj akımı arttıkça kapasite azalır. İdeal şartlardan uzaklaştıkça kapasite azalır. Sıcaklık azaldığında da kapasite azalır.

2.9.3. Akım

Voltajın dirence bölünmesi ile elde edilir

2.9.4. Sarj

Lityum iyon pilleri istediğimiz hızda sarj edemeyiz. Her pilin sarj akımı farklıdır. Ayrıca lityum iyon pilleri özel sarj aletleri yardımıyla CC (sabit akım) –CV (sabit voltaj) yöntemiyle sarj edilmelidir.

2.9.5. Deşarj

Lityum iyon pillerin deşarj voltajı kullanılan pilin markasına göre değişiklik gösterebilir. En garanti yol pillerin data sheetlerine bakarak uygun deşarj voltajı ve deşarj akımını kontrol etmektir.

2.9.6. Çevrim Sayısı (Cycle)

Bir pilin ortalama olarak kaç kez sarj-deşarj olabileceği yani çevrim oranı olarak bilinir. Pil %80 kapasite kaybı yaşadıktan sonra kararsız davranır. İdeal şartlardan uzaklaştıkça çevrim ömrü azalır.

2.9.7. Depolama

Lityum iyon piller en ideal olarak %40 doluluk oranı ve 0 derecede saklanmasıdır. Ancak 0 dereceye ulaşmak zor olduğundan oda sıcaklığı idealdir.

2.9.8. Depolanan Enerji

Bataryanın en temel görevi enerji depolamaktır. Depolanan enerji bataryanın gerilimi ve doluluk kapasitesinin çarpımına eşittir. Birimi watt-saat (Wh) olarak ifade edilmektedir.

2.9.9. Spesifik Enerji

Bataryanın kg başına depolanan enerjisi olarak tanımlanır. Birimi Wh/kg'dir.

2.9.10. Spesifik Güç

Bataryanın 1 kilogramından elde edilebilecek güç miktarını ifade etmektedir. Bazı bataryalarda spesifik güç yüksekken düşük spesifik güce sahiptir. Bu şekilde davranış gösteren bataryalar fazla enerji depolar fakat bu enerjiyi yavaşça kullanırlar.

2.9.11. Enerji Verimliliği

Enerji verimliliği bataryanın ürettiği elektrik enerjisi miktarının deşarjdan önceki duruma dönmesi için gerekli olan enerjiye oranı olarak tanımlanmaktadır.

Elektrikli araçlarda enerji verimliliğinin yüksek olması istenmektedir. Enerji verimliliğini düşüren en önemli etken hızlı sarj ve deşarj durumudur.

2.9.12. DoD (Deşarj Derinliği)

DoD tekrar kullanımdan sonra bataryanın ömrü hakkında yorum yaparken kullanılan bir parametredir.

2.9.13. Hafıza Etkisi

Bataryanın tam deşarj olmadan yeniden şarj edilmesi olarak tanımlanır. Bu durum sürekli olması halinde bataryanın dip kısımlarında kristaller oluşur ve bu kısımlar kullanılmaz hale gelir. Dolayısıyla bataryanın kapasite değeri düşer.



Şekil 2.26. Bataryada hafıza etkisi

2.9.14. Kendi Kendine Boşalım Oranı (Self-Discharge)

Bataryalar kullanılmasa da boşalır ve bu kendi kendine boşalım olarak adlandırılır. Bu oran pil tipi ve sıcaklık gibi faktörlerle değişir ve sıcaklık yükseldikçe bataryadaki kendi kendine boşalım oranı artar.

2.10. Lityum İyon Batarya Optimum Çalışma Şartları ve Isıl Sürüklenme

Li-ion bataryaların optimum çalışma aralığı 25 °C ile 40 °C arasındadır. Eğer bu sıcaklık üzerine çıkarsa verim düşerek bataryanın çalışma ömrü kısalmır.

Ayrıca çalışma aralığından yüksek sıcaklık bataryanın elektrokimyasal yapısını şarj, güç, kapasite, emniyet ve ömür gibi birçok parametresini olumsuz etkiler (Zaho ve ark. 2015).

Sony VTC6 18650 Li-ion bataryaya Ramadass ve arkadaşları tarafından yapılan tam kapasite yorulma çalışmasında 50 °C’de 600 çevrimden sonra %60’ını kaybeder.

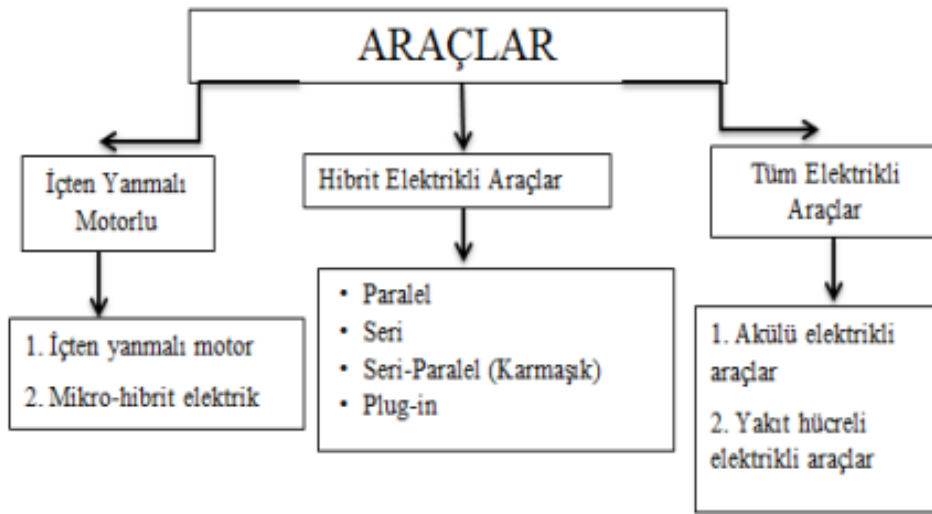
Elektrikli araçlara gereken enerjiyi sağlamak için büyük batarya kullanılır. Dolayısıyla modülde kullanılması gereken pil sayısının fazla olmasına sebep olmaktadır.

Bu durum aşırı ısınma problemine yol açmaktadır. Bu ısınma doğru ve etkin şekilde soğutulmadığında yanma ve patlama gibi durumlara yol açmaktadır. Bataryada her bölge aynı şekilde ısınmadığından batarya ömrü azalır ve ısıl sürüklenme olur.

Bataryanın ideal çalışma sıcaklığının altında olması da yüksek sıcaklıkta çalışması kadar performansı düşürmektedir. Bataryanın ideal çalışma sıcaklığı altında olması iyon aktarımını azaltır fazla olması durumunda ise kimyasal reaksiyonların hızlı hızlı olmasına neden olur. Bu durum doğrudan bataryanın ömrünün azalmasına neden olur. Harici ve ani ısınma sonucu deforme olması (delinme gibi) veya kısa devre olması durumları ısıl sürüklenmeye neden olan diğer sebepler arasında sayılabilir.

2.11. Araç Çeşitleri ve Elektrikli Araçlarla Karşılaştırılması

Elektrikli araçlar ve bu araçlarda kullanılan bataryalar hakkında bilgi vermeden önce farklı araç çeşitlerinin özellikleri anlatılarak genel bir bilgilendirme amaçlanmıştır. Teknolojinin gelişmesi ve insan ihtiyaçlarının değişmesiyle birlikte araç tipleri değişerek farklı tipte sınıflandırmalar oluşmuştur. Bu tezde hibrit elektrikli araçların çeşitlerinden bahsedilmiştir. Şekil 2.27.'da araçların sınıflandırılması gösterilmiştir.

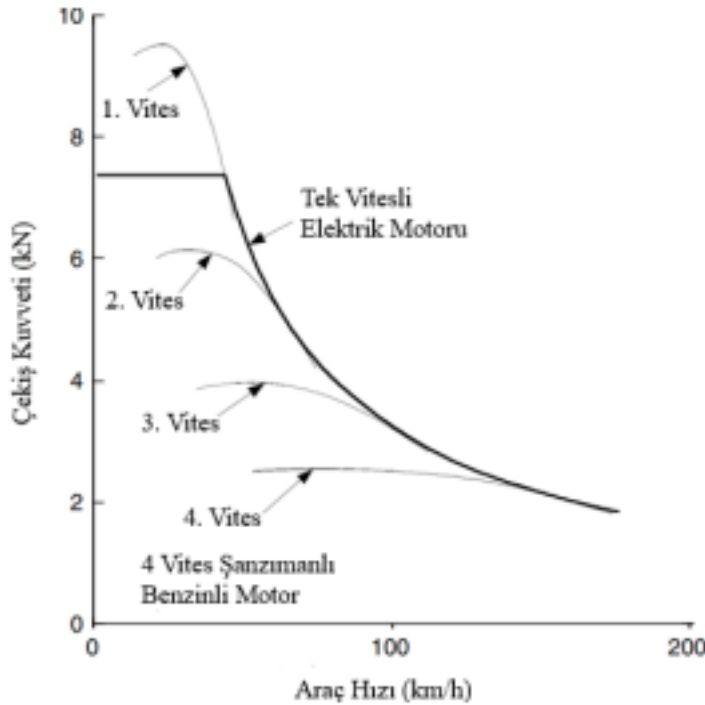


Şekil 2.27. Araç sınıflandırılması (Tie ve ark. 2013)

2.11.1. İçten Yanmalı Motorlar

İçten yanmalı motorda yakıtın motor içerisinde yanma odası verilen alanda yakılması ile oluşan basıncın piston denilen parçayı ileri geri hareket ettirmesi krank milinde dönme hareketine dönüştürülür.

Elektrikli araçlarla elektrikli motor doğrudan dairesel hareket oluşturur ve bu hareket doğrudan tekerleklere aktarılabilir. İçten yanmalı motorlarda ise pistonların doğrusal hareketi farklı sistemler kullanılarak dairesel harekete dönüştürülebildiği için daha fazla malzeme ve sistem kullanımı ve buna bağlı olarak ağırlığın artması sayılabilir. Devir ve hız arttığında çekiş kuvveti içten yanmalı motorlarda azalır. Bu nedenle vites ve farklı dişli oranlarına ihtiyaç vardır. Elektrikli araçlarda ise sürekli bir çekiş kuvveti ve torku oluşmasından dolayı tek vites yeterli olmaktadır. Elektrikli ve içten yanmalı motorların karşılaştırılması ile alakalı grafik şekil 2.28.'de gösterilmektedir.

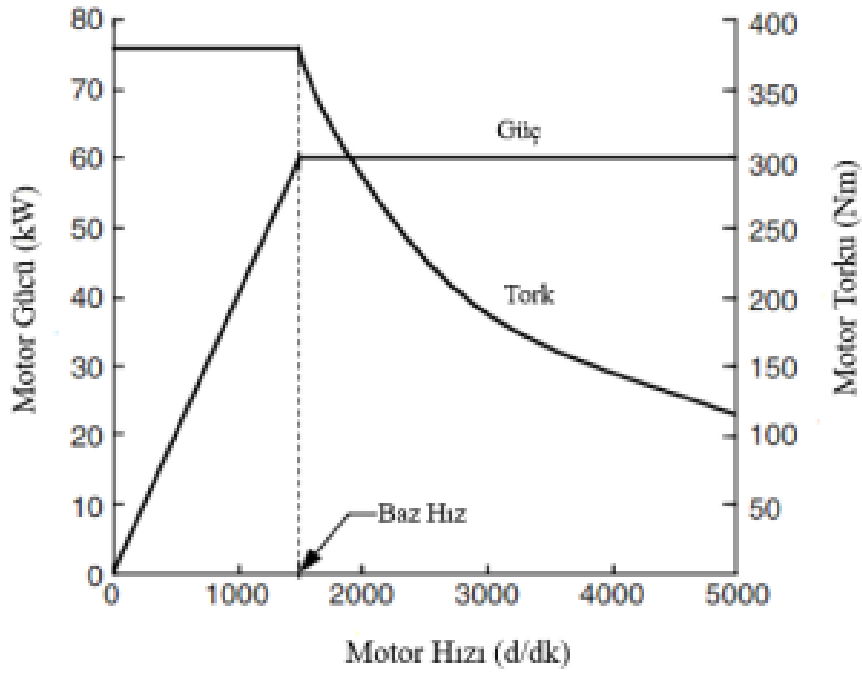


Şekil 2.28. Elektrik motoru ve benzinli motorun karşılaştırılması (Ehsani ve ark 2018)

Elektrik motorlarında aracın kalkışında yüksek tork ve anlık hızlanma için motor güç yoğunluğunun fazla olması istenmektedir.

Hızın yüksek olduğu çalışma şartlarında gücün yeterli olmalıdır. Ayrıca hızın farklı olduğu durumlarda da güç değeri sürekli değişmemeli ve verim yüksek olmalıdır.

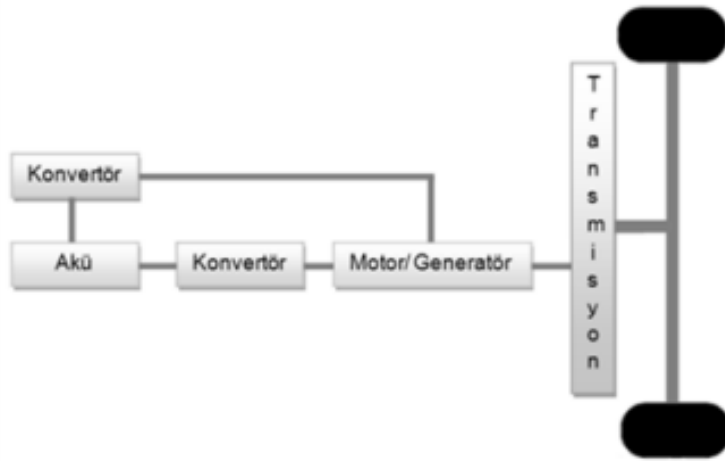
Motor gücünün sabit ise hız değerleri geniş bir aralıkta olması arzu edilir. Elektrikli araçların karakteristik performans eğrisi Şekil 2.29'da karşılaştırmalı olarak verilmektedir (Ehsani ve ark.2018)



Şekil 2.29. Elektrikli araçların tırmanış durumu performans eğrisi (Ehsani ve ark 2018)

2.11.2. Tamamen Elektrikli Araçlar

Tamamen elektrikli araçlarda elektrik motoru bulunmaktadır (Şekil 2.30.). Elektrik motoru enerjiyi bataryadan almaktadır (Sayın ve Yüksel, 2011).



Şekil 2.30. Tümü-EA şematik gösterimi (Tuncay ve Üstün 2005)

Tümü-EA’larda bataryayı desteklemek gerekirse enerjiyi ikinci bir batarya ya da süperkapasitör ile sağlamaktadır. Kullanılan bu destek kaynaklar kısa ivmelenmelerde güç sağlamaktadır. Tümü-EA’lar içten yanmalı araçlara göre verimli ve tek bataryada verim yaklaşık %46 olmasına rağmen içten yanmalı araçlar yaklaşık %18-25’lik verimle çalışmaktadırlar (Ünlü ve ark 2003).

Tümü-EA’lara “sıfır emisyonlu araçlar” olarak adlandırılmasının sebebi hiçbir gazın açığa çıkmamasıdır. Rejenaratif frenleme ile fren ömürleri yüksek ve yalnızca elektrik motoru kullanılmasından dolayı sessiz çalışmaktadırlar. Bataryanın şarj olması için elektrik motoru jeneratör gibi kullanılarak üretilen elektrik enerjisi sayesinde bataryalar beslenir. Klasik araçlarla kıyaslanacak olursa yakıt ve bakım maliyetleri az ve taşıtın tahrik edilmesi için transmisyon sistemi de az olduğundan yağ değişikliği gibi masraflara da gerek yoktur (Ertaç 2008 Ünlü ve ark 2003).

Tümü-EA’ların kullanımının yaygınlaşmasını zorlaştıran en önemli etken araç performansısıdır. Ayrıca Tümü-EA’ların üretimindeki yüksek maliyet pazar payını daraltır. Aslında en önemli durum elektrikli araçların piyasa sunulduktan sonra bakım, onarım ve servis istasyonları gibi birçok ortaya çıkabilecek hizmetin sağlanabilmesi için gerekli ve yetkin personelin hazır bulundurulmasıdır.

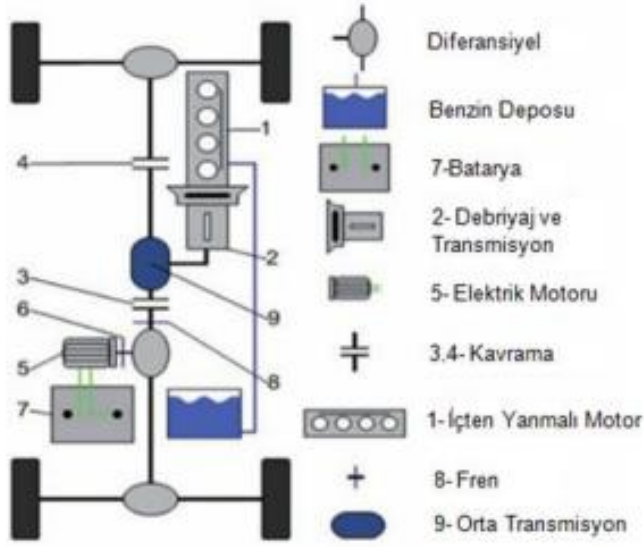
Bataryaların ağır ve menzillerinin sınırlı olması gibi sebepler Tümü-EA'lar için kullanılmasının yaygınlaşması açısından etkin sebeplerdir. Bu nedenle bataryaların enerji yoğunluğunu artırıp araç menzilin arttırmak için ileri kurşun-asit bataryaların geliştirilebilmesi üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Tümü-EA'nın şarj etmek yaklaşık 5-8 saat sürerken bazı yüksek hızlı şarj cihazları daha kısa sürede şarj eder. Ancak bu durum bataryaların ömrünü kısaltır (Ünlü ve ark 2003).



Şekil 2.31. Tümü-EA'ya örnek iç yapı (UKIP 2014)

2.11.3. Hibrit Elektrikli Araç Tipleri

Hibrit elektrikli araçlarda (HEA) içten yanmalı motorlar, gaz türbini ya da batarya kullanılmaktadır. İçten yanmalı motorlarda kullanılan hibrit elektrikli araç Şekil 2.32.'de verilmiştir.



Şekil 2.32. HEA şematik gösterimi (UKIP 2009)

HEA’larda enerji depolama için kullanılan sistemler bataryalar, süper kapasitörler ve volanlardır.

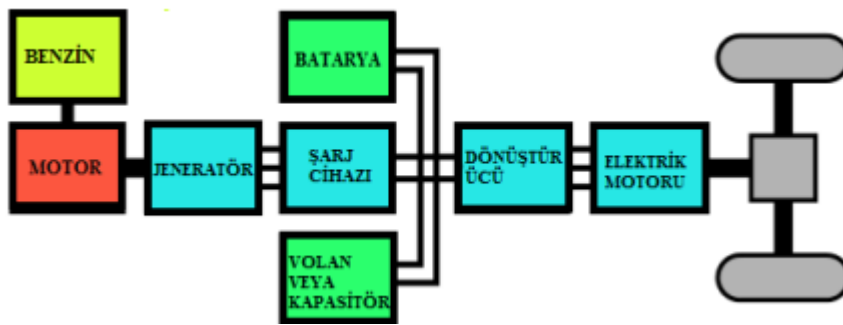
Enerji dönüşüm sistemi enerji depolama sistemi, güç ünitesi ve taşıtı itici sistemlerinden oluşur. Hibrit güç ünitesinde otto motorlar, dizel motorlar, gaz türbinleri ve yakıt pilleri kullanılırken itici kuvvet ise seri hibrit modelindeki gibi elektrik motoruyla veya paralel hibrit modelindeki gibi elektrik motoruna ilave olarak İYM’den karşılanabilmektedir (Ünlü ve ark 2003). HEA’nın iç yapısı Şekil 2.33.’de verilmiştir.



Şekil 2.33. Örnek HEA iç yapısı

1. Seri hibrit elektrikli araçta içten yanmalı motor, pilleri şarj eder ve elektrik motoru tekerleklere güç sağlar. Pillerdeki kaybı en aza indirmek için volan ve ultrakapasitörler bulunur.

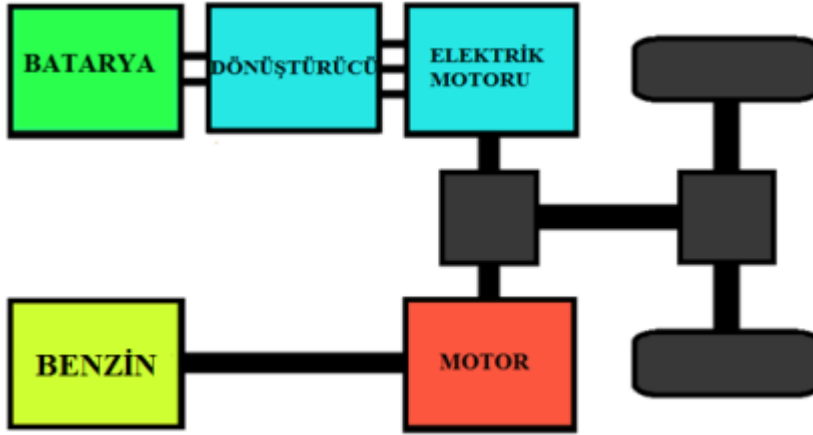
Seri hibrit elektrikli otomobil, kamyon ve deniz ulaşım araçlarında kullanılabilmektedir (Gören, 2011).



Şekil 2.34. Seri hibrit elektrikli araç modelinde güç aktarma sistemi

2. Paralel hibrit elektrikli araç modelinde hem içten yanmalı motor (ICE) hem de mekanik bir şanzımana bağlı bir elektrik motoru bulunur. Seri hibritin tersine bu yapı daha karmaşık ve bu iki motor aracı birlikte tahrik eder. Bu durumda İYM

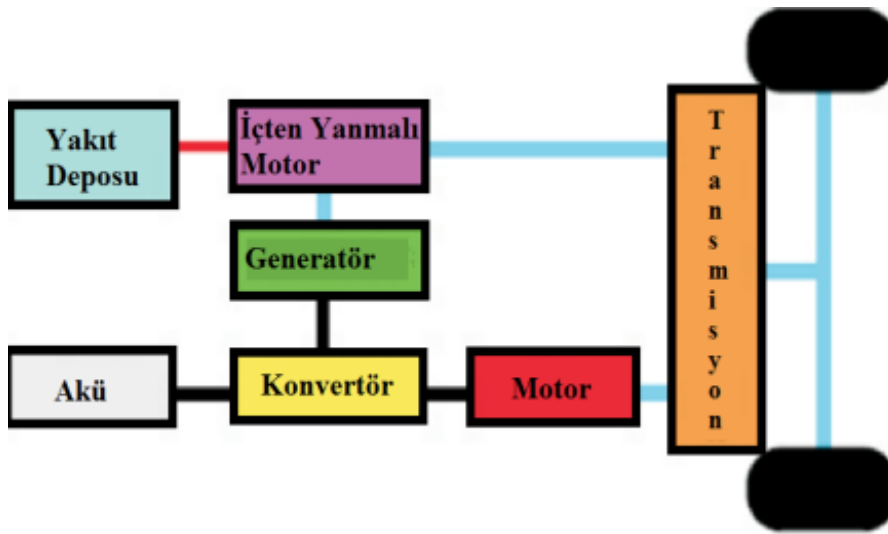
(İçten Yanmalı Motor) ve EM (Elektrik Motoru) mekanik olarak birbirlerine bağlıdır. Bu iki motorun güçleri tork dönüştürücülerle birleştirilir.



Şekil 2.35. Paralel hibrit elektrikli araç modelinde güç aktarma sistemi

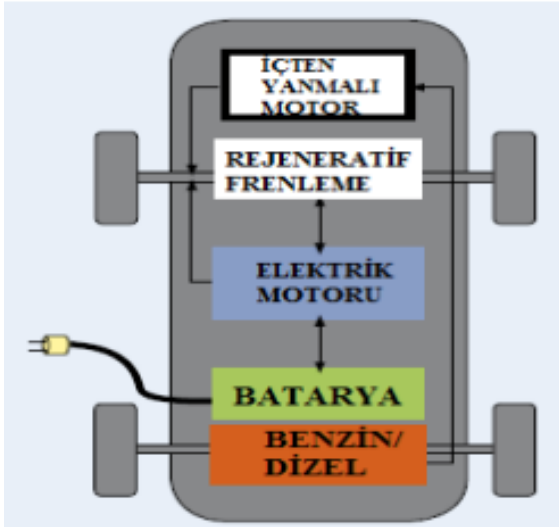
3. Seri-paralel hibrit elektrikli araçlar tipinde ise aslında hem seri hem de paralel hibritin sunduğu özellikleri bir aradadır. İçten yanmalı motor, jeneratör, elektrik motoru vardır ve bunlar mekanik olarak birbirlerine bağlıdır. Elektrik motoru, jeneratör ve içten yanmalı motoru mekanik olarak bağlamak için ise planet dişli grubu gibi sistemler kullanılmaktadır. Bu araç tipine örnek olarak Toyota Prius verilebilir.

Bu uygulama en karmaşık ve en az verimli güç organıdır. Tekerleklerin gücü mekanikle enerji elektrik enerjisi veya her ikisiyle sağlanabilmektedir.



Şekil 2.36. Seri-paralel hibrit elektrikli araç modelinde güç aktarma sistemi

4. Plug-In hibrit elektikli araçta elektrik motorunu çalıştırmak için piller kullanır. Plug-In hibrit araçlarda pil şarj için şebeke veya içten yanmalı motordan ve rejeneratif fren ile sağlanabilmektedir. Plug-In hibrit araçlarda, diğer araç tiplerine göre büyük piller kullanılmaktadır. Bu araç tipleri içten yanmalı motor ile çalışırken bile, yakıtı az harcayarak düşük emisyon üretirler. Plug-In hibrit elektikli araçlar az petrol tüketimi ile fosil yakıt kullanımını azaltır. Pilin şarj olması birkaç saat sürer, ancak %80 kapasiteye "hızlı Şarj" 30 dakika kadar sürebilir.



Şekil 2.37. Plug-In hibrit elektikli araç modelinde güç aktarma

Rejeneratif frenleme ile enerji kaybı azalır ve bataryaların şarjı aracın durması ve yavaşlaması esnasında kullanılan enerjinin geri kazanımı ile batarya şarj edilir. İçten yanmalı motorlarda ağırlığın azaltılması ile verim artar, emisyon değerleri azalır.

Hibrit elektikli araçlarda araç durduğunda içten yanmalı motorun çalışmaması nedeniyle gürültü olmaz ve boşta çalışma kayıpları azalır.

Hibrit sistemin avantajları ve dezavantajları üç farklı kategoride incelenerek Çizelge 2.19'da verilmiştir (Ünlü ve ark 2003).

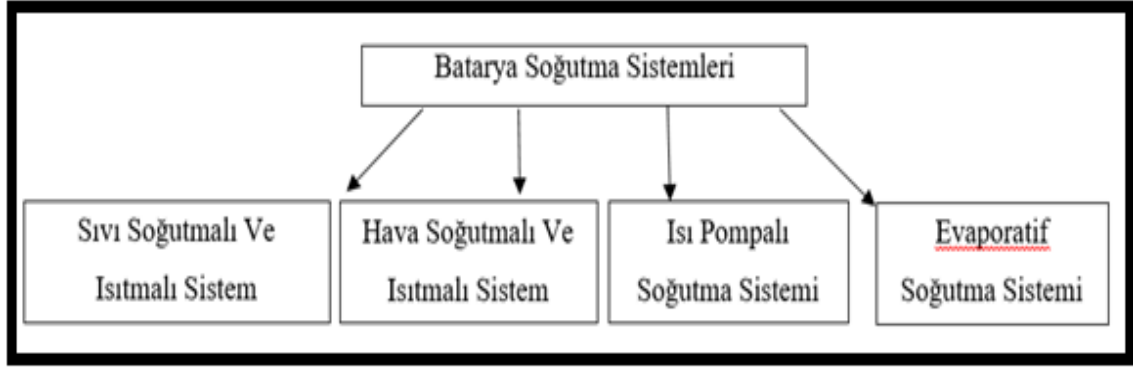
Çizelge 2.19. Hibrit elektrikli araçların karşılaştırılması (Ünlü ve ark 2003)

Seri Hibrit Sistem	Paralel Hibrit Sistem	Plug-in Hibrit Sistem
Sistemde üç tahrik ekipmanına ihtiyaç vardır: ĞYM, elektrik motoru ve jeneratör	İhtiyaç duyulan güç İYM ve elektrik motoru olmak üzere iki farklı kaynaktan elde edildiği için enerji yönetimi önemlidir.	Normal hibrit araçlardan daha pahalı olan lityum iyon batarya kullanılır.
Elektrik motoru azami gücü karşılayabilecek düzeyde tasarlanırken çoğunlukla azami gücün altında çalışmaktadır.	İki farklı motordan (İYM ve elektrik motoru) gelen gücün tahrik tekerlerine düzgünce iletilebilmesi için karmaşık mekanik elemanlara ihtiyaç vardır.	Plug-in hibrit sistemlerde çarpışma olması durumunda potansiyel güvenlik tehlikelerinden endişe edilmektedir.
Güç sisteminin maliyeti yüksek ve ağırdır.	Sistem sessiz çalışmamaktadır.	Uzun yolculukta tamamen içten yanmalı motor çalışır.

2.12. Batarya Soğutma Yöntemleri

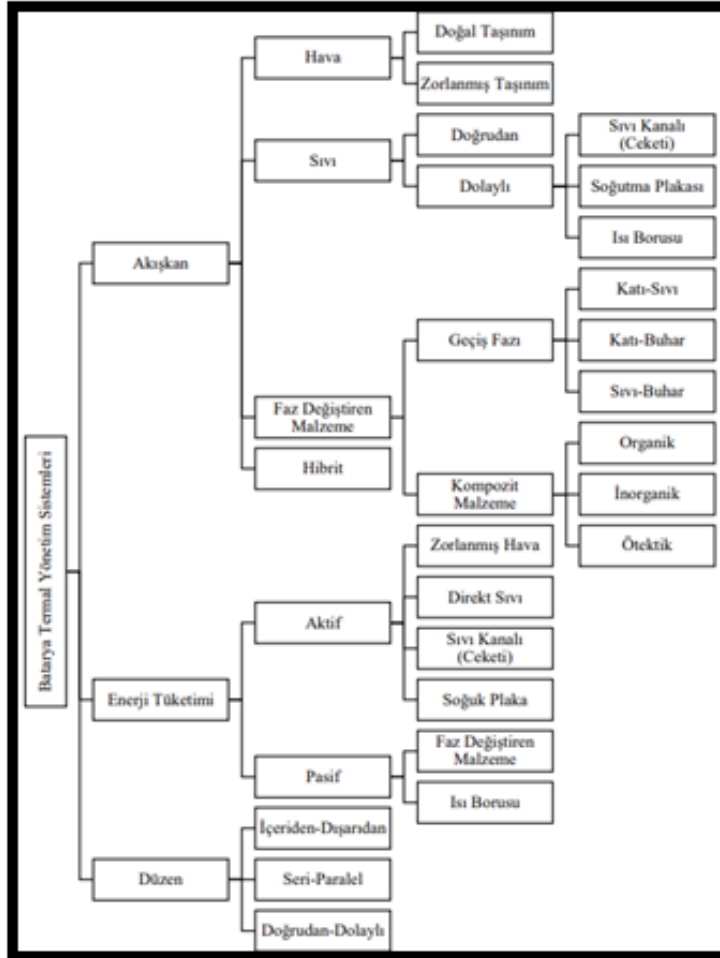
Elektrikli araçlarda, batarya paketinin çalışma sıcaklığını optimum aralıkta tutabilmek amacıyla batarya termal yönetim sistemi bulunur.

Batarya yönetim sistemi tasarımında en önemli parametreler batarya kapasitesi, batarya ısı üretim katsayısı, batarya kutusunun yalıtımı ve bataryanın araç içerisindeki konumudur. Etkin ve güçlü bir BTYS basit, düşük masraflı, enerji tüketiminin optimum düzeyde olması ve en önemlisi batarya sıcaklığını çalışma aralığında kontrol edebilme kapasitesine sahip olması gerekmektedir. Batarya soğutma yöntemleri Şekil 2.38.'de görülmektedir.



Şekil 2.38. Batarya soğutma sistemleri

Genel olarak batarya soğutma yöntemleri tanıtıldıktan sonra akışkan tipine göre geniş sınıflandırılmış Şekil 2.39 'da görülmektedir.



Şekil 2.39. Batarya termal yönetim sistemlerinin akış tipine göre detaylı sınıflandırılması (Arora, 2018)

Hibrit araçlarda kullanılan bataryalar tam elektrikli araçlarda kullanılan bataryalar kadar çok güçlü olmadığından akışkan olarak hava kullanılırken tam elektrikli araçlarda sıvı ile termal yönetim sistemi kullanılmaktadır. Şekil 2.40.'da batarya termal yönetim sistemleri birçok yönden karşılaştırılmıştır (Arora, 2018).

Kriter	Zorlanmış Hava	Sıvı			Faz Değiştiren Malzeme
		Sıvı Kanalı (Ceketi)	Soğutma Plakası	Isı Borusu	
Kullanım Kolaylığı	Basit	Zor	Orta	Orta	Basit
Montaj	Basit	Zor	Orta	Orta	Basit
Enerji Verimliliği	Düşük	Yüksek	Orta	Yüksek	Yüksek
Sıcaklık Değişimi	Yüksek	Orta	Orta	Orta	Düşük
Soğutma Seviyesi	Düşük	Yüksek	Orta	Yüksek	Yüksek
Rejenerasyon Oranı	Yüksek	Orta	Yüksek	Orta	Düşük
COP	0,4-0,7	1,8-2,1	1,5-1,9	-	-
Bakım	Zor	Basit	Orta	Orta	Zor
Yatırım Maliyeti	Düşük	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta
Ölçeklendirilebilirlik	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük	Yüksek
Teknik Risk	Düşük	Yüksek	Orta	Orta	Düşük
Geliştirme Durumu	Ticari	Prototip	Ticari	Prototip	Prototip

Şekil 2.40. Batarya termal yönetim sistemlerinin karşılaştırılması (Arora, 2018)

2.12.1. Sıvı Soğutmalı Sistem

Isı transferi için tercih edilen soğutucu akışkanlardan birisi de sıvıdır. BTYS kullanılan soğutucu sıvı akışkanlar iki grup altında toplanmaktadır. Çizelge 2.20'de gruplandırılmıştır.

Çizelge 2.20. Soğutucu sıvı akışkanların sınıflandırılması

Direkt temas	İndirekt temas
Pillerle direkt temasta olan dielektrik sıvılar	Pillerle direkt olarak temasta olmayan indirekt sıvılar

Sıvı soğutmalı sistem yüksek güce sahip bataryaların şarjı/deşarjı esnasında oluşacak ısınmayı engellemek için kullanan akışkanların düşük viskoziteye, yüksek termal iletkenliğe sahip olması istenir. İndirekt sıvı soğutmalı sistemlerde ise soğutma veya ısıtma plakaları arasına batarya modülleri yerleştirilerek soğutma uygulanabilmektedir. Buna ek olarak batarya modülü çevresine borular konularak soğutmada tercih edilebilmektedir.

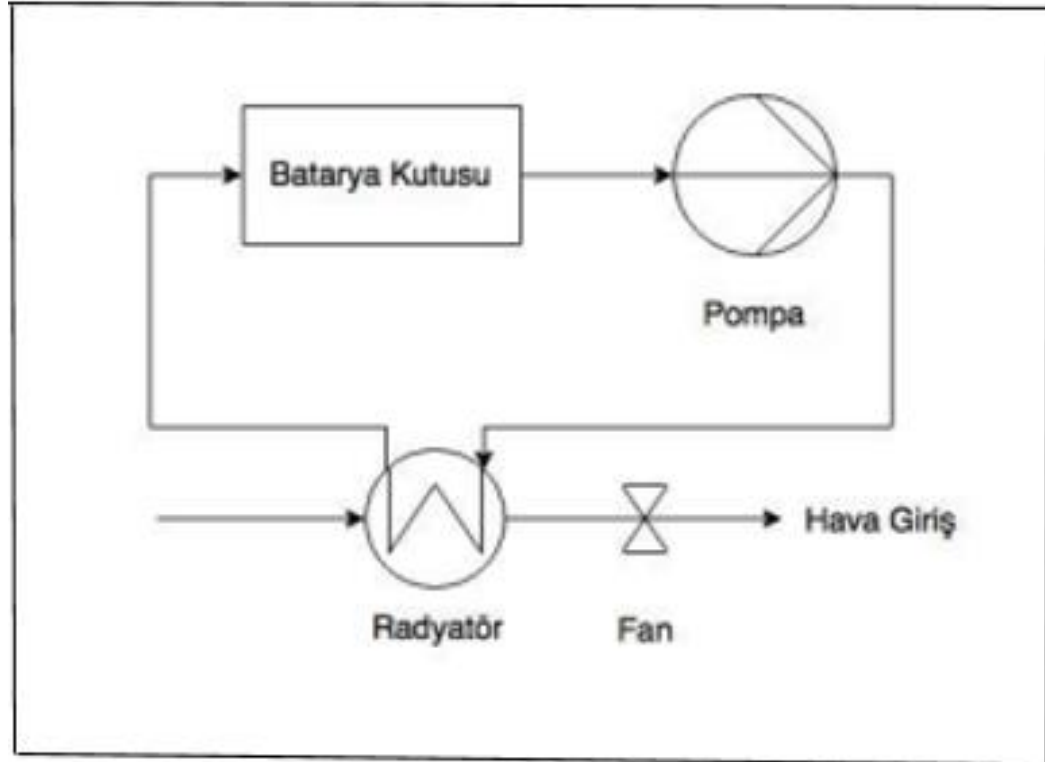
Dolaylı yoldan temas eden sıvı soğutmalı sistem pil modülü ve çevresine daha iyi ve etkin soğutma performansı sağladığı için direkt sıvı soğutmalı yöntemle göre daha fazla tercih edilebilmektedir. Dolaylı batarya termal yönetim sistemlerinde ise akışkan doğrudan temas halinde olmayıp ek ekipmanlar kullanılarak sağlanmaktadır.

Dolaylı batarya termal yönetim sistemleri pratiklik, güvenilirlik ve kararlı olması tercih sebebidir.

Şekil 2.41.'de pasif sıvı soğutmalı sistem görülmektedir. Sıvı soğutmalı sistem kullanılmasının avantajları ve dezavantajları Çizelge 2.21'de verilmiştir.

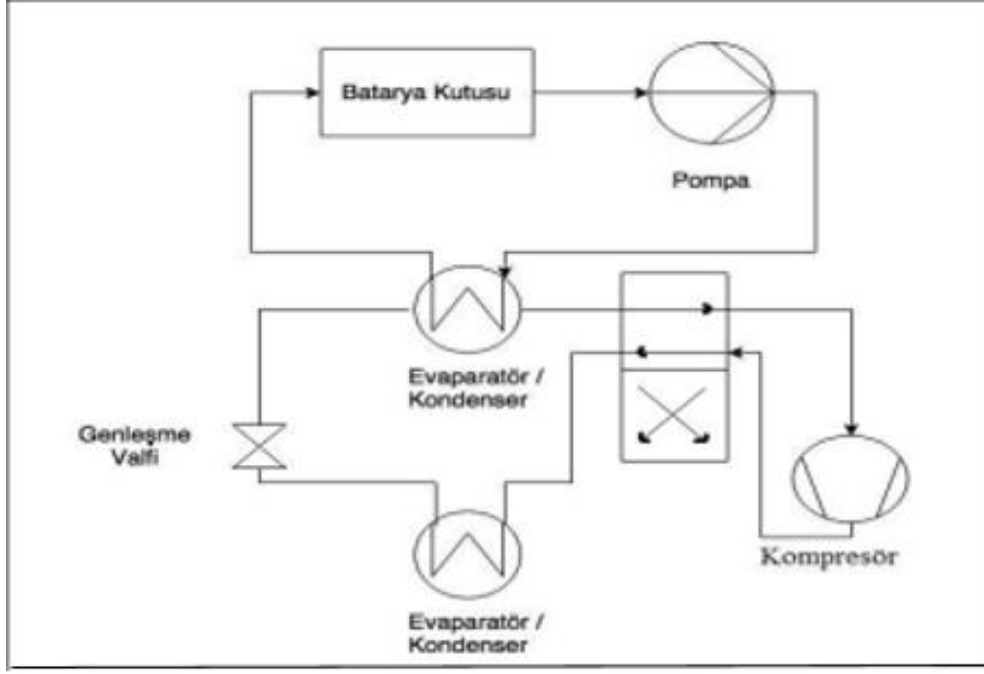
Çizelge 2.21. Sıvı soğutmalı sistem kullanılmasının avantajları ve dezavantajları

Sıvı soğutmalı sistemin avantajları	Sıvı soğutmalı sistemin dezavantajları
Etkili soğutma	Sıvı kaçağı tehlikesi
Etkin soğutma ile homojen sıcaklık dağılımı	Korozyon



Şekil 2.41. Pasif sıvı soğutmalı sistem (Li ve Zhu 2014)

Aktif sıvı soğutma sisteminde ise iki çevrim vardır. Birinci çevrim pasif sıvı soğutmalı sisteme benzer ve soğutucu akışkan pompa ile sistemde dolaşır, ikincil çevrim ise klima çevrimi olarak adlandırılır.

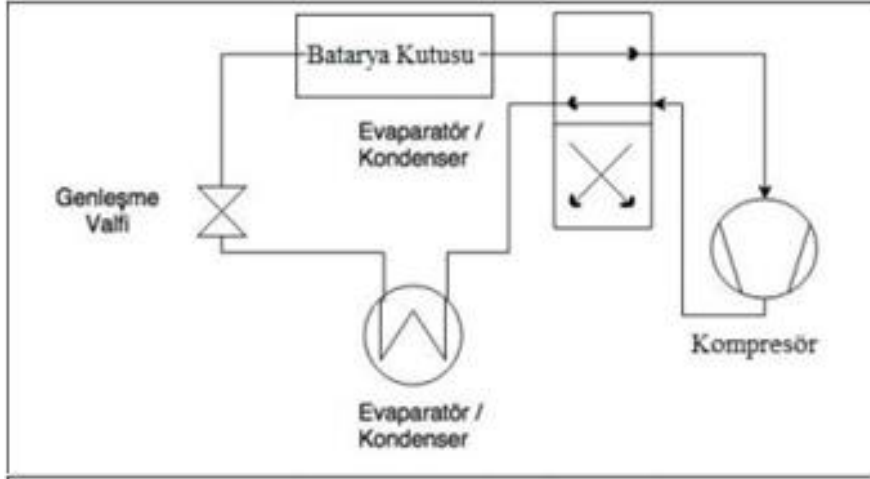


Şekil 2.42. Aktif sıvı soğutmalı sistem (Li ve Zhu 2014)

Şekil 2.42.'de üstte bulunan ısı eşanjörü soğutma için radyatör yerine evaporatör görevi görür ve çevrimleri birbirine bağlar. Isıtma operasyonu sırasında 4 yollu valf açılır. Üstteki ısı eşanjörü kondenser, alttaki ısı eşanjörü ise evaporatör görevi görür.

Direk temaslı sıvı soğutmalı sistem ile aktif sıvı soğutmalı sistem benzerlik göstermektedir. Direkt sıvı soğutmalı sistemde kullanılan soğutucu akışkan doğrudan batarya paketi içerisinde dolaştırılır.

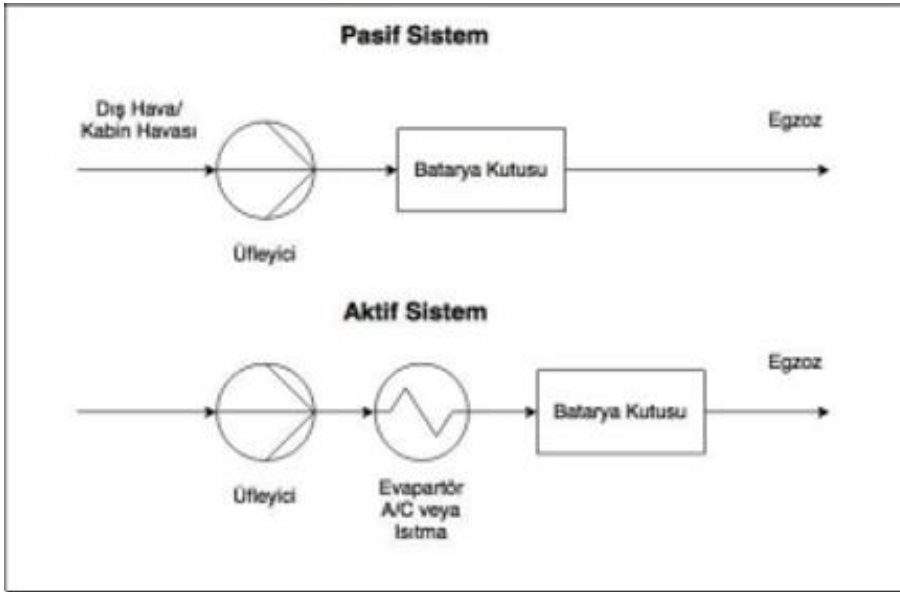
Şekil 2.43.'de direkt temaslı sıvı soğutmalı soğutma ve ısıtma sistemi görülmektedir.



Şekil 2.43. Direkt temaslı sıvı soğutmalı sistem (Li ve Zhu 2014)

2.12.2. Hava Soğutmalı ve Isıtmalı Sistem

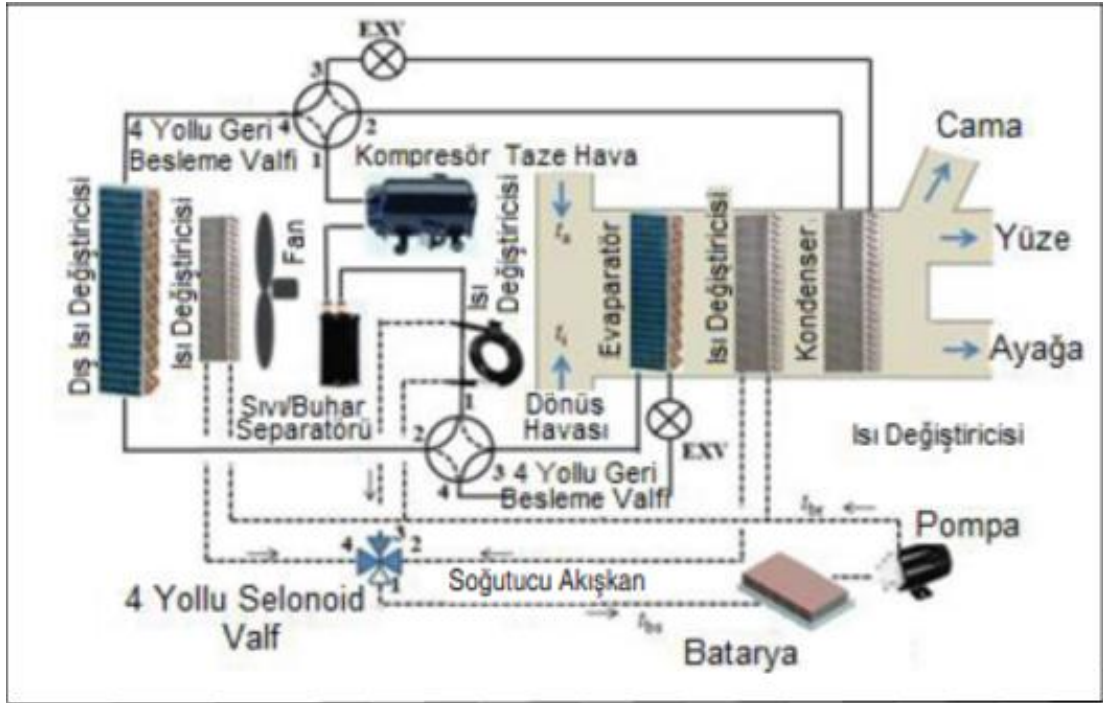
BTYS giriş havası direkt atmosferden alınabileceği gibi klima sisteminin kondenserinden veya evaporatöründen de alınabilir. Giriş havasının atmosferden veya kabinden alındığı sistem pasif hava soğutmalı sistem, klima sisteminin kondenserinden veya evaporatöründen alınan giriş havası ise aktif hava soğutmalı sistem olarak adlandırılmaktadır. Her iki sistem de hava bir fan yardımıyla sağlanmaktadır ve zorlamalı hava sistemi olarak isimlendirilir. Şekil 2.44.'de hava soğutmalı sistem görülmektedir.



Şekil 2.44. Hava soğutmalı sistem (Li ve Zhu 2014)

2.12.3 Isı Pompalı Sistem

Isı pompalı soğutma sisteminde evaporatör ve kondenser havalandırma kanalına yerleştirilir. Soğutma sıvısı üç farklı ısı eşanjörüne 4 yollu selenoid valf ile taşınır ve kontrol edilir. Şekil 2.45.'de ısı pompası sistemi ile birleşik batarya soğutma sistemi görülmektedir. Isı pompası sistemi kapalı olduğunda, batarya ısısı araç önünde bulunan ısı eşanjörü yoluyla doğal soğutma kaynağından faydalanılarak soğutulur. Isı pompası ısıtma modunda olduğunda, karışım havasını ön ısıtma ve ısı pompası enerji tüketimini düşürmek için batarya ısısı hava kanalı içindeki ısı eşanjörü tarafından soğutulur. (Zou ve ark. 2014)



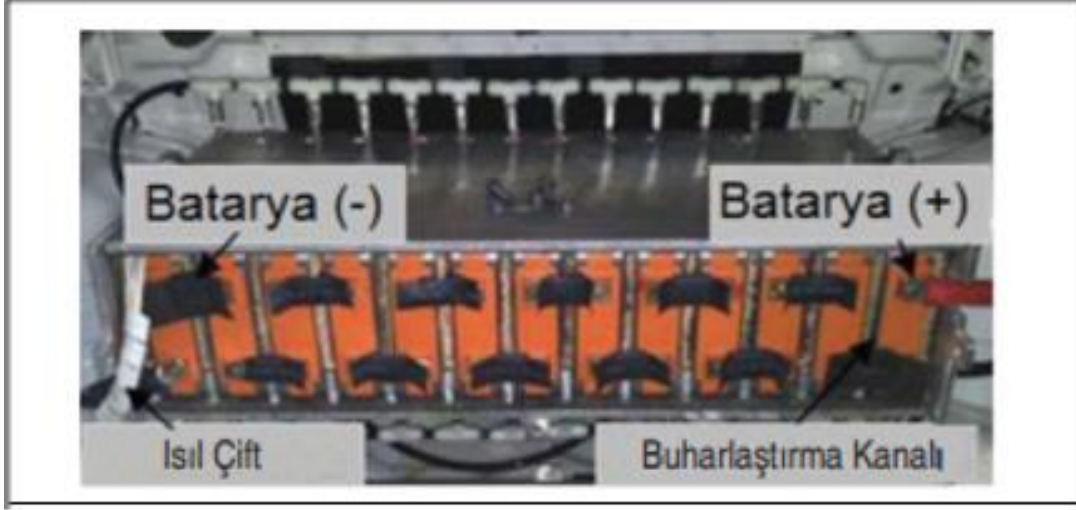
Şekil 2.45. Klima birleşik ısı pompası sistemi (Li ve Zhu 2014)

2.12.4. Evaporatif Soğutma Sistemi

Evaporatif kanalı her modül için üstte giriş menfezi ve altta çıkış menfezi ile donatılmıştır. Giriş menfezi, evaporatif kanalının içine düşük basınçlı sıvı soğutucuyu iletmek, çıkış menfezi ise evaporatif kanalından ısıtılmış soğutucuyu emmek için kullanılır. Bu direkt soğutucu tabanlı evaporatif soğutma sistemi batarya paketini soğutur.

Bataryada üretilen ısı soğutma kanalı içindeki soğutucu gazın buharlaşmasıyla absorbe edilir ve daha sonra kondenser ısıyı çevredeki havaya dağıtır.

Bu proses düşük basınçlı sıvıdan düşük basınçlı buhara soğutucu üzerinden döner. Evaporatör veya soğutma kanalı, ana soğutma sistemine paralel bağlanır. (Ataur ve ark 2014).



Şekil 2.46. Evaporatif soğutma sistemi (Li ve Zhu 2014)

2.13. Literatürdeki Batarya Soğutma Çalışmaları

Elektrikli araçlarda farklı soğutma tiplerine göre bataryanın soğutulması üzerine olan etkisini anlamak ve literatür de yapılan çalışmaları öğrenmek amacıyla öncelikle kaynak araştırılması yapılmıştır. Bu çalışmalar ışığında bu tez kapsamında özgün bir çalışma amaçlanmıştır. Bu çalışmada kaynaklara kronolojik sıraya göre yer verilmiştir.

(Wu ve diğerleri, 2002) bu makalede bu makalede lityum-iyon pillerdeki sıcaklık dağılımını incelemek için iki boyutlu bir modeli kullanılmıştır. Deneysel olarak kullanılan test numunesi 12 Ah, silindirik, pil çapı 40 mm ve pil uzunluğu 110 mm olan lityum iyon pil kullanılmıştır. Sıcaklık artışlarını engellemenin ve ısı dağılımını pilin etkin çalışabilmesi için istenilen etkide etkilemek için bir ısı borusu kullanılmıştır. Isı borusu ile pil duvarı arasındaki bağlantı, ısı dağılımında önemli bir rol oynar.

Isı borusunu bir alüminyum kanatçık içine sokmak, sıcaklıktaki artışı azaltmak ve pil yüzeyinde üniform bir sıcaklık dağılımı sağlamak için uygun görünmektedir. Deneysel ve analiz sonuçları, doğal konveksiyonla soğutmanın, batarya sisteminden ısıyı uzaklaştırmak için etkili bir araç olmadığını zorunlu konveksiyon soğutmanın bataryadaki sıcaklık artışını azaltabileceği bulunmuştur. Bununla birlikte, pil yüzeyinde üniform olmayan bir sıcaklık dağılımı kaçınılmazdır ve bu da termal yönetimi zorlaştırır.

Hwang, Chen ve Chen (2014) bu makalede pakette 8 sıra ve 4 sütun halinde 30 pil hücresi vardır. Hücre arası boşluk 15 mm dir. 2 Giriş kısmı paketin önünde 2 çıkış ise paketin tepe kısmında yer alır. Paket için alüminyum alaşımı kullanılır. Soğutucu olarak hava kullanılmıştır. Akış türbülanslıdır. Çalışmada eşit olmayan sıcaklık dağılımını iyileştirmek için ilk olarak çıkış kısmını aynı bırakarak giriş kısmının konumlarını değişimini incelemişlerdir. Daha sonra da çıkış kısmını değiştirerek analiz gerçekleştirmişlerdir. Analiz sonucunda tüm paketin maksimum sıcaklığı hücre içindeki çekirdekte meydana gelmiştir. Paketin soğutma yollarındaki boşluk değerlerine bağlı olarak daha fazla soğutma havası geçen ve boşluk değerine göre hızı yüksek olan yerlerde sıcaklık azalmıştır. Bu giriş ve çıkış konumun bağlı olarak sıcaklık dağılımında simetrik dağılımlar da gözlemlenmiştir ve soğutma havasına yakın hücrelerde hücre sıcaklığı düşük çıktığı gözlemlenmiştir.

Wang, Tseng, Zhao ve Wei, (2014) bu makalede pillerin sıcaklığının dar optimum aralıkta çalışmalarını garanti etmek termal yönetimine dikkat edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Bu yüzden çalışmada 1x24, 3x8 ve 5x5 dizi dikdörtgen düzenleme ve dairesel düzenleme gibi farklı hücre düzenindeki termal performansı ve pil modülünün farklı konumlarına fanlar yerleştirilerek hava soğutma stratejileri de araştırılmıştır. Analiz üç boyutlu incelenmiştir. Ticari yazılım olarak ANSYS Icepack 14.5 kullanılmıştır. Sonuç olarak fanın pil modülü üzerine konumlandırıldığında en iyi soğutma performansı elde edildiğini ve hava soğutmalı termal yönetim için soğutma etkisi ve maliyet açısından kübik düzenleme fakat pil modülünün alanının efektif kullanımı açısından altıgen yapı en uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Zhao ve diğeri, (2015) bu makalede sırasıyla çapları, uzunlukları ve kapasiteleri sırasıyla 18x65 mm 2,5 Ah 26x65 mm 3,2 Ah ve 42x110mm 10 Ah olan 3 farklı boyutta silindirik lityum iyon silindirik pil ANSYS Fluent 14.0 programında incelenmiştir. 24 adet batarya 4S6P (4 seri, 6 paralel) olacak şekilde batarya paketi tasarlanmıştır. Hava soğutma sisteminin ısı transfer özelliklerini kapsamlı bir şekilde anlatmak için silindirik lityum iyon pil paketi için pil modelleri oluşturulmuş ve farklı havalandırma türlerinin etkisini incelemek için hızlar, bataryalar arasındaki boşluklar, batarya çapı giriş sıcaklıkları dikkate alınarak parametrik çalışma yapılmıştır. Sonuç olarak hava hızının artmasıyla sıcaklık farkının azaldığı ve bitişik batarya sırasında hava akış yönünün tersine çevrilmemesi ve hava boşluk aralığının çok büyük ve çok küçük olmaması S/D'nin uygun değeri (komşu hücreler ile hücre çapı arasındaki boşluk mesafesinin oranı) kademeli olarak hücre çapının artmasıyla birlikte azaldığı sonuçlarına ulaşılmıştır.

Basu ve diğeri, (2016) bu makalede BTYS için yeni soğutucu akışkanı 18 mm çapında 65 mm boyunda bir batarya paketi için incelemiştir. Batarya paketi 6S5P (6 seri ve 5 paralel) şeklinde 30 batarya elemanından oluşturulmuştur. Bu sistemde ısı iletim ile sıvıya taşınacak şekilde tasarlanmıştır. İletim elemanı alüminyum bir malzemeden meydana getirilmiş bir levhadır. Deneysel testler de gerçekleştirmişlerdir.

Analiz sonucu ile deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında sonuçlar oldukça birbirine yakın olduğu görülerek model doğrulanmıştır. Bu sistemde soğutucunun düşük oranlarda akışında bile verimli olduğu görülmüştür.

Ticari yazılım olarak StarCCM kullanılmıştır. Termal yönetim sistemi, bir Li-ion pil paketi için kritik öneme sahiptir, çünkü oda sıcaklığı civarındaki dar bir sıcaklık aralığında çalıştırıldığında yüksek performans ve uzun pil paketi ömrü aynı anda elde edilebilir. Çok değişken çalışma koşullarına rağmen pil sıcaklığını bu aralıkta tutmak için verimli bir termal yönetim sistemi gereklidir. Çalışmadaki bu model soğutma sıvısı akış hızı ve tahliye akımı gibi farklı çalışma koşullarının paket sıcaklığı üzerindeki etkilerini değerlendirmek için kullanılır. Temas direncinin, paketin termal performansı üzerinde en güçlü etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Sayısal çözümden, bir hücrenin sıcaklık ölçümü verildiğinde tüm bireysel hücrelerin sıcaklıklarını tahmin etmeye yönelik basit ve yeni bir sıcaklık korelasyonu tasarlanmış ve deneysel sonuçlarla doğrulanmıştır.

Bu tür katsayılar, tipik bir elektrikli araç olan büyük bir Li-ion pil takımındaki sensör gereksinimini ve karmaşıklığını azaltma konusunda büyük bir potansiyele sahiptir.

Chen ve diğerleri, (2016) bu makalede hava soğutma, doğrudan sıvı soğutma, dolaylı sıvı soğutma ve kanatçıkla soğutma olmak üzere 4 farklı soğutma yöntemini ele almıştır. Tüm analizlerde kullanılan Li-ion batarya ölçüleri 169mm genişlik 179 mm uzunluk ve 14 mm kalınlık 35Ah prizmatik tip kese kullanılmıştır. Analizler Ansys Fluent de yapılmıştır. Bu yöntemler elektrikli tahrikli araçlara yönelik (EDV) büyük kapasiteli Li-ion pil elektrokimyasal termal hücresi kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak hava soğutma sisteminin ortalama sıcaklığı korumak için diğer yöntemlere göre 2-3 daha fazla enerjiye ihtiyaç duyduğu sonucuna varmışlardır. Soğutma performansı biraz düşük olmasına rağmen doğrudan sıvı soğutmadan daha pratiktir. Kanatçıklı soğutma sistemi ise diğer soğutma sistemleri ile karşılaştırıldığında yaklaşık %40 ekstra ağırlık eklemektedir.

Shahid ve Chaab, (2017) bu çalışmada soğutma sistemi için gereken maksimum sıcaklık dağılımını, sıcaklık homojenliğini, hava kütlesi akış hızını ve gücü optimize etmek için en iyi soğutma düzenlemesini elde etmek amacıyla silindirik pil hücrelerinden oluşan LIB paketinin deneysel ve sayısal bir analizini gerçekleştirdi.

Dört soğutma düzenlemesinden hangisinin en uygun olduğunu bulmak için pil takımının girişinde dört farklı düzenleme önerilmiştir. Analiz de soğutucu akışkan olarak hava kullanılarak (SST) k- ω modeli ile Ansys Fluent kullanılarak yapılmıştır. Sonuç olarak pil paketinin en iyi düzenlemesinin, sıcaklık dağılımı tekdüzeliği ve soğutma sıvısının yüksek seviyede akış enerjisi sağladığı ve bu durum en iyi BTMS yapılandırması haline getirdiği sonuçlarına ulaşılmıştır.

Yuan, Zhao ve Huang (2018), bu çalışmada bir lityum-iyon pil paketi modelinde giriş hızının, giriş açısının ve pil boşluğunun lityum-iyon pil paketinin ısı yayma kapasitesi üzerindeki etkisi, hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemiyle incelenmiştir. Pil lityum demirdir. Pil boyutları 60 mm \times 15 mm \times 125 mm boyutunda, 3,2 V voltaj ve 42 Ah nominal kapasiteye sahiptir. Pil kutusunun boyutu 214 mm \times 68 mm \times 169 mm'dir. Ortam sıcaklığı 300 K, soğutma havası ve kutu gövde yüzeyindeki konvektif ısı transfer katsayısı 5 w/(m²K) 'dir ve akış türbülanslı olarak incelenmiştir.

Hava giriş hızları sırasıyla 5,10, 15 ve 20 m/s içim incelenerek rüzgâr hızının etkisi pilin ısı dağıtma kapasitesi etkisini incelemek için arttırılmıştır. Giriş açıları sırasıyla 4°, 8°, 12° olarak incelenmiştir. Rüzgâr hızının artmasıyla birlikte maksimum sıcaklık pil paketi 37'den 33°C'ye düşmüştür. Pil ve pil arasındaki sıcaklık farkı 7'den 4°C'ye düşürüldü. Yapılan çalışmalar sonucunda en iyi soğutma etkisinin 15 m/s akışkan hızı 8° giriş açısı ve eşit pil aralığı koşullarında elde edildiğini gösterdi; maksimum sıcaklık ve sıcaklık farkı sırasıyla %11,81 ve %35 azaltıldı.

Krishnadas ve diğerleri (2019) bu çalışmada 10 silindirik hücreden oluşan bir pil çapı ve yüksekliği sırasıyla 18,6 ve 65 mm'dir ve kapasitesi her hücre başına 1,5 Ah'dir Her sırada beş hücre bulunan iki sıra hücre bulunur. Her iki yanında eklenmiş mikro kanal plakaları bulunur. Bu çalışmada, tasarım performansının karşılaştırılması için sırasıyla Tasarım-1 ve Tasarım-2 olarak adlandırılan üç plakalı modüller ele alınmıştır. Başlangıçta, soğutma sıvısının akış hızı, girişteki soğutucu hızını 0,01 m s⁻¹ verecek şekilde ayarlanmış ve akış yönü tüm kanal plakaları için aynı tutulmuştur. Sonuçlar, benzer termal suistimal koşulu altında ısı üretim hızına ilişkin deneysel verilerle doğrulanmıştır. ısı üretim oranları, UDF kullanılarak pil modülünün termal modeline uygulandı. Analiz sonucunda PCM ve mikro kanal soğutma plakasına sahip önerilen tasarımı, sıcaklığın 317 K veya daha düşük normal çalışma değerine düştüğünü gösterdi. Liu ve Zhang, (2019) Z ve U- tipi kanal tipinden elde ettiği J-biçimli kanalı tasarlayarak U-, Z- ve J-tipi için sıcaklık artışında sırasıyla %35,3, %46,6 ve %31,18 azalma olduğunu sonucuna ulaşımlardır. Küçük batarya paketlerinin soğutulma ihtiyacını U-tipi ve Z-tipi soğutma yöntemi karşılar. Sıcaklığa duyarlı durumlar da U-tipi, enerji verimliliğine duyarlı durumlar içinde Z tipi uygundur. J-tipi ise yüksek enerji tüketimine sahip ancak büyük boyutlu pil takımları için daha uygundur.

Li ve diğerleri (2019), bu çalışmada 36 adet prizmatik hücreden oluşan LIB modülünün termal performansını deneysel ve sayısal olarak araştırılmıştır. Pil hücreleri arasındaki maksimum sıcaklık farkını, bitişik geçişler arasındaki soğutma havası arasındaki maksimum sıcaklığı, homojenliği optimize etmek amacıyla giriş ve çıkış manifoldlarında sıcaklık dağılımı ve basınç düşüşü incelenmiştir. Problemin optimizasyonunu sağlamak için iki yaklaşım kullanılmıştır.

Birincisi yoğunluk ve hız sabitini varsaymak, ikincisi ise yoğunluğu ve hızını analiz sonuçlarından çıkarmaktır. Analiz Ansys- Fluent ve SIMPLEC algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, üç temel tasarım parametresinin, yani hava kütle akış hızı, pil hücreesindeki ısı akışı ve bitişik pil hücreleri arasındaki geçiş aralığının, bir modüldeki sıcaklık dağılımına karar vermede hayati rolü olduğunu kanıtlamıştır.

Chung ve Kim, (2019) bu çalışmada pil takımı için sıvı soğutmalı termal model geliştirilmiştir. Kullanılan model NMC (Nikel-Manganit-Kobalt) katot ve grafit anotlu ticari bir kese tipi lityum polimer hücredir. Pil hücresi boyutları 200 mm × 100 mm × 8 mm olup, hücre kapasitesi 16 Ah'dir. Pil takımı 3 hücre yığınınından oluşmaktadır. Ve her yığında 48 torba hücre bulunup toplamda 144 hücre vardır. Sayısal modelde simülasyon alanı hücre yığını ve soğutucu kanalı olmak üzere 2 bölüme ayrılmıştır. Soğutma plakaları pil takımının altına çapraz olarak yerleştirilmiştir ve her plakada 4 adet soğutma kanalı bulunur. Üretilen ısıyı soğutma plakalarına dağıtmak için her hücre aralığına alüminyum alaşımlı ince soğutma kanatçıkları yerleştirilmiştir.

Hücre yığınları ile soğutma plakası arasındaki temas direncini azaltmak için pilleri yalıtım için termal olarak iletken ped kullanılmıştır. Akış kanal uzunluğunun kanal çapraz alanından daha büyük olması nedeni ile tam gelişmiş kabulü yapılmıştır. Öncelikle simülasyon modelinin geçerliliğini sağlamak için 2 C oranlı şarj simülasyonu yapılmıştır.

Bu çalışmada amaç ilk olarak hızlı şarj koşullarında pil takımının termal davranışını incelemek ikinci ise pil takımının belirli bir ısı altında termal performansını analiz etmektir. Ayrıca farklı şarj hızlarına sahip pil takımının sıcaklık sonuçlarını da incelemişlerdir.

Fan ve diğerleri, (2019) bu makalede 32 adet silindirik Li-iyon piller kademeli çapraz ve hizalanmış bir biçimde olmak üzere soğutma performansları deneysel olarak incelenmiştir. Hava soğutma sisteminin soğutma etkisi ve kapasitesi hava giriş sıcaklığı değiştirilerek hava soğutma sisteminin enerji verimliliği incelenmiştir. Hizalanmış düzenlemenin en iyi soğutma performansına ve sıcaklık homojenliğine sahip olduğu, ardından kademeli ve son olarak çapraz düzenlemenin geldiği bulunmuştur. Hizalanmış düzenleme, çapraz düzenlemeye göre %23'e kadar daha az güç tüketimi ile en düşük güç tüketimine sahiptir.

Wang ve diğeri (2019), soğutucu giriş hızı, temas açısı ve kanal sayısı gibi sıvı soğutmada yapısal tasarım parametrelerinin optimizasyonu için büyük bir modül oluşturan silindirik LIB hücreleri üzerinde deneysel ve sayısal bir çalışma gerçekleştirdi. Temel amaç, bu tasarım parametrelerinin batarya modülünün maksimum sıcaklığına ve modüldeki maksimum sıcaklık farkına etkisini belirlemektir. Analiz Ansys-Fluent kullanılarak yapıldı. Bu çalışmanın sonuçları, temas açısının akü modülündeki maksimum sıcaklık ve sıcaklık farkının kontrolünde çok önemli bir rol oynadığını, giriş hızının nominal etkilere sahip olduğunu ve kanal sayısının en az etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Temas açısındaki artışla, temas yüzey alanındaki artışın artması nedeniyle pil modülündeki maksimum sıcaklık ve sıcaklık farkı azalmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Hesaplamalı akışkanlar mekaniği, akışkanlar dinamiği ve ısı transferi gibi mühendislikte sıklıkla karşılaşılan problemlerinin çözümünü kısmi diferansiyel denklemlerin çözümü için geliştirilen ve günümüzde ticari programlar vasıtasıyla bu çözümlerin gerçekleştirildiği akışkanlar mekaniğinin bir kolu olarak tanımlanabilir. Momentum, ısı ve kütle transferi işlemlerini tanımlamak için kullanılan bu kısmi diferansiyel denklemlere Navier Stokes denklemi denir. Çözüm alanı kontrol hacmi denilen küçük bölümlere ayrılarak ve her bir kontrol hacmi için ayrıklaştırılarak çözüme ulaşılır. Böylece tüm akış alanı içinde akış davranışı tespit edilir. Bu çalışmada batarya sistemlerinin ısı yönetimini gerçekleştirmek için bilgisayar ortamında hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD), Computational Fluid Dynamics (CFD) analizleri (simülasyonları) ANSYS FLUENT 2022.R1 kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.1. Hesaplamalı Akışkanlar Mekaniği Tarihi

HAD tarihi çok eskilere dayanmaktadır. Çizelge 3.1.'de kısaca HAD tarihi gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. HAD Tarihi

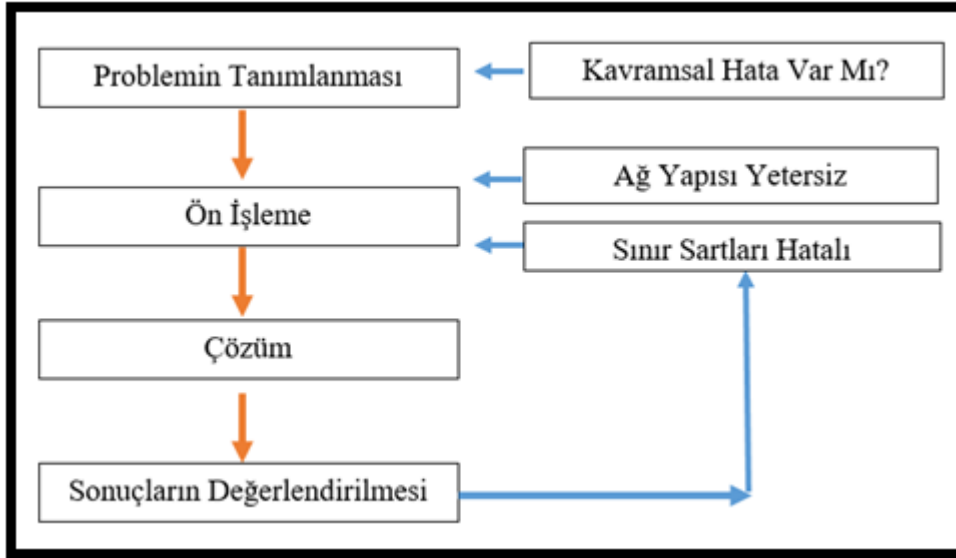
1910-1940	El hesaplamasına dayanan nümerik çözümlerin üretilmesini sağlayan modellerin geliştirilmesi
1940-1950	İlk bilgisayarlar ile bilgisayar tabanlı hesaplamalara geçiş. 1953 yılında Kawaguti tarafından bir mekanik masa hesap makinesi ile silindirin etrafındaki akışın çözümlenmesi.

Çizelge 3.1. HAD Tarihi (devam)

1950-1960	<p>Bilgisayarların kullanılmasıyla yapılan ilk çalışma, ABD’de Los Alamos Ulusal Laboratuvarında yapılan Navier-Stokes denklemlerine dayanan bir akışkan akışı modeli olmuştur.</p> <p>Bu çalışma vositinin değerlendirilmesi ve akış fonksiyon metodudur. Bu iki boyutlu, süreksiz sıkıştırılamaz akışkanlar üzerine dünyada yapılmış ilk çalışmadır.</p>
1960-1970	<p>İlk bilimsel makale ise “Rastgele parçaların akış potansiyelinin hesaplanması” ismiyle 1967 yılında Hess ve Smith tarafından yayınlanmıştır.</p> <p>Ticari kodların geliştirilmesi, k-ε türbülans modeli, Lagrangian-Eulerian gibi hala kullanılan çeşitli metotlara bu dönemde katkı sağlanmıştır.</p>
1970 – 1980	<p>CFD analizleri için çeşitli kodlar Boeing, NASA gibi kurumlar tarafından denizcilik, hava araçları, helikopterler ve otomobiller tarafından kullanılmak üzere geliştirmişlerdir.</p>
1980-1990	<p>Üç boyutta transonik akışların kesin sonuçları Jameson tarafından geliştirilmiştir. Ticari kodlar akademik ve endüstriyel alanlar ile uygulanmaya başlamıştır.</p>
1990-Günümüz	<p>İnformatik alanındaki gelişmelerle CFD’nin her sektörde görsel olarak dünya çapında kullanımı başlamıştır.</p>

3.2. HAD Akış Diyagramı

Bir HAD probleminin çözümü için ilk aşamada problemin tanımlanması ile başlanır. Bir kontrol hacmi belirlenir. Daha sonra bu kontrol hacmi problemin amacına bağlı olarak uygun boyutlu hacimlere bölünerek bir ağ yapısı oluşturulur. Problemin sınır şartları tanımlanarak bilgisayar vasıtasıyla hesaplama yapılır. Son olarak sonuçların değerlendirilmesi aşaması için sonuçlar görselleştirilerek ya da veriler halinde tablo haline getirilerek incelenir. Problemin amacı ve beklentisine göre sonuçlar değerlendirilerek tasarımda yapılan değişiklikler, ağ boyutu veya sınır şartları gibi iyileştirmeler sonucunda tüm bu aşamalar tekrarlanır. Temel olarak bir HAD probleminin çözülmesindeki akış diyagramı Şekil 3.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. HAD akış diyagramı

3.2.1. Problemin Tanımlanması

İlk olarak fiziksel bir problemin matematiksel bir modeli ile analize başlanır. Bu aşamada analizde istenenler ve amaç oldukça önemlidir. Bu istekler ve çözülmek istenen problemin temel amacı belirlendikten sonra buna uygun bir modelleme yapılabilir. Analiz sonucunda incelenmeyecek ve sonucu etkilemeyecek bölgelerdeki detaylar kaldırılır. Geometrideki tüm bu sadeleştirmeler belli kabuller çerçevesinde yapılır.

Bu aşamada analizde kullanılacak yöntemler de belirlenir. Daha sonra ikinci aşama olan ön-işleme aşamasına geçilir.

3.2.2. Ön İşlemler

Geometri oluşturma işlemi HAD yazılımında da oluşturulabilir. Geometri karmaşıklığına bağlı olarak istenirse CAD yazılımlarında da oluşturulabilir. Geometri oluşturulduktan sonraki aşama problemin yapısına uygun çözüm ağı oluşturmaktır. Ağ, akış hacminin küçük hesaplama hücrelerine bölünmesidir. Analizin 2 boyutlu olmasına göre bu bölgeler alan 3 boyutlu olmasına bağlı olarak da hacim olarak isimlendirilir. HAD analizlerinin çözümünün doğruluğu ağ yapısına bağlıdır. Eleman sayısının yeterli sayıda fazla olması gerçeğe en yakın sonuçları elde etmemizi sağlamaktadır. Yeterli sayıda fazla olmasından kasıt doğru sonucu elde etmemizi sağlayan optimum mesh sayısı ve kalitesini elde etmektedir. Ağdan bağımsızlık çalışması ile bu ağ sayısına karar verilir ve bir noktadan sonra ağ sayısı değişse bile sonuçların değişmediği görülür. Böylece uygun ağ sayısı ve yapısı belirlendikten sonra aynı zamanda çözüm süresi de optime edilmiş olur. Fazla çözüm süresi ve CPU kullanımının da önüne geçilmiş olur.

Tüm bu işlemlerden sonra sınır şartları tanımlanır. Akışkan özellikleri varsa katı malzeme özellikleri girilerek çözüme hazır hale getirilir. Çözüm için yakınsama kriterlerini belirlenir.

3.2.3. Çözüm

Belirlenen sınır şartları ve yakınsama kriterlerine göre çözüm yakınsadığında sonuca ulaşılır.

3.2.4. Sonuçların Değerlendirilmesi

Analiz sonucu bu aşamada görselleştirilir. İstenilen grafikler veya sonuçların tablo haline gelmesi kısmını kapsamaktadır. Bu değerlendirmeler sonucunda analizin yeterli ve doğru olup olmadığına karar verilir. Eğer istenilen sonuca ulaşamamışsa uygun sınır koşulları ve ağ yapısı ile tekrar tüm işlemler tekrarlanır.

3.3. HAD Yazılımının Kullandığı Denklemler

Had yazılımının bir akış problemini çözmek için kullandığı denklemler Navier-Stokes denklemleri olarak isimlendirilen denklemlerdir. Sürekli rejimde, üç boyutlu sıkıştırılamaz, Newton tipi, laminer akışkanlar için kartezyen koordinatlarda korunum denklemleri Denklem 3.1 ile gösterilmiştir.

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) = 0 \quad (3.1)$$

Sıkıştırılamaz bir akışta $\rho = \text{sabittir}$. Hız vektörü açık halde yazıldığında;

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3.2)$$

x-momentum denklemi:

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \frac{\partial P'}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + F_x \quad (3.3)$$

y-momentum denklemi

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \frac{\partial P'}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + F_y \quad (3.4)$$

z-momentum denklemi

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = \frac{\partial P'}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + F_z \quad (3.5)$$

Denklemlerde u, v, w akışkanın x, y, z doğrultusundaki hızlarını, ρ yoğunluğunu, μ dinamik viskozitesini gösterir.

Bir akışkana etki eden iç kuvvetler basınç ve viskoz kuvvetler dış kuvvetlere ise yer çekimi ve elektro manyetik alan örnek verilebilir. Eşitliğin sol tarafı atalet kuvvetlerini, sağ tarafındaki ilk terim basınç kuvvetlerini, ikinci terim viskoz kuvvetlerini ve son terim ise dış kuvvetleri ifade etmektedir.

HAD yazılımında ısı transferi ile ilgili bir veri elde etmek istiyorsak akış denklemlerine ek olarak enerji denkleminin de çözülmesi gerekmektedir.

Sürekli akış halinde toplam enerji değişimi sabit kalır. Sisteme giren ve sistemden çıkan enerji miktarının eşit olduğu anlamına gelir. Sürekli akış için enerji denklemi aşağıdaki gibi yazılmaktadır;

$$\dot{E} \text{ giriş} - \dot{E} \text{ çıkış} = 0 \quad (3.6)$$

$$\rho c_p \left(\frac{\partial T}{\partial x} + u \frac{\partial T}{\partial y} + v \frac{\partial T}{\partial z} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \left(\frac{\partial P}{\partial t} + u \frac{\partial P}{\partial x} + v \frac{\partial P}{\partial y} + w \frac{\partial P}{\partial z} \right) + k \left(\frac{\partial^2 v}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2 v}{\partial^2 y} + \frac{\partial^2 v}{\partial^2 z} \right) + \mu \phi \quad (3.7)$$

Bu eşitlikteki terimlerde sol terim taşınımı, sağ taraftaki ikinci kısım iletimi gösterir.

Tüm bu denklemlere ilave olarak akış rejimine bağlı olarak bu çalışmada da olduğu gibi uygun seçilen türbülans modeline göre türbülans modeli denklemini de çözmektedir.

3.4. Türbülans Modelleri ve Denklemler

Türbülanslı akışta akışın doğası gereği akışın karmaşık ve 3 boyutlu aynı zamanda büyük ve küçük türbülansların bir arada bulunması nedeniyle ve bunların farklı hızlarda hareket etmesi sayısal methodlarla ve uygun türbülans modeli hassas bir şekilde çözülmelidir. Mühendislik problemlerinde geometrilerin karmaşık ve Reynolds sayılarının yüksek olması Navier-Stokes denklemlerinin tüm türbülans yapılarını çözecek şekilde yapılması, Doğrudan Sayısal Simülasyon (“Direct Numerical Simulation” (DNS)) yöntemi olarak adlandırılmaktadır. Uygulanması pahalı ve zordur.

Mühendislik problemlerinde genelde akışta türbülans etkileri incelenir. Türbülanslı akışta akışın zaman ortalamalı özellikleri yani ortalama hız, ortalama basınç gibi özelliklerinin belirlenmesi yeterli olmaktadır. Bu nedenle türbülans modellemesinin doğru yapıldığı analizler gerçekleştirmek önemlidir.

Akış analizlerine türbülansın dahil edilme yöntemleri aşağıda görülmektedir.

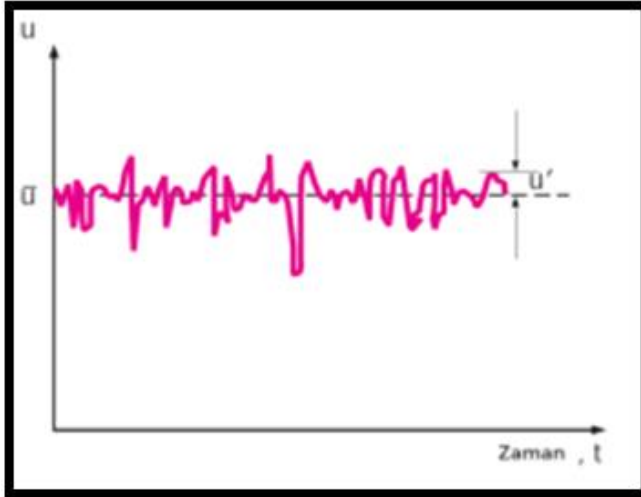
3.4.1 Doğrudan Sayısal Simülasyon (DNS)

DNS yöntemi tüm türbülans yapılarını hassas şekilde çözebilmesine rağmen hesaplama maliyeti yüksektir. Ayrıca karmaşık geometrilerde de uygulanması kolaydır.

Türbülans yapılarının büyük olanlarının hesaplandığı ve küçüklerinin modellendiği “Large Eddy Simulation” (LES) yöntemi, DNS yöntemine göre hesaplama maliyeti daha az olsa da karışık geometriler için halen uygulanması zor bir yöntemdir.

3.4.2. Reynolds Ortalamalı Navier Stokes Denklemleri (RANS)

Hesaplama maliyeti düşük, karmaşık geometrilerde uygulaması en kolay olan ve tüm türbülans yapılarının modellendiği “Reynolds Average Navier-Stokes” (RANS) yöntemi bulunmaktadır. Fakat türbülanslı akışın doğru bir şekilde hesaplanabilmesi için türbülans modellerinin RANS denklemlerine dahil edilmesi gerekmektedir. RANS modelinde, ortalama ve dalgalanma terimleri Navier Stokes denklemlerine dahil edilir. Şekil 3.2.’de ortalama hız ve dalgalanma hız bileşenlerini gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Ortalama hız ve ortalama çalkantı terimlerinin gösterimi

$$u_i = \bar{u}_i + u_i' \quad (3.8)$$

Bu denklemdeki u_i hız \bar{u}_i ortalama hız ve u_i' çalkantı bileşenlerinin toplamıdır. Bu terimler süreklilik ve momentum denkleminde yerine yazılırsa RANS denklemi ortaya çıkar.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (3.9)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = \frac{\partial \rho}{\partial x_i} + \frac{\partial \rho}{\partial x_j} \left(\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho u_i' u_j') \quad (3.10)$$

Burada Reynolds gerilmesi $R_{ij} = (\rho u_i' u_j')$ teriminin modellenmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

$$(-\rho u_i' u_j') = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \delta_{ij} (\rho k + \mu_t \frac{\partial u_k}{\partial x_k}) \quad (3.11)$$

μ_t eddy veya türbülans viskozitesi olarak isimlendirilir.

En yaygın kullanılan RANS türbülans modelleri, ek olarak çözülmesi gereken taşınım denklem sayısına göre Çizelge 3.3.'de görüldüğü şekilde sınıflandırılmaktadır.

Çizelge 3.2. Denklem sayısına göre türbülans modelleri

Türbülans Modeli	Ek Taşınım Denklem Sayısı
Spalart Almaras Model	1
k-ε Model	2
k-ω Model	2
Reynolds Stress Model	7

3.4.3. İki Denklemliler

İki denklemliler modeller çok iyi sonuç verdiği için endüstride en yaygın kullanılan modellerdir. Eddy viskozitesi yaklaşımını kullanarak Reynolds gerilmelerini hesaplar. İki denklemliler bu modeller aşağıda açıklanmaktadır.

1. k-ε modelleri

Standart k-ε modeli, türbülans kinetik enerji (k) ve türbülans kinetik enerji yayılım hızı (dissipation -ε) taşınım denklemlerinin çözüldüğü iki denklem içeren türbülans modelidir. Bu denklemlerde deneylere dayalı katsayılar bulunmaktadır. Türbülanslı akışta

çözümlerin yeteri doğrulukta çalışması, bu modeli çok kullanılır hale getirmiştir. Fakat bu modelin negatif basınç değişimlerini ve sınır tabaka ayrılması olan akışlar için hassas olmaması nedeniyle dış akış problemlerinde tercih edilmemektedir.

Burada c_μ model sabitidir.

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} (\Gamma_k \frac{\partial}{\partial x_i}) + G_k - \rho \epsilon \quad (3.12)$$

$$\rho \frac{D\epsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} (\Gamma_\epsilon \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i}) + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} G_k - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} - R \quad (3.13)$$

Bu modelde difüzyivite terimleri

$$\Gamma_k = \mu + \mu_t / \sigma_k \quad \Gamma_\epsilon = \mu + \mu_t / \sigma_\epsilon \quad (3.14)$$

Hız gradiyentinden kaynaklanan türbülans kinetik enerjisi üretimini ifade eden terim

$$G_k = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (3.15)$$

Türbülans viskozitesini aşağıdaki gibi modellenir.

$$\mu_t = c_\mu \rho \frac{k^2}{\epsilon} \quad (3.16)$$

Bu modelde $R=0$ diğer ampirik sabitleri $C_{1\epsilon}=1.44$ $C_{2\epsilon}=1.92$ $C_\mu=0.09$ k ve ϵ için tanımlanan türbülans Prandtl sayıları $\sigma_k=1.0$, $\sigma_\epsilon=1.3$

k - ϵ modelinin bazı zayıf yönlerini tespit ettikçe bu modelde ” (RNG), Relizable k - ϵ modeli oluşturulmuştur.

2. RNG k - ϵ Türbülans Modeli

k - ϵ türbülans modeli gibi yine iki denklemlilik bir model olup Navier-Stokes denklemleri kullanılarak renormalization group teorisi kullanılarak elde edilmektedir.

k-ε türbülans modelindeki temel fark sabitlerin farklı olması ve ilave terimlerin gelmesidir. RNG k-ε türbülans modelinde;

$$\Gamma_k = \sigma_k \mu_e \quad \Gamma_\varepsilon = \sigma_\varepsilon \mu_e \quad (3.17)$$

Burada akışkanın viskozitesi ile türbülans viskozitenin toplamı olan efektif viskozite

$$\mu_e = \mu + \mu_t \quad (3.18)$$

olup aşağıdaki diferansiyel denklemin çözümünden elde edilir.

$$d\left[\frac{\rho^2 k}{\sqrt{\varepsilon} \mu}\right] = 1.72 \frac{\mu_e / \mu}{\sqrt{(\mu_e / \mu)^3 - 1 + C_v}} d(\mu_e / \mu) \quad (3.19)$$

Bu denklem ile Re sayısı etkileri hesaba katılabilmektedir. Ayrıca limit Reynolds sayılarında bu eşitlik de kullanılabilir.

$$\mu_t = c_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (3.20)$$

RNG k-ε modelinde, ε denklemindeki ilave terim ile hesaplanır.

$$R = \frac{c_\mu \rho \eta^3 (1 - \frac{\eta}{\eta_0}) \varepsilon^2}{1 + \beta \eta^3} \frac{1}{k} \quad (3.21)$$

Burada η, türbülans kinetik enerjisinin üretimi ve dissipasyonu oranının fonksiyonu olup

$$\eta = \sqrt{\frac{G_k}{\rho c_\mu \varepsilon}} \quad (3.22)$$

Bu terim, standart k-ε modelinde olmayan, yüksek kayma oranlarını ve akım çizgisi eğriliklerini göz önüne aldığı için çok önemlidir. Kayma oranının kuvvetli olduğu (yüksek η) durumlarda dissipasyon oranı artmakta, bu da türbülans viskozitesini ve k değerini azaltmakta yani akıştan daha az enerji çekilmesine yol açmaktadır. Böylece sirkülasyon bölgelerinin büyüklüğü deneysel verilere daha yakın çıkmaktadır.

Bu modelde kullanılan sabitler: $C_{1\varepsilon}=1.42$, $C_{2\varepsilon}=1.68$, $C_v=100$, $\eta_0 =4.38$, $\beta =0.012$, $C_\mu =0.0845$ dir.

3. k-w Modeli

Bu model türbülans kinetik enerji (k) ve özgül yayılım hızı (ω) taşınım denklemlerine dayalı ampirik bir modeldir. K-e modelinin aksine bu model, negatif basınç değişimlerini ve sınır tabaka ayrılmasını daha iyi tahmin etmektedir fakat en büyük dezavantajı serbest akış k ve ω değerlerine hassas olmasıdır. Bu sebepten dolayı bu modelin serbest akışa duyarlı olan “Baseline” (BSL) ve “Shear Stress Transport” (SST) isimli sürümleri geliştirilmiştir.

3.5. Eşlenik (Conjugate) Isı Transferi

Eşlenik ısı transferi, kati bir cisimle ve bu kati cisim üzerinden akan akışkanın ısı olarak etkileşimini incelemektedir. Bu tez kapsamında ele alınan eşlenik olan (taşınım + iletim) durum şematik olarak çizilen bir batarya üzerinden Şekil 2.49’da gösterilmiştir. Tez kapsamında batarya paketi malzemesi ihmal edilmiştir.

Isı transferi iletim, taşınım ve radyasyon olmak üzere 3 şekilde transfer edilmektedir.

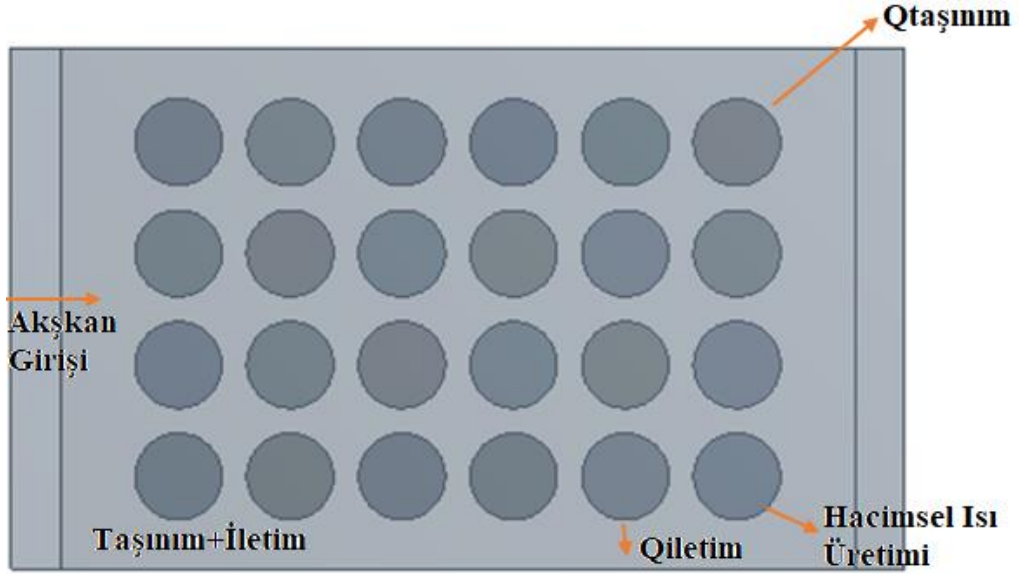
Isı iletim denklemleri (Fourier Kanunu)

$$q'' = -k \frac{dT}{dx} \quad \frac{W}{m^2} \quad (3.23)$$

Isı taşınım denklemleri (Newton’un Soğuma Kanunu)

$$q'' = h (T_s - T_\infty) \quad \frac{W}{m^2} \quad (3.24)$$

$$q'' = hA_s (T_s - T_\infty) \quad W$$



Şekil 3.3. Conjugate (taşım + iletim) şematik gösterimi

3.6. Darbeli (Pulsatile flow) Akışlar

Bu tez kapsamında pulsatile flow akış tipinin ısı transferine etkileri incelendiği için pulsatile flow akış ile ilgili bilgiye yer verilmiştir.

Akış sabit veya periyodik olabilir. Periyodik akışlardan biri olan pulsatile flow (titreşimli akış) akış üzerinde kendiliğinden veya dışarıdan bir etki ile değişimler yaratarak ısı transferini ve verimi arttırmak için incelenir. Zamana bağlı ısı transferi incelenmesi gereken önemli bir konudur. Canlıların dolaşım sistemlerinde de görülen pulsatile akış ısı, kütle veya momentum transferinin artırılmasında sağlanan bir akıştır.

Pulsatile hız, zamanla sinüzoidal olarak değişir. Darbeli hız girişi (U_{in}) iki bileşenlerden biri sabit bileşen (U_{av}), diğeri ise dalgalanan ($U_{av}.A.\sin(\omega t)$) bileşendir ve sinüzoidal olarak zamanla değişir. Bu değişim sürekli aynı dalganın tekrarlanması ya da bu dalganın da zamanla değişmesi ile mümkün olabilir. Kanal yüksekliği 60 mm sabittir ve kanalın uzunluğu (L) 210 mm'dir.

Akış tipleri ve bu parametreler ile ilgili detaylı bilgi Şekil 3.4.'de gösterilmiştir.

Type of flow	Steady	Periodic	
		Oscillating	Pulsatile
A typical velocity-time record			
Velocity	U $\bar{U}_{m,os} = 0$	$\bar{U}_m = \sum_{n=1}^N \bar{U}_{m,os,n} \sin(n\omega t + \angle \bar{U}_{m,os,n})$ $\bar{U}_{m,os} \neq 0; \bar{U}_{m,os} = 0$	$\bar{U}_m = \bar{U}_{m,os} + \sum_{n=1}^N \bar{U}_{m,os,n} \sin(n\omega t + \angle \bar{U}_{m,os,n})$ $\bar{U}_{m,os} \neq 0; \bar{U}_{m,os} \neq 0$
Frequency Womersley number	$f = 0$	$f \neq 0$ $\sqrt{\omega'} = R\sqrt{\omega}/\nu \neq 0; \omega = 2\pi f$	$f \neq 0$ $\sqrt{\omega'} = R\sqrt{\omega}/\nu \neq 0; \omega = 2\pi f$
Amplitude	$A_1 = 0$	$A_1 = \frac{ \bar{U}_{m,os,1} }{\bar{U}_{m,os}}$ $A_1 = \text{undefined} \quad (\bar{U}_{m,os} \rightarrow 0, A_1 \rightarrow \infty)$	$A_1 = \frac{ \bar{U}_{m,os,1} }{\bar{U}_{m,os}}$ $A_1 \neq 0$
Reynolds number	$Re = \frac{UD}{\nu}$	$Re_{os} = \frac{ \bar{U}_{m,os,1} D}{\nu}; Re_{m,os} = 0$	$Re_{os} = \frac{ \bar{U}_{m,os,1} D}{\nu}; Re_{m,os} = \frac{\bar{U}_{m,os}D}{\nu}$

Şekil 3.4. Akış tiplerinin detaylıca gösterimi (Çarpınlıoğlu ve Özahi 2012)

Pulsatile akışı daha net anlayabilmek için ilk olarak bu akışı oluşturan dalga parametreleri açıklanmıştır.

1.Frekans (ν)

Belli bir noktadan birim zamanda geçen dalga sayısıdır. Birimi (s^{-1} Hz)'dir. Aslında frekans basitçe bir dalga, titreşim ve devir gibi parametrelerin belli bir zamanda olma sıklığının ölçüsü olarak tanımlanabilir.

Frekans ilerlediği ortama bağlı olmayıp kaynağın cinsine bağlıdır.

2.Genlik (Amplitude)

Sinüzoidal olarak ilerleyen dalganın maksimum değeridir.

3.Dalga Boyu (λ)

Arda arda gelen maksimum ve minimum noktalar arası uzaklıktır.



Şekil 3.5. Dalga parametrelerinin gösterimi

Literatürde pulsatile flow akışlarla ilgili çalışmalar yapılmıştır. Karagöz, Umur ve Pulat (1997) yaptıkları çalışmada bir kanal içerisinde sinüzoidal olarak değişen bir akış alanında ısı transferi karakteristiklerini etkileyen parametreleri incelemiştir. Alt yüzeyden sabit sıcaklıkta ısıtılan durum için sayısal çözüm yapılmış ve düşük frekanslı akışa ait değişik Reynolds ve Womersley sayılarına ait sonuçları değerlendirmişlerdir. Cooper ve diğerleri, yaptıkları deneysel çalışmada dikdörtgen kesitli bir kanal içerisinde düşük frekanslı osilasyon yapan akış sayısal olarak çözülmüş hız ve sıcaklık profilleri ile ısı transfer katsayısı ve Nusselt sayısının değişimleri elde edilmiştir. Negatif basınç gradyanının veya ivmelenen akışın hız salınımlarını söndürdüğünü ve ısı transferi yüzeyindeki hız gradyanlarının laminer akışa göre yüksek olduğu sonucuna varmışlardır.

3.7. Doğrulama İçin Ağdan Bağımsızlık Çalışmaları

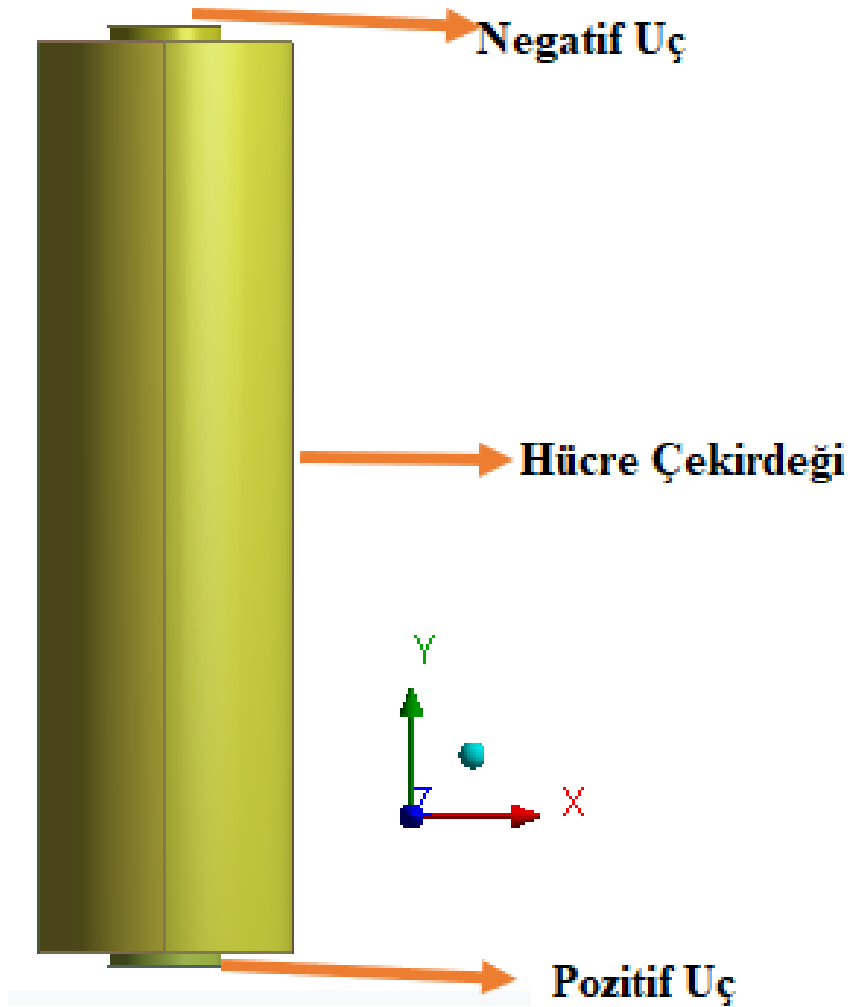
Bu çalışmadaki analizler eşlenik (conjugate) ısı transferi ele alınarak incelenmiştir. Öncelikle katı cisim ve katı cisim üzerinden akan akışkanın arasındaki sınır şartları ve ağdan bağımsızlık çalışmasını yapabilmek için tek bir lityum-iyon pilin transient analizler Taylan'ın (2019) deneysel ve sayısal çalışması kullanılarak doğrulanmıştır.

Analizler ANSYS Mechanical transient thermal modülünde yapılmıştır. Çalışmada kullanılan sınır şartları Çizelge 3.3. ve Çizelge 3.4.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Doğrulama geometrisi için kullanılan sınır şartları (iletim için)

Başlangıç Sıcaklığı	250°C
Isı Transfer Katsayısı	5W/m ²
Pile Uygulanan Güç	10,5 W

Taylan'ın çalışmasında kullandığı pil hücresi 18 mm çapında ve 65 mm uzunluğundadır. Hücre 3,7 V gerilime ve 2,85 A akıma sahiptir. 1C deşarj hız oranında analizler gerçekleştirilmiştir. Pil malzemesi anod, katod ve hücre çekirdeği olmak üzere üç kısımdan meydana gelmektedir.



Şekil 3.6. Sony 18650 Li-ion pilin yapısı

Çizelge 3.4. Doğrulama geometrisinde kullanılan bataryanın malzeme özellikleri

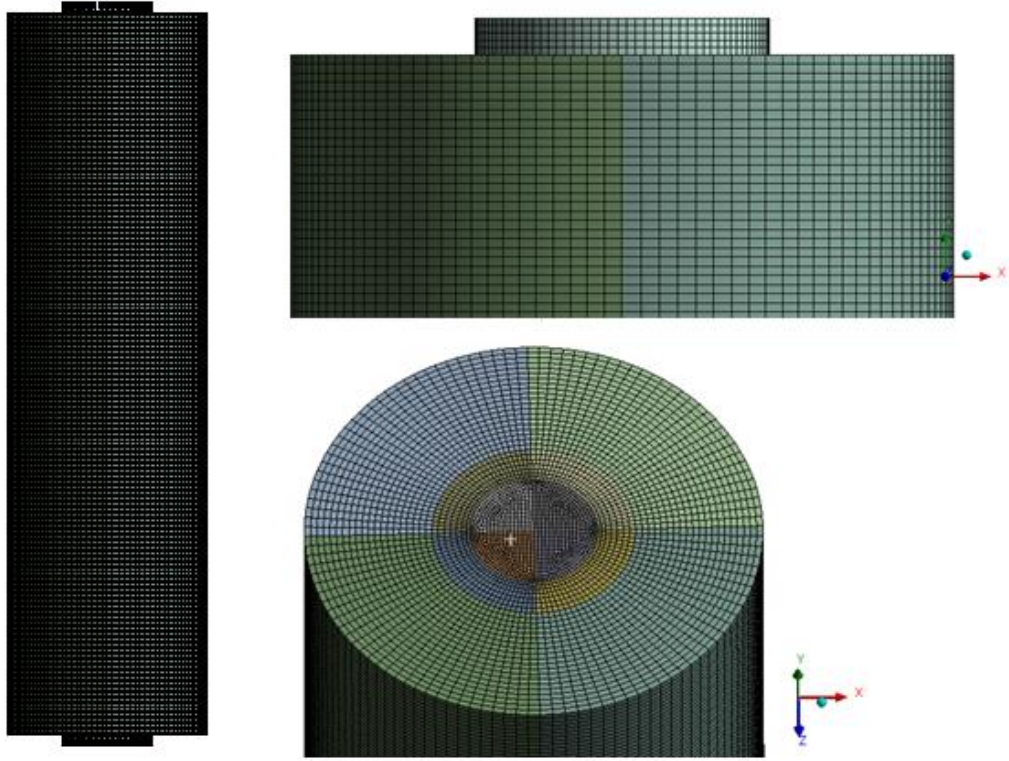
Bileşen	Malzeme	Yoğunluk	Özgül Isı	Isı İletim Katsayısı
Hücre Çekirdeği	Anot ve katot ayırıcı kısım	2000	900	$k_x = k_z = 1.6$ $k_y = 3$
Alüminyum (Pozitif Uç)	Al	2710	903	218
Negatif Uç	Çelik	7900	460	20

<input checked="" type="checkbox"/> Density	2000	kg m ⁻³
<input checked="" type="checkbox"/> Orthotropic Thermal Conductivity		
Thermal Conductivity X direction	1,6	W m ⁻¹ C ⁻¹
Thermal Conductivity Y direction	3	W m ⁻¹ C ⁻¹
Thermal Conductivity Z direction	1,6	W m ⁻¹ C ⁻¹
<input checked="" type="checkbox"/> Specific Heat, C _p	900	J kg ⁻¹ C ⁻¹

<input checked="" type="checkbox"/> Density	7900	kg m ⁻³
<input checked="" type="checkbox"/> Isotropic Thermal Conductivity	20	W m ⁻¹ C ⁻¹
<input checked="" type="checkbox"/> Specific Heat, C _p	460	J kg ⁻¹ C ⁻¹

<input checked="" type="checkbox"/> Density	2710	kg m ⁻³
<input checked="" type="checkbox"/> Isotropic Thermal Conductivity	238	W m ⁻¹ C ⁻¹
<input checked="" type="checkbox"/> Specific Heat, C _p	903	J kg ⁻¹ C ⁻¹

Şekil 3.7. Yazılıma girilen malzeme özellikleri



Şekil 3.8. Sony 18650 Li-ion pilin ağ yapısı

Çizelge 3.5. Doğrulama geometrisi için kaba, orta ve sık ağ sayıları (iletim için)

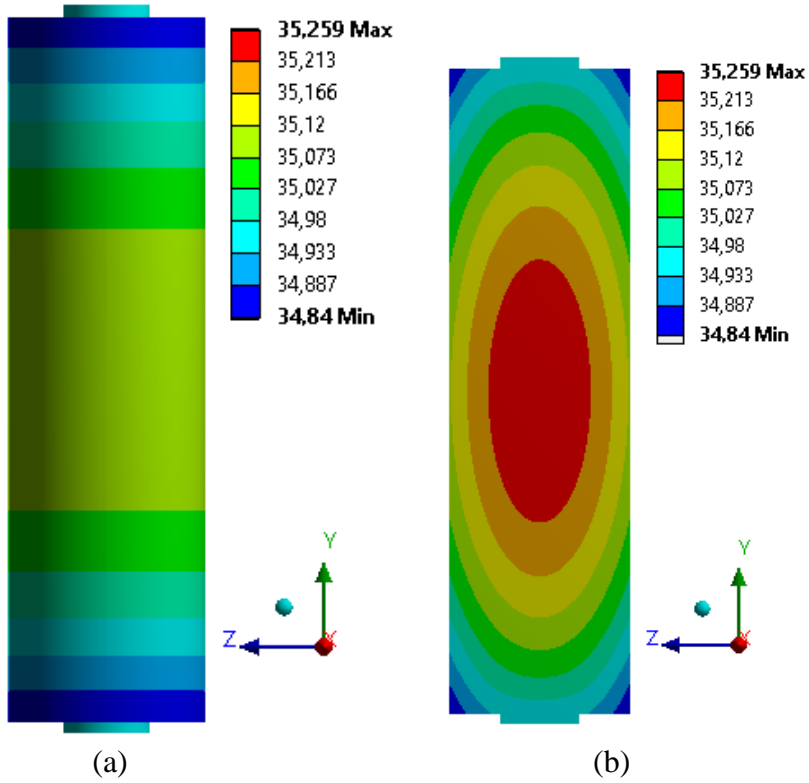
Ağ Durumu	Eleman Sayısı	Düğüm Sayısı
Kaba Ağ	471474	484626
Orta Ağ	1117176	1140220
Sık Ağ	1814860	1845492

Şekil3.9.'da kaba, orta ve sık ağ yapısı için ağdan bağımsızlık grafiği gösterilmiştir.

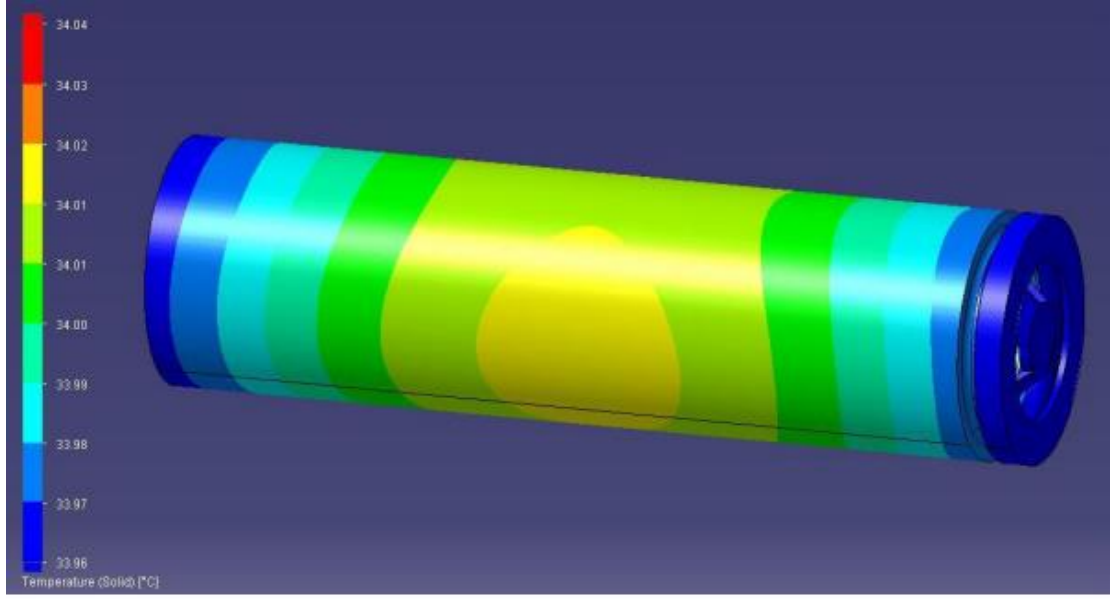


Şekil 3.9. Kaba, orta ve sık ağ yapısı için ağdan bağımsızlık grafiği

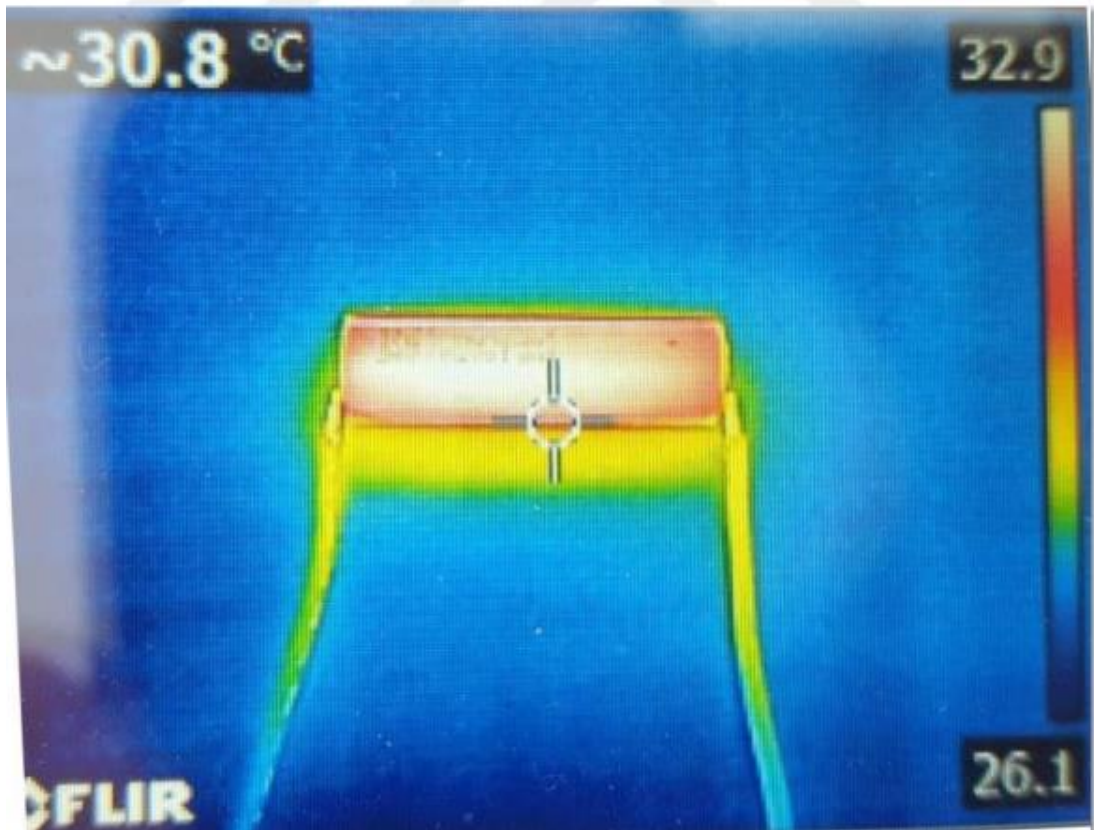
Bu çalışmada analizler zamana bağlı olarak analiz edildikten sonra rejime yani dengeye geldikten sonraki sonuçların birbiri ile tutarlı olması gerektiği için analizler geçici rejimdeki hali ile de karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.10. $T_0=25^\circ\text{C}$, 1C deşarj hızında gerçekleşen analiz sonucu dağılımı (a) ve $T_0=25^\circ\text{C}$, 1C deşarj hızında gerçekleşen analiz sonucu iç sıcaklık dağılımı (b)

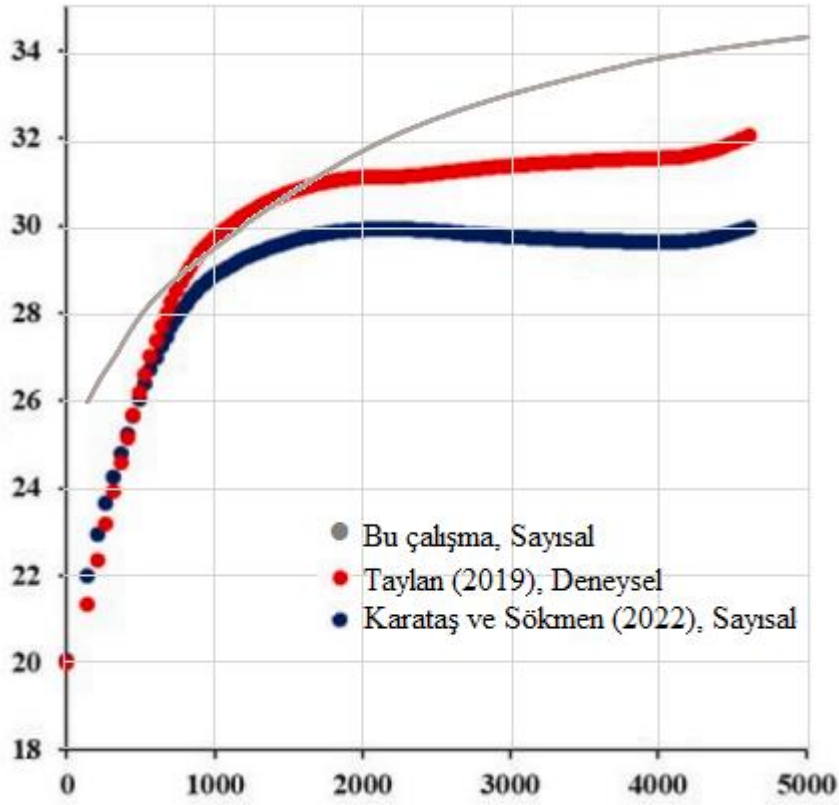


(a)



(b)

Şekil 3.11. Taylan'ın çalışmasındaki FloEFD yazılımı ile elde edilen batarya yüzeyi sıcaklık dağılımı (a) Termal kamera ile ölçülen batarya yüzeyi sıcaklık dağılımı (b)



Şekil 3.12. Çalışmanın daha önceki deneysel ve sayısal çalışmalarla karşılaştırılması

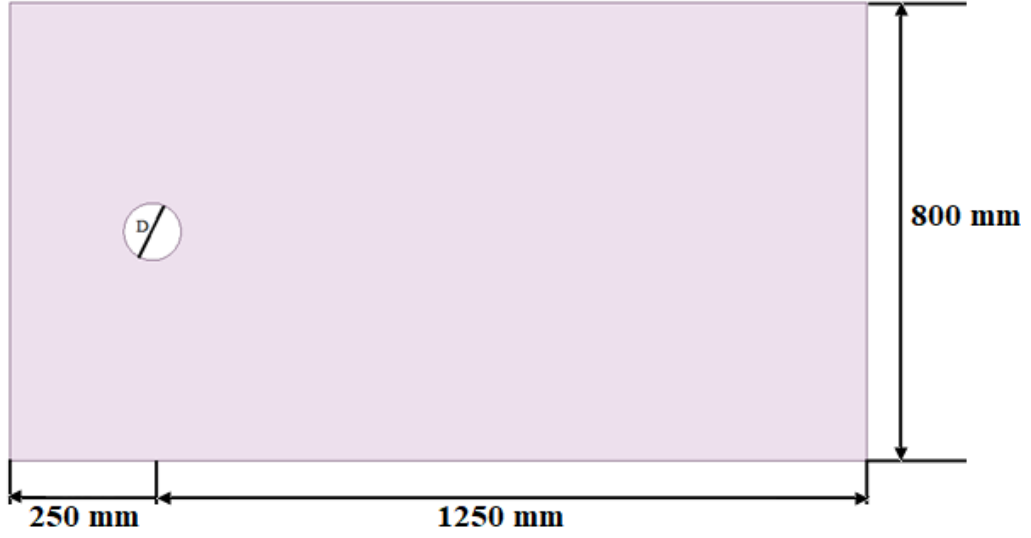
Karataş ve Sökmen'de (2022) Taylan'ın (2019) çalışmasını referans alarak sayısal çalışma gerçekleştirmişlerdir. Taylan'ın deneysel çalışmasındaki sınır şartları referans alınarak yapılan bu sayısal çalışmada görüldüğü üzere deneysel çalışmaya yakın sonuçlar elde edilerek ağdan bağımsızlık çalışması ve sınır şartlarının doğrulaması gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada hem iletim hem de taşınım ile olan ısı transferi dikkate alınarak analizler gerçekleştirileceğinden iletim ve taşınım için ayrı ayrı doğrulama çalışması yapılmıştır.

Bu tez kapsamında conjugate (birleşik) ısı transferi inceleneceğinden taşınım ile olan ısı transferini de incelemek üzere referans alınarak yapılan çalışmanın da doğrulama analizleri yapılmıştır. Ayrıca türbülanslı akış rejimi inceleneceğinden bu çalışma kapsamında hangi türbülans modellerinin kullanılacağını belirleyebilmek için türbülans modeli uygunluğu da analizler karşılaştırılarak karar verilmiştir.

Silindir etrafında akış hesaplamaları için Kondjoyan ve Daudin (1995) çalışması referans alınmıştır.

Çalışmadaki deneysel ve sayısal çalışmanın sonuçları bu çalışmanın sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Referans alınan hesaplama geometrisi Şekil 3.13.'de gösterilmektedir. $D=100$ mm'dir.

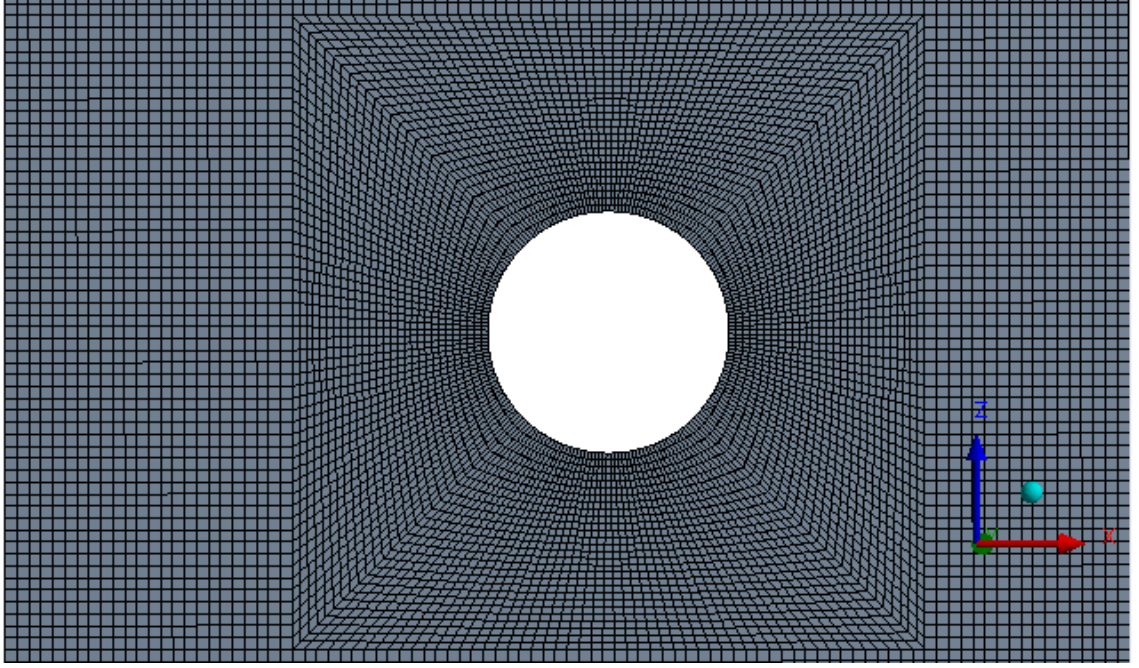


Şekil 3.13. Kondjoyan ve Daudin (1995) referans geometrisi

Kondjoyan ve Daudin (1995) çalışmasındaki referans geometri için uygun ağ yapısı oluşturulmuştur. Hesaplama geometrisinin ağ yapısı Şekil 3.14.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Referans geometri için ağ yapısı



Şekil 3.15. Silindir üzerinden akış için silindir etrafına uygulanan ağ yapısının detaylı görünümü

Ağdan bağımsızlık çalışması için kullanılan eleman ve düğüm sayıları Çizelge 3.6.'da gösterilmiştir. Ağdan bağımsızlık için çözüm 3 farklı ağ sayısında araştırılmıştır.

Çizelge 3.6. Doğrulama geometrisi için kaba, orta ve sık ağ sayıları (taşınım için)

Ağ Durumu	Eleman Sayısı	Düğüm Sayısı
Kaba Ağ	26536	26943
Orta Ağ	51588	52156
Sık Ağ	63800	64432

Silindir kaymaz duvar, üst ve alt kenar ise sürtünmesiz duvar sınır şartı olarak tanımlanmıştır.

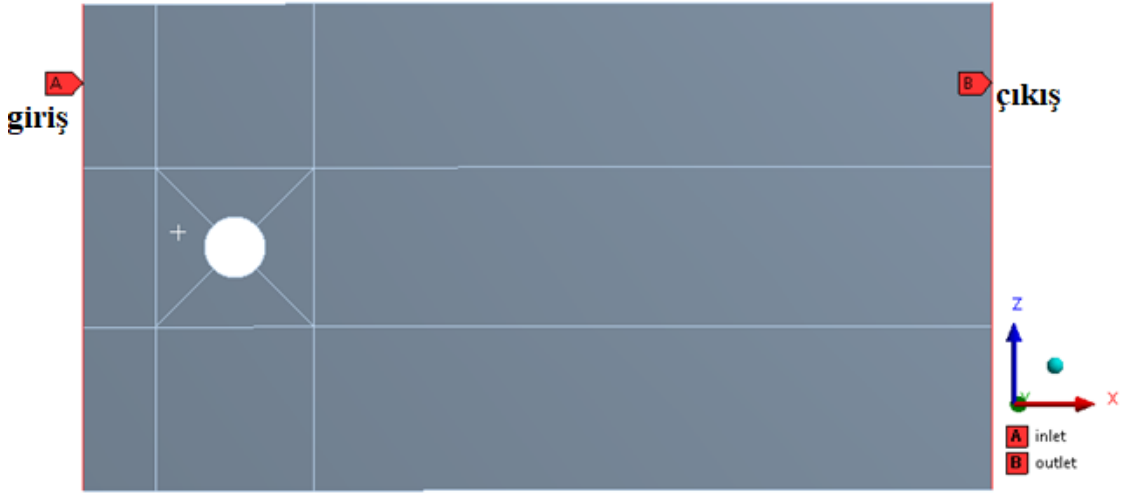
Deneysel çalışmada referans alınan türbülans parametreleri ($Tu=0.015$ $LS=0.007m$) değerleri ile silindir üzerinden akış analiz doğrulaması yapılmıştır.

Akışkan olarak hava kullanılmış olup akışkan giriş hızı 5 m/s'dir. Akışkan özellikleri Çizelge 3.7.'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Doğrulama geometrisi için kullanılan akışkanın termofiziksel özellikleri (taşınım için)

Akışkanın Termofiziksel Özellikleri	
Yoğunluk	1,135 (kg/m ³)
Viskozite	1,88376*10 ⁻⁵ (kg/ms)
Isı İletim Katsayısı	0.026892 (W/mK)
Özgül Isı	1007,32 (J/kgK)

Silindir üzerinden akış için akış girişi ve çıkışı Şekil 3.16.'da gösterilmiştir.

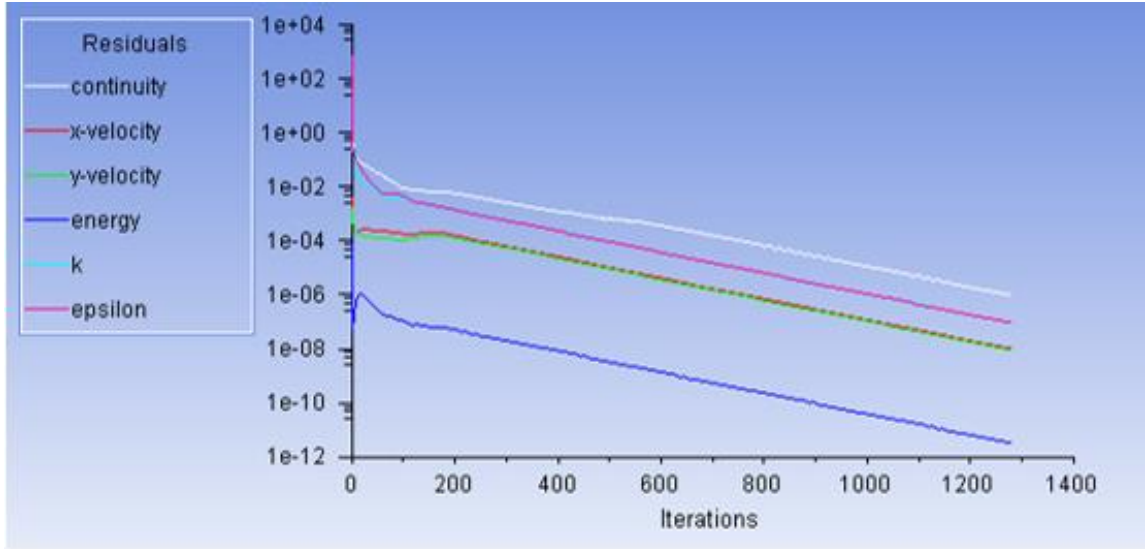


Şekil 3.16. Silindir üzerinden akış için akış girişi ve çıkışı bölgeleri

Tüm bu iletim ve taşınım için ayrı ayrı ağdan bağımsızlık ve türbülans modeli doğrulaması yapıldıktan sonra tez çalışması için batarya modeli için analiz çalışmalarına başlanmıştır.

Bu çalışmada kullanılan sınır şartları Kondjoyan ve Daudin (1995) çalışmasında referans alınmıştır. Akışkan giriş sıcaklığı 308K, silindir yüzey sıcaklığı ise 208K'dir.

Ağdan bağımsızlık çalışması iterasyon grafikleri sırasıyla kaba orta sık ağ yapısı için tüm türbülans modellerinde yapılan iterasyon sonuçları sırasıyla aşağıda gösterilmektedir.

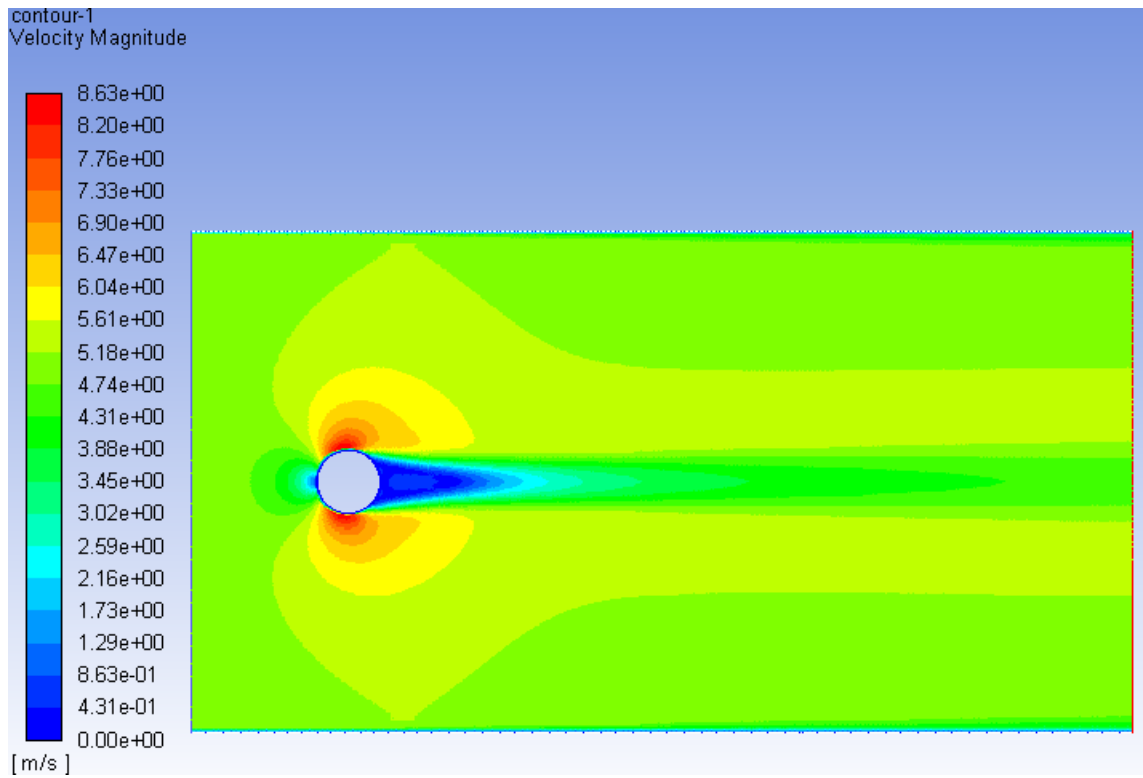


```

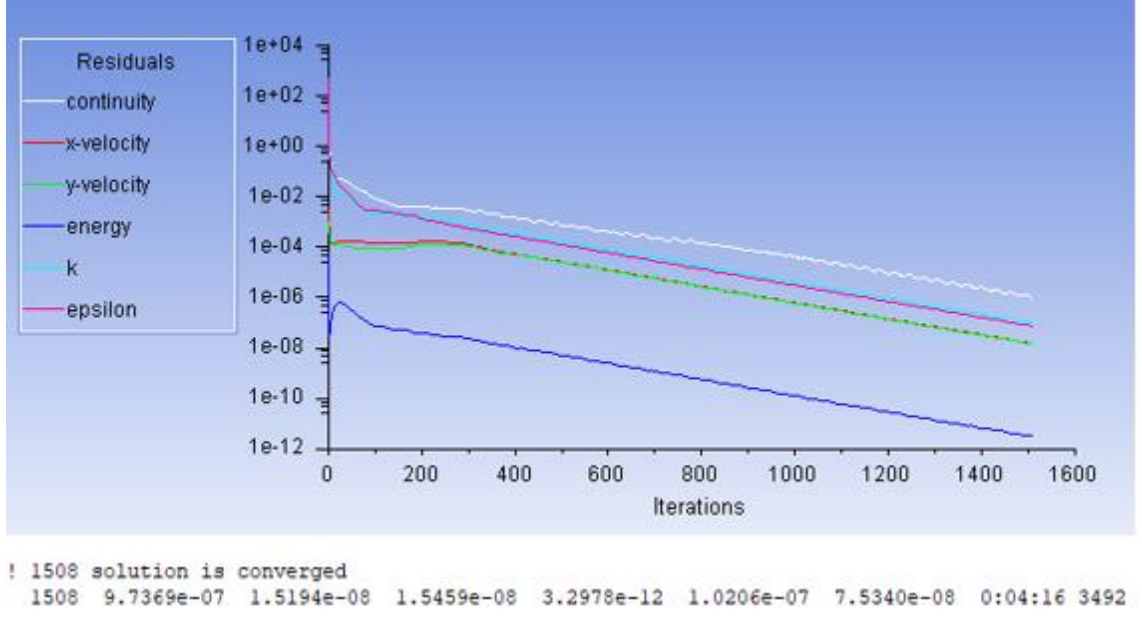
iter  continuity  x-velocity  y-velocity  energy  k  epsilon  time/iter
! 1277 solution is converged
1277  9.9127e-07  1.0445e-08  8.9195e-09  3.4711e-12  9.5468e-08  9.6052e-08  0:10:07 3723

```

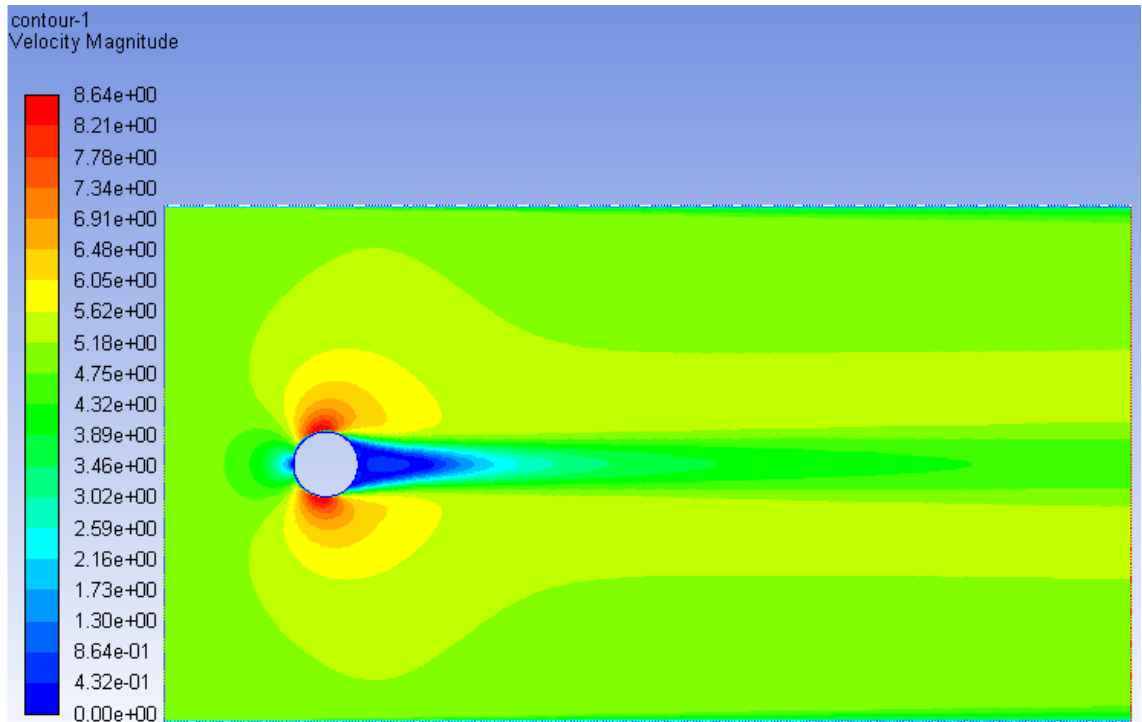
Şekil 3.17. Standart k- ϵ scalable wall function kaba ağ yapısı iterasyon grafiği



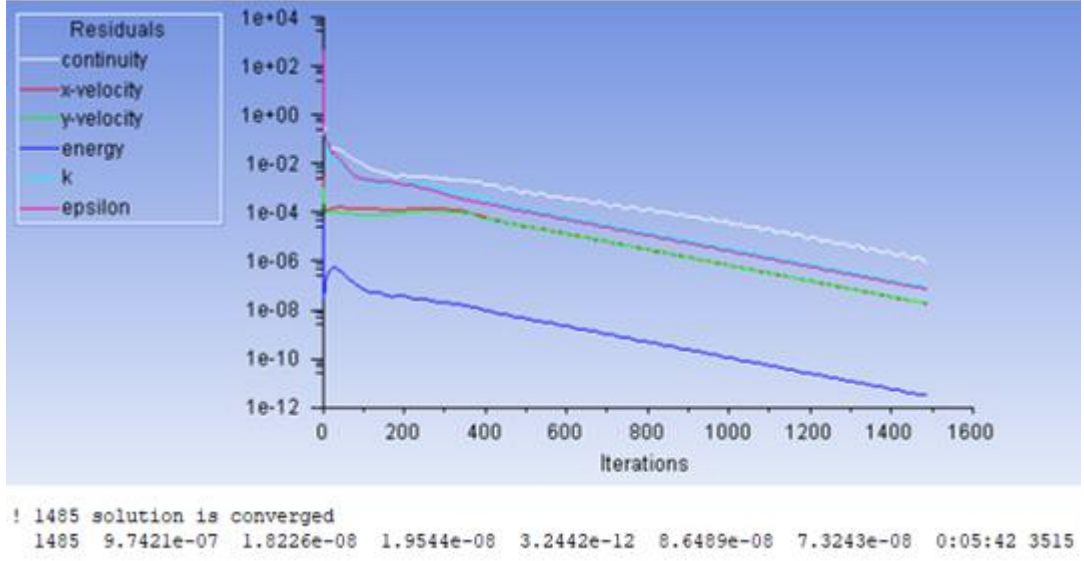
Şekil 3.18. Standart k- ϵ scalable wall function kaba ağ yapısındaki hız dağılımı



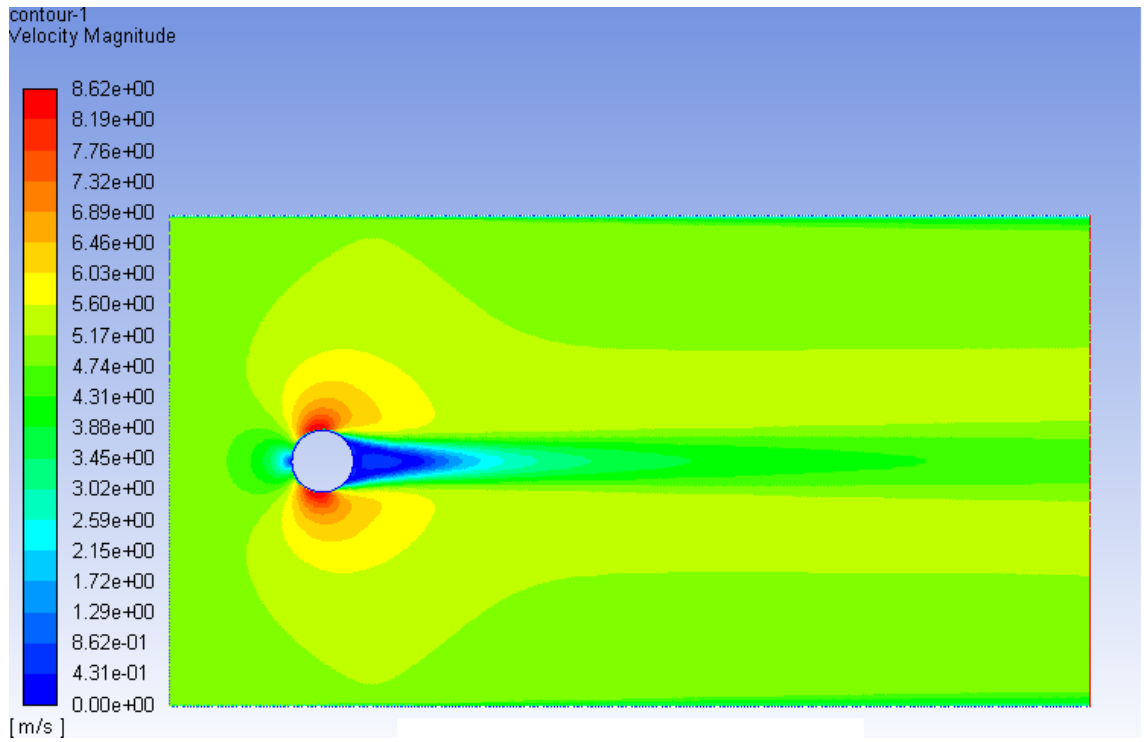
Şekil 3.19. Standart k- ε scalable wall function orta ağ yapısı iterasyon grafiği



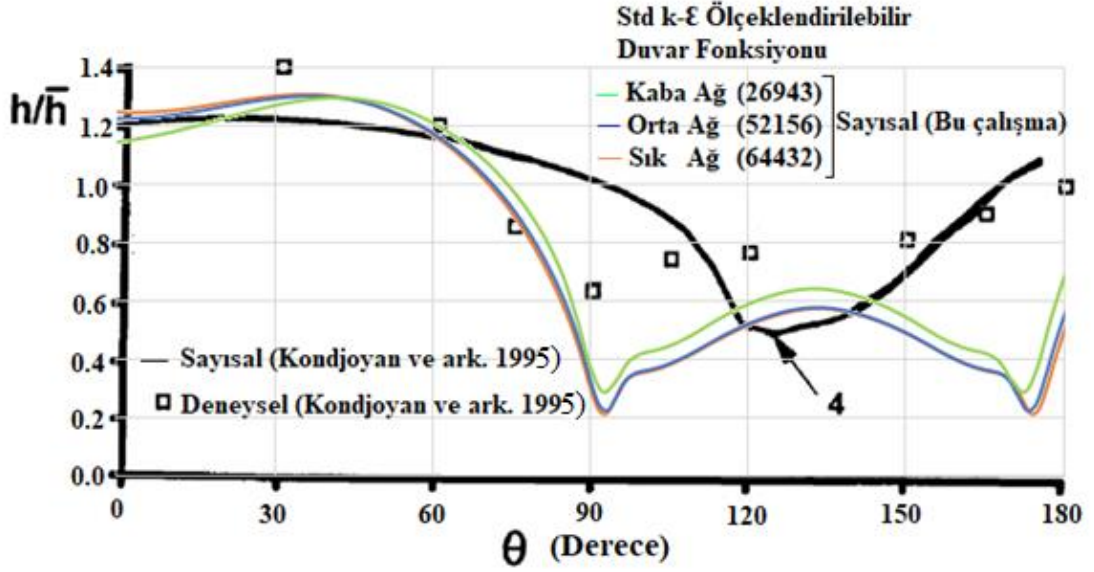
Şekil 3.20. Standart k- ε scalable wall function orta ağ yapısındaki hız dağılımı



Şekil 3.21. Standart k- ϵ scalable wall function sık ağ yapısı iterasyon grafiği



Şekil 3.22. Standart k- ϵ scalable wall function sık ağ yapısındaki hız dağılımı



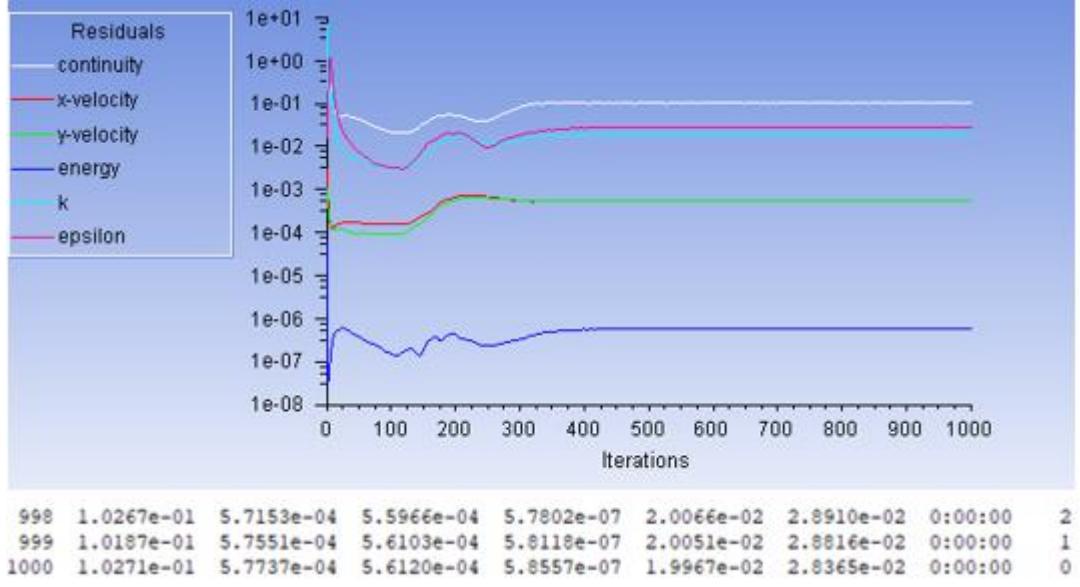
Şekil 3.23. Standart k- ϵ scalable wall function kaba orta ve sık ağ yapısının referans çalışmadaki deneysel ve sayısal sonuçlarla karşılaştırılması

Şekil 3.23.'de görüldüğü gibi orta ağ yapısında ağdan bağımsız çözüme ulaşıldığı için 51588 eleman sayılı ağ yapısı ile analizlere devam edilerek uygun türbülans modeline de karar verilmiştir.

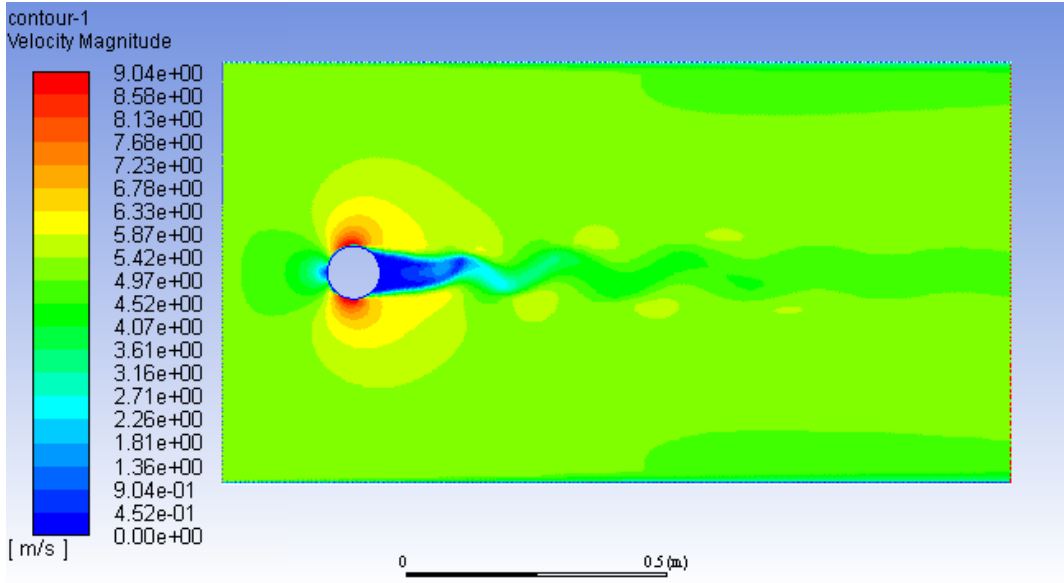
Ağdan bağımsızlık için yapılan çalışmaların referans çalışmadaki deneysel ve sayısal karşılaştırıldığı sonuç Şekil 3.23.'de verilmiştir.

Ağ yapısı seçimi orta ağ yapısında karar verildiği için diğer tüm türbülans modelleri için iterasyon grafikleri bu ağ sayısında çözüm alınarak verilmiştir. Tüm türbülans modelleri referans modeldeki deneysel ve sayısal çalışma ile karşılaştırılmıştır. Aşağıda orta ağ yapısı ile analizlere devam edilerek referans çalışmadaki sonuçlara en yakın sonucu verebilecek uygun türbülans modelini belirleyebilmek için çalışmalara devam edilmiştir.

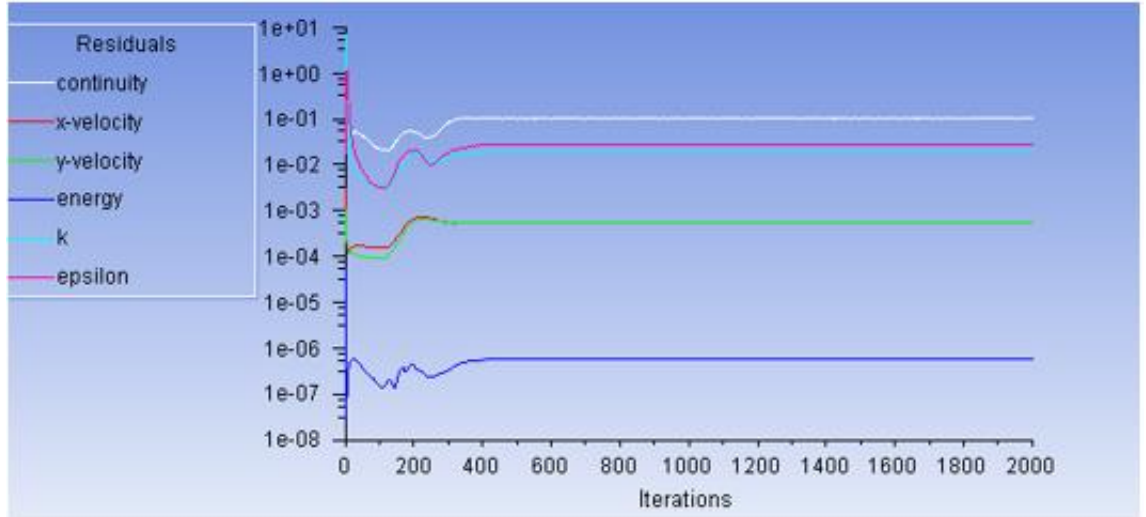
k- ϵ Relizable Scalable wall function ve RNG Scalable wall function türbülans modellerinde istenilen yakınsama kriterine ulaşamamıştır. Fakat iterasyon grafiğinden de görüleceği üzere bir değerde sabit kalıp iterasyon sayısı artmasına rağmen hız kontör sonuçlarında farklılık olmamıştır. Bu yüzden çözümler 2000 iterasyona kadar ilerletilmiştir.



Şekil 3.24. Relizable scalable wall function orta ağ yapısı iterasyon grafiği (1000 iterasyon için)

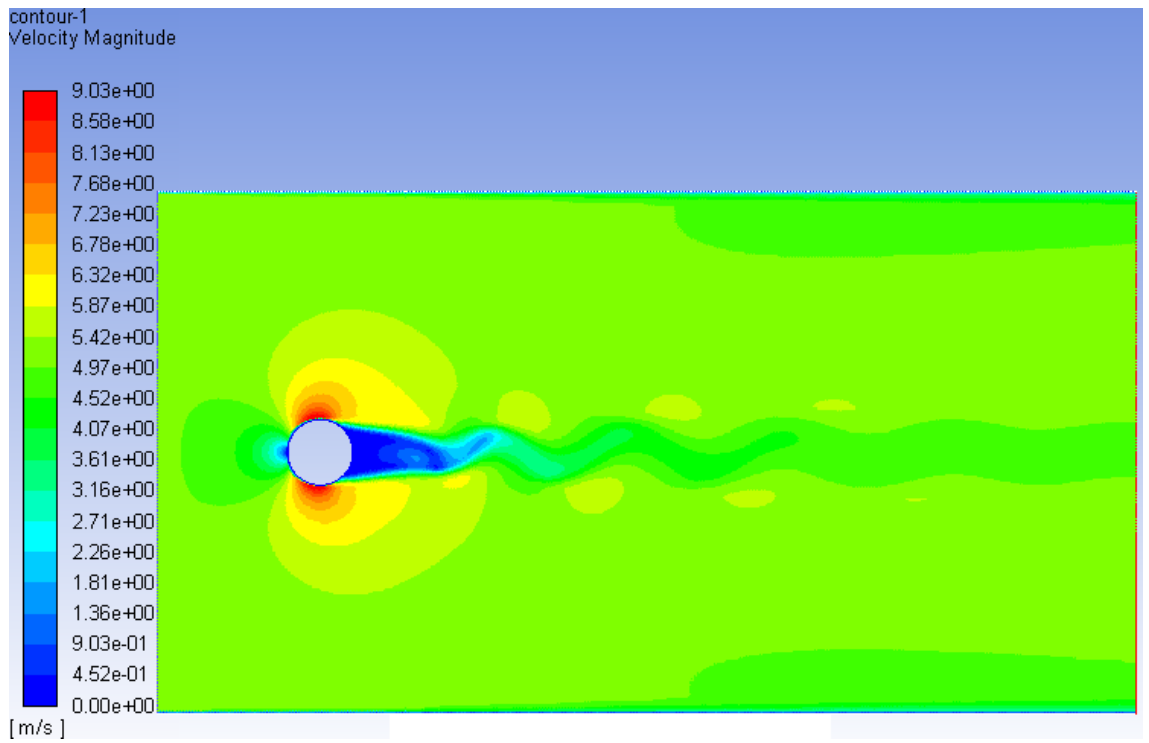


Şekil 3.25. Relizable scalable wall function orta ağ yapısındaki hız dağılımı (1000 iterasyon için)

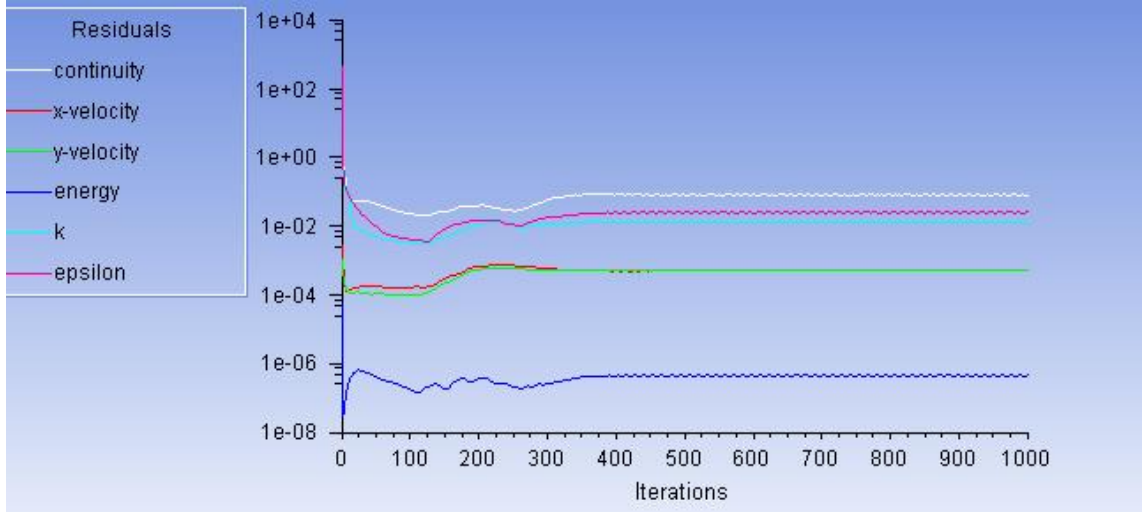


1998	$1.0465e-01$	$5.6620e-04$	$5.5536e-04$	$5.8484e-07$	$1.9174e-02$	$2.7543e-02$	0:00:00	2
1999	$1.0403e-01$	$5.6539e-04$	$5.5591e-04$	$5.8112e-07$	$1.9291e-02$	$2.7996e-02$	0:00:00	1
2000	$1.0277e-01$	$5.6574e-04$	$5.5631e-04$	$5.7817e-07$	$1.9476e-02$	$2.8549e-02$	0:00:00	0

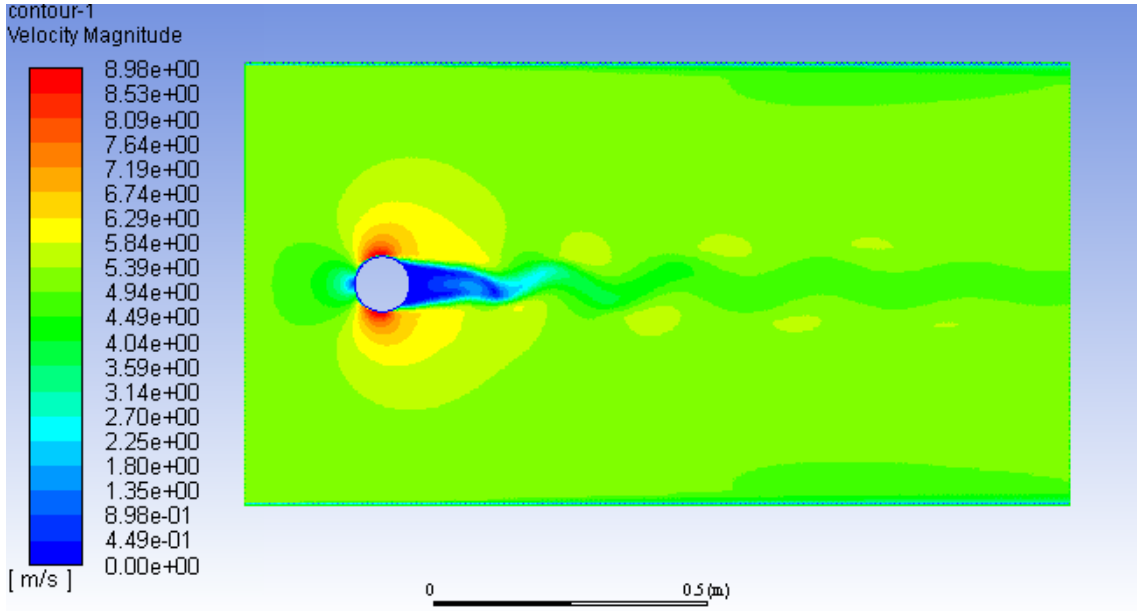
Şekil 3.26. Relizable scalable wall function orta ağ yapısı iterasyon grafiği (2000 iterasyon için)



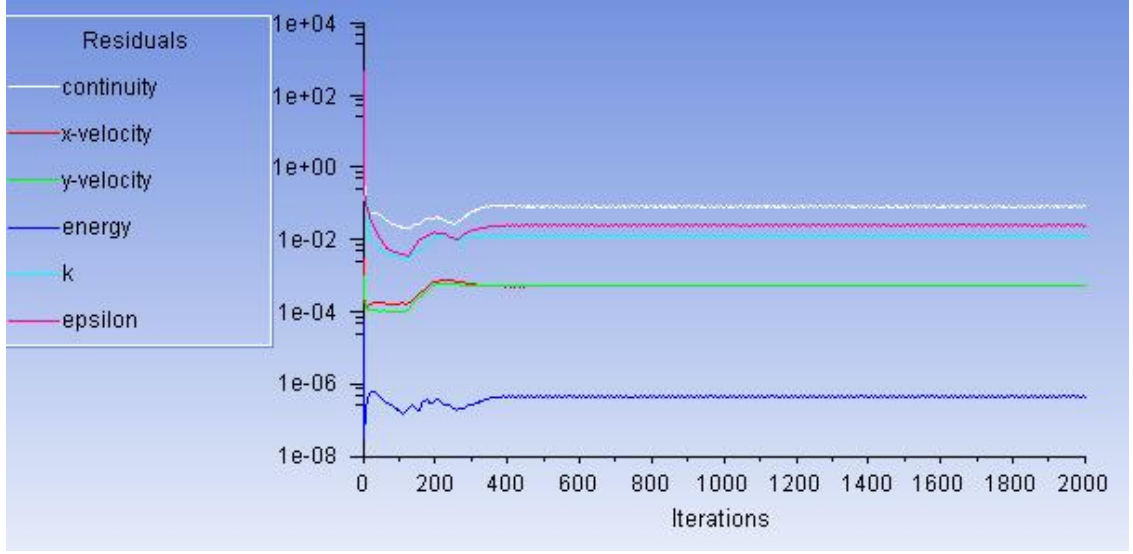
Şekil 3.27. Relizable scalable wall function orta ağ yapısındaki hız dağılımı (2000 iterasyon için)



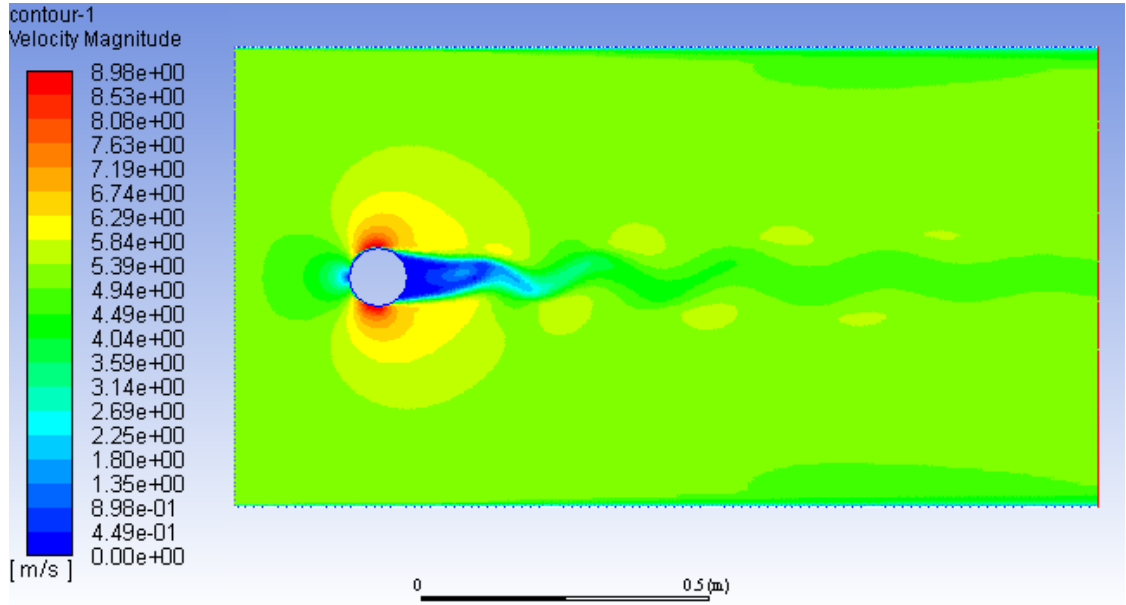
Şekil 3.28. RNG scalable wall function orta ağ yapısı iterasyon grafiği (1000 iterasyon için)



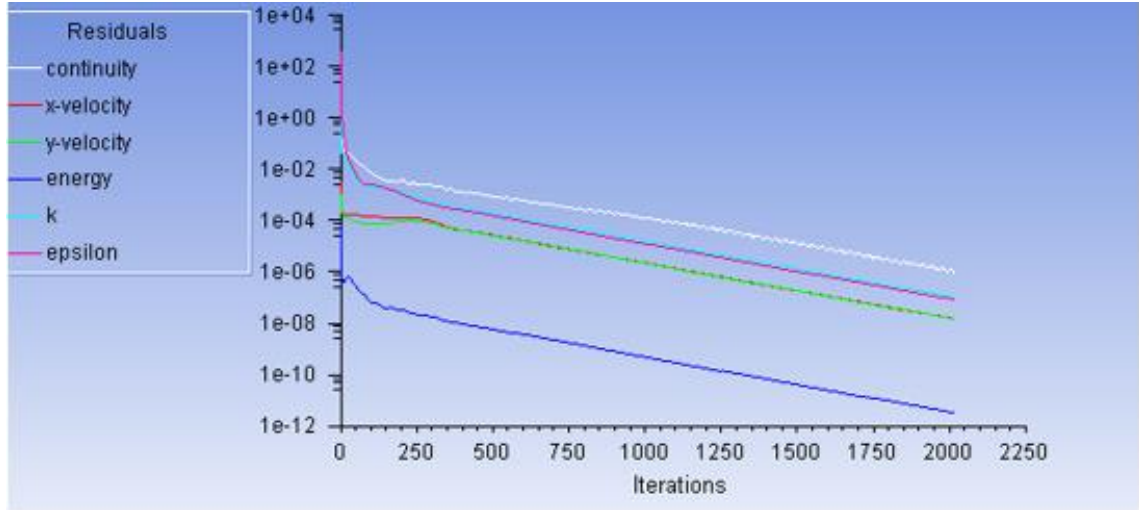
Şekil 3.29. RNG scalable wall function orta ağ yapısındaki hız dağılımı (1000 iterasyon için)



Şekil 3.30. RNG scalable wall function orta ağ yapısı iterasyon grafiği (2000 iterasyon için)

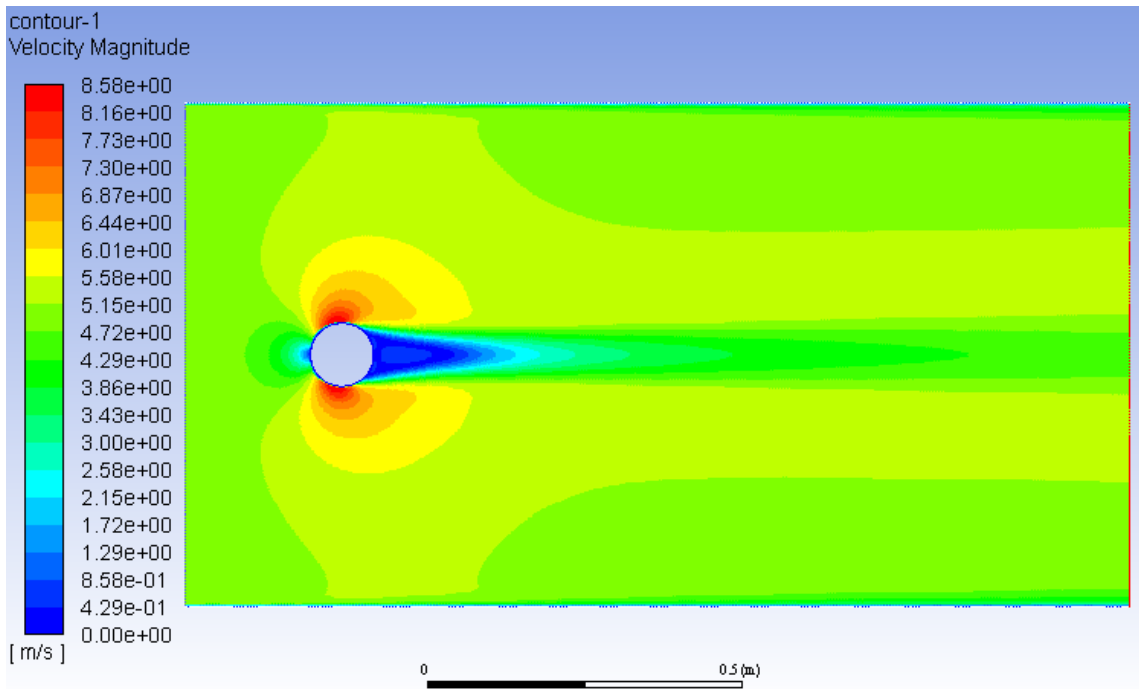


Şekil 3.31. RNG Scalable wall function orta ağ yapısı hız dağılımı (2000 iterasyon için)

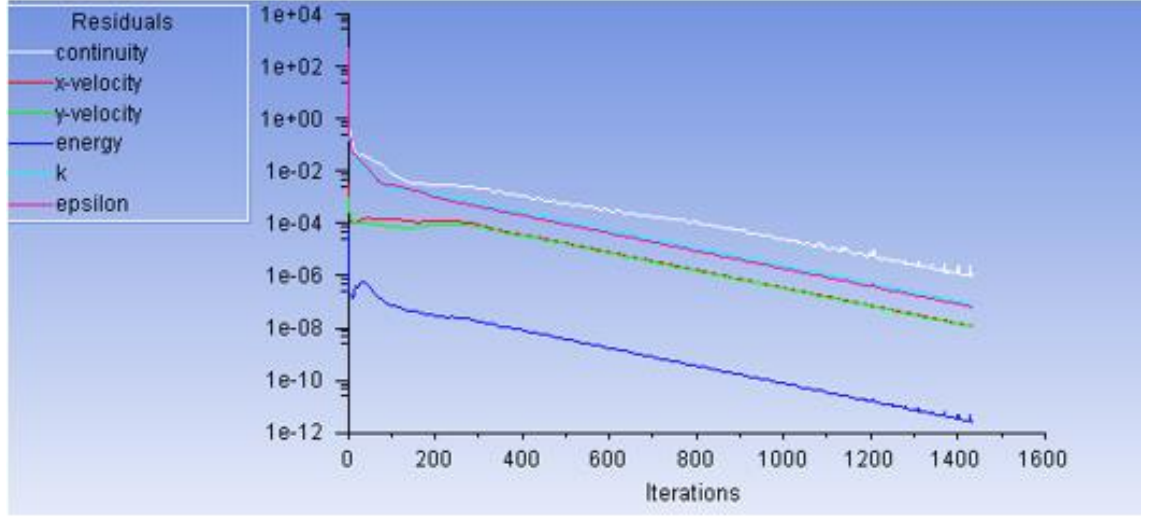


! 2016 solution is converged
 2016 9.8831e-07 1.4861e-08 1.5172e-08 3.5038e-12 1.0531e-07 8.4483e-08 0:11:29 2984

Şekil 3.32. Standart k- ϵ enhanced wall treatment orta ağ yapısı iterasyon grafiği

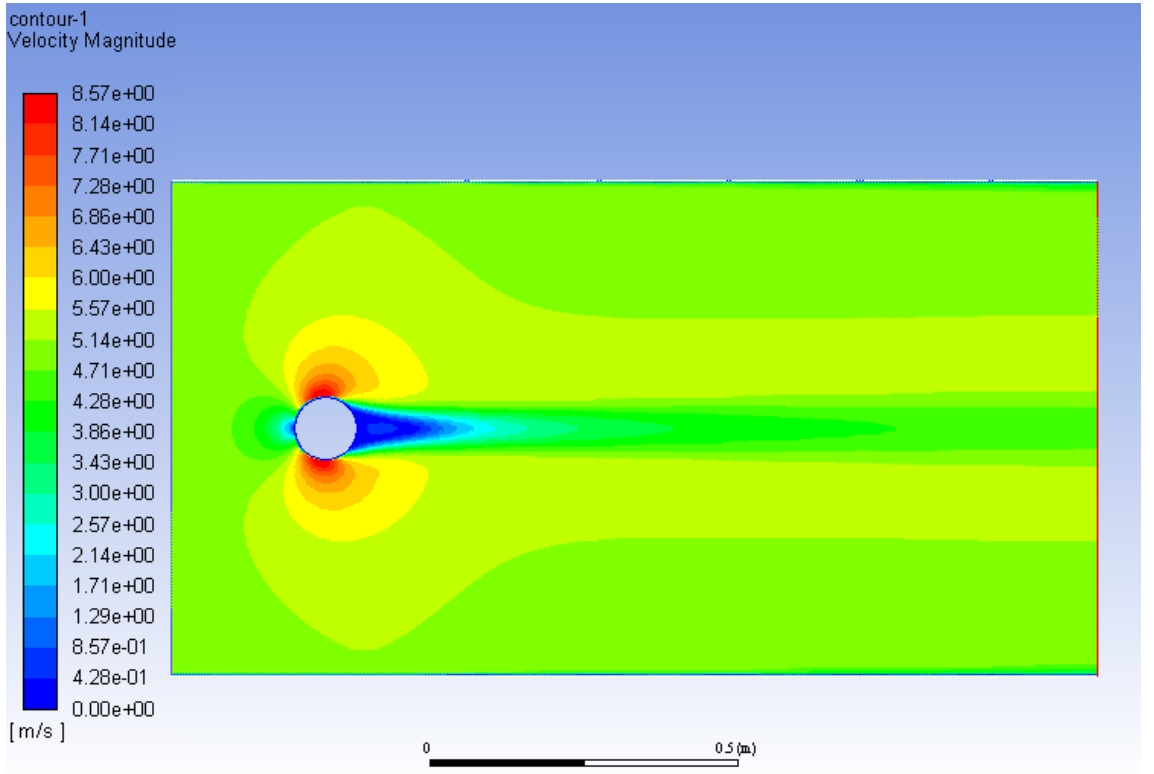


Şekil 3.33. Standart k- ϵ Enhanced Wall Treatment orta ağ yapısındaki hız dağılımı

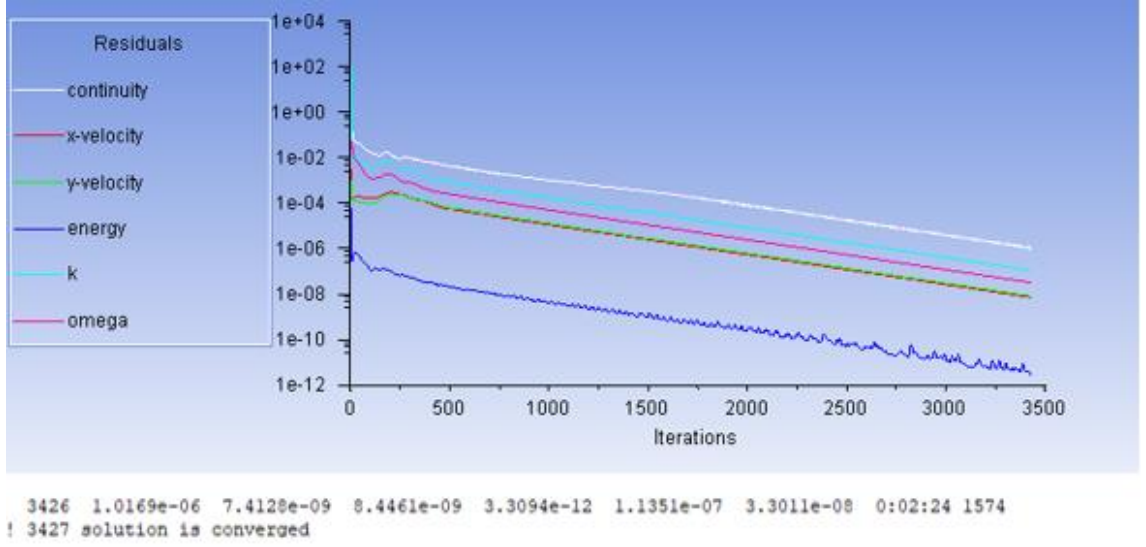


! 1433 solution is converged
 1433 9.5701e-07 1.2214e-08 1.1265e-08 2.7115e-12 8.3129e-08 6.4308e-08 0:06:40 3567

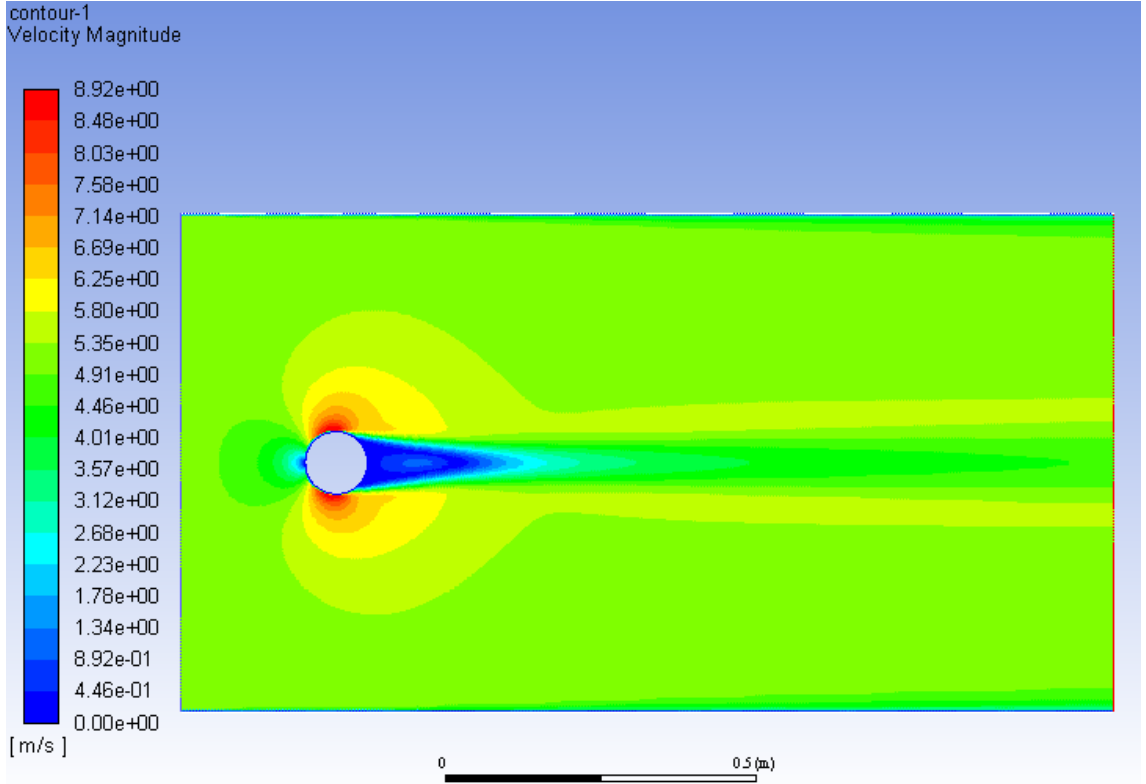
Şekil 3.34. k- ε non-equilibrium orta ağ yapısı iterasyon grafiği



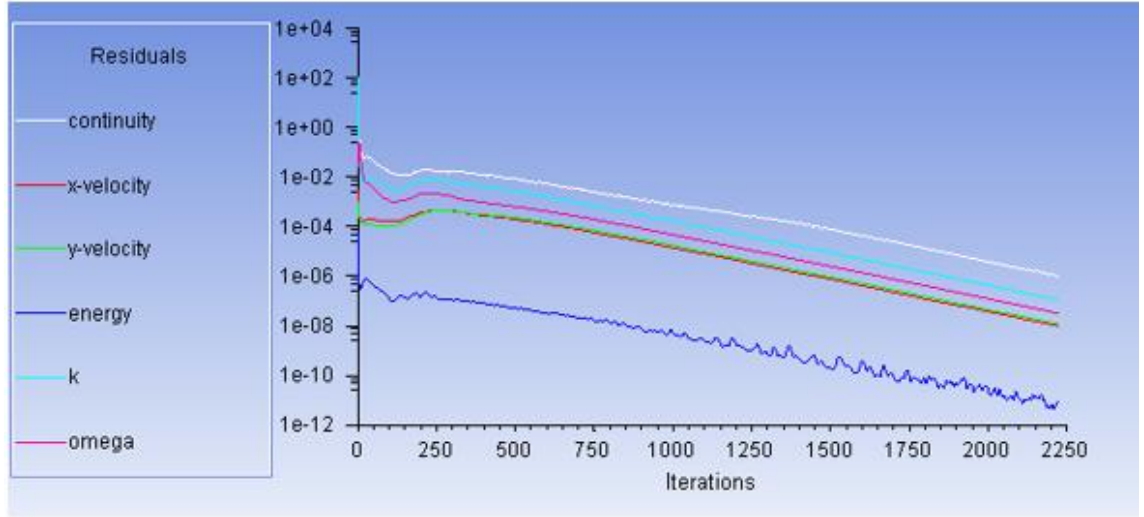
Şekil 3.35. k- ε non-equilibrium orta ağ yapısındaki hız dağılımı



Şekil 3.36. Standart k-w orta ağ yapısı iterasyon grafiği

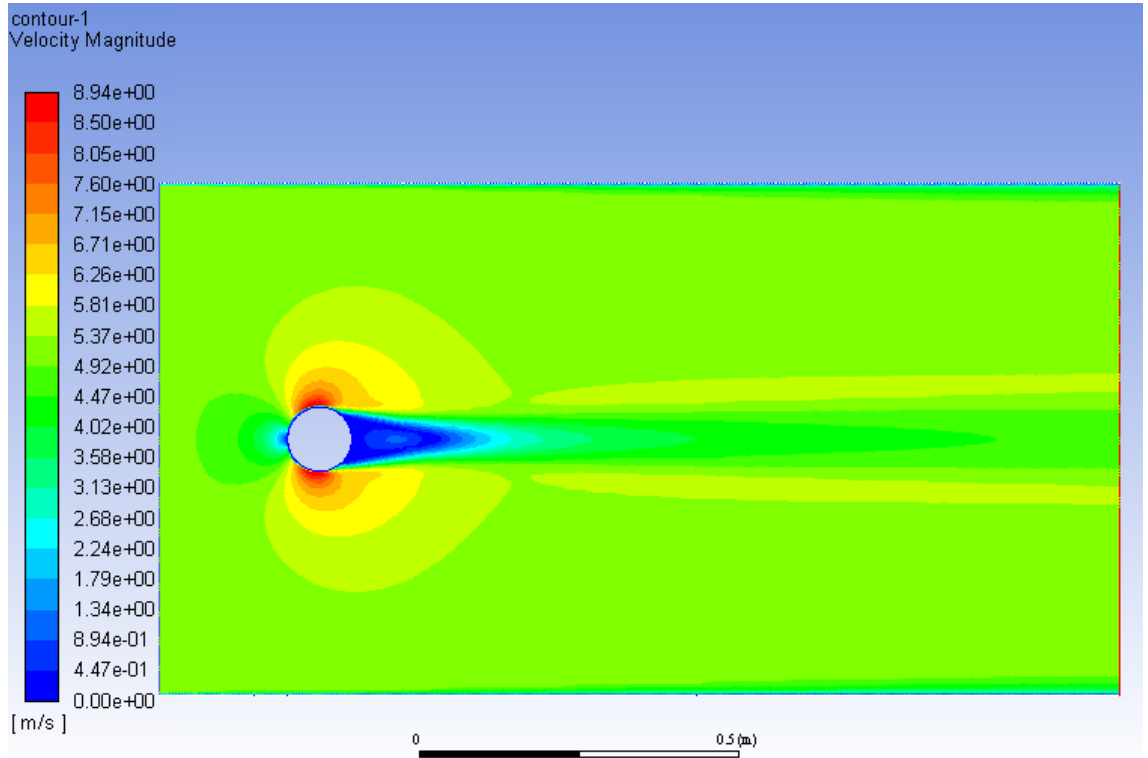


Şekil 3.37. Standart k-w orta ağ yapısındaki hız dağılımı

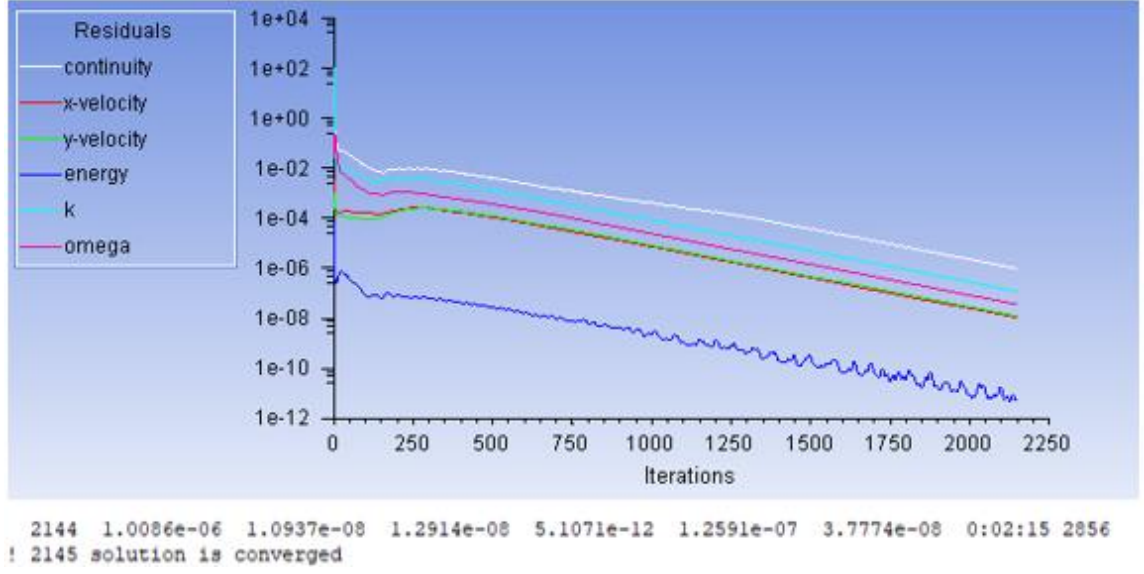


! 2221 solution is converged

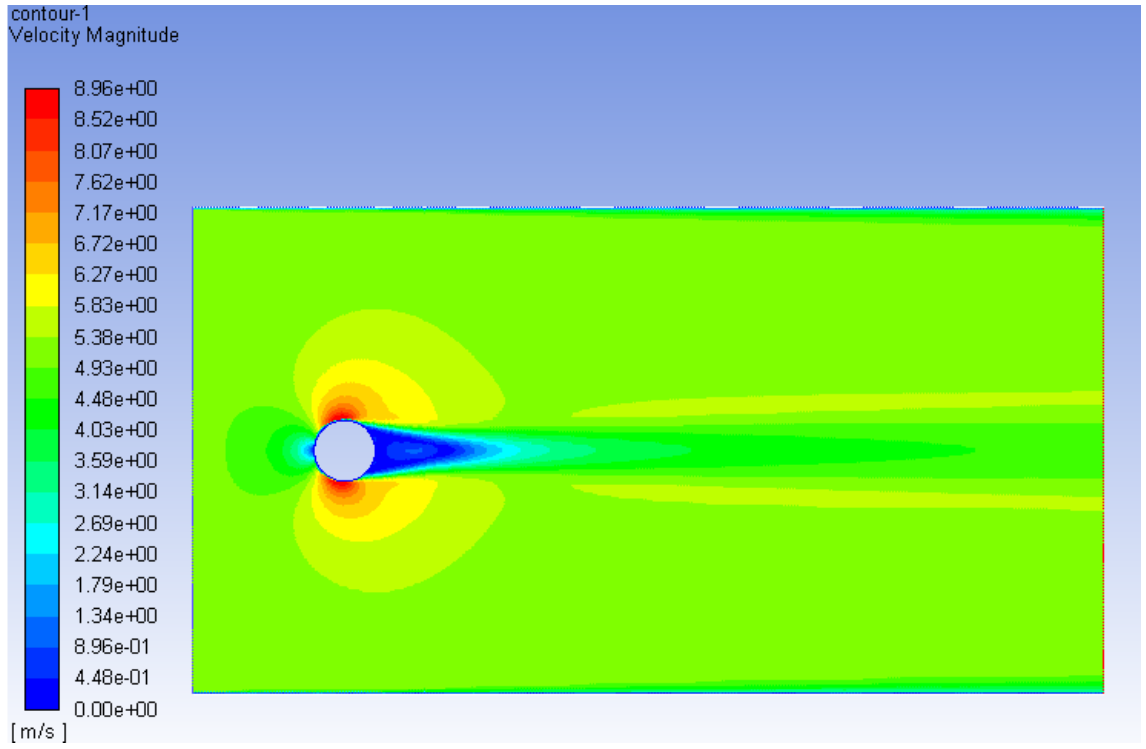
Şekil 3.38. Sst k-w orta ağ yapısı iterasyon grafiği



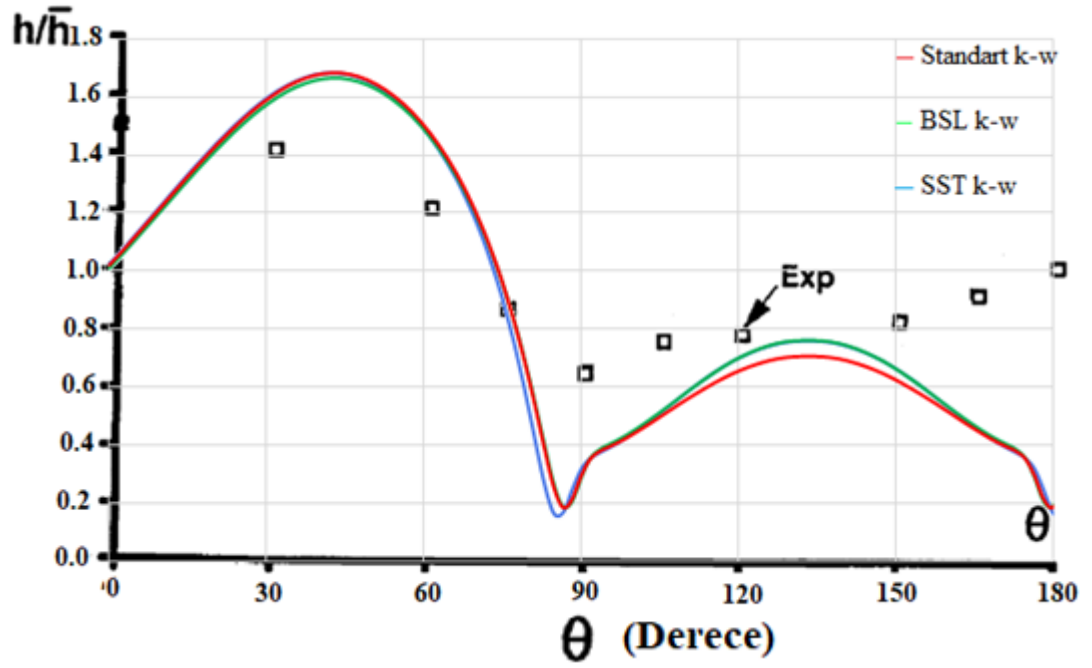
Şekil 3.39. Sst k-w orta ağ yapısındaki hız dağılımı



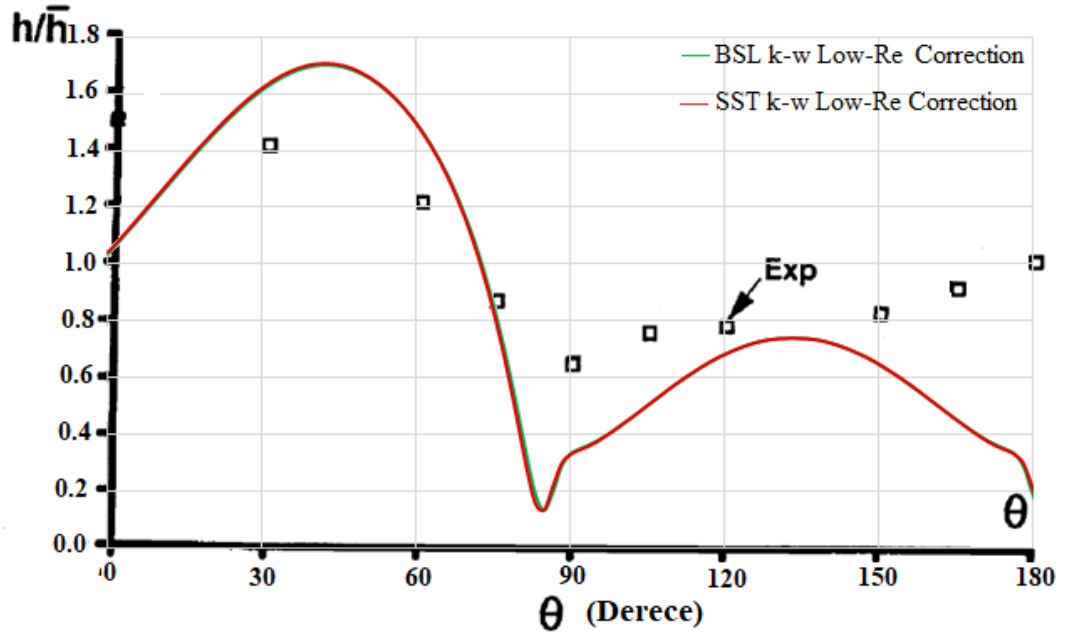
Şekil 3.40. Bsl k-w orta ağ yapısı iterasyon grafiği



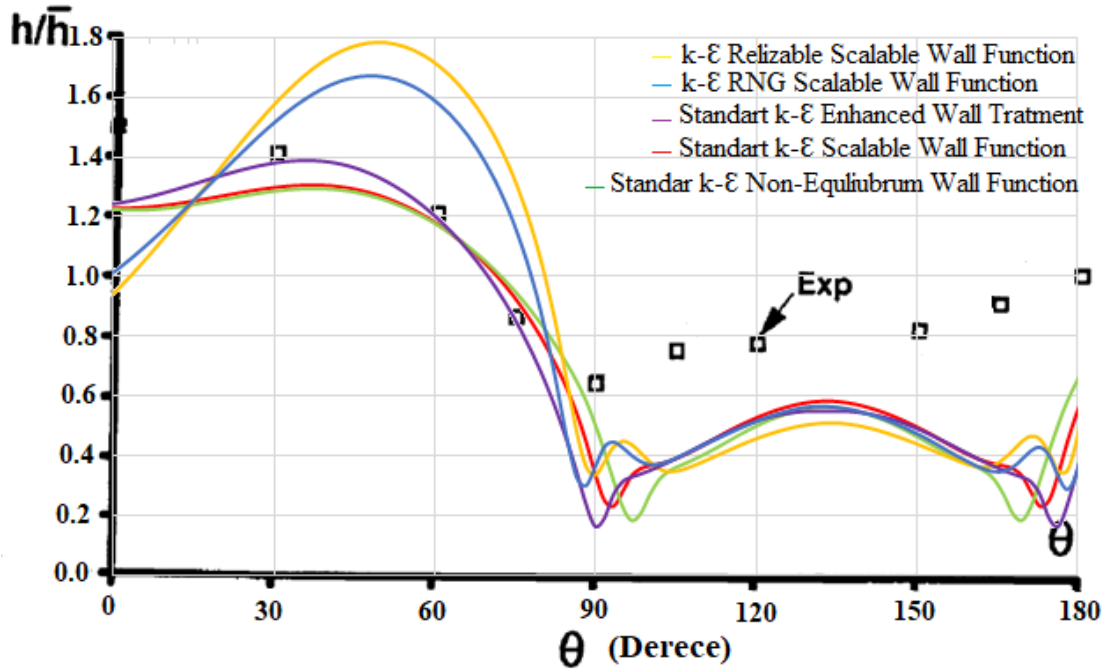
Şekil 3.41. Bsl k-w orta ağ yapısındaki hız dağılımı



Şekil 3.42. k-w türbülans modellerinde elde edilen sonuçların referans çalışmadaki deneysel ve sayısal sonuçlarla karşılaştırılması



Şekil 3.43. k-w low-Re correction türbülans modellerinde elde edilen sonuçların referans çalışmadaki deneysel ve sayısal sonuçlarla karşılaştırılması



Şekil 3.44. Tüm türbülans modellerinde elde edilen sonuçların referans çalışmadaki deneysel ve sayısal sonuçlarla karşılaştırılması

Türbülans modelleri kendi aralarında gruplandırılarak referans çalışmadaki deneysel ve sayısal çalışma ile karşılaştırılarak deneysel ve sayısal çalışma ile en yakın sonucu veren türbülans modelinin standart k- ε scalable wall function olduğu sonucuna ulaşılmıştır ve bu tez kapsamındaki çalışmalara bu türbülans modelinde devam edilmiştir.

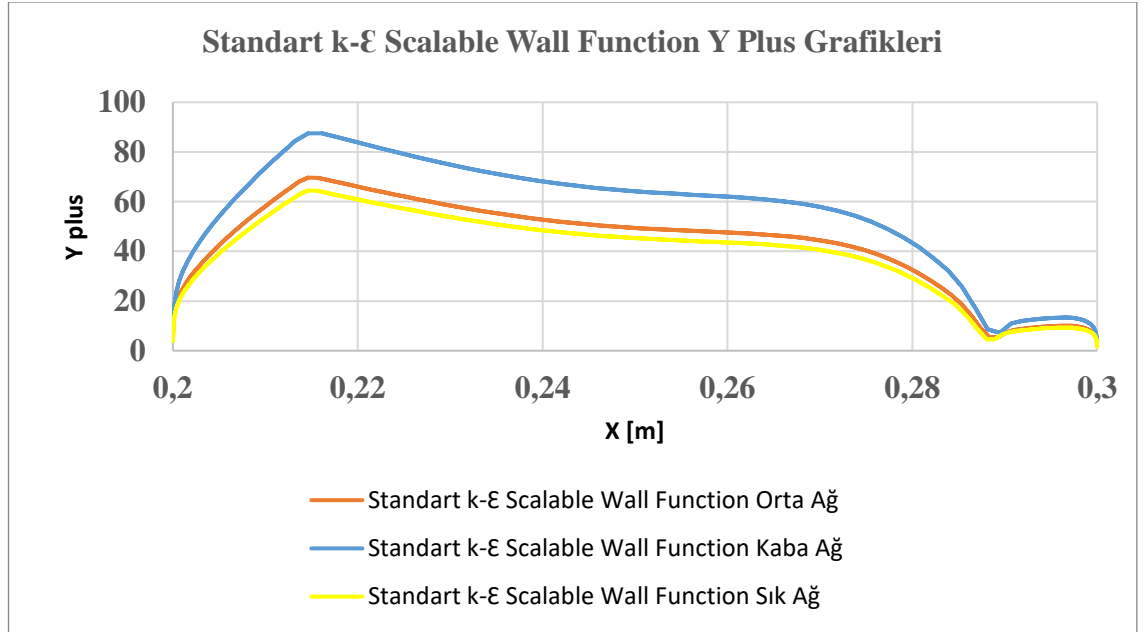
Türbülans modelinin seçiminde en uygun türbülans modelini seçmek için y^+ değerleri de kontrol edilmiştir.

Ortalama, maksimum ve minimum y^+ değeri kontrolü Şekil 3.45' de görülen A ve B bölgelerinden okunmuştur.



Şekil 3.45. Referans geometri üzerinde y^+ değerinin hesaplandığı bölgenin şematik gösterimi

Referans çalışmadaki sayısal ve deneysel çalışmaya en yakın sonuç standart k- ϵ scalable wall function türbülans modelinde ulaşıldığı için ilk olarak y^+ değerleri de bu türbülans modelinde hesaplanmıştır.



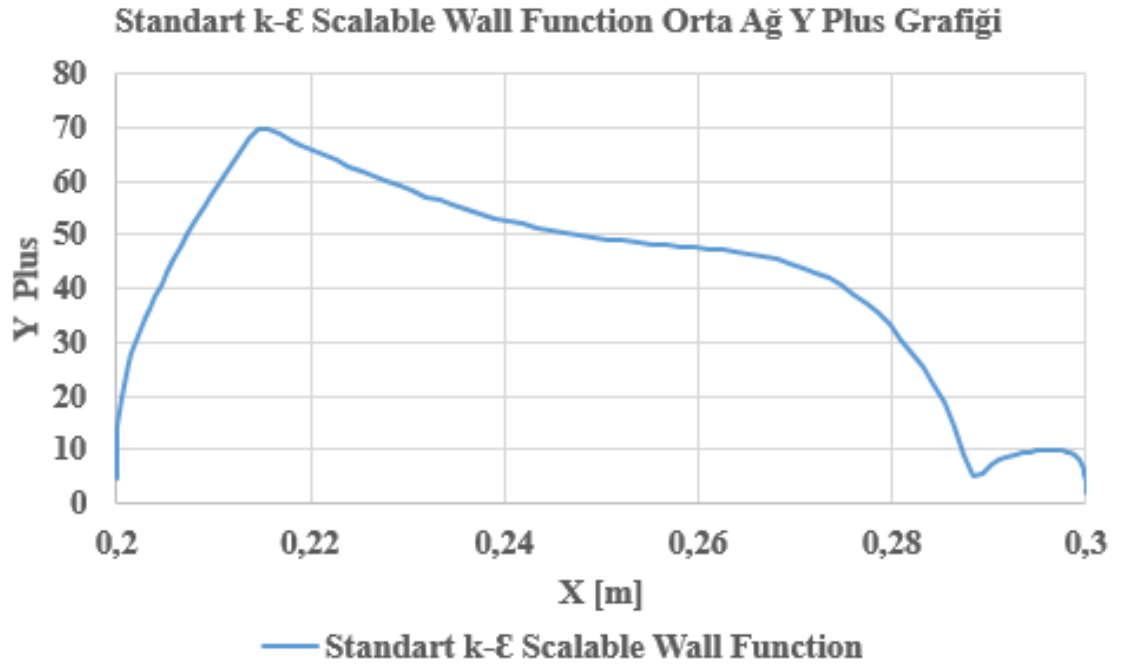
Şekil 3.46. Standart k- ϵ scalable wall function y^+ grafikleri

Çizelge 3.8. Standart k- ϵ scalable wall function y^+ değerleri

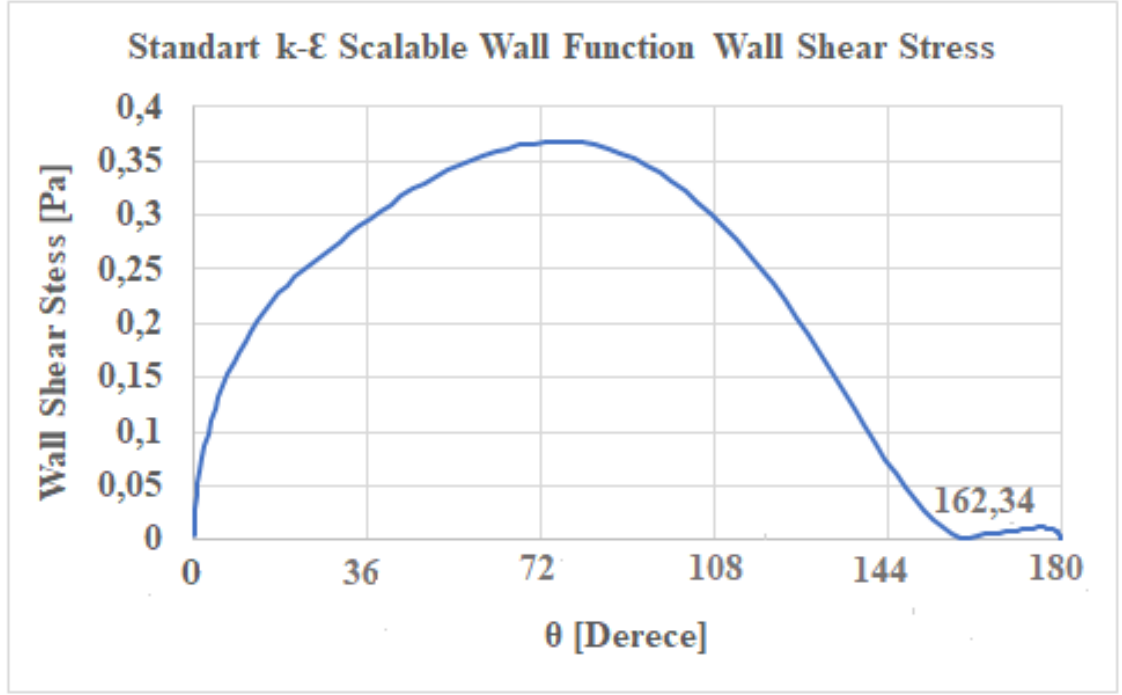
Standart k- ϵ Scalable Wall Function Y Plus Değerleri			
Kaba Ağ	Y Plus Min= 3,72	Y Plus Max= 87,51	Y Plus Ort=47,40
Orta Ağ	Y Plus Min= 1,76	Y Plus Max= 69,67	Y Plus Ort=36,72
Sık Ağ	Y Plus Min= 1,55	Y Plus Max= 64,448	Y Plus Ort=33,69

Ağ yapısının uygunluğu bir de y^+ değerleri hesaplanarak ikinci kez teyit edilmiştir.

Kaba orta ve sık ağ için hesaplanan y plus değerlerine bakıldığında orta ve sık ağ için aralarındaki farkın fazla olmaması sebebiyle ve bu türbülans modelinin kullanımı için bu y plus değerleri uygun olduğundan orta ağ ile devam edilmiştir.



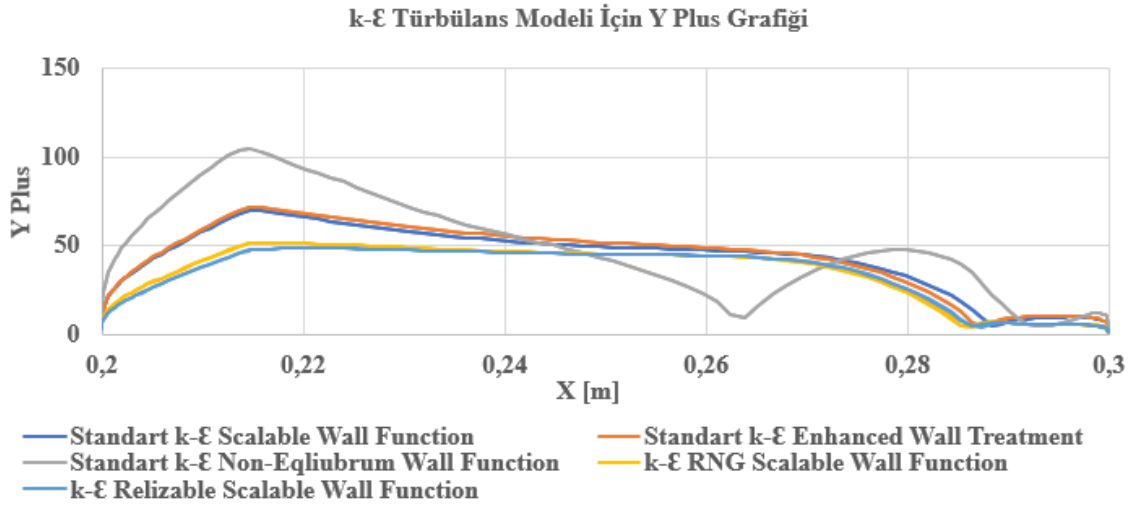
Şekil 3.47. Standart k- ϵ scalable wall function orta ağ yapısındaki y^+ grafiği



Şekil 3.48. Standart k- ϵ scalable wall function orta ağ yapısındaki kayma gerilmesi grafiği

Standart k- ϵ enhanced wall treatment ve standart k- ϵ scalable wall function referans çalışmadaki deneysel ve sayısal çalışma ile çok yakın sonuç vermiştir. Şekil 3.44.'de görüldüğü üzere standart k- ϵ scaleble wall function türbülans modelinin akış ayrılmasından sonra deneysel ve sayısal çalışma ile daha doğru sonuç verdiği için orta ağ yapısında Şekil 3.48.'de akış ayrılmasının meydana geldiği açı derecesi de hesaplanmıştır.

Tüm bu sonuçlardan sonra standart k- ϵ scalable wall function türbülans modelinde analizlere devam edilmiştir.



Şekil 3.49. Standart k-ε türbülans modellerindeki orta ağ yapısında kayma gerilmeleri grafiği

Çizelge 3.9. k- ε türbülans modelleri orta ağ için y^+ değerleri

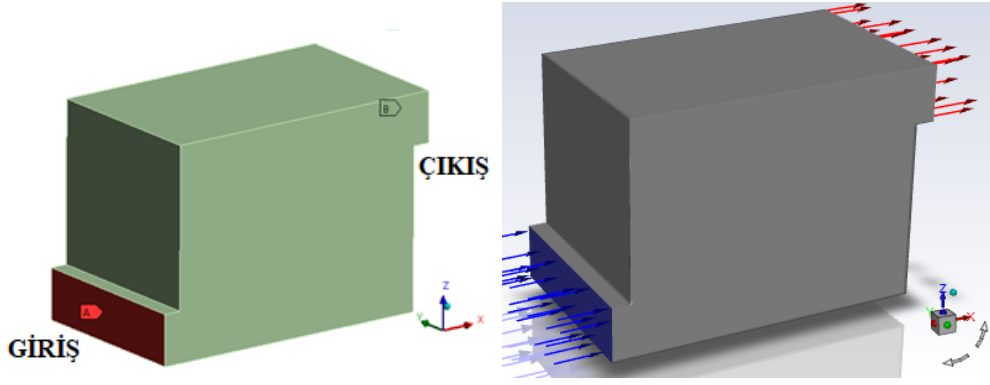
k-ε Trbülans Modelleri Orta Ağ İçin Y Plus Değerleri			
Orta Ağ	Y Plus Min= 1,76	Y Plus Max= 69,67	Y Plus Ort=36,72

3.8. Analiz Geometri Ölçüleri

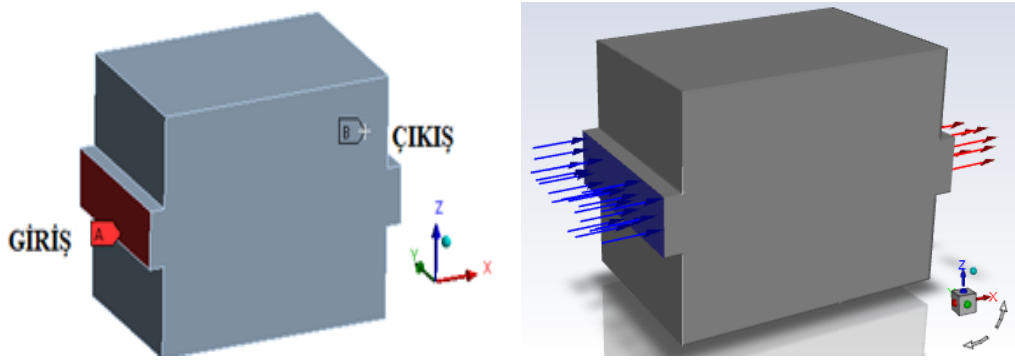
Bu tez kapsamında kullanılan geometriler ve sınır şartları Uzal, Şener ve Oktay (2023) çalışmasından referans alınmıştır. Bu tez kapsamında Li-iyon batarya malzeme özellikleri de Taylan'dan alınmıştır. Uzal, Şener ve Oktay (2023) çalışmasında Z- tipi kanal kullanımı ile U tipi kanala göre ısı transferinin arttığı ve sıcaklık değerlerinin düştüğü sonucuna varıldığı için Z tipi kanal geometrisi ve bu çalışmadaki sınır şartları seçilmiştir. Z tipi kanal geometrisi seçilmesinin nedeni Uzal, Şener ve Oktay'ın yaptığı çalışmada U tipi kanala göre daha iyi ısı transferi performansı göstermiş olmasıdır. Ayrıca elektrikli araçlarda da U tipi kanala göre daha fazla tercih edilmektedir. Bataryaların çapı ve uzunluk ölçüleri bu çalışmadan referans alınmış olup ölçüleri standart değildir.

Analiz sabit giriş hızı ve değişken titreşimli (pulsatile flow) olarak tek bir geometri ölçüsünde yalnızca giriş ve çıkış noktaları değiştirilerek incelenmiştir.

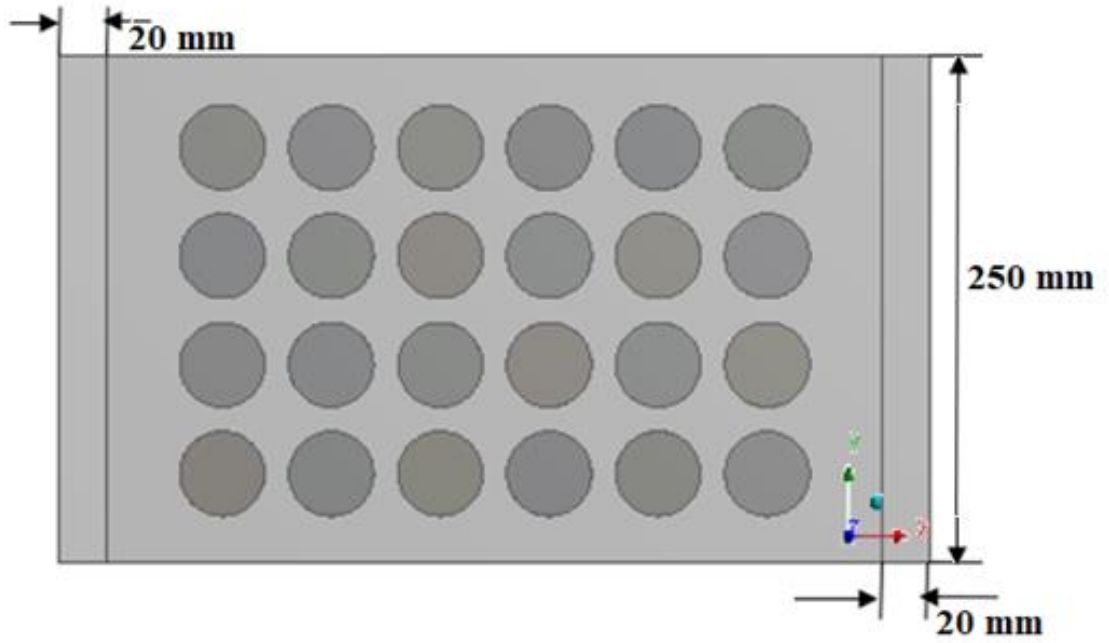
Analizde incelenen ilk geometri girişin alt taraftan çıkışın ise üstten ikinci geometri ise giriş ve çıkışın tam ortada olduğu pozisyon ve bunların titreşimli akış için incelendiği 4 durumu içerir.

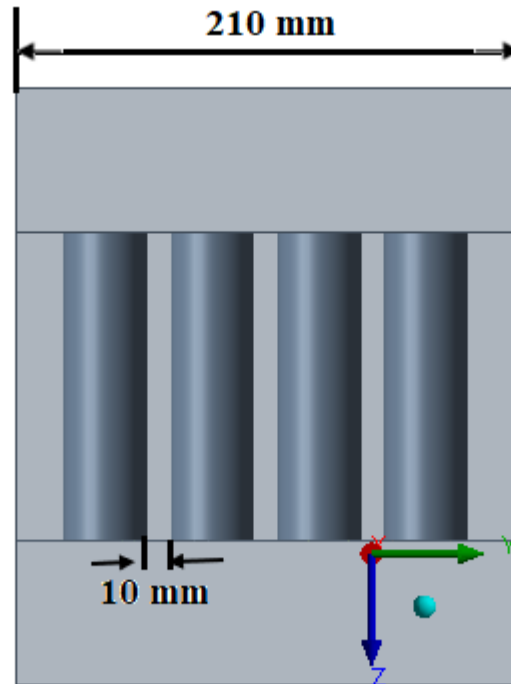
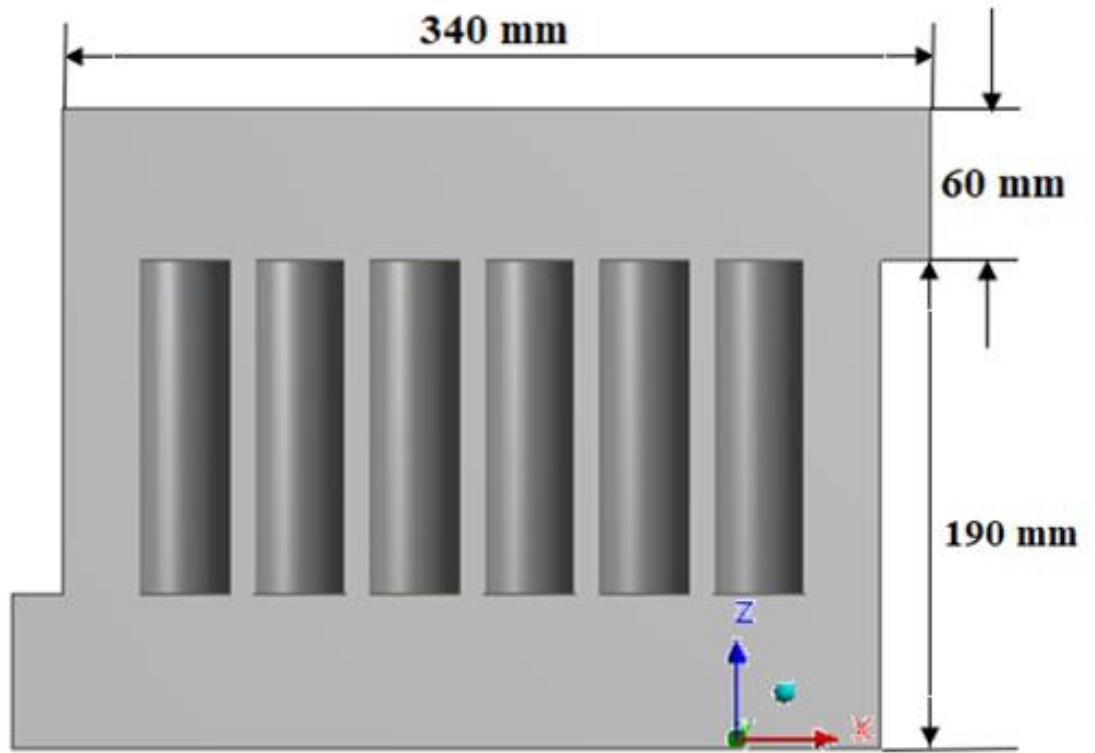


Şekil 3.50. Durum bir için akışkan giriş çıkış bölgeleri

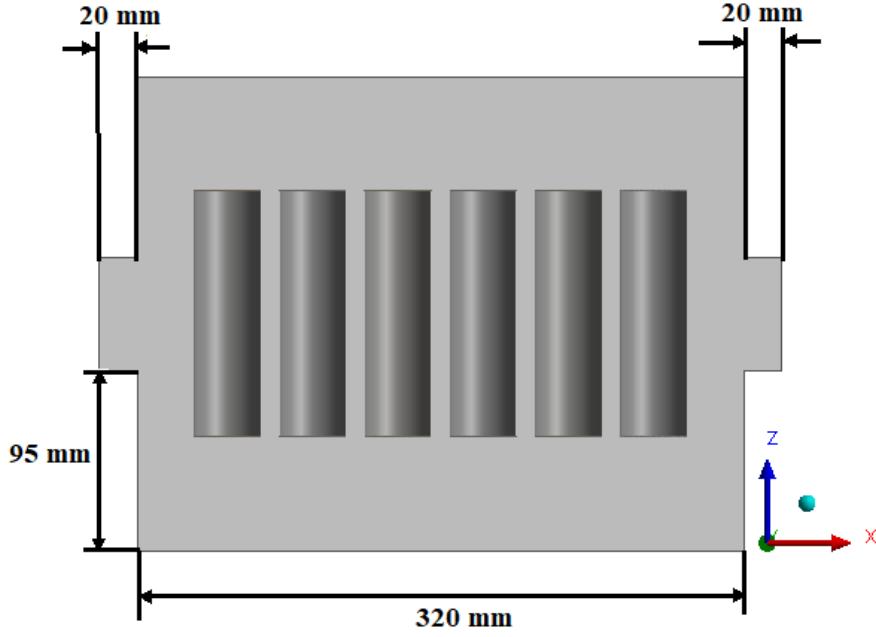


Şekil 3.51. Durum iki için akışkan giriş çıkış bölgeleri





Şekil 3.52. Durum bir için geometri ölçüleri



Şekil 3.53. Durum iki için geometri ölçüleri

Çizelge 3.10. Analizlerde kullanılan batarya ölçüleri

Kullanılan Batarya Ölçüleri	
Batarya Çapı	35 mm
Yükseklik	130 mm
Batarya Arası Boşluk	10 mm



Bu tez kapsamında kullanılan geometriler, batarya çapı ve sınır şartları Uzal, Şener ve Oktay (2023) çalışmasından referans alınmıştır. Batarya çapı standart bir batarya çapı değildir.

3.8.1. Sınır Şartları

Analizde akış türbülanslı incelenmiştir. Akışkan olarak hava kullanılmıştır. İletim ve taşınım ile olan ısı transferi birlikte incelenmiştir. Analizler Ansys Fluent 2022.R1 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Akışkan girişinde türbülans yoğunluğu ve türbülans viskozitesi oranı sırasıyla %5 ve %10 alınmıştır. Çözücü olarak SIMPLE kullanılmıştır. Yakınsama kriteri olarak tüm k-ε türbülans modeli parametreleri, süreklilik ve momentum içim 10^{-8} alınarak çözümler gerçekleştirilmiştir. Çözüm boyunca belirlediğimiz değerlere yakınsama sağlanamamıştır.

Fakat tüm yapılan çözümlerde analiz iterasyondan bağımsız hale gelinceye kadar çözdürülerek sonucun değişmediği gösterilmiştir. Yani iterasyondan bağımsızlık sağlanmıştır.

Çizelge 3.11. Analizlerde kullanılan sınır koşulları

Sınır Koşulları	
Akışkan Giriş Hızı	6 m/s
Akışkan Giriş Sıcaklığı	298K
Çıkış Basıncı	1 atm
Duvar	Isı akısı sıfır
Batarya Isı Üretimi	551 W/m ³

Akışkanın (hava) ve Li-ion batarya özellikleri sırasıyla Çizelge 3.11. ve 3.12.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.12. Analizlerde kullanılan akışkan özellikleri

Akışkan Özellikleri	
Yoğunluk (kg/m ³)	1,225
Özgül Isı (J/kg.K)	1006,43
Isı İletkenlik Sayısı	0,0242
Dinamik Viskozite (kg/m.s)	1,7894*10 ⁻⁵

Çizelge 3.13. Analizlerde kullanılan batarya malzeme özellikleri

Batarya Özellikleri	
Yoğunluk (kg/m ³)	2000
Özgül Isı (J/kg.K)	900
Isı İletkenlik Sayısı	k _x = 1.6 k _y = 1.5 k _z = 3

3.8.2. Tez Kapsamında İncelenen Geometri İçin Ağdan Bağımsızlık Çalışması

Ağdan bağımsızlık çalışması sabit hız kabulünde yapılmıştır. Geometri için akış hacmi kaba, orta ve sık ağılara bölünerek ağdan bağımsızlık çalışması yapılmıştır.

Ayrıca SST k-ε türbülans modeli için y^+ değeri de kontrol edilmiştir. Yapılan tüm bu çalışmalar ışığında analizlere doğrulanmış olan bu türbülans modeli ile devam edilmiştir. y^+ değeri, duvar dibinden uzaklığın boyutsuz olanıdır. Türbülanslı akışlarda türbülansın başlıca kaynağı duvara yakın bölgelerdir. Bu bölgelerdeki akış hız dağılımının doğru bir şekilde elde edilmesi, kayma gerilmeleri vb. doğru hesaplanabilmesi için iyi modellenmesi gerekmektedir. Bu noktada Reynolds sayısı veya akış hızına bağlı olarak analiz programında akış denklemlerinin çözümünde kullanılan türbülans modeli seçimi ve bunun ile ilgili olarak duvar dibi yaklaşımlar için kullanılan duvar fonksiyonlarının doğru seçilmesi gerekmektedir. Bu yüzden akışkanın duvar ile temasında sınır tabaka oluşacağından inflation metodu ile ağ yapısı oluşturulmuştur. Sınır tabakayı içine alacak sınır tabakalarını belirlemede y^+ değerinin dikkate alınması önemlidir. Düşük Reynolds sayılarında sınır iç tabakadaki akış hızı profillerinin doğru yakalanması için y^+ değerine karşılık kullanılacak türbülans modeli ve duvar fonksiyonu sınırlarına dikkat edilmesi gerekmektedir. Çalışmamızda standart k- ε scalable wall function türbülans modeli kullanılmış ve $y_{ort}^+ = 36$ hesaplanmıştır. Aşağıdaki tabloda da görüldüğü üzere y^+ değeri de uygun olduğundan geometriye uygun mesh modelini mesh kalite kriterleri ile kontrol edilip mesh optimizasyonu yapılmıştır.

Turbulence model	Near Wall treatment	Range of Y-Plus
K-Epsilon	Standard Wall Functions	$30 < Y^+ < 300$
	Non-equilibrium Wall Functions	$30 < Y^+ < 300$
	Scalable Wall Functions	$Y^+ > 11.225$
	Enhanced Wall Treatment	$Y^+ < 5$

Şekil 3.54. k- ε türbülans modeli y^+ plus değerleri

Çizelge 3.14. Kaba, orta ve sık ağ sayıları

Ağ Yapısı	Eleman Sayısı	Düğüm Sayısı
Kaba Ağ	1263520	1275129
Orta Ağ	1427840	1439597
Sık Ağ	1592160	1604065

Kaba, orta ve sık ağ yapısı eleman ve düğüm sayıları Çizelge 3.14.'de gösterilmiştir.

Aşağıda Şekil 3.50 Şekil 3.51.'de görülen hesaplama geometrisi için çözüm ağı oluşturulmuştur. Toplam 1439597 düğüm sayısı kullanılmıştır. Duvar yakınlarında ve batarya ile akış hacmi arasına yani sınır tabaka oluşacak ve oluşması muhtemel yerlerde inflation tekniği kullanılmıştır.

Ağ yapısı sonuçların doğruluğu için oldukça önemli olduğundan eleman kalite parametrelerine dikkat edilerek ağ yapısı oluşturulmuştur.

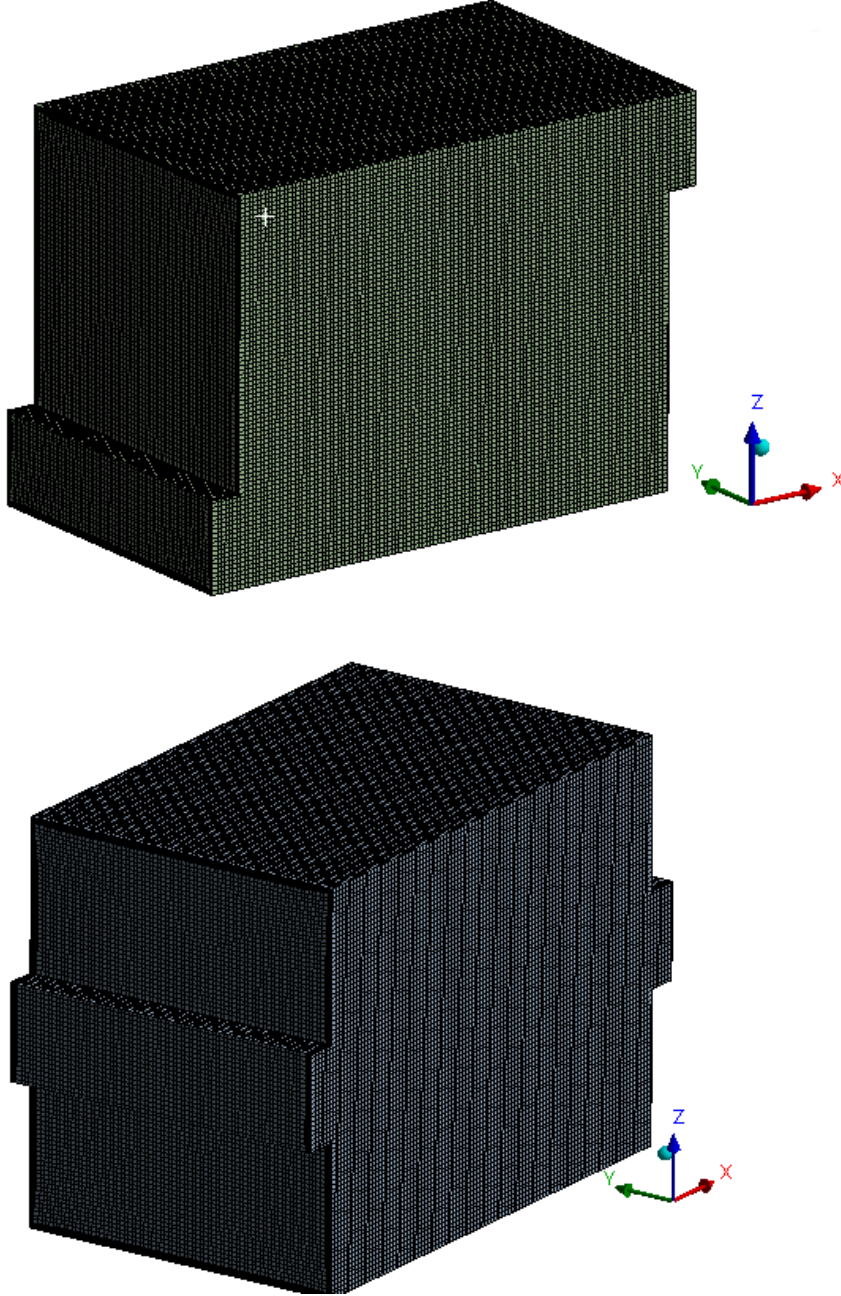
Bu parametreler tablo halinde maksimum minimum ve ortalama değer olarak verilmiştir.

Çizelge 3.15. Ağ eleman kalitesi değerlendirme kriterleri

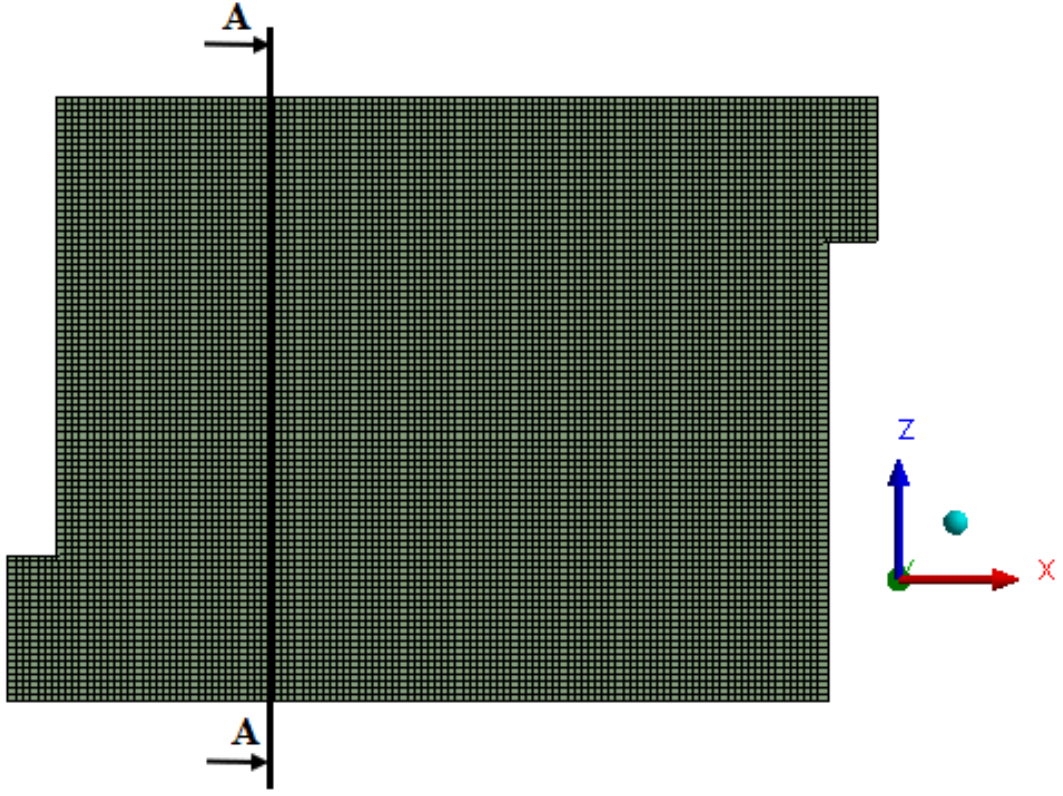
Ağ Kalite Parametresi	Maksimum Değer	Minimum Değer	Ortalama Değer
Eleman Quality	0,99974	1,8485e-002	0,62287
Aspect Ratio	109,53	1,0028	5,8165
Skewness	1	1,3057e-010	8,6665e-002
Ortogonal Quality	1	0,14404	0,94819

Ağ kalitesi açısından en önemli ve yeterli kabul edilen 3 parametre tabloda gösterilmiştir. Tüm bu eleman kalitesi parametreleri dikkate alındığında skewness (çarpıklık) optimum kare veya üçgen elemanın geometrisinden sapma değeridir. Bu değer sıfıra ne kadar yakın ve küçükse a kalitesi açısından o kadar iyi olduğunu ifade eder. Bu görüldüğü üzere ortalama değer sıfıra oldukça yakındır. Ortogonal kalitenin 0,1-0,5 olması beklenmektedir. Ağ elemanlarının yüzeylerinin orta noktasının komşu mesh elemanına olan uzaklığıdır. Minimum uzaklığa bakılarak karar verilir.

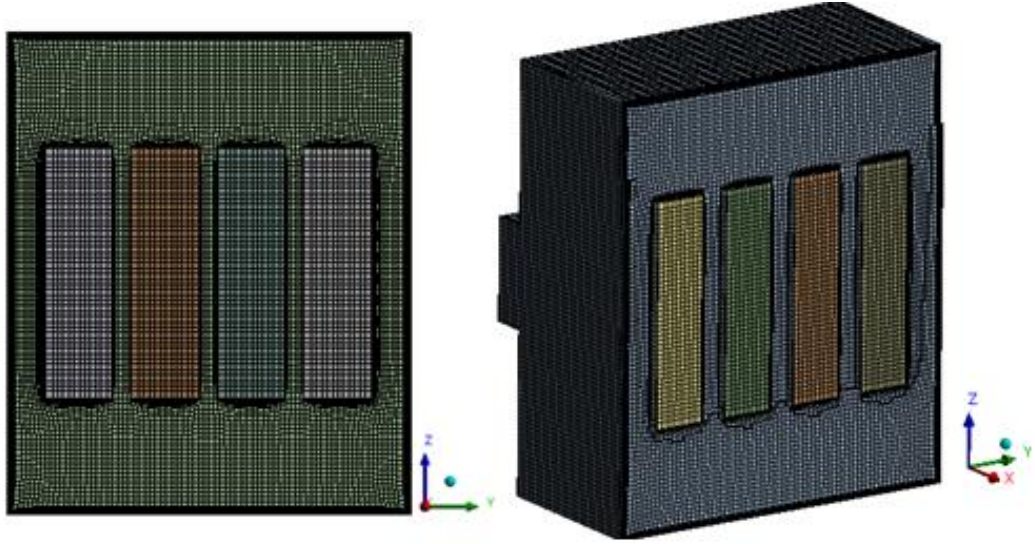
Minimum değer olarak belirtilen aralıktadığu görüldüğü üzere bir de ortalama 0,95 civarında yani aslında oldukça iyi bir orana sahip olduğunu gösterir. Aspect ratio (en-boy oranı) ağ elemanın uzun kenarının kısa kenara uzunluğuna oranıdır. İdeal bir ağ elemanında bu oran 1 dir. Bu orandan uzaklaştıkça ağ kalitesi düşer. Ortalama olarak 0,8 değerinde olduğu için iyi kabul edilir.



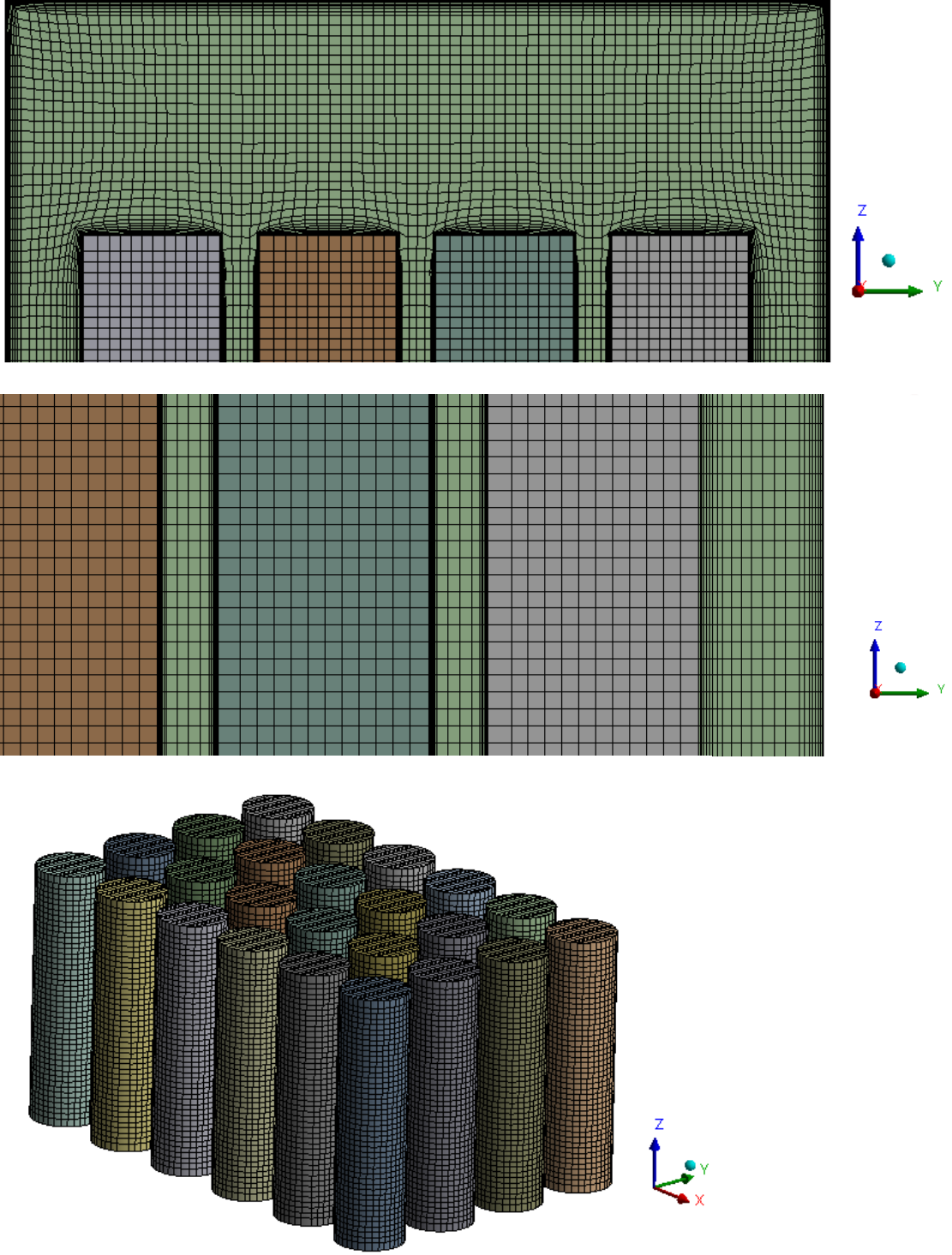
Şekil 3.55. Durum bir ve iki için ağ yapısı



Şekil 3.56. Akış hacmi içindeki ağ yapısının gösterimi için A-A kesiti



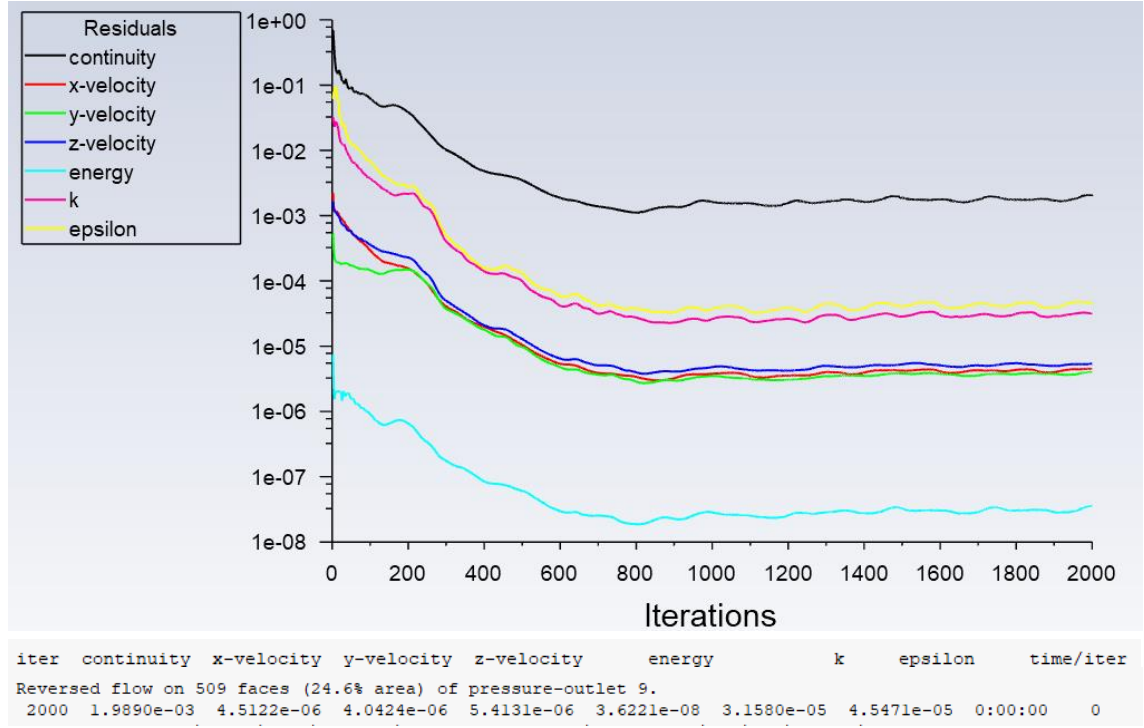
Şekil 3.57. Akış hacmi içerisindeki ağ yapısı



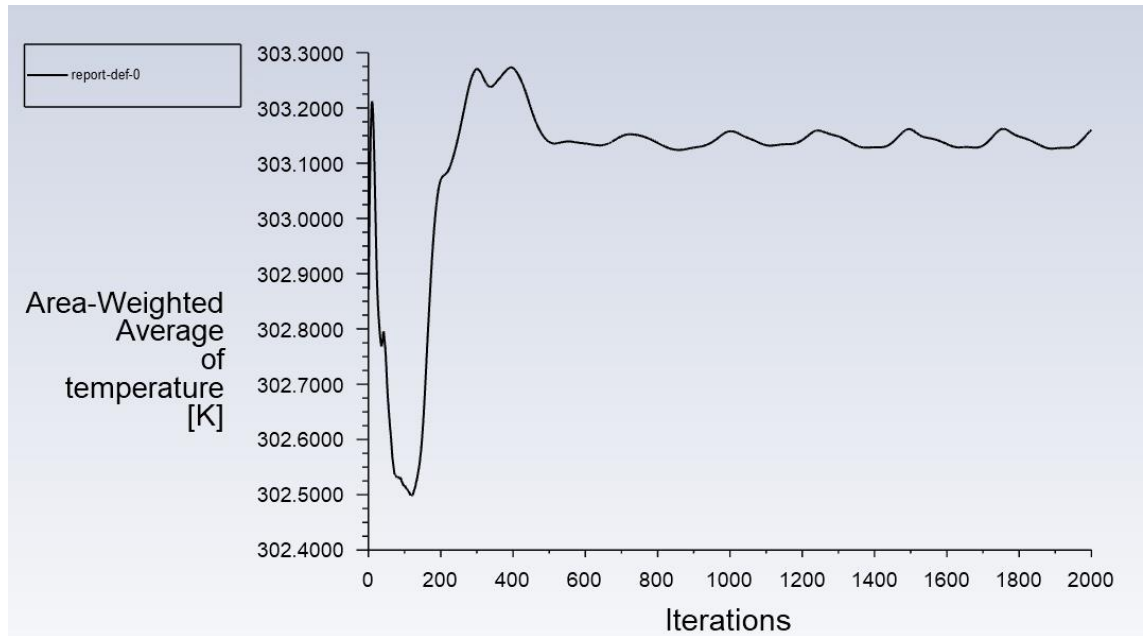
Şekil 3.58. Ağ yapısının yakın görüntüsü

Ağdan bağımsızlık çalışması sabit hız (6m/s) da yapılmıştır. İterasyon grafikleri ve kontör görüntüleri sırasıyla Şekil 3.61-3.184 arasında sırasıyla kaba orta ve sık ağ yapısı için gösterilmiştir.

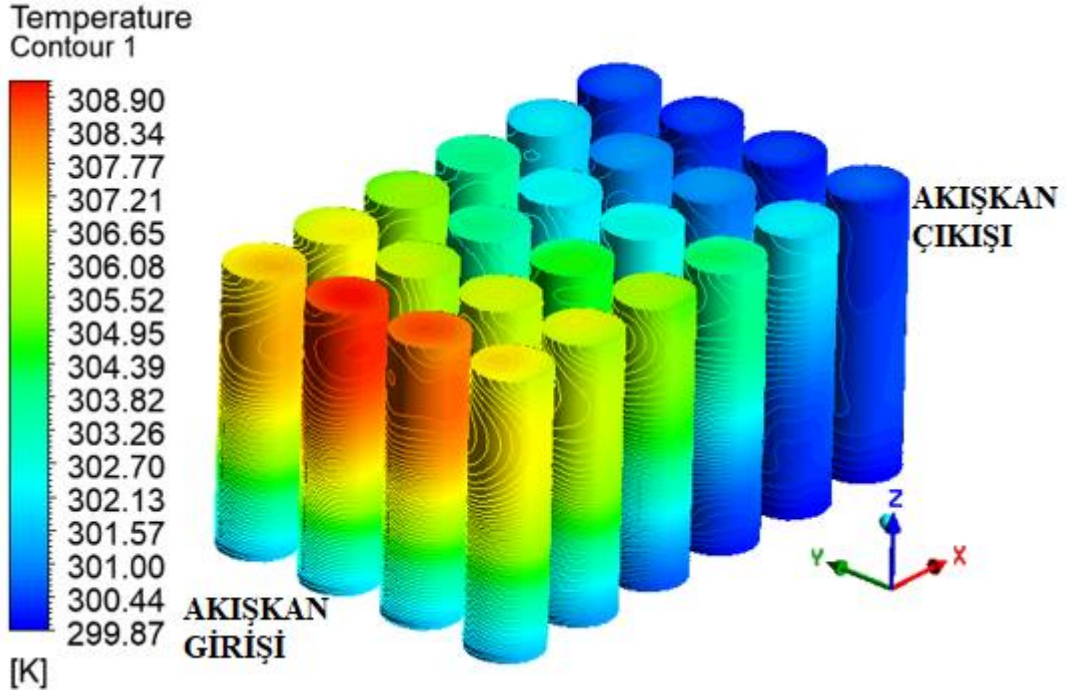
Kaba ağ yapısı için ilk olarak 2000 iterasyon sabit hız ile çözüm alındığında yakınsama olmamıştır.



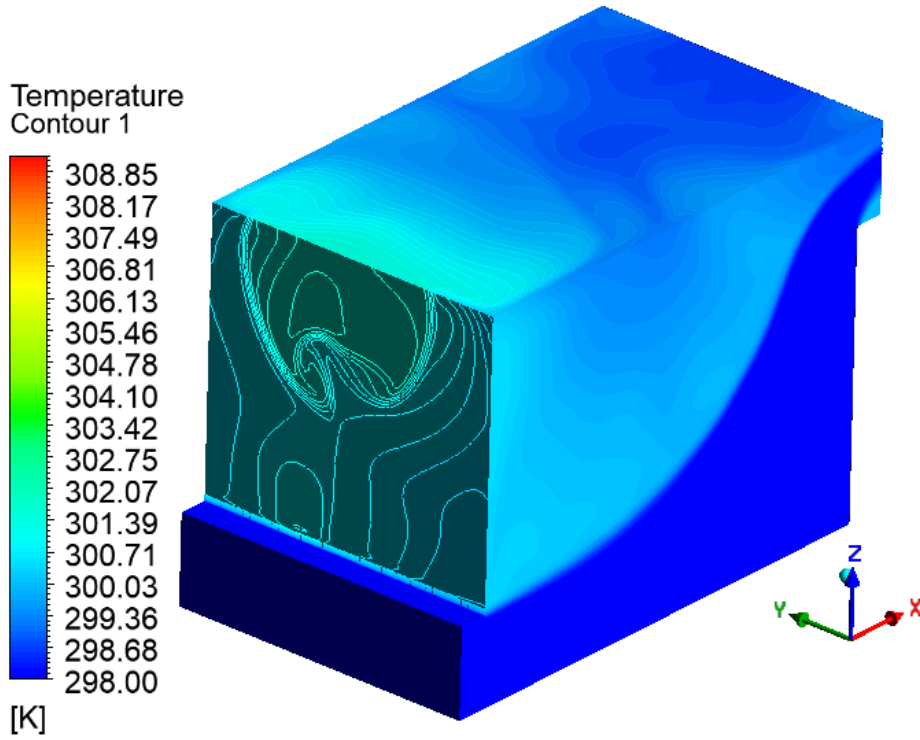
Şekil 3.59. Durum bir kaba ağ için iterasyon grafiği (2000 iterasyon için)



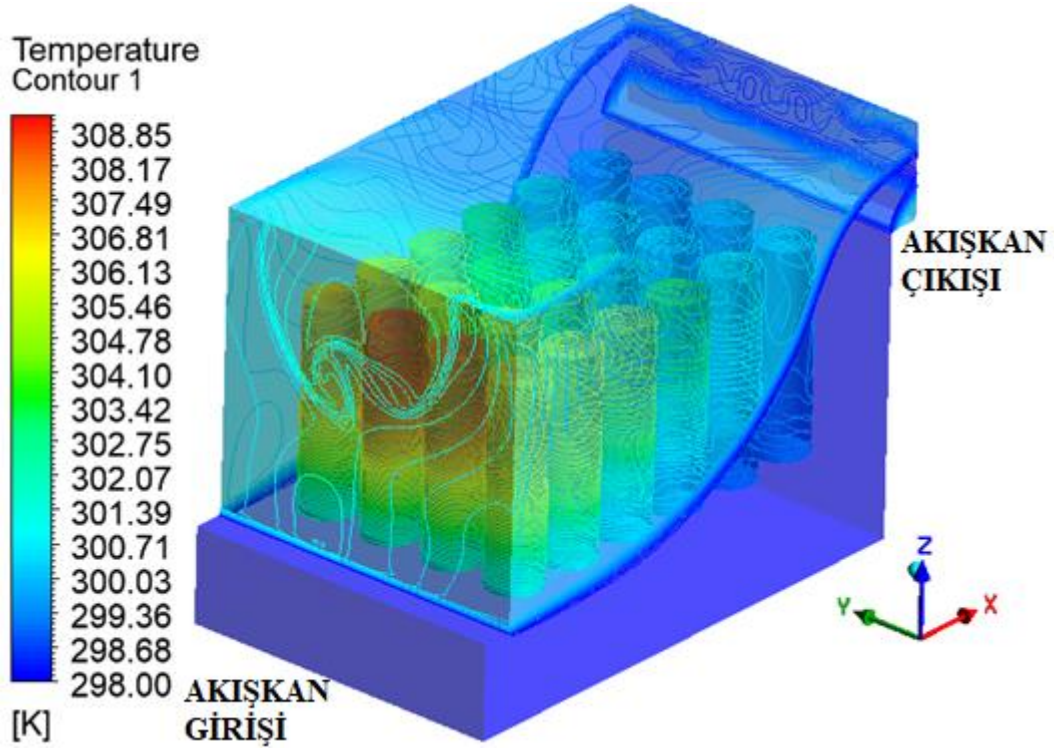
Şekil 3.60. Durum bir kaba ağ için bataryanın içerisindeki ve yüzeyindeki ortalama sıcaklık grafiği



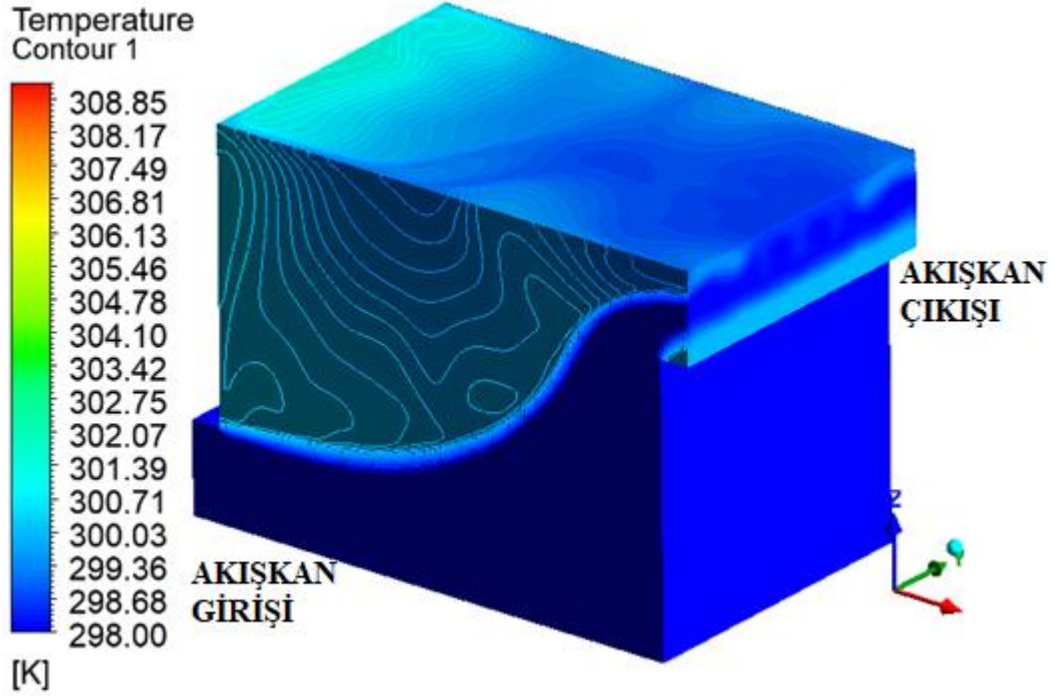
Şekil 3.61. Durum bir kaba ağ için batarya yüzeyindeki lokal sıcaklık dağılımı



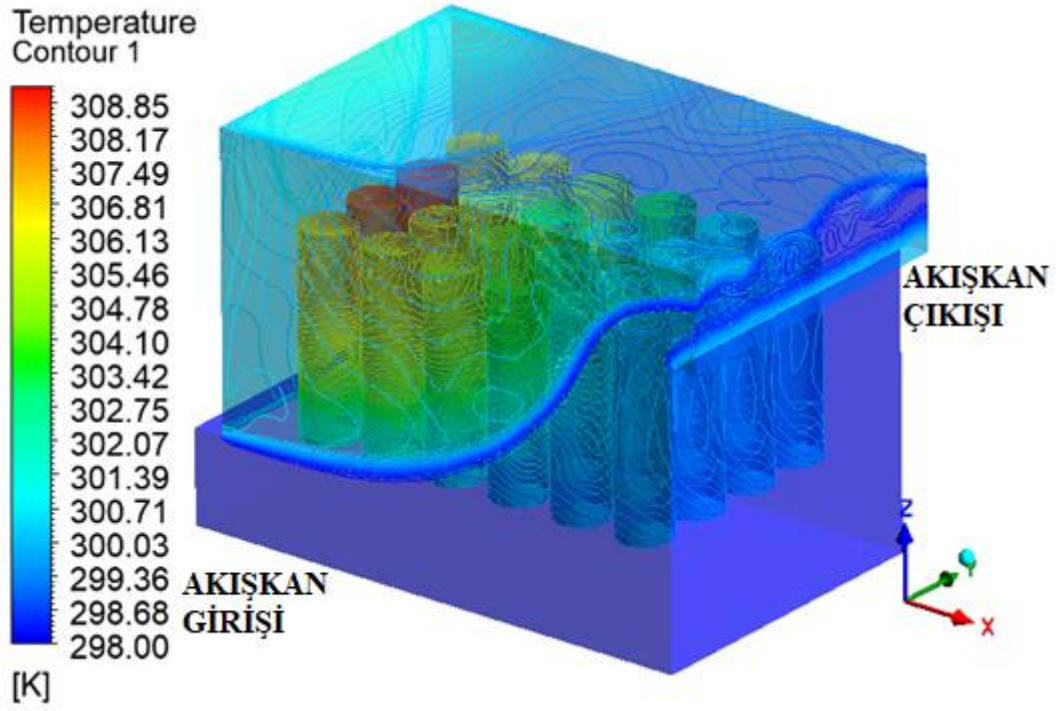
Şekil 3.62. Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı



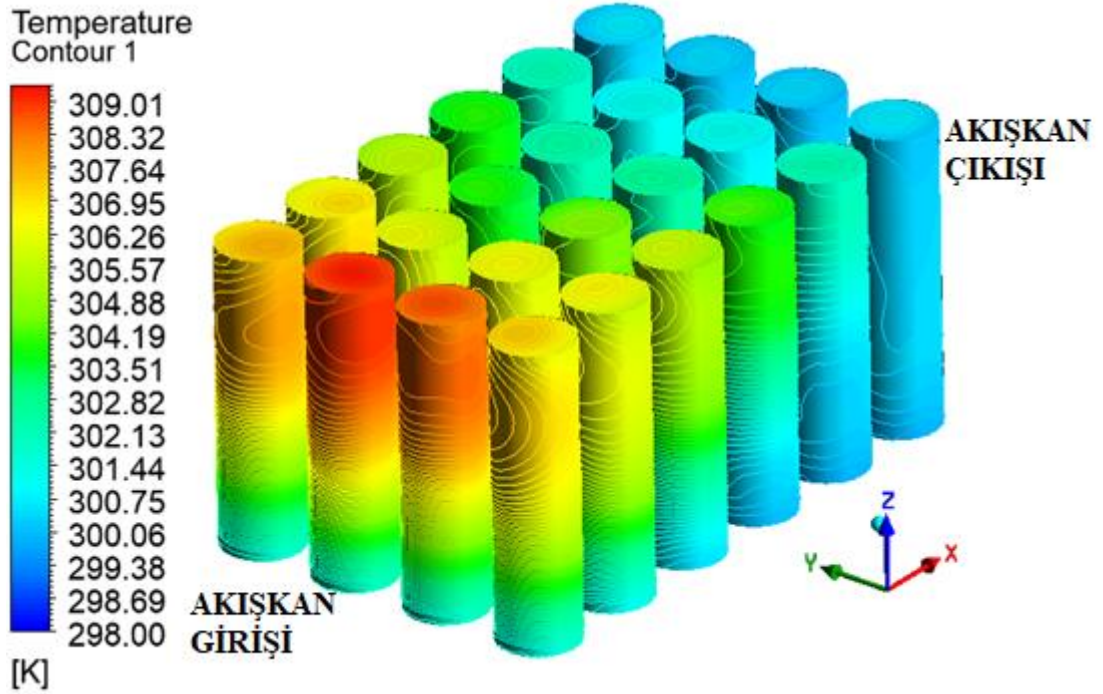
Şekil 3.63. Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)



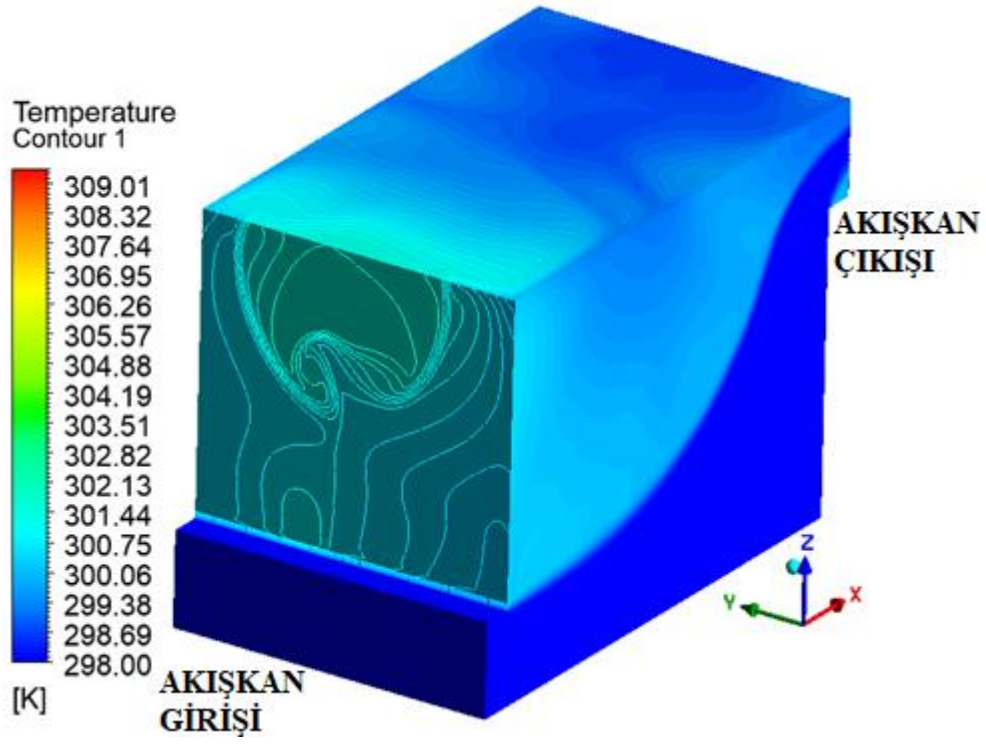
Şekil 3.64. Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı



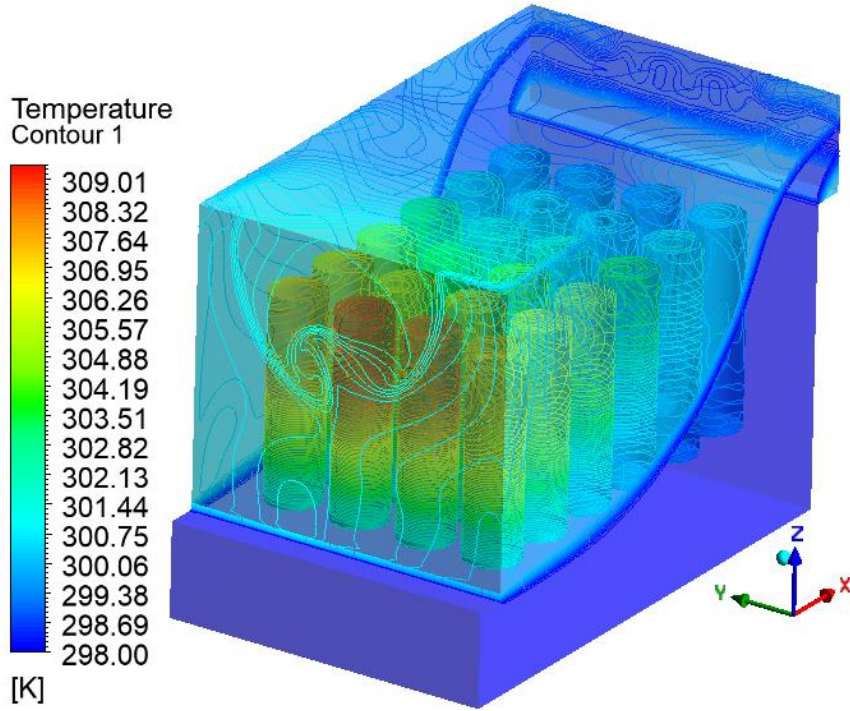
Şekil 3.65. Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)



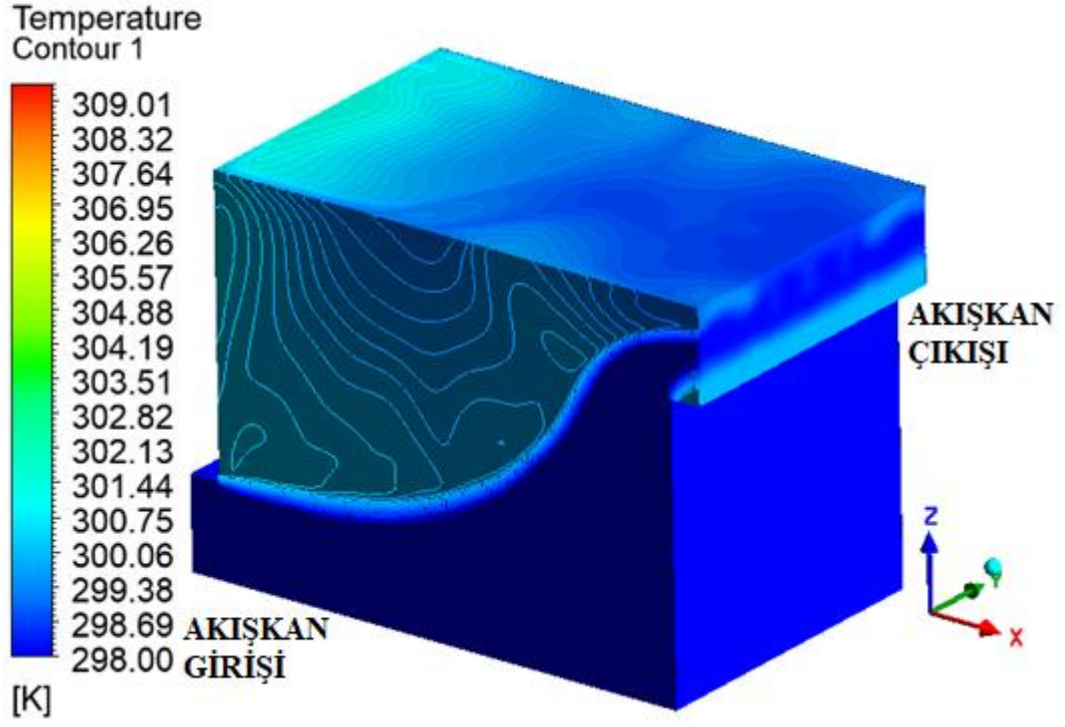
Şekil 3.66. Durum bir kaba ağ için batarya yüzeyindeki global sıcaklık dağılımı



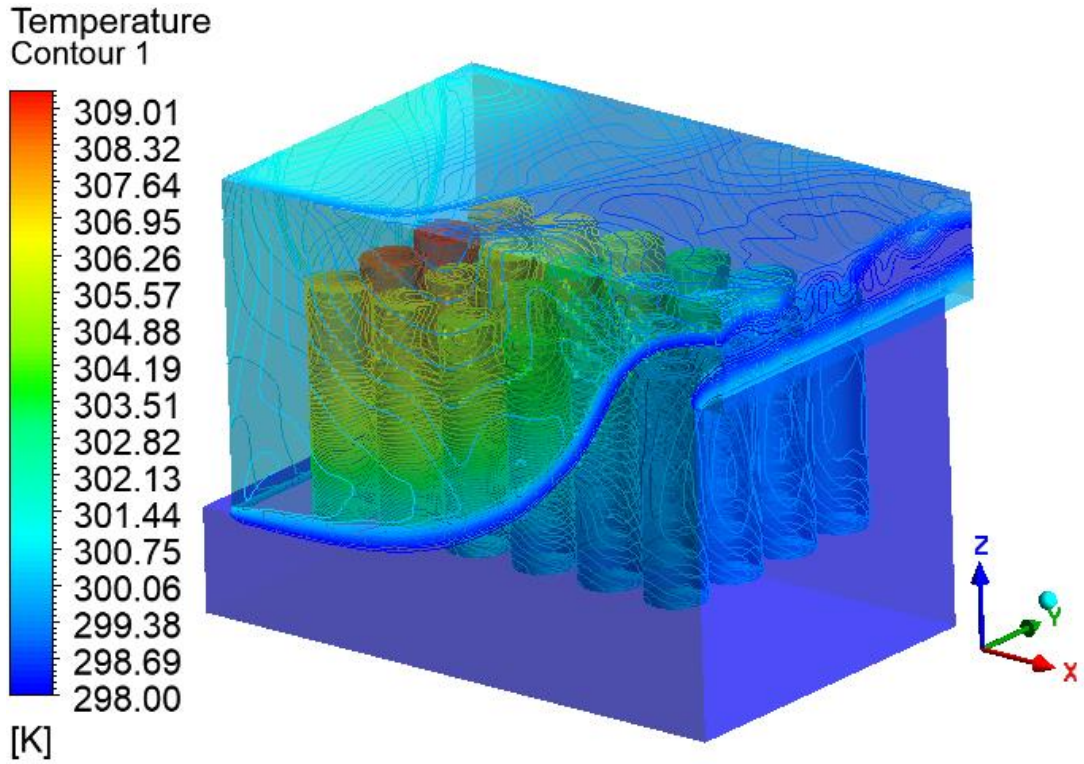
Şekil 3.67. Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı



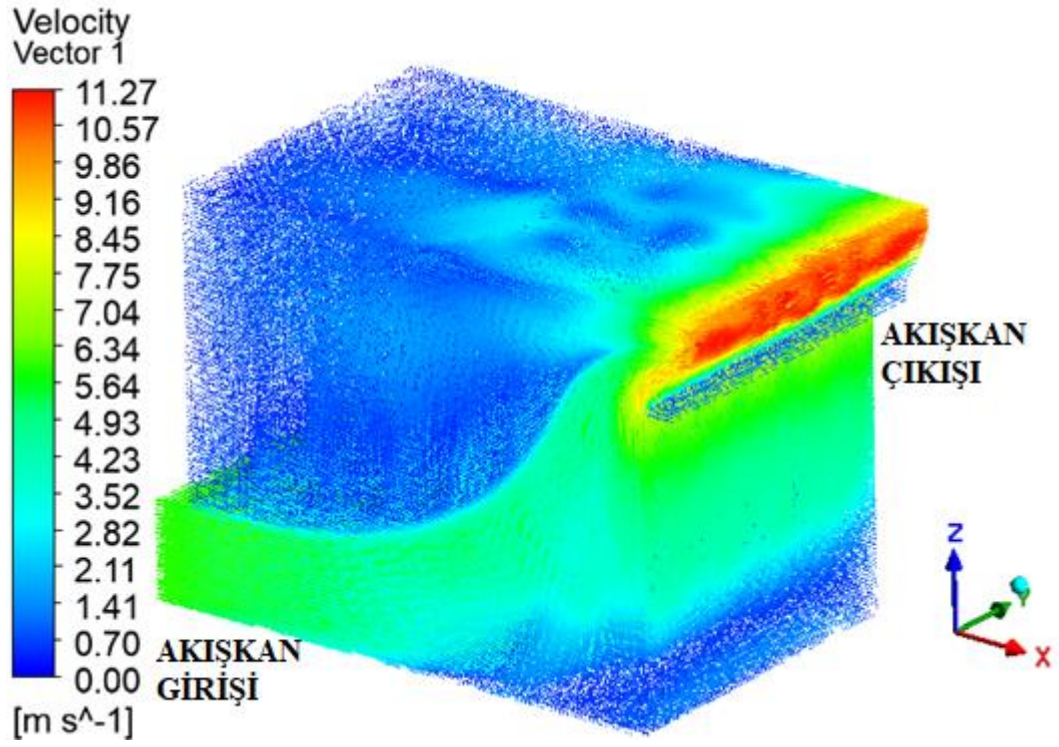
Şekil 3.68. Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)



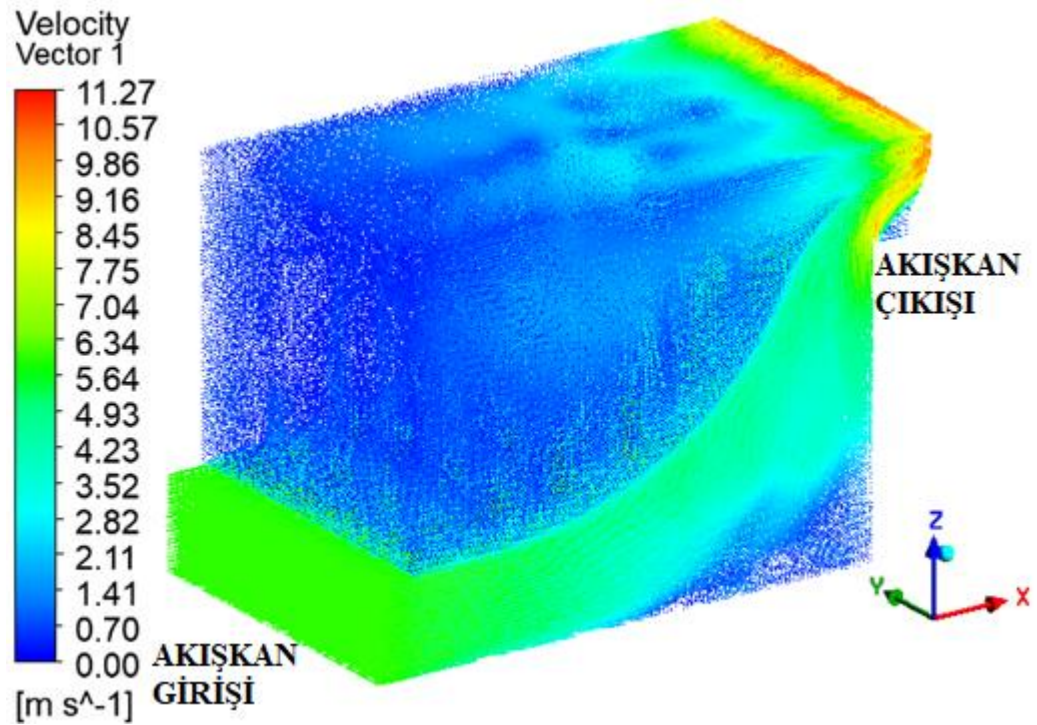
Şekil 3.69. Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı



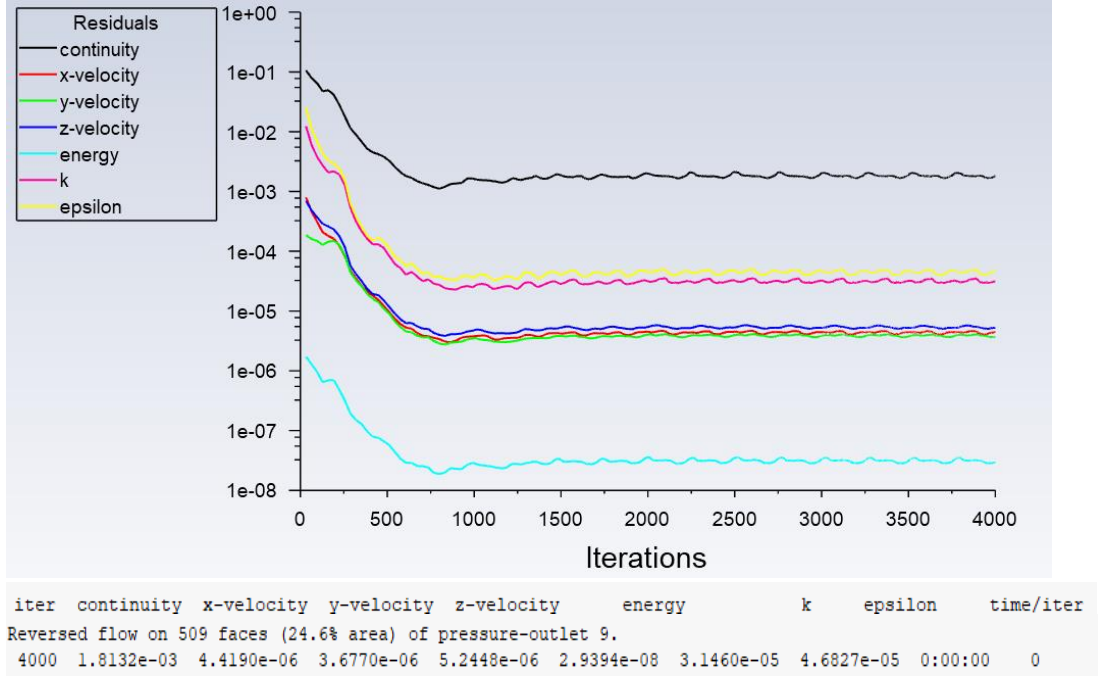
Şekil 3.70. Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)



Şekil 3.71. Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki hız dağılımı

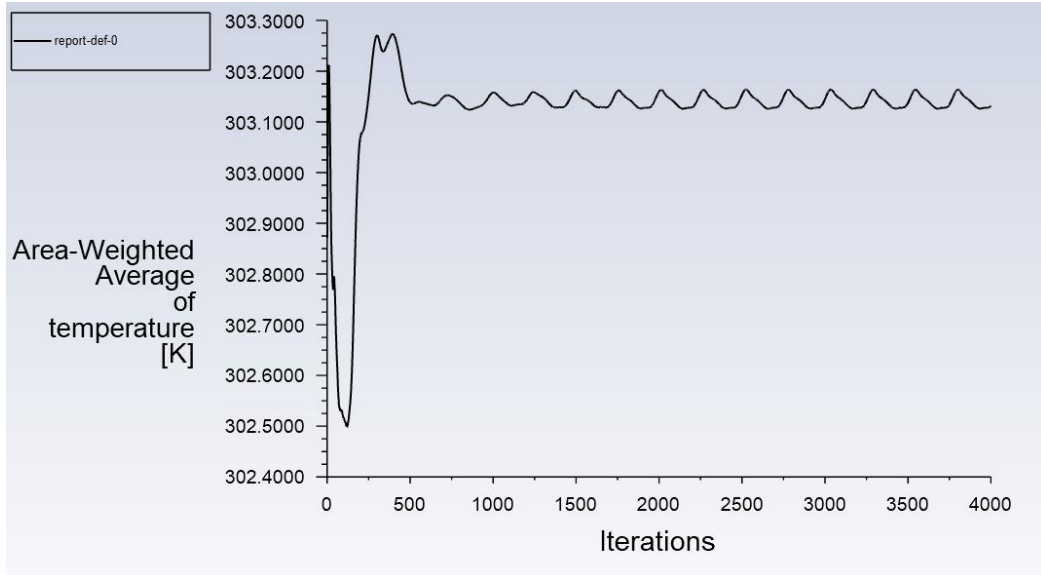


Şekil 3.72. Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki hız dağılımı

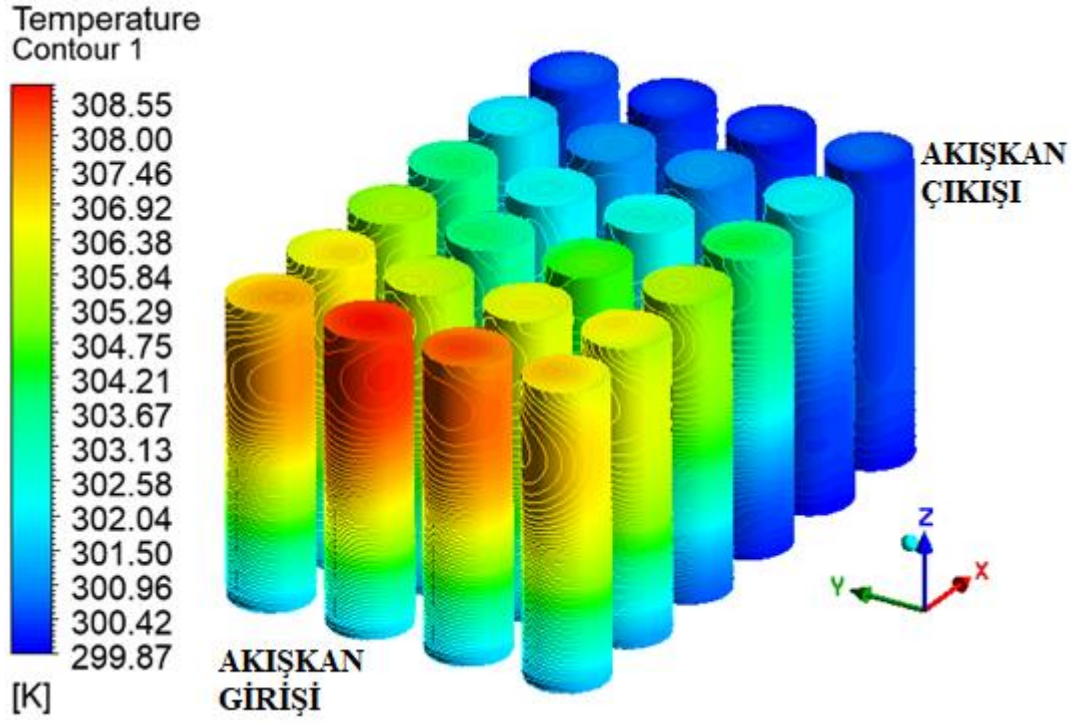


Şekil 3.73. Durum bir kaba ağ için iterasyon grafiği (4000 iterasyon için)

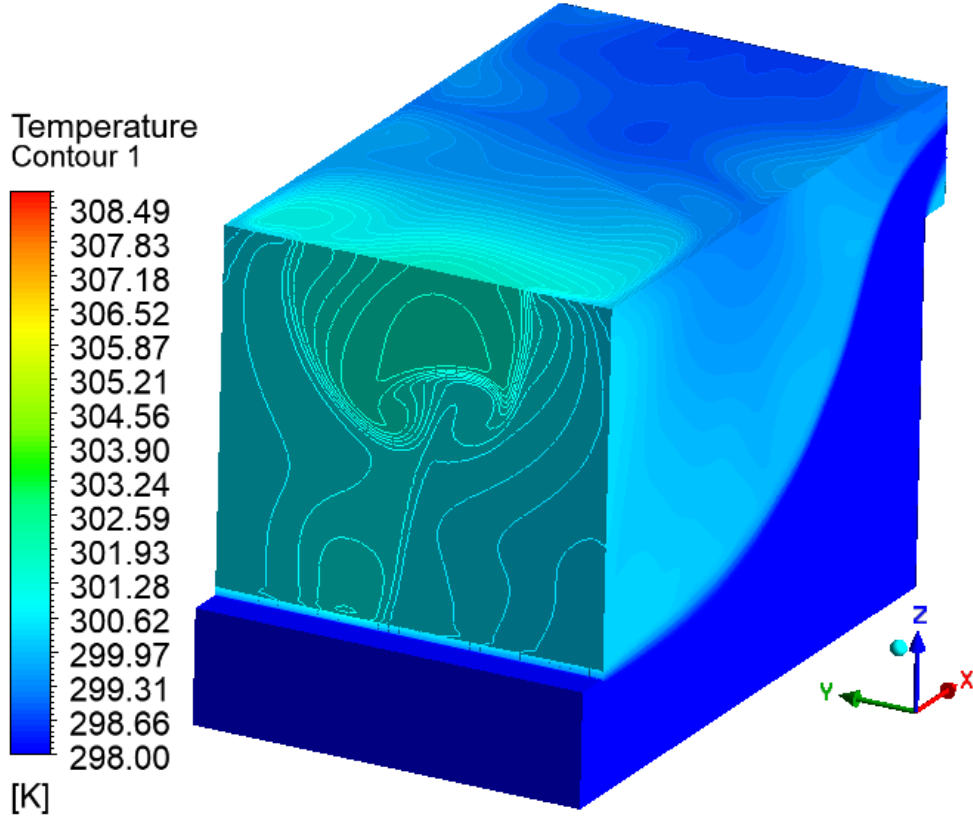
2000 iterasyon sonucu iterasyon grafiğinde ve sonuçlarda değişme olup olmadığını değerlendirebilmek için 2000 iterasyon daha çözdürülmüştür. Görüldüğü üzere istenilen 10^{-8} değerine yakınsamamıştır fakat belli bir değere yakınsamıştır. Dolayısıyla yakınsama sağlanmıştır.



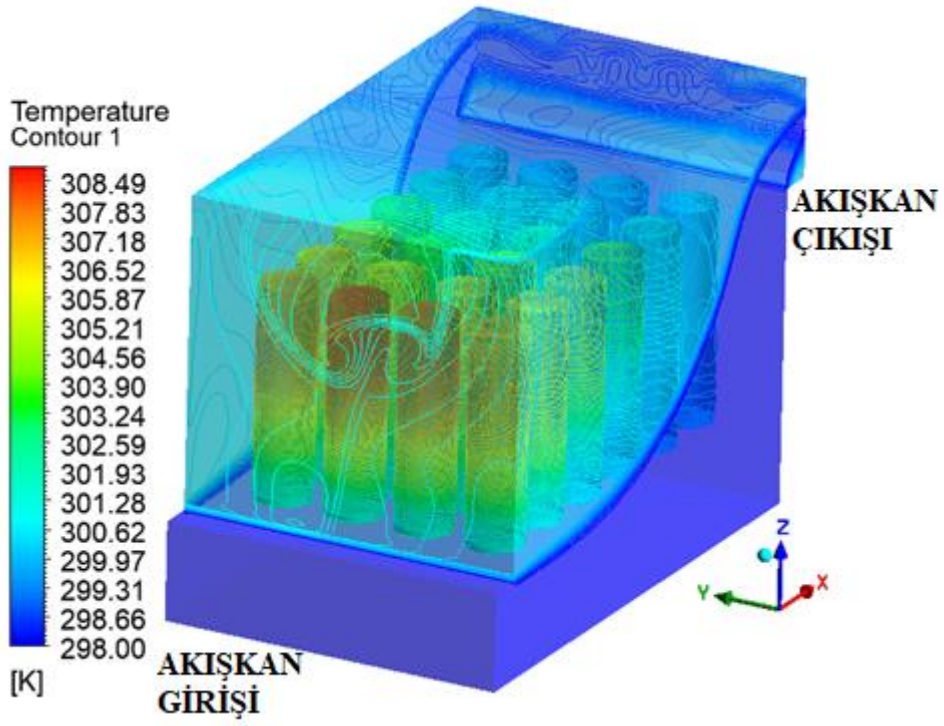
Şekil 3.74. Durum bir kaba ağ için bataryanın içerisindeki ve yüzeyindeki ortalama sıcaklık grafiği



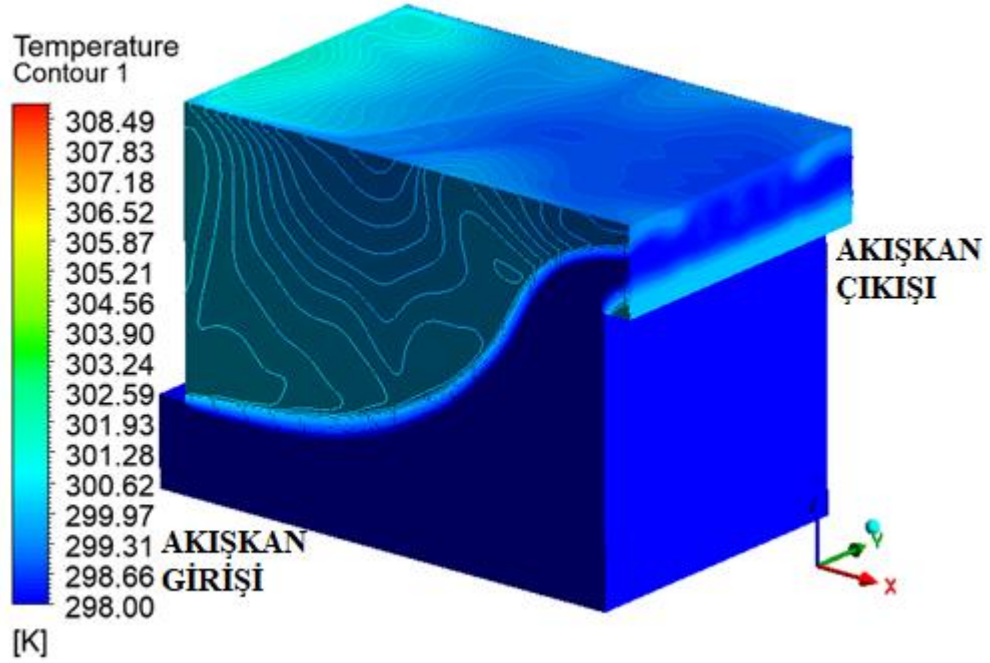
Şekil 3.35. Durum bir kaba ağ için batarya yüzeyindeki lokal sıcaklık dağılımı



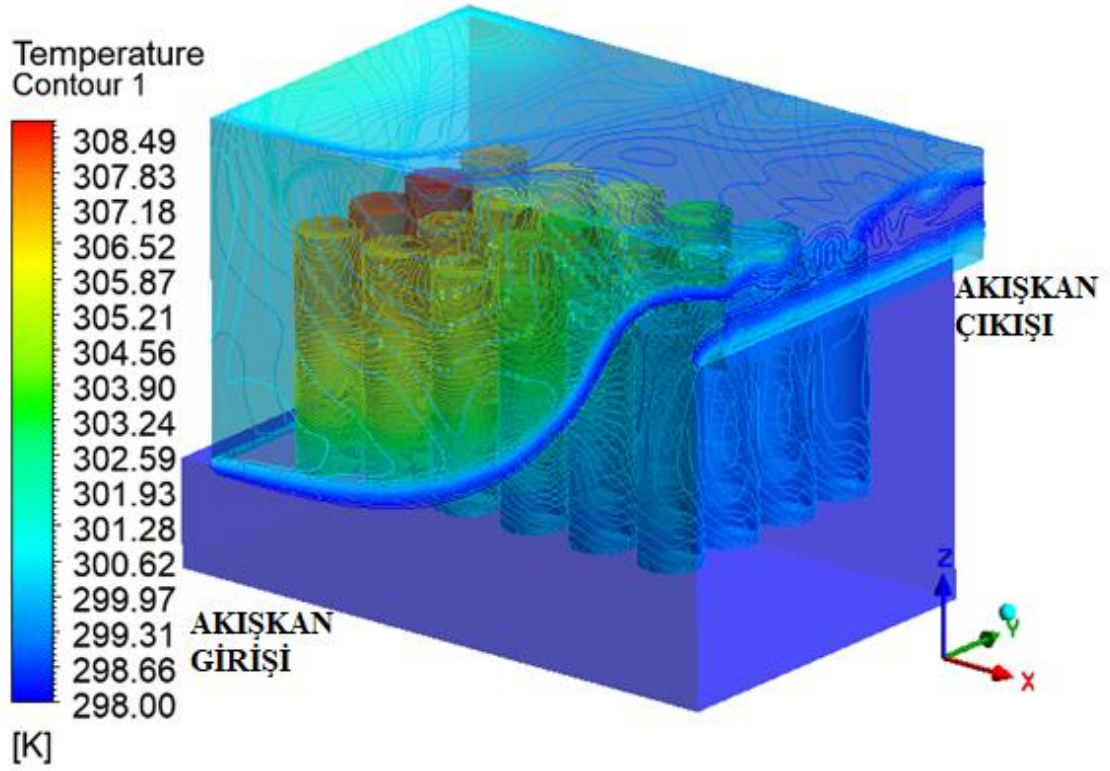
Şekil 3.76. Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı



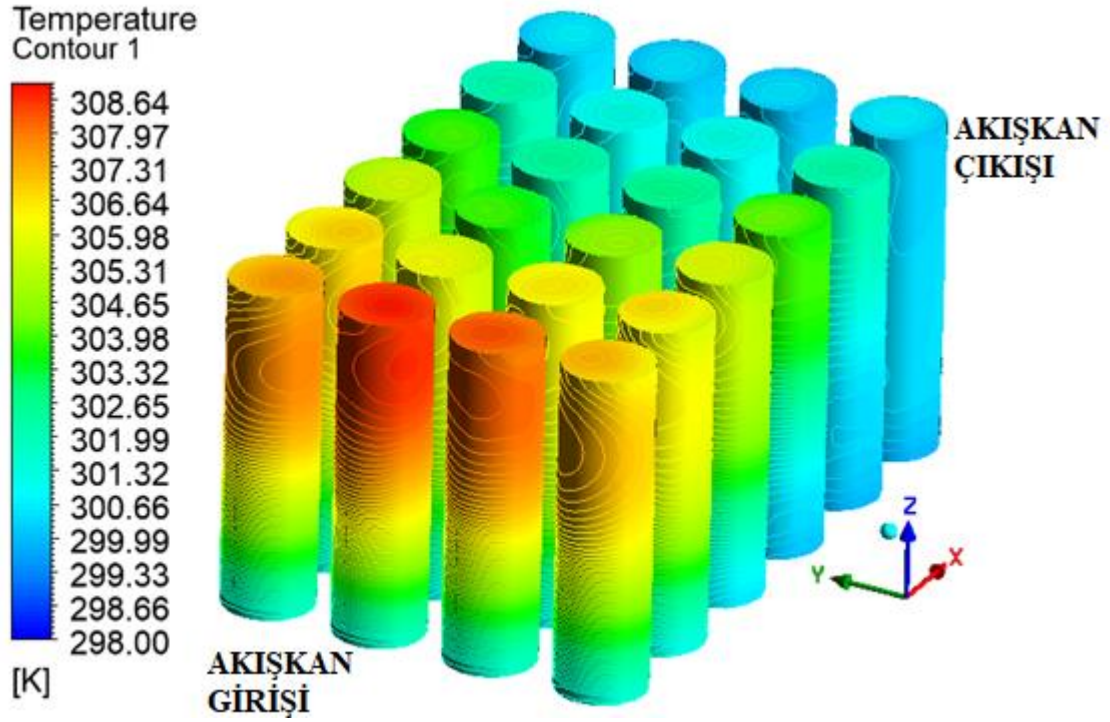
Şekil 3.77. Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)



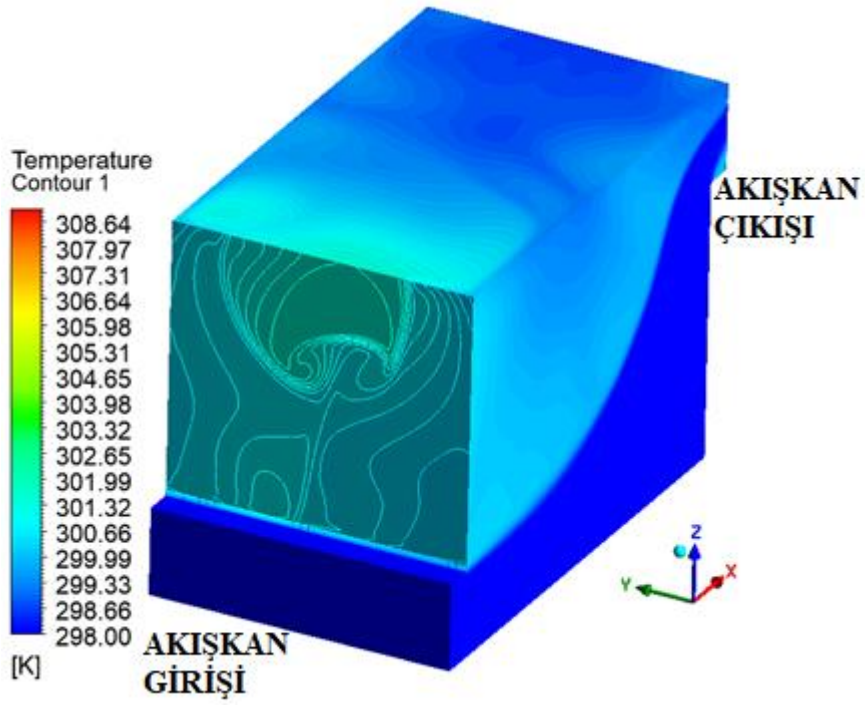
Şekil 3.78. Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı



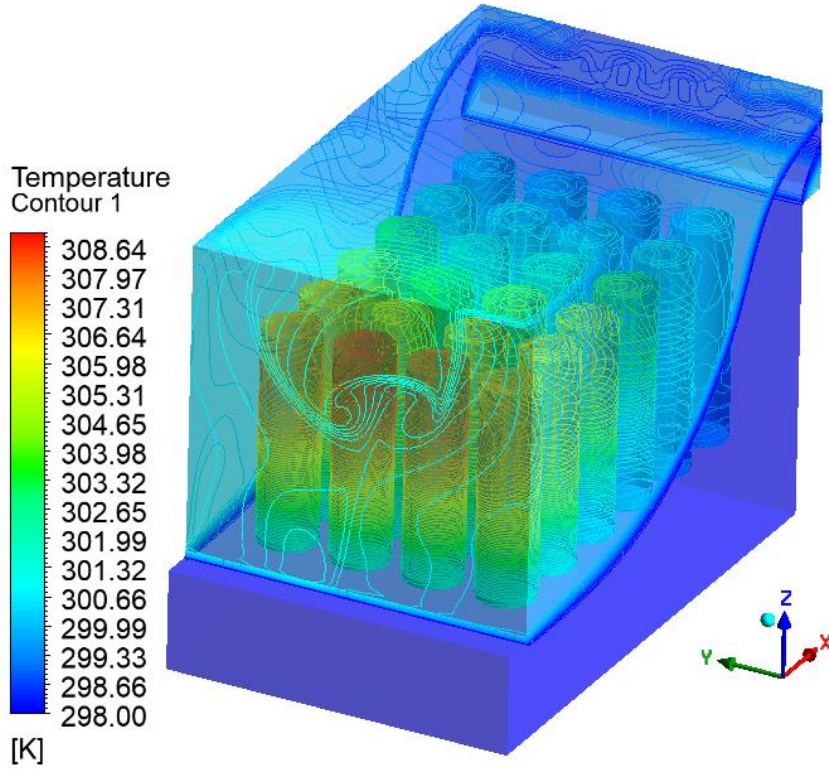
Şekil 3.79. Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)



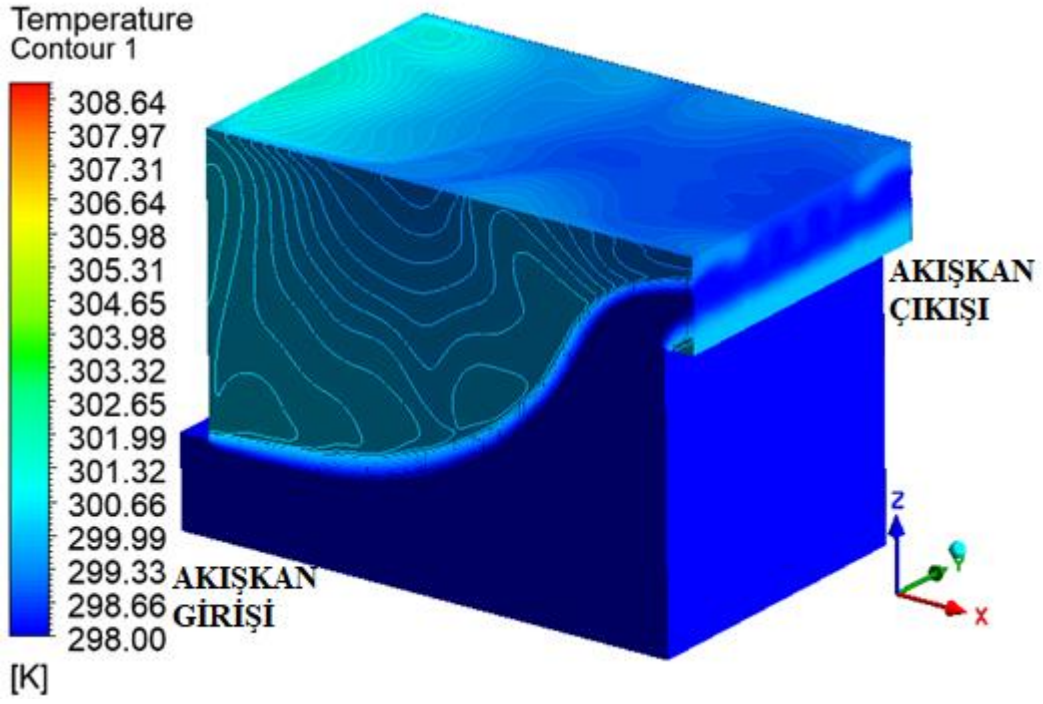
Şekil 3.80. Durum bir kaba ağ için batarya yüzeyindeki global sıcaklık dağılımı



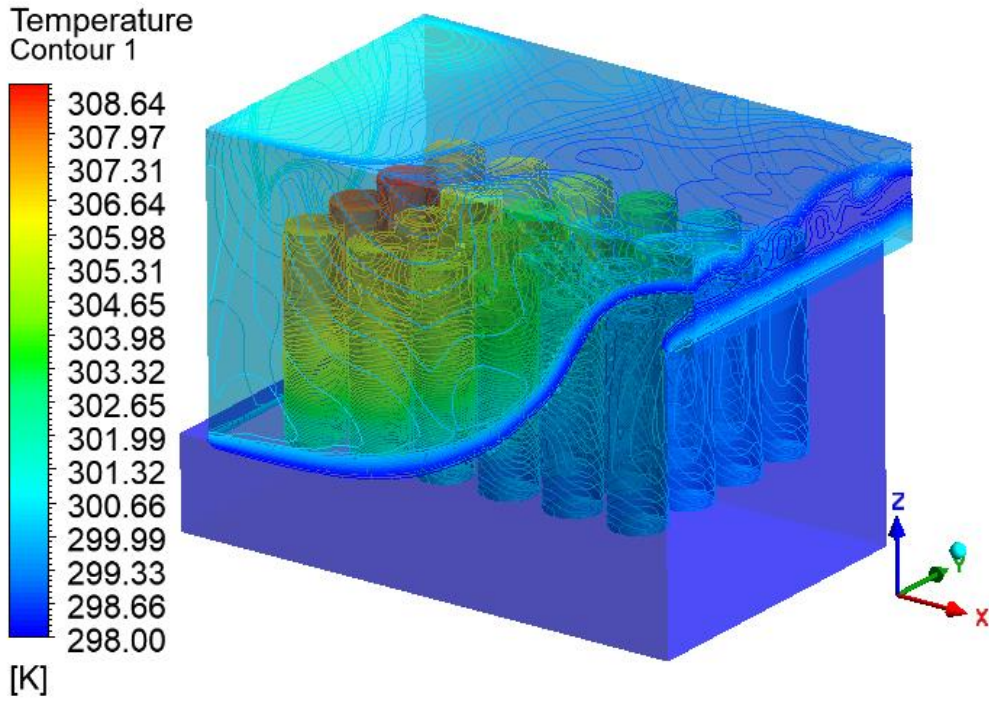
Şekil 3.81. Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı



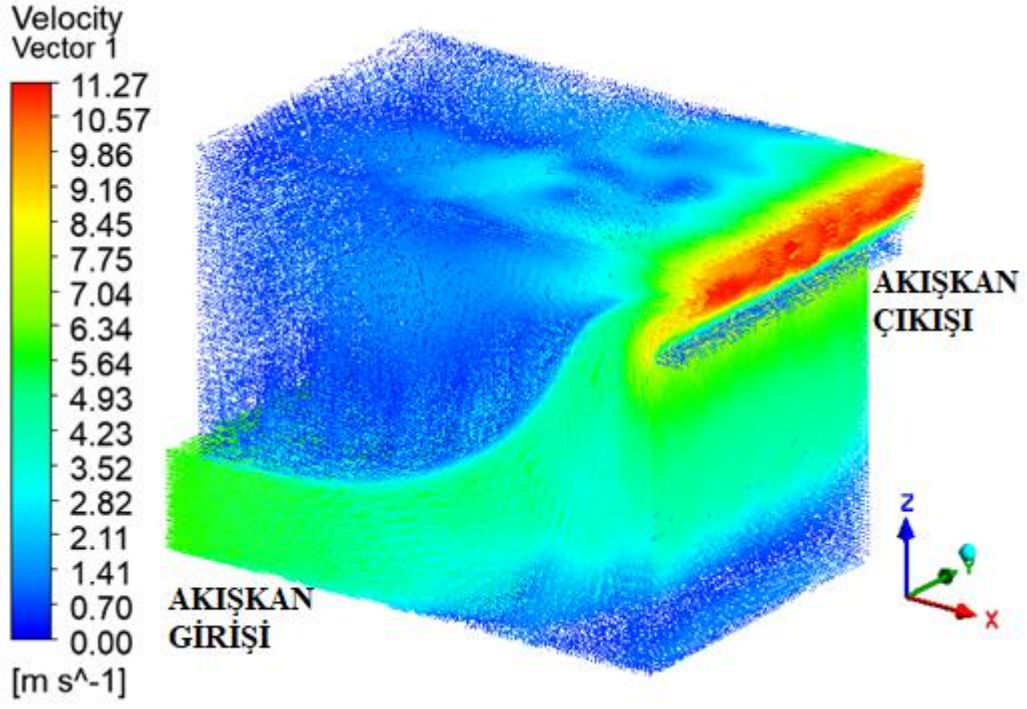
Şekil 3.82. Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)



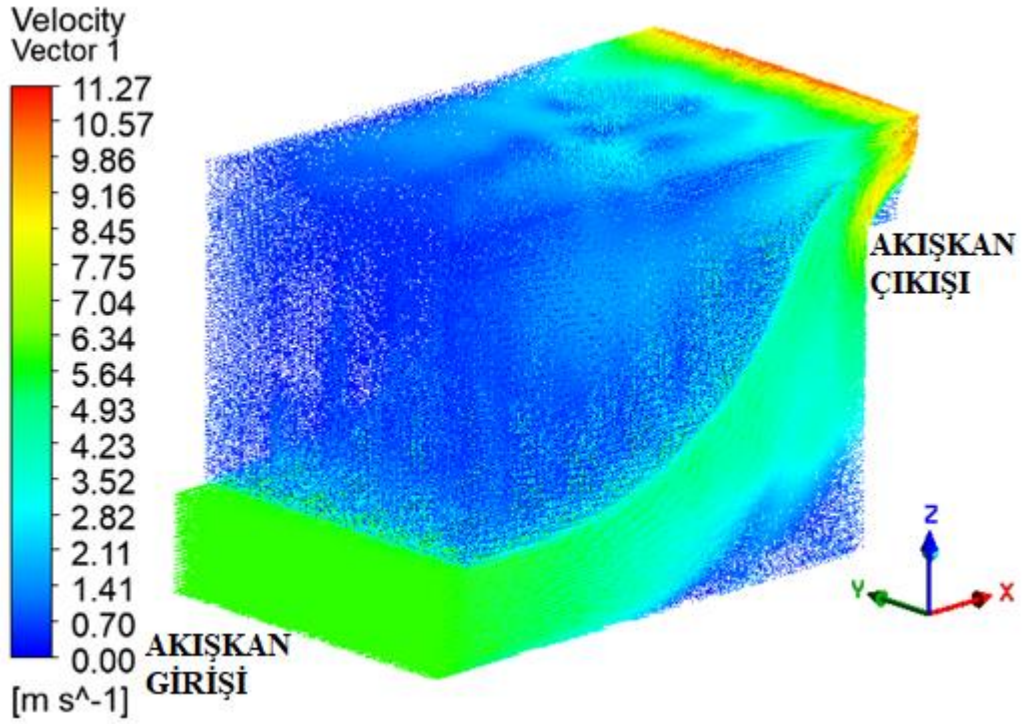
Şekil 3.83. Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı



Şekil 3.84. Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (tansparan görünüm)

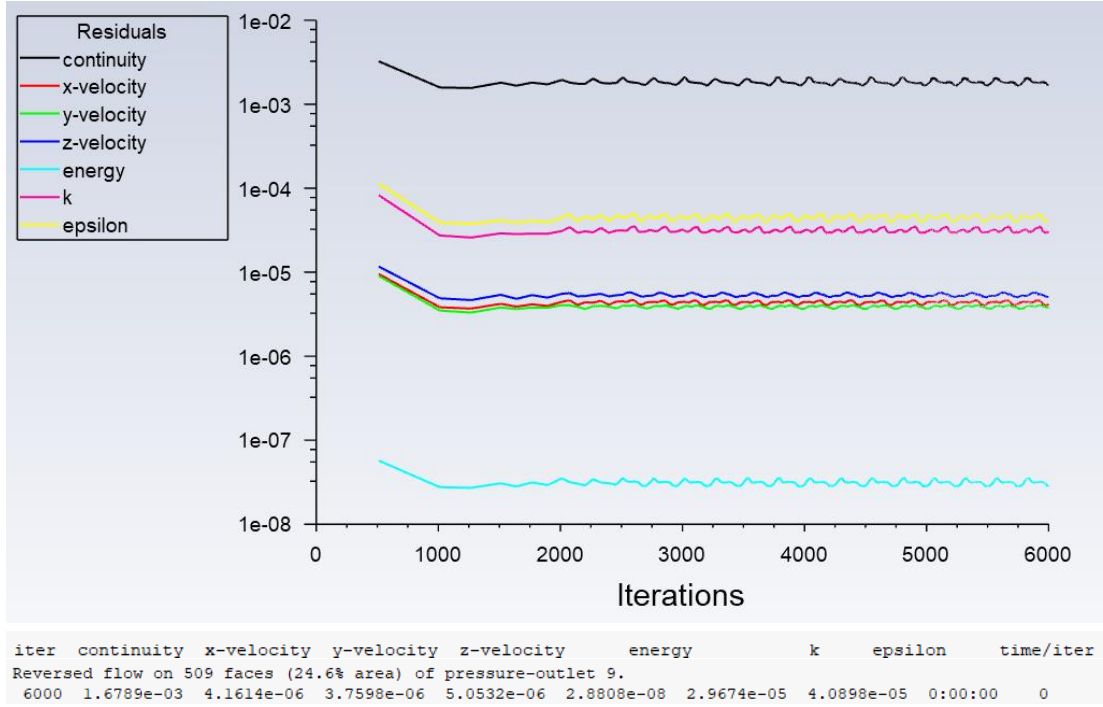


Şekil 3.85. Durum bir için modül içerisindeki hız dağılımı

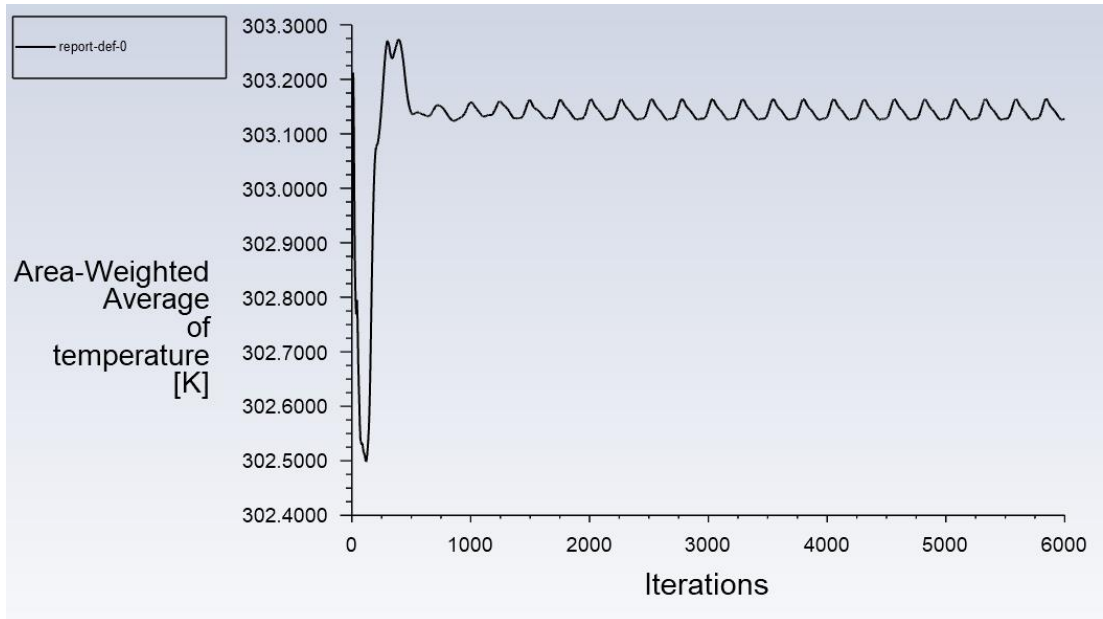


Şekil 3.86. Durum bir için modül içerisindeki hız dağılımı

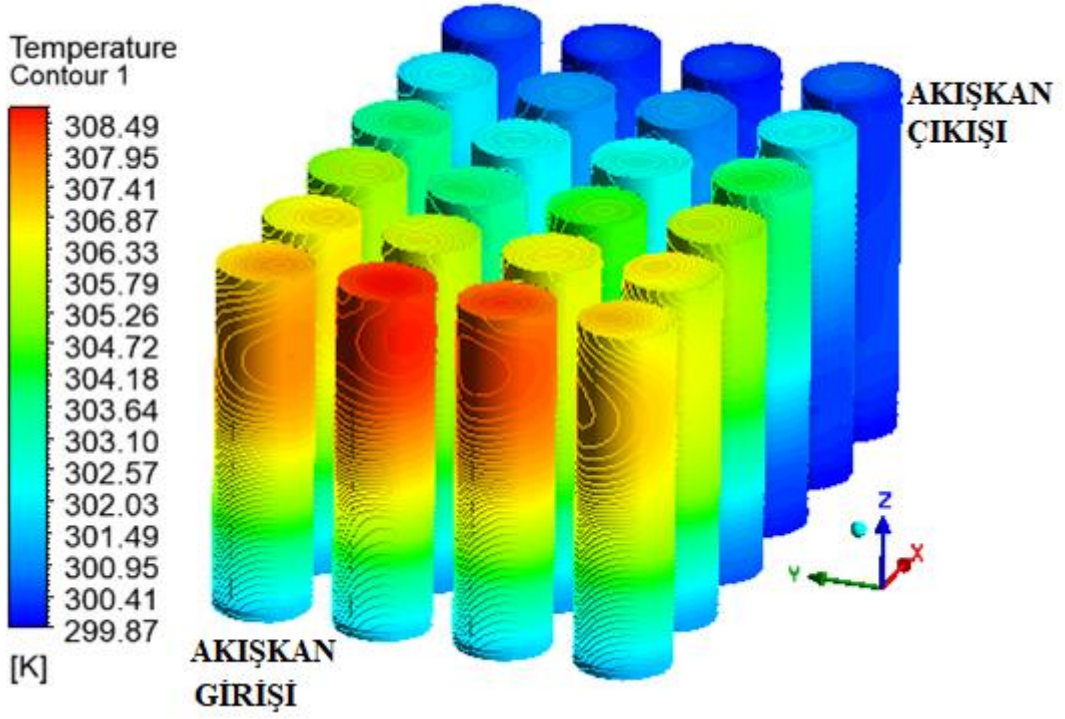
Görüldüğü üzere sıcaklık dağılımları ve iterasyon grafiklerinde bir değişme olmadığının kıyaslamasının net bir şekilde yapılabilmesi için 2000 iterasyon daha çözülerek iterasyondan bağımsızlık elde edilmiştir. Sırasıyla tüm ağ yapıları için bu işlemler tekrarlanmıştır.



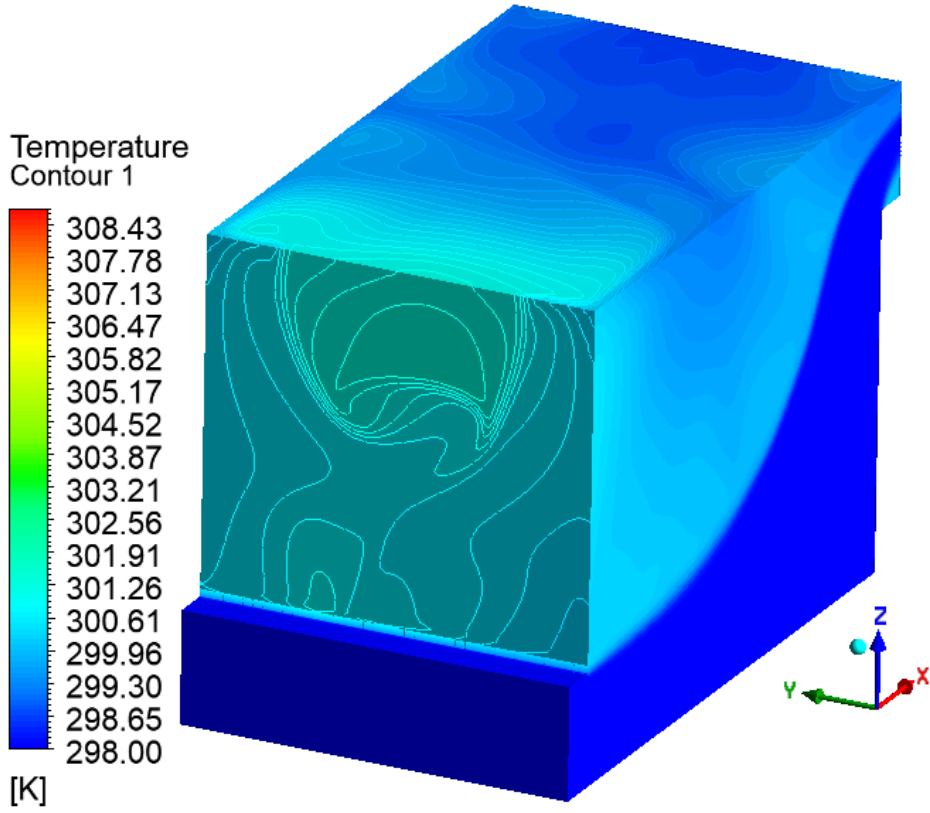
Şekil 3.87. Durum bir kaba ağ için iterasyon grafiği (6000 iterasyon için)



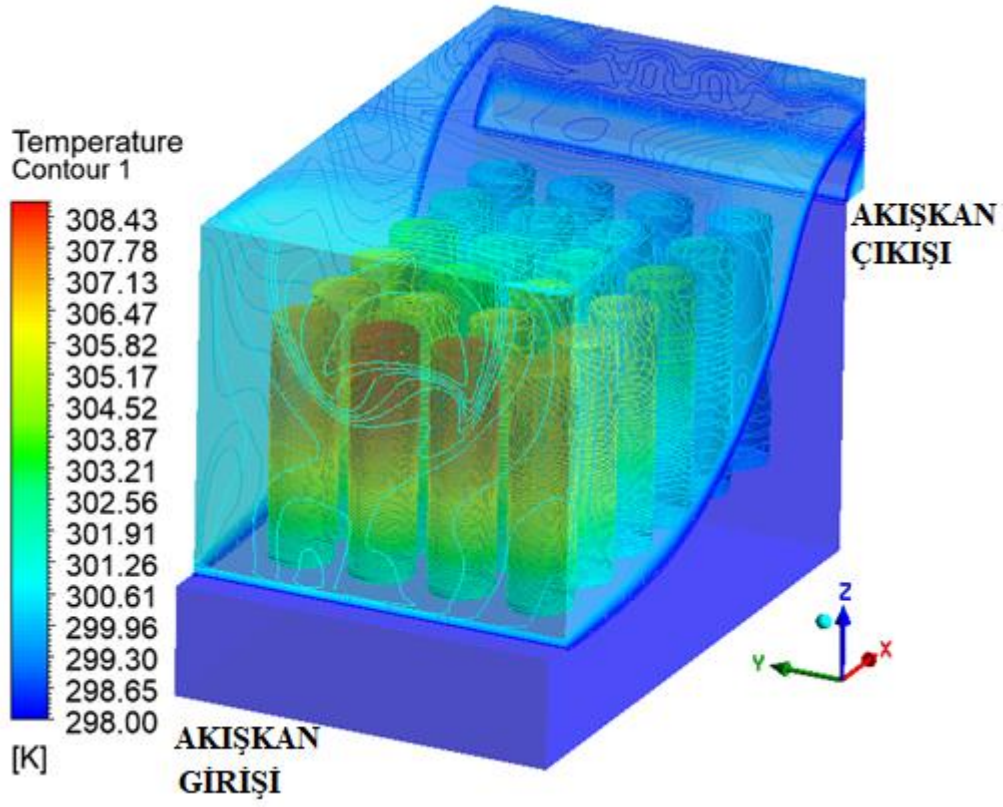
Şekil 3.88. Durum bir kaba ağ için bataryanın içerisindeki ve yüzeyindeki ortalama sıcaklık grafiği



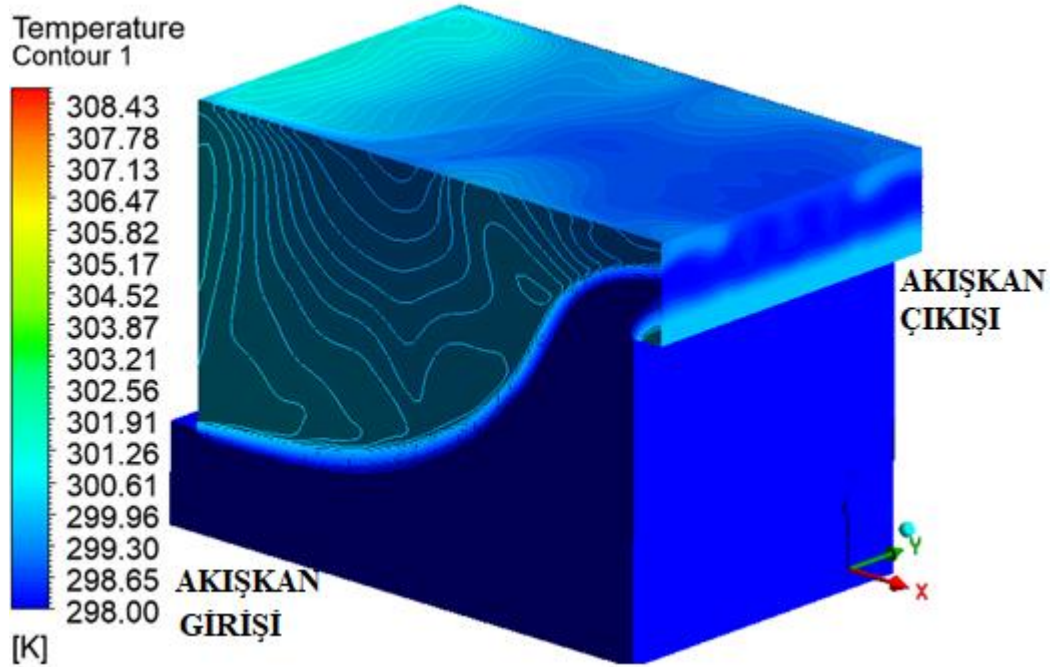
Şekil 3.89. Durum bir kaba ağ için batarya yüzeyindeki lokal sıcaklık dağılımı



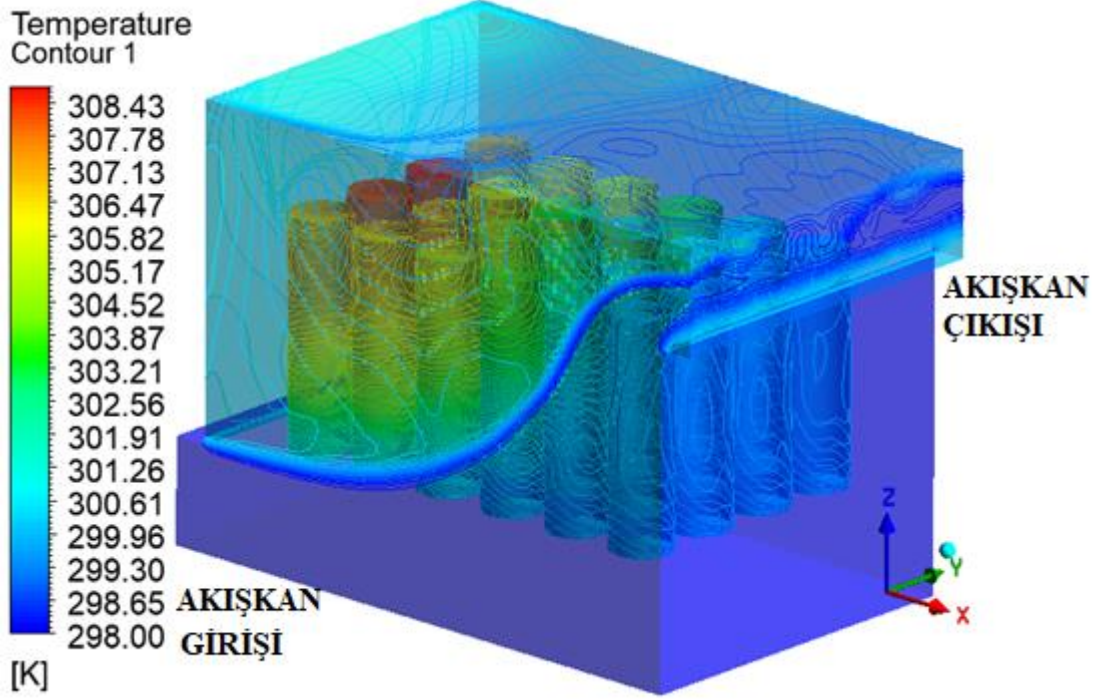
Şekil 3.90. Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı



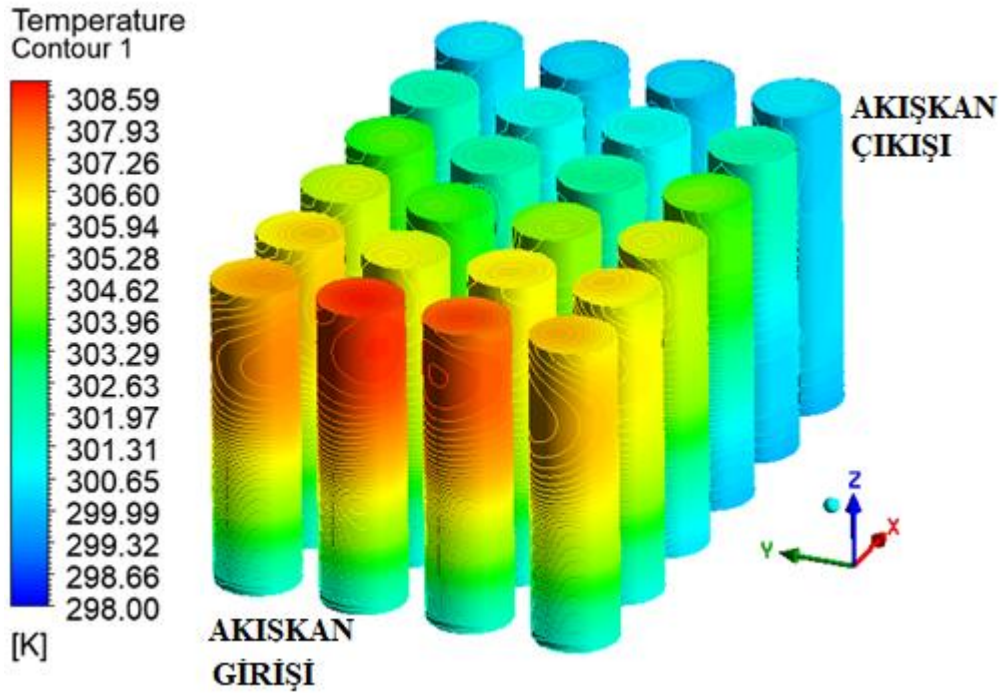
Şekil 3.91. Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)



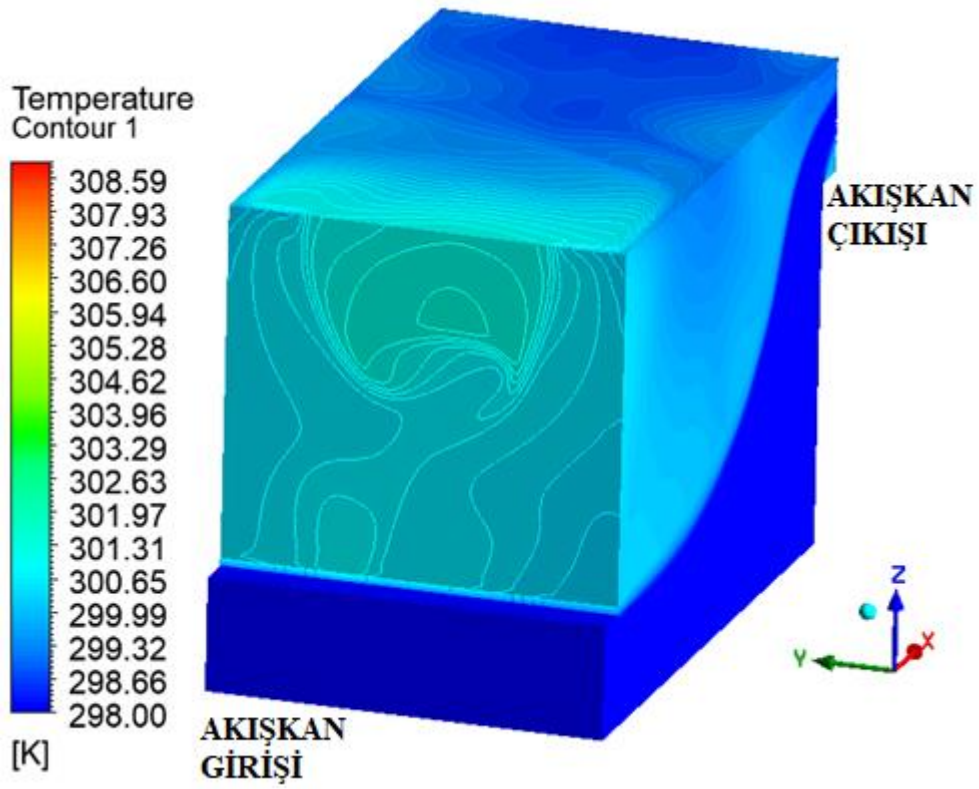
Şekil 3.92. Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı



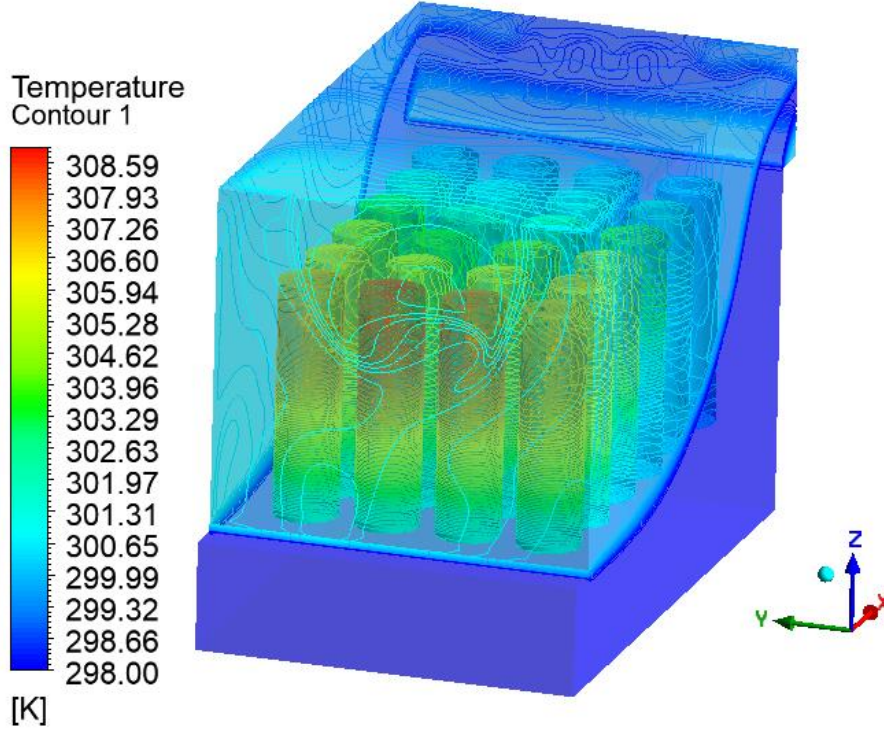
Şekil 3.93. Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)



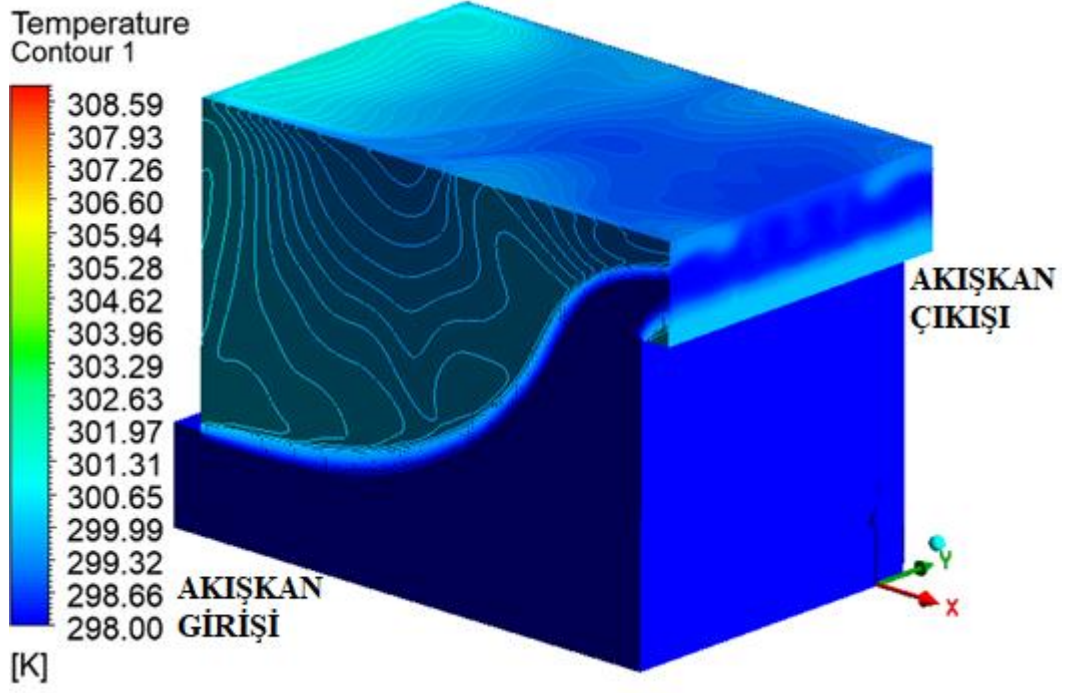
Şekil 3.94. Durum bir kaba ağ için batarya yüzeyindeki global sıcaklık dağılımı



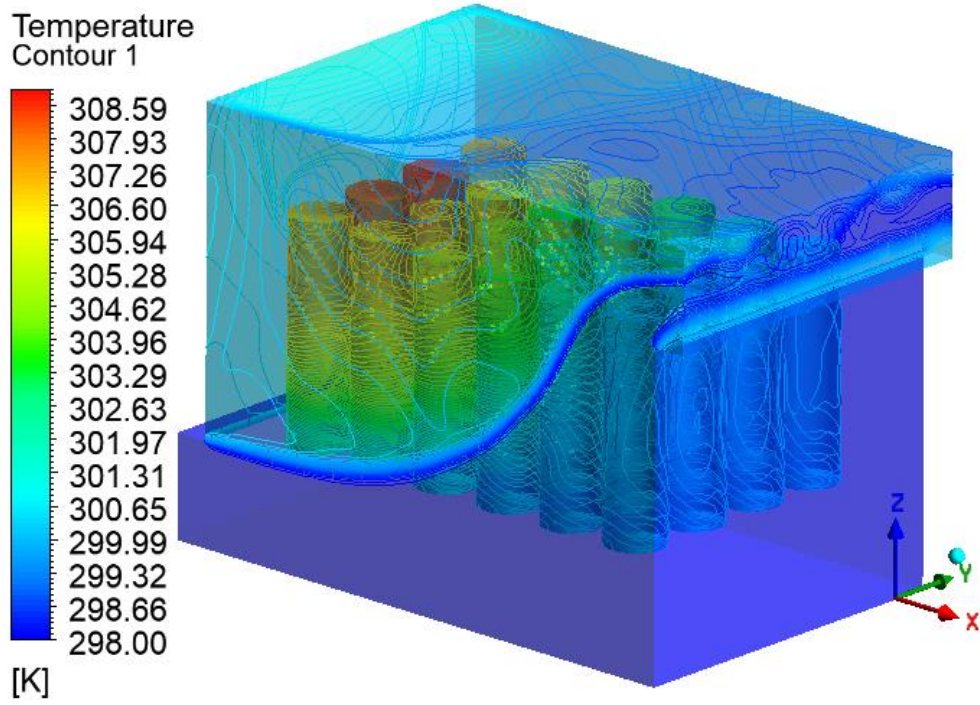
Şekil 3.95. Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı



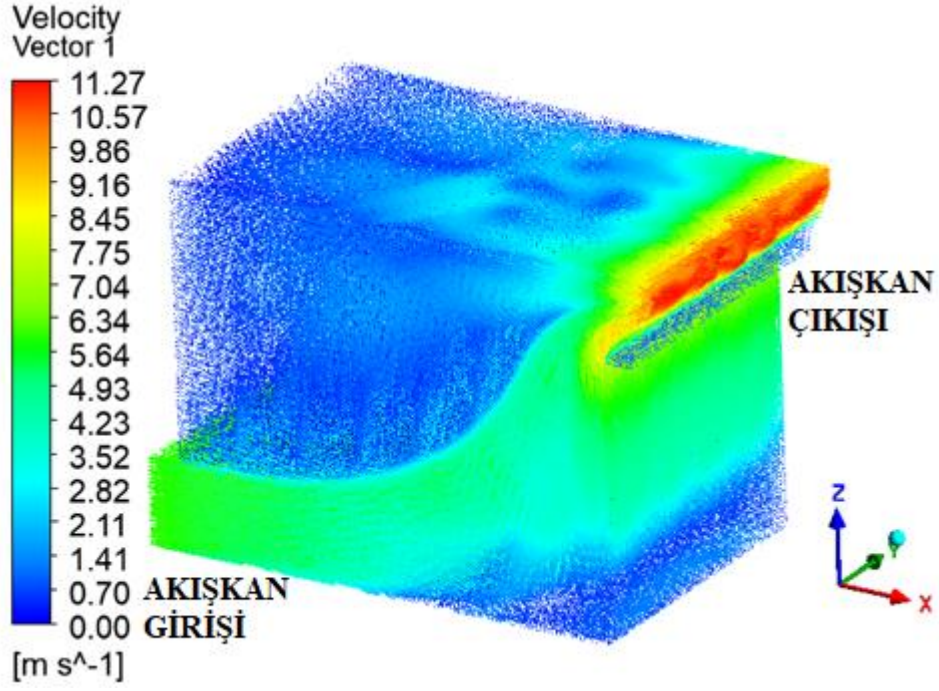
Şekil 3.96. Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)



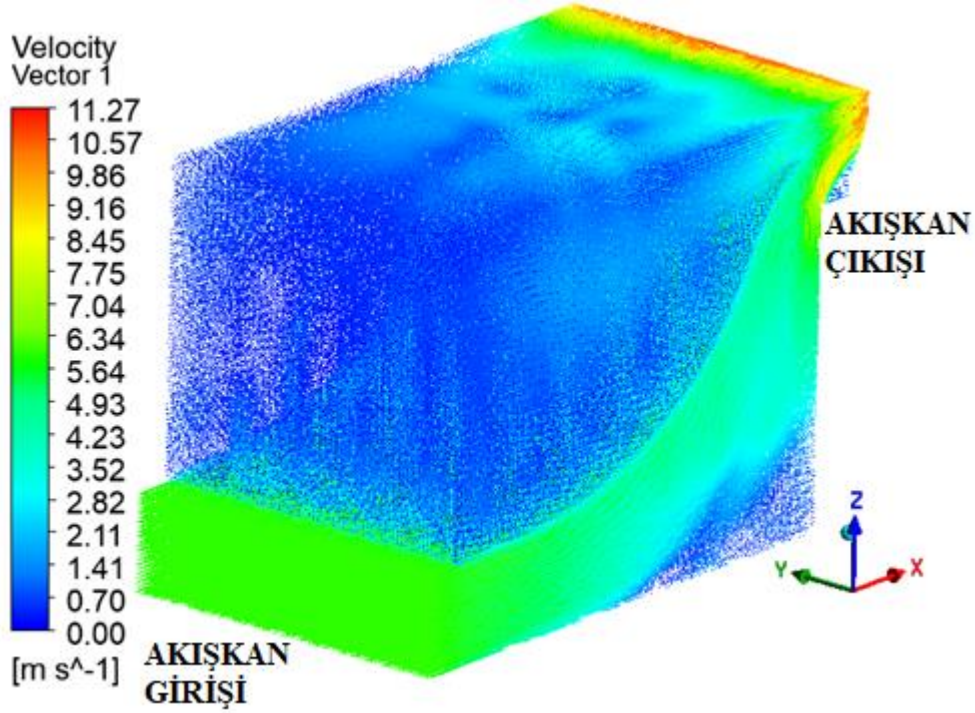
Şekil 3.97. Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı



Şekil 3.98. Durum bir kaba ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)

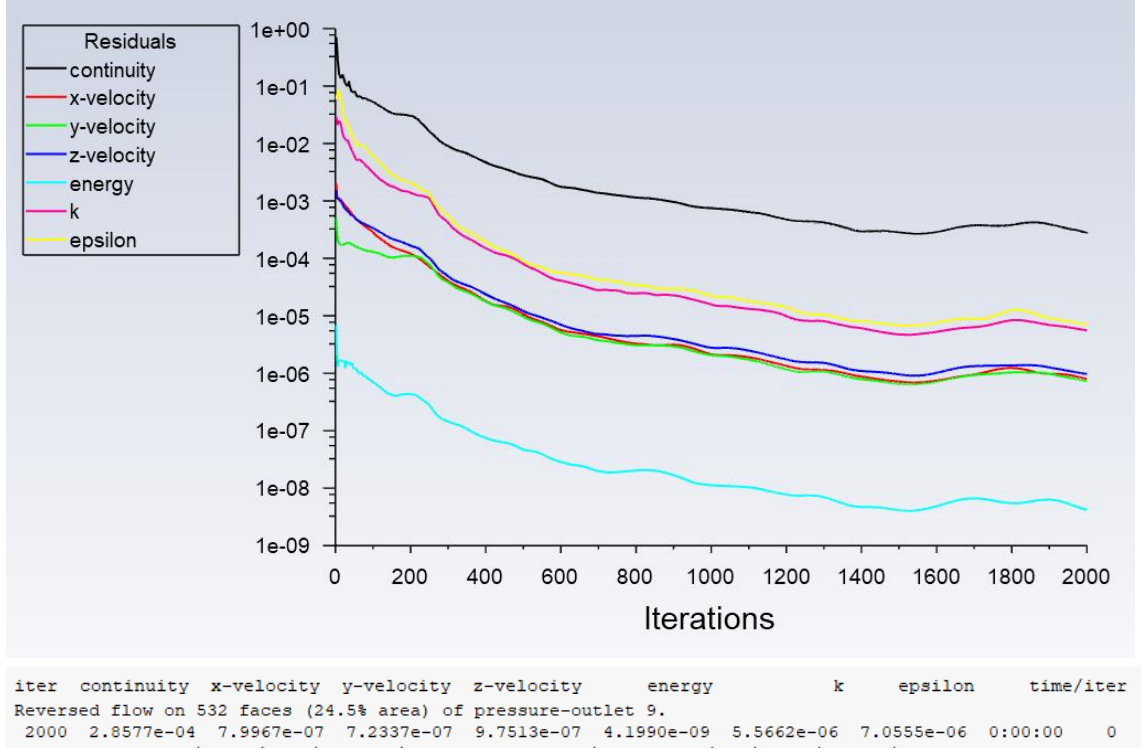


Şekil 3.99. Durum bir için modül içerisindeki hız dağılımı

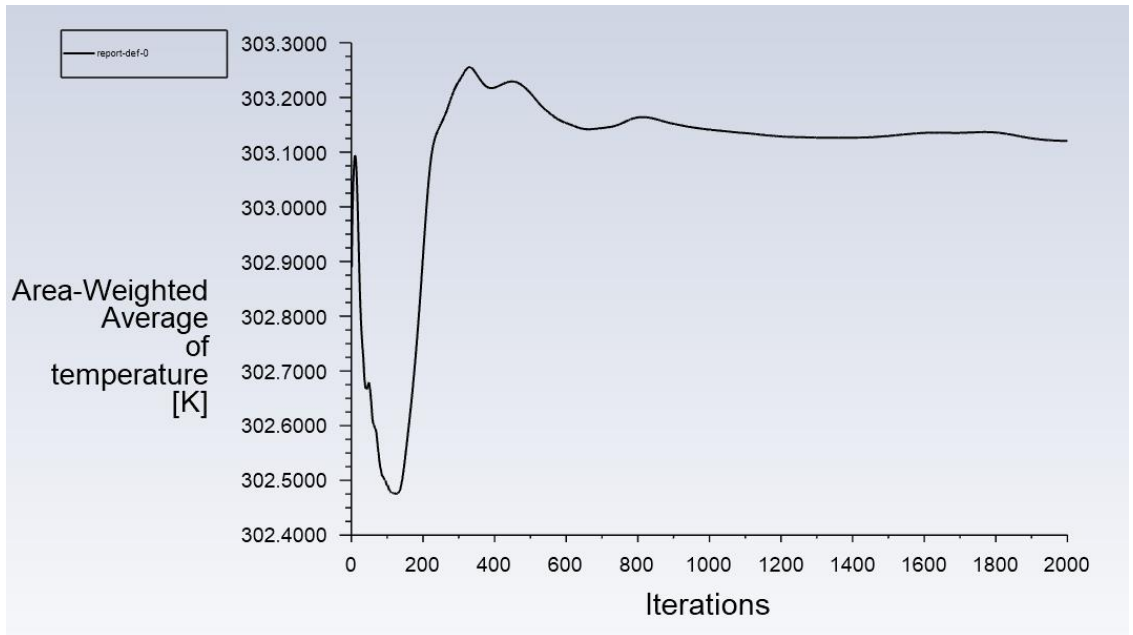


Şekil 3.100. Durum bir için modül içerisindeki hız dağılımı

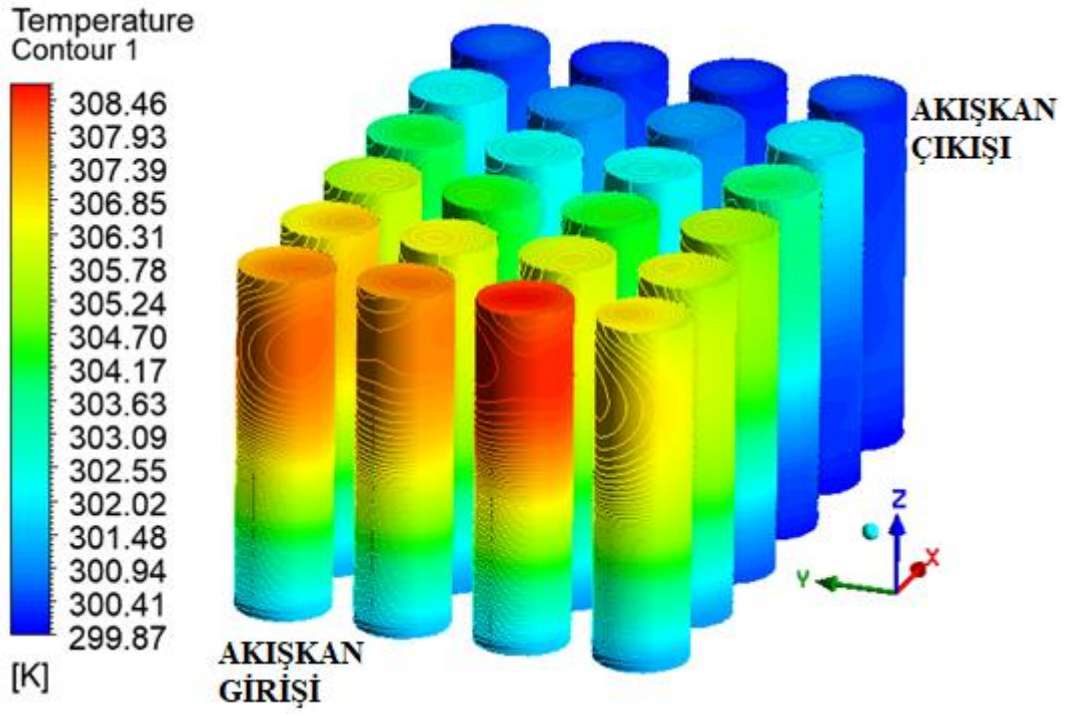
Tüm bu işlemler sırasıyla orta ve sık ağ yapısı için tekrarlanmıştır.



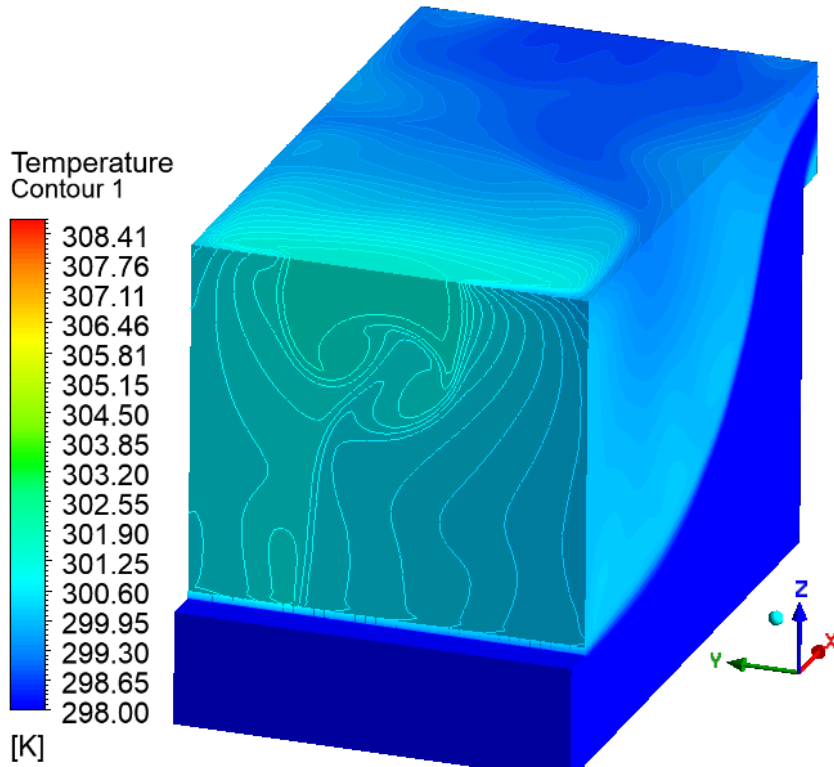
Şekil 3.101. Durum bir orta ağ için iterasyon grafiği (2000 iterasyon için)



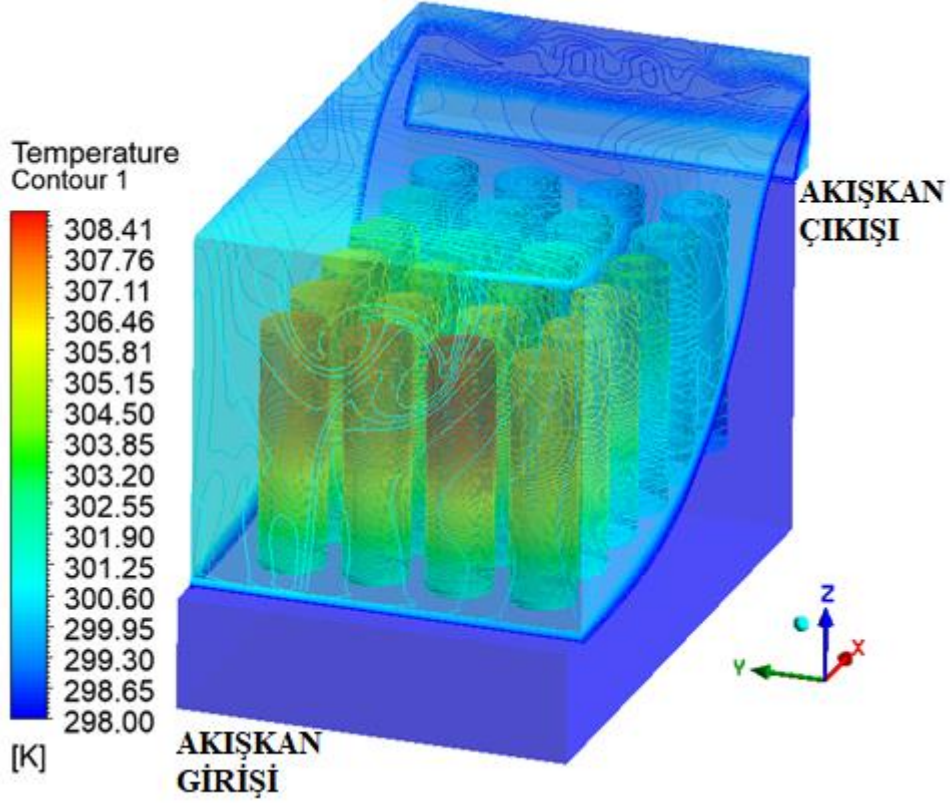
Şekil 3.102. Durum bir orta ağ için bataryanın içerisindeki ve yüzeyindeki ortalama sıcaklık grafiği



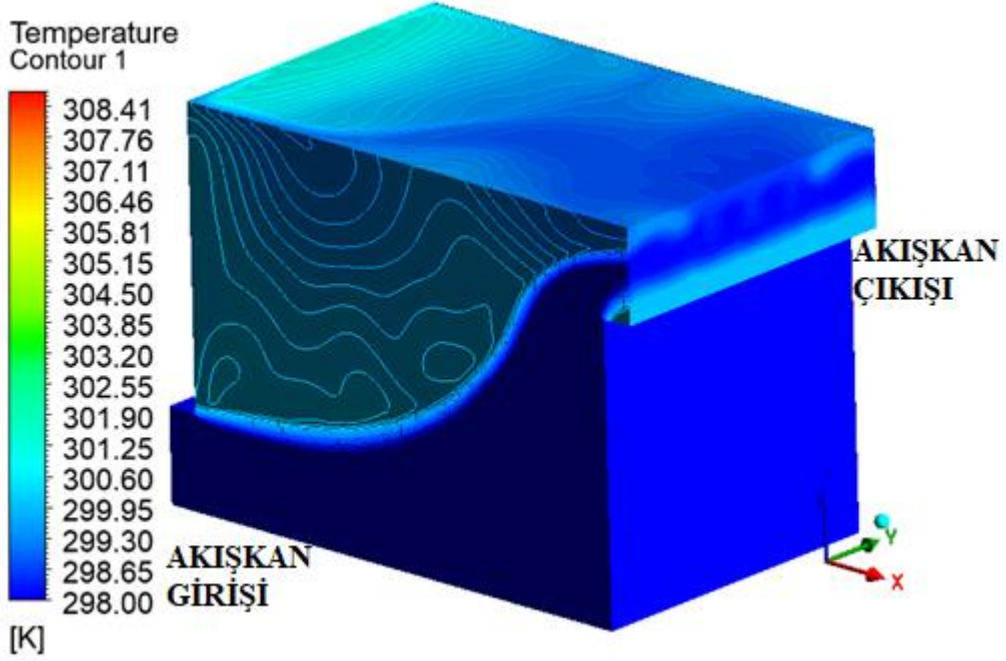
Şekil 3.103. Durum bir orta ağ için batarya yüzeyindeki lokal sıcaklık dağılımı



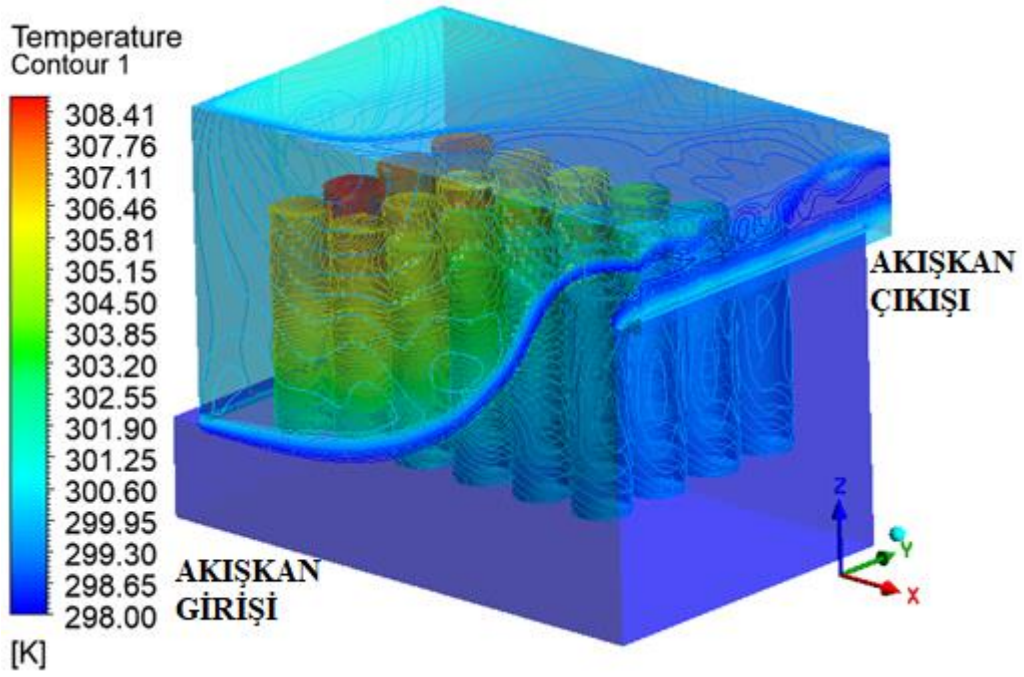
Şekil 3.104. Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı



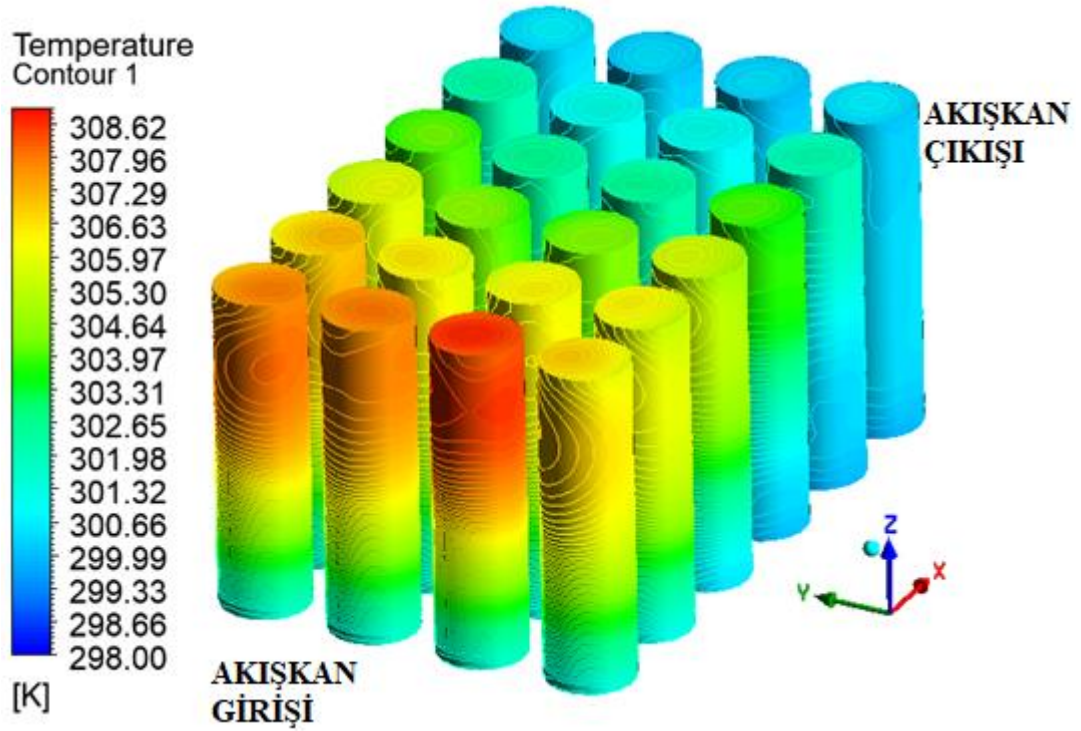
Şekil 3.105. Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)



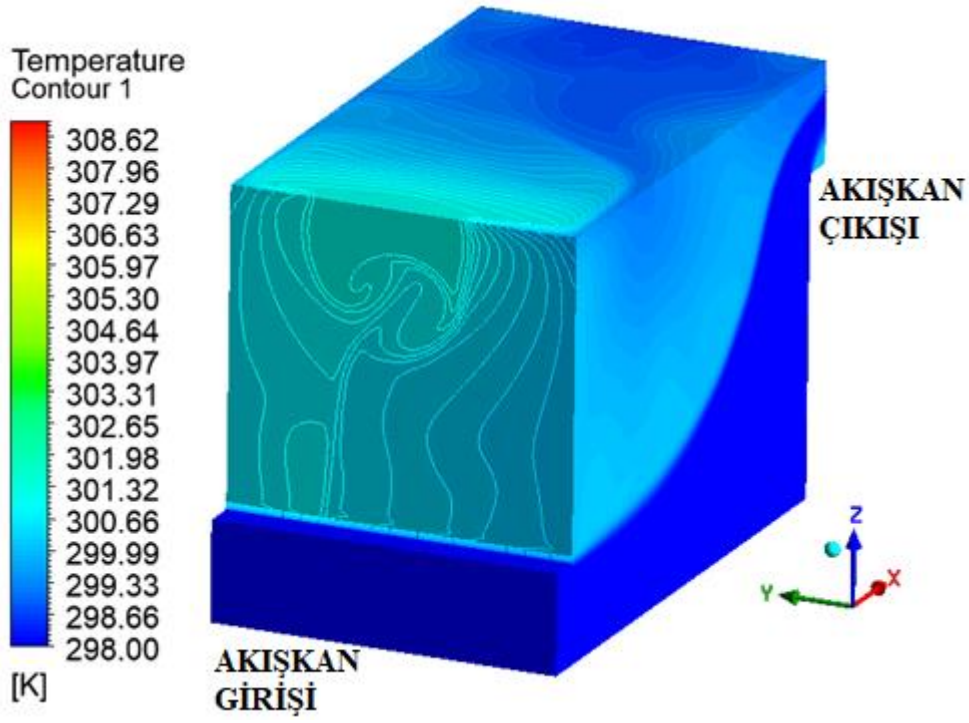
Şekil 3.106. Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı



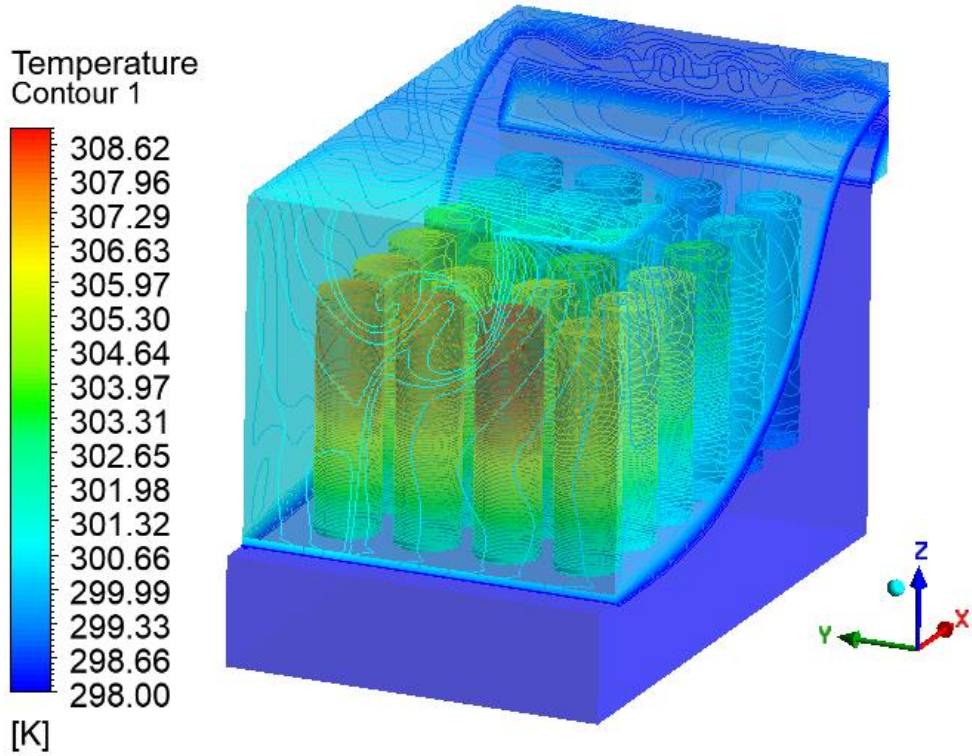
Şekil 3.107. Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)



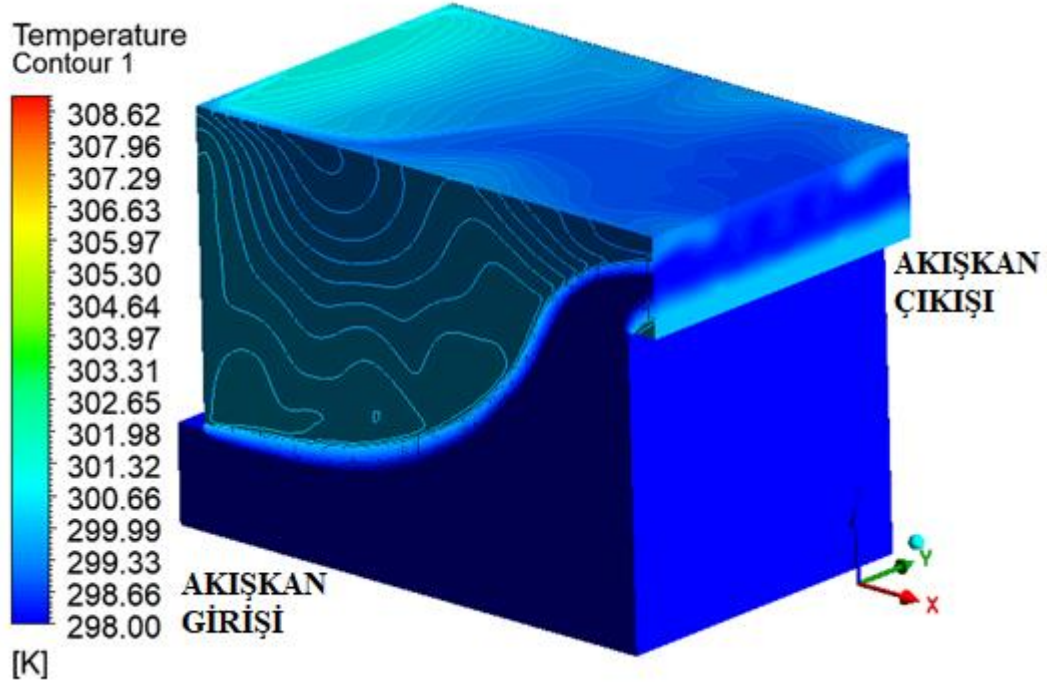
Şekil 3.108. Durum bir orta ağ için batarya yüzeyindeki global sıcaklık dağılımı



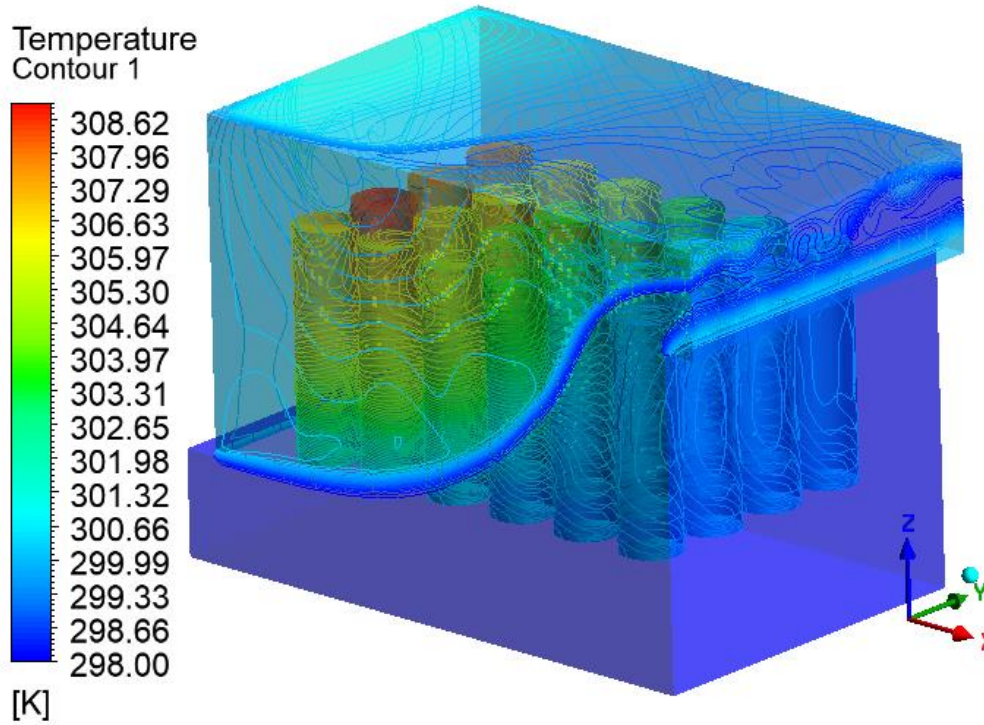
Şekil 3.109. Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı



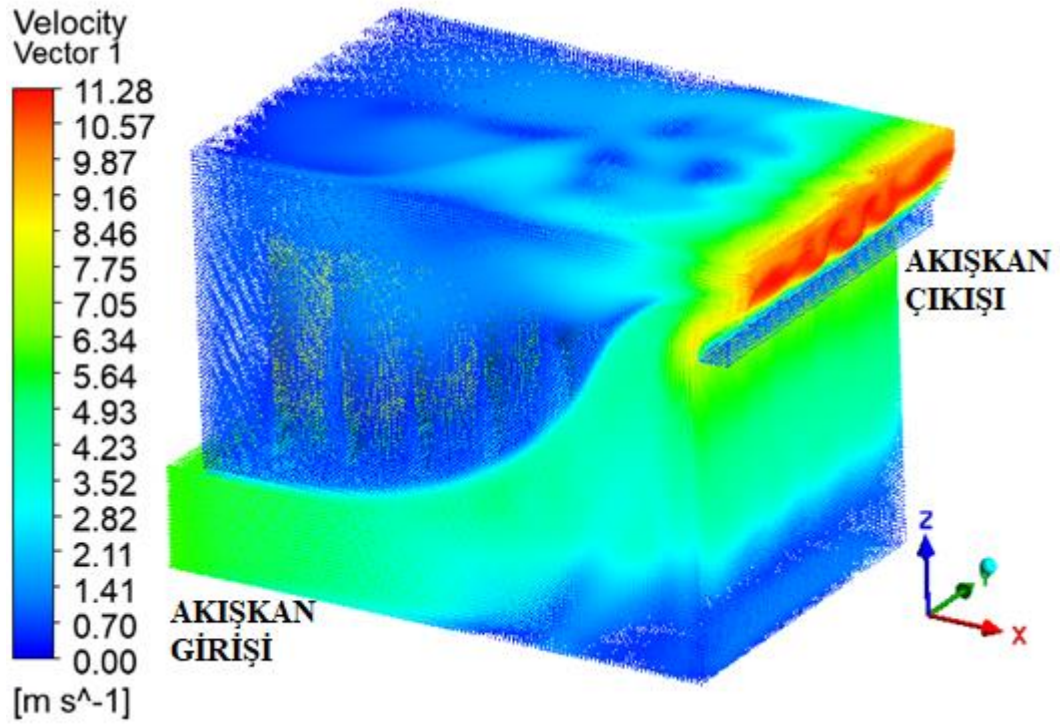
Şekil 3.110. Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)



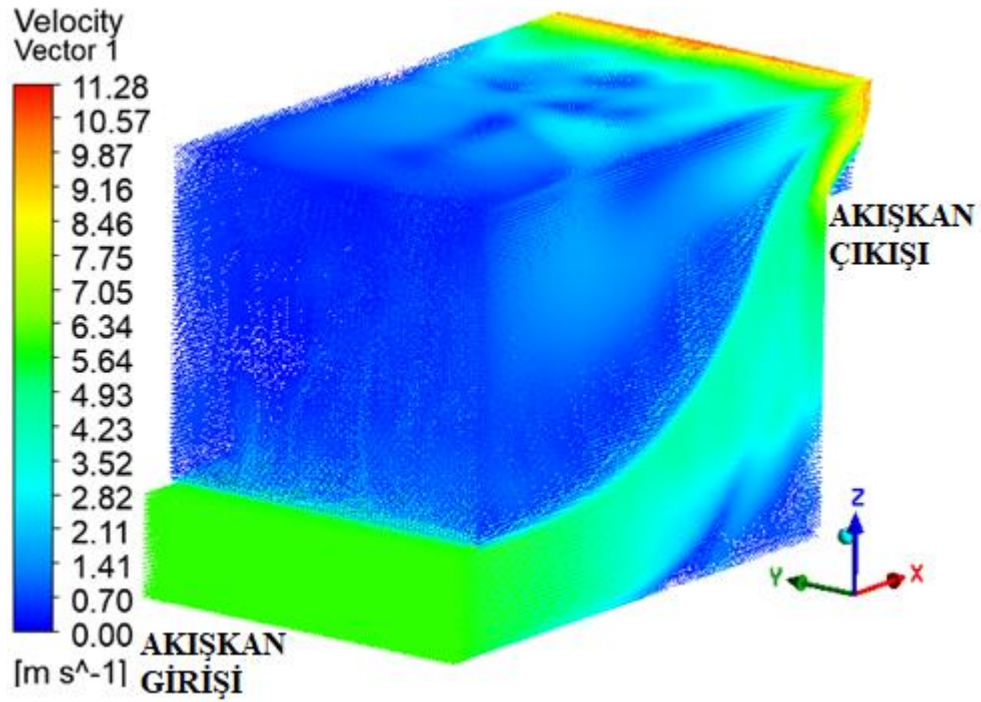
Şekil 3.111. Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı



Şekil 3.112. Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)

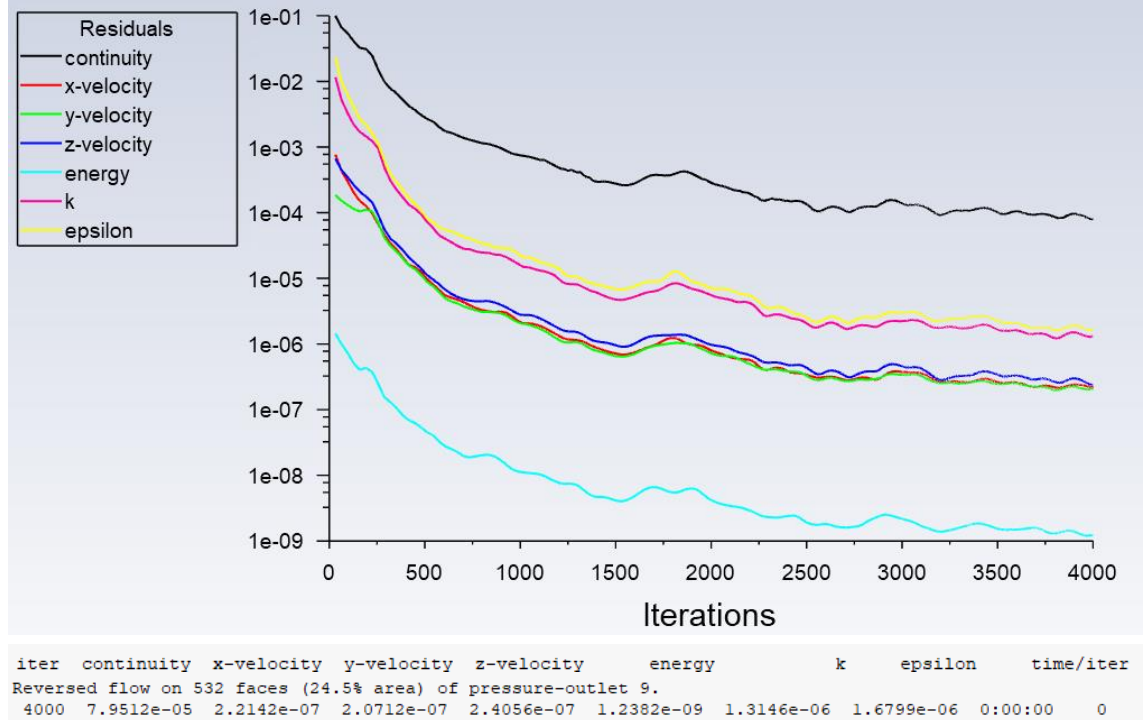


Şekil 3.113. Durum bir için modül içerisindeki hız dağılımı

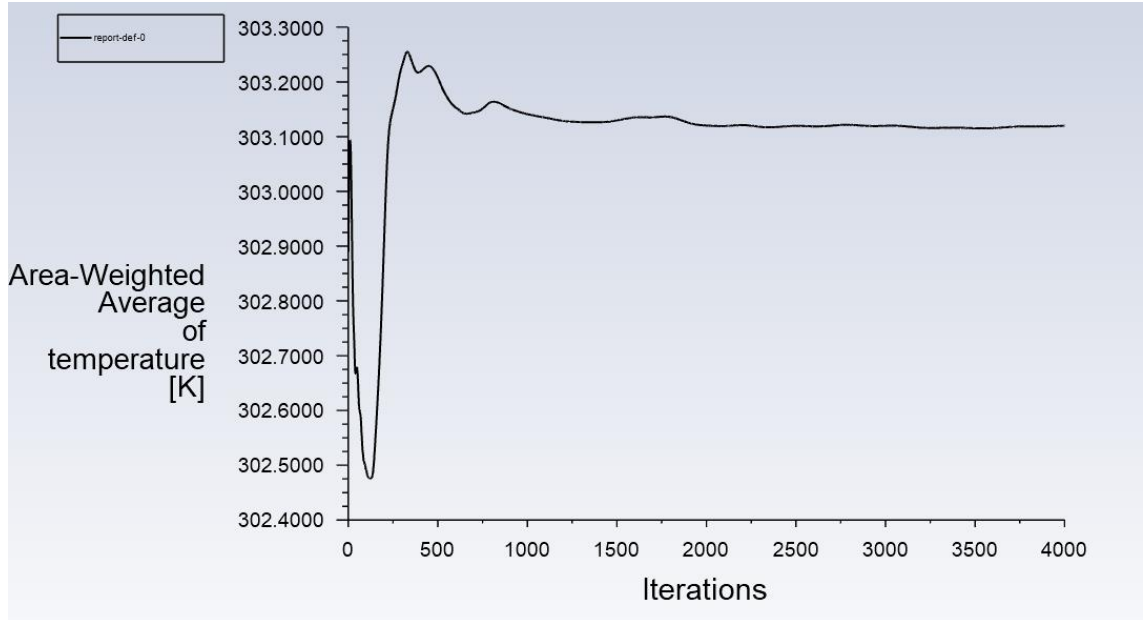


Şekil 3.114. Durum bir için modül içerisindeki hız dağılımı

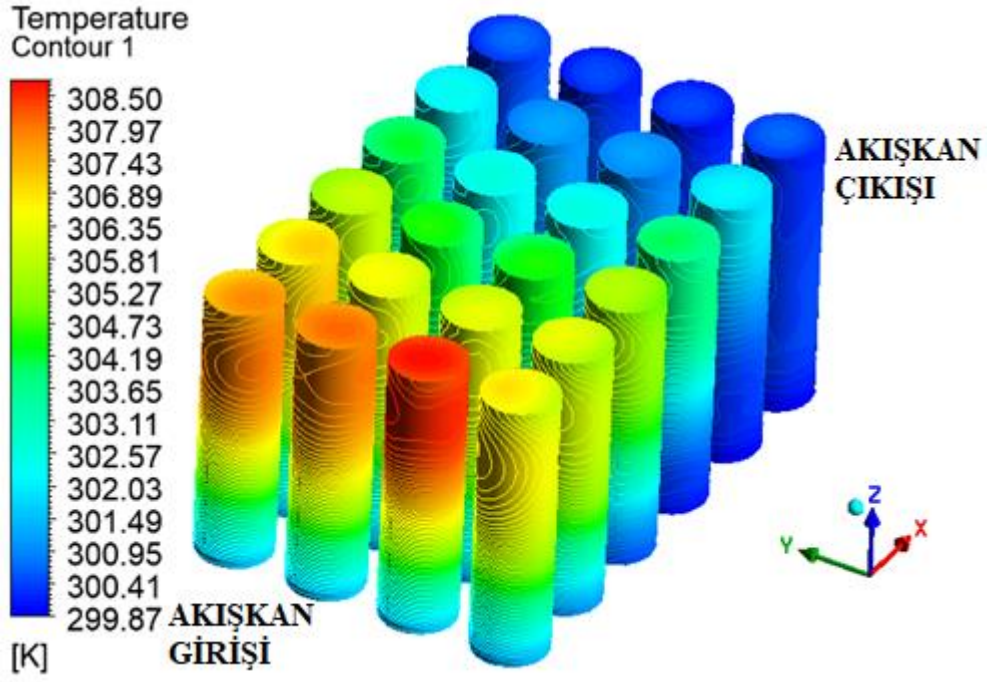
Orta ağ yapısı 4000 iterasyon için kontör ve iterasyon grafikleri lokal ve global sıcaklık dağılımları ile verilmiştir.



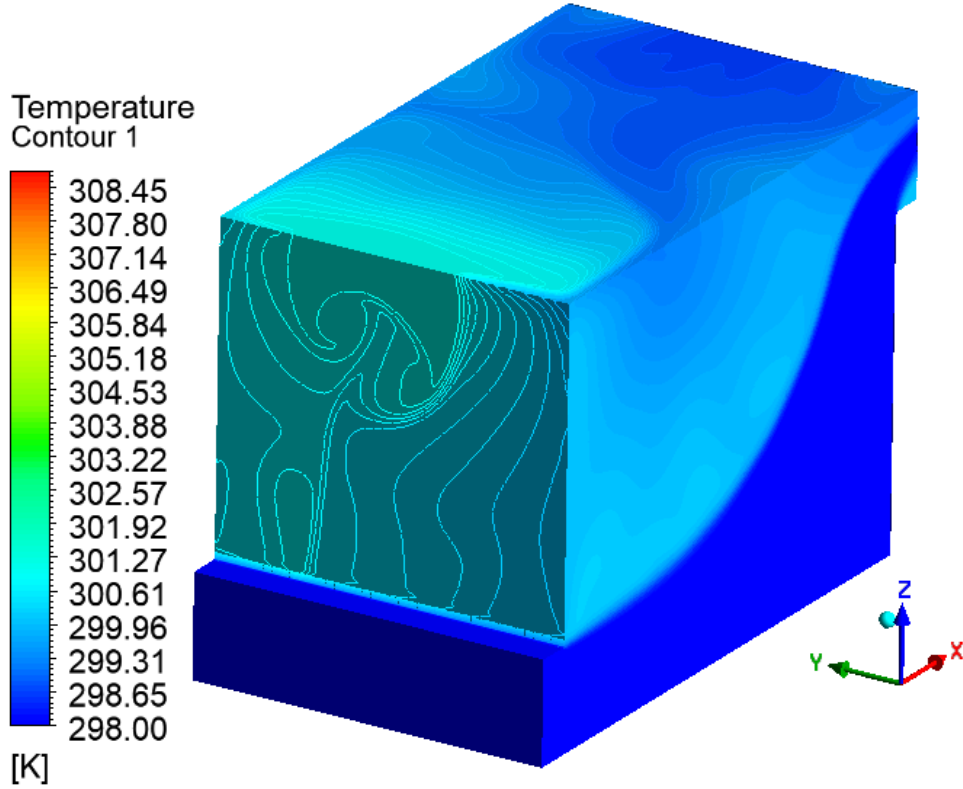
Şekil 3.115. Durum bir orta ağ için iterasyon grafiği (4000 iterasyon için)



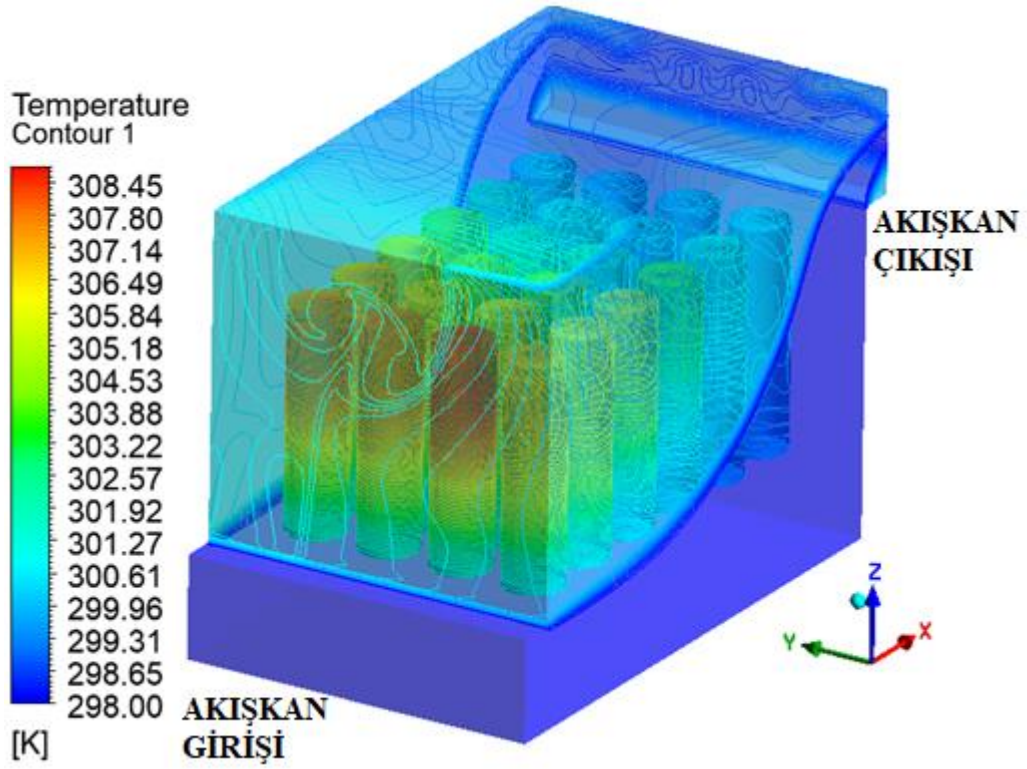
Şekil 3.116. Durum bir orta ağ için bataryanın içerisindeki ve yüzeyindeki ortalama sıcaklık grafiği



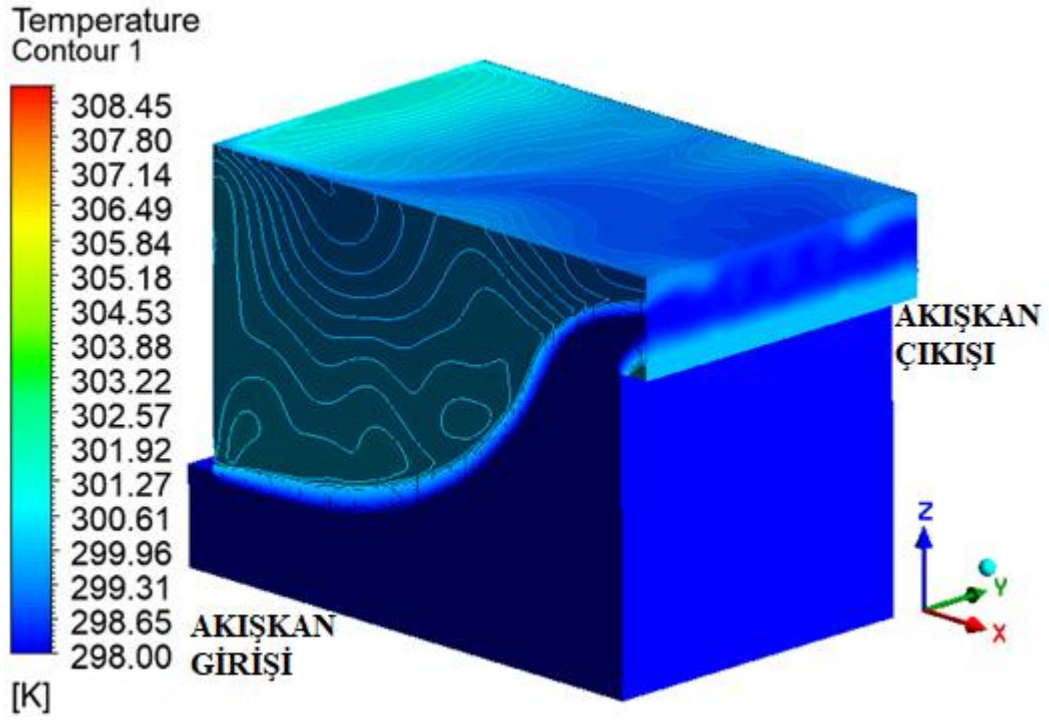
Şekil 3.117. Durum bir orta ağ için batarya yüzeyindeki lokal sıcaklık dağılımı



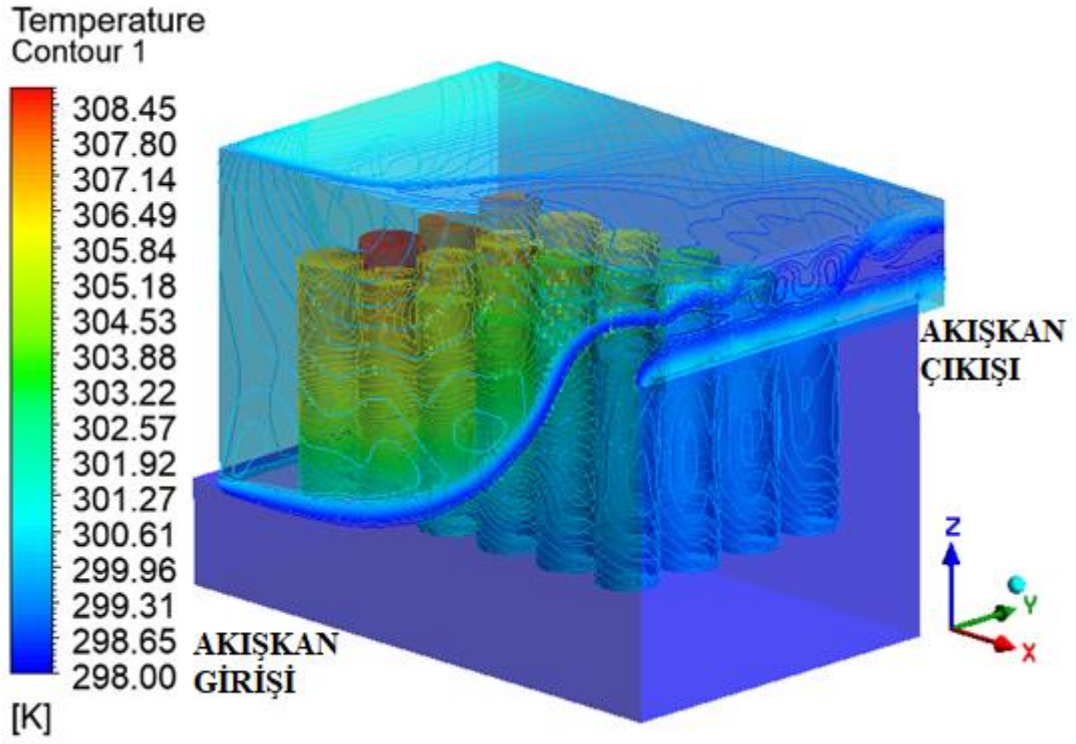
Şekil 3.118. Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı



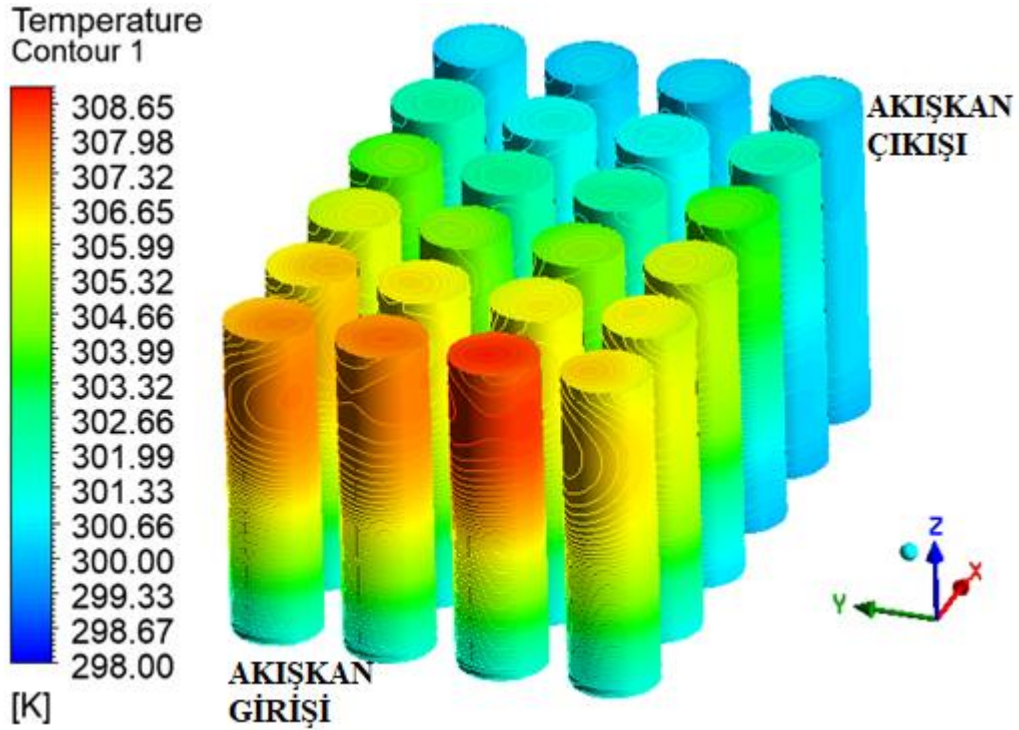
Şekil 3.119. Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)



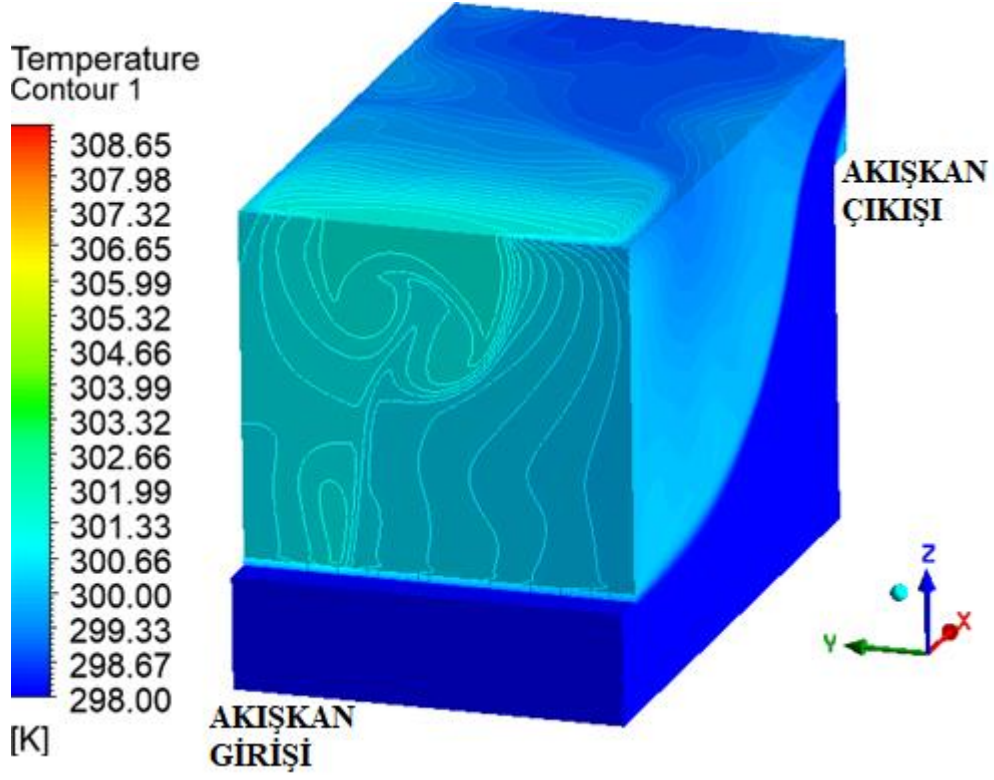
Şekil 3.120. Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı



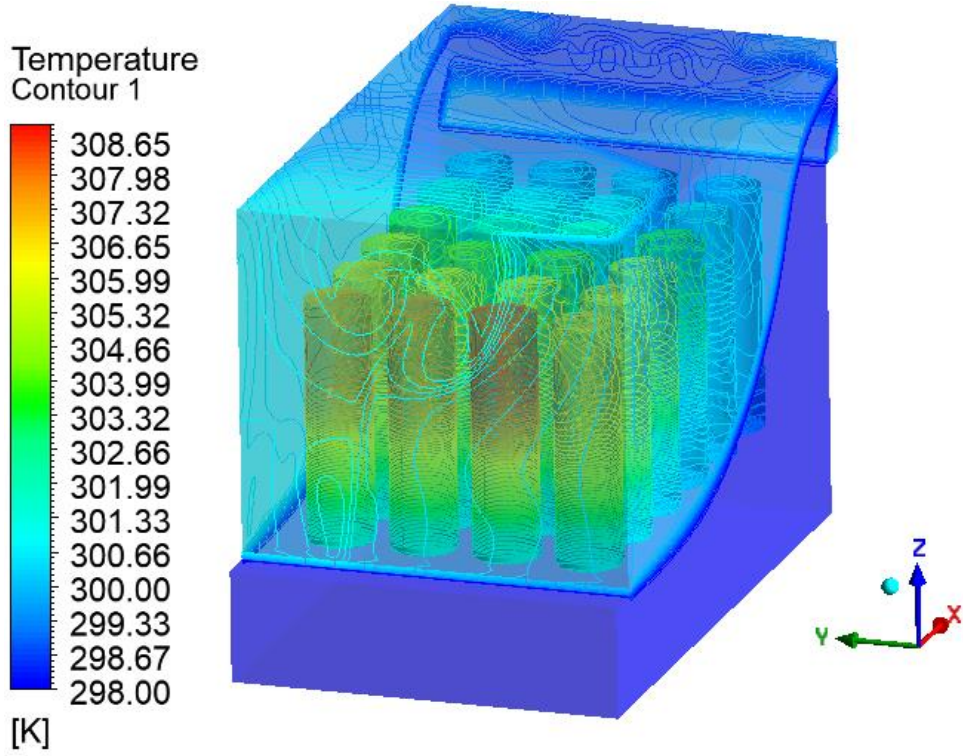
Şekil 3.121. Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)



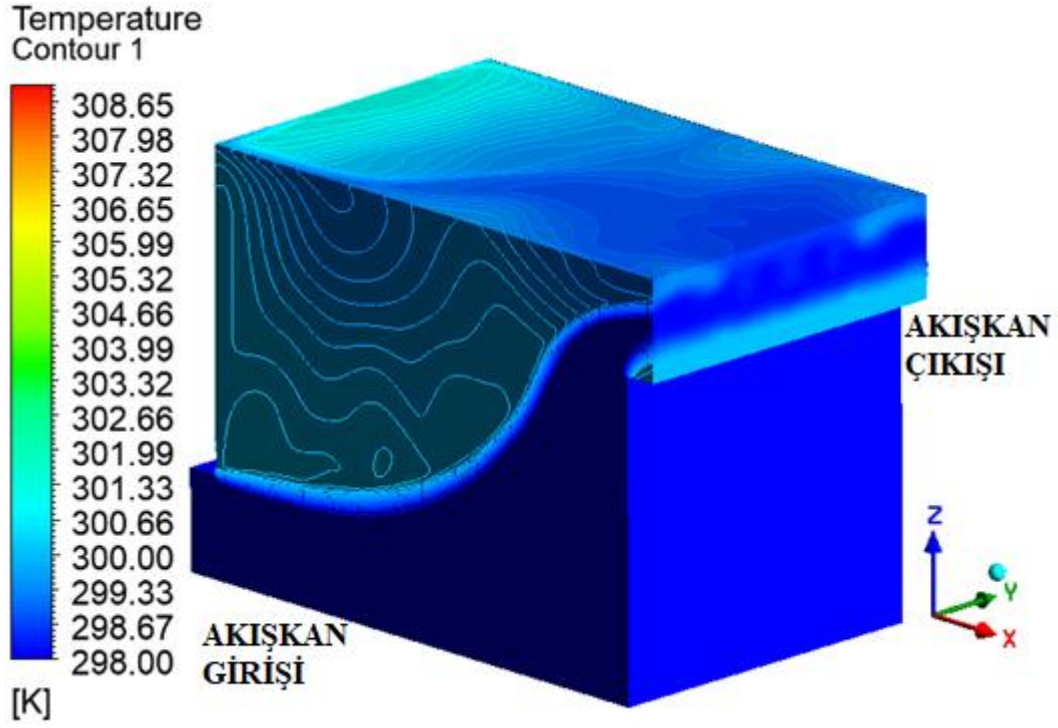
Şekil 3.122. Durum bir orta ağ için batarya yüzeyindeki global sıcaklık dağılımı



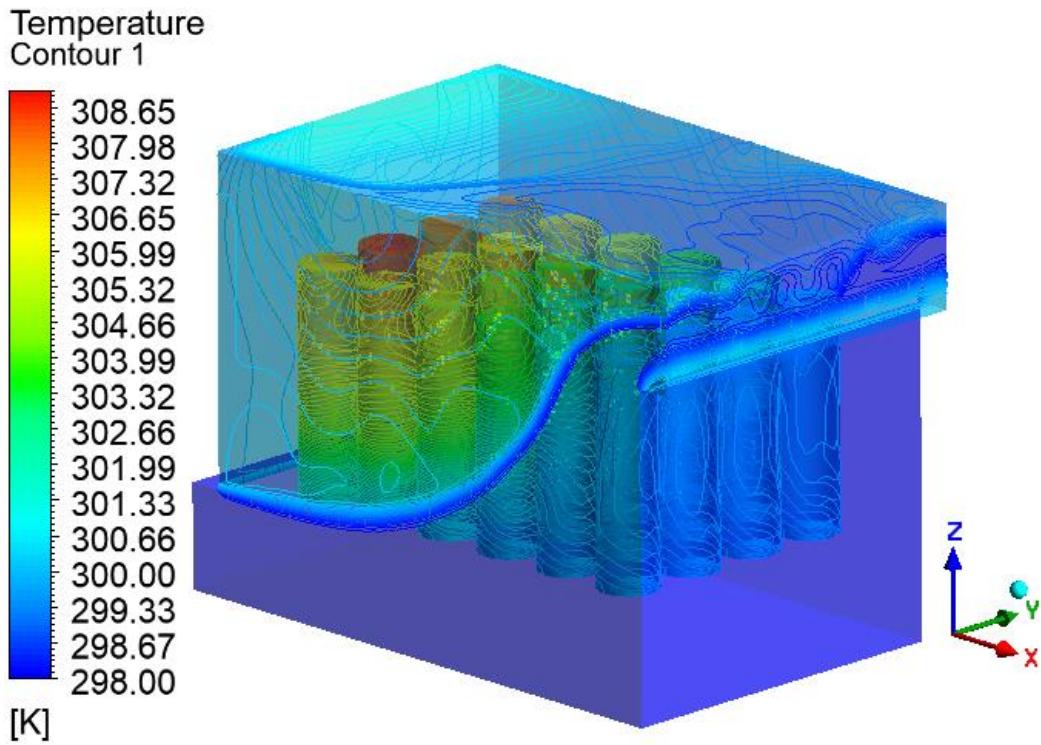
Şekil 3.123. Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı



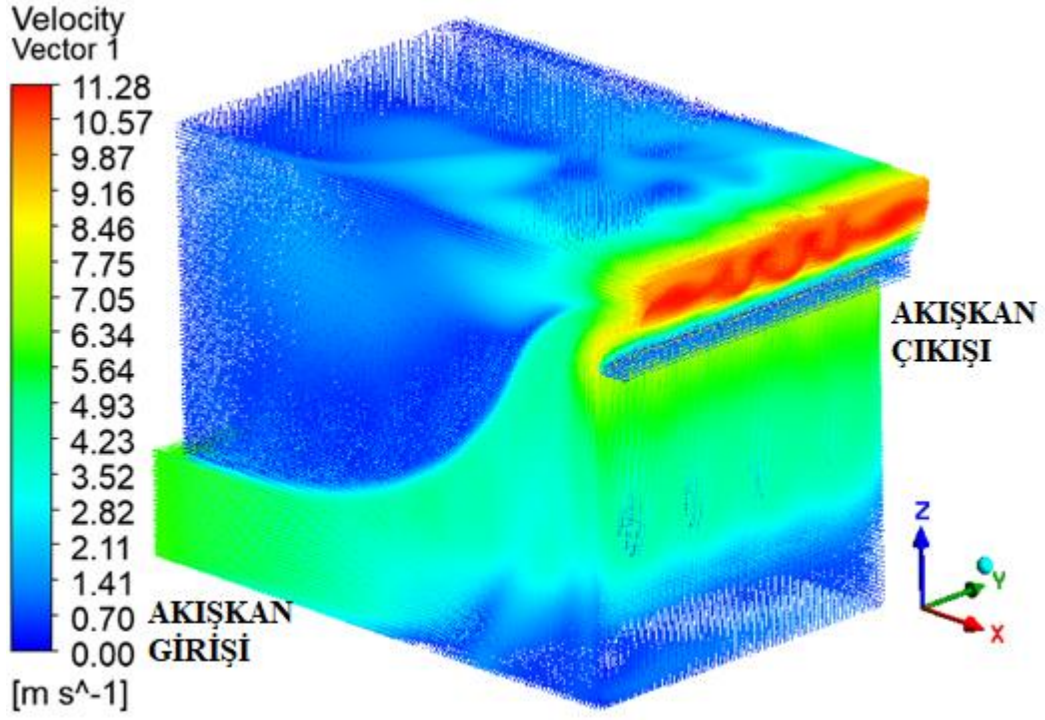
Şekil 3.124. Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)



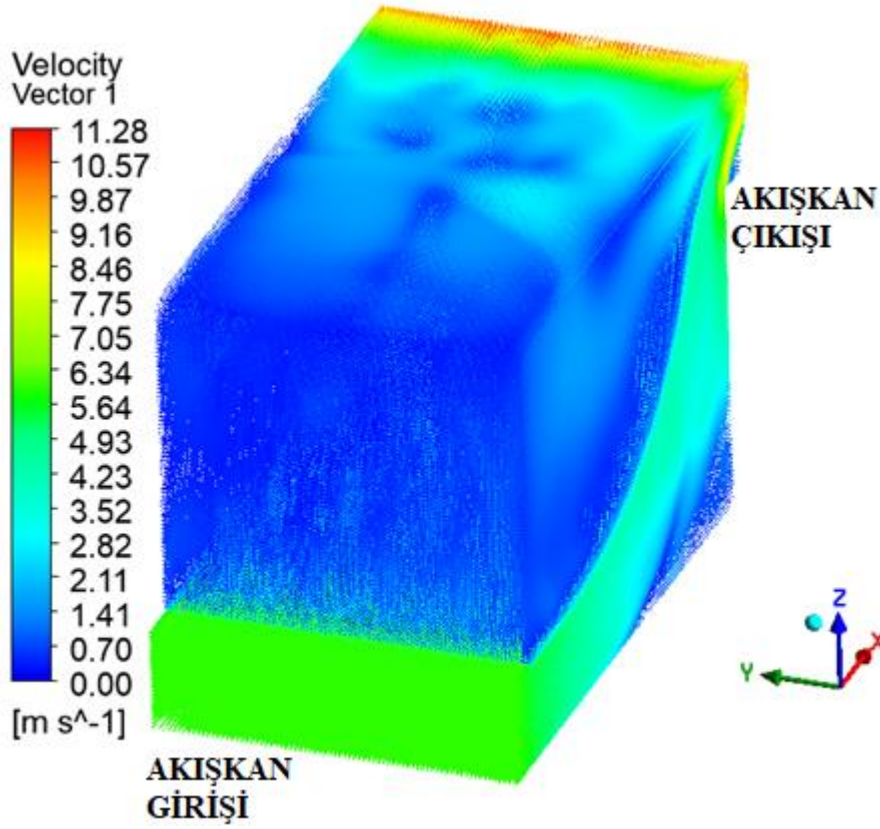
Şekil 3.125. Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı



Şekil 3.126. Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)

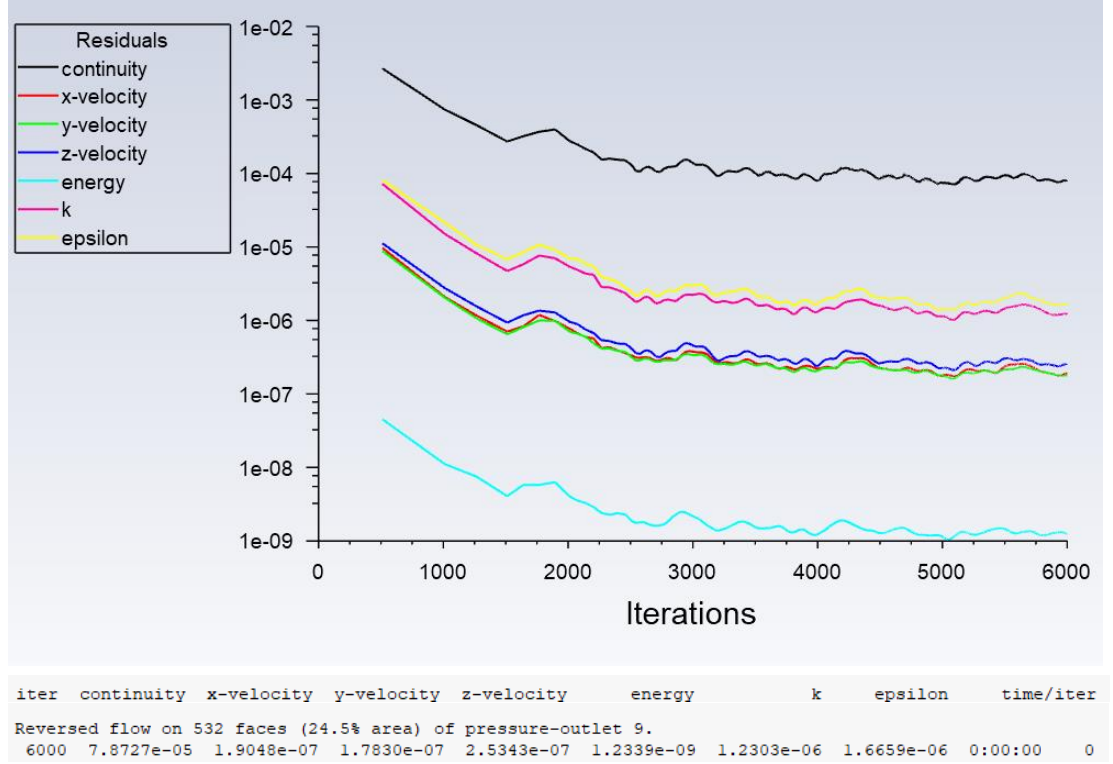


Şekil 3.127. Durum bir için modül içerisindeki hız dağılımı

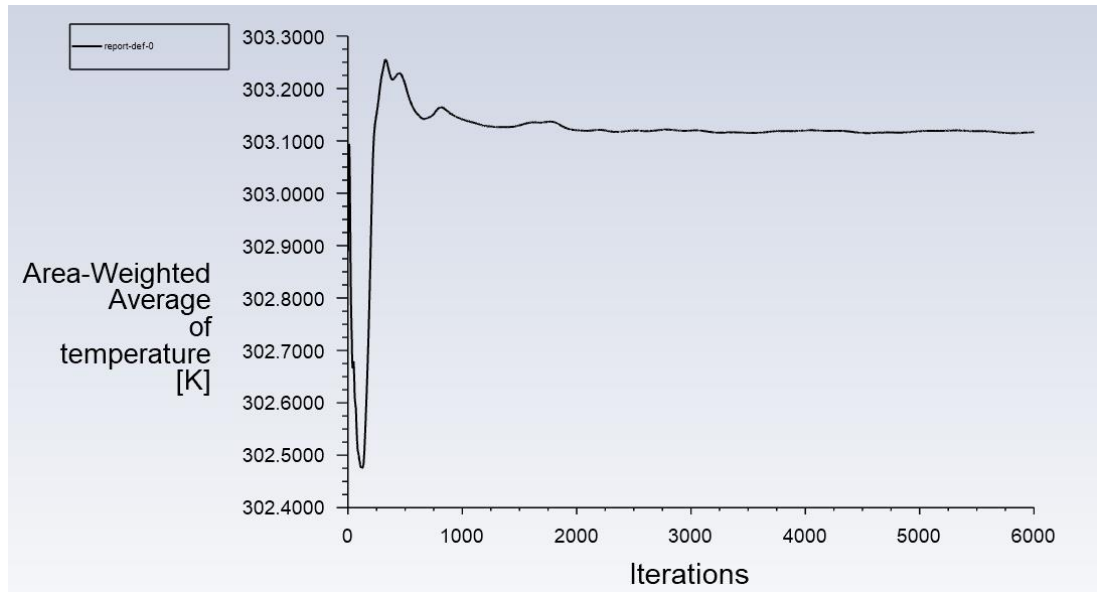


Şekil 3.128. Durum bir için modül içerisindeki hız dağılımı

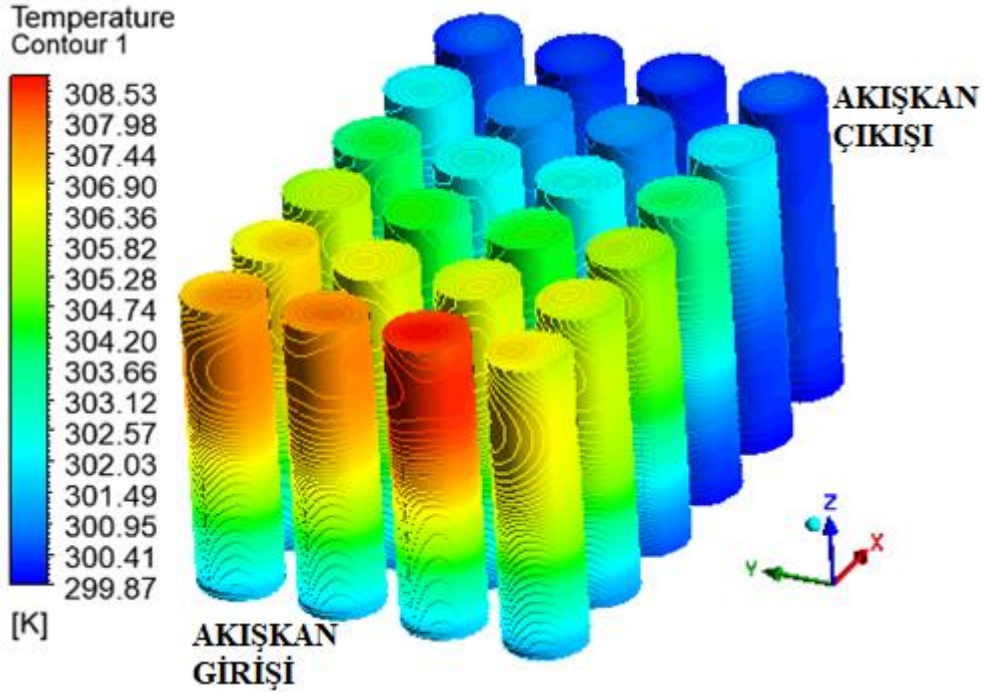
Orta ağ yapısı 6000 iterasyon için kontör ve iterasyon grafikleri lokal ve global sıcaklık dağılımları ile verilmiştir.



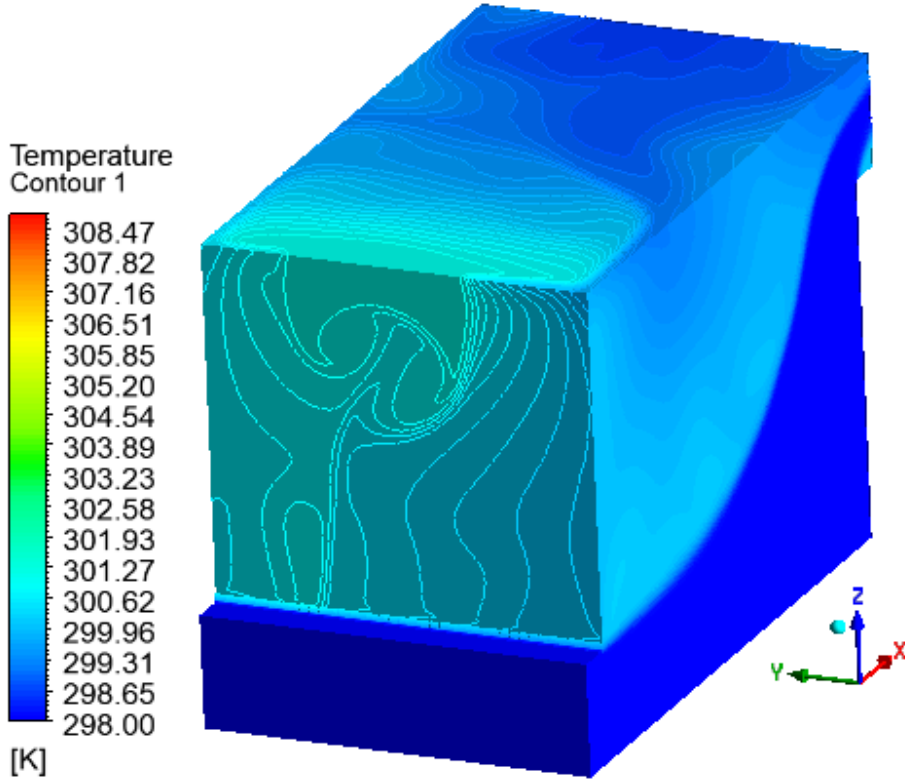
Şekil 3.129. Durum bir orta ağ için iterasyon grafiği (6000 iterasyon için)



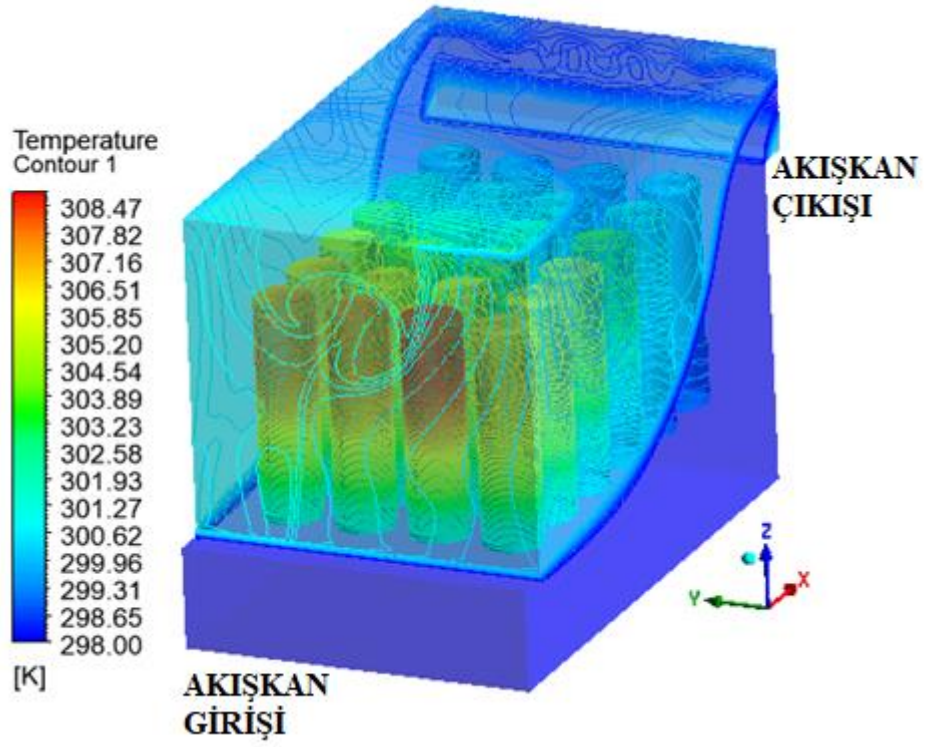
Şekil 3.130. Durum bir orta ağ için bataryanın içerisindeki ve yüzeyindeki ortalama sıcaklık grafiği



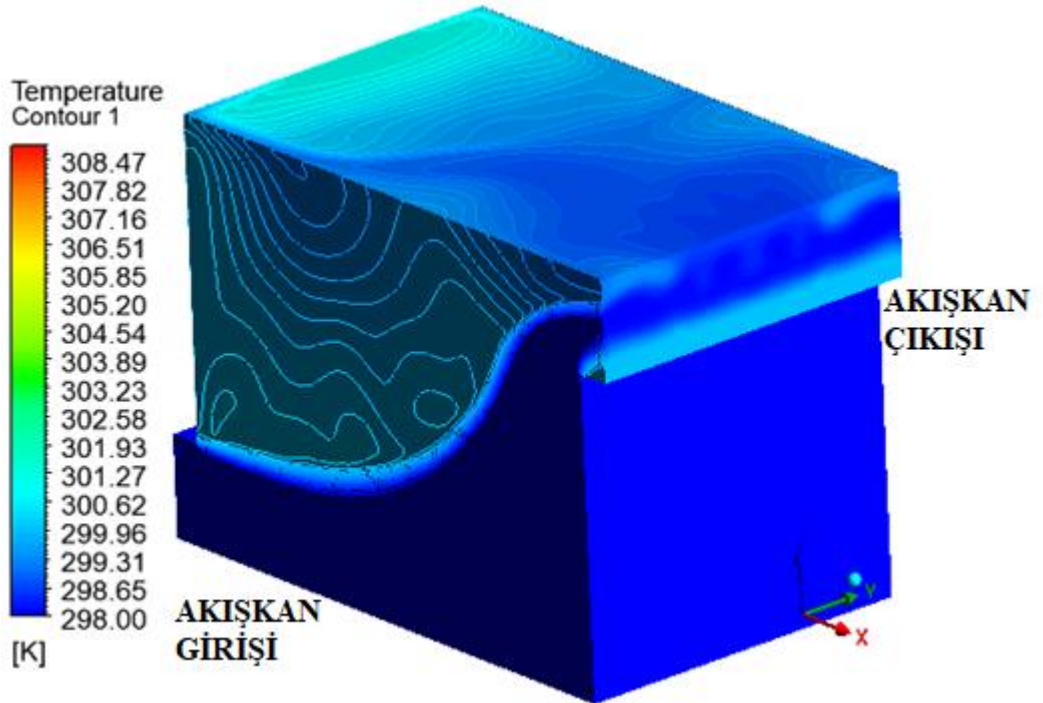
Şekil 3.131. Durum bir orta ağ için batarya yüzeyindeki lokal sıcaklık dağılımı



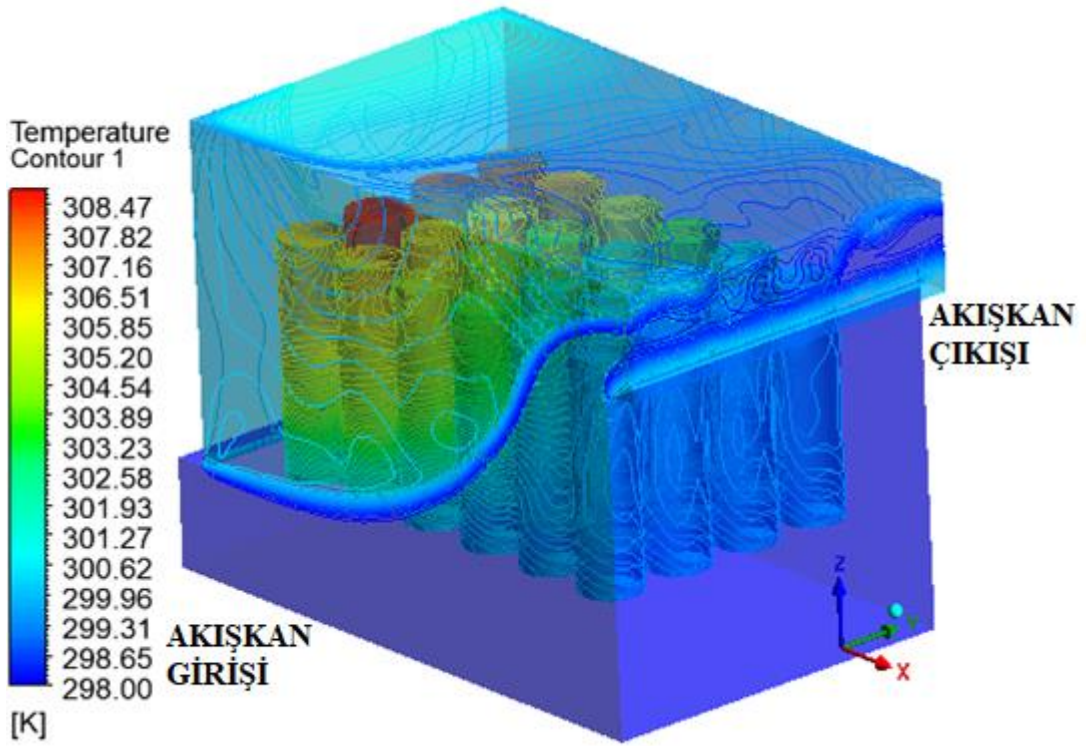
Şekil 3.132. Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı



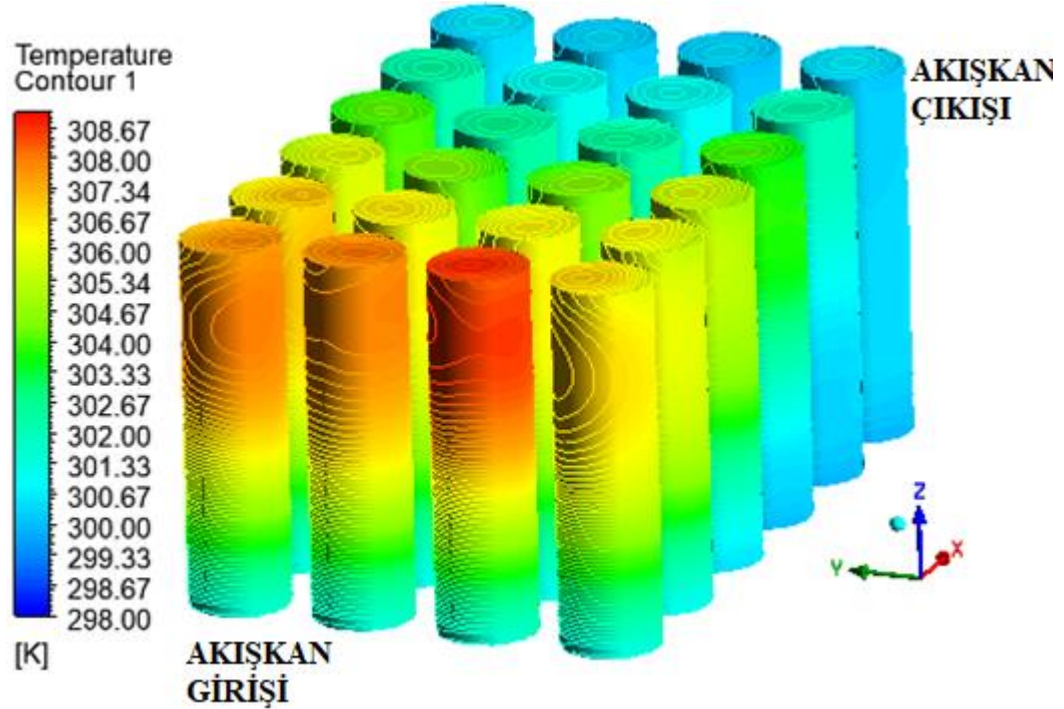
Şekil 3.133. Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)



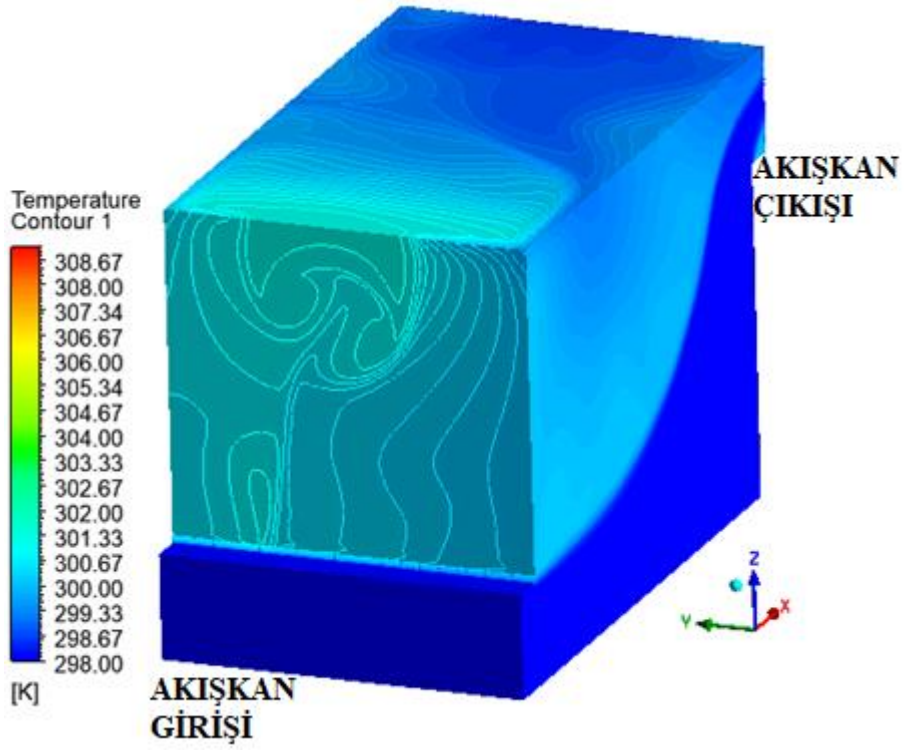
Şekil 3.134. Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı



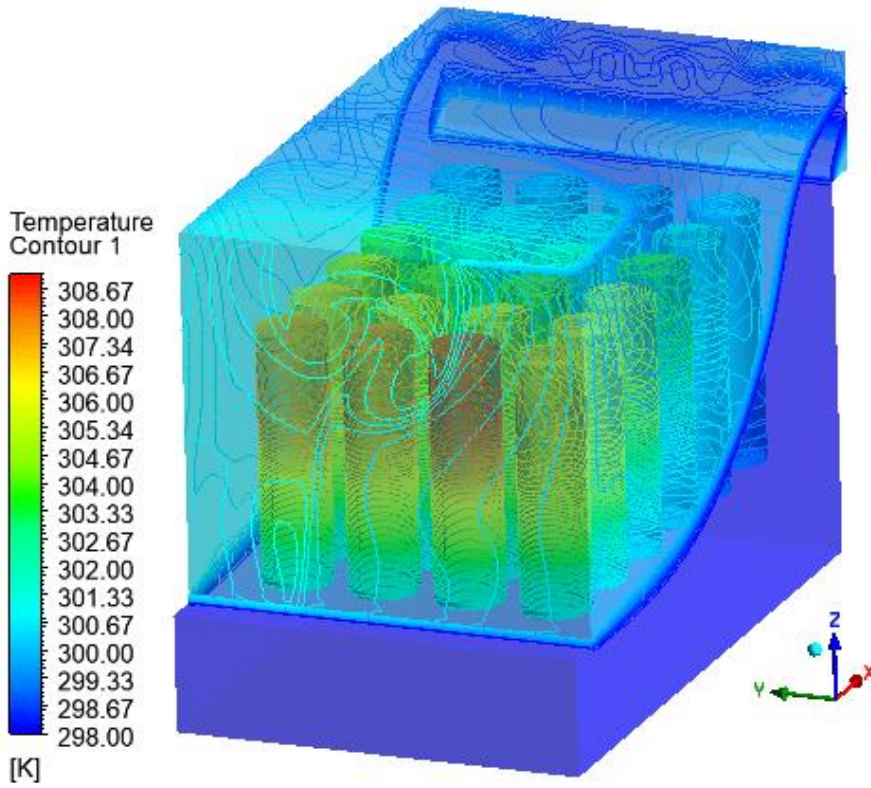
Şekil 3.135. Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)



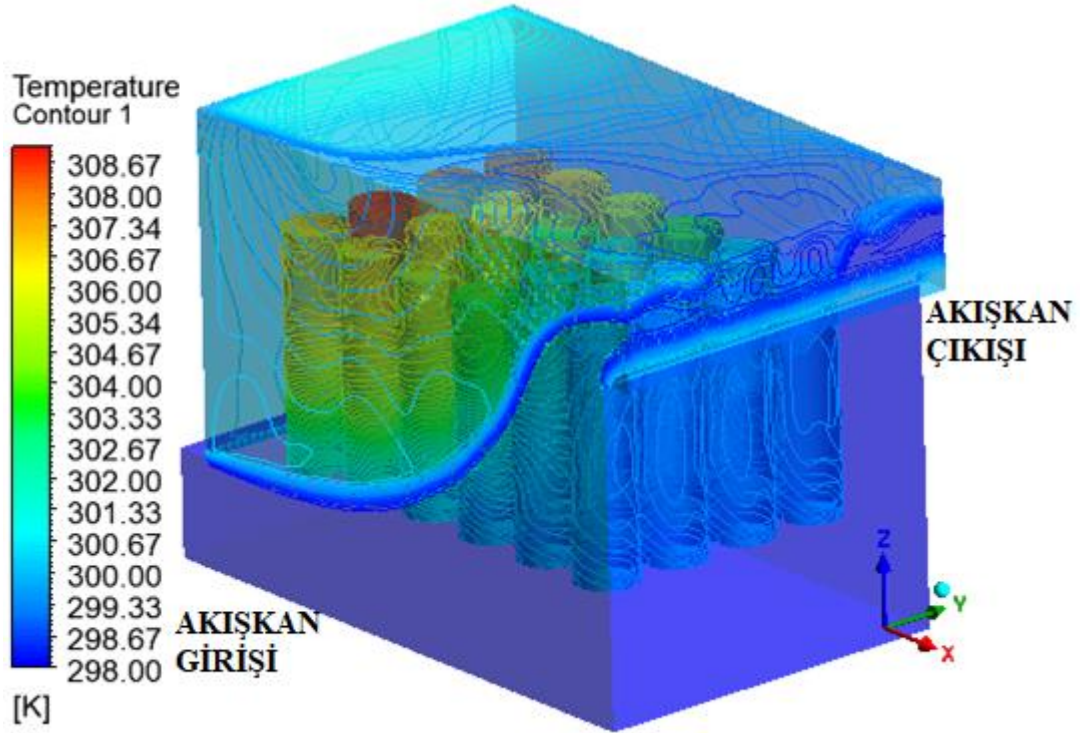
Şekil 3.136. Durum bir orta ağ için batarya yüzeyindeki global sıcaklık dağılımı



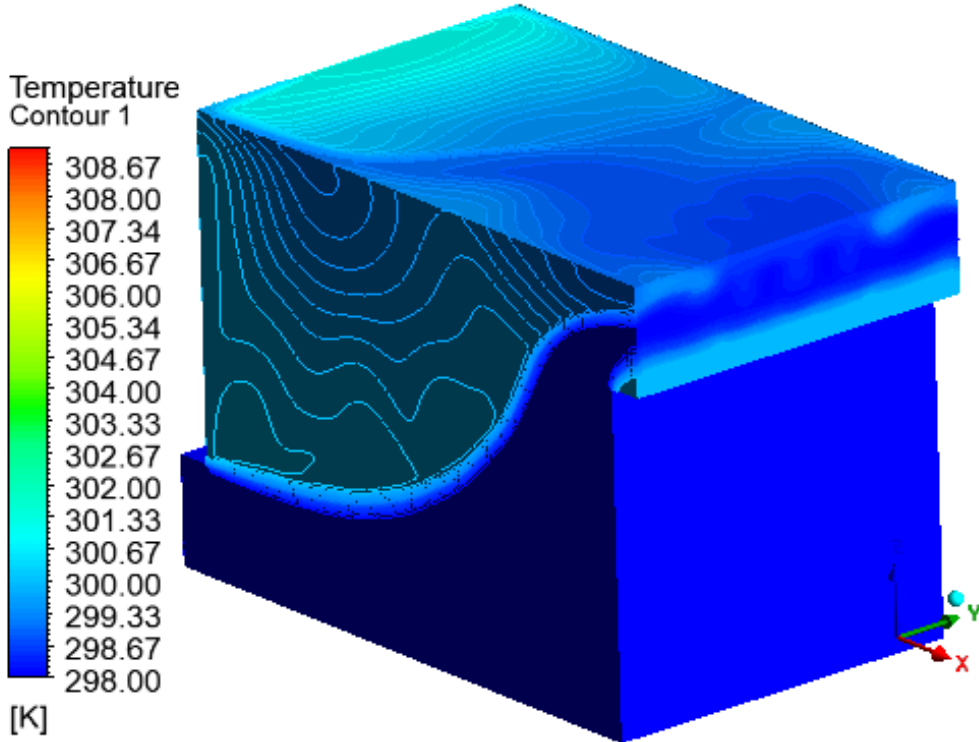
Şekil 3.137. Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı



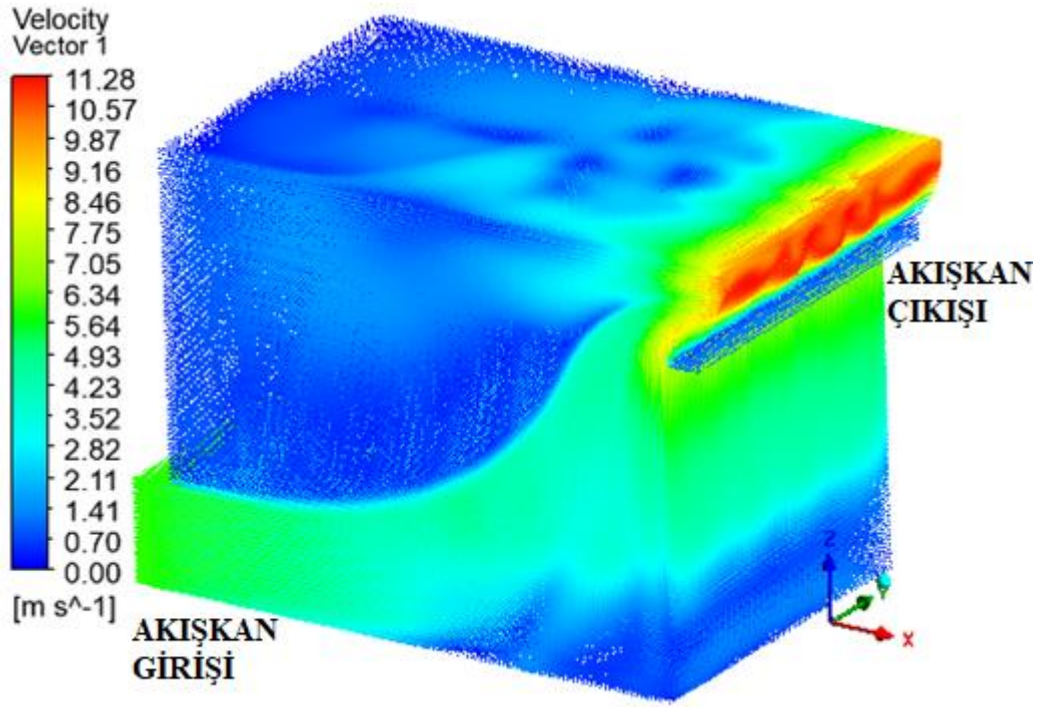
Şekil 3.138. Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)



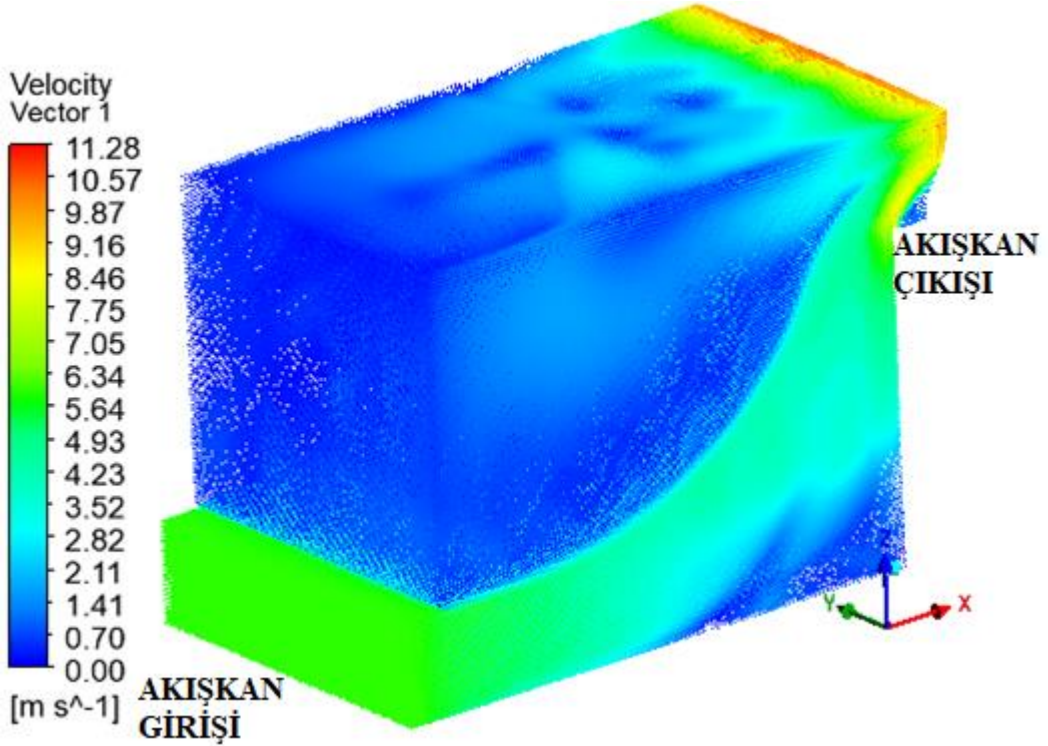
Şekil 3.139. Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)



Şekil 3.140. Durum bir orta ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı

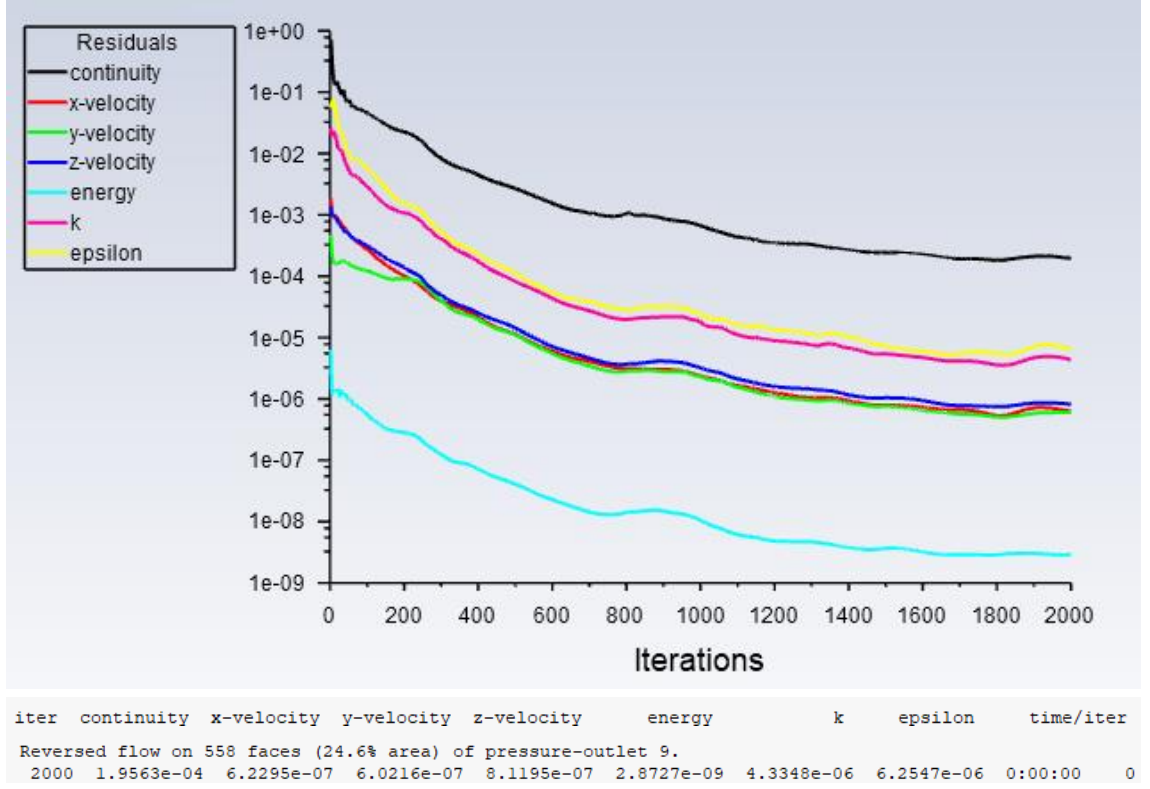


Şekil 3.141. Durum bir için modül içerisindeki hız dağılımı

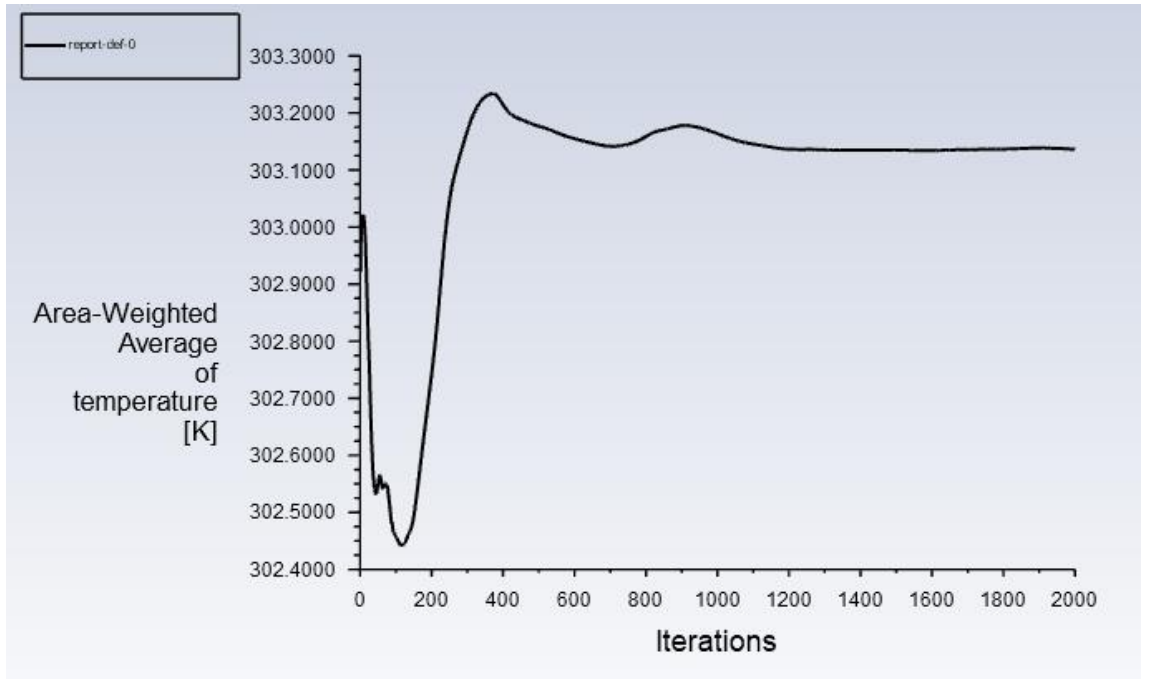


Şekil 3.142. Durum bir için modül içerisindeki hız dağılımı

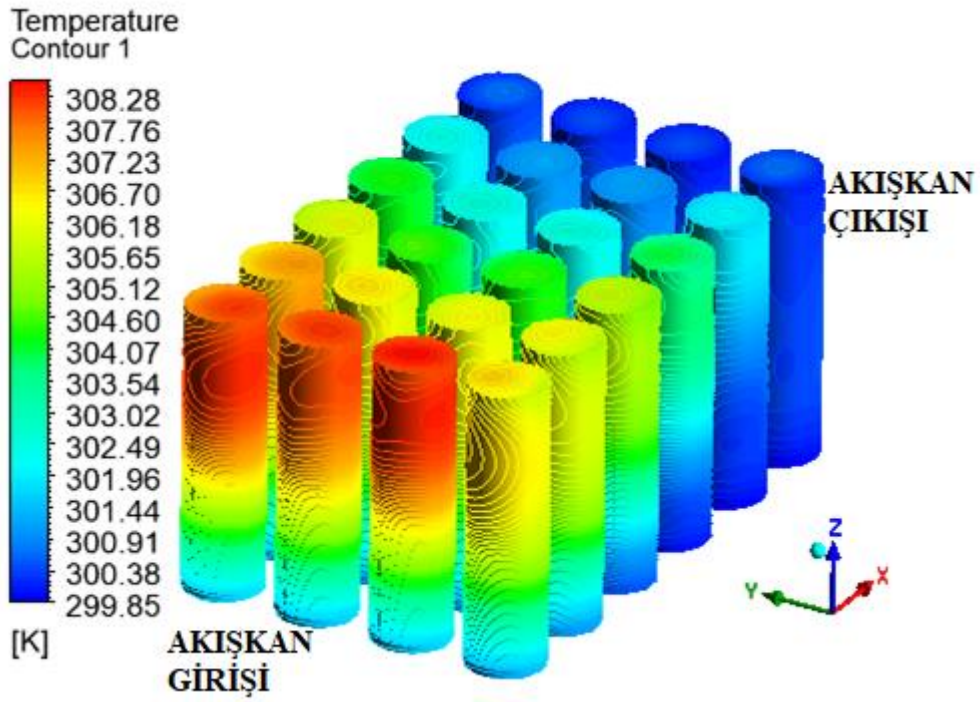
Sık ağ yapısı için iterasyon grafikleri sıcaklık ve hız kontörleri aşağıda verilmiştir.



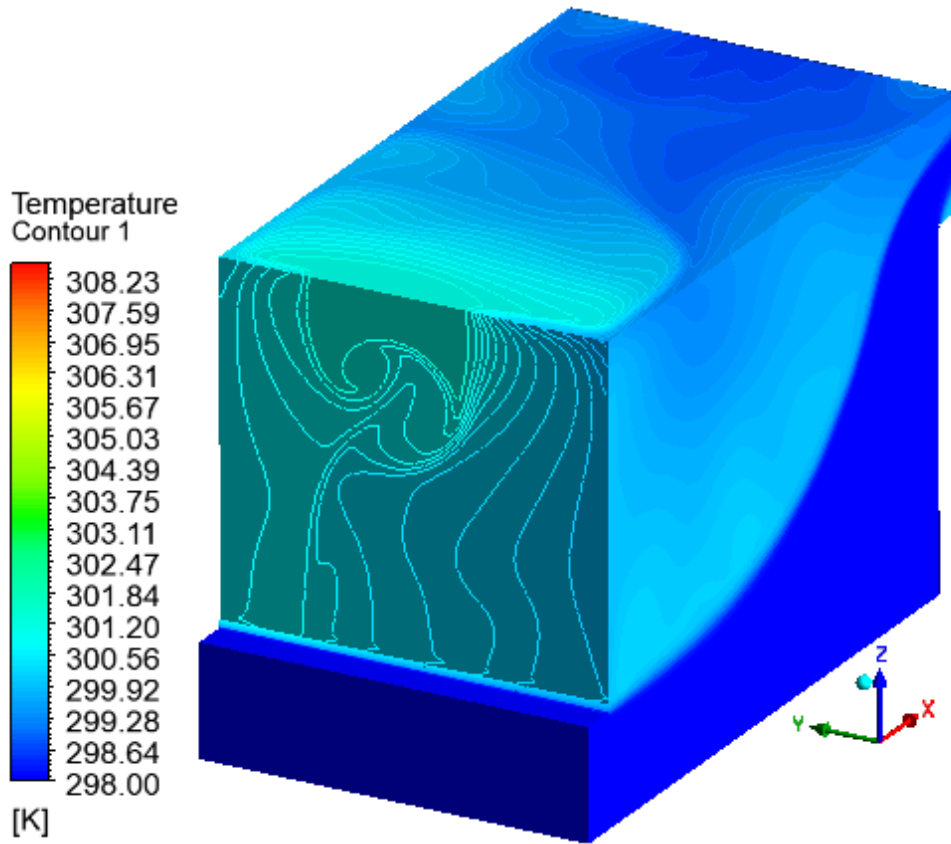
Şekil 3.143. Durum bir sık ağ için iterasyon grafiği (2000 iterasyon için)



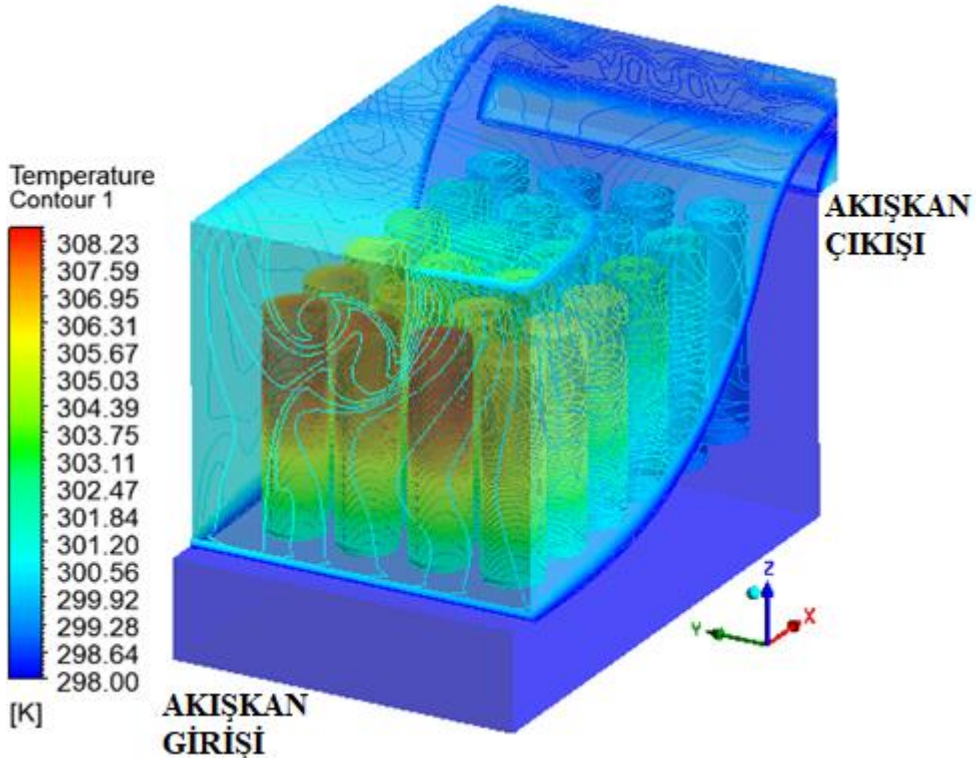
Şekil 3.144. Durum bir sık ağ için bataryanın içerisindeki ve yüzeyindeki ortalama sıcaklık grafiği



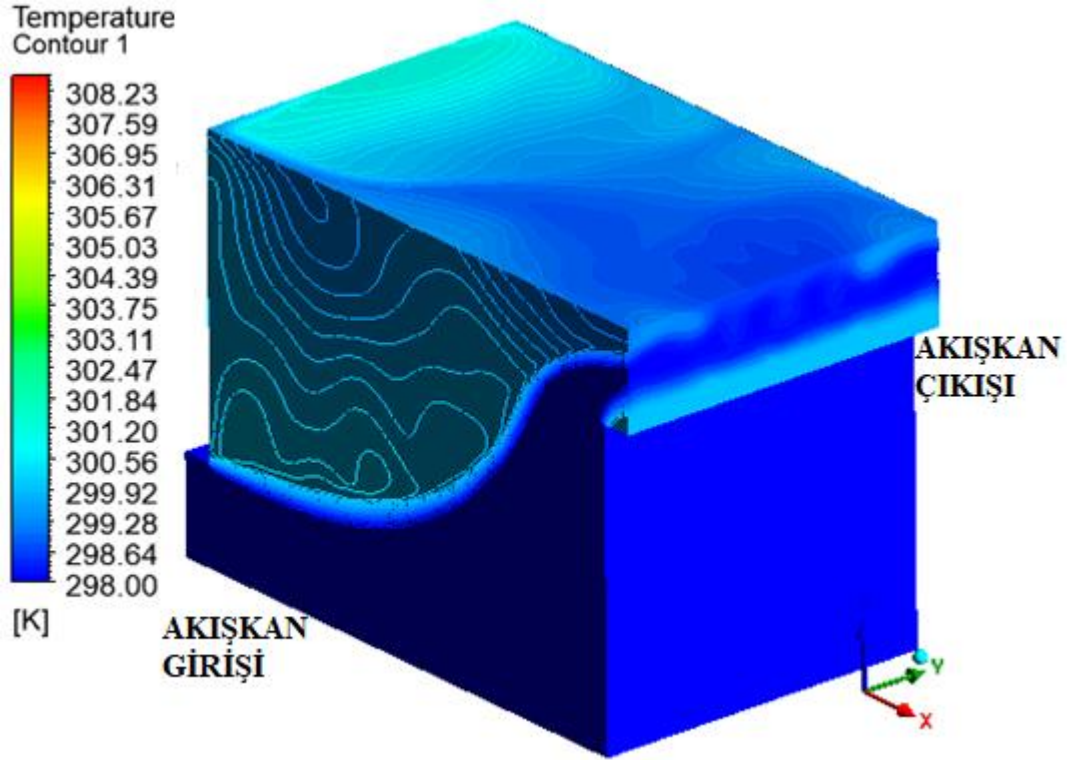
Şekil 3.145. Durum bir sık ağ için batarya yüzeyindeki lokal sıcaklık dağılımı



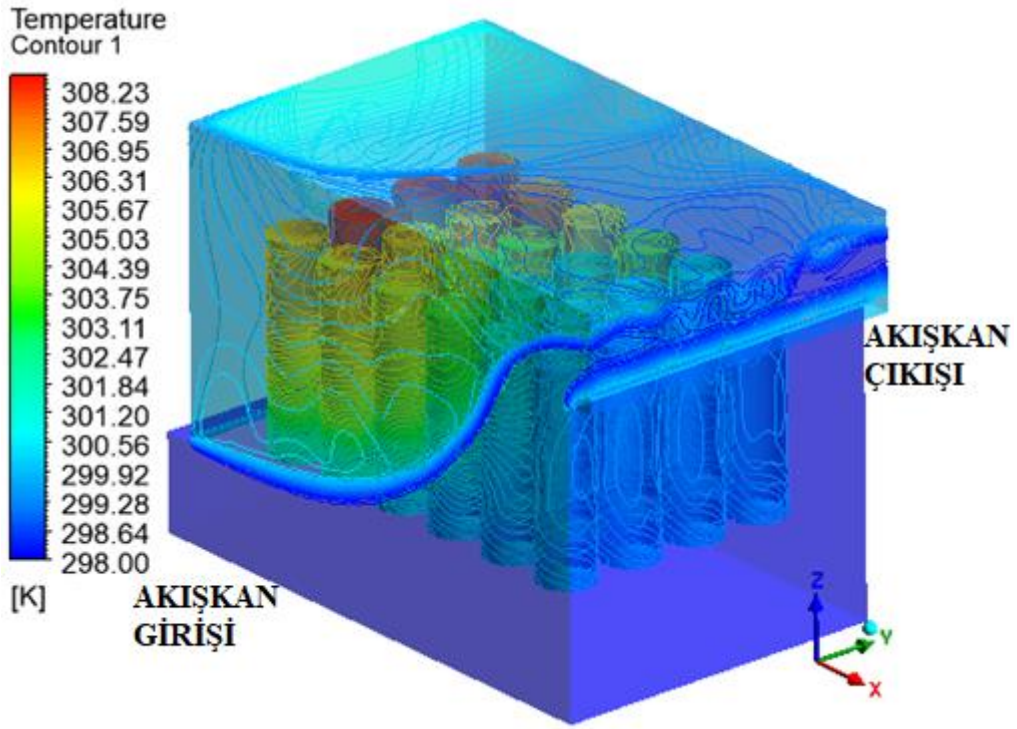
Şekil 3.146. Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı



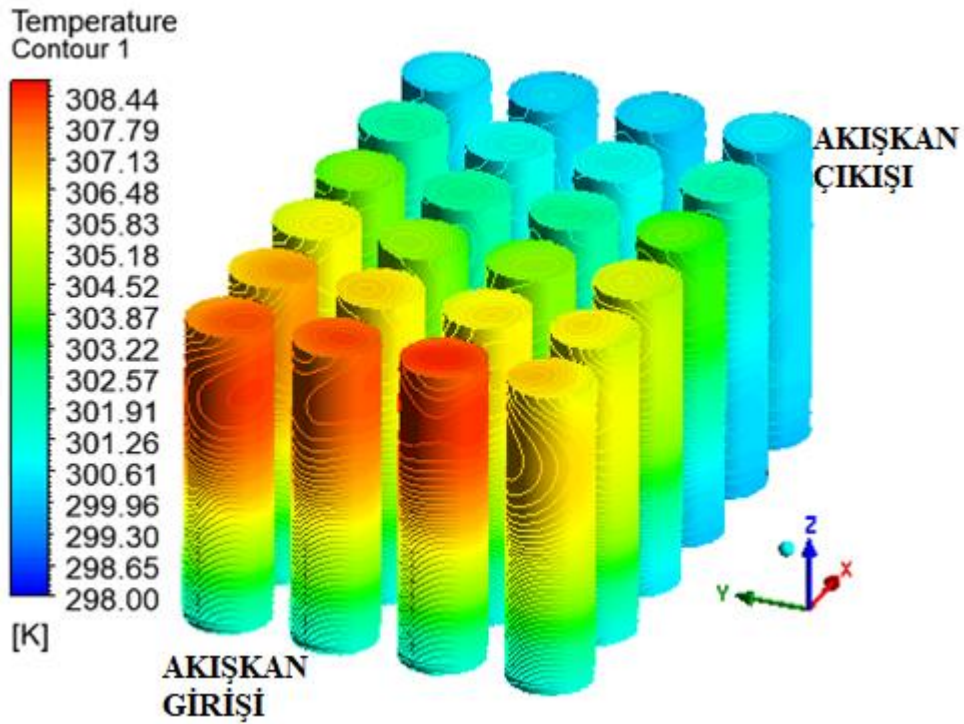
Şekil 3.147. Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)



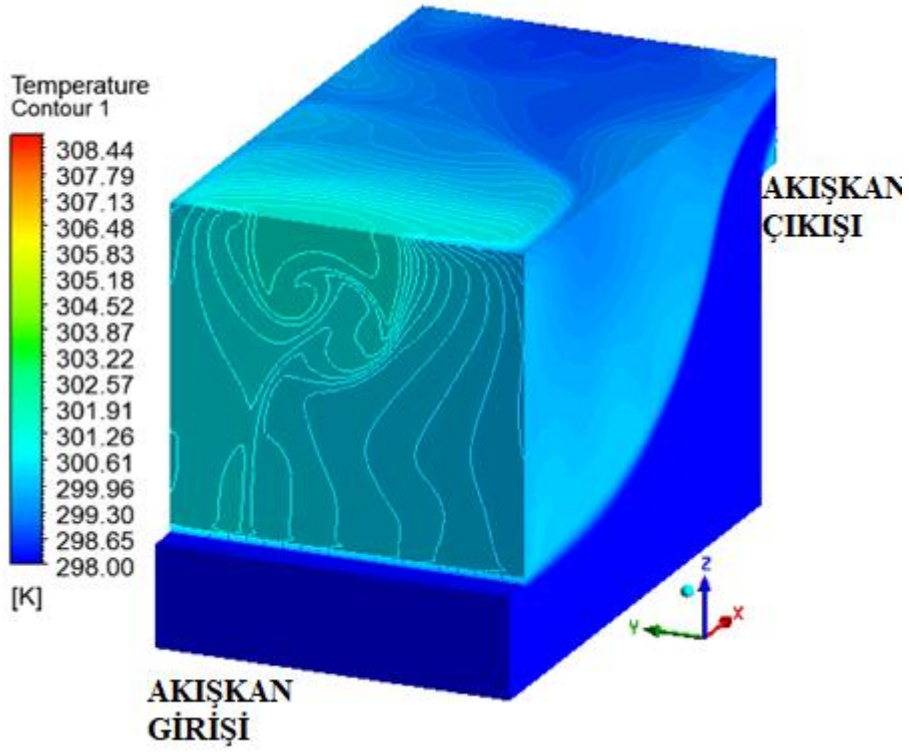
Şekil 3.148. Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı



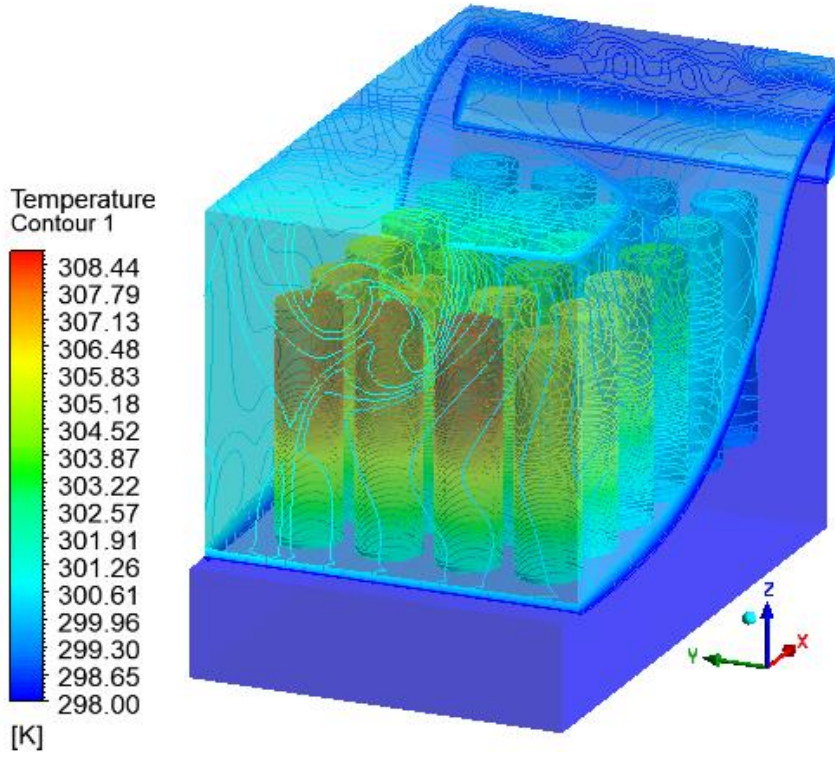
Şekil 3.149. Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)



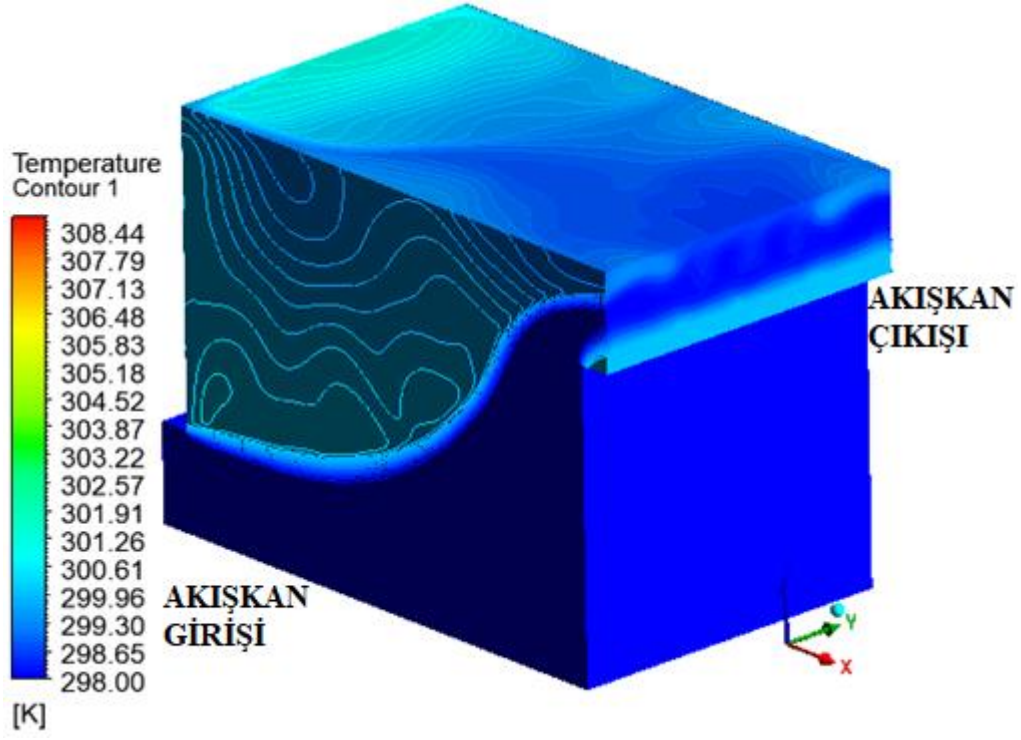
Şekil 3.150. Durum bir sık ağ için batarya yüzeyindeki global sıcaklık dağılımı



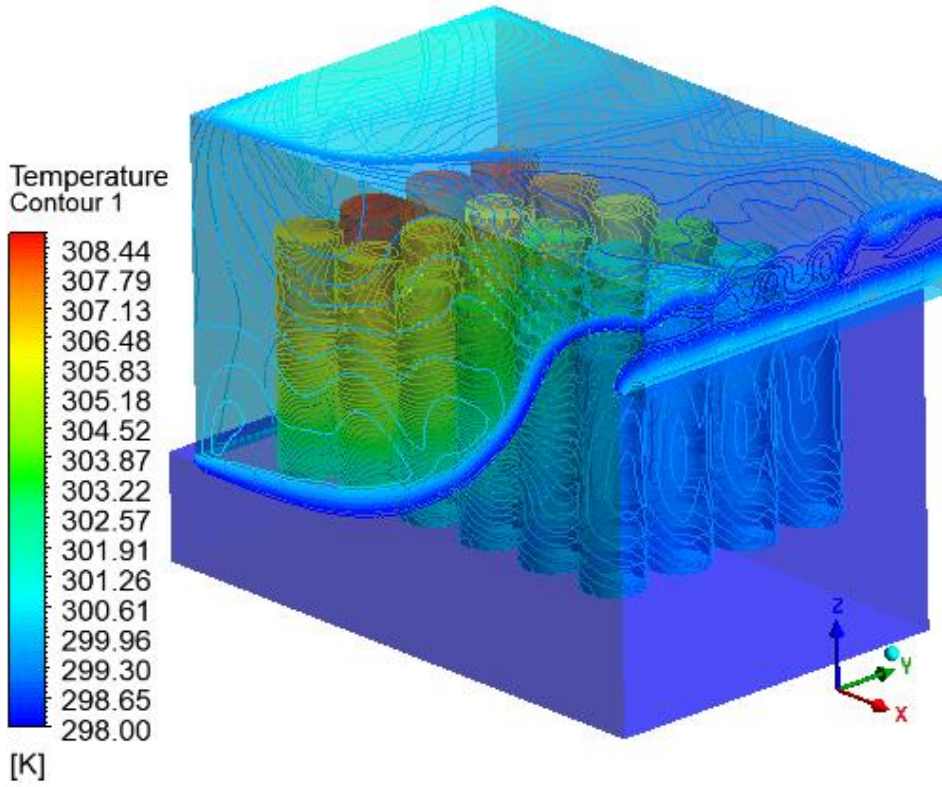
Şekil 3.151. Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı



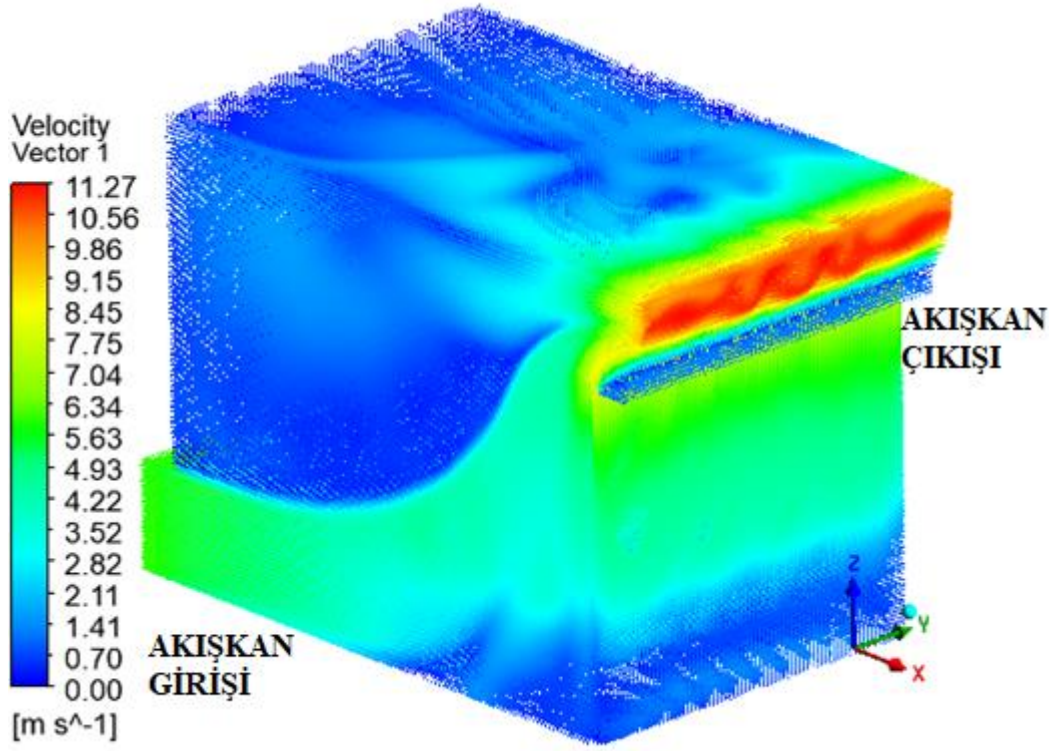
Şekil 3.152. Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)



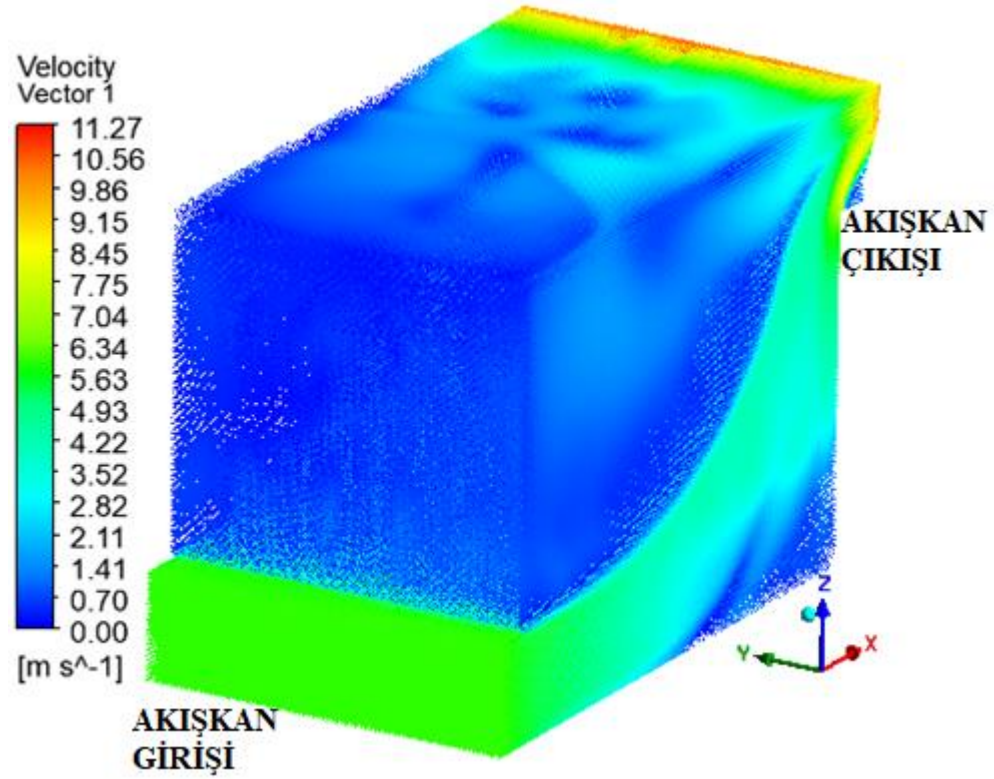
Şekil 3.153. Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı



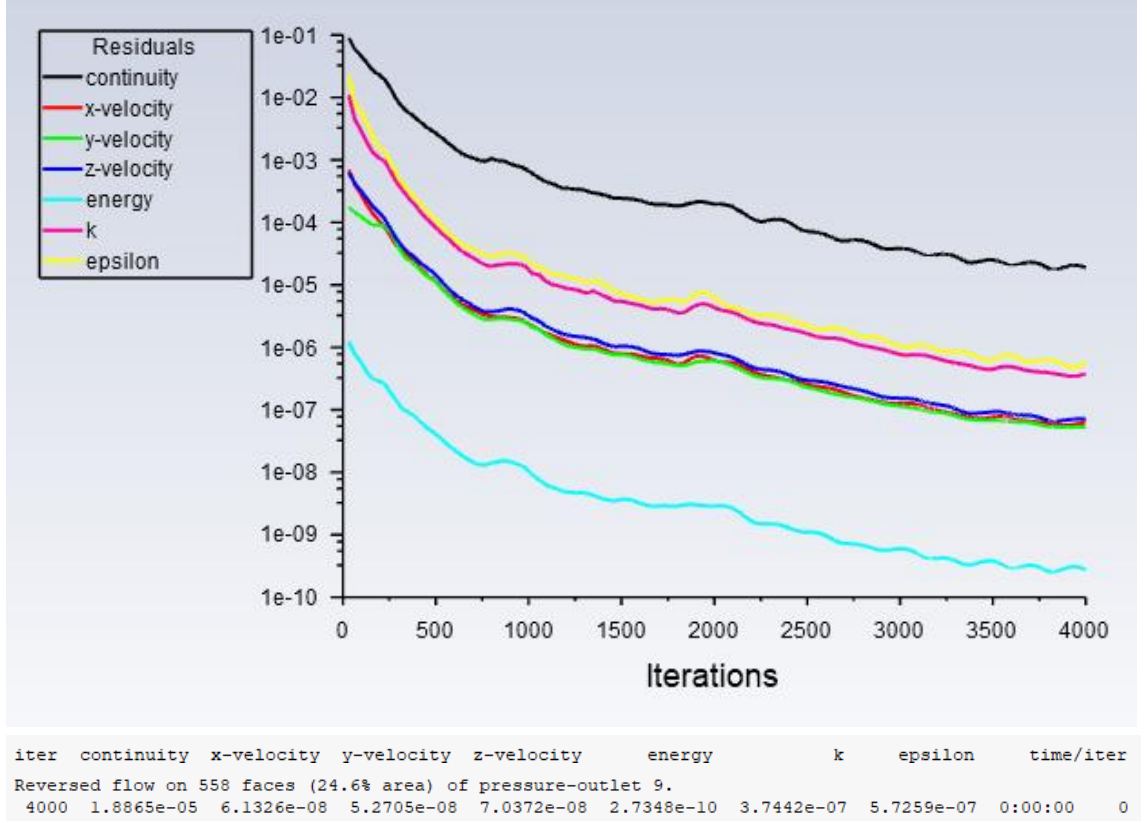
Şekil 3.154. Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)



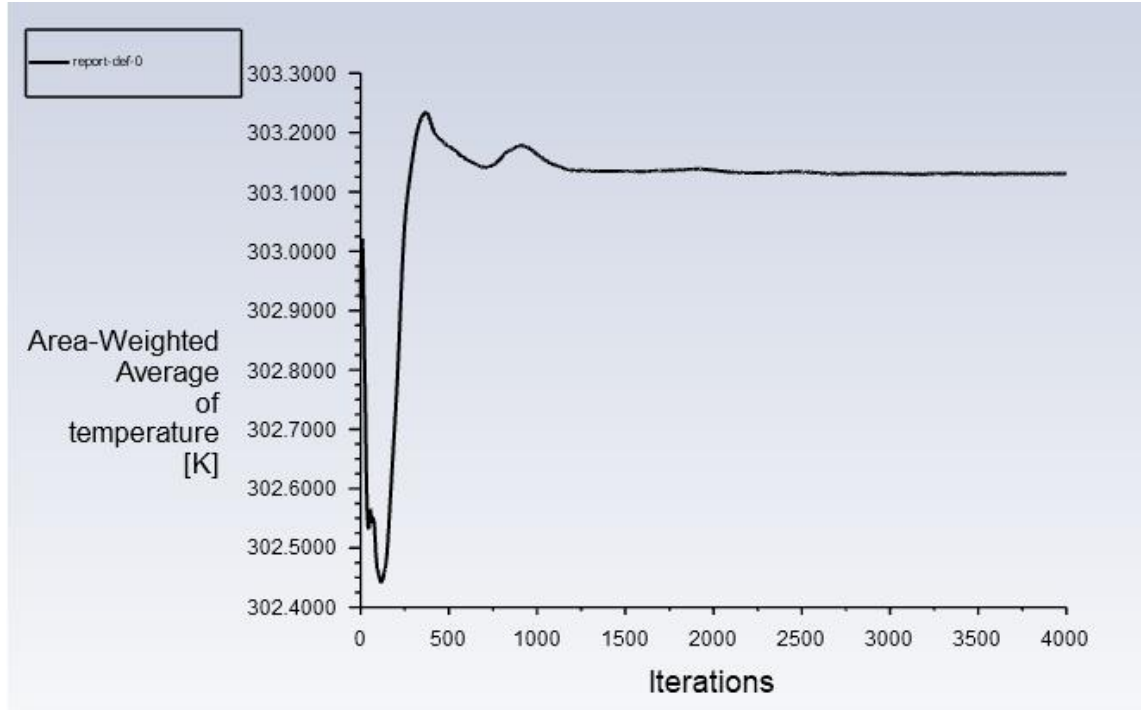
Şekil 3.155. Durum bir için modül içerisindeki hız dağılımı



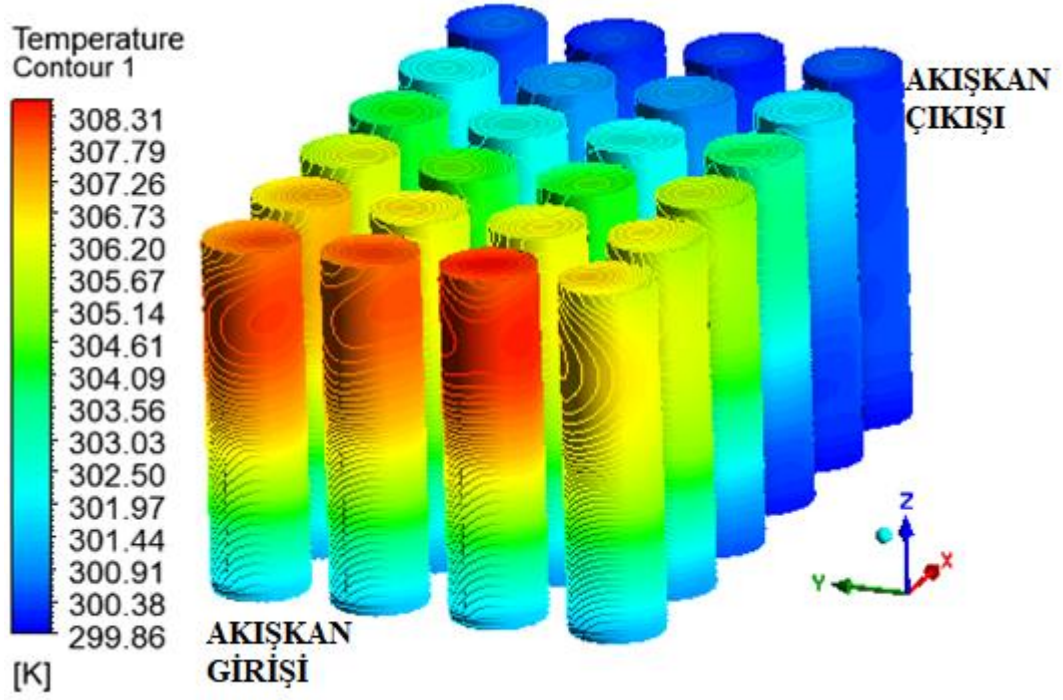
Şekil 3.156. Durum bir için modül içerisindeki hız dağılımı



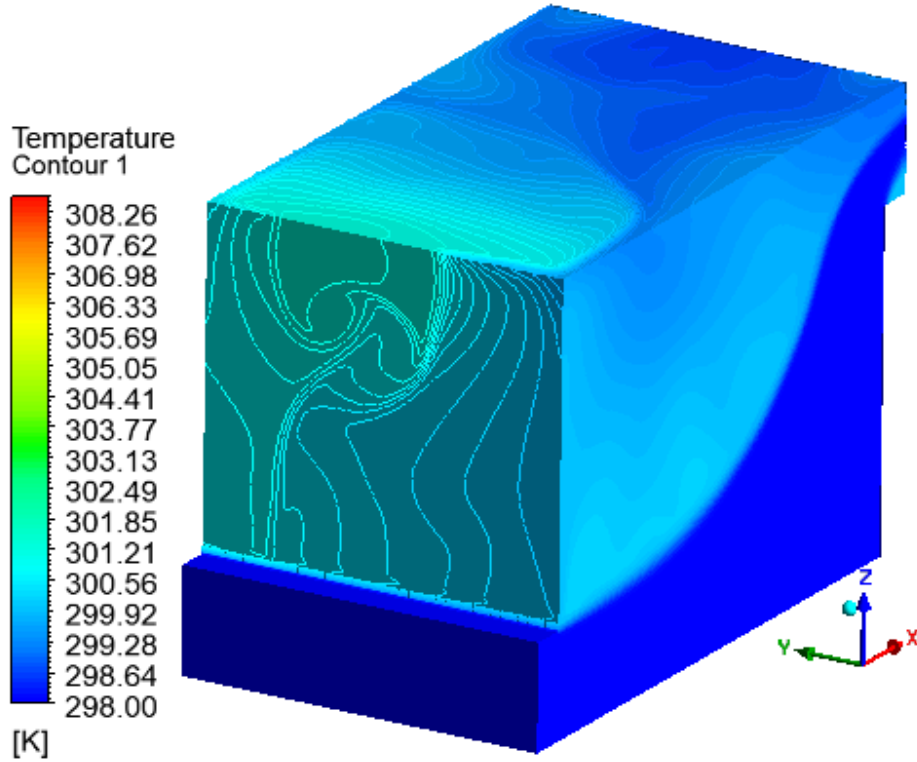
Şekil 3.157. Durum bir sık ağ için iterasyon grafiği (4000 iterasyon için)



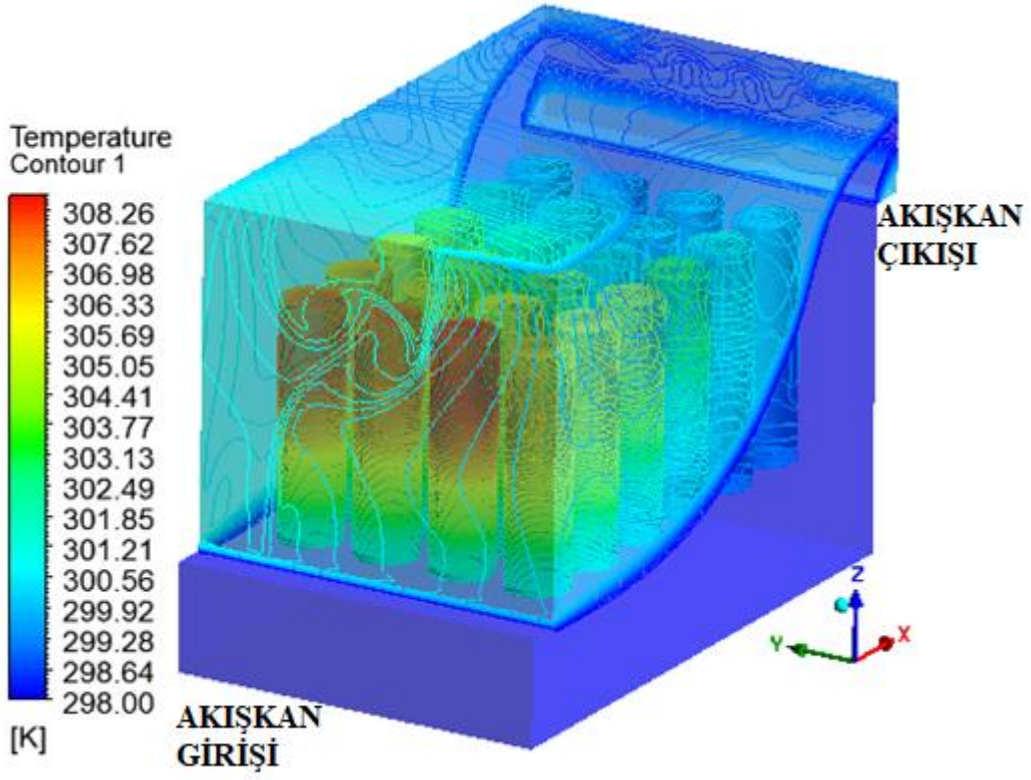
Şekil 3.158. Durum bir sık ağ için bataryanın içerisindeki ve yüzeyindeki ortalama sıcaklık grafiği



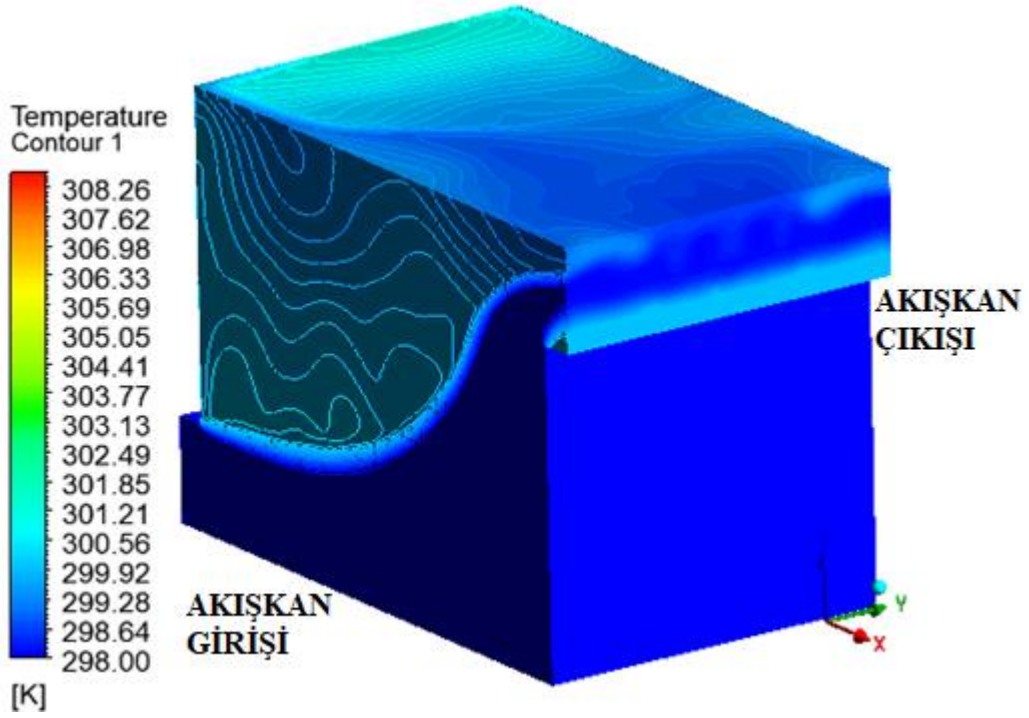
Şekil 3.159. Durum bir sık ağ için batarya yüzeyindeki lokal sıcaklık dağılımı



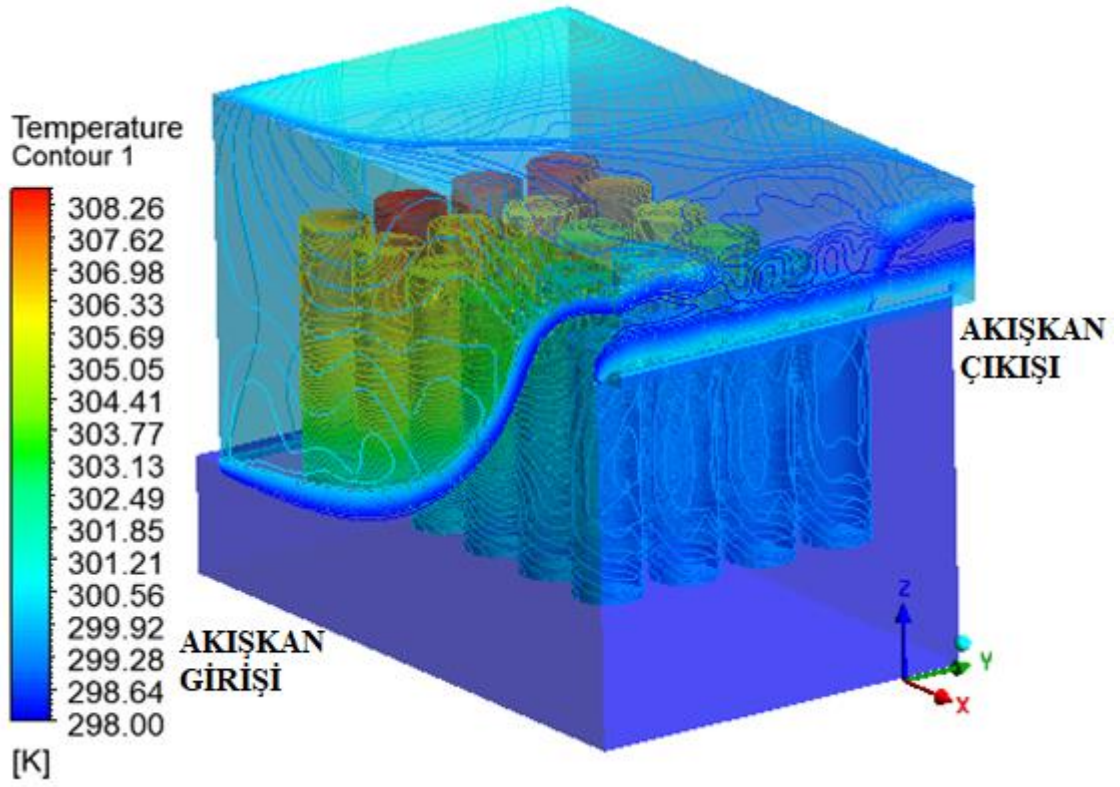
Şekil 3.160. Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı



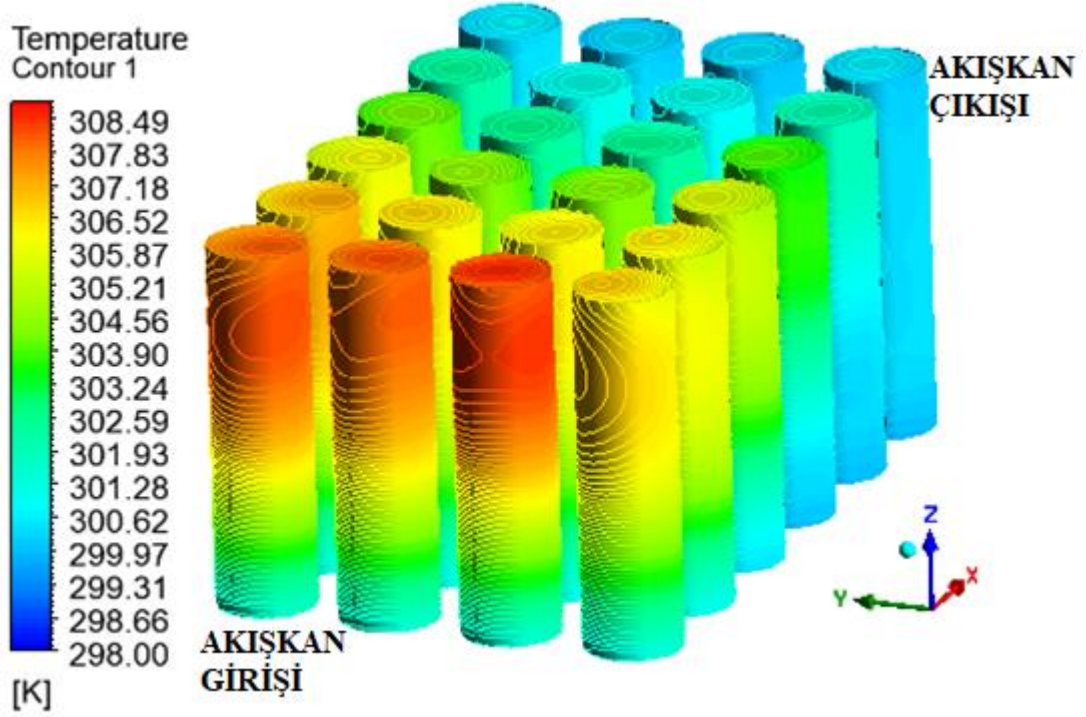
Şekil 3.161. Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)



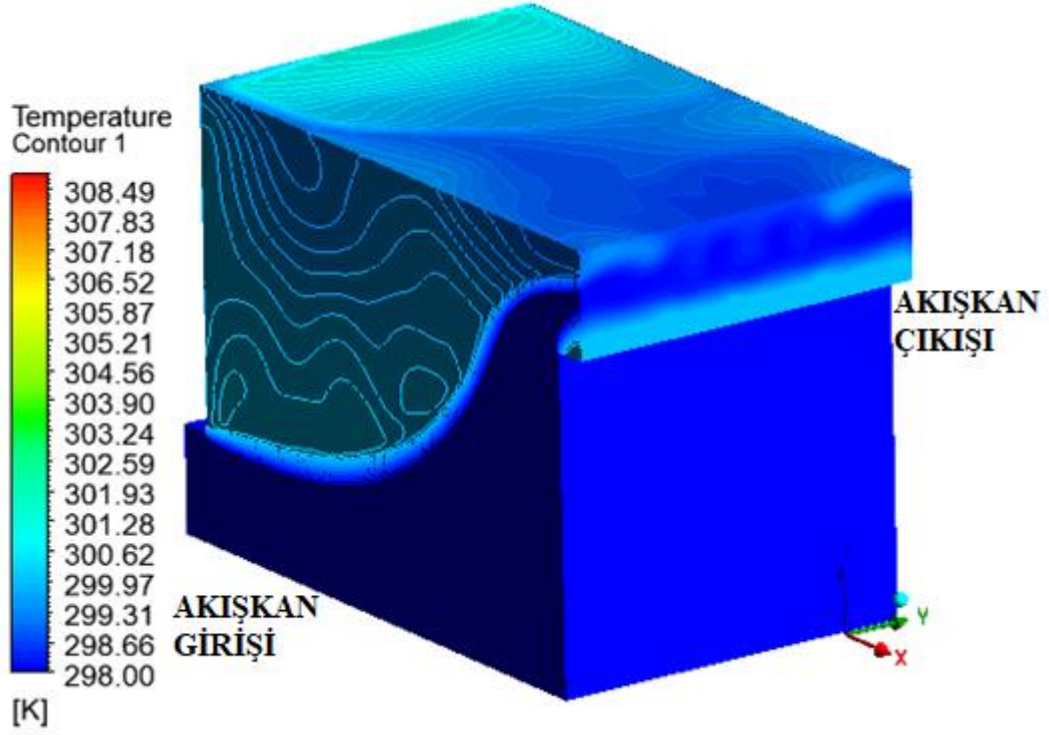
Şekil 3.162. Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı



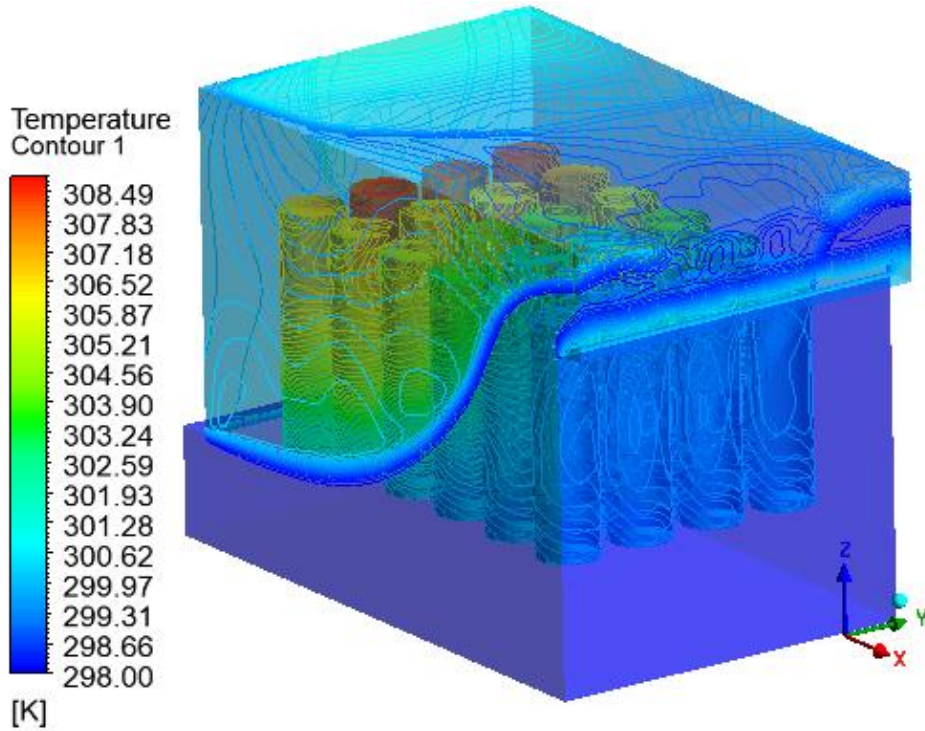
Şekil 3.163. Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)



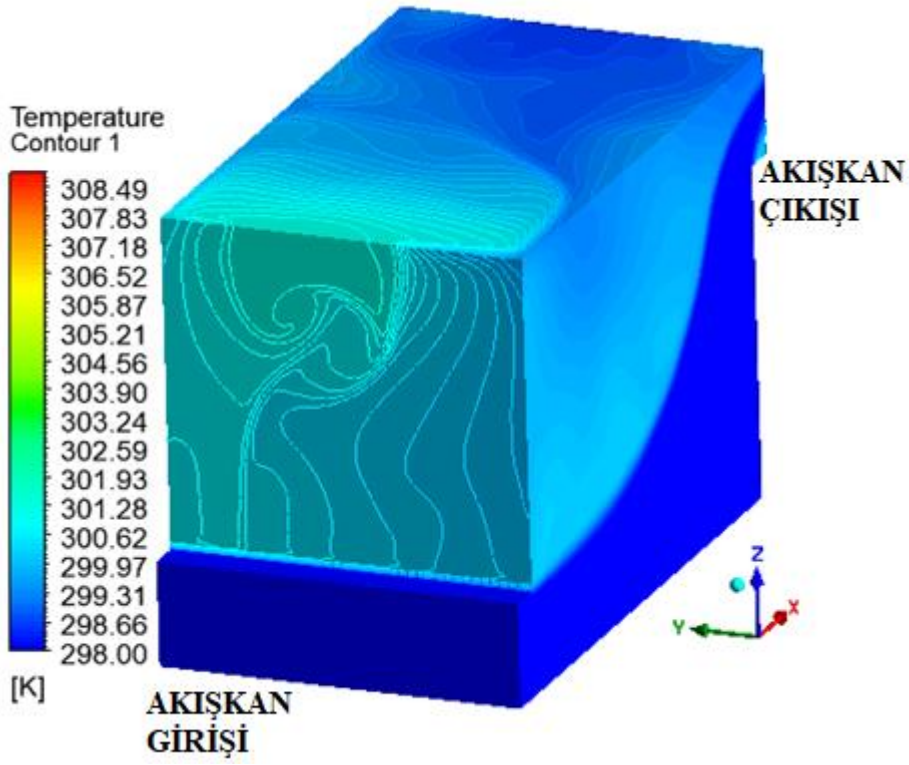
Şekil 3.164. Durum bir sık ağ için batarya yüzeyindeki global sıcaklık dağılımı



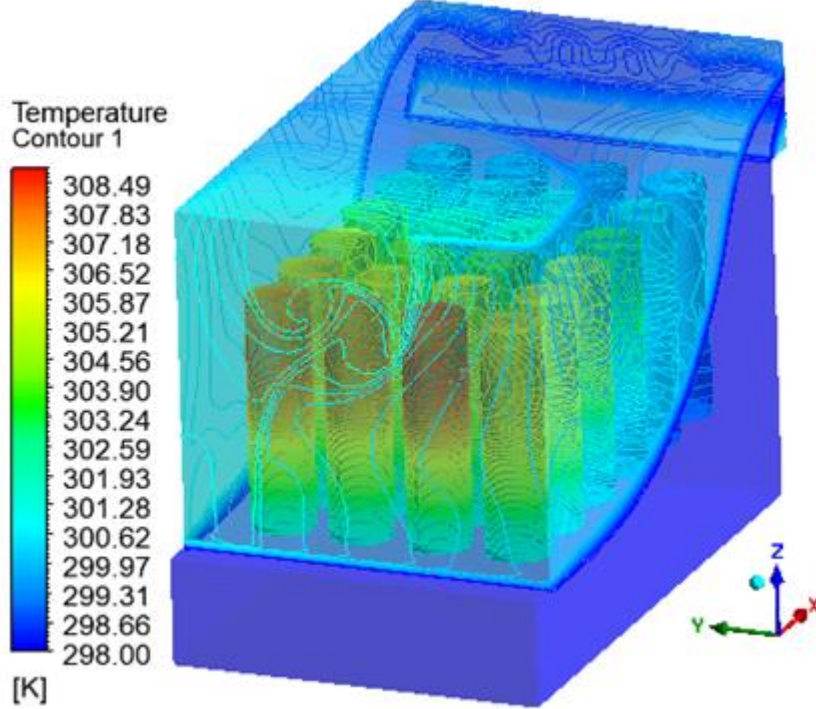
Şekil 3.165. Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı



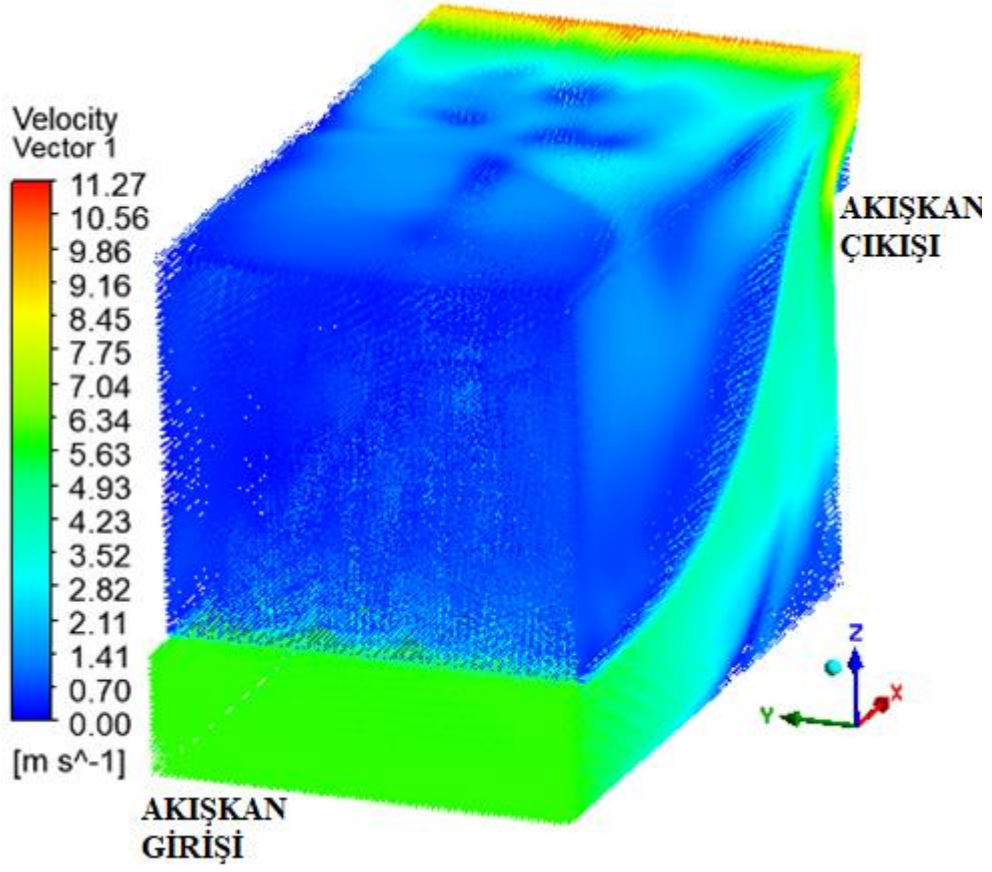
Şekil 3.166. Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)



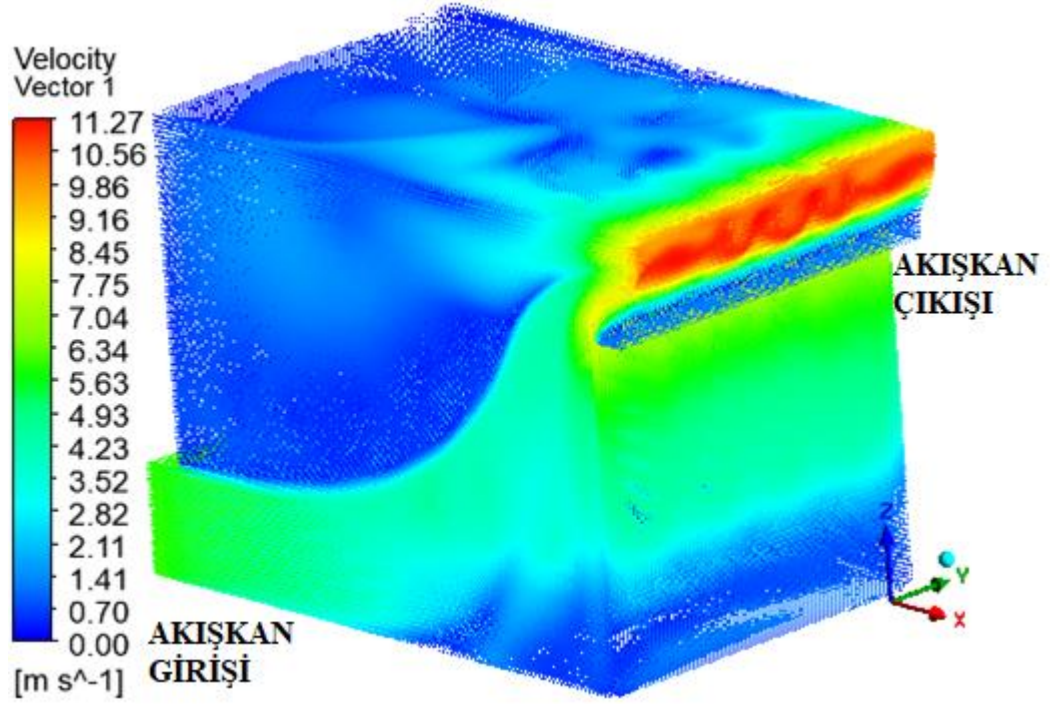
Şekil 3.167. Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı



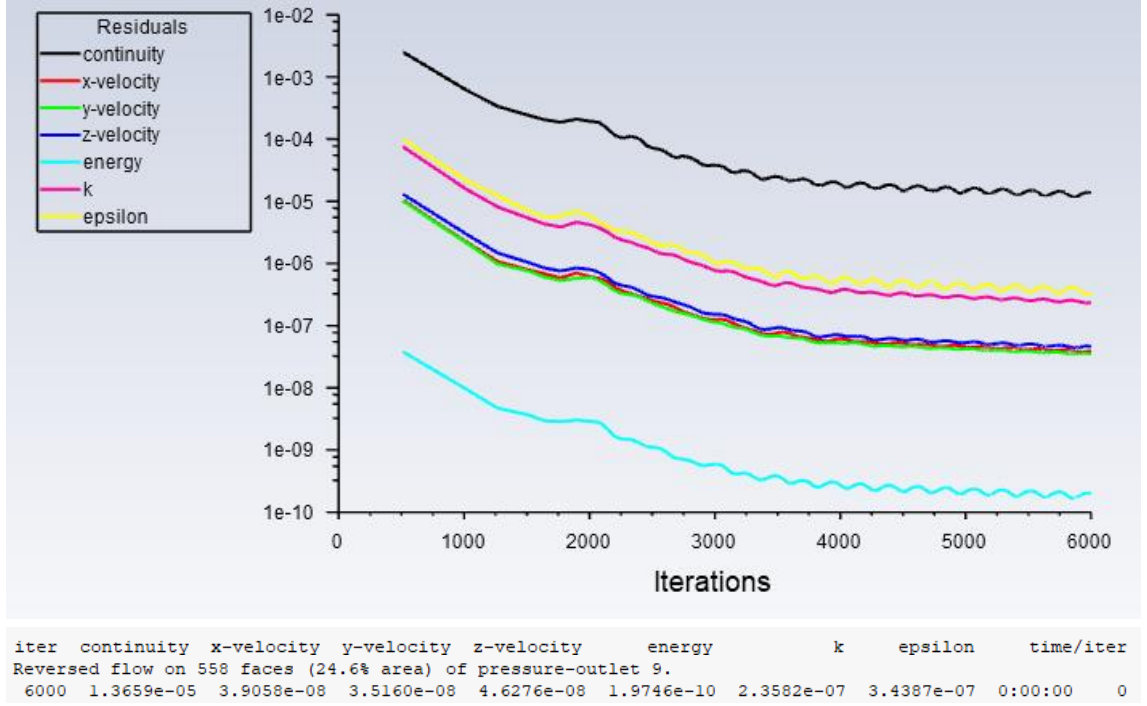
Şekil 3.168. Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)



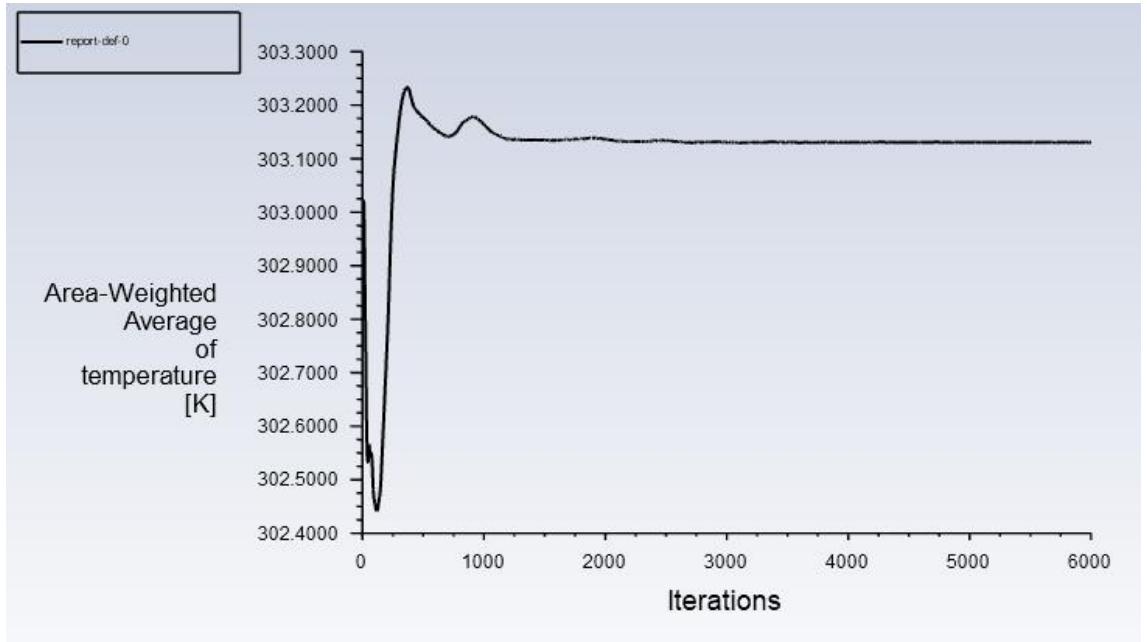
Şekil 3.169. Durum bir için modül içerisindeki hız dağılımı



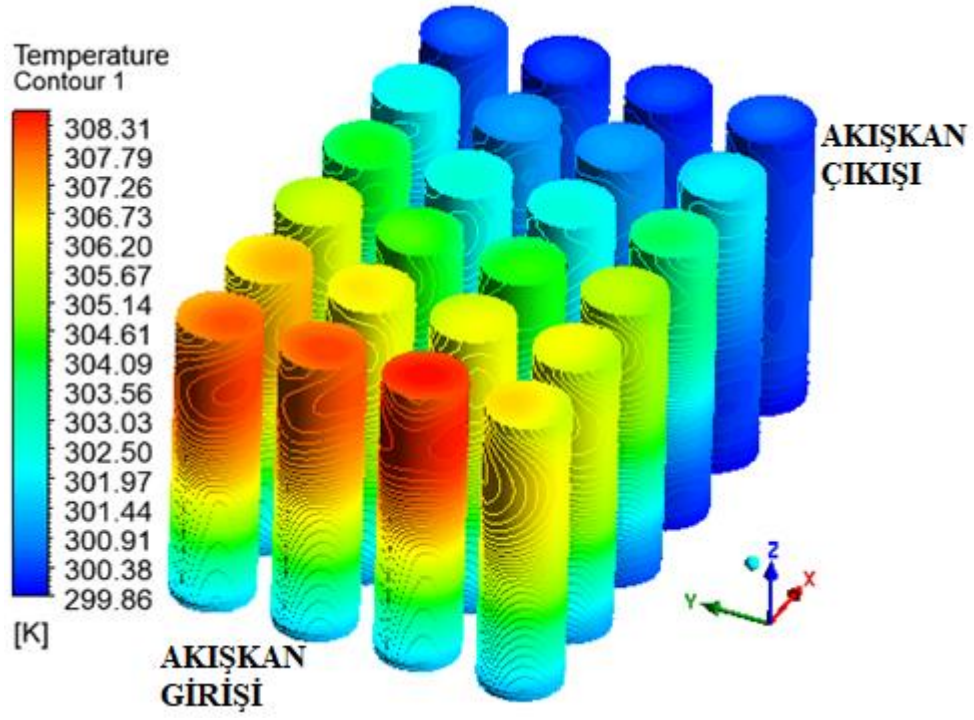
Şekil 3.170. Durum bir için modül içerisindeki hız dağılımı



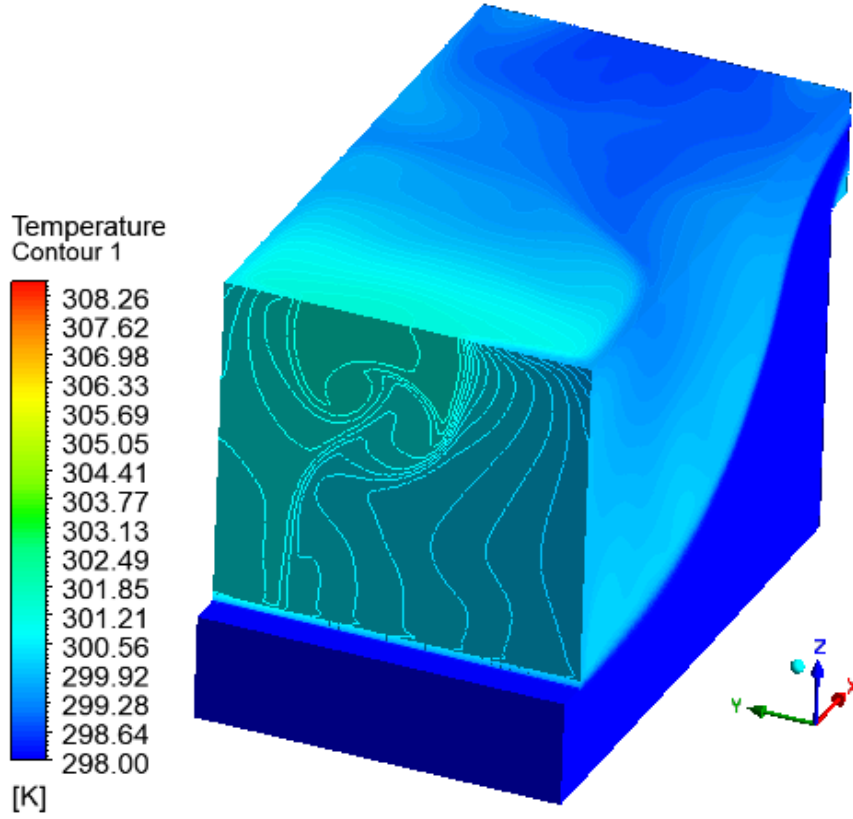
Şekil 3.171. Durum bir sık ağ için iterasyon grafiği (6000 iterasyon için)



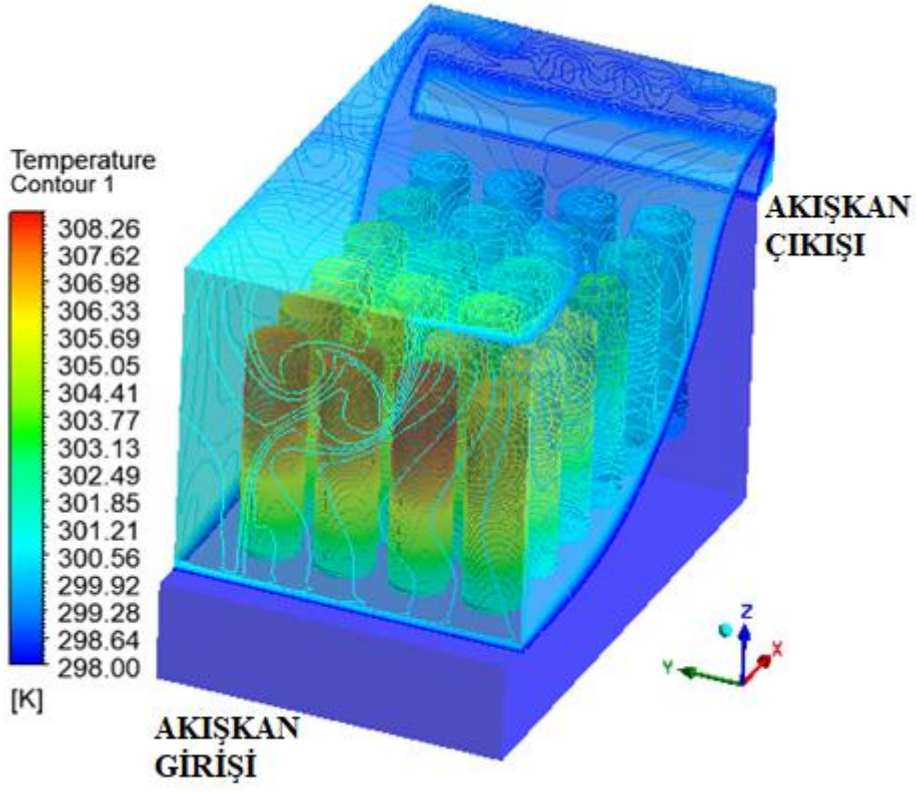
Şekil 3.172. Durum bir sık ağ için bataryanın içerisindeki ve yüzeyindeki ortalama sıcaklık grafiği



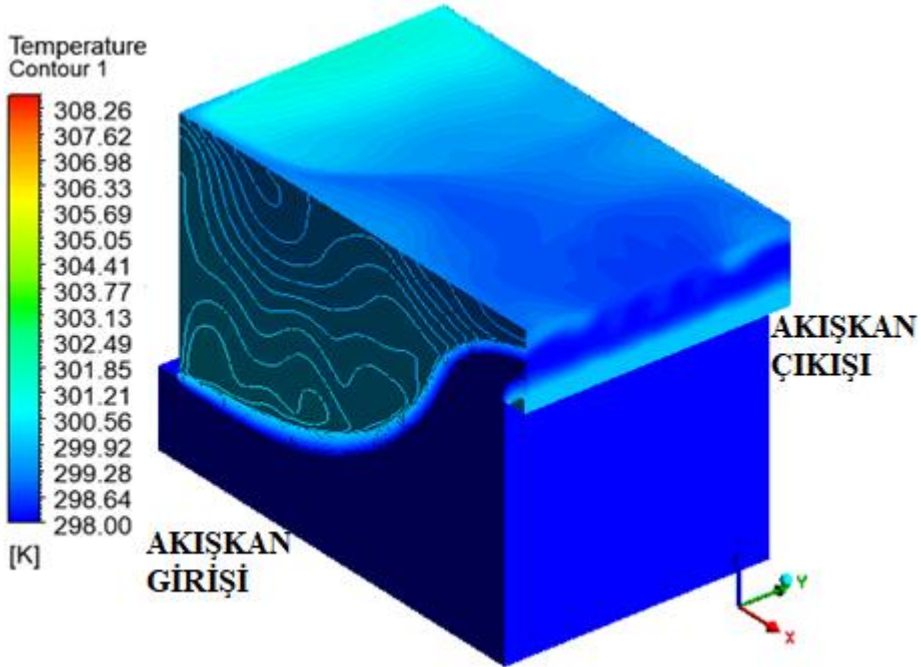
Şekil 3.173. Durum bir sık ağ için batarya yüzeyindeki lokal sıcaklık dağılımı



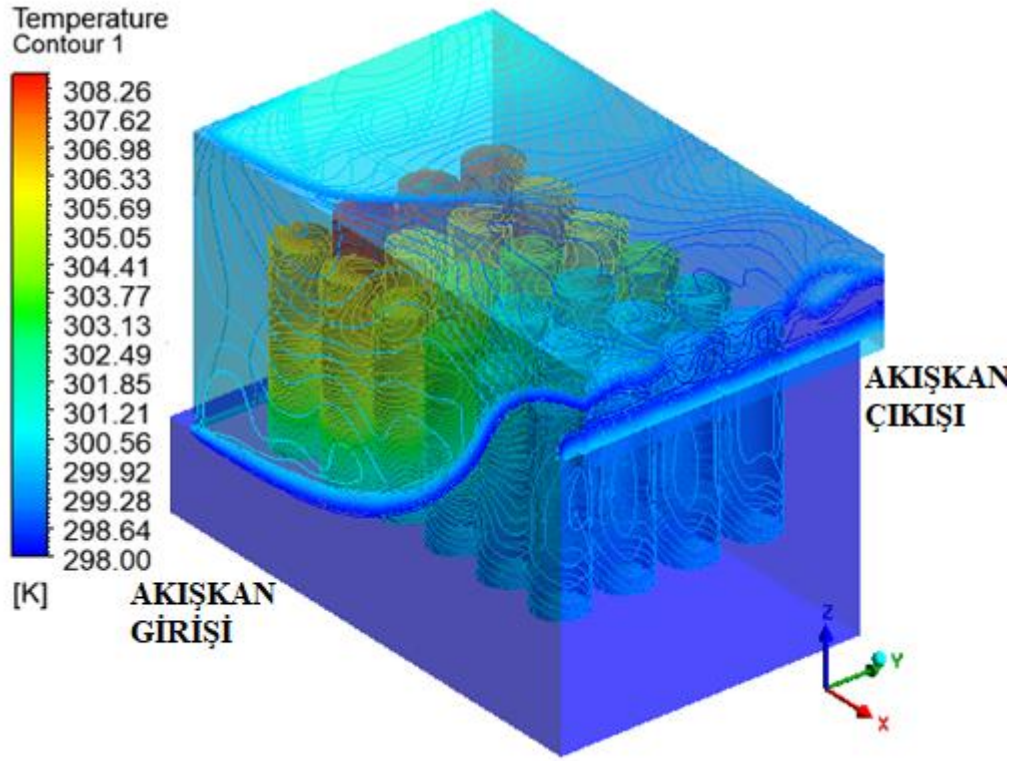
Şekil 3.174. Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı



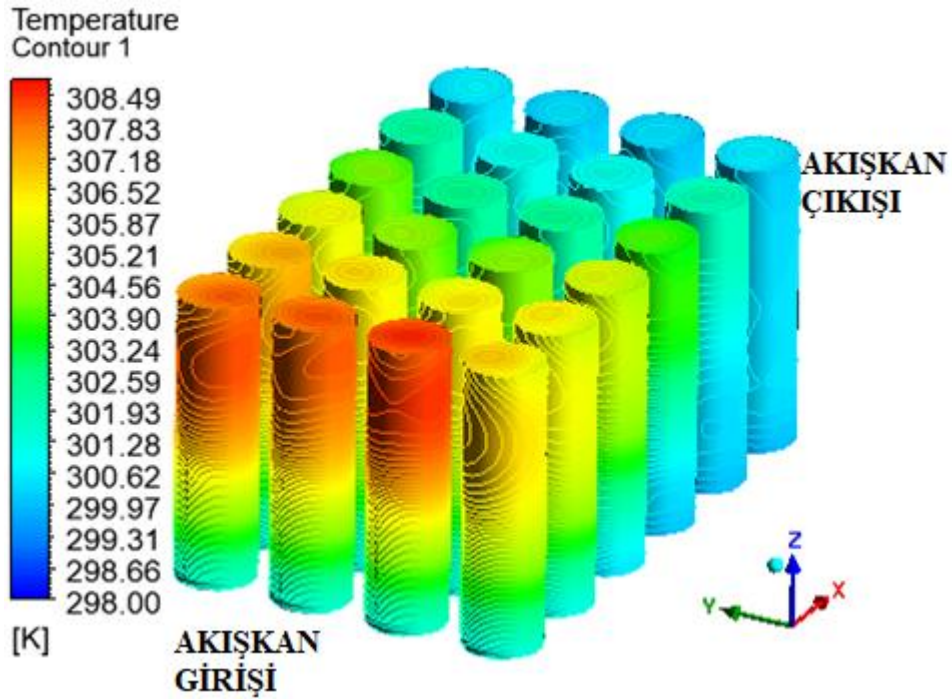
Şekil 3.175. Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)



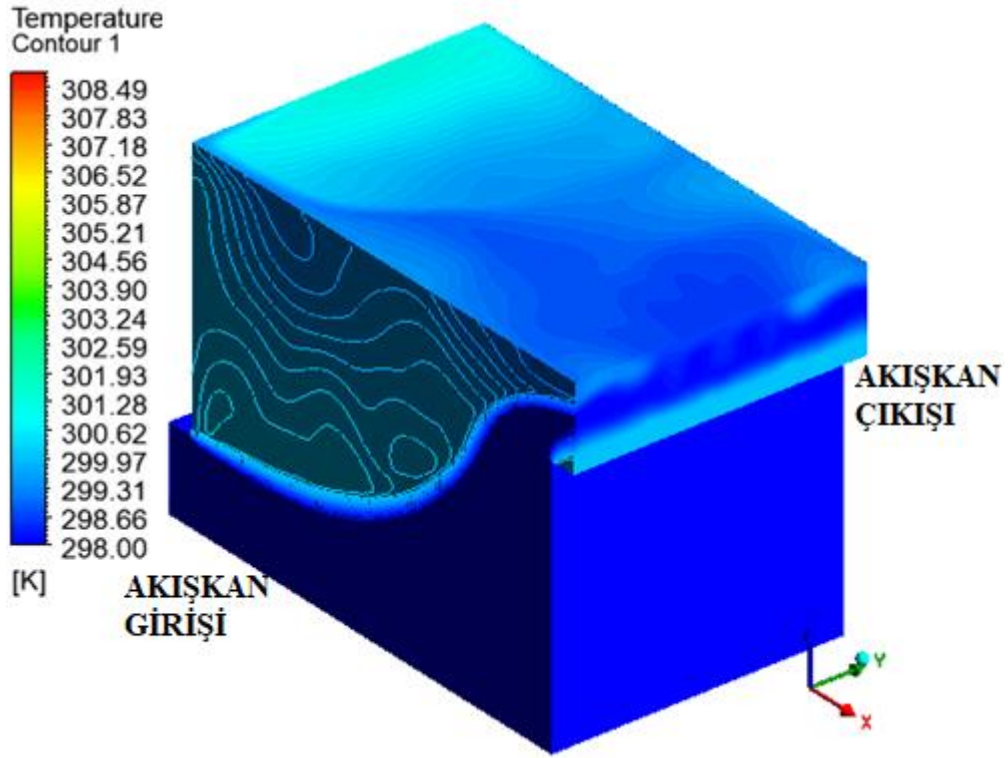
Şekil 3.176. Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı



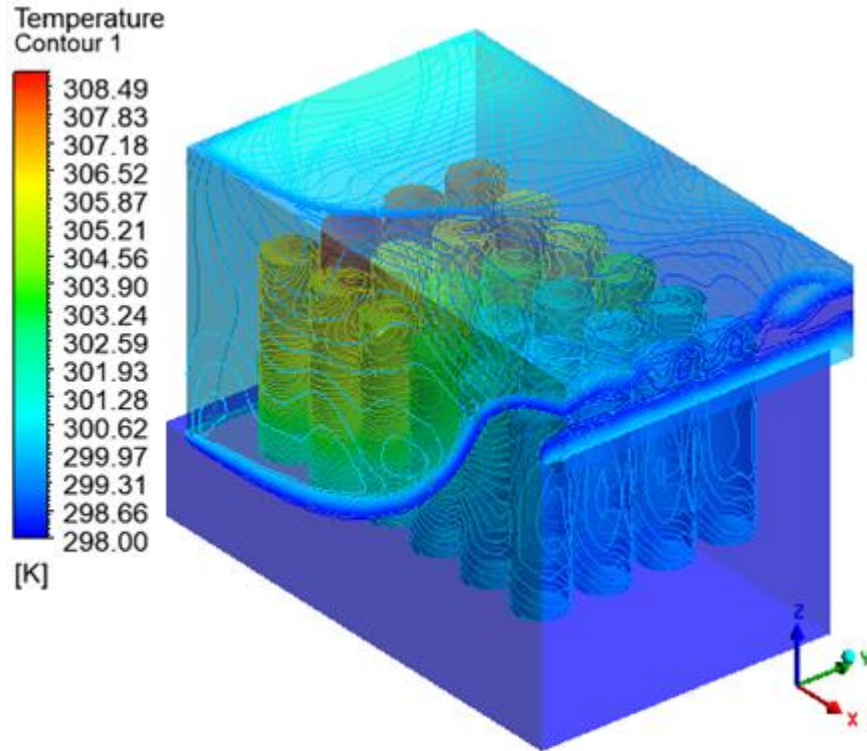
Şekil 3.177. Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın lokal sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)



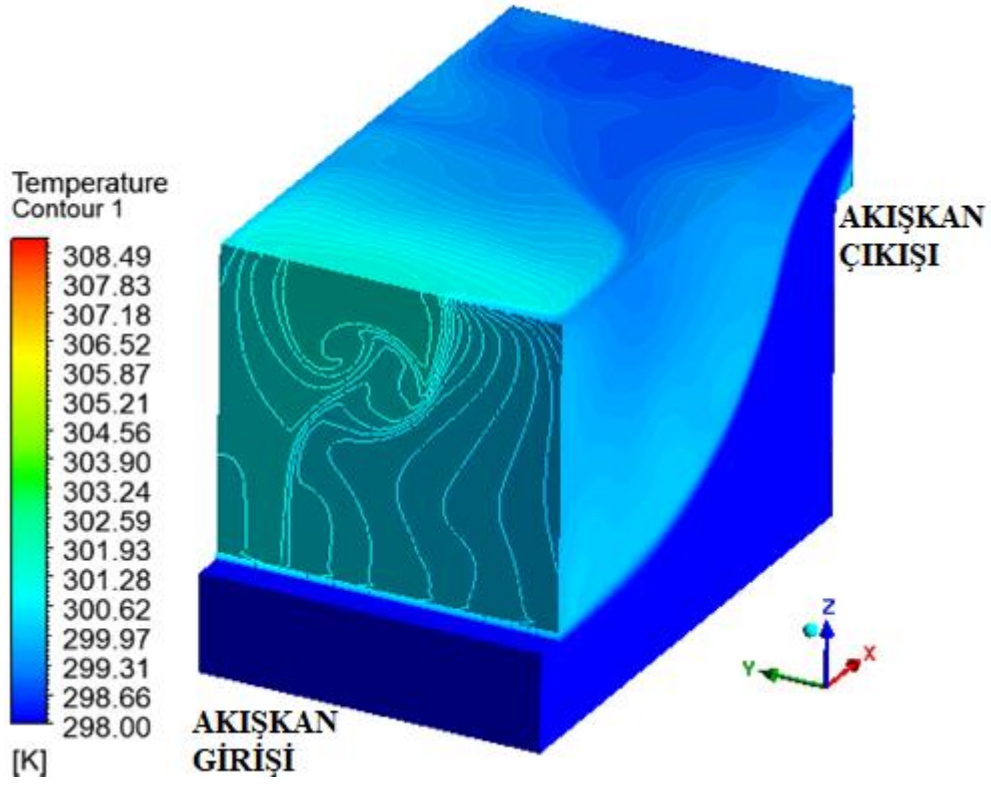
Şekil 3.178. Durum bir sık ağ için batarya yüzeyindeki global sıcaklık dağılımı



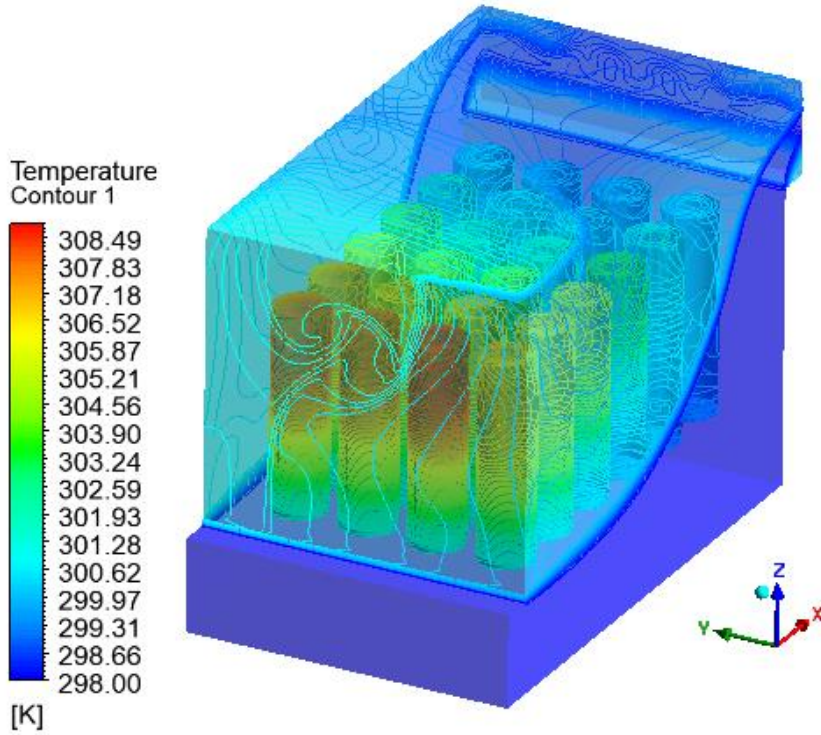
Şekil 3.179. Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı



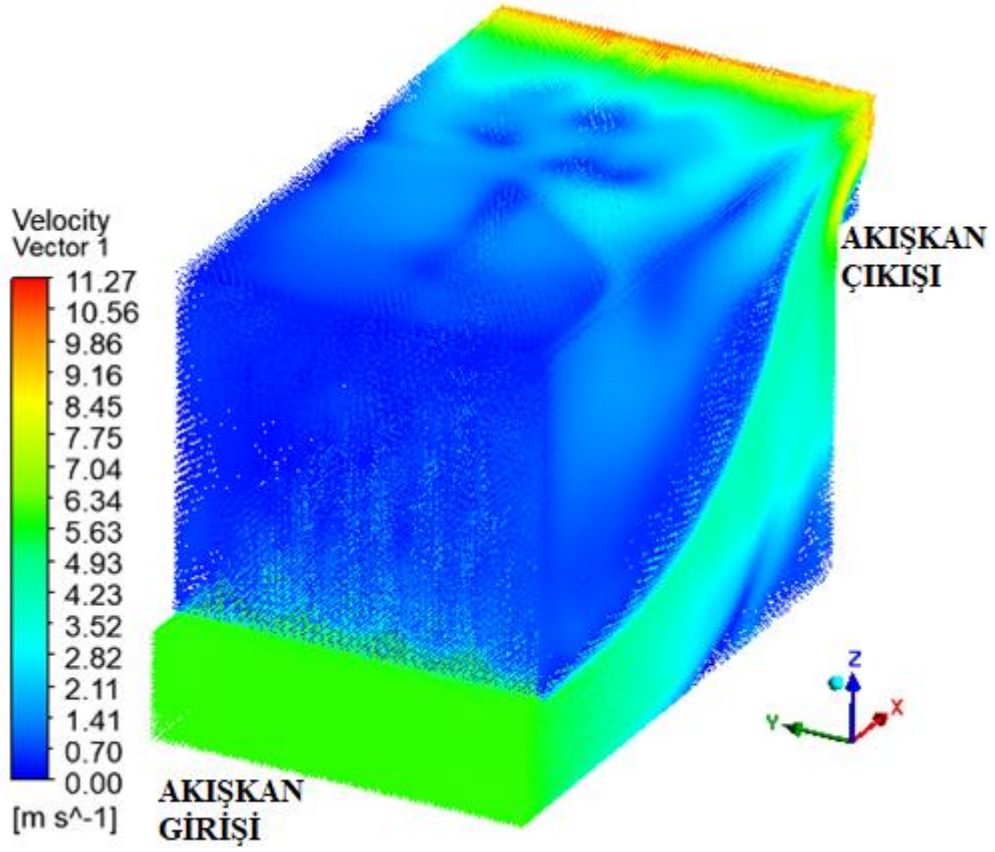
Şekil 3.180. Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)



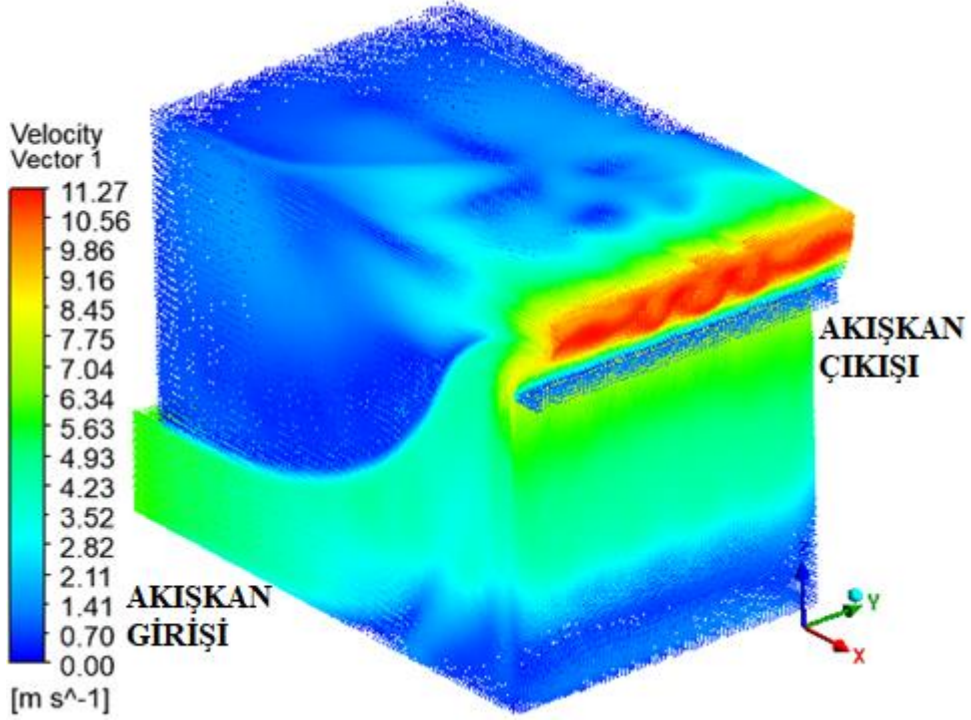
Şekil 3.181. Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı



Şekil 3.182. Durum bir sık ağ için modül içerisindeki akışkanın global sıcaklık dağılımı (transparan görünüm)



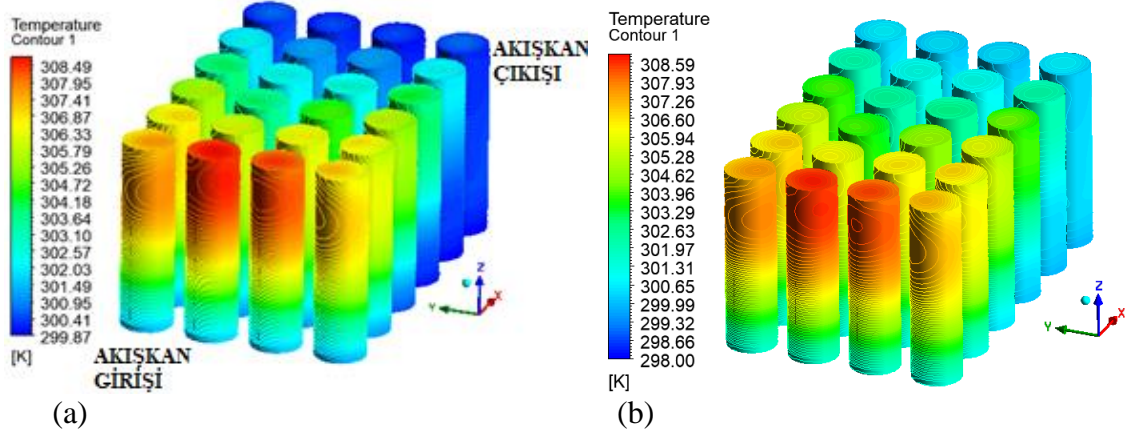
Şekil 3.183. Durum bir için modül içerisindeki hız dağılımı



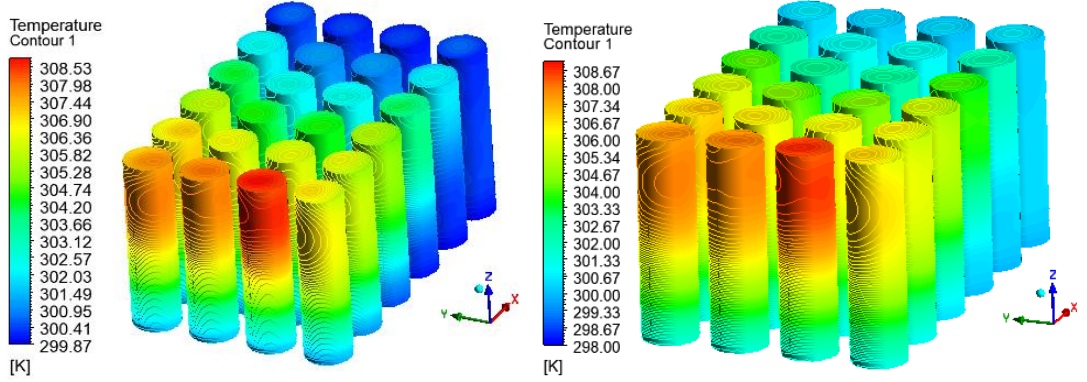
Şekil 3.184. Durum bir için modül içerisindeki hız dağılımı

Tüm kaba, orta ve sık ağda gerçekleştirilen çözümlerden sonra batarya içerisinde meydana gelen ve akış hacmi içerisinde meydana gelen akışkanın sıcaklık dağılımı kontörleri yukarıda gösterilmiştir. Detaylı olarak bakılmak istendiğinde yukarıda bulunabilir.

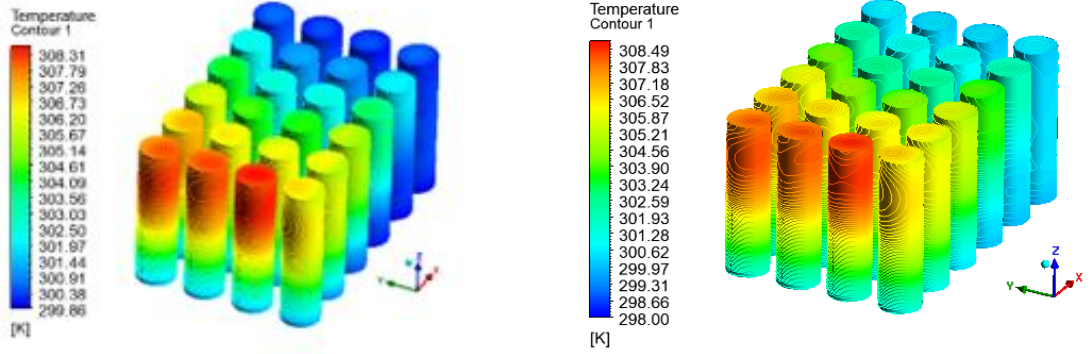
Burada karşılaştırma yapabilmek için kaba orta ve sık ağ yapısında batarya içerisindeki sıcaklık dağılımı aşağıda tekrar gruplandırılmıştır.



Şekil 3.185. Kaba ağ yapısındaki batarya yüzey sıcaklık dağılımları (a) lokal (b) global

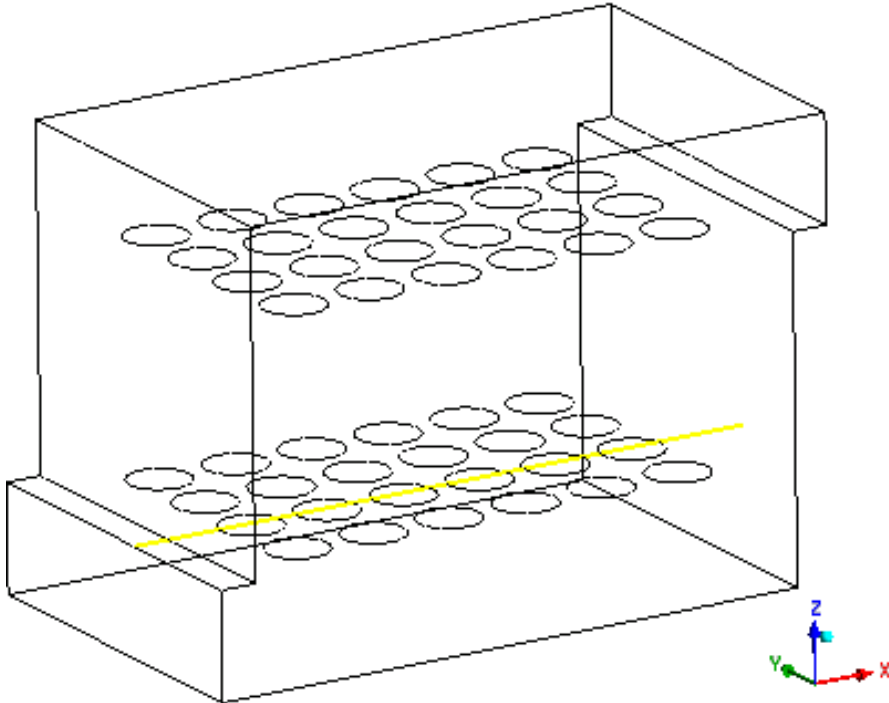


Şekil 3.186. Orta ağ yapısındaki batarya yüzey sıcaklık dağılımları (a) lokal (b) global

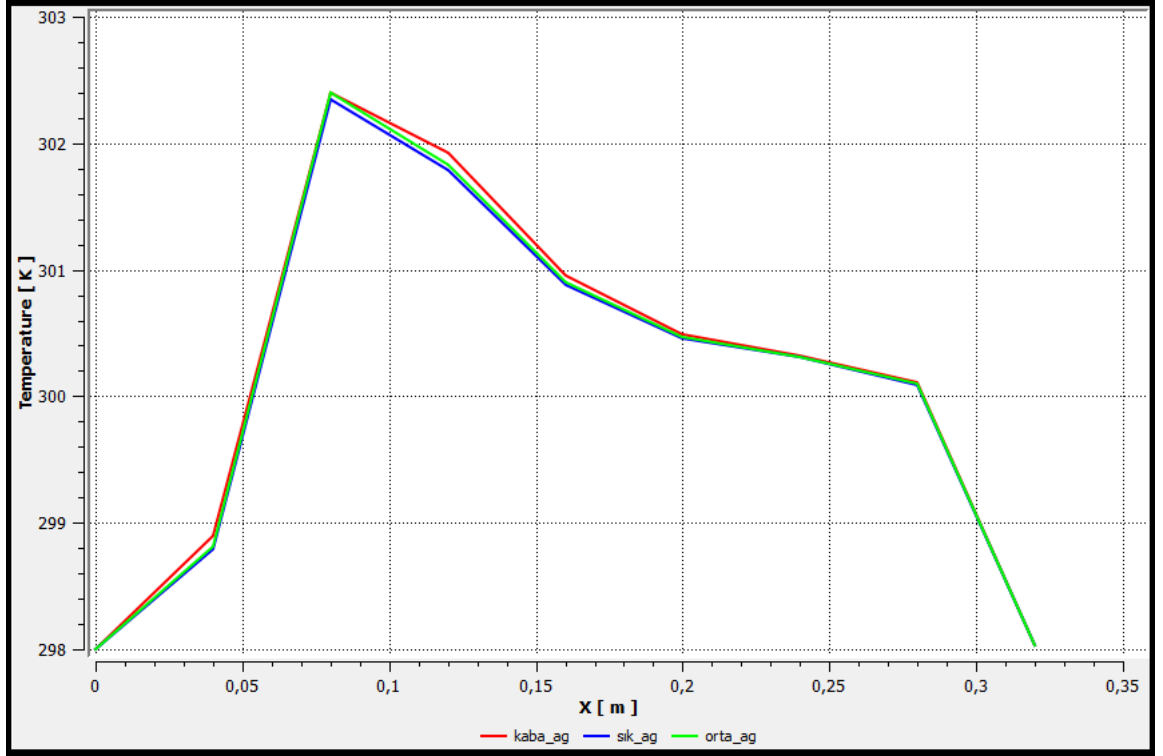


Şekil 3.187. Sık ağ yapısındaki batarya yüzey sıcaklık dağılımları (a) lokal (b) global

Görüldüğü gibi tüm ağ yapılarında sıcaklık dağılımları arasında bariz bir fark bulunmamış oldukça yakın sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca aşağıda görüldüğü üzere akış hacmi içerisinde seçilen bir bölgeden çizilen sıcaklık grafiği de aşağıdaki gibidir. Kaba, orta ve sık ağ yapısındaki sıcaklık dağılımı birbirine çok yakın çıkmıştır. Tüm bu elde edilen sonuçlardan sonra orta ağ yapısında analizlere devam edilmiştir.



Şekil 3.188. Akış hacmi içerisindeki sıcaklığın çizdirilebilmesi için kullanılan çizgi

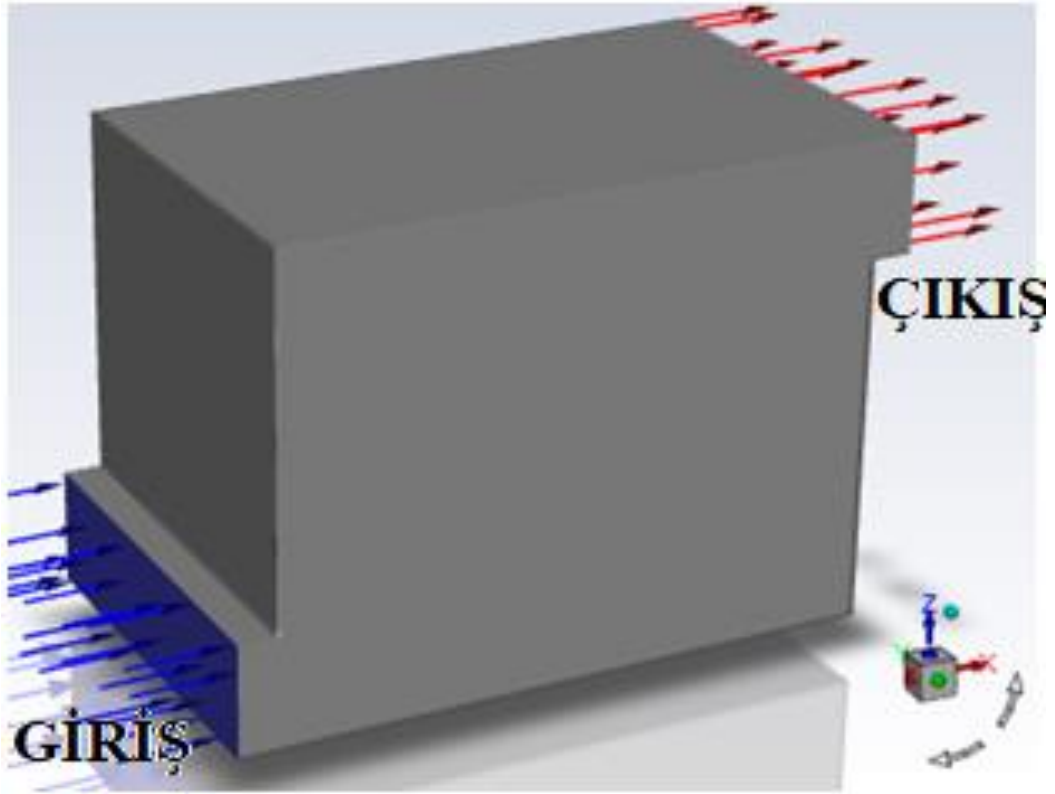


Şekil 3.189. Akış hacmi içerisindeki sıcaklığın kaba, orta ve sık ağda elde edilen sonuçları

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

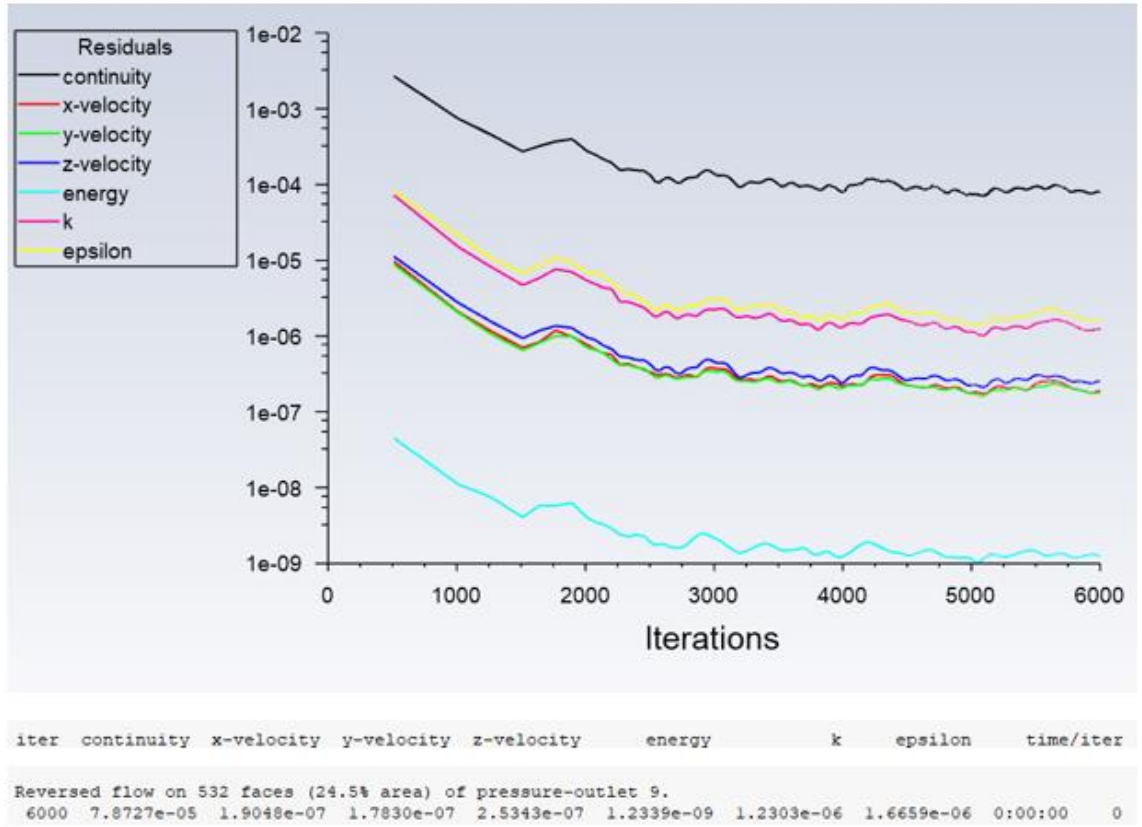
4.1. Durum 1 sabit hız için sonuçlar

Burada mavi ile gösterilen kısım akışkanın giriş kısmını diğer kırmızı oklarla gösterilen bölge ise akışkan çıkış bölgesidir. Akışkan giriş sıcaklığı 298 K 'dir. Bataryalarda ısı üretimi 551W/m^3 'tür. Analizlerde hem iletim hem taşınım dikkate alınarak iki farklı giriş çıkış durumu ve bu durumların giriş hızı sinüzoidal değişen titreşimli akış durumları incelenmiştir. Öncelikle girişin alttan çıkışın ise üstten olan sabit (6m/s) hız için olan sonuçları daha sonra sırasıyla tüm durumlar için sonuçlar gösterilmiştir.

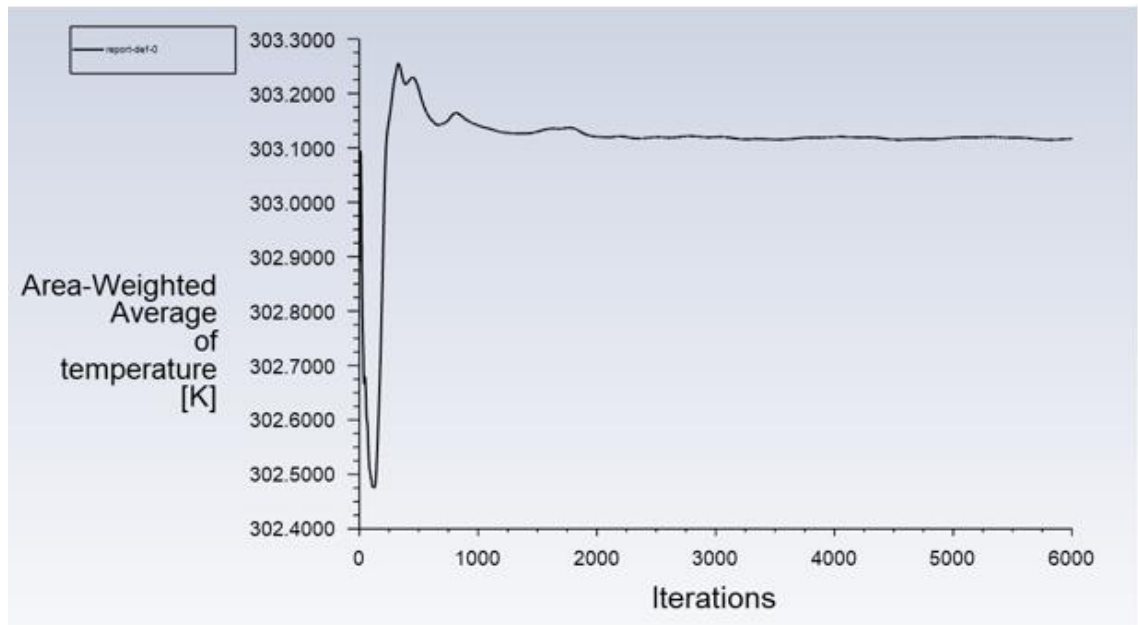


Şekil 4.1. Durum bir için akışkan giriş çıkış bölgesinin şematik gösterimi

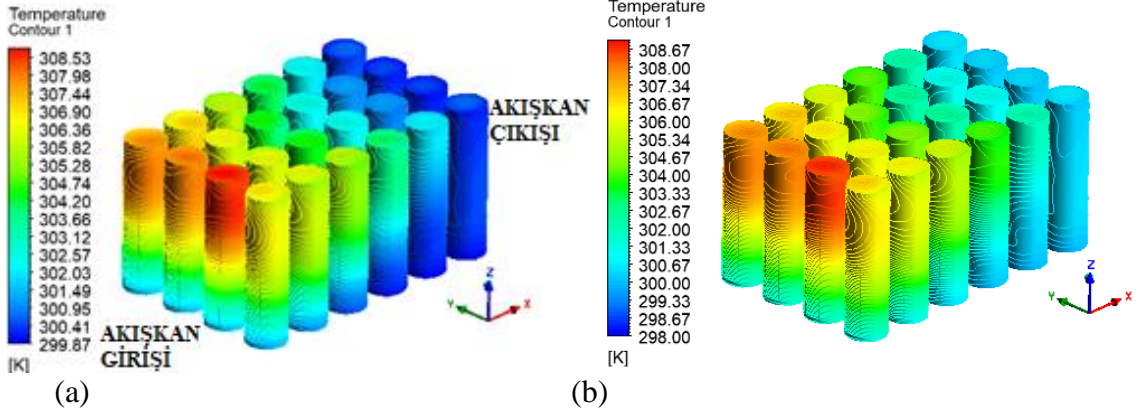
Analizde yakınsama kriterleri 10^{-8} alınarak çözdürülmüştür. Fakat istenen kriter değerlerine yakınsama sağlanamamıştır. Ancak çözüm iterasyondan bağımsız hale gelinceye kadar yeterli iterasyonda çözüm yapılmıştır.



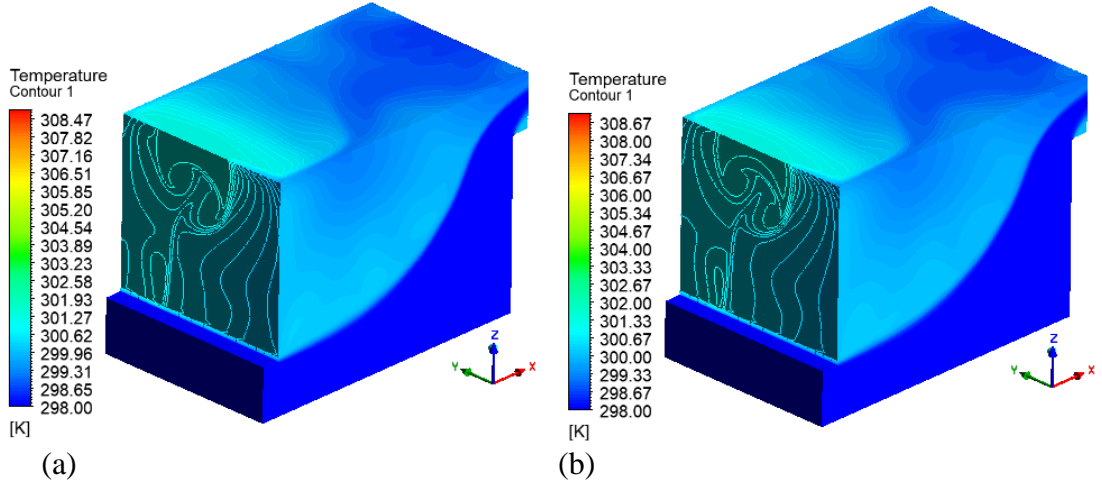
Şekil 4.2. Durum bir sabit hız için iterasyon grafiği (6000 iterasyon için)



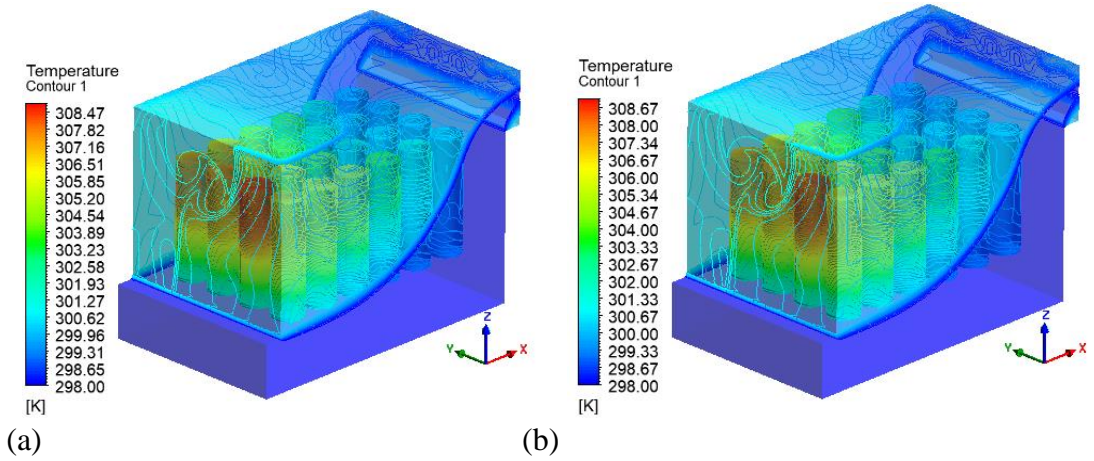
Şekil 4.3. Durum bir sabit hız için bataryanın içerisindeki ve yüzeyindeki ortalama sıcaklık grafiği



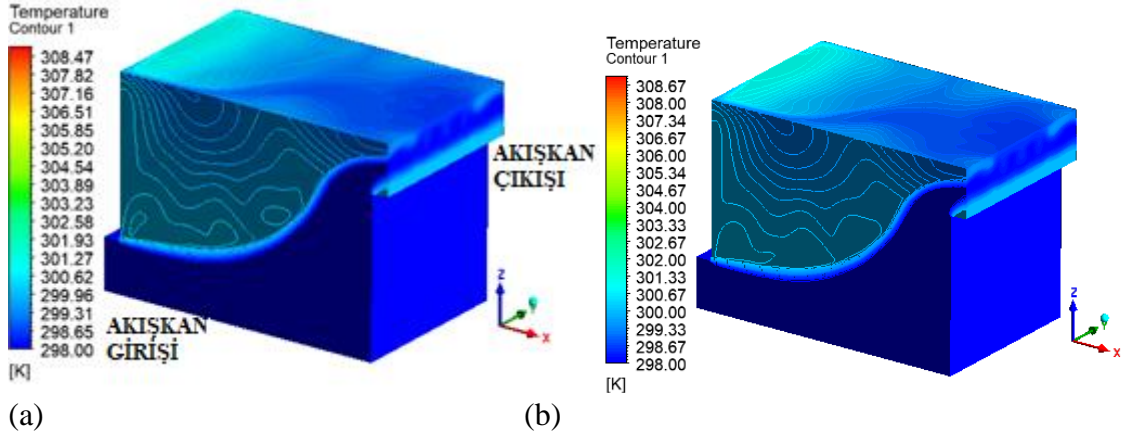
Şekil 4.4. Sabit hız 6 m/s hız için batarya yüzey sıcaklık dağılımları (a) lokal (b) global



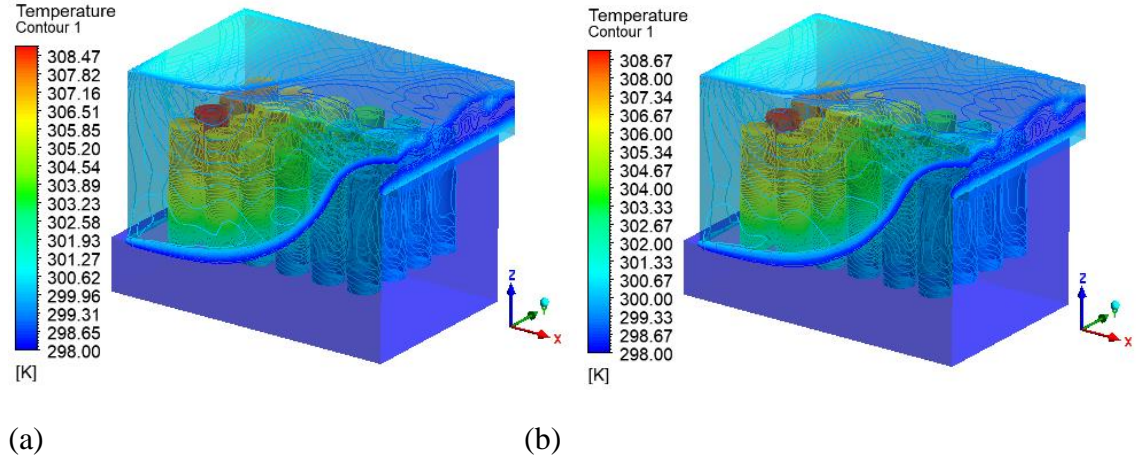
Şekil 4.5. Sabit hız 6 m/s hız için modül içerisindeki akışkanın sıcaklık dağılımı (a) lokal (b) global



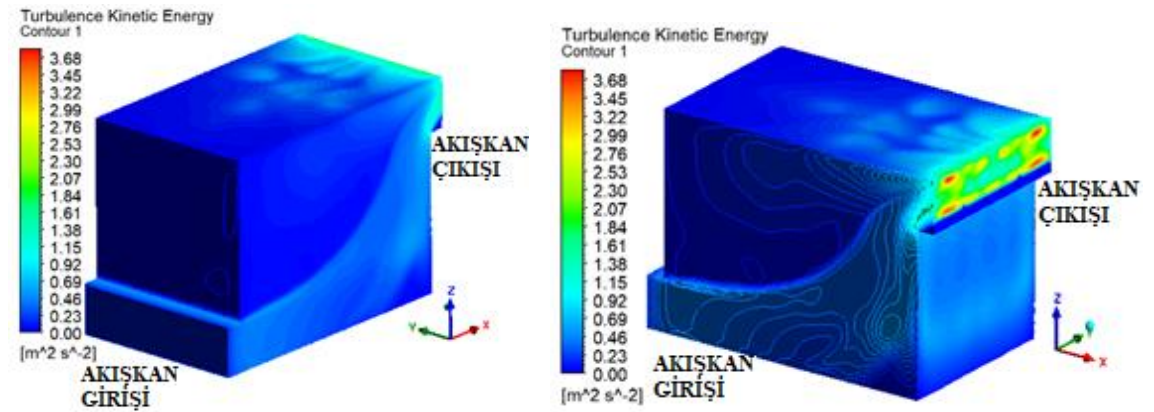
Şekil 4.6. Sabit hız 6 m/s hız için modül içerisindeki akışkanın sıcaklık dağılımının giriş tarafından gösterimi (a) lokal (b) global (transparan görünüm)



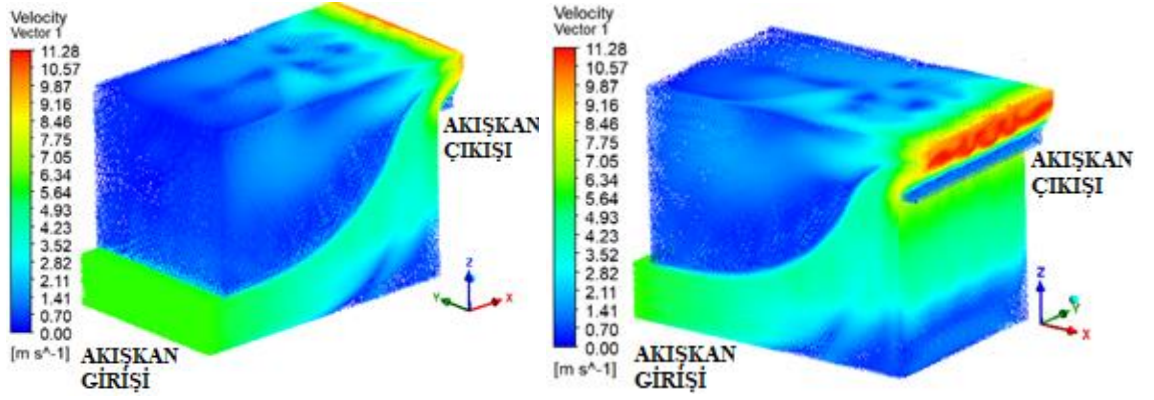
Şekil 4.7. Sabit hız 6 m/s hız için modül içerisindeki akışkanın sıcaklık dağılımının çıkış tarafından gösterimi (a) lokal (b) global



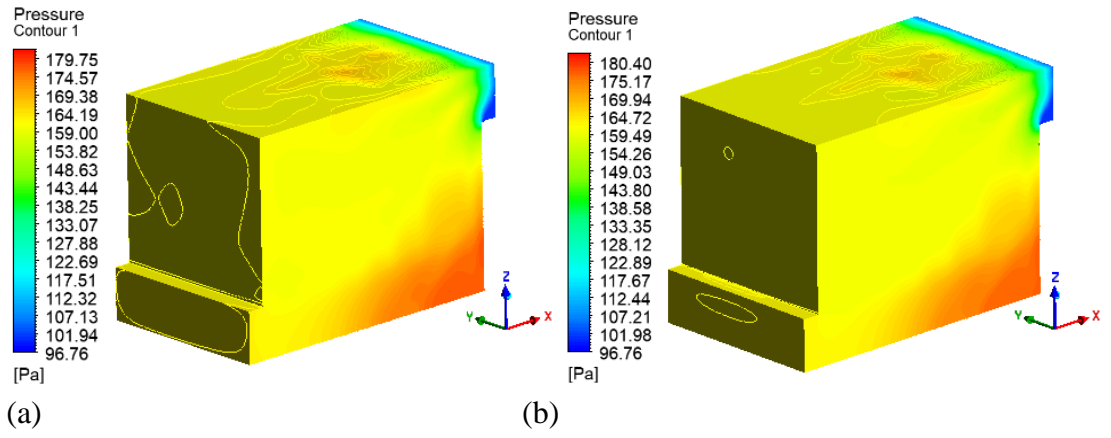
Şekil 4.8. Sabit hız 6 m/s hız için modül içerisindeki akışkanın sıcaklık dağılımının çıkış tarafından gösterimi (a) lokal (b) global (transparan görünüm)



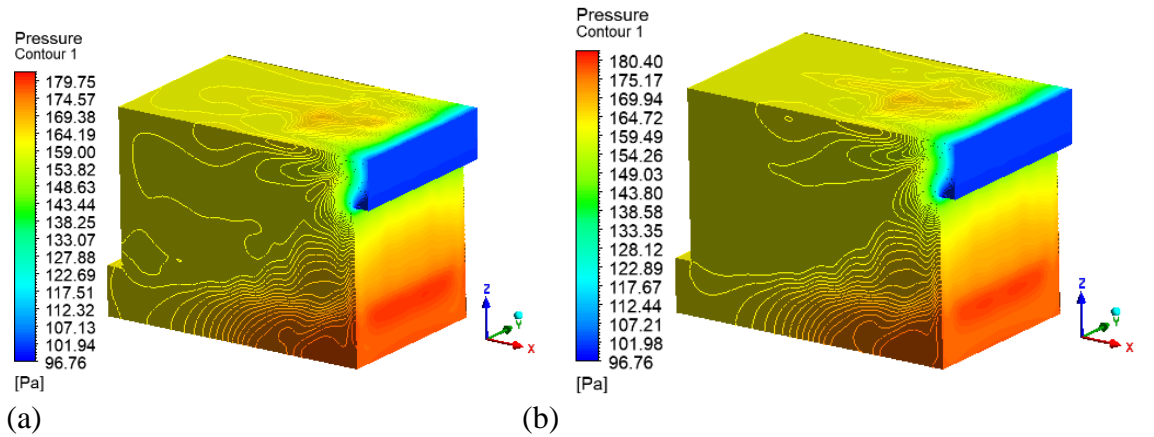
Şekil 4.9. Sabit hız 6 m/s hız için türbülans kinetik enerji



Şekil 4.10. Sabit hız 6 m/s modül içerisindeki hız dağılımı

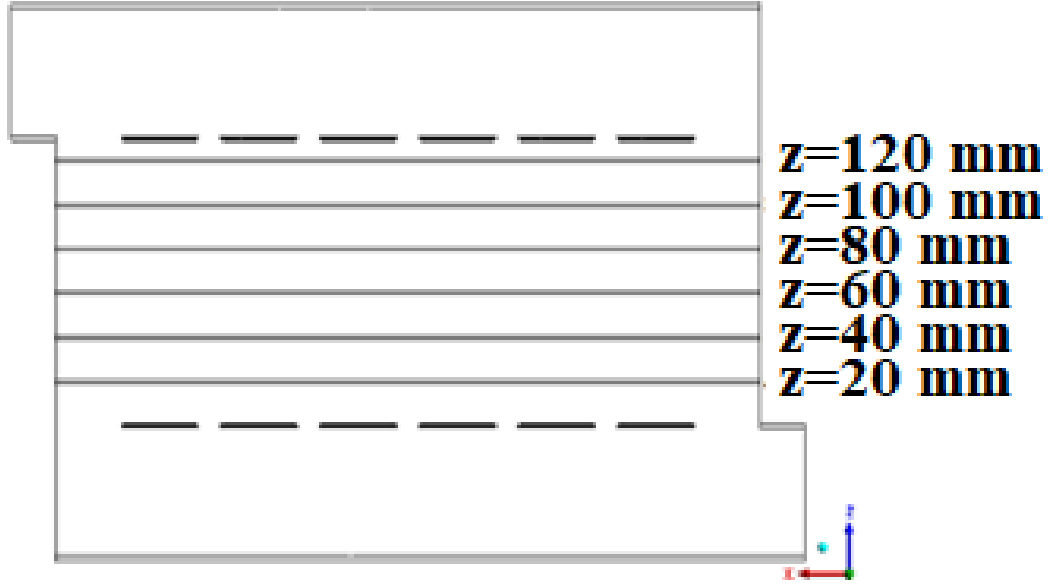


Şekil 4.11. Sabit hız 6 m/s hız için modül içerisindeki basınç dağılımının giriş tarafından gösterimi (a) lokal (b) global

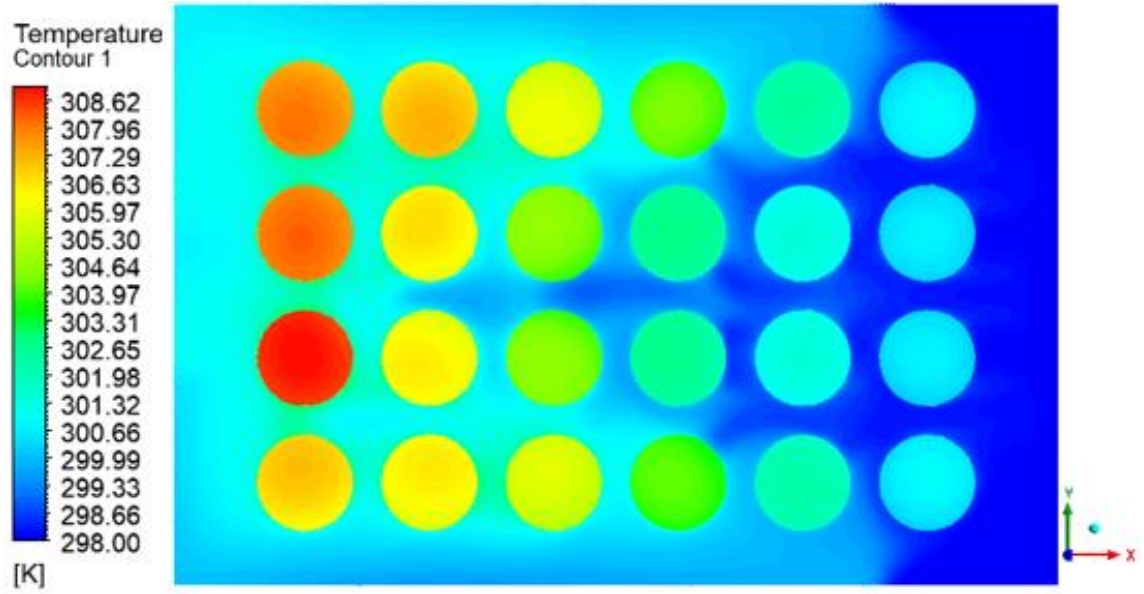


Şekil 4.12. Sabit hız 6 m/s hız için modül içerisindeki basınç dağılımının çıkış tarafından gösterimi (a) lokal (b) global

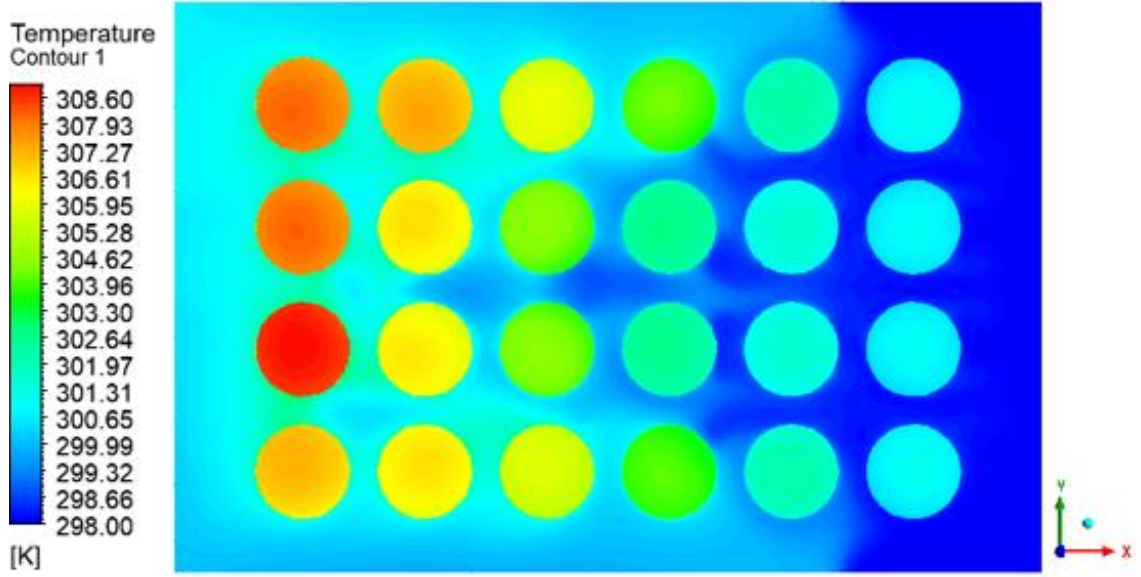
Batarya içerisinde xy düzleminde sıcaklık dağılımını görebilmek için aşağıda Şekil 4.13.'de belirtilen kesitlerdeki sıcaklık dağılımları elde edilmiş ve bu dağılımların kontör görüntüleri Şekil 4.14-4.19 gösterilmiştir.



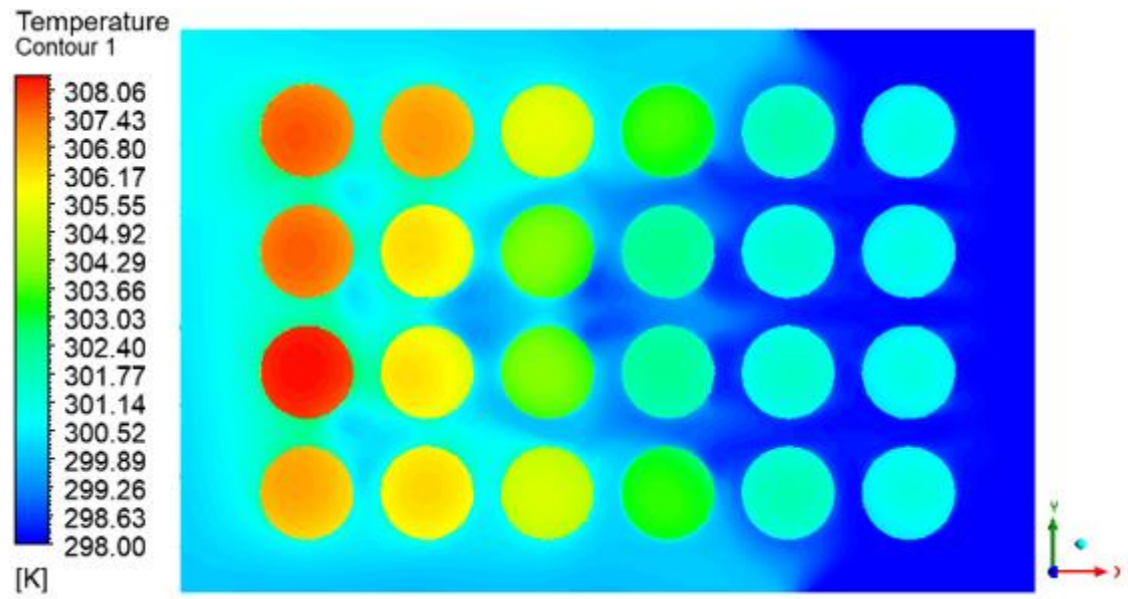
Şekil 4.13. Batarya içerisindeki yüzey dağılımını elde edebilmek için kesit alınan bölgeler



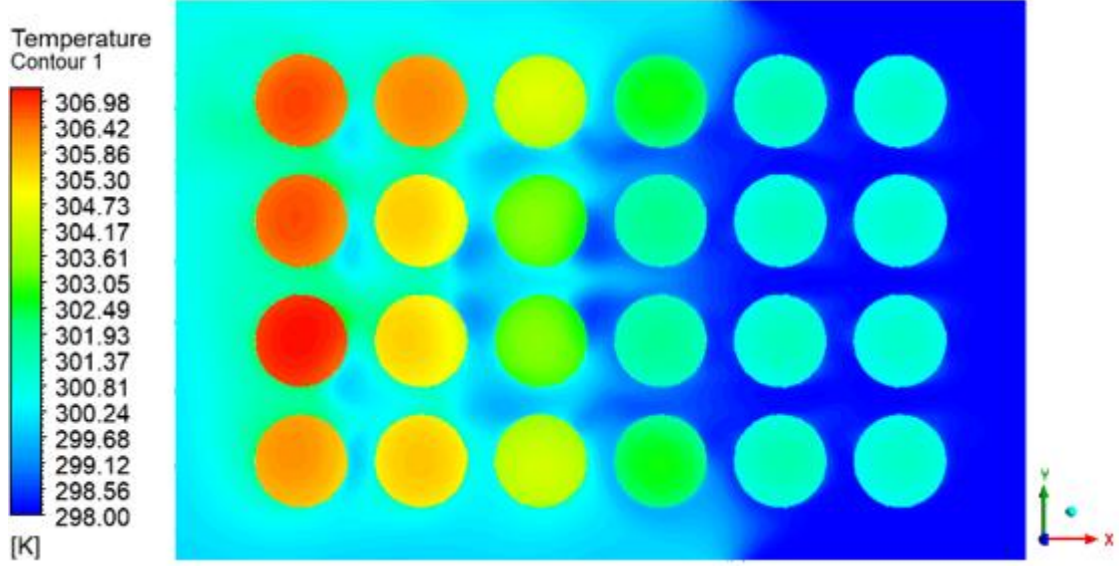
Şekil 4.14. $z = 120$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm)



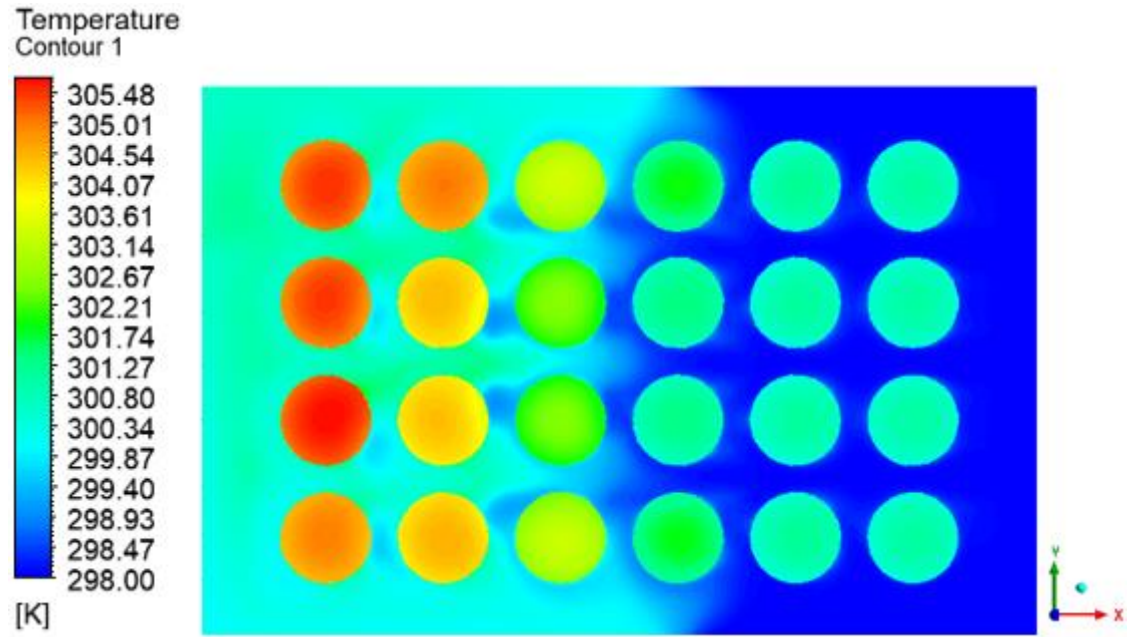
Şekil 4.15. $z = 100$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm)



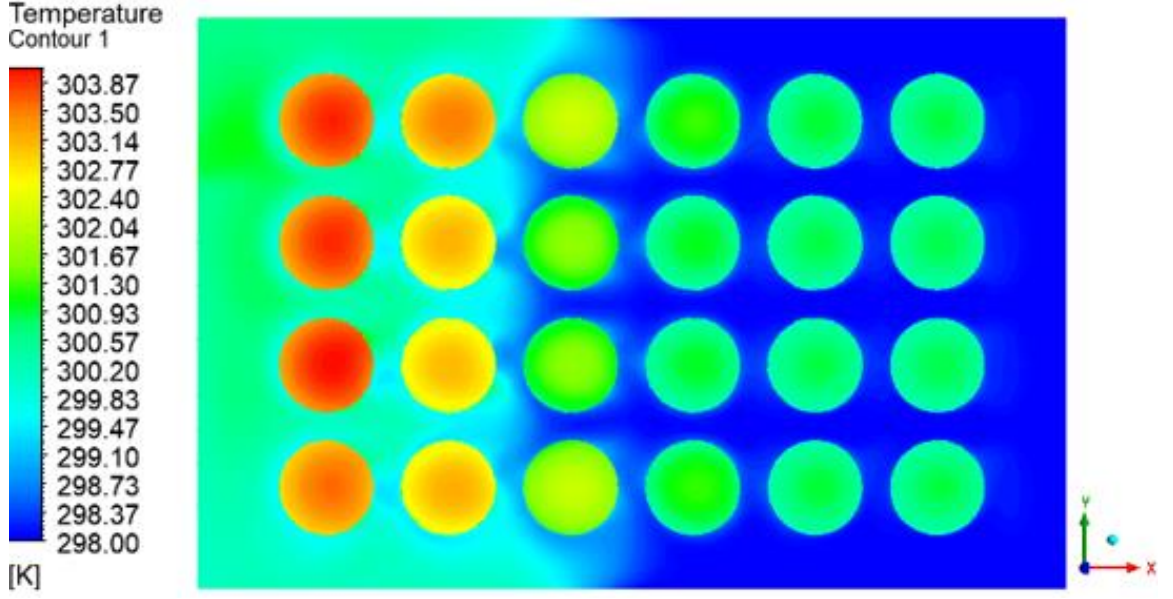
Şekil 4.16. $z = 80$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm)



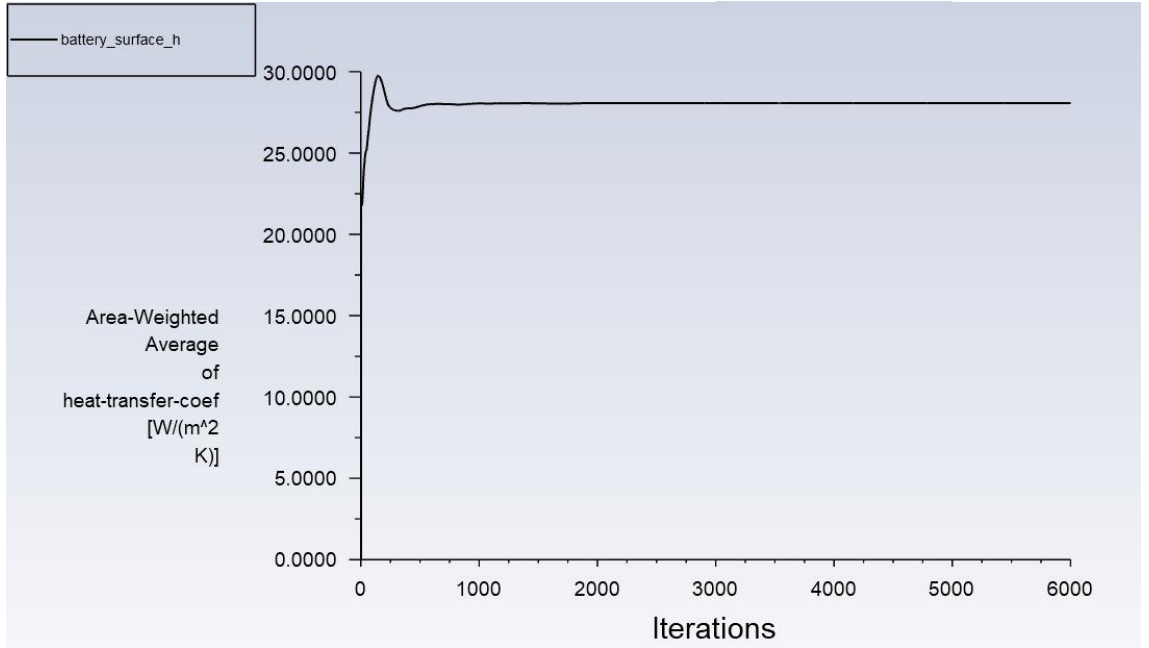
Şekil 4.17. $z = 60$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm)



Şekil 4.18. $z = 40$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm)



Şekil 4.19. $z = 20$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm)



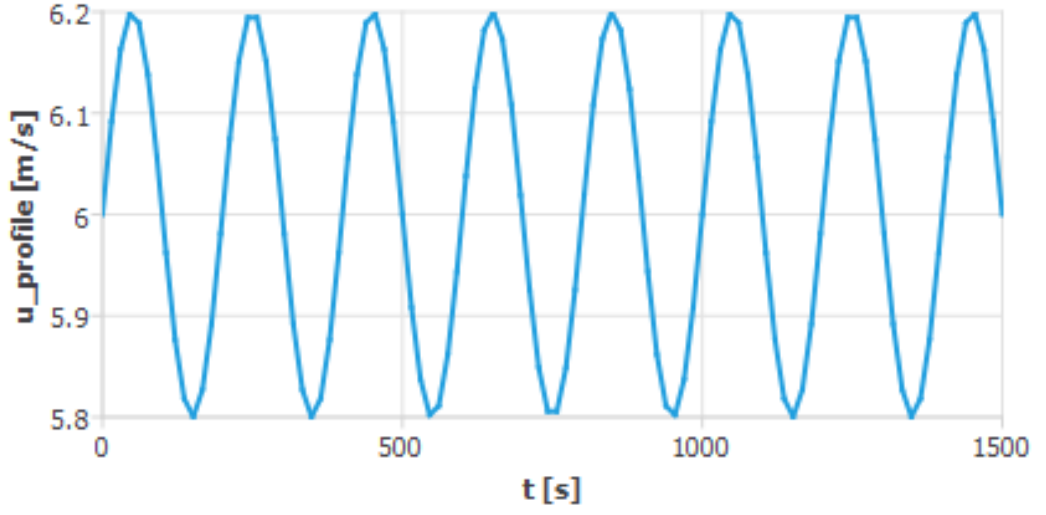
Şekil 4.20. Batarya yüzeyindeki ortalama ısı transfer katsayısı

4.2. Durum 1 sinüzoidal hız için sonuçlar

Şekil 4.21.'de titreşimli (pulsatile) şekilde verilen giriş hızı 2700 sn için zamana bağlı çözdürülerek sonuç alınmıştır. Zamana bağlı çözümlerde zaman adımı 0.2 sn alınmıştır.

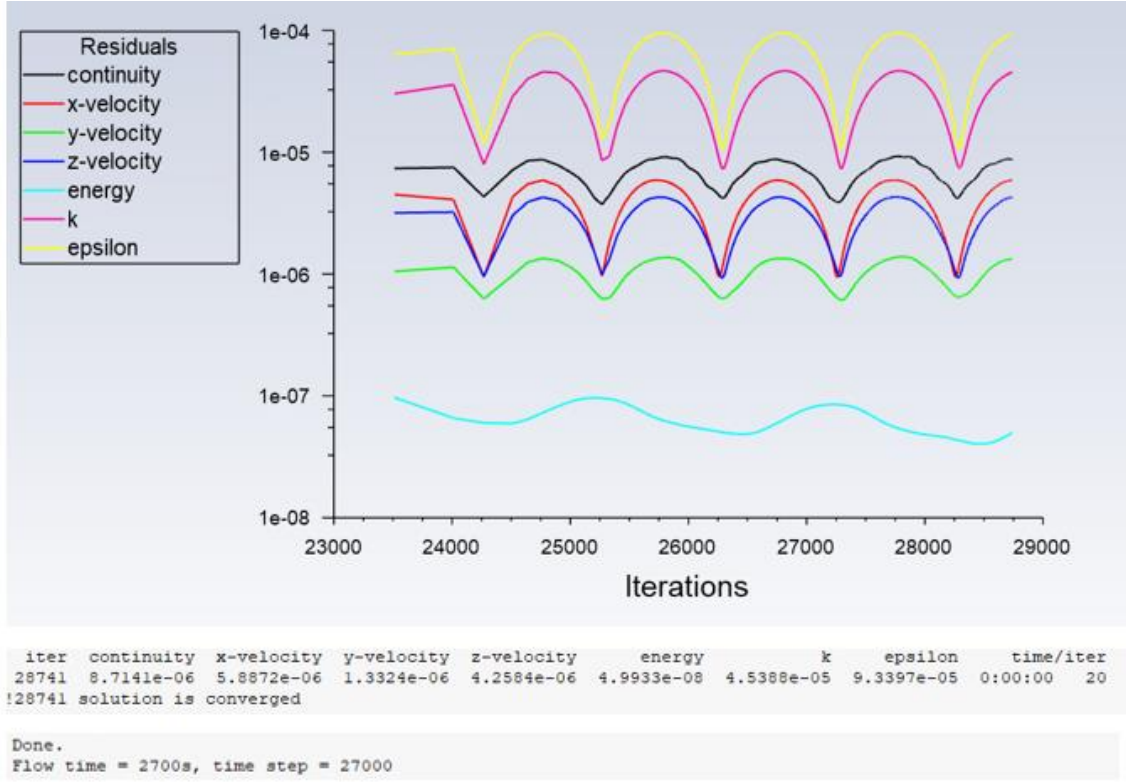
Burada amaç bu durum için sabit giriş hızı verilen durum ile ısı transferi açısından olumlu veya olumsuz bir artış yaratıp yaratmayacağını incelemektir.

Sıcaklık, hız, türbülans kinetik enerji ve basınç kontör dağılımları 2700 sn için verilmiştir. Daha sonra ayrıca batarya yüzeylerinde zamana bağlı kontör dağılımları verilmiştir.

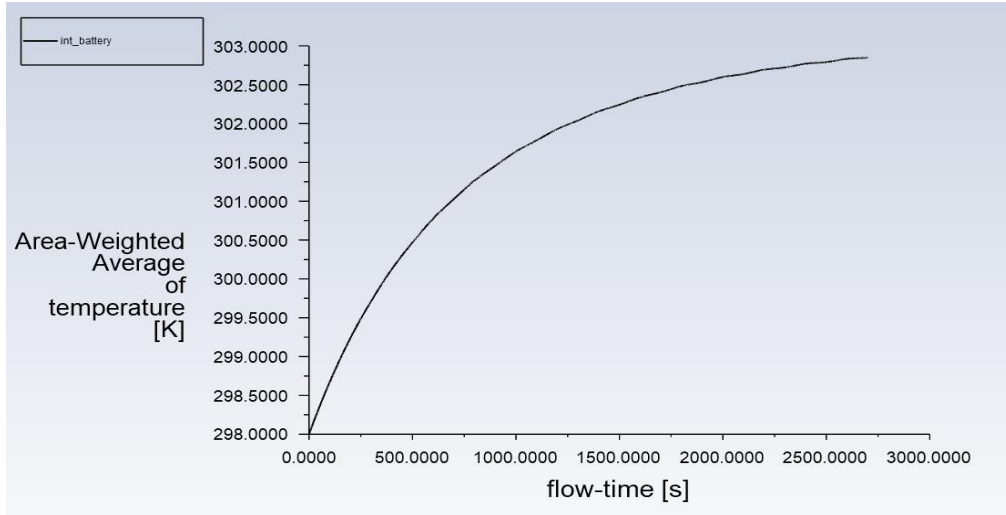


Şekil 4.21. Durum bir ve iki için giriş hızı olarak verilen sinüsoidal hız profili

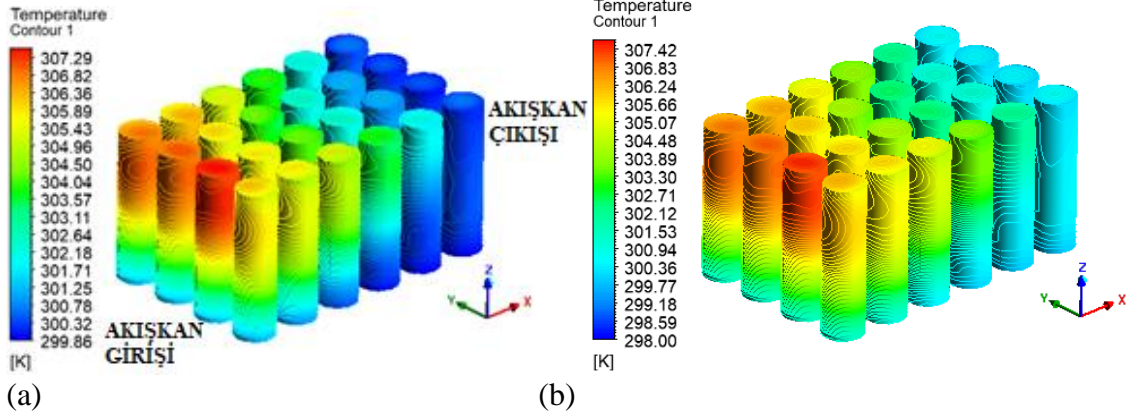
Bu durumdaki çözümde de iterasyondan bağımsız hale gelinceye kadar yeterli iterasyonda çözüm yapılmıştır.



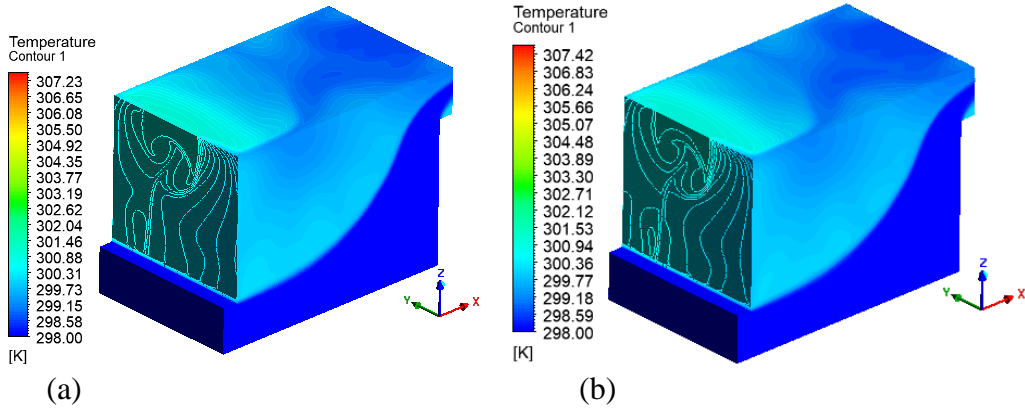
Şekil 4.22. Durum bir sinüzoidal hız için iterasyon grafiği



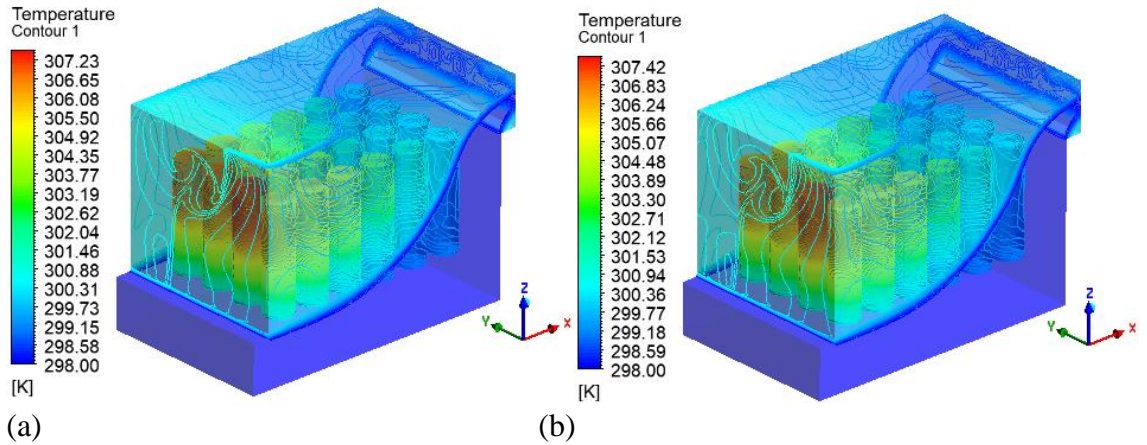
Şekil 4.23. Durum bir sinüzoidal hız için bataryanın içerisindeki ve yüzeyindeki ortalama sıcaklık grafiği



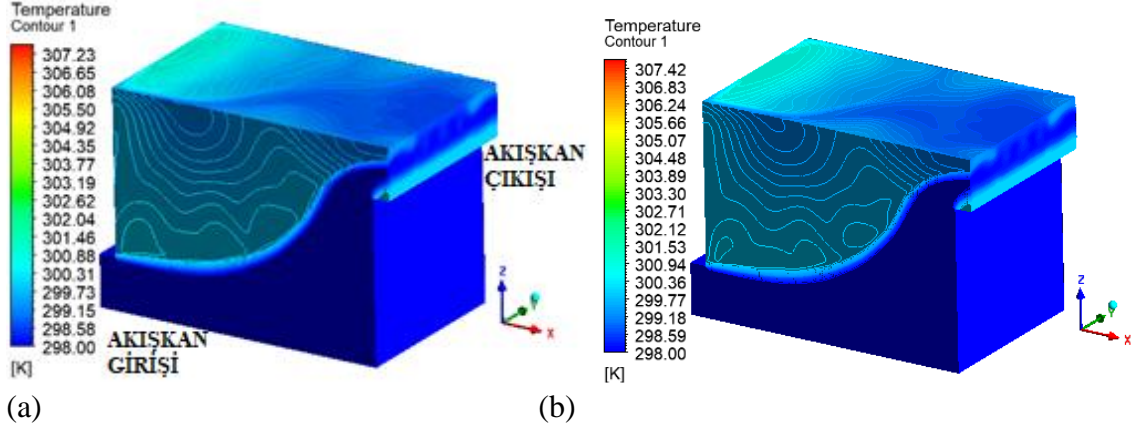
Şekil 4.24. Sinüzoidal giriş hızı için batarya yüzey sıcaklık dağılımları (a) lokal (b) global 2700.sn



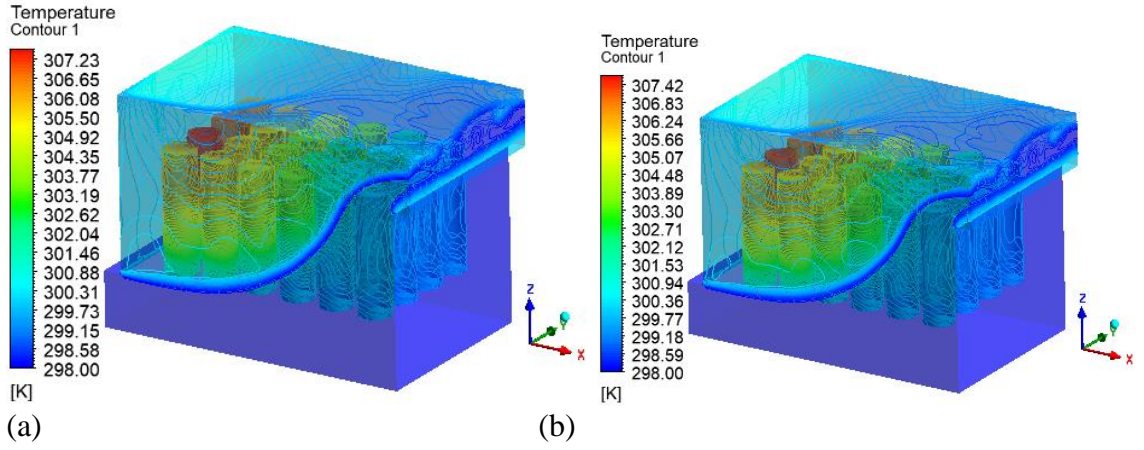
Şekil 4.25. Sinüzoidal giriş hızı için modül içerisindeki akışkanın sıcaklık dağılımı (a) lokal (b) global 2700.sn



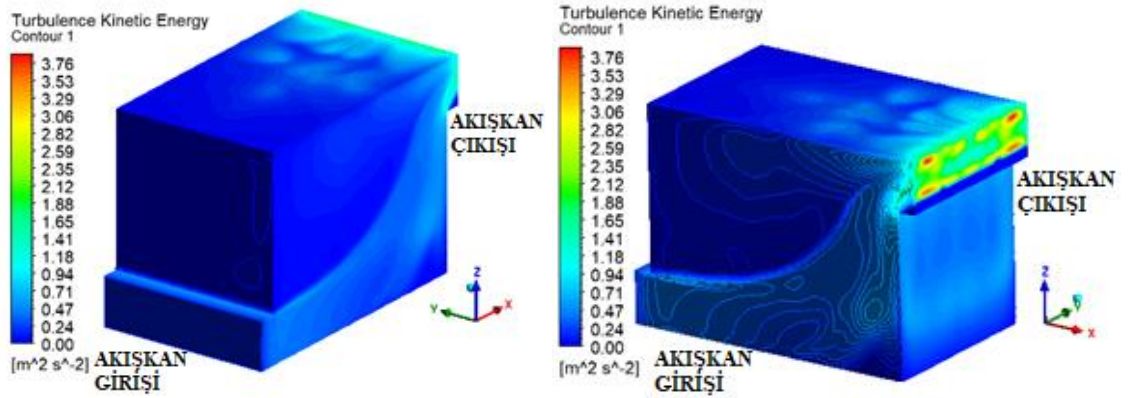
Şekil 4.26. Sinüzoidal giriş hızı için modül içerisindeki akışkanın sıcaklık dağılımının giriş tarafından gösterimi (a) lokal (b) global (transparan görünüm) 2700.sn



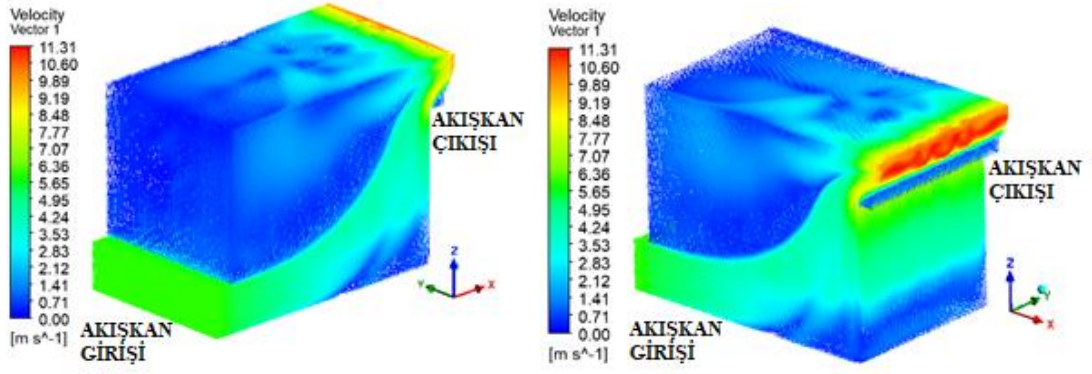
Şekil 4.27. Sinüzoidal giriş hızı için modül içerisindeki akışkanın sıcaklık dağılımının çıkış tarafından gösterimi (a) lokal (b) global 2700.sn



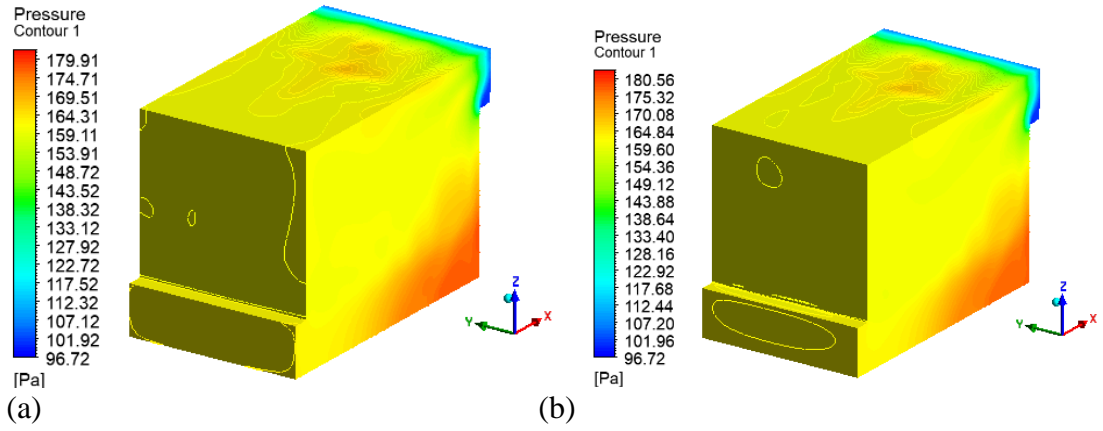
Şekil 4.28. Sinüzoidal giriş hızı için modül içerisindeki akışkanın sıcaklık dağılımının çıkış tarafından gösterimi (a) lokal (b) global (transparan görünüm) 2700.sn



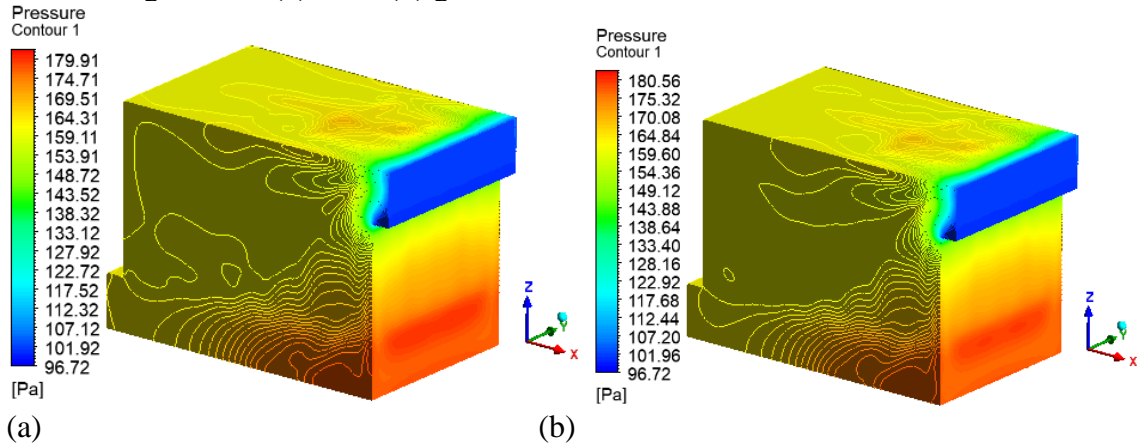
Şekil 4.29. Sinüzoidal giriş hızı için türbülans kinetik enerji 2700.sn



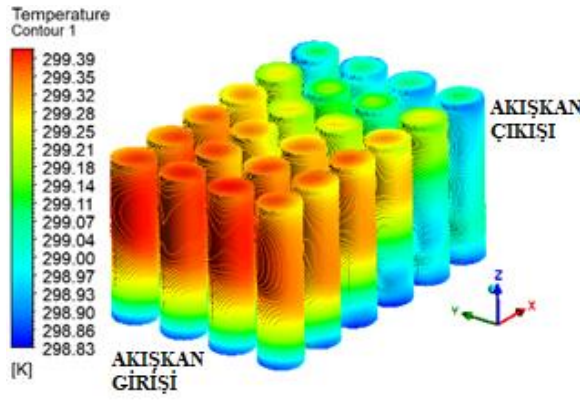
Şekil 4.30. Sinüzoidal giriş hızı için hız dağılımı 2700.sn



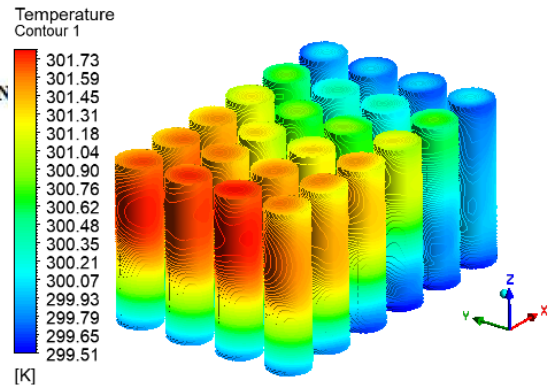
Şekil 4.31. Sinüzoidal giriş hızı için modül içerisindeki basınç dağılımının giriş tarafından gösterimi (a) lokal (b) global 2700.sn



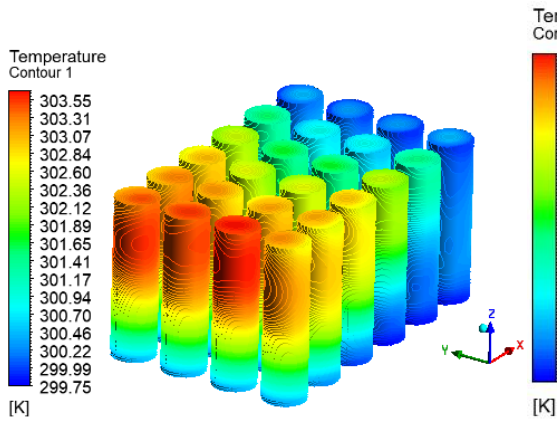
Şekil 4.32. Sinüzoidal giriş hızı için modül içerisindeki basınç dağılımının çıkış tarafından gösterimi (a) lokal (b) global 2700.sn



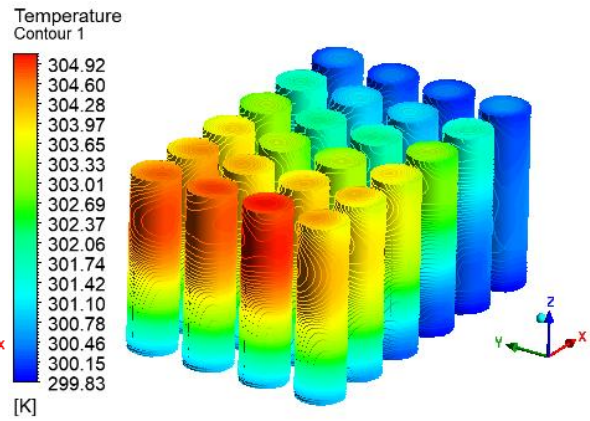
(a)



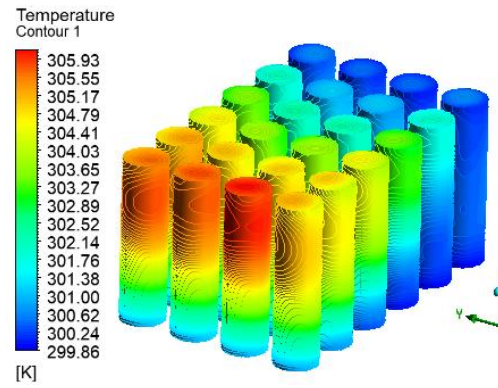
(b)



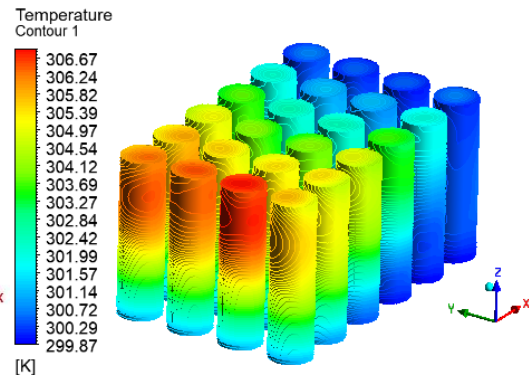
(c)



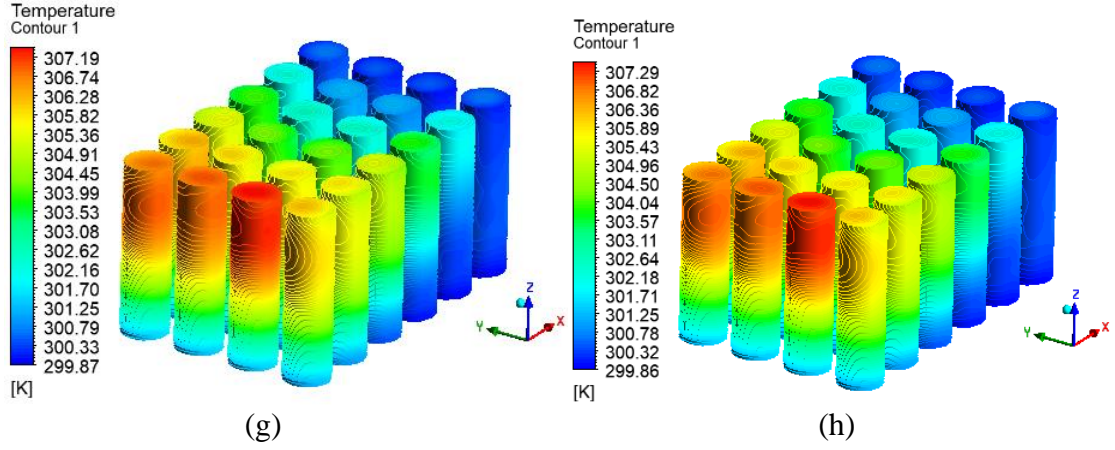
(d)



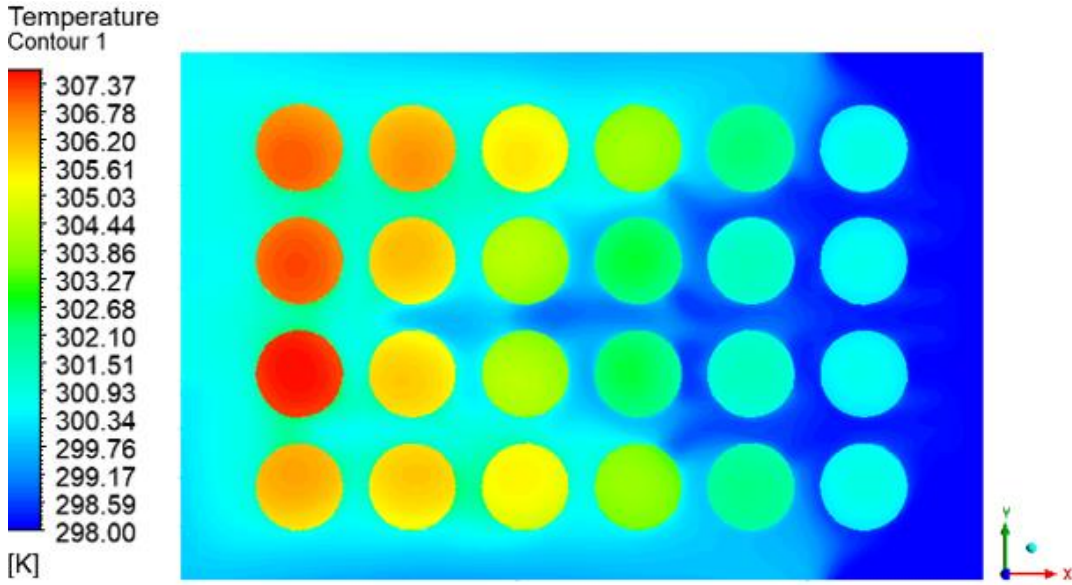
(e)



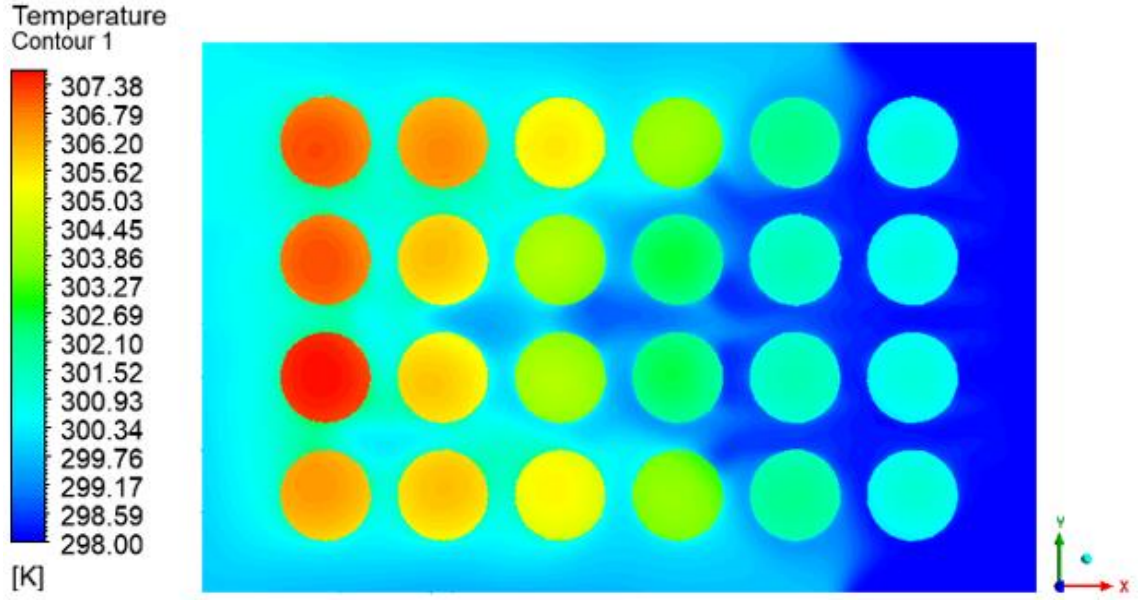
(f)



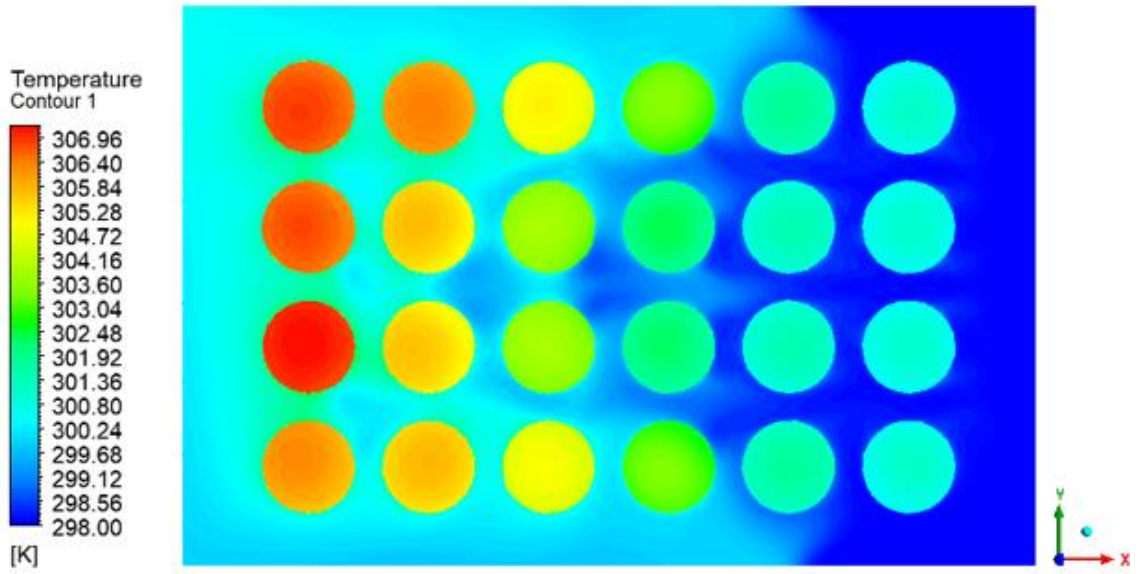
Şekil 4.33. Batarya yüzeyinde meydana gelen sıcaklıklar (a) 200.saniye (b) 600.saniye (c) 1000.saniye (d) 1400.saniye (e) 1800.saniye (f) 2200.saniye (g) 2600.saniye (h) 2700.saniye



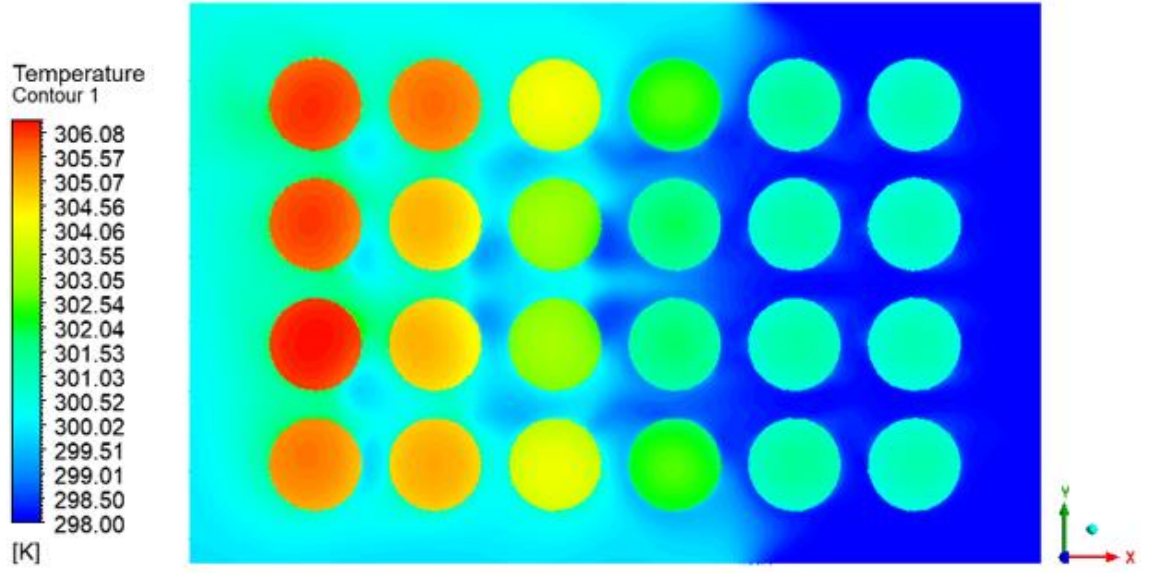
Şekil 4.34. $z = 120$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm) 2700.sn



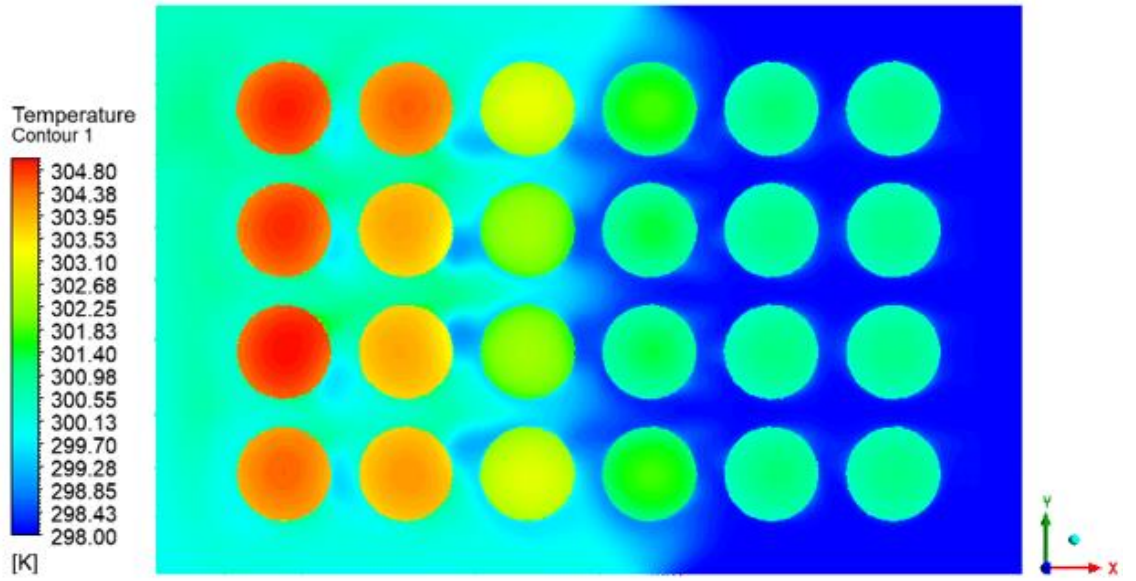
Şekil 4.35. $z = 100$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm) 2700.sn



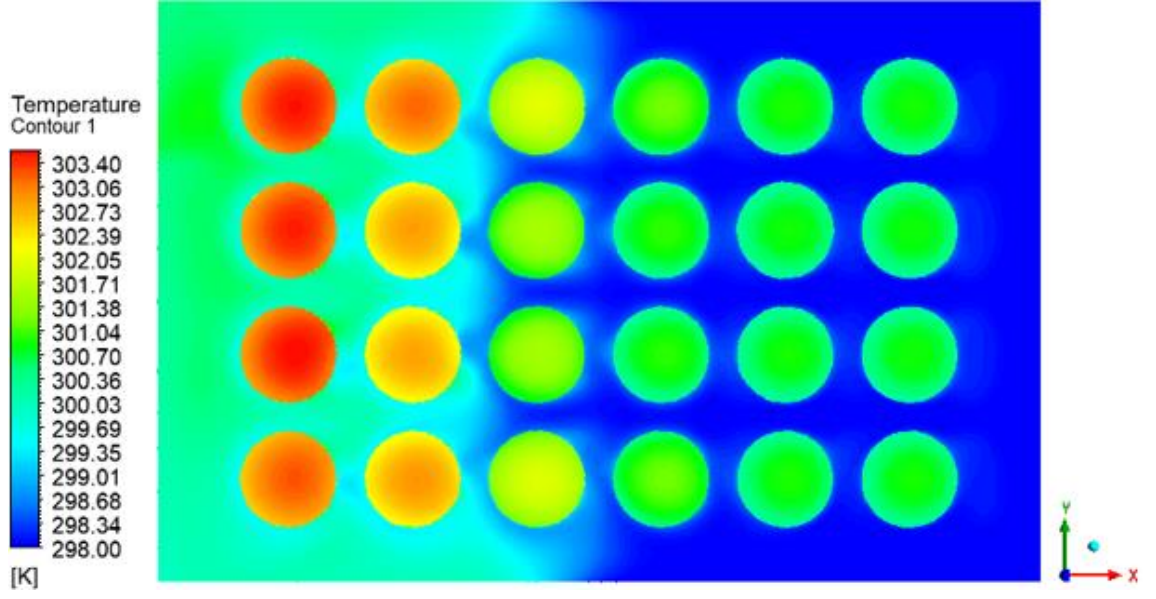
Şekil 4.36. $z = 80$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm) 2700.sn



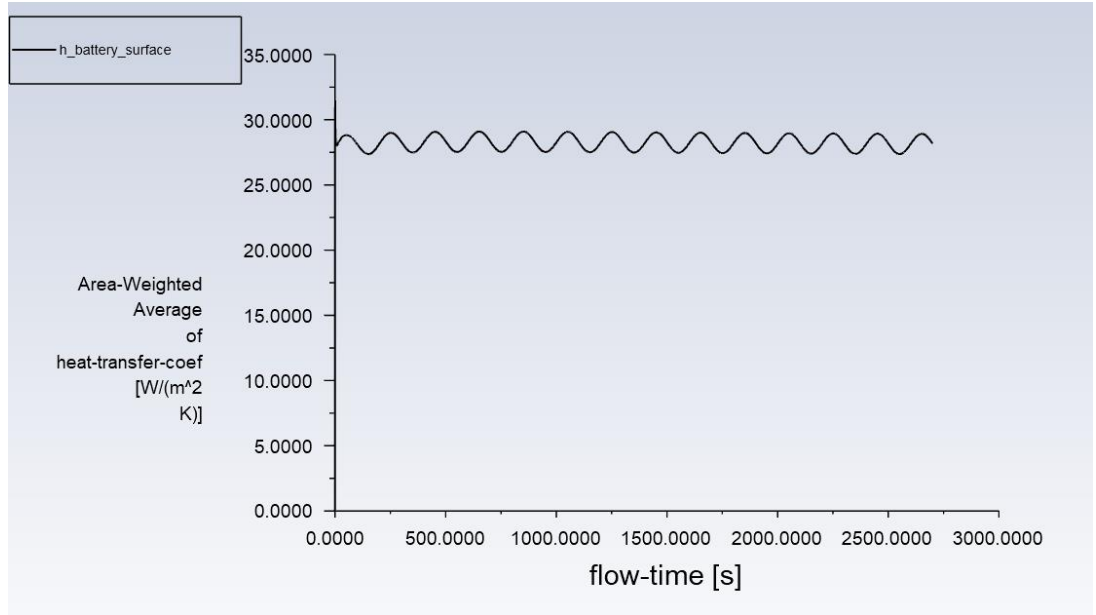
Şekil 4.37. $z = 60$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm) 2700.sn



Şekil 4.38. $z = 40$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm) 2700.sn

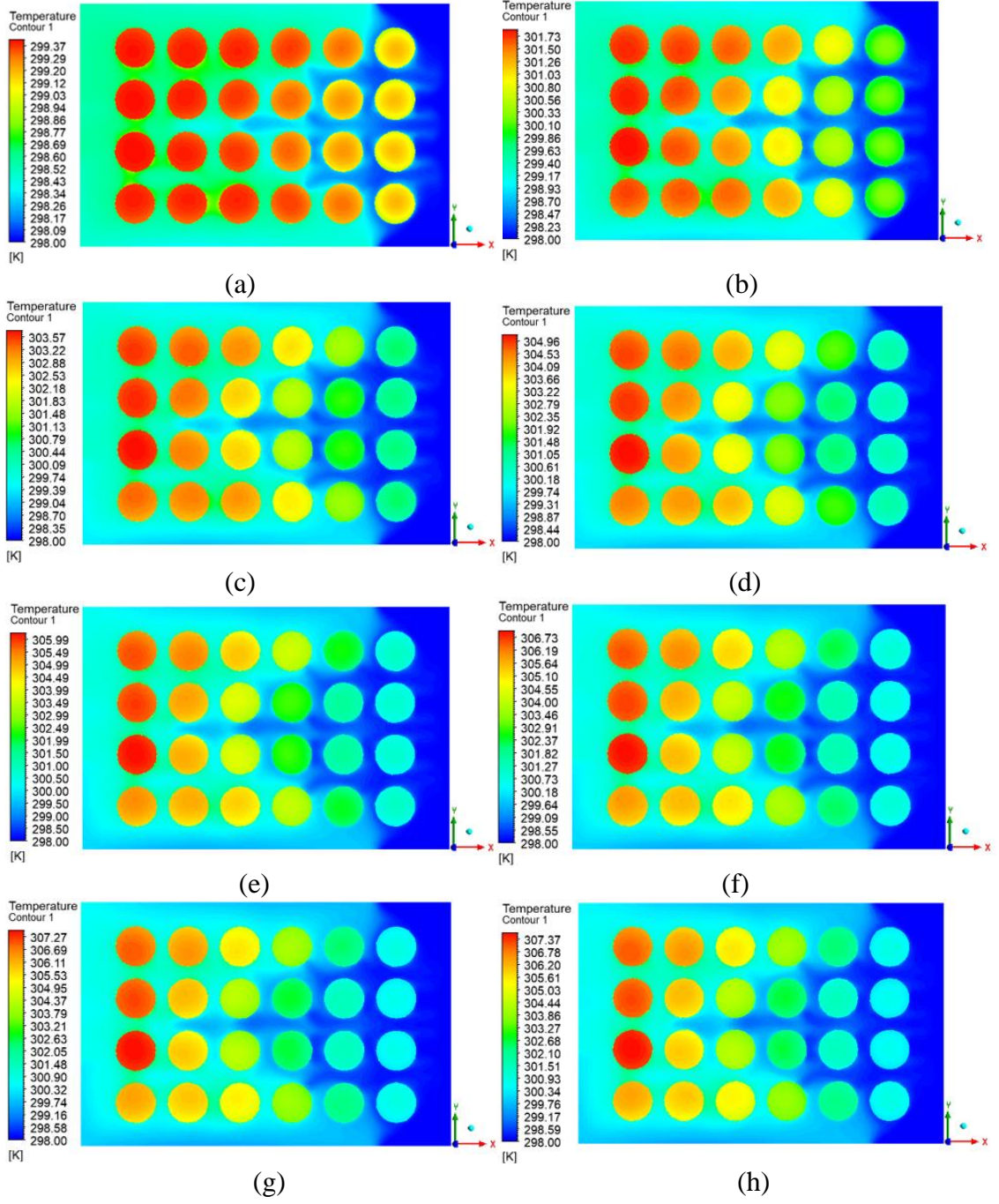


Şekil 4.39. $z = 20$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm) 2700.sn



Şekil 4.40. Batarya yüzeyindeki ortalama ısı transfer katsayısı

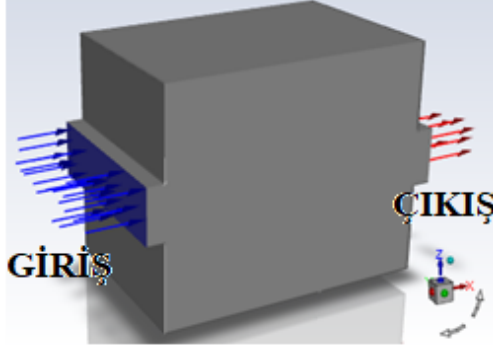
Alınan kesitlerde sıcaklık dağılımına bakıldığında sıcaklık açısından kritik kesitin en üst $z=120$ mm olduğu görülmektedir. Bu yüzden $z=120$ mm kesitinde sıcaklık dağılımını daha net ve detaylı inceleyebilmek için 200-600-1000-1400-1800-2200-2600-2700 sn için sıcaklık dağılımı aşağıda Şekil 4.41.'de gösterilmiştir.



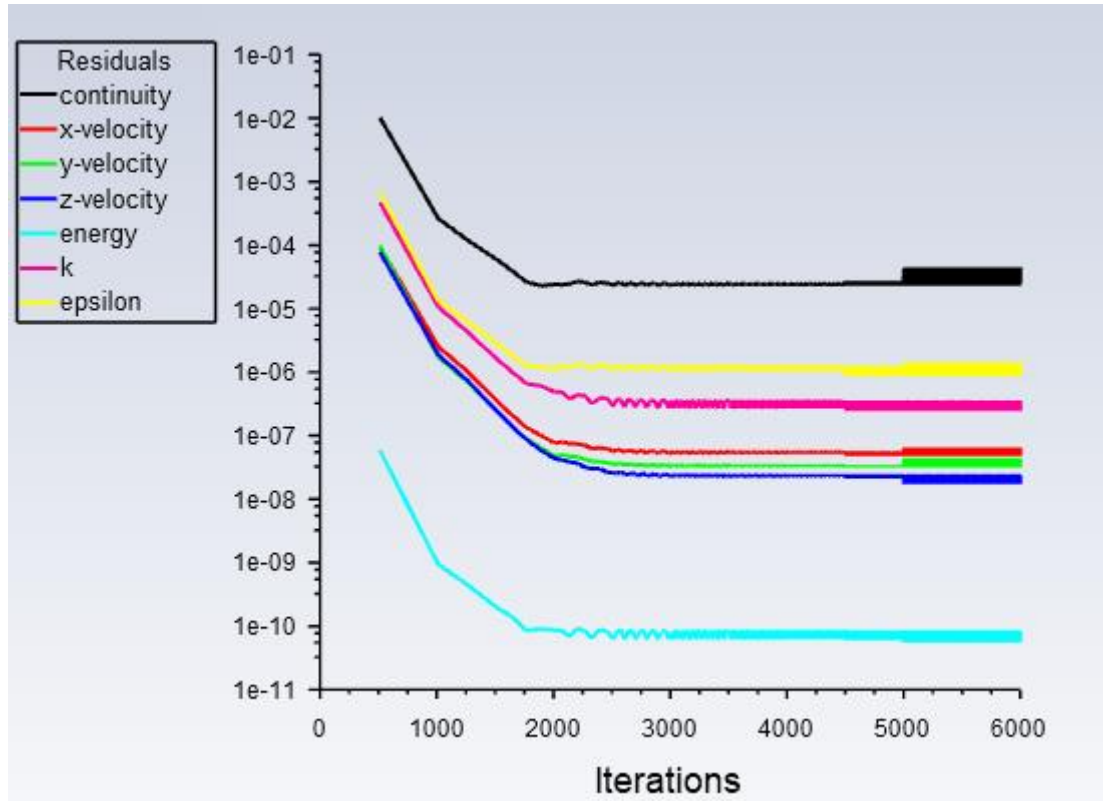
Şekil 4.41. $z = 120$ mm için batarya yüzeyindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm)
(a) 200.saniye (b) 600.saniye (c) 1000.saniye (d) 1400.saniye (e) 1800.saniye (f)
2200.saniye (g) 2600.saniye (h) 2700.saniye

4.3. Durum 2 sabit hız için sonuçlar

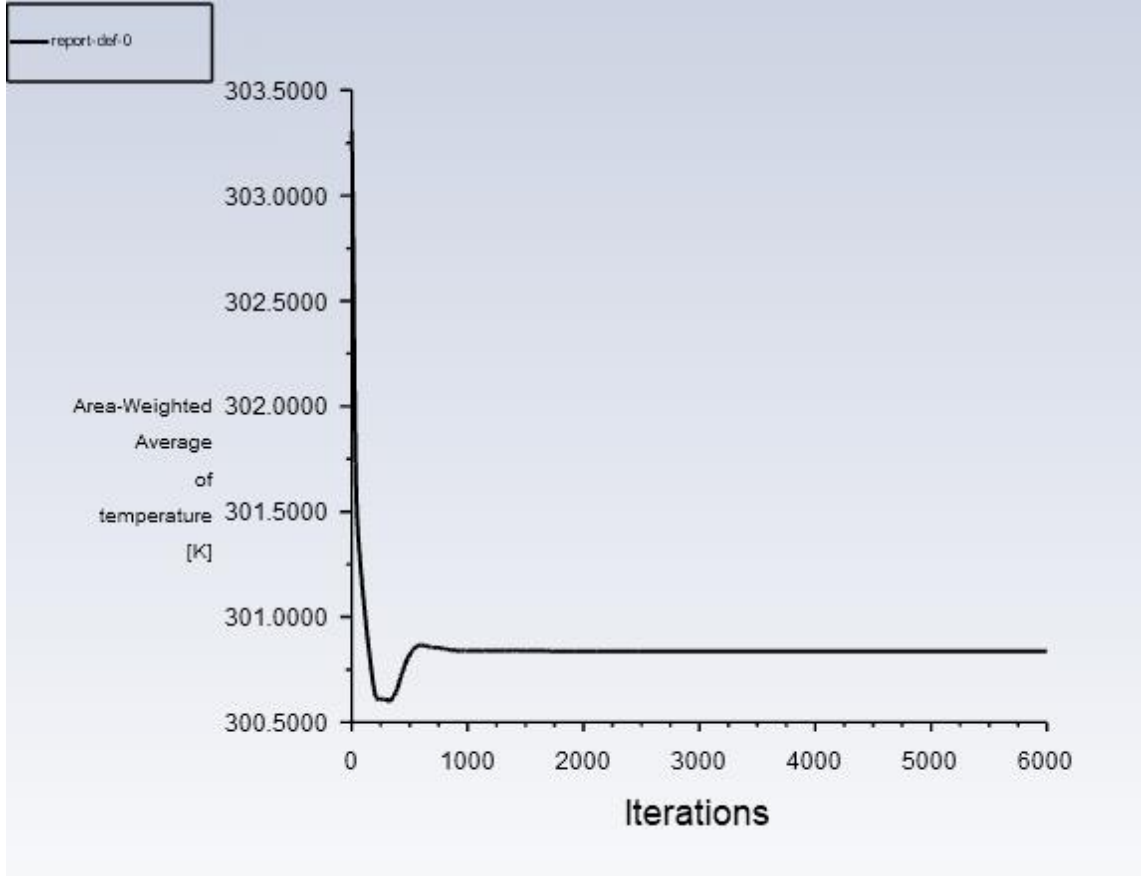
İncelenen durum ikide akışkan giriş ve çıkışı tam ortadan olduğu durumu içerir. Diğer tüm ölçüler incelenen durum bir ile aynıdır.



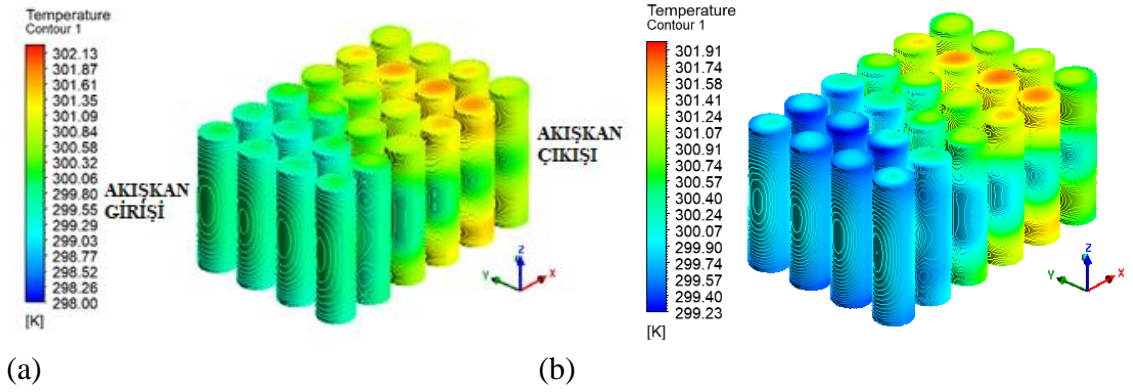
Şekil 4.42. Durum iki için akışkan giriş çıkış bölgesinin şematik gösterimi



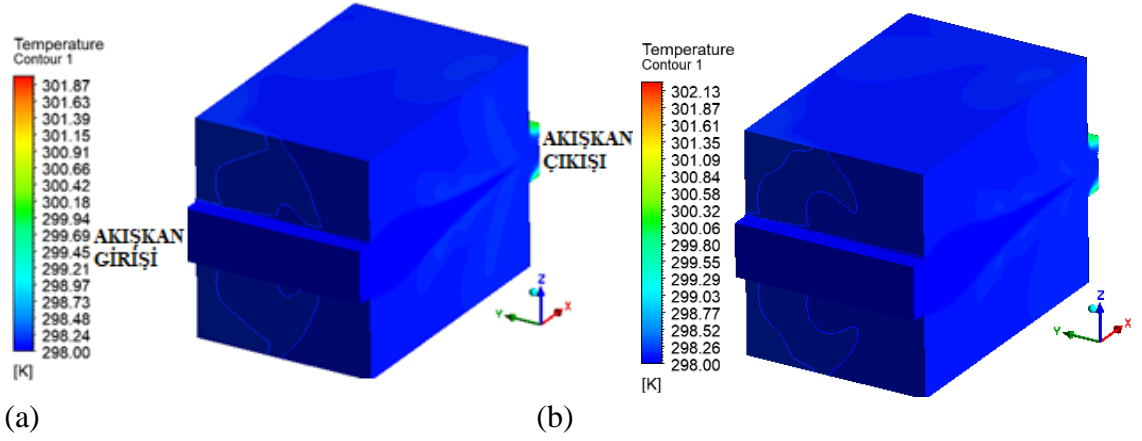
Şekil 4.22. Durum iki sabit hız için iterasyon grafiği



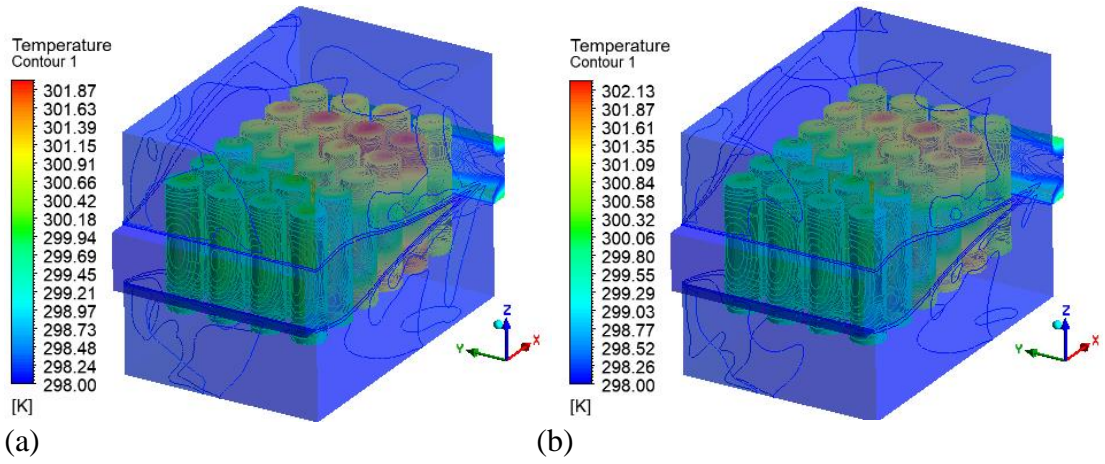
Şekil 4.44. Durum iki sabit hız için bataryanın içerisindeki ve yüzeyindeki ortalama sıcaklık grafiği



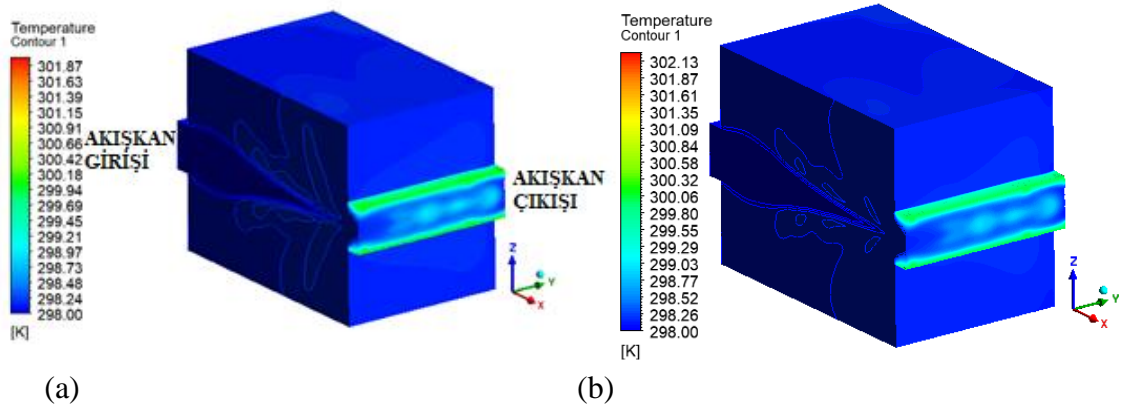
Şekil 4.45. Sabit hız 6 m/s hız için batarya yüzey sıcaklık dağılımları (a) lokal (b) global



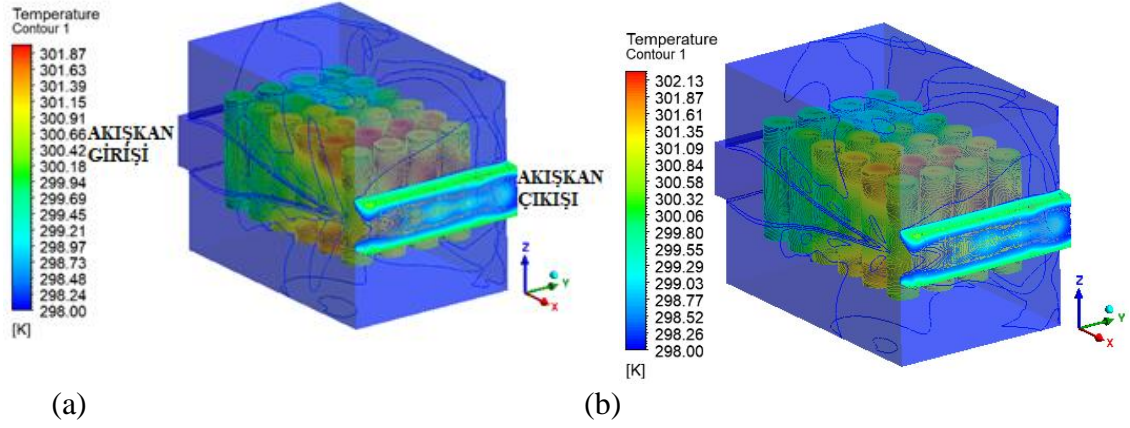
Şekil 4.46. Sabit hız 6 m/s hız için modül içerisindeki akışkanın sıcaklık dağılımı (a) lokal (b) global



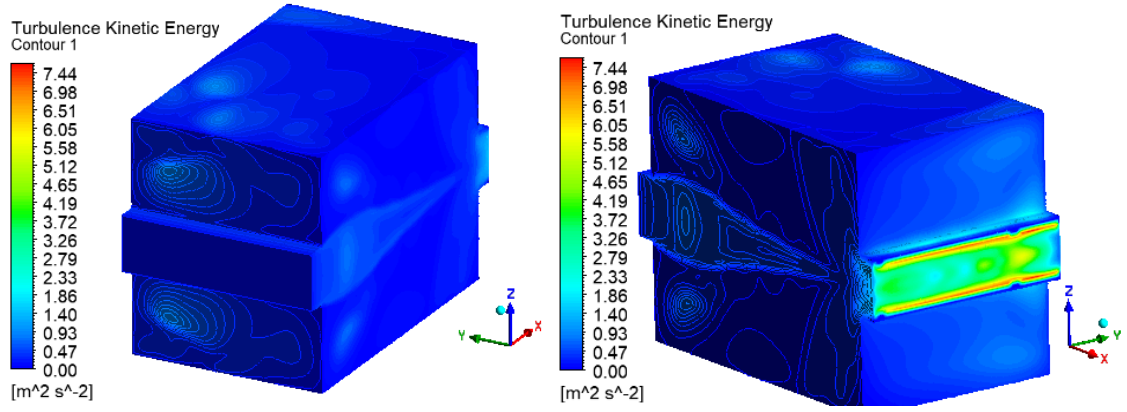
Şekil 4.47. Sabit hız 6 m/s hız için modül içerisindeki akışkanın sıcaklık dağılımının giriş tarafından gösterimi (a) lokal (b) global (transparan görünüm)



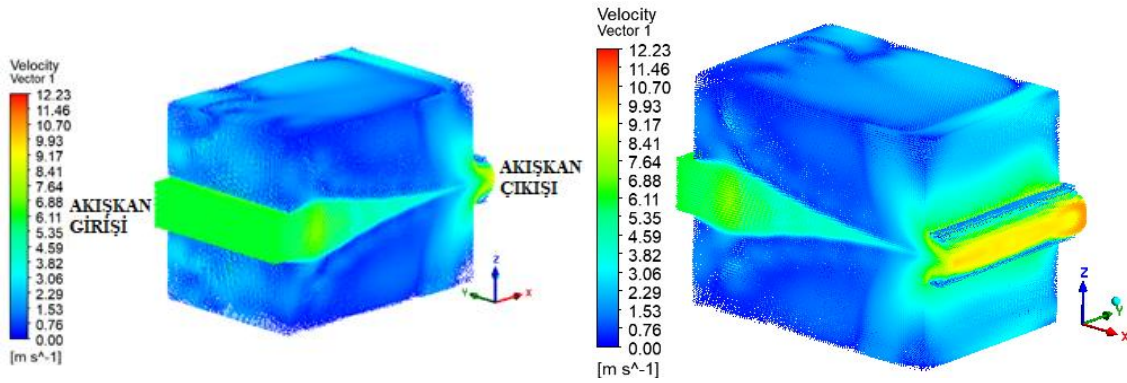
Şekil 4.48. Sabit hız 6 m/s hız için modül içerisindeki akışkanın sıcaklık dağılımının çıkış tarafından gösterimi (a) lokal (b) global



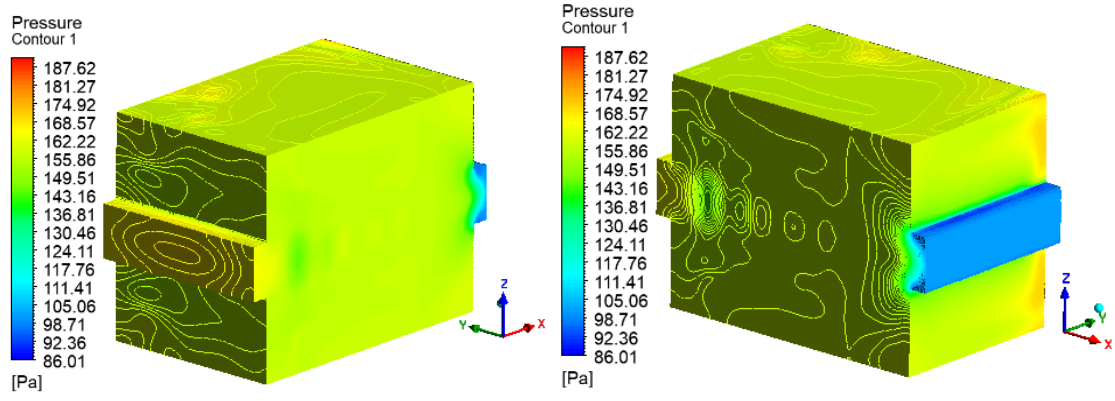
Şekil 4.49. Sabit hız 6 m/s hız için modül içerisindeki akışkanın sıcaklık dağılımının çıkış tarafından gösterimi (a) lokal (b) global (transparan görünüm)



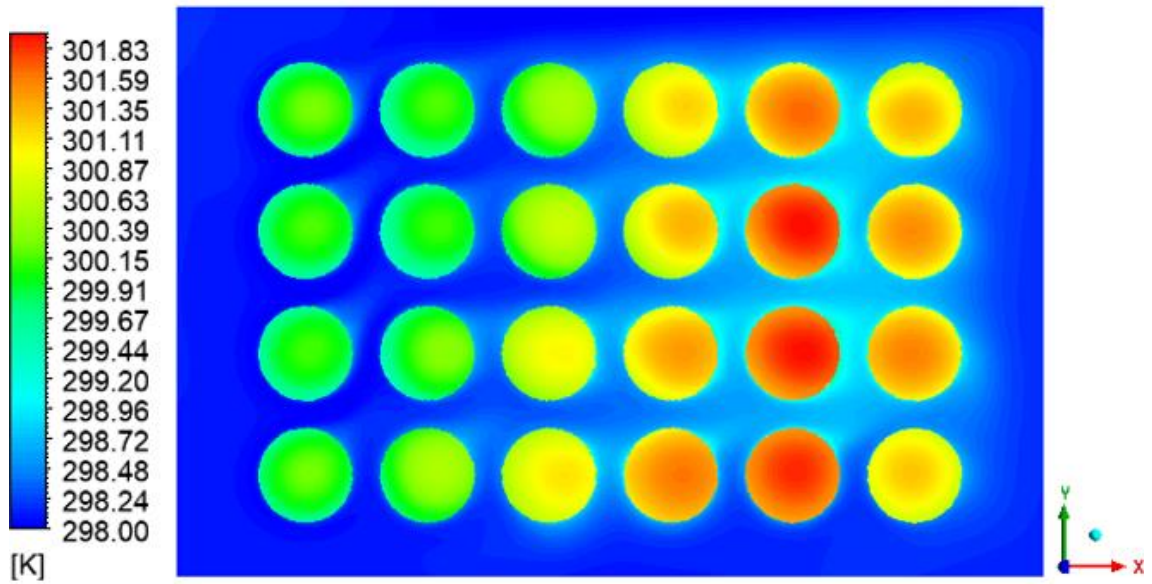
Şekil 4.50. Sabit hız 6 m/s hız için türbülans kinetik enerji



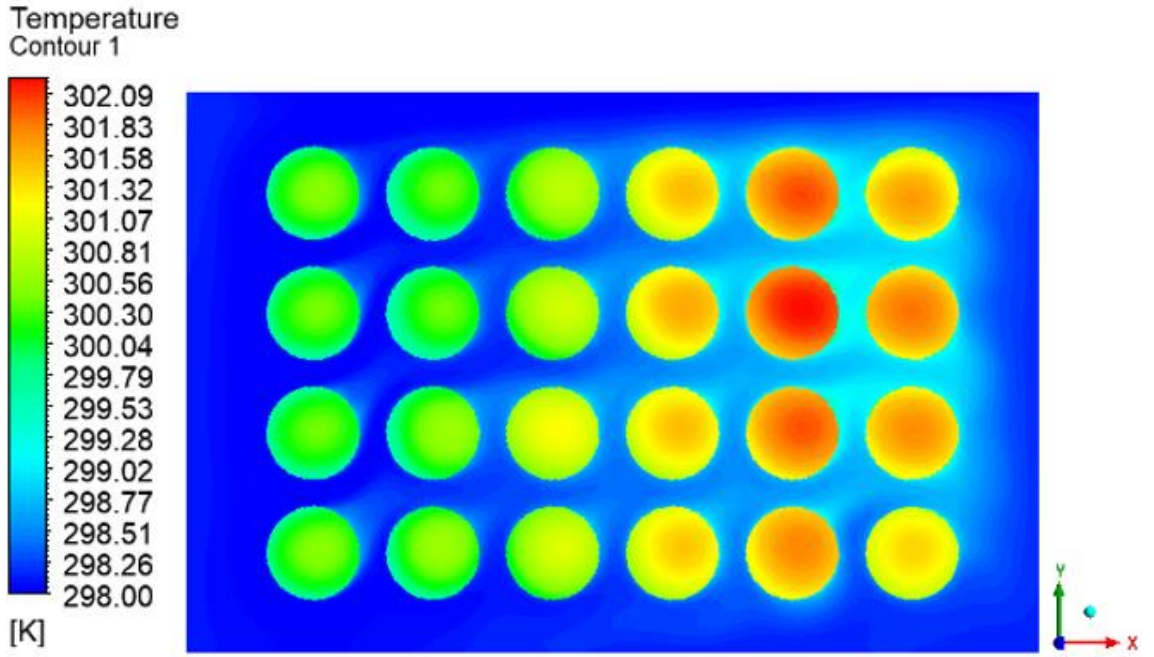
Şekil 4.51. Sabit hız 6 m/s modül içerisindeki hız dağılımı



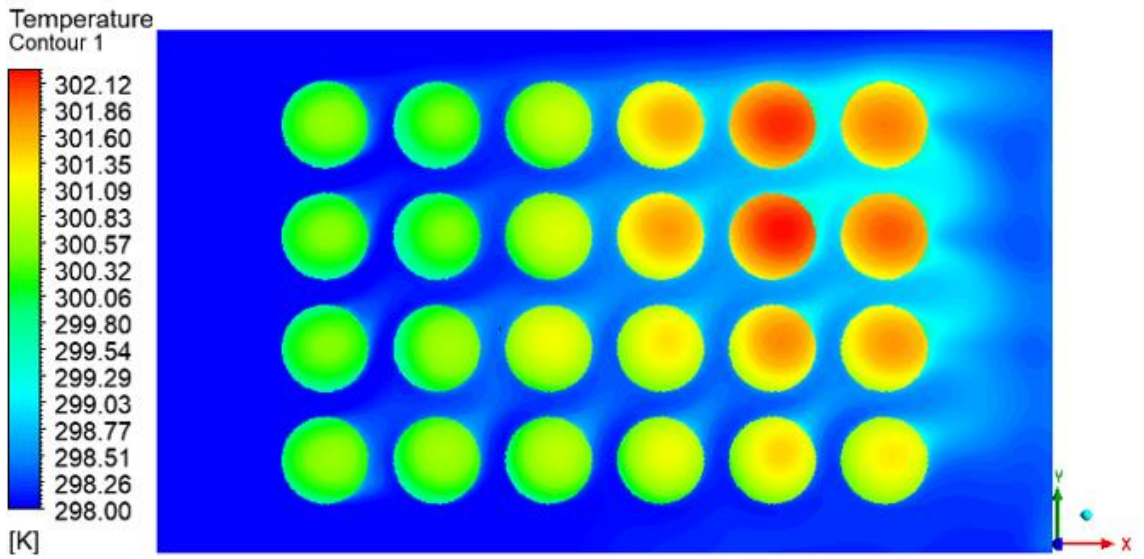
Şekil 4.52. Sabit hız 6 m/s hız için modül içerisindeki basınç dağılımının giriş ve çıkış tarafından gösterimi



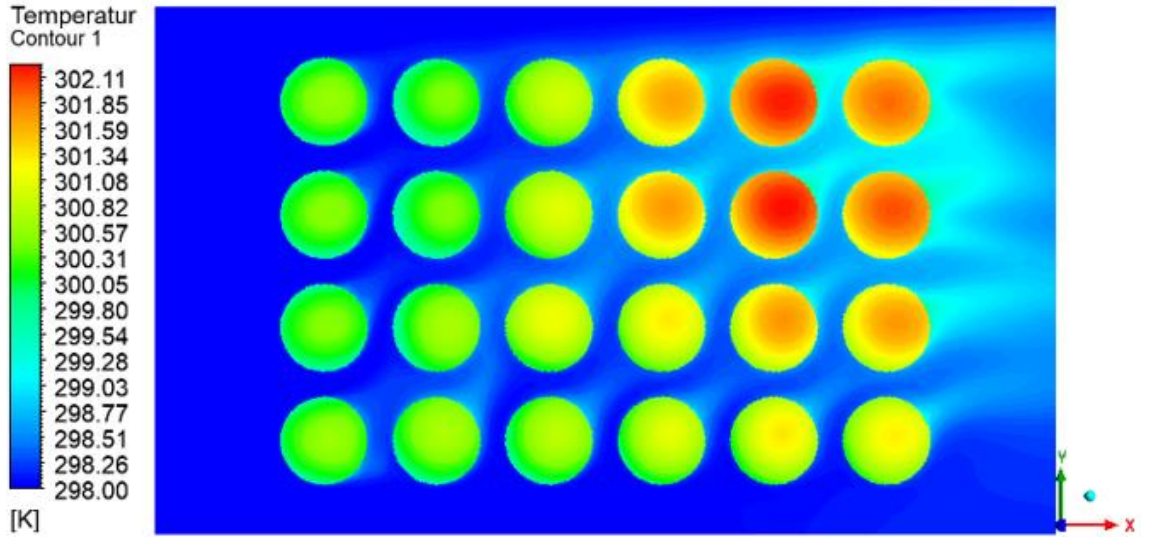
Şekil 4.53. $z = 120$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm)



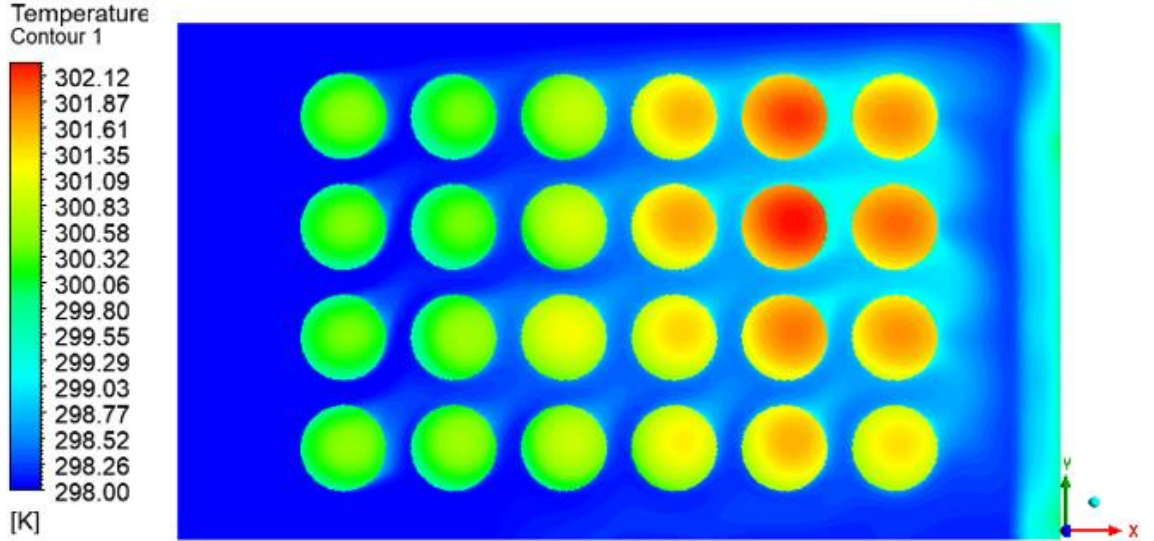
Şekil 4.54. $z = 100$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm)



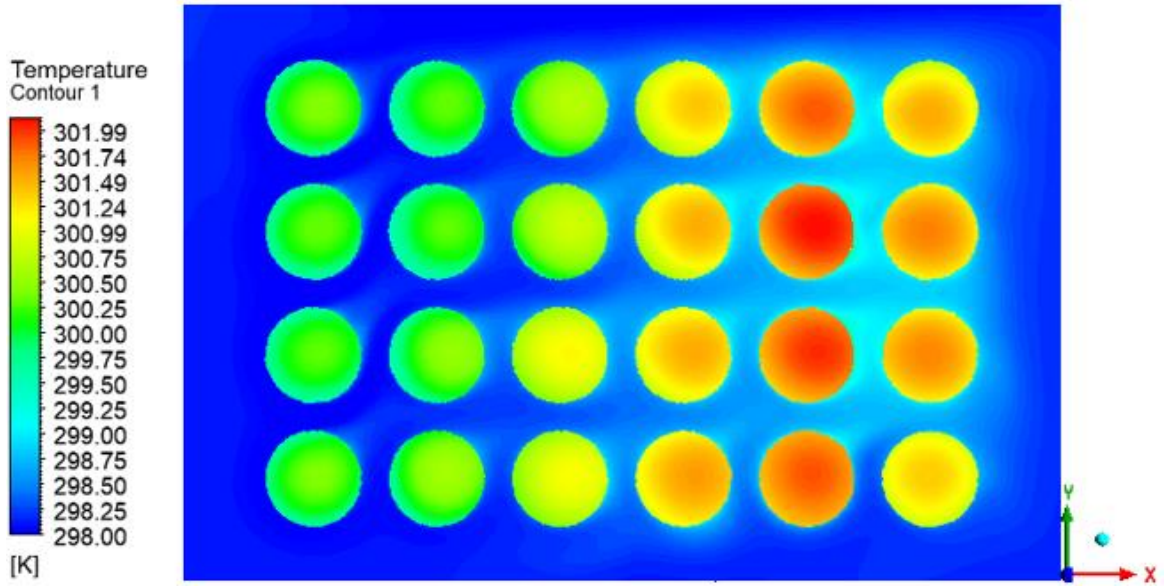
Şekil 4.55. $z = 80$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm)



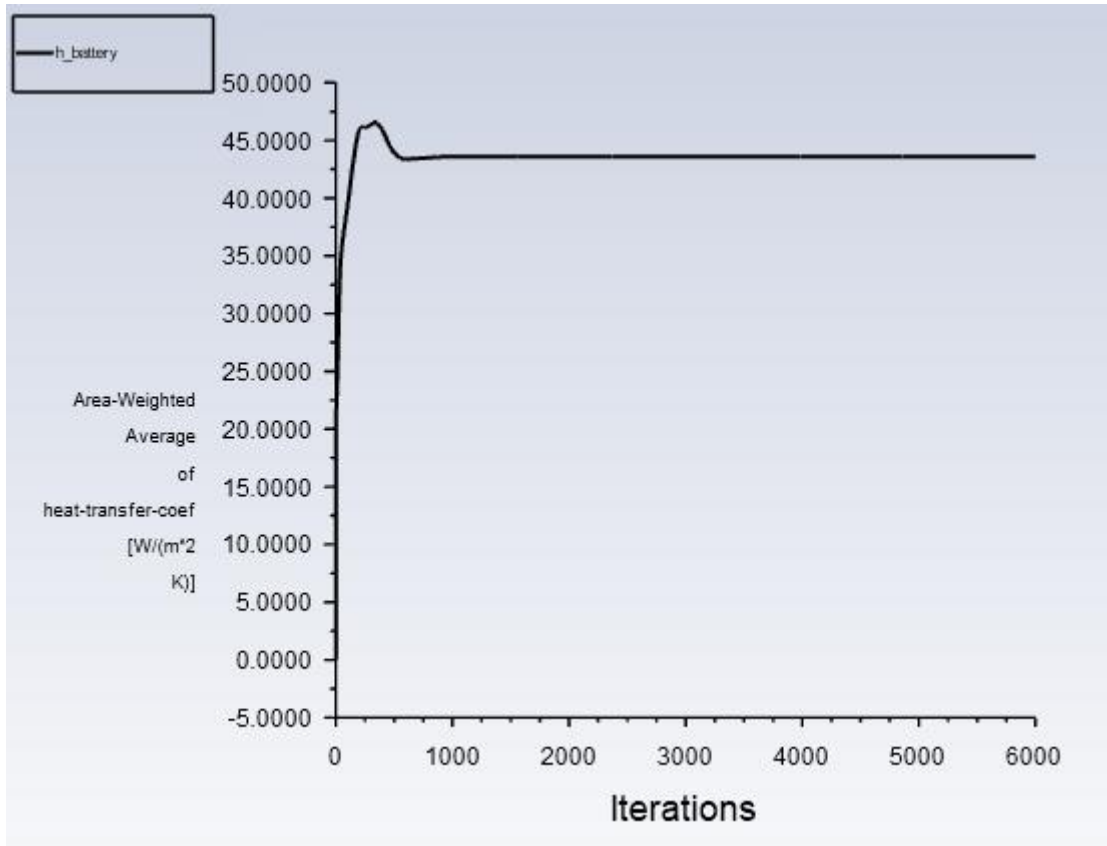
Şekil 4.56. $z = 60$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm)



Şekil 4.57. $z = 40$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm)

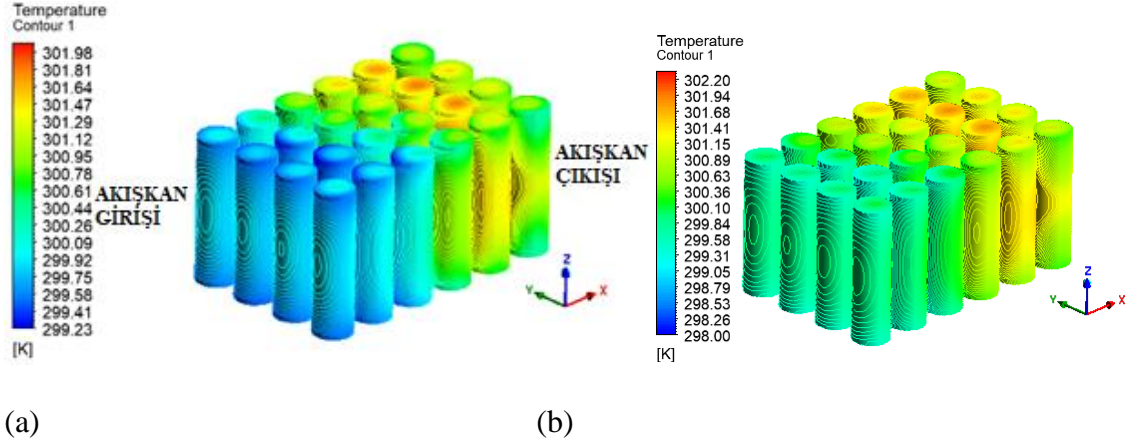


Şekil 4.58. $z = 20$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm)

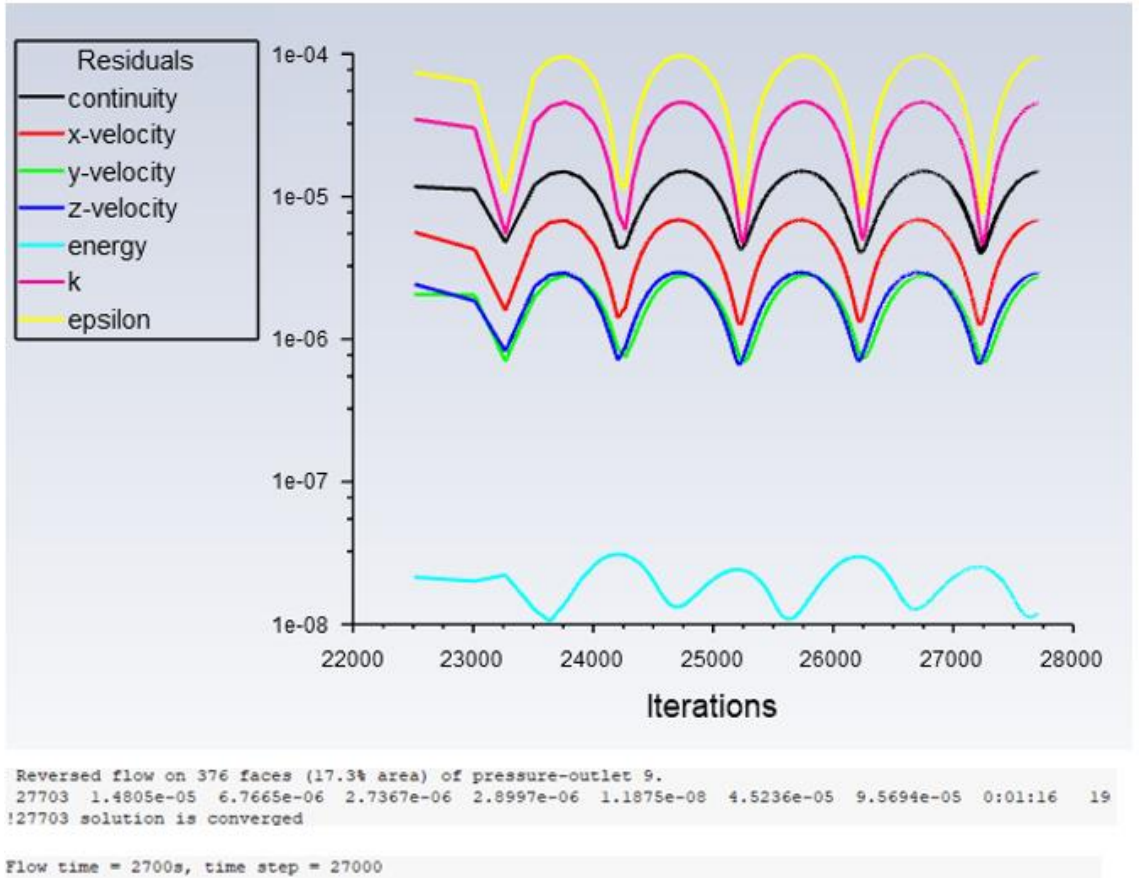


Şekil 4.59. Batarya yüzeyindeki ortalama ısı transfer katsayısı

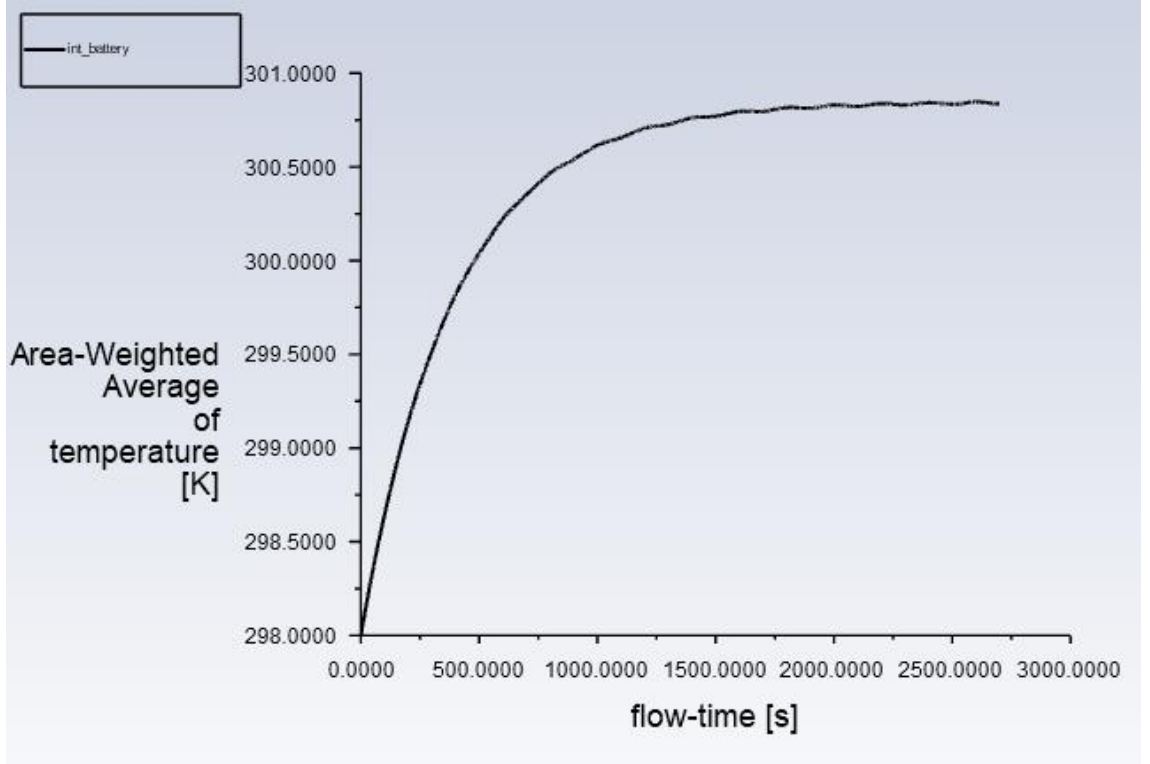
4.4. Durum 2 sinüzoidal hız için sonuçlar



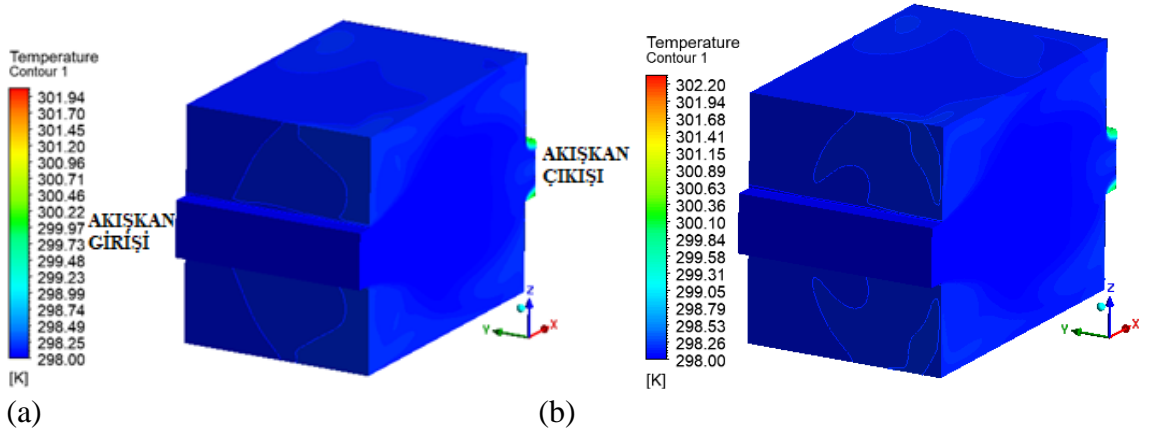
Şekil 4.60. Sinüzoidal giriş hızı için batarya yüzey sıcaklık dağılımları (a) lokal (b) global 2700.sn



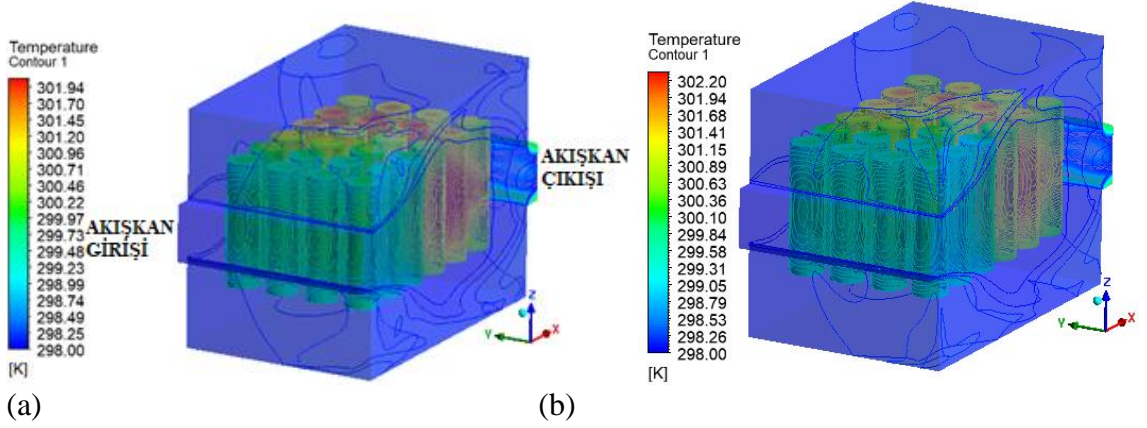
Şekil 4.61. Durum iki sinüzoidal hız için iterasyon grafiği



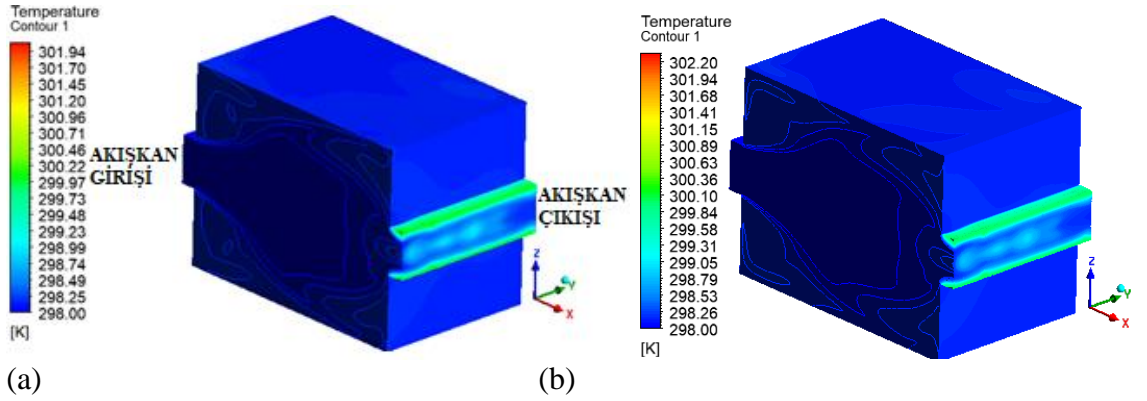
Şekil 4.62. Durum iki sinüzoidal hız için bataryanın içerisindeki ve yüzeyindeki ortalama sıcaklık grafiği



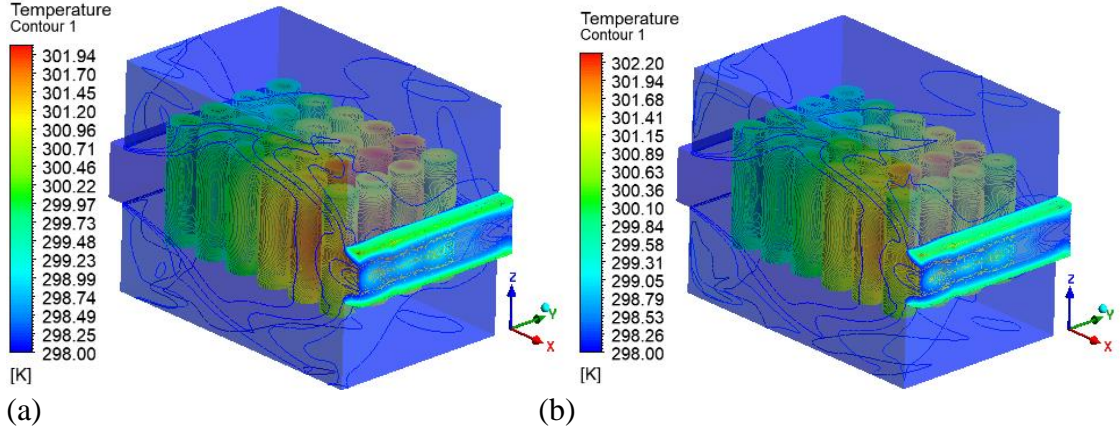
Şekil 4.63. Sinüzoidal giriş hızı için modül içerisindeki akışkanın sıcaklık dağılımı (a) lokal (b) global 2700.sn



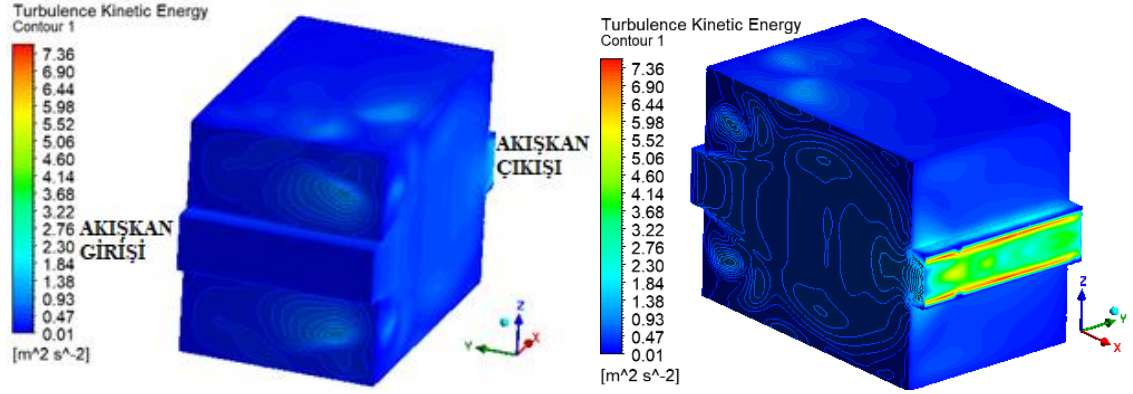
Şekil 4.64. Sinüzoidal giriş hızı için modül içerisindeki akışkanın sıcaklık dağılımının giriş tarafından gösterimi (a) lokal (b) global (transparan görünüm) 2700.sn



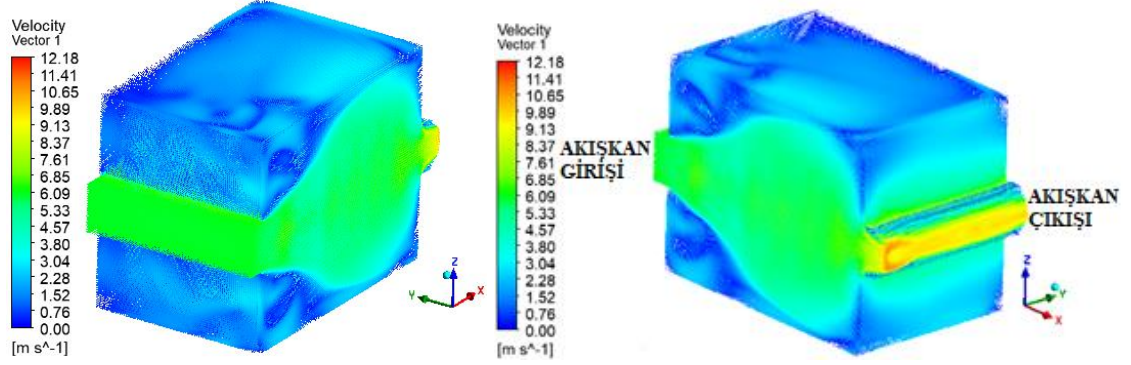
Şekil 4.65. Sinüzoidal giriş hızı için modül içerisindeki akışkanın sıcaklık dağılımının çıkış tarafından gösterimi (a) lokal (b) global 2700.sn



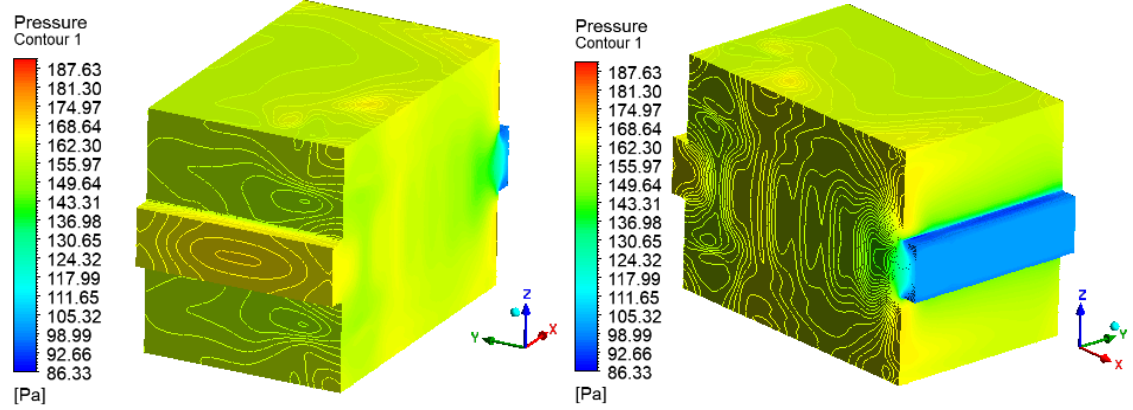
Şekil 4.66. Sinüzoidal giriş hızı için modül içerisindeki akışkanın sıcaklık dağılımının çıkış tarafından gösterimi (a) lokal (b) global (transparan görünüm) 2700.sn



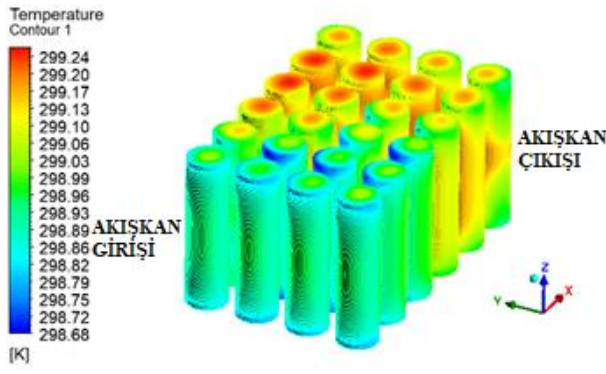
Şekil 4.67. Sinüzoidal giriş hızı için türbülans kinetik enerji 2700.sn



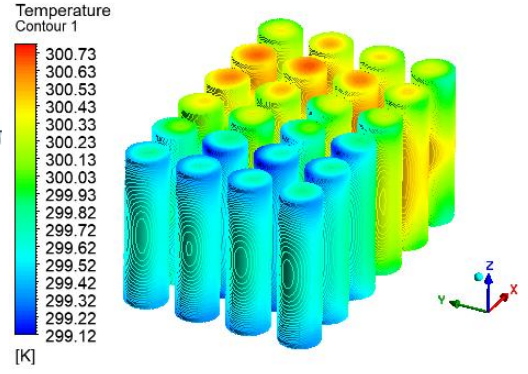
Şekil 4.68. Sinüzoidal giriş hızı için hız dağılımı 2700.sn



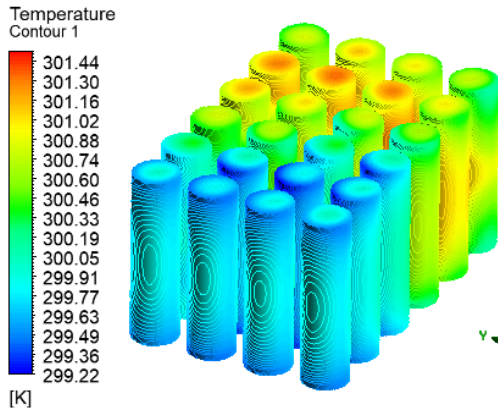
Şekil 4.69. Sinüzoidal giriş hızı için modül içerisindeki basınç dağılımının giriş ve çıkış tarafından gösterimi



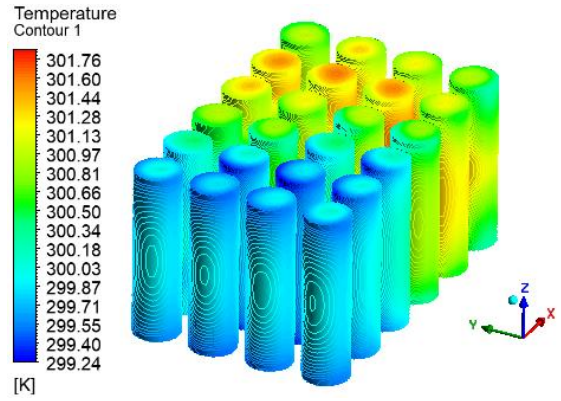
(a)



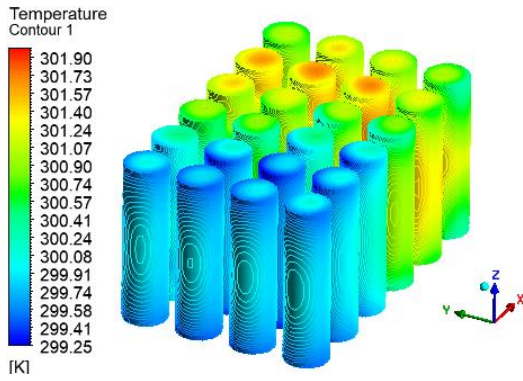
(b)



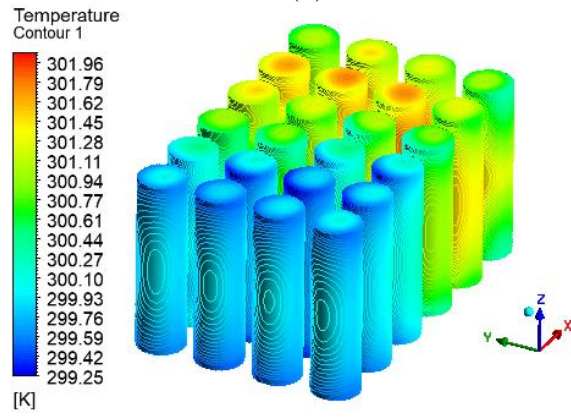
(c)



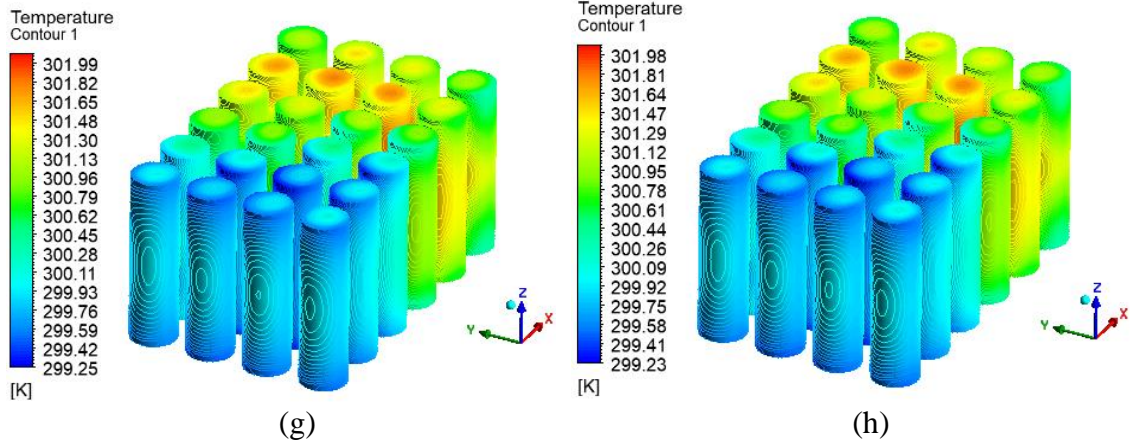
(d)



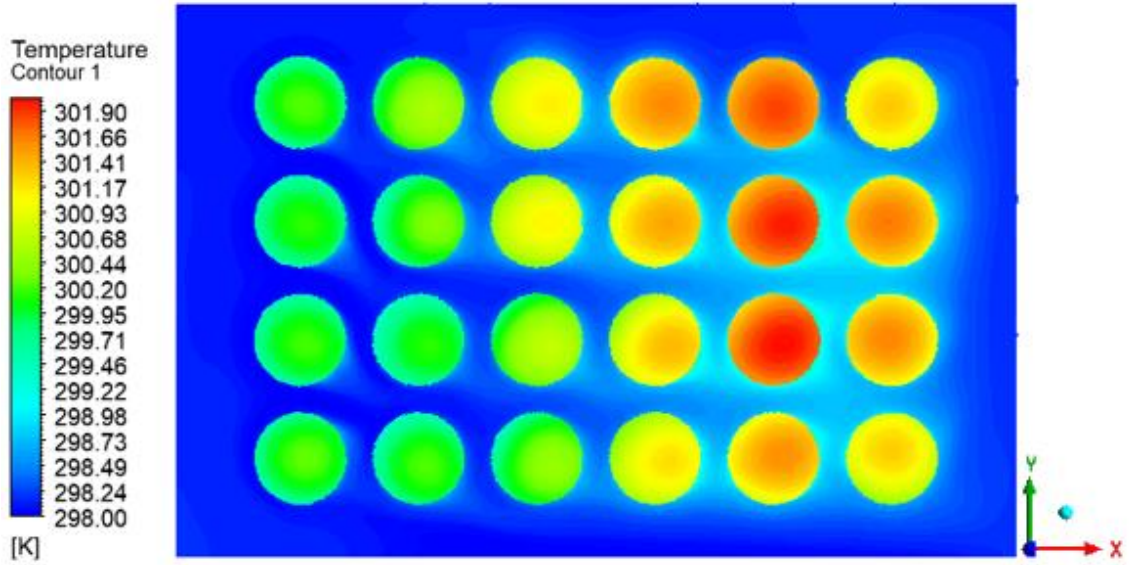
(e)



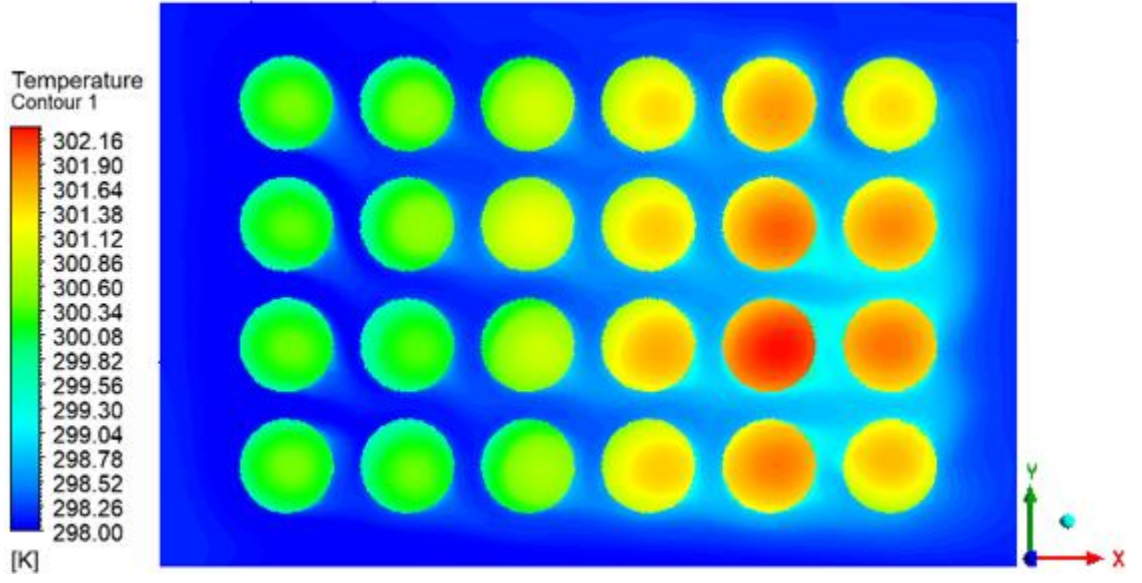
(f)



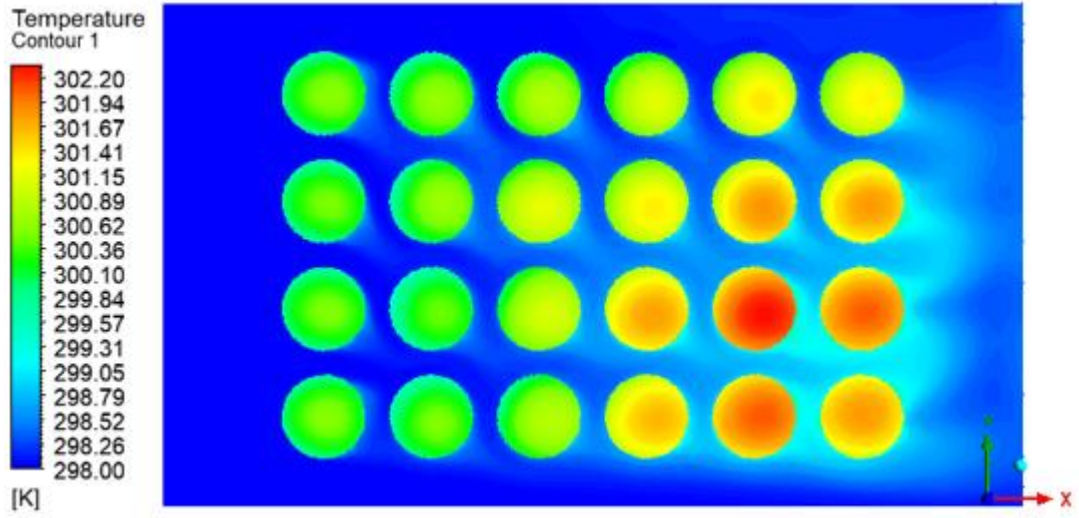
Şekil 4.70. Batarya yüzeyinde meydana gelen sıcaklıklar (a) 200.saniye (b) 600.saniye (c) 1000.saniye (d) 1400.saniye (e) 1800.saniye (f) 2200.saniye (g) 2600.saniye (h) 2700.saniye



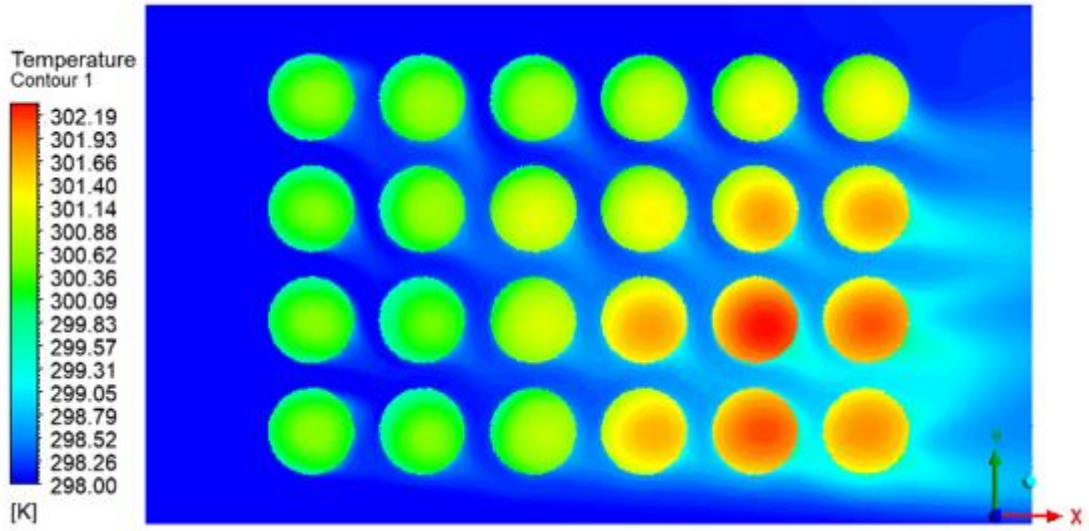
Şekil 4.71. $z = 120$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm) 2700.sn



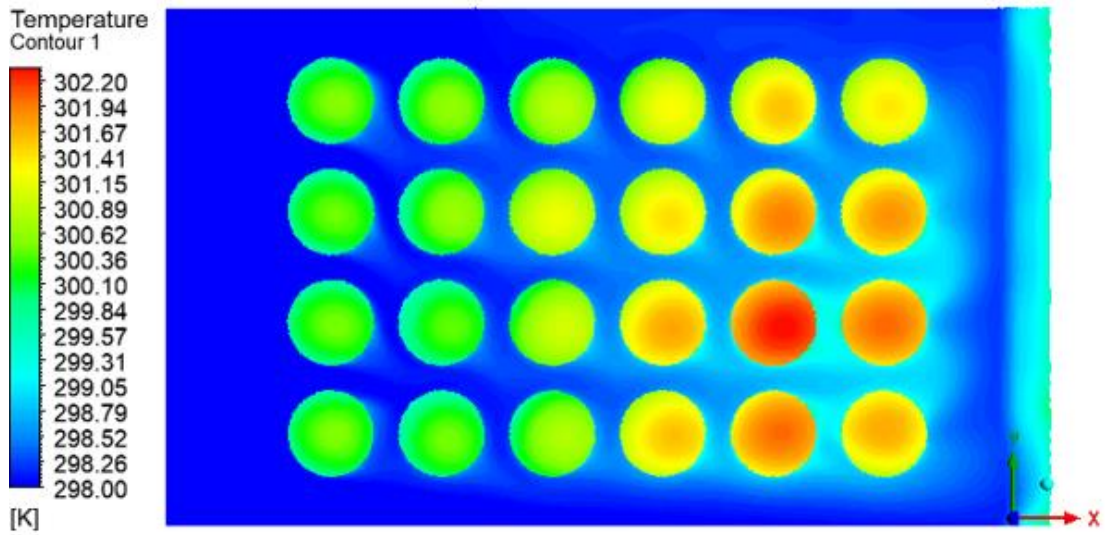
Şekil 4.72. $z = 100$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm) 2700.sn



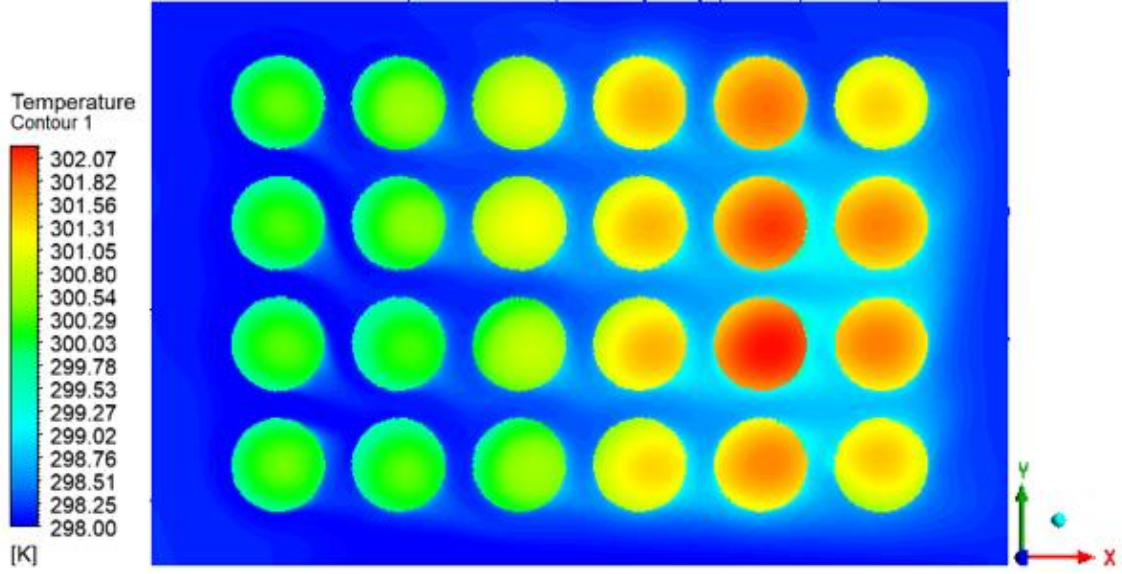
Şekil 4.73. $z = 80$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm) 2700.sn



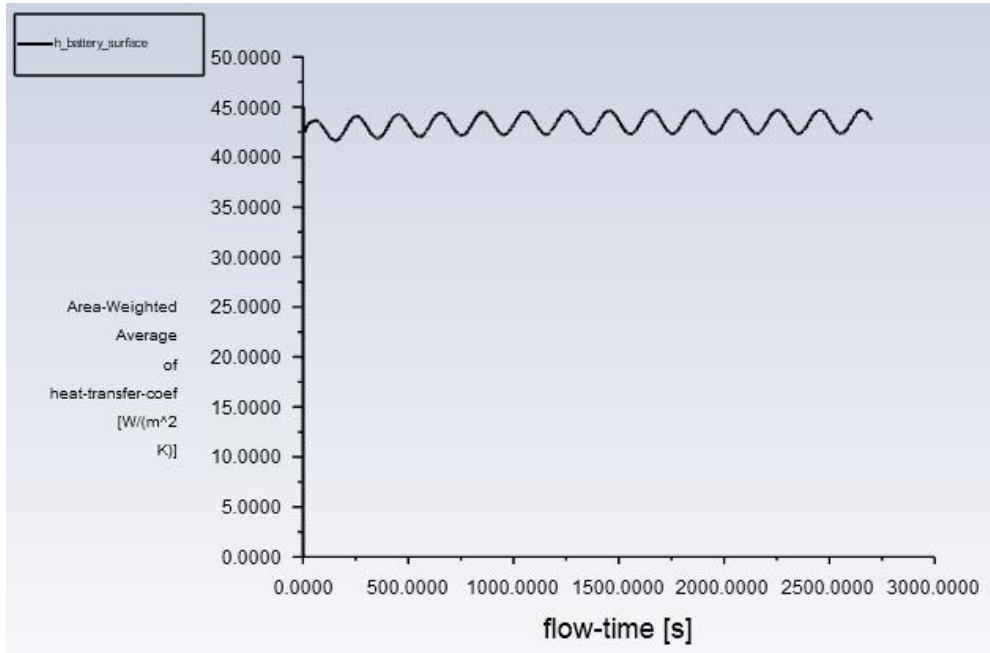
Şekil 4.74. $z = 60$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm) 2700.sn



Şekil 4.75. $z = 40$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm) 2700.sn



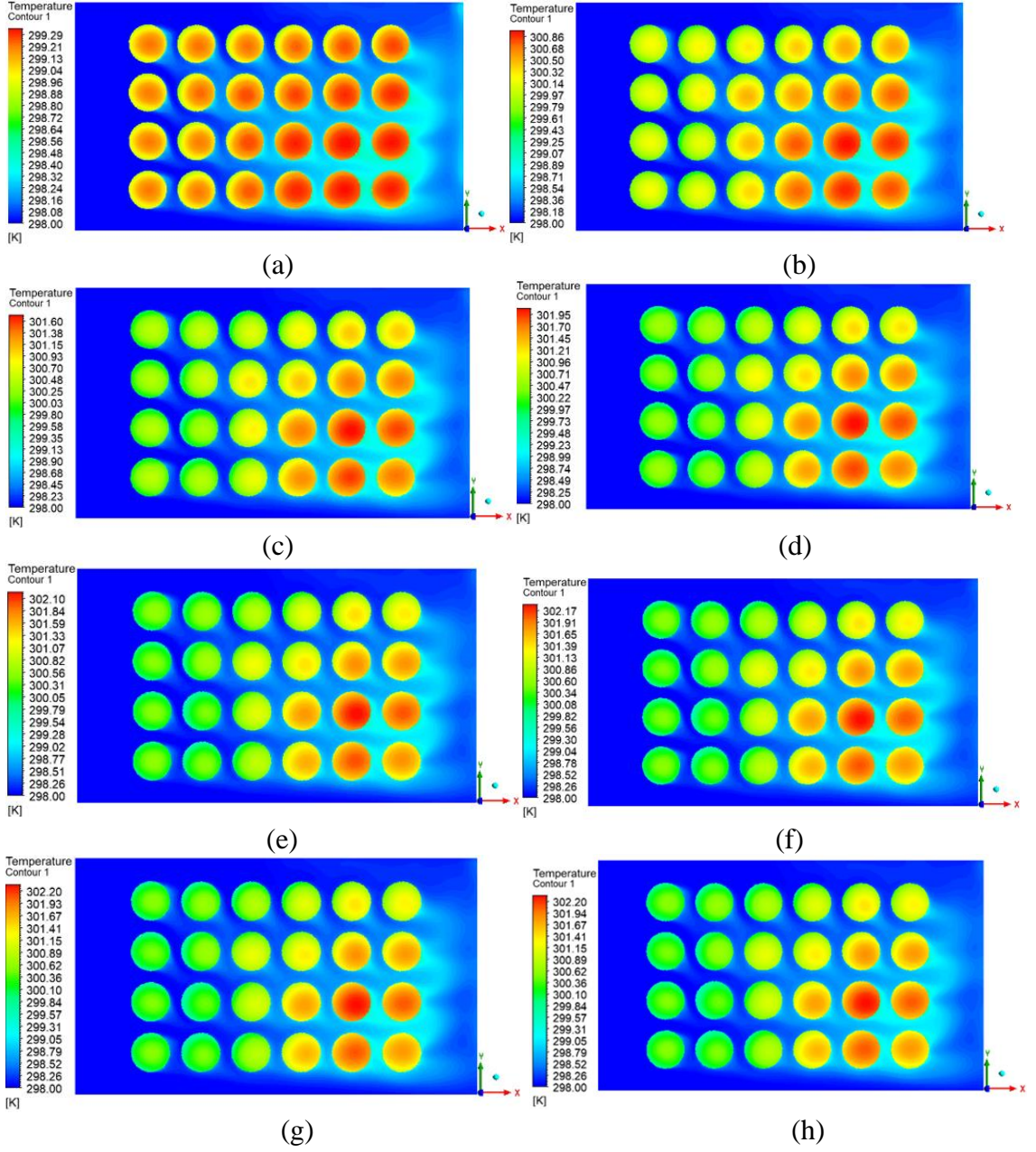
Şekil 4.76. $z = 20$ mm için batarya içerisindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm) 2700.sn



Şekil 4.77. Batarya yüzeyindeki ortalama ısı transfer katsayısı

Alınan kesitlerde sıcaklık dağılımına bakıldığında sıcaklık açısından kritik kesitin orta bölgeye yakın orta üst kesit olan $z=80$ mm olduğu görülmektedir.

Bu yüzden $z=80$ mm kesitinde sıcaklık dağılımını daha net ve detaylı inceleyebilmek için 200-600-1000-1400-1800-2200-2600-2700 sn için sıcaklık dağılımı aşağıda Şekil 4.78.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.78. $z = 80$ mm için batarya yüzeyindeki lokal sıcaklık dağılımı (üstten görünüm)
(a) 200.saniye (b) 600.saniye (c) 1000.saniye (d) 1400.saniye (e) 1800.saniye (f)
2200.saniye (g) 2600.saniye (h) 2700.saniye

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu tez kapsamında batarya modülüne sinüzoidal akış ile sabit hızda verilen bir akışkanın ısı transferine etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Endüstride uygulamada pulsatile akış profilinin sabit hıza göre batarya soğutma uygulamaları için aslında daha gerçekçidir. Çünkü akış olarak araca ön taraftan gelen hava kullanabildiği için değişken hız şeklinde kullanılabilirdiğinden gerçeğe daha yakındır. Ayrıca gerçeğe daha yakın modelleyebilmek için 3 boyutlu çalışılmıştır.

Durum bir olarak belirtilen geometri de akışkan girişi alt kısımdan akışkan çıkışı ise batarya modülünün üst kısmındadır. Durum bir için akışkanın sabit hızda olması durumunda elde edilen sonuçlar;

- Batarya modülünün altından akışkan girişi olması nedeniyle giren soğuk akışkanın ilk bataryaların alt kısımları ile temas etmesinden dolayı bataryanın alt kısımlarının soğuk olduğu görülmektedir. Hız kontörlerinde ise girişte giren havanın batarya modülündeki bataryaların kesiti azaltması nedeniyle çıkışa doğru hızın arttığı gözlemlenmiştir. İlk bataryalarla temas eden soğuk akışkan ilerlemeye çalışırken engellerle yani silindir yüzeyleri ile karşılaştığından arkaya yönlendirilerek engelin olmadığı alt kısımdan arkaya yönlendiği için batarya modülünün arka kısmı ve arkadaki bataryalar daha soğuktur. Akışkan bataryaların üst kısmında engellerden dolayı girdap yarattığı ve soğuk akışkanın girişi batarya modülünün de alt da olmasının etkisiyle birlikte kritik kesitin bataryanın en üst kısmı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuç türbülans kinetik enerji kontör grafiklerinde de ısı transferinin yüksek olduğu çıkış bölgesi olduğu net bir şekilde görülmüştür.
- Basınç farkı olarak modül içerisindeki en yüksek ve en düşük basınç farkına bakılmıştır. Basınç farkını bilmek akışkanın bir fan ile gönderilmesi durumunda bu basıncı karşılayacak fan kullanımının etkin bir şekilde hesaplanarak kullanılmasına olanak sağlar.
- Durum bir için sabit ve sinüzoidal akış durumunda bataryalar arasındaki sıcaklık farkı 5 °C den fazla olduğu için pratikte uygulanan emniyet sınırını aştığı görülmüştür.

- Bu kontrolün yapılıyor olmasının sebebi ise güvenlik amacıyla batarya sisteminin kendini kapamasını sağlamaktır ve bu emniyet sınırı aşıldığında sistem kendini kapamaktadır. Böylece aşırı ısınma ve patlama gibi sorunların önüne geçilebilmesi amaçlanmıştır.

Durum bir için akışkanının sinüzoidal şekilde olması durumunda elde edilen sonuçlar;

- Öncelikle akış rejime girinceye kadar çözdürülmeye dikkat edilmiştir. Fakat elde edilen sonuçlara göre batarya yüzey ve iç sıcaklık dağılımında akışkan hızının sabit olması durumuna göre basınç, hız, türbülans kinetik enerji dağılımı olarak aynı dağılıma ulaşıldığı yani bir ve farklılık olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.
- Yalnızca sıcaklık açısından akışın sinüzoidal olması durumunda sıcaklık farkı, sabit hızla olması durumuna göre 1°C sıcaklık farkı olduğu gözlenmiştir. Fakat beklenildiği kadar bariz bir sıcaklık farkı olmamıştır. Ancak bataryaların soğutulmasında 1°C sıcaklık farkı oldukça önemlidir.

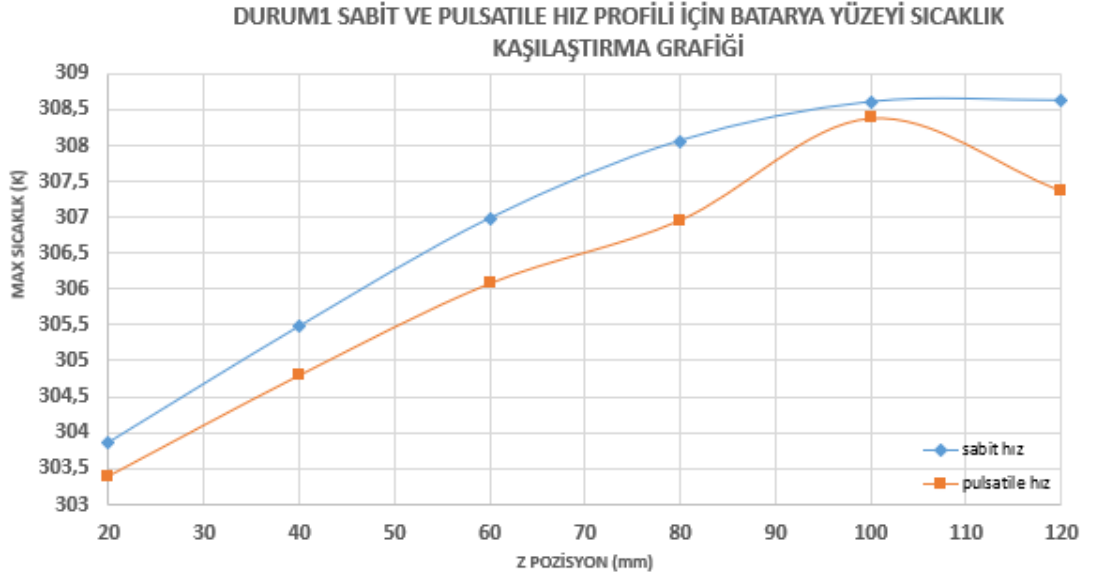
Durum iki olarak belirtilen geometri de akışkan girişi batarya modülünün orta kısımdan akışkan çıkışı ise yine batarya modülünün orta kısmındadır. Durum iki için akışkanının sabit hızda olması durumunda elde edilen sonuçlar;

- Durum iki de akışkan girişine uzak olan çıkıştan önceki ilk sıra bataryaların orta kısımlarına yakın kesite, akışkan varıncaya kadar ısındığı için en sıcak bölgeler bu kısımdadır. Çünkü akışkan sıcak batarya yüzeylerine temas ettiğinden ısınarak çıkışa doğru ilerlediği için akışkan ısı transferi kabiliyetini yitirmektedir. Ancak batarya yüzeylerindeki toplam ısı transferi durum bir de akışkanın sinüzoidal ve sabit hız olarak verilmesi durum birdeki geometri ile kıyaslandığında çok net bir şekilde ısı transferinin arttığı grafikte gösterilmiştir. Basınç kaybı durum iki geometrisinde durum bir deki geometriye göre daha yüksektir.
- Durum iki için sabit ve sinüzoidal akış durumunda bataryalar arasındaki sıcaklık 5°C den az olduğu için aslında bu modül aktif şekilde çalışmaktadır.

Durum iki için akışkanının sinüzoidal olması durumunda elde edilen sonuçlar;

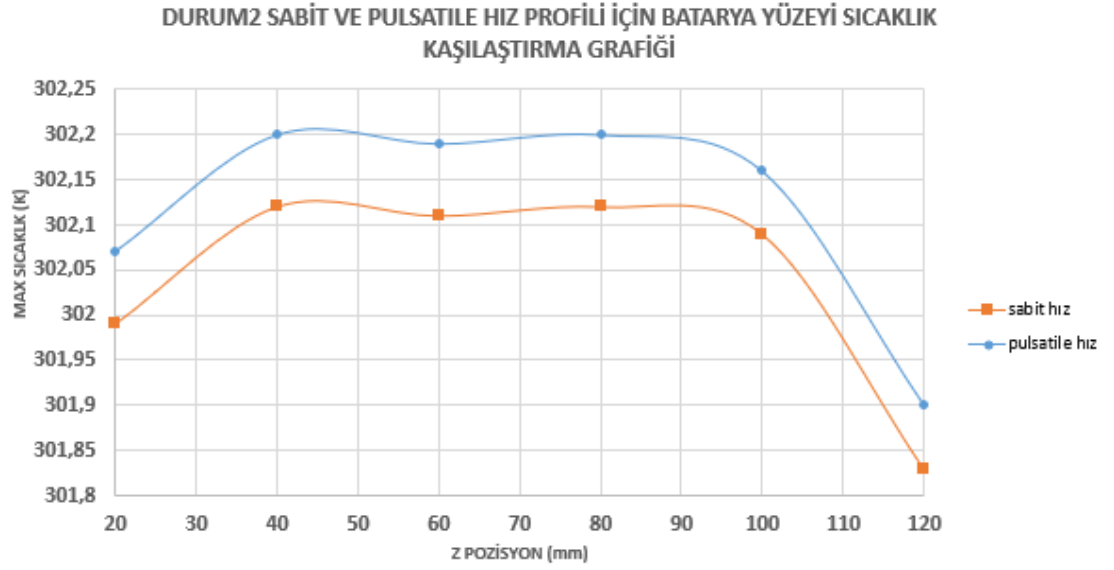
- Akışkanın sinüzoidal olması sabit olması durumuyla benzer sonuçlar vermiştir.
- Aslında burada elde edilen en önemli sonuç bu tez kapsamında verilen sinüzoidal akıştaki periyot, genlik değerleri ile sabit hızdaki duruma göre ısı transferini arttıracak bir etki sağlamamıştır. Akışkan girişinin değiştirilmesi ile yani batarya modülünün altından batarya modülü ortasına alınması durumunda ısı transferinde artış olmuştur.

Batarya modül geometrileri ve akış durum ayrı ayrı değerlendirilmesinden sonra kendi aralarında da değerlendirilmiştir. Bunlarla alakalı grafikler aşağıda görülmektedir.



Şekil 4.79. Durum bir sabit ve pulsatile hız profilinin kıyaslanması

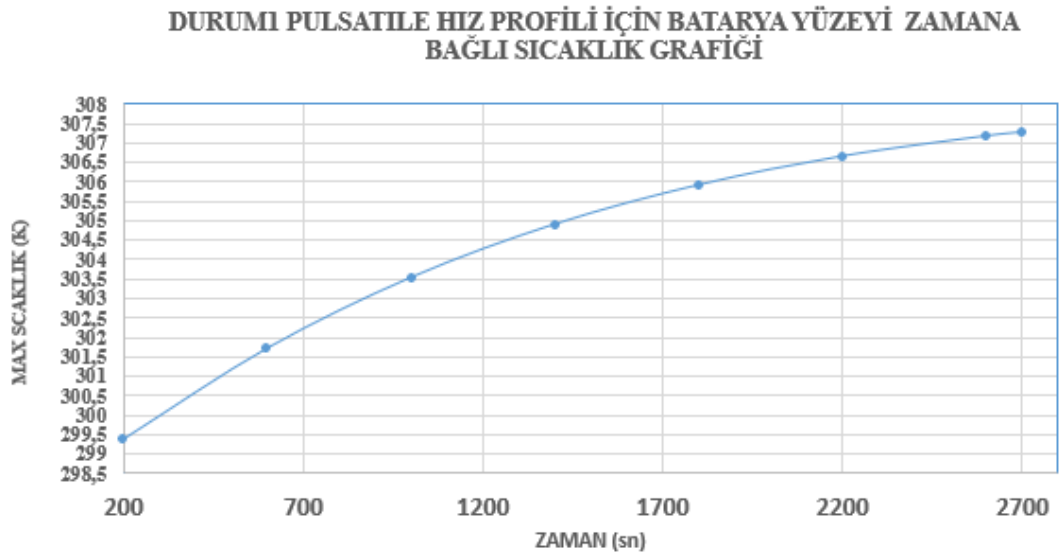
Şekil 4.79.'da görüldüğü gibi pulsatile hız etkisinin ısı transferi açısından az da olsa etkin olduğu görülmüştür.



Şekil 4.80. Durum iki sabit ve pulsatile hız profilinin kıyaslanması

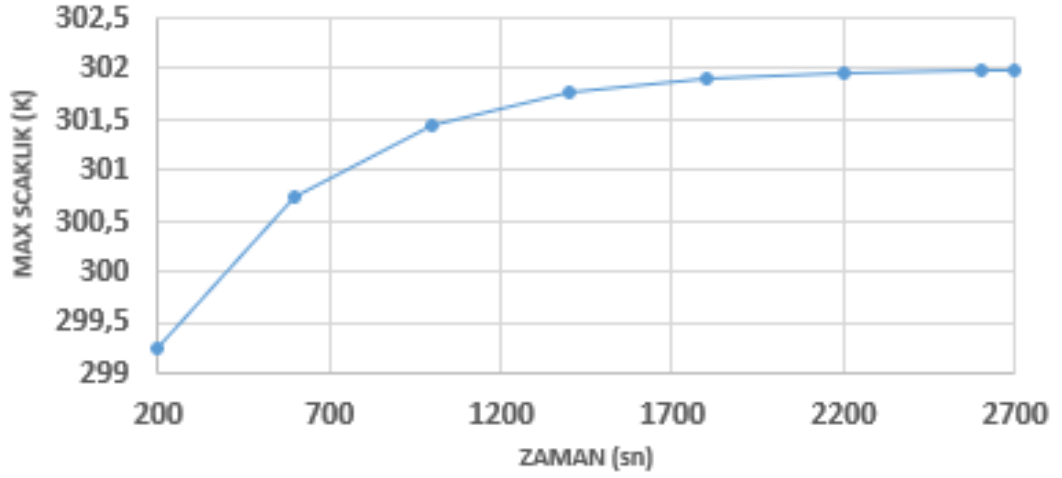
Şekil 4.80.'de görüldüğü gibi pulsatile hız etkisinin ısı transferi açısından az da olsa olumsuz bir etkisi olduğu görülmüştür.

Zamana bağlı pulsatile akış profili için batarya yüzeyinde meydana gelen sıcaklıklar olarak incelendiğinde sıcaklığın zamanla arttığı görülebilmektedir.



Şekil 4.81. Durum bir pulsatile hız profili batarya yüzey sıcaklığın zamana bağlı incelenmesi

DURUM2 PULSATILE HIZ PROFİLİ İÇİN BATARYA YÜZEYİ ZAMANA BAĞLI SICAKLIK GRAFİĞİ



Şekil 4.82. Durum iki pulsatile hız profili batarya yüzey sıcaklığın zamana bağlı incelenmesi

Sabit hız 6 m/sn pulsatile hız ise 5,8 ile 6,2 arasında değişerek periyodik olarak kendini tekrar eden 6 m/sn hız çevresinde değişen hız seçilerek yalnızca hızın etkisi gözlenmek amaçlanmıştır. Daha sona geometri etkisini gözlemleyebilmek için geometri giriş çıkış kısmı değiştirilmiştir.

Şekil 4.83.'de elde edilmiş veileden de yararlanarak hız profilinin değiştirilmesi ve geometrinin giriş çıkış konumunun değiştirilmesiyle ulaşılan sonuçlar;

- Hızı değiştirmek aynı geometri için çok büyük bir etkiye sahip olmamıştır.
- Sabit hızda 2.geometri tercih edilebilir.

İncelenen Durum	Batarya Yüzeyindeki Ortalama Isı Transfer Katsayısı (W/m ² K)
Durum1 Sabit Hız İçin	28,08
Durum1 Sinüzoidal Hız İçin	28,17
Durum2 Sabit Hız İçin	43,58
Durum2 Sinüzoidal Hız İçin	43,68

Şekil 4.83. İncelenen durumlar için ısı transfer katsayıları

- Pulsatile akışın etkisinin olmayıp geometri etkisinin ısı transferi açısından etkisi daha baskındır. Aslında burada elde edilen en önemli sonuç bu tez kapsamında verilen sinüzoidal akıştaki periyot, genlik değerleri ile sabit hızdaki duruma göre ısı transferini arttıracak bir etki sağlamamıştır. Akışkan girişinin değiştirilmesi ile yani batarya modülünün altından batarya modülü ortasına alınması durumunda ısı transferinde artış olmuştur.

KAYNAKLAR

- Ataur, R., Helmi, A., Hwalader, 2014. Noble Evaporative Battery Thermal Management System for EVs/HEVs. International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Bali.
- Arora, S., 2018, "Selection of thermal management system for modular battery packs of electric vehicles:A review of existing and emerging technologies", *Journal of Power Sources*, 400, 621-640.
- Batarya ve yenilikçi enerji teknolojileri_calisma_grubu_raporu.pdf (tubitak.gov.tr) (Erişim Tarihi: 15.09.2022)
- Basu, S., Hariharan K.S., Kolake, S.M., Song, T., Sohn, D.K., Yeo, T. 2016. Coupled electrochemical thermal modelling of a novel Li-ion battery pack thermal management system. *Applied Energy*, 181:1–13.
- Chan, C.C., 2013. The rise & fall of electric vehicles in 1828–1930: lessons learned, *Proceedings of the IEEE*, 101(1):206 – 212.
- Chen D., Jiang J., Kim G., Yang C., Pesaran A., 2016. Comparison of different cooling methods for lithium ion battery cells, *Applied Thermal Engineering*, 94, 846–854.
- Chun, Y., Kim M.S., 2019. Thermal analysis and pack level design of battery thermal management system with liquid cooling for electric vehicles *Energy Convesion and Management*
- Cooper. W.L., Nee, V.W., Yang, K.T., 1994. An experimental investigation of convective heat transfer from the heated floor of a rectangular duct to a low frequency, large tidal displacement oscillatory flow *Int.J.Heat Mass Transfer*,vol.37(4), pp.581-592,
- Çarpınlioğlu, M.Ö., Özahi, E., 2012. "An Updated Portrait on Transition to Turbulence in Laminar Pipe Flows with Periodic Time-Dependence (A Correlation Study)" *Journal of Flow Turbulence and Combustion* 89/4 pp: 691-711
- Eberhald, M., ve Tarpenning, M., 2006. *The 21st Century Electric Car*, Tesla motors Inc.
- Ertaç, Y., 2008. Elektrikli araçların tasarımı ve simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Fan, Y., Bao, Y., Ling, C., Chu, Y., Tan, X., Yang, S., 2019. Experimental study on the thermal management performance of air cooling for high energy density cylindrical lithium-ion batteries. *Appl. Therm. Eng.* 2019; 155: 96-109.
- Fessler, D.C., 2019. *The energy disruption triangle: three sectors that will change how we generate, use, and store energy*, John Wiley & Sons.
- Freeman, C., ve Soete, L., 2004. *Yenilik iktisadi*, Tübitak Yayınları Akademik Dizi: 25. Basım, Ankara.
- Global EV Outlook., 2013. *Electric Vehicles Initiative, Understanding the Electric Vehicle Landscape to 2020*. International Energy Agency.
- Global EV Outlook., 2018. International Energy Agency.
- Gören, E., 2011. Hibrid ve elektrikli araçlar ile toplu ulaşımda enerji verimliliği, 2. *Ulusal Enerji Verimliliği Forumu ve Fuarı Bildiriler Kitabı*, 13- 14 Ocak, 2011, İstanbul, Türkiye, syf: 28-32
- Güven, E. C., & Gedik, K., 2019. Ömrünü Tamamlamış Elektrikli Araç Bataryalarının Çevresel Yönetimi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9(2), 726-737.
- Hsiu-Ying Hwang, Yi-Shin Chen, Jia-Shiun Chen (2014). Research Article Optimizing the Heat Dissipation of an Electric Vehicle Battery Pack

- Karagöz, İ., Umur, H., Pulat, E., 1997. Kanallarda Sinüsoidal Akışta Konvektif Isı Transferi ULIBTK'97 11.Ulusal Isı Bilimi Tekniği Kongresi 17-19 Eylül EDİRNE
- Karataş, O.S., Sökmen K.F., 2022. Thermal optimization of intercellular distance in lithium-ion batteries and numerical analysis of the original honeycomb metal integrated battery pack *Journal of Energy Storage*
- Kozak, M., ve Kozak, Ş., 2012. Enerji Depolama Yöntemleri, *SDU International Journal of Technologic Sciences*, 4(2), 17-29.
- Kondjoyan, A., Daudin, J.D., 1995. Effects of Free Stream Turbulence Intensity on Heat and Mass Transfer at The Surface of Circular Cylinder and an Elliptical Cylinder, Axis Ratio 4, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 38:1735-1749.
- Kul, B., 2020. Geçmişten Günümüze Piller. *Takvim-i Vekayi*, 8(1), 104-115.
- Krishnadas, S., Kshetrimayum , Young-Gak, Yoon ., Hye-Ri, Gye., Chul-Jin, Lee., (2019). Preventing heat propagation and thermal runaway in electric vehicle battery modules using integrated PCM and micro-channel plate cooling system
- Küçükdeveci, N., 2018. Şarj Edilebilir Nikel-Metal Hidrür (NiMH) Pillerinde Kullanılan Hidrojen Depolama Alaşımlarındaki Son Gelişmeler. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 454-472.
- Larminie, J., Lowry, J. 2003. *Electric vehicle technology explained*, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England
- Leitman, S., Brant, B. 2008. *Build your own electric vehicle*, The McGraw-Hill Companies Second Edition, USA
- Lepetun, J., 2011. *Flowing with the Current, The Political Economy of Electric Car Industry*, USA. Lambert Academic Publishing.
- Linden, D., Reddy, T. B. (Ed.) 2002. *Handbook of Batteries*, (Third Edition), New York: McGraw-Hill, Bölüm 35.
- Liu, Y., Zhang, J., 2019. Design a J-type air-based battery thermal management system through surrogate-based optimization. *Applied Energy*, 252, 113426.
- Li, M., Liu, Y., Wang, X., Zhang, J., 2019. Modeling and optimization of an enhanced battery thermal management system in electric vehicles. *Front Mech Eng* 14:65–75.
- Li, J., Zhu, Z. 2014. *Battery Thermal Management Systems of Electric Vehicles*. Master's Thesis, Department of Applied Mechanics, Division of Vehicle Engineering & Autonomous Systems, Chalmers University of Technology Göteborg, Sweden.
- Otomotiv Distribütörleri Derneği Dergi, (2018), *Otomotiv ve Yeni Stratejiler*, Sayı 76.
- Palinski, M., 2017. A comparison of electric vehicles and conventional automobiles: costs and quality perspective, Bachelor's Thesis, Novia University of Applied Sciences, Finland.
- Sahay K., Dwivedi B., 2009. Energy Storage Technology for Performance Enhancement of Power Systems, *Electrical Power Quality & Utilization Magazine*, 4(1), 2-6.
- Shahid, S., A.Chaab, M., (2017). Analysis of cooling efectiveness and temperature uniformity in a battery pack for cylindrical batteries.
- Sayın, A.A., Yüksel, İ., 2011. Elektrikli Renault Fluence aracı, lityum-iyon bataryasının modellenmesi ve batarya yönetimi, *Mühendis ve Makine*, 52(616):75-82.
- Singh, M., 2013. Green energy for metropolitan transport, *International Journal on Power Engineering and Energy (IJPEE)*, 4(1):338-342.
- Taylan, T., 2019. Lityum İyon Pil Hücresinin Termal Karakterizasyonu Yüksek Lisans Tezi

Tie S. T., Tan C. W., 2013. A Review of Energy Sources and Energy Management System in Electric Vehicles, Editors: Foley A., Renewable and Sustainable Energy Reviews, 88th ed., Queen's University Belfast, Northern Ireland, 82- 102, 2013.

Tuncay N., Üstün, Ö., 2012. Elektrikli araçlarda geçmişten geleceğe bakış, MÜSİAD Otomotiv Sektör Kurulu Raporu, İstanbul, Haziran 2012

Tübitak, Elektrikli Araçlar, Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü GEBZE - 2003

Türkiye Elektrikli ve Hibrit Araçlar Platformu, <http://tehad.org/2018/07/06/elektrikli-ve-hibrid-otomobil-satis-rakamlari-aciklandi/> Erişim Tarihi: 20.12.2022

UKIP., 2009. Electric & Hybrid Vehicle Technology International, Annual 2009, Surrey, UK, pp:99

Keskin, A. (2009). Hibrid taşıt teknolojileri ve uygulamaları. Mühendis ve Makine, 50(597):12-20.

UKIP., 2014. Electric & Hybrid Vehicle Technology International, January 2014, Surrey, UK, pp:40

Uzal, Hasan., Şener, Ramazan., Oktay, Hasan., 2023. Elektrikli Araçlarda Hava Giriş Konumu ve Hızının Batarya Soğutma Performansına Etkisinin Araştırılması

Ünlü, N., Karahan, Ş., Tür, O., Uçarol, H., Özsu, E., Yazar, A., Turhan, L., Akgün, Wagner R., Boyle D., Kent D., 2002. Commercialization of Flywheel Energy Storage Technology on the International Space Station, IECEC '02. 2002 37th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, Washington, USA, 29-31 July 2002.

Von Handorf, D. E. (2002). The baghdad battery – myth or reality. *Platin and Surface Finishing*, 89(5), 84-87.

Wang T., Tseng K., Zhao J., Wei Z., 2014. Thermal investigation of lithium-ion battery module with different cell arrangement structures and forced air-cooling strategies, *Applied Energy*, 134, 229–238.

Wang Y., Zhang G., Yang X., 2019. Optimization of liquid cooling technology for cylindrical power battery module. *Appl Therm Eng* 162:114200.

Wu M., Liu K., Wang Y., Wan C., 2002. Heat dissipation design for lithium-ion batteries, *Journal of Power Sources*, 109, 160–166.

Winter, M., Brodd, R. J., 2004. What are batteries, fuel cells, and supercapacitors? *Chemical Reviews*, 104(10), 4245- 4270.

Zhang, S., J.A., R. 2012. A new direction for the performance improvement of rechargeable lithium/sulfur batteries. *Journal of Power Sources*(200), 7

Yuan, Z., , Zhao, J., Huang, F., 2018. Optimisation of a lithium-ion battery package based on heat flow field analysis 19th International Conference of Fluid Power and Mechatronic Control Engineering

Zhao J. T., Rao, Z, Huo Y, Liu X., Li Y., 2015. Thermal management of cylindrical power battery module for extending the life of new energy electric vehicles, *Applied Thermal Engineering*, 85, 33–43.

Zou, H., Jiang, B., Wang, Q., Tian, C. and Yan, Y. 2014. Performance Analysis of a Heat Pump Air Conditioning System Coupling with Battery Cooling for Electric Vehicles. *Energy Procedia*

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Esra YALÇINSOY
Doğum Yeri ve Tarihi : Çorum, 25.10.1995
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Tophane Teknik Lisesi
Lisans : Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Fe-Tech İleri Mühendislik Araştırma ve Geliştirme
San.Tic.Ltd.Şti (05.2021-07.2022)
Martur Fompak International (07.2022-Halen)

İletişim (e-posta) : esrayalcinsoy83@gmail.com

Yayımları : Yalçınsoy, E., Ateş, M., Pulat, E., Computational
investigation of backward facing step effect on heat
transfer from flush mounted electronic chips in turbulent
flow, *Gazi Üniveristesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Dergisi* 2024 pp 271-286