T.C.
TARSUS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

MİNİ KANALLI BİR ISI ALICIDA YENİLİKÇİ ENGEL KONFİGÜRASYONLARININ TERMOHİDROLİK PERFORMANSA ETKİLERİNİN SAYISAL OLARAK ARAŞTIRILMASI

DÖNDÜ TÜRK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARSUS - 2024

T.C.
TARSUS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

MİNİ KANALLI ISI ALICIDA YENİLİKÇİ ENGEL KONFİGÜRASYONLARININ TERMOHİDROLİK PERFORMANSA ETKİLERİNİN SAYISAL OLARAK ARAŞTIRILMASI

DÖNDÜ TÜRK

Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Buğra SARPER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARSUS - 2024

Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğüne;

Bu çalışma, jüri tarafından Otomotiv Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Dr.Öğr.Üyesi Buğra SARPER
(Danışman)

Üye: Doç.Dr.Ata HANLAR

Üye: Dr.Öğr.Üyesi Mustafa Yusuf YAZICI

Yukarıdaki Jüri kararı Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun …../…./2024 tarih ve ……../……..sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ONAY
Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim elemanlarına ait olduklarını onaylarım.
…/…/2024

Doç.Dr.Ayşe ERGİN ÜNAL
Enstitü Müdürü

NOT: Bu tezde kullanılan ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir.

ETİK BEYANI

Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

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

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim. …. / …. / 20…

İMZA

DÖNDÜ TÜRK

ÖZET

MİNİ KANALLI BİR ISI ALICIDA YENİLİKÇİ ENGEL KONFİGÜRASYONLARININ TERMOHİDROLİK PERFORMANSA ETKİLERİNİN SAYISAL OLARAK ARAŞTIRILMASI

DÖNDÜ TÜRK

Yüksek Lisans Tezi, Otomotiv Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Buğra SARPER

Şubat 2024, 55 sayfa

Bu çalışmada, yenilikçi yarı ve çeyrek küresel engel konfigürasyonların bir mini kanallı ısı alıcının termohidrolik performansa etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Bu amaçla 0.0025 kg/s ile 0.0045 kg/s arasında 5 farklı soğutucu akışkan debi 4 farklı geometri için sayısal çalışmalar gerçekleştirilmiştir.Sayısal çalışmalar ANSYS Fluent 2021 R2 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.Yapılan çalışmalarda farklı konfigürasyonların hız ve sıcaklık alanlarına,ortalama Nusselt Sayısına,ısı alıcının performans katsayısına olan etkileri incelenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde debi değeri arttıkça ısı alıcının soğutma performansının arttığı,kanal içindeki engellerin ısı transferi karakteristlerinde önemli etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Mini kanallı ısı alıcı, parçalı küresel engel,termohidrolik performans,elektronik soğutma

ABSTRACT

NUMERICAL INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF INNOVATIVE OBSTACLE CONFIGURATIONS ON THERMOHYDRAULIC PERFORMANCE IN MINI CHANNEL HEAT SINK

DÖNDÜ TÜRK

Master Thesis, Department of Automotive Engineering

Supervisor: Assistant Prof.Buğra SARPER

Feb 2024, 55 pages

In this study, the effects of innovative partial and quarter spherical obstacle configurations on the thermohydraulic performance of a mini-channel heat sink are numerically investigated. For this purpose, numerical studies were carried out for 5 different refrigerant flow rates between 0.0025 kg/s and 0.0045 kg/s for 4 different geometries. The numerical studies were carried out with ANSYS Fluent 2021 R2 software. The effects of different configurations on the velocity and temperature fields, average Nusselt Number, and coefficient of performance of the heat sink were examined. When the results are analyzed, it is determined that the cooling performance of the heat sink increases as the flow rate increases, and the obstacles in the channel significantly affect the heat transfer characteristics.

Keywords: Mini-channel heat sink, partial spherical obstacle, thermohydraulic performance, electronic cooling

ÖNSÖZ

Hayatımızın her alanında kullandığımız elektronik cihazların gelişmesiyle elektronik komponentlere olan ilgi artmıştır. Zamanla daha büyük güç değerlerine sahip ve kompakt elektronik komponentler geliştirilmiştir. Elektronik komponentlerin güvenilir çalışmasını engelleyen ya da ömrünün daha kısa sürmesine neden olan en büyük problemlerden biri ısı problemidir.

Literatürde termal problemlerini yönetmek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır.Son dönemlerde yapılan çalışmaların yoğunluğu termal çözümlerin doygunluk seviyesine ulaşmadığını kanıtlamıştır.

Bu yüksek lisans tezinin kapsamında minikanallı ısı alıcının kanallarına farklı konfigürasyonlarda yerleştirilen tam ve parçalı küresel engellerin ısı alıcının soğutma performansına etkileri sayısal olarak incelenmiştir.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve birikimini esirgemeyen danışman hocam Dr.Öğr.Üyesi Buğra SARPER'e, mesleğe ilk adım attığımdan bu yana beni destekleyen değerli yöneticim Erhan BAĞBANCI'ya ve FARBA OTOMOTİV A.Ş'ye teşekkür ederim.Ayrıca hayatım boyunca aldığım kararlarda,yaptığım çalışmalarda maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen biricik aileme teşekkür ederim.

Döndü TÜRK

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... **i**
ABSTRACT ..... **ii**
ÖNSÖZ ..... **iii**
KISALTMALAR ..... **v**
TABLOLAR LİSTESİ ..... **vi**
ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **vii**
GİRİŞ **1**
Amaç ve Kapsam **5**

BÖLÜM I

KAYNAK ARAŞTIRMASI 6

BÖLÜM II

MATERYAL VE METOT 11
2.1.Problem Tanımı ve Fiziksel Model 11
2.2. Matematiksel Model 14
2.3. Korunum Denklemleri 14
2.4. Sınır Koşulları 15
2.5. Veri Analizi 16
2.6. Ağ Bağımsızlık Çalışması 18

BÖLÜM III

BULGULAR VE TARTIŞMALAR 21
3.1.Referans Mini Kanallı Isı Alıcı 21
3.2 Kanal Tabanında Yarı Küresel Engeller Bulunan Mini Kanallı Isı Alıcı(MCHS-A) 26
3.3 Kanal Cidarlarında Çeyrek Küresel Engeller Bulunan Mini Kanallı Isı Alıcı (MCHS-B) 30
3.4.Kanal Tabanı ve Cidarlarında Sırasıyla Yarı Küresel ve Çeyrek Küresel Engeller Bulunan Mini Kanallı Isı Alıcı(MCHS-C) 34
3.5 Kanal Cidarlarında ve Tabanında Çeyrek Küresel ve Yarı Küresel Engeller Bulunan Mini Kanallı Isı Alıcı(MCHS-D) 38
SONUÇLAR ve TARTIŞMA 47
KAYNAKÇA 49
ÖZGEÇMİŞ 55

KISALTMALAR

$\mathbf{A_c}$:	Efektif yüzey alanı
$\mathbf{c_{p,f}}$:	Özgül ısı
$\mathbf{D_h}$:	Mini kanalların hidrolik çapı
$\mathbf{D_e}$:	Yarı Küresel Engel Çapı
H:	Yükseklik
$\mathbf{H_{ch}}$:	Kanal Yüksekliği
$\mathbf{h_{ort}}$:	Ortalama ısı transfer katsayısı
$\mathbf{Nu_{ort}}$:	Ortalama Nusselt Sayısı
$\mathbf{Nu_r}$:	Nusselt sayısı oranı
$\mathbf{P_{atm}}$:	Çıkış Basıncı
$\mathbf{\dot{Q}}$:	Soğutucu akışkanın kazandığı ısı
$\mathbf{R_t}$:	Isı alıcının ısıl direnci
$\mathbf{T_{f,giriş}}$:	Soğutucu akışkan giriş sıcaklığı
$\mathbf{T_{f,ort}}$:	Akışkanın film sıcaklığı
$\mathbf{T_f}$:	Akışkan bölgedeki sıcaklık
$\mathbf{T_{inlet}}$:	Soğutucu Giriş Sıcaklığı
$\mathbf{T_s}$:	Katı bölgedeki sıcaklık
$\mathbf{T_{taban,max}}$:	Isı alıcı tabanındaki en yüksek yerel sıcaklık
$\mathbf{\Delta T_f}$:	Soğutucu akışkanın sıcaklık artışı
$\mathbf{q_w}$:	Isı akısı
$\mathbf{\Delta P}$:	Basınç farkı
L:	Uzunluk
MCHS:	Mini kanallı ısı alıcı
$\mathbf{\dot{m}_f}$:	Soğutucu Giriş Debisi
W:	Genişlik
$\mathbf{W_{ch}}$:	Kanal Genişliği
PEC:	Performans katsayısı
U:	X doğrultusundaki hız bileşeni
v :	Y doğrultusundaki hız bileşeni
w :	Z doğrultusundaki hız bileşeni

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1. Minikanal ısı alıcıya ait temel ölçüler..... 14

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. Elektronik cihazlardaki arıza sebepleri ve etki yüzdeleri 2

Şekil 2. Farkı soğutucu akkanlar ve soğutma teknikleri kullanılarak gerçekleştirilen soğutmada yüzey ısı akısı ve sıcaklık farkı arasındaki ilişki 3

Şekil 3. Mini kanallı ısı alıcılara yönelik çalışmalar: a) Yıllara göre çalışma sayısındaki değişim, b) İnceleme alanları 7

Şekil 4. Mini kanallı ısı alıcı geometri özellikleri a.)Mini kanallı ısı alıcı konfigürasyonları b.) Mini kanallı ısı alıcı kesit görünümü 122

Şekil 5. Referans minikanal ısı alıcının geometrisi 13

Şekil 6. Sınır Koşulları 16

Şekil 7. Hesaplamalarda kullanılan dörtyüzlü (tetrahedral)-eş dağılı ağ yapısı 18

Şekil 8. Ağ bağımsızlık çalışması 19

Şekil 9. Mevcut çalışma ve literatürdeki çalışmanın karşılaştırılması 20

Şekil 10. Referans mini kanallı ısı alıcı (MCHS) için farklı akışkan debilerinde tabandan 3.5 mm yükseklikte elde edilen sıcaklık konturları 22

Şekil 11. Referans mini kanallı ısı alıcı (MCHS) için farklı akışkan debilerinde tabandan 3.5 mm yükseklikte elde edilen hız konturları 23

Şekil 12. Referans mini kanallı ısı alıcı (MCHS) için farklı akışkan debilerinde elde edilen akım çizgileri 24

Şekil 13. Referans mini kanallı ısı alıcı (MCHS) için taban sıcaklığı ve basınç düşümünün soğutucu akışkan debisi ile değişimi 25

Şekil 14. MCHS-A tasarımı için farklı akışkan debilerinde tabandan 3.5 mm yükseklikte elde edilen sıcaklık konturları 27

Şekil 15. MCHS-A tasarımı için farklı akışkan debilerinde tabandan 3.5 mm yükseklikte elde edilen hız konturları 28

Şekil 16. MCHS-A tasarımı için farklı akışkan debilerinde elde edilen akım çizgiler .. 29

Şekil 17. MCHS-B tasarımı için farklı akışkan debilerinde tabandan 3.5 mm yükseklikte elde edilen sıcaklık konturlar 31

Şekil 18. MCHS-B tasarımı için farklı akışkan debilerinde tabandan 3.5 mm yükseklikte elde edilen hız konturları 32

Şekil 19. MCHS-B tasarımı için farklı akışkan debilerinde elde edilen akım çizgileri . 33

Şekil 20. MCHS-C tasarımı için farklı akışkan debilerinde tabandan 3.5 mm yükseklikte elde edilen sıcaklık konturları 35

Şekil 21. MCHS-C tasarımı için farklı akışkan debilerinde tabandan 3.5 mm yükseklikte elde edilen hız konturları 36

Şekil 22. MCHS-C tasarımı için farklı akışkan debilerinde elde edilen akım çizgileri . 37

Şekil 23. MCHS-D tasarımı için farklı akışkan debilerinde tabandan 3.5 mm yükseklikte elde edilen sıcaklık konturları 39

Şekil 24. MCHS-D tasarımı için farklı akışkan debilerinde tabandan 3.5 mm yükseklikte elde edilen hız konturları 40

Şekil 25. MCHS-D tasarımı için farklı akışkan debilerinde elde edilen akım çizgileri . 41

Şekil 26. Farklı ısı alıcı tasarımları için basınç düşümünün soğutucu akışkan debisiyle değişimi 42

Şekil 27. Farklı ısı alıcı tasarımları için taban sıcaklığının soğutucu akışkan debisiyle değişimi 43

Şekil 28. Farklı ısı alıcı tasarımları için ortalama Nusselt sayısının soğutucu akışkan debisiyle değişimi 44

Şekil 29. Farklı ısı alıcı tasarımları için Nusselt sayısı oranının soğutucu akışkan debisiyle değişimi 45

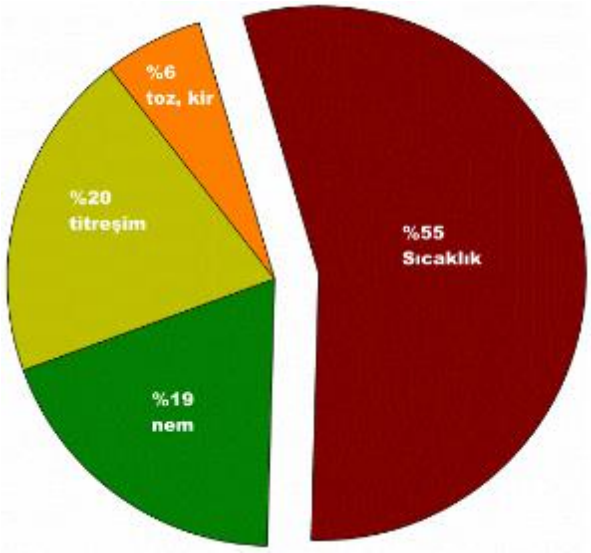
Şekil 30. Farklı ısı alıcı tasarımları için performans katsayısının soğutucu akışkan debisiyle değişimi 46

GİRİŞ

İnsan yaşamının önemli bir kısmında yer alan elektronik cihazlar ve ekipmanlara olan ilgi gelişen teknoloji ile birlikte artmaktadır.Elektronik bileşenler otomotivden savunma sanayisine, beyaz eşyadan havacılığa kadar tüm endüstrilerde önemli bir paya sahiptir.Yaşanılan taleplerden dolayı elektronik bileşen üreticileri için işlevsellik ve performans özelliklerinin yanında ekipman boyutlarının en aza indirilmesi ve daha az alan ile çok daha fazla güce sahip bileşenlerin üretilmesi zorunlu hale gelmiştir.Bu gelişmelere bağlı olarak ısıl problemler elektronik bileşen arızalarının başında gelmektedir.Termal problemlerin ana nedeni küçülen alana oranla artan güç değerleridir.Sistemde üretilen ısı elektronik bileşen üreticilerinin tasarım sürecinde dikkat etmesi gereken majör bir konu haline gelmiştir.

Elektronik bileşenler sahip oldukları gücün belirli bir kısmını ısıya dönüştürür.Örneğin 2.2W'lık bir elektronik güce sahip LED'in optik gücü yaklaşık 0.55W ve termal 1.65W'dır (Osram, Thermal Management Application Note, 2022). Elektronik bileşenlerin soğutulmasında görülen iki ana zorlayıcı unsur, artan ısı akısının yeterli şekilde giderilmesi ve homojen olmayan güç dağılımıdır (Murshed ve Castro,2017).Elektronik cihaz ve sistemlerin güvenli olarak işletilebilmesi ve performans kayıplarının önüne geçilebilmesi için üretilen ısının sistemden etkin şekilde uzaklaştırılması gerekir. Isıl problemlerin başında sürekli artan bileşen merkez sıcaklığı ve sistemde meydana gelen güç dağılımının homojen olmaması gelmektedir.Bu problemlerden dolayı ısınan elektronik bileşenlerin soğutulmasına yönelik yapılan soğutma sistemi çözümleri büyük önem taşımaktadır.

Modern elektronik cihazların tasarım trendi daha küçük ebatlı ve daha yüksek performanslı cihazların daha iyi olduğu üzerine kuruludur.Ancak, bu eğilim yüksek güç yoğunluğu, yüksek çalışma sıcaklıkları, performans ve cihaz ömründe azalmayı beraberinde getirir.Eğer ısı sistemden üretilene eşit ya da daha fazla olarak uzaklaştırılamazsa bileşenler ve dolayısıyla cihaz sıcaklıkları artmaya devam eder. Bu durum güvenirliği ve performansı azaltırken cihazlarda arızalara yol açabilir (Murshed ve Castro,2017).Elektronik cihazlarda arızalara sebep olan başlıca etkenler sıcaklık, titreşim, nem ile toz ve kir olarak özetlenebilir.Şekil 1'de elektronik cihazlarda ortaya çıkan arızaların başlıca sebepleri ve arızalara olan etkileri yüzdesel olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. Elektronik cihazlardaki arıza sebepleri ve etki yüzdeleri

Kaynak: (Yeh,1995; Sarper,B. 2018)

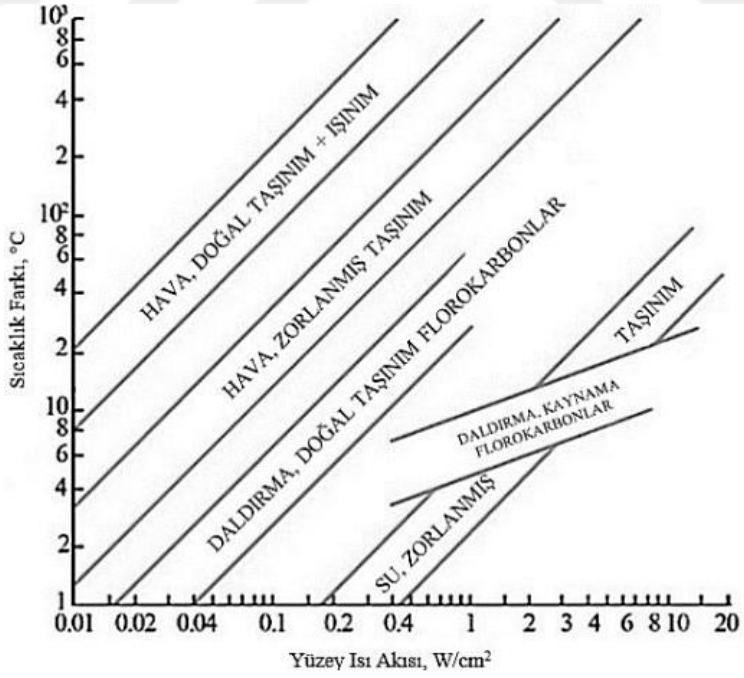
Elektronik bileşenlerinin soğutma sistemlerinin tasarımında üç önemli husus dikkate alınmalıdır.İlk olarak, bileşenin merkez sıcaklığını maksimum sıcaklığından daha küçük bir değerde tutulmalıdır.Sonrasında, bileşenin yaydığı ısının sistem veya devre üzerindeki olumsuz etkisi en aza indirilmelidir.Son olarak, bileşenin kullanılacağı kasanın ya da ortamın ısıl yönetimi gerçekleştirilmelidir. Sistemin ısıl performansını etkileyen faktörler bileşen kılıfı, güç dağılımı, merkez sıcaklığı ve ortam hava sıcaklığı gibi faktörlerdir.

Bir soğutma sistemi tasarımı yapılırken her elektronik bileşene özgü olan bağlantı noktası sıcaklığı referans olarak alınabilir (T_{jmaks}).Her elektronik bileşenden beklenen referans bağlantı noktası sıcaklığı altındaki bir sıcaklıkta çalışmasıdır. Bağlantı noktası sıcaklığı, bileşen aktif hale geldiği anda ilk ısınmaya noktadır.Eğer bileşen sıcaklığı bağlantı noktası sıcaklığı (T_{jmaks}) üzerinde bir değerde ise bileşen güvenli bir şekilde çalışmaz ve zamanla kalıcı hasar meydana gelir.Bu durum kullanıldığı yere göre ölümcül olaylara bile sebebiyet verebilir.

Aşırı ısınmayı önlemek için kullanılan soğutma sistemleri aktif ve pasif soğutma sistemleri olarak gruplandırılabilir.Aktif soğutma sistemleri ısının bileşen üzerinden uzaklaştırılması amacıyla bir fan ya da pompa gibi ekipmanlar vasıtasıyla hava ya da sıvının ısı yayan bileşen üzerine gönderilmesi esasına dayanır.Aktif soğutma sistemleri yüksek soğutma kapasitesine sahiptir.Sistemin çalışması için mekanik olarak desteklenmesi ve dışarıdan elektrik gücüne ihtiyaç duyması dezavantaj olarak

görülmektedir. Genelde fan ya da kapalı bir döngü içerinde sıvının dolaştığı sistemler kullanılmaktadır.

Pasif soğutma sistemlerinin kullanımı mekânsal olarak sınırlı olan bir sistemde aktif soğutmaya göre daha kullanışlıdır.Çalışması için herhangi bir mekanik desteğe veya itici bir güce ihtiyaç duymazlar.Pasif soğutma sistemlerinin soğutma kapasiteleri aktif soğutmaya göre daha azdır.En sık kullanılan geleneksel pasif soğutma sistemi doğal taşınım mekanizması kullanılarak ısınan bileşen üzerine bir ısı alıcı yerleştirilmesidir.Isı alıcıya kanat yapısı eklenerek yüzey alanının artırılması sağlanır. Bu sayede soğutma kapasitesinin artırılması amaçlanır.Genel olarak ısı alıcı malzemesi olarak işenebilirlik, düşük maliyet ve yüksek ısıl iletkenlik gibi avantajları sebebiyle alüminyum ya da bakır tercih edilir.Şekil 2'de farklı soğutma teknikleri ve soğutucu akışkanlar kullanılarak elektronik soğutmada ortaya çıkan ısı akısının sıcaklık farkı ile değişimi verilmiştir.Şekil 2 incelendiğinde doğal taşınım ve ışınım mekanizmalarının düşük miktarda ısı üreten sistemlerin soğutulmasında efektif olarak kullanılabileceği görülürken yüksek miktarda ısı üreten sistemlerde yüksek akışkan hızlarının kullanılması, daldırma soğutma ya da faz değişim mekanizmasının kullanımının daha efektif soğutma için gerekli olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Farkı soğutucu akışkanlar ve soğutma teknikleri kullanılarak gerçekleştirilen soğutmada yüzey ısı akısı ve sıcaklık farkı arasındaki ilişki

Kaynak: (Kraus ve Bar-Cohen,1983; Çengel, 2010 Sarper,B. 2018)

Gelişmekte olan soğutma teknolojileri, etkinliklerine ve elektronik cihazların soğutulmasında kullanılan malzeme ve süreçlere bağlı olarak birçok kategoriye ayrılabilir. Bunlar şu şekilde örneklendirilebilir:

- Isı boruları,
- Isı pompaları,
- Mikrokanallar,
- Sprey soğutma,
- Faz değiştiren malzeme (FDM) temelli soğutma,
- Doğal soğutma,
- Termoelektrik soğutma (Murshed ve Castro,2017)

Literatür incelendiğinde sıvı soğutmalı mikro kanallı ve mini kanallı ısı alıcıların yüksek güç değerine sahip elektronik bileşenlerin soğutulmasında etkili olduğu ve yoğun olarak kullanıldığı görülmüştür.Literatürde farklı akışkan tipleri ve ısı alıcı tasarımları üzerine yoğunlaşıldığı görülmüş olup yapılan çok sayıdaki çalışmada mikro ve mini kanallı ısı alıcıların ısıl performansı deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir.

Amaç ve Kapsam

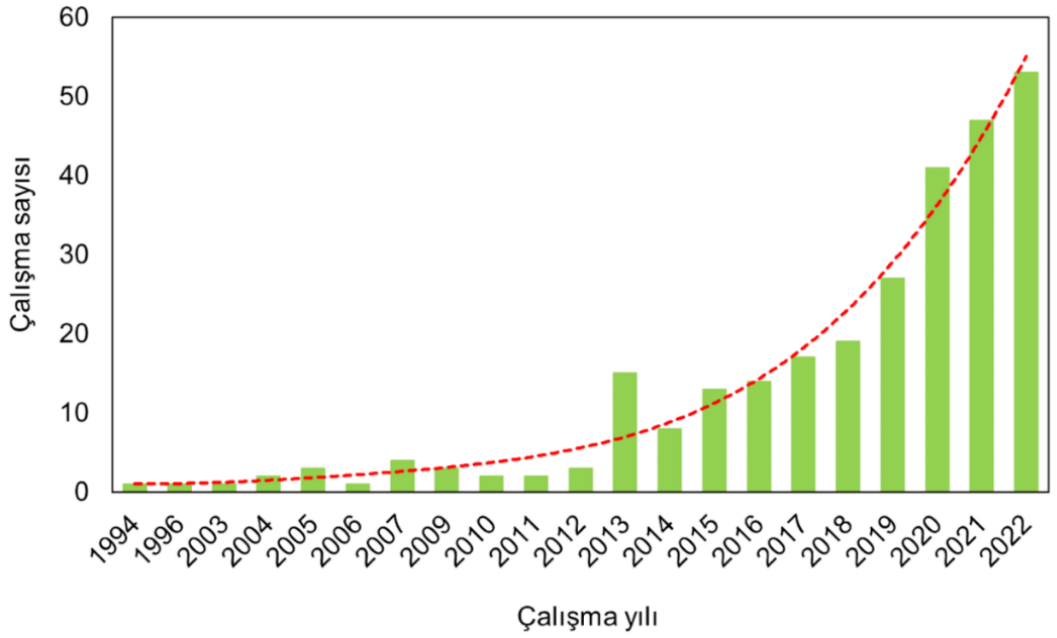
Elektronik alanında yaşanan gelişmeler sonucunda cihaz tasarımları daha kompakt hale gelirken güç ve performans gereksinimleri ise giderek artmaktadır.Buna bağlı olarak elektronik bileşenlerin yaydığı ısı artarken etkin soğutma ve ısıl yönetim giderek önemli hale gelmiştir.

Tez kapsamında elektronik bileşenlerin soğutulması amacıyla yenilikçi mini kanallı ısı alıcı tasarımları önerilmiş ve bu tasarımlar ısı transferi ve basınç düşümü açısından değerlendirilerek termohidrolik performans açısından en iyi sonuçları sunan optimum tasarımın belirlenmesi amaçlanmıştır.Termohidrolik performansın belirlenmesine yönelik sayısal hesaplamalar farklı soğutucu akışkan debileri için gerçekleştirilirken dört farklı mini kanallı ısı alıcı tasarımının akış yapısı, sıcaklık değişimi ve performans kriterlerine olan etkileri değerlendirilmiştir.

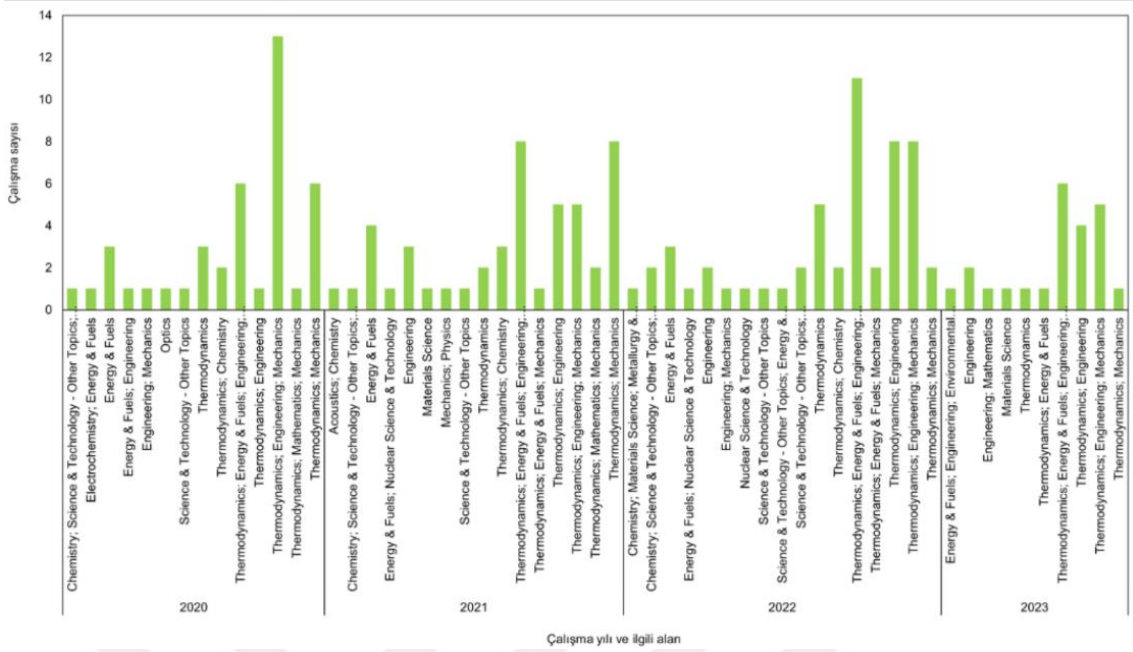
BÖLÜM I
KAYNAK ARAŞTIRMASI

Gelişen teknoloji ve değişen üretim teknikleri daha küçük hacim ve daha yüksek etkinliğe sahip kompakt ısı değiştiricilerin tasarım ve üretimini mümkün hale getirmiştir.Kompakt ısı değiştiricilerin bir türü olan mini kanallı ısı alıcılar (MCHSs) kompakt yapıları, etkin ısıl performansları ve giderek genişleyen kullanım alanları ile araştırmacıların ilgi odağındadır.Mini kanallı ısı alıcılar, malzeme teknolojisindeki gelişmeler neticesinde 1990'lı yılların ortalarından itibaren yüksek ısı akısının sistemden uzaklaştırılması amacıyla kullanılmaktadır (Bowers ve Mudawar, 1994). Elektronik bileşenlerin soğutulmasındaki performansları ise onlara olan ilgiyi giderek artırmıştır.

Şekil 3'te verilen Web of Science verileri incelendiğinde mini kanallı ısı alıcılarla ilgili çalışmaların 2010'lu yılların ortalarından itibaren yoğunlaşmaya başladığı ve son yıllara doğru bu artışın hız kazandığı görülmektedir.Mini kanallı ısı alıcıları konu alan çalışmaların özellikle termodinamik ve enerji alanında yoğunlaştığı görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 3. Mini kanallı ısı alıcılara yönelik çalışmalar: a) Yıllara göre çalışma sayısındaki değişim, b) İnceleme alanları

Kaynak: URL-1

Çeyrek yüzyılı aşkındır araştırmalara konu olan ve cazibesi giderek artan mini kanallı ısı alıcılara olan ilginin temel sebebi bilgi teknolojilerindeki gelişmelerdir. Bilgi teknolojilerindeki ilerlemenin ivmelenmeye başladığı 2000'li yılların ortalarına doğru, elektronik ekipmanlardaki gelişmelere paralel olarak geleneksel üretim tekniklerinin yanında geleneksel soğutma teknikleri de yetersiz kalmıştır.Malzemelerin belli sınır değerlerin üzerine çıkan sıcaklıklara maruz kalmaları ürün ve ekipman performansını olumsuz etkilediğinden soğutmanın önemi giderek artmıştır.Bu sebeple, soğutma ihtiyacının karşılanmasında mini kanallı ısı alıcılar geliştirilerek kullanılmaya başlanmıştır (Khodabandeh,2005; Walsh ve Grimes,2007; Xie vd.,2007).Böylece mini kanallı ısı alıcıların soğutma performansını etkileyen akış ve ısı transferi giderek daha da önem kazanmış ve araştırmacıların ilgisini çekmiştir (Hetsroni vd.,2006; Xie vd.,2009).

Bu süreçte, gün geçtikçe artan soğutma ihtiyacına cevap vermek için ısı transferi karakteristiklerinin iyileştirilmesine katkı sağlayan kanatçık kullanımı mini kanallı ısı alıcılarda denenmeye başlanmıştır (Naphon ve Wongwises,2010).Akış bölgesinde konumlandırılan kanatçıklar ısı transferinde iyileşme sağlarken; basınç

düşümünü olumsuz etkileyebilmektedir.Bu durum, konunun hem ısı transferi hem de basınç düşümü açısından birlikte ele alınması gerekliliğini ortaya koymaktadır.Mini kanallı ısı alıcıların gelişimi 2010'lu yılların ortalarına kadar bu doğrultuda ilerlermiş ve hem ısı transferi hem de basınç düşümü karakteristiklerinin göz önüne alındığı optimum tasarım parametrelerinin belirlenmesine yönelik araştırmalar önem kazanmıştır (Pang vd.,2013; Parida vd.,2013).Hem ısı transferi hem de basınç düşümü bakımından sistemin performansını iyileştirmek amacıyla gerçekleştirilen çalışmalarda hem kanal yapısında hem de akış düzeninde birçok farklı konfigürasyon incelenmiştir.

İncelenen çalışmalarda dar çukurlu, silindirik oluklu ve kanal yüksekliğinden daha küçük kanatçık içeren kanal (Bi vd.,2013); dikdörtgen kesitli düz ve genişleyen kanal (Wang vd.,2013); düz kanal ve engelli kanal (Di Maio vd.,2014); 90° kıvrımlı ve spiral geometriden oluşan kanal (Ghobadi ve Muzychka,2015); düz ve yivli yüzeye sahip kanal (Li vd.,2015); üç bağlantı noktalı ve beş bağlantı noktalı yapı içeren kanal (Xu vd.,2016); değişken kanatçık aralığı, kalınlığı ve yüksekliği içeren kanal (Saeed ve Kim,2016); oluklu yapılı kanatçık içeren kanal (Ma vd.,2016); akış hattında engel içeren kanal (Lİ ve Yu.,2016); değişken boyut ve uzunluk içeren kanal (Kim vd.,2017); katmanlı yapılı kanal (Tang.,2017); giriş ve çıkışında farklı yapılarda dağıtıcı ve toplayıcı içeren kanal (Saeed ve Kim.,2017); değişken sayılı giriş ve çıkış hattı içeren kanal (Imran vd.,2018); değişken dağıtıcı ve toplayıcı konumları içeren kanal (Kumar ve Singh.,2019); düz ve dalgalı akış hattı içeren kanal (Abdulhaleem vd.,2019); paralel ve zıt akışlı hatlar içeren kanal (Lim ve Lee.,2019; Tikadar vd.,2019); açılı akışkan giriş ve çıkış hattı içeren kanal (Kumar ve Singh.,2019); giriş hattında yamuk ve dikdörtgen profillerde kanatçıklı akış düzenleyici içeren kanal (Song vd.,2019); değişken kanatçık kalınlığı, sayısı ve kanal derinliği içeren kanal (Mitra ve Ghosh.,2020); pürüzlü yüzeye sahip kanal (Xiao vd.,2020); dikdörtgen, trapez, üçgen veya içbükey akış hattı içeren kanal (Dabrowski,2020); değişken giriş ve çıkış hattına sahip kıvrımlı yapılı kanal (Cao vd.,2020); hem yatay hem de dikey olarak slot içeren kanal (Deng vd.,2020); dairesel kanatçık içeren kanal (Kilic vd.,2020); aralarında farklı geçiş hatları içeren kanal (Tikadar,2020) ve yamuk, kare, üçgen ve sinüs profile sahip kanatçık içeren kanal (Azadi vd.,2020) gibi çeşitli yenilikçi kanal formu içeren mini kanallı ısı alıcılarda çalışmalar yapıldığı görülmüştür.

Son dönemdeki çalışmalarda kanal su giriş-çıkış hattına, akış doğrultusuna, kanatçık kullanımına ilişkin yenilikçi kanal formu önerilerine yer verildiği görülmüştür.

Shahsavar vd.(2021).Su soğutmalı silindirik kanatçıklar içeren bir mini kanallı ısı alıcıda ısı transferi ve basınç düşümü açısından en iyi konfigürasyonu belirlemek amacıyla yenilikçi bir giriş ve çıkış hattı konumu önermişlerdir.Torbatinezhad vd.(2021) bir güneş enerjisi sisteminde soğutma ekipmanı olarak kullandıkları su soğutmalı mini kanallı ısı alıcıda akış merkezine dikdörtgen kesitli kanatçıklardan oluşan yenilikçi bir dizilim önermişlerdir.Liu vd.(2021) su soğutmalı bir mini kanallı ısı alıcıda akış doğrultusu için yenilikçi bir dizilim önermişlerdir.Mahmoud vd.(2021) su soğutmalı bir mini kanallı ısı alıcıda kanal kenarında oyuk ve akış alanında kanatçık içeren yenilikçi bir tasarım önermişlerdir.Narendran ve Gnanasekaran(2022) su soğutmalı bir mini kanalda paralel akış hattı yerine nervürlü yapılar içeren bir akış hattı önermişlerdir.Song vd.(2022) bir mini kanallı ısı alıcılarda ısı transferi ve basınç düşümü açısından kanal yüksekliği, genişliği, başlık uzunluğu, bağlantı borusu çapı ve toplam hacimsel debi gibi faktörlerin göz önüne alındığı bir tasarım önermişlerdir. Zhang vd.(2022a) bir mini kanallı ısı alıcıda akış hattı tabanında dalgalı ve basamaklı yapılar içeren bir tasarım önermişlerdir.Zhang vd.(2022b) bir başka çalışmalarında mini kanallı ısı alıcıda akış hattına yamuk profilli engellerin yerleştirildiği bir tasarım önermişlerdir. Gao vd.(2022) mini kanallı ısı alıcıda kare, daire ve üçgen şeklindeki kanal profillerine sahip akış hatları önermişlerdir.Al-Amri vd.(2022) bir mini kanallı ısı alıcıda giriş ve çıkışa yakın bölgelerde kanal tabanını açılı olarak alçaltıp yükselttikleri bir konfigürasyon önermişlerdir.Cao vd.(2022) bir mini kanallı ısı alıcıda birincil ve ikincil akış hatlarından oluşan bir konfigürasyon önermişlerdir. Zheng vd.(2022). bir mini kanallı ısı alıcıda yamuk kesitli bir kanal formu önermişlerdir. Gorzin vd.(2022) bir mini kanallı ısı alıcıda çeşitli akış doğrultuları ve nervürlü yapı içeren bir tasarım önermişlerdir.Monika ve Datta(2022) mini kanallı bir ısı alıcıda düz, serpantin tipi, iç içe U tipi, bombeli tip, spiral tip ve altıgen tip akış kanalları önermişlerdir.Morse vd.(2022) mini kanallı bir ısı alıcıda paralel akış kanalları yerine dairesel kanatçıklı yenilikçi bir dizilim önermişlerdir.Ghadhban ve Jaffal(2023) bir mini kanallı ısı alıcıda düz, yay formunda ve dalgalı formda akış kanalları içeren konfigürasyonlar önermişlerdir.Lad vd.(2023) bir mini kanallı ısı alıcıda düz ve zikzak forma sahip akış hatları önermişlerdir.Ling vd.(2023) mini kanallı ısı alıcılarda içerisinde oyuklar bulunan daralan ve genişleyen akış hatları önermişlerdir.

Literatürde, önerilen tüm bu tasarımların mini kanallı ısı alıcıların soğutma performanslarında referans alınan geleneksel (dikdörtgen kesitli paralel akış hattına sahip

ve kanatçık içermeyen) mini kanallı ısı alıcılara kıyasla genellikle ısı transferini iyileştirdiği belirlenmiştir.

Literatürdeki çalışmalarda birçok farklı konfigürasyonun denenmiş olması, mini kanallı ısı alıcıların kanal formu ile ilgili çalışmaların doyuma ulaştığını düşündürse de durumun öyle olmadığı son dönemde artarak devam eden güncel çalışmaların incelenmesiyle anlaşılmaktadır.Kanal formuyla ilgili çok sayıda tasarımın denendiği noktada araştırmacılar kanal formunu etkileyen farklı parametrelerin birlikte değiştirildiği hibrit tasarımlara yönelmişlerdir.Son dönemde, ısı transferi ve basınç düşümü açısından optimum ısı alıcı tasarımı için daha çok kanal formu değişimine odaklanan ve kanatçık ya da engel kullanımının ısı transferi ve basınç düşümüne etkilerini inceleyen çalışmalar ön plandadır.Al-Hasani ve Freegah (2022a) su soğutmalı bir mini kanallı ısı alıcıda hem dairesel kanatçık hem de kanallar arası ikincil geçiş hatları içeren bir tasarım önermişlerdir.Mahmood ve Freegah (2022b) su soğutmalı bir mini kanallı ısı alıcıda akış hattında küresel oyuklar ve oyuklar arasında dairesel kanatçık kullanımı içeren bir tasarım önermişlerdir. Bessanane vd.(2022) mini kanalı bir ısı alıcıda paralel akış kanalı yerine kare profilli kanatçıklardan oluşan yenilikçi bir akış hattı ve kanatçık kullanımı önermişlerdir.Chen vd.(2022) mini kanallı bir ısı alıcıda akış hattını modifiye eden ve hatta şaşırtmalı formda üçgen kesitli kanatçık dizilimi içeren bir tasarım önermişlerdir.Khdair (2023) bir mini kanallı ısı alıcıda kanal yapısının bir kısmının modifiye edildiği, giriş hattının başında eliptik, dairesel ve V kesitli kanatçık kullanımı içeren bir tasarım önermiştir.Zhang vd.(2023) bir mini kanal ısı alıcının kanal yan yüzeylerinde oyuk ve akış alanında kanatçık içeren bir tasarım önermişlerdir.

Literatürdeki çalışmaların neredeyse tamamı, silindirik ya da farklı formdaki (üçgen, dikdörtgen, elips vb.)kanatçıkların termohidrolik performansa etkilerini inceleyen çalışmalardır.Bu tez çalışmasında ise öncelikle mini kanalların merkezinde konumlandırılan yarı küresel engellerin ısı transferi ve basınç düşümü açısından etkileri incelenecektir.Sonrasında çeyrek küresel engeller mini kanalların cidarlarında karşılıklı olarak konumlandırılacaktır.Son konfigürasyonda ise engeller kanalların merkezleri ve cidarlarında şaşırtmalı şekilde konumlandırılacaktır.Literatürde olmayan yenilikçi tasarımlar kullanılarak farklı soğutucu akışkan debileri için sayısal çalışmalar gerçekleştirilecek olup termohidrolik performans açısından optimum tasarım belirlenecektir.

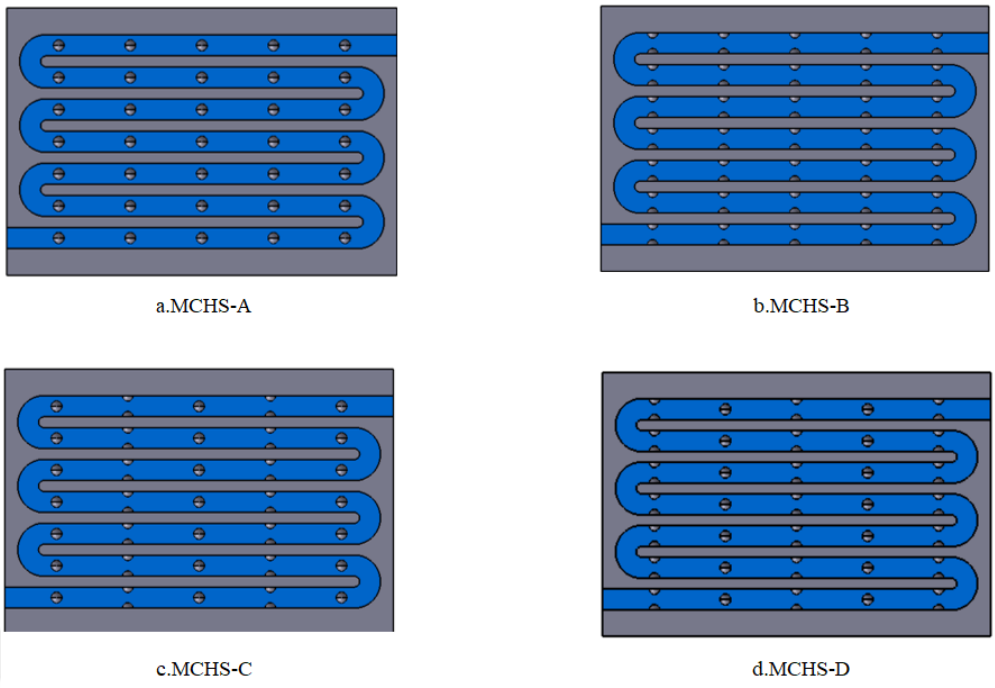
BÖLÜM II
MATERYAL VE METOT

Bu bölümde, tez kapsamında gerçekleştirilecek olan sayısal çalışmalara ait geometrik tanımlamalar, matematiksel model ile kullanılan sınır koşulları ve ağ bağımsızlık çalışmasının detayları paylaşılmıştır. Sayısal hesaplamalar ticari bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı olan ANSYS Fluent 2021 R2 ile gerçekleştirilmiştir.

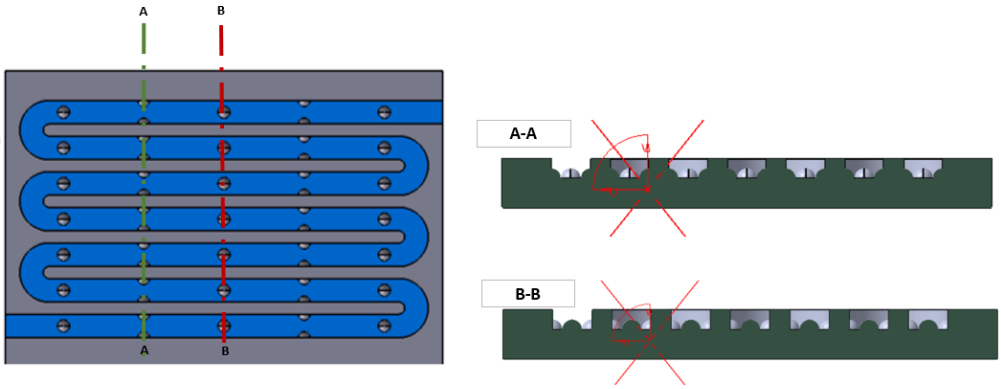
2.1.Problem Tanımı ve Fiziksel Model

Bu tez çalışmasında elektronik bileşenlerin ısıl yönetimi amacıyla yenilikçi mini kanallı ısı alıcı tasarımları gerçekleştirilmiş olup farklı soğutucu akışkan debileri için termohidrolik performans açısından optimum sonuçları veren mini kanallı ısı alıcıyı belirlemek amacıyla sayısal çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Sayısal hesaplamalarda kullanılan dört farklı mini kanallı ısı alıcı geometrisi Şekil 4'de sunulmuştur.Çalışılan dört farklı tasarım sırasıyla MCHS-A, MCHS-B, MCHS-C ve MCHS-D olarak isimlendirilmiştir.MCHS-A tasarımında yedi geçişli mini kanallı ısı alıcının kanal merkezinde her bir geçişte beş adet olacak şekilde yarı küresel engeller bulunmaktadır.MCHS-B tasarımında mini kanal cidarlarında her bir geçişte beş adet olacak şekilde karşılıklı olarak çeyrek küre şeklinde engeller yer almaktadır. MCHS-C tasarımında şaşırtmalı olarak sırasıyla kanal merkezinde-tabanda ve cidarlarda yarı küresel ve çeyrek küre formundaki engeller yer almaktadır. MCHS-D tasarımında ise MCHS-C tasarımındaki engellerin sırası değiştirilmiştir. İncelenen tasarımların ısı transferi ve basınç düşümüne etkileri değerlendirilerek termohidrolik performans açısından optimum tasarımın belirlenmesi hedeflenmiştir. Termohidrolik performansın hesaplanması amacıyla dört ısı alıcı tasarımı engel kullanılmayan referans durum için elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.



(a) Mini kanallı ısı alıcı konfigürasyonları



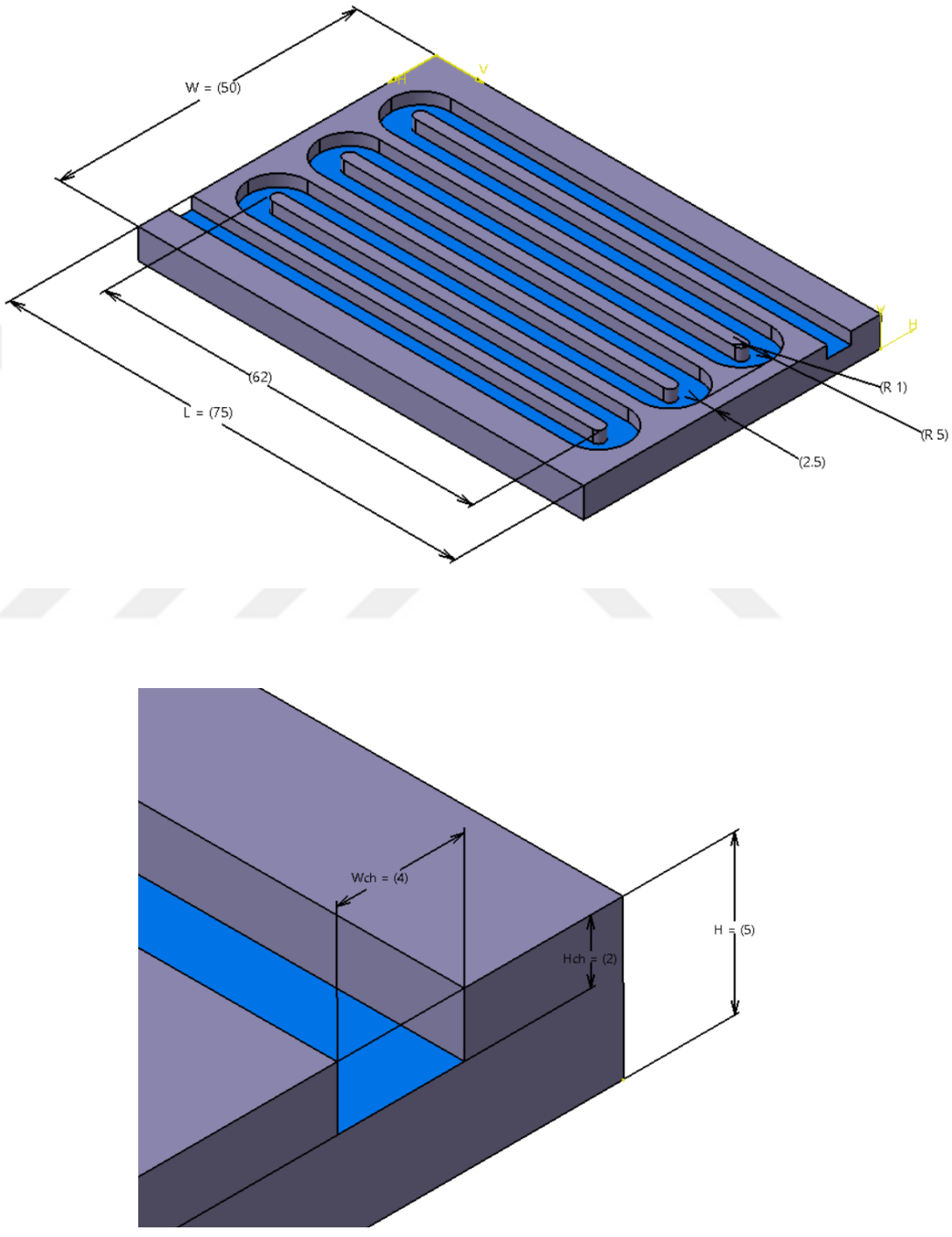
(b) MCHS-C mini kanallı ısı alıcı kesit görünümü

Şekil 4. Mini kanallı ısı alıcı geometri özellikleri a.)Mini kanallı ısı alıcı konfigürasyonları b.) Mini kanallı ısı alıcı kesit görünümü

Referans durum olarak ele alınan, mini kanalların tabanında ve yan cidarlarında yarı küresel ve çeyrek küresel engeller bulunmayan ısı alıcı geometrisi Şekil 5'de verilmiştir. Isı alıcının eni 50 mm, boyu ise 75 mm'dir. Referans ısı alıcının tasarımı gerçekleştirilirken literatürde mevcut olan çalışmaların ölçüleri referans alınmıştır.

(Mahmoud vd.,2021;Al-Hasani ve Freegah,2022).Yukarıda belirtildiği gibi mini kanal yedi geçişli olup kanal genişliği ve yüksekliği sırasıyla 4 mm ve 2 mm'dir. Kanal

merkezindeki yarı küresel engellerin yarıçapları birbirlerine eşit olup 1 mm'dir. Benzer şekilde kanal cidarlarında bulunan çeyrek küre formundaki engellerin yarıçapı da 1 mm olarak alınmıştır. Engellerin merkezleri arasındaki mesafe 13.75 mm, ilk ve son engellerin mini kanal giriş ve çıkışına olan uzaklığı ise birbirlerine eşit olup 10 mm'dir.



Şekil 5. Referans minikanal ısı alıcının geometrisi

Tablo 1. Minikanal ısı alıcıya ait temel ölçüler

Geometrik Parametre	Ölçü (mm)
Genişlik (W)	50
Uzunluk (L)	75
Yükseklik (H)	5
Kanal Yüksekliği ($\mathbf{H_{ch}}$)	2
Kanal Genişliği ($\mathbf{W_{ch}}$)	4
Yarı Küresel Engel Çapı ($\mathbf{D_e}$)	2

2.2. Matematiksel Model

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen sayısal çalışmalarda ANSYS Fluent yazılımı kullanılmıştır. Üç boyutlu olarak sürekli rejimde gerçekleştirilen sayısal simülasyonlar farklı soğutucu akışkan debileri ve mini kanallı ısı alıcı tasarımları için yürütülmüştür. Çalışmada soğutucu akışkan olarak su kullanılmış olup suyun Newtonumsu akışkan olduğu ve termofiziksel özelliklerinin değişmediği ve akış rejiminin laminer olduğu kabul edilmiştir.

2.3. Korunum Denklemleri

Yukarıda belirtildiği gibi ANSYS Fluent yazılımının kullanıldığı sayısal çalışmalarda momentum ve enerji denklemlerinin ayrıklaştırılması amacıyla ikinci dereceden akış yönlü fark yöntemi uygulanmıştır. Basınç ve hız çiftinin çözümü gerçekleştirilirken SIMPLE algoritması kullanılmıştır.

Sürekli rejimde, laminer ve sıkıştırılamaz akış için korunum denklemleri aşağıdaki şekilde verilmiştir.

Süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=0 \tag{1}$$

x-momentum denklemi:

$$u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}+\vartheta\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right) \tag{2}$$

y-momentum denklemi:

$$u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+w\frac{\partial w}{\partial z}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y}+\vartheta\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right) \tag{3}$$

z-momentum denklemi:

$$u\frac{\partial w}{\partial x}+v\frac{\partial w}{\partial y}+w\frac{\partial w}{\partial z}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z}+\vartheta\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right) \tag{4}$$

Enerji denklemi (akış bölgesi için):

$$\left(u\frac{\partial T_f}{\partial x}+v\frac{\partial T_f}{\partial y}+w\frac{\partial T_f}{\partial z}\right)=\alpha\left(\frac{\partial^2 T_f}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T_f}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 T_f}{\partial z^2}\right) \tag{5}$$

Enerji denklemi (katı bölge için):

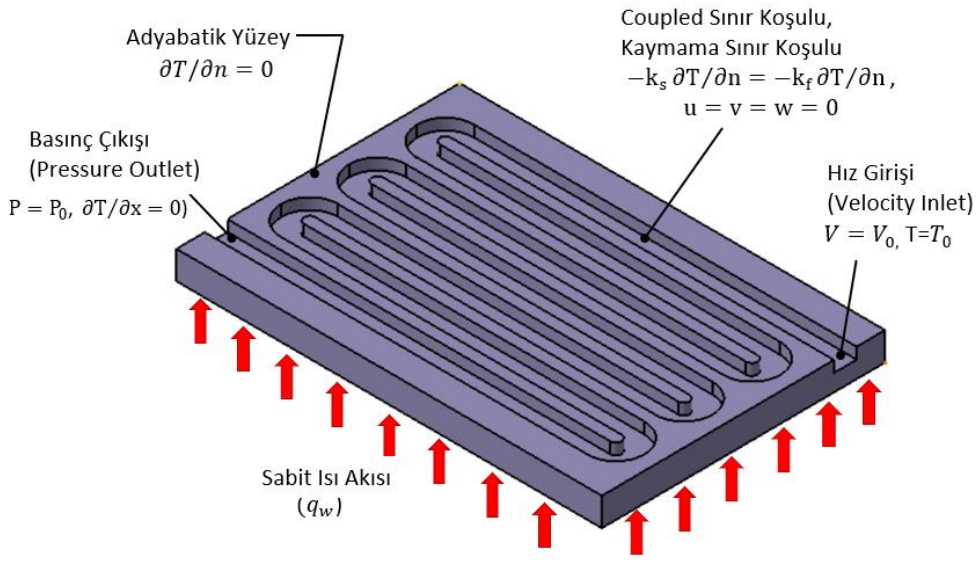
$$\frac{\partial^2 T_s}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T_s}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 T_s}{\partial z^2}=0 \tag{6}$$

Burada u, v ve w sırasıyla x, y ve z doğrultularındaki hız bileşenlerini temsil ederken T_f ve T_s ise sırasıyla akışkan ve katı bölgedeki sıcaklığı temsil etmektedir. Benzer şekilde ρ soğutucu akışkanın yoğunluğunu, ϑ kinematik viskozitesini, α ise ısıl yayılım katsayını temsil etmektedir.

2.4. Sınır Koşulları

Yukarıda belirtilen kabullere dayanarak mini kanallı ısı alıcıları analiz ederken aşağıdaki sınır koşulları uygulanmıştır. Isı alıcının malzemesi aluminyum, soğutucu akışkan sudur.

1. Mini kanal girişinde hız girişi (velocity inlet) sınır koşulu uygulanmıştır. ($T_{inlet} = 300\text{K}$ ve $\dot{m}_f = 0.0025 - 0.0045$ kg/s aralığında debi incelenmiştir.)
2. Mini kanalların çıkışında basınç çıkışı (pressure outlet) sınır koşulu uygulanmıştır. (P=P_{atm}, $\frac{dT}{dx} = 0$).
3. Mini kanallı ısı alıcı-akışkan ara yüzeylerinde enerji dengesi ve kaymama sınır koşulu uygulanmıştır. ($-k_s \frac{\partial T}{\partial n} = -k_f \frac{\partial T}{\partial n}$, $u = v = w = 0$ m/s)
4. Mini kanallı ısı alıcının tabanında sabit ısı akısı sınır koşulu uygulanmıştır. ($q_{wall} = 26670\ \text{W/m}^2$)
5. Mini kanallı ısı alıcının tabanı hariç tüm dış yüzeyleri abyabatik olarak kabul edilmiştir. ($-k_s \frac{\partial T}{\partial n} = 0$)



Şekil 6. Sınır Koşulları

2.5. Veri Analizi

Tez çalışmasının genel amacı yukarıda belirtilen dört farklı mini kanallı ısı alıcı tasarımı için farklı soğutucu akışkan debilerinde sayısal çalışmalar gerçekleştirilerek termohidrolik açıdan optimum tasarımın belirlenmesidir. Sistemin enerji analizi gerçekleştirilirken öncelikle ortalama Nusselt sayısı ve basınç düşümü değerlendirilerek sistemin farklı akışkan parametreleri ve mini kanal parametreleri için performans katsayısı belirlenmiştir. Mini kanal içerisinde soğutucu akışkan ısı alıcıdan ısı çekmekte

ve ısınarak test bölgesini terk etmektedir. Bu işlem süresince soğutucu akışkanın kazandığı ısı:

$$\dot{Q} = \dot{m}_f c_{p,f} \Delta T_f = h_{ort} A_c \left(T_{taban,ort} - T_{f,ort}\right) \quad (7)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada, $\dot{m}_f$ soğutucu akışkan debisi, ΔT_f soğutucu akışkanın sıcaklık artışını, $T_{taban,ort}$ sabit ısı akısı uygulanan yüzeyin (ısı alıcı tabanı) ortalama yüzey sıcaklığı, $T_{f,ort}$ akışkanın film sıcaklığını, A_c ise efektif yüzey alanını temsil etmektedir.

Soğutucu akışkan film sıcaklığı:

$$T_{f,ort} = \frac{T_{f,giriş} + T_{f,çıkış}}{2} \quad (8)$$

Ortalama ısı transfer katsayısı aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$h_{ort} = \frac{\dot{m}_f c_{p,f} \Delta T_f}{A_c \left(T_{taban,ort} - T_{f,ort}\right)} \quad (9)$$

Ortalama Nusselt sayısı ise aşağıdaki aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır:

$$Nu_{ort} = \frac{h_{ort} D_h}{k} \quad (10)$$

Mini kanalların hidrolik çapı aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$D_h = \frac{2 \times w_{ch} \times h_{ch}}{w_{ch} + h_{ch}} \quad (11)$$

Bu eşitlikte W_{ch} ve h_{ch} sırasıyla mini kanalların genişlik ve yüksekliğini temsil etmektedir.

Nusselt sayısı oranı aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$Nu_r = \frac{Nu_{ort,i}}{Nu_{ort,ref}} \quad (13)$$

Isı alıcının giriş ve çıkışı arasındaki basınç farkı:

$$\Delta P = P_{giriş} - P_{çıkış} \quad (14)$$

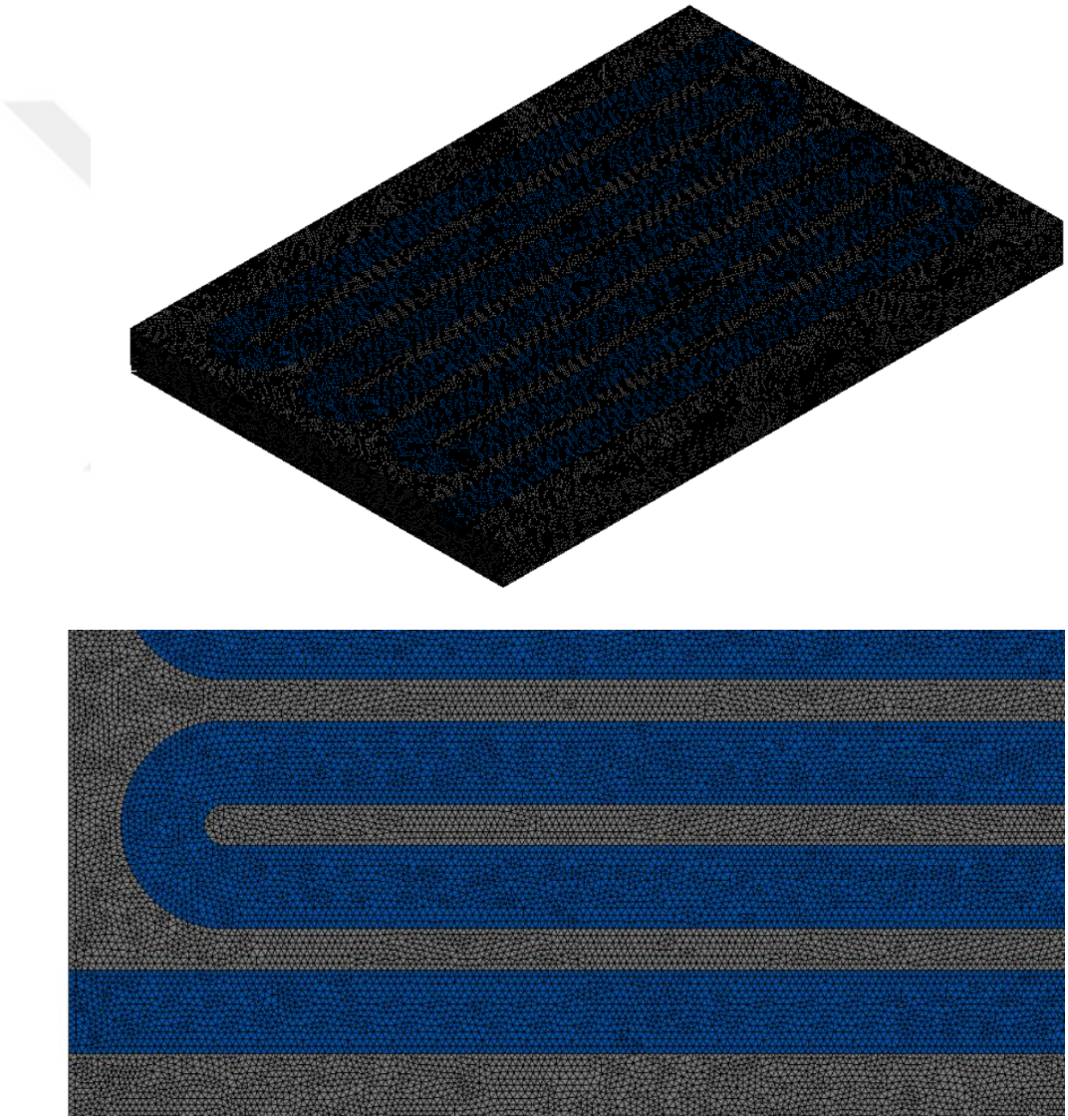
Isı alıcının termohidrolik performansını temsil eden performans katsayısı aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$PEC = \frac{\frac{Nu_{ort,i}}{Nu_{ort,ref}}}{\left(\frac{\Delta P_i}{\Delta P_{ref}}\right)^{\frac{1}{3}}} \quad (15)$$

Bu eşitlikte $Nu_{ort,ref}$ ve ΔP_{ref} referans durum için hesaplanan ortalama Nusselt sayısı ile basınç düşümünü, $Nu_{ort,i}$ ve ΔP_i ise farklı ısı alıcı tasarımları için hesaplanan ortalama Nusselt sayısı ve basınç düşümü değerlerini temsil etmektedir.

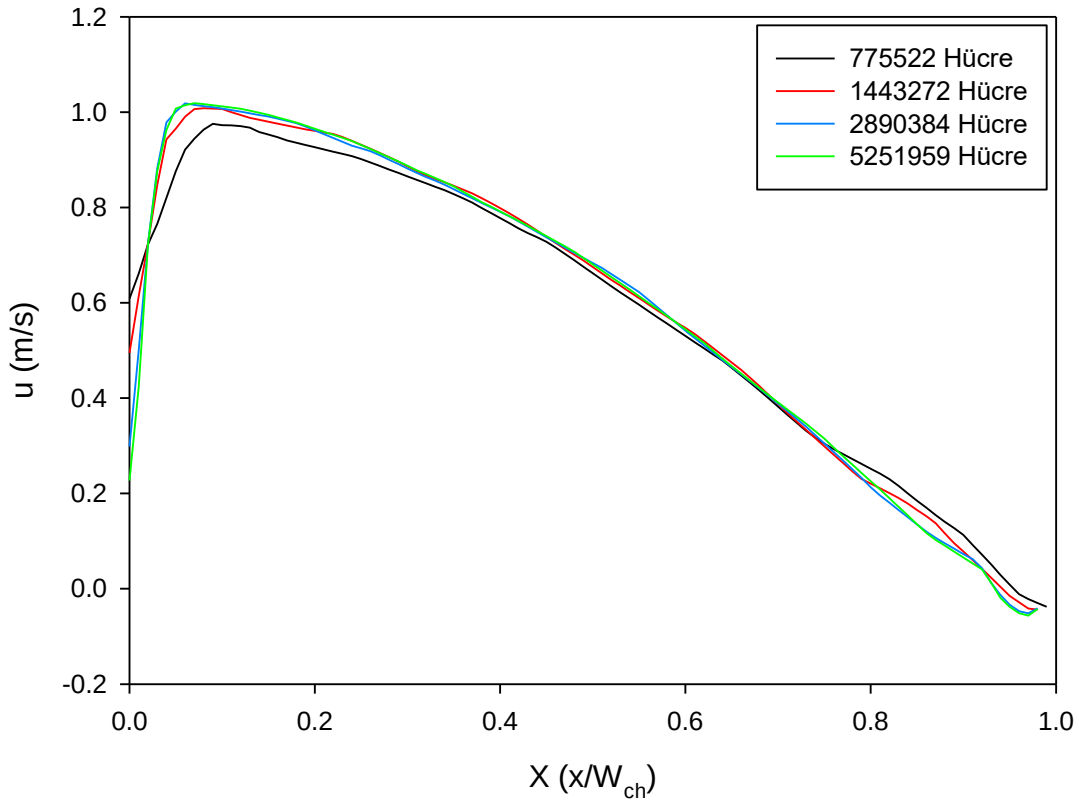
2.6. Ağ Bağımsızlık Çalışması

Tez çalışmasında incelenen tüm mini kanallı ısı alıcıların ağ tipi katı bölge ve akışkan bölgesini kapsayacak şekilde dörtyüzlü (tetrahedral) ağ tipidir. Şekil 7'de kanatçık kullanılmayan mini kanallı ısı alıcı için hazırlanan ağ yapısı sunulmuş olup tüm hesaplama bölgesinde eş dağılı (uniform) ağ yapısı kullanılmıştır.



Şekil 7. Hesaplamalarda kullanılan dörtyüzlü (tetrahedral)-eş dağılı ağ yapısı

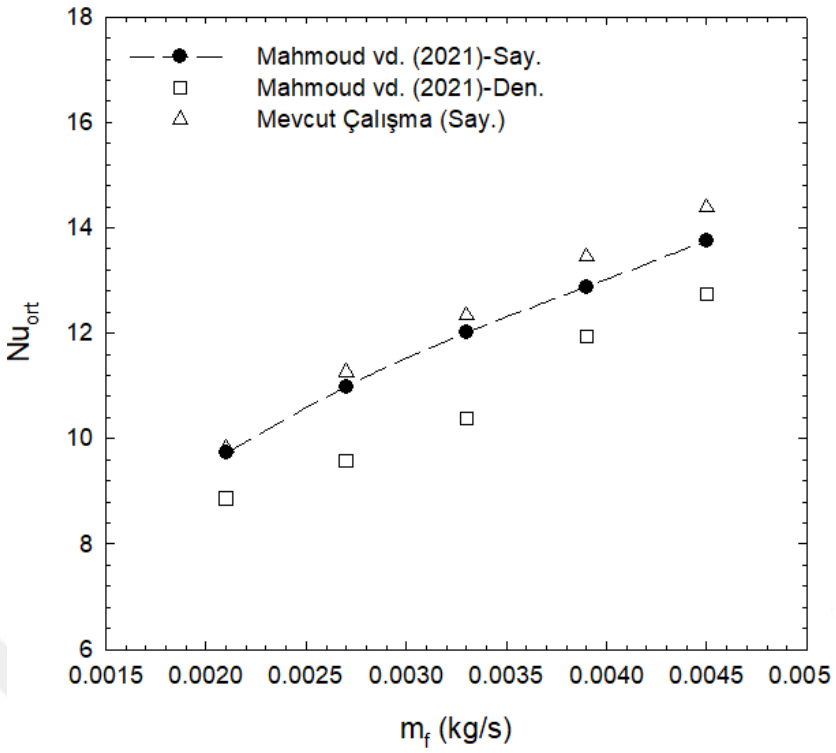
Ağ bağımsızlık çalışması sonucunda nihai hesaplamalarda kullanılacak olan hücre sayısının belirlenmesi amacıyla toplamda 4 farklı eleman boyutunu içerecek şekilde için 0.0045 kg/s'lik soğutucu akışkan debisinde simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Nihai ağ yapısı belirlenirken dirsek çıkışında kanal merkezindeki akışkanın eksenel hız bileşeninin değişimi referans alınmıştır. Uygun olan eleman boyutu seçilerek diğer mini kanallı ısı alıcı analizlerinde aynı eleman boyutu kullanılmıştır. Şekil 8 'de yapılan ağ çalışmasına ait sonuçlar gösterilmektedir.



Şekil 8. Ağ bağımsızlık çalışması

Yukarıda belirtildiği gibi mini kanal içerisindeki hız profili referans alınarak ağ bağımsızlık çalışması gerçekleştirilmiş ve nihai hesaplamalar için 2.890.384 hücre sayısının yeterli olduğu görülmüştür.

Ağ bağımsızlık çalışmasının ardından simülasyonlarda kullanılan çözüm algoritmasının doğruluğunu test etmek amacıyla elde edilen veriler literatürdeki sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bu amaçla Mahmoud vd. (2022)'nin deneysel ve sayısal sonuçları ile tez çalışmasına ait veriler karşılaştırılmış olup Şekil 9'da gösterildiği gibi sonuçların literatür ile uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 9. Mevcut çalışma ve literatürdeki çalışmanın karşılaştırılması

BÖLÜM III
BULGULAR VE TARTIŞMALAR

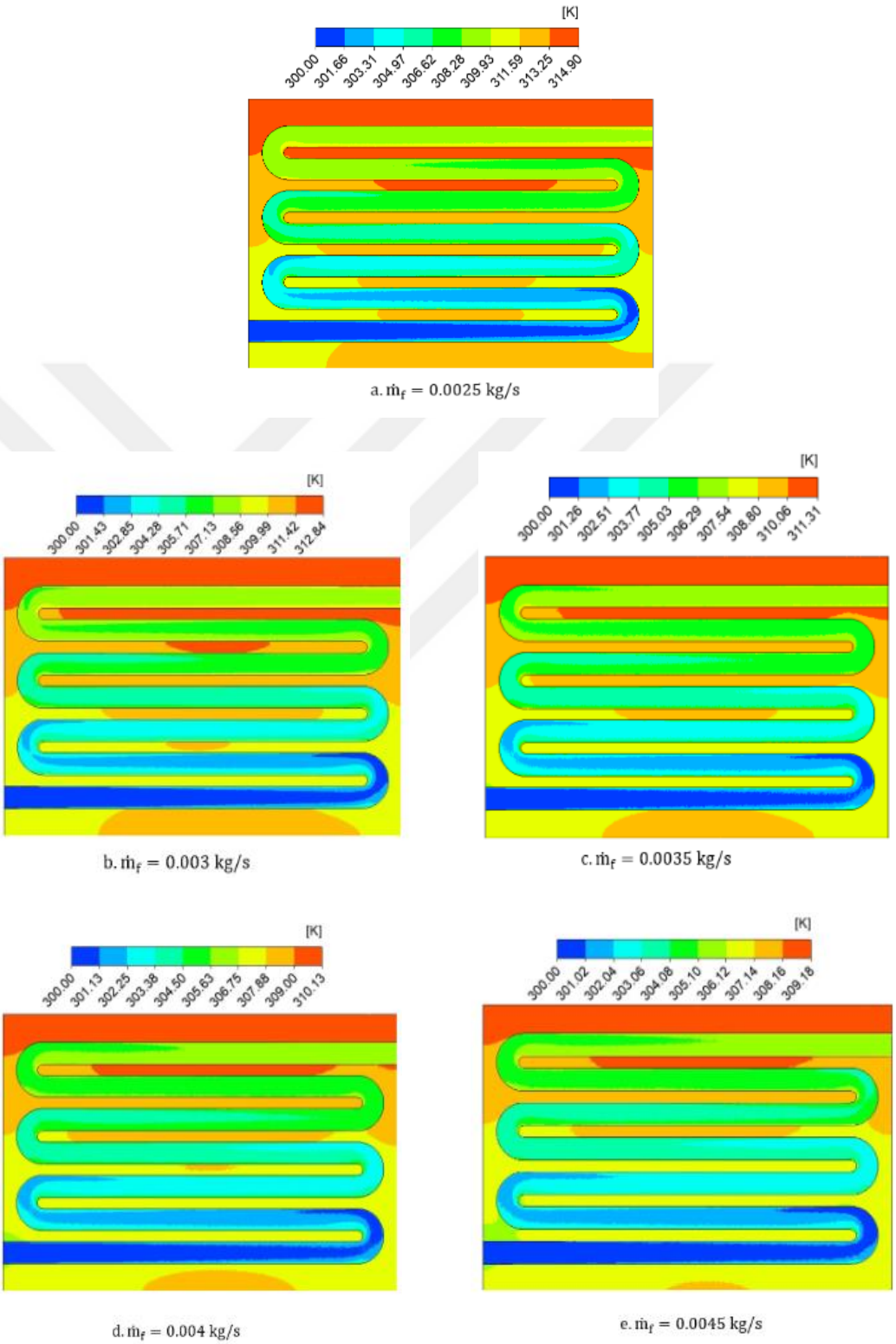
Bu bölümde kanal yüzeylerinde çıkıntılar bulunmayan referans ısı alıcı (MCHS) ve yenilikçi ısı alıcı tasarımları (MCHS-A, MCHS-B, MCHS-C ve MCHS-D) için dört farklı soğutucu akışkan debisinde ($\dot{m}_f = 0.0025 - 0.003 - 0.0035 - 0.004 - 0.005 - 0.0045$ kg/s) gerçekleştirilen simülasyonlara ait sonuçlar analiz edilmiştir.

3.1.Referans Mini Kanallı Isı Alıcı

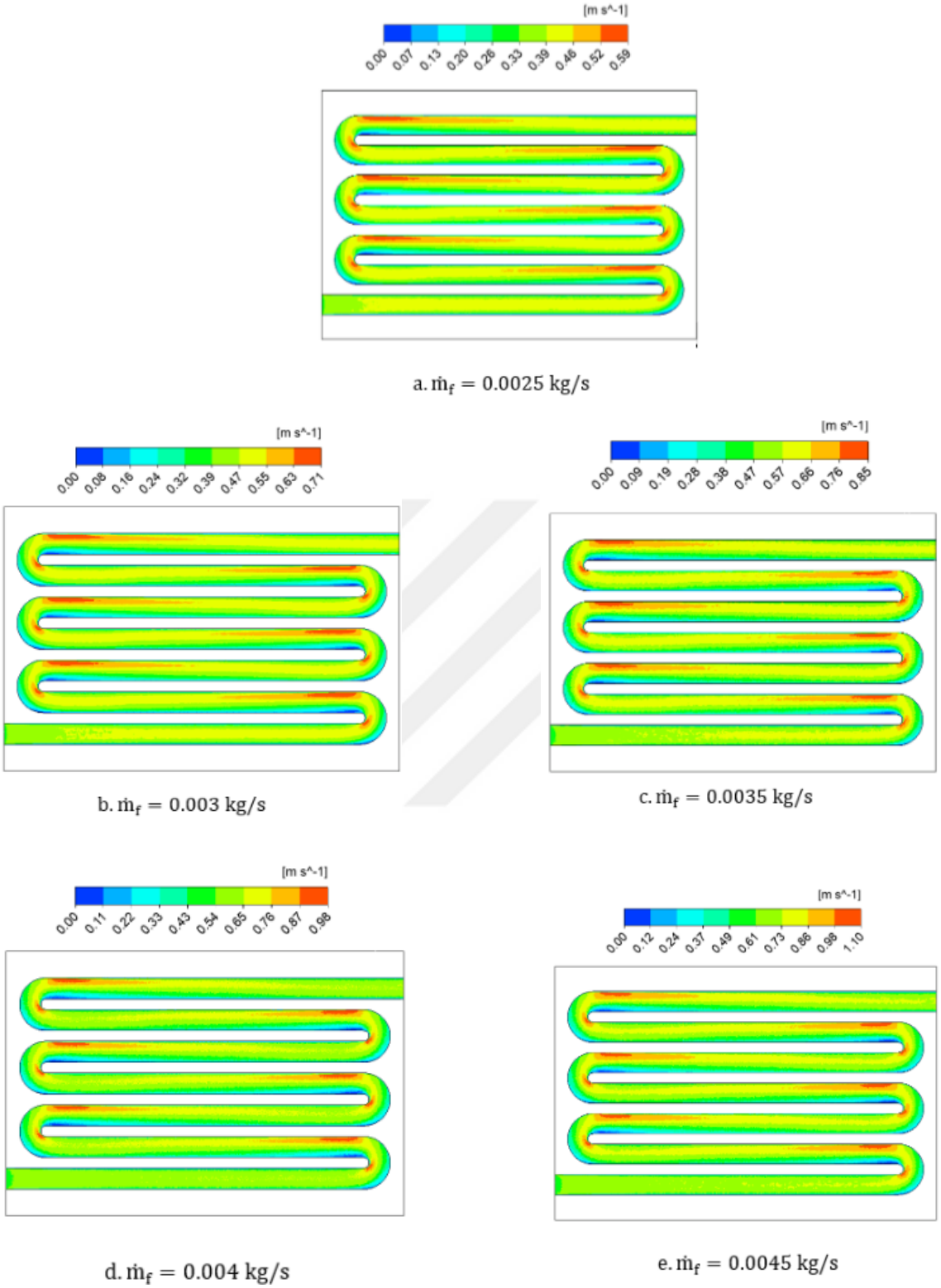
Bu bölümde öncelikle referans ısı alıcı (MCHS) için yukarıda belirtilen soğutucu akışkan debilerinde elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Şekil 10'da referans ısı alıcı için ısı alıcı tabanından 3.5 mm yükseklikte elde edilen sıcaklık konturları farklı akışkan debileri için verilmiştir. Şekil 10'da görüldüğü üzere soğutucu akışkan sol alt köşeden ısı alıcıya girmekte ve yedi geçişli mini kanal boyunca ilerleyerek sağ üst köşeden ısı alıcıyı terk etmektedir. Isı alıcı girişinde soğutucu akışkan sıcaklığı 300 K'dir. Isı alıcıdan ısıyı çeken akışkan mini kanal içerisinde ilerlerken ısınmakta olup her geçişte sıcaklığı bir miktar daha artmaktadır. Bundan dolayı soğutucu akışkanın ısı alıcıdan çektiği ısı her geçişte bir miktar daha azalmaktadır. Sonuç olarak ısı alıcı içerisinde eş dağılı olmayan bir sıcaklık dağılımı ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, beklendiği üzere soğutucu akışkan debisinin artışı ısı alıcıdan akışkana olan taşınımla ısı transferini artırırken yüksek akışkan debilerinde daha düşük ısı alıcı sıcaklıkları ortaya çıkmakta ve ısı alıcı içerisindeki sıcaklık gradyeni de daha düşük olmaktadır.

Şekil 11'de ise referans ısı alıcının tabanından 3.5 mm yükseklikte (kanal merkezi) elde edilen hız konturları farklı akışkan debileri için verilmiştir.Daha önce belirtildiği gibi soğutucu akışkan sol alt köşeden mini kanala girmekte ve sağ üst köşeden ise hesaplama bölgesini terk etmektedir.Şekil 11'de görüldüğü üzere sabit hızda mini kanala giren soğutucu akışkanın kanal cidarları ile temas ettiği noktalarda hız sıfırdır. Buna bağlı olarak mini kanal içerisinde x ve y eksenleri boyunca hız gradyenleri ortaya çıkmakta kanal cidarları boyunca hız sınır tabaka gelişimi görülmektedir.Mini kanalların dirsek bölgelerinde ise dış cidara yakın bölümlerde soğutucu akışkanın momentumunu kaybettiği ve bu bölgelerde yerel hızların iç cidara yakın bölümlere oranla daha düşük olduğu görülmektedir. Dirseklerin çıkışında ise bu durum değişmektedir.Dirsek girişinde iç cidara yakın akmakta olan yüksek hızlı akışkan dirsek çıkışında yukarı yönde genişlemekte ve dirsek çıkışında üst cidar yakın bölgede akmakta olan akışkanın momentumunda artışa sebep olmaktadır.İkinci geçiş ve sonrakilerde yerel hız

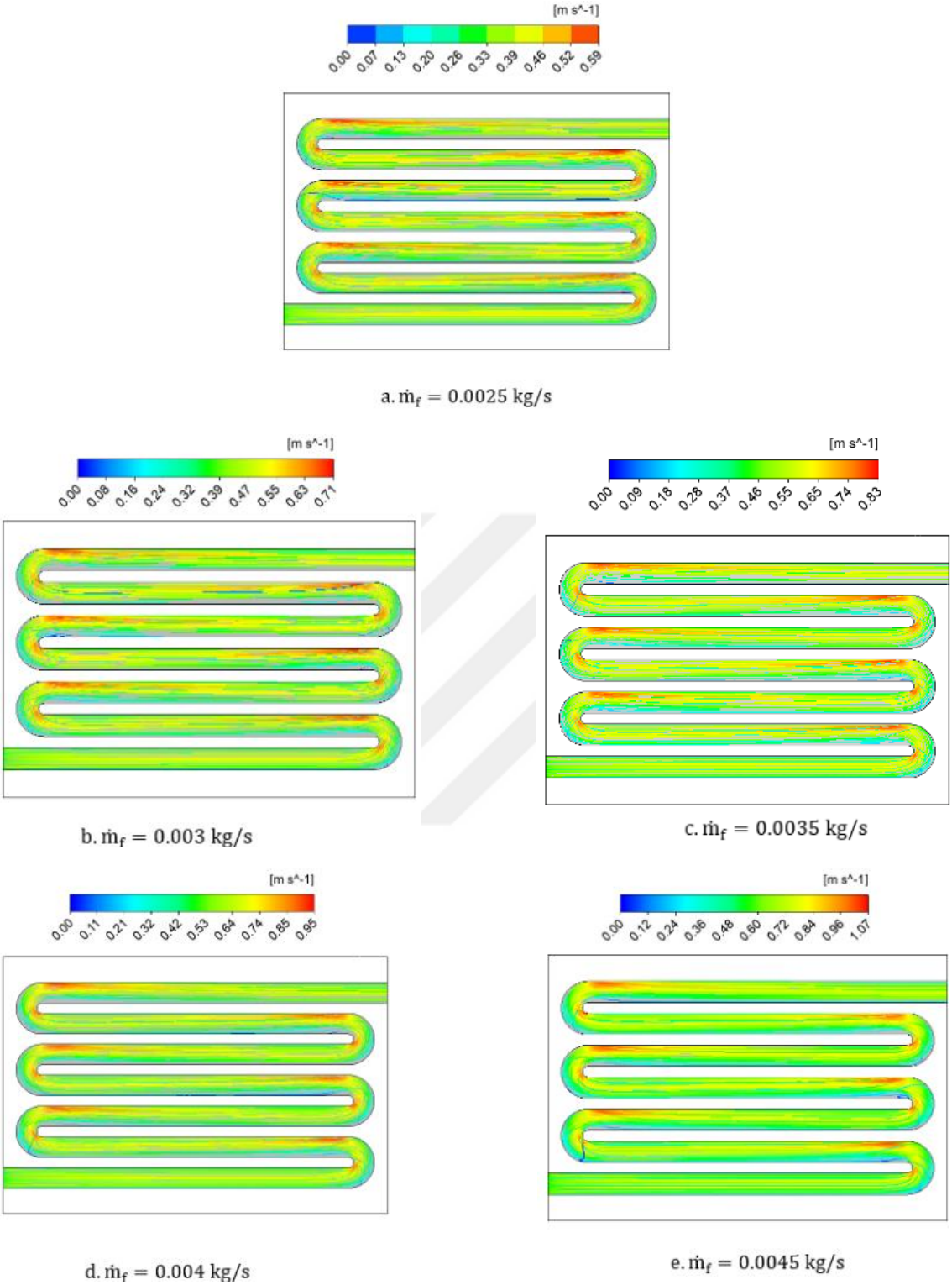
değerlerinin daha yüksek olduğu bölgeler üst cidara yakın bölgeler iken dirsek bölgelerine yaklaşıldıkça yerel hız değerlerinde genel olarak bir azalma söz konusudur.Şekil 12'de sunulan akım çizgileri de yukarıdaki yorumları desteklemektedir.



Şekil 10. Referans mini kanallı ısı alıcı (MCHS) için farklı akışkan debilerinde tabandan 3.5 mm yükseklikte elde edilen sıcaklık konturları

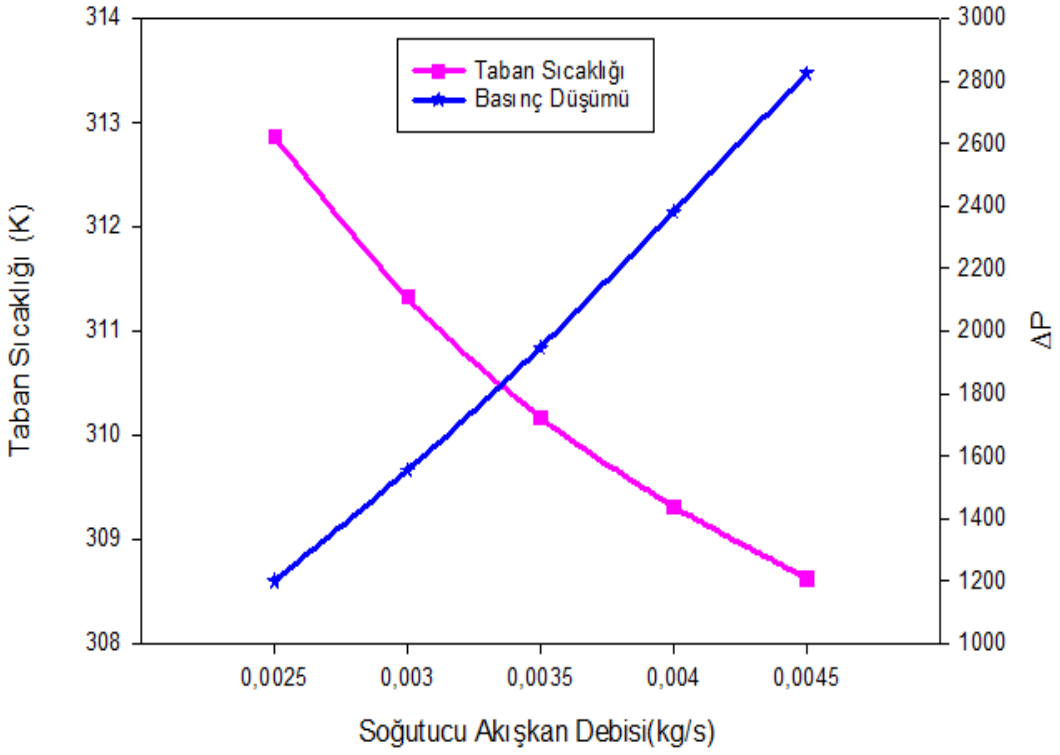


Şekil 11. Referans mini kanallı ısı alıcı (MCHS) için farklı akışkan debilerinde tabandan 3.5 mm yükseklikte elde edilen hız konturları



Şekil 12. Referans mini kanallı ısı alıcı (MCHS) için farklı akışkan debilerinde elde edilen akım çizgileri

Şekil 13'de referans mini kanallı ısı alıcı için farklı akış debileri ile basınç düşümü ve ısı alıcının taban sıcaklığındaki değişim verilmiştir. Beklendiği üzere soğutucu akışkan debisinin artışı taşınımla ısı transferini artırırken mini kanallı ısı alıcının taban sıcaklığı giderek azalmaktadır. Bununla birlikte, soğutucu akışkan debisinin artışı ısı alıcı içerisindeki toplam basınç düşümünü artırırken bu artış pompalama gücünde de artışı beraberinde getirir.



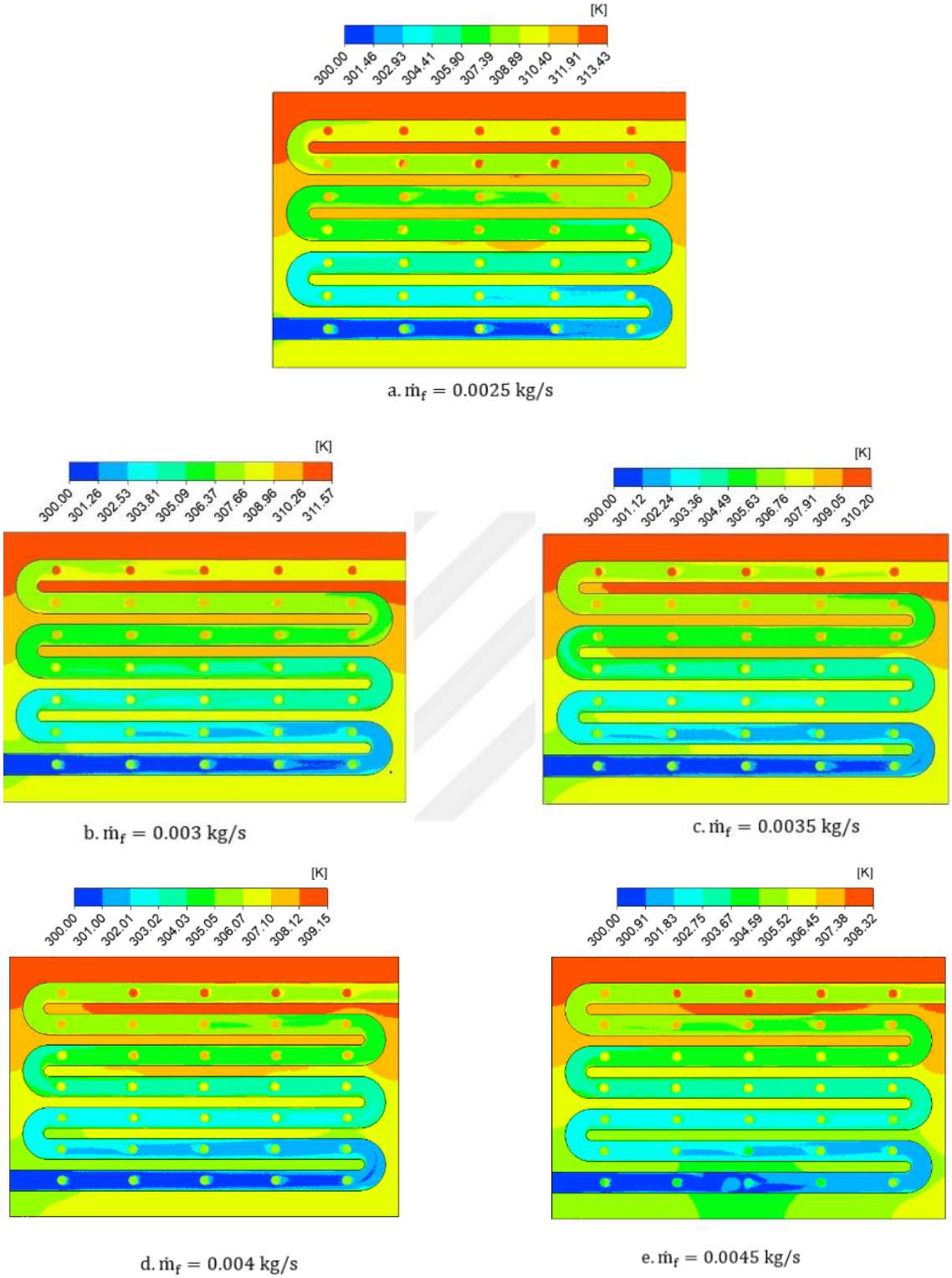
Şekil 13. Referans mini kanallı ısı alıcı (MCHS) için taban sıcaklığı ve basınç düşümünün soğutucu akışkan debisi ile değişimi

3.2 Kanal Tabanında Yarı Küresel Engeller Bulunan Mini Kanallı Isı Alıcı(MCHS-A)

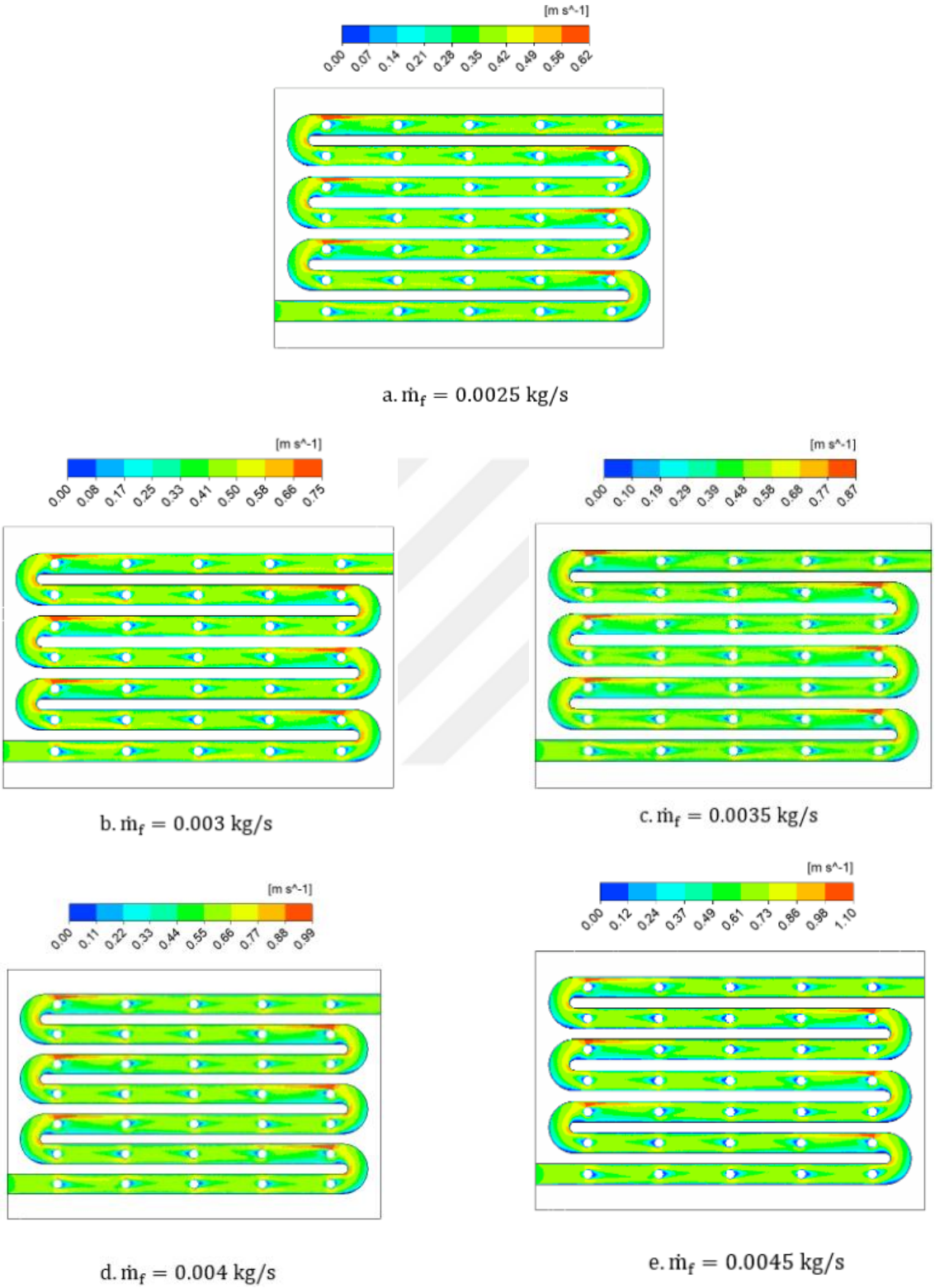
Bu bölümde mini kanalların her bir geçişinde tabanında beş adet yarı küresel engel bulunan mini kanallı ısı alıcı tasarımı için farklı akışkan debilerinde elde edilen kontur grafikleri ve akım çizgileri sunulmuştur.

Şekil 14'te MCHS-A tasarımı için farklı akışkan debilerinde elde edilen sıcaklık konturları sunulmuştur. Yukarıda referans mini kanallı ısı alıcı için elde edilen sonuçlara benzer sıcaklık konturları MCHS-A tasarımında da elde edilmiştir. Soğutucu akışkan mini kanalların her bir geçişinde x-doğrultusunda kanal boyunca giderek ısınmaktadır. Bunun sonucunda ısı alıcının alt kısmında dördüncü geçişe kadar sıcaklık neredeyse eş dağılımdır. Bununla birlikte, kanal geçişleri boyunca giderek ısınan akışkanın soğutma kapasitesi giderek azalmakta olup ısı alıcının üst bölümleri de dolayısıyla görece daha sıcaktır. Kanal tabanındaki yarı küresel engellerin sıcaklıkları ise her zaman için aynı düzlemdeki soğutucu akışkan sıcaklığından daha yüksek olup kanal çıkışına doğru giderek ısınmaktadır. Son olarak, referans ısı alıcı ile karşılaştırıldığında MCHS-A tasarımında çalışılan tüm soğutucu akışkan debilerinde maksimum sıcaklık daha referans ısı alıcıdaki değerlere göre daha düşüktür.

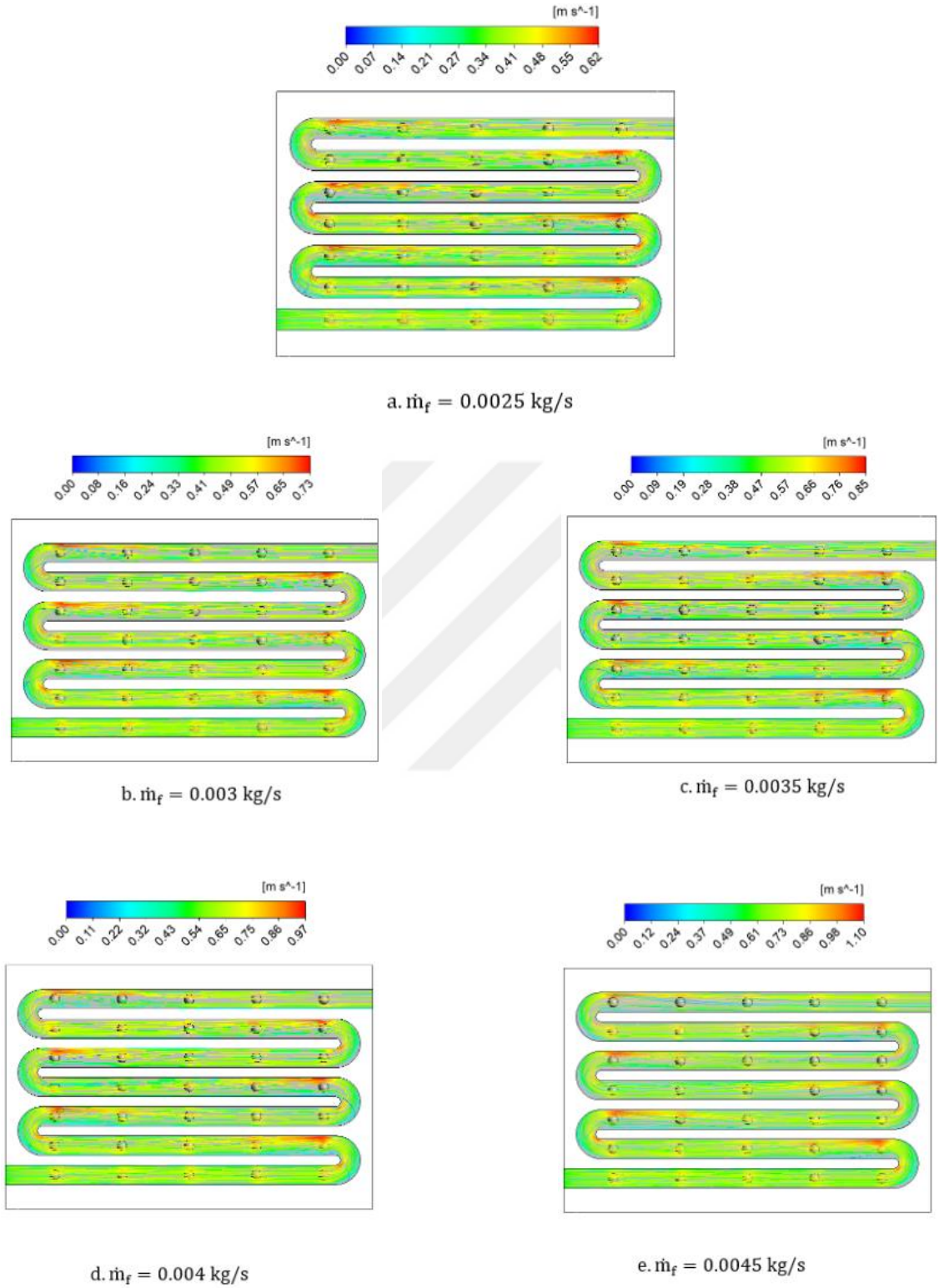
Şekil 15'de MCHS-A tasarımı için farklı akışkan debilerinde elde edilen hız konturları sunulmuştur. Kanal tabanındaki yarı küresel engellerin varlığı engel ile yan düşey cidarlar arasında yerel hız değerlerinin artışına sebep olurken engellerin iz bölgelerinde ise soğutucu akışkan hızında yerel olarak azalmalar ve resirkülasyon oluşumu görülmektedir. Bununla birlikte, soğutucu akışkan engellerin ön bölümlerine çarparak momentumunu kaybetmekte olup engel cidarını takip ederek akışına devam etmektedir. Referans mini kanallı ısı alıcıya benzer şekilde dirsek bölgelerine girişte soğutucu akışkanın yerel hız değerleri iç cidara yakın bölgelerde daha yüksek iken dirsek çıkışında yüksek hızlı akışkan dış cidara doğru yönelmekte olup yüksek hıza sahip akışkanın kapladığı bölge genişlemektedir. Ayrıca, dirseklerin çıkışında yarı küresel engeller ile yan cidarlar arasında kalan akışkanın hızı maksimum düzeydedir. Şekil 16'da sunulan akım çizgileri de hız konturları için yapılan değerlendirmeleri desteklemektedir.



Şekil 14. MCHS-A tasarımı için farklı akışkan debilerinde tabandan 3.5 mm yükseklikte elde edilen sıcaklık konturları



Şekil 15. MCHS-A tasarımı için farklı akışkan debilerinde tabandan 3.5 mm yükseklikte elde edilen hız konturları



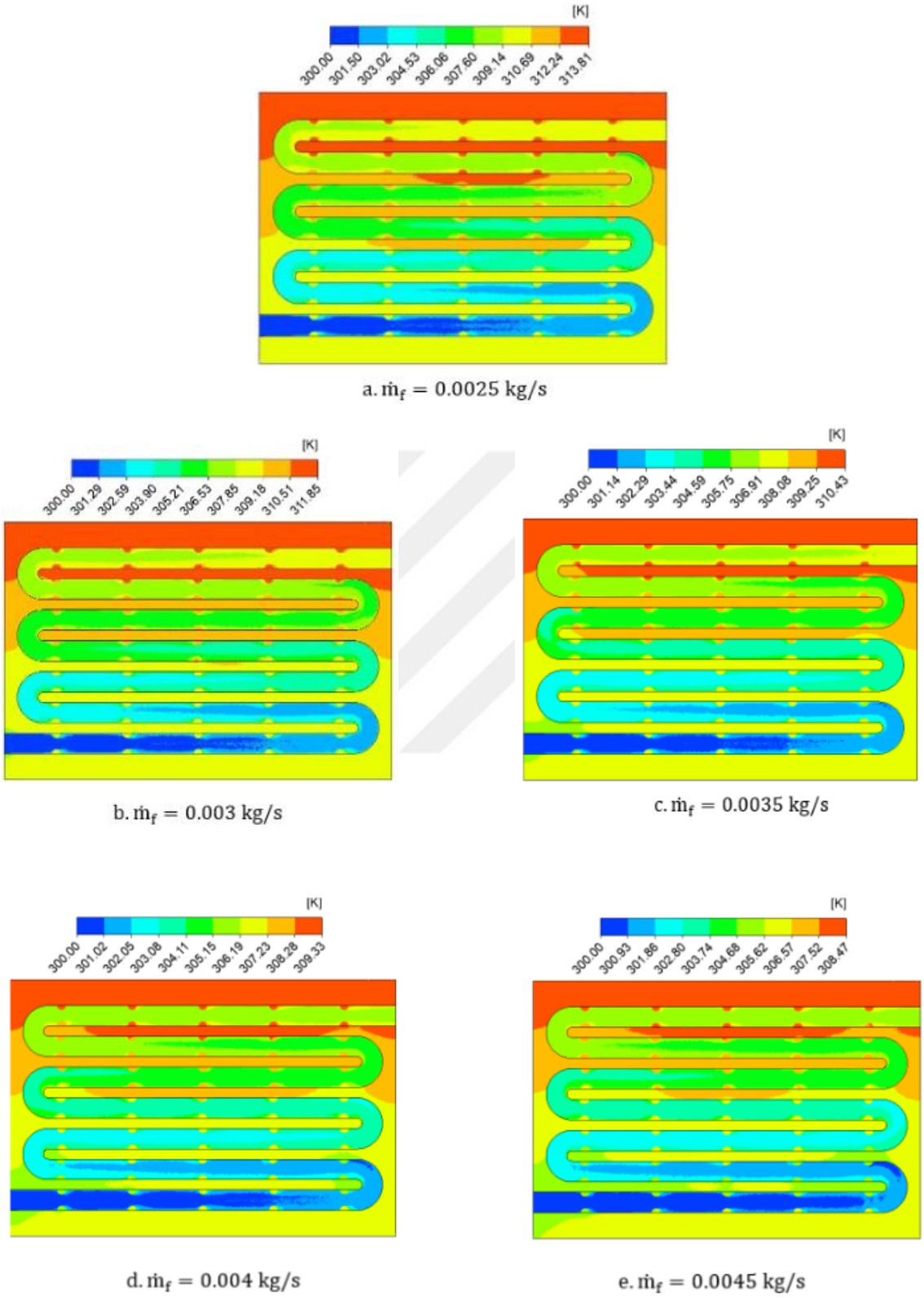
Şekil 16. MCHS-A tasarımı için farklı akışkan debilerinde elde edilen akım çizgiler

3.3 Kanal Cidarlarında Çeyrek Küresel Engeller Bulunan Mini Kanallı Isı Alıcı (MCHS-B)

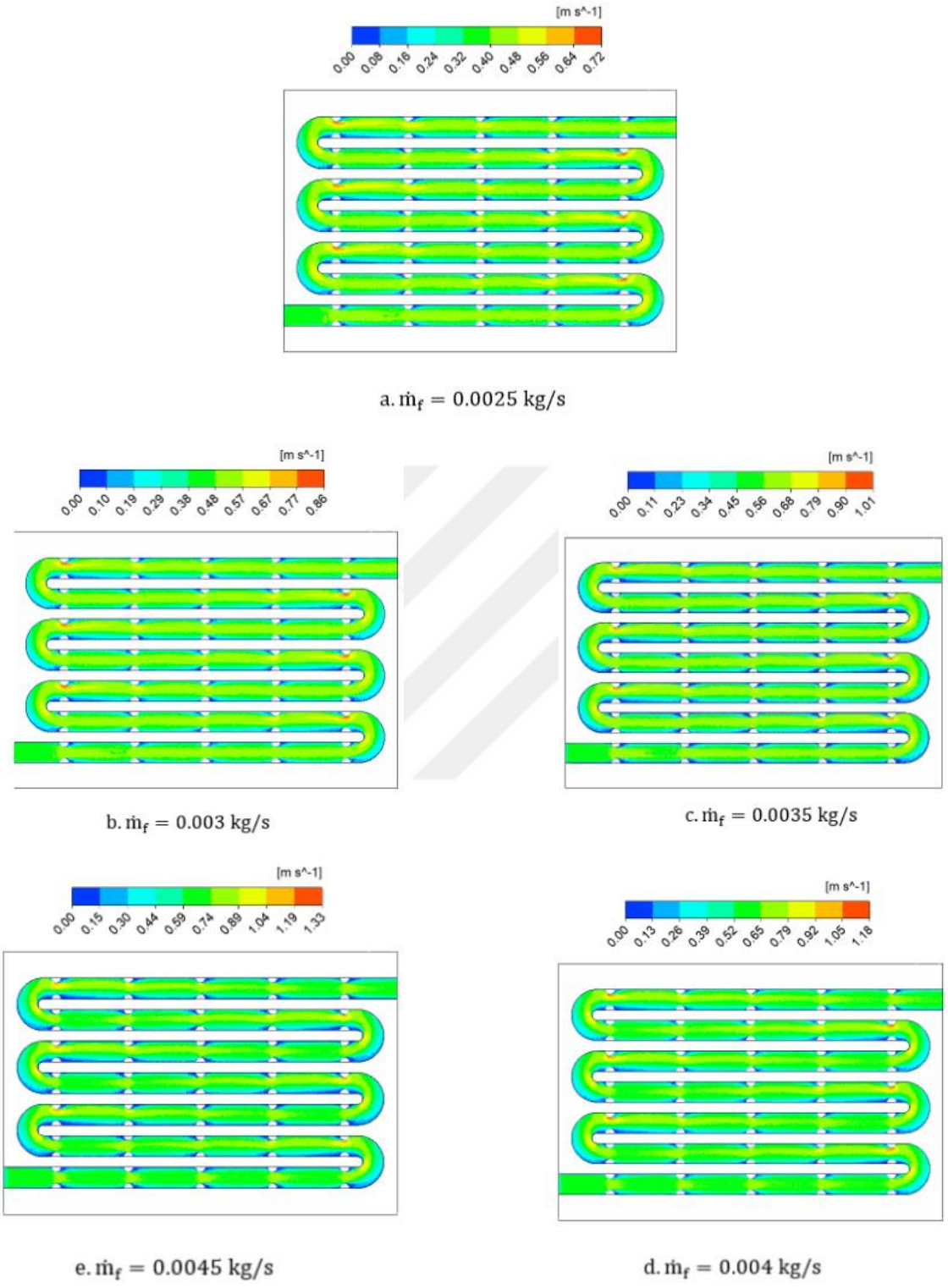
Bu bölümde mini kanalların her bir geçişinde yan yüzeylerde beşer adet çeyrek küresel engel bulunan mini kanallı ısı alıcı tasarımı için farklı akışkan debilerinde elde edilen kontur grafikleri ve akım çizgileri sunulmuştur.

Şekil 17'de MCHS-B tasarımı için farklı akışkan debilerinde elde edilen sıcaklık konturları sunulmuştur. Sıcaklık konturlarından görüldüğü üzere daha önce çalışılan konfigürasyonlara benzer şekilde soğutucu akışkan mini kanala 300 K sıcaklıkta girmekte olup ısı alıcıdan ısıyı çekerek giderek ısınmaktadır. Buna bağlı olarak soğutma kapasitesi giderek azalmakta olup bu durum ısı alıcı içerisindeki sıcaklık dağılımından da net şekilde görülebilmektedir. Kanal girişine yakın bölümlerde ısı alıcı sıcaklığı daha düşükken kanal çıkışına doğru ısı alıcıdaki yerel sıcaklık değerleri daha yüksektir. Ayrıca mini kanalın yan yüzeylerinde karşılıklı olarak konumlandırılmış olan çeyrek küresel engellerin sıcaklıkları her zaman için aynı düzlemde bulunan akışkan sıcaklığından daha yüksektir. Yan yüzeylerde bulunan engellerin iz bölgelerinde ise oluşan resirkülasyonlara bağlı olarak yerel sıcaklıklar ana akışa oranla bir miktar daha yüksektir. Referans mini kanal ısı alıcı ile karşılaştırıldığında tüm akışkan debilerinde belirtilen konumdaki ısı alıcı içerisindeki en yüksek sıcaklığın referans durumdaki en yüksek sıcaklık değerinden daha düşük olduğu görülür.

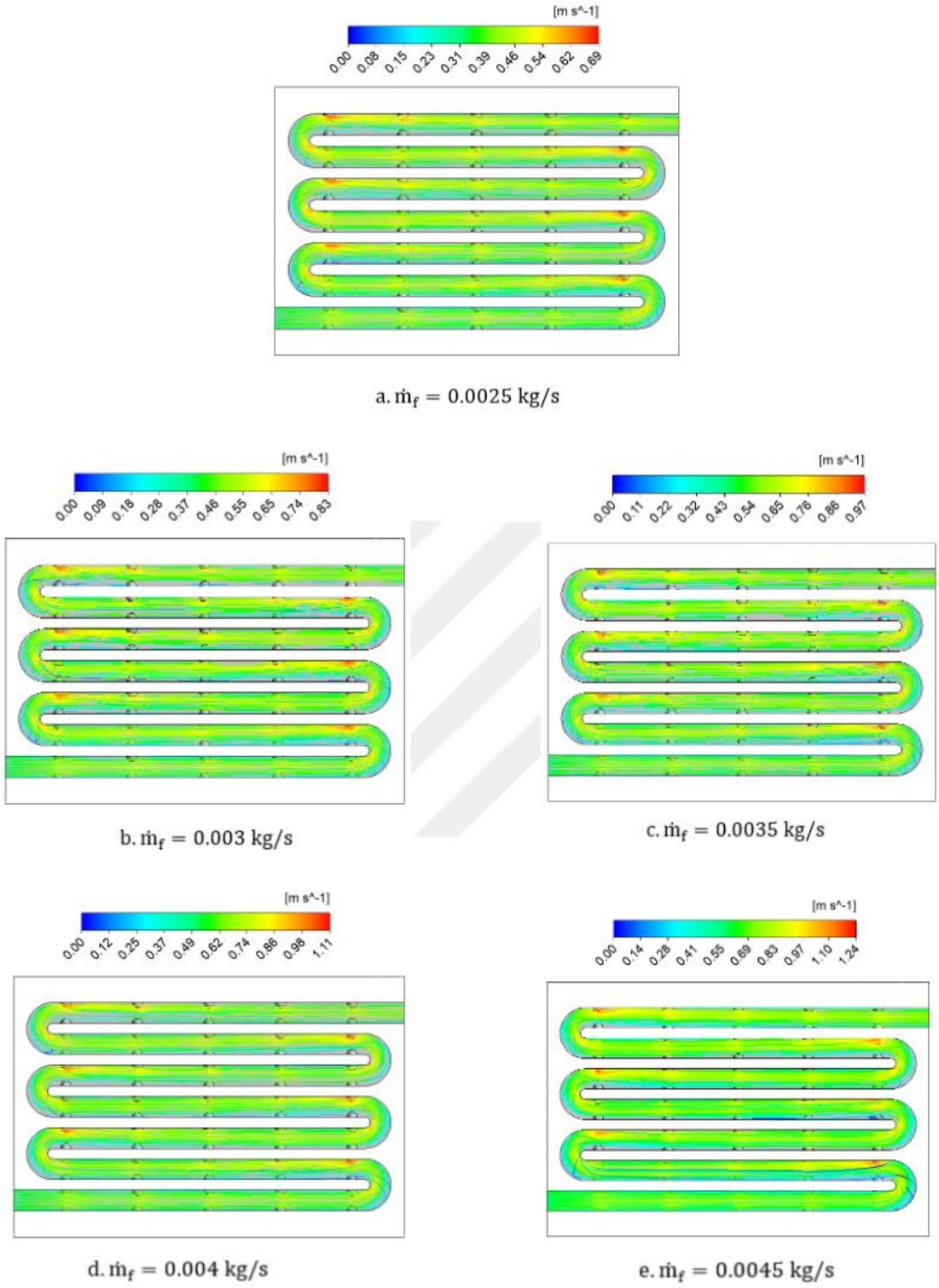
Şekil 18'de MCHS-B tasarımı için farklı akışkan debilerinde elde edilen hız konturları sunulmuştur. Hız konturlarından görüldüğü üzere ısı alıcı girişinde soğutucu akışkan hızı eş dağılıdır. Yan cidarlardaki çeyrek küresel engellerin varlığı bu bölgelerde akış kesitini daraltmakta ve yerel olarak hız artışlarına sebebiyet vermektedir. Ancak, yan yüzeylerdeki engellerin iz bölgelerinde gerek cidara yakın bölgelerde hızların daha düşük olması gerekse oluşan resirkülasyonlar sebebiyle yerel hız değerleri ana akışa oranla daha düşüktür. Dirsek bölgelerinde ise daha önceki iki tasarıma benzer şekilde dış cidarlara yakın bölgelerde yerel hızlar daha düşük iken dirseğin iç cidarına yakın bölgelerde yerel hızlar daha yüksek olup dirsek çıkışına doğru yüksek hıza sahip bölgeler genişlemektedir. Şekil 3.19'da gösterilen akım çizgileri de bu yorumları desteklemektedir.



Şekil 17. MCHS-B tasarımı için farklı akışkan debilerinde tabandan 3.5 mm yükseklikte elde edilen sıcaklık konturlar



Şekil 18. MCHS-B tasarımı için farklı akışkan debilerinde tabandan 3.5 mm yükseklikte elde edilen hız konturları



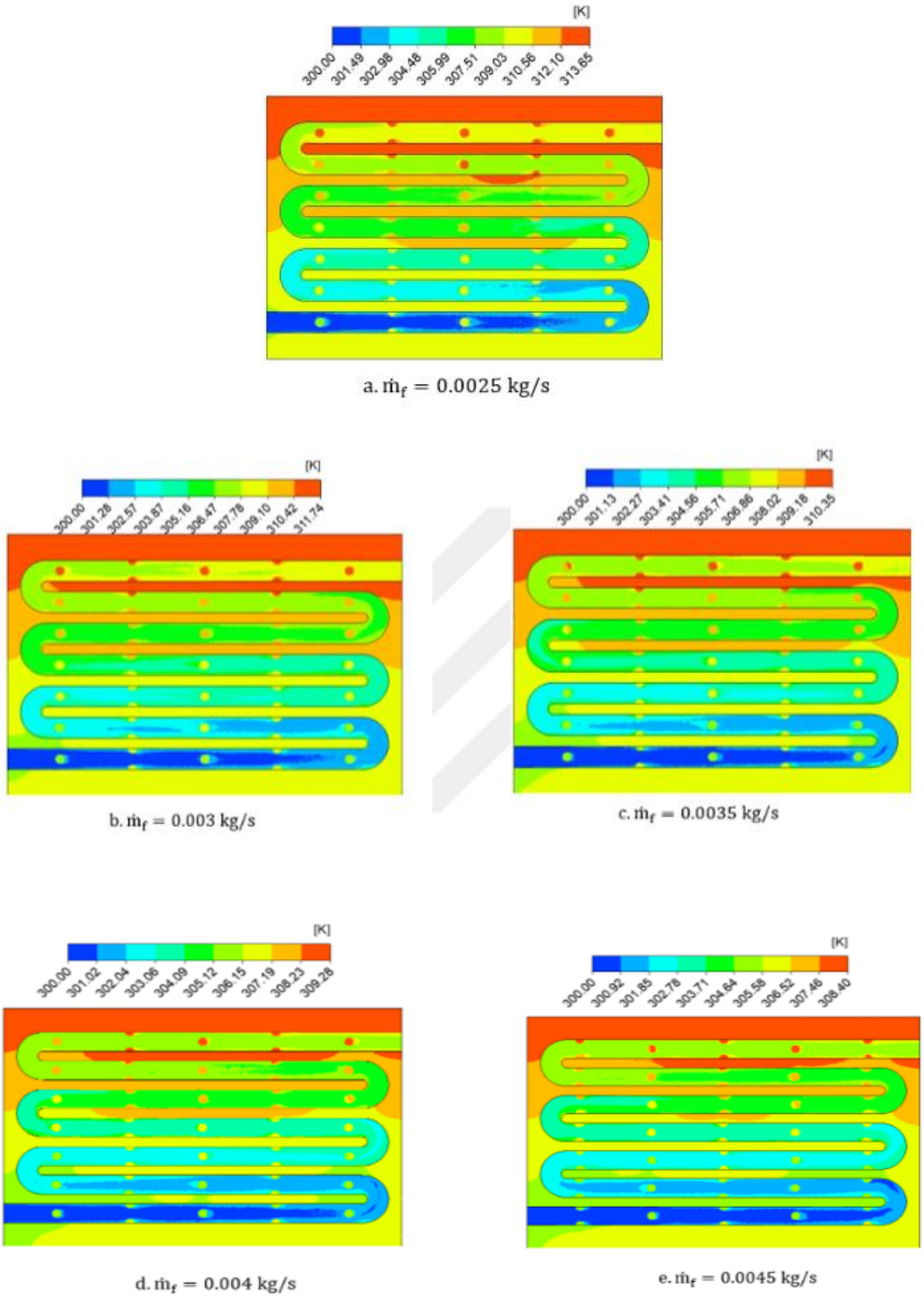
Şekil 19. MCHS-B tasarımı için farklı akışkan debilerinde elde edilen akım çizgileri

3.4.Kanal Tabanı ve Cidarlarında Sırasıyla Yarı Küresel ve Çeyrek Küresel Engeller Bulunan Mini Kanallı Isı Alıcı(MCHS-C)

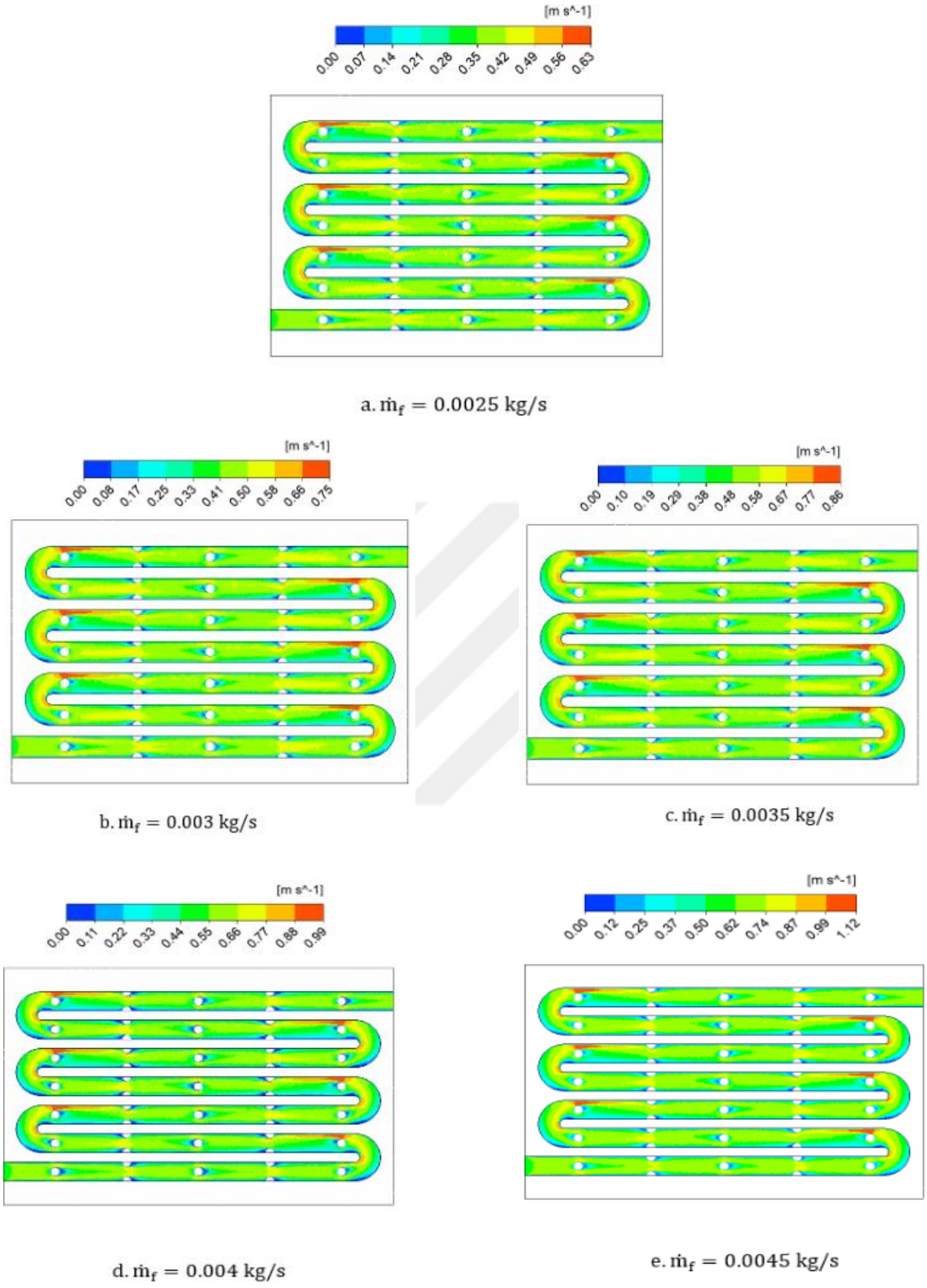
Bu bölümde mini kanalların her bir geçişinde tabanında beş adet yarı küresel engel ve yan yüzeylerde beşer adet çeyrek küresel engel bulunan mini kanallı ısı alıcı tasarımı için farklı akışkan debilerinde elde edilen kontur grafikleri ve akım çizgileri sunulmuştur.

Şekil 3.20'de MCHS-C tasarımı için farklı akışkan debilerinde elde edilen sıcaklık konturları sunulmuştur.Daha önce çalışılan konfigürasyonlarda olduğu gibi soğutucu akışkan mini kanala 300K sıcaklığında girmektedir.Soğutucu akışkan mini kanalların her bir geçişinde x-doğrultusunda kanal boyunca ısı alıcıdan ısıyı çekerek giderek ısınmaktadır.Buna bağlı olarak mini kanallı ısı alıcının soğutma kapasitesi giderek azaltmaktadır.Bu durum mini kanallı ısı alıcının sıcaklık dağılımında net bir şekilde görülmektedir. Mini kanallı ısı alıcıda kanal girişine yakın olan bölgelerde ısı alıcının sıcaklık değeri düşükken kanal çıkışına yakın olan bölgelerde ısı alıcının sıcaklık değeri daha yüksektir. Kanal tabanındaki yarı küresel engellerin ve yan yüzeylerindeki çeyrek küresel engellerin sıcaklıkları her zaman aynı düzlemdeki soğutucu akışkanın sıcaklığından daha yüksek olup kanal çıkışına doğru giderek artmaktadır. Referans mini kanal ısı alıcı ile karşılaştırıldığında tüm akışkan debilerinde belirtilen konumdaki ısı alıcı içerisindeki en yüksek sıcaklığın referans durumdaki en yüksek sıcaklık değerinden daha düşük olduğu görülür.

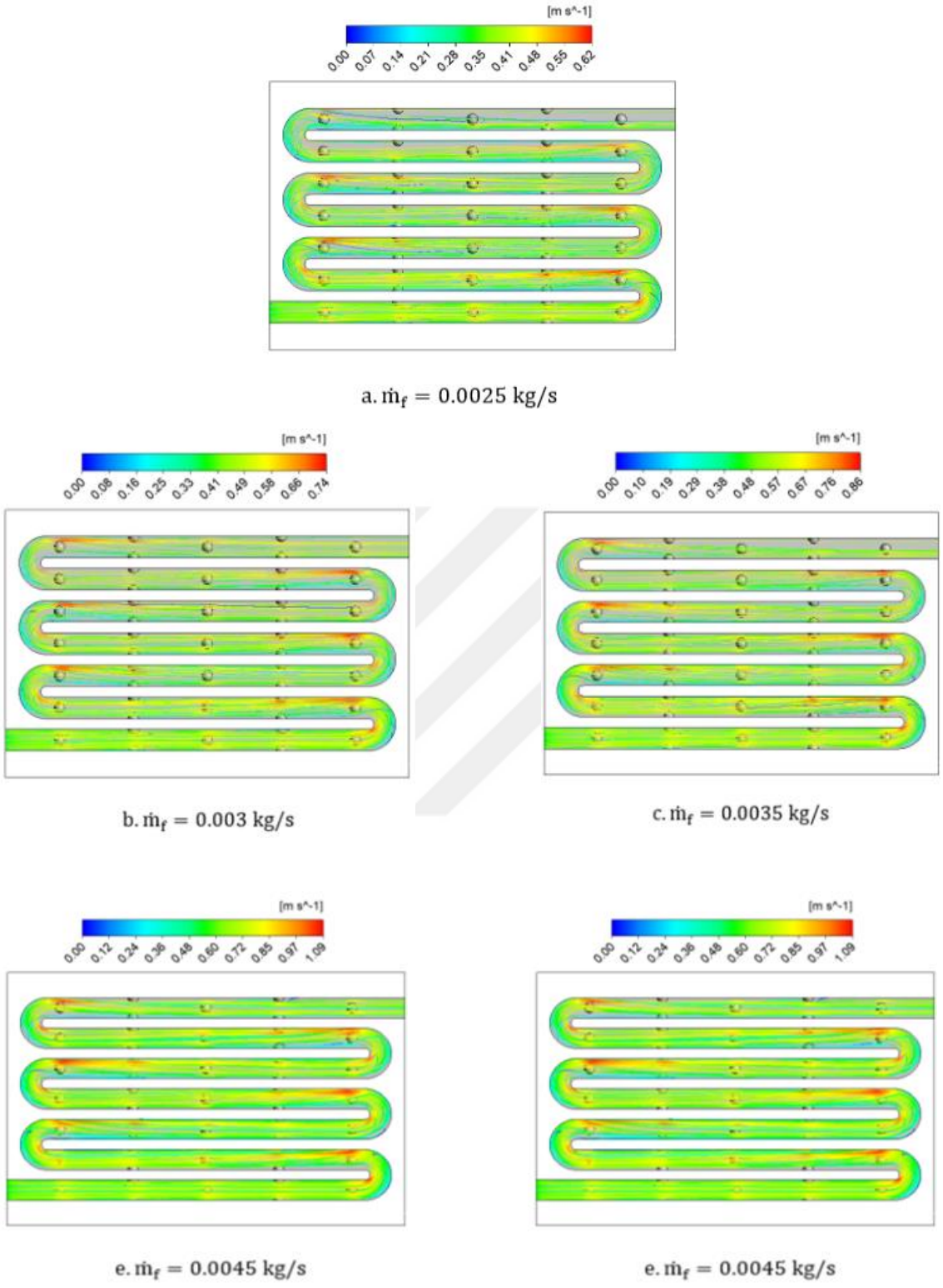
Şekil 3.21'de MCHS-C tasarımı için farklı akışkan debilerinde elde edilen hız konturları sunulmuştur.Hız konturlarından görüldüğü üzere ısı alıcı girişinde soğutucu akışkan hızı eşit şekilde dağılmıştır.Soğutucu akışkan kanal tabanındaki yarı küresel engellere temas etmesi ve yan yüzeylerdeki çeyrek küresel engellerin akış kesitini daraltmasıyla yerel hız artışları oluşmaktadır. Soğutucu akışkanın kanal tabanındaki yarı küresel engellere temas ettikten sonra geriye doğru hareketiyle ve buna ek olarak yan yüzeylerdeki engellerin cidara yakın olması engellerin iz bölgelerinde resirkülasyonlar oluşturmakta ve yerel hız değerleri ana akışa oranla daha düşüktür.Dirsek bölgelerinde iç cidara yakın bölgelerde soğutucu akışkan hızı yüksek,dış cidara yakın bölgelerde ise düşük hızlar gözlemlenmektedir. Şekil 3.22'de gösterilen akım çizgileri de bu yorumları desteklemektedir.



Şekil 20. MCHS-C tasarımı için farklı akışkan debilerinde tabandan 3.5 mm yükseklikte elde edilen sıcaklık konturları



Şekil 21. MCHS-C tasarımı için farklı akışkan debilerinde tabandan 3.5 mm yükseklikte elde edilen hız konturları



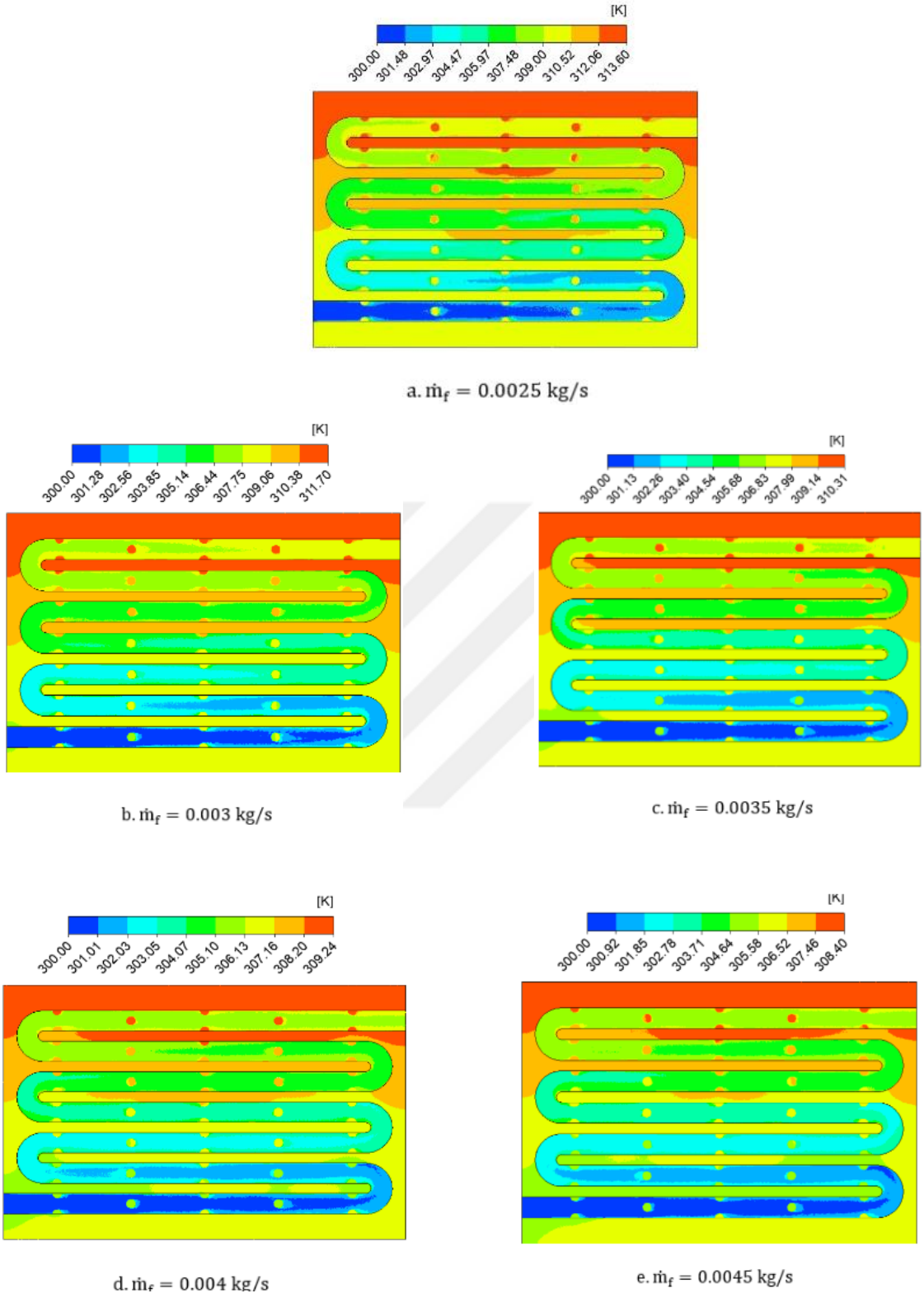
Şekil 22. MCHS-C tasarımı için farklı akışkan debilerinde elde edilen akım çizgileri

3.5 Kanal Cidarlarında ve Tabanında Çeyrek Küresel ve Yarı Küresel Engeller Bulunan Mini Kanallı Isı Alıcı(MCHS-D)

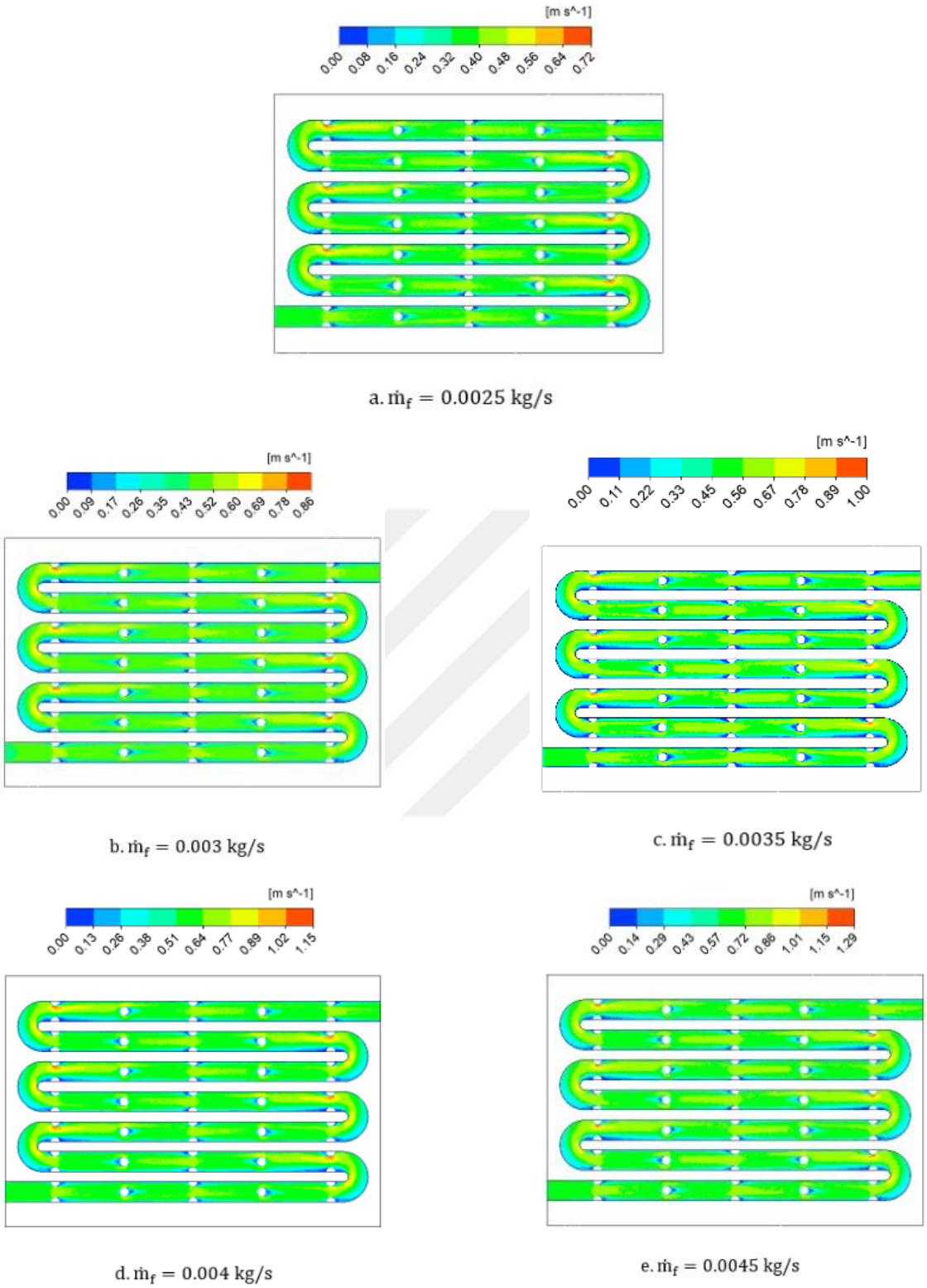
Bu bölümde MCHS-C konfigürasyonundan farklı olarak mini kanalların her bir geçişinde sırasıyla yan yüzeylerde beşer adet çeyrek küresel engel ve kanal tabanında beş adet yarı küresel engel bulunan mini kanallı ısı alıcı tasarımı için farklı akışkan debilerinde elde edilen kontur grafikleri ve akım çizgileri sunulmuştur.

Şekil 3.23'de MCHS-D tasarımı için farklı akışkan debilerinde elde edilen sıcaklık konturları sunulmuştur.Önceki çalışılan konfigürasyonlarda olduğu gibi soğutucu akışkan mini kanala 300K sıcaklığında girmektedir.Soğutucu akışkan mini kanalların her bir geçişinde x-doğrultusunda kanal boyunca ısı alıcıdan ısıyı çekerek giderek ısınmaktadır böylece mini kanallı ısı alıcının soğutma kapasitesi kanal çıkışına doğru giderek azalmaktadır.Bu durum mini kanallı ısı alıcının sıcaklık dağılımında net bir şekilde görülmektedir.Mini kanallı ısı alıcıda kanal girişine yakın olan bölgelerde ısı alıcının sıcaklık değeri düşükken kanal çıkışına yakın olan bölgelerde ısı alıcının sıcaklık değeri daha yüksektir. Yan yüzeylerindeki çeyrek küresel engellerin ve kanal tabanındaki yarı küresel engellerin sıcaklıkları aynı düzlemdeki soğutucu akışkanın sıcaklığından her zaman daha yüksek olup kanal çıkışına doğru giderek artmaktadır. Referans mini kanal ısı alıcı ile karşılaştırıldığında tüm akışkan debilerinde belirtilen konumdaki ısı alıcı içerisindeki en yüksek sıcaklığın referans durumdaki en yüksek sıcaklık değerinden daha düşük olduğu görülür.

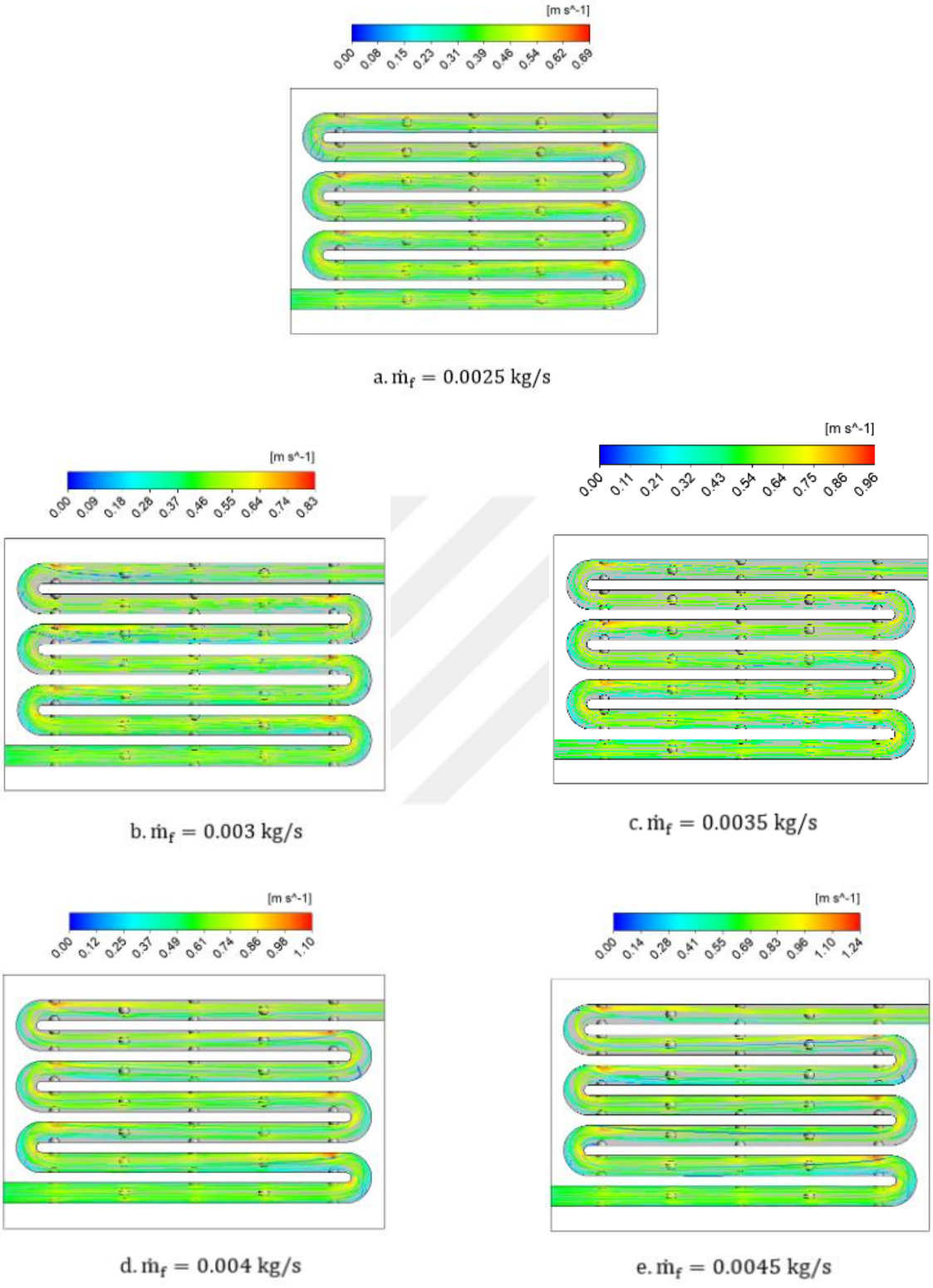
Şekil 3.24'de MCHS-D tasarımı için farklı akışkan debilerinde elde edilen hız konturları sunulmuştur.Hız konturlarından görüldüğü üzere ısı alıcı girişinde soğutucu akışkan hızı eşit şekilde dağılmıştır.Soğutucu akışkan sırasıyla yan yüzeylerdeki çeyrek küresel engellere temas etmektedir.Yan yüzeylerdeki çeyrek küresel engellerin varlığı bu bölgelerde akış kesitini daraltmakta ve yerel olarak hız artışlarına neden olmaktadır.Daha sonra soğutucu akışkan kanal tabanındaki yarı küresel engellere temas etmektedir. Tabandaki yarı küresel engellerin varlığı engel ile yan cidarlar arasında yerel hız değerlerinin artışına sebep olmaktadır.Engellerin iz bölgelerinde resirkülasyonlar oluşturmakta ve yerel hız değerleri ana akışa oranla daha düşüktür.Ayrıca dirsek bölgelerinde iç cidara yakın bölgelerde soğutucu akışkan hızı yüksek,dış cidara yakın bölgelerde ise düşük hızlar gözlemlenmektedir. Şekil 3.25'de gösterilen akım çizgileri de bu yorumları desteklemektedir.



Şekil 23. MCHS-D tasarımı için farklı akışkan debilerinde tabandan 3.5 mm yükseklikte elde edilen sıcaklık konturları

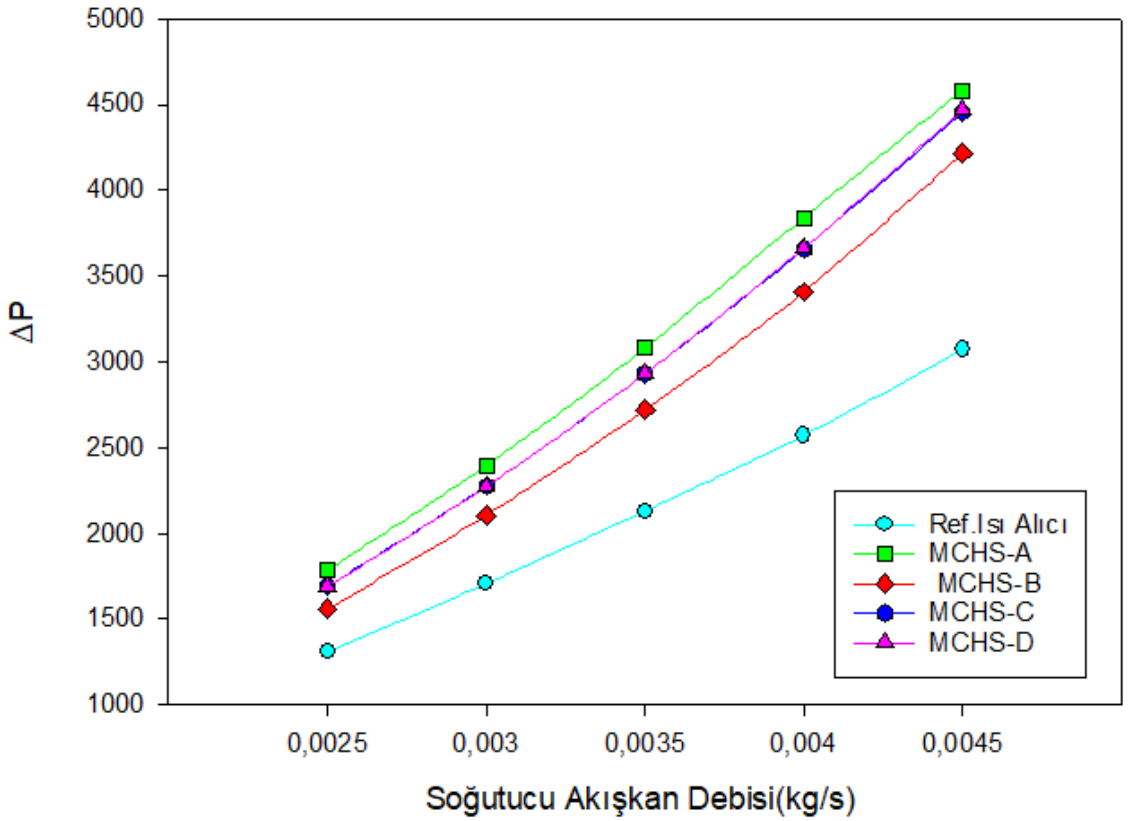


Şekil 24. MCHS-D tasarımı için farklı akışkan debilerinde tabandan 3.5 mm yükseklikte elde edilen hız konturları



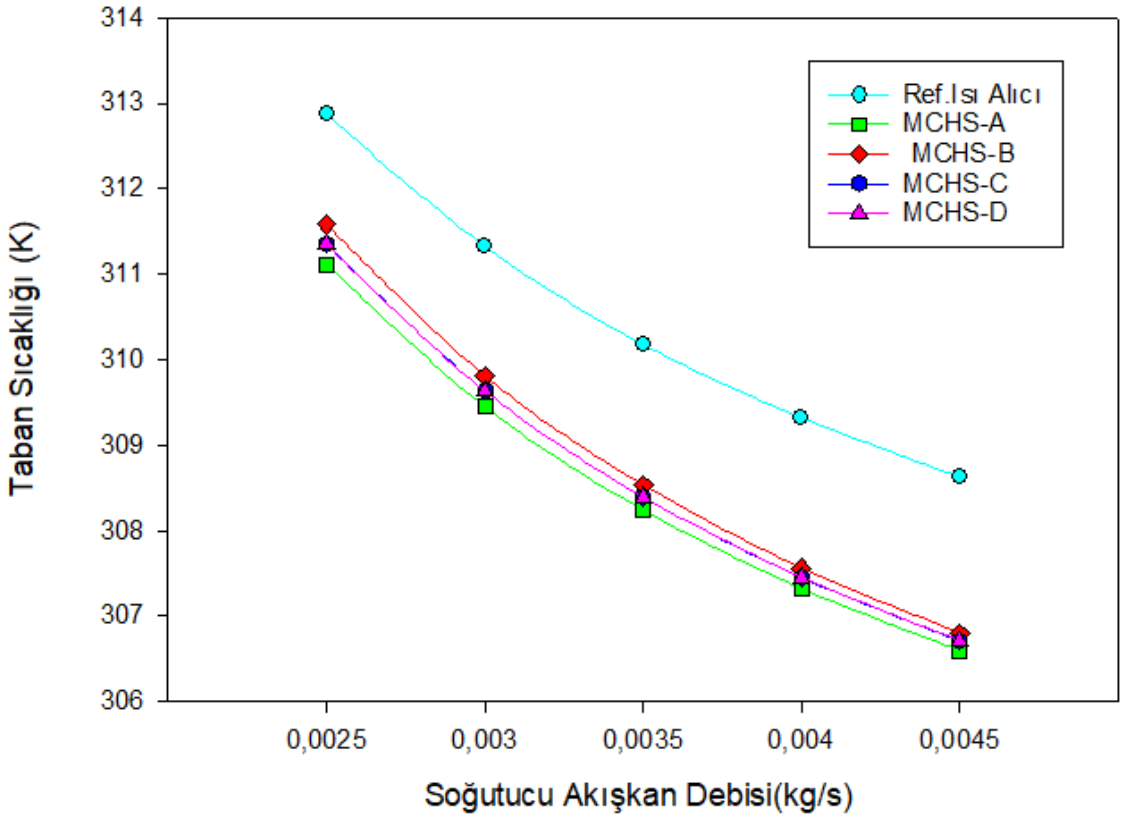
Şekil 25. MCHS-D tasarımı için farklı akışkan debilerinde elde edilen akım çizgileri

Şekil 3.26'da farklı soğutucu akışkan debileri için mini kanallı ısı alıcıların giriş ve çıkışı arasında oluşan basınç düşümü miktarlarının değişimleri verilmiştir. Beklendiği üzere soğutucu akışkan debisindeki artış basınç düşümünü ve dolayısıyla soğutucu akışkanın sirkülasyonu için gereken pompalama gücünü artırmaktadır. Engel kullanılmayan referans mini kanallı ısı alıcı için bu artış engel kullanılan diğer tasarımlara oranla daha sınırlı iken engel kullanılan tasarımlarda basınç düşümü daha belirgin şekilde artmaktadır. Çalışılan tüm soğutucu akışkan debilerinde en yüksek basınç düşümü miktarları MCHS-A tasarımında elde edilirken, MCHS-C ve MCHS-D tasarımlarında hesaplanan basınç düşümü miktarları hemen hemen birbirlerine eşittir. Bununla birlikte mini kanalların yan düşey cidarlarındaki engellerin basınç düşümü üzerindeki etkilerinin mini kanalların tabanlarındaki engellere oranla daha sınırlı olduğu Şekil 3.26'da açıkça görülmektedir.



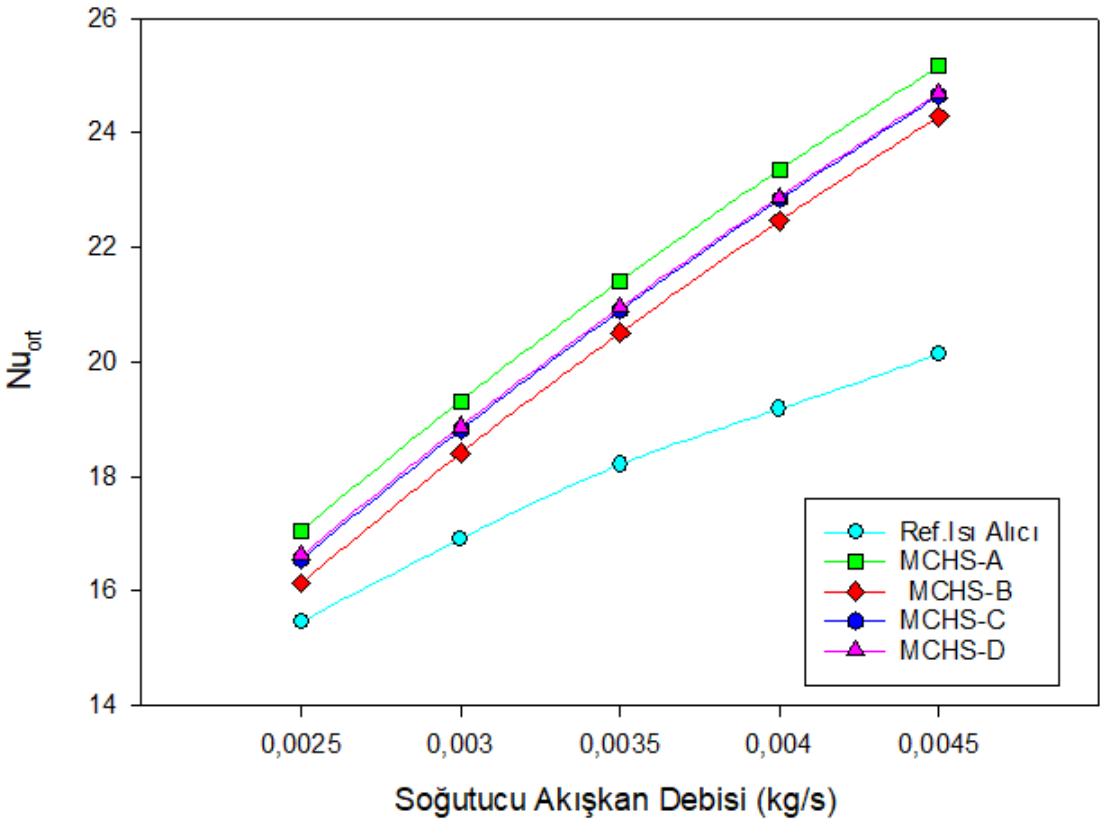
Şekil 26. Farklı ısı alıcı tasarımları için basınç düşümünün soğutucu akışkan debisiyle değişimi

Şekil 27'de farklı soğutucu akışkan debileri için mini kanallı ısı alıcıların taban sıcaklıklarının değişimleri verilmiştir. Çalışmanın temel amacı ısı alıcının soğutma performansını artırmak olduğundan dolayı mini kanal içerisinde akmakta olan akışkanın ısı alıcıdan çektiği ısı ne kadar fazla olursa ısı alıcının soğutma performansı da o denli yüksek olacaktır. Dolayısıyla bu bölümde ilk olarak farklı ısı alıcı konfigürasyonlarının ısı alıcının taban sıcaklığına olan etkileri değerlendirilmiştir. Beklendiği üzere soğutucu akışkan debisindeki artış soğutucu akışkanın ısı alıcıdan çektiği ısıyı artırmakta ve soğutucu akışkan debisinin artışıyla birlikte ısı alıcının taban sıcaklığı da giderek azalmaktadır. Bununla birlikte, mini kanalların tabanında ve yan düşey cidarlarındaki engellerin taban sıcaklığındaki azalmaya katkıda bulundukları görülmektedir. Kullanılan engeller mini kanalların içerisindeki akış esnasında karışımı artırmakta, oluşan resirkülasyon bölgelerine bağlı olarak taban sıcaklığı da azalmaktadır. Şekil 27'de incelendiğinde MCHS-A tasarımında ısı alıcının taban sıcaklığının diğer tasarımlardan daha düşük olduğu ve kullanılan engellerin referans duruma oranla taban sıcaklığında önemli azalmaya sebep oldukları görülmektedir.



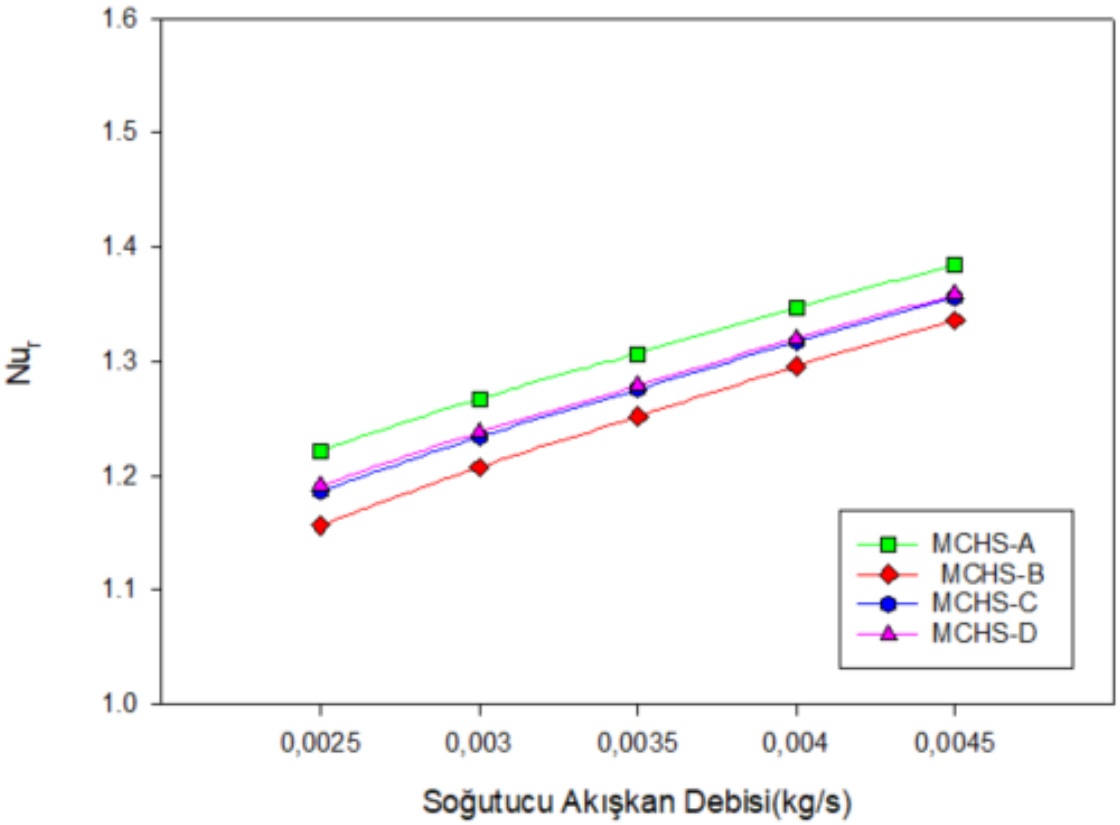
Şekil 27. Farklı ısı alıcı tasarımları için taban sıcaklığının soğutucu akışkan debisiyle değişimi

Şekil 28'de farklı soğutucu akışkan debileri ve mini kanallı ısı alıcı tasarımları için ortalama Nusselt sayısının değişimi verilmiştir. Yukarıda belirtildiği gibi soğutucu akışkan debisinin artışı ile taşınımla ısı transferindeki artış beklenen bir durumdur. Dolayısıyla, hem referans mini kanallı ısı alıcı hem de yenilikçi mini kanallı ısı alıcı tasarımları için soğutucu akışkan debisi ile birlikte Nuort artmaktadır. Bu artış ise yenilikçi ısı alıcı tasarımları için daha belirgindir. Şekil 28'de görüldüğü üzere taşınımla ısı transferindeki iyileşme referans alındığında en iyi sonuç veren tasarımın MCHS-A tasarımı olduğu görülmektedir. MCHS-A tasarımında mini kanalların tabanında bulunan yarı küresel engeller akışın kanal içerisinde daha iyi karışmasına sebep olmakta ve hızla akmakta olan ana akış engellerle temas ederek yan cidarlara doğru genişlemektedir. Dolayısıyla MCHS-A tasarımı taşınımla ısı transferini iyileştirmede en iyi sonuçları vadetmektedir. MCHS-C ve MCHS-D için elde edilen sonuçlar beklendiği üzere neredeyse birbirlerine eşit olup MCHS-B tasarımı ise taşınımla ısı transferinde diğer tasarımlara oranla daha az iyileşme sağlamıştır.



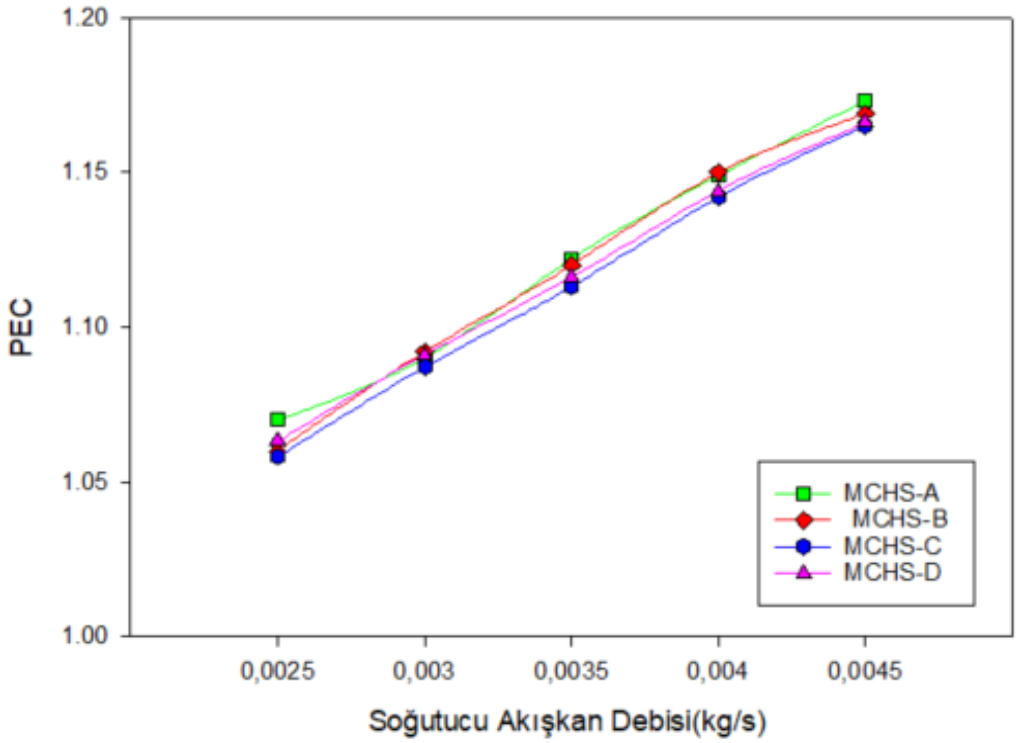
Şekil 28. Farklı ısı alıcı tasarımları için ortalama Nusselt sayısının soğutucu akışkan debisiyle değişimi

Şekil 29’da farklı soğutucu akışkan debileri ve mini kanallı ısı alıcı tasarımları için taşınımla ısı transferinde referans duruma oranla ne kadarlık bir iyileşme sağlandığını belirten Nusselt sayısı oranının değişimi verilmiştir. Şekil 29’da görüldüğü üzere tüm yenilikçi mini kanallı ısı alıcı tasarımlarında taşınımla ısı transferi referans durumdakine oranla daha yüksektir. Ayrıca, yenilikçi tasarımlarda soğutucu akışkan debisindeki artışın taşınımla ısı transferindeki artışa etkisi referans mini kanallı ısı alıcıya oranla daha belirgindir. Dolayısıyla tüm yenilikçi tasarımlarda Nusselt sayısı oranı soğutucu akışkan debisiyle birlikte artmaktadır. Bu artışın en belirgin olduğu durum MCHS-A’da görülmekteyken MCHS-C ve MCHS-D için elde edilen sonuçlar neredeyse birbirlerine eşittir. MCHS-B için hesaplanan artış miktarı ise diğer tasarımlara oranla daha sınırlıdır.



Şekil 29. Farklı ısı alıcı tasarımları için Nusselt sayısı oranının soğutucu akışkan debisiyle değişimi

Şekil 30’da farklı soğutucu akışkan debileri ve mini kanallı ısı alıcı tasarımları için termohidrolik performans açısından en iyi sonuçları belirlemeye olanak tanıyan performans katsayısının değişimi verilmiştir. Isı transferi uygulamalarında PEC genel olarak türbülatör kullanılan sistemlerde, genişletilmiş yüzeylerde ya da nanoakışkanlar ya da akışkan içerisinde farklı maddelerin kullanıldığı sistemlerde ısı transferindeki iyileşme ve basınç düşümündeki artışın birlikte değerlendirilmesiyle hesaplanır ve sistemin termohidrolik performansını verir. Şekil 30’da görüldüğü üzere tüm yenilikçi mini kanallı ısı alıcı tasarımları için PEC değerleri çalışılan tüm soğutucu akışkan debilerinde 1’in üzerinde olup soğutucu akışkan debisindeki artışla birlikte artmaktadır. Bununla birlikte PEC’in tüm tasarımlarda 1’in üzerinde olması ısı transferindeki iyileşmenin basınç düşümündeki artışa oranla çok daha fazla olduğunu ortaya koymaktadır.Şekil 21 incelendiğinde MCHS-A ve MCHS-B tasarımlarının termohidrolik performans açısından çok yakın sonuçlar verdiklerini ancak MCHS-A tasarımında elde edilen sonuçların genel olarak daha yüksek olduğu görülmektedir. Isı alıcının termohidrolik performansı açısından değerlendirildiğinde MCHS-C tasarımının en kötü sonuçları sunduğu görülmektedir.



Şekil 30. Farklı ısı alıcı tasarımları için performans katsayısının soğutucu akışkan debisiyle değişimi

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu tez çalışması kapsamında, elektronik bileşenlerin soğutulması amacıyla kullanılan mini kanallı ısı alıcıların termohidrolik performansların iyileştirmeye yönelik yenilikçi engel tasarımları önerilmiş ve termohidrolik performans açısından optimum sonuçları veren tasarımın belirlenmesi için farklı soğutucu akışkan debilerinde sayısal çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sonucunda elde edilen önemli bulgular aşağıda yer almaktadır:

1. Soğutucu akışkan debisinin artışı taşınımla ısı transferini artırırken basınç düşümünde de artışa sebep olmaktadır.
2. Mini kanalların taban ve cidarlarında kullanılan yarı küresel ve çeyrek küresel formdaki engellerin akış içerisinde daha fazla karışıma sebep olduğu ve engel kullanılan bölgelerde akış kesitinin daralmasına bağlı olarak yerel hız değerlerinde artışlar olduğu belirlenmiştir.
3. Referans mini kanallı ısı alıcı için hesaplanan ısı transferi ve basınç düşümü değerleri önerilen tasarımlara oranla daha düşüktür. Önerilen mini kanallı ısı alıcı tasarımlarının tümü hem ısı transferinde hem de basınç düşümünde artışa sebep olmaktadır.
4. Taşınımla ısı transferi açısından değerlendirildiğinde çalışılan tüm soğutucu akışkan debilerinde MCHS-A tasarımı için hesaplanan ortalama Nusselt sayılarının referans durum ve diğer yenilikçi tasarımlara oranla daha yüksek olduğu belirlenmiştir.
5. Basınç düşümü açısından değerlendirildiğinde çalışılan tüm soğutucu akışkan debilerinde MCHS-A tasarımı için hesaplanan basınç düşümü değerlerinin referans durum ve diğer yenilikçi tasarımlara oranla daha yüksek olduğu belirlenmiştir.
6. Basınç düşümü ve taşınımla ısı transferi referans alındığında mini kanalların tabanındaki yarı küresel engeller ile yan cidarlarındaki çeyrek küresel engellerin konumlandırılmasındaki değişimin sonuçlar üzerindeki etkisinin sınırlı olduğu belirlenmiştir.
7. Isı alıcı tasarımlarının termohidrolik performansa etkileri değerlendirildiğinde MCHS-A tasarımının en iyi sonuçları vadettiği belirlenmiştir.

Yürütülen çalışmayı geliştirmek adına bazı öneriler aşağıda sunulmuştur:

1. Mini kanallı ısı alıcı tasarımları için deneysel çalışmalar yürütüp deneysel ve sayısal veriler arasındaki uyum test edilebilir.
2. Kullanılan yarı küresel ve çeyrek küresel engellerin boyutları değiştirilebilir.
3. Kullanılan engeller için farklı geometrik formlar (elips vb.) için çalışmalar gerçekleştirilebilir.
4. Türbülanslı akışı da kapsayacak şekilde daha geniş bir debi aralığında simülasyonlar gerçekleştirilebilir.
5. Farklı mini kanallı ısı alıcı tasarımları için çalışmalar gerçekleştirilebilir.

KAYNAKÇA

Al-Hasani, H.M., and Freegah, B. (2022). Influence of secondary flow angle and pin fin on hydro-thermal evaluation of double outlet serpentine mini-channel heat sink. Results in Engineering, 16.

Azadi, M., Hosseinirad, E., Hormozi, F., and Rashidi, S. (2020). Second law analysis for nanofluid flow in mini-channel heat sink with finned surface:a study on fin geometries. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 140(4), 1883-1895.

Bessanane, N., Si-Ameur, M., and Rebay, M. (2022). Numerical study of the temperature effects on heat transfer coefficient in mini-channel pin-fin heat sink. International Journal of Heat and Technology, 40(1), 247-257.

Bi, C., Tang, G.H., and Tao, W.G. (2013). Heat transfer enhancement in mini-channel heat sinks with dimples and cylindrical grooves. Applied Thermal Engineering, 55(1-2), 121-132.

Bowers, M.B., and Mudawar, I. (1994). High-flux boiling in low-flow rate, low-pressure drop mini-channel and microchannel heat sinks. International Journal of Heat and Mass Transfer, 37(2), 321-332.

Cao, X., Liu, H.L., Shao, X.D., Shen, H., and Xie, G.N. (2020). Thermal performance of double serpentine minichannel heat sinks: Effects of inlet-outlet arrangements and through-holes. International Journal of Heat and Mass Transfer, 153.

Cao, X., Liu, H.L., Shao, X.D., and Shi, H.B. (2022). Experimental and numerical investigation on the heat transfer enhancement for mini-channel heat sinks with tessellated fins. Applied Thermal Engineering, 211.

Chen, Z., Feng, Z.F., Zhang, Q.Y., Zhang, J.X., and Guo, F.W. (2022). Effects of regular triangular prisms on thermal and hydraulic characteristics in a minichannel heat sink. International Journal of Heat and Mass Transfer, 188.

Di Maio, E., Mastrullo, R., Mauro, A.W., and Toto, D. (2014). Thermal management of a multiple mini-channel heat sink by the integration of a thermal responsive shape memory material. Applied Thermal Engineering, 62(1), 113-122.

Gao, Y.Z., Wang, C.L., Wu, D.X., Dai, Z.F., Chen, B., and Zhang, X.S. (2022). A numerical evaluation of the bifacial concentrated PV-STEG system cooled by mini-channel heat sink. Renewable Energy, 192, 716-730.

Ghadhban, F.N., and Jaffal, H.M. (2023). Numerical investigation on heat transfer and fluid flow in a multi-minichannel heat sink: Effect of channel configurations. Results in Engineering, 17.

Ghobadi, M., and Muzychka, Y.S. (2015). Heat transfer and pressure drop in mini channel heat sinks. Heat Transfer Engineering, 36(10), 902-911.

Gorzin, M., Ranjbar, A.A., and Hosseini, M.J. (2022). Experimental study on serpentine minichannel heat sink: Effect of rib existence and distance. International Journal of Thermal Sciences, 173.

Hetsroni, G., Gurevich, M., and Rozenblit, R. (2006). Sintered porous medium heat sink for cooling of high-power mini-devices. International Journal of Heat and Fluid Flow, 27(2), 259-266.

Imran, A.A., Mahmoud, N.S., and Jaffal, H.M. (2018). Numerical and experimental investigation of heat transfer in liquid cooling serpentine mini-channel heat sink with different new configuration models. Thermal Science and Engineering Progress, 6, 128-139.

Khdair, A.I. (2023). Numerical simulation of heat transfer of two-phase flow in mini-channel heat sink and investigation the effect of pin-fin shape on flow maldistribution. Engineering Analysis with Boundary Elements, 150, 385-393.

Khodabandeh, R. (2005). Pressure drop in riser and evaporator in an advanced two-phase thermosyphon loop. International Journal of Refrigeration-Revue Internationale du Froid, 28(5), 725-734.

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

Kim, Y., Kim, M., Ahn, C., Kim, Hu, Kang, Sw, and Kim, T. (2017). Numerical study on heat transfer and pressure drop in laminar-flow multistage mini-channel heat sink. International Journal of Heat and Mass Transfer, 108, 1197-1206.

Kumar, S., and Singh, P.K. (2019). A novel approach to manage temperature non-uniformity in minichannel heat sink by using intentional flow maldistribution. Applied Thermal Engineering, 163.

Kumar, S., and Singh, P.K. (2019). Effects of flow inlet angle on flow maldistribution and thermal performance of water cooled mini-channel heat sink. International Journal of Thermal Sciences, 138, 504-511.

Lad, A.A., Tayade, A., Hoque, M.J., Zhao, Y., Balda, J.C., King, W.P., and Miljkovic, N. (2023). Conventional and topologically optimized polymer manifolds for direct cooling of power electronics. International Journal of Heat and Mass Transfer, 201.

Li, R.R., Zhang, Y.H., and Wang, Y.F. (2015). Convective heat-transfer characteristics of a channel with one surface having mini-grooves in the flow direction and a plain surface located at a mini-distance. IEEE Transactions on Components Packaging and Manufacturing Technology, 5(1), 65-74.

Lim, K., and Lee, J. (2019). 1-D two-phase flow analysis for interlocking double layer counter flow mini-channel heat sink. International Journal of Heat and Mass Transfer, 135, 305-317.

Ling, B., Feng, Z.F., Lin, Q.Y., Wang, Z., Guo, F.W., and Zhang, J.X. (2023). Comparative study on hydrothermal characteristics in straight, divergent and convergent minichannels having ribs with various heights along-channel. International Journal of Thermal Sciences, 187.

Liu, H.L., Yao, Y., Xie, G.N., and Xie, Z.L. (2021). Improved thermal performance of new staggered double P-type minichannel heat exchangers. Applied Thermal Engineering, 196.

Liu, X.Q., and Yu, J.L. (2016). Numerical study on performances of mini-channel heat sinks with non-uniform inlets. Applied Thermal Engineering, 93, 856-864.

Ma, L., Zhao, X.X., Sun, H.Y., Wu, Q.X., and Liu, W. (2016). Experimental study of single phase flow in a closed-loop cooling system with integrated mini-channel heat sink. Entropy, 18(6).

Mahmood, H., and Freegah, B. (2022). Investigating the effect of counter flow formation, ribs and dimples on the hydrothermal performance of the serpentine mini-channel heat sink (SMCHS). International Communications in Heat and Mass Transfer, 139.

Mahmoud, N.S., Jaffal, H.M., and Imran, A.A. (2021). Performance evaluation of serpentine and multi-channel heat sinks based on energy and exergy analyses. Applied Thermal Engineering, 186.

Mitra, I., and Ghosh, I. (2020). Mini-channel heat sink parameter sensitivity based on precise heat flux redistribution. Thermal Science and Engineering Progress, 20.

Morse, J., Paniagua-Guerra, L.E., and Ramos-Alvarado, B. (2022). Technical and commercial viability assessment of liquid-cooled heat sinks for a circuit board with discrete heat loads. Applied Thermal Engineering, 210.

Murshed S. M., and Nieto de Castro C. A. (2017). A critical review of traditional and emerging techniques and fluids for electronics cooling. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 78, 821-833.

Naphon, P., and Wongwises, S. (2010). Investigation on the jet liquid impingement heat transfer for the central processing unit of personal computers. International Communications in Heat and Mass Transfer, 37(7), 822-826.

Narendran, G., and Gnanasekaran, N. (2022). Investigation on novel inertial minichannel to mitigate maldistribution induced high temperature zones. Energy Conversion and Management, 271.

Pang, L.P., Wang, M.X., Wang, W., Liu, M., and Wang, J. (2013). Optimal thermal design of a stacked mini-channel heat sink cooled by a low flow rate coolant. Entropy, 15(11), 4716-4731.

Parida, P.R., Ekkad, S.V., and Ngo, K. (2013). Multi-layer mini-channel and ribbed mini-channel based high performance cooling configurations for automotive inverters-part A: Design and evaluation. Journal of Thermal Science and Engineering Applications, 5(3).

Saeed, M., and Kim, M.H. (2017). Header design approaches for mini-channel heatsinks using analytical and numerical methods. Applied Thermal Engineering, 110, 1500-1510.

Sarper, B. (2018). Hava ile elektronik soğutmada optimum geometri ve işletme parametrelerinin araştırılması. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Doktora tezi).

Song, J.Y., Hah, S., Kim, D., and Kim, S.M. (2019). Enhanced flow uniformity in parallel mini-channels with pin-finned inlet header. Applied Thermal Engineering, 152, 718-733.

Song, J.Y., Senguttuvan, S., Choi, W.W., and Kim, S.M. (2022). Effects of manifold design parameters on flow uniformity in parallel mini-channels. International Journal of Mechanical Sciences, 234.

Tang, B., Zhou, R., Bai, Pf, Fu, T, Lu, Ls, and Zhou, Gf. (2017). Heat transfer performance of a novel double-layer mini-channel heat sink. Heat and Mass Transfer, 53(3), 929-936.

Tikadar, A., Oudah, S.K., Paul, T.C., Salman, A.S., Morshed, A.k.M.M., and Khan, J.A. (2019). Parametric study on thermal and hydraulic characteristics of inter-connected parallel and counter flow mini-channel heat sink. Applied Thermal Engineering, 153, 15-28.

Torbatinezhad, A., Rahimi, M., Ranjbar, A.A., and Gorzin, M. (2021). Performance evaluation of PV cells in HCPV/T system by a jet impingement/mini-channel cooling scheme. International Journal of Heat and Mass Transfer, 178.

Walsh, E., and Grimes, R. (2007). Low profile fan and heat sink thermal management solution for portable applications. International Journal of Thermal Sciences, 46(11), 1182-1190.

Wang, H.l., Wu, H.C., Wang, S.K., Hung, T.C., and Yang, R.J. (2013). A study of mini-channel thermal module design for achieving high stability and high capability in electronic cooling. Applied Thermal Engineering, 51(1-2), 1144-1153..

Xie, X.l, Tao, W.G., and He, Y.L. (2007). Numerical study of turbulent heat transfer and pressure drop characteristics in a water-cooled minichannel heat sink. Journal of Electronic Packaging, 129(3), 247-255.

Xie, X.L., Liu, Z.I., He, Y.L., and Tao, W.G. (2009). Numerical study of laminar heat transfer and pressure drop characteristics in a water-cooled minichannel heat sink. Applied Thermal Engineering, 29(1), 64-74.

Xu, S.L., Yang, L.L., Li, Y., Wu, Y.H., and Hu, X.L. (2016). Experimental and numerical investigation of heat transfer for two-layered microchannel heat sink with non-uniform heat flux conditions. Heat and Mass Transfer, 52(9), 1755-1763.

Zhang, Q.Y., Feng, Z.F., Li, Z.Z., Chen, Z., Huang, S.Z., Zhang, J.X., and Guo, F.W. (2022). Numerical investigation on hydraulic and thermal performances of a mini-channel heat sink with twisted ribs. International Journal of Thermal Sciences, 179.

Zhang, Q.Y., Feng, Z.F., Zhang, J.X., Guo, F.W., Huang, S.Z., and Li, Z.Z. (2022). Design of a mini-channel heat sink for high-heat-flux electronic devices. Applied Thermal Engineering, 216.

Zhang, Q.Y., Li, Z.Z., Feng, Z.Z., Chen, Z., Zhang, J.X., and Guo, F.W. (2023). Effects of combination modes of different cavities and ribs on performance in mini-channels-a comprehensive study. International Communications in Heat and Mass Transfer, 142.

Zheng, S.Y., Feng, Z.F., Lin, Q.Y., Hu, Z.J., Lan, Y.Q., Guo, F.W., Huang, K., and Yu, F. (2022). Numerical investigation on thermal-hydraulic characteristics in a mini-channel with trapezoidal cross-section longitudinal vortex generators. Applied Thermal Engineering, 205.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : DÖNDÜ TÜRK

Doğum Tarihi :

E-mail :

Öğrenim Durumu :

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lisans	Otomotiv Mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2019

Görevler :

Görev Ünvanı	Görev Yeri	Yıl
Kıdemli Termal Analiz Mühendisi	Farba Otomotiv A.Ş	2019-2023
Kıdemli CFD Mühendisi	Turkish Cabin Interior A.Ş-THY	2023-

MAKALELER

1.Sarper,B.,Türk,D.N.,Dağıdır,K.,Aydın,O.(2023).Effects of complete and partial cylindrical fin configurations on thermohydraulic performance of a minichannel heatsink,Kahmaranmaras Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences