

# YAPAY ALÜMİNYUM KÖPÜK ISI ALICISININ ÇARPAN JETLE ISI TRANSFERİ VE AKIŞ KARAKTERİSTİKLERİNİN SAYISAL ANALİZİ

*Numerical Analysis of Heat Transfer and Flow Characteristics of Artificial Aluminum Foam Heat Sink with Impinging Jet*

**Beytullah İsmet Toprak**  
**İsmail Solmaz**  
**Yiğit Serkan Şahin**

## ÖZET

Bu çalışmada, kartezyen koordinatlarda her ekseninde ve sıralı düzende 27 adet 2.5 mm çapında delikler içeren 5 PPI (İnç başına düşen gözenek sayısı) değerine sahip bir yapay alüminyum köpük ısı alıcısı tasarlanmıştır. Tasarlanan yapay alüminyum köpük ısı alıcısının çarpan jet ile hava soğutmalı dikdörtgen kanalda akış ve ısıl karakteristikleri COMSOL Multiphysics yazılımı ile sayısal olarak analiz edilmiştir. Analizler farklı ısı alıcısı yüksekliklerinde ( $H=15, 20$  ve  $25$  mm) ve  $Re=1000-10000$  sayı aralığında gerçekleştirilmiş olup bu parametrelerin ortalama ve yerel Nusselt sayısı ile basınç düşümü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Reynolds sayısındaki artışın ortalama ve yerel Nusselt sayısı ile basınç düşümü üzerinde artırıcı bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca ısı alıcısı yüksekliğinin artmasıyla basınç düşümünün azaltığı ortalama Nusselt sayısının ise arttığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Isı kuyusu, Çarpan jet, Gözenekli ortam, Alüminyum köpük, Termal ve akış performansı

## ABSTRACT

In this study, an artificial aluminum foam heat sink with a value of 5 PPI (pores per inch) containing 27 holes of 2.5 mm diameter in each axis and in inline order in cartesian coordinates was designed. The flow and thermal characteristics of the designed artificial aluminum foam heat sink in the air-cooled rectangular duct with impinging jet were numerically analyzed with COMSOL Multiphysics software. Analyzes were carried out at different heat sink heights ( $H = 15, 20$  and  $25$  mm) and  $Re = 1000-10000$  number range, and the effects of these parameters on average and local Nusselt number and pressure drop were investigated. It has been found out that the increase in Reynolds number has an increasing effect on the average and local Nusselt number and pressure drop. In addition, it was observed that the pressure drop decreased with increasing heat sink height and the average Nusselt number increased.

**Keywords:** Heat sink, Impinging jet, Porous media, Aluminum foam, Thermal and flow performance

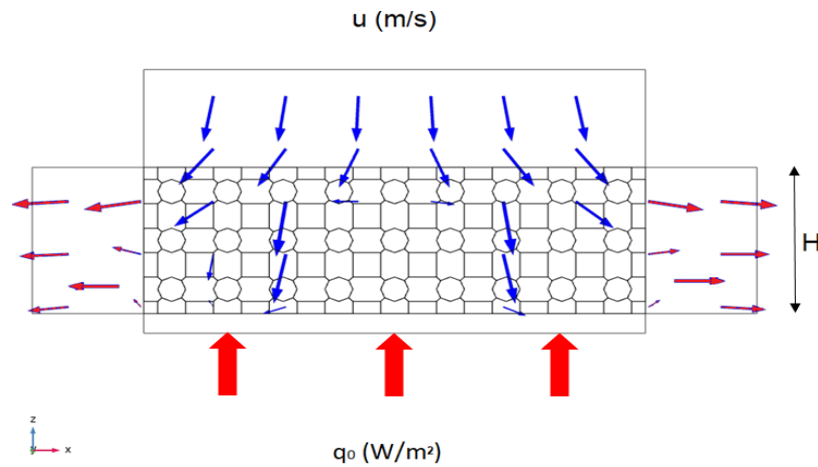
## 1. GİRİŞ

Günümüzde elektronik aygıtlarının birim alanda ve birim zamanda ürettikleri ısı miktarlarının giderek artması yeni ve yenilikçi ısıl yönetim sistemlerinin diğer bir ifadeyle ısı alıcılarının geliştirilmesini bir zorunluluk haline getirmiştir. Bu elektronik aygıtlar ile birlikte kullanılan ısı alıcılarının ısı uzaklaştırma kapasitelerinin yetersiz kalması durumunda çalışması esnasında ısı üretimine bağlı olarak bu

aygıtların aşırı ısınması, performanslarının düşmesi veya hasarlanmaları söz konusu olabilmektedir. Bu nedenle bu aygıtların etkin bir şekilde soğutulması üreticiler tarafından büyük önem arz etmektedir. Şimdiye kadar çok sayıda araştırmacı tarafından günümüz elektronik aygıtlarının ısı yönetimine yönelik yeni ürünler ve yöntemler önerilmiştir. Açık hücreli gözenekli alüminyum ısı alıcıları, geleneksel iğne kanatçıklı tiplere nazaran daha yüksek temas yüzey alanı/hacim oranına, güçlü akış karıştırma kabiliyetine ve dolayısıyla yüksek toplam ısı geçiş katsayısına sahip olmaları sebebiyle son yıllarda elektronik aygıtlar üzerinden taşınım ile ısı transferini iyileştirmek maksadıyla literatürde yoğun bir şekilde teorik ve deneysel çalışmalara konu olmuşlardır. Jeng ve Tzeng [1] 10 PPI değerine sahip alüminyum köpükler üzerinde taşınım ile ısı transferi ve basınç düşümünü deneysel olarak incelemişlerdir. Çarpan jet ile hava akışı uygulanan deneysel çalışmada Reynolds sayısının artmasıyla ortalama Nusselt sayısının ve basınç düşümünün arttığını gözlemlemişlerdir. Jeng vd. [2] hava üflemleri dairesel bir çarpan jet kullanarak izledikleri deneysel çalışmada Reynolds büyüklüğü, nozul çapına göre nozul-ısı alıcısı arası mesafe ( $C/d$ ) ve nozul çapına göre ısı alıcısı uzunluğu ( $L/d$ ) gibi parametrelerin ısı transferi üzerine etkisini incelemişlerdir. Yapılan incelemeler diğer parametreler sabit tutularak  $C/d$  ve  $L/d$  oranlarının artırılmasıyla ortalama Nusselt değerinin arttığını göstermiştir. Wang vd. [3] çarpan dikdörtgen hava jeti kullanarak plaka kanatçıklar ile bileşik bakır köpük ısı alıcısı üzerinde ısı transferi ve akış karakteristiğini  $Re=2053-12737$  aralığında deneysel olarak incelemişlerdir. Elde edilen bulgular plaka kanatçıklı ısı alıcılarına metal köpük giydirmenin ısı transferini pozitif yönde etkilediğini göstermiştir. Ancak bununla birlikte, yapılan işlem basınç düşümünün artmasına yol açmıştır. Feng vd. [4] 8 PPI alüminyum köpük ile bileşik plaka kanatlı ısı alıcısını kombine ederek hava soğutmalı çarpan jet ile  $Re=3000-12000$  aralığında bir deneysel ve sayısal çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmada farklı ısı alıcısı yüksekliklerindeki numuneleri çeşitli Reynolds değerlerinde incelemişlerdir. Karşılaştırılan bulgular ışığında kombine edilmiş ısı alıcısı yükselişindeki artış ile ısı transferinin önce arttığını daha sonra monoton bir şekilde azaldığını ortaya koymuşlardır. Jeng ve Tzeng [5]  $Re=100-40000$  gibi geniş bir aralıkta 10 PPI alüminyum köpük ısı alıcısının termal ve hidrolik performansını sayısal olarak incelemişlerdir. Elde edilen bulguları aynı akış değerine sahip plaka tip kanatçıklı ısı alıcıları ile karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma sonucunda metal köpüklerin ısı direncinin %30 daha düşük olduğunu ortaya koymuşlardır.

## 2. PROBLEM TANIMI

Bu çalışmada incelenen problemin iki boyutlu gösterimi Şekil 1'de verilmiştir. Kanal içerisine, kartezyen koordinatlarda her ekseninde ve sıralı düzende 2.5 mm aralıklarla her biri 2.5 mm çapında delikler içeren yapay alüminyum köpük ısı alıcısı yerleştirilmiş olup üst yüzeyden çarpan jet ile hava üflenirken alt duvar sabit ısı akısına maruz bırakılmaktadır.

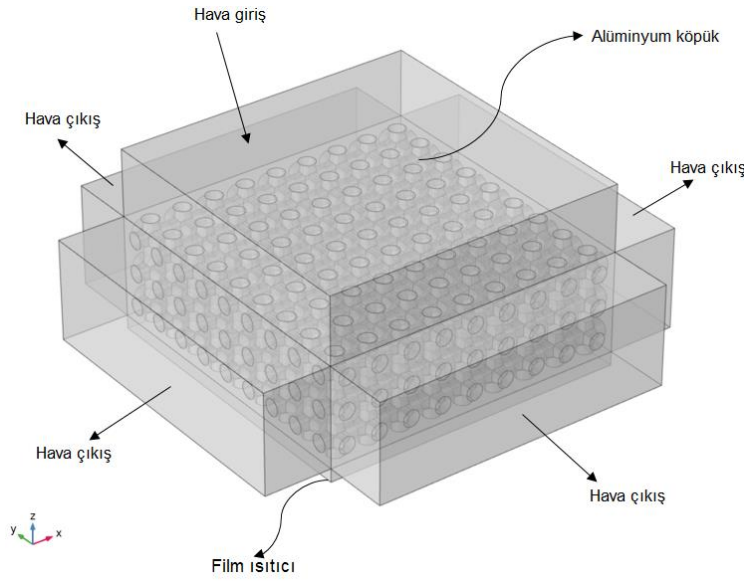


Şekil 1. Çalışmaya konu ısı alıcısının iki boyutlu şematik gösterimi.

Kanala düzgün dağılılı belirli bir hızda ve sıcaklıkta giren hava ısı alıcısı içerisindeki boşluklardan akarak kanalı terk etmektedir. Yapılan analizler 45x45 mm<sup>2</sup> kanal genişliği, üç ayrı ısı alıcısı yüksekliği (15, 20 ve 25 mm) ve on ayrı hava giriş hızında (0.34 - 3.4 m/s) gerçekleştirilmiştir.

### 3. SAYISAL MODELLEME

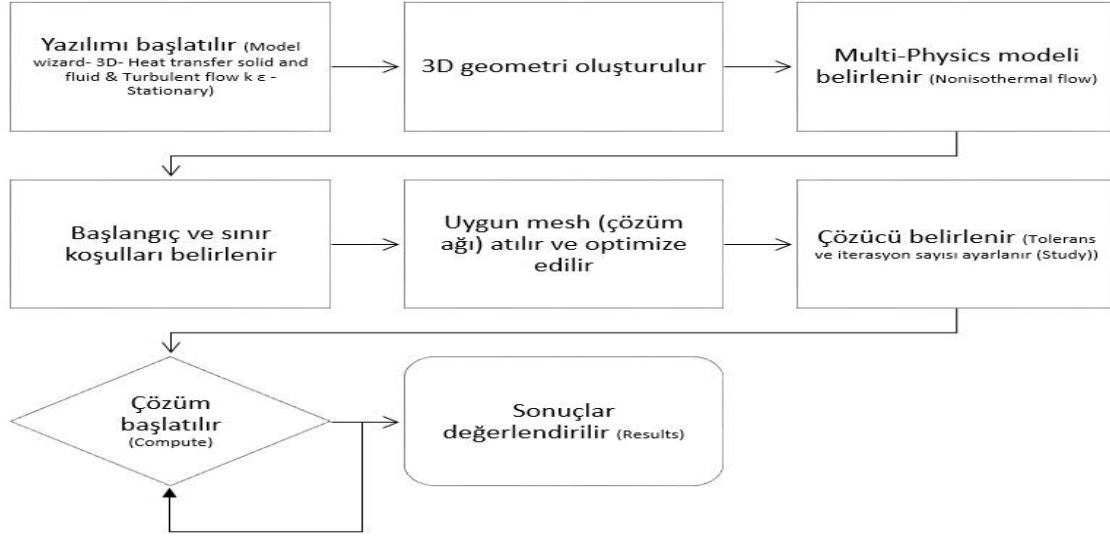
Yapay alüminyum köpük ısı alıcısı COMSOL Multiphysics ortamında Şekil 2'de gösterildiği gibi sürekli rejimde üç boyutlu olarak modellenmiş, termal ve akış karakteristikleri farklı alıcı yüksekliklerinde ve  $Re$  değerlerinde incelenmiştir. Isı transferi ve akışı arasındaki bağlantı, Birleşik Isı Transferi-Laminer Akış Çoklu Fizik Arayüzü (Conjugate Heat Transfer-Turbulent Flow Multiphysics Interface) kullanılarak kurulmuştur.



Şekil 2. Comsol Multiphysics ortamında oluşturulan üç boyutlu model.

Tablo 1. Comsol Multiphysics ortamında oluşturulan üç boyutlu model üzerinde tanımlanan parametrelere girilen değer.

Parametreler	Değer
Isı alıcısı yüksekliği ( $H$ )	15,20,25 mm
Isı alıcısı genişliği ( $W$ )	45 mm
Isı alıcısı uzunluğu ( $L$ )	45 mm
Isı akısı ( $q_0$ )	4000 W/m <sup>2</sup>
Hava giriş hızı ( $U_i$ )	0.34-3.4 m/s
Hava giriş sıcaklığı ( $T_i$ )	20 °C
Isı alıcısı gözenek çapı ( $D$ )	2.5 mm
Her bir gözenek arası mesafe ( $S$ )	2.5 mm



**Şekil 3.** Simülasyon programının oluşturulmasında izlenen adımlar.

Şekil 3 de verilen akış diyagramı takip edilmek suretiyle simülasyon programı oluşturulurken başvuru temel varsayımlar ve sadeleştirmeler aşağıda verilmiştir.

- Kullanılan k-ε türbülans modelinde Reynolds ortalamalı Navier-Stokes (RANS) yaklaşımı tercih edilmiştir.
- Akışkan tipi Newtonyen olup termo-fiziksel özellikleri sabit kabul edilmiştir.
- Akış kararlı ve sıkıştırılmazdır.
- Duvar sınır tabakada kaymama koşulu (no slip) uygulanmıştır.
- Isı transferi viskoz ısınma etkilerini içermektedir.

Simülasyon programında kullanılan korunum denklemleri aşağıda sunulmuştur.

### k-ε Türbülans Modeli

Simülasyonda kullanılan k-ε akış modeli, endüstriyel uygulamalarda sıklıkla kullanılan türbülanslı akış modellerinden biridir. Sıkıştırılmaz hava akışının türbülanslı durumda süreklilik, momentum ve enerjinin korunumu denklemleri Kartezyen koordinat sisteminde aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\rho \nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (1)$$

$$\rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \rho (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = \nabla \cdot [-p\mathbf{I} + \mu(\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^T)] \quad (2)$$

$$\rho C_p \mathbf{u} \cdot \nabla T = \nabla \cdot (k \nabla T) \quad (3)$$

Ayrıca model, iki ek transport denklemi ve iki bağımlı değişken sunar. Bunlar türbülanslı kinetik enerji, k ve türbülanslı yayılım hızı, ε'dur. Türbülanslı viskozite (Eddy viskozitesi) şu şekilde modellenmiştir;

$$\mu_T = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4)$$

Burada  $C_\mu$  bir model sabitidir. K için kinetik enerji denklemi şu şekildedir;

$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} + \rho \mathbf{u} \cdot \nabla k = \nabla \cdot \left[ \left( \mu + \frac{\mu_T}{\sigma_k} \right) \nabla k \right] + P_k - \rho \varepsilon \quad (5)$$

ve  $\varepsilon$  için türbülans kinetik enerjisi kayıp oranı ise şu şekilde yazılabilir;

$$\rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \rho \mathbf{u} \cdot \nabla \varepsilon = \nabla \cdot \left[ \left( \mu + \frac{\mu_T}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right] + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} P_k - C_{\varepsilon 2} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (6)$$

Burada  $P_k$  ortalama hız gradyanları ve kaldırma kuvvetleri nedeniyle oluşan türbülans kinetik enerji üretimidir [6].

**Tablo 2.** k- $\varepsilon$  model sabitleri

Model sabiti	$C_\mu$	$C_{\varepsilon 1}$	$C_{\varepsilon 2}$	$\sigma_k$	$\sigma_\varepsilon$
	0.09	1.44	1.92	1.0	1.3

Yerel ısı transferi taşınım katsayısı h;

$$h = \frac{Q}{A_s(T(x, y) - T_i)} \quad (7)$$

formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Buna bağlı olarak yerel Nusselt ( $Nu_{yerel}$ ) sayısı ve hidrolik çapa bağlı Reynolds ( $Re$ ) sayıları;

$$Nu = \frac{hD_h}{k} \quad (8)$$

$$Re = \frac{\rho U_i D_h}{\mu} \quad (9)$$

formülleri ile hesaplanmıştır [7]. Burada  $D_h=2ab/(a+b)$  dir. Ortalama ısı taşınım katsayısı ve dolayısıyla ortalama Nusselt ( $Nu_{ort}$ ) değeri hesaplanırken denklem 7'de  $T(x, y)$  yerine  $T_{ort}$  sıcaklık değeri kullanılmıştır.

### Çözüm Ağı (Mesh) Bağımsızlaştırma

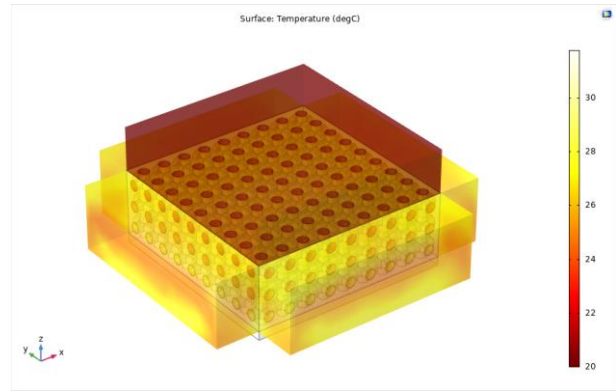
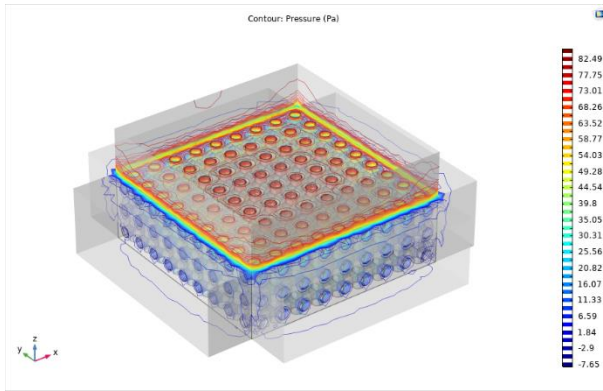
Sayısal analiz çalışmaları neticesinde elde edilen sonuçların güvenilirliği simülasyon programının oluşturulması sırasında seçilen ağ yapısı ile doğrudan ilişkilidir. Bu çalışmada problem alanını ağlamak için COMSOL Multiphysics yazılımının fizik kontrolü ağ oluşturma (mesh) opsiyonu kullanılmıştır. Kaba (coarse), normal ve ince (fine) çözüm ağı yoğunluklarında yapılan denemelerde sırasıyla ulaşılan 5086548, 29041544 ve 88402489 domain element sayısında  $H=20$  mm yüksekliğindeki ısı kuyusu için Reynolds sayısının en büyük (10000) değerinde analizler yapılmış ve ağ bağımsızlık testi sonuçları Tablo 3' te paylaşılmıştır. Buna göre ortalama Nusselt ve basınç farkı değerlerinde %5 'ten daha az yaklaşık hata değerleri elde edilmiştir. Bu nedenle, mevcut çalışmada hesaplama süresinden ve merkezi işlem birimi (CPU) tüketiminden tasarruf etmek için normal yoğunlukta çözüm ağı kullanılmıştır [8].

**Tablo 3.** Ağ bağımsızlaştırma test sonuçları

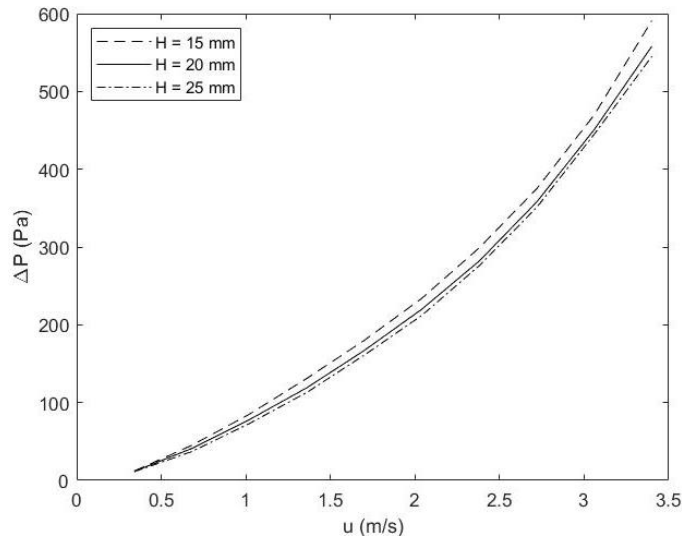
Re=10000				
D.E. sayısı	Nu <sub>ort</sub>	Ey (%)	ΔP	Ey (%)
5086548	126.7422	-	544.16	-
29041544	127.9958	0.979	558.81	2.621
88402489	128.1059	0.085	563.72	0.87

#### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

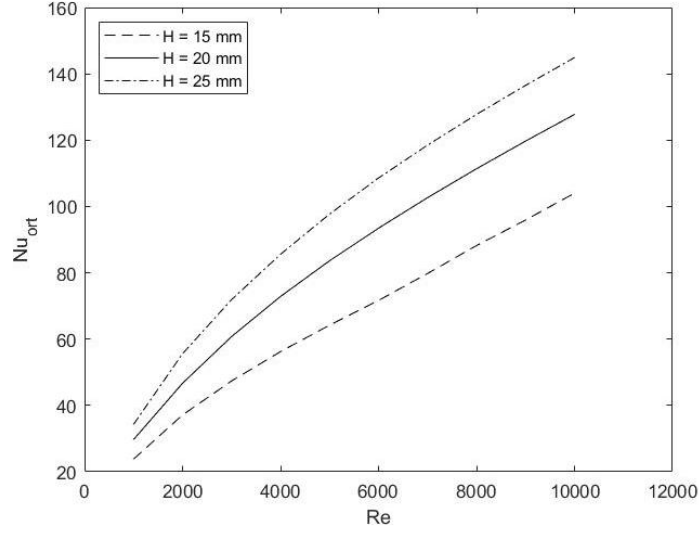
Bu bölümde, önerilen ısı alıcısının akış karakteristiği ve termal performansı farklı alıcı yükseklikleri için Re=1000-10000 aralığında COMSOL Multiphysics ortamında geliştirilen simülasyon programı ile incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

**Şekil 4.** Sayısal analizi gerçekleştirilen ısı alıcısının basınç kontur profili (Re=4000 için)**Şekil 5.** Sayısal analizi gerçekleştirilen ısı alıcısının sıcaklık yüzey profili (Re=4000 için)

Şekil 4 ve 5'de Re=4000 değerinde model analizi gerçekleştirilen 15 mm yüksekliğindeki ısı alıcısının basınç kontur ve sıcaklık yüzey profilleri gösterilmektedir.

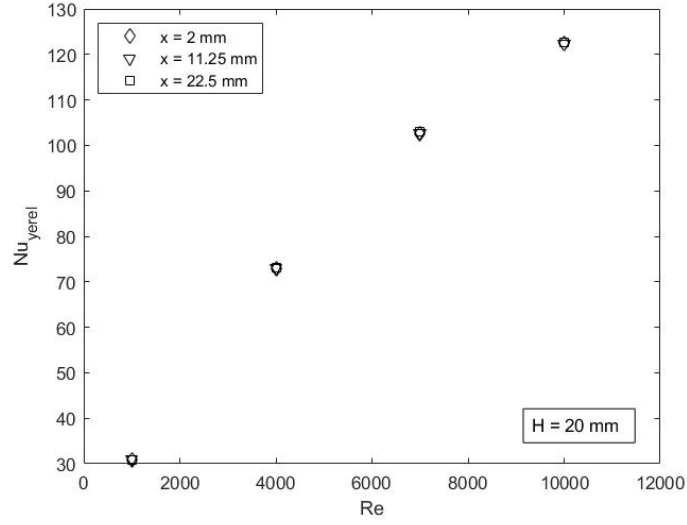
**Şekil 6.** H=15, 20 ve 25 mm alüminyum köpük ısı alıcıları için basınç düşümünün akışkan giriş hızı ile değişimi.

İncelenen ısı alıcılarının akışa karşı göstermiş oldukları direnç akış yönünde basınç düşümüne sebebiyet verir. Şekil 6'da farklı yüksekliklerdeki ısı alıcıları için akışkan giriş hızına göre basınç düşümündeki değişim gösterilmektedir. Şekilde gösterildiği gibi basınç düşümü, akış hızının artmasıyla her üç durum için de doğrusal olmayan bir şekilde artmaktadır. Bunun sebebi tam gelişmiş boru akışlarında ortalama akış hızının artmasıyla basınç kayıplarının artmasından kaynaklanmaktadır. Bunun yanında incelenen tüm ısı alıcıları için basınç düşümü aynı hız değerlerinde (veya aynı hacimsel debi oranında) yüksekliğin azalmasıyla artar. Yüksekliğin azalması ısı alıcılarında daha büyük bir akış hızına yol açmaktadır. Basınç düşümünün, akış hızının karesiyle orantılı olmasından dolayı bu değişim gerçekleşmektedir [3].



**Şekil 7.** H=15, 20 ve 25 mm alüminyum köpük ısı alıcıları için Re sayısı ile Nu<sub>ort</sub> değişimi

Şekil 7'de üç farklı kuyu yüksekliği için Nu<sub>ort</sub> sayısının Re ile değişimi verilmiştir. Bu grafikten Nu<sub>ort</sub> sayısının Re ile artış gösterdiğini söylemek mümkündür. Artan Re değeri ile birlikte akışın hızlanması ve akışın daha fazla karışması ısı taşınım katsayısı üzerinde artırıcı bir etki göstermekte ve dolayısıyla ısı transfer hızında bir yükselişe sebebiyet vermektedir. Bu durum da Nu<sub>ort</sub> değerinin artmasına neden olmaktadır. Bununla beraber 25 mm yüksekliğindeki ısı alıcısının diğerlerine kıyasla aynı Re değeri için Nu<sub>ort</sub> sayısının daha büyük olduğu ve dolayısıyla ısı performans olarak daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Bunun nedeni, yüksekliği artan ısı alıcısının spesifik yüzey alanının ( $\sigma_o$ ) genişlemesiyle etkin ısı transferinin de önemli ölçüde artmasıdır [9-10].



**Şekil 8.** 20 mm yüksekliğindeki ısı alıcısının akış doğrultusunda farklı noktalarındaki çeşitli Re değerlerinde Nu<sub>yerel</sub> dağılımı

20 mm yüksekliğindeki ısı alıcısı için Nu<sub>yerel</sub> sayısının Re ile değişimi Şekil 8'de verilmiştir. Isı alıcısı tabanında merkezden akış doğrultusunda x ekseninde uzaklaştıkça Nu<sub>yerel</sub> sayısındaki değişim farkedilebilir düzeyde gerçekleşmemektedir. Akış hızı ve dolayısıyla akış debisi, dikey kanalın her noktasında yaklaşık olarak aynı seviyede seyretmektedir. Bu sebeple ısısal dağılımın homojen olarak gerçekleştiği söylenebilmektedir. Ancak bununla birlikte şekilde görüldüğü üzere akış doğrultusundaki her bir nokta için artan Re sayısı ile akışın hızlanması ve fazla karışmasından dolayı Nu<sub>yerel</sub> sayısının artış gösterdiği bulunmuştur.

## SONUÇ

Bu çalışmada, tasarlanan üç farklı yükseklikteki yapay alüminyum köpük ısı alıcısı hava soğutmalı dikdörtgen kanal içerisinde çarpan jet ile modellenmiştir. Isı alıcısının ısısal performans ve akış karakteristikleri, Re sayısının farklı değerleri için sayısal olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, Re sayısındaki artışın Nu<sub>ort</sub> ve Nu<sub>yerel</sub> sayısı ve basınç düşümü üzerinde bir artışa yol açtığını göstermektedir. Ayrıca ısı alıcısı yüksekliğinin artmasıyla basınç düşümünün azaldığı Nu<sub>ort</sub> sayısının ise arttığı görülmüştür. Isı alıcısı tabanında Nu<sub>yerel</sub> sayısının akış doğrultusundaki değişimi ihmal edilebilir düzeydedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı 119M448 nolu proje kapsamında mali açıdan destek veren Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) yazarlar olarak teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- [1] T. M. Jeng and S. C. Tzeng, "Experimental study of forced convection in metallic porous block subject to a confined slot jet," *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 46, no. 12, pp. 1242–1250, 2007.



- [2] T. M. Jeng, S. C. Tzeng, and T. C. Liu, "Heat transfer behavior in a rotating aluminum foam heat sink with a circular impinging jet," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 51, no. 5–6, pp. 1205–1215, 2008.
- [3] J. Wang, H. Kong, Y. Xu, and J. Wu, "Experimental investigation of heat transfer and flow characteristics in finned copper foam heat sinks subjected to jet impingement cooling," *Appl. Energy*, vol. 241, no. March, pp. 433–443, 2019.
- [4] S. S. Feng, J. J. Kuang, T. Wen, T. J. Lu, and K. Ichimiya, "An experimental and numerical study of finned metal foam heat sinks under impinging air jet cooling," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 77, pp. 1063–1074, 2014.
- [5] T. M. Jeng and S. C. Tzeng, "Numerical study of confined slot jet impinging on porous metallic foam heat sink," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 48, no. 23–24, pp. 4685–4694, 2005.
- [6] COMSOL Multiphysics CFD Module User's Guild
- [7] Yang, Y., & Peng, H. (2008). Numerical study of pin-fin heat sink with un-uniform fin height design. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51(19-20), 4788-4796.
- [8] İzci, T., Koz, M., & Koşar, A. (2015). The effect of micro pin-fin shape on thermal and hydraulic performance of micro pin-fin heat sinks. *Heat Transfer Engineering*, 36(17), 1447-1457.
- [9] Huisseune, H., De Schampheleire, S., Ameel, B., & De Paepe, M. (2015). Comparison of metal FOAM heat exchangers to a finned heat exchanger for low Reynolds number applications. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 89, 1-9.
- [10] K. Boomsma, D. Poulikakos, and F. Zwick, "Metal foams as compact high performance heat exchangers," *Mech. Mater.*, vol. 35, no. 12, pp. 1161–1176, 2003.

## ÖZGEÇMİŞ

### İsmail SOLMAZ

1980 Erzincan doğumludur. 2002 yılında Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden Lisans derecesi ile mezun olmuştur. 2006 yılında ODTÜ Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünden Yüksek Lisans, 2011 yılında yine aynı Üniversiteden Doktora derecesi almıştır. 2010-2011 yılları arasında bir yıl süreyle İngiltere’de Bath Üniversitesinde Doktora tez konusu ile ilgili çalışmalarda bulunmuştur. 2016 yılı Nisan ayından beri Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Enerji Anabilim Dalında Doç.Dr. olarak görev yapmaktadır. Adsorpsiyonlu soğutma, güneş enerjisi ve uygulamaları, gözenekli malzemede ısı ve kütle transferi konularında çalışmaktadır.

### Beytullah İsmet TOPRAK

1992 Ankara doğumludur. 2015 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden Lisans derecesi ile mezun olmuştur. 2020 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünden Yüksek Lisans derecesi almıştır. Aynı yıl Atatürk Üniversitesi Enerji Anabilim Dalında Doktora programına başlamıştır. 2017 yılı Nisan ayından beri Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Enerji Anabilim Dalında Arş. Gör. olarak görev yapmaktadır. Güneş enerjisi ve uygulamaları, gözenekli malzemede ısı transferi vb. konular üzerinde çalışmalar yürütmektedir.

### Yiğit Serkan ŞAHİN

2010 yılında Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden Lisans derecesi ile mezun olmuştur. 2013 yılında Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden Yüksek Lisans derecesi almıştır. 2022 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliğinde doktorasını tamamlamıştır. Gümüşhane Üniversitesi Makine Mühendisliği Enerji Anabilim Dalında araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. Gözenekli ortamlarda akış ve ısı transferi, elektronik sistemlerin soğutulması vb. konular üzerinde çalışmalar yürütmektedir.