

Kanatçık Geometrisinin Isı Geçişine Etkisinin Parametrik İncelenmesi

Halime Çelik*, Nezaket Parlak

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
SAKARYA, TÜRKİYE

halimeclik@gmail.com*, naydemir@sakarya.edu.tr

Özet- Günümüzde, soğutmaya ihtiyaç duyan elektronik cihazların minyatürleşmesi mikrokanallarda akış ve ısı karakteristiği üzerine yapılan çalışmaları artırmıştır. Bu çalışmada, dikdörtgen kesite sahip tek bir mikrokanal içerisine, farklı yerleşim düzenlerinde dikdörtgen kanatçıklar yerleştirilmiştir. Temel akışkan su seçilerek, mikrokanalda akış ve ısı geçişi özellikleri incelenmiştir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizi, Ansys Fluent 18.1 ticari yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, basınç düşümünün ve Nusselt sayısının, artan Re sayısı ve kanal içine yerleştirilen kanatçıklar ile arttığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikrokanal, Kanatçık, HAD Analizi, Parametrik Optimizasyon.

Abstract – Nowadays, technological developments on miniaturization of electronic devices that need cooling increased the studies of flow and heat characteristics in microchannels. In this study, a rectangular prism-shaped fins were placed in a single microchannel having rectangular cross-section. The basic fluid was selected as a water and the flow and heat transfer in the microchannel were analyzed numerically. Computational Fluid Dynamics (CFD) analysis was performed with commercial software, ANSYS Fluent 18.1. The results showed that the pressure drop and the Nusselt number increased with increasing Reynolds numbers and also fins.

Keywords –Microchannel, Fin, CFD Analysis, Parametric Optimization

I. GİRİŞ

Isı transferi pasif teknikler olarak bilinen sınır tabaka kalınlığının azaltılması, ısı geçişi yüzey alanının artırılması ve türbülans artırma metotları ile iyileştirilebilmektedir. Makro ölçekli bir kanal içerisindeki ısı geçişi artırmak için kanalın içerisine üçgen, kare ve daire kesitli engeller yerleştirilmektedir. Bu engeller yüzey alanını artırarak ısı akısının daha hızlı dağıtılmasını sağlarken hem de akış içerisinde girdap üretici olarak görev yapmaktadır. Bu engeller veya kanatçıklar kanaldaki sürüklenme katsayısını artırarak basınç düşümünde olumsuz etki yapmaktadır. Mikro ölçekli kanallarda tek fazlı akış ve ısı geçişi, sınır tabaka kalınlığının küçük olması sebebiyle elektronik ve benzeri cihazların soğutulması için ilgi görmektedir, fakat basınç düşümünün fazla olması verimli bir soğutma yöntemi olarak kullanılmasının önünde bir engel teşkil etmektedir. Bu sebeple mikro ölçekte yapılan çalışmalar belli bir çalışma basıncı aralığında optimum geometrinin bulunmasına yönelmiştir. Can [1] dikdörtgen kesitli geleneksel bir kanalda, akışa dik bir

konumda yerleştirilen farklı çaplardaki dairesel olmayan engellerin ısı transferi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışma üç boyutlu olarak gerçekleştirilmiş, analiz için Ansys CFX yazılımı kullanılmıştır. Kanal içindeki hava akışını, k-ε türbülans modeli kullanarak üç boyutlu modellemişlerdir. Kanal içerisinde altı farklı engel (dikey çubuk, yatay çubuk, kare, üçgen ve altıgen) için ortalama Nusselt sayıları araştırılmış, Nusselt sayısındaki en büyük artış, kanalın içine dikey çubuk yerleştirildiği zaman gerçekleştiğini rapor etmiştir. Ugurlubilek [2] iki yarı dairesel engeli olan makro ölçekli bir kanaldaki taşınım ısı transferi ve akışını üniform duvar sıcaklığı sınır koşulları altında sayısal olarak incelemiştir. Isı geçişinde en büyük artışın engelli kanalda Re=10000 sayısında %33 civarında olduğunu rapor etmiştir. Ebrahimi vd. [3] girdap üreticisine sahip dikdörtgen mikrokanallarda tek fazlı laminar akış ve ısı geçişini sayısal olarak incelenmiştir. Yine Chen vd. [4] dikdörtgen mikrokanallarda akış ve ısı geçişini incelemek için akışkan olarak su kullanarak, 350 ila 1500 aralığında değişen Reynolds

sayılarında deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Basınç kayıplarının kanatçıklı kanallarda sırasıyla % 40 oranında, ısı transfer performansının % 12.3 oranında arttığı göstermişlerdir. Abdollahi ve Shams [5] kanat tipi girdap üretici şekli ve açısının, akışkanın akış ve ısı geçişi özelliklerine olan etkisi sayısal olarak araştırmışlardır. Kütle, momentum ve enerji denklemleri, kararlı, laminar ve sıkıştırılmaz akışkan akışını dikkate alarak sonlu hacim yöntemi kullanılarak çözümlenmiştir. Ortalama Nusselt sayısı ve basınç düşümü, girdap üreticilerin değişik şekil ve açılardaki durumunu incelemişlerdir. Yine literatüre bakıldığında benzer çalışmaların Ma ve ark. [6] ve Liu ve ark. [7] tarafından yapıldığı görülmüş, fakat optimum basınç düşümü ve ısı geçişini sağlayacak geometrik çalışmaların yetersiz olduğu göze çarpmıştır. Bu sebeple mikro ölçekte geometrik bir optimizasyon çalışması yapılarak, tek fazlı akış ve ısı geçişi karakteristiğinin ortaya konulması büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada içerisine 6 tane kanatçık yerleştirilmiş dikdörtgen kesitli bir mikrokanalda tek fazlı laminar su akışı ve ısı geçişi sayısal olarak incelenmiştir. Kanal içerisine yerleştirilen kanatçıkların, boyu, genişliği ve yatayla yaptığı açı parametre olarak belirlenmiş, optimum değerler, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımı Ansys 18.1 ile yapılmıştır. Optimum geometri için HAD analizleri Reynolds sayısının 70 ila 210 olduğu aralıkta gerçekleştirilmiş, sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

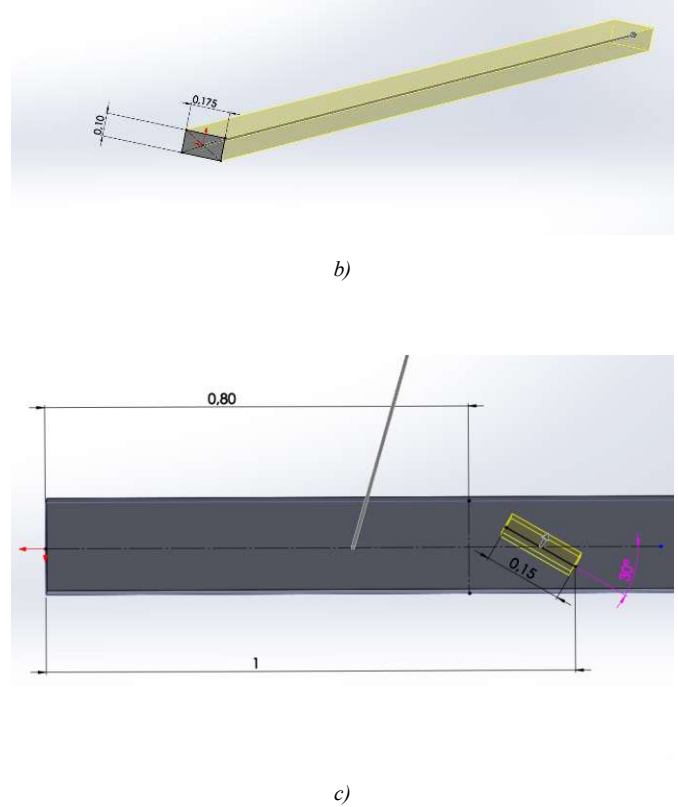
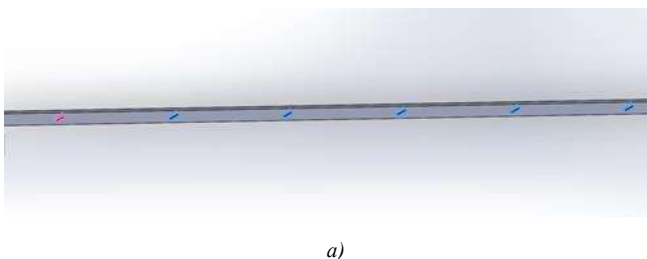
II. HAD ANALİZİ

A. Mikrokanal Geometrisi ve Parametreler

Bu çalışmada içerisine 6 tane kanatçık yerleştirilmiş dikdörtgen kesitli bir mikrokanallarda tek fazlı laminar su akışı ve ısı geçişi sayısal olarak incelenmiştir. Kanallar simetrik kabul edilmiştir. Mikrokanal genişliği, kanatçık genişliği, kanatçık uzunluğu ve kanatçığın yatay eksen ile oluşturduğu kanat açısı parametre olarak alınmıştır. Şekil 1 ve Tablo 1 'de tasarımı yapılmış mikrokanalların fiziksel model ve ilgili temel parametrelerini göstermektedir. Dikdörtgen kesitli mikrokanalın yüksekliği H, genişliği W ile gösterilmiştir. L ise mikrokanalın boyunu göstermektedir.

Mikrokanal geometrisi	[mm]	Parametreler	1	2	3
Mikrokanal genişliği, W	0,35	Kanatçık Kalınlığı [mm]	0,03	0,04	0,05
Mikrokanal yüksekliği, H	0,1	Kanatçık Uzunluğu [mm]	0,05	0,1	0,15
Mikrokanal uzunluğu, L	10	Kanat Açısı (°)	30	45	60

Tablo 1. Mikrokanal Ve Kanatçıkların Geometrik Parametreleri



Şekil 1. Fiziksel model ve ilgili geometrik parametreler: a) kanatçıklı mikrokanal, b) mikrokanal, c) kanatçık yerleşimi.

B. Sınır Şartları Ve Çözümleme

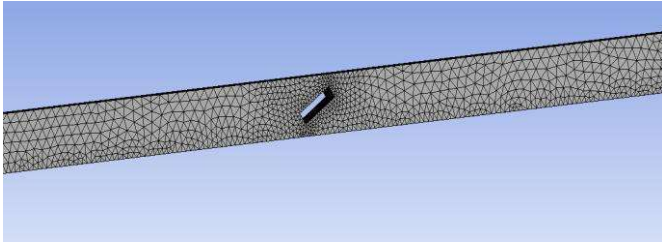
Hesaplamalarda akışkan olarak saf su kullanılmış ve Newton tipi akışkan olarak modellenmiştir. Akış sıkıştırılmaz; düşük giriş hızından dolayı akışın laminar olduğu varsayılmıştır. Ayrıca bu çalışmada, ışınlım ve yercekimi etkileri göz ardı edilmiştir. Mikrokanal malzemesi için alüminyum seçilmiş ve yüzey pürüzlülüğü etkileri ihmal edilmiştir. Mikrokanalda akışkanın giriş sıcaklığı sabit ve 298 K olarak alınmıştır. Isı geçişi mikrokanalın alt duvarından akışkana doğru ısı akısı değeri verilerek gerçekleştirilmektedir. Alt duvar ısı akısı 2×10^6 olarak belirlenmiştir. Mikrokanal simetrik olduğundan analiz kanalın yarısı için gerçekleştirilmiş, mikrokanalın üst ve yan duvarları adyabatik duvar olarak alınmıştır. Suyun kanala giriş hızı optimizasyon çalışmasında sabit ve 1 m/s olarak belirlenmiştir. Saf su ve malzeme özellikleri sabit olup, termodinamik özellikleri $T=298$ K için aşağıdaki değerler alınmıştır. Burada μ dinamik viskozite, ρ yoğunluk, c_p özgül ısı ve k ısı iletkenliğidir.

μ (Pa.s)	$8,8325 \cdot 10^{-4}$
k (W/mK)	0,601
c_p (J/kgK)	4175,78
ρ (kg/m ³)	998,2

Tablo 2. Saf Su İçin Özellikler

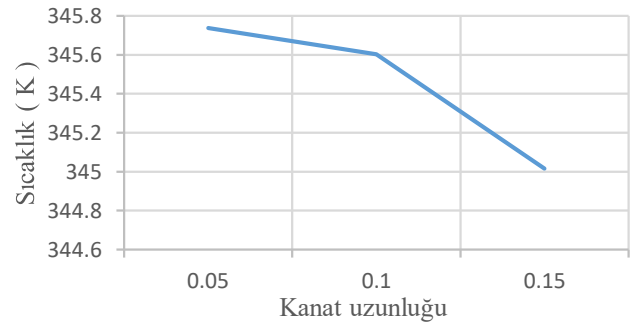
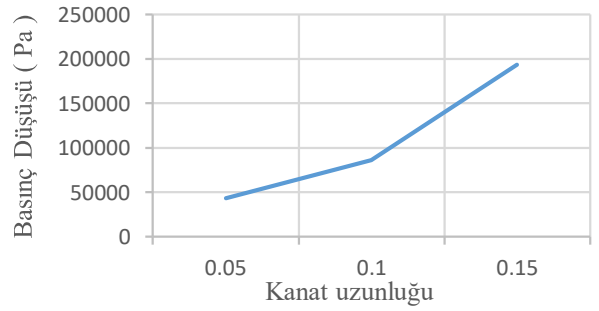
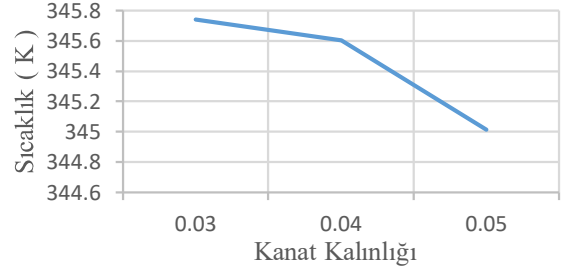
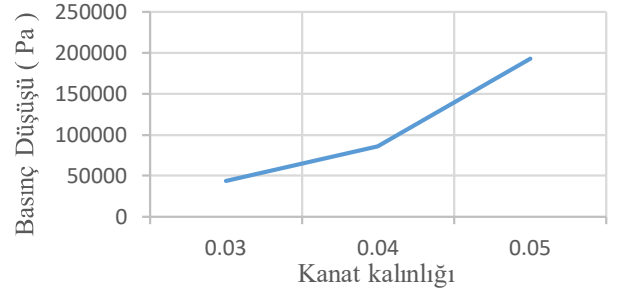
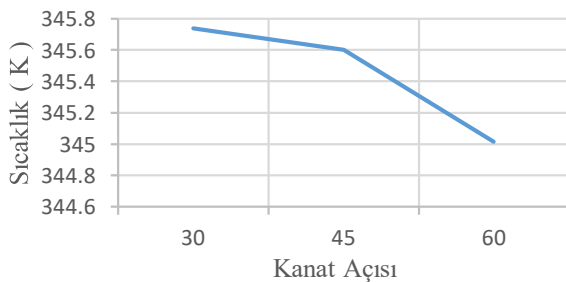
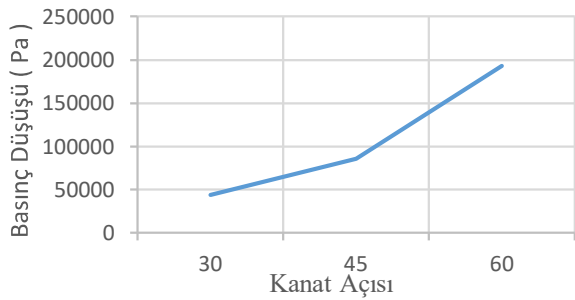
Modelleme ve çözüm ağı Ansys workbench arayüzünde oluşturulmuş; sınır şartları, korunum denklemlerinin çözümü Fluent arayüzünde gerçekleştirilmiştir. Dikdörtgen kesitli mikrokanal modelin, dört yüzeyle ve altı yüzeyle ağ yapısı ile çözüm ağı oluşturulmuştur. Oluşturulan çözüm ağına toplam düğüm noktası sayısı kanatçık sayısına göre değişmektedir ve

kanatçık cidarına daha sık düğüm noktaları uygulanmıştır. Şekil 2.2’de mikrokanala ait çözüm ağı görülmektedir ve çözüm ağı 35896 düğüm ve 168461 eleman sayısına sahiptir.



Şekil 2. Çözüm Ağı

Mikrokanal genişliği, yüksekliği ve uzunluğu sabit kabul edilmiş, içerisine yerleştirilen kanatçık genişliği, uzunluğu ve açısı parametre olarak alınmıştır. Bu parametrelerin 3 farklı değerleri için giriş basıncı 50000 Pa değerini geçmeyecek biçimde en uygun geometrik değerler Ansys yazılımının parametrik optimizasyon aracı ile hesaplanmıştır. Şekil 2.2’de parametrelerin giriş basıncı ve çıkış sıcaklığına etkisi görülmektedir. Yapılan çalışmada kanatçık yüksekliği mikrokanal yüksekliğine eşit, $H=0.1$ mm’dir. Kanat açısı 30° , 45° , 60° değerleri arasında üç farklı parametre olarak alınmıştır. Şekil 3.2.a ve b’de üç farklı kanat açısı için hesaplanan ortalama giriş basıncı ve çıkış sıcaklığı ile değişimi verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi kanat açısının artması giriş basıncını artırırken çıkış sıcaklığını azaltmıştır. Hesaplamalarda kanatçık kalınlığı 0,03 ila 0,05 mm arasında değiştirilmiştir. Şekil 3.2 c ve d’ de üç farklı kanatçık kalınlığı için ortalama giriş basıncı ve çıkış sıcaklığı ile değişimi görülmektedir. Kanatçık uzunluğunun artması giriş basıncını artırırken çıkış sıcaklığını azaltmıştır. Bir diğer parametre kanatçık uzunluğu 0,05, 0,1 ve 0,15 mm değerlerinde değiştirilmiştir. Şekil 3.2 e ve f’ de görüldüğü üzere kanatçık uzunluğunun artması giriş basıncını artırırken çıkış sıcaklığını azaltmıştır.



Şekil 3. Parametrelerin giriş basıncı ve çıkış sıcaklığına etkisi

Analizde yakınsama kriteri tüm büyüklükler için 10^{-5} alınmıştır. Şekil 2.3’de parametrik optimizasyon sonucunda giriş basıncı kriteri için hesaplanan en uygun değerler görülmektedir.

	Candidate Point 1	Candidate Point 2	Candidate Point 3
P1 - P3@Ds_30.00derece	30,705	34,305	56,733
P2 - P3@Ds_0.03mm	0,048135	0,048838	0,03
P3 - P3@Ds_0.15mm	0,13524	0,14182	0,15
P4 - girisbasinci-op (Pa)	★ ★ ★ 41035	★ ★ 45727	★ ★ ★ 32241
P5 - cikissicakligi-op (K)	★ 345,54	- 345,58	- 345,73

Şekil 4. İlgili Parametrelerin Optimizasyon HAD Analiz Sonuçları

Parametrik optimizasyon sonucunda kanat açısı için 30,7°, kanat genişliği 0,048 mm ve kanat uzunluğu 0,135 mm olarak belirlenmiştir. Belirlenen optimum geometri için 0,4 ila 1,2 m/s giriş hızlarında HAD analizi gerçekleştirilmiş, ısı geçişi ve basınç düşümünün Re sayısı ile değişimi gösterilmiştir.

C. HAD Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

HAD analizi sonucunda akışkanın kanaldan çıkış sıcaklığı ve giriş basıncı değerleri elde edilmiştir. Akışın Reynolds sayısı;

$$Re = \frac{\rho V D_h}{\mu}$$

şeklinde hesaplanmış, burada dikdörtgen kesitli mikrokanal için hidrolik çap;

$$D_h = \frac{4A_{ch}}{P_w} = \frac{2WH}{W+H}$$

yardımla bulunmuştur. Farklı Reynolds sayılarında aynı geometriyi analiz edip kanatçıklı kanallarda sıcaklık değişimini ve enerji korunumu yardımıyla ısı geçişini hesaplamak mümkündür. Isı geçişi;

$$\dot{Q} = \dot{m} c_p (T_{out} - T_{in})$$

şeklinde hesaplanır. Buradan ısı taşınım katsayısı;

$$h = \frac{Q}{A_h \Delta T}$$

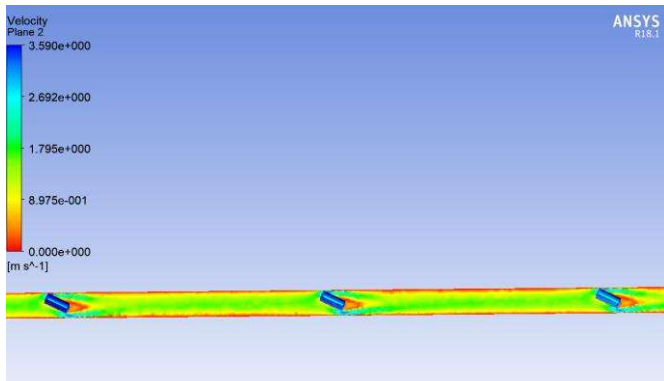
ve Nusselt sayısı;

$$Nu = \frac{h D_h}{k}$$

hesaplanabilir.

D. Had Analizi Sonuçları

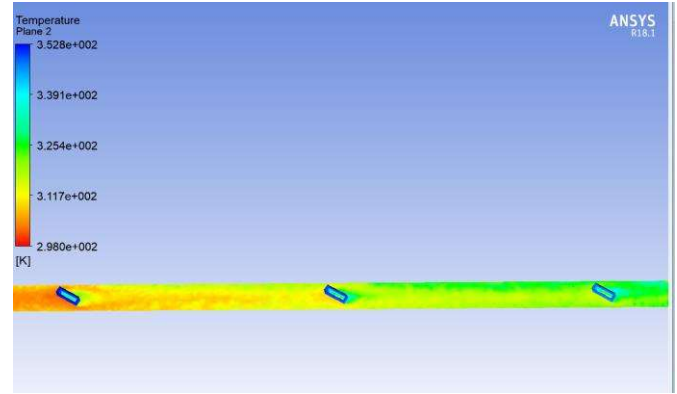
Bu çalışmada en uygun mikrokanal geometrisi için optimizasyon çalışması Ansys 18.1 HAD yazılımı ile yapılmıştır. Hesaplama sonucunda farklı parametreler için girilen değerlerin optimizasyonu yapılarak optimum geometri belirlenmiş ve farklı akış hızlarında analizleri yapılmıştır. Şekil 3.1'de mikrokanal içerisindeki hız vektörleri ile sıcaklık değişimleri görülmektedir. Kanat açısı 30 ila 60 derece arasında değiştirilmiş, en uygun sonuç en düşük açı 30° değerinde bulunmuştur. Kanat açısının 30°'den daha yüksek olması akış alanının iyice daralmasına ve dolayısı ile basınç düşümünün artmasına neden olacaktır. Kanat uzunluğu ve genişliği de açı benzer etki gösterecektir.



Şekil 5. HAD Analizi; Hız Bölgeleri

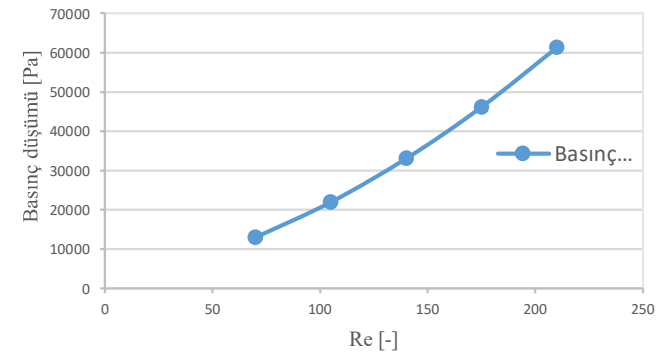
Yüksek Reynolds sayılarında, akışın önüne bir engel konulduğunda akışkan daha uzun mesafeler kat ederek, daha şiddetli karışır. Akış alanında girdap oluşumları ve özellikle akışa dik konulmuş engel arkasında girdap kopmaları meydana gelmektedir. Bu çalışmada da mikrokanal içerisine yerleştirilmiş kanatçıklar kesit alanını daralttığı ve anlık hız artışlarına sebep olduğu gözlenmiştir. Kanatçıkların arkasında art iz bölgelerinin oluştuğu bulunmuştur. Kanatçıkların arasındaki mesafede girdap oluşumu ve kanatçık önünde veya arkasında girdap kopması gözlenmemiştir. Burada akış hızının düşük olmasının etkisi vardır.

Art arda konulmuş kanatçıklar akışkanın mikrokanal içerisinde karışmasını sağlarken aynı zamanda sıcak üst duvardan iletimle ısı geçişine de sebep olur. Bu şekilde akışkan sadece üst duvar yerine akışkandan daha sıcak kanatçık ile temas eder. Böylece akışkan akışı ile üst duvar daha etkin bir biçimde soğutulması sağlanır. Şekil 3.2'de akışkanın Mikrokanal içerisinde ilerlerken oluşan sıcaklık bölgeleri görülmektedir.



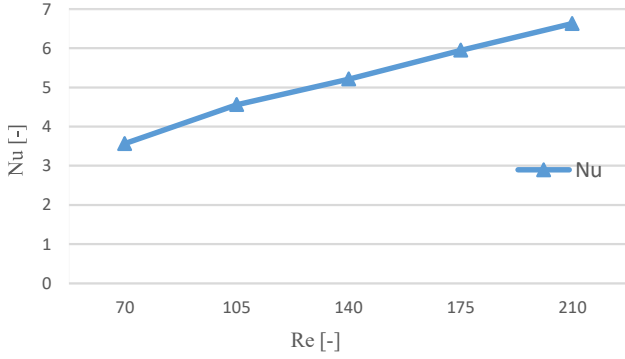
Şekil 6. HAD Analizi; Sıcaklık Bölgeleri

Farklı akış hızları için yapılan analizlerde mikrokanal giriş basınçları elde edilmiş, çıkış basıncı 0 Pa alınarak, basınç düşümleri elde edilmiştir. Şekil 3.4 basınç düşümlerinin Re sayısı ile değişimi görülmektedir. 70<Re<210 aralığında basınç değerlerinin 12956 Pa ile 61297 Pa arasında artarak değiştiği gözlenmiştir. Yukarıda da bahsedildiği analizde akışkanın giriş hızı 0,4 ila 1,2 m/s hızlarında değiştirilmiş, optimizasyon kriteri olarak giriş basıncı değeri 50.000 Pa değeri alınmıştır. Elde edilen basınç düşümlerine bakıldığında optimum mikrokanal geometrisi için akış hızının 1 m/s'den düşük çalışılması gerektiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 7. Basınç Düşümünün Reynolds İle Değişimi

Şekil 3.4’de elde edilen ortalama Nusselt sayılarının Reynolds ile değişimi verilmiştir. Nusselt sayılarının $70 < Re < 210$ aralığında 3,56 ila 6,63 değerleri arasında artarak değiştiği gözlenmiştir. Geleneksel teoriye bakıldığında laminer akış ve sabit ısı akısı şartlarında Nu sayısı sabit ve 4,36 değerini almaktadır. Elde edilen sonuçlar mikrokanaal boyunca yerleştirilmiş kanatçıkların ısı geçişini arttırdığını göstermiştir.



Şekil 8. Nu sayısının Reynolds ile değişimi

III. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada içerisine altı kanatçık yerleştirilen mikrokanaalın en uygun kanat geometrisini bulmak üzere Ansys 18.1 ticari HAD yazılımı kullanılarak parametrik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Kanatçık açısı, uzunluğu ve genişliği belli aralıkta değiştirilmiş, basınç kriterini sağlayan en uygun geometri elde edilmiştir. Nusselt sayılarının $70 < Re < 210$ aralığında 3,56 ila 6,63 değerleri arasında artarak değiştiği ve mikrokanaal boyunca yerleştirilmiş kanatçıkların ısı geçişini arttırdığını göstermiştir. Yine basınç değerlerinin 12956 Pa ile 61297 Pa arasında artarak değiştiği gözlenmiş, en uygun akışkan giriş hızı 1,0 m/s olarak bulunmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Can, O.F., Fluid Flow and Heat Transfer in a Channel with Noncircular Obstacles Arabican Journal for Science and Engineering, 41,11, 4291–4302, 2016
- [2] Ugurlubilek, N., Numerical Investigation of Convective Heat Transfer and Fluid Flow in a Channel With Two Semi -Circular Shaped Obstacles, Suleyman Demirel University, Journal of Engineering Sciences and Design, 2 (2), 85-89, 2014.
- [3] Ebrahimi, A., E. Roohi and S. Kheradmand, “Numerical Study of Liquid Flow and Heat Transfer in Rectangular Microchannel with Longitudinal Vortex Generators”, Applied Thermal Engineering, vol: 78, 2015.
- [4] Chen C., J.T. Teng, C.H. Cheng, S. Jin, S. Huang, C. Liu, M.T. Lee, H.H. Pan and R. Greif, “A Study on Fluid Flow and Heat Transfer in Rectangular Microchannels with Various Longitudinal Vortex Generators”, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol:69, 2014.
- [5] Abdollahi, A. and M. Shams, “Optimization of Shape and Angle of Attack of Winglet Vortex Generator in A Rectangular Channel For Heat Transfer Enhancement”, Applied Thermal Engineering, vol:81, 2015.