

DELİKLİ KARE KANATÇIKLARDAN TAŞINIMLA ISI TRANSFERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Eyüphan MANAY
Bayram ŞAHİN
Şendoğan KARAGÖZ

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, bir dizi delinmiş iğne kanatçıktan türbülanslı taşınım ile ısı transferini araştırmaktır. İlgili eşitliklerin çözümü için RNG tabanlı $k-\epsilon$ türbülans modeli ve SIMPLE algoritma kullanılmıştır. İğne kanatçıkların tabanına 4000 W/m^2 sabit ısı akısı uygulanmıştır. Reynolds sayısı ($Re=13.500, 27.500$ ve 42.000), akış yönünde iğne kanatçık boşluk oranı ($Sy/D=1.208, 1.944$) ve düşey boşluk oranının ($C/H=0$ ve 1) ısı transferi üzerine etkileri incelenmiştir. İş akışkanı olarak hava kullanılmış ve ışınım ile ısı transferi etkileri ihmal edilmiştir. Yerel ve ortalama Nusselt ve sürtünme katsayılarının değişimleri sunulmuş ve toplam ısı transferi iyileştirmesi irdelenmiştir. Farklı düzlemlerdeki eş sıcaklık ve eş hız çizgileri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Delikli iğne kanatçıklar, taşınım ile ısı transferi, ısı transferi iyileştirmesi.

ABSTRACT

The goal of this study is to research turbulent convection heat transfer from array of perforated pin-fins. RNG based $k-\epsilon$ turbulent model and SIMPLE algorithm are used for governing equations. 4000 W/m^2 constant heat flux was applied to the base of pin-fins. The effects of clearance ratio ($C/H= 0$ and 1), pin-fin spacing ratio in streamwise direction ($Sy/D=1.208$ and 1.944) and Reynolds number ($Re=13500, 27.500$ and 42000) on heat transfer have been investigated. Air is used as working fluid and radiative heat transfer effects are neglected. Local and mean Nusselt number and drag coefficient variations are presented, and overall heat transfer enhancement is examined. Temperature and velocity contours on different planes were presented.

Key Words: Perforated pin-fins, convective heat transfer, heat transfer enhancement.

1. GİRİŞ

Pasif yöntemler kullanılarak ısı transferini artırma işleminin temeli ısı transfer yüzey alanının uygun biçimlerde modifiye edilmesi ile mümkün olur. Yüzey alanı modifikasyonları, ısı transferi sağlanacak yüzeye kanatlar ya da kanatçıklar eklemek, kanatlar üzerine daha küçük boyutlarda yüzeyler eklemek, kanal içerisine yerleşim konumlarını değiştirmek v.s. den oluşmaktadır. Bu elemanlar kanal içerisine tek ya da bir dizi halinde yerleştirilmeleri durumunda tahmin edileceği üzere ısı transferi hadisesi ve bu hadiseyi etkileyen faktörler de boş bir kanalıkinden farklı olacaktır. Bu faktörlerin başında kanat geometrisi ve sayısı, kanat eklenen yüzeyde ve kanatlarda oluşan sıcaklık dağılımı, kanatları çevreleyen akışkanın hızı, malzemenin ısı iletkenlik özelliği gelmektedir [1]. Bilindiği üzere ısı transferi yüzey alanını artırmak her ne kadar ısı transferini artırsa da yüzey alanındaki artış basınç düşümünün de artmasına neden olmaktadır [2]. Tek bir kanat dolayısıyla transfer edilen ısı miktarı boş kanaldakine

göre daha fazla olacağı gibi kanat sayısının artırılması (kanat dizisi) ile beraber bu oran daha da artacaktır ve dolayısıyla sürtünme katsayısı ve buna bağlı olarak basın düşüşü de [3, 4].

Kanat sayısının artırılmasının yanı sıra eklenen kanatların delinmesi de ısı transferi artışına katkıda bulunacaktır. Delme işlemi ile akışkan akışına maruz bırakılan kanatların delinen bölgeden akışkanın geçmesine imkan tanınmış olacak ve kantlardan emilen ısının yanın da kanat iç yüzeyinden de ısı absorbe edilecektir [6, 7]. Kanatlar üzerinde açılan deliklerin sayısının artırılacağı mümkün iken benzer şekilde açılan deliklerin çaplarının da büyütülmesi de ısı transferini artıracaktır. Hem delik sayısı hem de deliklerin çapının artırılmasıyla sağlanan ısı transferindeki artışta delik çapındaki artışın daha etkili olduğu yapılan çalışmalarla anlaşılmıştır [5].

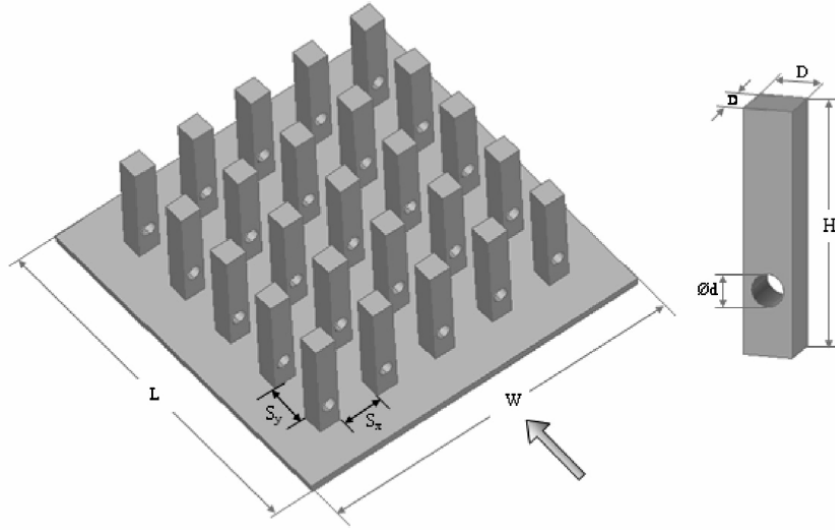
Kanatlar ve kanat eklenen yüzeydeki sıcaklık dağılımının ısı transferi üzerinde etkili olduğu yukarıda vurgulanmıştı. Deneysel çalışmalarda yerleştirilen her bir kanat üzerindeki sıcaklık dağılımını belirlemek bir hayli zaman alıcı ve aynı zamanda büyük bir hassasiyet gerektirmektedir. Bunun yanı sıra, kanatlar üzerindeki deliklerin hassa bir biçimde delinmesi ve çok küçük tolerans farklı üretilmeleri de ilave bir maliyet getirmektedir. Bu güçlükler kanal içerisinde akış ortamına bırakılan elemanlar etrafındaki akış ısı transferi olaylarının daha detaylı incelenmesi sayısal çözümleri kaçınılmaz kılmaktadır. Peng ve Ling [8] kanal içerisine farklı eksenelel hizada yerleştirdikleri kanatçıklara ait ısı transferi ve akış karakteristiklerini üç boyutlu sayısal çalışma ile belirlemişlerdir. Deneysel veriler ile iyi bir uyum yakalayarak kanal girişine yakın bölgelerde ısı transferinin önemli miktarda arttığını ve kanal sonuna doğru azaldığını gözlemlemişlerdir. Şahin ve arkadaşları [9] düz kanat- boru tip ısı değiştiricisini dış yüzeyindeki levhaların akışa paralel ve farkı açılarla yerleştirilmeleri durumunu üç boyutlu sayısal olarak araştırmışlardır. Levha kanatların akış yönünde 30° açıyla yerleştirildiği durumda ısı transferinin maksimum olduğunu, benzer şekilde basınç kaybının da bu kanat açısı için en fazla olduğunu belirlemişlerdir. Kanat iç yüzeyindeki duvarlarda oluşturulan yarı küresel çukurlar etrafındaki ısı transferi üç boyutlu sayısal olarak Xien ve Sunden [10] tarafından incelenmiştir. Isı akışı dağılımını, akış alanını, sıcaklık dağılımı ve diğer ısı transferi karakteristiklerini belirledikleri çalışmada kanatlar için küresel çukurların ısı transferini artırmada (kanat yüzeylerinin soğutulmasında) çok etkili bir yöntem olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca, boş kanala göre daha yüksek ısı transferi sağlayan küresel çukurların toplam termal performanslarının da yüksek olduğu ifade edilmiştir.

Bu çalışmada delikli kare kesite sahip kanatların bulunduğu sabit ısı akışı ile ısıtılmış bir yüzeyden farklı akış hızları, kanat aralıkları ve kanat yükseklikleri durumunda gerçekleşen ısı transferi ve akış koşulları sayısal olarak incelenmiş ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

2. SAYISAL YÖNTEM

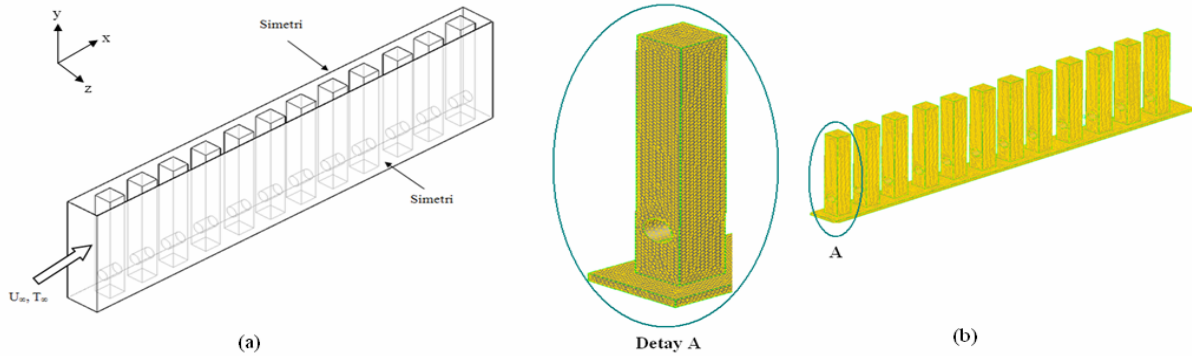
2.1. Giriş

Çalışmada iki kanal açıklık oranı $C/H=0$ ve 1 olduğu durumlar ve kanatlar arası mesafenin $S_y/D=1.208$ ve 1.944 olduğu durumlar için GAMBIT yazılımı kullanılarak modelleme yapılmış ve çözüm ağı kullanılmıştır. Daha sonra üç farklı Reynolds sayısı ($Re=13500$, 27500 ve 42000) için çözümler gerçekleştirildi. Yapılan çözümler sonucunda, daha önceden deneysel olarak yürütülen çalışmadan [6] elde edilen veriler sayısal çözüm sonuçları ile karşılaştırılmış ve deneysel ve sayısal sonuçların uyum içinde oldukları gözlenmiştir. Şekil 1'de delinmiş kare kanatlar ve levhaya ait perspektif sunulmuştur. Kanatçıklar 15 mm x 15 mm lik kesti alana sahiptir ve Şekil 1'de gösterildiği gibi levha üzerine monte edilmiştir. Kanatçıklar açıklık oranının $C/H=0$ ve 1 olmasını sağlayacak yükseklikte üretilmiş olup merkezi tabandan 17 mm yükseklikte olacak şekilde 8 mm çapında delik açılmıştır. İğne kanatçıkların akış yönündeki boşluk oranı ($S_y/D=1.208$ ve 1.944) farklı kanat sayısı verecek şekilde düzenlenmiştir.



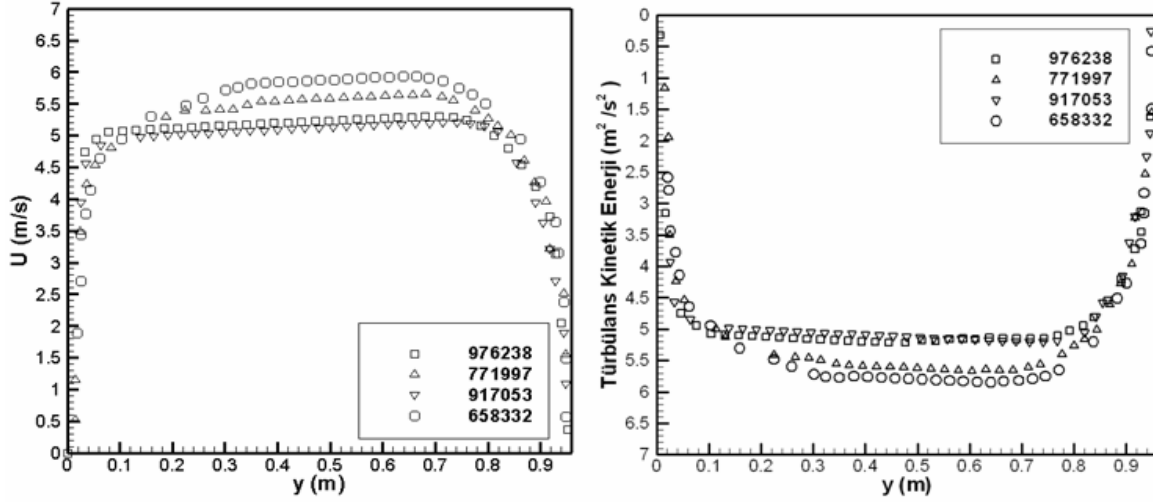
Şekil 1. Isı Değiştiricisi ve Tek Kanata Ait Perspektif Görünüş.

Sayısal çözüm prosedüründe kullanılan giriş uzunluğu 1160 mm ve test bölgesi uzunluğu 450 mm'dir. Kanalin yüksekliği $H=100$ mm ve genişliği 250 mm'dir. Şekil 2a'da gösterildiği gibi sayısal modelin her iki tarafına simetri sınır şartı uygulanmış ve levha tabanına alttan 4000 W sabit ısı akısı uygulanmıştır. Sayısal çözümler sonucunda kanal alt duvarı boyunca Nusselt sayısı ve sürtünme katsayısı değişimleri, ortalama Nusselt ve sürtünme katsayısı değişimleri, farklı düzlemlerde sıcaklık ve eş hız çizgileri sunulmuştur. Ayrıca, çalışılan bütün durumlar için toplam ısı transferi iyileştirmesi de hesaplanmıştır.



Şekil 2. (a) Delinmiş Kanatlara Ait Simetri Sınır Şartı, **(b)** Kanatlara Ait Ağ Yapısı.

Çalışmada havaya ait termofiziksel özellikler kullanılmış ve akışkan hızının kanal girişinde üniform, sıcaklığının ise 300 K olduğu kabul edilmiştir. Kanal çıkışında çıkış basıncı sınır şartı uygulanmıştır ($P_{gösterge}=0$). Çözümler; ayrılmış çözücüde dolaylı (implicit) metot kullanılarak üç boyutlu ve zamandan bağımsız elde edilmiştir. Kullanılan programda, basınç, momentum ve enerji denklemlerinin ayrıklaştırma işlemi birinci dereceden ileri fark yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Basınç-hız denklem çiftlerinin ayrıklaştırma işlemi için ise SIMPLE algoritması kullanılmıştır. Analizlerde yakınsanma kriteri enerji için 10^{-7} , diğer bütün değişkenler için 10^{-5} olarak seçilmiştir. Şekil 3a ve 3b farklı çözüm ağı sayılarında giriş bölgesi sonunda U hızının ve türbülans kinetik enerjisinin kanal yüksekliği ile değişimleri sunulmuştur. Grafiklerden görüldüğü gibi 917053 çözüm ağı sayısından sonra, çözüm ağı sayısının artması hız ve türbülans kinetik enerjisini değiştirmemektedir. Dolayısıyla sayısal çözümlerde bu çözüm ağı sayısı kullanılmıştır.



Şekil 3. (a) Farklı Ağ Yapılarına Ait Hız Değişimi, **(b)** Farklı Ağ Yapılarına Ait Türbülans Kinetik Enerji Değişimi.

Sayısal çalışma üç boyutlu (x, y, z) ve zamandan bağımsız olarak gerçekleştirilmiştir. Sayısal çözüm prosedüründe kullanılan denklemler aşağıda verilmiştir. Denklem 1’de süreklilik denklemi [12];

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

x, y, z yönündeki momentum denklemleri ise denklem 2, 3 ve 4’te sırasıyla sunulmuştur.

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

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

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

Enerji denklemi Denklem 5 ile verilmiştir.

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

Taban plaka yüzeyinden Δx mesafesinde havaya transfer edilen ısı için enerji dengesi yazılırsa [11],

$$\dot{m} c_p (x) [T_{(x+1)} - T_{(x-1)}] = h(x) [T_w(x) - T_b(x)] 2\Delta x \quad (6)$$

şeklinde uygulanır. Denklem 6’dan yerel ısı transfer katsayısı çekilirse, $h(x)$ [11],

$$h(x) = \frac{\dot{m}c_p(x)[T_{(x+1)} - T_{(x-1)}]}{[T_w(x) - T_b(x)]2\Delta x} \quad (7)$$

Denklem 7 ile hesaplanır. Denklem 7'deki \dot{m} akışkanın kütleli debisini temsil etmektedir ve Denklem 8 ile hesaplanır. U_m akışkanın ortalama hızını ve A kanal kesit alanını göstermektedir.

$$\dot{m} = \rho U_m A \quad (8)$$

$$Nu_x = \frac{h(x)D_h}{k} \quad (9)$$

$$Nu = \frac{1}{A} \int Nu(x)dA \quad (10)$$

Denklem 11'deki D_h hidrolik çapı göstermektedir. Daha önce vurgulandığı gibi kanal girişinde akışkan hızının üniform olduğu kabul edilirse Reynolds sayısı Denklem 11 ile hesap edilir.

$$Re = U_m D_h / \nu \quad (11)$$

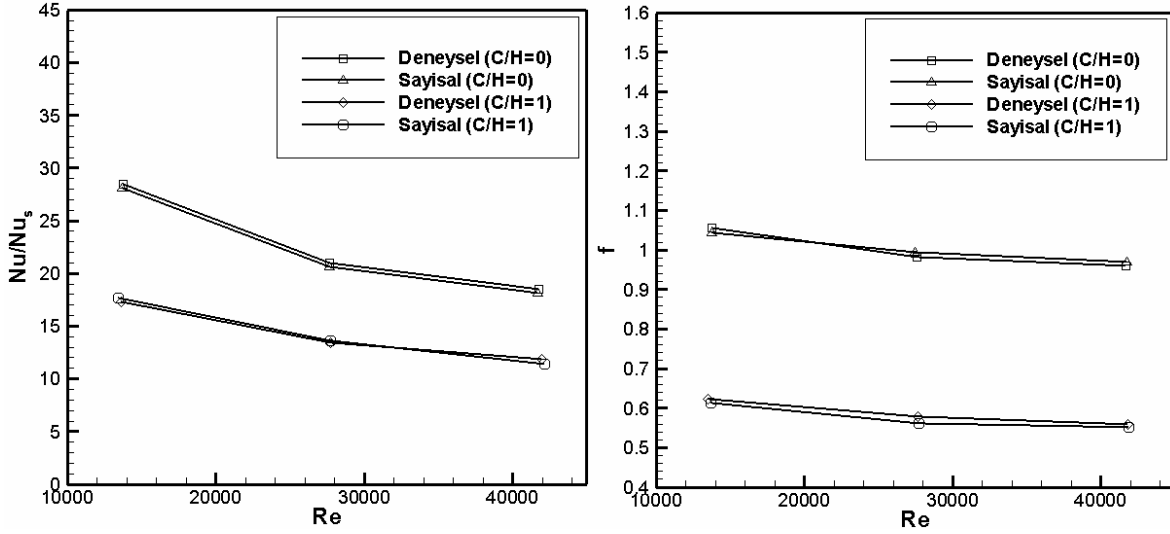
$$D_h = \frac{4A}{P} \quad (12)$$

Denklem 11'de ν akışkanın kinematik viskozitesidir. Denklem 12'deki P akışkanın ıslattığı çevredir. Sürtünme faktörü ise Denklem 13 yardımıyla bulunur. Burada ρ akışkanın yoğunluğunu göstermektedir.

$$f = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2} \rho U_m^2 \frac{L}{D_h}} \quad (13)$$

SONUÇLAR

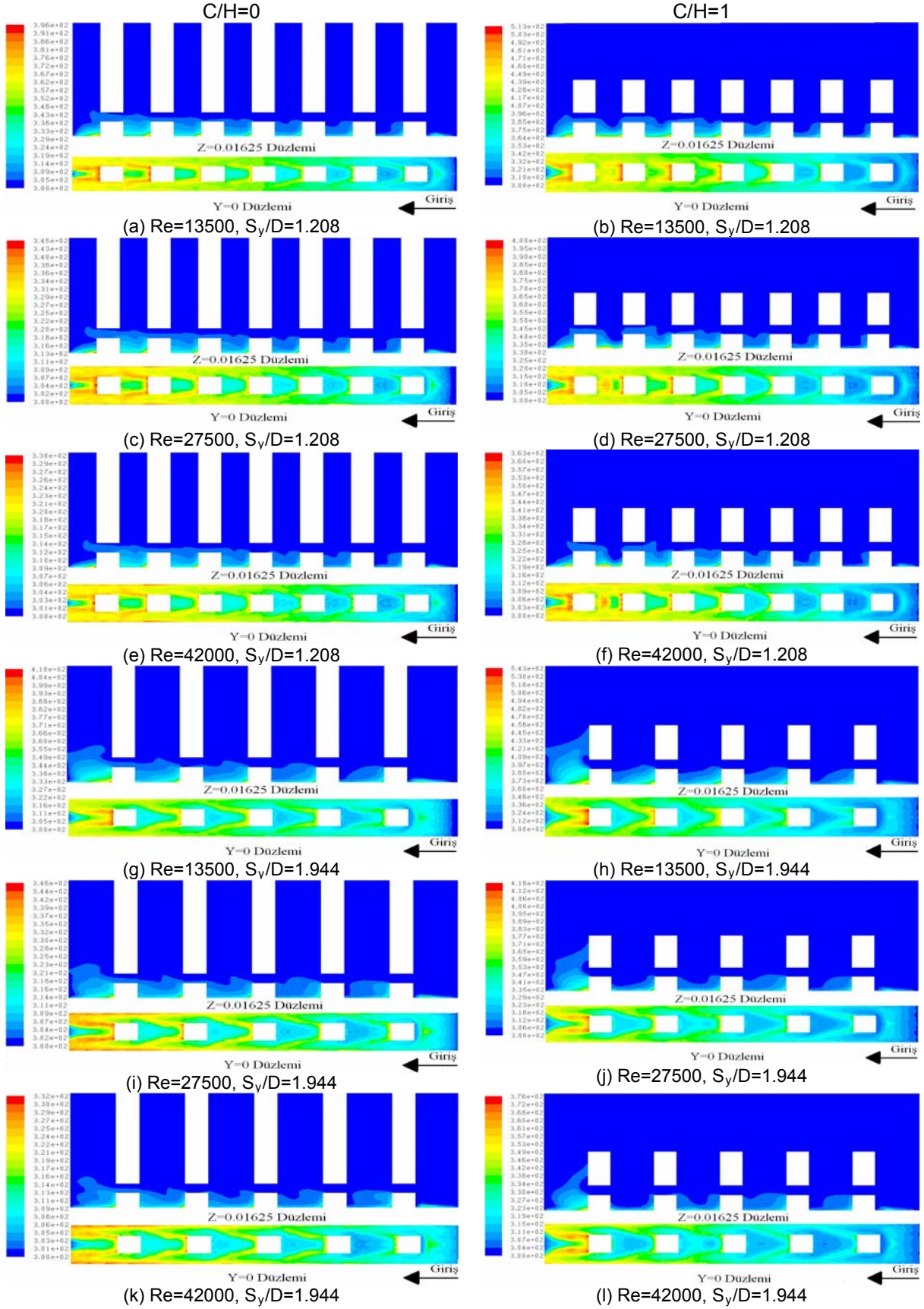
Sayısal çözümlmeye başlamadan önce uygulanan çözüm prosedürünün deneysel verilerle ne oranda uyumlu olduğunun bilinmesi önemlidir. Şekil 4'de [$S_y/D=1.208$ için $C/H=0$ ve 1 olduğu durumlar] sayısal çözümlleme sonucu elde edilen verilerle deneysel sonuçların karşılaştırılması görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere deneysel ve sayısal veriler iyi bir uyum içerisindedir.



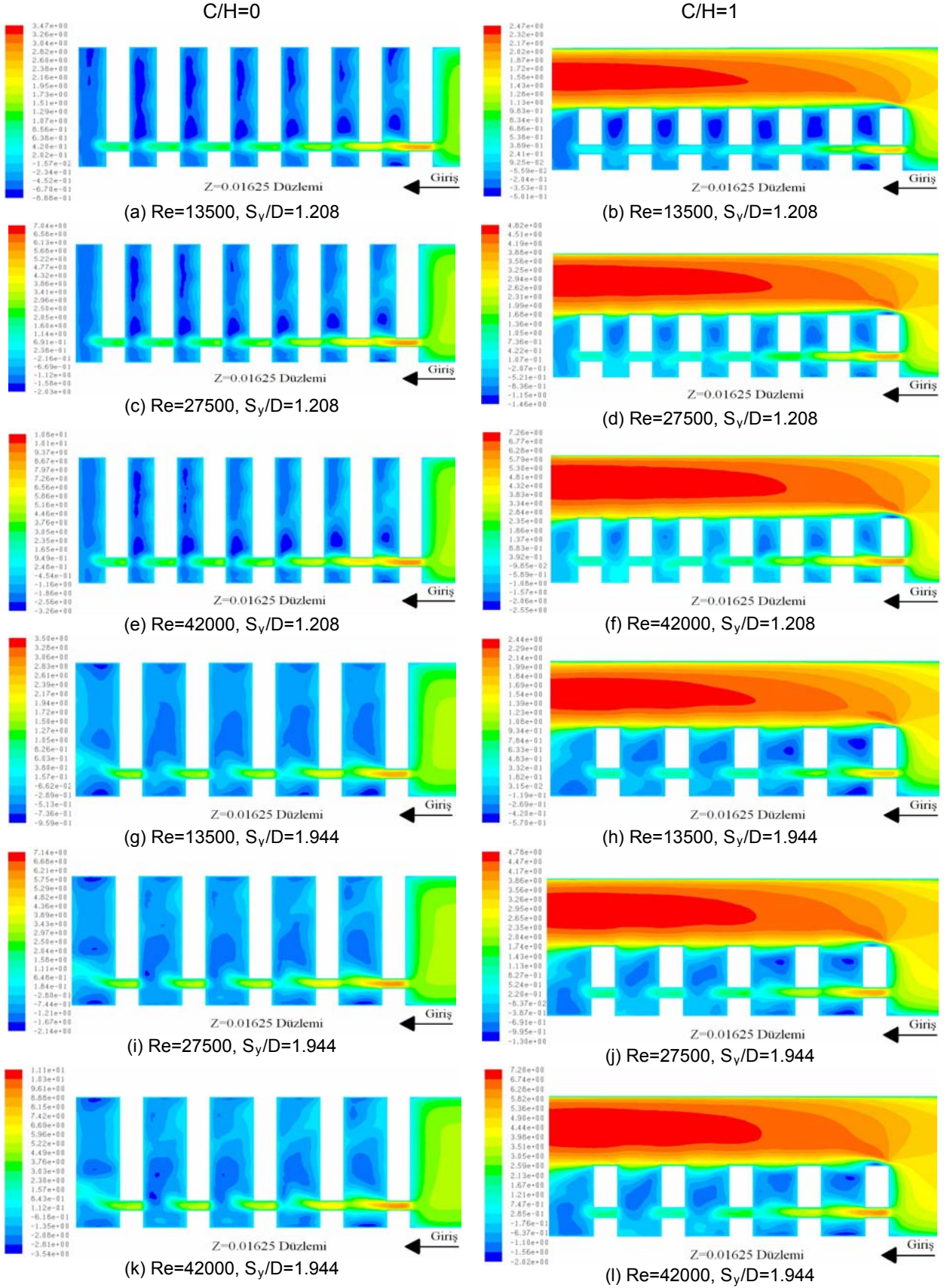
Şekil 4. Deneysel ve Sayısal Sonuçların Nusselt Sayısı ve Sürtünme Katsayısı Açısından Karşılaştırılması ($S_y/D=1.208$).

Farklı düzlemlerdeki (y ve z düzlemi) eş sıcaklık çizgileri her iki açıklık oranı (C/H=0 ve 1) ve kanat boşluk oranı için Şekil 5'de verilmiştir. Şekil 5a yüksekliğin H=100 mm, Şekil 5b ise H=50 mm olduğu durumu göstermektedir. Her bir şeklin üst kısmında z=0.01625-düzlemindeki eş sıcaklık çizgileri ile altında y=0-düzlemine (taban plaka) ait eş sıcaklık çizgileri sunulmuştur. Eş sıcaklık çizgileri ayrı ayrı incelendiğinde akışkan kanal içinde ilerledikçe ısıtılmış alt yüzeyden akışkana olan ısı transferi nedeniyle kanal çıkışına doğru ısıl sınır tabaka kalınlığının arttığı görülmektedir. Kanal çıkışında en yüksek akışkan sıcaklığı Re=13500 olduğu akış koşullarında elde edilmiştir. Reynolds sayısı arttıkça beklendiği gibi ısıl sınır tabaka kalınlığı ve sıcaklık gradyanları azalmaktadır.

Kanat boyunun küçük olduğu durumda akışkanın büyük bir kısmı kanat üzerindeki by-pass hattından kanalı terk etmekte ve yüksek olduğu duruma göre daha az debideki akışkan kütlesi yüzeyden ısı almaktadır. Bu durumda akışkan bulk sıcaklığının daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak soğutma hedefi dikkate alınarak yüzey eş sıcaklık çizgileri incelenirse yüzeydeki sıcaklığın daha yüksek olduğu görülmektedir. Reynolds sayısı arttıkça akışkanın bulk sıcaklığı her iki kanat boyu için de azalmaktadır. Ayrıca, kanat sayısı azaldıkça akışkanın bulk sıcaklığı artmaktadır, yüzey sıcaklığı ise artmaktadır. Soğutma hedefi dikkate alındığında, yüksek kanat boyunun, yüksek Reynolds sayısının ve en küçük boşluk oranının ısı transferi açısından daha verimli olduğu söylenebilir.

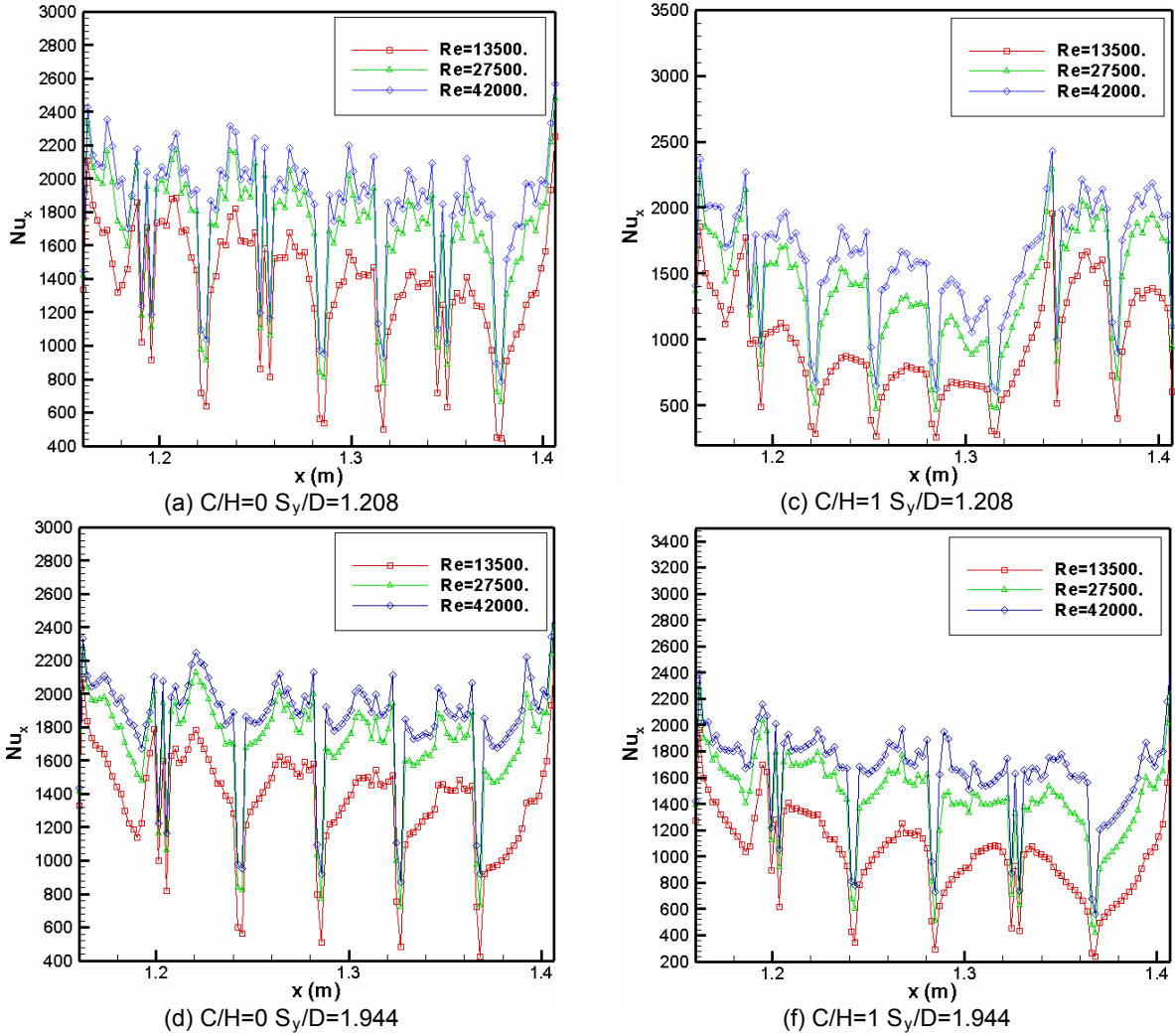


Şekil 5. Test Bölgesi Boyunca Eş Sıcaklık Çizgileri.



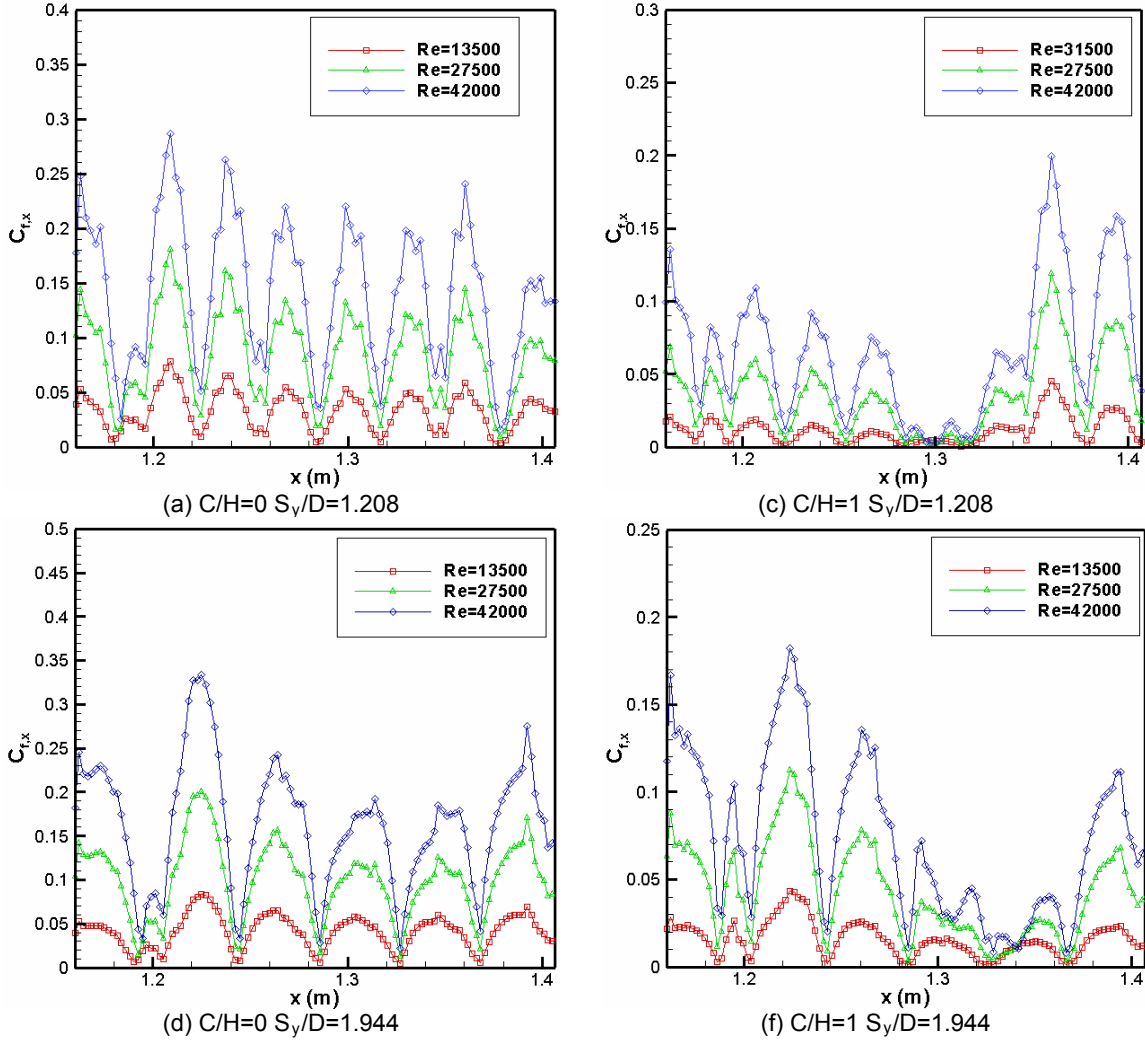
Şekil 6. Test Bölgesi Boyunca Eş Hız Çizgileri.

Şekil 6a ve 6b'de $z=0.01625$ -düzleminde akışkanın eş hız çizgileri verilmiştir. $C/H=0$ olması durumunda kesit daralması nedeniyle oluşan jet akışından dolayı akışkanın hızı bu bölgede oldukça yüksektir ve delikler içerisindeki en yüksek akışkan hızı $Re=42000$ olduğu durumda elde edilmiştir. $C/H=1$ olması durumunda ise, kanatların üst bölgesinde akışkan hızı kesit daralmasından dolayı girişteki üniform akış hızının neredeyse 2 katına çıkmaktadır. Kanat boyunun düşük olması durumunda, akışın kanatlar tarafından bloke olması ve kanat üzerindeki by-pass hattı ile kanalı terk etmesi nedeniyle kanatlar arasında jet akışı oluşturmak amacıyla açılan deliklerin etkisinin kaybolduğu gözlemlenmektedir. Kanatlar üzerinde açılan deliklerden geçen akışkan hızının kanatlar arası mesafenin artması ile azaldığı ve jet akışının etkisinin kısmi olarak azaldığı görülmektedir.



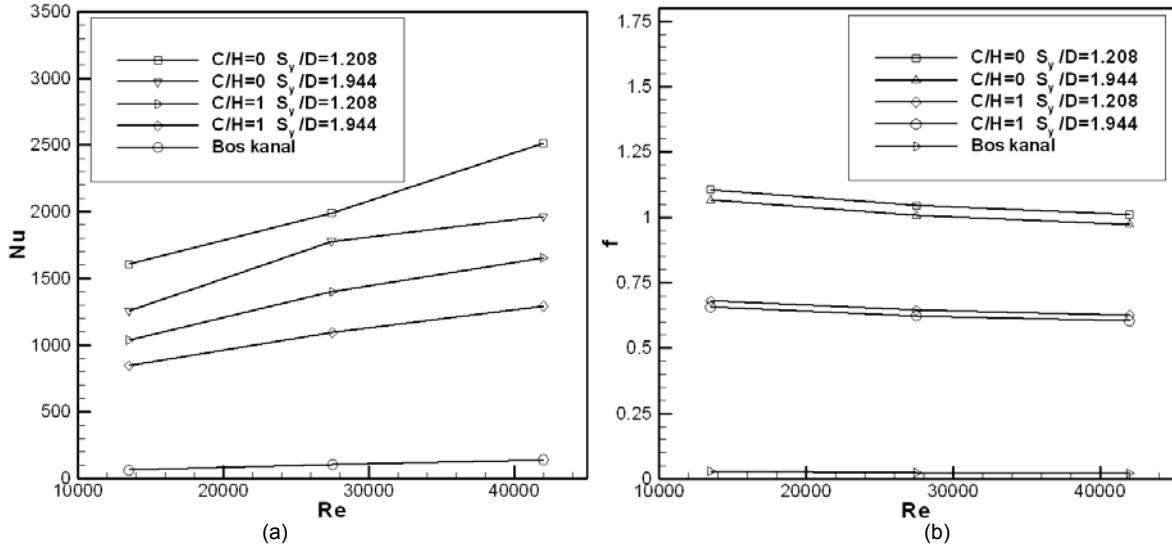
Şekil 7. Yerel Nusselt Sayısının Alt Yüzey Boyunca Değişimi.

Şekil 7, her bir durum için kanal alt yüzeyi boyunca yerel Nusselt sayısının değişimini göstermektedir. Kanal alt yüzeyi boyunca Nusselt sayısı $C/H=0$ olduğu durumda test bölgesi sonuna kadar azalmaktadır. $C/H=1$ durumunda, test bölgesi girişinden itibaren Nusselt sayısı önce azalmakta daha sonra tekrar artmaktadır. Kanat yüksekliğinin $H=100$ mm olduğu durumda Nusselt sayısı kanat sayısının az olduğu duruma göre daha yüksektir. Aynı Reynolds sayılarında sayılarında kanat sayısının fazla olması halinde Nusselt sayısı daha yüksektir. Reynolds sayısının artışı ile Nusselt sayısı da artmaktadır. Şekil 8'de kanal alt yüzeyi boyunca yüzey sürtünme katsayısının değişimi verilmektedir. Kanat boyunun artmasıyla beraber yüzey sürtünme katsayısı önemli ölçüde artmaktadır. Şekil 8'den görüldüğü gibi kanat sayısının daha az olması yüzey sürtünme katsayısını azaltmaktadır. Pompalama gücü açısından, düşük Reynolds sayısının, az sayıda ve kısa kanat kullanılmasının daha verimli olacağı söylenebilir.



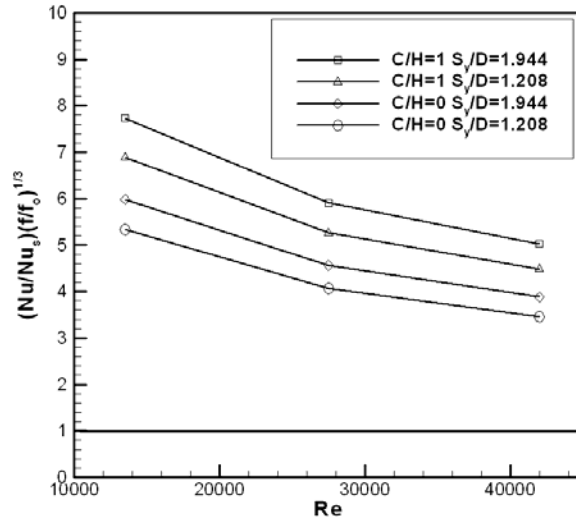
Şekil 8. Yerel Sürtünme Katsayısının Alt Yüzey Boyunca Değişimi.

Ortalama Nusselt sayısı ve sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi Şekil 9a ve 9b'de gösterilmiştir. Her durum için Nusselt sayısı Reynolds sayısı arttıkça artmaktadır. $C/H=0$ olduğu durumda Nusselt sayısı $C/H=1$ durumuna göre daha yüksektir. Benzer şekilde, kanatlar arası mesafenin daha düşük olması, Nusselt sayısının kanatlar arası mesafenin kısa olduğu duruma göre daha yüksek değer almasına neden olmuştur. Şekillerden görüldüğü gibi, delinmiş kare kesitli kanatların eklenmesi ısı transferinde önemli miktarda artışa neden olmuştur. Basınç düşümünün bir göstergesi olan sürtünme faktörü Reynolds sayısındaki artışla beraber azalmaktadır. Nusselt sayısındaki değişime benzer bir davranışla, yüzey sürtünme katsayısı $C/H=0$ durumunda $C/H=1$ durumuna göre çok daha yüksektir. Bunun nedeni kanat boyunun daha küçük olduğu $C/H=1$ olduğu durumda kanatlar tarafından bloke olan akışkan kanatlar üstündeki açıklıktan kanalı terk etmektedir. Akış yönünde kanatlar arasındaki mesafenin kısa olduğu durumlarda sürtünme faktörü daha büyük değerler almaktadır. Akış alanına delinmiş kare kesitli kanatların yerleştirilmesi her iki açıklık durumunda da boş kanal göre daha yüksek sürtünme faktörlerinin oluşmasına, yani akışkanı pompalamak için gerekli pompa gücünün artmasına neden olmuştur.



Şekil 9. a) Nusselt Sayısının Reynolds Sayısı ile Değişimi, b) Sürtünme Katsayısının Reynolds Sayısı ile Değişimi.

Şekil 10'da çalışılan altı farklı durum için delinmiş kare kanatlar yerleştirilmesi ile sağlanan toplam ısı transferi iyileştirmesinin Reynolds sayısı ile değişimi verilmektedir. Bütün durumlarda ısı transferi iyileştirmesinin sağlandığı görülmektedir. Toplam ısı transferi iyileştirmesi Reynolds sayısının artışı ile azalmaktadır. Açıklık olmadığı durumda sağlanan ısı transferi iyileştirmesinin açıklık olan durumda sağlanandan daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Kanatlar arası mesafenin daha fazla olduğu durumda mesafenin az olduğu duruma göre iyileştirme daha yüksektir. Ancak, ısı transferinin iyileşmesinin yanında basınç kayıpları da dikkate alındığında bütün durumlar içerisinde optimum ısı transferi iyileştirmesi C/H=1, S_y/D=1.944 ve Re=13500 olduğu durumda sağlanmaktadır.



Şekil 10. Toplam Isı Transferi İyileştirmesi.

TARTIŞMA

Sunulan bu çalışmada içerisinde delinmiş bir dizi kanat yerleştirilen dikdörtgen kanaldan taşınım ile ısı transferi karakteristikleri üç boyutlu ve sayısal olarak araştırılmış, analizler sonucunda elde edilen

bulgular daha önceden gerçekleştirilmiş deneylerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Deneysel ve sayısal Nusselt sayısı ve sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimlerinin karşılaştırılması sonucu deneysel ve sayısal verilerin iyi bir uyum içerisinde oldukları anlaşılmıştır.
- Kanal çıkışında en yüksek akışkan sıcaklığı $Re=13500$ olduğu akış koşullarında elde edilmiştir. Reynolds sayısı arttıkça beklendiği gibi ısıl sınır tabaka kalınlığı ve sıcaklık gradyanları azalmıştır.
- Kanat sayısının azalmasıyla ($S_y/D=1.944$), kanatların art iz bölgesindeki yüzey sıcaklığı azalmıştır.
- Kanat boyunun küçük olduğu durumda akışkanın büyük bir kısmı kanat üzerindeki by-pass hattından kanalı terk etmekte ve yüksek olduğu duruma göre daha az debideki akışkan kütlesi yüzeyden ısı almaktadır. Bu durumda akışkan bulk sıcaklığının daha yüksek olduğu görülmüştür. Ancak soğutma hedefi dikkate alınarak yüzey eş sıcaklık çizgileri incelendiğinde yüzeydeki sıcaklığın daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumda daha büyük kanat yüksekliğinin ısı transferi açısından daha verimli olduğu söylenebilir.
- Kanat boyunun düşük olması durumunda, akışın kanatlar tarafından bloke olması ve kanat üzerindeki by-pass hattı ile kanalı terk etmesi nedeniyle kanatlar arasında jet akışı oluşturmak amacıyla açılan deliklerin etkisinin kaybolduğu gözlemlenmiştir.
- Akış alanına delinmiş kare kesitli kanatların yerleştirilmesi her iki açıklık durumunda da boş kanal göre daha yüksek sürtünme faktörlerinin oluşmasına, yani akışkanı pompalamak için gerekli pompa gücünün artmasına neden olmuştur.
- Açıklık olmadığı durumda sağlanan ısı transferi iyileştirmesinin açıklık olan durumda sağlanandan daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Kanatlar arası mesafenin daha fazla olduğu durumda mesafenin az olduğu duruma göre iyileştirmenin daha yüksek olduğu görülmüştür. Ancak, ısı transferinin iyileşmesinin yanında basınç kayıpları da dikkate alındığında bütün durumlar içerisinde optimum ısı transferi iyileştirmesi $C/H=1$, $S_y/D=1.944$ ve $Re=13500$ olduğu durumda sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Tahat, M., Kodah, Z. H., Jarrah, B. A. and Probert, S. D., "Heat transfers from pin-fin arrays experiencing forced convection", *Applied Energy*, 67 (2000), 419±442.
- [2] Bilen, K., Akyol, U. and Yapici, S., "Heat Transfer and friction correlations and thermal performance analysis for a finned surface", *Energy Conversion Management*, 42 (2001), 1071-1083.
- [3] Tanda, G., "Heat transfer and pressure drop in a rectangular channel with diamond-shaped elements", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 44 (2001), 3529-3541.
- [4] Jeng, T. M., "Thermal performance of in-line diamond-shaped pin fins in a rectangular duct", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 33 (2006), 1139-1146.
- [5] O.N. Sara, T. Pekdemir, S. Yapici, M. Yılmaz, "Heat-transfer enhancement in a channel flow with perforated rectangular blocks", *Int. J. Heat Fluid Fl.*, 22 (2001), 509-518.
- [6] Sahin, B. and Demir, A., "Performance analysis of a heat exchanger having perforated square fins", *Applied Thermal Engineering*, 28 (2008), 621-632.
- [7] Sahin, B. and Demir, A., "Thermal performance analysis and optimum design parameters of heat exchanger having perforated pin fins", *Energy Conversion Management*, 49 (2008), 1684-1695.
- [8] Peng, H. and Ling, X., "Analysis of heat transfer and flow characteristics over serrated fins with different flow directions", *Energy Conversion and Management*, 52 (2011), 826-835.
- [9] Şahin, M. H., Dal, A. R. and Baysal, E., "3-D Numerical study on the correlation between variable inclined fin angles and thermal behavior in plate fin-tube heat exchanger", *Applied Thermal Engineering*, 27 (2007), 1806-1816.
- [10] Xie, G. and Sunden, B., "Numerical predictions of augmented heat transfer of an internal blade tip-wall by hemispherical dimples", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53 (2010), 5639-5650.

- [11]Manay, E., “İçerisine üçgen iç elemanlar yerleştirilmiş kanalda ısı transferi ve akış karakteristiklerinin deneysel ve sayısal olarak incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Erciyes Üniversitesi, 2010.
- [12]FLUENT 6.1.22., “User’s Guide”, Fluent Incorporated, Centerra Resource Park, 10 Cavendish Court, Lebanon, NH 03766, USA, 2001.

ÖZGEÇMİŞ

Eyüphan MANAY

1985 yılı Erzurum doğumludur. 2007 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümünü bitirmiştir. Erciyes Üniversitesi’nden 2010 yılında Yüksek Mühendis ünvanını almıştır. Aynı yıl Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Doktora eğitimine başlamıştır. 2007 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başlamış, 2009 yılında Bayburt üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümüne geçmiş ve halen görevine burada devam etmektedir. Isı transferi, akış görüntüleme, mikrokanaallar ve nanoakışkanlar konularında çalışmaktadır.

Bayram ŞAHİN

1973 yılı Meram/KONYA doğumludur. 1997 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2001 yılında Yüksek Mühendis, 2004 yılında Doktor ünvanını almıştır. 1997–2004 yılları arasında aynı üniversitede Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. Halen Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümü Enerji Anabilim Dalı’nda Doç. Dr. Olarak görev yapmaktadır. Isı transferi ve nanoakışkanlar konularında çalışmaktadır.

Şendoğan KARAGÖZ

1970 yılı Zonguldak doğumludur. 1996 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2002 yılında Yüksek Mühendis, 2007 yılında Doktor ünvanını almıştır. 1998–2007 yılları arasında aynı üniversitede Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. Halen Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı’nda Yrd. Doç. Dr. Olarak görev yapmaktadır. Isı transferi ve iki fazlı akış konularında çalışmaktadır.