

GİRDAP ÜRETİCİLERİNİN DİKDÖRTGEN KESİTLİ KANALIN ISI TRANSFERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Seyfi GİRGİN¹

İTÜ/Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, İstanbul

Bayram ÇELİK²

İTÜ/Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, İstanbul

ÖZET

Bu çalışmada, son günlerde yaygın olarak kullanılan dikdörtgen kanatçık tipindeki girdap üreticilerinin ısı transfer performansına etkisi incelenmiştir. Bunun için Genel Akış Aşağı (CFD) ve Genel Akış Yukarı (CFU) akış konfigürasyonlarına sahip iki yeni tip girdap üreticisi kullanılmıştır. Dikdörtgen kanal içinde girdap üreticiler için ticari bir ağ üretici ve Navier Stokes çözücüsü kullanarak hesaplamalar yapılmıştır. Akışla 15°, 30°, 45°, 60°lik açılar yapacak şekilde yerleştirilmiş ikili ve üçlü çiftler halindeki tasarımlar için 32 farklı akış durumu incelenmiştir. Gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda Nusselt sayısı ve sürükleme faktörü için korelasyon çalışması yapılmış ve elde edilen hata payları literatürde verilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

GİRİŞ

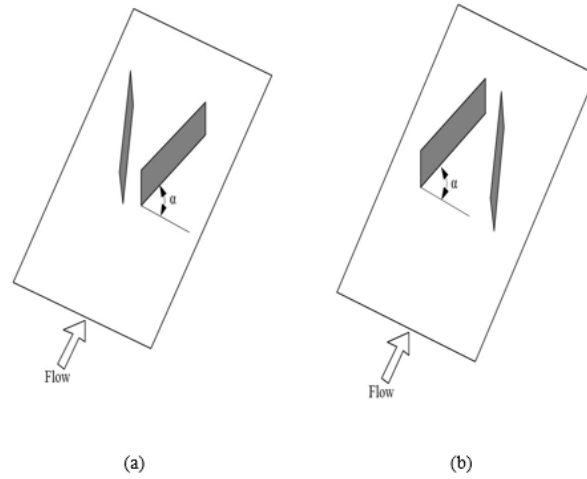
Gelişen teknoloji ile birlikte daha iyi performans veren ısı sistemler tasarlanabilmektedir. Bu nedenle eşanjörlere ihtiyaç duyulan birçok alanda, yüzey alanı diğerlerine göre çok daha fazla olan kompakt tip eşanjörler kullanılır. Kompakt eşanjörlerde ısı transfer performansını arttırmak için genelde iki yoldan biri tercih edilir. Birincisi akışkanın temas ettiği yüzey alanını kanatçık kullanarak arttırmak, diğeri ise girdap jeneratörü kullanarak katı yüzey ile akışkan arasındaki taşınım katsayısını arttırmaktır. Bu çalışmadaki probleme yaklaşım, ikincil akışın yoğunluğunu arttırarak, kanal içinde taşınım katsayısını arttırmaktır [Biswas ve Saha 2014; Kays ve London,1964; Nakayama,1980]

Yeni nesil savaş uçaklarıyla birlikte ısı yükler artmakta ve bu durum bütün Çevresel Kontrol Sistemleri (ÇKS) tasarımını etkilemektedir. Çünkü ÇKS tasarımının yakıt tüketimi, görev profili ve düşük görünürlük gibi etmenlerle birlikte uçak performansında çok büyük etkisi vardır. Bu nedenle hava aracı gereksinimine göre ısı yükler belirlenmeli ve uygun soğutma sistemi (sıvı, hava) seçilmelidir. Ayrıca ÇKS için etkili soğutma sağlayacak kompakt ısı değiştiricilere de karar verilmelidir [Biswas, 1994; Fiebig, Kallweit ve Mitra, 1986; He, 2012; Henze ve Wolfersdorf, 2011].

CFU tipindeki girdap üreticiler oluşan girdapların, akışın bulundukları yüzeyden uzaklaşacakları şekilde yerleştirildiği anlamına gelir. CFD tipindeki girdap üreticiler ise girdaplar arasındaki akışın bulunduğu yüzeye doğru yöneltildiği anlamına gelir. Şekil 1(a)'da CFD konfigürasyonu, şekil 1(b)'de CFU konfigürasyonu gösterilmektedir [Jacobi ve Joardar, 2007; Kwak, Nishino ve Torii, 2012; Lin ve Wang, 2016; Promvong ve Skullong, 2012].

¹ Doktora Öğrencisi Uçak ve Uzay Mühendisliği Böl. E-posta: girgins@itu.edu.tr

² Yardımcı Doçent Doktor Uçak ve Uzay Mühendisliği Böl. E-posta: celikbay@itu.edu.tr



Şekil 1: Genel Akış Aşağı (CFD) (a), Genel Akış Yukarı (CFU) (b)

Çizelge 1: Girdap Üreticileri Parametreleri

Durumlar	Konfigürasyonlar	Şematik Gösterim
1. Durum	CFD-CFD	
2. Durum	CFD-CFU	
3. Durum	CFU-CFD	
4. Durum	CFU-CFU	
5. Durum	CFD-CFD-CFD	
6. Durum	CFD-CFU-CFD	
7. Durum	CFU-CFD-CFU	
8. Durum	CFU-CFU-CFU	

GİRDAP ÜRETİCİLERİNİN YERLEŞİM KONFIGÜRASYONU

Dikdörtgen kesitli bir kanal içinde girdap üreticilerinin akış konfigürasyonunu değiştirerek 8, her akış konfigürasyonunda açıları da değiştirerek toplamda 32 farklı durum ortaya çıkmıştır. Anlatımı kolaylaştırmak için her bir duruma numara verilerek ayrı ayrı incelenmesi yapılmıştır (Çizelge 1). İnceleme kriterleri ısı artım faktörü, basınç düşüşü ve girdaplılık değişimidir. Hesaplanan değerler literatürdeki örnekleriyle karşılaştırılmış ve doğrulanmıştır.

Çizelge 1’de verilen durumlarla ilgili hesaplamalar yapılmış ve her bir konfigürasyona ait performans değerleri verilmiştir. Her bir durum, girdap üreticisi kullanılmayan duruma göre kıyaslanmıştır. 1. kolonda ortalama taşınım katsayısındaki artış değeri, 2. kolonda ortalama sürüklenme faktöründeki artış değeri yüzde(%) cinsinden verilmiştir. Girdaplılıktaki artış ise 2.5 – 3 kat arasında değişmektedir.(Çizelge 2)

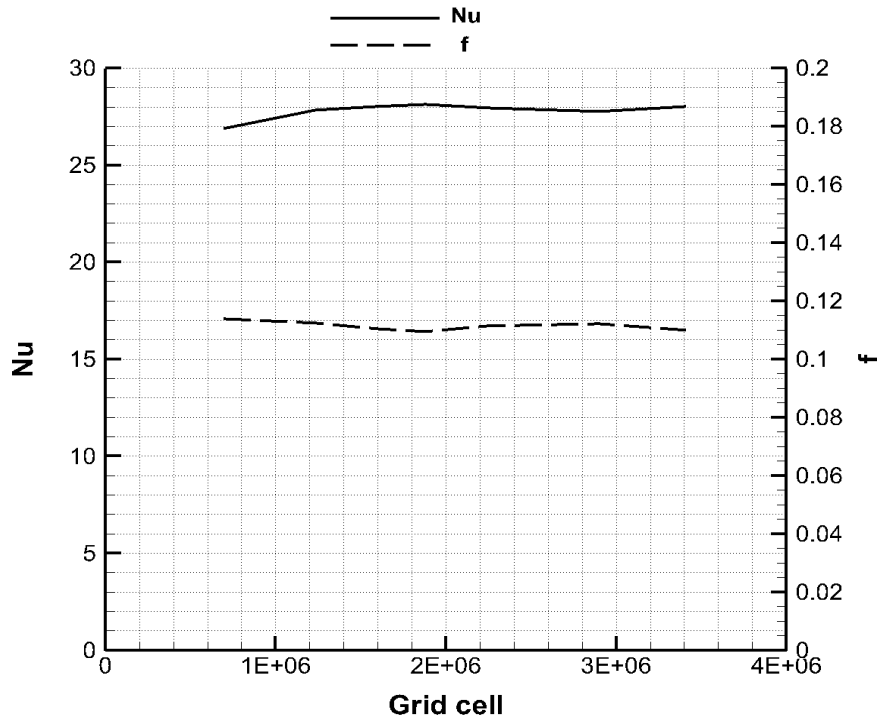
AĞ ÜRETİMİ VE HESAPLAMALAR

Yapısal ağ metodu kullanılmış ve çözüm ağları Pointwise 17’de üretilmiştir. Türbülans modeli olarak k- ω SST seçilmiştir. Ağ üretilirken sınır tabakası içindeki eleman sayısı dikkate alınarak türbülans modelinin daha doğru çözüm vermesi için y^+ 1’den küçük tutulmuştur. Giriş etkileri de dikkate alınarak girdap üreticilerinin akışın kendi karakteristiğini kazandıktan sonra yerleştirilmesine dikkat edilmiştir. Aynı şekilde kanalın çıkış kısmı da geri akış olmaması için uzatılmıştır. Momentum, enerji ve türbülans denklemleri ANSYS Fluent 16’da koşturulmuştur.

Çizelge 2: Taşınım katsayısı ve basınç düşüşümü değerleri

Durumlar	h (%)	ΔP (%)
1. Durum	33.91	54.08
2. Durum	30.08	57.11
3. Durum	32.37	49.87
4. Durum	34.95	56.32
5. Durum	50.62	79.99
6. Durum	39.30	75.64
7. Durum	42.20	78.68
8. Durum	47.77	94.78

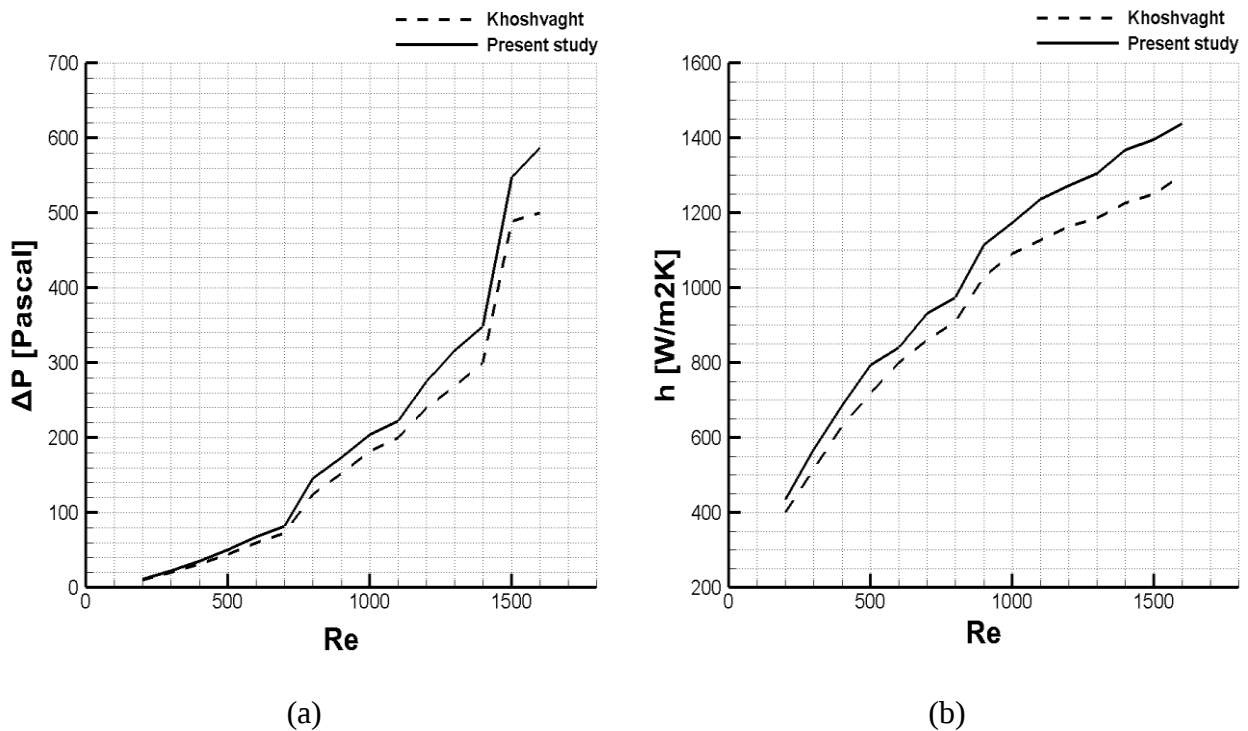
Ağ bağımsızlığı testi için sırasıyla 0.7 milyon, 1.2 milyon, 1.6 milyon, 1.9 milyon, 2.3 milyon, 2.9 milyon ve 3.4 milyon olmak üzere 7 farklı koşu denenmiştir. Çözüm ağı sayısına bağlı sürüklenme faktörü ve Nusselt sayısına bağlı değişim Şekil 2’te gösterilmiştir. Minimum ve maximum hücre sayısına bağlı ağlar arasındaki Nusselt sayısı ve sürüklenme faktörü arasındaki fark %3.5 ve %4.28’ten düşük çıkmıştır. Kalan analizlere 1.2 milyon çözüm ağı ile devam edilmiştir.



Şekil 2: Çözüm Ağı Bağımsızlığı

REFERANS PROBLEMİNİN DOĞRULANMASI

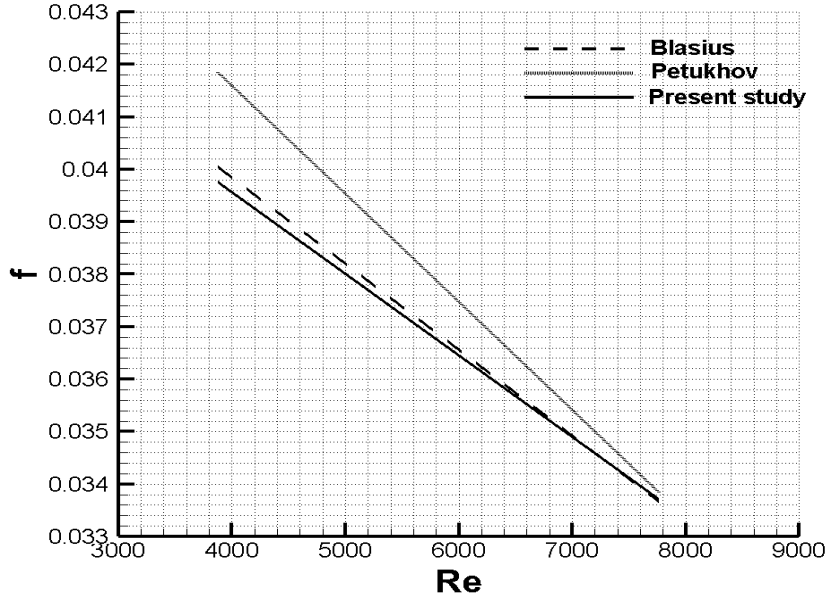
Kompakt eşanjörde girdap üreticilerinin ısı transferine etkisini inceleyen [Khoshvaght, 2015] problemi, doğrulama çözümü için seçilmiştir. Şekil 3'te referans problem ile onu doğrulamak için yapılan mevcut çalışma arasındaki basınç düşüşü ve ısı transfer katsayısının Reynolds sayısı ile olan ilişkisi verilmiştir.



Şekil 3: Doğrulama (a) Basınç Düşüşü (b) Isı Transfer Katsayısı

Kesik çizgiler referans problemi gösterirken, düz çizgi mevcut koşuyu temsil etmektedir. Koşuda Reynolds sayısı 200'den 1600'e kadar değişim göstermektedir. Şekil 3 gösteriyor ki referans problem ile mevcut çalışma arasındaki basınç düşüşü ve ısı transfer katsayısı arasındaki ortalama fark %3.26 ve %4.87'dir.

Referans problemin doğrulanmasının yanında dikdörtgen kesitte sürüklenme faktörü ve Reynolds sayısı arasında ilişki kuran Blasius ve Petukhov doğrulamaları da yapılmıştır.



Şekil 4: Sürüklenme faktörü doğrulaması

Şekil 4'teki sonuca göre mevcut çalışma ile Blasius korelasyonu arasındaki ortalama hata oranı %0.43, Petukhov korelasyonu ile %2.70'tir.

Doğrulama sonuçlarına göre mevcut sayısal model problemin ısı transfer karakteristiğini çözmek için yeterince güvenilir seviyededir.

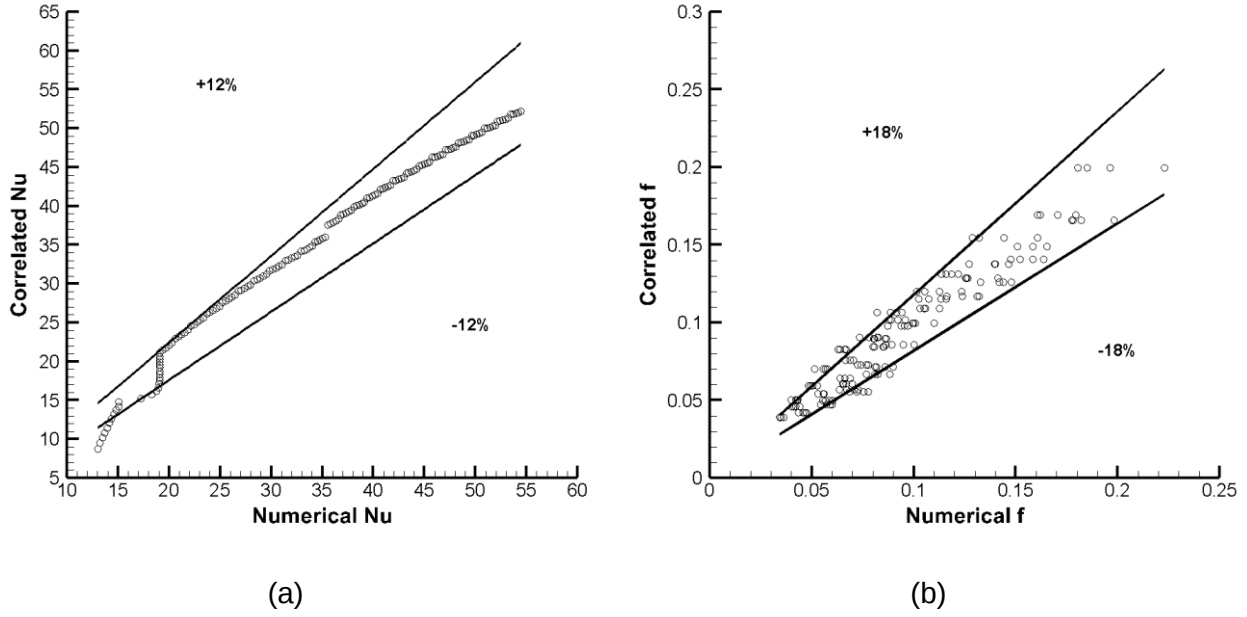
160 farklı koşu için Nusselt sayısı ve sürüklenme faktörü değerleri Reynolds sayısı (Re), Prandtl sayısı (Pr), girdap üreticileri çift sayısı (n), hücum açısı α (°) değerlerine göre objektif fonksiyon oluşturularak korelasyonu sağlanmıştır.

Korelasyon sonucu Nusselt sayısı ve sürüklenme faktörü için objektif fonksiyonlar aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

$$Nu = 0.6161 Re^{0.5364} Pr^{1.2316} n^{0.0766} \left(\frac{\alpha}{180} \right)^{0.0001}$$

$$f = 0.5767 Re^{-0.3649} n^{0.4064} \left(\frac{\alpha}{180} \right)^{-0.2676}$$

Şekil 5.a'ya göre Nusselt sayısı için sayısal analizler ve denkleme göre korelasyona uğramış sonuçlar arasında en fazla $\pm 12\%$ sapma ve ortalama 9.71% hata oranı görülmektedir. Şekil 5.b'ye göre sürüklenme faktörü içinse en fazla $\pm 18\%$ sapma ve ortalama 10.89% hata oranı görülmüştür. [Lin ve Wang, 2016] da benzer objektif fonksiyonları kullanmışlar ve ortalama 10% hata payı ölçmüşlerdir.



Şekil 5: Sayısal çözümün korelasyonlu çözüme karşı grafiği (a) Nusselt sayısı için (b) sürüklenme faktörü için

SONUÇ

8 akış konfigürasyonu, 4 girdap üretici açısı ve 5 farklı Reynolds sayısı (385, 776, 1552, 3881, 7762) ölçümleri ile toplamda 160 durum koşturulmuştur. 160 koşu ile birlikte hesaplanan Nu ve f faktör değerleri için objektif fonksiyonlar belirlenmiştir. Koşu sonucu bulunan nümerik değerler ile objektif fonksiyon sonucu çıkan değerler birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Yapılan hata analizi sonuçlarına göre Nu için ortalama hata oranı %9.71, f faktör içinse %10.89 bulunmuştur.

Analiz sonuçlarına göre girdap üreticilerinin taşınım katsayısında önemli bir rol oynadığı görülmüştür. İkili ve üçlü girdap üretici çiftler karşılaştırıldığında, beklendiği gibi üçlü çiftlerin taşınım katsayısını daha fazla arttırdığı görülmüştür. Fakat basınç düşüşündeki artış da bu çiftlerde daha fazladır. Taşınım katsayısındaki en fazla artış Reynolds sayısının 1500 mertebelerinde seyrettiği durumda oluşurken, basınç kaybındaki artış da aynı Reynolds sayısı seviyesinde gerçekleştiği için bu seviyede etkili bir ısı artırım faktörü elde edilememiştir. Isı artırım faktörünün en iyi olduğu durum ise Reynolds sayısının 4000 mertebesinde, basınç kaybının en düşük olduğu konfigürasyonlarda ortaya çıktığı görülmüştür. 4. durumda 60°'lik girdap üreticili konfigürasyon ısı artım faktörü için en iyi tasarımıken, 8. durum 15°'lik girdap üreticili konfigürasyon ise en kötü tasarımıdır. Girdaplılığın maximum olduğu Reynolds sayısında ve girdap üreticili açıda ısı taşınım katsayısının da maximum olduğu görülmüştür. Buradan girdaplılık ile taşınım katsayısı arasında doğrudan bir bağlantı olduğu sonucuna varılmıştır. [Çelik ve Girgin, 2017]

Kaynaklar

Biswas, Heat transfer enhancement in fin-tube heat exchangers by winglet type vortex generators, International Journal of Heat and Mass Transfer 37, s.283-291, 1994

Biswas ve Saha, Comparison of winglet type vortex generator periodically deployed in a plate-fin heat exchanger, International Journal of Heat and Mass Transfer 74, s.292-305, 2014

Çelik ve Girgin, An Investigation of Heat Transfer Performance of Rectangular Channel by Using Vortex Generators, Master Thesis, ITU, 2017

Fiebig, Kallweit ve Mitra, Wing type vortex generators for heat transfer enhancement, 8th International Heat Transfer Conference, San Francisco, California, 1986

- He, Numerical study on heat transfer enhancement by punched winglet type vortex generator arrays in fin and tube heat exchangers, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 55, s.5449-5458, 2012
- Henze ve Wolfersdorf, Influence of approach flow conditions on heat transfer behind vortex generators, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, s.279-287, 2011
- Jacobi ve Joardar, A numerical study of flow and heat transfer enhancement using an array of delta-winglet vortex generators in a fin and tube heat exchangers, *Journal of Heat Transfer (ASME)* 129, s.1156-1167, 2007
- Kays ve London, *Compact Heat Exchangers*, New York, McGraw-Hill Book Company, s.1-3,1964
- Khoshvaght, Performance of a plate-fin heat exchanger with vortex generator channels: 3D-CFD simulation and experimental validation, *International Journal of Thermal Science* 88, p.180-192, 2015
- Kwak, Nishino ve Torii, Heat transfer enhancement accompanying pressure loss reduction with winglet type vortex generators for fin-tube heat exchanger, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 45, s.3795-3801, 2002
- Lin ve Wang, Numerical study of the laminar flow and heat transfer characteristics in a tube inserting a twisted tape having parallelogram winglet vortex generators, *Applied Thermal Engineering*, 2016
- Mori ve Nakayama, Recent Advances in Compact Heat Exchangers in Japan, History, Technological Advancement and Mechanical Design Problems, 10, s.5-16, 1980
- Promvonge ve Skullong, Heat transfer in square duct fitted diagonally with angle-finned tape-part 1: experimental study, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 39, s.617-624, 2012