

İÇ ISI ÜRETİMLİ SİLİNDİRİK ÇUBUKLARDA BİRLEŞİK ISI TRANSFERİNİN SAYISAL ANALİZİ

Bilge ALBAYRAK

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 38039, Kayseri, Türkiye

ÖZET

Birleşik ısı transferi olarak adlandırılan iletim ve taşınım ile ısı transferinin mühendislikte bir çok uygulamaları bulunur. Bu çalışmada, eşkenar üçgen şeklinde düzenlenmiş içerisinde ısı üretimi olan üç silindirik çubuk etrafında zorlanmış taşınım ile birleşik ısı transferi incelenmiştir. Ayrıca inceleme, serbest akım hızının beş farklı durumu ($u_{\infty}=1, 2, 3, 4$ ve 5 m/s) ve ana ve yardımcı koordinat sistemi arasında altı farklı dönme açısı durumu ($\alpha=0, \pi/12, \pi/6, \pi/4, 5\pi/12$ ve $\pi/2$) için yapılmıştır. Silindirler içerisinde ısı iletimi (1) ve silindir yüzeylerinden akışkan ortamına ısı taşınımı (2) olmak üzere iki özellik dikkate alınmıştır. Bu çalışmanın amacı bu birleşik ısı transferini sayısal olarak çözmektir. Bu yüzden, sayısal hesaplamalar PHONEICS 3.2 bilgisayar kodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İlgili hız vektör alanları, ilgili sıcaklık (θ) ve boyutsuz basınç katsayısı (C_p^*) dağılımları α ve u_{∞} 'un tüm durumlarında teker teker hesaplanmıştır. Serbest akım hızının artmasıyla boyutsuz basınç katsayısı önemli bir şekilde azalmış ve daha etkin bir soğutma sağlamıştır. α 'nın tüm durumlarında, özellikle simetrik düzenlemelerde her bir silindir içerisindeki sıcaklık dağılım profilleri yüksek serbest akım hız durumunda diğer silindirlerin profillerine benzerdir.

Anahtar kelimeler: Birleşik ısı transferi, Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, Silindirik çubuk.

NUMERICAL ANALYSIS OF CONJUGATE HEAT TRANSFER OF CYLINDRICAL RODS WITH INTERNAL HEAT GENERATION

ABSTRACT

Both of conduction and convection heat transfers that called conjugate heat transfer occur in many engineering applications. In this study, the conjugate forced convection flow around three cylindrical heat generating cylinders in equilateral-triangular arrangement has been investigated. Also investigate has been done for the six different cases of axis rotation angle between the main and auxiliary coordinate systems ($\alpha=0, \pi/12, \pi/6, \pi/4, 5\pi/12$ and $\pi/2$) and the five different cases of free stream velocity ($u_{\infty}=1, 2, 3, 4$ and 5 m/s). Two phenomena have been considered as; (1) conduction inside the cylinders and (2) convection from the cylinders surface to the surrounding fluid. The aim of this study is to solve numerically this conjugate heat transfer. Therefore, the numerical calculations have been performed by using the PHONEICS 3.2 computer code. The relative velocity vector fields, relative temperature (θ) and dimensionless pressure coefficient (C_p^*) distributions have been calculated individually in all cases of α and u_{∞} . The increment of free stream velocity significantly decreases dimensionless pressure coefficient and supplies more effective cooling. In all cases of α , especially the symmetric arrangements, the temperature distribution profiles inside the each cylinder in the case of high free stream velocity are quasi-equal to the profiles of the other cylinders.

Keywords: Conjugate heat transfer, Computational fluid dynamics, Cylindrical rod.

E-mail: balbayrak@erciyes.edu.tr

GİRİŞ

Mühendislik problemleri analitik, nümerik ve deneysel olarak çözülebilmektedir. Deneysel çalışma gerçek yapıyı ihtiva ettiğinden tercih edilir. Bununla birlikte ekonomik nedenlerden her problemin çözümü bulunamaz. Bu nedenle analitik çözüm aranır. Genellikle bir diferansiyel denklemin çözümünü gerektiren analitik çözüm, diferansiyel denklemin yapısına bağlı olarak her zaman çözüm vermez. Bu durumda diferansiyel denklemin nümerik çözümü aranır. Nümerik çözümün hassasiyeti ise kullanılan yöntem ve bilgisayarın kapasitesine bağlıdır. Günümüzde, sonlu elemanlar çok kullanılan bir yöntemdir. Yeter ki eleman tercihi ve uygun bir bilgisayar kullanılırsa bir problemi çözmek ve modellemesini yapmak çok kolay olacaktır. Bulunacak çözüm analitik çözüme çok yakın olacaktır. Dolayısıyla bir deneysel çalışma yapmadan veya bir dizayn işlemine başlamadan nümerik çözümün ortaya çıkarılması pek çok ekonomik ve teknolojik fayda sağlayacaktır.

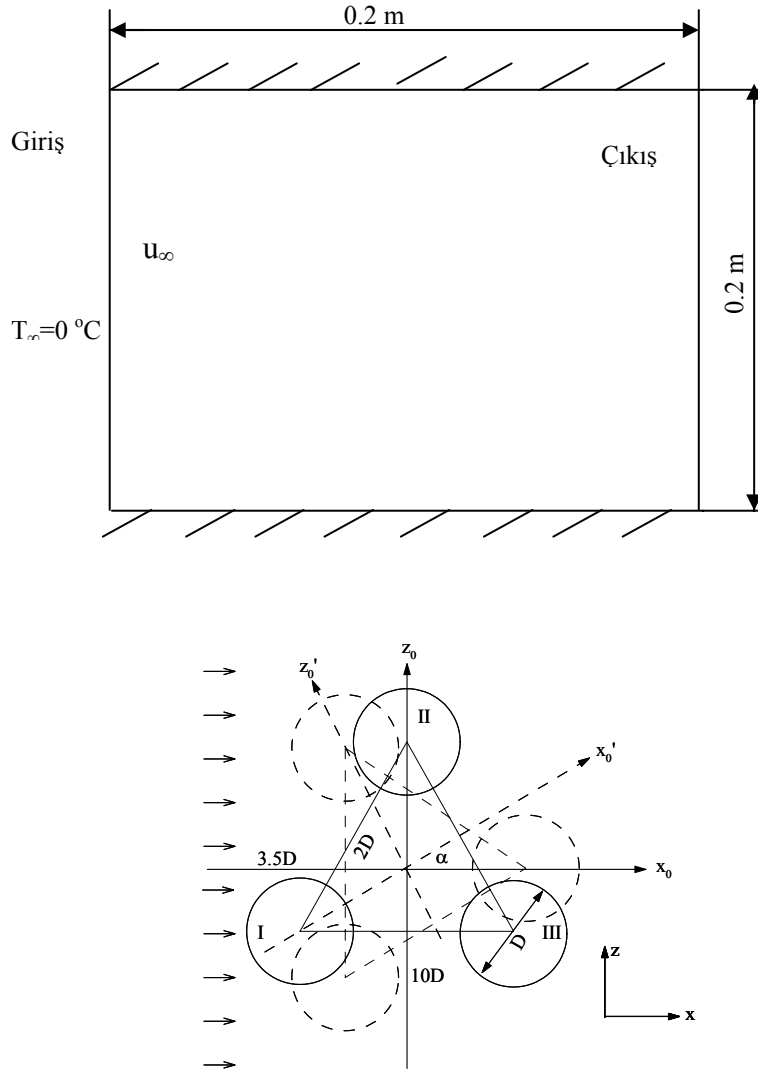
Bu faydaların yanında imalat ve kullanım kolaylığı nedeniyle silindirik geometriler tercih edilen yapılardır. Bu nedenle silindir etrafında akış veya boru içerisinde akış sıkça karşılaşılan problemlerdir. Daha önceki araştırmalarda farklı geometri ve sınır şartlarında birleşik ısı transferi incelenildi. Bassam ve ark. [1], farklı hücum açılarında çapraz akışta izotermal silindir için laminer karma taşınım korelasyonlarını incelemişlerdir. Çalışmalarında izotermal silindirden laminer karma taşınımı nümerik olarak çözmüşler ve Re sayısı, kaldırma kuvveti parametreleri ve hücum özkül açısı değer aralıklarında farklı korelasyonlar sunmuşlardır. Goto ve ark. [2], dairesel bir borunun hexagonal kafesi etrafında ısı akısını inceleyerek bir ısı eşanjöründeki iki akışkanda sıcaklık dağılımları için formüller türetmişlerdir. Geniş yatay silindirler etrafında suyun doğal taşınım akışı deneysel olarak Kitamura ve ark. [3], tarafından incelenmiştir. Araştırmalarının sonuçları katsayıların türbülanslı ve geçiş bölgesinde görülebilir bir biçimde arttığını göstermiştir. Mingyu ve ark. [4], sonlu ve sonsuz sıralı silindirler üzerindeki laminer akış alanında düzgün zorlanmış taşınım ısı transferinin nümerik simülasyonunu yapmışlardır. Bu çalışmada ısı iletkenliğin sıvı-katı oranı birleşik olandan daha büyük seçildiğinde, sonuçlar iç ısı üretimli durumun izotermal silindir düzenlemeden çok farklı olduğunu göstermiştir. Jilani ve ark. [5], ısı üretimli dikey bir silindir üzerindeki iletim ve zorlanmış taşınım ısı transferini nümerik olarak incelemişlerdir. Çalışmaları, silindire kadar sınır tabakadaki radyal sıcaklık dağılımını dikkate almış ve silindirdeki iç ısı üretiminin de dahil edilmesiyle önemli olduğunu göstermiştir. Hatipoğlu ve Avcı [6], bir silindir etrafındaki akışı incelemesi sonucunda CFD bilgisayar yazılımı kullanarak potansiyelin resmini, yarısı gömülmüş silindir etrafında iki boyutlu akış karakteristiklerini dikkate alarak gerçekleştirmişlerdir. Vijasri ve ark. [7], normal dizilişli uzun dairesel silindirlerde akışkanların daimi akım kanununu normal dizilişli uzun dairesel silindirler için teorik olarak incelemişler ve sonlu farklar metodu kullanarak nümerik olarak çözmüşlerdir. Bu çalışmada tahmin edilen sonuçlarla, analitik ve deneysel sonuçlar arasındaki uyum literatürle karşılaştırılmıştır. Üniform akımda yer alan ve ekseni etrafında dönel salınım hareketi yapan zorlanmış taşınımındaki ısıtılmış bir silindir Mahfouz ve Badr [8], tarafından incelenmiştir. Tsutsui ve İgarashi [9], bir hava akımında dairesel bir silindirin çekme indirgemesini araştırmışlardır. Çalışmalarında, hava akımında dairesel bir silindir etrafındaki akışı kontrol etmek için bir çubuk dairesel silindirin akış yukarısına konulmuş ve çubuğun çapına, pozisyonuna ve Re sayısına bağlı olarak akım çizgileri değiştirilmiştir. Gu ve Sun [10], eşkenar üçgen dizilişte paralel üç silindirin rüzgar tüneli kullanılarak çapraz üniform akışta akım çizgilerinin sınıflandırmalarını incelemişlerdir. Çalışmaları, akım açısının güçlü bir şekilde akım çizgilerini ve bu nedenle basınç dağılımlarını her bir silindirde etkilediğini göstermiştir.

Yakıt çubuklarındaki sıcaklık dağılımı, maksimum yakıt sıcaklığı ve bu çubukların soğutulması nükleer reaktör performansını değerlendirmek için gereklidir. Bu yüzden füzyon üretim reaktörlerinde yakıt elementi çubuklarının sıcaklık dağılımı Yapıcı [11], ve Yapıcı ve ark. [12-13], tarafından incelenmiştir. Bu çalışmalarda, yakıt çubuklarının yüzey sıcaklığı sabit varsayılmış ve çubukların sıcaklık dağılımının hesaplanmasında sadece iletim ile olan ısı transferi dikkate alınmıştır.

PROBLEMİN TARİFİ

P silindir merkezleri arası mesafe, D ise silindir çapı olmak üzere; adım uzunluğu silindir çapının iki katı ($P=2D$) alınmıştır. Silindirin içerisinde iletim ve silindirin yüzeyinden akışkan ortamına taşınım olmak üzere iki farklı ısı transferi eş zamanlı olarak birlikte ele alınmıştır. Taşınım ısı transferinin ve iletimle ısı transferinin birlikte ele alındığı, birleşik ısı transferi nümerik olarak PHOENICS 3.2 [14] bilgisayar kodu yardımıyla çözülmüştür.

Bu çalışmada, içerisinde ısı üretimi olan eşkenar üçgen dizilişe sahip silindirler dışında akan hava tarafından soğutulmaktadır. Şekil 1’de kullanılan koordinat sistemi ve fiziksel model gösterilmiştir. Yardımcı koordinat sistemi silindirlerin merkezleri tarafından oluşturulan eşkenar üçgenin ağırlık merkezinde yer almaktadır. İnceleme, esas ve yardımcı koordinat sistemi arasındaki eksenel dönme açısının altı farklı ($\alpha = 0, \pi/12, \pi/6, \pi/4, 5\pi/12$ ve $\pi/2$) durumunda gerçekleştirildi. Aynı zamanda bu yardımcı koordinat sisteminin açısal dönmesi akışın hücum açısının değişimini göstermektedir. Akış yönünde ve eşkenar üçgenin ağırlık merkezi üzerinde çizilen çizgi simetri çizgisi olarak adlandırılmıştır. Silindir içerisindeki sıcaklık dağılımı ısı iletim denklemleri yardımıyla çözümlenirken akış alanındaki hız ve sıcaklık alanlarını çözmek için süreklilik, momentum ve enerji denklemleri kullanılmıştır.



Şekil 1. Fiziksel model ve koordinat sistemi.

a) Fiziksel özellikler:

0.1 Mpa hava için, $\rho = 1.189 \text{ kg/m}^3$, $C_p = 1005 \text{ J/kgK}$, $k_h = 0.0258 \text{ W/mK}$ ve $\nu = 1.544 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, $T_\infty = 0 \text{ °C}$.

Burada

ρ : Yoğunluk

C_p : Özgül ısı

k_h : Havanın ısı iletim katsayısı

v: Kinematik viskozite

T_∞ : Serbest akım sıcaklığı

Silindir için, $D=0.01$ m ve $q'''/k_s = 10^6$ K/m².

D: Çap

q'''/k_s : Isı üretiminin silindirin ısı iletim katsayısına oranı'dır.

b) Hesaplama yöntemleri:

Bu çalışmada, PHOENICS 3.2 SIMPLE algoritmayı kullanan bilgisayar kodundan nümerik değerlendirme için yararlanılmıştır. Çözümde k - ϵ türbülanslı model seçilerek çözüme gidilmiştir. Nümerik çözümde kullanılan PHOENICS 3.2 bilgisayar kodu;

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \nabla(\rho u\phi) = \nabla(\Gamma\nabla\phi) + S_h$$

formundaki diferansiyel denklemleri çözer. ϕ sembolik değişken (u ; v ; T) değişken çözümlerinde, Γ değiştirme katsayısı ve S_h kaynak şartlarıdır.

KULLANILAN DENKLEMLER

Çözümde kullanılan denklemleri kompleks formda yazmak yerine daha basit bir formda ifade etmekte mümkündür. Denklemler tek bir form altında toplandığında:

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u\phi - \Gamma_\phi \frac{\partial\phi}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v\phi - \Gamma_\phi \frac{\partial\phi}{\partial y}) = S_\phi \quad (1)$$

şeklinde yazılabilir.

Süreklilik denklemi için:

$$\phi=1, \quad \Gamma_\phi=0, \quad S_\phi=0$$

Momentum denklemi için:

$$\phi=u, v, \quad \Gamma_\phi=\mu_{eff}$$

$\phi=u$, olduğunda

$$S_\phi = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}(\mu_{eff} \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial x}(\mu_{eff} \frac{\partial v}{\partial x})$$

$\phi=v$, olduğunda

$$S_\phi = -\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x}(\mu_{eff} \frac{\partial u}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mu_{eff} \frac{\partial v}{\partial y}) - \rho g$$

Enerji denklemi için:

$$\phi=T, \quad \Gamma_\phi=\phi \frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_t}{\sigma T}, \quad S_\phi=0$$

Katıdaki iletim denkleminin gösterimi:

$$\nabla^2\theta_s + \frac{q'''}{k_s} = 0 \quad (2)$$

Boyutsuz basınç katsayısı (C_p^*):

$$C_p^* = \frac{\Delta p}{0.5 \cdot \rho \cdot u_\infty^2} \quad (3)$$

Problemin çözümünde kullanılan sınır şartları;

Akış daimi olduğu için $\frac{\partial}{\partial t} = 0$

Girişte;

Akış iki boyutlu olarak dikkate alınmaktadır.

$u(x,0)=u_{\infty}=1,2,\dots,5$ m/s

$u(0,z)=0$ ve $T_{\infty}=0$ °C 'dir.

Alt ve üst duvarda $T_{alt}=T_{üst}=0$ °C 'dir.

Silindirlere içerisinde ısı üretimi olduğu, silindir malzemesinin ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişmediği ve silindir malzemesinin homojen ve izotropik olduğu kabul edilmiştir. Akışkanın termo fiziksel özelliklerinin değişimleri ihmal edildiği kabul edilerek çözümlerde büyük bir kolaylık sağlanması hedeflenmiştir.

SAYISAL SONUÇLAR

Vektörel Hız Dağılımları:

Şekil 2. $u_{\infty}=1$ m/s için tüm açılarda hız vektörünü göstermektedir. Eşkenar üçgenin simetri çizgisini göstermesi ile aksel simetrik olduğu gerçeği, her bir silindiri farklı hız vektörü büyüklüklerine maruz bırakmıştır. Silindirlere aksel yönde çarpan hızlar ve silindirlerin arka iz bölgelerinde oluşan hız vektörleri net olarak her bir farklı hücum açısı değerlerinde görülmektedir. Hız vektör alanları, $\alpha=\pi/6$ ve $\alpha=\pi/2$ 'de simetri çizgisine uyması ile simetriktr.

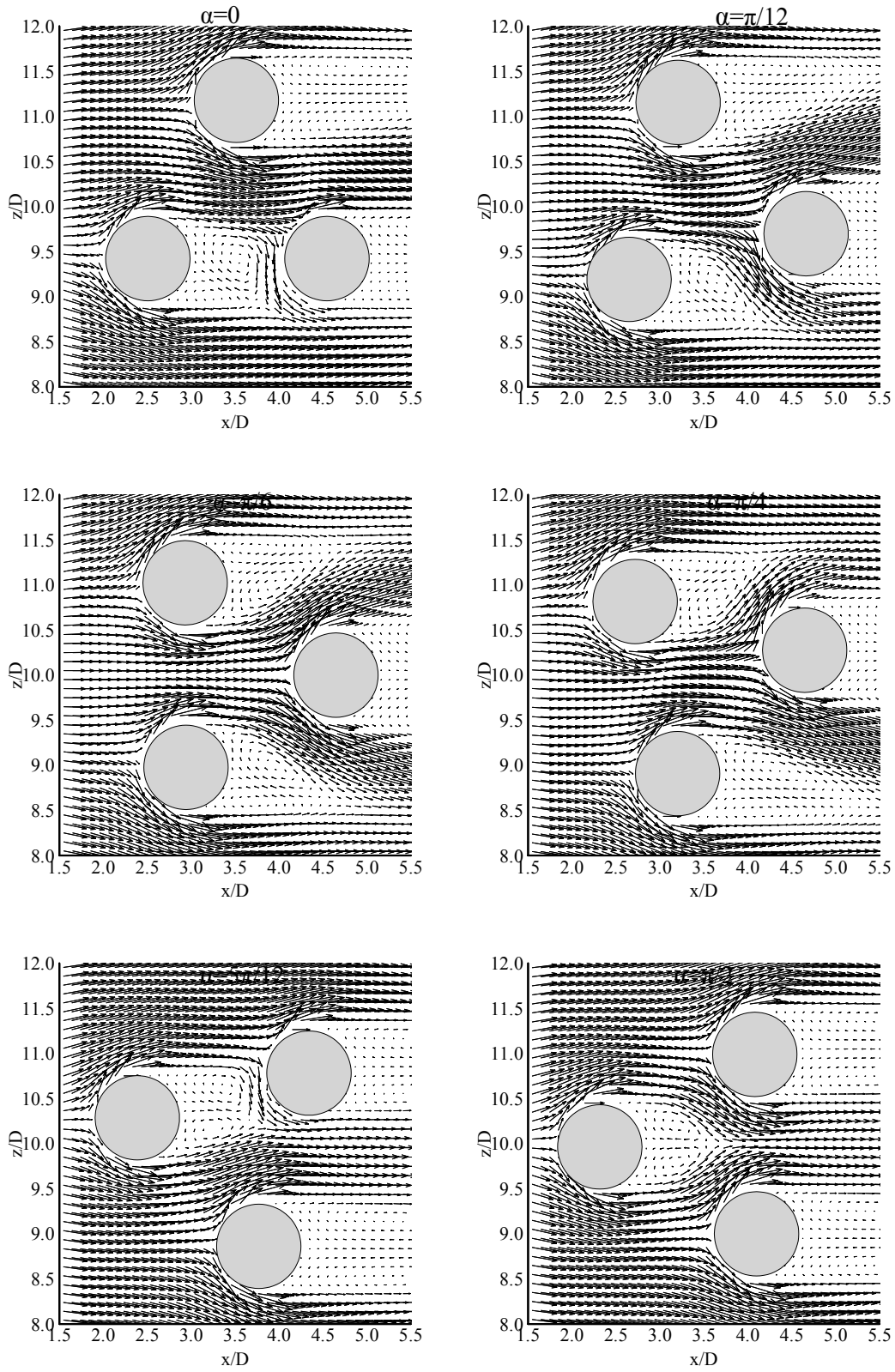
1 m/s, 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s ve 5 m/s'lik hızlar tüm açı değerlerinde çizilmiş fakat burada fazla yer tutmaması için Şekil 3'de 5 m/s için hız dağılımı gösterilmiştir. Serbest akış hızının artması girdapların oluşmasına sebep olmuştur. Bu oluşan girdaplar hızın büyük olduğu değerlerde daha belirgin olmuştur. Hücum açısının konumuna bağlı olarak akıştaki düzensizlik farklı girdap oluşumlarına sebep olurken hücum açısının 90° olduğu konumlar da silindirin iz bölgesinde oluşan girdaplarda bir simetriklik söz konusudur. Hızın artması vektör çizgilerinin yoğunluğunu artırmıştır. Bu artış kesitin daraldığı yani silindirlere arasındaki mesafelerin açığa bağlı değişim gösterdiği noktalarda daha belirgin gözlenmiştir. Hızların artması vortekslerin oluşmasını sağlayarak türbülans oluşturmuştur. Akışın türbülanslı olması aynı zamanda ısı taşınım katsayısını artırmış böylece daha etkin bir soğumanın olmasını sağlamıştır.

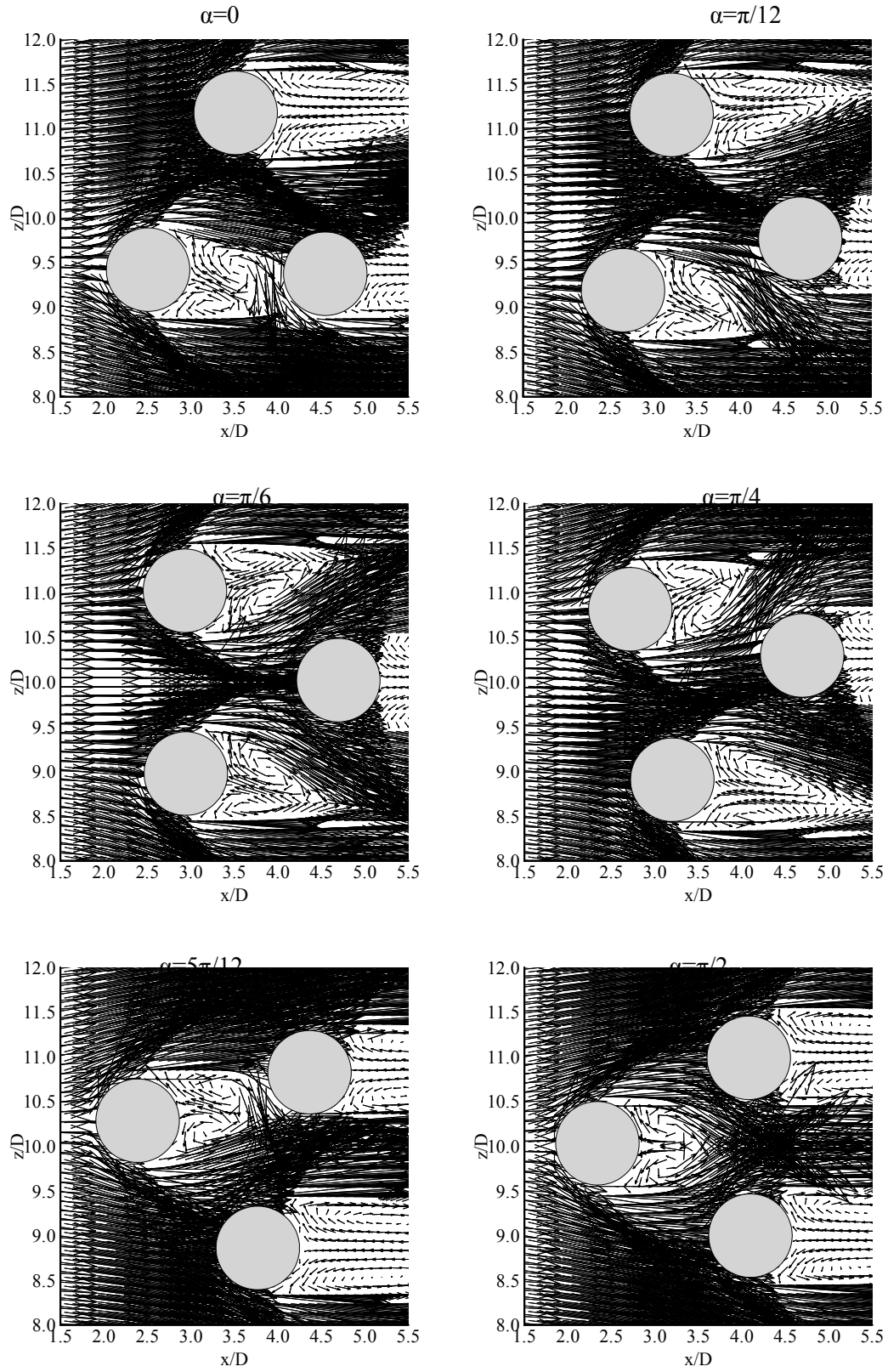
Boyutsuz Basınç Katsayısı (C_p^*) Dağılımları:

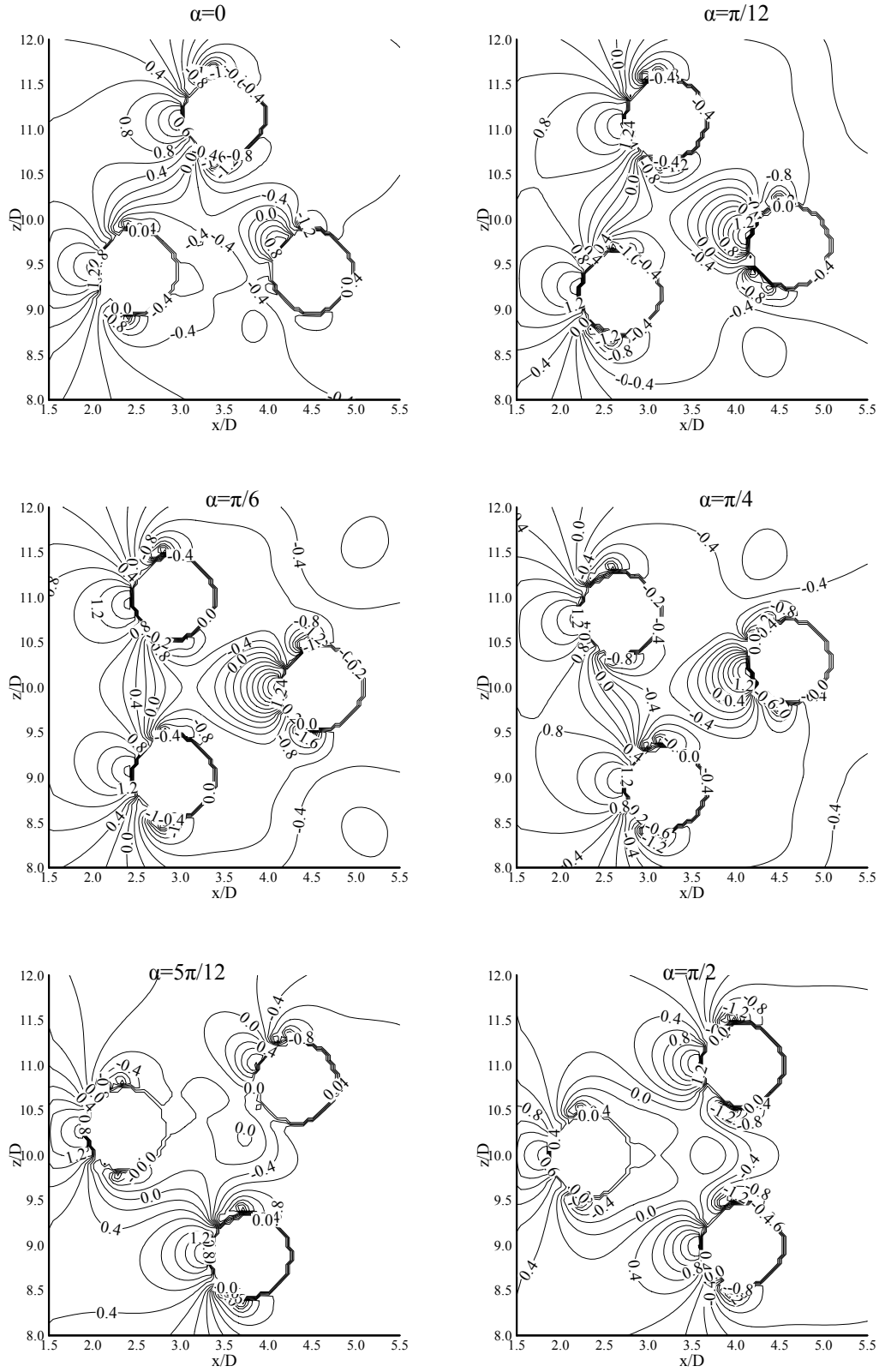
Farklı akış çizgileri silindirlerin yüzeyindeki basınç dağılımı üzerinde etkilidir. Hızlara bağlı olarak hücum açısının değişik konumlarında C_p^* dağılımları şekil 4 ve şekil 5'de gösterilmiştir. Hızın maksimum olduğu bölgelerde basınçtaki düşüşün basınç katsayısında da bir düşüşe sebep olduğu görülmüştür. Bu düşüş negatif değerlere kadar ulaşmıştır. $u_{\infty}=1$ m/s için $\alpha=0$ ve $\pi/4$ konumunda C_p^* -2.31 den 1.65'e ve -2.06'dan 1.66'ya, aynı hız için $\alpha=\pi/6$ ve $\pi/2$ konumlarında ise boyutsuz basınç katsayıları -2.22'den 1.67'ye ve -2.24'den 1.68'e değişmektedir. $u_{\infty}=5$ m/s için $\alpha=0$ ve $\pi/4$, $\alpha=\pi/6$ ve $\pi/2$ konumlarında takip edilen sıraya göre -2.65'den 1.57'ye ve -2.42'den 1.57'ye, -2.60'dan 1.56'ya ve -2.59'dan 1.61'e değişim gösterdikleri görülmüştür. Bu değerler ve şekillerden görüldüğü gibi serbest akım hızının artması C_p^* 'ı azaltmıştır. Bununla birlikte; aksel dönme açısının (akışın hücum açısı) değişiminin basınç dağılımlarını çok etkilemediği gözlenmiştir. Her bir hız için açığa bağlı C_p^* değerleri minimum ve maksimum olmak üzere Tablo 1'de verilmiştir.

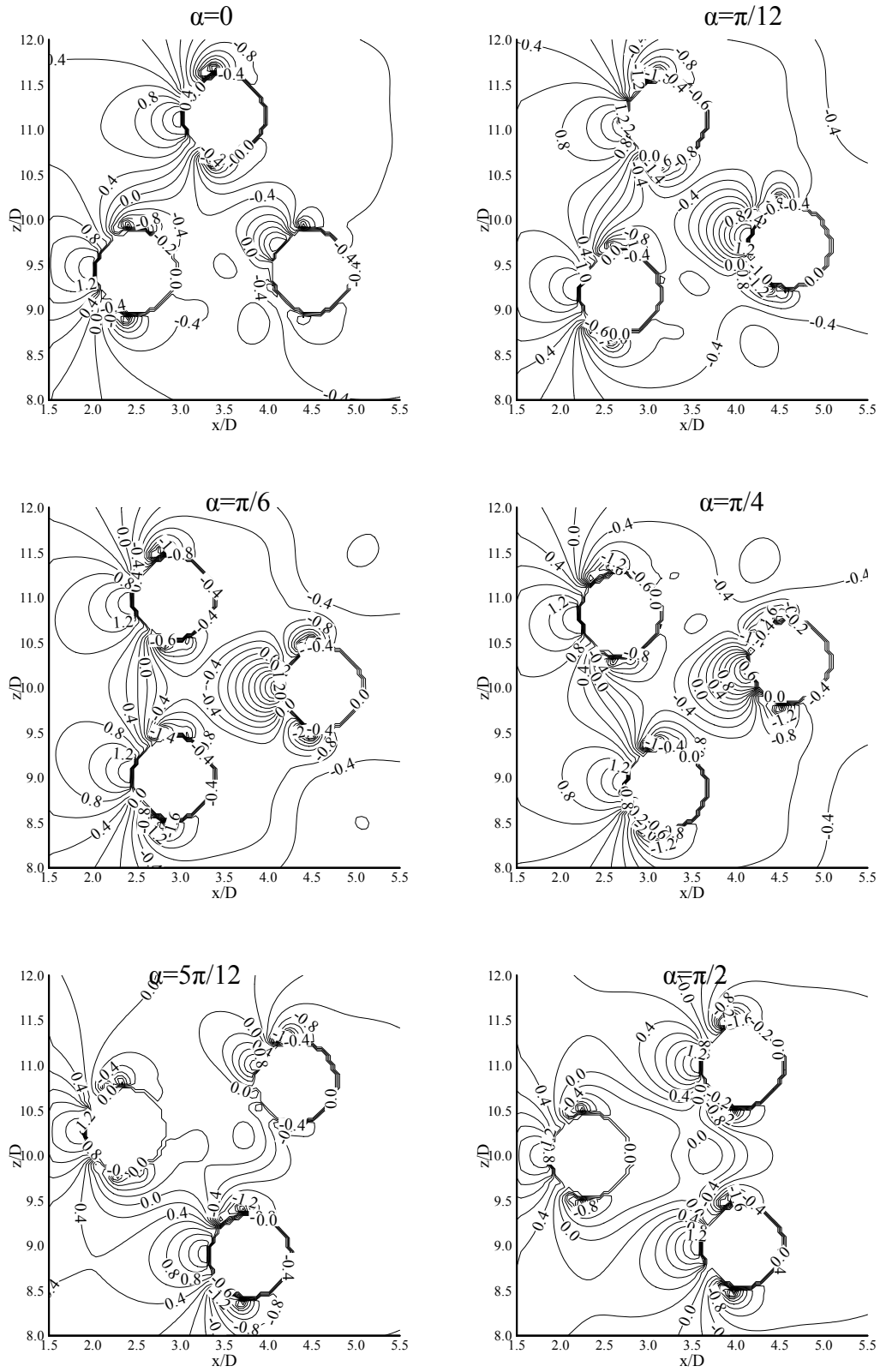
Tablo 1. Boyutsuz basınç katsayısındaki değişimler.

Hızlar	$\alpha=0$ Min./Mak.	$\alpha=\pi/12$ Min./Mak.	$\alpha=\pi/6$ Min./Mak.	$\alpha=\pi/4$ Min./Mak.	$\alpha=5\pi/12$ Min./Mak.	$\alpha=\pi/2$ Min./Mak.
1 m/s	-2.31/1.65	-2.05/1.66	-2.22/1.67	-2.06/1.66	-2.01/1.67	-2.24/1.68
2 m/s	-2.53/1.60	-2.26/1.61	-2.46/1.60	-2.29/1.61	-2.18/1.64	-2.45/1.64
3 m/s	-2.59/1.59	-2.33/1.59	-2.54/1.58	-2.36/1.59	-2.24/1.62	-2.53/1.62
4 m/s	-2.63/1.58	-2.37/1.58	-2.58/1.57	-2.40/1.58	-2.27/1.62	-2.57/1.62
5 m/s	-2.65/1.57	-2.39/1.57	-2.60/1.56	-2.42/1.57	-2.28/1.61	-2.59/1.61

Şekil 2. $u_\infty=1$ m/s için vektörel hız dağılımları.

Şekil 3. $u_\infty = 5$ m/s için vektörel hız dağılımları.

Şekil 4. $u_\infty=1$ m/s için boyutsuz basınç katsayısı dağılımları.

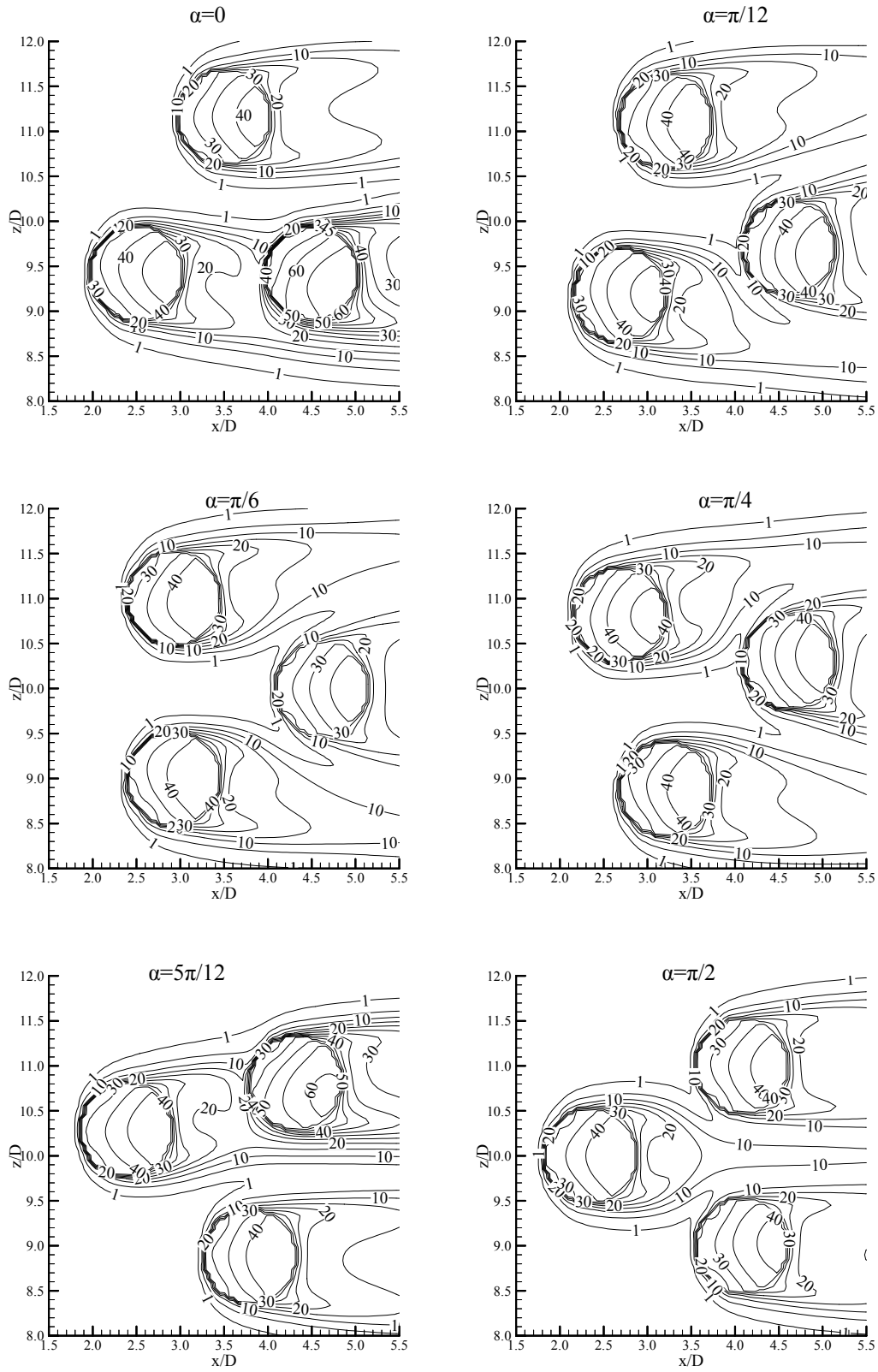
Şekil 5. $u_\infty = 5$ m/s için boyutsuz basınç katsayısı dağılımları.

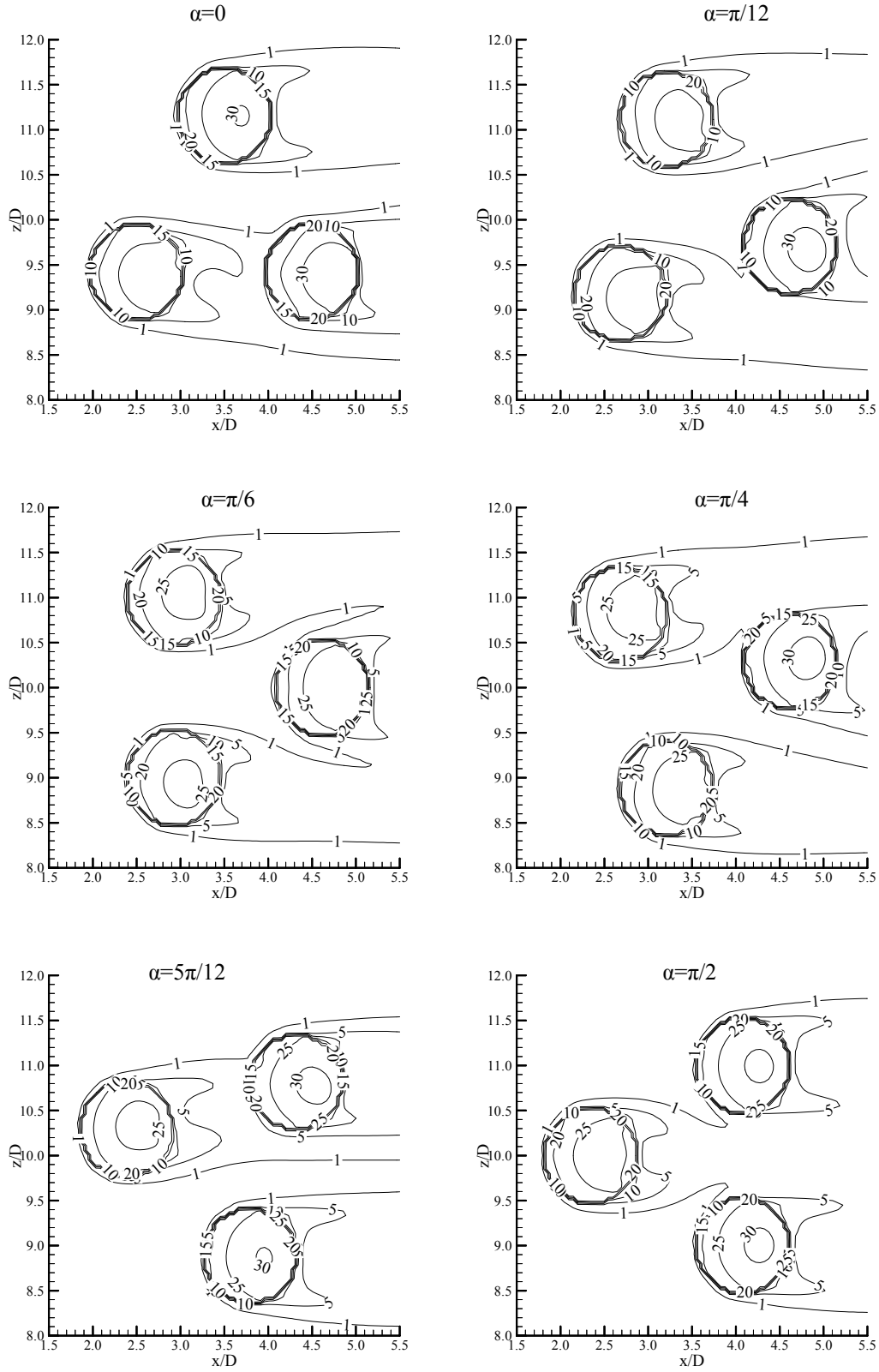
Sıcaklık Dağılımları:

Şekil 6'da havanın $u_{\infty}=1$ m/s'lik bir hıza sahip olduğu durum için α açısının tüm konumlarında ($\alpha=0, \pi/6, \pi/4, 5\pi/12$ ve $\pi/2$) silindirler de oluşan sıcaklık dağılımları gösterilmiştir. Hücüm açısının $\alpha=0$ konumunda, üst kısımdaki silindir soğutucu akışkandan direkt etkilenmiş ve tek silindir etrafında oluşan sıcaklık dağılımına benzer özellik sergileyerek simetrik bir dağılım göstermiştir. Alt kısımdaki ardışık sıralı ilk silindir, ikinci silindiri etkilemekte ve iki silindirinde arka iz bölgelerine yakın noktalarda meydana gelen maksimum sıcaklıklar sırasıyla 45°C ve 65°C olarak gözlenmiştir. Sıcaklık değişimindeki yoğunluk geniş bir alana yayılmıştır. $\alpha=\pi/4$ konumunda ise, her üç silindire akışkan direkt etkimiş ve farklı sıcaklıklar elde edilmiştir. $\alpha=\pi/12$ konum itibari ile alt kısımdaki silindir arka iz bölgesinin etkisiyle diğer silindiri etkilemiştir. $\alpha=5\pi/12$ durumunda maksimum sıcaklık, ikinci silindirde ve arka iz bölgesine yakın kısımda 60°C olarak gözlenmiştir. Sebebi ise öndeki silindirin arkadaki silindiri sıcaklık dağılımı ile etkilemesidir. Alt silindir ise akışkandan direkt etkilenmesine rağmen çok azda olsa diğer silindirlerin sıcaklık dağılımlarından etkilenmiştir. Aynı zamanda arka iz bölgesinde simetrik bir sıcaklık dağılımı göstermiştir. Silindirler $\alpha=\pi/6$ ve $\alpha=\pi/2$ 'de yapı olarak birbirine ters bir konum sergilemektedir. $\pi/6$ 'da ön kısımdaki iki silindir birbirine paralel iken, üçüncü silindir arka kısımda'dır. $\alpha=\pi/2$ 'de ise arkada kalan tek silindir ön kısımda yer alırken, bu kez paralel iki silindir arka kısımda kalmıştır. Her iki açı durumunda simetrikliğin olduğu açık bir şekilde görülmüştür. $\alpha=\pi/6$ konumunda paralel silindirler kesitin daralmasını sağlayarak arkadaki tek silindirin ön kısmının etkin bir şekilde soğumasını sağlamıştır. $\alpha=\pi/2$ konumunda ise öndeki tek silindir sıcaklık dağılımıyla azda olsa paralel silindirleri etkilemiş fakat simetrikliği bozmamıştır. Buradaki simetriklik $\alpha=\pi/6$ 'dan farklı bir simetrikliktir.

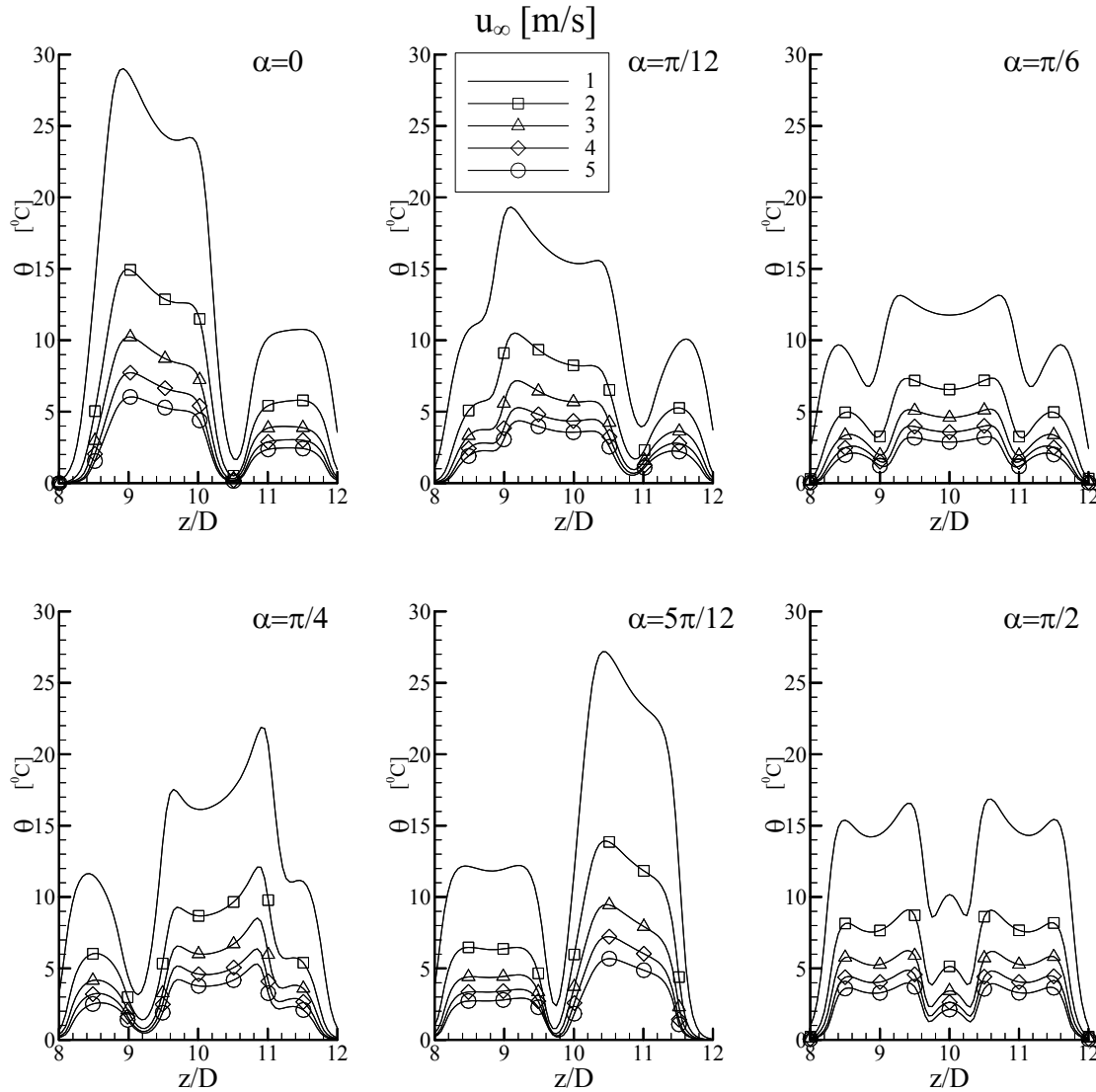
2 m/s, 3 m/s, 4 m/s ve 5 m/s'lik akış hızları için elde edilen şekillerden silindirlerin iz bölgelerinde oluşan sıcaklık dağılımlarının yoğunluğu artan hız ile azalmıştır. Silindirlerdeki maksimum sıcaklık değerleri ve bölgesi biraz daha düşmüştür. Artan akış hızının taşınım katsayısındaki artırıcı etkisi burada da devam etmektedir. Ancak şekillerden görüldüğü gibi maksimum sıcaklığın etkili olduğu saha daralmıştır. α 'nın tüm konumlarında, özellikle simetrik düzenlemelerde, yüksek akım hızları için her bir silindir içerisindeki sıcaklık dağılım profilleri diğer silindirlerdeki profillere benzerlik göstermiştir. Silindirler içerisindeki maksimum sıcaklık değerleri birbirine çok yakın elde edilmiştir.

Şekil 6 ve şekil 7'deki $u_{\infty}=1$ m/s ile $u_{\infty}=5$ m/s için sıcaklık dağılımları karşılaştırılırsa akışkan hızının artması sıcaklıkta ve sıcaklık eğrilerinin boylarında kısalmalara sebep olmuştur. Bu şekillerden sıcaklık değerlerinde akış hızının artmasıyla bir azalmanın olduğu görülmüştür. Bu azalma her bir silindirin hücüm açısının konumuna göre farklıdır. Bununla birlikte serbest akım hızının yüksek değerlerinde silindirlerin içerisindeki maksimum sıcaklık değerleri hemen hemen aynı iken, bu maksimum sıcaklıklar arasındaki farkın en az olduğu durum $\alpha=\pi/6$ ve $\pi/2$ simetrik düzenlemelerinde görülmüştür. Diğer bir deyişle, açının tüm durumlarında özellikle simetrik durumlarda, serbest akım hızının artışı silindirler içerisinde daha etkili soğumayı gerçekleştirmiştir. Bundan başka adım uzunluğunun genişliği nedeniyle eşkenar üçgenin ağırlık merkezinde ve etrafında sıcaklık serbest akım sıcaklığına (T_{∞}) çok yakındır. X yönünde sıcaklık değişimini daha açık görmek için, silindir düzenlemesinde en sağından en uzağına doğru $x/D=6$ 'da z eksenini boyunca ilgili sıcaklık dağılımları beş farklı u_{∞} ve altı farklı α durumunda şekil 8'de çizilmiştir. $u_{\infty}=1$ m/s durumunda, maksimum sıcaklık değerleri geniş bir aralıkta değişirken (16° dan 29°C 'ye), α açısına bağlı, üç farklı (α) açı bileşeni için çok yakındırlar: (1) $\alpha=0$ ve $5\pi/12$, (2) $\alpha=\pi/12$ ve $\pi/4$ ve (3) $\alpha=\pi/6$ ve $\pi/2$, gösterilen sıraya göre yaklaşık 28, 20 ve 15 $^{\circ}\text{C}$ olmuştur. Bu düzlemde maksimum sıcaklık değerleri serbest akım hızının 1 m/s'den 5 m/s'ye artışıyla yaklaşık %80 azalır.

Şekil 6. $u_\infty=1$ m/s için sıcaklık dağılımları.



Şekil 7. $u_\infty=5$ m/s için sıcaklık dağılımları.



Şekil 8. Tüm α ve u_∞ değerleri için $x/D=6$ 'da z eksenini boyunca sıcaklık dağılımları.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, adım uzunluğu $P=2 \cdot D$ olan eşkenar üçgen dizilişli içerisinde ısı üretimi olan yatay üç silindirik çubuk etrafındaki birleşik ısı transferi PHOENICS bilgisayar kodu kullanılarak nümerik olarak çözülmüştür. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- Eksenel dönme açısının (akışkanın hücum açısı) değişimi adım uzunluğunun genişliğine bağlı olarak basınç dağılımını büyük oranda etkilememektedir.
- Serbest akım hızının artışı soğutmayı daha etkin yapar. Düzenlemedeki en sağdaki silindirden biraz daha uzaktaki $x=6 \cdot D$ düzlemindeki maksimum sıcaklık değeri, serbest akım hızının 1 m/s'den 5 m/s'ye artmasıyla yaklaşık %80 azalmıştır.
- α 'nın tüm konumlarında, özellikle simetrik düzenlemelerde, yüksek akım hızları için her bir silindir içerisindeki sıcaklık dağılım profilleri diğer silindirlerdeki profillere benzerdir.
- Yüksek serbest akım hızı durumlarında, silindirler içerisindeki maksimum sıcaklık değerleri bir birine çok yakındır.

- Eşkenar üçgenin ağırlık merkezi etrafındaki sıcaklık pitch uzunluğunun büyüklüğü sebebi ile serbest akım sıcaklığına çok yakındır.
- Türbülanslı ve sabit viskoziteli akış kabulü ile uygulanan nümerik metotta geometriler üzerindeki ayrılma noktalarının oluşumuna neden olarak viskoz alt tabakadaki gelişim gösterilebilir. Yapılan çalışmada, silindirlere yerleşim mesafeleri arasında kalan dar kesitlerde akışın hızlandığı ve soğumanın çabuk olduğu görülmektedir.
- CFD tekniğinde, Navier-Stokes denklemlerini çözmek için uygulanan mevcut modellere ilave olarak, eşkenar üçgen dizilişli silindirlere elde edilen sonuçların bu tür denklemlerin çözümünde faydalı olacağı düşünülmektedir. İnceleme sonucu yeni modellerin geliştirilebileceği ve geliştirilen modellerde kolaylık sağlayacağı görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. Bassam, A., and Abu-Hijleh, K., Laminar mixed convection correlations for an isothermal cylinder in cross flow at different angles of attack. *International Journal of Heat and Mass Transfer*; **42**, 1383-1388, 1999.
2. Goto, E., and Yoshida, N., Formulas for viscous fluid and heat flows around a hexagonal lattice of circular tubes. *Fluid Dynamics Research*, **18**, 211-222, 1996.
3. Kitamura, K., Kami-iwa, F., and Misumi, T., Heat transfer and fluid flow of natural convection around large horizontal cylinders. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **42**, 4093-4106, 1999.
4. Mingyu, W., and Georgiadis, J. G., Conjugate forced convection in crossflow over a cylinder array with volumetric heating. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **39**, 1351-1361, 1996.
5. Jilani, G. S., Jayaraj, and Ahmad, M. A., Conjugate forced convection-conduction heat transfer analysis of a heat generating vertical cylinder. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **45**, 331-341, 2002.
6. Hatipoğlu, F., and Avci, I., Flow around a partly buried cylinder in a steady current. *Ocean Engineering*, **30**, 239-249, 2002.
7. Vijaysri, M., Chhabra, R.P., and Eswaran, V., Power-law fluid flow across an array of infinite circular cylinders: A numerical study. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, **87**, 263-282, 1999.
8. Mahfouz, F. M., and Badr, H. M., Forced convection from a rotationally oscillating cylinder placed in a uniform stream. *International Journal of Heat and Mass Transfer*; **43**, 3039-3104, 2000.
9. Tsutsui, T., and Igarashi, T., Drag reduction of a circular cylinder in an air-stream. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, **90**, 527-541, 2002.
10. Gu, Z., and Sun, T., Classifications of flow pattern on three circular cylinders in equilateral-triangular arrangements, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, **89**, 553-568, 2001.
11. Yapıcı, H., Temperature distribution in mixed ThO₂-UO₂ fuel rods located in blanket of an inertial fusion energy breeder, *Annals of Nuclear Energy*, **29**, 2187-2209, 2002.
12. Yapıcı, H., İpek, O., and Özceyhan, V., Temperature distribution in nuclear rod and variation of the neutronic performance parameters in (D-T) driven hybrid reactor system. *Annals of Nuclear Energy*, **28**, 1825-1850, 2001.
13. Yapıcı, H., İpek, O., and Übeyli, M., Investigation of the performance parameters and temperature distribution in fuel rod dependent on operation periods and first wall loads in fusion-fission reactor system fueled with ThO₂. *Energy Conversion and Management* 2002, (in press).
14. Spalding, D.B., PHOENICS code manual, CHAM, London, 1999.