T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÖNEN BİR SİLİNDİR YÜZEYİNİ ÇEVRELEYEN KAPALI DÜZLEMSEL BÖLGELERDE KONVEKTİF ISI TRANSFERİ

Emrah OĞUZHAN

Doktora Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Mehmet Cem ECE

2008
EDİRNE

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÖNEN BİR SİLİNDİR YÜZEYİNİ ÇEVRELEYEN KAPALI DÜZLEMSEL BÖLGELERDE KONVEKTİF ISI TRANSFERİ

Emrah OĞUZHAN

DOKTORA TEZİ
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Mehmet Cem ECE
Edirne-2008

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÖNEN BİR SİLİNDİR YÜZEYİNİ ÇEVRELEYEN KAPALI DÜZLEMSEL BÖLGELERDE KONVEKTİF ISI TRANSFERİ

Emrah OĞUZHAN

DOKTORA TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 8 Şubat 2008 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Tarafından Kabul Edilmiştir.

Prof. Dr. Mehmet Cem ECE
Danışman, Jüri ve Tez İzleme Komitesi Üyesi

Prof. Dr. Ayşen HAKSEVER
Jüri Üyesi

Doç. Dr. Ayşegül ÖZTÜRK
Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Semiha ÖZTUNA
Jüri ve Tez İzleme Komitesi Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Şaban AKTAŞ
Jüri ve Tez İzleme Komitesi Üyesi

ÖZET

Bu çalışmada, soğuk dış silindir ile dönen, sıcak iç silindir arasında kalan bölgede daimi, karışık taşınım yolu ile gerçekleşen ısı transferi araştırılmıştır. Dış silindirin sıcaklığı sabit tutulurken, iç silindirin sıcaklığı ya sabit tutulmuş veya iç silindir sabit ısı akısı ile ısıtılmıştır. Dış silindir kare, elips ve dikdörtgen olarak seçilmiştir. Yönetici denklemler girdap-akım fonksiyonu formülasyonu kullanılarak yazılmıştır. Silindirler arasındaki fiziksel düzlem koordinat dönüşümü kullanılarak hesaplama düzlemine dönüştürülmüştür. Yönetici denklemler diferansiyel kuardatür yöntemi kullanılarak nümerik olarak çözülmüştür. Dış silindirin şekli, dönme hızı, eksantriklik, ve iç silindirin açısal yerleşiminin sıcaklık ve hız alanlarına etkisini bulabilmek için sistemli bir çalışma yürütülmüştür. Iç silindir boyunca yerel Nu sayısının değişimi elde edilmiştir. Eksantrikliğin, Reynolds ve Grashof sayısının, iç silindir yarıçapının hız ve sıcaklık alanları üzerinde önemli derecede etkisi olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karışık taşınım, eksantriklik, silindir, hız ve sıcaklık alanları.

SUMMARY

In this study, steady mixed convective heat transfer in an eccentric annulus between a cold outer cylinder and a hot rotating inner circular cylinder was investigated. Either the temperature or the normal heat flux was held constant on the inner cylinder surface whereas the outer cylinder surface was kept at a constant temperature. The shape of the outer cylinder was selected as square, rectangle and ellipse. The governing equations were written in terms of the stream function and vorticity. The physical domain between the cylinders was carried on a rectangular region using a coordinate transformation. The governing equations were then solved numerically using the differential quadrature method. A systematic study was conducted to determine the effects of the shape of the outer cylinder as well as the rotational speed, the eccentricity and the angular location of the inner cylinder. Variation of the local Nusselt number along the inner cylinder surface was determined. It was found that the eccentricity, the Reynolds and Grashof numbers and the inner cylinder radius have significant effects on the velocity and temperature fields.

Keywords: Mixed convection, eccentricity, cylinder, velocity and temperature fields.

TEŞEKKÜR

Doktora tez danışmanlığımı üstlenerek, çalışmam süresince her aşamasında değerli yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Mehmet Cem ECE' ye ve tez izleme komitesinde yer alan, kıymetli fikirlerinden faydalandığım Sayın Yrd. Doç. Dr. Semiha Öztuna'ya , Sayın Yrd. Doç Dr. Şaban Aktaş'a, ve bu konudaki çalışmama katkılarından dolayı Sayın Doç. Dr. Ayşegül Öztürk ve arkadaşlarım Hakan Güldal, Murat Çeltek, Serbülent Paksuz, Gökhan Ilgaz, Nesrin Kaya ve İlker Dinçer'e, T. Ü. Eğitim Fakültesi bilgisayar laboratuarını kullanmamı sağlayan herkese ve ayrıca maddi ve manevi destekleriyle hep yanımda yer alan anneme ve babama çok çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET iii
SUMMARY iv
TEŞEKKÜR v
İÇİNDEKİLER vi
SİMGELER DİZİNİ viii
ŞEKİL LİSTESİ x

1. GİRİŞ 1

2. ANALİZ 11
2.1 Geometri 11
2.2 Karışık Taşınım için Yönetici Denklemler 13
2.3 Koordinat Dönüşümü 16

3. NÜMERİK ÇÖZÜM YÖNTEMİ 21

4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ 25
4.1. Dönen ve Sabit Sıcaklıktaki Dairesel İç Silindir ve Onu Çevreleyen Soğuk ve Kare Kesitli Eksantrik Olarak Yerleştirilmiş Bir Dış Silindir Arasında Kalan Bölgede Gerçekleşen Karışık Taşınım 25
4.2. Dönen ve Sabit Sıcaklıktaki Dairesel İç Silindir ve Onu Çevreleyen Soğuk ve Elips Kesitli Eksantrik Olarak Yerleştirilmiş Bir Dış Silindir Arasında Kalan Bölgede Gerçekleşen Karışık Taşınım 37
4.3. Dönen ve Sabit Sıcaklıktaki Dairesel İç Silindir ve Onu Çevreleyen Soğuk ve Dikdörtgen Kesitli Eksantrik Olarak Yerleştirilmiş Bir Dış Silindir Arasında Kalan Bölgede Gerçekleşen Karışık Taşınım 48
4.4. Dönen ve Sabit Sıcaklıktaki Dairesel İç Silindir ve Onu Çevreleyen Soğuk ve Elips Kesitli Eksantrik Olarak Yerleştirilmiş Bir Dış Silindir Arasında Kalan Bölgede Gerçekleşen Karışık Taşınım 59
4.5. Dönen ve Sabit Sıcaklıktaki Dairesel İç Silindir ve Onu Çevreleyen Soğuk ve Dikdörtgen Kesitli Eksantrik Olarak Yerleştirilmiş Bir Dış Silindir Arasında Kalan Bölgede Gerçekleşen Karışık Taşınım 65
4.6. Dönen ve Sabit Isı Akısı ile Isıtılan Dairesel İç Silindir ve Onu Çevreleyen Soğuk ve Kare Kesitli Eksantrik Olarak Yerleştirilmiş Bir Dış Silindir Arasında Kalan Bölgede Gerçekleşen Karışık Taşınım 70
4.7. Dönen ve Sabit Isı Akısı ile Isıtılan Dairesel İç Silindir ve Onu Çevreleyen Soğuk ve Elips Kesitli Eksantrik Olarak Yerleştirilmiş Bir Dış Silindir Arasında Kalan Bölgede Gerçekleşen Karışık Taşınım 82
4.8. Dönen ve Sabit Isı Akısı ile Isıtılan Dairesel İç Silindir ve Onu Çevreleyen Soğuk ve Dikdörtgen Kesitli Eksantrik Olarak Yerleştirilmiş Bir Dış Silindir Arasında Kalan Bölgede Gerçekleşen Karışık Taşınım 93
4.9. Dönen ve Sabit Isı Akısı ile Isıtılan Dairesel İç Silindir ve Onu Çevreleyen Soğuk ve Elips Kesitli Eksantrik Olarak Yerleştirilmiş Bir Dış Silindir Arasında Kalan Bölgede Gerçekleşen Karışık Taşınım 105

4.10. Dönen ve Sabit Isı Akısı ile Isıtılan Dairesel İç Silindir ve Onu Çevreleyen Soğuk ve Dikdörtgen Kesitli Eksantrik Olarak Yerleştirilmiş Bir Dış Silindir Arasında Kalan Bölgede Gerçekleşen Karışık Taşınım 114
4.11. Dönen ve Sabit Sıcaklıktaki Dairesel İç Silindir ve Onu Çevreleyen Soğuk ve Elips Kesitli Eksantrik Olarak Yerleştirilmiş Bir Dış Silindir Arasında Kalan Bölgede Gerçekleşen Karışık Taşınıma Grashof Sayısının Etkisi 121
4.12. Dönen ve Sabit Sıcaklıktaki Dairesel İç Silindir ve Onu Çevreleyen Soğuk ve Elips Kesitli Eksantrik Olarak Yerleştirilmiş Bir Dış Silindir Arasında Kalan Bölgede Gerçekleşen Karışık Taşınıma Reynolds Sayısının Etkisi 124
4.13. Dönen ve Sabit Sıcaklıktaki Dairesel İç Silindir ve Onu Çevreleyen Soğuk ve Elips Kesitli Eksantrik Olarak Yerleştirilmiş Bir Dış Silindir Arasında Kalan Bölgede Gerçekleşen Karışık Taşınıma İç Silindir Yarıçapının Etkisi 128
4.14. Dönen ve Sabit Sıcaklıktaki Dairesel İç Silindir ve Onu Çevreleyen Soğuk ve Kare Kesitli Eksantrik Olarak Yerleştirilmiş Bir Dış Silindir Arasında Kalan Bölgede Gerçekleşen Karışık Taşınım Akışında İç silindir Üzerindeki Nusselt Sayısının ξ ile Değişimi 131
4.15. Dönen ve Sabit Sıcaklıktaki Dairesel İç Silindir ve Onu Çevreleyen Soğuk ve Elips Kesitli Eksantrik Olarak Yerleştirilmiş Bir Dış Silindir Arasında Kalan Bölgede Gerçekleşen Karışık Taşınım Akışında İç silindir Üzerindeki Nusselt Sayısının ξ ile Değişimi 137

5. SONUÇ 144

KAYNAKLAR 147

ÖZGEÇMİŞ 151

SİMGELER DİZİNİ

a	birinci mertebe türevlerin ağırlık fonksiyonları
b	ikinci mertebe türevlerin ağırlık fonksiyonları
A	dış silindir kesidinin x yönündeki uzunluğunun yarısı
B	dış silindir kesidinin y yönündeki uzunluğunun yarısı
c_p	sabit basınçtaki özgül ısı
g	yerçekimi ivmesi
J	Jacobien
k	ısıl iletkenlik katsayısı
L	dış silindirin kenar uzunluğu
p^*	statik basınç
q_0^*	ısı akısı
$\mathbf{r_i}$	iç silindirin yarıçapı
$\mathbf{r_0}$	dış kare silindirin iç silindirin merkezine olan uzaklığı
T^*	boyutlu sıcaklık
T_C^*	dış silindir duvar sıcaklığı
T_H^*	iç silindir duvar sıcaklığı
T_R^*	referans sıcaklık
u^*	x^* yönündeki boyutlu hız bileşeni
v^*	y^* yönündeki boyutlu hız bileşeni
u	x yönündeki boyutsuz hız bileşeni
v	y yönündeki boyutsuz hız bileşeni
U	koordinat dönüşümü yapıldıktan sonra elde edilen ξ yönündeki hız bileşeni
V	koordinat dönüşümü yapıldıktan sonra elde edilen η yönündeki hız
$\boldsymbol{\varepsilon}$	eksantriklik, dış silindirin merkezinin iç silindirin merkezine olan uzaklığı
φ	dış silindirin açısal pozisyonu
ξ	düşey eksenden saatin ters yönüne ölçülen açısal koordinat
η	iç silindir yüzeyinden dışarıya (dış silindire doğru) dik olarak ölçülen boyutsuz koordinat
Ω	iç silindirin saatin ters yönündeki sabit açısal hızı bileşeni
ρ	yoğunluk
ρ_0	T_C^* sıcaklığındaki yoğunluk
μ	mutlak viskozite
ζ^*	ζ^* iç silindir yüzeyinden dış silindire doğru dik olarak ölçülen boyutlu koordinat
ψ	akım fonksiyonu
ω	girdap vektörü
ν	kinematik viskozite

Kısaltmalar

Gr	Grashof sayısı
Pr	Prandtl sayısı
Re	dönme Reynolds sayısı
DQ	diferansiyel kuadratür

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Eksantrik dairesel iç silindir ve onu çevreleyen kare dış silindir	12
Şekil 2.2	Fiziksel düzlem ve koordinat dönüşümü yapılmış hesaplama düzlemi	16
Şekil 2.3	Geometrinin n parametresi ile değişimi	18
Şekil 3.1	Ayrıklaştırılmış düzgün dikdörtgen bölge	24
Şekil 4.1	Dış silindir kare seçildiğinde, eşmerkezli durum için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=1)	28
Şekil 4.2	Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=0^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.10, 0.15, 0.20, 025 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=1)	29
Şekil 4.3	Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=45^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.10, 0.15, 0.20, 025 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=1)	30
Şekil 4.4	Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=90^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.10, 0.15, 0.20, 025 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=1)	31
Şekil 4.5	Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=135^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.10, 0.15, 0.20, 025 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=1)	32
Şekil 4.6	Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=180^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.10, 0.15, 0.20, 025 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=1)	33
Şekil 4.7	Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=225^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.10, 0.15, 0.20, 025 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=1)	34
Şekil 4.8	Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=270^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.10, 0.15, 0.20, 025 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=1)	35
Şekil 4.9	Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=315^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.10, 0.15, 0.20, 025 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=1)	36
Şekil 4.10	Dış silindir elips seçildiğinde, eşmerkezli durum için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5)	39

Şekil 4.11 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=0^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.2, 0.4 olduğu durumlar için eş sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5) 40

Şekil 4.12 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=45^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.2, 0.3 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5) 41

Şekil 4.13 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=90^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.2 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5) 42

Şekil 4.14 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=135^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.2, 0.3 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5) 43

Şekil 4.15 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=180^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.2, 0.4 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5) 44

Şekil 4.16 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=225^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.2, 0.3 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5) 45

Şekil 4.17 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=270^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.2 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5) 46

Şekil 4.18 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=315^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.2, 0.3 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5) 47

Şekil 4.19 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, eşmerkezli durum için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5) 50

Şekil 4.20 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=0^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.2, 0.4 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5) 51

Şekil 4.21 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=45^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.3 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5) 52

Şekil 4.22 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=90^0$ ve $\varphi=270^0$ eksantrikliğin 0.1 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5) 53

Şekil 4.23 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=135^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.3 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5) 54

Şekil 4.24 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=180^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.2, 0.4 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5) 55

Şekil 4.25 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=225^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.3 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5) 56

Şekil 4.26 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=315^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.3 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5) 57

Şekil 4.27 Dış silindir elips seçildiğinde, eşmerkezli durum için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=1, A/B =1.5) 60

Şekil 4.28 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=0^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.2, açısal pozisyonun $\varphi=45^0$, $\varphi=315^0$ ve eksantrikliğin 0.1 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=1, A/B =1.5) 61

Şekil 4.29 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=0^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.2, açısal pozisyonun $\varphi=45^0$, $\varphi=315^0$ ve eksantrikliğin 0.1 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=1, A/B=1.5) 62

Şekil 4.30 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=180^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.2, açısal pozisyonun $\varphi=225^0$, eksantrikliğin 0.1, 0.2 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=1, A/B =1.5) 63

Şekil 4.31 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, eşmerkezli durum için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=1, A/B =1.5) 67

Şekil 4.32 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=0^0$, $\varphi=180^0$, ve eksantrikliğin 0.1; açısal pozisyonun $\varphi=90^0$, $\varphi=270^0$ ve eksantrikliğin 0.2 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=1, A/B =1.5) 68

Şekil 4.33 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=45^0$,

$\varphi=135^0$, $\varphi=225^0\varphi=315^0$ ve eksantrikliğin 0.1 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=1, A/B =1.5) 69

Şekil 4.34 Dış silindir kare seçildiğinde, eşmerkezli durum için iç silindire ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1) 72

Şekil 4.35 Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=0^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.15, 0.20, 025 olduğu durumlar için iç silindire ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1) 73

Şekil 4.36 Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=45^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.15, 0.20, 025 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1) 74

Şekil 4.37 Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=90^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.15, 0.20, 025 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1) 75

Şekil 4.38 Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=135^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.15, 0.20, 025 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1) 76

Şekil 4.39 Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=180^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.15, 0.20, 025 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1) 77

Şekil 4.40 Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=225^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.15, 0.20, 025 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1) 78

Şekil 4.41 Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=270^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.15, 0.20, 025 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1) 79

Şekil 4.42 Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=315^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.15, 0.20, 025 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1) 80

Şekil 4.43 Dış silindir elips seçildiğinde, eşmerkezli durum için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1, B/A=1.5) 84

Şekil 4.44 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=0^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.2, 0.4 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1, B/A=1.5) 85

Şekil 4.45 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=45^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.2, 0.3 olduğu durumlar için iç silindirde iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1, B/A=1.5) 86

Şekil 4.46 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=90^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.2 olduğu durumlar için iç silindirde iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1, B/A=1.5) 87

Şekil 4.47 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=135^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.2, 0.3 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile ilindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1, B/A=1.5) 88

Şekil 4.48 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=180^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.2, 0.4 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1, B/A=1.5) 89

Şekil 4.49 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=225^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.2, 0.3 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1, B/A=1.5) 90

Şekil 4.50 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=270^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.2 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1, B/A=1.5) 91

Şekil 4.51 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=315^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.2, 0.3 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1, B/A=1.5) 92

Şekil 4.52 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, eşmerkezli durum için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1, B/A=1.5) 95

Şekil 4.53 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=0^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.2, 0.4 olduğu durumlar için iç ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=10^6$, Re=0.1, B/A=1.5) 96

Şekil 4.54 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=45^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.3 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=10^6$, Re=0.1, B/A=1.5) 97

Şekil 4.55 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=90^0$, eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.2 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=10^6$, Re=0.1, B/A=1.5) 98

Şekil 4.56 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=135^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.3 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=10^6$, Re=0.1, B/A=1.5) 99

Şekil 4.57 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=180^0$ ve eksantrikliğin 0.2, 0.4 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=10^6$, Re=0.1, B/A=1.5) 100

Şekil 4.58 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=225^0$, eksantrikliğin 0.1, 0.3 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=10^6$, Re=0.1, B/A=1.5) 101

Şekil 4.59 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=270^0$, eksantrikliğin 0.1, 0.2 olduğu durumlar için ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=10^6$, Re=0.1, B/A=1.5) 102

Şekil 4.60 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=315^0$, eksantrikliğin 0.1, 0.3 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=10^6$, Re=0.1, B/A=1.5) 103

Şekil 4.61 Dış silindir elips seçildiğinde, eşmerkezli durum için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=5.10^5$, Re=0.1, A/B=1.5) 107

Şekil 4.62 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=0^0$ ve $\varphi=180^0$, eksantrikliğin 0.1, 0.2 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71,

	$Gr=5.10^5$, Re=0.1, A/B=1.5)	108
Şekil 4.63	Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=45^0$, eksantrikliğin 0.1, 0.2, 0.3 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=5.10^5$, Re=0.1, A/B=1.5)	109
Şekil 4.64	Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=90^0$ ve $\varphi=270^0$, eksantrikliğin 0.2, 0.4 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=5.10^5$, Re=0.1, A/B=1.5)	110
Şekil 4.65	Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=135^0$ ve eksantrikliğin 0.1, 0.2, 0.3 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=5.10^5$, Re=0.1, A/B=1.5)	111
Şekil 4.66	Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=225^0$ ve eksantrikliğin 0.1, 0.2, 0.3 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=5.10^5$, Re=0.1, A/B=1.5)	112
Şekil 4.67	Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=315^0$ ve eksantrikliğin 0.1, 0.2, 0.3 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=5.10^5$, Re=0.1, A/B=1.5)	113
Şekil 4.68	Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, eşmerkezli durum için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=5.10^5$, Re=0.1, A/B=1.5)	116
Şekil 4.69	Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=0^0$ ve $\varphi=180^0$, eksantrikliğin 0.1, 0.2 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=5.10^5$, Re=0.1, A/B=1.5)	117
Şekil 4.70	Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=45^0$ ve $\varphi=135^0$, eksantrikliğin 0.1, 0.3 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=5.10^5$, Re=0.1, A/B=1.5)	118
Şekil 4.71	Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=90^0$ ve $\varphi=270^0$, eksantrikliğin 0.2, 0.4 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=5.10^5$, Re=0.1, A/B=1.5)	119
Şekil 4.72	Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=225^0$ ve $\varphi=315^0$, eksantrikliğin 0.1, 0.3 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde	

edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=5.10^5, Re=0.1, A/B=1.5) 120
Şekil 4.73 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun φ=180^0 , eksantrikliğin 0.2 olduğu durumda Gr=10^4, Gr=5.10^4, Gr=10^5 değerleri için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Re=0.1, B/A=1.5) 122
Şekil 4.74 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun φ=180^0 , eksantrikliğin 0.2 olduğu durumda Gr=5.10^5, Gr=10^6 değerleri için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Re=0.1, B/A=1.5) 123
Şekil 4.75 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun φ=180^0 , eksantrikliğin 0.2 olduğu durumda Re=0.01, Re=0.05 ve Re=0.09 değerleri için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, B/A=1.5) 125
Şekil 4.76 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun φ=180^0 , eksantrikliğin 0.2 olduğu durumda Re=0. 1, Re=0.2 ve Re=0.5 değerleri için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, B/A=1.5) 126
Şekil 4.77 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun φ=180^0 , eksantrikliğin 0.2 olduğu durumda r_i=0.10, r_i=0.15, r_i=0.20 değerleri için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Re=0.1, Gr=10^5 , B/A=1.5) 129
Şekil 4.78 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun φ=180^0 , eksantrikliğin 0.2 olduğu durumda r_i=0.25, r_i=0.30 değerleri için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Re=0.1, Gr=10^5 ,B/A=1.5) 130
Şekil 4.79 Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun φ=0^0 ve φ=45^0, olduğu durumda iç silindir boyunca yerel Nusselt sayısının değişimi eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=1) 133
Şekil 4.80 Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun φ=90^0 ve φ=135^0, olduğu durumda iç silindir boyunca yerel Nusselt sayısının değişimi eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=1) 134
Şekil 4.81 Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun φ=180^0 ve φ=225^0, olduğu durumda iç silindir boyunca yerel Nusselt sayısının değişimi eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=1) 135
Şekil 4.82 Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun φ=270^0 ve φ=315^0, olduğu durumda iç silindir boyunca yerel Nusselt sayısının değişimi eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=1) 136
Şekil 4.83 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun φ=0^0 ve φ=45^0, olduğu durumda iç silindir boyunca yerel Nusselt sayısının değişimi (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5) 140
Şekil 4.84 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun φ=90^0 ve φ=135^0,

olduğu durumda iç silindir boyunca yerel Nusselt sayısının değişimi (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5) 141
Şekil 4.85 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun φ=180^0 ve φ=225^0, olduğu durumda iç silindir boyunca yerel Nusselt sayısının değişimi (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5) 142
Şekil 4.86 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun φ=270^0 ve φ=315^0, olduğu durumda iç silindir boyunca yerel Nusselt sayısının değişimi (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5) 143

1. GİRİŞ

Çevrelenmiş bölgelerde akış ve doğal veya karışık taşınım yoluyla gerçekleşen ısı transferi, fizik ve mühendislik alanlarındaki önemli uygulamaları yüzünden uzunca bir süredir çalışılmaktadır. Bu uygulama alanlarından başlıcaları nükleer reaktör tasarımı, ısıl enerji depolama sistemleri, güneş enerjisi toplayıcıları, elektronik donanımın soğutulması, uçakların kabin yalıtımıdır. Bu yüzden, bu alanda deneysel ve teorik birçok çalışma yapılmıştır.

Yatay konsentrik eşsıcaklıklı silindirler arasındaki doğal taşınım ilk olarak Bellmann (1931) tarafından çalışılmıştır. Isı transfer katsayılarını elde etmek için akışkan olarak hava, hidrojen ve karbondioksiti kullanmıştır.

Aynı tarihlerde benzer bir araştırma hava kullanarak Voigh&Krisher (1932) tarafından yapılmıştır. Kraussold (1934) bu sonuçları su ve makine yağı kullanarak büyük Pr sayıları için geliştirmiştir.

Liu, Mueller&Landis (1961) hava, su, ve silikon akışkan için ısı transferini ayrıntılı çalışmışlar ve radyal sıcaklık profillerini belirlemişlerdir.

Bishop & Carley (1966) ve Bishop, Carley & Powe (1968), akışı duman kullanarak görüntüleyip, akış desenlerinin fotoğraflarını sunmuşlardır. Çap oranı (iç silindirin çapının aralık genişliğine oranı) ve Grashof sayısına (veya Rayleigh sayısına) bağlı farklı akış rejimleri, Powe, Carley & Bishop (1969) tarafından betimlenmiştir.

Halkasal geometri içinde hava için yerel ısı transfer katsayıları, Mach-Zehnder interferometresi kullanarak ilk defa Eckert & Schengen (1948) tarafından belirlenmiştir.

Grigull&Hauff (1966) dokuz çap oranı kullanarak iç silindirin üzerinde havanın yerel ısı transfer katsayılarını ölçmek için benzer bir teknik kullanmıştır.

Kashmarov&Ivanov (1973), Grashof sayısının 10^{-9}-10^{5} aralığında seyreltilmiş gaz rejimlerindeki sonuçları da içeren kapsamlı ısı transfer verisi elde etmiştir.

Türbülanslı rejim için tek araştırma, 0.7 - 40 atm basınç aralığında azot ve sülfür hexaflorid karışımları kullanarak ve Rayleigh sayısını 10^{10} değerine kadar değiştirerek Lis (1966) tarafından yapılmıştır.

Yatay halka içindeki doğal taşınımda ortalama ısı transfer katsayısı için, sonuçların sıklıkla eşdeğer ısı iletim katsayısı ile ifade edildiği çeşitli korelasyonlar

önerilmiştir. Eşdeğer ısı iletim katsayısı, gerçek ısı akısının akışkan hareketi yok iken saf iletimle oluşan ısı akısına oranı olarak ifade edilir. Bishop(1966), eşit ısı iletim katsayısının çeşitli çap oranları için aralık genişliğine dayanan Rayleigh sayısının bir fonksiyonu olduğunu bulmuştur.

Huetz&Petit (1974) duvarlardan birinde sabit ısı akısı, diğerinde eşsıcaklık olması durumunu analitik olarak çalışmıştır.

Yatay konsentrik silindirler arasındaki doğal taşınım için ilk sayısal çözüm Crawford&Lemlich (1962) tarafından Pr sayısı 0.7 ve çap oranları 2,8 ve 57 için Gauss-Siedel iteratif yaklaşımı kullanılarak elde edilmiştir.

Abbott (1964) çok dar aralıklar için matris inversiyon tekniği ile çap oranının 1 değerine yaklaştığı durumlar için sonuçlar elde etmiştir.

Shibayama&Mashimo (1968) havadaki duman şekillerinin fotoğraflarıyla teorik akım çizgilerini karşılaştırmıştır.

Gazlar için ısı iletiminin baskın olduğu Rayleigh sayılarında konsentrik silindirler içinde kalan bölgedeki ısı transferi, çap oranının 1.15 - 4.15 aralığında kuvvet serisi açılımı kullanılarak Mack ve Bishop (1968) tarafından elde dilmiştir.

Hodnett (1973) aynı problem için pertürbasyon yöntemini kullanarak, çap oranı büyüdükçe eşmerkezli silindirler içinde taşınımın etkilerinin iletimin etkileri kadar önem kazandığı bir bölge olduğunu göstermiştir.

Kuehn&Goldstein (1976) eş merkezli dairesel silindirler arasındaki bölgede gerçekleşen doğal taşınımı deneysel ve teorik olarak ayrıntılı şekilde çalışmışlardır. Mach-Zender inerferometresi kullanarak, atmosfer basıncında hava ve su için sıcaklık dağılımlarını ve yerel ısı transfer katsayılarını deneysel olarak belirlememişlerdir. Aralık genişliğine dayandırılan Rayleigh sayısı, $2.11\ 10^4$ - $9.76\ 10^5$ aralığında ve Prandtl sayısının etkisiyle Rayleigh sayısı 10^2 - 10^5 aralığında değiştirilerek, yönetici denklemler, sonlu farklar yöntemi ile çözülmüştür. Benzer koşullar altındaki deneysel ve sayısal sonuçlar arasındaki karşılaştırmaların uyumlu olduğu görülmüştür.

Eksantrik silindirler arasındaki bölgedeki ısı transferi üzerine yapılan çoğu çalışma girdap vektörü-akım fonksiyonu formülasyonu kullanılarak yapılmıştır. Bu formülasyon, basıncın tek değerli olmasını temin eden bir ek integral koşul gerektirmektedir. Chao ve arkadaşları (1982) ve Projahn ve arkadaşları (1981) akım

fonksiyonu değerlerini iç ve dış silindir duvarlarında aynı alarak iç silindirdeki yerel dolaşım olasılığını dikkate almamışlardır.

Tsui&Tremblay (1984) eşsıcaklıklı iki yatay eşmerkezli silindir arasında kalan bölgedeki geçici doğal taşınım yoluyla gerçekleşen ısı transfer problemini Boussinesq yaklaşımı ve girdap-akım fonksiyonu formülasyonunu kullanarak sayısal olarak incelemişlerdir. Enerji ve girdap denklemleri değişen yönlü kapalı formülasyon ADI(Alternating Direction Implicit Method) ile, akım fonksiyonu denklemi ise SOR(Successive Over Relaxation) yöntemi ile ayrıklaştırılmıştır. Parametre olarak çap oranı kullanılarak doğal taşınım ısı transfer hesaplamalarına rehber olabilecek ve Nusselt sayısının Grashof sayısı ile değişimini gösteren üç eğri elde edilmiştir.

Warrington&Powe (1985) düşük Rayleigh sayılarında, eşmerkezli olarak yerleştirilmiş dairesel yüzeyler arasındaki doğal taşınım yoluyla gerçekleşen ısı transferini deneysel olarak çalışmışlardır.

Prizmatik silindiri çevreleyen kare silindir arasındaki bölgede doğal taşınımla gerçekleşen ısı transferi sayısal olarak çalışan Oosthuizen & Paul (1987), kavite büyüklüğü arttıkça konvektif akışın arttığını ve ortalama Nusselt sayısının sabit bir değere yaklaştığını göstermiştir.

İç silindirin sabit ısı akısı uygulanmasıyla ısıtılması, dış silindirin de eş sıcaklıkta olacak şekilde soğutulması durumundaki yatay dairesel silindirler arasındaki bölgedeki gazların doğal taşınımı sayısal olarak Kumar (1988) tarafından çalışılmış ve çap oranı 1.2-10 arasında değiştirilerek iletim durumundan taşınım-baskın daimi akış rejimine uzanan geniş Rayleigh sayısı aralığında hız ve sıcaklık alanları için detaylı sonuçlar sunulmuştur. Küçük çap oranları için hilal (yarımay) şeklinde edi oluşumu gözlenirken, büyük çap oranlarında böbrek şekilli akış deseni oluştuğu sonucuna varılmıştır. İç duvar sıcaklığının, çap oranı ve Rayleigh sayısının bir fonksiyonu olduğu görülmüştür.

Wang & Bau (1988), eksantrik dairesel silindirler arasında kalan bölgede iletimin baskın rejim olduğu düşük Rayleigh sayıları için taşınımla ısı transferini pertürbasyon genişleme yöntemiyle çalışmıştır.

Ghaddar (1992) ile Deschamps & Desrayaud (1994), hava dolu geniş dikdörtgen kuşatma içine koyulmuş üniform ısıtılan yatay silindirden gerçekleşen doğal taşınımlı ısı transferini sayısal olarak çalışmışlardır. Ghaddar (1992), çalışmasında spektral

eleman yöntemini kullanmış,akışı laminer ve iki boyutlu olarak ele almıştır. Silindire uygulanan farklı ısı akıları için akış dinamikleri ve ısıl davranış, belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca ortalama Nusselt sayısının Rayleigh sayısıyla değiştiği korelasyon denklemleri elde edilmiştir.

Eksantrik durumlar için, Ekundayo ve arkadaşları (1996), kare dış silindir ve dairesel iç silindir arasındaki yatay bölge içindeki doğal taşınımı deneysel olarak çalışmışlardır.

Liu ve arkadaşları (1996) eşmerkezli durumlar için psödo-zaman-basamaklı sonlu eleman yöntemini kullanarak ısı taşınım problemini çalışmışlardır.

Moukalled & Acharya (1996) kare silindir içerisine eş merkezli olarak yerleştirilmiş ısıtılan yatay silindirden doğal taşınım yoluyla gerçekleşen ısı transferini kontrol hacmi yöntemini kullanılarak sayısal olarak çalışmışlardır. Çalışmada, yarıçap/kenar oranının 0.1, 0.2, 0.3 değerleri ile Rayleigh sayısının 10^4, 10^5, 10^6, 10^7 değerleri için sonuçlar elde edilmiş ve akım çizgileri, eş sıcaklık eğrileri, maksimum akım fonksiyonu değerleri, yerel ve ortalama Nusselt sayıları sunulmuştur. Sabit en-boy oranında toplam ısı transferine taşınımın katkısının azalan Rayleigh sayısı ile azaldığı ve sabit Rayleigh sayısı değerlerinde toplam ısı transferine taşınımın etkisinin artan yarıçap/kenar oranı ile azaldığı gözlenmiştir.

Yoo (1996), iki yatay eşmerkezli silindir arasındaki havada oluşan doğal taşınımı sayısal olarak incelemiş ve aralık genişliğine bağlı olan Rayleigh sayısı belirli bir kritik değeri aştığında akış alanının döngülü ve çok bölgeli olduğunu göstermiştir. Bunlardan biri genellikle gözlenilen böbrek şeklindeki edi, diğeri de iki birbirine ters yönde dönen iki edi ve onların ayna görüntülerinden oluşan akış bölgeleridir.

Sabit ısı akısı sınır koşulu ile eşmerkezli ve eşmerkezli olmayan silindirler arasındaki doğal taşınım yoluyla gerçekleşen ısı transferini Chen (2003) çalışmıştır. Yönetici denklemler, küresel kutupsal koordinatlar kullanılarak, sıcaklık, girdap vektörü ve akım fonksiyonu cinsinden ifade edilmiştir ve sayısal olarak çözülmüştür. Yarıçap oranı 2 ve Prandtl sayısı 0.7 alınarak, Rayleigh sayısı 10^3 - 5 10^5 ve eksantriklik -0.625 - 0.625 aralıklarında değiştirilerek düşey eksantrik silindirler arasındaki daimi ve geçici ısı transferi için sonuçlar elde edilmiştir.

Sasaguchi ve arkadaşları(1998), kare silindir içindeki dairesel soğuk silindirin pozisyonunun, arada kalan bölgedeki suyun soğuma sürecine etkisini sayısal olarak araştırmışlardır.

Shu (1999), eşmerkezli iç içe geçmiş dairesel silindirler arasındaki bölgede oluşan doğal taşınımı örnek problem seçerek Fourier açılımına dayalı diferansiyel kuadratür (FDQ) yöntemi ile polinoma dayalı diferansiyel kuadratür (PDQ) yöntemini kullanarak sayısal çözümler elde etmiş ve bu iki yöntemin karşılaştırmasını yapmıştır. Sonuçlar, PDQ ve FDQ yöntemlerinin her ikisinin de az ayrıklaştırma noktası kullanılarak hassas sonuçlar elde edilebileceğini göstermektedir.

Shu ve arkadaşları (2000), polinoma dayalı diferansiyel kuadratür (PDQ) ve Fourier serisi açılımına bağlı diferansiyel kuadratür (FDQ) yöntemini, iki keyfi eksantrik silindir arasındaki bölgedeki doğal taşınımı simüle etmek için kullanmışlardır. Yönetici denklemler, girdap vektörü-akım fonksiyonu formülasyonu ile ifade edilmiş, iç silindir duvarındaki akım fonksiyonunu güncellemek için basıncın tek değerli olma koşulu formülasyona döndürülmüştür. Bu yaklaşım eş merkezli duruma uygulandığında iç silindir üzerindeki akım fonksiyonunun değerinin sıfıra yakın çıktığı belirlenmiştir. Eşmerkezli olmayan durumda bu değerin yerel dolaşım akımları dolayısıyla sıfırdan farklı bir değer aldığı gösterilmiştir.

Asan (2000), karesel eş merkezli iki boru arasındaki bölgede gerçekleşen daimi, laminer, iki boyutlu doğal taşınım üzerine çalışmıştır. Çalışmada akım fonksiyonu-girdap vektörü formülasyonu ve kontrol hacmi integrasyon çözüm tekniği kullanılmıştır. Boyut oranı (karesel iç silindirin kenar uzunluğunun dış silindirin kenar uzunluğuna oranı) ve Rayleigh sayısının akışın yapısına ve ısı transferine etkisi araştırılmıştır.

Shu ve arkadaşları (2001) eksantrik dairesel iç silindir ve onu çevreleyen kare dış silindir arasında doğal taşınım yoluyla gerçekleşen ısı transferini DQ yöntemini kullanarak sabit bir Rayleigh sayısı ve silindirin kare içindeki belirli bir yerleşimi için sayısal olarak çalışmıştır.

Chamaissem ve arkadaşları (2002) daimi ve laminer akışta eşmerkezli dairesel silindirler arasındaki bölgede gerçekleşen taşınımı iki boyutlu sonlu eleman yöntemini kullanıp yeni bir kod geliştirerek çalışmışlar ve sonlu elemanlar yönteminin sonlu farklar yöntemine göre avantajlarını göstermişlerdir.

Lee ve arkadaşları (2002), Shu (1991) tarafından geliştirilen genelleştirilmiş diferansiyel-integral kuadratür (GDQ) ayrıklaştırma tekniğini ilkel değişken formda iç içe geçmiş dairesel silindirler arasında kalan bölgede gerçekleşen doğal taşınım problemini çözmek için kullanılmış ve daha önce diğer araştırmacıların gösteremediği iç silindirin çevresindeki oldukça zayıf net sirkülasyonu bu yöntemle kesin bir biçimde açıklayarak bu net sirkülasyonun en büyük değerini eksantrikliğin eğim açısının yatay pozisyonda bulunduğu durumlarda aldığını göstermişlerdir.

Yatay eş merkezli olmayan dairesel silindirler arasında kalan bölgede doğal taşınım yoluyla gerçekleşen ısı transferi, silindirlerin yarıçap oranını 2.6 alarak, Rayleigh sayısını 10^4 değerinde sabit tutarak ve girdap vektörü-akım fonksiyonu formülasyonu kullanarak DQ yöntemiyle sayısal olarak Shu ve arkadaşları (2002) tarafından çalışılmış, eksantrikliğin ve açısal pozisyonun akış ve sıcaklık alanlarına etkileri belirlenmiştir.

Shu ve Zhu (2002), eşmerkezli olarak yerleştirilmiş soğuk dış kare silindir ve ısıtılmış sıcak iç silindir arasındaki bölgede oluşan doğal taşınımı diferansiyel kuadratür yöntemi ile çalışmış ve analitik bir ifade kullanılarak yapılan koordinat dönüşümü ile geometri DQ yönteminin uygulanmasına olanak sağlayacak duruma getirilerek, Rayleigh sayısının 10^4 - 10^6 ve boyut oranının 1.67 – 5 aralıkları için sayısal sonuçlar elde edilmiştir.

Peng ve arkadaşlarının (2003) çalışmasında yatay eşmerkezli kare dış silindir ve ısıtılmış dairesel iç silindir arasında kalan bölgede oluşan doğal taşınım, Taylor serisi açılımı ve en küçük kareler yöntemine dayanan Boltzman yöntemi(TLLBM) kullanılarak sayısal olarak çalışılmıştır.

Zhu ve arkadaşları (2004) iki yatay eliptik silindir arasındaki doğal taşınım yoluyla gerçekleşen ısı transferini DQ yöntemini kullanarak sayısal olarak çalışmışlar, farklı eksantriklik ve açısal pozisyonların hız ve sıcaklık alanlarına etkilerini incelemişlerdir.

Eş merkezli ve eşmerkezli olmayan küreler arasındaki sıcaklıkla değişen viskoziteye sahip akışkanlarda geçici doğal taşınımla ısı transferi, Wu ve arkadaşları (2004) tarafından, ayrıklaştırma için değiştirilmiş Sorenson yöntemi kullanılarak çalışılmış ve akış deseninin, viskositenin yanı sıra Rayleigh sayısı ve eksantriklikle de değiştiği gösterilmiştir.

Geleneksel diferansiyel kuadratür (DQ) yönteminin avantajlarını multikuadratik yönteminin (MQ) serbest-ızgara avantajıyla birleştiren bir yöntem kullanan Ding ve arkadaşları (2005), ısıtılmış dairesel iç silindiri çevreleyen kare dış silindir arasındaki bölgede oluşan doğal taşınımı sayısal olarak çalışmışlar ve eksantrikliğin, açısal pozisyonun ortalama ve yerel ısı transferine etkilerini incelemişlerdir.

İkili dağılım fonksiyon yaklaşımı üzerine kurulan sonlu farklara dayalı kafes BGK (Bhatnagar–Gross–Krook) yöntemi Shi ve arkadaşları (2006) tarafından yatay iki durgun, farklı sıcaklıktaki dairesel silindirden oluşan sisteme uygulanmış ve Prandtl sayısı 0.718 alınarak Rayleigh sayısının $2.38\ 10^3$ - $1.02\ 10^5$ aralığında hız ve sıcaklık dağılımları ile Nusselt sayıları elde edilmiştir.

Isıtılmış dönen yatay konsentrik silindirler arasındaki bölgedeki konvektif ısı transferi geçmiş yıllarda yine birçok araştırmacının dikkatini çekmiştir. Bu konuya yüksek hızdaki gaz yataklarının soğutulması, türbin rotorlarının soğutulması, deniz suyunun damıtılması için akış sıkıştırıcıları, yarıiletken cihaz imalatı için kimyasal buhar tortu süreci gibi uygulama alanlarının olmasından dolayı ilgi duyulmaktadır. Kapalı bölge içindeki akış ve ısı transfer süreci eylemsizlik, kaldırma ve merkezkaç kuvvetlerinin birleştirilmiş etkisiyle oluşur. Grashof sayısı ve dönme Reynolds sayıları hız alanını ve ısı transfer mekanizmasını belirlemekte etkendirler.

DePrima ve Swinney (1985) konsentrik dönen silindirler arasındaki bölgede akış için ayrıntılı analitik ve deneysel çalışmalar yapmıştır.

Isıtılmış dönen silindir ve dış silindir arasındaki üç boyutlu bölge içinde merkezkaç ve kaldırma kuvvetlerinin etkileşimi Yang ve Farouk (1992) tarafından çalışılmıştır ve dönme kararsızlığının Taylor hücrelerinin oluşumuna sebep olduğu durumlarda ortaya çıkan akışların tamamen 3-boyutlu olduğu gösterilmiştir.

Isıtılan iç silindir ve onu çevreleyen eş merkezli yatay dış silindir arasındaki bölgedeki daimi akışın üç-boyutlu lineer kararlılığı üzerine Choi ve Kim (1995) tarafından yürütülen çalışılmaların sonuçları, dönmenin etkisi kaldırma kuvvetlerinin etkisinden baskın olduğunda içteki silindirin ısıtılmasının, Taylor girdaplarının oluşumunu geciktirdiğini ve kaldırma kuvvetlerinin etkisi merkezkaç kuvvetlerinin etkisinden üstün olduğunda, içteki silindirin dönmesinin yatay bölge içindeki doğal taşınımı dengelediğini göstermiştir.

Lee (1984) tarafından iki yatay eşmerkezli ve eksantrik silindirler arasındaki bölgede akışkanın sıcaklık ve akış desenini belirlemek için yapılan sayısal çalışmanın sonuçları, eşmerkezli ve eşmerkezli olmayan durumda ortalama Nusselt sayısının Rayleigh sayısıyla arttığını ve Rayleigh sayısı sabit tutulduğunda ortalama Nusselt sayısının içteki dönen silindir boyunca azaldığını göstermiştir.

Isıtılmış dönen iç silindirli yatay eşmerkezli silindirler arasında kalan bölgedeki iki boyutlu karışık taşınımın numerik analizi Fusegi ve arkadaşları (1986) tarafından yapılmış, halkanın aralık genişliğinin iç silindirin yarıçapına oranı 1.6 değerinde sabit tutulup, Grashof sayısı $1.39\ 10^2$ - 1.3910^5 aralığında ve Grashof sayısının Reynolds sayının karesine oranı olan dönme parametresi, saf doğal taşınıma karşılık gelen ∞ değerinden kaldırma ve merkezkaç kuvvetleri eşit şiddette oldukları 1 değerine değiştirilerek akış ve sıcaklık alanları ve ısı transfer karakteristikleri elde edilmiştir.

İç silindir duvarında sabit ısı akısı, dış silindir duvarında sabit sıcaklık olması durumunda yatay dairesel silindirler arasındaki bölge içindeki suyun daimi, laminer, doğal taşınımı, suyun yoğunluk değişimi ve bunun akış ve sıcaklık alanlarına etkilerini dikkate alarak, Ho ve Lin (1998) tarafından sayısal olarak incelenmiş ve yoğunluk değişim parametresi, değiştirilmiş Rayleigh sayısı, farklı yarıçap oranlarına göre sonuçlar elde edilmiştir.

Eşmerkezli ve eşmerkezli olmayan yatay dairesel silindirler arasında kalan bölgede daimi laminer iki boyutlu doğal taşınımı, iç silindir duvarında sabit ısı akısı olması ve dış silindir duvarında belirlenmiş eşsıcaklık koşulu ile çalışan Ho ve arkadaşlarının (1989) sayısal sonuçları, hız ve sıcaklık dağılımlarının değiştirilmiş Rayleigh sayısına ve eksantrikliğe bağlı olduğunu ve Prandtl sayısından çok az etkilendiklerini göstermiştir.

El-Shaarawi ve arkadaşları (1998), eşmerkezli olmayan dairesel silindirler arasında kalan bölgenin girişinde laminer zorlanmış taşınım yoluyla ısı transferini tanımlayan sınır tabaka modeli sunmuşlar ve iç duvarın eşsıcaklıklı olacak şekilde ısıtıldığını ve dış duvarın ise giren akışkanın sıcaklığında olduğunu varsayarak, Prandtl sayısının 0.7 değeri, eksantrikliğin 0.1 - 0.8 aralığı, yarıçap oranlarının 0.5 ve 0.9 değerleri için gelişen hız profillerini numerik olarak elde etmişlerdir.

Yoo (1998), eşmerkezli farklı sıcaklıklarda tutulan ve dışarıdaki sabit bir açısal hızla dönen iki dairesel silindir arasındaki bölgedeki havada taşınımı, çeşitli Rayleigh,

Reynolds sayıları ve iç silindir çapının aralık genişliğine oranının tanımladığı parametrenin oluşturduğu değer grupları için sayısal olarak incelemiş ve akış deseninin girdap sayısına göre iki girdaplı, tek girdaplı ve girdapsız akışlar olarak üçe ayrıldığını belirlemiştir.

Escudier ve arkadaşları (2000), iç silindir dönerken, eksantrik silindirler arasındaki bir bölgedeki Newtonyen bir sıvının bütünüyle gelişmiş laminer akışını bir hesaplama yöntemiyle ve deneysel olarak çalışmışlar ve eksantriklik, yarıçap oranı ve Taylor sayısını değiştirerek akış alanlarını, duvar kayma gerilmesi dağılımlarını ve sürtünme faktörlerini elde edilmiştir. Escudier ve arkadaşları (2003), benzer bir çalışmayı Newtonyen olmayan bir akışkan için de tekrarlayarak iç silindir dönerken dairesel silindirler arsında kalan bölgedeki akış için sayısal sonuçlar sunmuştur.

Farklı açısal hızlarla kendi eksenleri etrafında dönen eşmerkezli ve farklı değerlerde sabit sıcaklıklı ve adyabatik iki dairesel silindir arasındaki bölgede dönmenin kaldırma kuvveti tarafından gerçekleştirilen eksenel simetrik akışa etkisini anlamak için sayısal bir çalışma Venkatachalappa ve arkadaşları (2001) tarafından yapılmıştır ve . Grashof sayısının geniş bir aralığı için numerik çözümler sunulmuştur.

Habib ve Negm (2001), üniform olmayan çevresel ısıtma durumunda iki yatay dairesel silindir arasında kalan bölgede daimi, laminer, karışık taşınımı sayısal olarak araştırmışlardır. Çalışmada iki farklı ısıtma durumu incelenmiştir. İlkinde,iç silindirin 180 dereceye kadar olan üst bölgesi düzgün ısıtılırken aşağıdaki kısmı yalıtılmış olarak tutulmaktadır. İkinci durumda ısıtılan ve yalıtılan bölgeler yer değiştirmiştir. Akışın ve ısı transfer karakteristiklerinin ısıtma koşullarından nasıl etkilendiği belirlenmiştir.

Yatay halka içindeki gözenekli ortamda karışık taşınım Khanafer ve Chamka tarafından (2003) numerik olarak araştırılmıştır. İç silindir ısıtılırken dış silindir de soğutulmuş, zorlanmış akış dış silindirin sabit açısal hızla döndürülmesi sonucu oluşturulmuştur. Akış alanı, gözenekli ortamda viskoz, Darcy, ve atalet etkilerinin varlığını açıklayan momentum denkleminin genelleştirilmiş formunu kullanarak modellenmiş, denklemlerin ayrıklaştırılması Galerkin metodunu temel alan sonlu eleman yöntemiyle yapılmıştır. Richardson sayısı, Darcy sayısı, Rayleigh sayısı, halka genişliği parametrelerinin akış ve ısı transfer karakteristikleri üzerine etkileri ele alınmıştır.

İçteki silindirin ısıltıldığı ve döndürüldüğü, eş merkezli ve eş merkezli olmayan silindirler arasında düşük Prandtl sayılı akışkanlar için dönme etkilerinin karışık taşınım üzerindeki etkileri, dönme Reynolds sayısı Taylor girdaplarının etkisinin ihmal edilebileceği seviyede kabul edilerek ve Prandtl sayısı 0.01 - 1.0 aralığında, Rayleigh sayısı ise 10^6 değerinde alınarak, Lee (1992) tarafından nümerik olarak çalışılmıştır. Sonuçlar, iç silindir döndürüldüğünde, akışkanın Prandtl sayısına bağlı olarak, durgun halka içinde çok hücreli akış modeli gözlendiğini göstermiştir. Prandtl sayısının 1.0 ve Rayleigh sayısının sabit olduğu durumda iç silindir döndürüldüğünde, ortalama Nusselt sayısının, akışın heryerinde azaldığı gözlemlenirken, Prandtl sayısının 0.1 - 0.01 aralığındaki küçük değerleri için Nusselt sayısı sabit kalmıştır.

Literatürde yer alan çalışmalarda, farklı geometrilerde farklı yöntemler kullanılarak silindirler arasında kalan bölgelerdeki hız ve sıcaklık alanlarının belirlendiği görülmektedir. Çalışmaların sonuçları incelendiğinde, Rayleigh ve Reynolds sayılarının, farklı eksantriklik ve açısal yerleşimlerin, içteki ısı üretiminin; hız alanı, ortalama Nusselt sayısı ve akım fonksiyonunun maksimum değeri üzerinde büyük etkilerinin olduğu görülmektedir. Bu tez çalışmasında ise, dönen bir silindir yüzeyini çevreleyen kapalı düzlemsel bölgelerde taşınım yoluyla gerçekleşen ısı transferi nümerik olarak incelenmiştir. Geometrik, kinematik ve fiziksel parametrelerin hız ve sıcaklık alanların oluşumuna etkisinin belirlenmesi tezin amacını oluşturmaktadır.

2. ANALİZ

2.1 Geometri

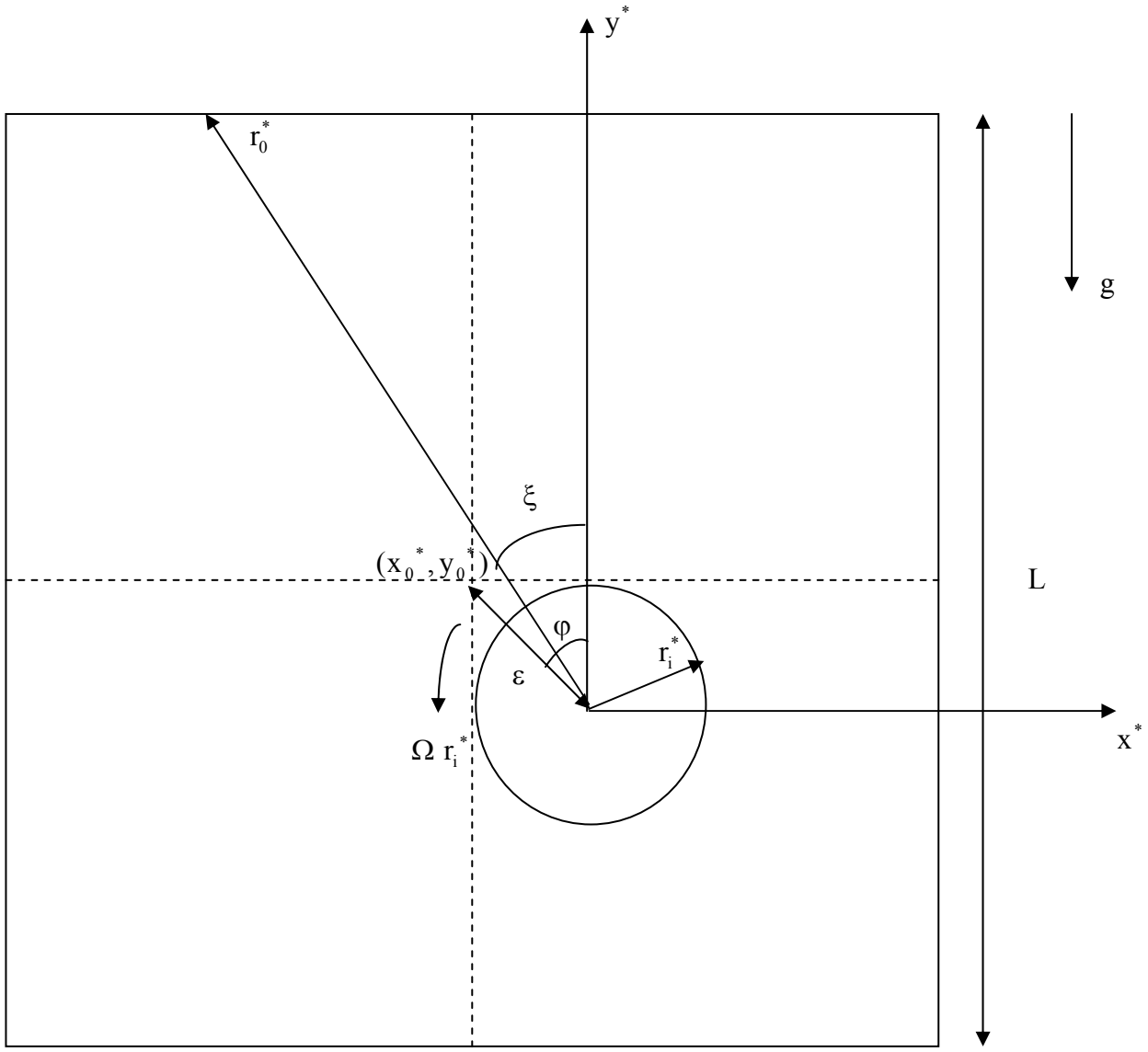
Bu çalışmada dönen ve ısıtılmış bir iç silindir ile onu çevreleyen ve kare, dikdörtgen veya elips gibi farklı bir kesitteki soğuk bir dış silindir arasında kalan bölgedeki daimi, laminer karışık taşınım, hız ve sıcaklık alanları elde edilerek incelenmiştir. Örnek olarak, ısıtılmış, dönen iç silindir ve onu çevreleyen eksantrik yani eşmerkezli olmayacak şekilde yerleştirilmiş bir kare dış silindir arasında kalan bölge, eksen takımıyla birlikte Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Burada, $\left(x_0^*, y_0^*\right)$ dış kare silindirin merkezinin koordinatları, L karenin boyutlu kenar uzunluğu, **ε** dış silindirin merkezinin iç silindirin merkezine olan uzaklığı ifade eden eksantriklik, r_i^* iç silindirin yarıçapı, r_0^* dış silindirin iç silindirin merkezine olan uzaklığı, φ dış silindirin açısal pozisyonu, ξ düşey eksenden saatin ters yönüne ölçülen açısal koordinat ve Ω iç silindirin saatin ters yönündeki sabit açısal hızıdır. Böyle bir durumda, viskoz kuvvetler, çalkantıları ve türbülansı sönümleyerek akışı kararlı hale getirmeye çalışırken, merkezkaç kuvvet ise tersine akışı kararsız hale getirmeye çalışır. Merkezkaç kuvvetin viskoz kuvvete oranını ifade eden Taylor sayısının belirli bir kritik değeri aşmasıyla akış alanında kararsızlıkların ortaya çıktığı bilinmektedir (Shu, vd, 2004). Bu çalışmada ele alınan geometrilerde, kritik Taylor sayısının aşılmadığı, doğal ve zorlanmış taşınımın etkilerinin birbiriyle kıyaslanabilir olduğu akışlarda hız ve sıcaklık alanları incelenmiştir.

Çalışmada ele alınan geometriler ve iç silindirin ısıtılma tarzları aşağıda sıralanmıştır:

1-) Dönen ve sabit sıcaklıktaki veya sabit ısı akısı ile ısıtılan dairesel bir iç silindir ve onu çevreleyen soğuk ve kare kesitli eksantrik bir dış silindir.

2-) Dönen ve sabit sıcaklıktaki veya sabit ısı akısı ile ısıtılan dairesel bir iç silindir ve onu çevreleyen soğuk ve dikdörtgen kesitli eksantrik bir dış silindir.

3-) Dönen ve sabit sıcaklıktaki veya sabit ısı akısı ile ısıtılan dairesel bir iç silindir ve onu çevreleyen soğuk ve elips kesitli eksantrik bir dış silindir.



Şekil 2.1 Eksantrik dairesel iç silindir ve onu çevreleyen kare dış silindir

2.2 Karışık Taşınım için Yönetici Denklemler

Sıkıştırılamayan bir akışkanın daimi rejimde laminer akışı için süreklilik, lineer momentumun değişimi ve enerjinin değişimi denklemleri en genel hali ile aşağıdaki gibi sıralanabilir.

$$\vec{\nabla}^* \cdot \vec{V}^* = 0 \quad , \qquad [2.1]$$

$$\rho\left(\vec{V}^* \cdot \vec{\nabla}^*\right)\vec{V}^* = \rho\vec{g} - \vec{\nabla}^* p^* + \mu\nabla^{*2}\vec{V}^* \quad , \qquad [2.2]$$

$$\rho c_p\left(\vec{V}^* . \vec{\nabla}^*\right)T^* = k\nabla^{*2}T^* \quad , \qquad [2.3]$$

Burada $\vec{V}^*$ boyutlu hız vektörünü, p^* boyutlu statik basıncı, ρ, μ, k ve c_p sırasıyla akışkanın yoğunluğunu, mutlak viskozitesini, ısıl iletkenlik katsayısını ve sabit basınçtaki özgül ısısını , T^* boyutlu sıcaklığı ve g yerçekimi ivmesini ifade etmektedir.

Boussinesq yaklaşımı daimi, iki boyutlu akışlarda akışkanın tek bir durum dışında sıkıştırılamaz olarak kabul edilmesidir. Bu durum, yoğunluk değişiminin akışkan hareketini gerçekleştiren kaldırma kuvvetine etkisini göz önüne alır. Diğer bir deyişle, yoğunluk farkları yerçekimi ivmesi "g" ile çarpıldığı terimler dışında ihmal edilebilir kadar küçük kabul edilir. Boussinesq yaklaşımı ile sıcaklık gradyanı etkisinde akışkanın yoğunluğunun değişimi, β akışkanın ısıl genleşme katsayısı olmak üzere,

$$\rho = \rho_0\left[1 - \beta\left(T^* - T_C^*\right)\right] \quad , \qquad [2.4]$$

şeklinde ifade edilir. Burada ρ_0, T_C^* sıcaklığındaki yoğunluğu ifade etmektedir ve T_C^* sıcaklığı genellikle akış alanını çevreleyen yüzeylerden daha soğuk olanının sıcaklığı olarak alınmaktadır.

Yukarıdaki genel denklemler Boussinesq yaklaşımı kullanılarak iki boyutta aşağıdaki gibi yazılır.

$$\frac{\partial u^*}{\partial x^*} + \frac{\partial v^*}{\partial y^*} = 0 \quad , \qquad [2.5]$$

$$\rho\left(u^*\frac{\partial u^*}{\partial x^*}+v^*\frac{\partial u^*}{\partial y^*}\right)=-\frac{\partial p^*}{\partial x^*}+\mu\left(\frac{\partial^2 u^*}{\partial x^{*2}}+\frac{\partial^2 u^*}{\partial y^{*2}}\right) \quad , \qquad [2.6]$$

$$\rho\left(u^*\frac{\partial v^*}{\partial x^*}+v^*\frac{\partial v^*}{\partial y^*}\right)=-\rho_0\left[1-\beta\left(T^*-T_c^*\right)\right]g-\frac{\partial p^*}{\partial y^*}+\mu\left(\frac{\partial^2 v^*}{\partial x^{*2}}+\frac{\partial^2 v^*}{\partial y^{*2}}\right) \quad , \qquad [2.7]$$

$$\rho c_p\left(u^*\frac{\partial T^*}{\partial x^*}+v^*\frac{\partial T^*}{\partial y^*}\right)=k\left(\frac{\partial^2 T^*}{\partial x^{*2}}+\frac{\partial^2 T^*}{\partial y^{*2}}\right) \quad . \qquad [2.8]$$

Burada, u^* ve v^* sırasıyla x^* ve y^* yönlerindeki boyutlu hız bileşenleridir.

İç ve dış silindir yüzey üzerindeki kaymama şartları, sırasıyla aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$u^*=-\Omega r_i^*\cos\xi \ , \quad v^*=-\Omega r_i^*\sin\xi \qquad [2.9]$$

$$u^*=v^*=0 \qquad [2.10]$$

İç ve dış silindir yüzey üzerindeki ısıl sınır şartları da, sırasıyla aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$T^*=T_H^* \quad \text{veya} \quad -k\frac{\partial T^*}{\partial \zeta^*}=q_0^* \qquad [2.11]$$

$$T^*=T_C^* \qquad [2.12]$$

Burada, T_H^* ve T_C^* sırasıyla iç ve dış silindirin boyutlu duvar sıcaklıklarını, q_0^* iç silindire uygulanan boyutlu sabit ısı akısını göstermektedir ve ζ^* iç silindir yüzeyinden dışarıya (dış silindire doğru) dik olarak ölçülen boyutlu koordinattır.

Çalışmada incelenen fiziksel olayın analizinde kullanılan boyutsuz büyüklükler aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

$$x=\frac{x^*}{L} \ , \ y=\frac{y^*}{L} \ , \ x_0=\frac{x_0^*}{L} \ , \ y_0=\frac{y_0^*}{L} \ , \ r_i=\frac{r_i^*}{L} \ , \ r_0=\frac{r_0^*}{L} \quad , \qquad [2.13]$$

$$u = \frac{u^*}{\Omega r_i^*} \quad , \quad v = \frac{v^*}{\Omega r_i^*} \quad , \quad p = \frac{p^*}{\rho_0 \Omega^2 r_i^{*2}} \quad , \quad T = \frac{T^* - T_C^*}{T_R^* - T_C^*} \quad . \qquad [2.14]$$

Boyutsuz sıcaklıklar farkı oranının tanımında yer alan T_R^* bir referans sıcaklığını ifade etmektedir. Referans sıcaklığı, iç silindir yüzeyinin sabit bir sıcaklıkta tutulduğu durum için bu sıcaklığa eşit alınabilir, iç silindir yüzeyine sabit ısı akısı uygulandığı durumda ise yüzey ısı akısını arzu edilen bir değere boyutsuzlaştıracak şekilde seçilebilir.

Boyutsuz akım ve girdap fonksiyonları aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y} \quad , \quad v = -\frac{\partial \psi}{\partial x} \quad , \qquad [2.15]$$

$$\omega = \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial v} \quad . \qquad [2.16]$$

Girdap ve akım fonksiyonlarının kullanılması ile yönetici denklemler aşağıdaki gibi yazılırlar:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = \omega \quad , \qquad [2.17]$$

$$u \frac{\partial \omega}{\partial x} + v \frac{\partial \omega}{\partial y} = \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right) - \frac{Gr}{Re^2} \frac{\partial T}{\partial x} \quad , \qquad [2.18]$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{1}{Pr\ Re} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad . \qquad [2.19]$$

Burada, ψ akım fonksiyonu ve ω girdap vektörüdür. Grashof sayısı, Prandtl sayısı ve dönme Reynolds sayısı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$Gr = \frac{g\beta(T_H - T_C)L^3}{\nu^2} \qquad Re = \frac{\rho \Omega r_i^* L}{\mu} \qquad Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad . \qquad [2.20]$$

Burada, ν akışkanın kinematik viskozitesini göstermektedir.

2.3 Koordinat Dönüşümü

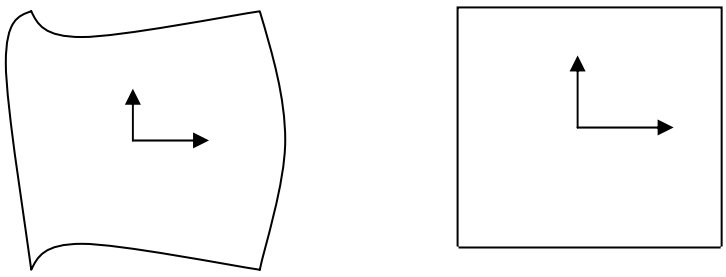
Nümerik yöntemler, fiziksel sınırların ayrıklaştırma çizgileri olmasını gerektirir. Bu çalışmadaki fiziksel düzlemin sınırları ile ayrıklaştırma çizgileri uyuşmamaktadır. Bu sebeple fiziksel düzlemi, uygun hesaplama düzlemine aktaracak bir koordinat dönüşümüne gerek vardır. Hesaplama düzleminin koordinatları (ξ,η), fiziksel düzlemin koordinatları (x,y) ile gösterilecek olursa, bu dönüşüm,

$$\xi = \xi(x, y), \quad \eta = \eta(x, y) \quad , \qquad [2.21]$$

ve ters dönüşüm

$$x = x(\xi, \eta), \quad y = y(\xi, \eta) \quad , \qquad [2.22]$$

şeklinde ifade edilebilir ve şematik olarak Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Fiziksel düzlem Hesaplama düzlemi

Şekil 2.2 Fiziksel düzlem ve koordinat dönüşümü yapılmış hesaplama düzlemi

Bu ifadelerde yer alan koordinat dönüşümlerini tanımlayan fonksiyonların kısmi türevleri arasındaki ilişkiler aşağıda sıralanmıştır.

$$\xi_x = J^{-1} y_\eta \qquad \eta_x = -J^{-1} y_\xi \qquad \xi_y = -J^{-1} x_\eta \qquad \eta_y = J^{-1} x_\xi \quad . \qquad [2.23]$$

Buradaki Jacobien aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$J = x_\xi y_\eta - x_\eta y_\xi \quad . \qquad [2.24]$$

Türetilebilir bir fonksiyonun fiziksel düzlemdeki türevleri, hesaplama düzleminin koordinat değişkenleri cinsinden aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$f_x = \frac{\partial f}{\partial x} = \left(y_\eta f_\xi - y_\xi f_\eta\right)/J \quad , \tag{2.25}$$

$$f_y = \frac{\partial f}{\partial y} = \left(x_\xi f_\eta - x_\eta f_\xi\right)/J \quad , \tag{2.26}$$

$$\begin{aligned} f_{xx} = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} &= \left(y_\eta^2 f_{\xi\xi} - 2y_\xi y_\eta f_{\xi\eta} + y_\xi^2 f_{\eta\eta}\right)/J^2 \\ &+ \left[\begin{matrix}\left(y_\eta^2 y_{\xi\xi} - 2y_\xi y_\eta y_{\xi\eta} + y_\xi^2 y_{\eta\eta}\right)\left(x_\eta f_\xi - x_\xi f_\eta\right) + \\ \left(y_\eta^2 x_{\xi\xi} - 2y_\xi y_\eta x_{\xi\eta} + y_\xi^2 x_{\eta\eta}\right)\left(y_\xi f_\eta - y_\eta f_\xi\right)\end{matrix}\right]/J^3 \quad , \end{aligned} \tag{2.27}$$

$$\begin{aligned} f_{yy} = \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} &= \left(x_\eta^2 f_{\xi\xi} - 2x_\xi x_\eta f_{\xi\eta} + x_\xi^2 f_{\eta\eta}\right)/J^2 \\ &+ \left[\begin{matrix}\left(x_\eta^2 y_{\xi\xi} - 2x_\xi x_\eta y_{\xi\eta} + x_\xi^2 y_{\eta\eta}\right)\left(x_\eta f_\xi - x_\xi f_\eta\right) + \\ \left(x_\eta^2 x_{\xi\xi} - 2x_\xi x_\eta x_{\xi\eta} + x_\xi^2 x_{\eta\eta}\right)\left(y_\xi f_\eta - y_\eta f_\xi\right)\end{matrix}\right]/J^3 \quad , \end{aligned} \tag{2.28}$$

$$\begin{aligned} f_{xy} = \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} &= \left[\left(x_\xi y_\eta + x_\eta y_\xi\right) f_{\xi\eta} - x_\xi y_\xi f_{\eta\eta} - x_\eta y_\eta f_{\xi\xi}\right]/J^2 \\ &+ \left[\left(x_\eta y_\eta x_{\xi\xi} - \left(x_\xi y_\eta + x_\eta y_\xi\right)x_{\xi\eta} + x_\xi y_\xi x_{\eta\eta}\right)\right]\left(y_\eta f_\xi - y_\xi f_\eta\right)/J^3 \\ &+ \left[\left(x_\eta y_\iota y_{\xi\xi} - \left(x_\xi y_\eta + x_\eta y_\xi\right)y_{\xi\eta} + x_\xi y_\xi y_{\eta\eta}\right)\right]\left(x_\xi f_\eta - x_\eta f_\xi\right)/J^3 \quad . \end{aligned} \tag{2.29}$$

Bir iç silindirik yüzeyi çevreleyen ve Şekil 2.1'de bir kare olarak gösterilen bir katı yüzey arasında kalan bölge, aşağıdaki koordinat dönüşümü ile (ξ,η) hesaplama düzleminde bir dikdörtgen bölgeye taşınabilir.

$$x = -\sin\xi\left[r_i + \left(r_0 - r_i\right)\eta\right] \quad , \quad y = \cos\xi\left[r_i + \left(r_0 - r_i\right)\eta\right] \quad ; \quad 0 \le \xi \le 2\pi \quad , \quad 0 \le \eta \le 1 \quad . \tag{2.30}$$

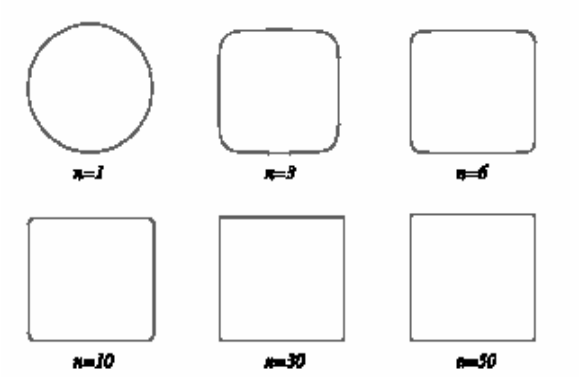
Burada, η iç silindir yüzeyinden dışarıya (dış silindire doğru) dik olarak ölçülen boyutsuz koordinat olup, dış silindir yüzeyinin koordinat merkezinden ölçülen boyutsuz uzaklığı aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$r_0 = \frac{B}{\left[\left(\frac{B}{A}\right)^{2n}\left(\sin\xi + \frac{x_0}{r_0}\right)^{2n} + \left(\cos\xi - \frac{y_0}{r_0}\right)^{2n}\right]^{\frac{1}{2n}}} \quad . \qquad [2.31]$$

Bu eşitlikte n pozitif bir tamsayı, A ve B sabitleri de, dış silindir kesidinin x ve y yönlerindeki eliptik uzunluklarının yarılarıdır. Dış silindir yüzeyini tanımlayan eğri de aşağıdaki eşitlik ile ifade edilebilir.

$$\left(\frac{x - x_0}{A}\right)^{2n} + \left(\frac{y - y_0}{B}\right)^{2n} = 1 \quad . \qquad [2.32]$$

Bu eşitlikte n=1 için geometri, $A \neq B$ olduğu durumda elips ve A=B olduğu durumda ise çember olur. Geometri, n>1 olduğunda $A \neq B$ için dikdörtgene, A=B için kareye yaklaşır. Bu geometrinin, A=B eşit alınarak artan n tamsayı değerleri ile değişimi, Şekil 2.3'de gösterilmiş olup, değişimin n>20 değerleri için gözle hissedilemez olduğu söylenebilir.



Şekil 2.3 Geometrinin n parametresi ile değişimi

Bu çalışmada fiziksel düzlemin hesaplama düzlemine aktarılabilmesi için geliştirilen ve [2.30] eşitliği ile tanımlanan dönüşüm kullanıldığında, [2.17], [2.18] ve [2.19] denklemleri aşağıdaki denklemlere dönüşürler.

$$\alpha\frac{\partial^2\psi}{\partial\xi^2} + 2\gamma\frac{\partial^2\psi}{\partial\eta\partial\xi} + \kappa\frac{\partial^2\psi}{\partial\eta^2} + \lambda\frac{\partial\psi}{\partial\eta} + \sigma\frac{\partial\psi}{\partial\xi} = J\omega \quad , \qquad [2.33]$$

$$U\frac{\partial\omega}{\partial\xi}+V\frac{\partial\omega}{\partial\eta}=\frac{1}{Re}\left(\alpha\frac{\partial^2\omega}{\partial\xi^2}+2\gamma\frac{\partial^2\omega}{\partial\eta\partial\xi}+\kappa\frac{\partial^2\omega}{\partial\eta^2}+\lambda\frac{\partial\omega}{\partial\eta}+\sigma\frac{\partial\omega}{\partial\xi}\right)-\frac{Gr}{Re^2}\left(y_\eta\frac{\partial T}{\partial\xi}-y_\xi\frac{\partial T}{\partial\eta}\right) \quad , \qquad [2.34]$$

$$U\frac{\partial T}{\partial\xi}+V\frac{\partial T}{\partial\eta}=\frac{1}{Re\,Pr}\left(\alpha\frac{\partial^2 T}{\partial\xi^2}+2\gamma\frac{\partial^2 T}{\partial\eta\partial\xi}+\kappa\frac{\partial^2 T}{\partial\eta^2}+\lambda\frac{\partial T}{\partial\eta}+\sigma\frac{\partial T}{\partial\xi}\right) \quad . \qquad [2.35]$$

Bu ifadelerdeki katsayılar,

$$U=\frac{\partial\psi}{\partial\eta} \quad , \quad V=-\frac{\partial\psi}{\partial\xi} \quad , \qquad [2.36]$$

$$\alpha=\frac{x_\eta^2+y_\eta^2}{J} \ , \ \gamma=-\frac{x_\xi x_\eta+y_\xi y_\eta}{J} \ , \ \kappa=\frac{x_\xi^2+y_\xi^2}{J} \ , \ \lambda=\frac{\partial\gamma}{\partial\xi}+\frac{\partial\kappa}{\partial\eta} \ , \ \sigma=\frac{\partial\alpha}{\partial\xi}+\frac{\partial\chi}{\partial\eta} \ . \qquad [2.37]$$

eşitlikleri ile tanımlıdır.

Hesaplama düzleminde, kaymama şartı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$U(\xi,0)=\Omega r_i\left(r_i-r_o\right) \ , \ V(\xi,0)=0 \ , \ U(\xi,1)=0 \ , \ V(\xi,1)=0 \ , \ \psi(\xi,1)=0 \quad . \qquad [2.38]$$

İç ve dış silindir yüzeylerindeki ısıl şartlar da aşağıdaki şekli alırlar.

$$T(\xi,0)=0 \quad \text{veya} \quad -\left.\frac{\partial T}{\partial\zeta}\right|_{\zeta=0}=1 \quad , \quad T(\xi,1)=1 \quad . \qquad [2.39]$$

İç silindir yüzeyindeki ısı akısı şartı, $\zeta=\left(r_0-r_i\right)\eta$ ilişkisini kullanarak

$$-\left.\frac{\partial T}{\partial\eta}\right|_{\eta=0}=r_0-r_i \quad , \qquad [2.40]$$

olarak yazılabilir.

İç ve dış silindir yüzeyindeki girdap fonksiyonu için sınır şartları aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\omega=\left.\frac{\kappa}{J}\frac{\partial^2\psi}{\partial\eta^2}\right|_{\eta=1} \qquad \omega=\left.\frac{\kappa}{J}\frac{\partial^2\psi}{\partial\eta^2}\right|_{\eta=0}+\left.\frac{\lambda}{J}\frac{\partial\psi}{\partial\eta}\right|_{\eta=0} \qquad [2.41]$$

Ele alınan fiziksel düzlemdeki bölge, iki ayrı yüzey tarafından çevrelenmektedir veya sınırlanmaktadır. Bu durumda akım fonksiyonunun değeri sadece bir yüzey için

keyfi veya uygun şekilde seçilebilir. Akım fonksiyonunun diğer yüzey üzerinde alması gereken sabit değer ise, basıncın tek-değerli bir fonksiyon olması koşulundan elde edilebilir. Basınç için tek-değerlilik koşulu

$$\int_0^{2\pi} \frac{\partial p}{\partial \xi} d\xi = 0 \quad , \qquad [2.42]$$

olarak yazılabilir.

İç silindir yüzeyi üzerinde ve yüzey boyunca basınç değişimi, momentum denkleminden türetilerek aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\left.\frac{\partial p}{\partial \xi}\right|_{\eta=0} = -\frac{r_i}{(r_o - r_i)^3} \left.\frac{\partial^3 \psi}{\partial \eta^3}\right|_{\eta=0} + \frac{1}{(r_o - r_i)^2} \left.\frac{\partial^2 \psi}{\partial \eta^2}\right|_{\eta=0} \quad . \qquad [2.43]$$

Bu ifade [2.42] denkleminde yerine yazılıp, iç silindir yüzeyine dik olan türevler, yüzeyden itibaren sıralanan ağ noktalarındaki akım fonksiyonu değerleri cinsinden ifade edildikten sonra integre edilirse, akım fonksiyonunun iç silindir yüzeyi üzerindeki değeri bulunabilir.

3. NÜMERİK ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Kapalı alanlarda gerçekleşen taşınımın sayısal olarak hesaplanması için yapılan çalışmalarda, literatürde genellikle sonlu farklar, sonlu hacim ve sonlu elemanlar yöntemleri gibi düşük mertebeli yöntemler kullanıldığı görülmektedir. Genel olarak, düşük mertebeli yöntemler kesin sayısal sonuç elde edebilmek için yüksek sayıda nokta ve daha fazla sistem kaynağı (sanal bellek, bilgisayar işlemcisi) gerektirmektedir. Bu çalışmada dönen bir silindir yüzeyini çevreleyen kapalı düzlemsel bölgelerde daimi, laminer karışık taşınım akışını nümerik olarak çözmek için FORTRAN programlama dili kullanılarak bir bilgisayar programı yazılmıştır. Yazılan bu programda Bellman vd. (1971, 1972) tarafından geliştirilen diferansiyel kuadratür (DQ) yöntemi kullanılmıştır. DQ yöntemi, türevlerin tahmini için kullanılan sayısal ayrıklaştırma tekniğidir. DQ yönteminin tercih edilmesinin nedeni çok az sayıda nokta kullanarak çok kesin sayısal sonuçlar elde edebilmesi ve diğer yöntemlere kıyasla daha az sistem kaynağı gerektirmesidir. Boyutsuz yönetici denklemler akım fonksiyonu, girdap vektörü ve sıcaklık için diferansiyel kuadratür (DQ) yöntemi kullanılarak çözülmüştür. DQ yönteminin dayanağı lineer vektör uzayı analizi ve fonksiyon tahminidir. Belmann ve arkadaşları integral kuadratür düşüncesinden yola çıkarak fonksiyonun kısmi türevinin, fonksiyonun türev alınan yöndeki tüm noktalardaki değerlerinin lineer toplamı olarak ifade edilebileceğini ileri sürmüştürler. DQ yönteminde en önemli işlem ağırlık katsayılarının belirlenmesidir. Bu yöntemdeki en önemli yenilik, Shu ve arkadaşlarının (1990) ağırlık katsayılarının hesaplanması için kesin bir formülasyon geliştirmiş olmalarıdır. DQ yönteminin iki versiyonu vardır. Bir tanesi, polinoma dayalı diferansiyel kuadratür yaklaşımı(PDQ) olarak ele alınan yüksek mertebe polinom yaklaşımıdır. Diğeri, Fourier açılımına dayalı diferansiyel kuadratür yaklaşımı (FDQ) olarak bilinen Fourier seri açılımına dayandırılmış bir yaklaşımdır. Belmann tarafından gösterilen ve Shu ve arkadaşları tarafından geliştirilen PDQ yaklaşımı DQ yönteminin orjinalidir. FDQ yaklaşımı da Shu ve Chew (1992) tarafından geliştirilmiştir.

PDQ, kısmi türevli diferansiyel denklemin çözümünün yüksek derecede bir polinom olarak tahmin edildiği DQ yöntemidir. PDQ yönteminde ağırlık katsayılarının hesaplanması ilk olarak Belmann ve arkadaşları (1972) tarafından yapılmıştır. Birinci

dereceden türev için ağırlık katsayılarını hesaplamada iki yol ileri sürülmüştür. Birinci yol, bir cebirsel denklem sisteminin çözümünü, ikinci yol ise, değiştirilmiş Legendre polinomlarının köklerini ayrıklaştırma noktalarının koordinatları olarak kabul eden basit bir cebirsel formülasyon içermektedir. PDQ'nun mühendislikte önceki uygulamalarında ağırlık katsayılarını hesaplanmasında noktaların keyfi olarak seçilmesine imkan tanıdığı için Belmann'ın 1. yaklaşımı kullanılmıştır. Fakat, cebirsel denklem sisteminin büyüklüğü nokta sayısına eşit olduğunda çıkan sistemi tanımlayan matrisin kötü huylu olduğu gözlenmiştir. Çok sayıda nokta için ağırlık katsayılarının hesaplanmasının da oldukça zor olduğu görülmüştür. Belmann'ın yaklaşımında ağırlık katsayılarının hesaplanması zorluğunun üstesinden gelmek için birçok çalışma yapılmıştır. Quan ve Chang (1989a, 1989b), birinci ve ikinci mertebe türevler için ağırlık katsayılarını hesaplamada Lagrange interpolasyon polinomlarını test fonksiyonları olarak kullanarak ağırlık katsayılarını hesaplama ifadeleri elde etmişlerdir. Lineer vektör uzayının özelliklerini kullanarak Shu ve arkadaşları (1990), PDQ da ağırlık katsayılarını hesaplayan tüm yöntemlerin lineer vektör uzayında temel vektörlerin uygun seçimiyle genelleştirilebileceğini göstermişlerdir. Shu (1991), ayrıklaştırma noktalarının seçiminde herhangi bir kısıtlamaya girmeksizin birinci mertebe türevlerin ağırlık katsayılarını hesaplamada basit bir cebirsel formül, ikinci mertebe türevlerin hesaplanmasında da bir yineleme ilişkisi elde etmiştir. Bu çalışmada ağırlık katsayıları hesaplanırken Shu'nun (2000) genel yöntemi kullanılmıştır.

Bir (x_i, y_j) noktasında $F(x,y)$ iki değişkenli bir fonksiyon için birinci ve ikinci mertebe kısmi türevlerin aşağıdaki gibi ifade edilebileceği varsayılır.

$$F_x(x_i, y_j) = \sum_{k=1}^{N} a_{ik} F(x_k, y_j),\ F_y(x_i, y_j) = \sum_{k=1}^{N} \bar{a}_{kj} F(x_i, y_k), \qquad [3.1]$$

$$F_{xx}(x_i, y_j) = \sum_{k=1}^{N} b_{ik} F(x_k, y_j),\ F_{yy}(x_i, y_j) = \sum_{k=1}^{N} \bar{b}_{kj} F(x_i, y_k) \qquad [3.2]$$

Burada fonksiyonun (N-1). dereceden bir polinom olduğu varsayılır. Shu ve Richards (1992a, 1992b), ağırlık katsayılarını hesaplarken herhangi bir tekilliğe neden olmayan ve büyük sayıda lineer denklem takımı çözümü gerektirmeyen analitik ifadeler önermişlerdir. Bu yöntemde ağırlık katsayıları için birinci ve ikinci türevler, aşağıdaki gibi formüle edilmiştir.

$$a_{ik} = \begin{cases} \dfrac{A(x_i)}{(x_i - x_k)A(x_k)} & , i \neq k \\ -\sum_{k=1,k\neq i}^{N} a_{ik} & , i = k \end{cases} \qquad [3.3]$$

$$\bar{a}_{kj} = \begin{cases} \dfrac{\bar{A}(y_j)}{(y_j - y_k)\bar{A}(y_k)} & , j \neq k \\ -\sum_{k=1,k\neq j}^{N} \bar{a}(k_j) & , j = k \end{cases} \qquad [3.4]$$

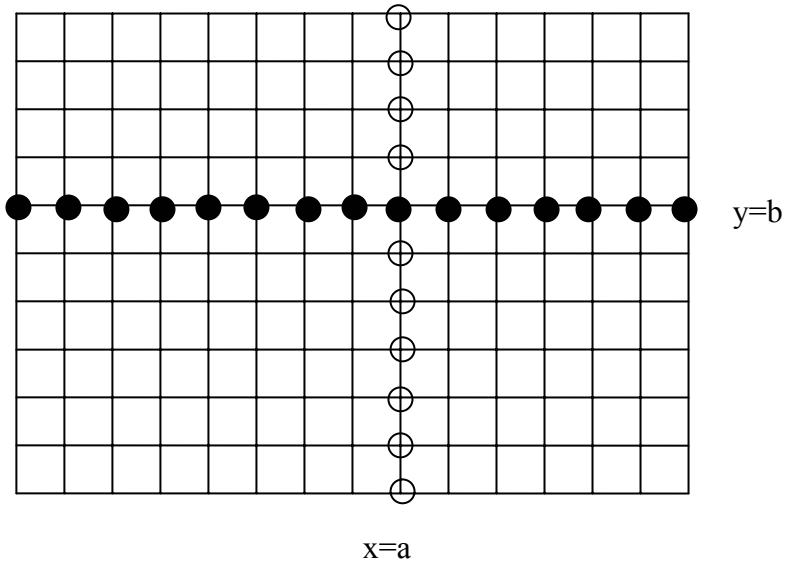
$$b_{ik} = \begin{cases} 2a_{ik}\left(a_{ii} - \dfrac{1}{x_i - x_k}\right) & , i \neq k \\ -\sum_{k=1,k\neq i}^{N} b_{ik} & , i = k \end{cases} \qquad [3.5]$$

$$\bar{b}_{kj} = \begin{cases} 2\bar{a}_{kj}\left(\bar{a}_{jj} - \dfrac{1}{y_k - y_j}\right) & , j \neq k \\ -\sum_{k=1,k\neq j}^{N} \bar{b}_{kj} & , j = k \end{cases} \qquad [3.6]$$

$$A(x_i) = \prod_{k=1,k\neq i}^{N} (x_i - x_k) \quad , \quad \bar{A}(y_j) = \prod_{k=1,k\neq j}^{N} (y_k - y_j) \qquad [3.7]$$

Akım fonksiyonu, girdap ve sıcaklığın hem x yönünde hem de y yönünde ve N=5 kullanıldığında 4. dereceye sahip polinom gibi davrandığı varsayılmaktadır. Nümerik adım uzunluğu h=0.01 kullanıldığında, her iki yönde de iyi bir uyum sağlamaktadır. İterasyonlar her bir ağ noktasındaki akım fonksiyonu ve sıcaklık için birbirini izleyen çözümler arasındaki farkın mutlak değerinin 10^{-5}, girdap için $10^{-2'}$ den daha az olması durumunda durdurulur.

Şematik olarak Şekil 3.1’ de gösterilen çözüm bölgesinin içindeki bir (x_i, y_j) noktasında kapalı dikdörtgen bölgenin ayrıklaştırılması görülmektedir.



Şekil 3.1 Ayrıklaştırılmış düzgün dikdörtgen bölge

4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1. Dönen ve Sabit Sıcaklıktaki Dairesel İç Silindir ve Onu Çevreleyen Soğuk ve Kare Kesitli Eksantrik Olarak Yerleştirilmiş Bir Dış Silindir Arasında Kalan Bölgede Gerçekleşen Karışık Taşınım

Çalışmada ilk olarak dönen, sıcak, dairesel bir iç silindir ve onu çevreleyen soğuk, kare kesitli çeşitli eksantrikliklerde yerleştirilmiş bir dış silindir arasında kalan bölgede daimi, laminer, karışık taşınım akışı incelenmiştir. İncelen fiziksel durum, koordinatlar ve sınır koşulları ile birlikte daha önceki bölümlerde Şekil 2.1'de verilmiştir. Nümerik hesaplamalar, hava için Pr=0.71 alınarak yapılmıştır. $\varphi = 0^0, 45^0, 90^0, 135^0, 180^0, 225^0, 270^0, 315^0$ açısal yerleşimleri için ε=0.10, 0.15, 0.20, 0.25 eksantrikliklerde akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri elde edilmiştir. Amaç, doğal ve zorlanmış taşınımın etkilerini bir arada görmek olduğu için doğal taşınımı temsil eden Grashof sayısı "10^6" ve zorlanmış taşınımı temsil eden Reynolds sayısı "1" seçilmiştir. İç silindirin boyutsuz yarıçapı 0.2 kabul edilmiştir.

Eksantrik durumların eşmerkezli durumdan farkını gösterebilmek amacı ile dış silindirin eşmerkezli yerleşimi için akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri de elde edilmiş ve Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Eşmerkezli durum incelendiğinde, solda ve sağda oluşmuş iki edi (dönel akış) görülmektedir. İç silindirin dönmediği, yalnızca doğal taşınım yoluyla gerçekleşen ısı transferi durumunda silindirlerin merkezinden geçen düşey eksene göre simetrik iki edi oluşmaktadır. Bu çalışmada, iç silindir döndüğünden, iki edinin simetrik olarak oluşmadığı, solda oluşan edinin daha büyük olduğu ve iç silindiri çevrelediği, sağda oluşan edinin soldakine göre daha küçük olduğu görülmektedir. Sağdaki edi saat ibresi yönünde dönerken, soldaki edi saat ibresinin tersi yönünde dönmektedir. Eş sıcaklık eğrilerinin de dönmenin etkisi ile sola doğru eğildiği görülmektedir.

Açısal pozisyonun $\varphi = 0^0$ alındığı durumda 4 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.2'de görülmektedir. Artan eksantriklikle birlikte iç silindirin üzerindeki alanın genişlemesi ile sağdaki edinin iç silindirin üzerine

doğru hareket ettiği ve büyüdüğü, soldaki edinin de küçülerek solda iç silindirin yanına doğru sıkıştığı ve zayıfladığı görülmektedir. Eş sıcaklık eğrileri de artan eksantriklikle sola doğru hareket etmişler, zorlanmış taşınımın etkileri daha artmış şekilde görünmektedir.

Açısal pozisyonun $\varphi = 45^0$ alındığı durumda 4 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.3'de görülmektedir. Bu durumda da, artan eksantriklikle dış silindir iç silindirin kuzey batısına doğru ilerlediğinden, sağ taraftaki edi kendisine sağ tarafta yer bulamadığından $\varphi = 0^0$ durumuna benzer şekilde iç silindirin üzerine doğru ilerlemektedir. Soldaki edi, iç silindirin etrafında oluşmakta ve ε=0.20, 0.25 durumlarında edinin orta kısmında bir durgunluk noktasının oluşması ile beraber iki ayrı döngülü bölgenin oluştuğu da gözlenmektedir. Artan eksantriklikle birlikte aşağıdaki durgun alan azalmakta, eş sıcaklık eğrileri zorlanmış taşınımın etkileri daha fazla görülüyormuşçasına saat yönünün tersine doğru hareket etmektedirler.

Açısal pozisyonun $\varphi = 90^0$ alındığı durumda 4 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.4'de görülmektedir. Açısal pozisyonun $\varphi = 90^0$ olması artan eksantriklikle dış silindirin batıya doğru ilerlemesi anlamına gelmektedir. Dış silindir batıya doru ilerledikçe iç silindiri çevreleyen soldaki edi kendine daha fazla yer bulduğundan genişlemekte, edinin merkezi yukarıya çıkmakta, sağdaki edi de iç silindirin üstüne doğru ilerlemektedir. ε=0.20 durumunda diğer durumlardan farklı olarak soldaki edinin döngüler içerdiği gözlenmektedir. Eş sıcaklık eğrilerinin de ε=0.20'ye kadar iç silindirin döndüğü yönde hareket ettiği, ε=0.25'te bu eğilimin tersine döndüğü görülmektedir.

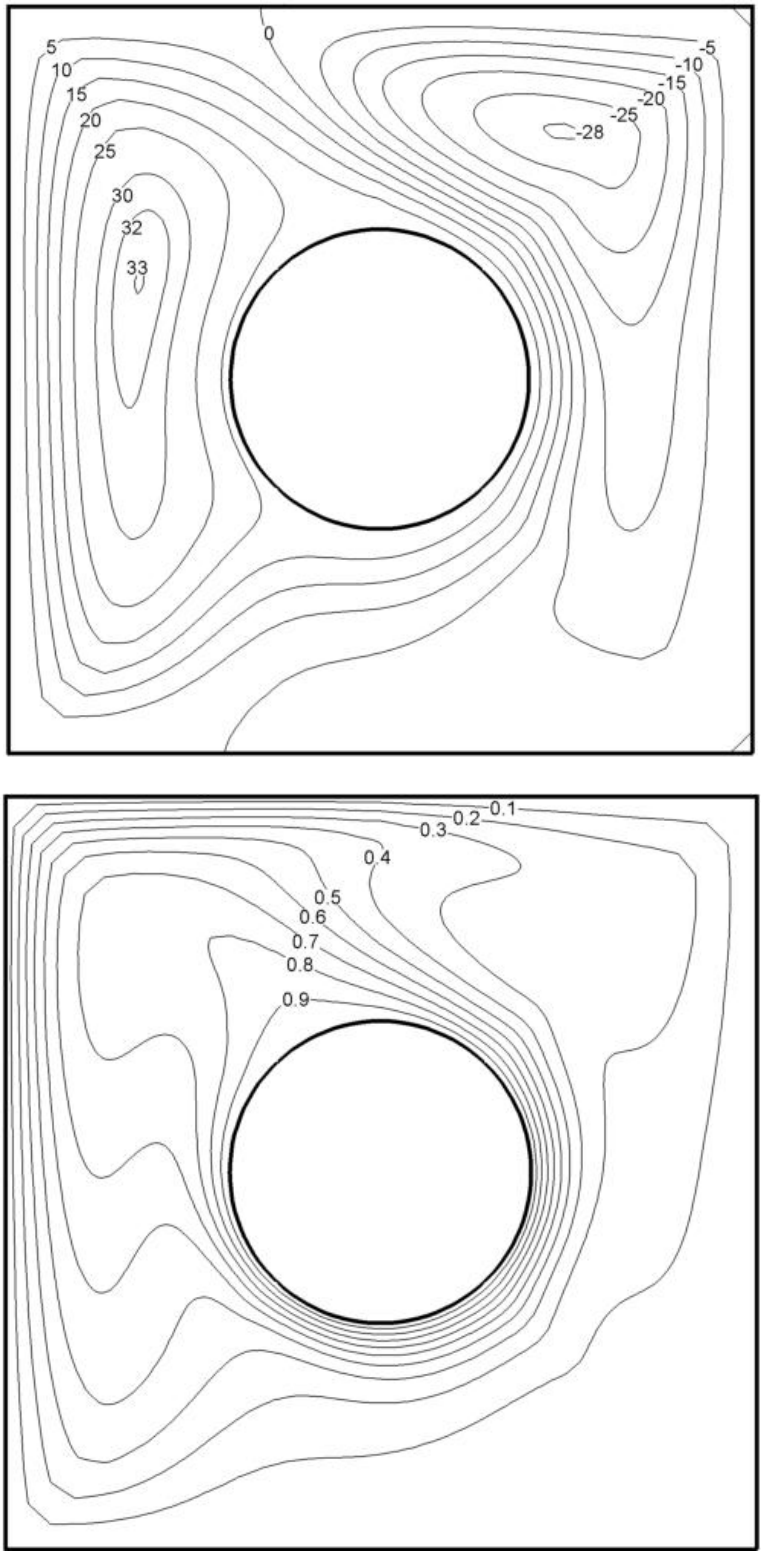
Açısal pozisyonun $\varphi = 135^0$ alındığı durumda 4 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.5'de görülmektedir. Açısal pozisyonun $\varphi = 135^0$ olması artan eksantriklikle dış silindirin güneybatıya doğru ilerlemesi anlamına gelmektedir. İç silindiri çevreleyen soldaki edi eksantriklikle birlikte genişlemektedir. ε=0.10 durumunda bütün olarak gözlenen sağdaki edi ε=0.15 olduğunda saat yönünde dönen iki parçaya ayrılmakta, ε=0.20 olduğunda yukarıdaki parça kaybolmakta alttaki edi varlığını sürdürmeye devam ettirmektedir. Eş sıcaklık eğrilerinin de eksantriklikle birlikte iç silindirin döndüğü yöne doğru hareketlerini arttırdıkları gözlenmektedir.

Açısal pozisyonun $\varphi = 180^0$ alındığı durumda 4 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.6'de görülmektedir. Açısal pozisyonun $\varphi = 180^0$ olması artan eksantriklikle dış silindirin güneye doğru ilerlemesi anlamına gelmektedir. Sol tarafta iç silindiri çevreleyen edi eksantriklik arttıkça çok fazla değişikliğe uğramazken, sağ taraftaki edi aşağıya doğru genişlemektedir. ε=0.20 durumunda sağ taraftaki edinin içinde durgunluk noktası ile beraber döngülü bölgelerin oluştuğu görülmektedir. Eş sıcaklık eğrilerine bakıldığında artan eksantriklikle iç silindirin güneydoğusunda üçgen şeklinde oluşan durgun bölgenin alt bölgede daha yatay hale gelerek büyüdüğü söylenebilir.

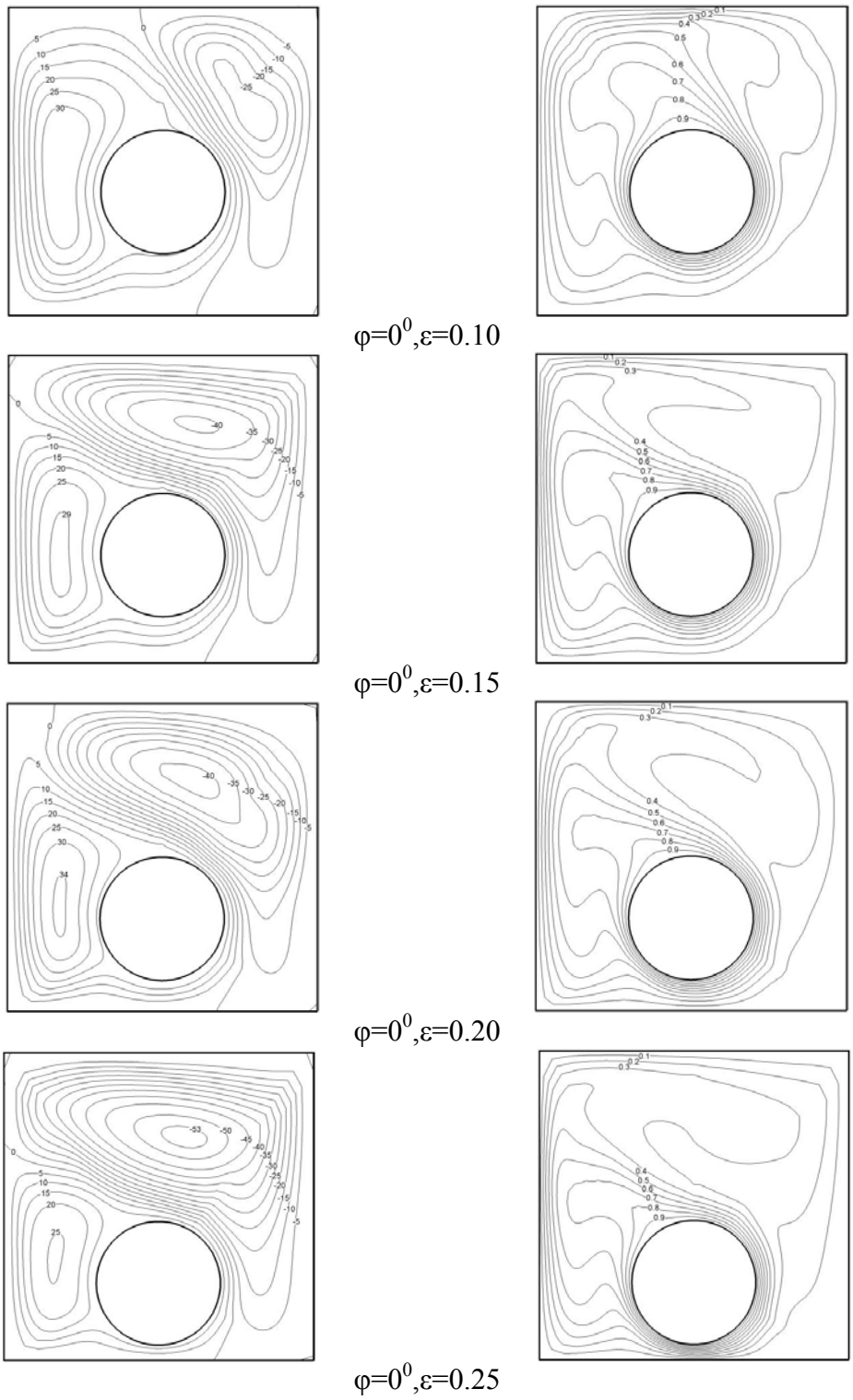
Açısal pozisyonun $\varphi = 225^0$ alındığı durumda 4 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.7'de görülmektedir. Açısal pozisyonun $\varphi = 225^0$ olması artan eksantriklikle dış silindirin güneydoğuya doğru ilerlemesi anlamına gelmektedir. Akım çizgilerine bakıldığında, eksantriklik arttıkça zorlanmış taşınımın da etkisini arttırdığı söylenebilir. Ayrıca sağdaki edi kendine daha fazla yer bulduğundan genişlemiştir. Eş sıcaklık eğrilerine bakıldığında artan eksantriklikle iç silindirin güneydoğusunda üçgen şeklinde oluşan durgun bölgenin iç silindirin sağına kayarak büyüdüğü söylenebilir.

Açısal pozisyonun $\varphi = 270^0$ alındığı durumda 4 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.8'de görülmektedir. Açısal pozisyonun $\varphi = 270^0$ olması artan eksantriklikle dış silindirin doğuya doğru ilerlemesi anlamına gelmektedir. Sağdaki edinin merkezi eksantriklikle birlikte yukarıya doğru çıkarken, soldaki edi ε=0.15 ve ε=0.20 eksantrikliklerde içerde iki döngü içererek daha güçlü bir şekilde içteki silindiri sarmıştır. İki döngülü durum ε=0.25'te de devam etmiş, ancak silindiri çevreleyen sol edi zayıflamıştır.

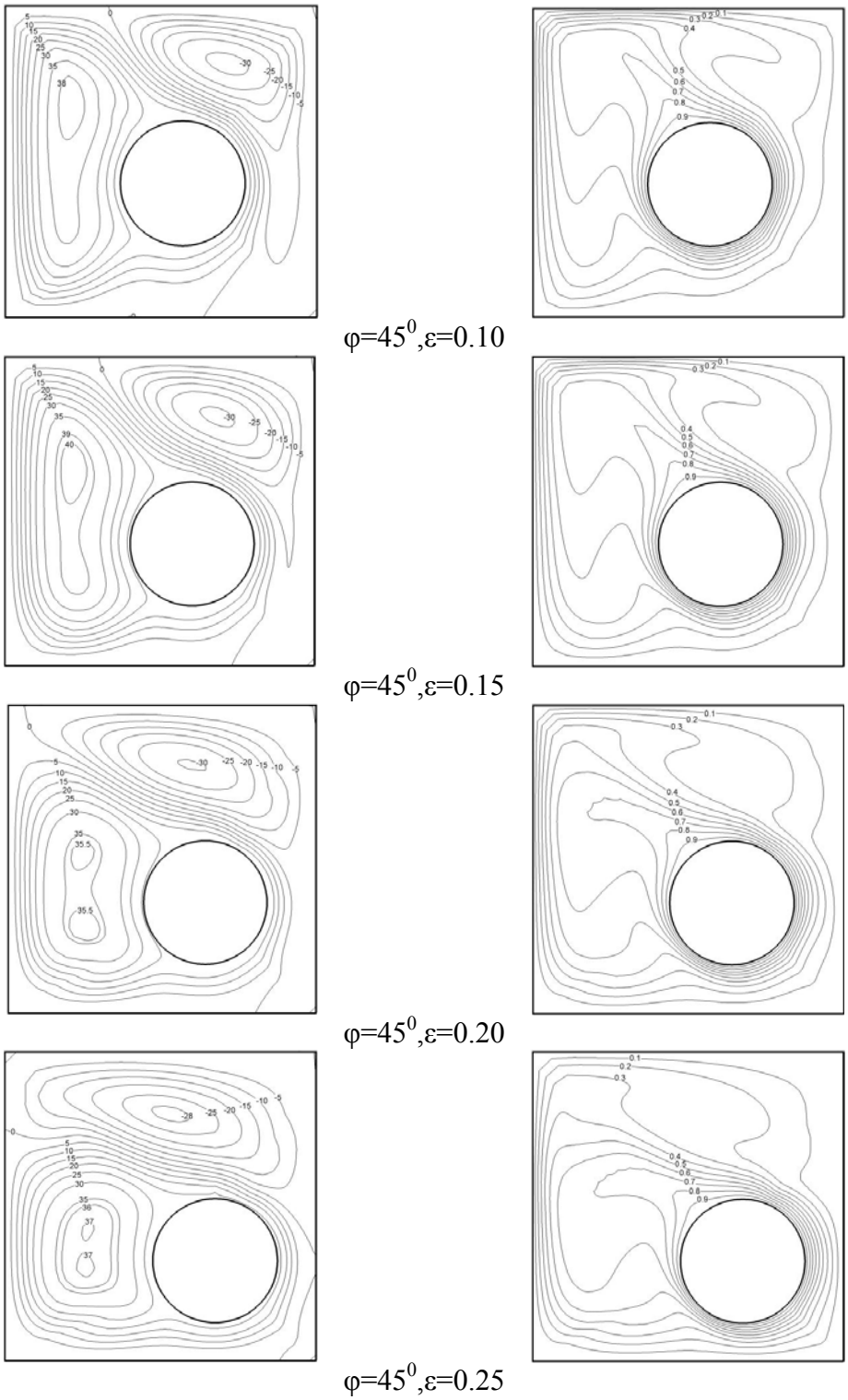
Açısal pozisyonun $\varphi = 315^0$ alındığı durumda 4 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.9'de görülmektedir. Açısal pozisyonun $\varphi = 315^0$ olması artan eksantriklikle dış silindirin kuzeydoğuya doğru ilerlemesi anlamına gelmektedir. Bu durumda artan eksantriklikle birlikte sağdaki silindirin kendisine yer bularak genişlediği, solda iç silindiri çevreleyen edinin de ε=0.15 ve ε=0.25 durumlarında döngülü özellik gösterdiği söylenilebilir. Eş sıcaklık eğrilerinde artan eksantriklikle fazla bir değişim gözlenmemiştir.



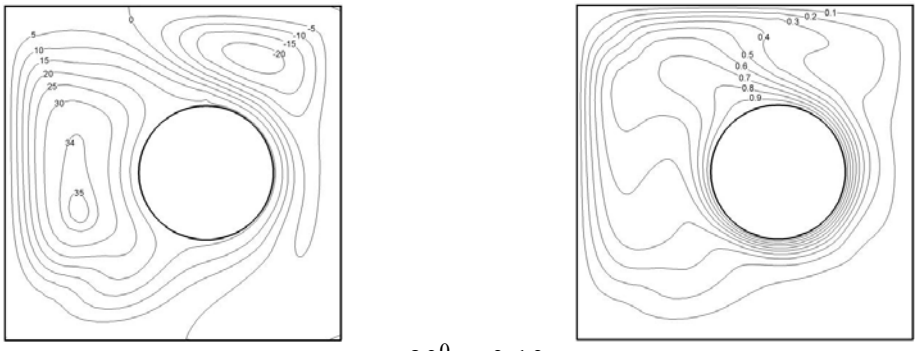
Şekil 4.1 Dış silindir kare seçildiğinde, eşmerkezli durum için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=1)



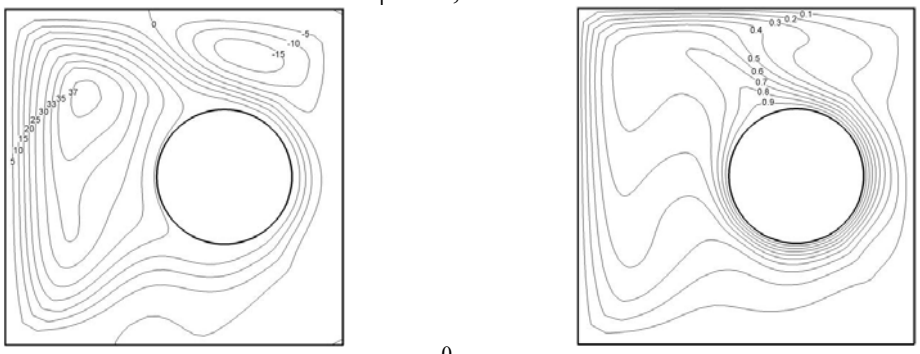
Şekil 4.2 Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=0^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.10, 0.15, 0.20, 025 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=10^6$, Re=1)



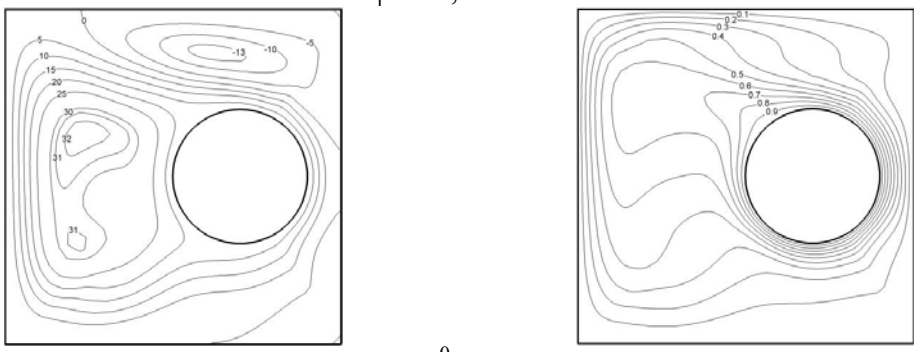
Şekil 4.3 Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=45^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.10, 0.15, 0.20, 025 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=10^6$, Re=1)



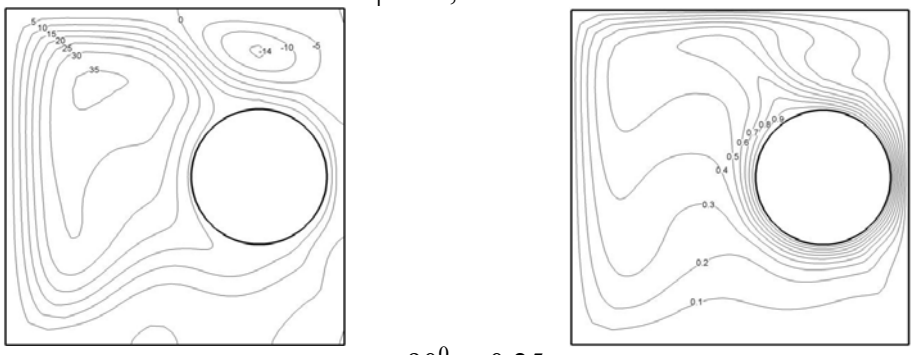
$\varphi=90^0,\varepsilon=0.10$



$\varphi=90^0,\varepsilon=0.15$

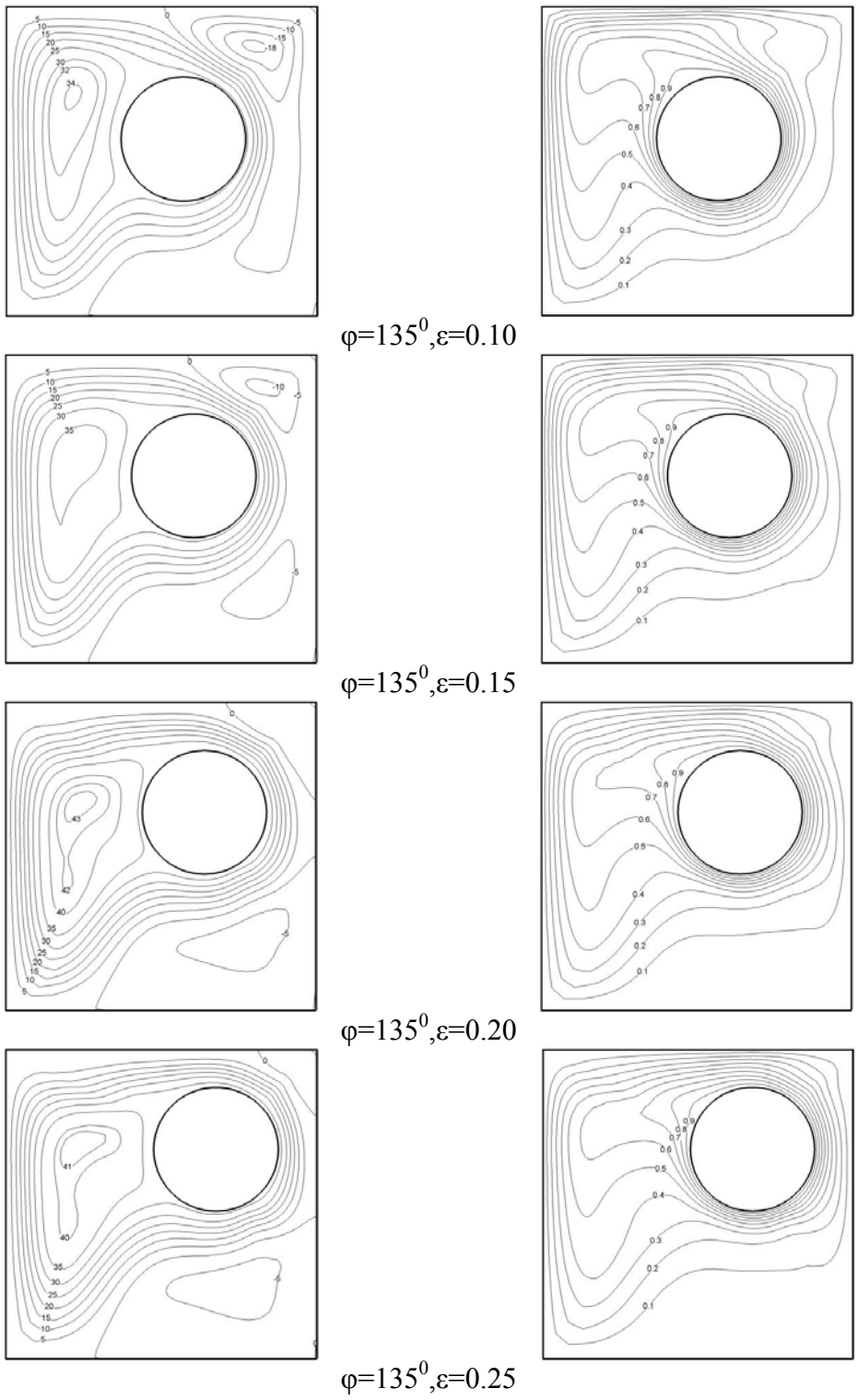


$\varphi=90^0,\varepsilon=0.20$

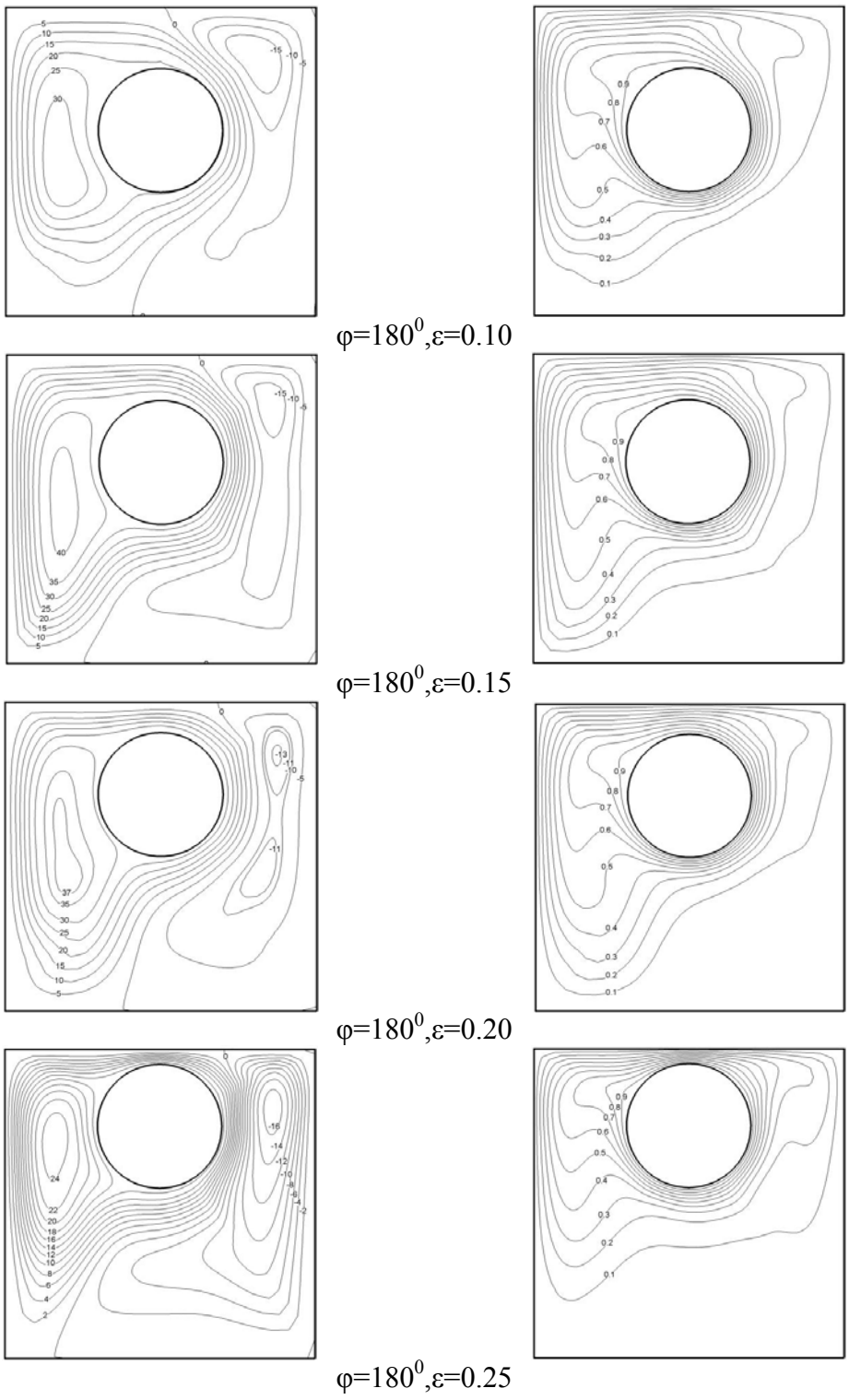


$\varphi=90^0,\varepsilon=0.25$

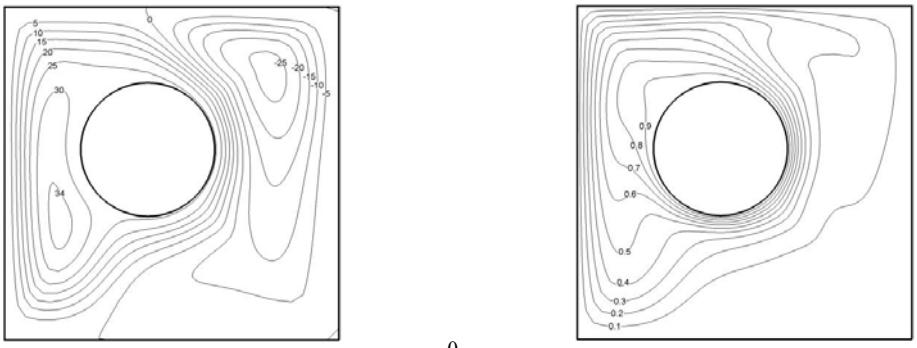
Şekil 4.4 Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=90^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.10, 0.15, 0.20, 025 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=10^6$, Re=1)



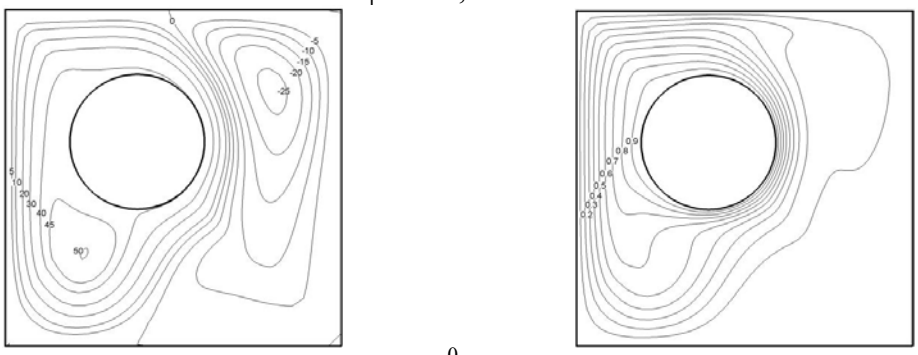
Şekil 4.5 Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=135^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.10, 0.15, 0.20, 025 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=10^6$, Re=1)



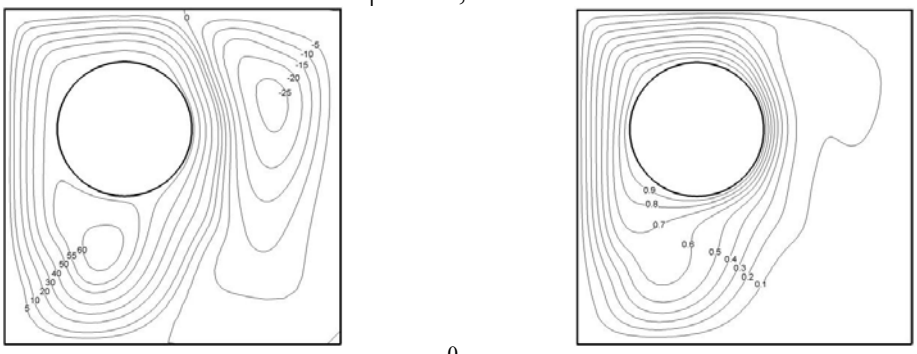
Şekil 4.6 Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=180^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.10, 0.15, 0.20, 025 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=10^6$, Re=1)



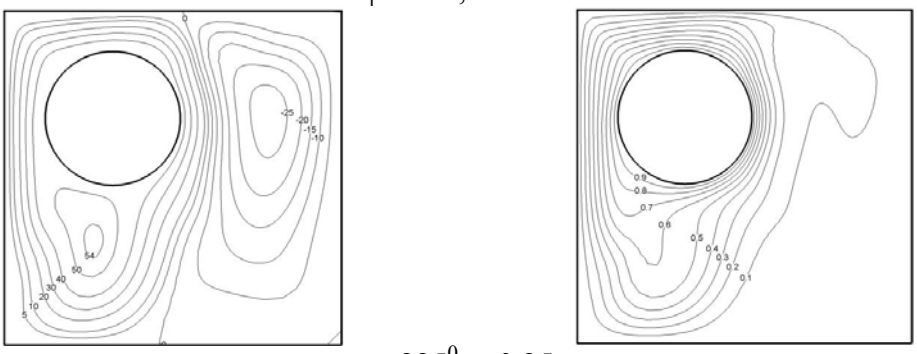
$\varphi=225^0,\varepsilon=0.10$



$\varphi=225^0,\varepsilon=0.15$

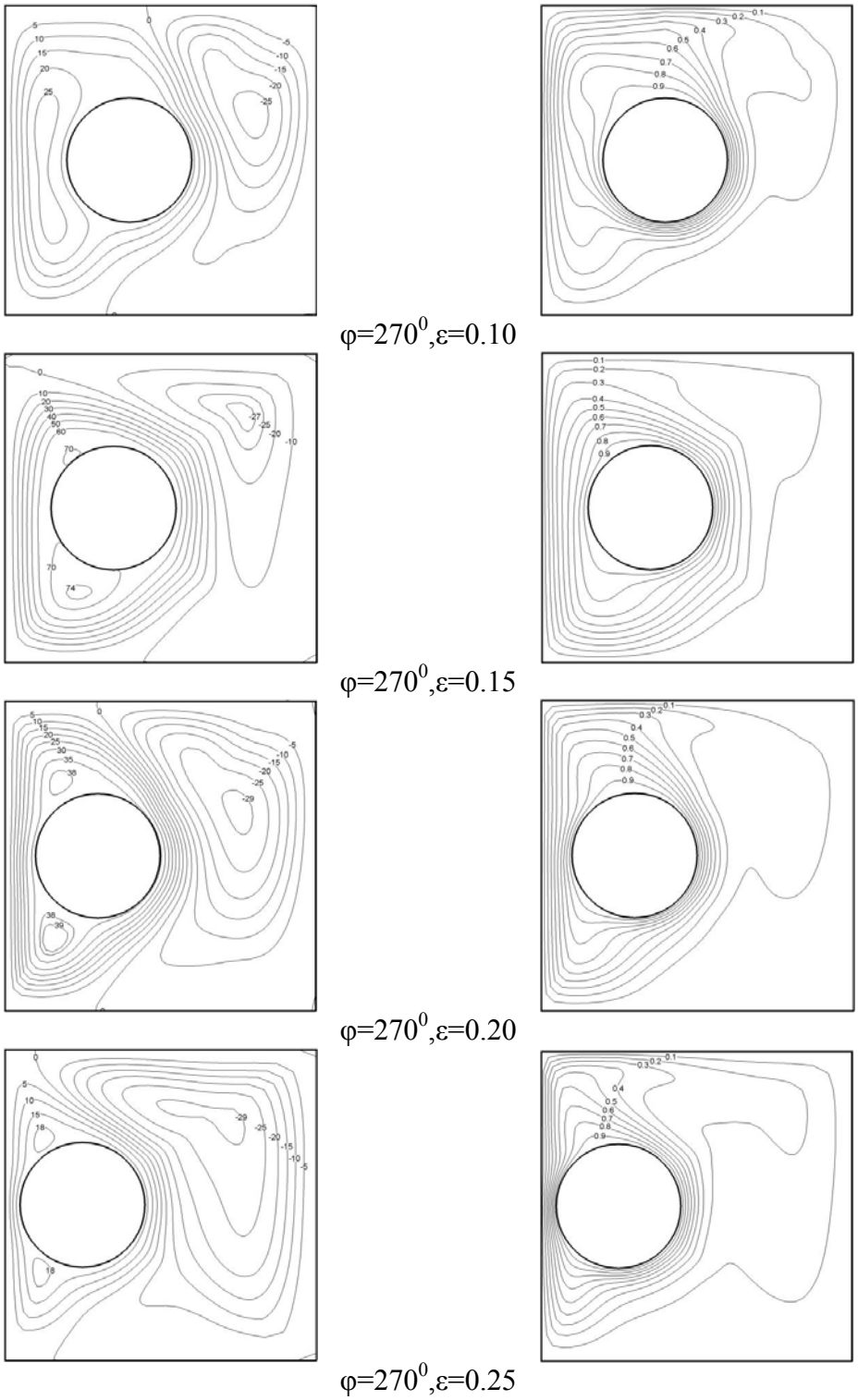


$\varphi=225^0,\varepsilon=0.20$



$\varphi=225^0,\varepsilon=0.25$

Şekil 4.7 Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=225^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.10, 0.15, 0.20, 025 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=10^6$, Re=1)



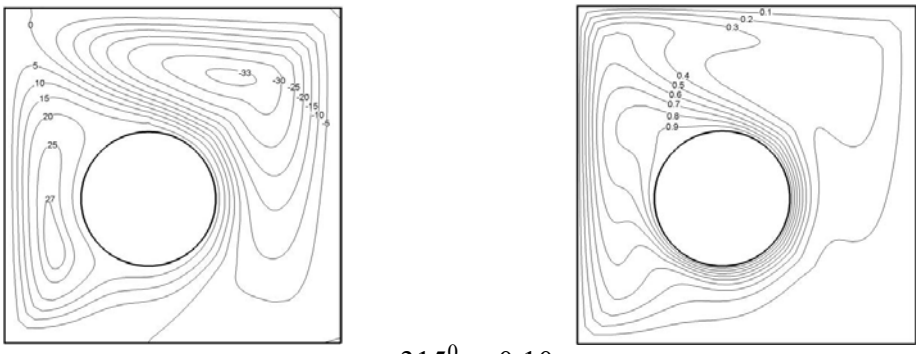
φ=270^0,ε=0.10

φ=270^0,ε=0.15

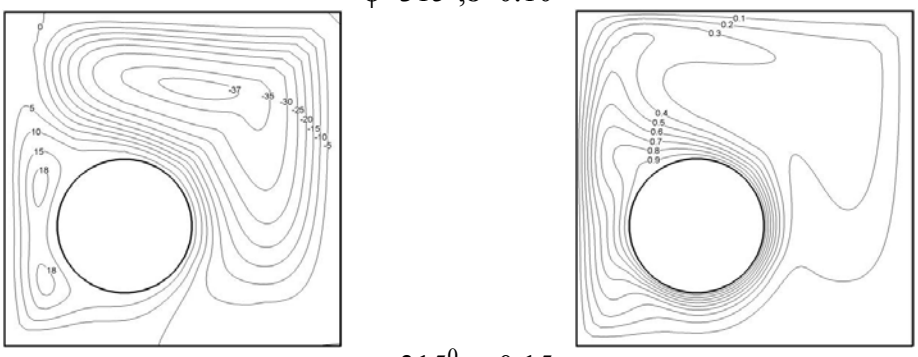
φ=270^0,ε=0.20

φ=270^0,ε=0.25

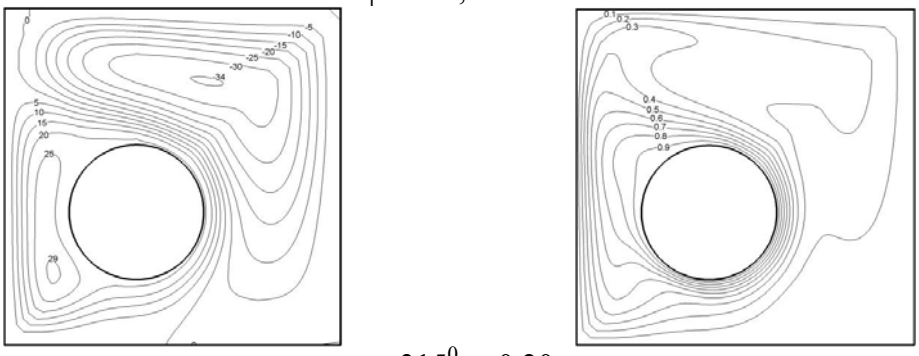
Şekil 4.8 Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun φ=270^0 ve eksantrikliğin sırasıyla 0.10, 0.15, 0.20, 025 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=1)



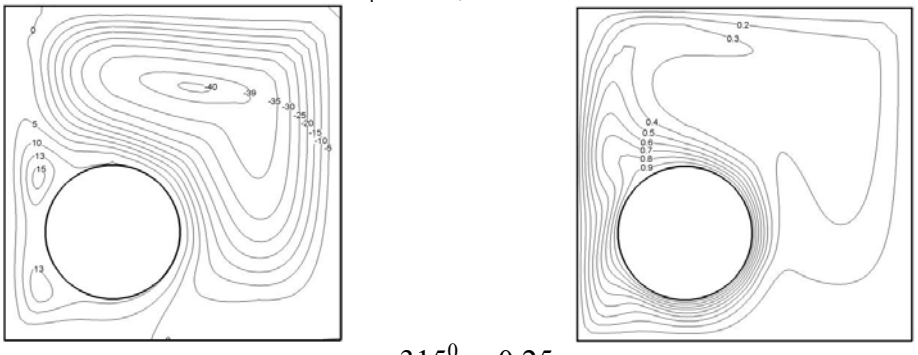
$\varphi=315^0,\varepsilon=0.10$



$\varphi=315^0,\varepsilon=0.15$



$\varphi=315^0,\varepsilon=0.20$



$\varphi=315^0,\varepsilon=0.25$

Şekil 4.9 Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=315^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.10, 0.15, 0.20, 025 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=1)

4.2. Dönen ve Sabit Sıcaklıktaki Dairesel İç Silindir ve Onu Çevreleyen Soğuk ve Elips Kesitli Eksantrik Olarak Yerleştirilmiş Bir Dış Silindir Arasında Kalan Bölgede Gerçekleşen Karışık Taşınım

Çalışmada ikinci olarak dönen, sıcak, dairesel bir iç silindir ve onu çevreleyen soğuk, elips kesitli çeşitli eksantrikliklerde yerleştirilmiş bir dış silindir arasında kalan bölgede daimi, laminer, karışık taşınım akışı incelenmiştir. Elips kesidin düşey uzunluğu, yatay uzunluğunun 1.5 katı olarak alınmıştır. Nümerik hesaplamalar, bir önceki çalışmada olduğu gibi hava için Pr=0.71 alınarak yapılmıştır. $\varphi = 0^0$ ve180^0 açısal yerleşimleri için ε=0.2, 0.4 eksantrikliklerde, $\varphi = 90^0$ ve 270^0 açısal yerleşimleri için ε=0.1, 0.2 eksantrikliklerde, $\varphi = 45^0, 135^0, 225^0, 315^0$ açısal yerleşimleri için ε=0.1, 0.2, 0.3 eksantrikliklerde akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri elde edilmiştir. Dikkate alınan geometri için Grashof sayısı 10^5 ve Reynolds sayısı 0.1 alınmıştır.

Eksantrik durumların eşmerkezli durumdan farkını gösterebilmek amacı ile dış silindirin eşmerkezli yerleşimi için akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri de elde edilmiş ve Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Solda iç silindiri çevreleyen saat ibresinin tersi yönünde dönen bir edi, sağda da yine dönmenin etkisi ile iç silindirin üzerine doğru oluşmuş saat yönünde dönen bir edi görülmektedir. Eş sıcaklık eğrileri de saat ibresi yönünün tersine uygulanan dönme ile oluşturulan zorlanmış taşınımın etkisi ile dönmenin uygulandığı yöne hareketlenmişlerdir. İç silindirin altında küçük bir durgunluk bölgesi de oluşmuştur.

Açısal pozisyonun $\varphi = 0^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.11'de görülmektedir. eşmerkezli durumda sağda oluşan edi ε=0.2, 0.4 durumlarında iç silindirin hemen üzerinde yer bularak daha büyük bir alana yayılmıştır. ε=0.2'den 0.4'e arttığında üstteki edinin güçlendiği alttaki edinin daha küçük bir alana sıkışmak zorunda kaldığı görülmektedir. Her iki eksantriklikte de eşsıcalık eğrileri eşmerkezli durumda aşağıda oluşan durgun bölgeyi kaplamışlardır. Artan eksantriklikle birlikte, zorlanmış taşınımın etkilerinin arttığı, eşsıcaklık eğrilerinin dönme yönüne eğiliminden anlaşılmaktadır.

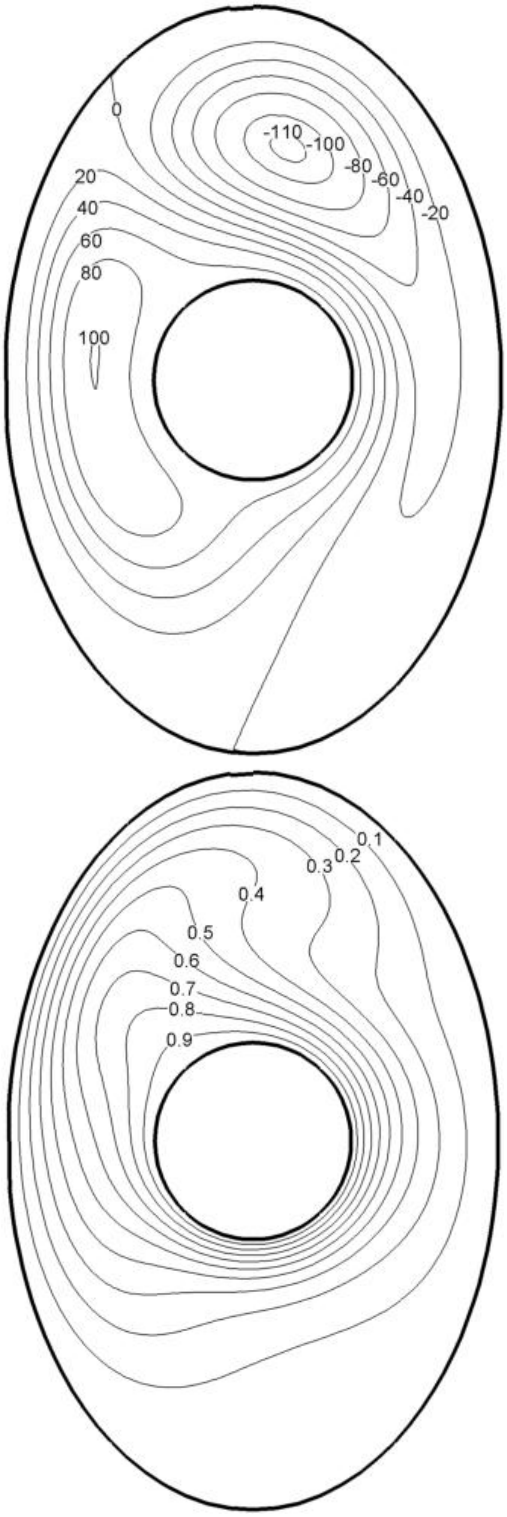
Açısal pozisyonun $\varphi = 45^0$ alındığı durumda 3 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.12'de görülmektedir. Eksantriklik arttıkça, iç silindiri çevreleyen soldaki edi iç silindiri çevrelemez duruma gelmekte, sağdaki edi ise hareketin etkisi ile tamamen silindirler arası bölgenin üst kısmını kaplamaktadır. Bölen akım çizgisi yatay duruma yakın bir pozisyona gelmiştir. Eş sıcaklık eğrileri artan eksantriklikle birlikte dönme yönüne doğru yönelmektedirler.

Açısal pozisyonun $\varphi = 90^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.13'de görülmektedir. Soldaki edi, kendisine yer bulduğu için genişlemekte ve iç silindirin edi üzerindeki hakimiyeti azalmakta iken, sağdaki edi silindirler arasındaki bölgenin üst kısmına doğru kaymaktadır. Eş sıcaklık eğrileri $\varphi = 45^0$ durumundakine benzer şekilde artan eksantriklikle birlikte dönme yönüne doğru yönelmektedirler.

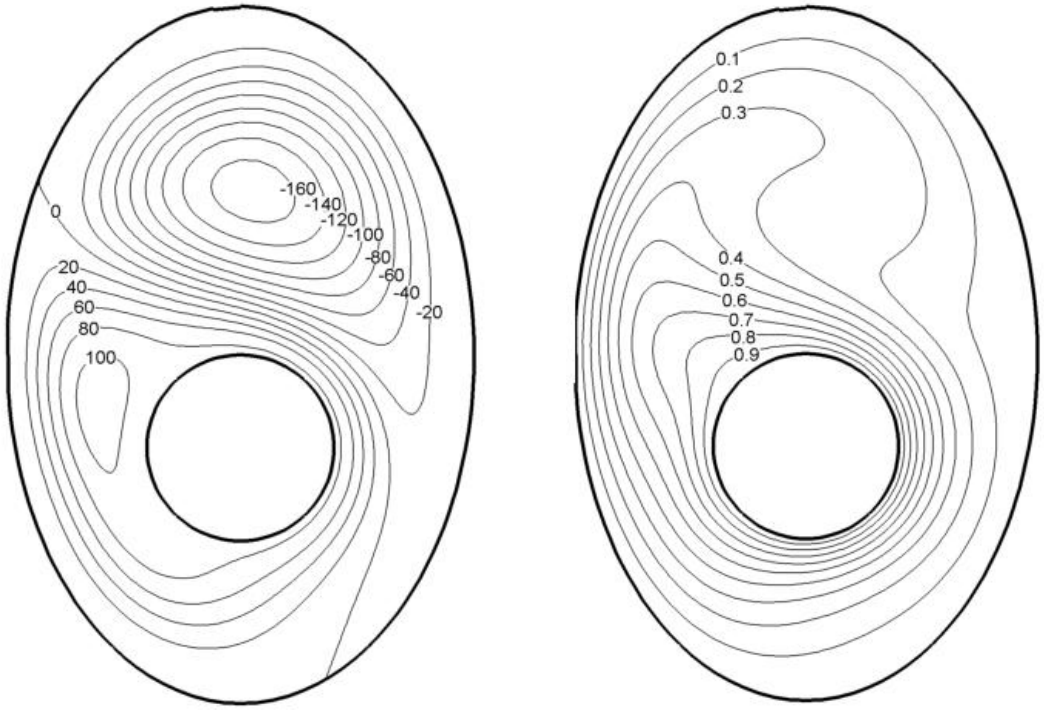
Açısal pozisyonu $\varphi = 135^0$ alındığı durumda 3 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.14'de görülmektedir. Eşmerkezli durumda sağda oluşan tek edi incelenen açısal pozisyonda üstte kalan parçası daha kuvvetli olmak üzere iki parçaya bölünmekte, edinin üstte kalan parçası küçülmekte, altta kalan parçanın merkezi eksantriklikle birlikte yukarıya çıkmaktadır. Benzer şekilde soldaki edinin merkezi de artan eksantriklikle birlikte yukarıya çıkmıştır. Artan eksantrikliğin eşsıcaklık eğrilerini fazla etkilemediği, sadece aşağıdaki durgun bölgeyi arttırdığı görülmektedir.

Açısal pozisyonun $\varphi = 180^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.15'de görülmektedir. ε=0.2'de görünen sağdaki edi ε=0.4'te küçülerek alt bölgeye yerleşmiştir. Eksantrikliğin artmasına bağlı olarak soldaki edinin merkezi yukarıya hareket etmiştir. Eşsıcaklık eğrilerine bakıldığında eşmerkezli duruma göre zorlanmış taşınımın etkilerinin arttığı söylenilebilir, ayrıca eksantriklik arttıkça aşağıda durgun bölgenin de arttırdığı görülmektedir.

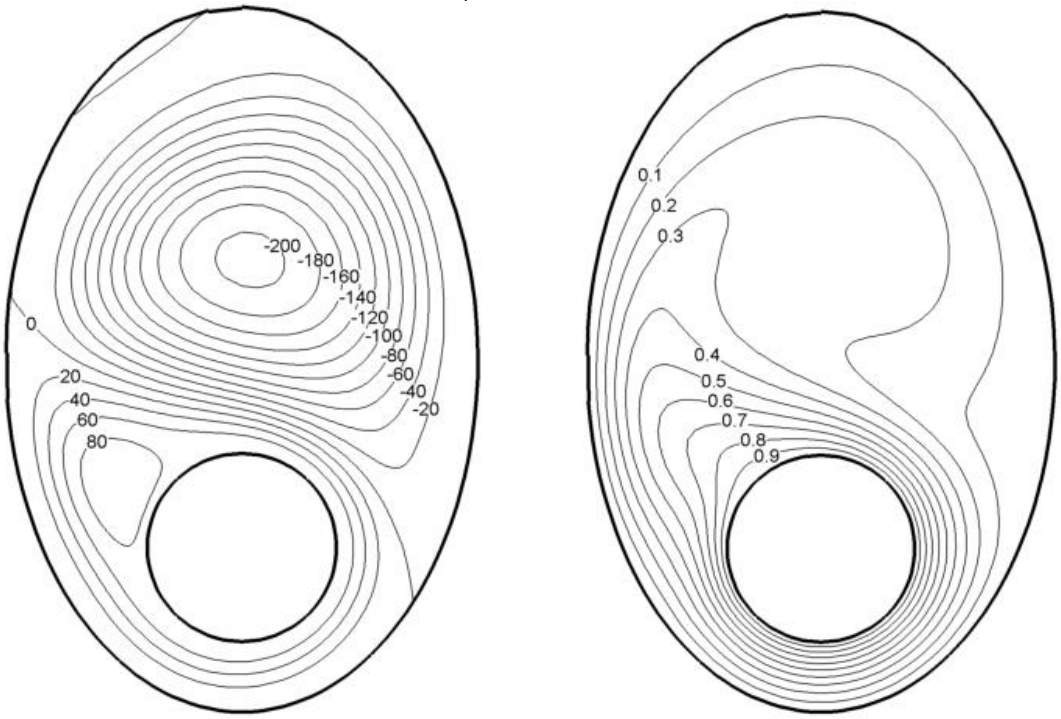
Açısal pozisyonun $\varphi = 225^0$ alındığı durumda 3 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.16'de görülmektedir. Eksantriklik arttıkça iç silindiri saran edi zayıflamış dolayısı ile zorlanmış taşınımın etkileri azalmış gibi görünmektedir. Soldaki edi kendine daha fazla yer bulmuş, bunun sonucunda



Şekil 4.10 Dış silindir elips seçildiğinde, eşmerkezli durum için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5)

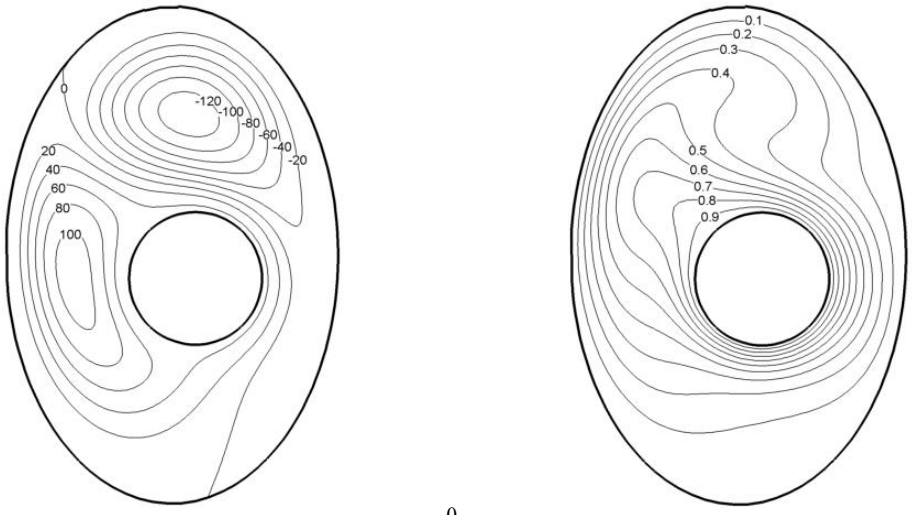


$\varphi=0^0,\varepsilon=0.2$

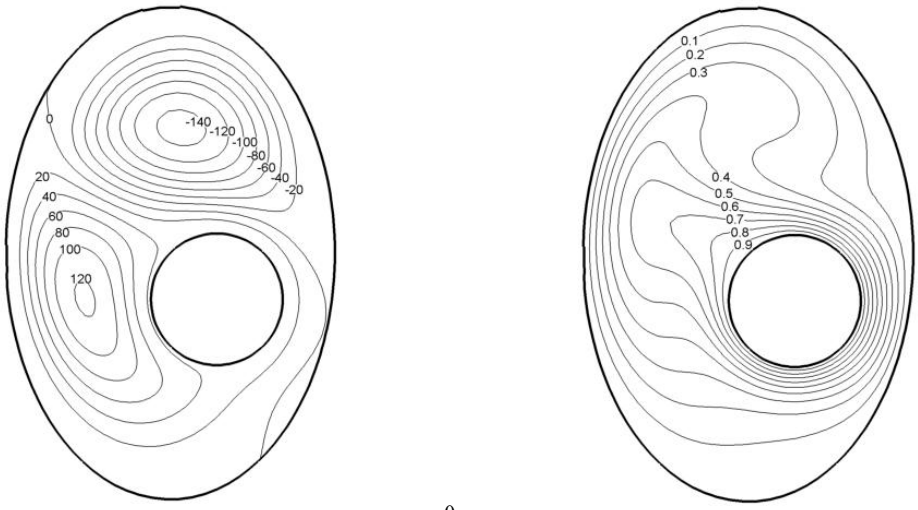


$\varphi=0^0,\varepsilon=0.4$

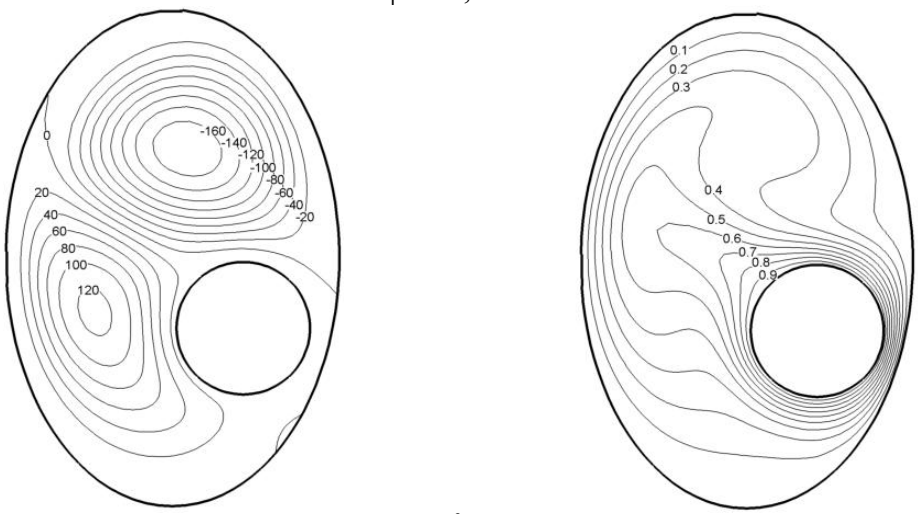
Şekil 4.11 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=0^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.2, 0.4 olduğu durumlar için eş sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5)



$\varphi=45^0,\varepsilon=0.1$

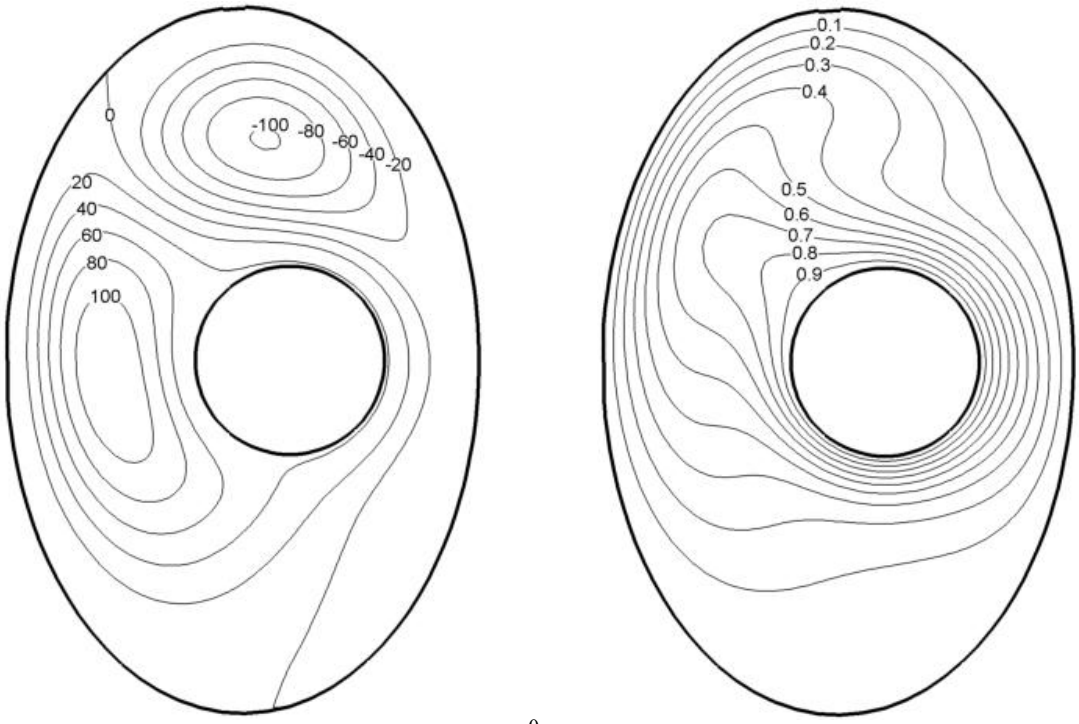


$\varphi=45^0,\varepsilon=0.2$

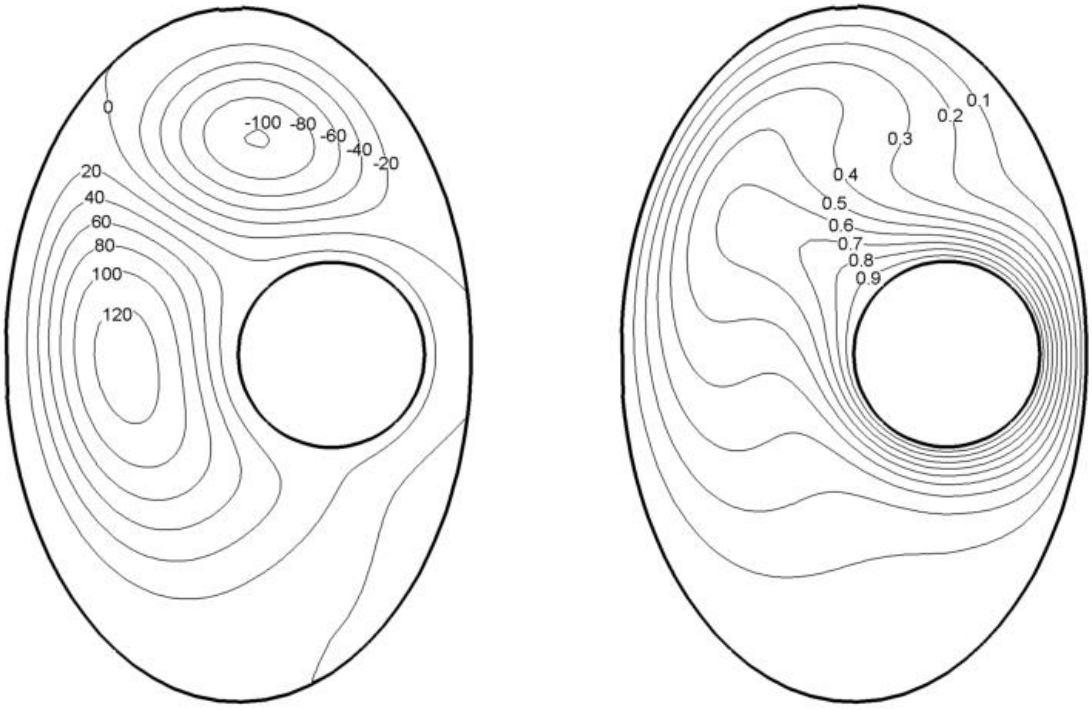


$\varphi=45^0,\varepsilon=0.3$

Şekil 4.12 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=45^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.2, 0.3 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5)

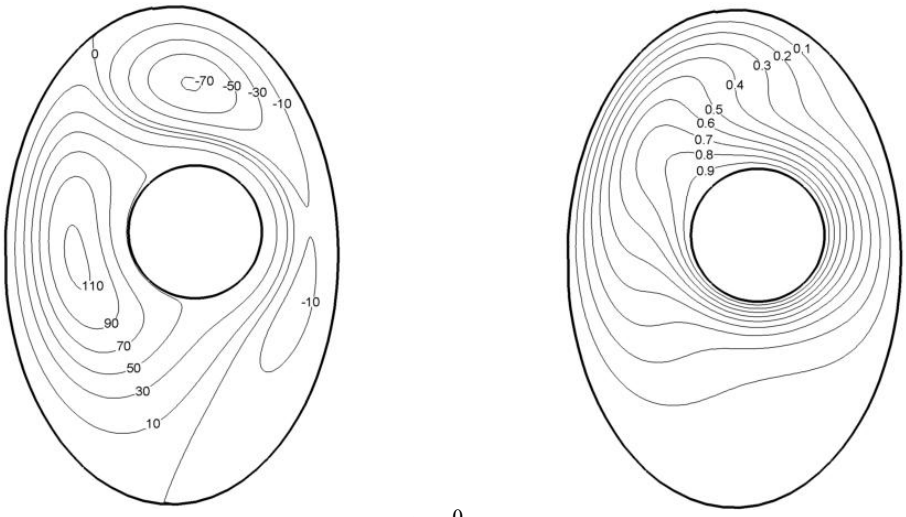


$\varphi=90^0,\varepsilon=0.1$

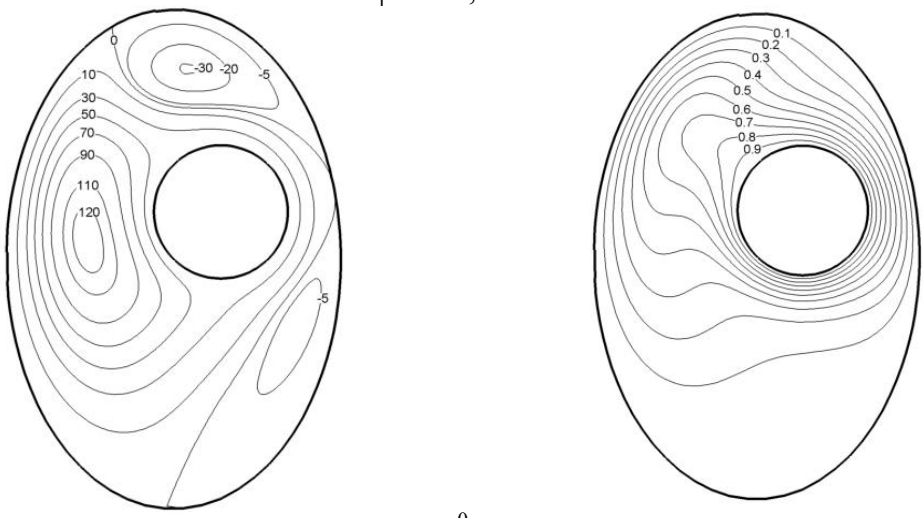


$\varphi=90^0,\varepsilon=0.2$

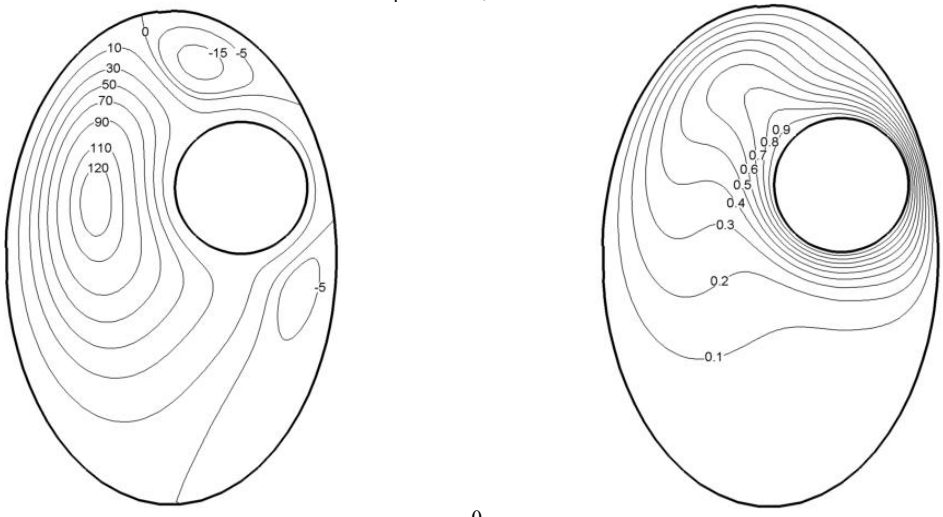
Şekil 4.13 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=90^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.2 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5)



$\varphi=135^0,\varepsilon=0.1$

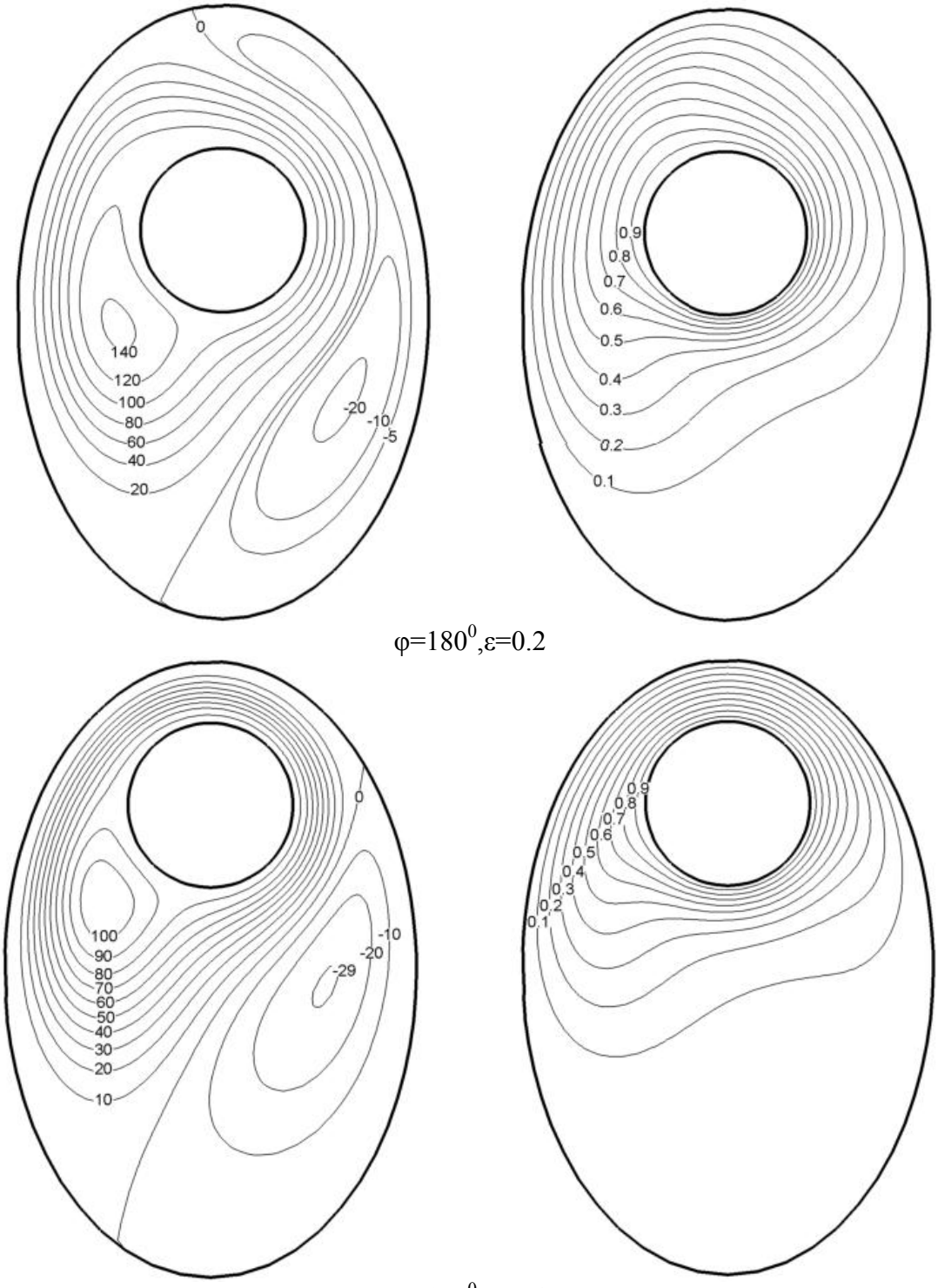


$\varphi=135^0,\varepsilon=0.2$

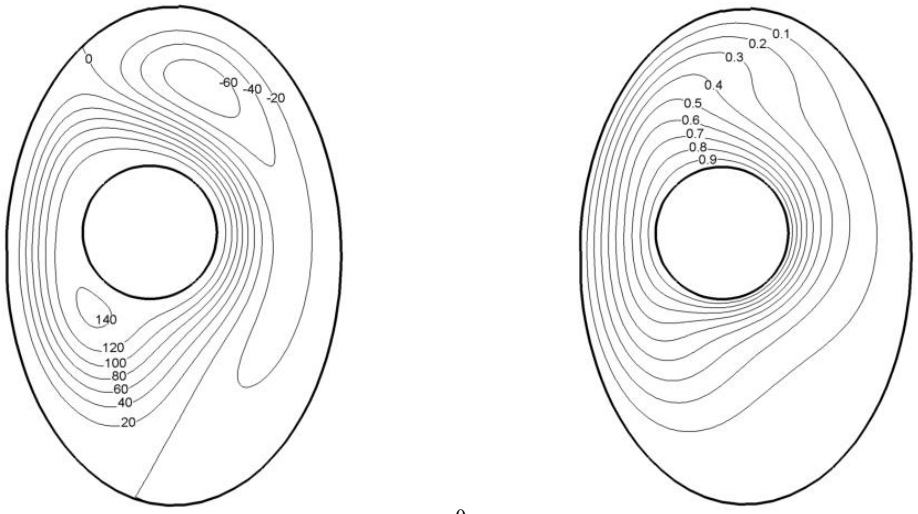


$\varphi=135^0,\varepsilon=0.3$

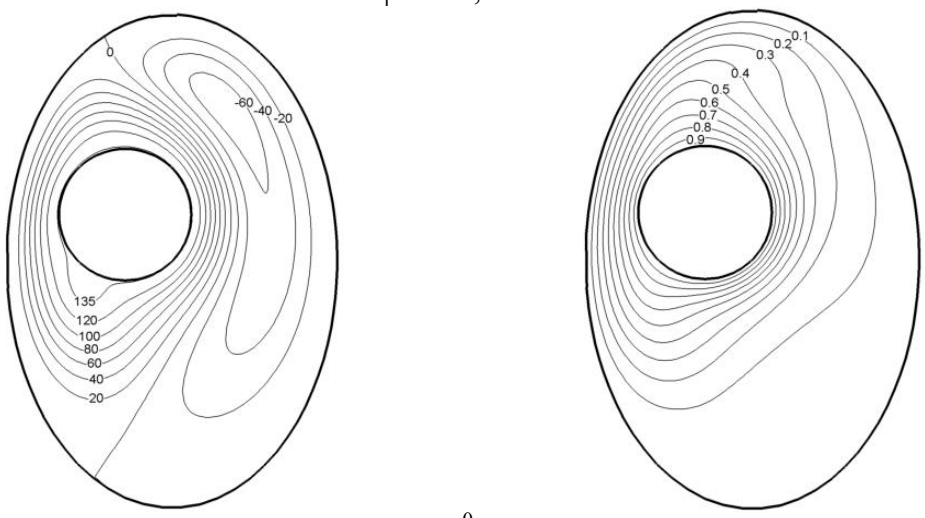
Şekil 4.14 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=135^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.2, 0.3 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5)



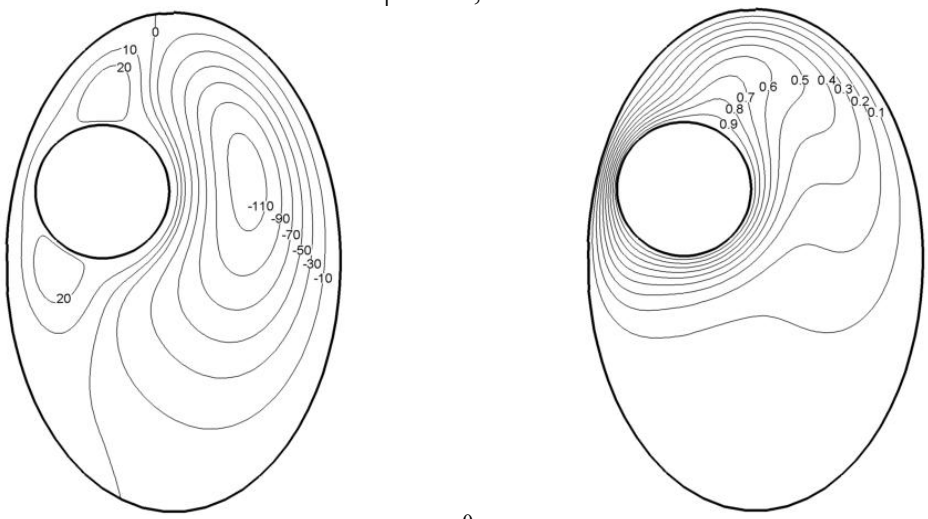
Şekil 4.15 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=180^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.2, 0.4 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5)



$\varphi=225^0,\varepsilon=0.1$

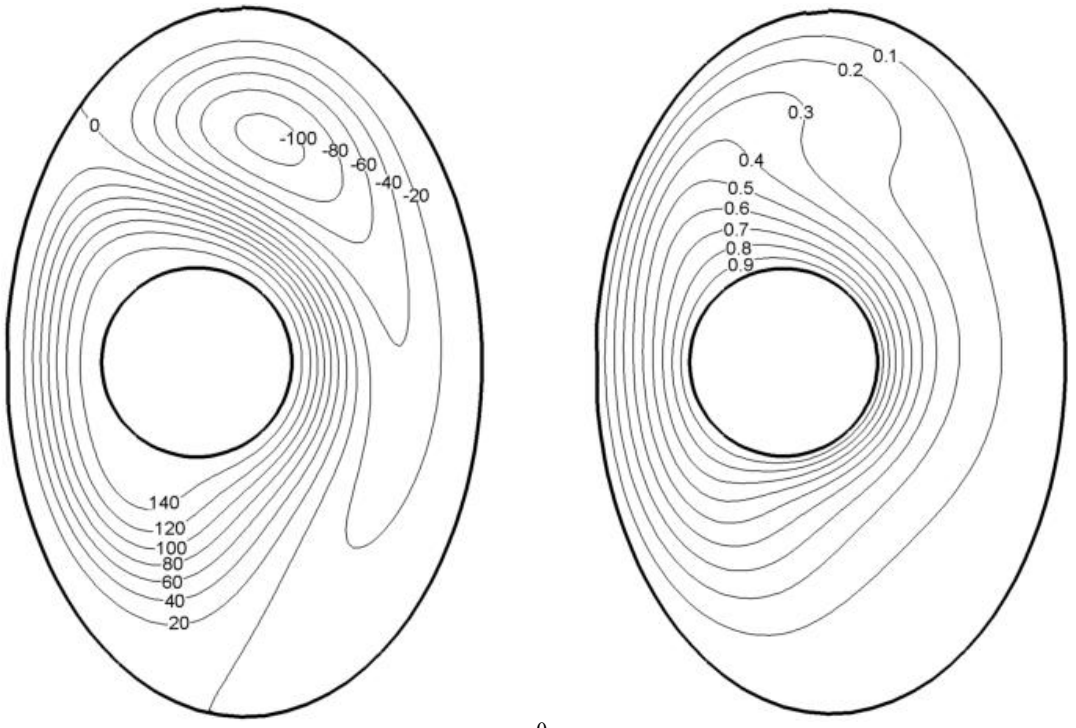


$\varphi=225^0,\varepsilon=0.2$

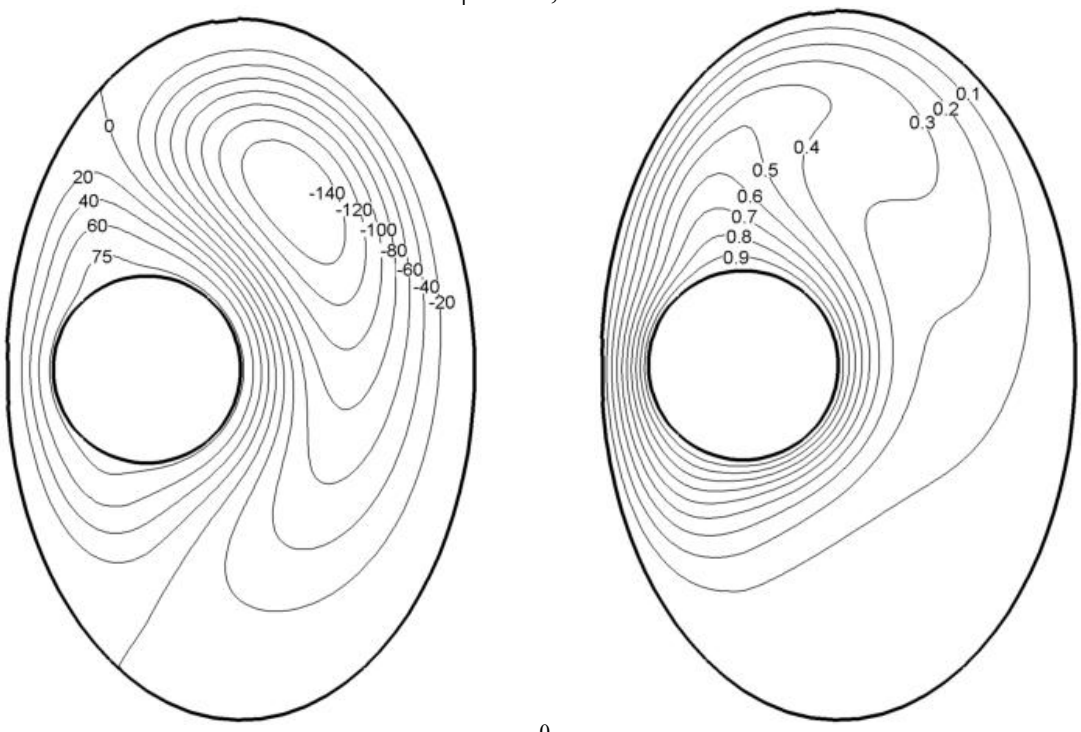


$\varphi=225^0,\varepsilon=0.3$

Şekil 4.16 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=225^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.2, 0.3 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5)

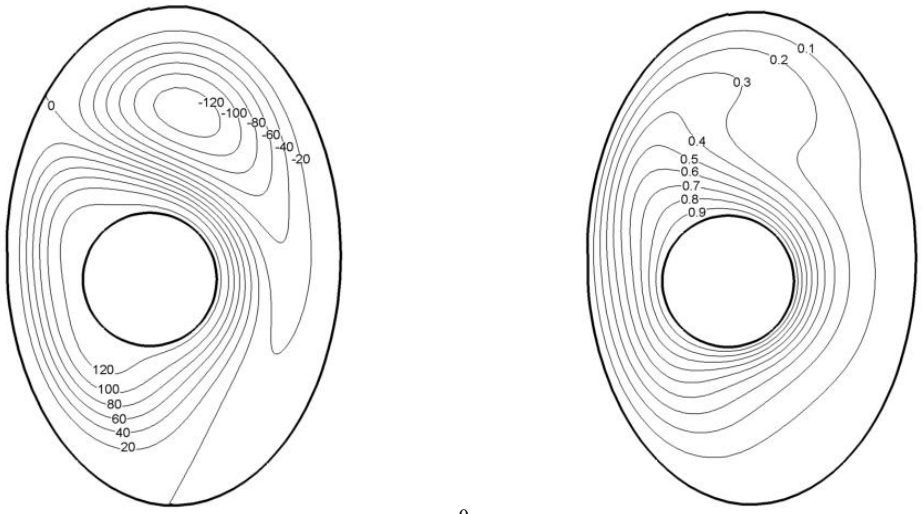


$\varphi=270^0,\varepsilon=0.1$

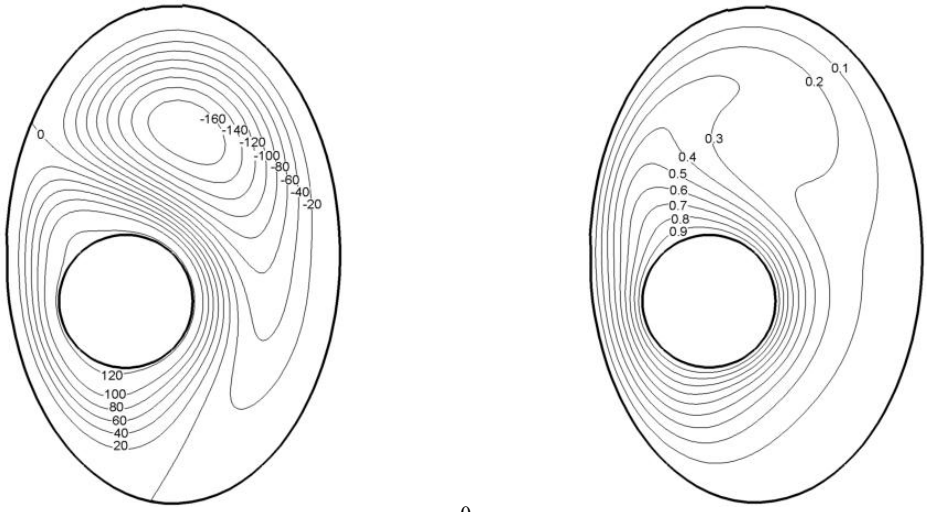


$\varphi=270^0,\varepsilon=0.2$

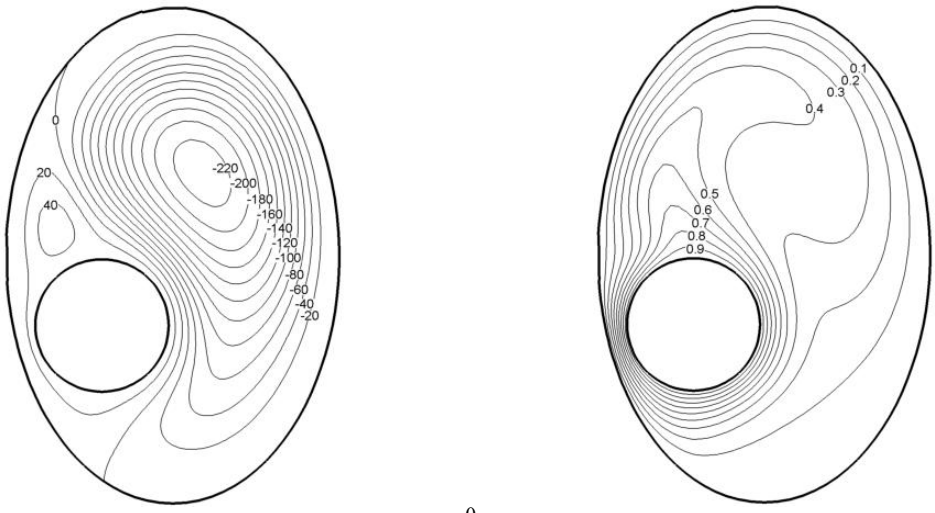
Şekil 4.17 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=270^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.2 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5)



$\varphi=315^0,\varepsilon=0.1$



$\varphi=315^0,\varepsilon=0.2$



$\varphi=315^0,\varepsilon=0.3$

Şekil 4.18 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=315^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.2, 0.3 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=10^5$, Re=0.1, B/A=1.5)

genişlemiş ve merkezi aşağı doğru hareket etmiştir. Zorlanmış taşınımın etkilerinin azaldığı özellikle ε=0.4'teki durumda açıkça gözükmekte, eş sıcaklık eğrileri dönüş yönünün tam tersine hareket etmektedir. Aşağıda üçgen şeklinde oluşan durgunluk alanının da eksantriklikle birlikte arttığı gözlenmektedir.

Açısal pozisyonun $\varphi = 270^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.17'de görülmektedir. Eksantriklik arttıkça iç silindiri saran edi $\varphi = 225^0$ açısal pozisyonu durumuna benzer şekilde zayıflamış dolayısı ile zorlanmış taşınımın etkileri azalmış gibi görünmektedir. Sağdaki edi kendine daha fazla yer bulmuş, bunun sonucunda genişlemiş ve merkezi aşağı doğru hareket etmiştir. Eş sıcaklık eğrileri dönüş yönünün tam tersine hareket ederek, artan eksantriklikle doğal taşınımın zorlanmış taşınıma baskın olduğunu göstermiştir.

Açısal pozisyonun $\varphi = 315^0$ alındığı durumda 3 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.18'de görülmektedir. Eksantriklik arttıkça iç silindiri saran edi $\varphi = 225^0$ ve $\varphi = 270^0$ açısal pozisyonu durumuna benzer şekilde zayıflamış dolayısı ile zorlanmış taşınımın etkileri azalmış gibi görünmektedir. Sağdaki edi kendine daha fazla yer bulmuş, bunun sonucunda genişlemiştir. Eş sıcaklık eğrileri dönüş yönünün tam tersine hareket ederek, artan eksantriklikle doğal taşınımın zorlanmış taşınıma baskın olduğunu göstermiştir.

4.3. Dönen ve Sabit Sıcaklıktaki Dairesel İç Silindir ve Onu Çevreleyen Soğuk ve Dikdörtgen Kesitli Eksantrik Olarak Yerleştirilmiş Bir Dış Silindir Arasında Kalan Bölgede Gerçekleşen Karışık Taşınım

Çalışmanın bu bölümünde dönen, sıcak, dairesel bir iç silindir ve onu çevreleyen soğuk, dikdörtgen kesitli çeşitli eksantrikliklerde yerleştirilmiş bir dış silindir arasında kalan bölgede daimi, laminer, karışık taşınım akışı incelenmiştir. Dikdörtgen kesidin düşey uzunluğu, yatay uzunluğunun 1.5 katı olarak alınmıştır. Nümerik hesaplamalar, hava için Pr=0.71 alınarak yapılmıştır. $\varphi = 0^0 \text{ve} 180^0$ açısal yerleşimleri için ε=0.2, 0.4

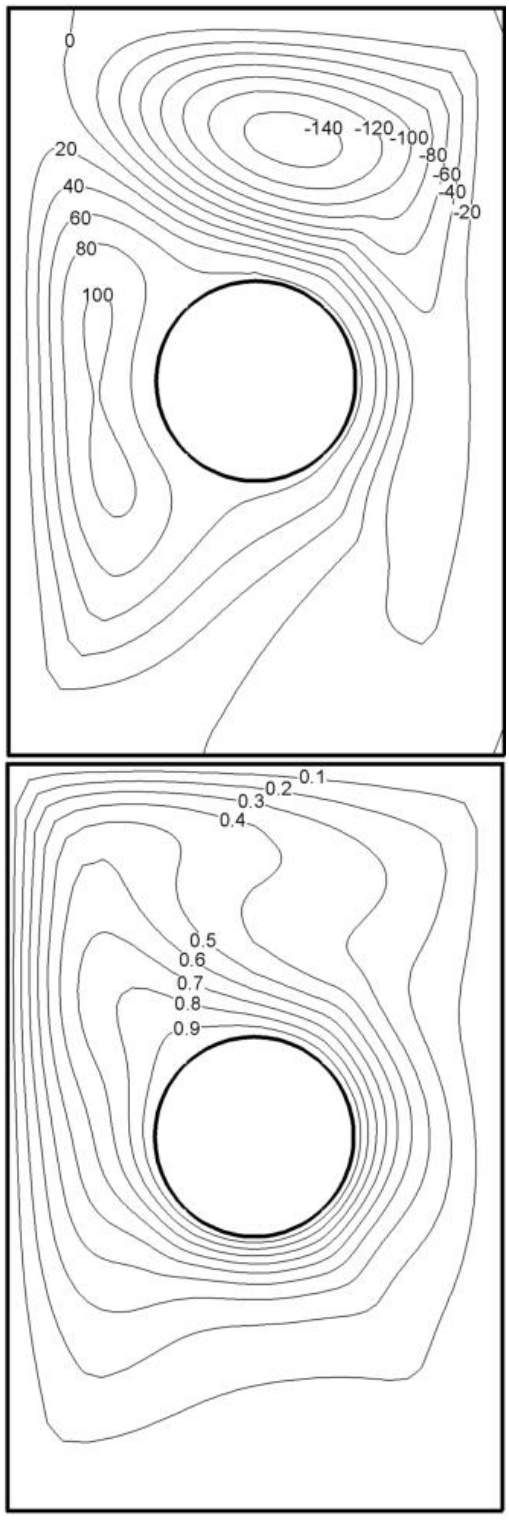
eksantrikliklerde, $\varphi = 90^0$ ve 270^0 açısal yerleşimleri için ε=0.1 eksantriklikte, $\varphi = 45^0, 135^0, 225^0, 315^0$ açısal yerleşimleri için ε=0.1, 0.3 akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri elde edilmiştir. Dikkate alınan geometri için Grashof sayısı 10^5 ve Reynolds sayısı 0.1 alınmıştır.

Eksantrik durumların eşmerkezli durumdan farkını gösterebilmek amacı ile dış silindirin eşmerkezli yerleşimi için akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri de elde edilmiş ve Şekil 4.19'da gösterilmiştir. Solda iç silindiri çevreleyen saat ibresinin tersi yönünde dönen bir edi, sağda da yine dönmenin etkisi ile iç silindirin üzerine doğru oluşmuş saat yönünde dönen bir edi görülmektedir. Eş sıcaklık eğrileri de saat ibresi yönünün tersine uygulanan dönme ile oluşturulan zorlanmış taşınımın etkisi ile dönmenin uygulandığı yöne hareketlenmişlerdir.

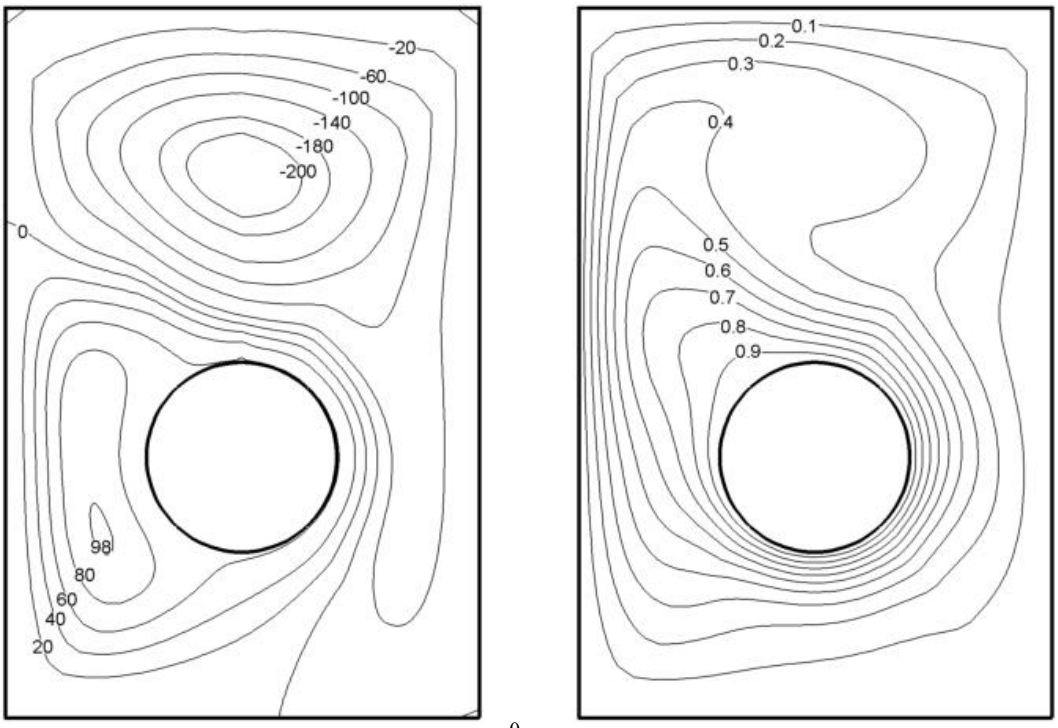
Açısal pozisyonun $\varphi = 0^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.20'de görülmektedir. Eşmerkezli durumda sağda oluşan edi ε=0.2, 0.4 durumlarında aynı dış silindirin elips alındığı bir önceki durumda olduğu gibi iç silindirin hemen üzerinde yer bularak daha büyük bir alana yayılmıştır. ε=0.2'den 0.4'e arttığında üstteki edinin güçlendiği alttaki edinin daha küçük bir alana sıkışmak zorunda kaldığı görülmektedir. Artan eksantriklikle birlikte, eşsıcaklık eğrileri dönme yönüne doğru hareketlenmektedirler.

Açısal pozisyonun $\varphi = 45^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.21'de görülmektedir. Eksantriklik arttıkça, iç silindiri çevreleyen soldaki edinin merkezi aşağıya doğru hareket etmekte, sağdaki edi ise silindirler arası bölgenin sağ üst kısmını kaplamaktadır. Eş sıcaklık eğrileri artan eksantriklikle birlikte dönme yönüne doğru yönelmektedirler.

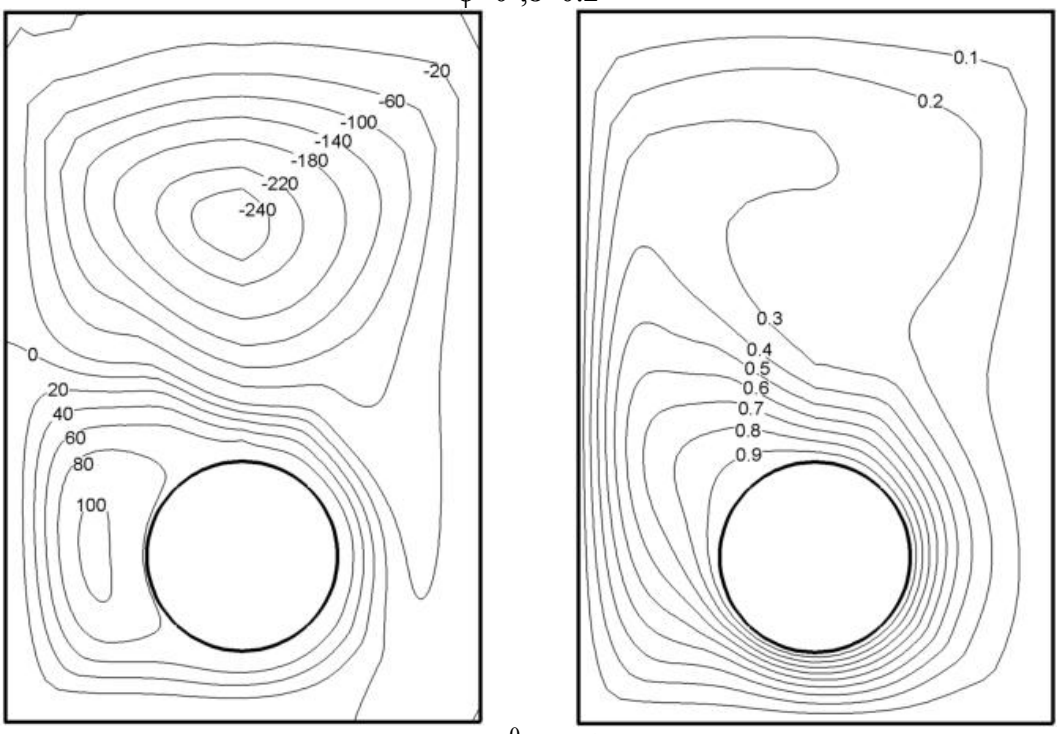
Açısal pozisyonun $\varphi = 90^0$ ve $\varphi = 270^0$ alındığı durumda tek eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.22'de görülmektedir. $\varphi = 90^0$ durumda Soldaki edi, kendisine yer bulduğu için genişlemekte ve iç silindirin edi üzerindeki hakimiyeti eşmerkezli duruma göre azalmakta iken, sağdaki edi ikiye bölünmekte büyük parça silindirler arasındaki bölgenin üst kısmına doğru kaymakta iken küçük parça da kendine sağ alt köşede yer bulmaktadır. Eş sıcaklık eğrileri $\varphi = 45^0$ durumundakine benzer şekilde dönme yönüne doğru dönmüş şekilde gözükmektedir. Açısal pozisyonun $\varphi = 270^0$ alındığı durumda sağdaki edi kendine



Şekil 4.19 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, eşmerkezli durum için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5)

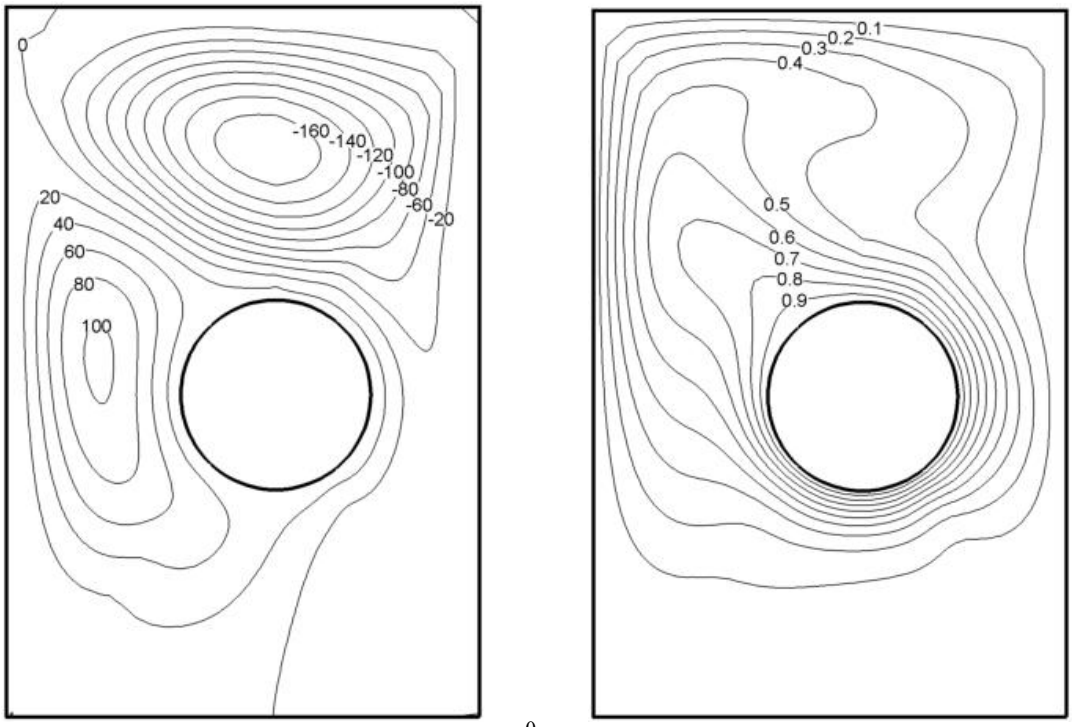


$\varphi=0^0,\varepsilon=0.2$

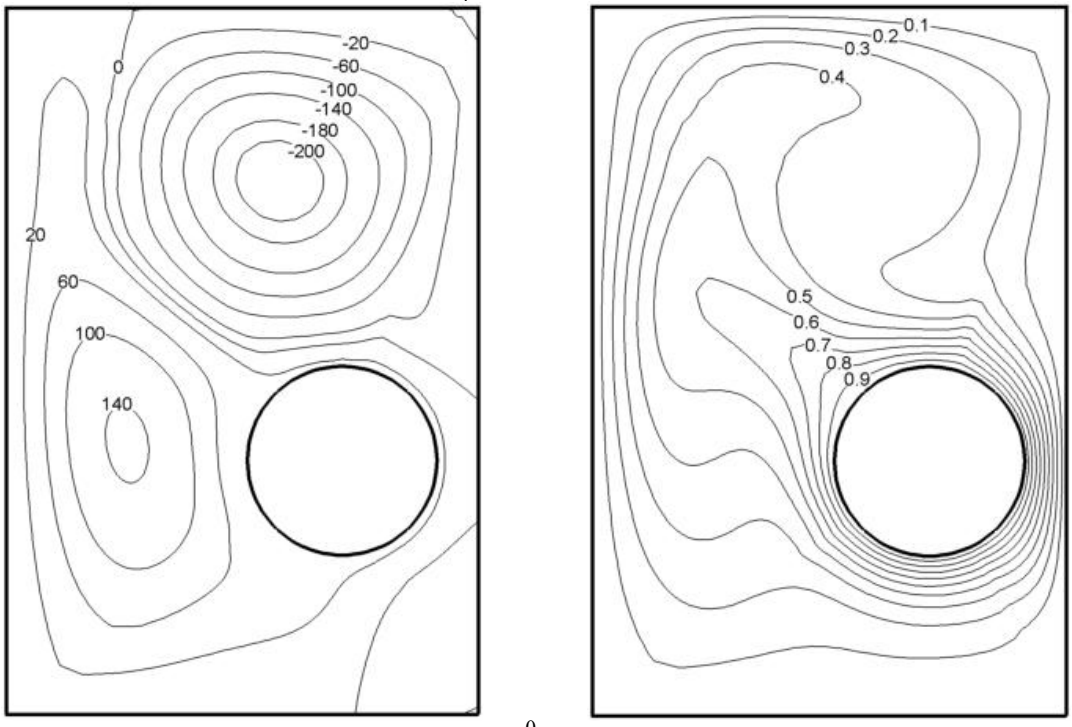


$\varphi=0^0,\varepsilon=0.4$

Şekil 4.20 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=0^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.2, 0.4 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5)

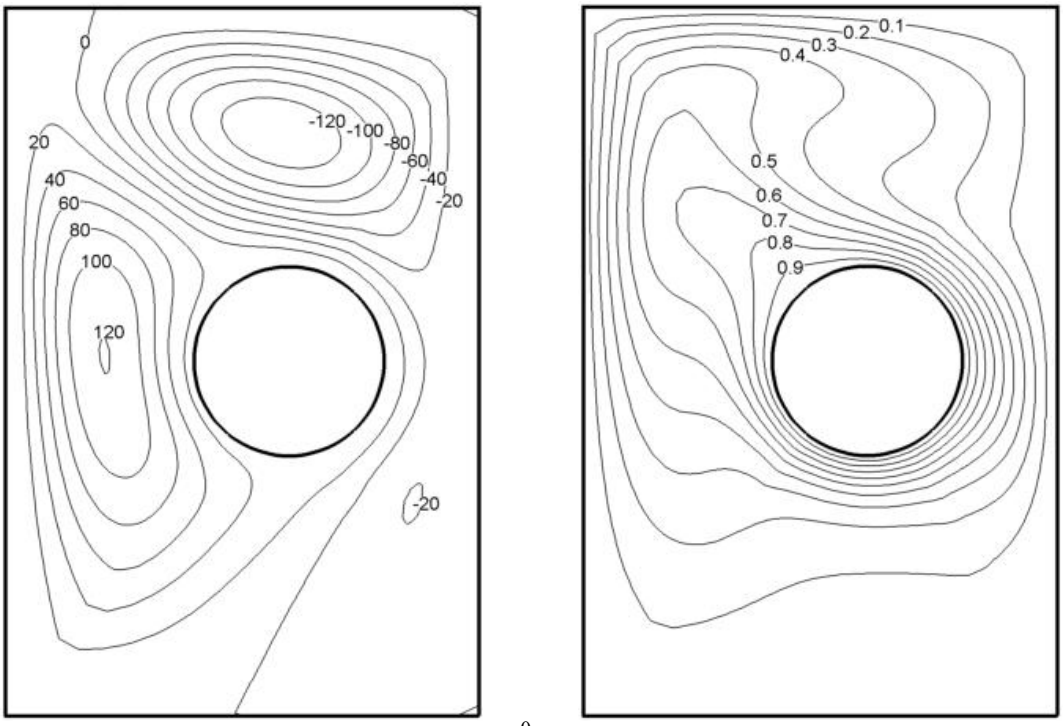


$\varphi=45^0,\varepsilon=0.1$

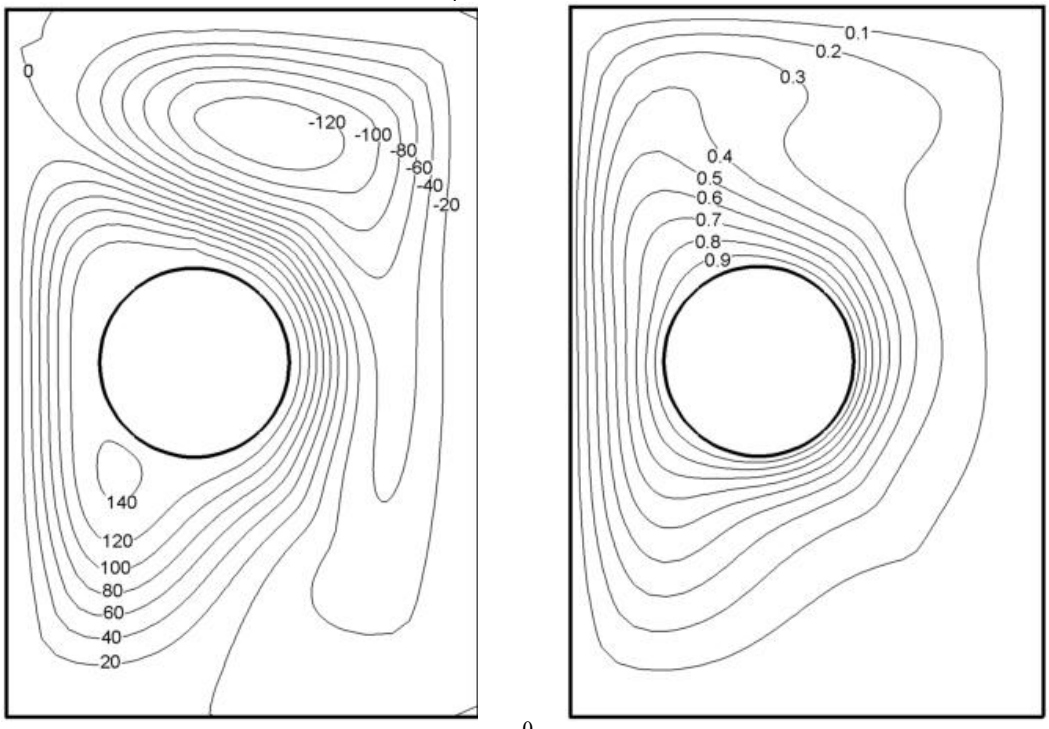


$\varphi=45^0,\varepsilon=0.3$

Şekil 4.21 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=45^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.3 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=10^5$, Re=0.1, B/A=1.5)

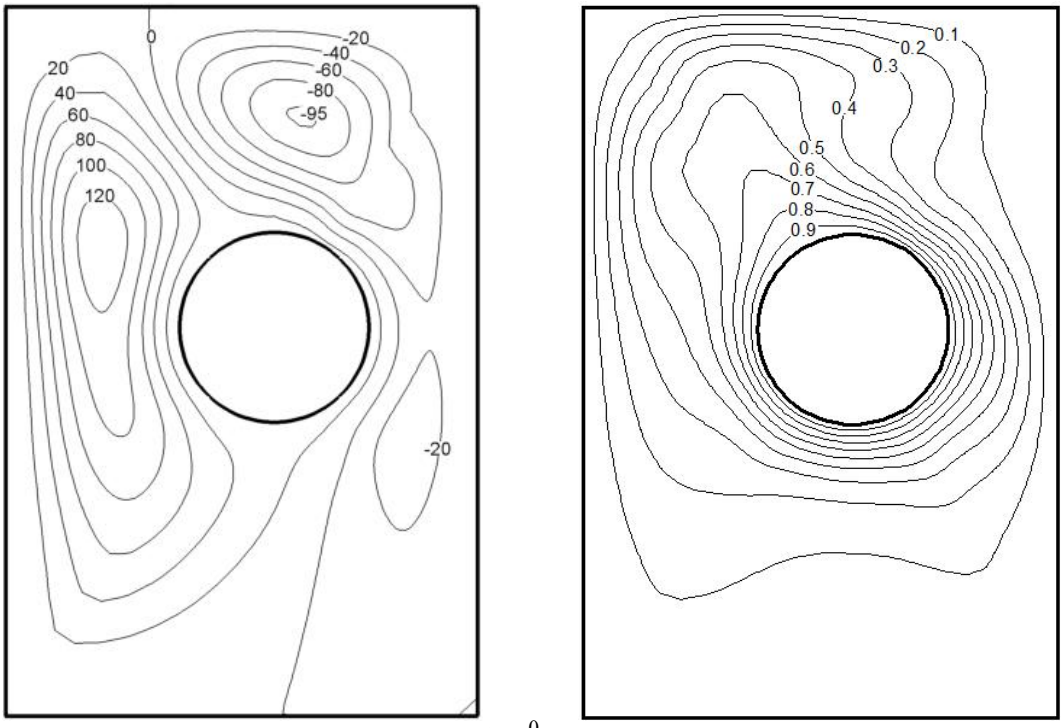


$\varphi=90^0,\varepsilon=0.1$

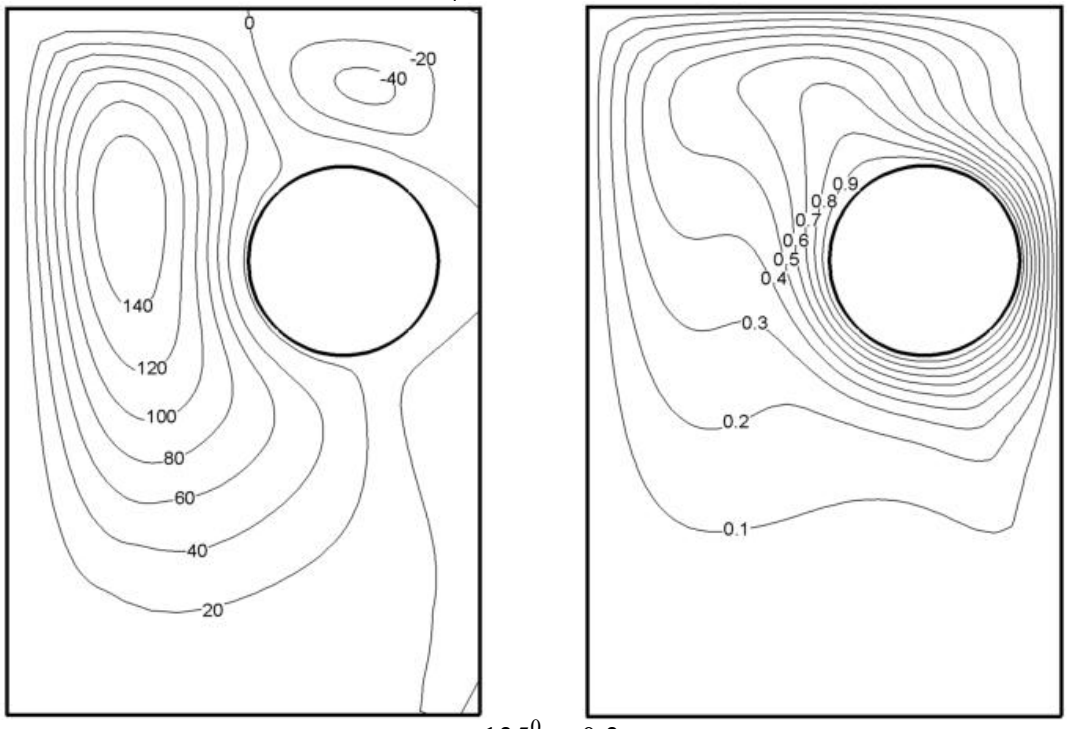


$\varphi=270^0,\varepsilon=0.1$

Şekil 4.22 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=90^0$ ve $\varphi=270^0$ eksantrikliğin 0.1 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5)

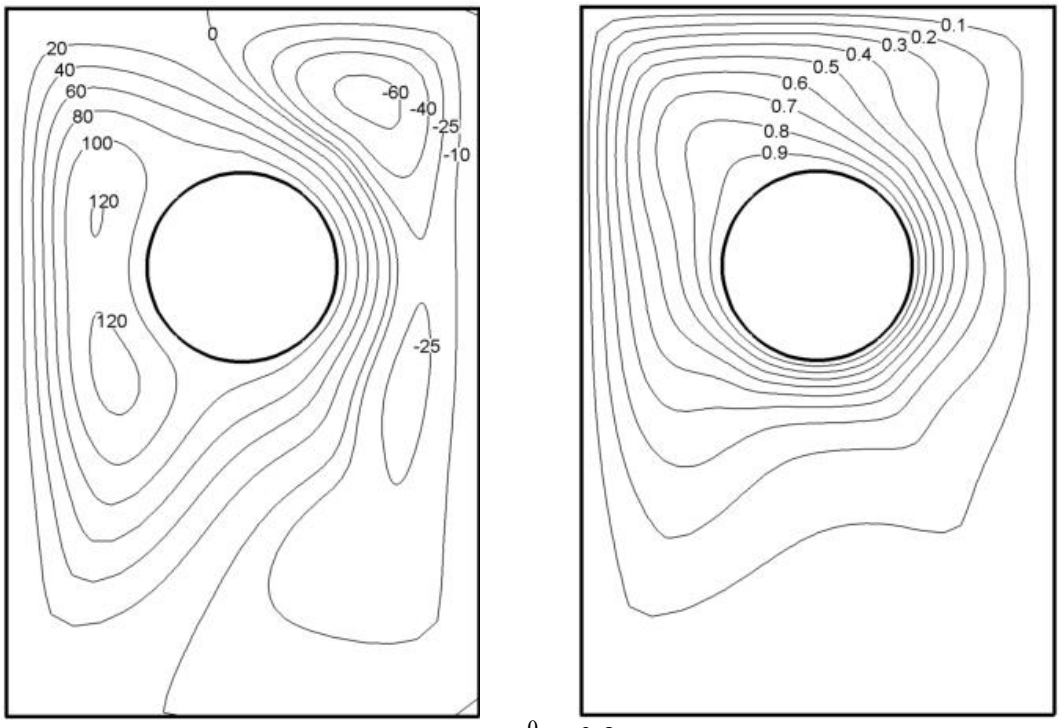


$\varphi=135^0,\varepsilon=0.1$

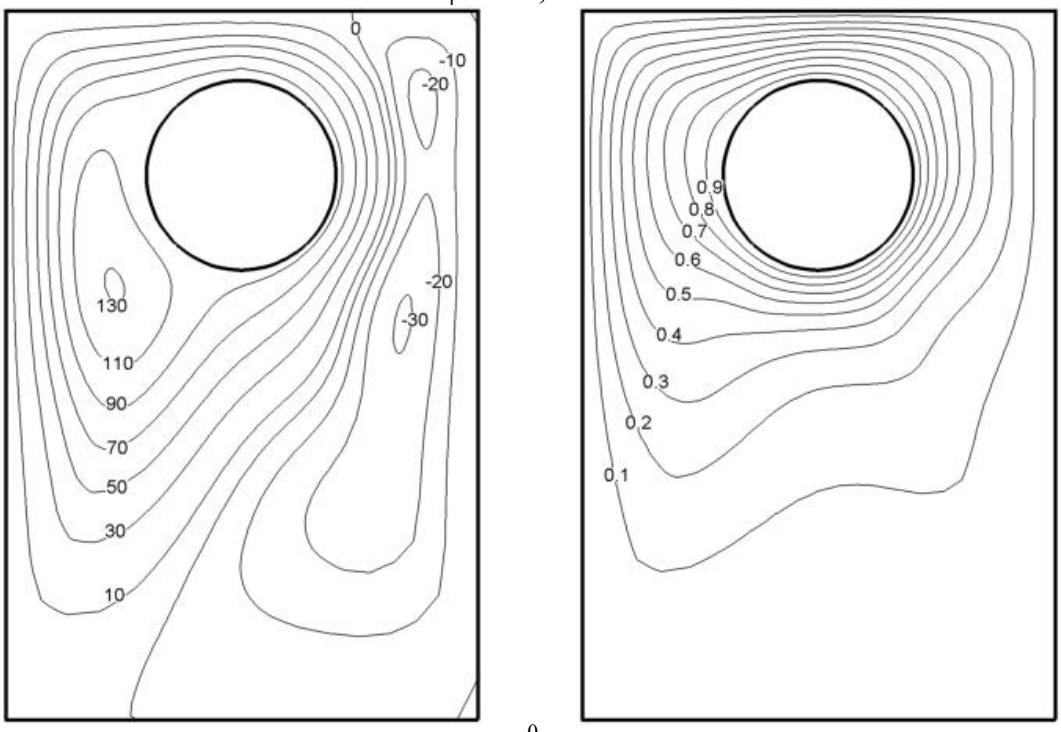


$\varphi=135^0,\varepsilon=0.3$

Şekil 4.23 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=135^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.3 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=10^5$, Re=0.1, B/A=1.5)

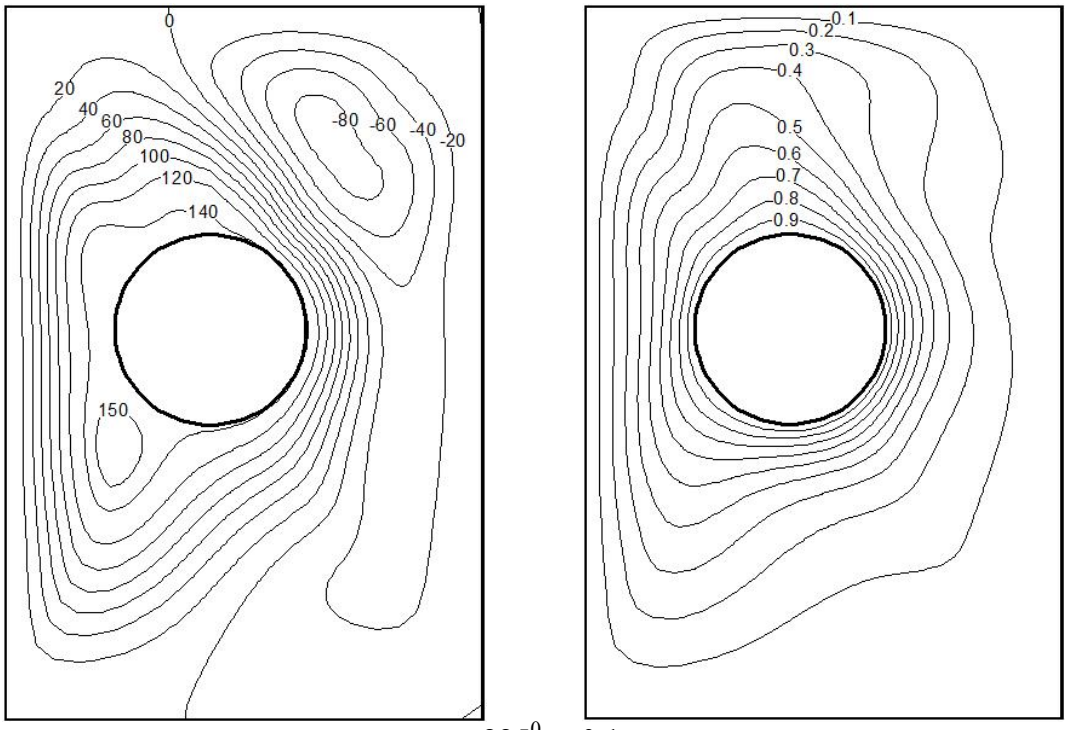


$\varphi=180^0,\varepsilon=0.2$

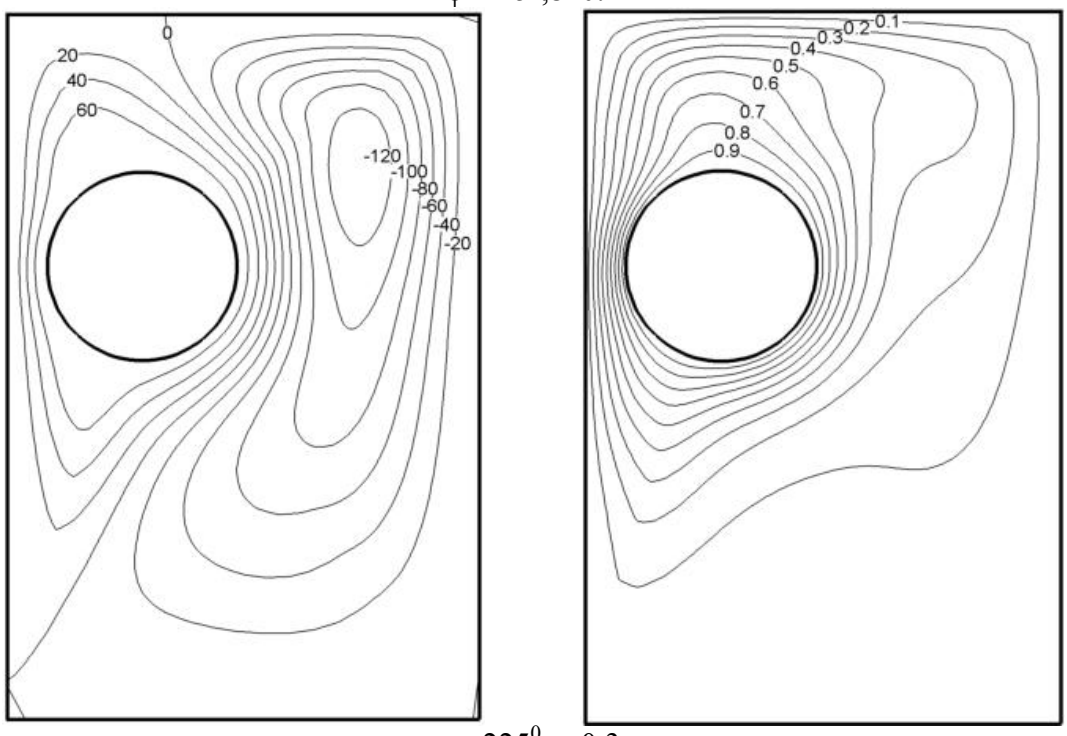


$\varphi=180^0,\varepsilon=0.4$

Şekil 4.24 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=180^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.2, 0.4 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=10^5$, Re=0.1, B/A=1.5)

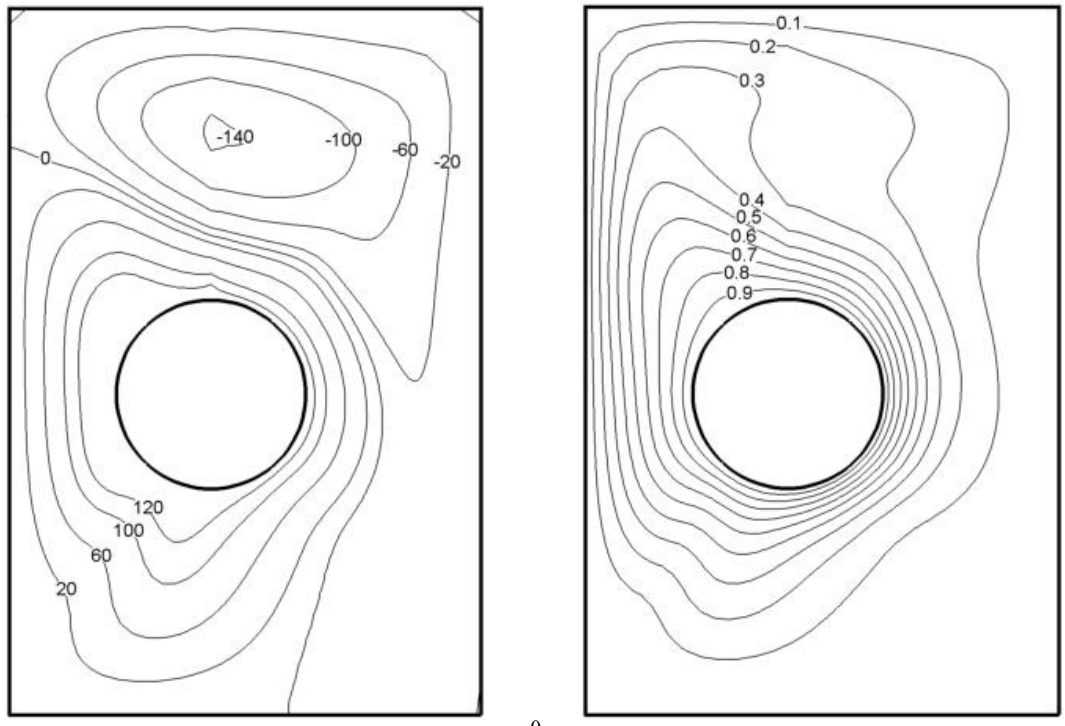


$\varphi=225^0,\varepsilon=0.1$

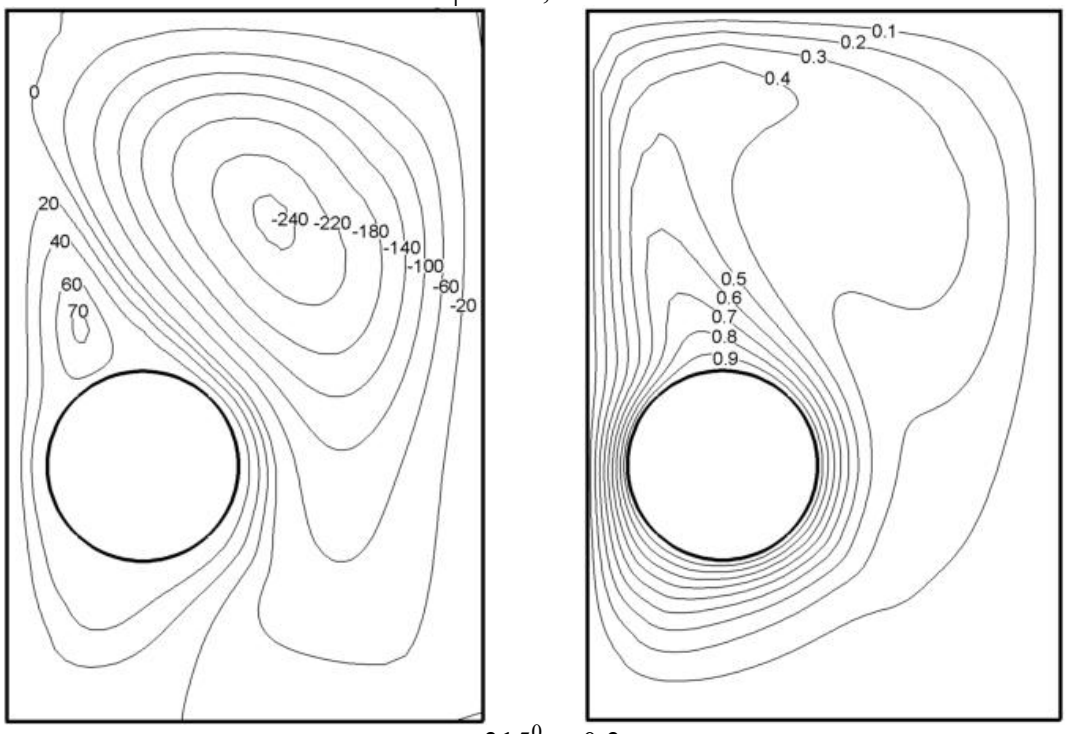


$\varphi=225^0,\varepsilon=0.3$

Şekil 4.25 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=225^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.3 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=10^5$, Re=0.1, B/A=1.5)



$\varphi=315^0,\varepsilon=0.1$



$\varphi=315^0,\varepsilon=0.3$

Şekil 4.26 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=315^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.3 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=10^5$, Re=0.1, B/A=1.5)

daha fazla yer bulup genişlemekte, soldaki edi daha güçlü şekilde iç silindiri sarar hale gelmektedir. ersine hareket ederek, artan eksantriklikle doğal taşınımın zorlanmış taşınıma baskın olduğunu göstermiştir. Eş sıcaklık eğrileri artan eksantriklikle birlikte dönme yönüne doğru yönelmektedirler.

Açısal pozisyonun $\varphi = 135^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.23'de görülmektedir. Eşmerkezli durumda sağda oluşan tek edi incelenen açısal pozisyonda üstte kalan parçası daha kuvvetli olmak üzere iki parçaya bölünmekte, edinin üstte kalan parçası artan eksantriklikle birlikte küçülmekte, altta kalan parça yok olmaktadır. Soldaki edi de eksantriklik arttıkça iç silindiri sarmaz duruma gelmektedir. Artan eksantrikliğin eşsıcaklık eğrilerini fazla etkilemediği, sadece aşağıdaki durgun bölgeyi arttırdığı görülmektedir.

Açısal pozisyonun $\varphi = 180^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.24'de görülmektedir. bu durum için incelenen her iki eksantriklikte de sağda oluşan edi döngülü yapıya sahiptir. Soldaki edi ise yalnızca ε=0.2 durumunda döngülü yapıdadır. ε=0.2'de görünen sağdaki edinin merkezinin ε=0.4'te aşağıya doğru hareket ettiği görülmektedir. Eşsıcaklık eğrilerine bakıldığında eşmerkezli duruma göre zorlanmış taşınımın etkilerinin arttığı söylenilebilir.

Açısal pozisyonun $\varphi = 225^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.25'de görülmektedir. Eksantriklik arttıkça iç silindiri saran edi zayıflamış dolayısı ile zorlanmış taşınımın etkileri azalmış gibi görünmektedir. Soldaki edi kendine daha fazla yer bulmuş, bunun sonucunda genişlemiş ve merkezi aşağı doğru hareket etmiştir. Artan eksantriklikle eş sıcaklık eğrileri dönüş yönünün tam tersine hareket etmektedir. Aşağıda üçgen şeklinde oluşan durgunluk alanının da eksantriklikle birlikte arttığı gözlenmektedir.

Açısal pozisyonun $\varphi = 315^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.26'da görülmektedir. Eksantriklik arttıkça iç silindiri saran edi zayıflamış dolayısı ile zorlanmış taşınımın etkileri azalmış gibi görünmektedir. ε=0.1 de iç silindirin üzerine yerleşen edi eksantriklik artınca kendine daha fazla yer bulmuş, bunun sonucunda genişleyerek sağ tarafı kaplamıştır. Eş sıcaklık

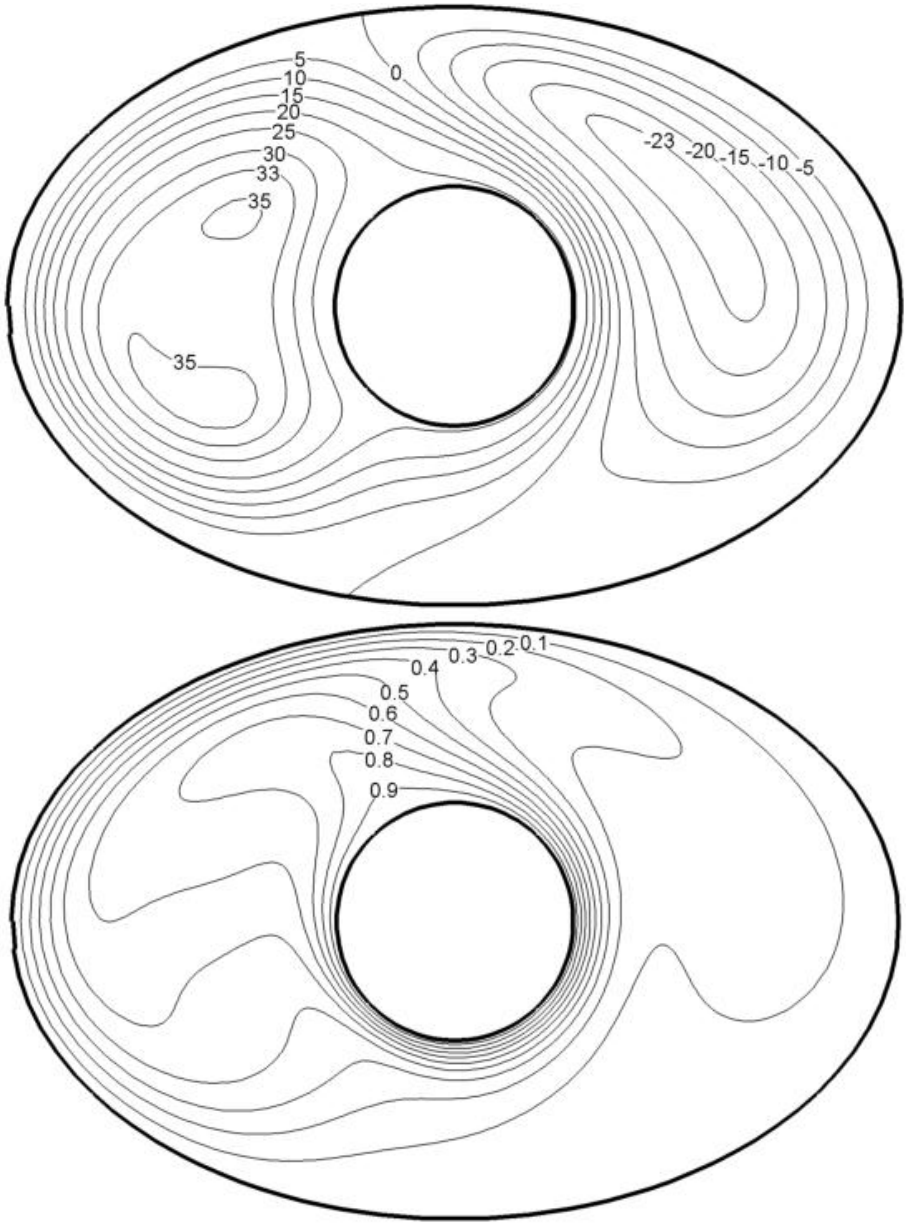
eğrileri eşmerkezli durumla kıyaslandığında az da olsa dönüş yönünün tersine hareket etmiştir.

4.4. Dönen ve Sabit Sıcaklıktaki Dairesel İç Silindir ve Onu Çevreleyen Soğuk ve Elips Kesitli Eksantrik Olarak Yerleştirilmiş Bir Dış Silindir Arasında Kalan Bölgede Gerçekleşen Karışık Taşınım

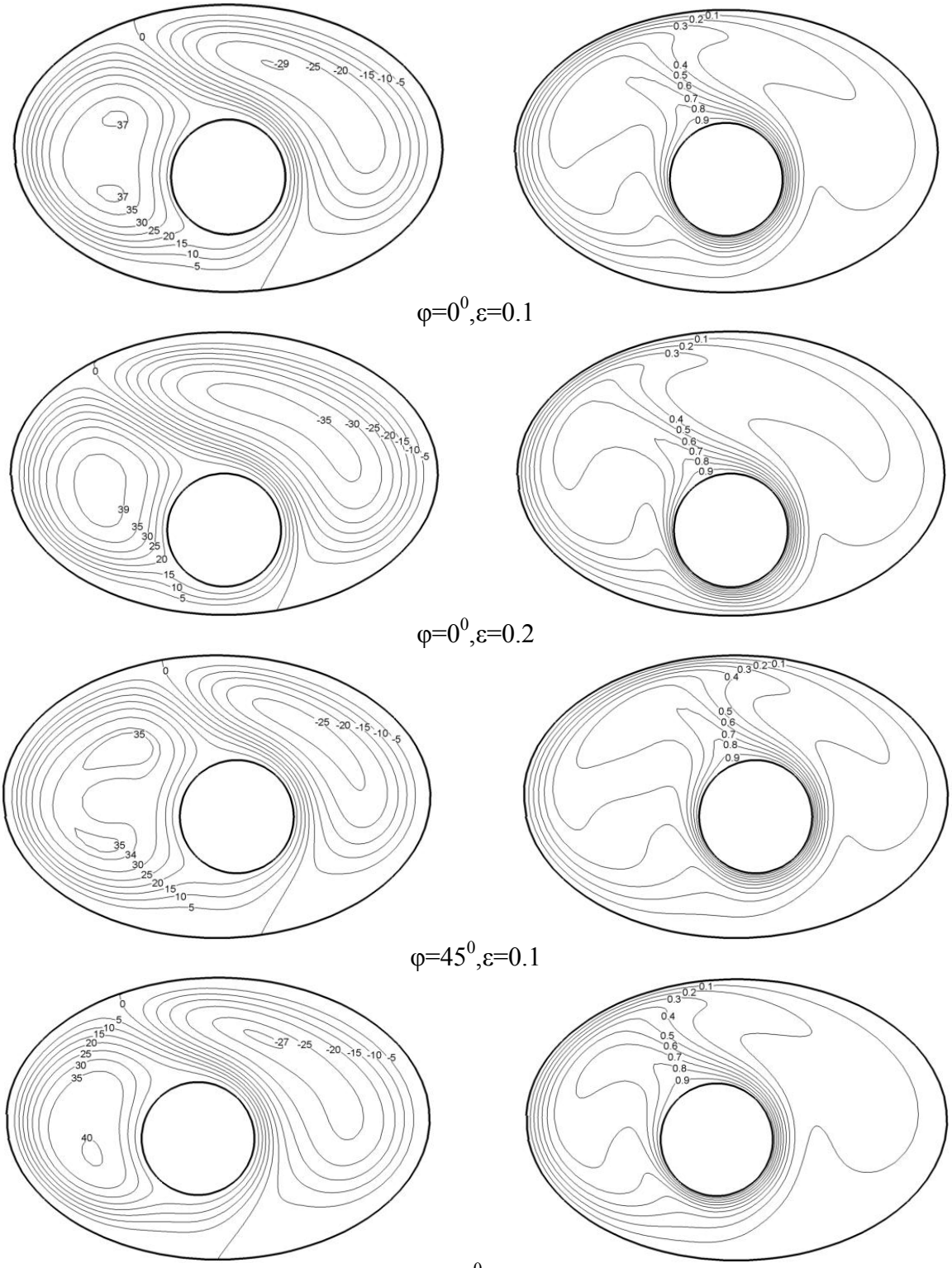
Çalışmanın bu bölümünde dönen, sıcak, dairesel bir iç silindir ve onu çevreleyen soğuk, elips kesitli çeşitli eksantrikliklerde yerleştirilmiş bir dış silindir arasında kalan bölgede daimi, laminer, karışık taşınım akışı incelenmiştir. Elips kesidin yatay uzunluğu, düşey uzunluğunun 1.5 katı olarak alınmıştır. Nümerik hesaplamalar hava için Pr=0.71 alınarak yapılmıştır. $\varphi = 0^0, 180^0, 135^0, 225^0$ açısal yerleşimleri için ε=0.1, 0.2 eksantrikliklerde, $\varphi = 45^0, 315^0$ açısal yerleşimleri için ε=0.1 eksantriklikte, $\varphi = 90^0, 270^0$ ε=0.2 eksantriklikte akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri elde edilmiştir. Dikkate alınan geometri için Grashof sayısı 10^6 ve Reynolds sayısı 1 alınmıştır.

Eksantrik durumların eşmerkezli durumdan farkını gösterebilmek amacı ile dış silindirin eşmerkezli yerleşimi için akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri de elde edilmiş ve Şekil 4.27'de gösterilmiştir. Solda iç silindiri çevreleyen saat ibresinin tersi yönünde dönen bir durgunluk noktası ile birlikte döngüler içeren yapıda bir edi, sağda da yine dönmenin etkisi ile iç silindirin üzerine doğru oluşmuş saat yönünde dönen bir edi görülmektedir. Eş sıcaklık eğrileri de saat ibresi yönünün tersine uygulanan dönme ile oluşturulan zorlanmış taşınımın etkisi ile dönmenin uygulandığı yöne hareketlenmişlerdir.

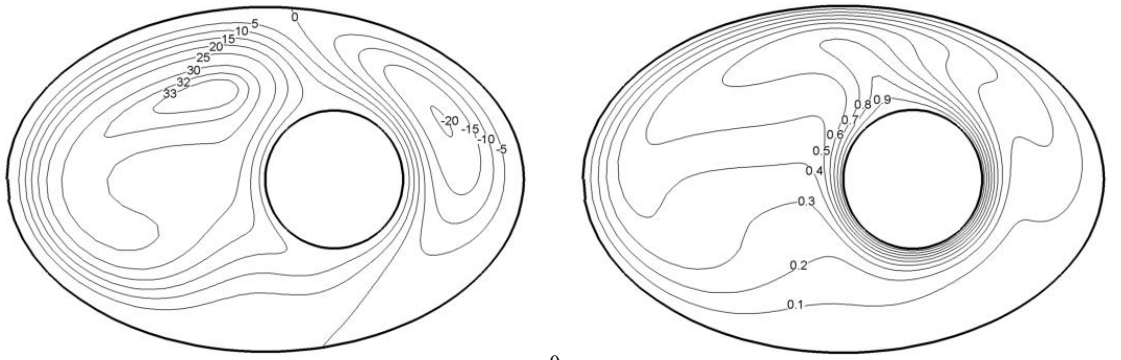
$\varphi = 0^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.29'de görülmektedir. Artan eksantriklikle sağdaki edi genişlemekte ve iç silindirin üzerine çıkmakta, solda iç silindiri saran edi varlığını



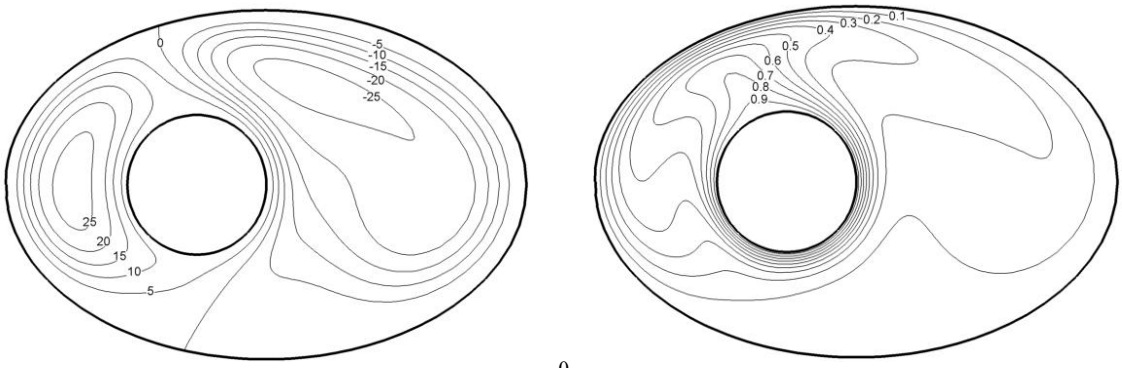
Şekil 4.27 Dış silindir elips seçildiğinde, eşmerkezli durum için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=1, A/B =1.5)



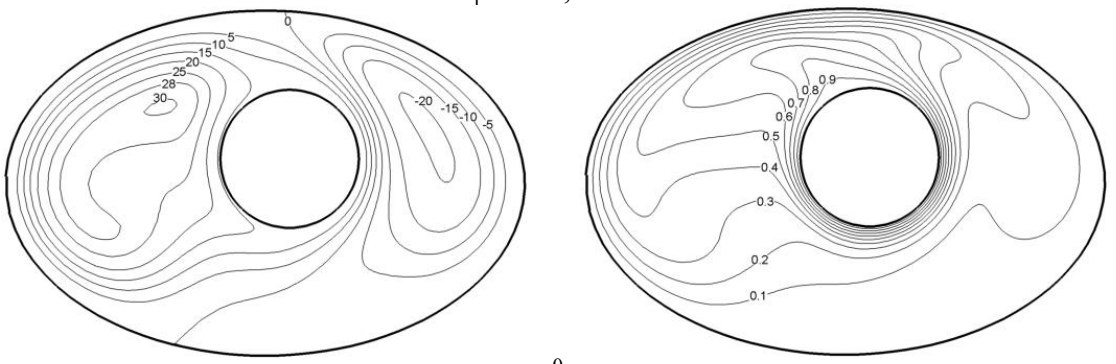
Şekil 4.28 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=0^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.2, açısal pozisyonun $\varphi=45^0$, $\varphi=315^0$ ve eksantrikliğin 0.1 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=1, A/B =1.5)



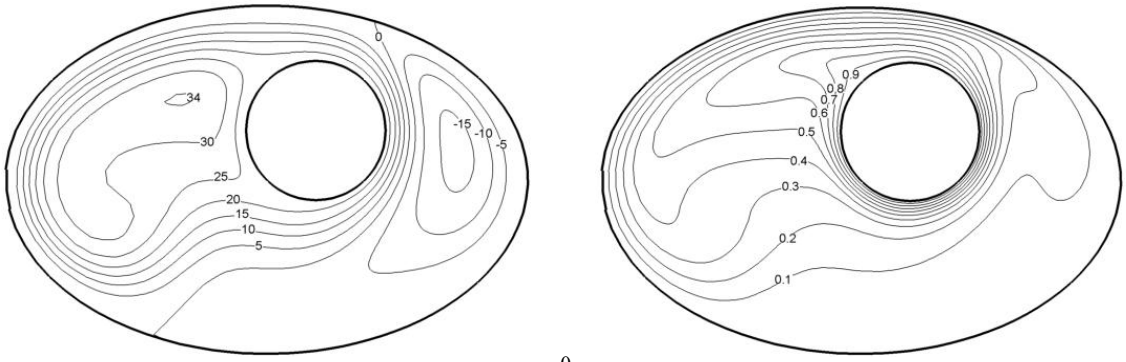
$\varphi=90^0,\varepsilon=0.2$



$\varphi=270^0,\varepsilon=0.2$

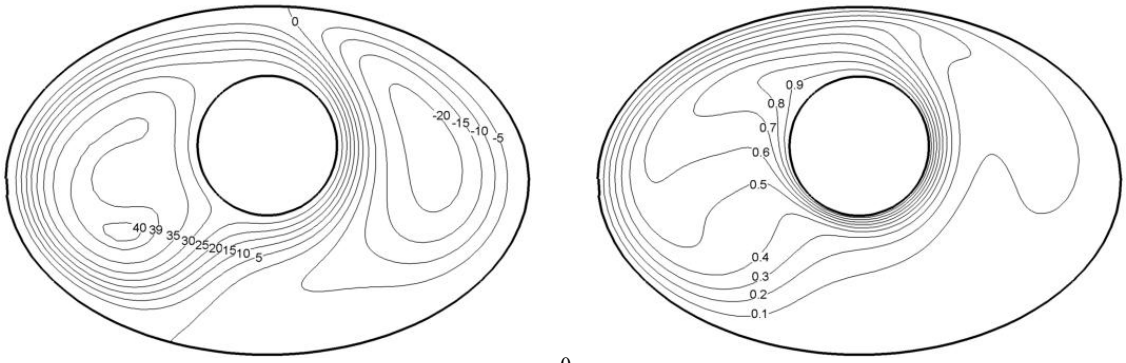


$\varphi=135^0,\varepsilon=0.1$

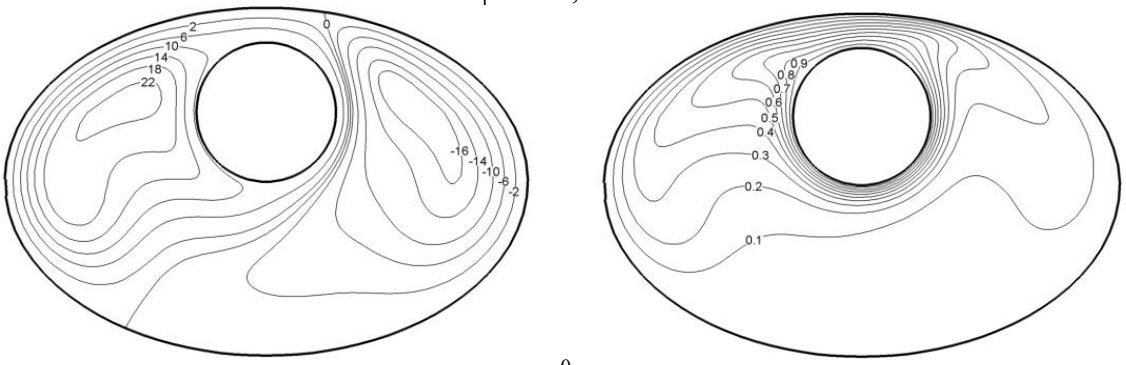


$\varphi=135^0,\varepsilon=0.2$

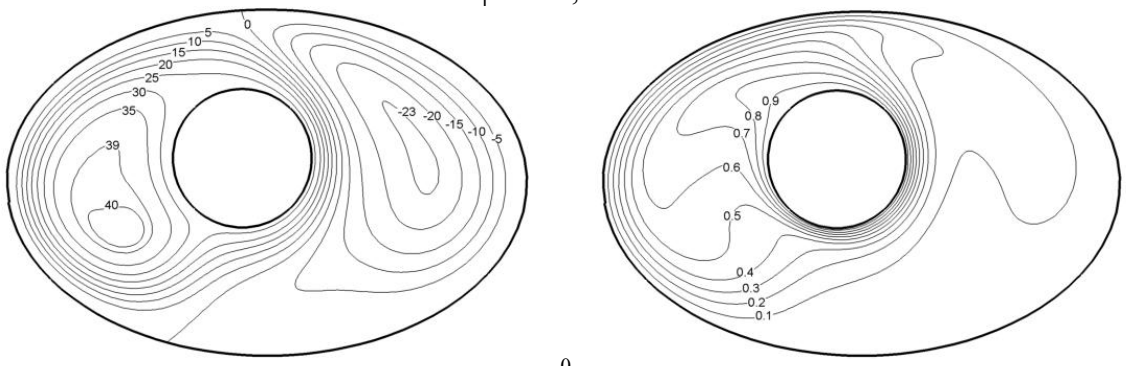
Şekil 4.29 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=0^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.2, açısal pozisyonun $\varphi=45^0$, $\varphi=315^0$ ve eksantrikliğin 0.1 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=1, A/B=1.5)



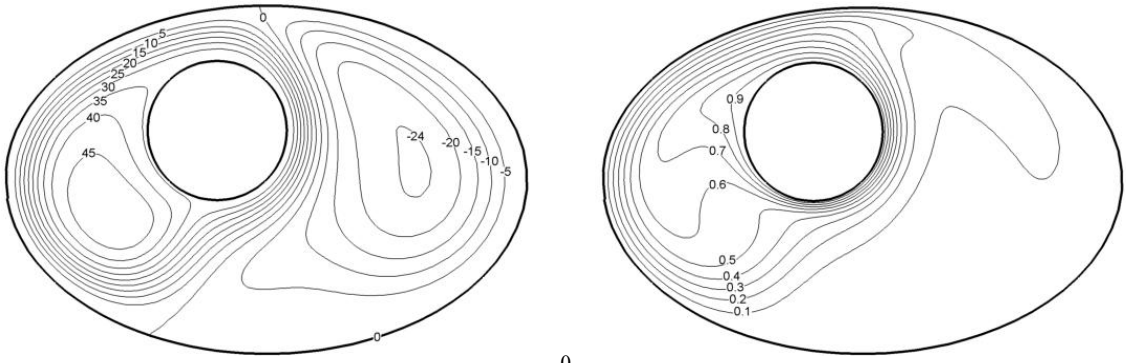
$\varphi=180^0,\varepsilon=0.1$



$\varphi=180^0,\varepsilon=0.2$



$\varphi=225^0,\varepsilon=0.1$



$\varphi=225^0,\varepsilon=0.2$

Şekil 4.30 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=180^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.2, açısal pozisyonun $\varphi=225^0$, eksantrikliğin 0.1, 0.2 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=1, A/B =1.5)

korumaktadır, yalnızca döngülü yapısı değişmektedir. Eş sıcaklık eğrileri artan eksantriklikle birlikte dönme yönüne doğru yönelmektedirler.

Açısal pozisyonun $\varphi = 45^0$ ve $\varphi = 315^0$ alındığı durumda tek eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.28'de görülmektedir. $\varphi = 45^0$ için iç silindiri saran edinin çok az genişlemesi dışında akım çizgileri ve eşsıcaklık eğrilerinde değişiklik olmamıştır. $\varphi = 315^0$ için iç silindirin döngülü yapısının değiştiği, sağdaki edinin çok az genişlediği, eş sıcaklık eğrilerinde gözle görülür değişiklik olmadığı gözlemlenmektedir.

Açısal pozisyonun $\varphi = 90^0$ ve $\varphi = 270^0$ alındığı durumda tek eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.29'da görülmektedir. $\varphi = 90^0$ için iç silindiri çevreleyen edi büyümekte ve merkezi yukarıya doğru hareket etmekte, buna karşılık sağda oluşan edi küçülmektedir. Dış silindir tam ters yöne ilerlediğinde yani açısal pozisyon $\varphi = 270^0$ alındığında tam ters bir durum gözlenmekte, iç silindiri çevreleyen edi sıkışırken, sağdaki edi kendine yer bulduğundan genişlemektedir. Her iki durumda da eşsıcaklık eğrileri dönme yönünde oluşmaktadır.

Açısal pozisyonun $\varphi = 135^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.29'de görülmektedir. Artan eksantriklikle iç silindiri saran akım çizgilerinin daha kuvvetlendiği, sağda oluşan edinin de sıkışarak küçüldüğü görülmektedir. Zorlanmış taşınım doğal taşınıma baskın göründüğü bir durum oluşmakta, eş sıcaklık eğrileri de artan eksantriklikle dönme yönüne hareketlenmekte ve bu durumu desteklemektedir.

Açısal pozisyonun $\varphi = 180^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.30'da görülmektedir. Eksantriklik arttıkça iç silindiri saran edinin merkezinin yukarıya ilerlediği, sağdaki edinin de aşağıya doğru genişlediği görülmektedir. Eşsıcaklık eğrilerine bakıldığında eksantriklik arttıkça aşağıdaki durgunluk alanının arttığı da anlaşılmaktadır.

Açısal pozisyonun $\varphi = 225^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.34'de görülmektedir. Artan eksantriklikle sağdaki edi daha büyük bi alana yayılırken, soldaki edi daha kuvvetli bir şekilde iç

silindiri sarmaktadır. Eş sıcaklık eğrileri eksantriklik arttıkça dönme yönüne doğru hareketlenmektedirler.

4.5. Dönen ve Sabit Sıcaklıktaki Dairesel İç Silindir ve Onu Çevreleyen Soğuk ve Dikdörtgen Kesitli Eksantrik Olarak Yerleştirilmiş Bir Dış Silindir Arasında Kalan Bölgede Gerçekleşen Karışık Taşınım

Çalışmanın bu bölümünde dönen, sıcak, dairesel bir iç silindir ve onu çevreleyen soğuk, dikdörtgen kesitli çeşitli eksantrikliklerde yerleştirilmiş bir dış silindir arasında kalan bölgede daimi, laminer, karışık taşınım akışı incelenmiştir. Dikdörtgen kesidin yatay uzunluğu, düşey uzunluğunun 1.5 katı olarak alınmıştır. Nümerik hesaplamalar, daha önceki çalışmalarda olduğu gibi hava için Pr=0.71 alınarak yapılmıştır. $\varphi = 0^0, 45^0, 180^0, 135^0, 225^0, 315^0$ açısal yerleşimleri için ε=0.1 eksantriklikte, $\varphi = 90^0,\ 270^0$ ε=0.2 eksantriklikte akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri elde edilmiştir. Daha büyük eksantriklikler için akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri elde edilemediğinden farklı açısal pozisyonlarda tek eksantriklik için elde edilen akış ve sıcaklık alanları eşmerkezli durum ile karşılaştırılmıştır. Dikkate alınan geometri için Grashof sayısı 10^6 ve Reynolds sayısı 1 alınmıştır.

Eksantrik durumların eşmerkezli durumdan farkını gösterebilmek amacı ile dış silindirin eşmerkezli yerleşimi için akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri de elde edilmiş ve Şekil 4.31'de gösterilmiştir. Solda iç silindiri çevreleyen saat ibresinin tersi yönünde dönen halkalı yapıda bir edi, sağda da yine dönmenin etkisi ile iç silindirin üzerine doğru oluşmuş saat yönünde dönen bir edi görülmektedir. Eş sıcaklık eğrileri de saat ibresi yönünün tersine uygulanan dönme ile oluşturulan zorlanmış taşınımın etkisi ile dönmenin uygulandığı yöne hareketlenmişlerdir.

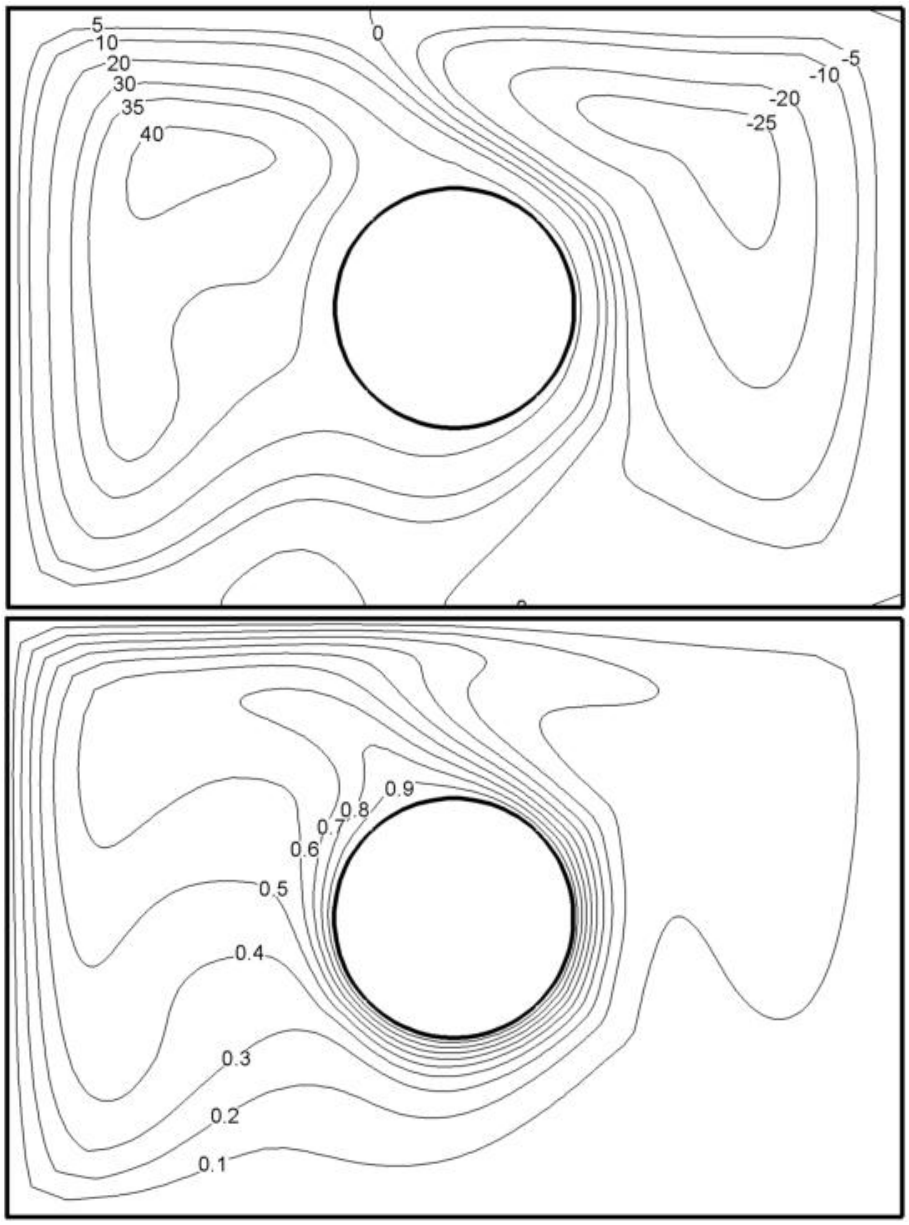
$\varphi = 0^0$ ve $\varphi = 180^0$ alındığı durumda tek eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.32'de görülmektedir. $\varphi = 0^0$ açısal pozisyonunda sağdaki edi genişlemekte ve iç silindirin üzerine çıkmakta olduğu, solda iç silindiri saran edinin

güçlendiği ve edinin içerisinde bir durgunluk noktası ile beraber döngülü bölgelerin oluştuğu gözlenmektedir. $\varphi = 180^0$ açısal pozisyonunda sağdaki edinin merkezi aşağıya inmiş, iç silindiri saran soldaki edi de eksantrik duruma göre bira zayıflamış ve iç silindirin edi üzerindeki hakimiyeti biraz azalmıştır. Her iki durumda da eş sıcaklık eğrileri dönme yönüne doğru yönelmiş görünmektedirler.

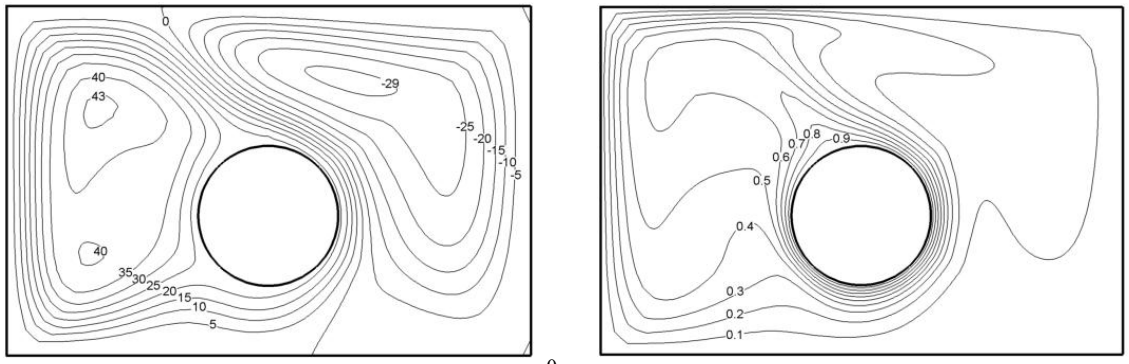
Açısal pozisyonun $\varphi = 90^0$ ve $\varphi = 270^0$ alındığı durumda tek eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.29'da görülmektedir. $\varphi = 90^0$ için iç silindiri çevreleyen edi büyümekte ve merkezi yukarıya doğru hareket etmekte, iç silindirin dönmesinin edi üzerindeki etkisinin azaldığı görülmekte, buna karşılık sağda oluşan edi küçülmektedir. Dış silindir tam ters yöne ilerlediğinde yani açısal pozisyon $\varphi = 270^0$ alındığında tam ters bir durum gözlenmekte, iç silindiri çevreleyen edi sıkışırken, sağdaki edi kendine yer bulduğundan genişlemekte, merkezi daha sola kaymaktadır. Eş sıcaklık eğrilerine bakıldığında $\varphi = 90^0$ durumunda zorlanmış taşınımın etkilerinin biraz azaldığı, $\varphi = 270^0$ durumunda ise biraz arttığı sonucuna varılabilir.

Açısal pozisyonun $\varphi = 45^0$ ve $\varphi = 315^0$ alındığı durumda tek eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.32'de görülmektedir. $\varphi = 45^0$ için iç silindiri saran edinin çok az genişlemiş olduğu, sağdaki edinin içersinde bir durgunluk noktası ile birlikte döngülü bölgeler oluştuğu görülmüştür. $\varphi = 315^0$ durumunda ise sağ taraftaki edinin genişlediği, merkezinin sola kaydığı, solda iç silindiri çevreleyen edinin içersinde de aynı büyüklükte iki döngünün oluştuğu görülmektedir. Eş sıcaklık eğrileri de artan eksantriklikle dönme yönüne hareketlenmektedir, ancak bu hareketlenmenin $\varphi = 315^0$ durumunda $\varphi = 45^0$ durumuna göre daha fazla olduğu söylenebilir. $\varphi = 315^0$ açısal pozisyonunda iç silindirin üzerinde eşsıcaklık eğrileri birbirine yaklaşmıştır.

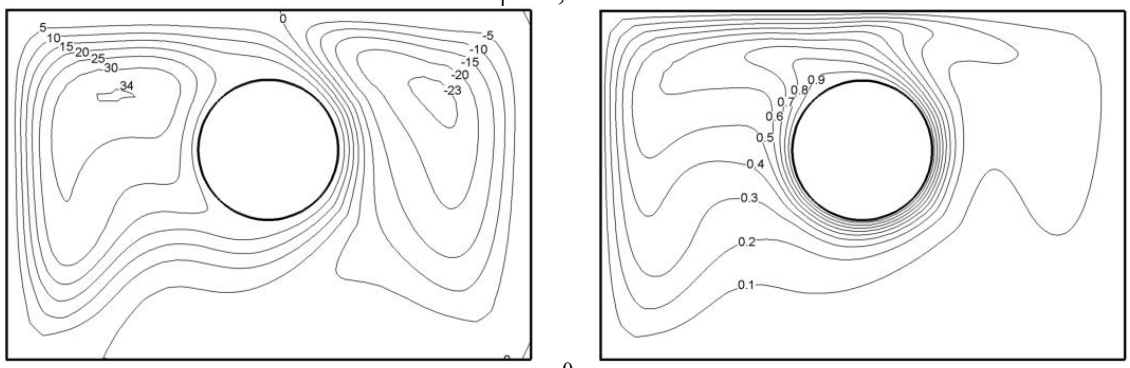
Açısal pozisyonun $\varphi = 135^0$ ve $\varphi = 225^0$ alındığı durumda tek eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.32'de görülmektedir. $\varphi = 135^0$ durumunda iç silindiri saran akım çizgileri zayıflamakta, sağda oluşan edi de sıkışarak küçülmektedir. $\varphi = 225^0$ durumunda ise sağdaki edi daha büyük bi alana yayılırken, soldaki edi eşmerkezli durumla aynı şekilde iç silindiri sarmaktadır. Eş sıcaklık eğrileri



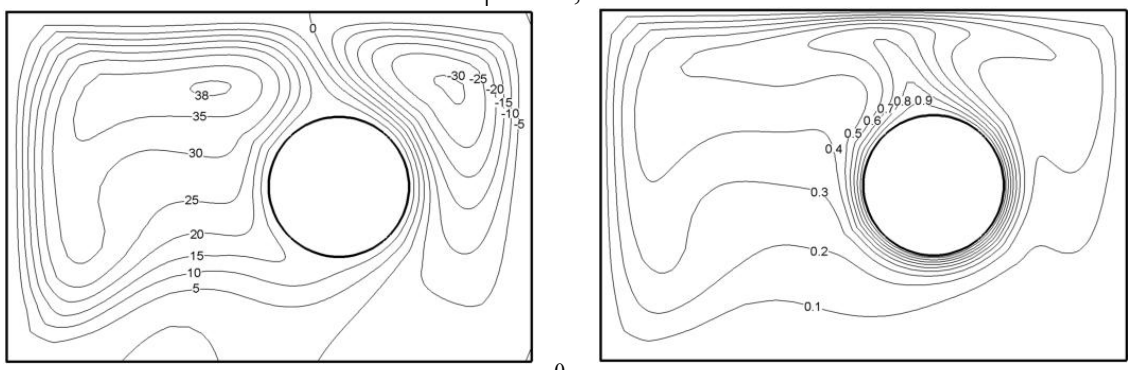
Şekil 4.31 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, eşmerkezli durum için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=1, A/B =1.5)



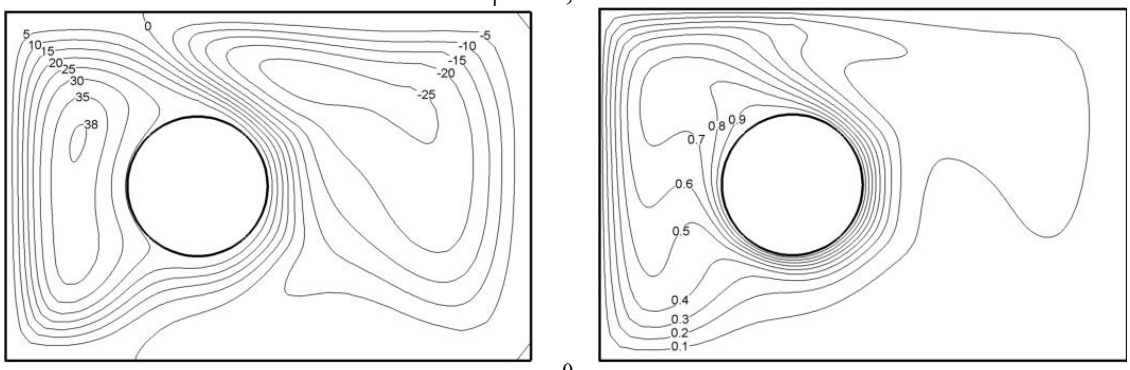
$\varphi=0^0,\varepsilon=0.1$



$\varphi=180^0,\varepsilon=0.1$

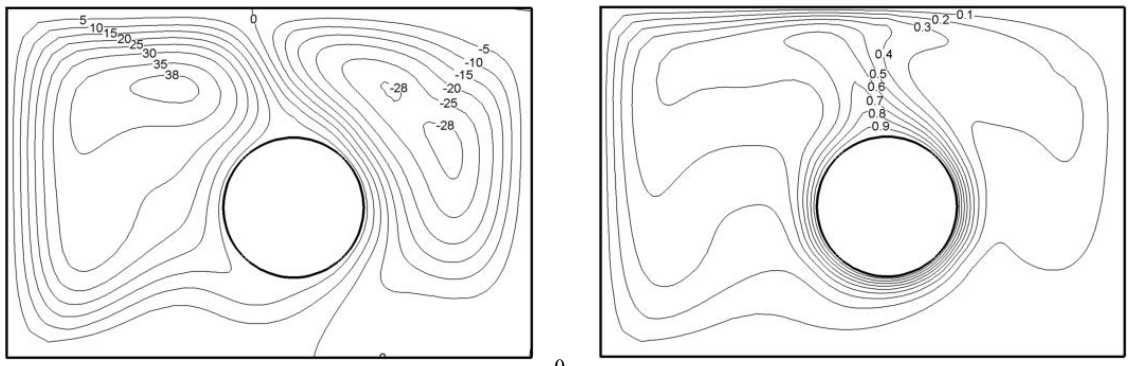


$\varphi=90^0,\varepsilon=0.2$

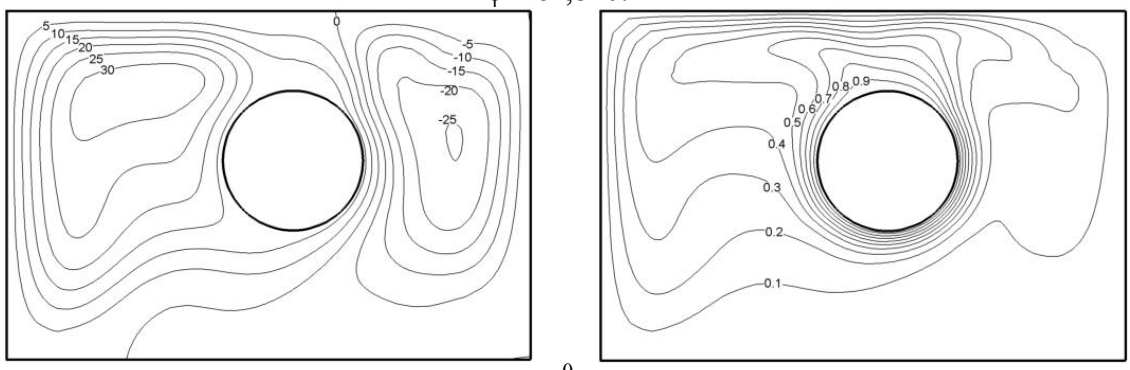


$\varphi=270^0,\varepsilon=0.2$

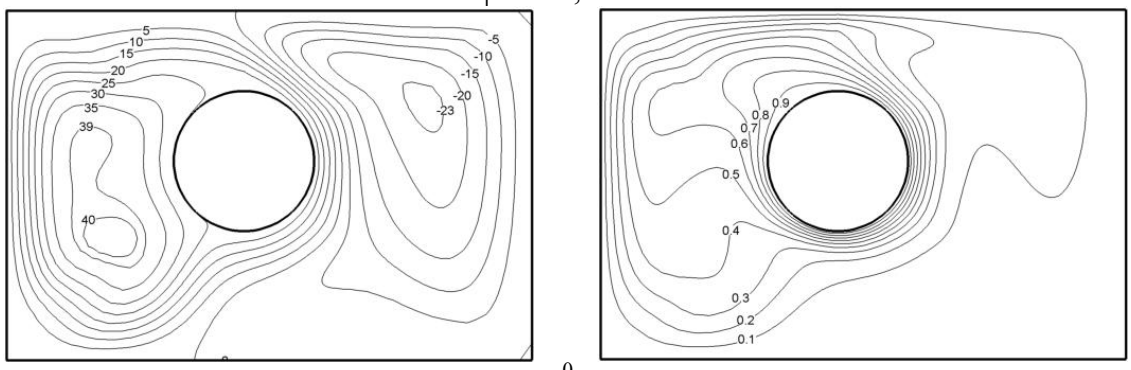
Şekil 4.32 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=0^0$, $\varphi=180^0$, ve eksantrikliğin 0.1; açısal pozisyonun $\varphi=90^0$, $\varphi=270^0$ ve eksantrikliğin 0.2 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=1, A/B =1.5)



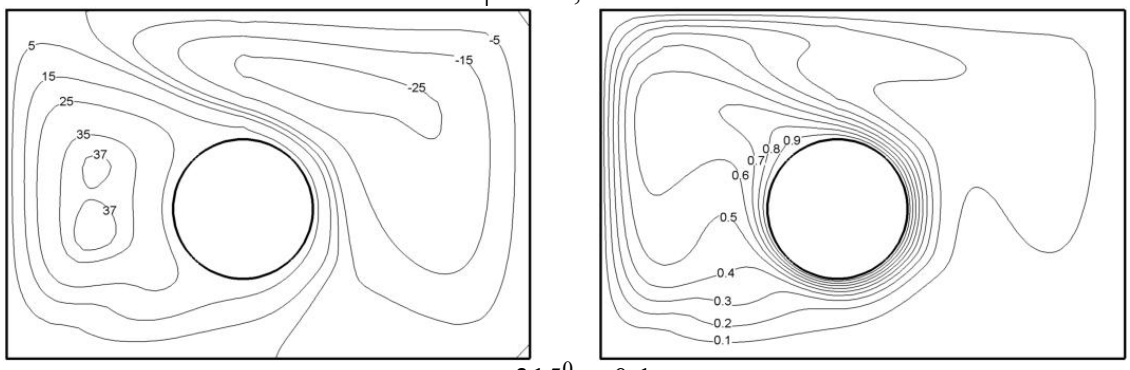
$\varphi=45^0,\varepsilon=0.1$



$\varphi=135^0,\varepsilon=0.1$



$\varphi=225^0,\varepsilon=0.1$



$\varphi=315^0,\varepsilon=0.1$

Şekil 4.33 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=45^0$, $\varphi=135^0$, $\varphi=225^0\varphi=315^0$ ve eksantrikliğin 0.1 olduğu durumlar için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=1, A/B =1.5)

dönme yönüne hareketlenmektedir, ancak bu hareketlenmenin $\varphi = 225^0$ durumunda $\varphi = 135^0$ durumuna göre daha fazla olduğu söylenebilir.

4.6. Dönen ve Sabit Isı Akısı ile Isıtılan Dairesel İç Silindir ve Onu Çevreleyen Soğuk ve Kare Kesitli Eksantrik Olarak Yerleştirilmiş Bir Dış Silindir Arasında Kalan Bölgede Gerçekleşen Karışık Taşınım

Çalışmada dönen, sabit ısı akısı ile ısıtılan, dairesel bir iç silindir ve onu çevreleyen soğuk, kare kesitli çeşitli eksantrikliklerde yerleştirilmiş bir dış silindir arasında kalan bölgede daimi, laminer, karışık taşınım akışı incelenmiştir. Nümerik hesaplamalar, hava için Pr=0.71 alınarak yapılmıştır. $\varphi = 0^0, 45^0, 90^0, 135^0, 180^0, 225^0, 270^0, 315^0$ açısal yerleşimleri için ε=0.10, 0.15, 0.20, 0.25 eksantrikliklerde akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri elde edilmiştir. Amaç, doğal ve zorlanmış taşınımın etkilerini bir arada görmek olduğu için bu fiziksel duruma uygun olarak Grashof sayısı "10^6" ve zorlanmış taşınımı temsil eden Reynolds sayısı "0.1" seçilmiştir. İç silindirin boyutsuz yarıçapı 0.2 kabul edilmiştir.

Eksantrik durumların eşmerkezli durumdan farkını gösterebilmek amacı ile dış silindirin eşmerkezli yerleşimi için akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri de elde edilmiş ve Şekil 4.34'de gösterilmiştir. Eşmerkezli durum incelendiğinde, solda ve sağda oluşmuş iki edi (dönel akış) görülmektedir. Solda oluşan edinin daha büyük olduğu ve iç silindiri çevrelediği, sağda oluşan edinin soldakine göre daha küçük olduğu görülmektedir. Sağdaki edi saat ibresi yönünde dönerken, soldaki edi saat ibresinin tersi yönünde dönmektedir. Eş sıcaklık eğrilerinin de dönmenin etkisi ile sola doğru eğildiği görülmektedir. Ancak, iç silindir yüzeyinde sabit sıcaklık sınır koşulunun uygulanmasından farklı olarak, iç silindir sabit ısı akısı ile ısıtıldığında bazı eş sıcaklık eğrilerinin iç silindir duvarından doğduğu görülmektedir.

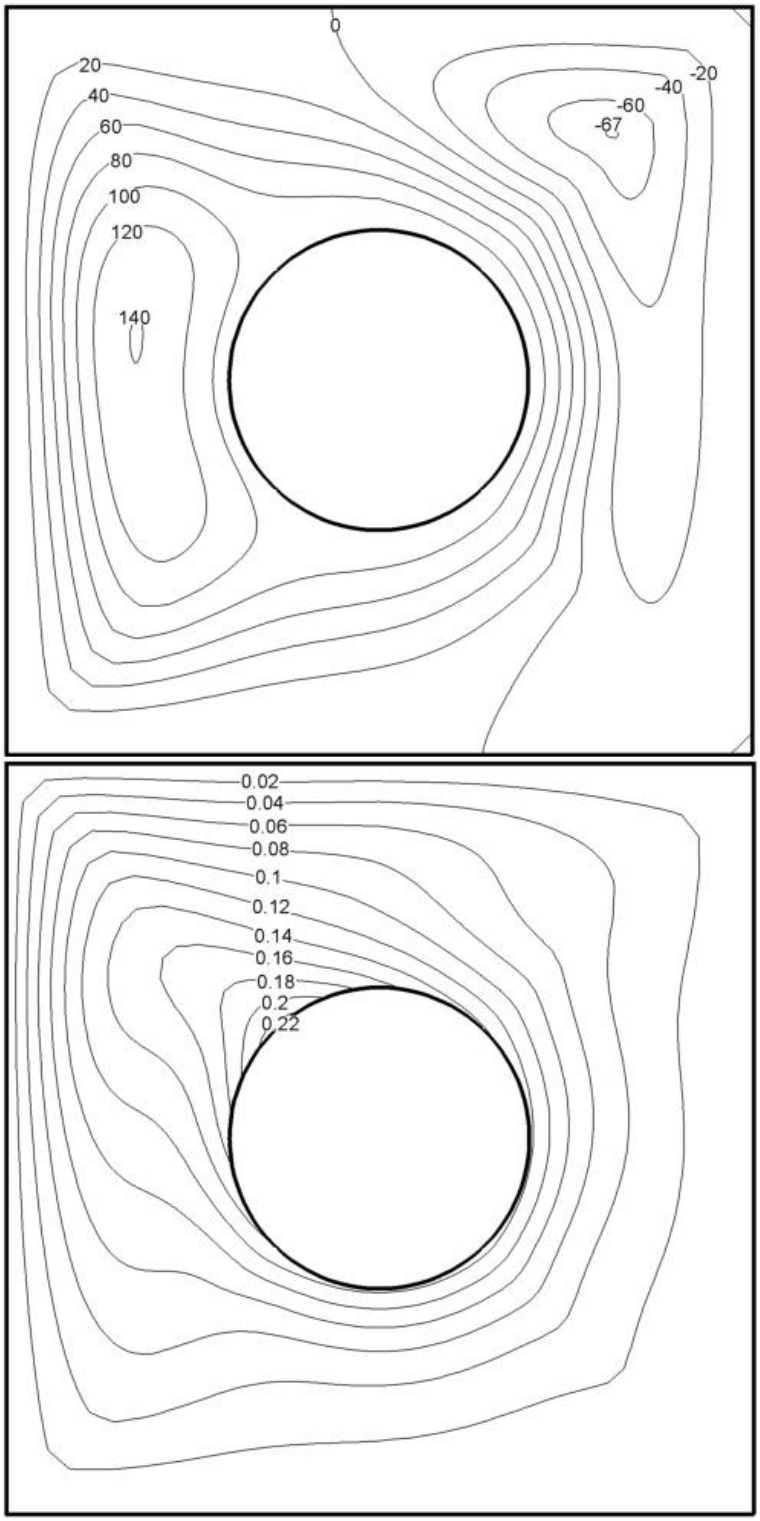
Açısal pozisyonun $\varphi = 0^0$ alındığı durumda 4 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.35'de görülmektedir. Artan eksantriklikle

birlikte iç silindirin üzerindeki alanın genişlemesi ile sağdaki edinin iç silindirin üzerine doğru hareket ettiği ve büyüdüğü, ancak ε=0.20 durumunda soldaki edinin yeniden büyümeye başladığı ve ε=0.25 durumunda sağdaki ve soldaki edinin hemen hemen aynı boyuta geldiği görülmektedir. Eş sıcaklık eğrileri de artan eksantriklikle sola doğru hareket ederken, bu hareket, ε=0.20 eksantriklikten sonra tam terse dönmüş, bu eksantriklikten sonra doğal taşınım zorlanmış taşınıma göre daha baskın hale gelmiş gibi bir görünüm elde edilmiştir.

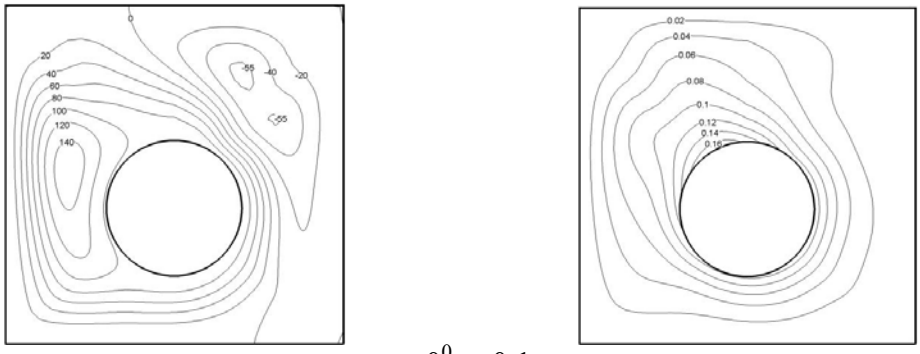
Açısal pozisyonun $\varphi = 45^0$ alındığı durumda 4 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.36'da görülmektedir. Bu durumda da, artan eksantriklikle sağ taraftaki edi kendisine sağ tarafta yer iç silindirin üzerine doğru ilerlemekte ve gücünü arttırmaktadır. Soldaki edi, iç silindirin etrafında oluşmakta ve artan eksantriklikle fazla değişikliğe uğramamaktadır. Artan eksantriklikle birlikte sıcaklık eğrileri dönmenin etkisi ile saat ibresi yönünün tersine hareket etmekte olduğu ve iç silindirden doğuyormuş gibi gözlenen eş sıcaklık eğrilerinin sayısal değerlerinin düştüğü görülmektedir.

Açısal pozisyonun $\varphi = 90^0$ alındığı durumda 4 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.37'de görülmektedir. Dış silindir batıya doru ilerledikçe yani çalışılan açısal pozisyonda eksantriklik arttıkça iç silindiri çevreleyen soldaki edi kendine daha fazla yer bulduğundan genişlemekte ve iç silindire verilen dönmenin edi üzerindeki hakimiyeti azalmakta, sağdaki edi de iç silindirin üstüne doğru ilerlemektedir. Eş sıcaklık eğrilerinin de ε=0.20'ye kadar iç silindirin döndüğü yönde hareket ettiği, ε=0.25'te bu eğilimin tersine döndüğü görülmektedir.

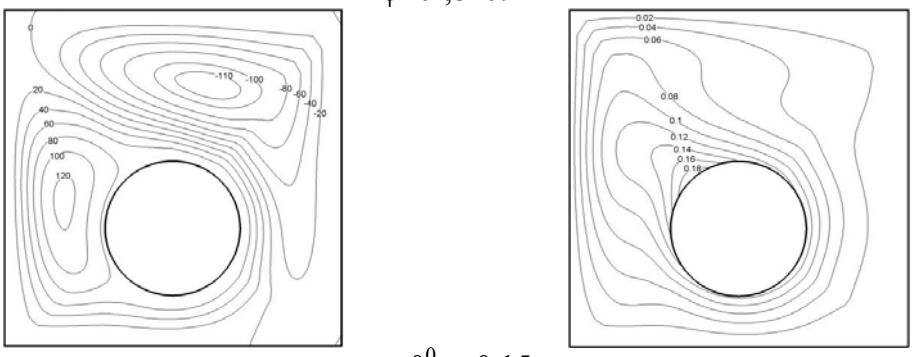
Açısal pozisyonun $\varphi = 135^0$ alındığı durumda 4 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.38'de görülmektedir. İç silindiri çevreleyen soldaki edi eksantriklikle birlikte genişlemektedir. ε=0.10 ve ε=0.15 durumunda sağda aynı yöne dönen iki edi gözlenmekte iken, eksantriklik arttığında sağ üstteki edi yok olmakta, sol alt taraftaki edi varlığını sürdürmektedir. Eş sıcaklık eğrilerinin de eksantriklikle birlikte iç silindirin döndüğü yöne doğru hareketlerini arttırdıkları ve iç silindirden doğuyormuş gibi gözlenen eş sıcaklık eğrilerinin sayısal değerlerinin düştüğü görülmektedir.



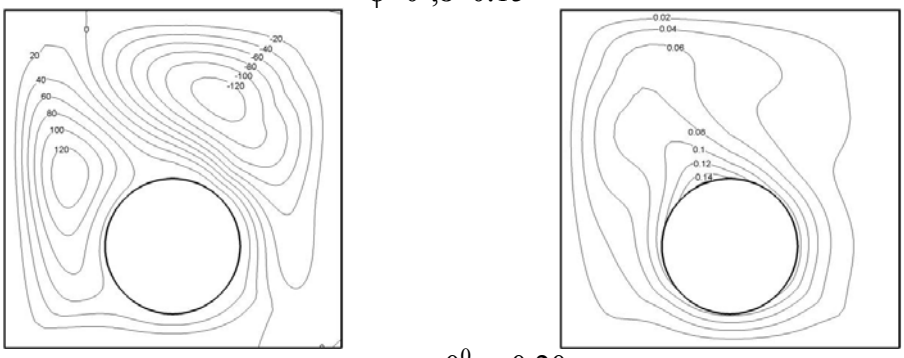
Şekil 4.34 Dış silindir kare seçildiğinde, eşmerkezli durum için iç silindire ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1)



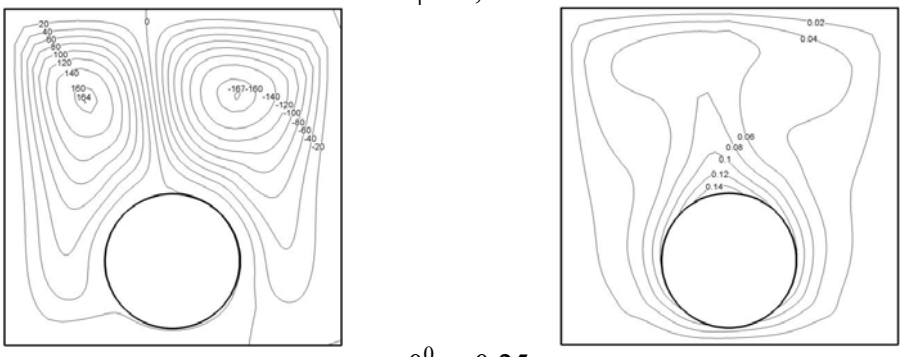
$\varphi=0^0,\varepsilon=0.1$



$\varphi=0^0,\varepsilon=0.15$

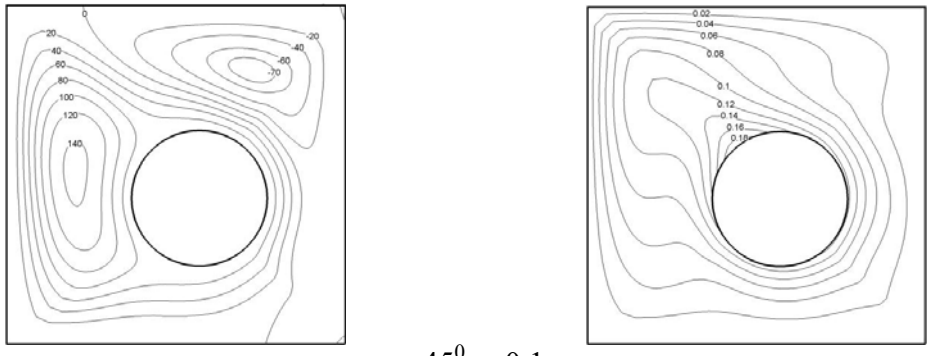


$\varphi=0^0,\varepsilon=0.20$

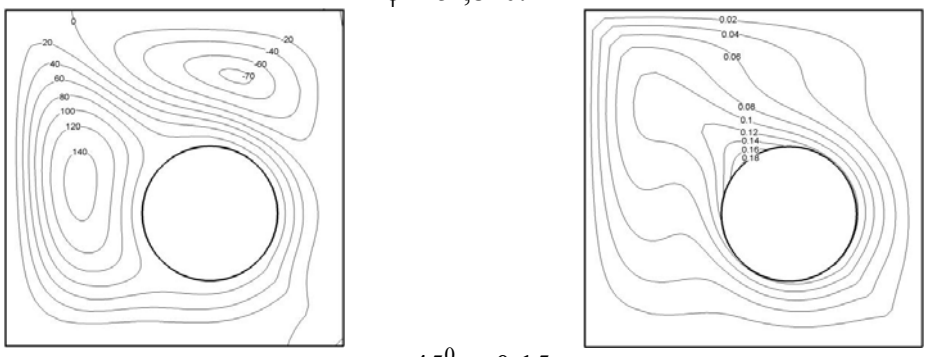


$\varphi=0^0,\varepsilon=0.25$

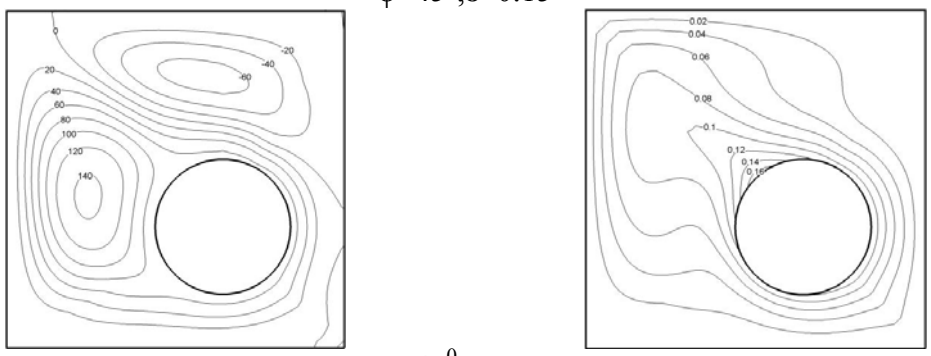
Şekil 4.35 Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=0^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.15, 0.20, 025 olduğu durumlar için iç silindire ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1)



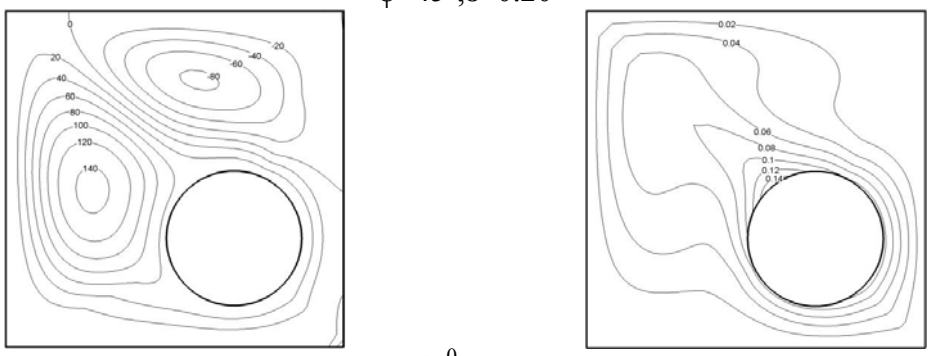
$\varphi=45^0,\varepsilon=0.1$



$\varphi=45^0,\varepsilon=0.15$

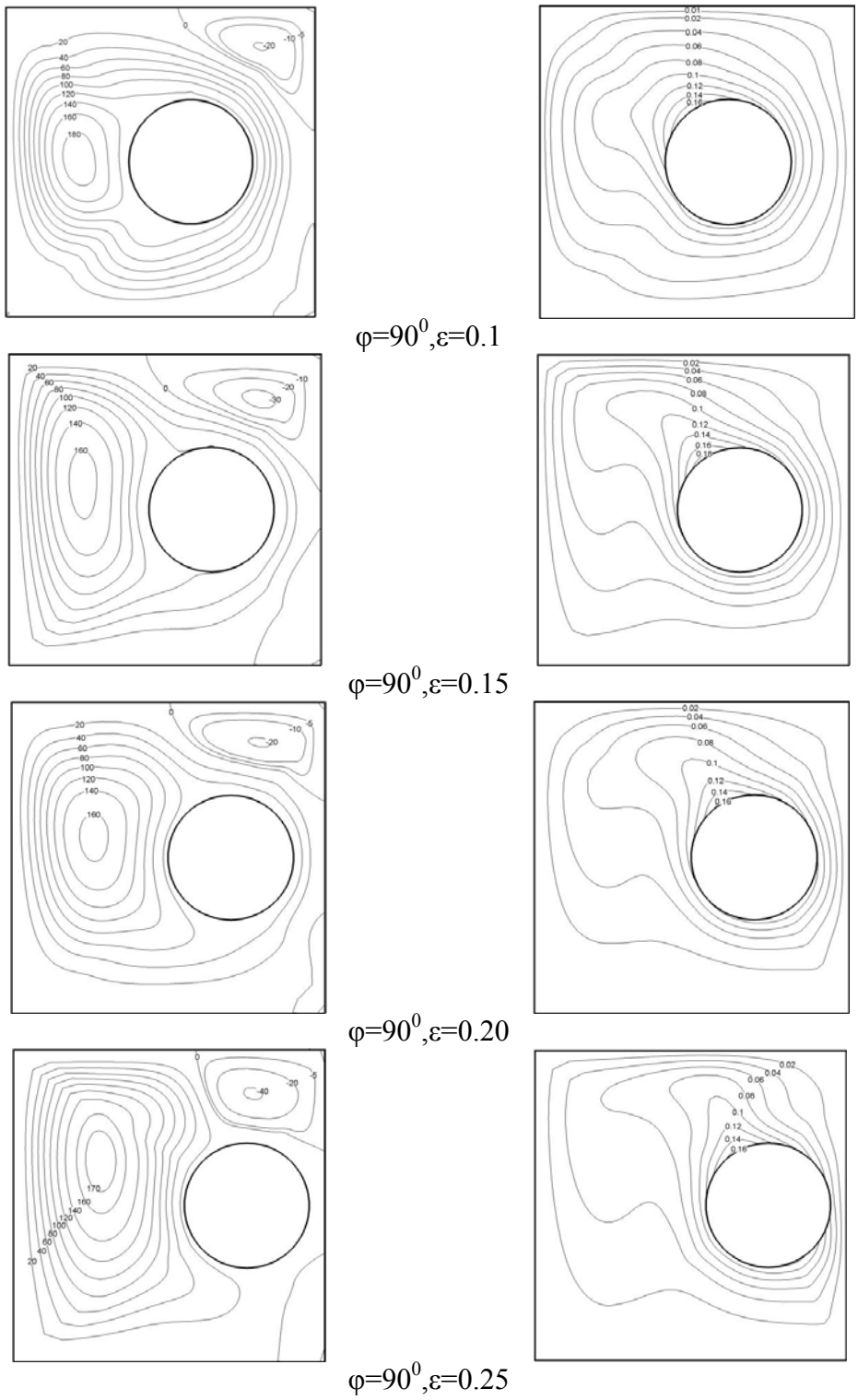


$\varphi=45^0,\varepsilon=0.20$

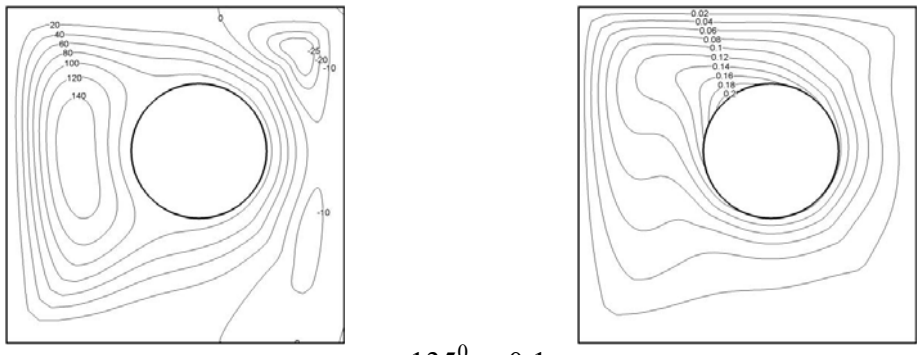


$\varphi=45^0,\varepsilon=0.25$

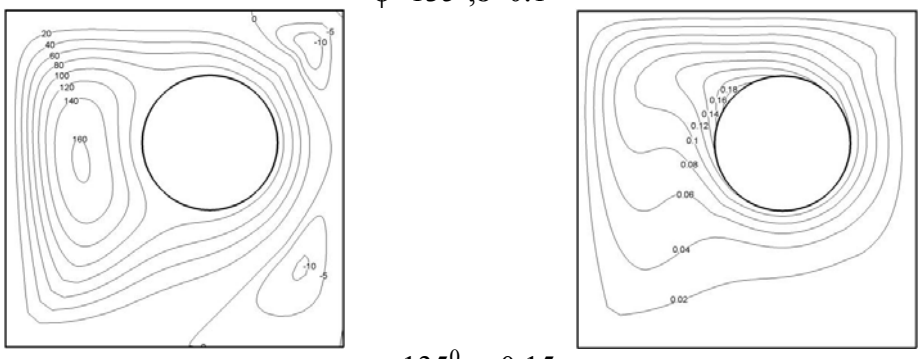
Şekil 4.36 Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=45^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.15, 0.20, 025 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1)



Şekil 4.37 Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=90^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.15, 0.20, 025 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1)



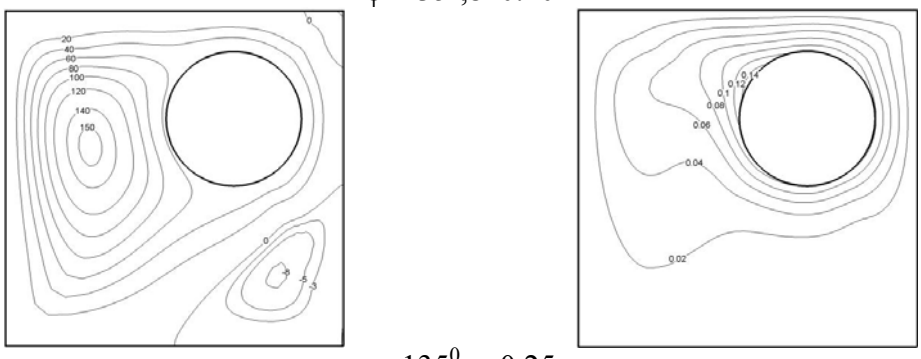
$\varphi=135^0,\varepsilon=0.1$



$\varphi=135^0,\varepsilon=0.15$

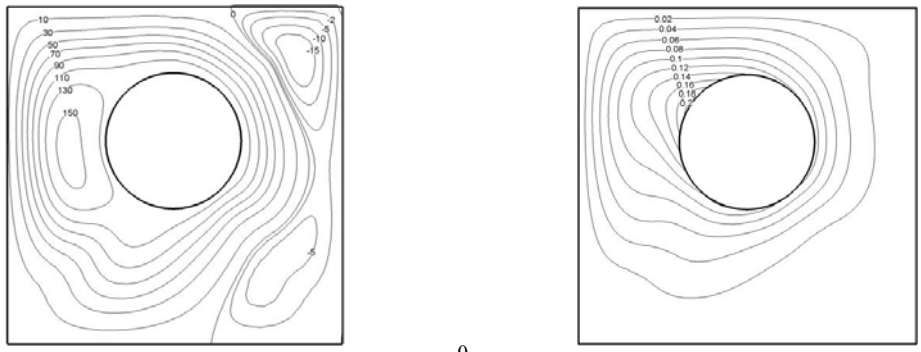


$\varphi=135^0,\varepsilon=0.20$

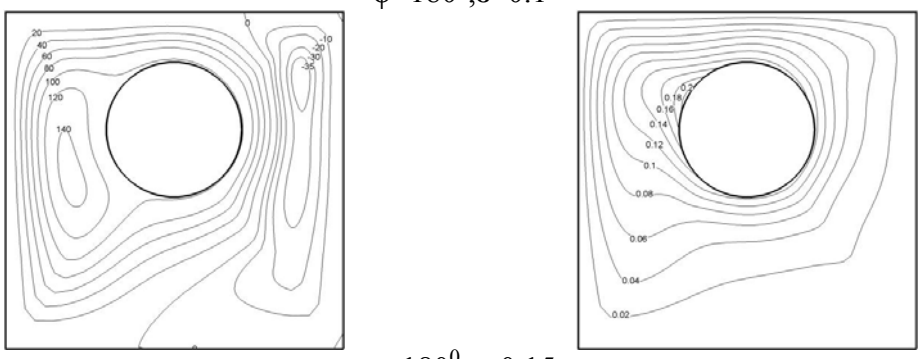


$\varphi=135^0,\varepsilon=0.25$

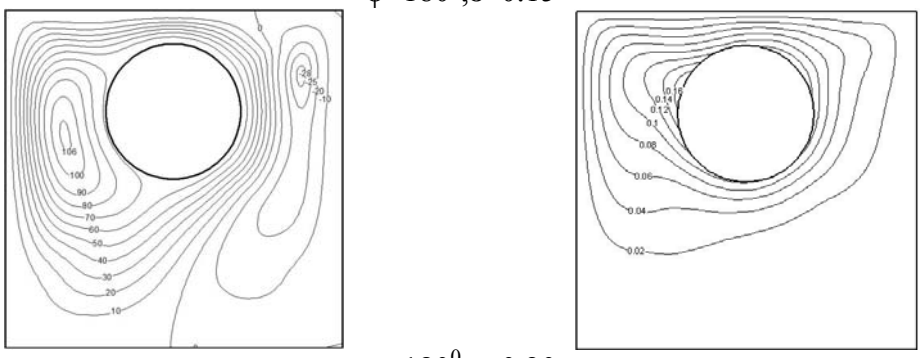
Şekil 4.38 Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=135^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.15, 0.20, 025 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1)



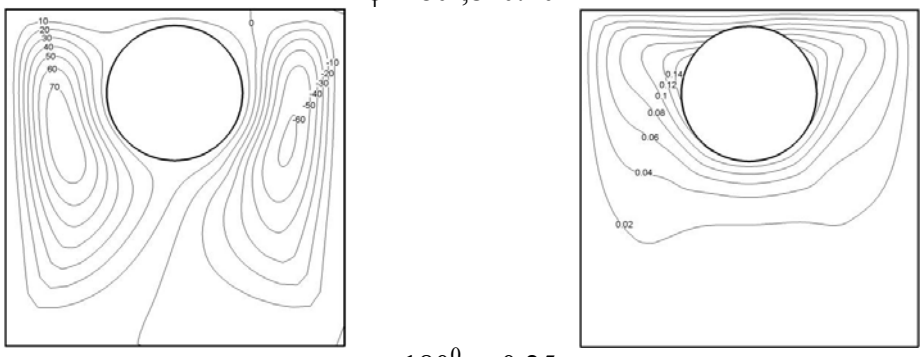
$\varphi=180^0,\varepsilon=0.1$



$\varphi=180^0,\varepsilon=0.15$

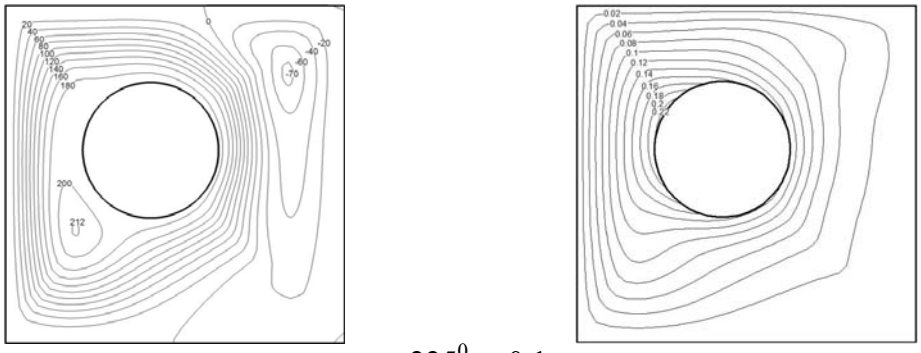


$\varphi=180^0,\varepsilon=0.20$

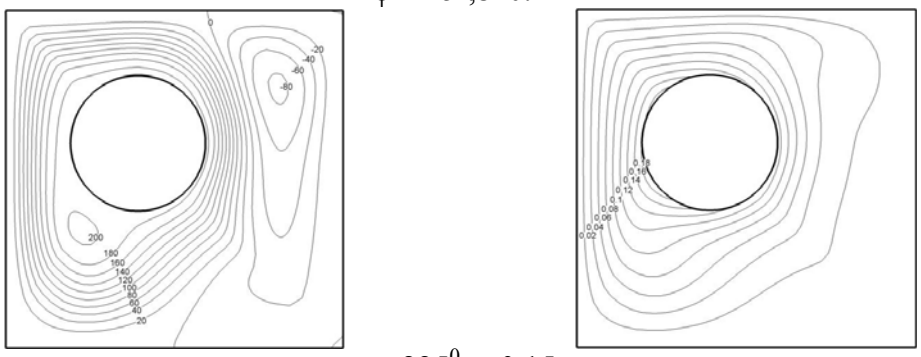


$\varphi=180^0,\varepsilon=0.25$

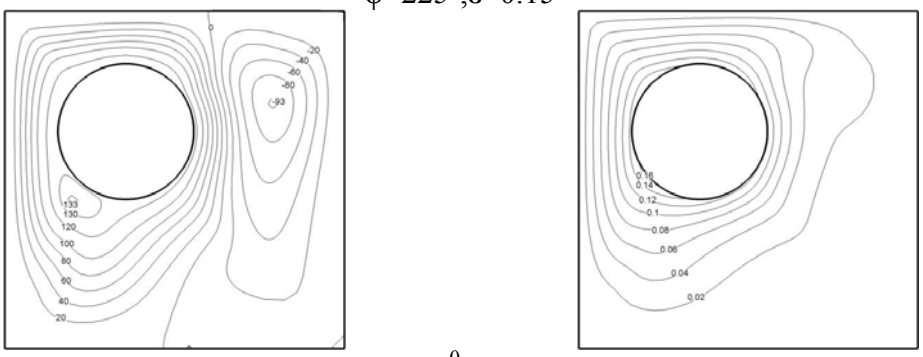
Şekil 4.39 Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=180^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.15, 0.20, 025 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1)



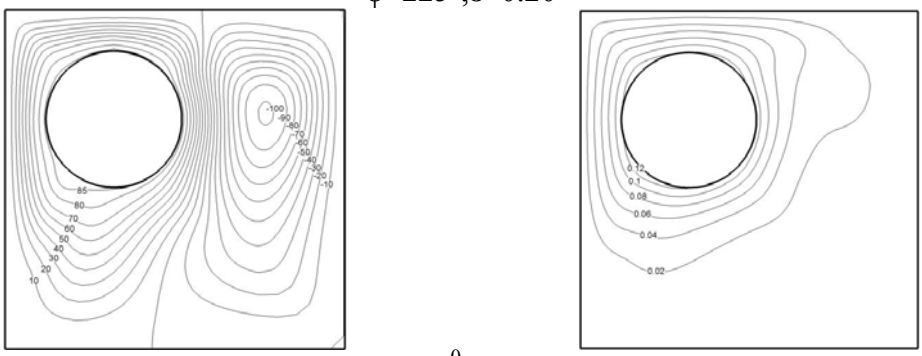
$\varphi=225^0,\varepsilon=0.1$



$\varphi=225^0,\varepsilon=0.15$

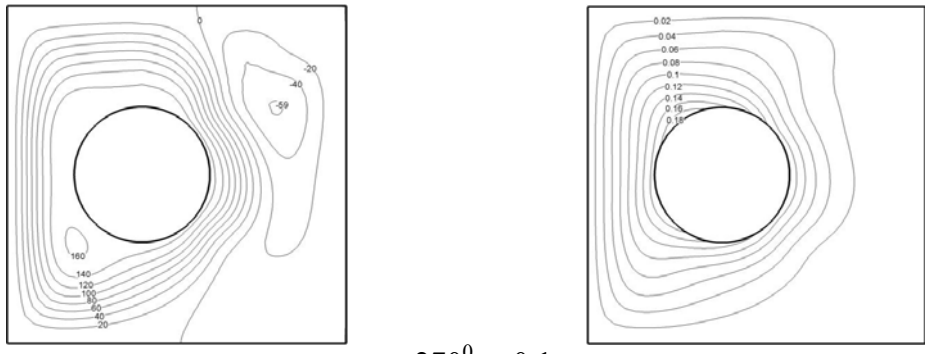


$\varphi=225^0,\varepsilon=0.20$

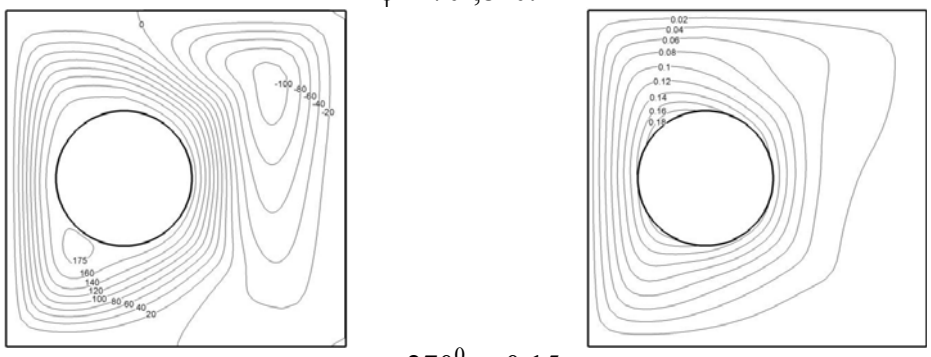


$\varphi=225^0,\varepsilon=0.25$

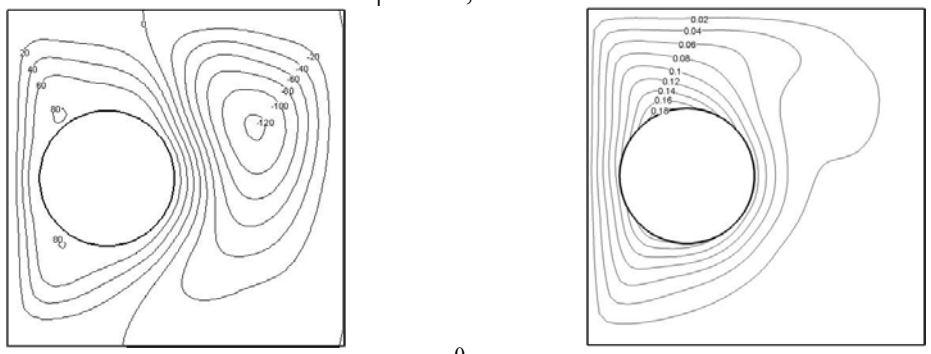
Şekil 4.40 Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=225^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.15, 0.20, 025 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1)



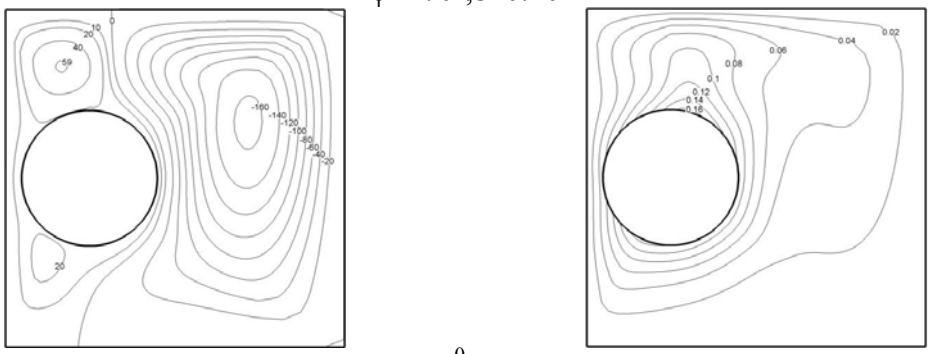
$\varphi=270^0,\varepsilon=0.1$



$\varphi=270^0,\varepsilon=0.15$

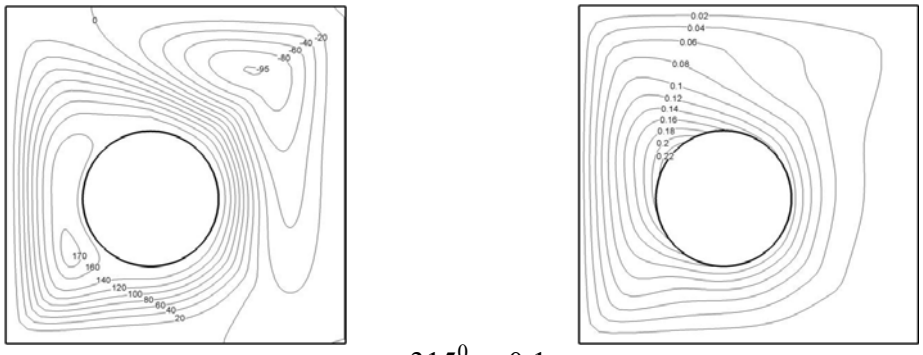


$\varphi=270^0,\varepsilon=0.20$

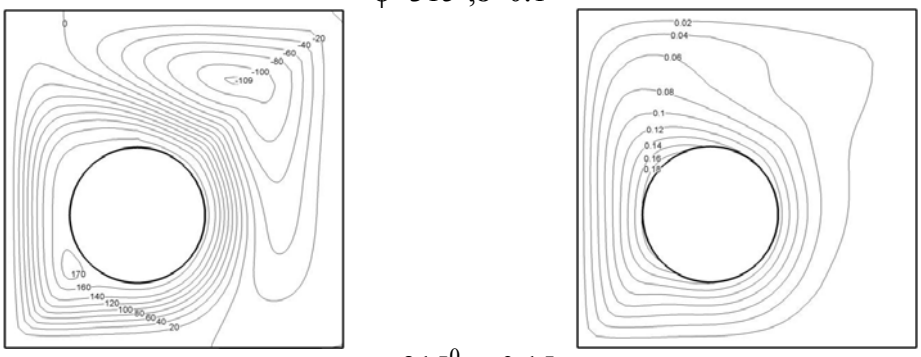


$\varphi=270^0,\varepsilon=0.25$

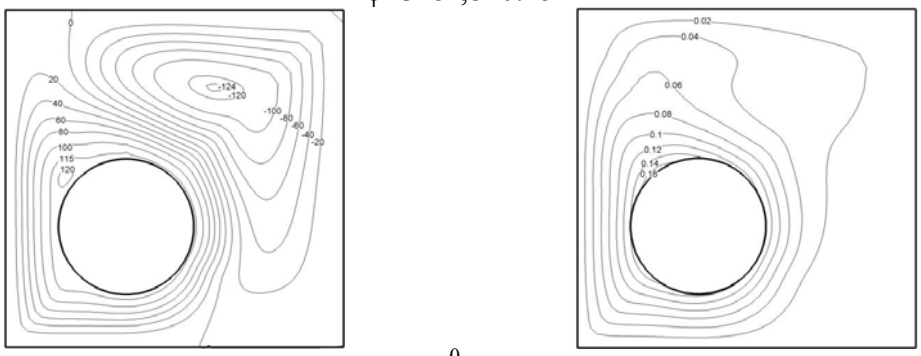
Şekil 4.41 Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=270^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.15, 0.20, 025 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1)



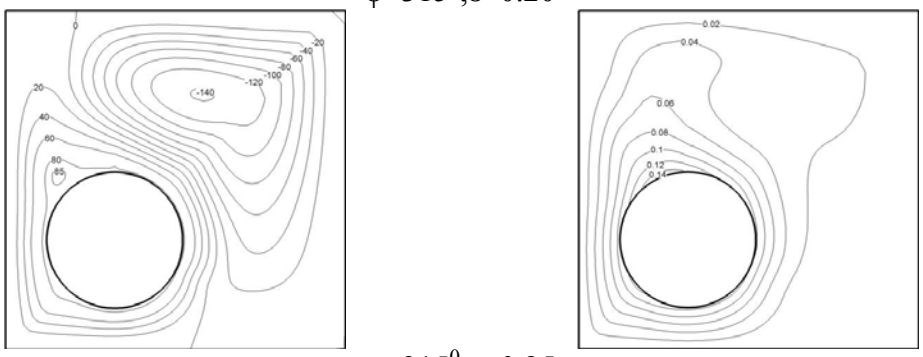
$\varphi=315^0,\varepsilon=0.1$



$\varphi=315^0,\varepsilon=0.15$



$\varphi=315^0,\varepsilon=0.20$



$\varphi=315^0,\varepsilon=0.25$

Şekil 4.42 Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=315^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.15, 0.20, 025 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1)

Açısal pozisyonun $\varphi = 180^0$ alındığı durumda 4 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.39'de görülmektedir. Sol tarafta iç silindiri çevreleyen edi eksantriklik arttıkça gücünü kaybederken, sağ tarftaki edi güçlenmekte ve genişlemektedir. Eş sıcaklık eğrilerine bakıldığında artan eksantriklikle iç silindirin güneydoğusunda üçgen şeklinde oluşan durgun bölgenin alt bölgede daha yatay hale gelerek büyüdüğü söylenebilir. Ayrıca, iç silindirden doğuyormuş gibi gözlenen eş sıcaklık eğrilerinin sayısal değerlerinin artan eksantriklikle düştüğü de görülmektedir.

Açısal pozisyonun $\varphi = 225^0$ alındığı durumda 4 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.40'de görülmektedir. Akım çizgilerine bakıldığında, sağdaki edinin kendine daha fazla yer bulduğundan genişlediği, soldaki edinin de biraz şiddetini yitirdiği görülmektedir. Eş sıcaklık eğrilerine bakıldığında artan eksantriklikle iç silindirin güneydoğusunda üçgen şeklinde oluşan durgun bölgenin iç silindirin sağını ve altını kapsayacak şekilde söylenebilir.

Açısal pozisyonun $\varphi = 270^0$ alındığı durumda 4 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.41'de görülmektedir. Sağdaki edinin merkezi eksantriklikle birlikte genişleyip güçlenirken, soldaki edinin zayıflayarak döngülü bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. . ε=0.10, 0.15, 0.20 durumlarında eş sıcaklık eğrileri dönme yönünde oluşurken, . ε=0.25 durumunda tam ters yönde plume oluşturmuşlardır.

Açısal pozisyonun $\varphi = 315^0$ alındığı durumda 4 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.42'de görülmektedir. Bu durumda artan eksantriklikle birlikte sağdaki silindirin kendisine yer bularak genişleyip güçlendiği, solda iç silindiri çevreleyen edinin de zayıfladığı görülmektedir. Eş sıcaklık eğrileri artan eksantriklikle birlikte dönüş yönünün tersine hareket etmişlerdir. Ayrıca, iç silindirden doğuyormuş gibi gözlenen eş sıcaklık eğrilerinin bu açısal pozisyonda da sayısal değerlerinin artan eksantriklikle düştüğü de görülmektedir.

4.7. Dönen ve Sabit Isı Akısı ile Isıtılan Dairesel İç Silindir ve Onu Çevreleyen Soğuk ve Elips Kesitli Eksantrik Olarak Yerleştirilmiş Bir Dış Silindir Arasında Kalan Bölgede Gerçekleşen Karışık Taşınım

Çalışmada dönen, sabit ısı akısı ile ısıtılan, dairesel bir iç silindir ve onu çevreleyen soğuk, elips kesitli çeşitli eksantrikliklerde yerleştirilmiş bir dış silindir arasında kalan bölgede daimi, laminer, karışık taşınım akışı incelenmiştir. Elips kesidin düşey uzunluğu, yatay uzunluğunun 1.5 katı olarak alınmıştır. Nümerik hesaplamalar, hava için Pr=0.71 alınarak yapılmıştır. $\varphi = 0^0$ ve180^0 açısal yerleşimleri için ε=0.2, 0.4 eksantrikliklerde, $\varphi = 90^0$ ve 270^0 açısal yerleşimleri için ε=0.1, 0.2 eksantrikliklerde, $\varphi = 45^0, 135^0, 225^0, 315^0$ açısal yerleşimleri için ε=0.1, 0.2, 0.3 eksantrikliklerde akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri elde edilmiştir. Amaç, doğal ve zorlanmış taşınımın etkilerini bir arada görmek olduğu için bu fiziksel duruma uygun olarak Grashof sayısı "10^6" ve zorlanmış taşınımı temsil eden Reynolds sayısı "0.1" seçilmiştir. İç silindirin boyutsuz yarıçapı 0.2 kabul edilmiştir.

Eksantrik durumların eşmerkezli durumdan farkını gösterebilmek amacı ile dış silindirin eşmerkezli yerleşimi için akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri de elde edilmiş ve Şekil 4.43'de gösterilmiştir. Solda iç silindiri çevreleyen saat ibresinin tersi yönünde dönen bir edi, sağda da yine dönmenin etkisi ile iç silindirin üzerine doğru oluşmuş saat yönünde dönen bir edi görülmektedir. Eş sıcaklık eğrileri de saat ibresi yönünün tersine uygulanan dönme ile oluşturulan zorlanmış taşınımın etkisi ile dönmenin uygulandığı yöne hareketlenmişlerdir. İç silindirin altında küçük bir durgunluk bölgesi de oluşmuştur.

Açısal pozisyonun $\varphi = 0^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.44'de görülmektedir. eşmerkezli durumda sağda oluşan edi ε=0.2, 0.4 durumlarında iç silindirin hemen üzerinde yer bularak daha büyük bir alana yayılmıştır. ε=0.2'den 0.4'e arttığında üstteki edinin güçlendiği alttaki edinin daha küçük bir alana sıkışmak zorunda kaldığı görülmektedir. Her iki eksantriklikte de eş sıcalık eğrileri eşmerkezli durumda aşağıda oluşan durgun bölgeyi kaplamışlardır.

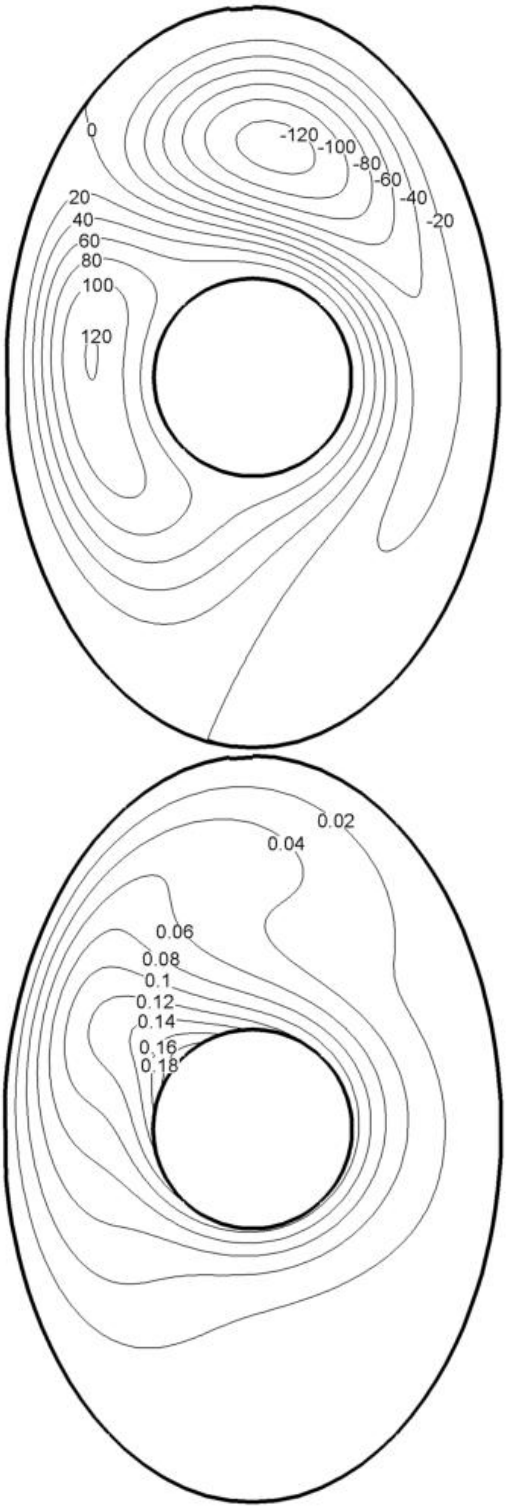
Açısal pozisyonun $\varphi = 45^0$ alındığı durumda 3 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.45'de görülmektedir. Eksantriklik arttıkça, iç silindiri çevreleyen soldaki edinin merkezi aşağıya doğru harekete ederken, sağdaki edi ise hareketin etkisi ile tamamen silindirler arası bölgenin üst kısmını kaplamaktadır. Bölen akım çizgisi neredeyse yatay duruma gelmiştir. Eş sıcaklık eğrileri artan eksantriklikle birlikte, dönme yönüne doğru yöneldikleri ve iç silindirden doğuyormuş gibi gözlenen eş sıcaklık eğrilerinin sayısal değerlerinin düştüğü de görülmektedir.

Açısal pozisyonun $\varphi = 90^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.46'de görülmektedir. Soldaki edi, kendisine yer bulduğu için genişlemekte iken, sağdaki edi silindirler arasındaki bölgenin üst kısmına doğru kaymaktadır. Eş sıcaklık eğrileri artan eksantriklikle birlikte dönme yönüne doğru yönelmektedirler.

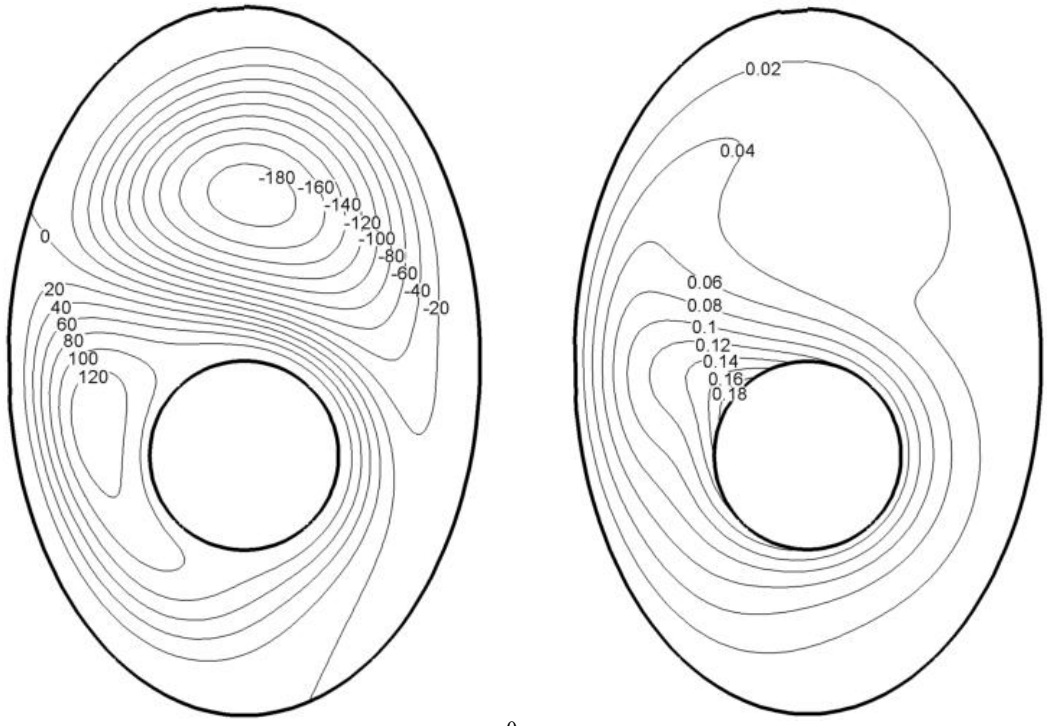
Açısal pozisyonu $\varphi = 135^0$ alındığı durumda 3 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.47'de görülmektedir. Eşmerkezli durumda sağda oluşan tek edi incelenen açısal pozisyonda üstte kalan parçası daha kuvvetli olmak üzere iki parçaya bölünmekte, bu iki parça da artan eksantriklikle birlikte gücünü kaybetmektedir. Soldaki edinin merkezinin de artan eksantriklikle birlikte yukarıya çıktığı ve edinin genişlediği söylenebilir. Artan eksantrikliğin eşsıcaklık eğrilerini fazla etkilemediği, sadece aşağıdaki durgun bölgeyi arttırdığı görülmektedir.

Açısal pozisyonun $\varphi = 180^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.48'de görülmektedir. ε=0.2'de sağ tarafta aynı yöne dönmekte olan iki edi oluştuğu, ε=0.4'te sağ üstteki edinin yok olduğu, diğer edinin bölen çizginin altında varlığını sürdürdüğü görülmektedir. Soldaki edi artan eksantriklikle güç kaybetmektedir. Eşsıcaklık eğrilerine bakıldığında eğriler dönme yönüne doğru hareketlendiklerinden eşmerkezli duruma göre zorlanmış taşınımın etkilerinin arttığı söylenilebilir, ayrıca eksantriklik arttıkça aşağıda durgun bölgenin de arttırdığı görülmektedir.

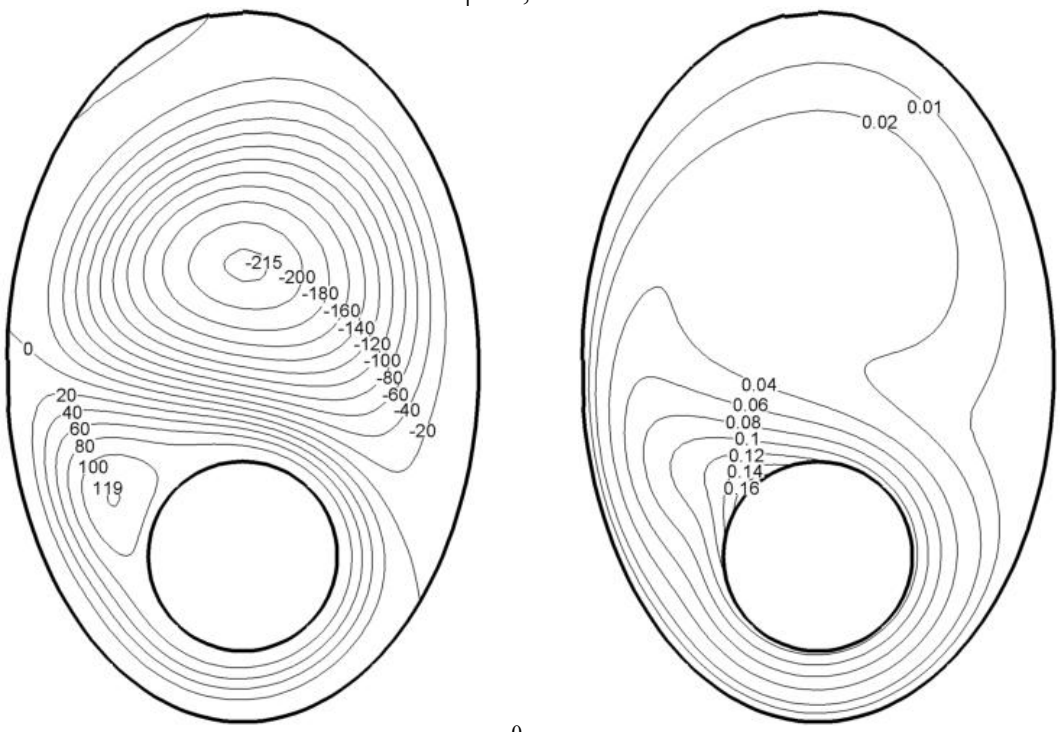
Açısal pozisyonun $\varphi = 225^0$ alındığı durumda 3 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.49'de görülmektedir. Eksantriklik arttıkça iç silindiri saran edi zayıflamış dolayısı ile zorlanmış taşınımın etkileri azalmış gibi görünmektedir. ε=0.1 durumunda soldaki edinin içinde bir durgun nokta ile beraber iki



Şekil 4.43 Dış silindir elips seçildiğinde, eşmerkezli durum için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1, B/A=1.5)

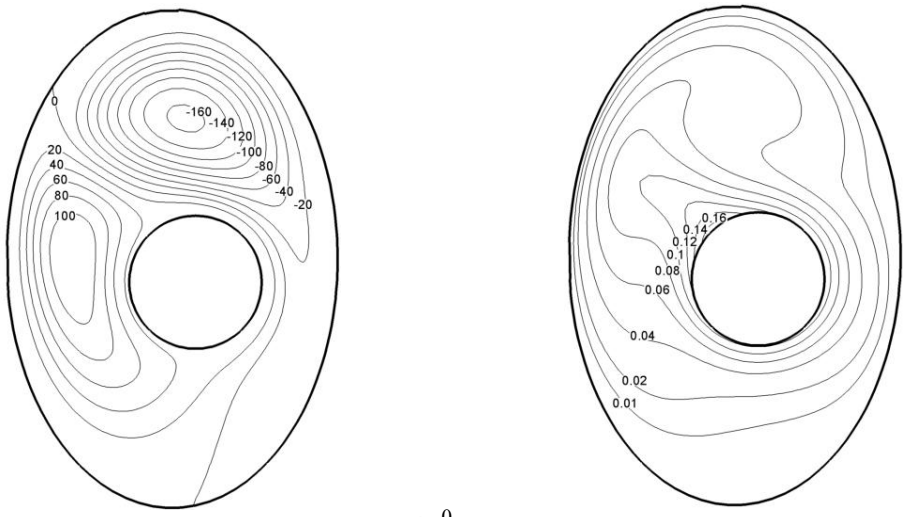


$\varphi=0^0,\varepsilon=0.2$

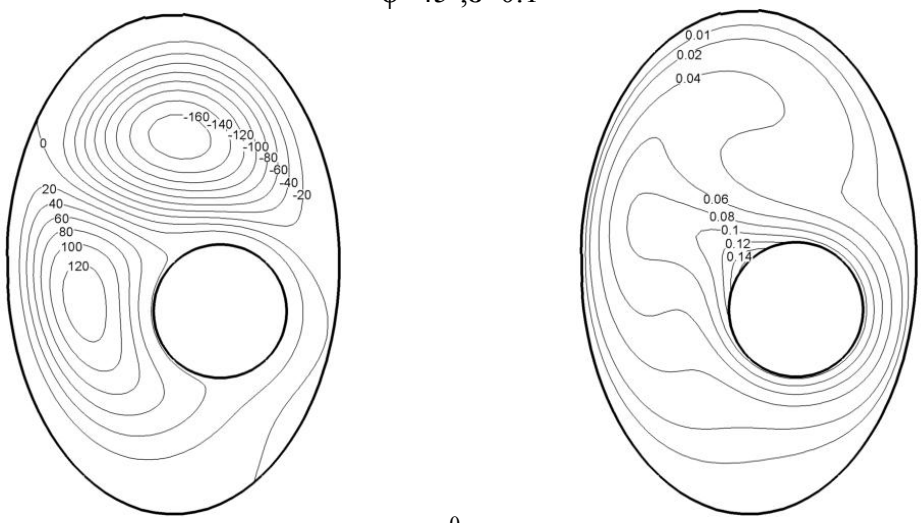


$\varphi=0^0,\varepsilon=0.4$

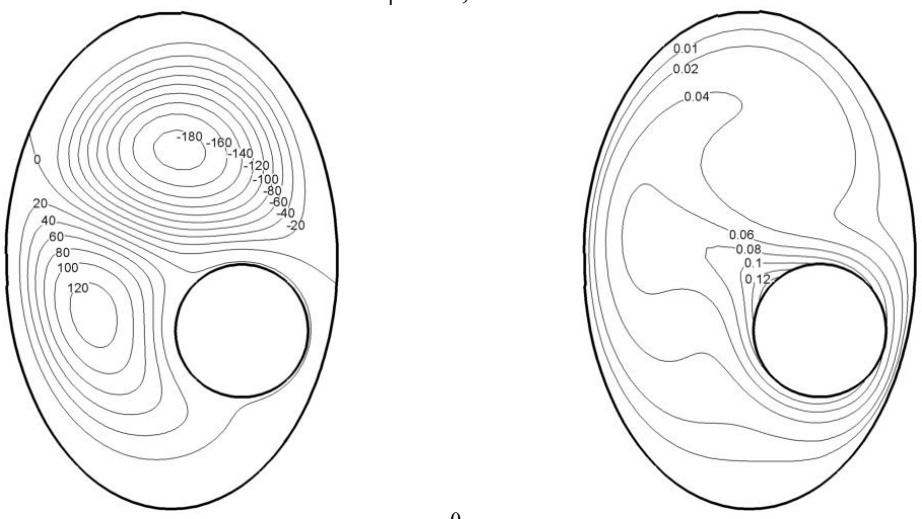
Şekil 4.44 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=0^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.2, 0.4 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1, B/A=1.5)



$\varphi=45^0,\varepsilon=0.1$

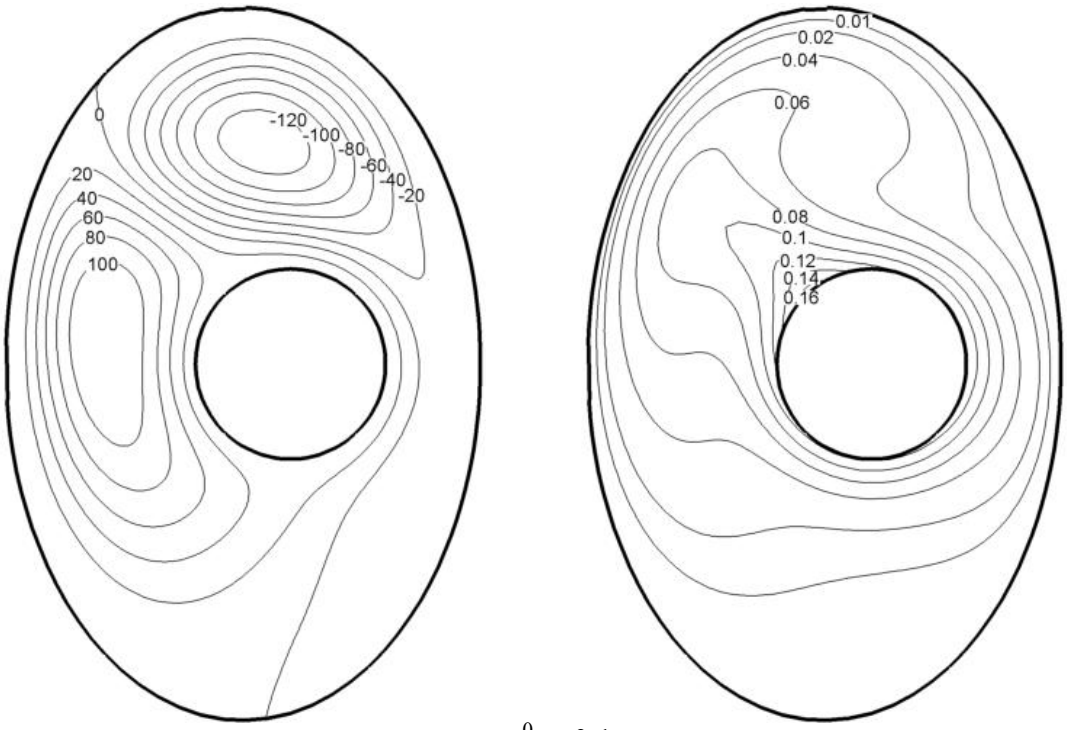


$\varphi=45^0,\varepsilon=0.2$

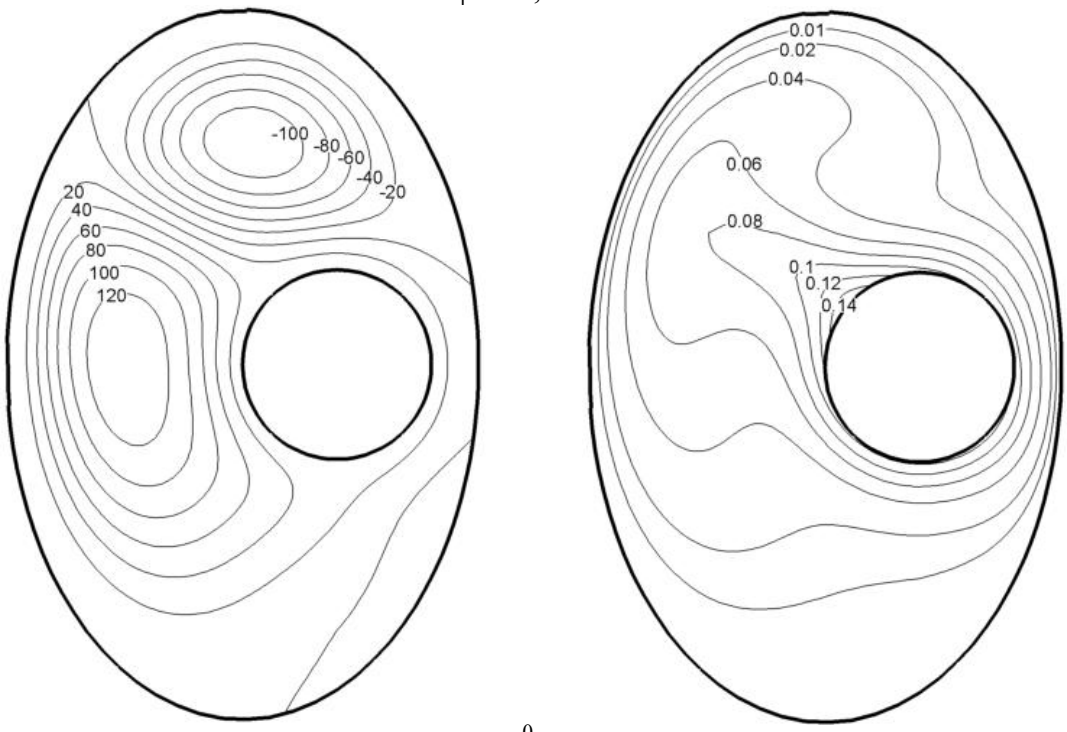


$\varphi=45^0,\varepsilon=0.3$

Şekil 4.45 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=45^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.2, 0.3 olduğu durumlar için iç silindirde iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1, B/A=1.5)

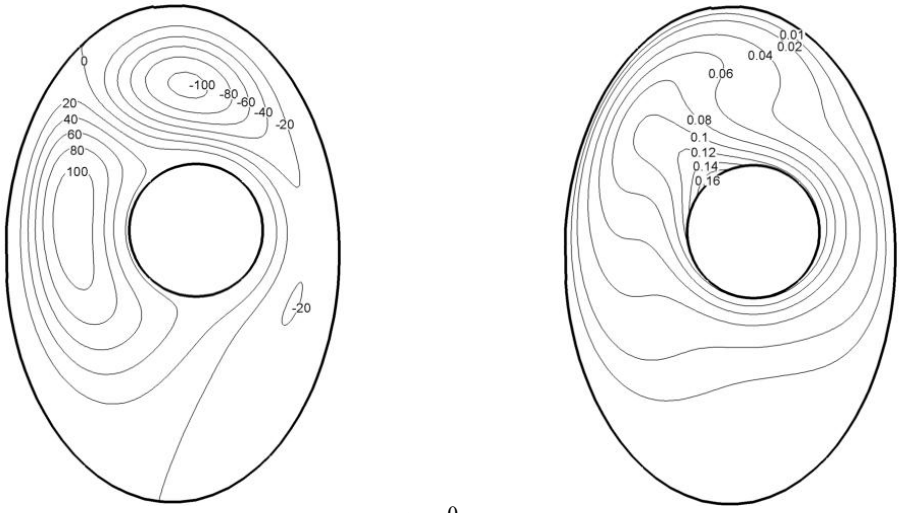


$\varphi=90^0,\varepsilon=0.1$

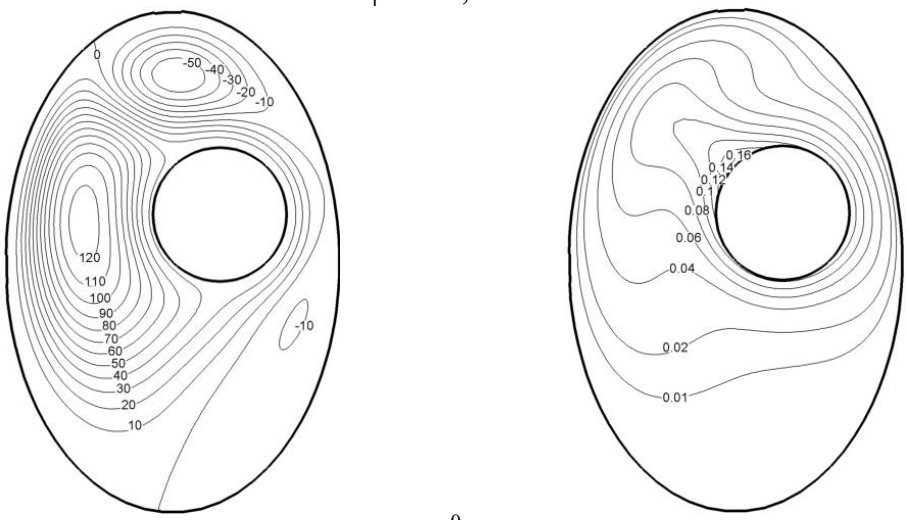


$\varphi=90^0,\varepsilon=0.2$

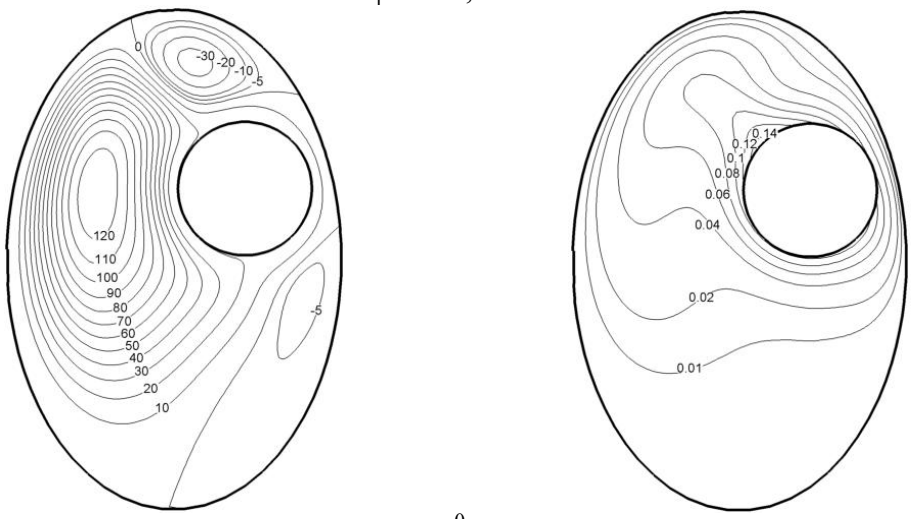
Şekil 4.46 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=90^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.2 olduğu durumlar için iç silindirde iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1, B/A=1.5)



$\varphi=135^0,\varepsilon=0.1$

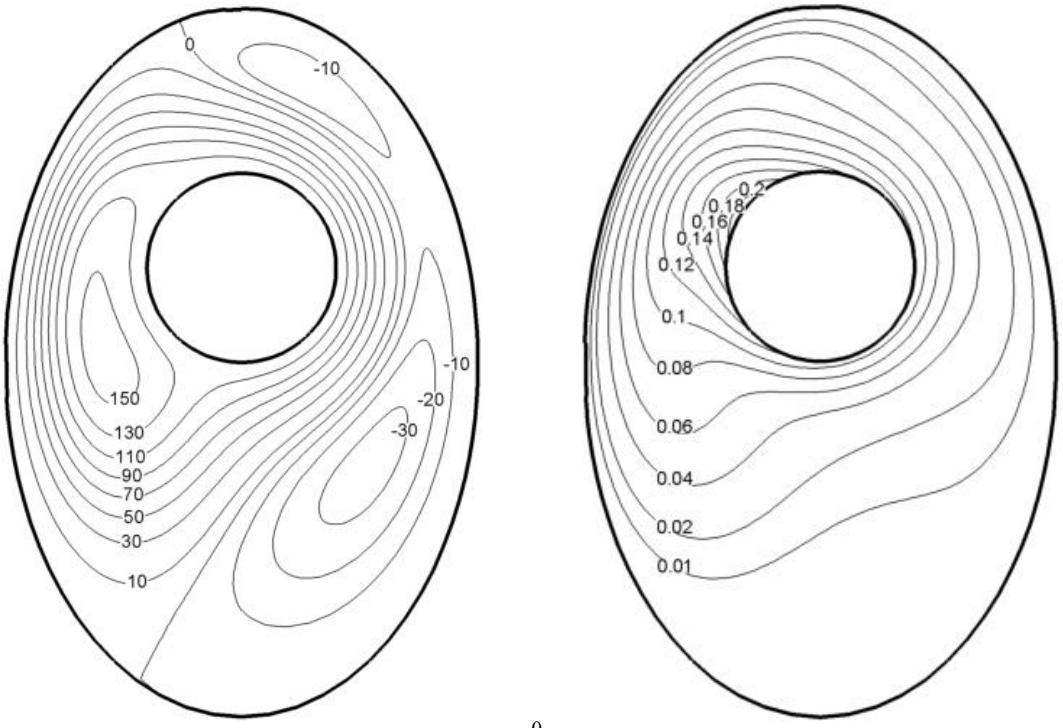


$\varphi=135^0,\varepsilon=0.2$

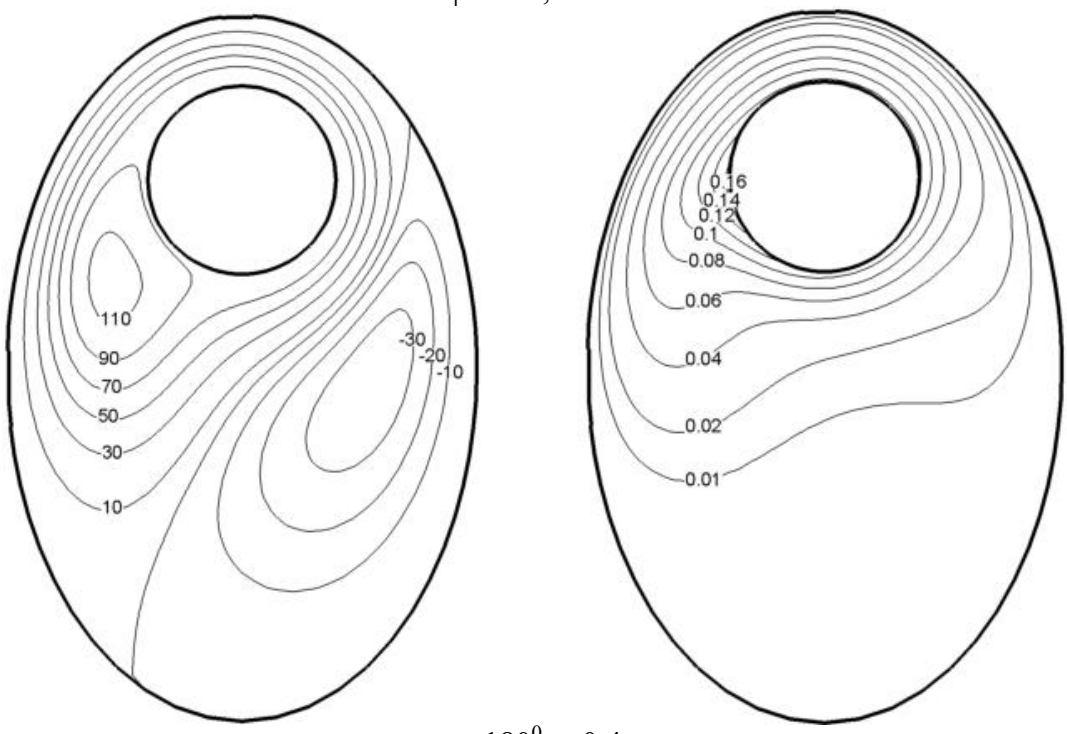


$\varphi=135^0,\varepsilon=0.3$

Şekil 4.47 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=135^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.2, 0.3 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile ilindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1, B/A=1.5)

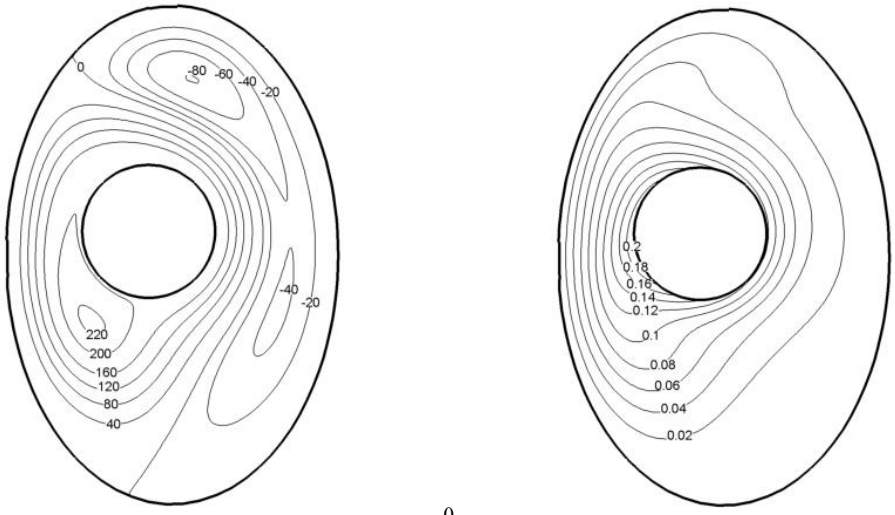


$\varphi=180^0,\varepsilon=0.2$

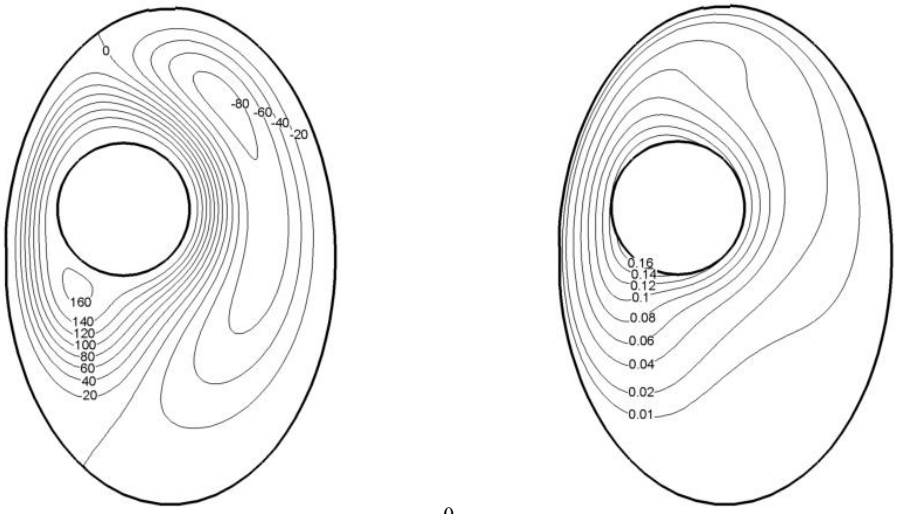


$\varphi=180^0,\varepsilon=0.4$

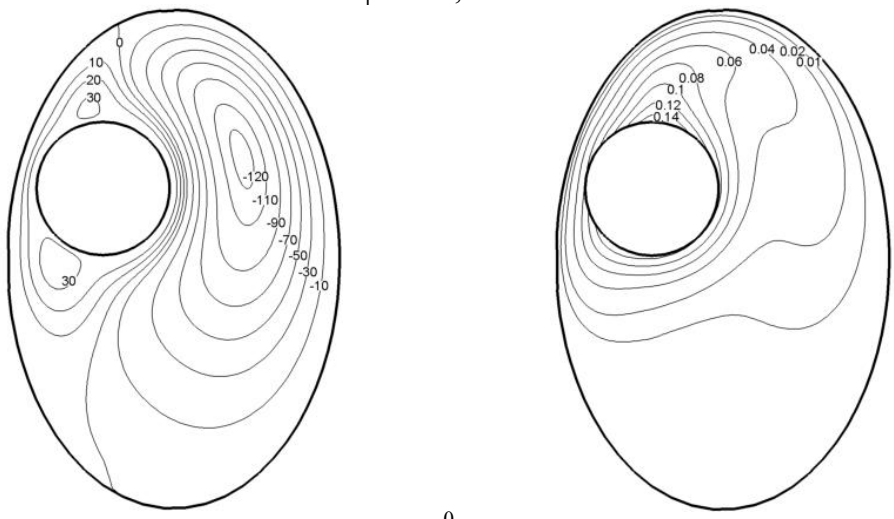
Şekil 4.48 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=180^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.2, 0.4 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1, B/A=1.5)



$\varphi=225^0,\varepsilon=0.1$

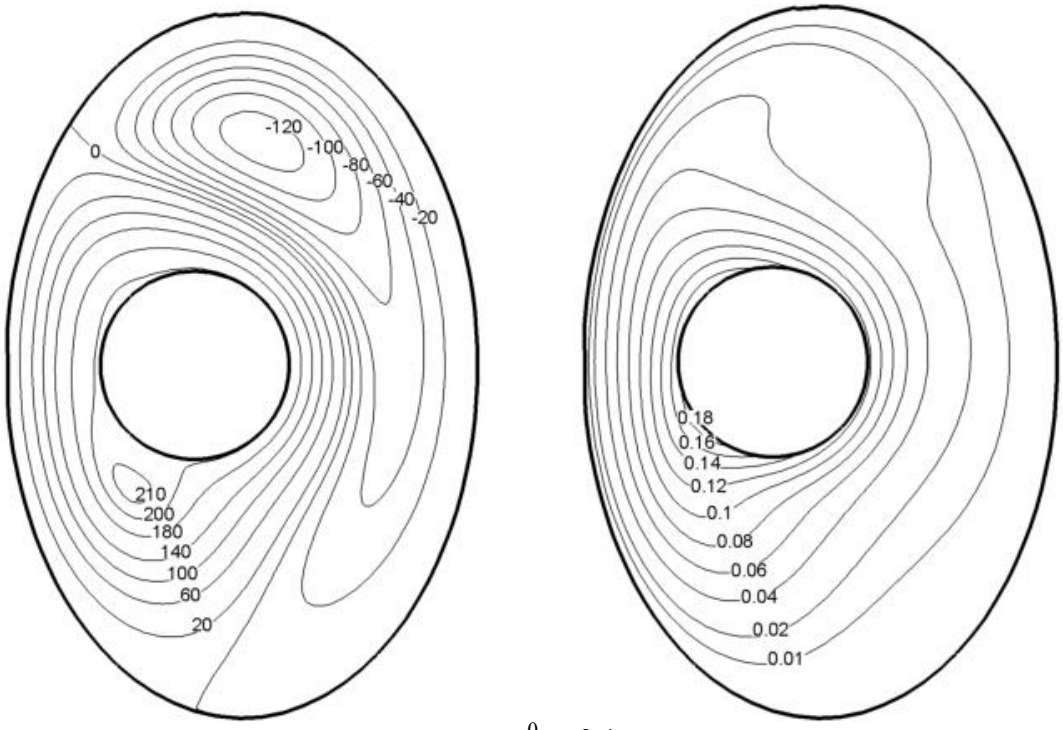


$\varphi=225^0,\varepsilon=0.2$

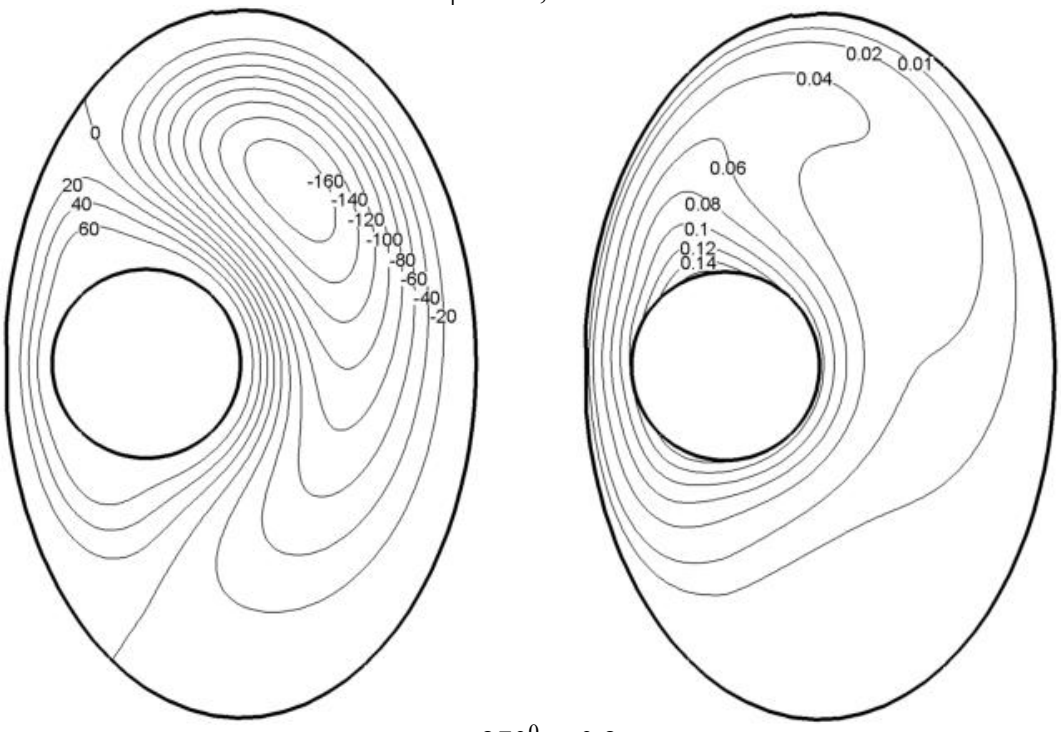


$\varphi=225^0,\varepsilon=0.3$

Şekil 4.49 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=225^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.2, 0.3 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1, B/A=1.5)

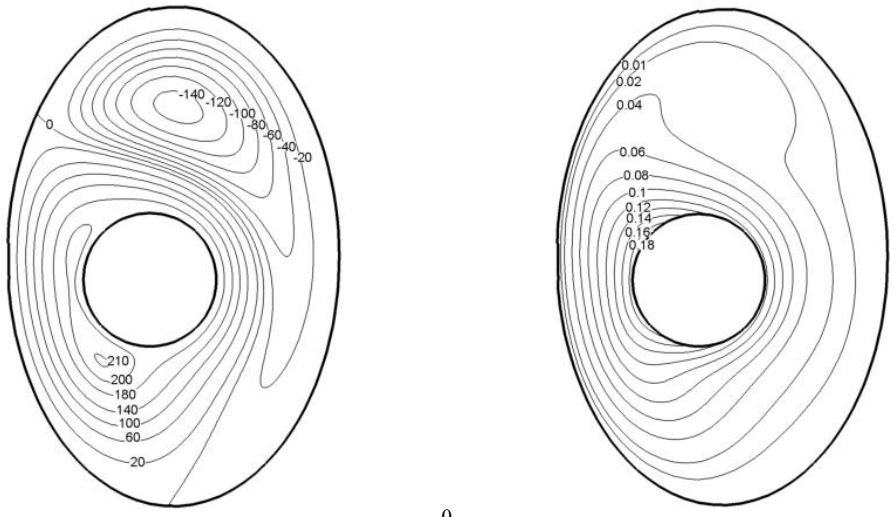


$\varphi=270^0,\varepsilon=0.1$

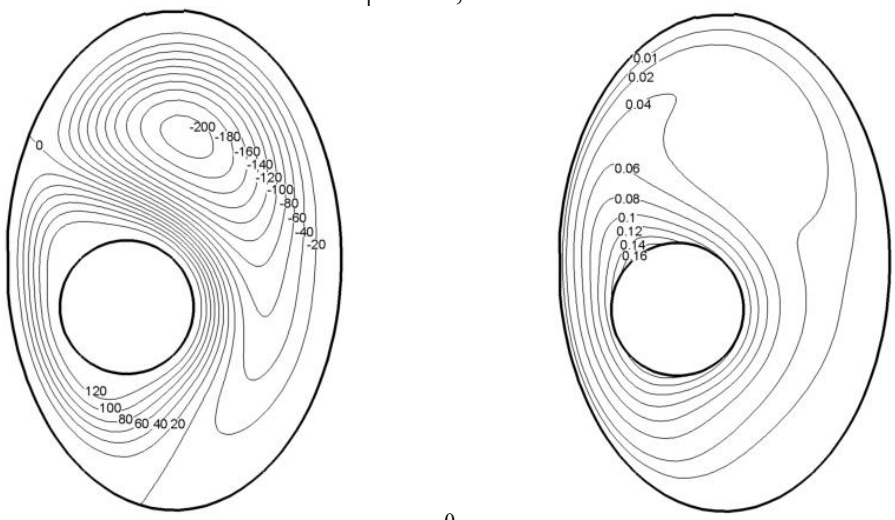


$\varphi=270^0,\varepsilon=0.2$

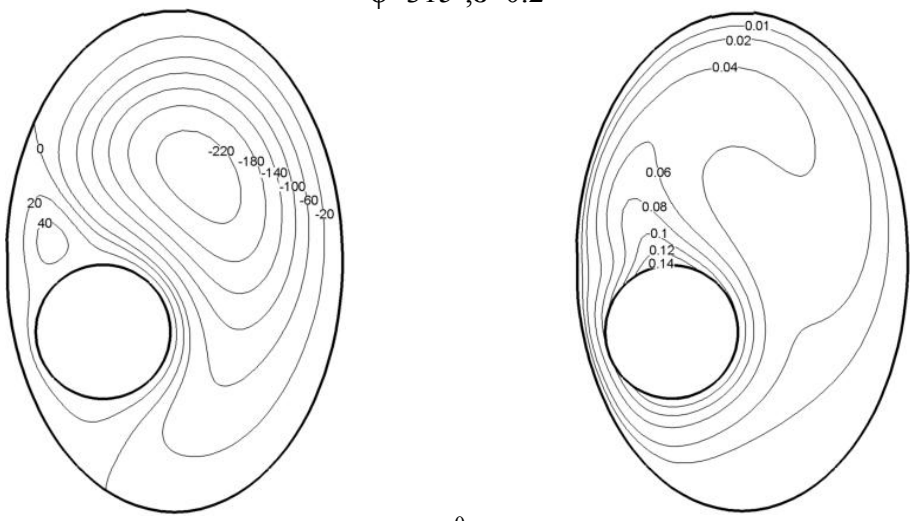
Şekil 4.50 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=270^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.2 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1, B/A=1.5)



$\varphi=315^0,\varepsilon=0.1$



$\varphi=315^0,\varepsilon=0.2$



$\varphi=315^0,\varepsilon=0.3$

Şekil 4.51 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=315^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.2, 0.3 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1, B/A=1.5)

döngünün oluştuğu görülmektedir. Artan eksantriklikle, soldaki edi kendine daha fazla yer bulmuş, bunun sonucunda genişlemiş ve kuvvetlenmiştir. Eş sıcaklık eğrileri ε=0.1 durumunda dönüş yönünün tam tersine hareket etmektedir. ve iç silindirden doğuyormuş gibi gözlenen eş sıcaklık eğrilerinin sayısal değerlerinin artan eksantriklikle düştüğü de görülmektedir.

Açısal pozisyonun $\varphi = 270^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.50'de görülmektedir. Eksantriklik arttıkça iç silindiri saran edi $\varphi = 225^0$ açısal pozisyonu durumuna benzer şekilde zayıflamış dolayısı ile zorlanmış taşınımın etkileri azalmış gibi görünmektedir. Sağdaki edi kendine daha fazla yer bulmuş, bunun sonucunda genişlemiş ve güçlenmiştir. Eş sıcaklık eğrileri ε=0.1 durumunda dönüş yönünün tam tersine hareket ederek, artan eksantriklikle doğal taşınımın zorlanmış taşınıma baskın olduğunu göstermiştir.

Açısal pozisyonun $\varphi = 315^0$ alındığı durumda 3 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.51'de görülmektedir. Eksantriklik arttıkça iç silindiri saran edi $\varphi = 225^0$ ve $\varphi = 270^0$ açısal pozisyonu durumuna benzer şekilde zayıflamış dolayısı ile zorlanmış taşınımın etkileri azalmış gibi görünmektedir. Soldaki edi kendine daha fazla yer bulmuş, bunun sonucunda genişlemiş ve iç silindirin üzerine çıkmıştır. Eş sıcaklık eğrileri artan eksantrikliklr dönüş yönünün tam tersine hareket etmektedir.

4.8. Dönen ve Sabit Isı Akısı ile Isıtılan Dairesel İç Silindir ve Onu Çevreleyen Soğuk ve Dikdörtgen Kesitli Eksantrik Olarak Yerleştirilmiş Bir Dış Silindir Arasında Kalan Bölgede Gerçekleşen Karışık Taşınım

Çalışmada dönen, sabit ısı akısı ile ısıtılan, dairesel bir iç silindir ve onu çevreleyen soğuk, dikdörtgen kesitli çeşitli eksantrikliklerde yerleştirilmiş bir dış silindir arasında kalan bölgede daimi, laminer, karışık taşınım akışı incelenmiştir. Elips kesidin düşey uzunluğu, yatay uzunluğunun 1.5 katı olarak alınmıştır. Nümerik

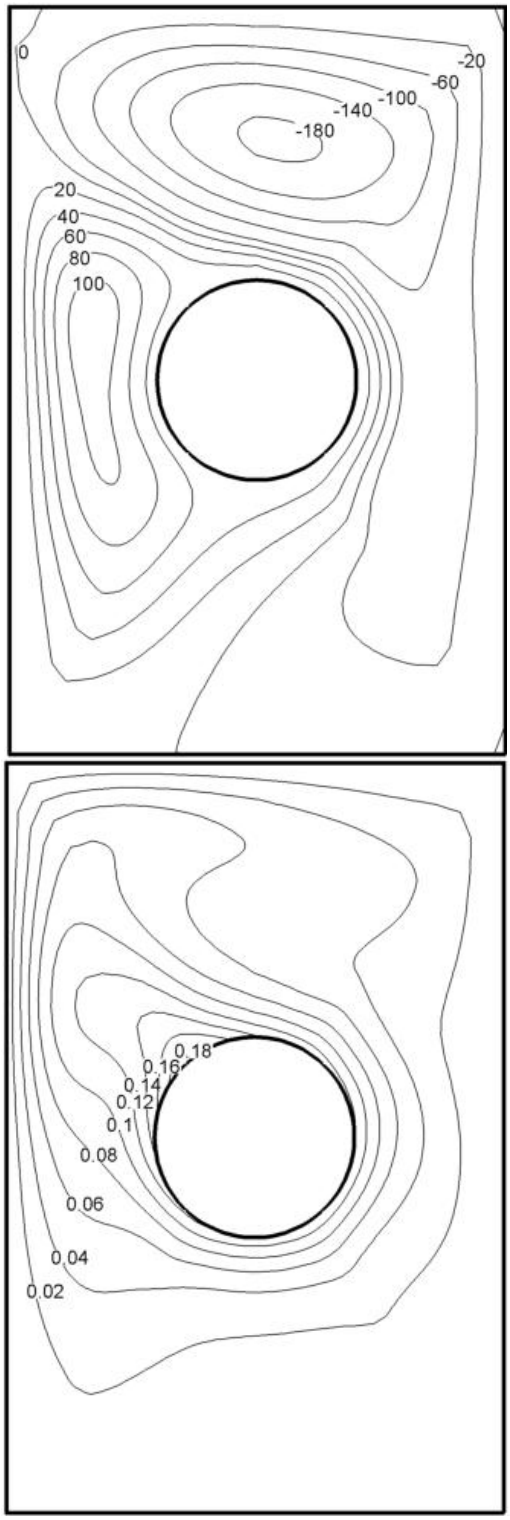
hesaplamalar, hava için Pr=0.71 alınarak yapılmıştır. $\varphi = 0^0$ ve180^0 açısal yerleşimleri için ε=0.2, 0.4 eksantrikliklerde, $\varphi = 90^0$ ve 270^0 açısal yerleşimleri için ε=0.1 eksantriklikte, $\varphi = 45^0, 135^0, 225^0, 315^0$ açısal yerleşimleri için ε=0.1, 0.3 eksantrikliklerde akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri elde edilmiştir. Amaç, doğal ve zorlanmış taşınımın etkilerini bir arada görmek olduğu için bu fiziksel duruma uygun olarak Grashof sayısı "10^6" ve zorlanmış taşınımı temsil eden Reynolds sayısı "0.1" seçilmiştir. İç silindirin boyutsuz yarıçapı 0.2 kabul edilmiştir.

Açısal pozisyonun $\varphi = 0^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.53'de görülmektedir. Eşmerkezli durumda sağda oluşan edi ε=0.2, 0.4 durumlarında iç silindirin hemen üzerinde yer bularak daha büyük bir alana yayılmıştır. ε=0.2'den 0.4'e arttığında üstteki edinin güçlendiği alttaki edinin daha küçük bir alana sıkışmak zorunda kaldığı görülmektedir. Artan eksantriklikle birlikte, eşsıcaklık eğrileri dönme yönüne doğru hareketlenmektedirler.

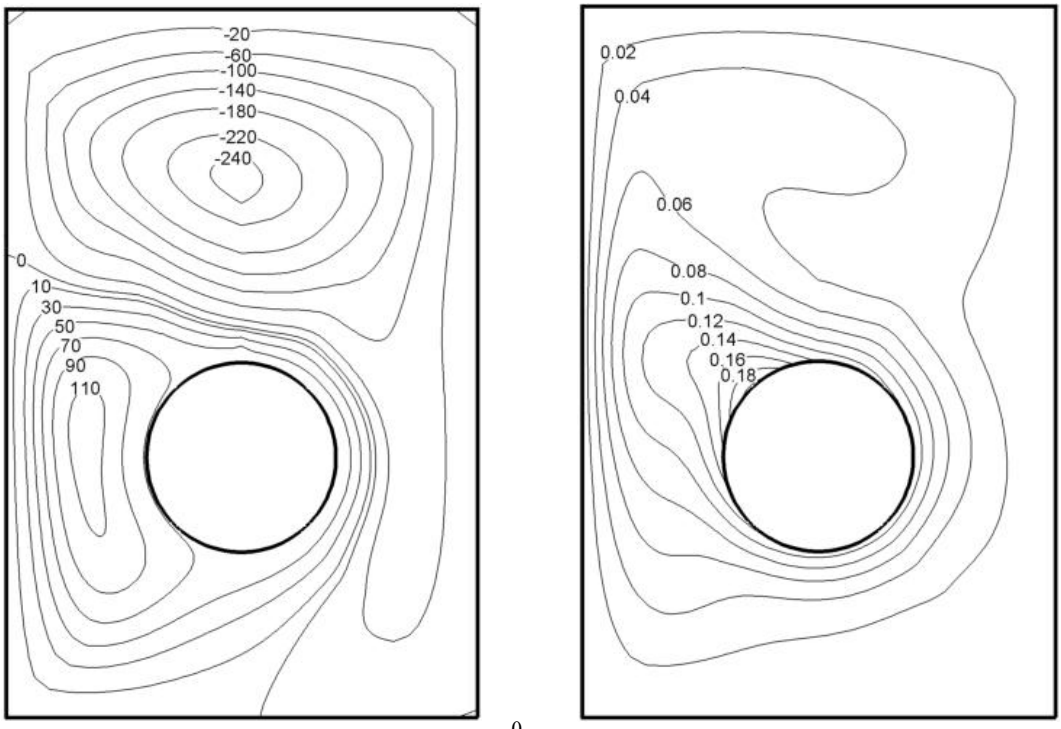
Açısal pozisyonun $\varphi = 45^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.54'de görülmektedir. Eksantriklik arttıkça, her iki edi de güçlenmekte, ε=0.3 durumunda silindirler arası bölgenin sol üst tarafında soldaki edi ile aynı yöne dönen küçük bir edi oluşmaktadır. Eş sıcaklık eğrileri artan eksantriklikle birlikte dönme yönüne doğru yönelmektedirler.

Açısal pozisyonun $\varphi = 90^0$ durumda 2 eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.55'de görülmektedir. $\varphi = 90^0$ durumunda sağdaki edi ε=0.3 durumunda bir durgunluk noktası ile birlikte döngüler içermektedir, eksantriklik arttıkça küçülerek silindirin üzerindeki küçük alana sıkışmıştır. Soldaki edi kendisine yer bulduğu için genişlemektedir. Eş sıcaklık eğrileri dönme yönüne doğru hareketlenmiş şekilde gözükmektedir.

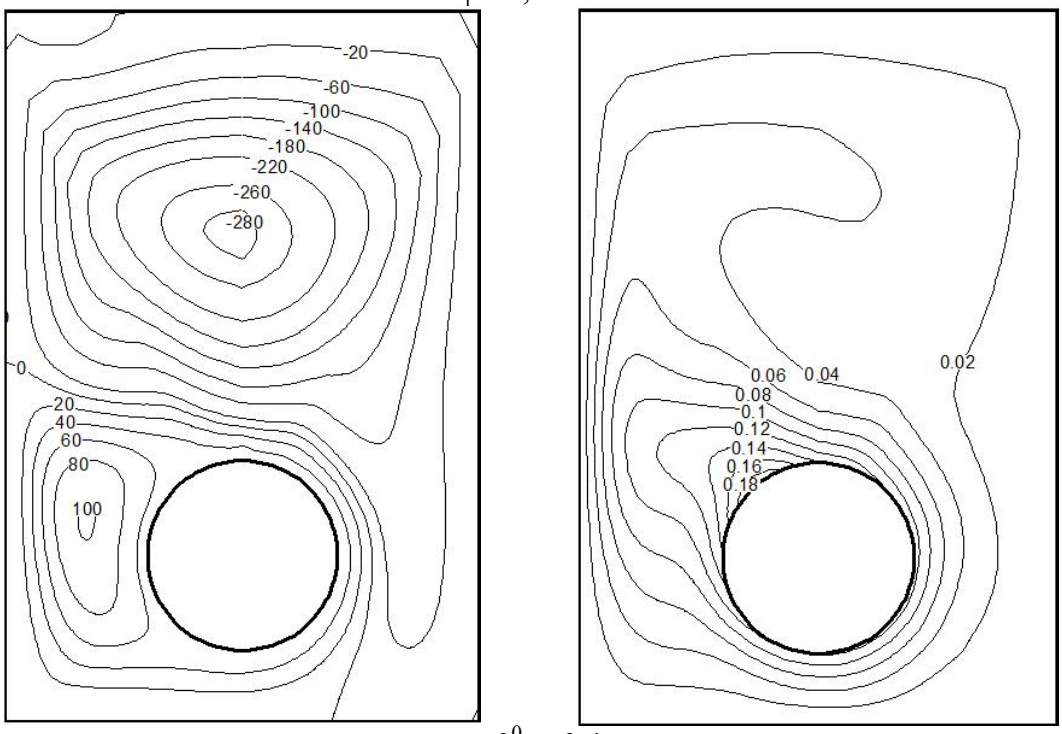
Açısal pozisyonun $\varphi = 135^0$ alındığı durumda 2 eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.56'da görülmektedir. Artan eksantriklikle sağdaki edi zayıflamış, soldaki edi güçlenmiştir. Eş sıcaklık eğrileri dönme yönüne doğru hareketlenmiş şekilde gözükmektedir.



Şekil 4.52 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, eşmerkezli durum için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1, B/A=1.5)

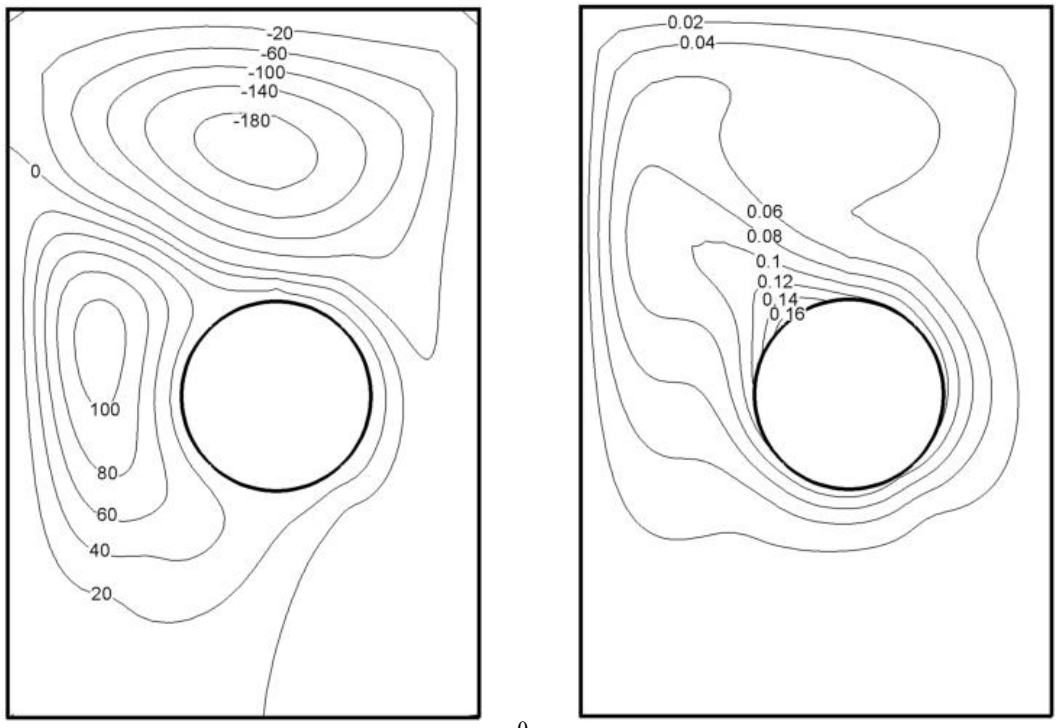


$\varphi=0^0,\varepsilon=0.2$

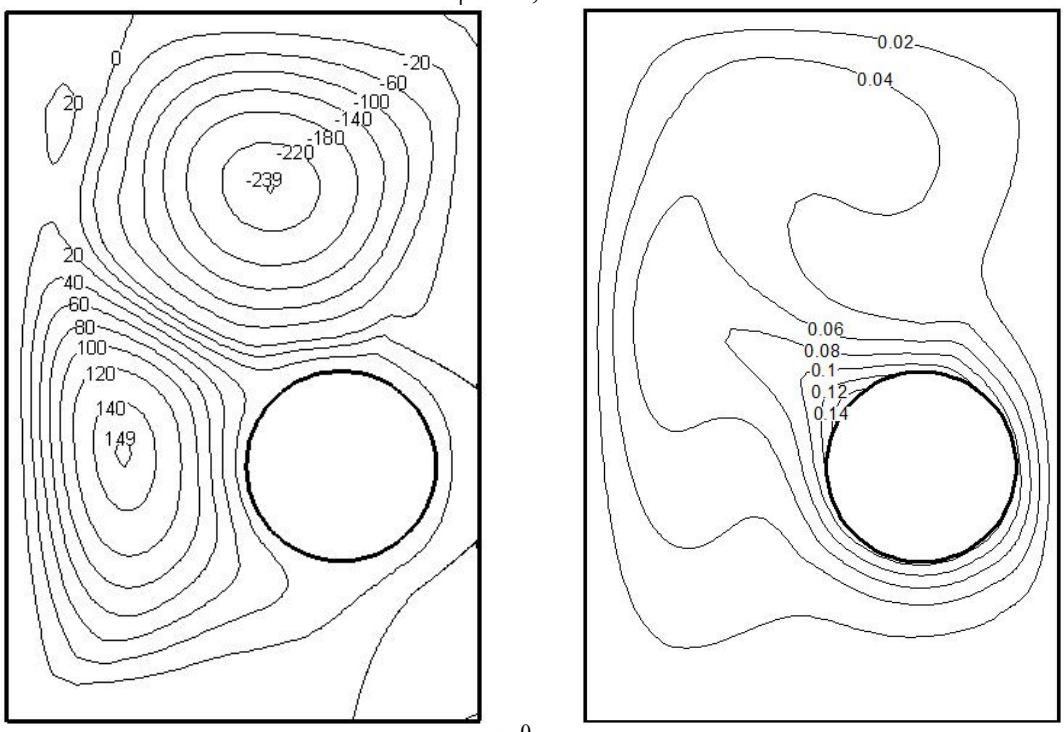


$\varphi=0^0,\varepsilon=0.4$

Şekil 4.53 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=0^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.2, 0.4 olduğu durumlar için iç ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=10^6$, Re=0.1, B/A=1.5)

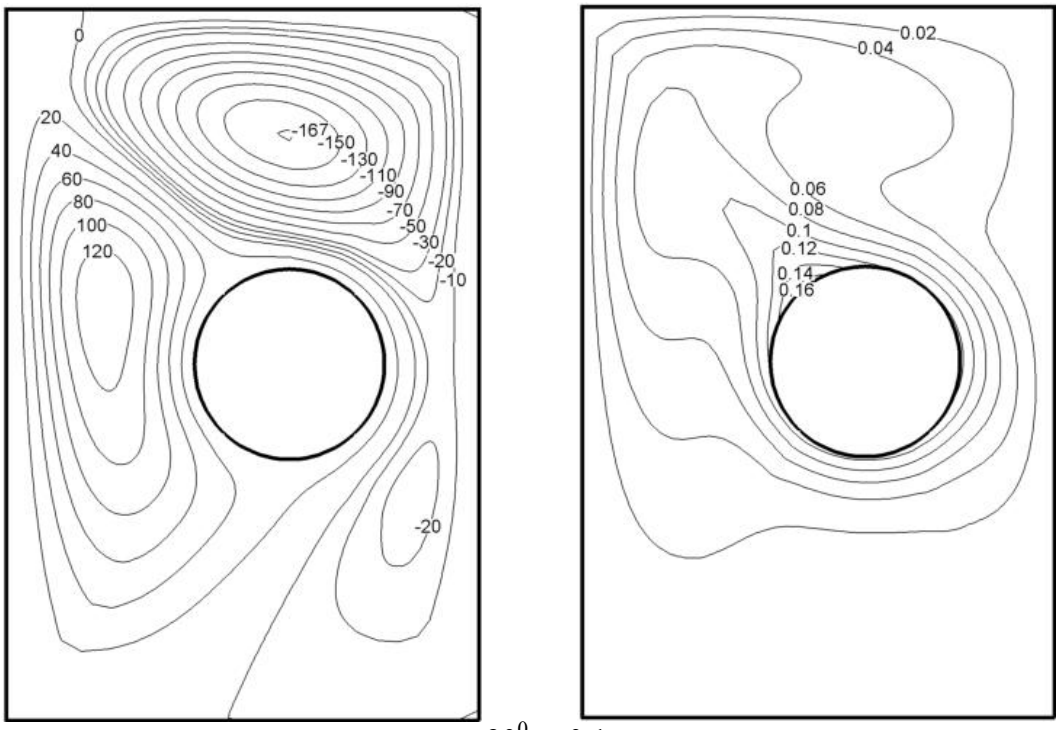


$\varphi=45^0,\varepsilon=0.1$

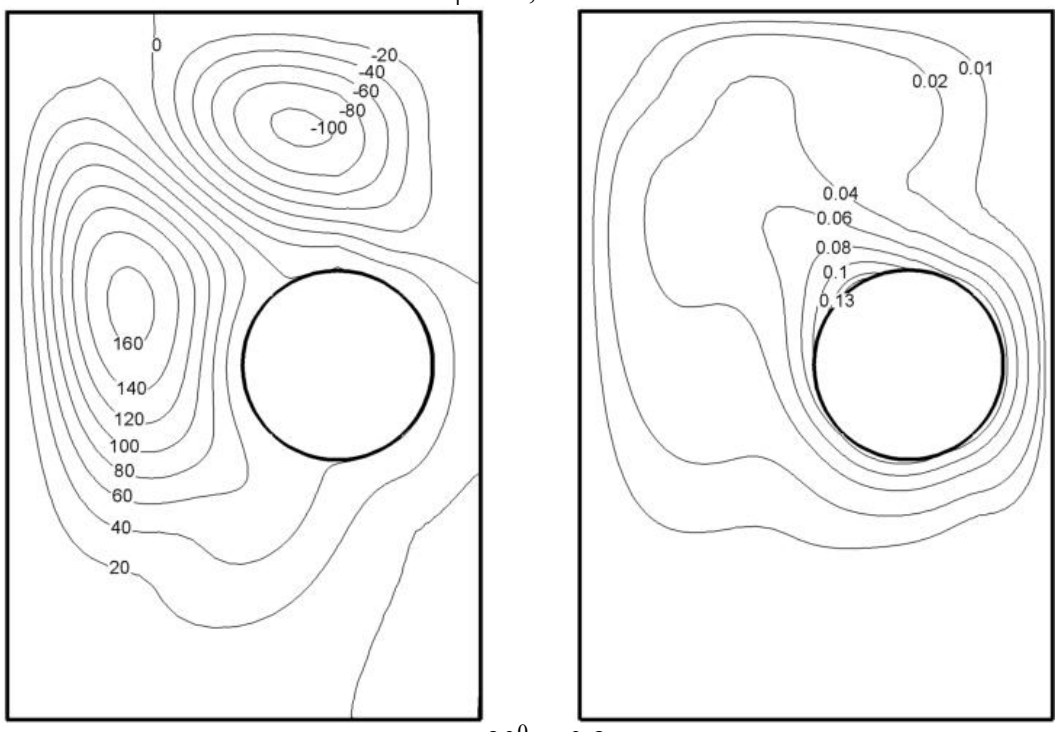


$\varphi=45^0,\varepsilon=0.3$

Şekil 4.54 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=45^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.3 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1, B/A=1.5)

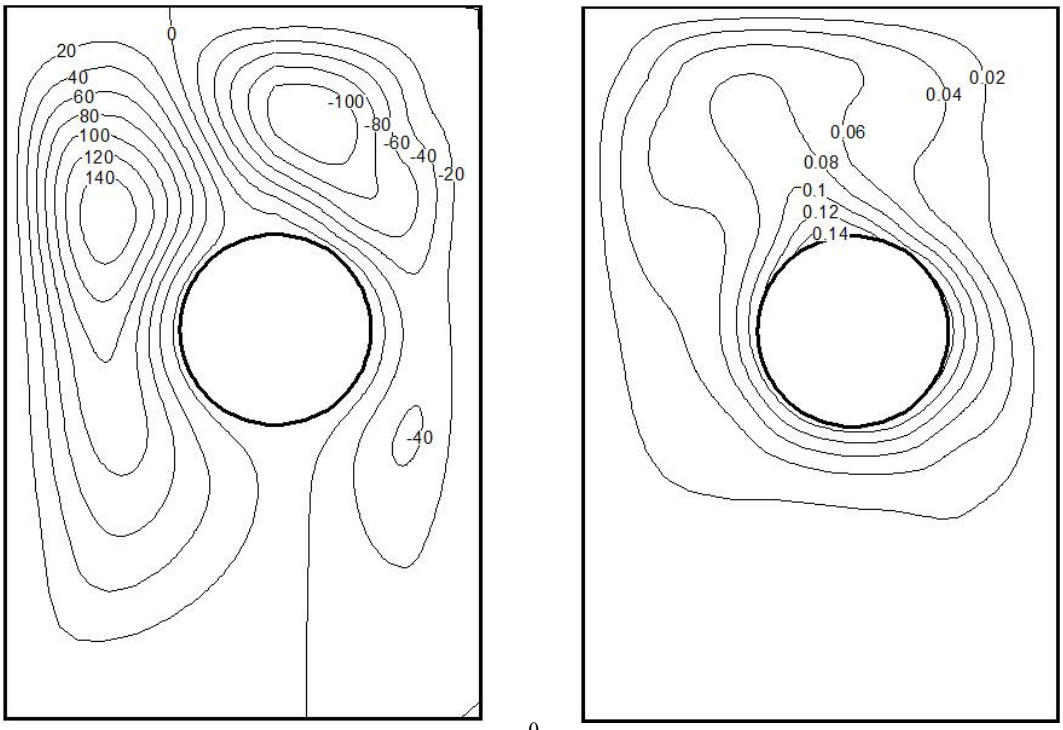


$\varphi=90^0,\varepsilon=0.1$

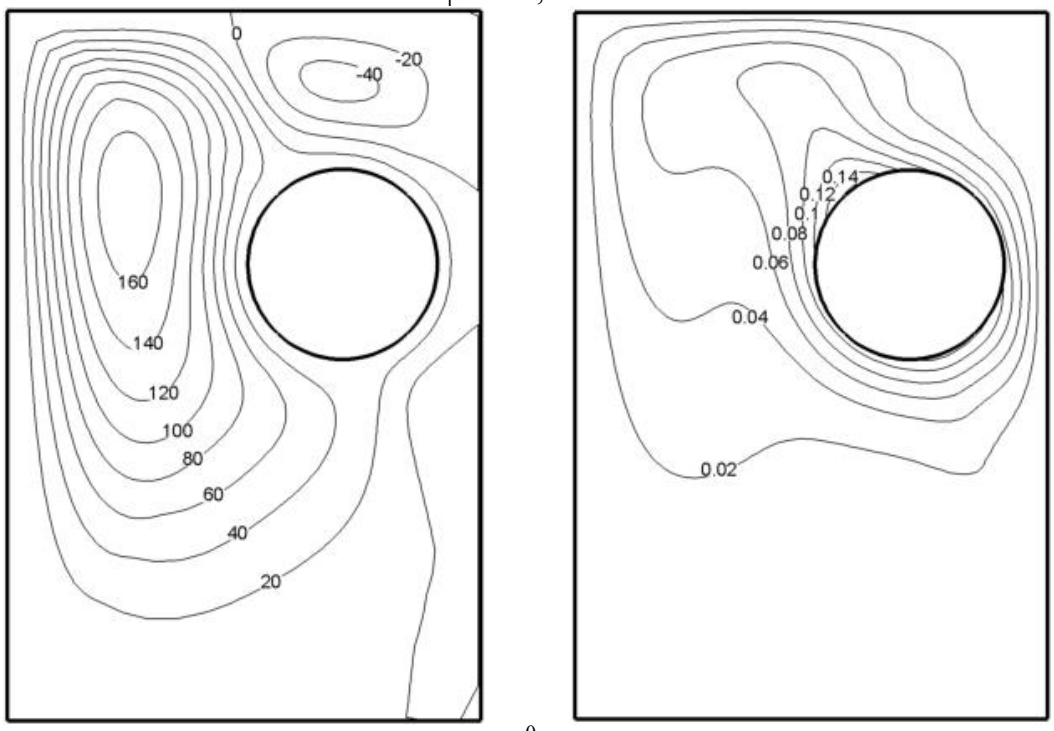


$\varphi=90^0,\varepsilon=0.2$

Şekil 4.55 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=90^0$, eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.2 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1, B/A=1.5)

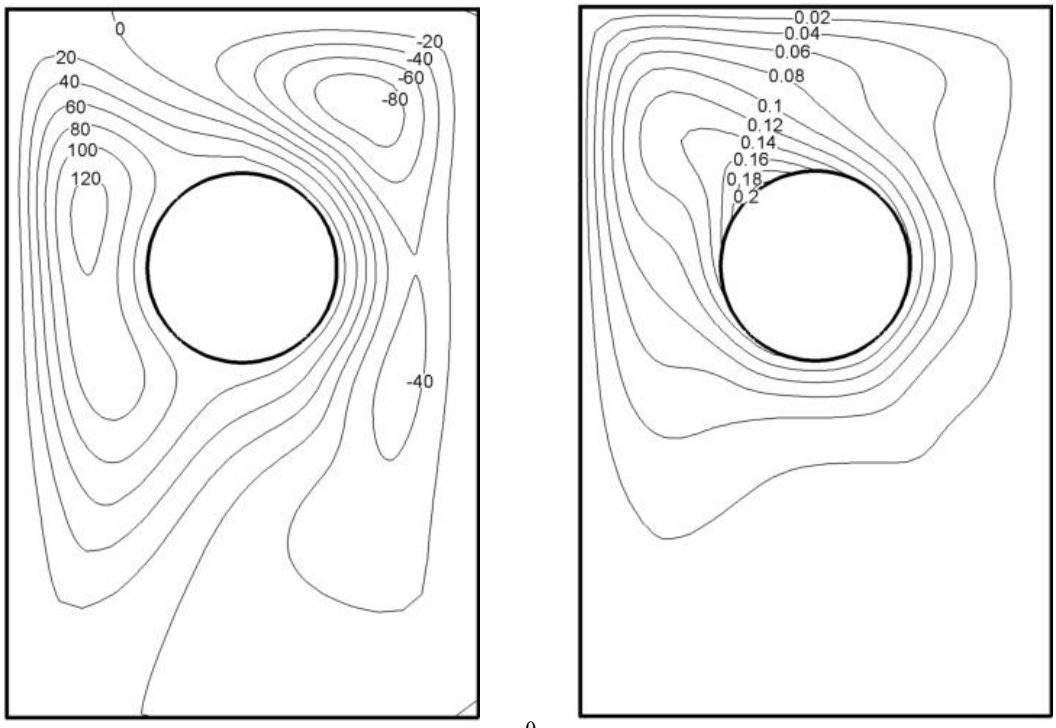


$\varphi=135^0,\varepsilon=0.1$

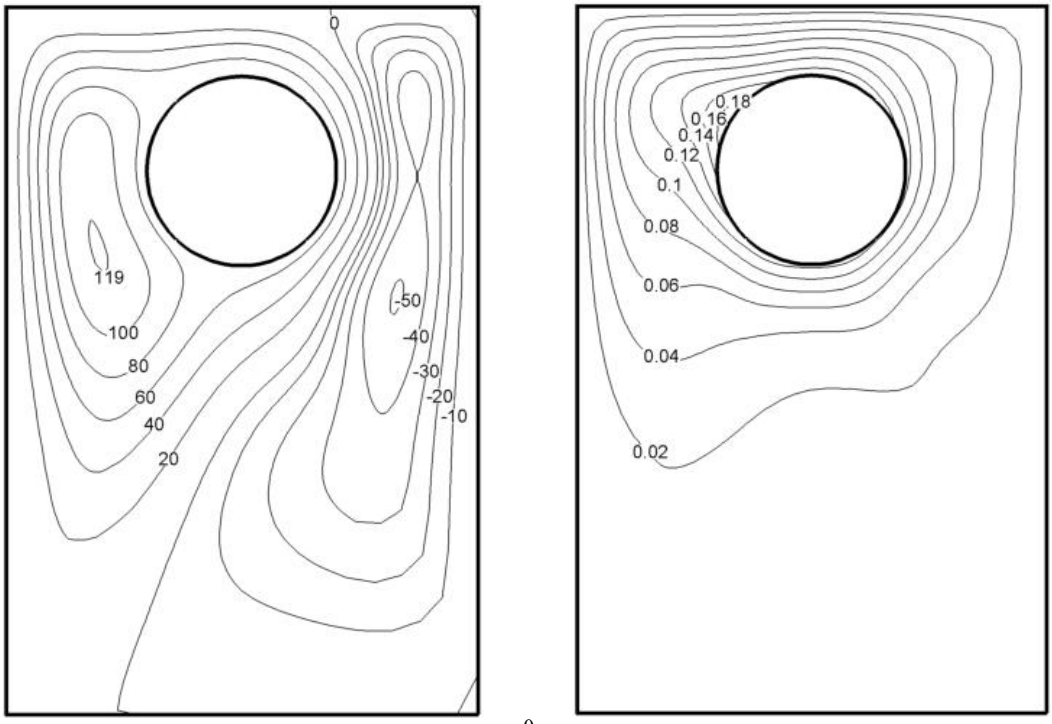


$\varphi=135^0,\varepsilon=0.3$

Şekil 4.56 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=135^0$ ve eksantrikliğin sırasıyla 0.1, 0.3 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1, B/A=1.5)

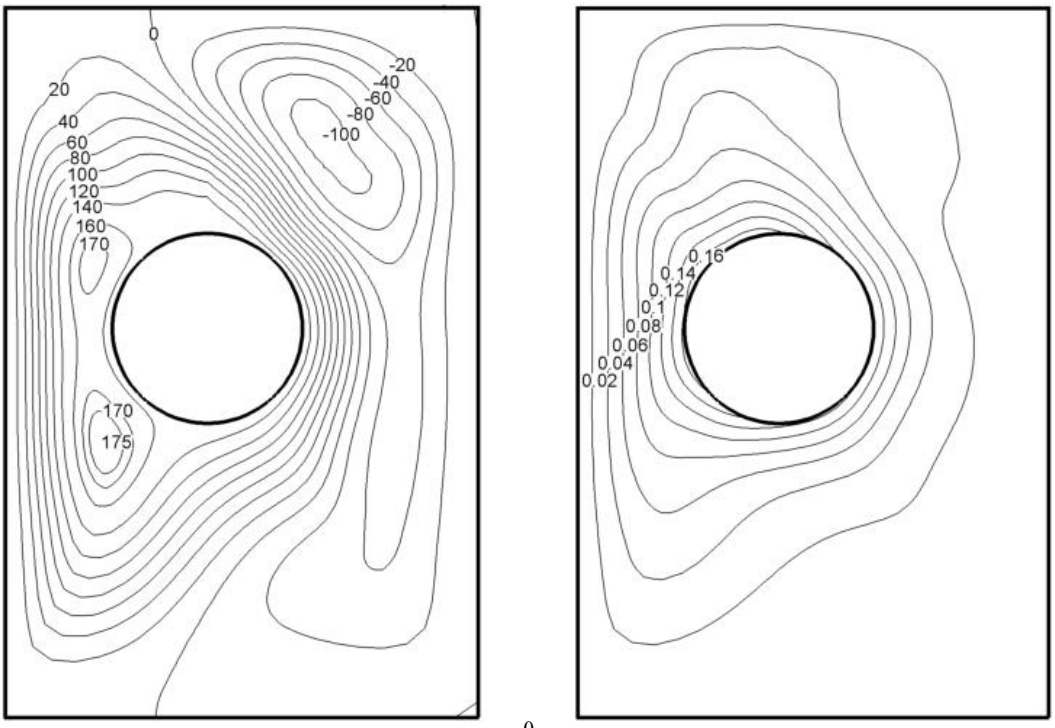


$\varphi=180^0,\varepsilon=0.2$

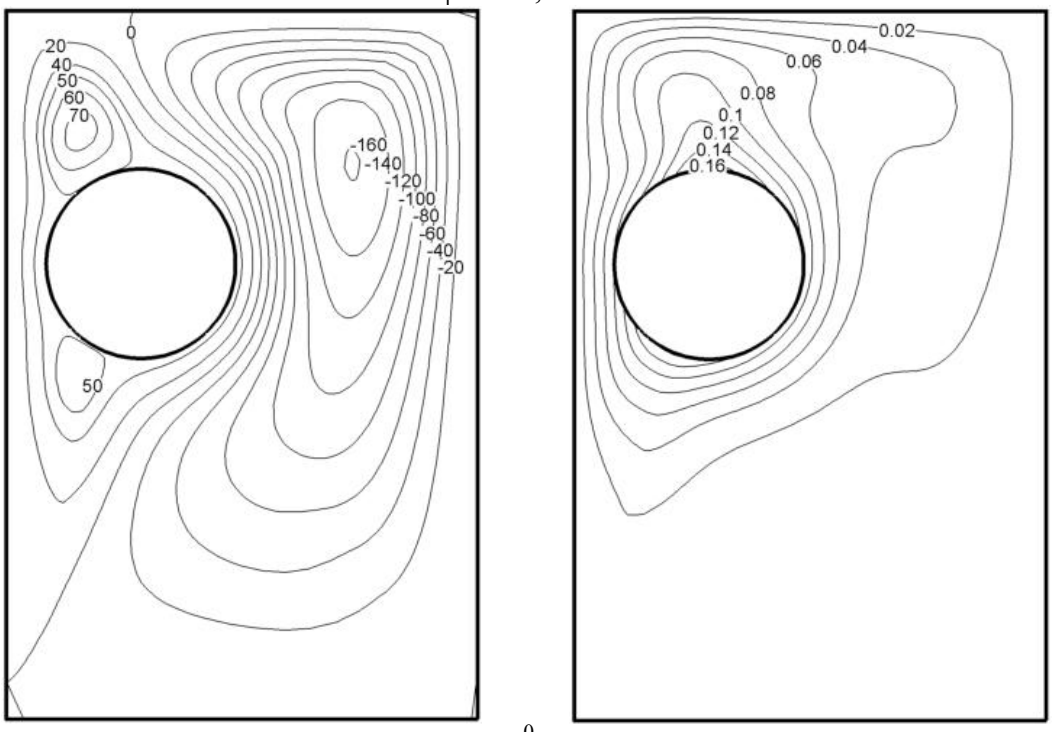


$\varphi=180^0,\varepsilon=0.4$

Şekil 4.57 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=180^0$ ve eksantrikliğin 0.2, 0.4 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1, B/A=1.5)

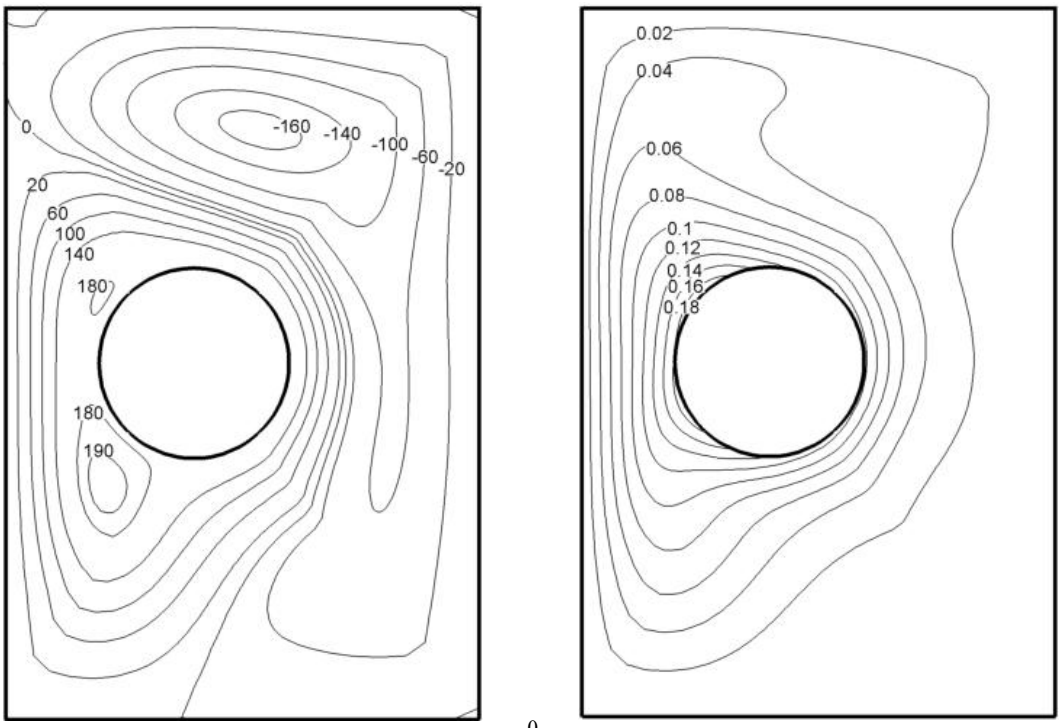


$\varphi=225^0,\varepsilon=0.1$

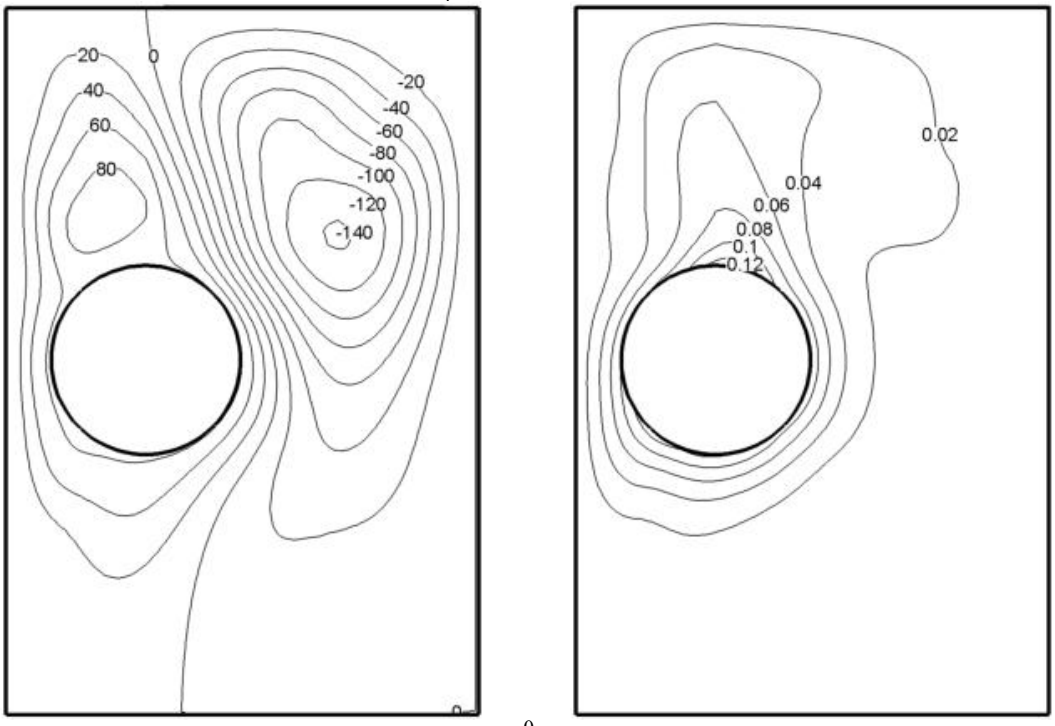


$\varphi=225^0,\varepsilon=0.3$

Şekil 4.58 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=225^0$, eksantrikliğin 0.1, 0.3 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1, B/A=1.5)

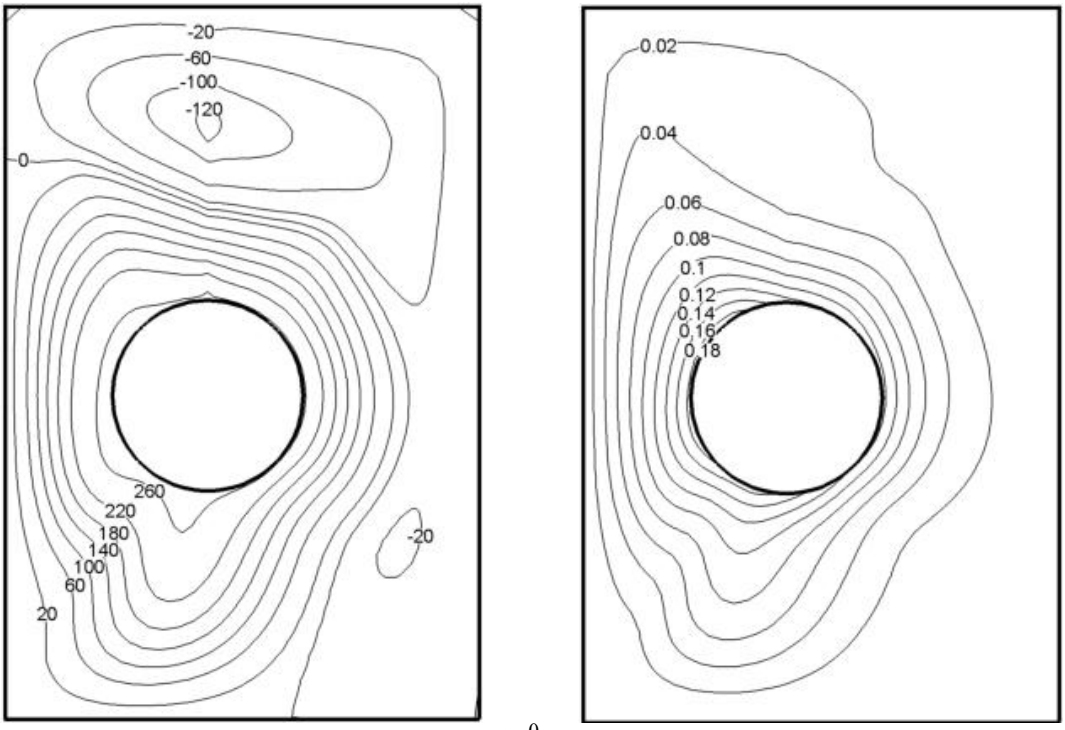


$\varphi=270^0,\varepsilon=0.1$

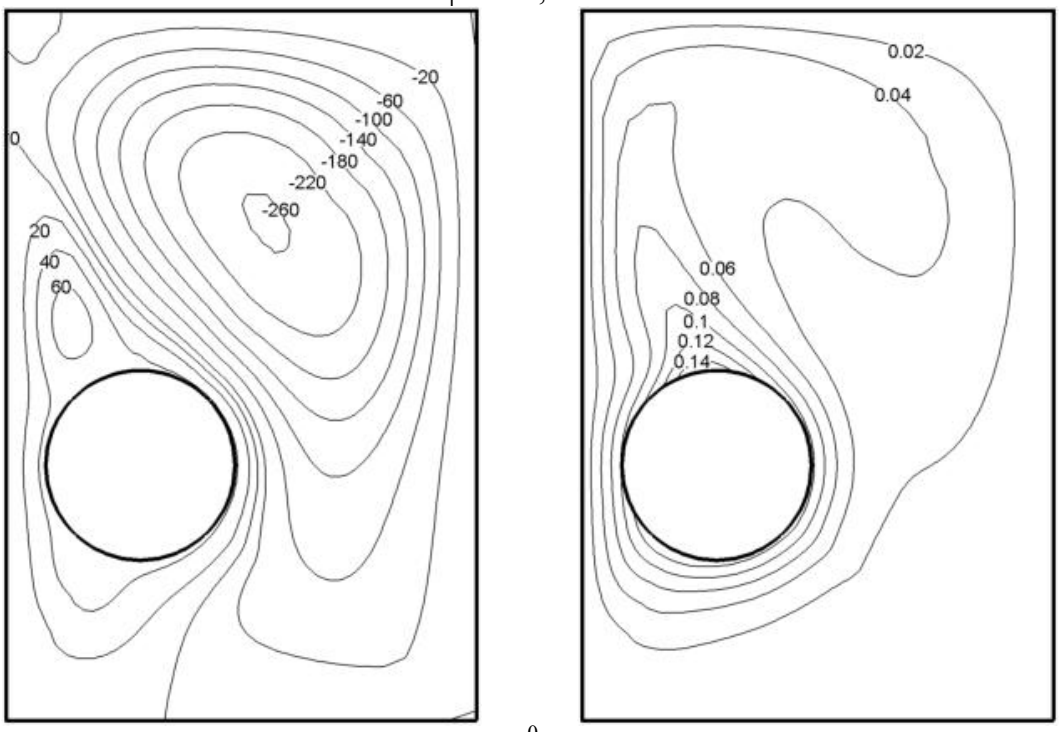


$\varphi=270^0,\varepsilon=0.2$

Şekil 4.59 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=270^0$, eksantrikliğin 0.1, 0.2 olduğu durumlar için ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1, B/A=1.5)



$\varphi=315^0,\varepsilon=0.1$



$\varphi=315^0,\varepsilon=0.3$

Şekil 4.60 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=315^0$, eksantrikliğin 0.1, 0.3 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^6, Re=0.1, B/A=1.5)

Açısal pozisyonun $\varphi = 180^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.57'de görülmektedir. bu durum için incelenen her iki eksantriklikte de sağda oluşan edi durgunluk noktası ile birlikte döngülü yapıya sahiptir. Soldaki edinin eksantriklikten fazla etkilenmediği yalnızca edinin merkezinin ε=0.4'te aşağıya doğru hareket ettiği görülmektedir. Eşsıcaklık eğrilerine bakıldığında eşmerkezli duruma göre zorlanmış taşınımın etkilerinin arttığı söylenilebilir.

Açısal pozisyonun $\varphi = 225^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.58'de görülmektedir. Eksantriklik arttıkça iç silindiri saran içinde bir durgunluk noktası ile birlikte döngüler içeren edi zayıflamış , soldaki edi kendine daha fazla yer bulmuş, bunun sonucunda genişlemiştir. ε=0.1'de dönüş yönünde hareket eden eş sıcaklık eğrileri artan eksantriklikle dönüş yönünün tam tersine hareket etmektedir. Aşağıda oluşan durgunluk alanının da eksantriklikle birlikte arttığı gözlenmektedir.

Açısal pozisyonun $\varphi = 270^0$ durumda 2 eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.59'da görülmektedir. Açısal pozisyonun $\varphi = 270^0$ alındığı durumda artan eksantriklikle sağdaki edi kendine daha fazla yer bulup genişlemekte, soldaki döngülü yapıdaki edi daha zayıf şekilde iç silindiri sarar görünmektedir. Eş sıcaklık eğrileri artan eksantriklikle birlikte dönme yönünün tersine doğru yönelmektedirler.

Açısal pozisyonun $\varphi = 315^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.60'da görülmektedir. Eksantriklik arttıkça iç silindiri saran edi zayıflamış dolayısı ile zorlanmış taşınımın etkileri azalmış gibi görünmektedir. ε=0.1 de iç silindirin üzerine yerleşen edi eksantriklik artınca kendine daha fazla yer bulmuş, bunun sonucunda genişleyerek ve güçlenerek sağ tarafı kaplamıştır. Eş sıcaklık eğrileri eksantriklik arttıkça dönüş yönünün tersine hareket etmiştir.

4.9. Dönen ve Sabit Isı Akısı ile Isıtılan Dairesel İç Silindir ve Onu Çevreleyen Soğuk ve Elips Kesitli Eksantrik Olarak Yerleştirilmiş Bir Dış Silindir Arasında Kalan Bölgede Gerçekleşen Karışık Taşınım

Çalışmada dönen, sabit ısı akısı ile ısıtılan, dairesel bir iç silindir ve onu çevreleyen soğuk, elips kesitli çeşitli eksantrikliklerde yerleştirilmiş bir dış silindir arasında kalan bölgede daimi, laminer, karışık taşınım akışı incelenmiştir. Elips kesidin yatay uzunluğu, düşey uzunluğunun 1.5 katı olarak alınmıştır. Nümerik hesaplamalar, hava için Pr=0.71 alınarak yapılmıştır. $\varphi = 0^0$ ve180^0 açısal yerleşimleri için ε=0.1, 0.2 eksantrikliklerde, $\varphi = 90^0$ ve 270^0 açısal yerleşimleri için ε=0.2, 0.4 eksantrikliklerde, $\varphi = 45^0, 135^0, 225^0, 315^0$ açısal yerleşimleri için ε=0.1, 0.2, 0.3 eksantrikliklerde akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri elde edilmiştir. Amaç, doğal ve zorlanmış taşınımın etkilerini bir arada görmek olduğu için bu fiziksel duruma uygun olarak Grashof sayısı "5.10^5" ve zorlanmış taşınımı temsil eden Reynolds sayısı "0.1" seçilmiştir. İç silindirin boyutsuz yarıçapı 0.2 kabul edilmiştir.

Eksantrik durumların eşmerkezli durumdan farkını gösterebilmek amacı ile dış silindirin eşmerkezli yerleşimi için akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri de elde edilmiş ve Şekil 4.61'de gösterilmiştir. Solda iç silindiri çevreleyen saat ibresinin tersi yönünde dönen halkalı yapıda bir edi, sağda da diğer ediye göre oldukça küçük ve güçlü olmayan saat yönünde dönen bir edi görülmektedir. Eş sıcaklık eğrileri de saat ibresi yönünün tersine uygulanan dönme ile oluşturulan zorlanmış taşınımın etkisi ile dönmenin uygulandığı yöne hareketlenmişlerdir.

$\varphi = 0^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.62'de görülmektedir. Artan eksantriklikle sağdaki edi yukarıya doğru genişlemekte ve güçlenmekte, solda iç silindiri saran edi zayıflamakta ve dönmenin sol edi üzerindeki etkisinin azaldığı görülmektedir. Eş sıcaklık eğrileri ε=0.1 durumunda dönme yönüne doğru yönelmişken, eksantriklik arttığında ters yöne hareket etmektedir.

$\varphi = 45^0$ alındığı durumda 3 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.63'de görülmektedir. Artan eksantriklik ile sağdaki küçük edi

daha güçlenmekte, soldaki büyük edi de ilk durumuna göre zayıflamakta ve ε=0.3 durumunda artık dönmenin sol edi üzerindeki etkisinin kalktığı görülmektedir. Eş sıcaklık eğrileri eksantriklik arttıkça eşmerkezli duruma göre dönme yönünün tersine hareket etmektedir.

$\varphi = 90^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.64'de görülmektedir. Bu durumda incelenen her iki eksantriklikte de iç silindiri çevreleyen tek edi oluşmaktadır. Artan eksantriklikle varolan edi zayıflamakta ve dönmenin etkisi azalmış gibi görünmektedir. Eş sıcaklık eğrileri eksantriklik arttıkça dönme yönünün tersine hareket etmektedir.

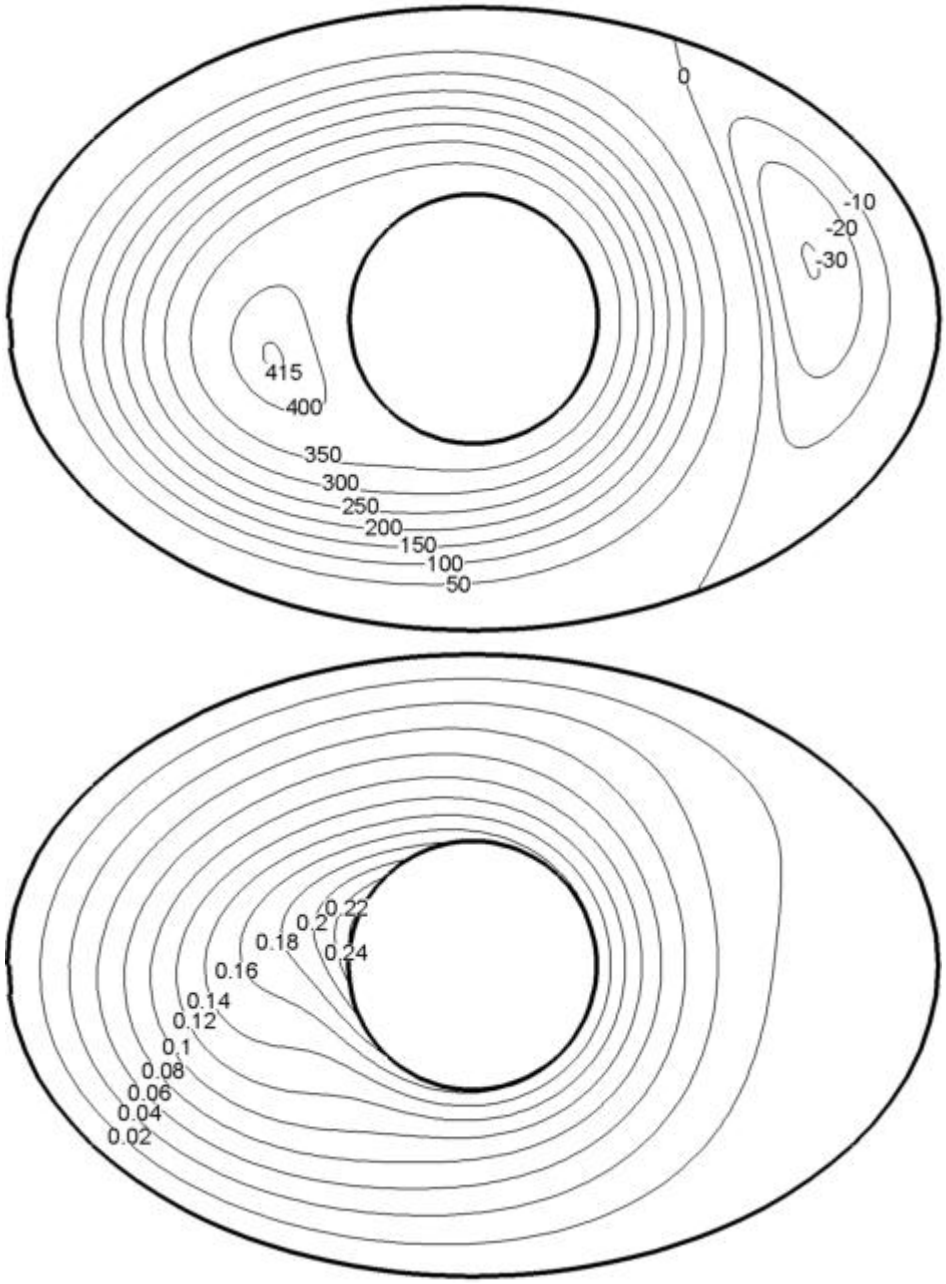
$\varphi = 135^0$ alındığı durumda 3 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.65'de görülmektedir. Artan eksantriklikle sağdaki edi aşağıya doğru genişlemekte ve güçlenmekte, solda iç silindiri saran edi nispeten zayıflamakta ve dönmenin sol edi üzerindeki etkisinin azaldığı görülmektedir. Eş sıcaklık eğrilerinden eksantriklik arttıkça aşağıdaki durgun bölgenin arttığı görülmektedir.

$\varphi = 180^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.62'de görülmektedir. Artan eksantriklikle sağdaki edi aşağıya doğru genişlemekte ve güçlenmekte, solda iç silindiri saran edi zayıflamakta ve dönmenin sol edi üzerindeki etkisinin azaldığı görülmektedir. Eş sıcaklık eğrilerinden eksantriklik arttıkça aşağıdaki durgun bölgenin arttığı görülmektedir.

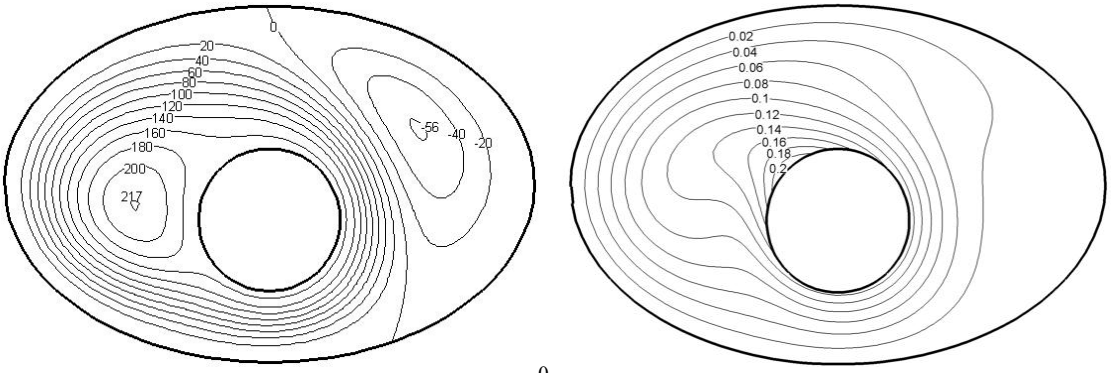
$\varphi = 225^0$ alındığı durumda 3 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.66'de görülmektedir. Artan eksantriklik ile sağdaki edi genişleyip kuvvetlenirken, soldaki edi zayıflayıp küçülmüştür. Dönmenin soldaki edi üzerindeki etkisi eksantriklikle azalmıştır. Eş sıcaklık eğrilerinden eksantriklik arttıkça aşağıdaki durgun bölgenin arttığı görülmektedir.

$\varphi = 270^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.64'de görülmektedir. Artan eksantriklik ile sağdaki edi genişleyip kuvvetlenirken, soldaki edi zayıflayıp küçülmüştür. Eş sıcaklık eğrileri ε=0.2 durumunda dönme yönüne doğru oluşurken eksantriklik arttıkça dönme yönünün tersine hareket etmektedir.

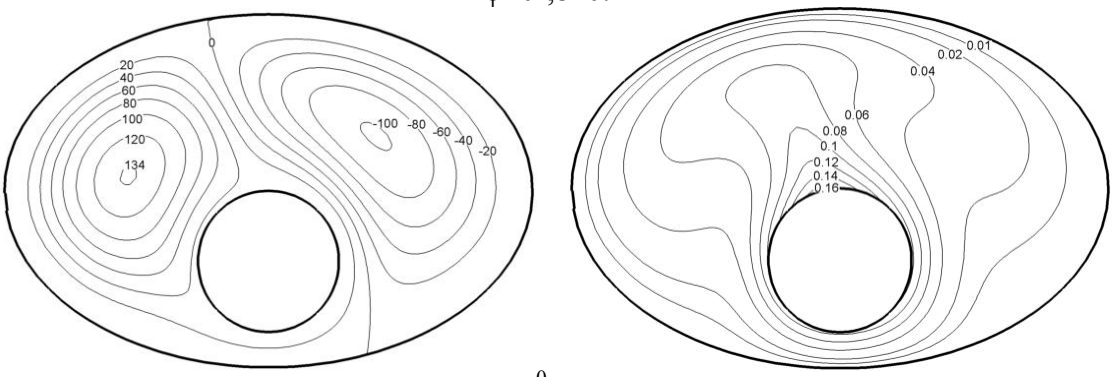
$\varphi = 315^0$ alındığı durumda 3 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.67'de görülmektedir. Sağdaki edi eksantriklik arttıkça



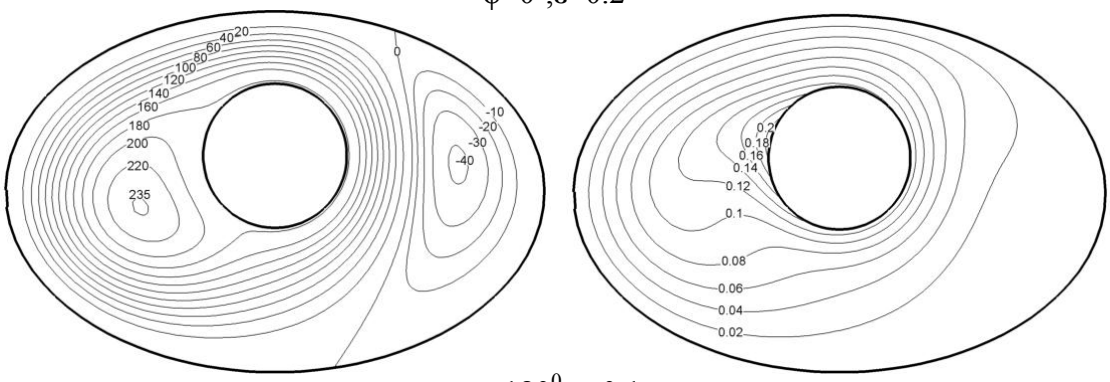
Şekil 4.61 Dış silindir elips seçildiğinde, eşmerkezli durum için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=5.10^5, Re=0.1, A/B=1.5)



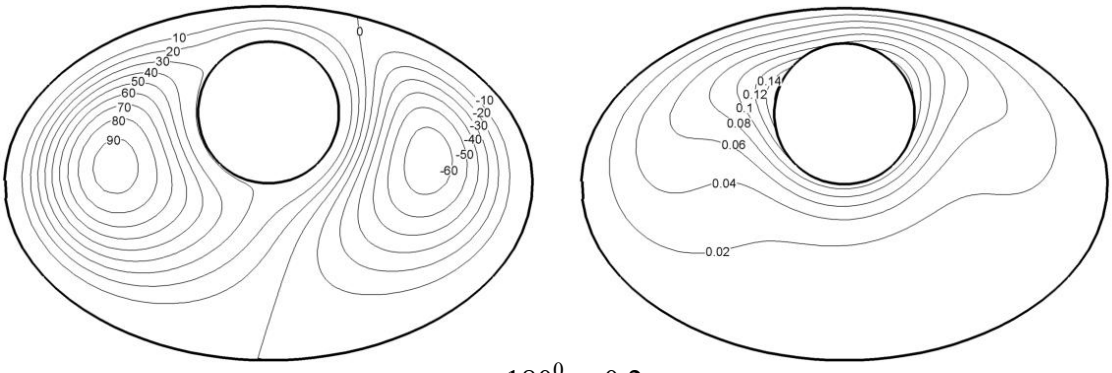
$\varphi=0^0,\varepsilon=0.1$



$\varphi=0^0,\varepsilon=0.2$

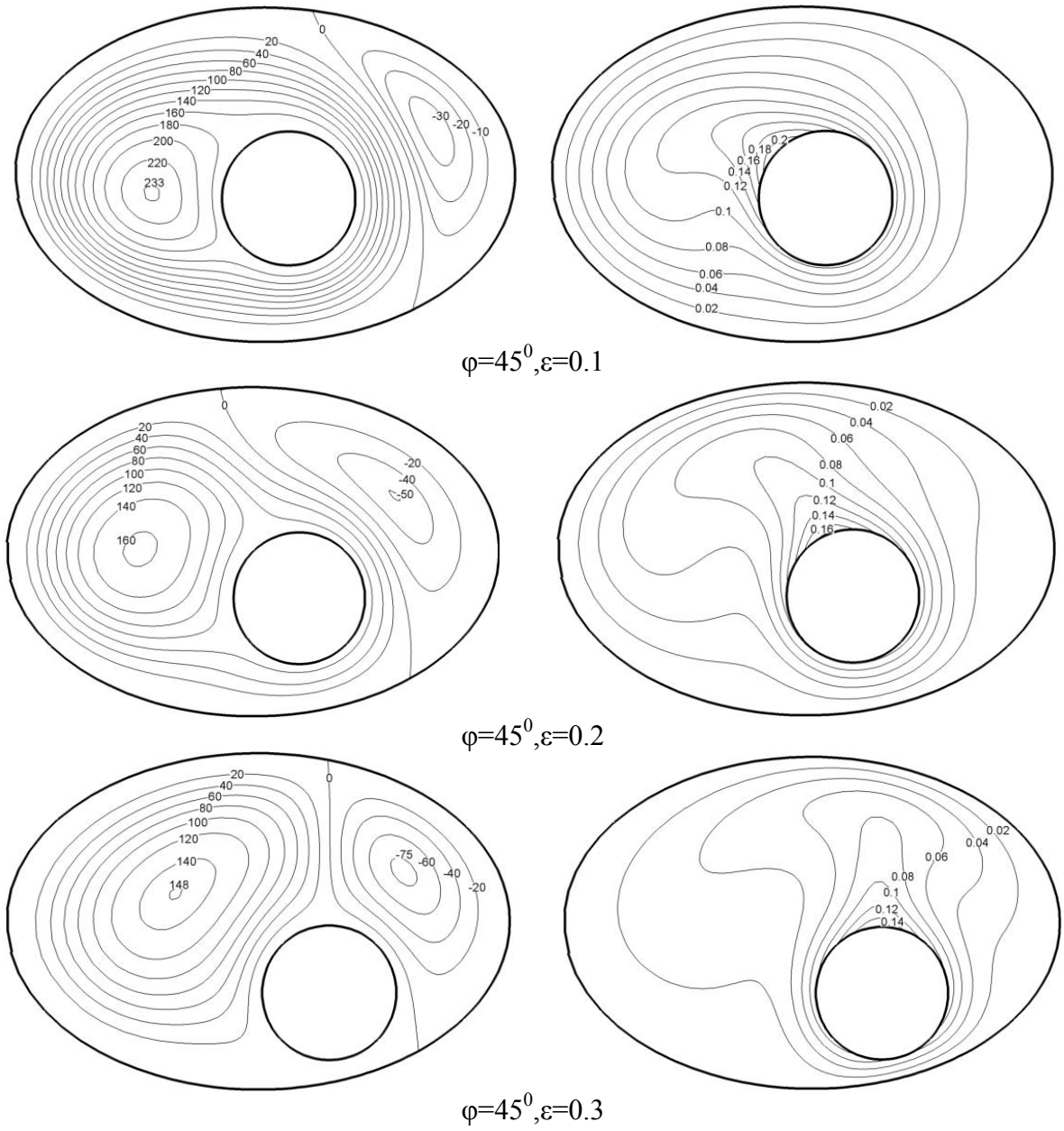


$\varphi=180^0,\varepsilon=0.1$

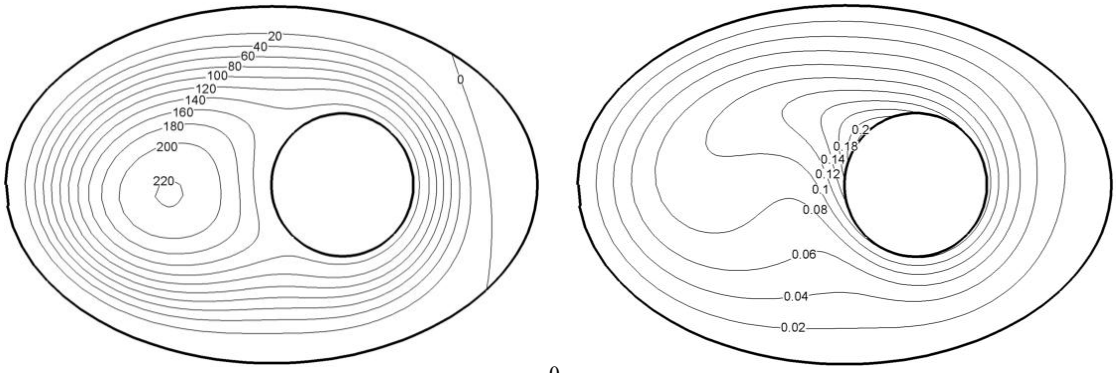


$\varphi=180^0,\varepsilon=0.2$

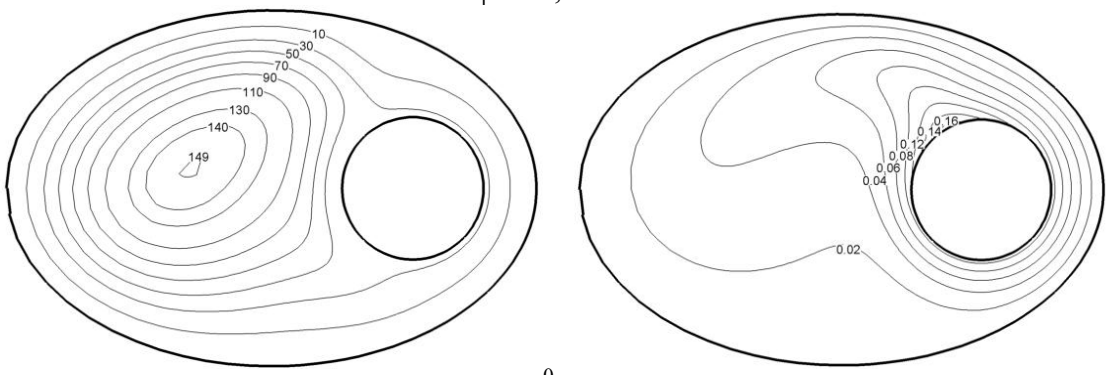
Şekil 4.62 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=0^0$ ve $\varphi=180^0$, eksantrikliğin 0.1, 0.2 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=5.10^5, Re=0.1, A/B=1.5)



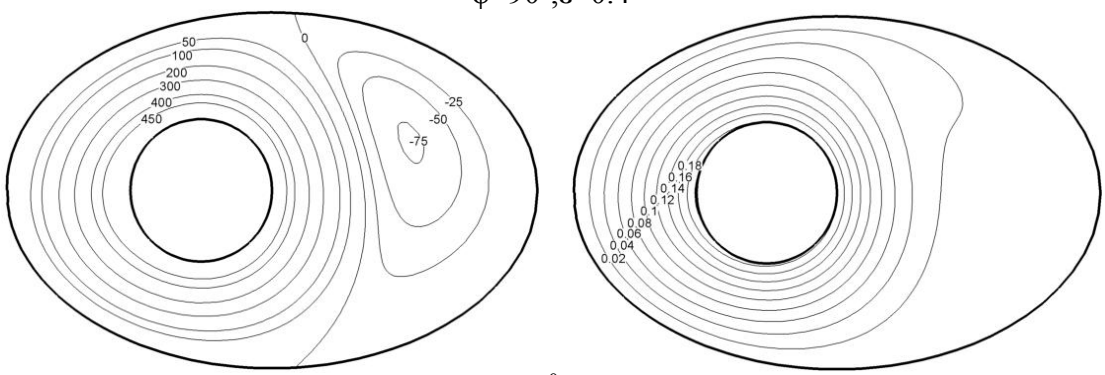
Şekil 4.63 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=45^0$, eksantrikliğin 0.1, 0.2, 0.3 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=5.10^5, Re=0.1, A/B=1.5)



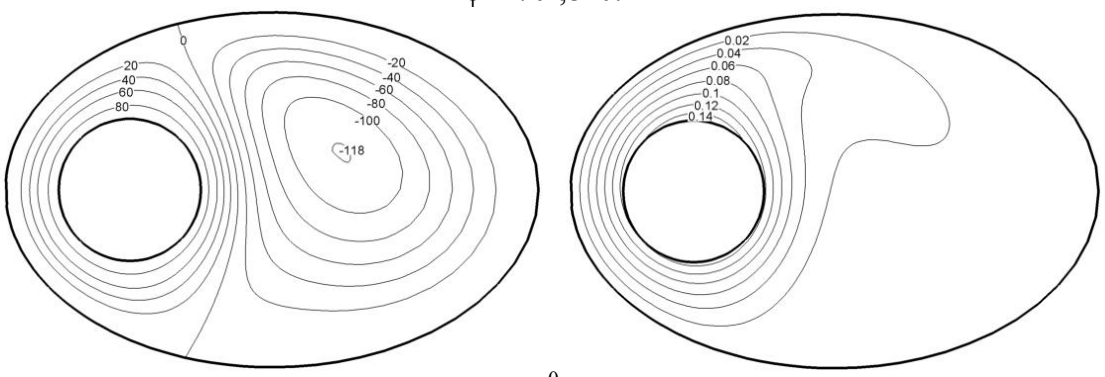
$\varphi=90^0,\varepsilon=0.2$



$\varphi=90^0,\varepsilon=0.4$

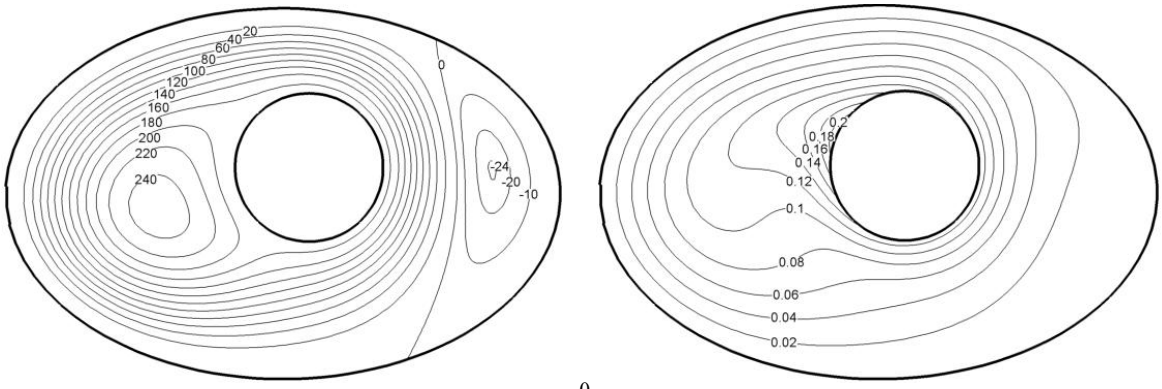


$\varphi=270^0,\varepsilon=0.2$

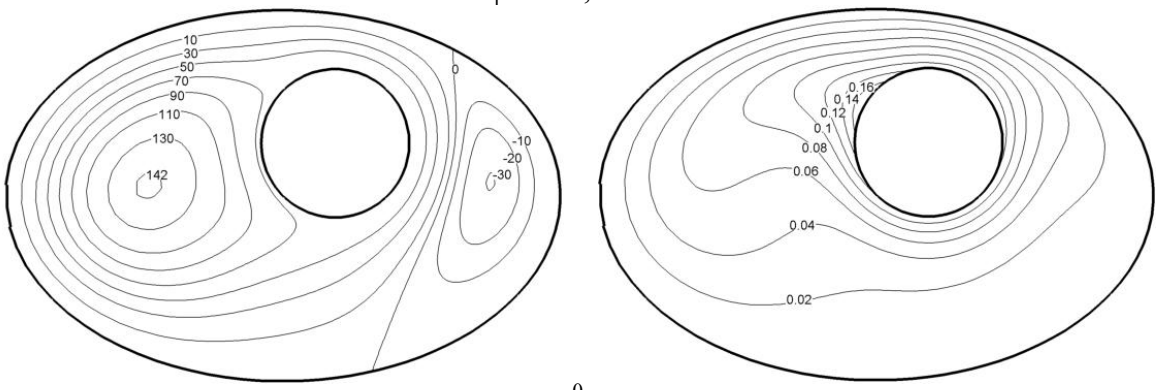


$\varphi=270^0,\varepsilon=0.4$

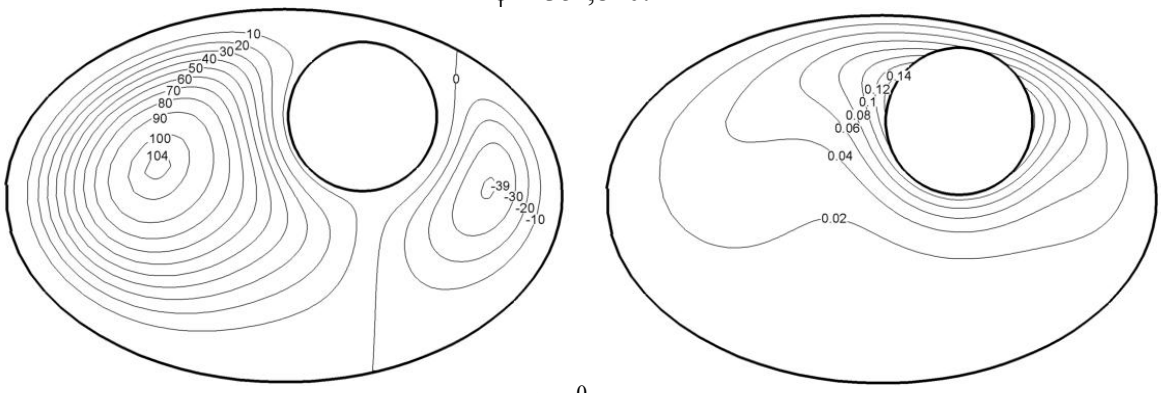
Şekil 4.64 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=90^0$ ve $\varphi=270^0$, eksantrikliğin 0.2, 0.4 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=5.10^5, Re=0.1, A/B=1.5)



$\varphi=135^0,\varepsilon=0.1$

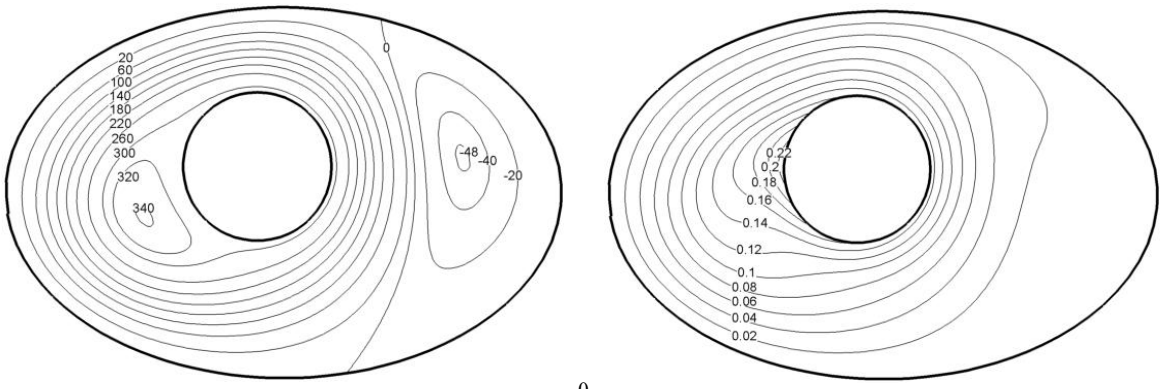


$\varphi=135^0,\varepsilon=0.2$

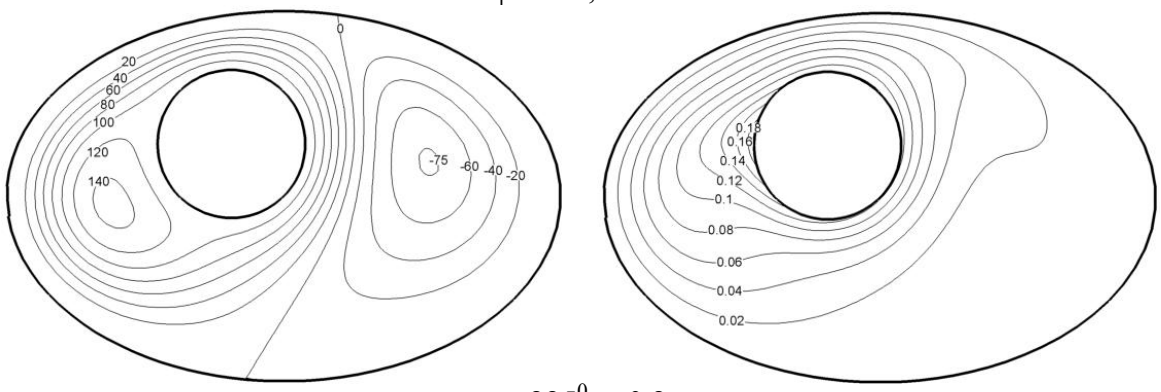


$\varphi=135^0,\varepsilon=0.3$

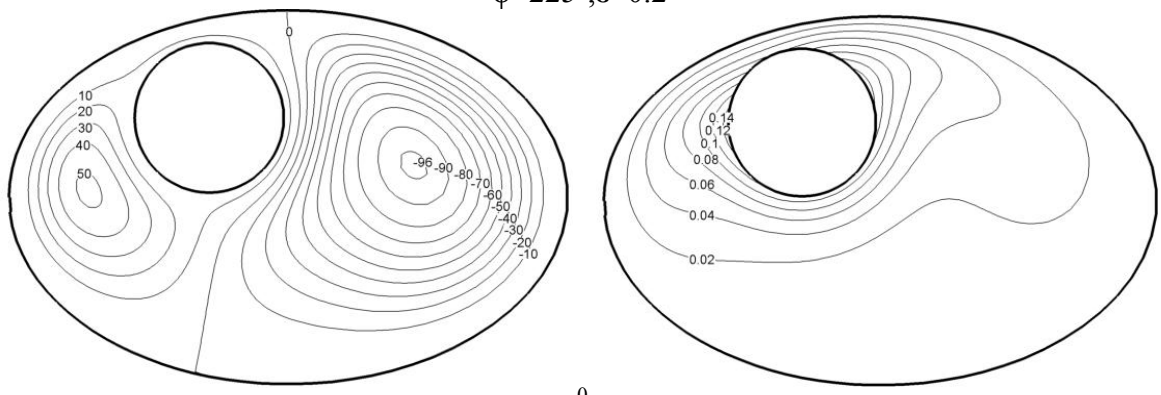
Şekil 4.65 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=135^0$ ve eksantrikliğin 0.1, 0.2, 0.3 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=5.10^5, Re=0.1, A/B=1.5)



$\varphi=225^0,\varepsilon=0.1$

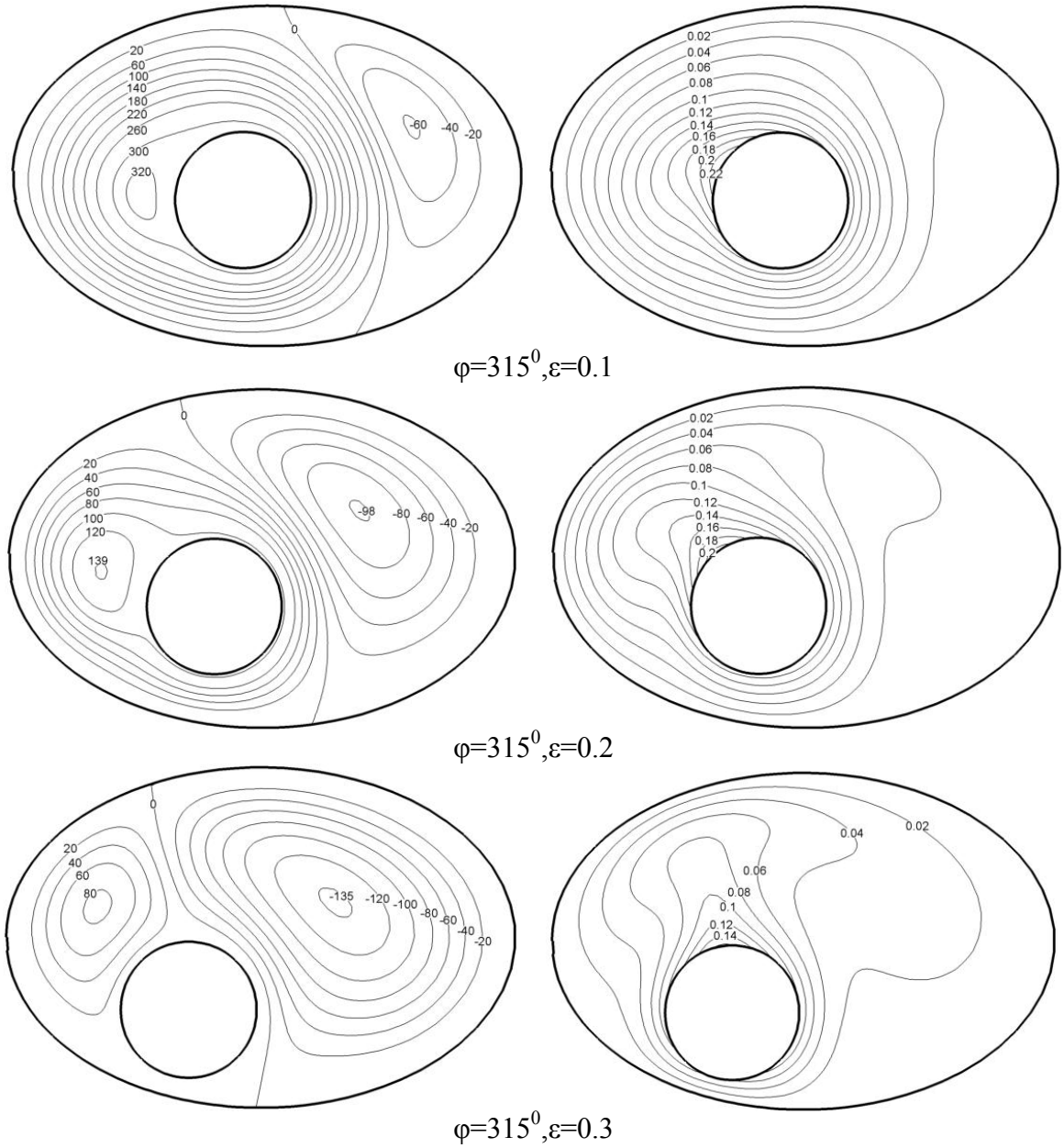


$\varphi=225^0,\varepsilon=0.2$



$\varphi=225^0,\varepsilon=0.3$

Şekil 4.66 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=225^0$ ve eksantrikliğin 0.1, 0.2, 0.3 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=5.10^5, Re=0.1, A/B=1.5)



Şekil 4.67 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=315^0$ ve eksantrikliğin 0.1, 0.2, 0.3 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=5.10^5, Re=0.1, A/B=1.5)

genişlemekte ve güçlenmekte, solda iç silindiri saran edi küçülüp gücünü kaybetmektedir. Eş sıcaklık eğrilerinden eksantriklik arttıkça yandaki durgun bölgenin aşağıya doğru yatay şekilde oluştuğu görülmektedir.

4.10. Dönen ve Sabit Isı Akısı ile Isıtılan Dairesel İç Silindir ve Onu Çevreleyen Soğuk ve Dikdörtgen Kesitli Eksantrik Olarak Yerleştirilmiş Bir Dış Silindir Arasında Kalan Bölgede Gerçekleşen Karışık Taşınım

Çalışmada dönen, sabit ısı akısı ile ısıtılan, dairesel bir iç silindir ve onu çevreleyen soğuk, dikdörtgen kesitli çeşitli eksantrikliklerde yerleştirilmiş bir dış silindir arasında kalan bölgede daimi, laminer, karışık taşınım akışı incelenmiştir. Elips kesidin yatay uzunluğu, düşey uzunluğunun 1.5 katı olarak alınmıştır. Nümerik hesaplamalar, hava için Pr=0.71 alınarak yapılmıştır. $\varphi = 0^0$ ve180^0 açısal yerleşimleri için ε=0.2, 0.4 eksantrikliklerde, $\varphi = 90^0$ ve 270^0 açısal yerleşimleri için ε=0.1 eksantriklikte, $\varphi = 45^0, 135^0, 225^0, 315^0$ açısal yerleşimleri için ε=0.1, 0.3 eksantrikliklerde akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri elde edilmiştir. Amaç, doğal ve zorlanmış taşınımın etkilerini bir arada görmek olduğu için bu fiziksel duruma uygun olarak Grashof sayısı "5.10^5" ve zorlanmış taşınımı temsil eden Reynolds sayısı "0.1" seçilmiştir. İç silindirin boyutsuz yarıçapı 0.2 kabul edilmiştir.

Eksantrik durumların eşmerkezli durumdan farkını gösterebilmek amacı ile dış silindirin eşmerkezli yerleşimi için akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri de elde edilmiş ve Şekil 4.68'de gösterilmiştir. Solda iç silindiri çevreleyen saat ibresinin tersi yönünde dönen halkalı yapıda bir edi, sağda da diğer ediye göre küçük ve saat yönünde dönen bir edi görülmektedir. Eş sıcaklık eğrileri de saat ibresi yönünün tersine uygulanan dönme ile oluşturulan zorlanmış taşınımın etkisi ile dönmenin uygulandığı yöne hareketlenmişlerdir.

$\varphi = 0^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.69'de görülmektedir. Artan eksantriklikle sağdaki edi biraz yukarıya doğru hareket etmekte ve ε=0.2 eksantriklikte bir durgunluk noktası ile beraber

iki döngünün oluştuğu görülmektedir. Solda iç silindiri saran edi zayıflamakta ve yukarıya doğru hareket etmektedir. Eş sıcaklık eğrileri ε=0.1 durumunda dönme yönüne doğru yönelmişken, eksantriklik arttığında ters yöne hareket etmektedir. Ayrıca eksantriklik arttığında sağ ve solda durgunluk bölgeleri oluşmaktadır.

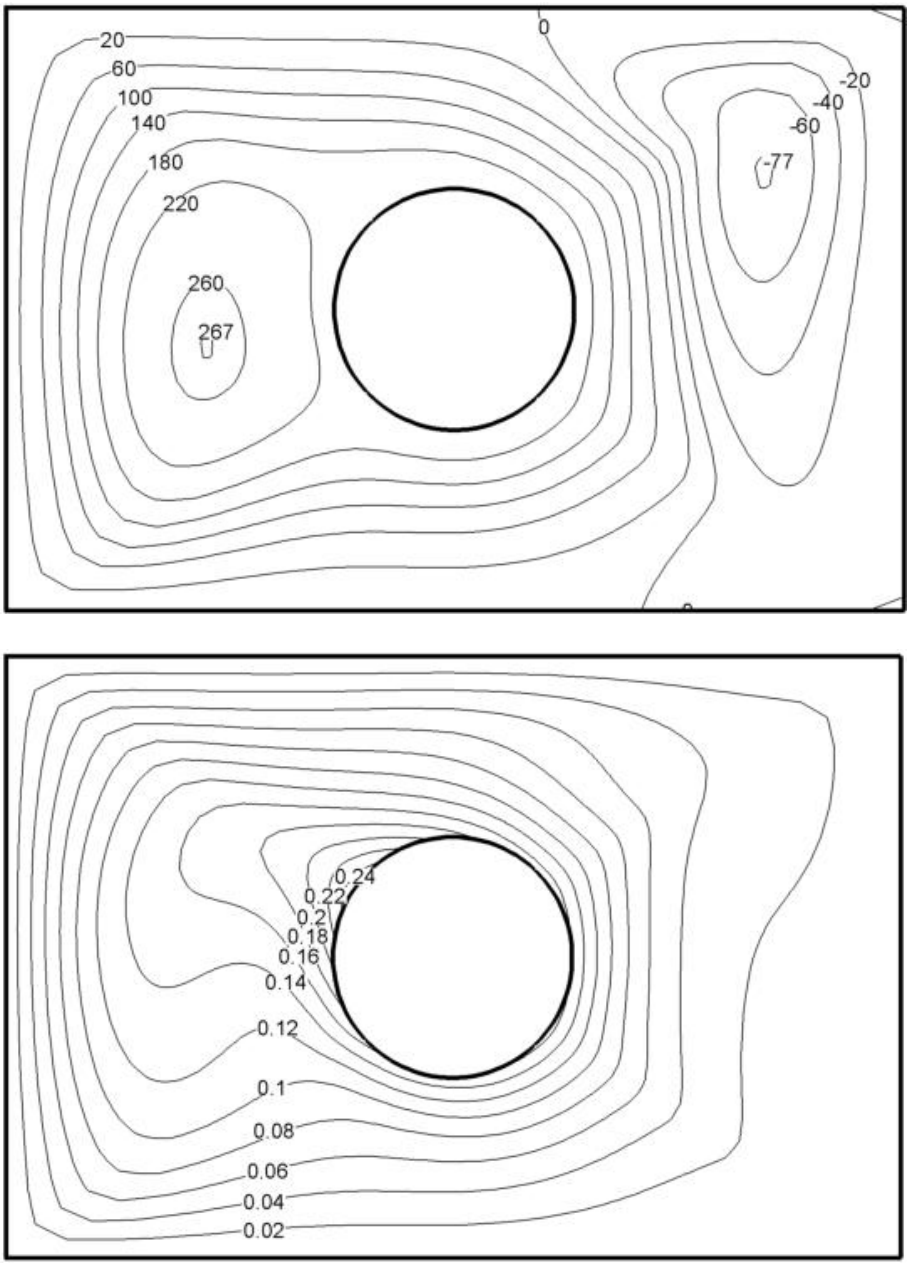
$\varphi = 45^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.70'de görülmektedir. Artan eksantriklik ile sağdaki küçük edi daha güçlenmekte ve iç silindirin üzerine hareket etmekte, soldaki büyük edi varlığını hemen hemen aynı şekilde sürdürmektedir. Eş sıcaklık eğrileri eksantriklik arttıkça eşmerkezli duruma göre dönme yönünün tersine hareket etmektedir.

$\varphi = 90^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.71'de görülmektedir. Sağda oluşan küçük edi artan eksantriklikle daha da küçülerek sağ üst köşeye sıkışmış, solda iç silindiri saran edi de gücünü kaybetmiştir. Dönmenin etkisi azalmış gibi görünmektedir. Eş sıcaklık eğrileri eksantriklik arttıkça dönme yönünün tersine hareket etmektedir.

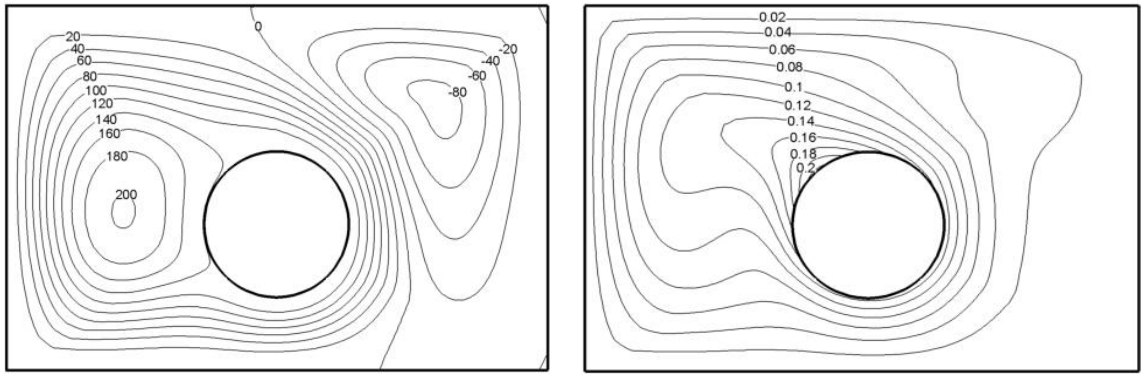
$\varphi = 135^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.70'de görülmektedir. Artan eksantriklikle sağdaki edi aşağıya doğru genişlemekte, solda iç silindiri saran edi nispeten zayıflamakta ve dönmenin sol edi üzerindeki etkisinin azaldığı görülmektedir. Eş sıcaklık eğrilerinden eksantriklik arttıkça yandaki durgun bölgenin aşağıya kaydığı görülmektedir.

$\varphi = 180^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.69'de görülmektedir. Artan eksantriklikle sağdaki ve solda iç silindiri saran edi zayıflamakta ve dönmenin sol edi üzerindeki etkisinin azaldığı görülmektedir. Eş sıcaklık eğrilerinden eksantriklik arttıkça aşağıdaki durgun bölgenin arttığı ve iç silindirden doğuyor gibi gözüken eş sıcaklık eğrisi değerlerinin azaldığı görülmektedir.

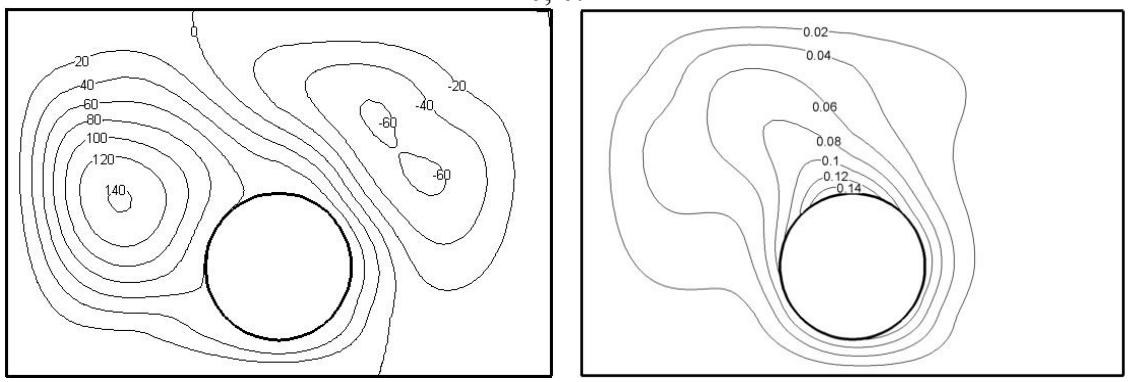
$\varphi = 225^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.72'de görülmektedir. Artan eksantriklik ile sağdaki edi genişleyip kuvvetlenirken, soldaki edi zayıflayıp küçülmüştür. Dönmenin soldaki edi üzerindeki etkisi eksantriklikle azalmıştır. Eş sıcaklık eğrilerinden eksantriklik arttıkça aşağıdaki durgun bölgenin arttığı görülmektedir.



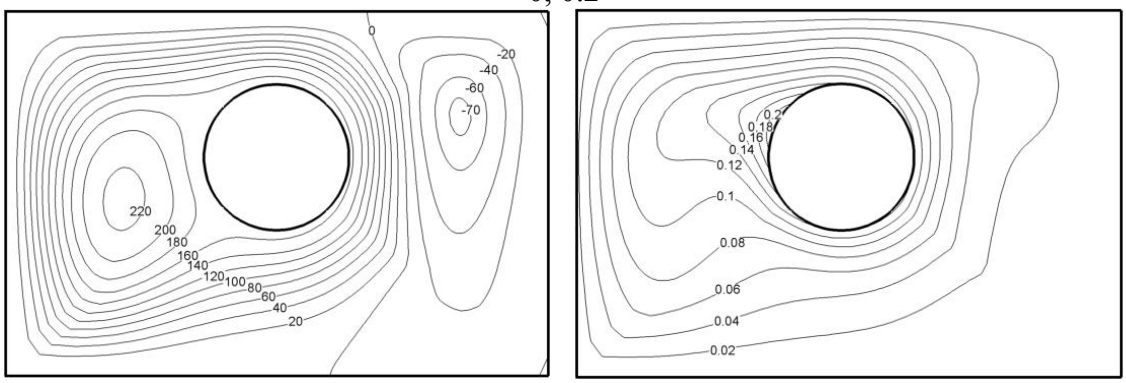
Şekil 4.68 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, eşmerkezli durum için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=5.10^5, Re=0.1, A/B=1.5)



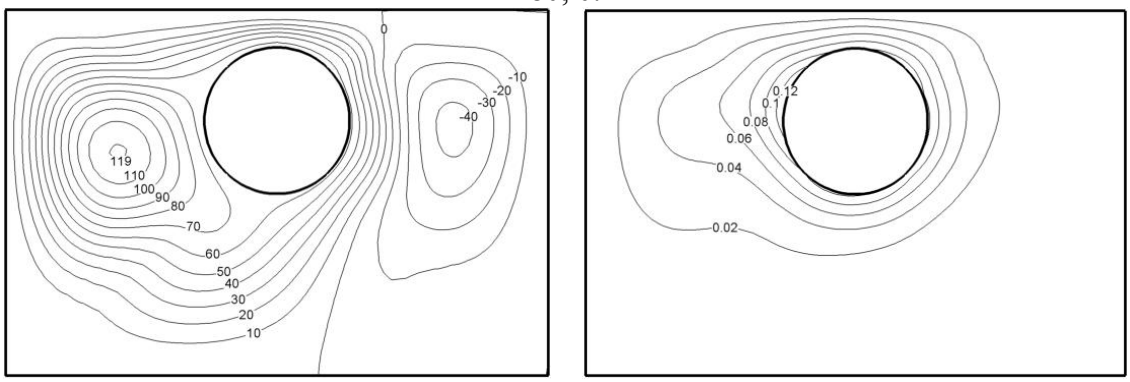
0, 0.1



0, 0.2

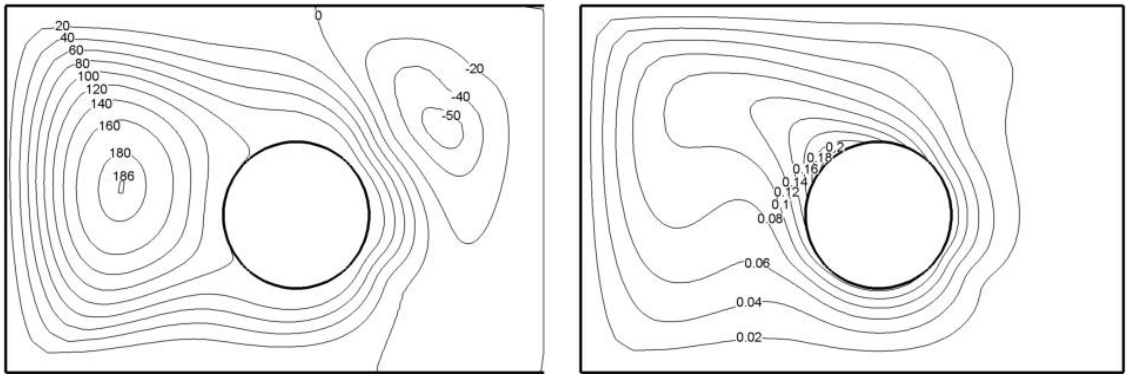


180, 0.1

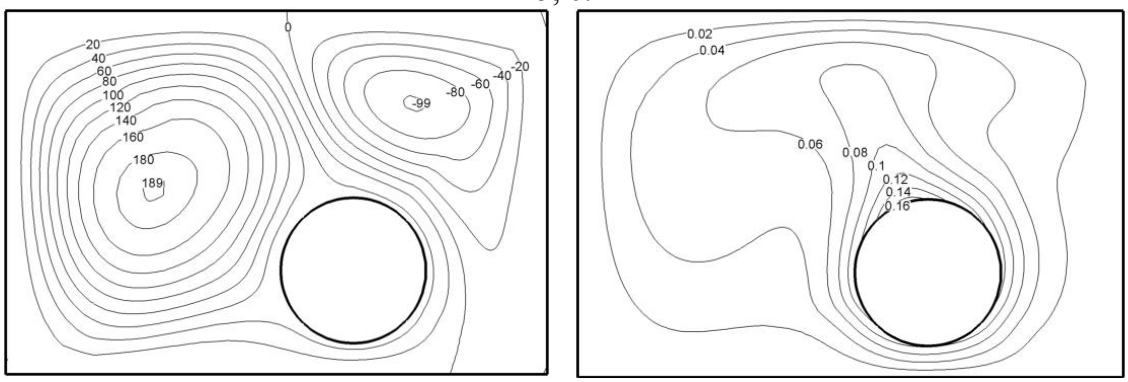


180,02

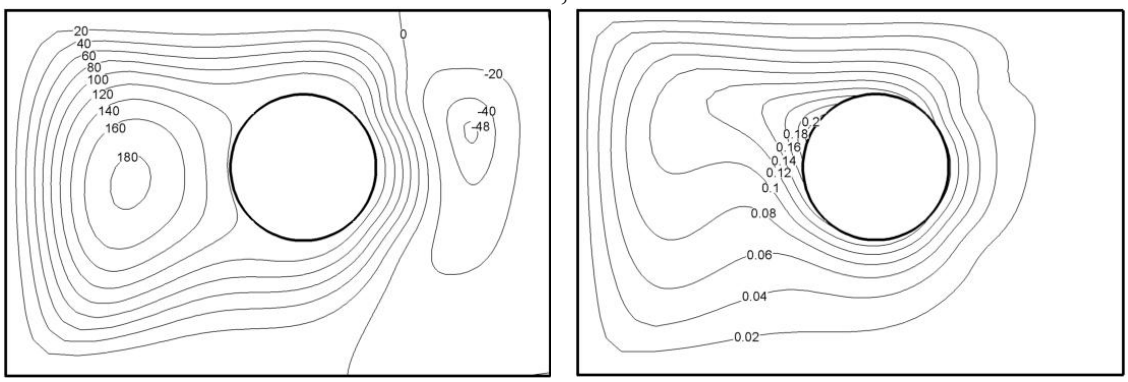
Şekil 4.69 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=0^0$ ve $\varphi=180^0$, eksantrikliğin 0.1, 0.2 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=5.10^5, Re=0.1, A/B=1.5)



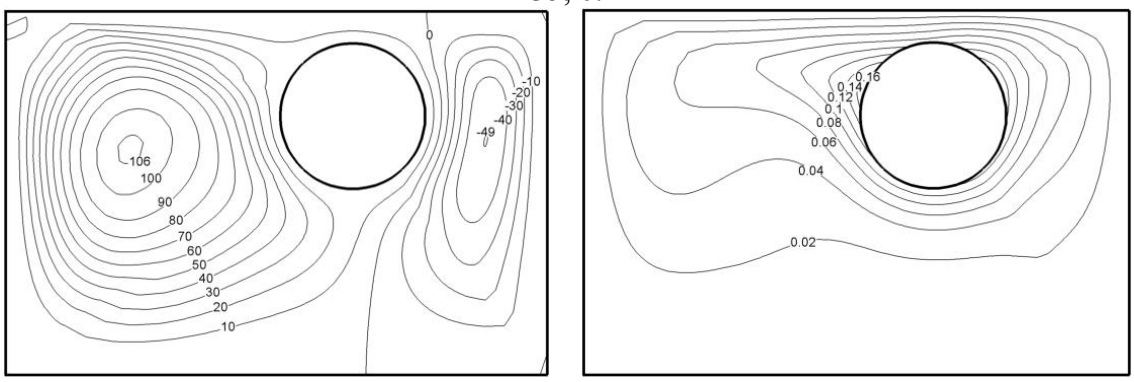
45, 0.1



45,03

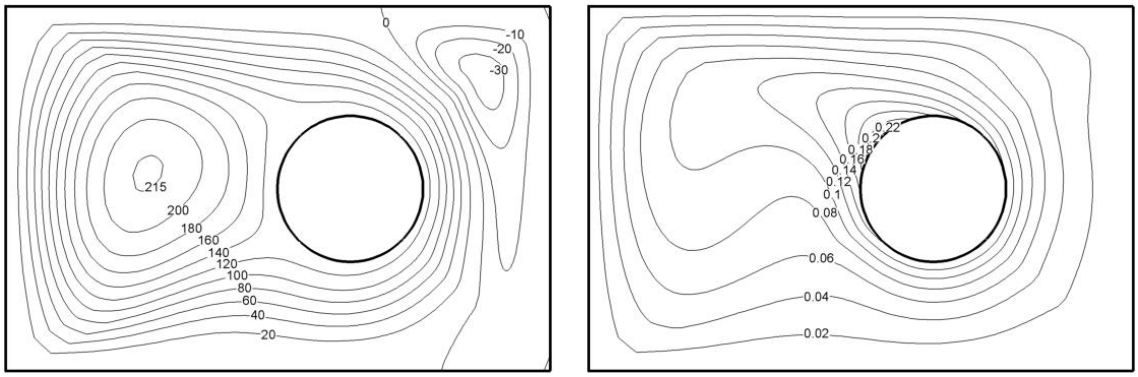


135, 0.1

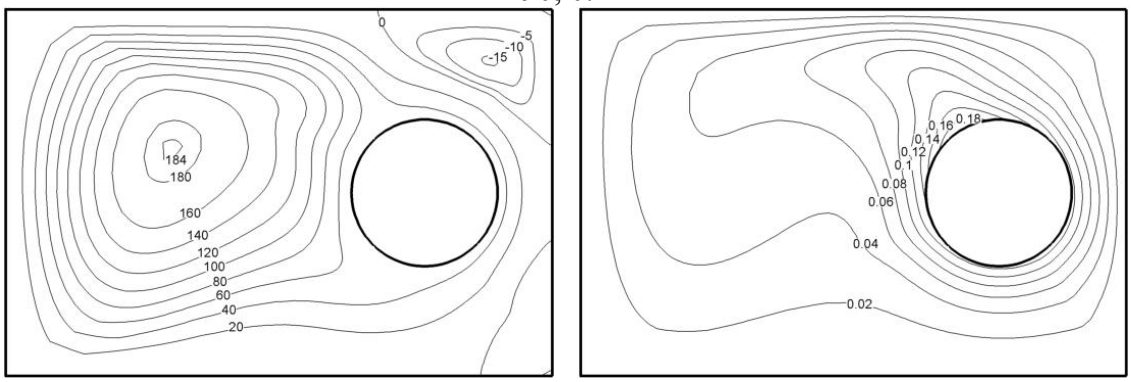


135,03

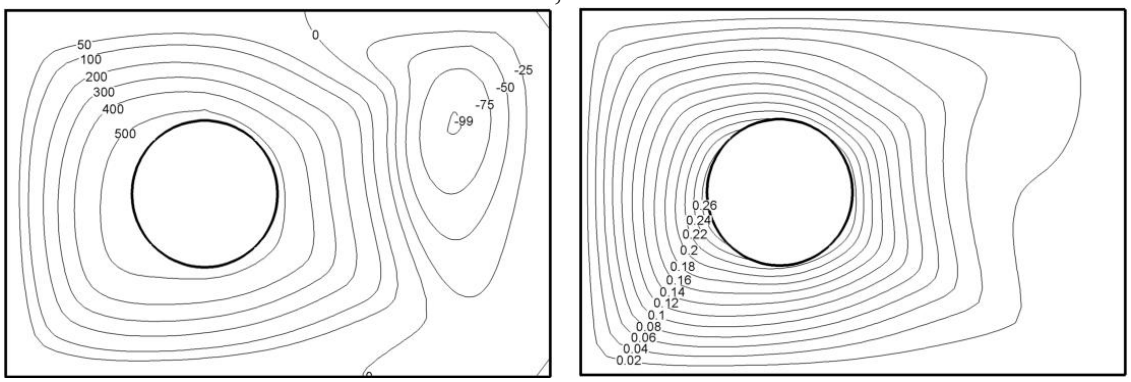
Şekil 4.70 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=45^0$ ve $\varphi=135^0$, eksantrikliğin 0.1, 0.3 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=5.10^5, Re=0.1, A/B=1.5)



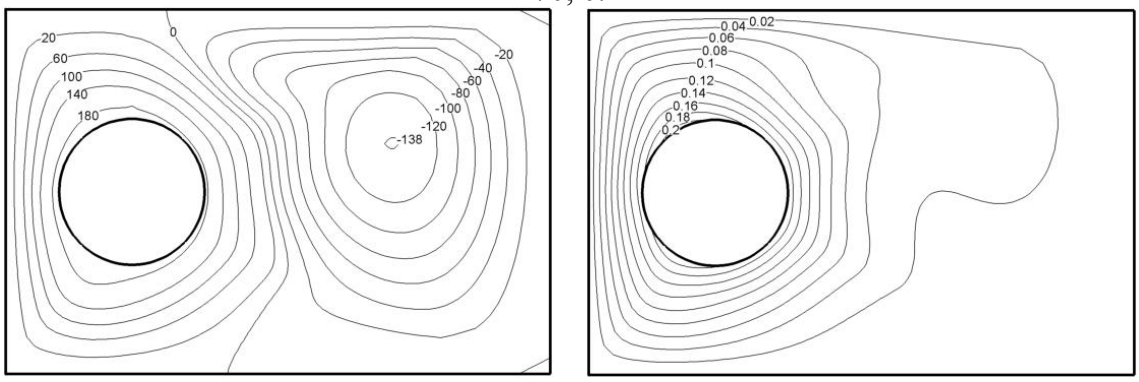
90, 0.2



90, 0.4

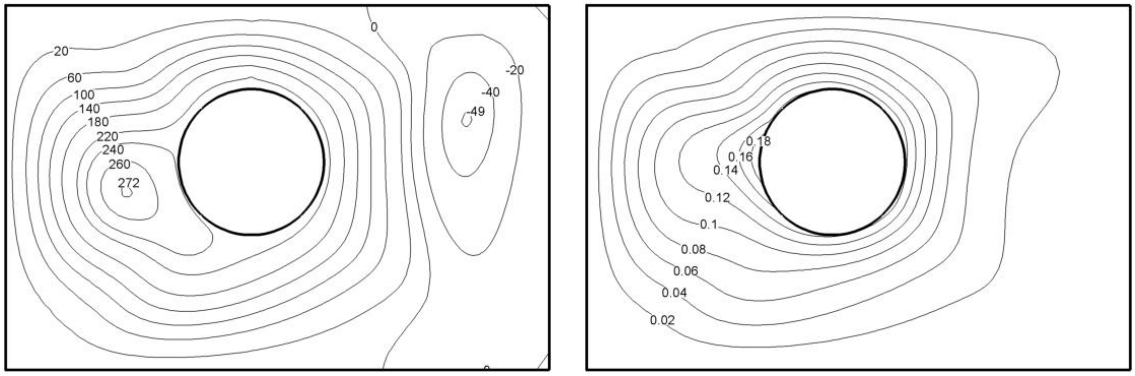


270, 0.2

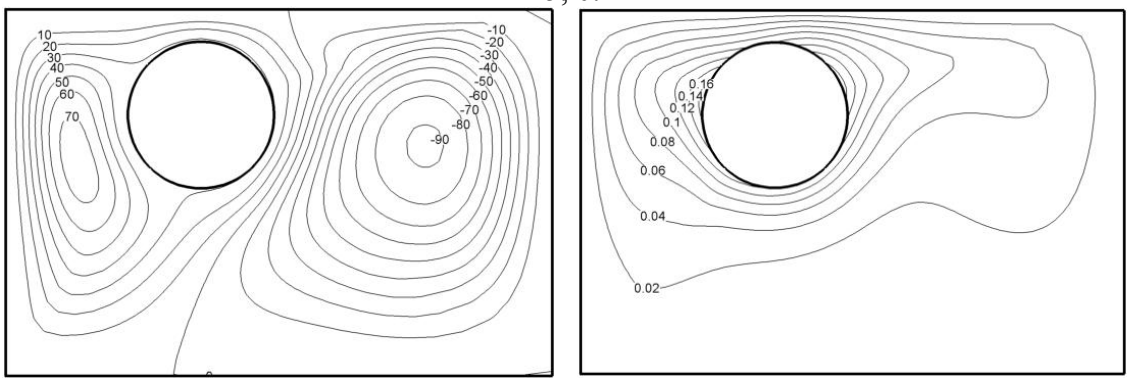


270, 0.4

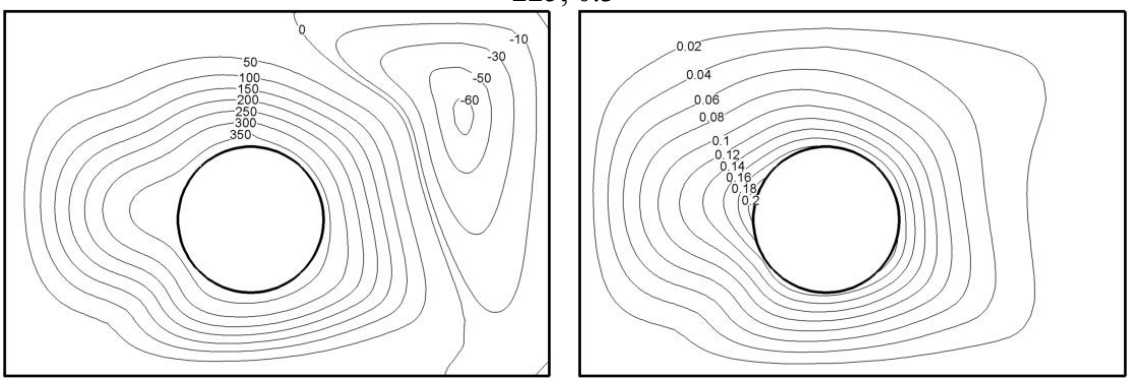
Şekil 4.71 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=90^0$ ve $\varphi=270^0$, eksantrikliğin 0.2, 0.4 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=5.10^5, Re=0.1, A/B=1.5)



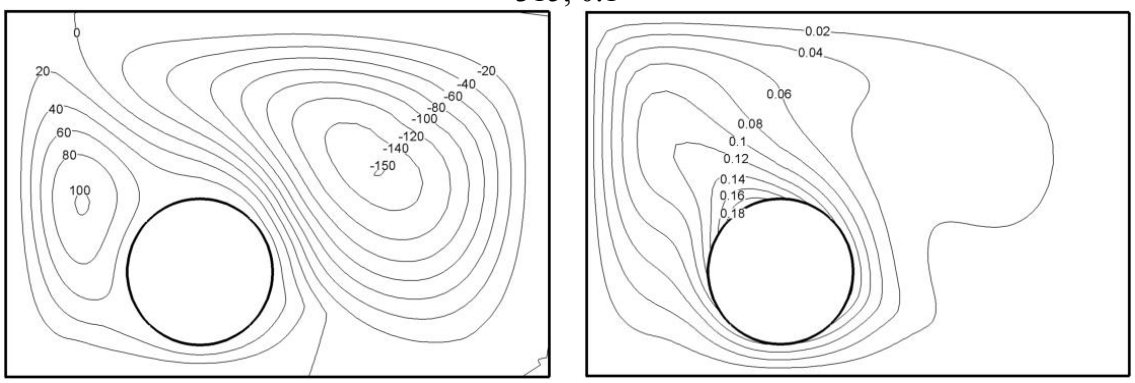
225, 0.1



225, 0.3



315, 0.1



315, 0.3

Şekil 4.72 Dış silindir dikdörtgen seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=225^0$ ve $\varphi=315^0$, eksantrikliğin 0.1, 0.3 olduğu durumlar için iç silindirde ısı akısı sınır koşulu uygulanması ile silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri ($r_i=0.2$, Pr=0.71, $Gr=5.10^5$, Re=0.1, A/B=1.5)

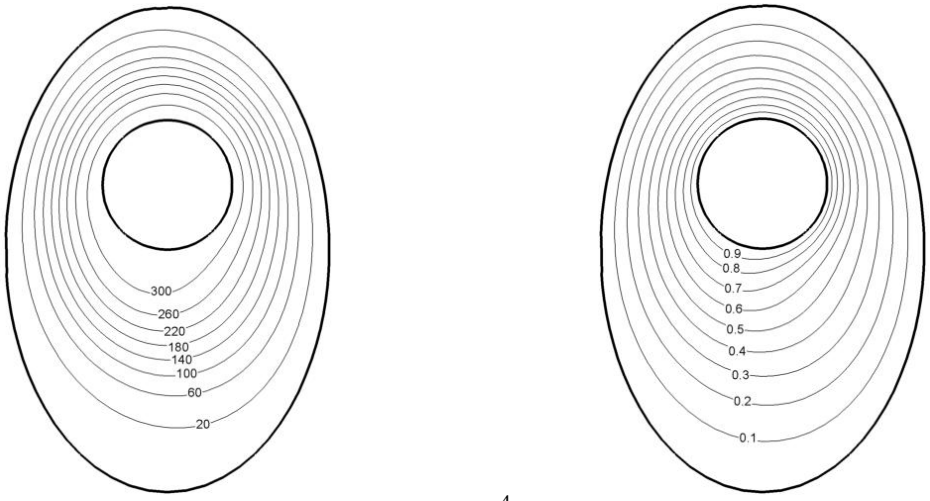
$\varphi = 270^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.71'de görülmektedir. Artan eksantriklik ile sağdaki edi genişleyip kuvvetlenirken, soldaki edi zayıflayıp küçülmüştür. Eksantriklik arttıkça iç silindirden doğuyormuş gibi gözüken eş sıcaklık eğrileri değerlerinin düştüğü görülmektedir.

$\varphi = 315^0$ alındığı durumda 2 farklı eksantriklik için oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.72'de görülmektedir. Sağdaki edi eksantriklik arttıkça genişlemekte ve güçlenmekte, solda iç silindiri saran edi küçülüp gücünü kaybetmektedir. Eş sıcaklık eğrileri eksantriklik arttıkça dönme yönünün tersine hareket etmektedir.

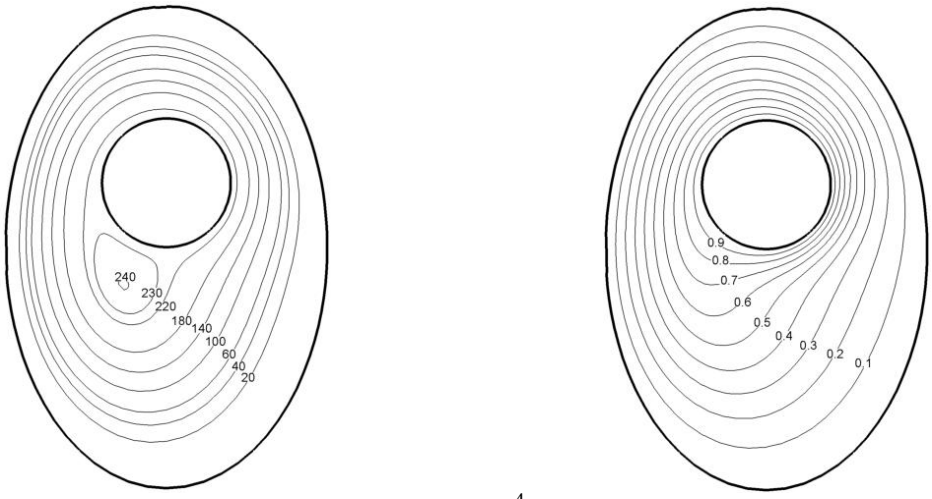
4.11. Dönen ve Sabit Sıcaklıktaki Dairesel İç Silindir ve Onu Çevreleyen Soğuk ve Elips Kesitli Eksantrik Olarak Yerleştirilmiş Bir Dış Silindir Arasında Kalan Bölgede Gerçekleşen Karışık Taşınıma Grashof Sayısının Etkisi

Grashof sayısının karışık taşınıma etkisini incelemek üzere dönen ve sabit sıcaklıktaki dairesel iç silindir ve onu çevreleyen soğuk ve elips kesitli eksantrik olarak yerleştirilmiş dış silindir durumu örnek durum seçilerek incelenmiştir. Seçilen örnek durum açısal pozisyon $\varphi=180^0$, eksantriklik 0.2, boyutsuz iç yarıçap 0.2, Re=0.1, Pr=0.71, dış silindirin düşey uzunluğunun yatay uzunluğuna oranı 1.5 alınarak hazırlanmıştır. Bahsedilen tüm özellikler sabit tutularak, Grashof sayısının $Gr=10^4$, $Gr=5.10^4$, $Gr=10^5$, $Gr=5.10^5$, $Gr=10^6$ değerleri için silindirler arasında kalan bölgedeki akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri elde edilmiştir. Grashof sayısı kaldırma kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranı olarak tanımlanabilir. Bu yüzden karışık taşınım akışında doğal taşınımı temsil etmektedir.

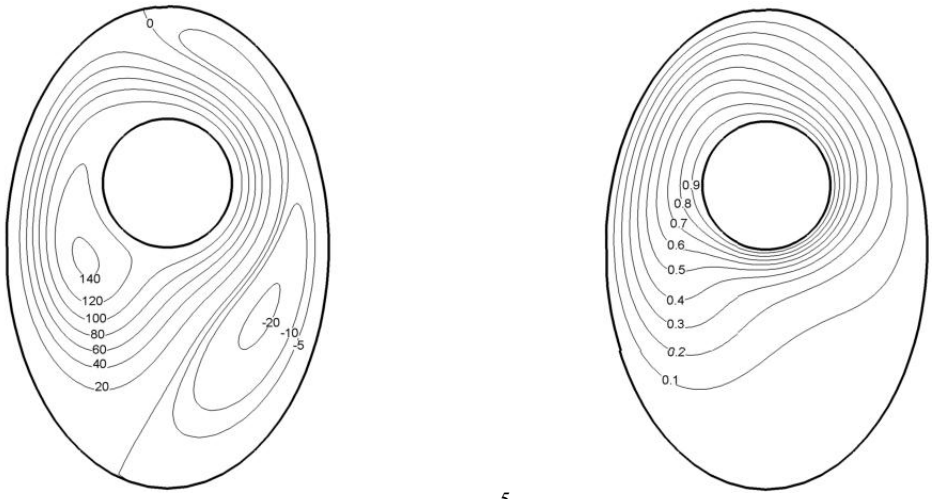
$Gr=10^4$ alındığında silindirler arası bölgedeki akışın tamamen zorlanmış taşınım yolu ile gerçekleştiği görülmektedir. de görüleceği üzere hem akım çizgileri, hem de eş sıcaklık eğrileri tamamen dönmenin etkisi ile iç silindiri çevreleyen çemberler şeklinde oluşmaktadır.



$Gr=10^4$

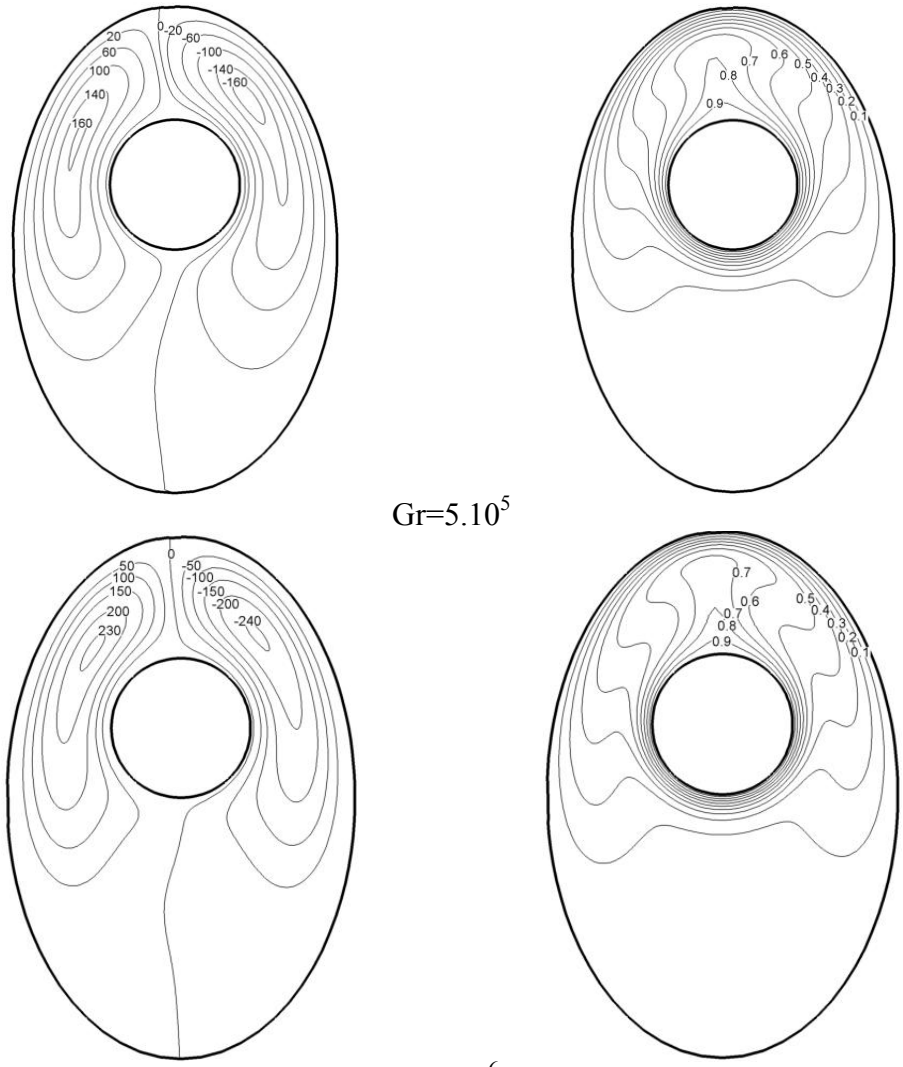


$Gr=5.10^4$



$Gr=10^5$

Şekil 4.73 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=180^0$, eksantrikliğin 0.2 olduğu durumda $Gr=10^4$, $Gr=5.10^4$, $Gr=10^5$ değerleri için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Re=0.1, B/A=1.5)



Şekil 4.74 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=180^0$, eksantrikliğin 0.2 olduğu durumda $Gr=5.10^5$, $Gr=10^6$ değerleri için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Re=0.1, B/A=1.5)

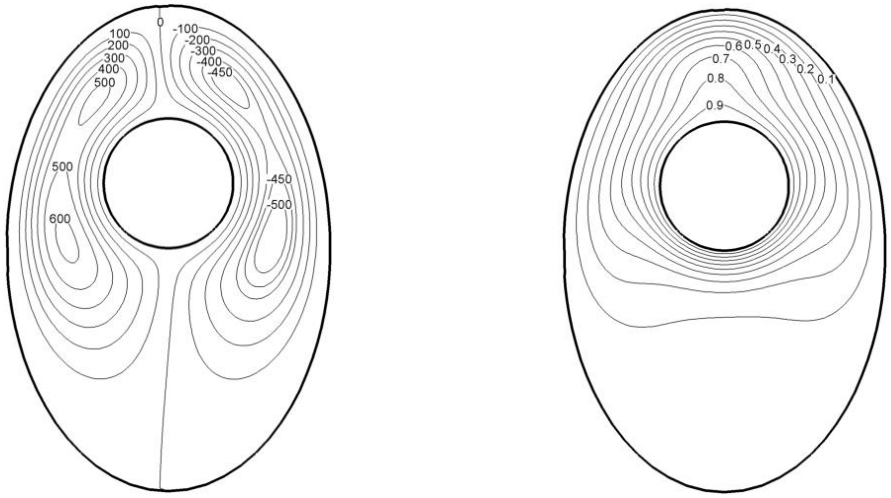
Gr=5.10^4'e çıkarıldığında az da olsa doğal taşınımın etkilerinin başladığı, akım çizgilerinin döngüyü çevreleyen tek bir edi oluşturması, eş sıcaklık eğrilerinin de eşmerkezli çember görüntüsünden çıkıp sıcaklık gradyanlarını daha belirgin göstermesi Şekil 4.73'ten anlaşılabilir.

Gr=10^5 olduğunda doğal taşınım ve zorlanmış taşınımın her ikisinin de etkileri bir arada Şekil 4.73'ten açık bi şekilde gözlenmektedir. Farklı yönlere doğru hareket eden iki edili akış düzeni oluşmuş, eş sıcaklık eğrileri de dönmeden daha az etkilenip bir önceki duruma göre dönme yönünün tersine yönelmiş gözükmektedirler.

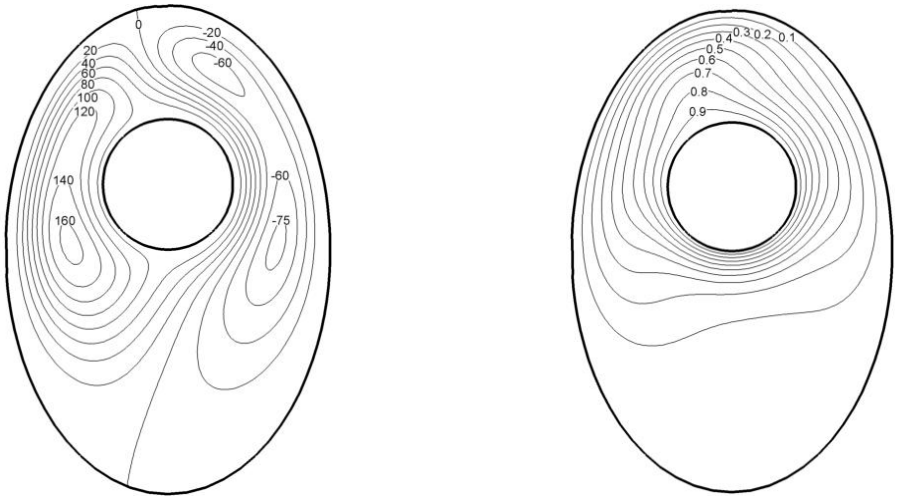
Gr=5.10^5, Gr=10^6 değerleri için Şekil 4.74'e bakıldığında şekilsel olarak ısı transferinin tamamen doğal taşınım yolu ile gerçekleştiği söylenilebilir. Silindirlerin merkezini birleştiren çizgiye göre simetrik farklı yönlere doğru hareket eden iki edinin oluştuğu, eş sıcaklık eğrilerinin de tamamıyle doğal taşınımın etkisi ile yukarıya (yerçekimine karşı yöne) doğru yöneldikleri gözlenmektedir. Gr sayısı küçükken aşağıda durgunluk alanı oluşmazken, Gr sayısı arttığında aşağıda kalan durgunluk alanının da giderek arttığını görmekteyiz. Gr=10^6 da elde edilen sıcaklık gradyanlarının aralarındaki mesafenin Gr=5.10^5'tekilere göre arttığı da görülmektedir.

4.12. Dönen ve Sabit Sıcaklıktaki Dairesel İç Silindir ve Onu Çevreleyen Soğuk ve Elips Kesitli Eksantrik Olarak Yerleştirilmiş Bir Dış Silindir Arasında Kalan Bölgede Gerçekleşen Karışık Taşınıma Reynolds Sayısının Etkisi

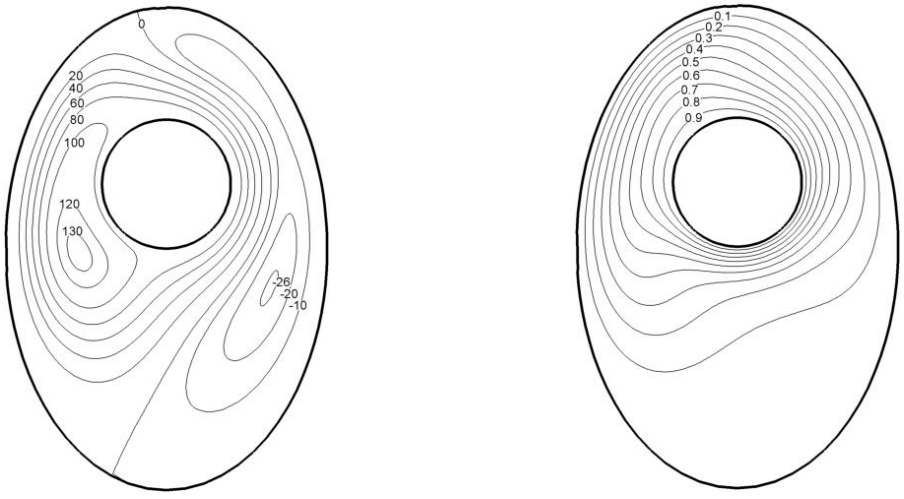
Reynolds sayısının karışık taşınıma etkisini incelemek üzere dönen ve sabit sıcaklıktaki dairesel iç silindir ve onu çevreleyen soğuk ve elips kesitli eksantrik olarak yerleştirilmiş dış silindir durumu örnek durum seçilerek incelenmiştir. Seçilen örnek durum açısal pozisyon $\varphi=180^0$, eksantriklik 0.2, boyutsuz iç yarıçap 0.2, Gr=10^5, Pr=0.71, dış silindirin düşey uzunluğunun yatay uzunluğuna oranı 1.5 alınarak hazırlanmıştır. Bahsedilen tüm özellikler sabit tutularak, Reynolds sayısının Re=0.01, Re=0.05, Re=0.09, Re=0.1, Re=0.2, Re=0.5 değerleri için silindirler arasında kalan



Re=0.01

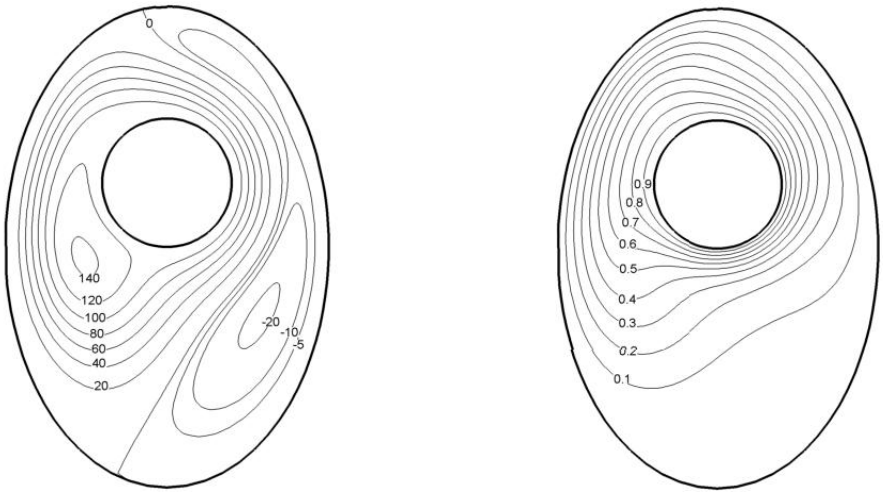


Re=0.05

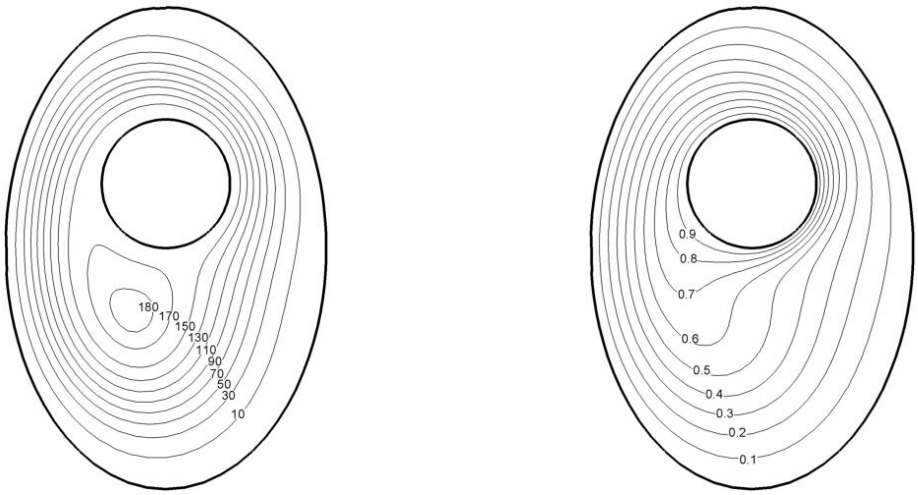


Re=0.09

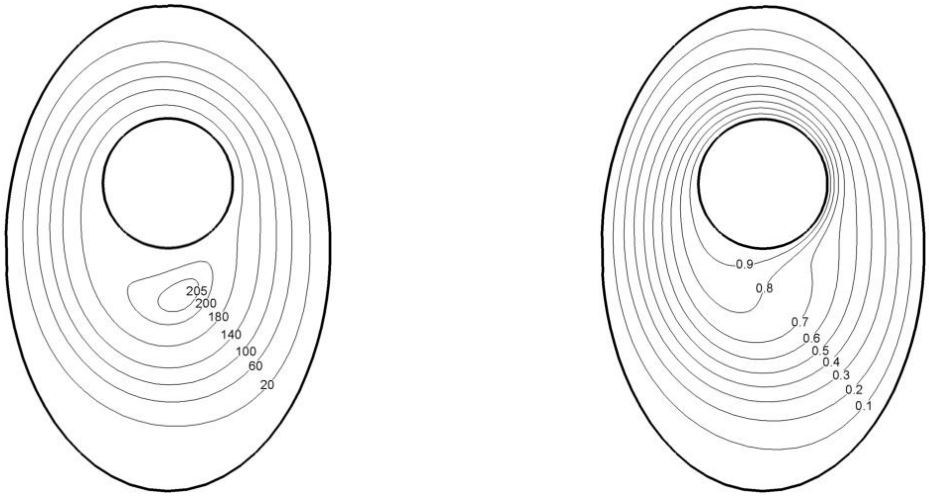
Şekil 4.75 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=180^0$, eksantrikliğin 0.2 olduğu durumda Re=0.01, Re=0.05 ve Re=0.09 değerleri için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, B/A=1.5)



Re=0.1



Re=0.2



Re=0.5

Şekil 4.76 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=180^0$, eksantrikliğin 0.2 olduğu durumda Re=0. 1, Re=0.2 ve Re=0.5 değerleri için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, B/A=1.5)

bölgedeki akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri elde edilmiştir. Reynolds sayısı atalet kuvvetlerinin sürtünme kuvvetlerine oranıdır. Re sayısının küçük değerlerinde sürtünme kuvveti atalet kuvvetlerine göre yeterince büyüktür ve laminer akış korunur. Ancak Re'nin artan değerleriyle sürtünme kuvvetleri atalet kuvvetlerinin yanında küçük kalır ve küçük çalkantılar büyüyerek türbülansa geçişi sağlar. Karışık taşınımda Reynolds sayısı zorlanmış taşınımı temsil eder.

Şekil 4.75'den Re=0.01 durumunda Reynolds sayısı Grashof sayısının yanında oldukça küçük olduğundan yalnızca doğal taşınımın etkileri görülmektedir. Bu durumda beklenildiği üzere silindirlerin merkezlerini birleştiren düşey çizgiye göre simetrik farklı yönlerde dönen iki edi, eş sıcaklık eğrilerinin de tam yukarıya doğru yöneldikleri görülmektedir.

Re=0.05 durumunda doğal taşınımın yanı sıra dönmenin de etkileri görülmeye başlamaktadır. Bir önceki durumda akım çizgilerinde oluşan simetri bozulmakta, bunun yerine dönmenin etkisi ile solda oluşan edi iç silindiri sarmakta, sağ taraftaki edi de aynı yöne dönen iki döngüyü sararak oluşmaktadır. Eş sıcaklık eğrilerinin de hafifçe dönüş yönüne eğildikleri görülmektedir.

Re=0.09 ve Re=0.1 durumları Re sayıları arasındaki farkın az olmasından dolayı birbirine benzemektedir. Re sayısı arttıkça iç silindiri saran edi güçlenmekte sağ taraftaki ediyi sıkıştırmaktadır. Bir önceki durumda sağdaki edinin içinde oluşan döngülerden biri bu durumda yok olmaktadır. Eş sıcaklık eğrilerinin de artık iyice dönüş yönüne eğildikleri görülmektedir.

Re=0.2 ve Re=0.5 durumlarında Re sayısı arttığı için ısı transferi üzerinde artık zorlanmış taşınımın etkili olduğu görülmektedir. Sağdaki edi yok olmakta, akış alanını soldaki edi güçlenerek kaplamaktadır. Edinin merkezi dönmenin etkisi ile aşağıya (iç silindirin altına) doğru kaymaktadır. Eş sıcaklık eğrilerinin de aynı şekilde sağ aşağıya doğru yönlendikleri görülmektedir. Ayrıca Re sayısının küçük olduğu durumlarda iç silindirin altında oluşan durgunluk bölgesi de Re sayısı arttıkça yok olmaktadır.

4.13. Dönen ve Sabit Sıcaklıktaki Dairesel İç Silindir ve Onu Çevreleyen Soğuk ve Elips Kesitli Eksantrik Olarak Yerleştirilmiş Bir Dış Silindir Arasında Kalan Bölgede Gerçekleşen Karışık Taşınıma İç Silindir Yarıçapının Etkisi

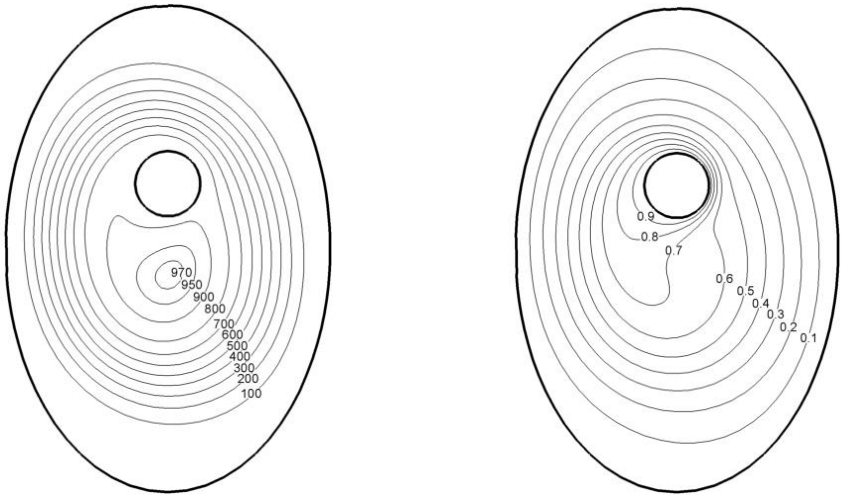
İç silindir yarıçapının karışık taşınıma etkisini incelemek üzere dönen ve sabit sıcaklıktaki dairesel iç silindir ve onu çevreleyen soğuk ve elips kesitli eksantrik olarak yerleştirilmiş dış silindir durumu örnek durum seçilerek incelenmiştir. Seçilen örnek durum açısal pozisyon $\varphi=180^0$, eksantriklik 0.2, $Gr=10^5$, Pr=0.71, Re=0.1 ,dış silindirin düşey uzunluğunun yatay uzunluğuna oranı 1.5 alınarak hazırlanmıştır. Bahsedilen tüm özellikler sabit tutularak, iç silindirin yarıçapı $r_i=0.10$, $r_i=0.15$, $r_i=0.20$, $r_i=0.25$, $r_i=0.30$ değerleri için silindirler arasında kalan bölgedeki akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri elde edilmiştir.

$r_i=0.10$ seçildiğinde ısı transferi yalnızca zorlanmış taşınım yolu ile gerçekleşiyormuş gibi bir akış deseni ve eşsıcaklık eğrileri elde edilmektedir.

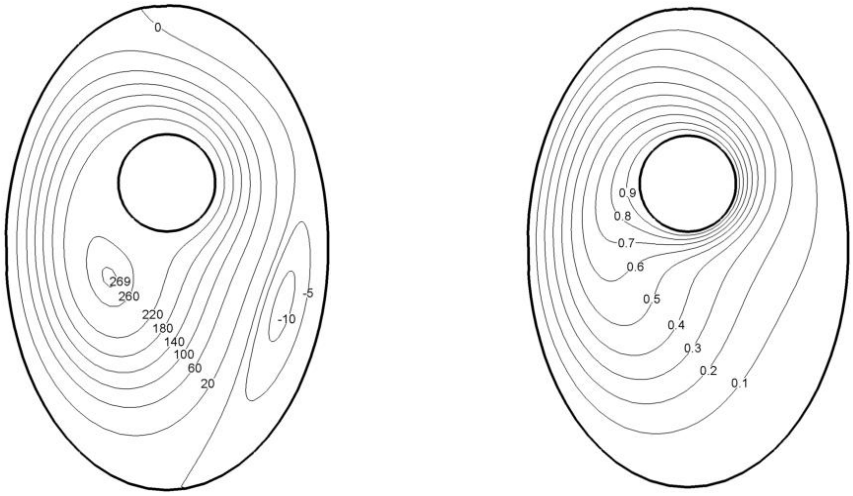
$r_i=0.15$ durumunda iç silindiri çevreleyen büyük edinin yanı sıra sağ alt tarafta küçük bir edinin daha oluştuğu görülmektedir. Bir önceki durumda iç silindiri çevreleyen edi bu durumda biraz zayıflamıştır. Bir önceki durumda sağ aşağıya doğru yönelmiş olarak oluşan eş sıcaklık eğrilerinin de dönüş yönünün tersine hareketlendiği görülmektedir.

$r_i=0.20$ durumunda iç silindiri çevreleyen edi daha zayıflamış, diğer edi güçlenmiştir. Bu da artan iç yarıçapla birlikte doğal taşınımın etkilerinin görülmeye başlandığını göstermektedir. Eş sıcaklık eğrileri de dönüş yönünün tersine doğru hareketlerine devam etmektedirler.

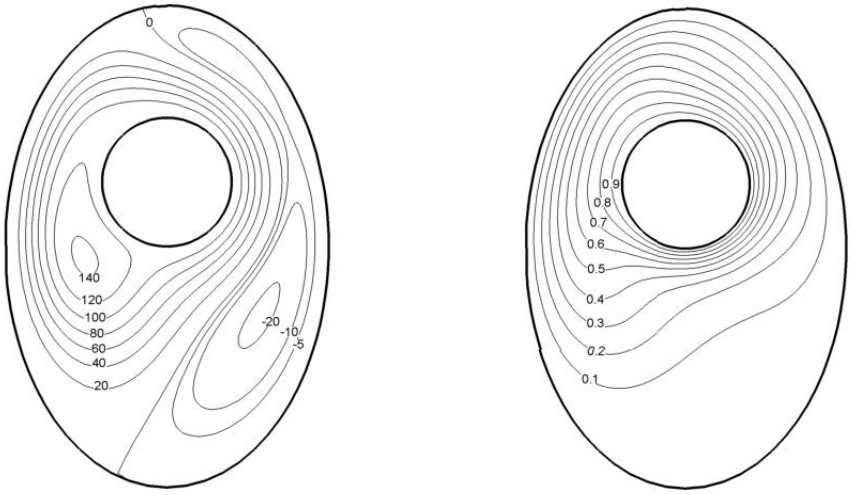
$r_i=0.25$, $r_i=0.30$ durumlarında da doğal taşınımın giderek etkisini arttırdığını, iç silindiri çevreleyen edinin zayıflayıp, diğer edinin güçlenmesinden görülmektedir.



r_i=0.10

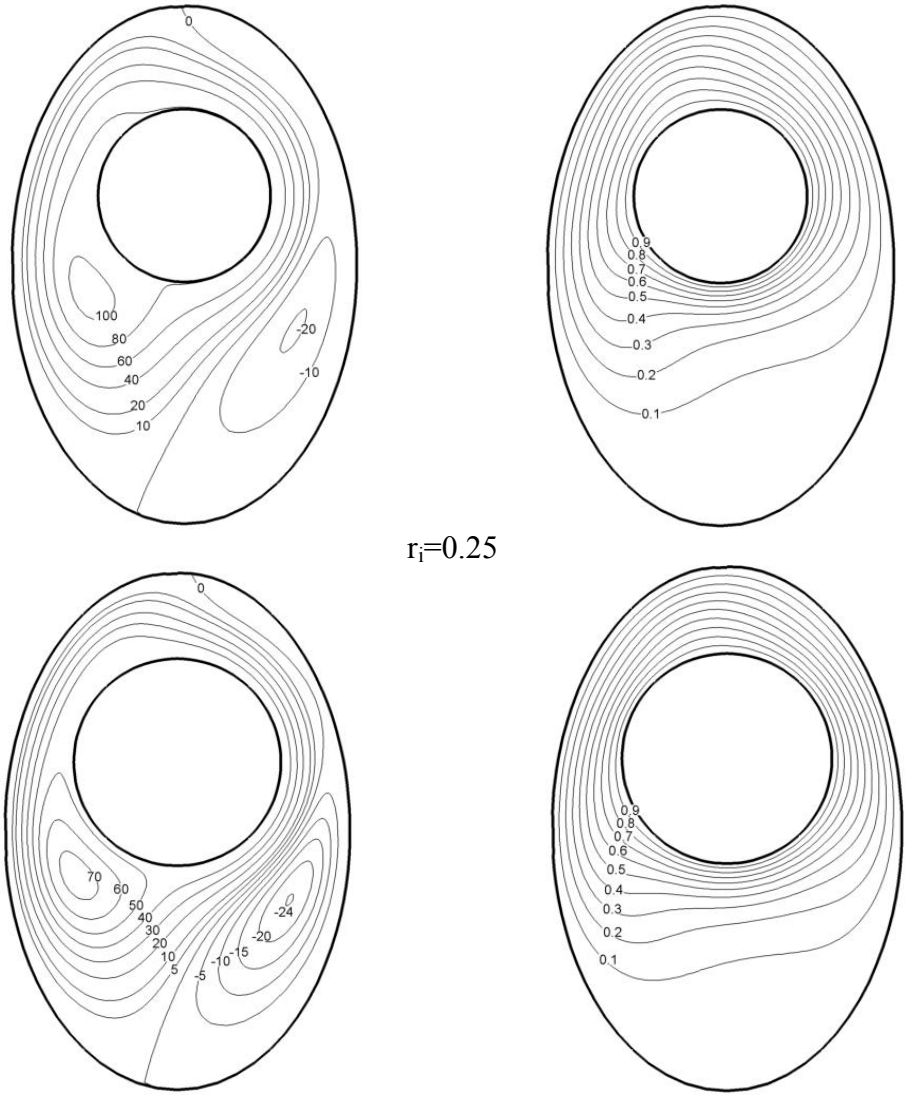


r_i=0.15



r_i=0.20

Şekil 4.77 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=180^0$, eksantrikliğin 0.2 olduğu durumda r_i=0.10, r_i=0.15, r_i=0.20 değerleri için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Re=0.1, $Gr=10^5$, B/A=1.5)



r_i=0.25

r_i=0.30

Şekil 4.78 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=180^0$, eksantrikliğin 0.2 olduğu durumda r_i=0.25, r_i=0.30 değerleri için sabit sıcaklıkta tutulan silindirler arasındaki bölgede elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, Re=0.1, $Gr=10^5$,B/A=1.5)

4.14. Dönen ve Sabit Sıcaklıktaki Dairesel İç Silindir ve Onu Çevreleyen Soğuk ve Kare Kesitli Eksantrik Olarak Yerleştirilmiş Bir Dış Silindir Arasında Kalan Bölgede Gerçekleşen Karışık Taşınım Akışında İç silindir Üzerindeki Nusselt Sayısının ξ ile Değişimi

$\varphi = 0^0$ açısal pozisyonu ve bu açısal pozisyondaki 4 farklı eksantriklik için ξ yani düşey eksenden saatin ters yönüne ölçülen açısal koordinat ile iç silindir üzerindeki yerel Nusselt sayısının değişimi Şekil 4.79a'da görülmektedir. 0 ile π/2 arasında tüm eksantrikliklerde Nusselt sayısında bir düşme görülmektedir. Bunun nedeni, Şekil 4.2'de bahsedilen açısal pozisyonun farklı eksantriklikleri için çizilen eş sıcaklık eğrilerine bakılarak kolayca anlaşılabilir. Sıcaklık deseni incelendiğinde tüm eksantriklikler için 0 ile π/2 arasındaki bölgede sıcaklık gradyanlarının diğer bir deyişle eş sıcaklık eğrilerinin birbirinden uzaklaştığı görülmektedir. Şekil 4.79a ve Şekil 4.2 beraberce incelendiğinde Nusselt sayısının maksimum olduğu yerlerin eş sıcaklık eğrilerinin birbirine çok yaklaştığı yerler olduğu söylenebilir. $\varphi = 0^0$ açısal pozisyonunda artan eksantriklik ile dış silindir kuzeye doğru ilerlediğinden, özellikle ε=0.25 durumunda iç silindirin alt kısmı ile dış silindir birbirine çok yaklaşmıştır. Bu yüzden, ξ= π olduğunda Nu sayısının maksimum değeri elde edilmiştir. ξ=0=2π olduğundan Nu sayılarının 0 ve 2π'de aynı çıktıkları görülmektedir.

$\varphi = 45^0$ açısal pozisyonu ve bu açısal pozisyondaki 4 farklı eksantriklik için ξ yani düşey eksenden saatin ters yönüne ölçülen açısal koordinat ile iç silindir üzerindeki yerel Nusselt sayısının değişimi Şekil 4.79b'de görülmektedir. $\varphi = 0^0$ açısal pozisyonunda olduğu gibi $\varphi = 45^0$ açısal pozisyonunda da 0 ile π/2 arasında dış silindir yüzeyi iç silindir yüzeyinden uzaklaştığı için eş sıcaklık eğrileri birbirinden uzaklaşmakta ve bu da Nu sayısında düşmeye neden olmaktadır. ξ= π/2 ve ξ= π arasında bütün eksantriklikler için Nu sayısı maksimum değerini almıştır, bunun nedeni Şekil 4.3 deki eş sıcaklık eğrilerinden de görülebileceği gibi sıcaklık gradyanlarının bu aralıkta birbirine en fazla yaklaşmış olmalarıdır. ξ= π ve ξ= 3π/2 arasında eş sıcaklık eğrileri birbirinden biraz ayrılmakta bu da Nu sayısında düşmeye sebep olmaktadır. ξ= 3π/2'ye

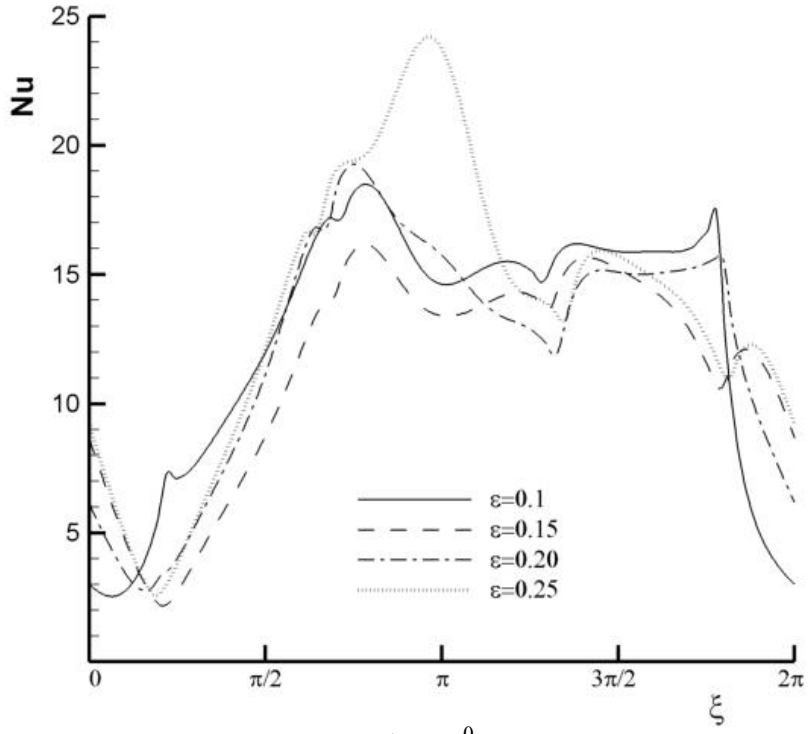
yaklaştığında çizgiler birbirine yaklaşmakta buna bağlı olarak Nu sayısında biraz yükselme gözlenmektedir.

$\varphi = 90^0$ açısal pozisyonu ve bu açısal pozisyondaki 4 farklı eksantriklik için ξ yani düşey eksenden saatin ters yönüne ölçülen açısal koordinat ile iç silindir üzerindeki yerel Nusselt sayısının değişimi Şekil 4.80a'da görülmektedir. 0 ile $\pi/2$ arasında bütün eksantriklikler için önceki açısal pozisyonlarda olduğu gibi eş sıcaklık eğrilerinin birbirinden uzaklaşması sonucu Nu sayısının minimum değer aldığı görülmektedir. ε=0.25 durumunda Nu sayısının maksimum değerinin $\xi = 3\pi/2$'de elde edildiği görülmektedir. Şekil 4.4 incelendiğinde ε=0.25 eksantrikliğinde $\xi = 3\pi/2$'nin iç silindir ve dış silindirin birbirine en yakınlaştığı konum olduğu anlaşılmaktadır. ε=0.15 eksantrikliğinde Nu sayısının maksimum değeri $\xi = \pi\text{-}3\pi/2$ aralığında görülürken, kalan eksantrikliklerde $\xi = \pi/2\text{-}\pi$ aralığında görülmektedir.

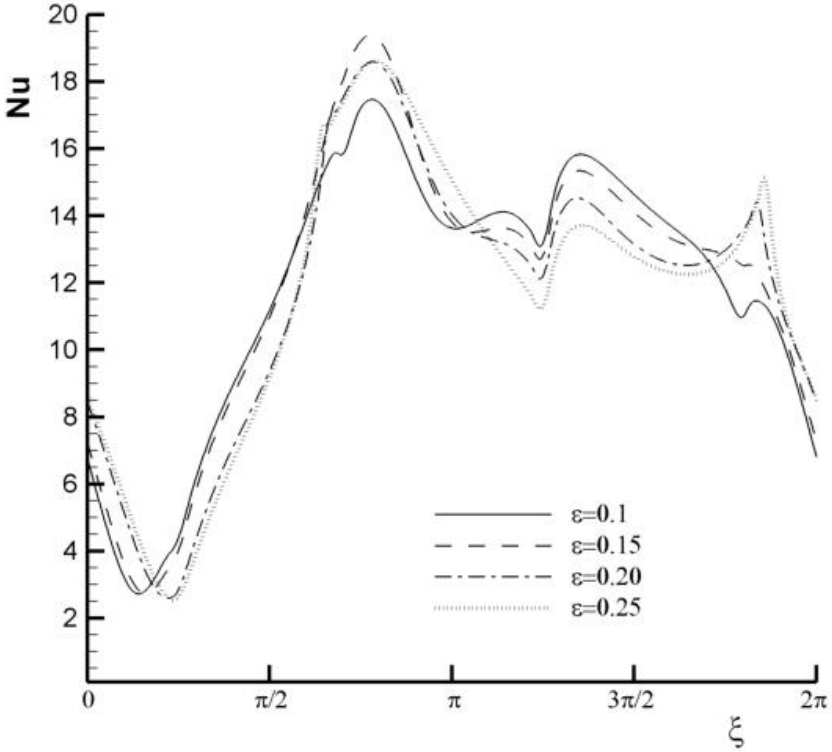
$\varphi = 135^0$ açısal pozisyonu ve bu açısal pozisyondaki 4 farklı eksantriklik için ξ yani düşey eksenden saatin ters yönüne ölçülen açısal koordinat ile iç silindir üzerindeki yerel Nusselt sayısının değişimi Şekil 4.80b'de görülmektedir. 0 ile $\pi/2$ arasında bütün eksantriklikler için önceki açısal pozisyonlarda olduğu gibi Şekil 4.5 incelendiğinde eş sıcaklık eğrilerinin birbirinden uzaklaşması sonucu Nu sayısının minimum değer aldığı görülmektedir. Tüm eksantriklikler için bu açısal pozisyonda yerel Nu sayısının maksimum değeri $\xi = \pi/2\text{-}\pi$ aralığında elde edilmektedir. $\xi = 3\pi/2$'de de eş sıcaklık eğrileri yakınlaştığından yine Nu sayısında artış gözlenmektedir.

$\varphi = 180^0$ açısal pozisyonu ve bu açısal pozisyondaki 4 farklı eksantriklik için ξ yani düşey eksenden saatin ters yönüne ölçülen açısal koordinat ile iç silindir üzerindeki yerel Nusselt sayısının değişimi Şekil 4.81a'da görülmektedir. 0 ile $\pi/2$ arasında eş sıcaklık eğrilerinin birbirinden uzaklaşması sonucu Nu sayısının minimum değer aldığı görülmektedir. Nu sayısının maksimum değeri ε=0.10 için $\xi = \pi\text{-}3\pi/2$ aralığında, ε=0.15 ve ε=0.20 için $\xi = \pi$'ye yakın, ε=0.25 için 0'da elde edilmektedir. Bu açısal pozisyonda dış silindir aşağı indiğinden ε=0.25 durumunda iç silindirin üst kısmı ve dış silindir birbirine çok yakın olmakta ve bu yüzden eş sıcaklık eğrileri birbirine yakınlaşmakta bu da yerel Nu sayısında artışa neden olmaktadır.

$\varphi = 225^0$ açısal pozisyonu ve bu açısal pozisyondaki 4 farklı eksantriklik için ξ yani düşey eksenden saatin ters yönüne ölçülen açısal koordinat ile iç silindir üzerindeki

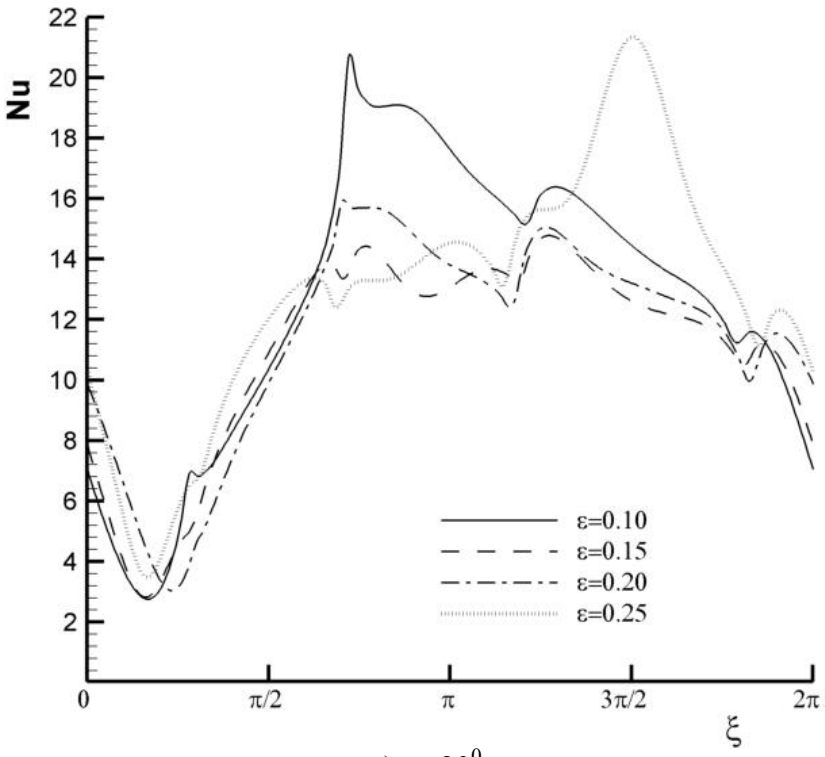


a-) $\varphi=0^0$

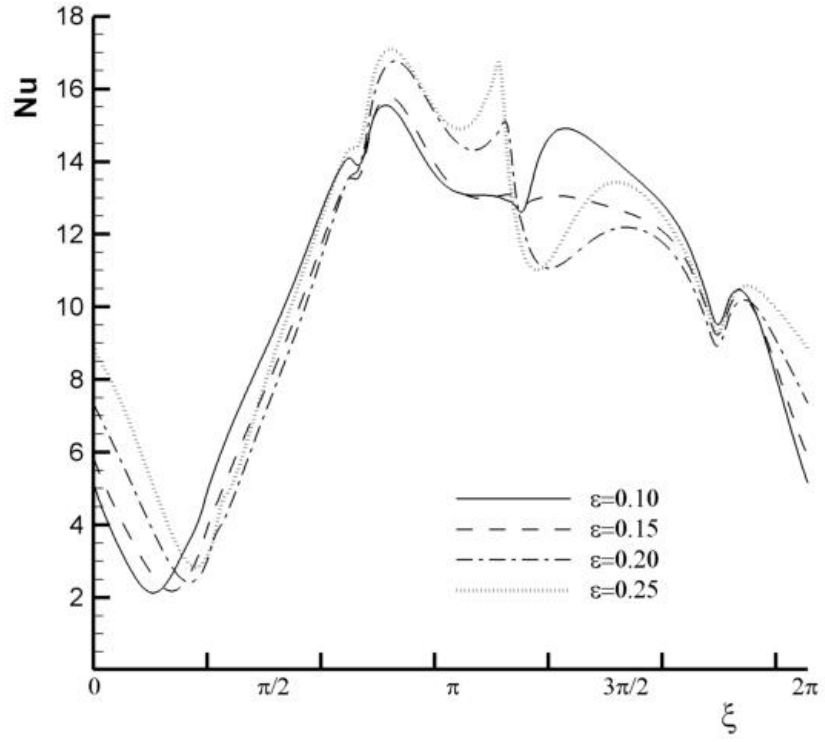


b-) $\varphi=45^0$

Şekil 4.79 Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=0^0$ ve $\varphi=45^0$, olduğu durumda iç silindir boyunca yerel Nusselt sayısının değişimi eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=10^6$, Re=1)

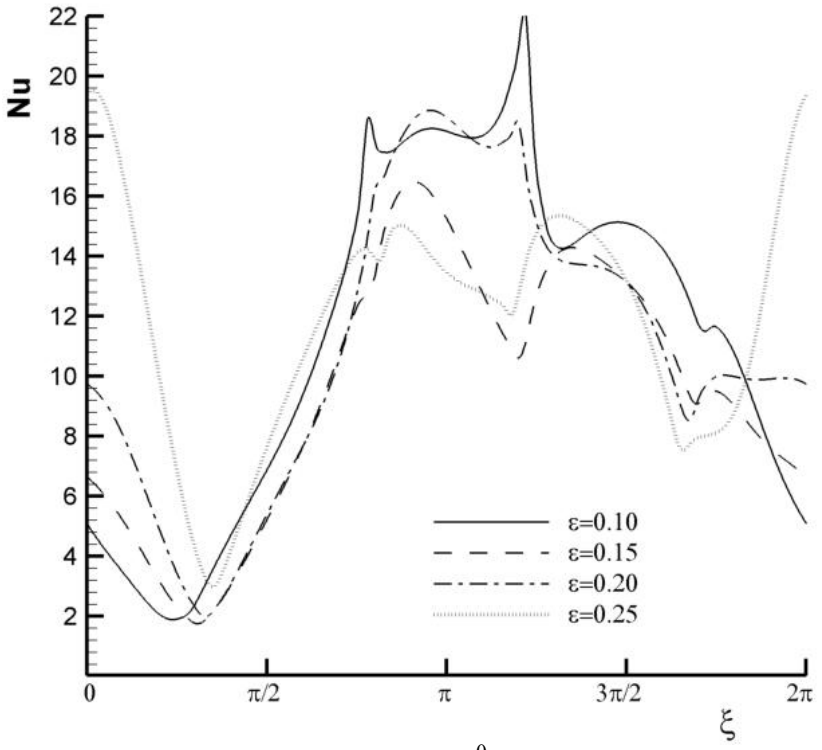


a-) $\varphi=90^0$

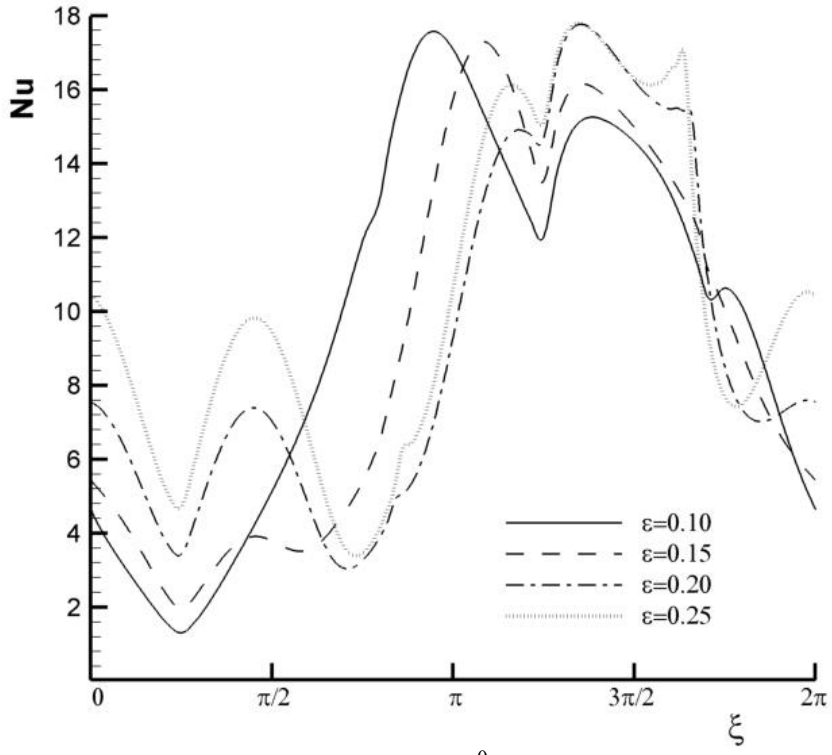


b-) $\varphi=135^0$

Şekil 4.80 Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=90^0$ ve $\varphi=135^0$, olduğu durumda iç silindir boyunca yerel Nusselt sayısının değişimi eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=10^6$, Re=1)

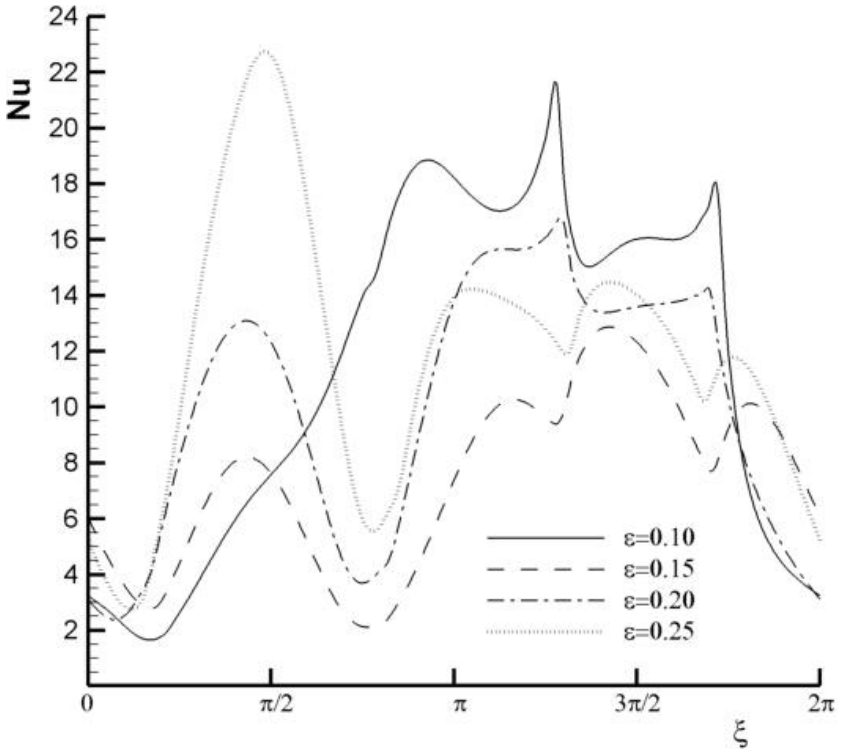


a-) $\varphi=180^0$

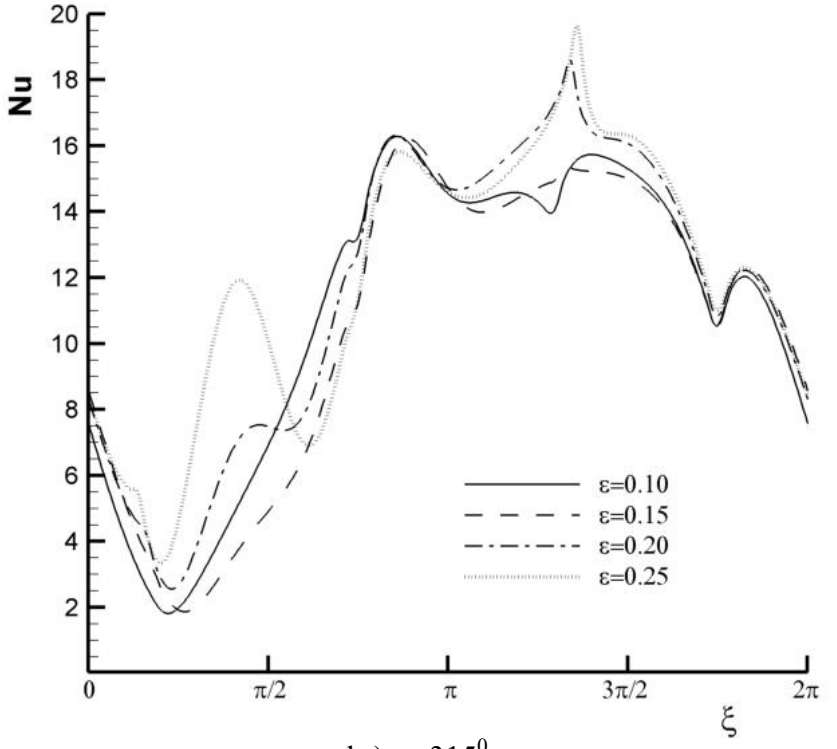


b-) $\varphi=225^0$

Şekil 4.81 Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=180^0$ ve $\varphi=225^0$, olduğu durumda iç silindir boyunca yerel Nusselt sayısının değişimi eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=10^6$, Re=1)



a-) $\varphi=270^0$



b-) $\varphi=315^0$

Şekil 4.82 Dış silindir kare seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=270^0$ ve $\varphi=315^0$, olduğu durumda iç silindir boyunca yerel Nusselt sayısının değişimi eğrileri (r_i=0.2, Pr=0.71, $Gr=10^6$, Re=1)

yerel Nusselt sayısının değişimi Şekil 4.81b'de görülmektedir. ε=0.10 ve ε=0.15 için minimum Nu sayısı ξ= 0-π/2 aralığında, ε=0.20 ve ε=0.25 için ξ= π/2-π aralığında elde edilmektedir. ε=0.10 ve ε=0.15 için maksimum Nu sayısı ξ= π'ye yakın, ε=0.20 ve ε=0.25 için ξ= 3π/2'ye yakın elde edilmektedir.

$\varphi = 270^0$ açısal pozisyonu ve bu açısal pozisyondaki 4 farklı eksantriklik için ξ yani düşey eksenden saatin ters yönüne ölçülen açısal koordinat ile iç silindir üzerindeki yerel Nusselt sayısının değişimi Şekil 4.82a'da görülmektedir. ε=0.10, ε=0.20 ve ε=0.25 için minimum Nu sayısı ξ= 0-π/2 aralığında, ε=0.15 için ξ= π/2-π aralığında elde edilmektedir. Şekil 4.8'deki eşsıcaklık eğrileri de bu verileri desteklemektedir. ε=0.10, ε=0.15 ve ε=0.20 için maksimum Nu sayısı ξ= π- 3π/2 arası, ε=0.25 için ξ= π/2'ye yakın elde edilmektedir.

$\varphi = 315^0$ açısal pozisyonu ve bu açısal pozisyondaki 4 farklı eksantriklik için ξ yani düşey eksenden saatin ters yönüne ölçülen açısal koordinat ile iç silindir üzerindeki yerel Nusselt sayısının değişimi Şekil 4.82b'de görülmektedir. 0 ile π/2 arasında bütün eksantriklikler için eş sıcaklık eğrilerinin birbirinden uzaklaşması sonucu Nu sayısının minimum değer aldığı görülmektedir. ε=0.10 ve ε=0.15 için maksimum Nu sayısı ξ= π'ye yakın çıkarken, ε=0.20 ve ε=0.25 için ξ= 3π/2'ye yakın çıkmaktadır.

4.15. Dönen ve Sabit Sıcaklıktaki Dairesel İç Silindir ve Onu Çevreleyen Soğuk ve Elips Kesitli Eksantrik Olarak Yerleştirilmiş Bir Dış Silindir Arasında Kalan Bölgede Gerçekleşen Karışık Taşınım Akışında İç silindir Üzerindeki Nusselt Sayısının ξ ile Değişimi

$\varphi = 0^0$ açısal pozisyonu ve bu açısal pozisyondaki 4 farklı eksantriklik için ξ yani düşey eksenden saatin ters yönüne ölçülen açısal koordinat ile iç silindir üzerindeki yerel Nusselt sayısının değişimi Şekil 4.83a'da görülmektedir. Her iki eksantriklik için de minimum Nu sayısı ξ= 0-π/2 arası elde edilmiştir, Şekil 4.11 incelendiğinde bahsedilen bölgede sıcaklık gradyanlarının birbirinden ayrıldığı görülmektedir.

Maximum Nu sayısı, ε=0.20 için ξ= π/2- π, ε=0.40 için ξ= π- 3π/2 arasında elde edilmiştir.

$\varphi = 45^0$ açısal pozisyonu ve bu açısal pozisyondaki 3 farklı eksantriklik için ξ yani düşey eksenden saatin ters yönüne ölçülen açısal koordinat ile iç silindir üzerindeki yerel Nusselt sayısının değişimi Şekil 4.83b'd görülmektedir. Her üç eksantriklik için de minimum Nu sayısı ξ= 0-π/2 arası elde edilmiştir. Maximum Nu sayısı, ε=0.10 ve ε=0.20 için ξ= π'ye yakın , ε=0.30 için ξ= 3π/2'ye yakın elde edilmiştir.

$\varphi = 90^0$ açısal pozisyonu ve bu açısal pozisyondaki 2 farklı eksantriklik için ξ yani düşey eksenden saatin ters yönüne ölçülen açısal koordinat ile iç silindir üzerindeki yerel Nusselt sayısının değişimi Şekil 4.84a'da görülmektedir. Her iki eksantriklik için de minimum Nu sayısı ξ= 0-π/2 arası elde edilmiştir. Maximum Nu sayısı, ε=0.10 için ξ= π, ε=0.20 için ξ= 3π/2'de elde edilmiştir.

$\varphi = 135^0$ açısal pozisyonu ve bu açısal pozisyondaki 3 farklı eksantriklik için ξ yani düşey eksenden saatin ters yönüne ölçülen açısal koordinat ile iç silindir üzerindeki yerel Nusselt sayısının değişimi Şekil 4.84b'de görülmektedir. Her üç eksantriklik için de minimum Nu sayısı ξ= 0-π/2 arası elde edilmiştir. Maximum Nu sayısı, ε=0.10 ve ε=0.20 için ξ= π'ye yakın , ε=0.30 için ξ= 3π/2-2 π arasında elde edilmiştir.

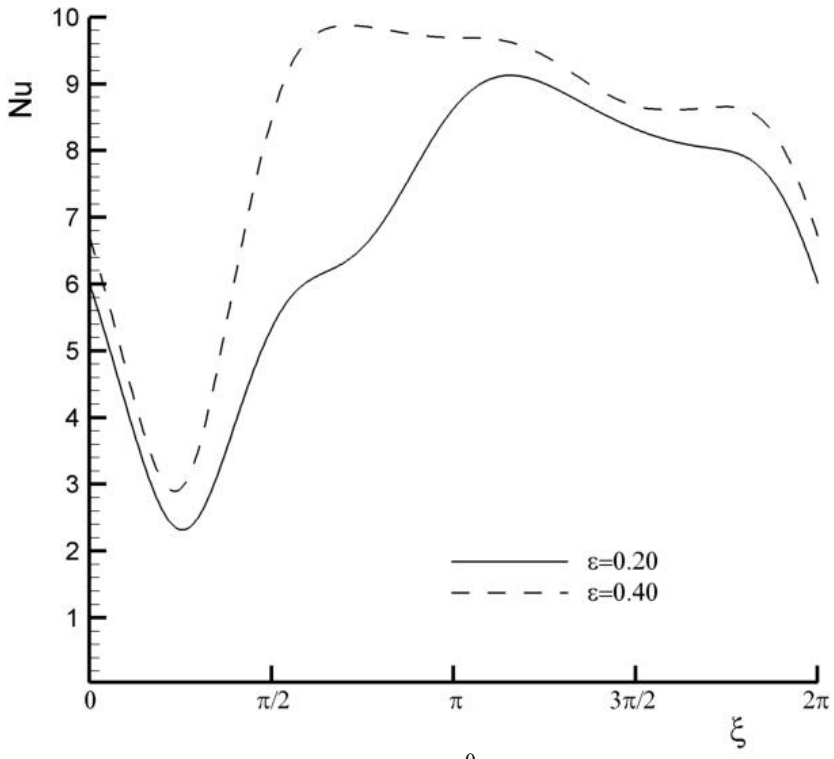
$\varphi = 180^0$ açısal pozisyonu ve bu açısal pozisyondaki 2 farklı eksantriklik için ξ yani düşey eksenden saatin ters yönüne ölçülen açısal koordinat ile iç silindir üzerindeki yerel Nusselt sayısının değişimi Şekil 4.85a'da görülmektedir. Minimum Nu sayısı, ε=0.20 için ξ= 0-π/2, ε=0.20 için ξ= π/2- π arasında elde edilmiştir. Her iki eksantriklik için de maksimum Nu sayısı ξ= π -3π/2 arası elde edilmiştir.

$\varphi = 225^0$ açısal pozisyonu ve bu açısal pozisyondaki 3 farklı eksantriklik için ξ yani düşey eksenden saatin ters yönüne ölçülen açısal koordinat ile iç silindir üzerindeki yerel Nusselt sayısının değişimi Şekil 4.85b'de görülmektedir. Her üç eksantriklik için de minimum Nu sayısı ξ= π/2- π arası elde edilmiştir. Maximum Nu sayısı, ε=0.10 ve ε=0.20 için ξ= π- 3π/2 arası, ε=0.30 için ξ= 0-π/2 arasında elde edilmiştir.

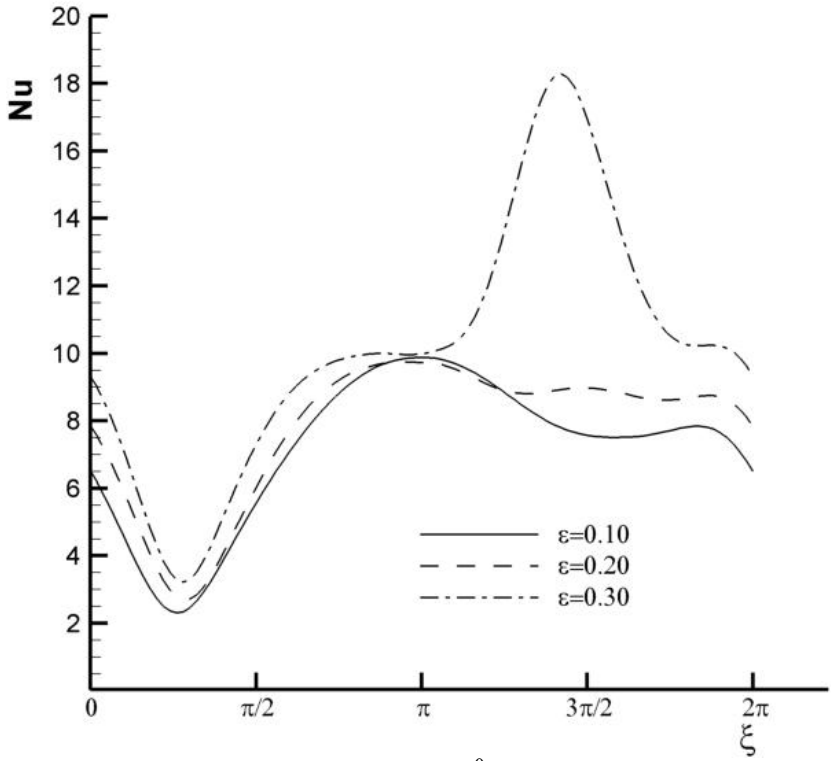
$\varphi = 270^0$ açısal pozisyonu ve bu açısal pozisyondaki 2 farklı eksantriklik için ξ yani düşey eksenden saatin ters yönüne ölçülen açısal koordinat ile iç silindir üzerindeki yerel Nusselt sayısının değişimi Şekil 4.86a'da görülmektedir. Minimum Nu sayısı, her

iki eksantriklik için ξ= 0’ a yakın çıkmıştır. Maksimum Nu sayısı ε=0.10 için ξ= π- 3π/2 arasında, ε=0.10 için ξ= π/2’de elde edilmiştir.

$\varphi = 315^0$ açısal pozisyonu ve bu açısal pozisyondaki 3 farklı eksantriklik için ξ yani düşey eksenden saatin ters yönüne ölçülen açısal koordinat ile iç silindir üzerindeki yerel Nusselt sayısının değişimi Şekil 4.86b’de görülmektedir. Her üç eksantriklik için de minimum Nu sayısı ξ=0- π/2 arası elde edilmiştir. Maximum Nu sayısı, ε=0.10 için ξ= π- 3π/2 arasında, ε=0.20 ve ε=0.30 için ξ= π/2’de elde edilmiştir.

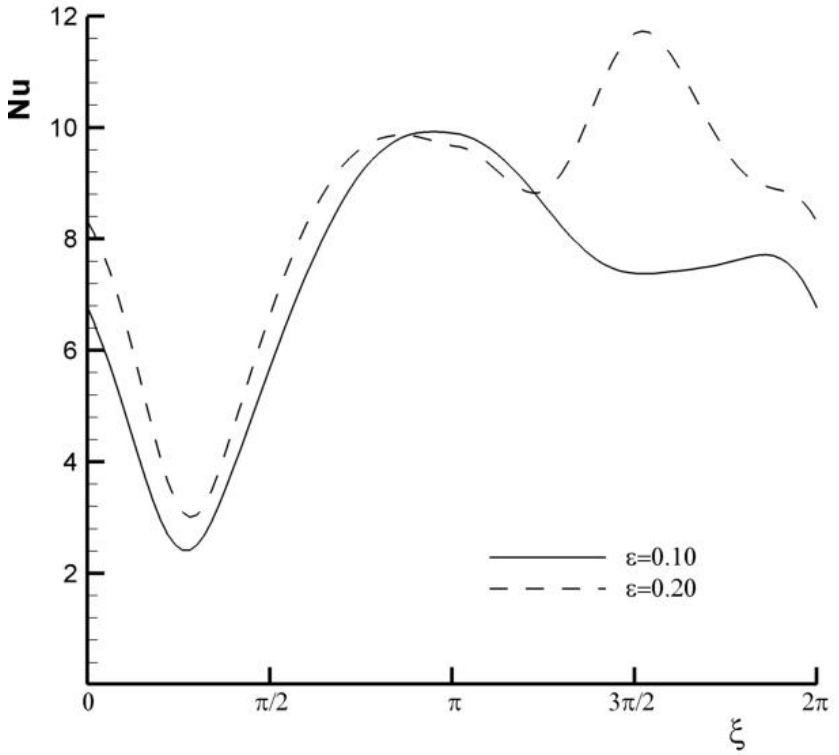


a-) $\varphi=0^0$

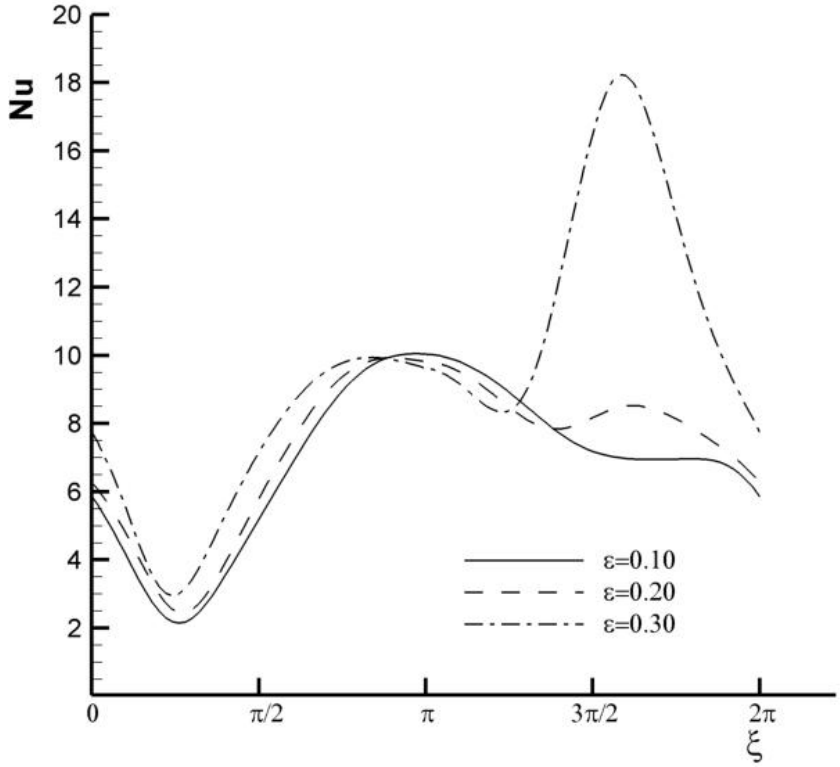


b-) $\varphi=45^0$

Şekil 4.83 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=0^0$ ve $\varphi=45^0$, olduğu durumda iç silindir boyunca yerel Nusselt sayısının değişimi (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5)

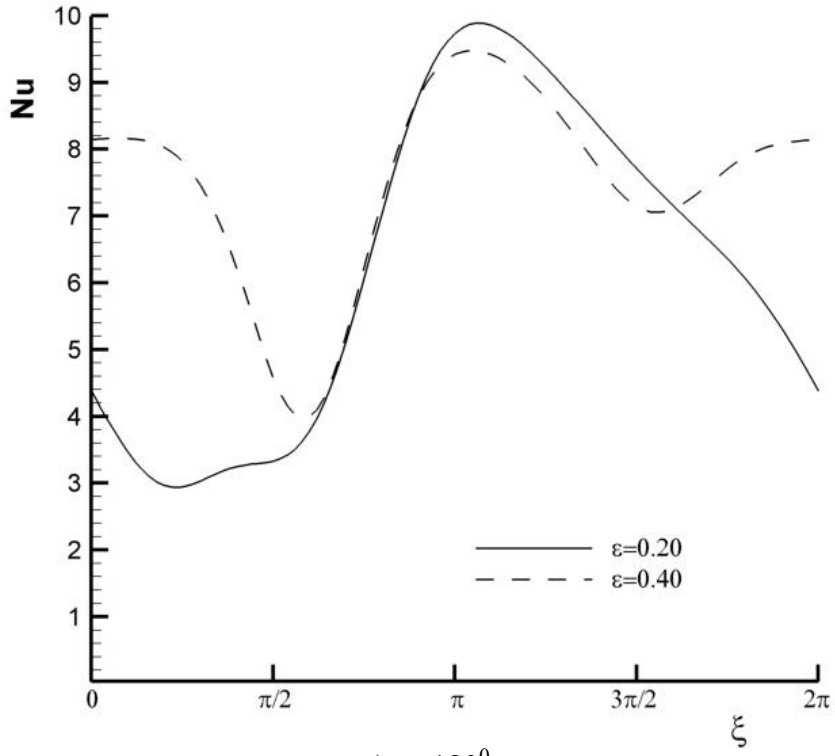


a-) $\varphi=90^0$

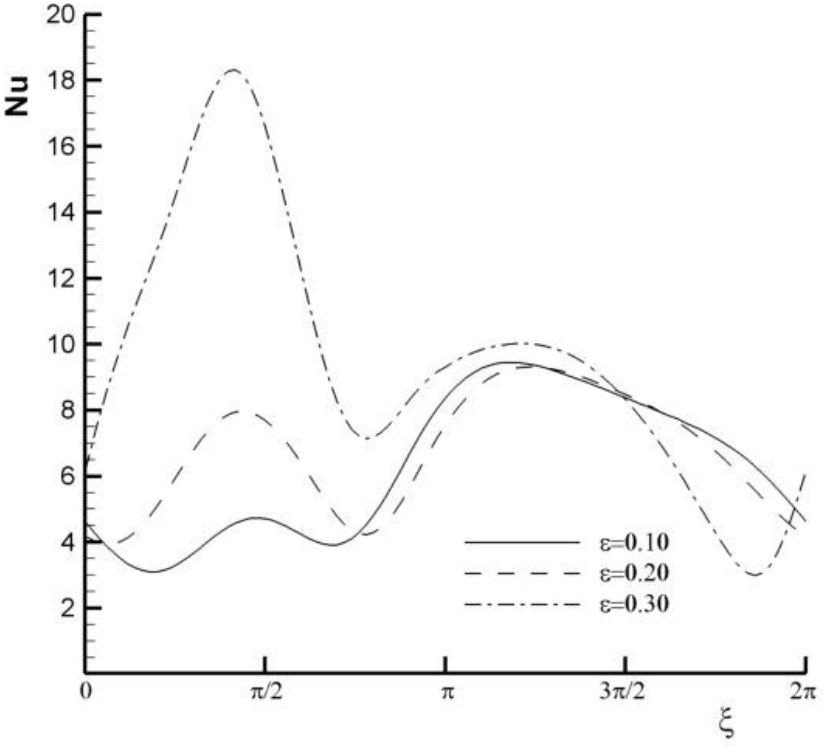


b-) $\varphi=135^0$

Şekil 4.84 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=90^0$ ve $\varphi=135^0$, olduğu durumda iç silindir boyunca yerel Nusselt sayısının değişimi ($r_i=0.2$, Pr=0.71, $Gr=10^5$, Re=0.1, B/A=1.5)

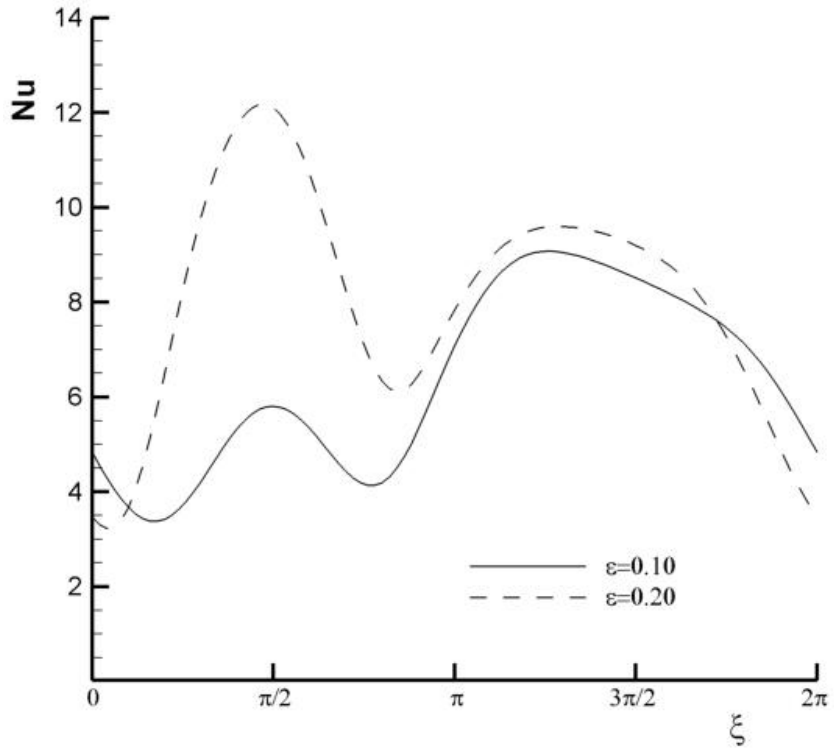


a-) $\varphi=180^0$

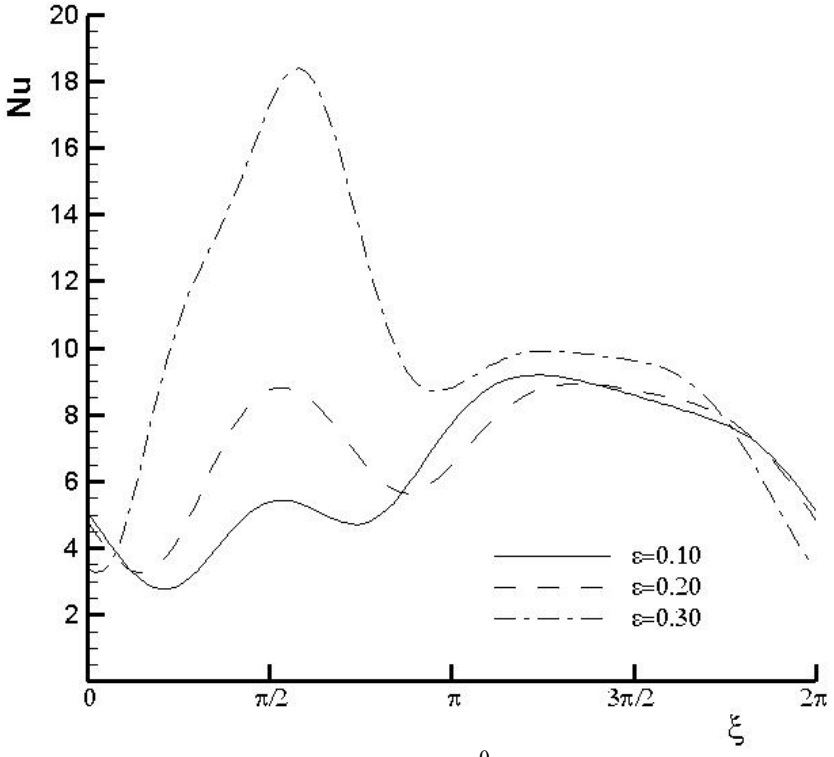


b-) $\varphi=225^0$

Şekil 4.85 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=180^0$ ve $\varphi=225^0$, olduğu durumda iç silindir boyunca yerel Nusselt sayısının değişimi (r_i=0.2, Pr=0.71, Gr=10^5, Re=0.1, B/A=1.5)



a-) $\varphi=270^0$



b-) $\varphi=315^0$

Şekil 4.86 Dış silindir elips seçildiğinde, açısal pozisyonun $\varphi=270^0$ ve $\varphi=315^0$, olduğu durumda iç silindir boyunca yerel Nusselt sayısının değişimi ($r_i=0.2$, Pr=0.71, $Gr=10^5$, Re=0.1, B/A=1.5)

5. SONUÇ

Yapılan çalışmalar sonucunda, dönen, sabit sıcaklıkta veya sabit ısı akısı ile ısıtılmış bir iç silindir ile onu çevreleyen ve kare, dikdörtgen veya elips gibi farklı bir kesitteki soğuk bir dış silindir arasında kalan bölgedeki daimi, laminer karışık taşınım, hız ve sıcaklık alanları elde edilerek incelenmiştir. Eksantrikliğin, açısal yerleşimin, dış silindirin şeklinin, Gr ve Re sayılarının, iç sindirin yarıçapının hız ve sıcaklık alanlarına etkileri akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrilerinden yararlanılarak araştırılmıştır.

Dış silindir kare seçildiğinde ve iç silindire sabit sıcaklık veya sabit ısı akısı ile ısıtılma sınır koşulları uygulandığında elde edilen sonuçlar benzerlikler taşımaktadır. $\varphi=0^0$, $\varphi=45^0$ ve $\varphi=90^0$ açısal yerleşimleri için artan eksantriklik ile sağdaki edi genişlerken soldaki edinin daha dar bir alana sıkıştığı ve $\varphi=0^0$, $\varphi=45^0$ için az da olsa zorlanmış taşınımın etkisini arttırdığı, $\varphi=90^0$ için eş sıcaklık eğrilerinin değişmediği görülmektedir. $\varphi=135^0$ açısal yerleşimi için sağdaki edi iki parçaya ayrılmakta, artan eksantriklikle yukarıdaki edi yok olurken aşağıdaki edi varlığını sürdürmekte ve eş sıcaklık eğrilerinin dönme yönüne hareketlendikleri görülmektedir. $\varphi=180^0$ açısal yerleşimi için artan eksantriklik ile oluşan her iki edinin de zayıfladığı, zorlanmış taşınımın etkisinin azaldığını ve sıcaklık gradyanlarının yukarıya doğru oluştuğu görülmektedir. $\varphi=225^0$ açısal yerleşimi için iç silindir sabit sıcaklıkta tutulurken artan eksantriklik ile birlikte zorlanmış taşınım etkisini çok fazla hissettirirken, iç silindir sabit ısı akısı ile ısıtıldığında zorlanmış taşınımın etkisini daha az hissettirdiği görülmektedir. $\varphi=270^0$ açısal yerleşimi için eş sıcaklık eğrilerine bakıldığında artan eksantriklik ile önce zorlanmış taşınımın etkilerinin arttığı ancak eksantrikliğin daha da artması ile bu etkinin azaldığı anlaşılmaktadır. $\varphi=315^0$ açısal yerleşimi için eksantrikliğin artması ile soldaki edi küçülürken, sağdaki edinin genişleyip kuvvetlendiği ve zorlanmış taşınımın etkisinin azaldığı görülmektedir.

Dış silindir elips(B/A=1.5) veya dikdörtgen(B/A=1.5) seçildiğinde ve iç silindire sabit sıcaklık veya sabit ısı akısı ile ısıtılma sınır koşulları uygulandığında elde edilen sonuçlar benzerlikler taşımaktadır. Her dört durumda da $\varphi=0^0$ açısal yerleşimi için artan eksantriklik ile birlikte sağdaki edi genişleyip kuvvetlenerek iç silindirin üzerine çıkmakta ve zorlanmış taşınımın etkileri artmış gözükmektedir. $\varphi=45^0$ açısal yerleşimi

için artan eksantriklik ile oluşan her iki edinin de güçlendiği buna bağlı olarak da zorlanmış taşınımın etkisini arttırdığı eş sıcaklık eğrilerinin dönme yönüne doğru olan hareketlerinden anlaşılmaktadır. $\varphi=90^0$ açısal yerleşimi için solda oluşan edi eksantriklik ile güçlenmekte, sağda oluşan edi de zayıflamakta, eş sıcaklık eğrilerinde belirgin bir değişiklik görülmemektedir. $\varphi=135^0$ açısal yerleşimi için, sağdaki edi artan eksantriklik ile iki parçaya ayrılmakta, dış silindirin dikdörtgen seçildiği geometrilerde alttaki edi kaybolmakta ve eş sıcaklık eğrileri tüm durumlarda değişmemektedir. $\varphi=180^0$ açısal yerleşimi için, artan eksantriklik ile zorlanmış taşınımın etkisinin arttığı görülmektedir. $\varphi=225^0$ açısal yerleşimi için solda oluşan ve iç silindiri saran edi zayıflamakta, sağdaki edi de kuvvetlenmekte, zorlanmış taşınımın etkilerinin azaldığı görülmektedir. $\varphi=270^0$ açısal yerleşimi için de $\varphi=225^0$ açısal yerleşimine benzer şekilde eksantrikliğin artması ile zorlanmış taşınımın etkisinin azaldığı eş sıcaklık eğrilerinden görülmektedir. $\varphi=315^0$ açısal yerleşimi için artan eksantriklik ile sağdaki edi genişlerken soldaki edi zayıflamakta ve zorlanmış taşınım etkilerinin azaldığı anlaşılmaktadır.

Dış silindir elips(A/B=1.5) veya dikdörtgen(A/B=1.5) seçildiğinde ve iç silindire sabit sıcaklık veya sabit ısı akısı ile ısıtılma sınır koşulları uygulandığında elde edilen sonuçlar benzerlikler taşımaktadır. $\varphi=0^0$ açısal yerleşimi için sabit sıcaklık sınır koşulu uygulandığında artan eksantriklik ile birlikte zorlanmış taşınımın etkisinin arttığı, sabit ısı akısı sınır koşulu uygulandığında zorlanmış taşınımın etkisinin azaldığı görülmektedir. $\varphi=45^0$ açısal yerleşimi için artan eksantriklik ile soladiki edinin iç silindir üzerindeki hakimiyeti azalmakta, sağdaki edi de kuvvetlenmektedir, zorlanmış taşınımın etkilerinin azaldığı eş sıcaklık eğrilerinin artan eksantriklikle birlikte dönüş yönünün tersine yönelmesinden anlaşılmaktadır. $\varphi=90^0$ açısal yerleşimi için solda oluşan edi eksantriklik ile genişlemekte, sağda oluşan edi de küçülmekte, hatta dış silindir elips alınıp iç silindirin sabit ısı akısı ile ısıtıldığı durumda yok olmakta, eş sıcaklık eğrileri artan eksantriklik ile çok hafif bir şekilde dönüş yönünün tersine yönelmektedir. $\varphi=135^0$ açısal yerleşimi için, tüm durumlarda eş sıcaklık eğrilerinde fazla bir değişim görülmemektedir. $\varphi=180^0$ açısal yerleşimi için, artan eksantriklik ile her iki edinin de zayıfladığı ve zorlanmış taşınımın etkisinin azaldığı görülmektedir. $\varphi=225^0$ açısal yerleşimi için artan eksantrikliğin etkisi ile sağdaki edi kuvvetlenmekte, iç silindirin sabit sıcaklıkta tutulduğu durumlarda eş sıcaklık eğrileri fazla değişmezken,

iç silindirin sabit ısı akısı ile ısıtılması durumunda zorlanmış taşınımın etkilerinin azaldığı görülmektedir. $\varphi=270^0$ açısal yerleşimi için eksantriklik arttıkça soldaki edi zayıflarken, sağdaki edi kuvvetlenmekte ve zorlanmış taşınımın etkisinin azaldığı eş sıcaklık eğrilerinden görülmektedir. $\varphi=315^0$ açısal yerleşimi için artan eksantriklik ile sağdaki edi genişlerken soldaki edi zayıflamakta ve zorlanmış taşınım etkilerinin azaldığı anlaşılmaktadır.

Ayrıca seçilen dış silindirin elips olması ve iç silindirin sabit sıcaklıkta tutulması örnek durumu için Gr sayısı ve iç silindirin yarıçapı arttıkça doğal taşınımın etkisinin arttığı, Re sayısı arttıkça da zorlanmış taşınımın etkisinin arttığı görülmektedir.

KAYNAKLAR

Abbott, M. R., 1964, A numerical method for solving the equations of natural convection in a narrow concentric cylindirical annulus with a horizontal axis", Quart. J. Mech. Appl. Math., 17, 471-481.

Asan, H., 2000,"Natural convection in an annulus between two isothermal concentric square ducts", Int. Comm. Heat and Mass Transfer, 27, 3, 367-376.

Bellman, R.E., Casti, J., 1971, "Differential quadrature and long-term integration", J. Math. Anal. Appl. 34, 235-238.

Bellman, R.E., Kashef, B.G., Casti, J., 1972, "Differential quadrature: a technique for the rapid solution of nonlinear partial differential equations", J. Comput. Phys. 10, 40-52.

Bishop, E. H., 1966, Discussion 3rd International Heat Transfere Conference, Chicago, 2(session 6), 155-156.

C. Shu, *Generalised Differential-Integral Quadrature and Application to Simulation of Incompressible Viscous Flows Including Parallel Computation*, Ph. D. thesis, University of Glasgow, 1991.

Chen, W.R., 2003, "Numerical study of thermal wall boundary effects for transient natural convection between concentric and vertically eccentric spheres", Numerical Heat Transfer Part A: Applications, 44, 4, 433-449.

Chmaissem, W., Suh, S. J., Daguenet, M., 2002, "Numerical study of the Boussinesq model of natural convection in an annular space: having a horizontal axis bounded by circular and elliptical isothermal cylinders", Applied Thermal Engineering, 22, 1013-1025.

Cho, C. H., Chang , K. S., Park, K. H., 1982, "Numerical Simulation of Natural Convection in Concentric and Eccentric Horizontal Cylindrical Annuli", J. Heat Transfer,104, 624-630.

Choi, J.Y., Kim, M., 1995, "Three dimensional linear stability of mixed-convection flow between rotating horizontal concentric cylinders", Int. J. Heat Mass Transfer 38, 275-285.

DePrima, R.C., Swinney, H. L., 1985, "Instabilities and transition in flow between concentric rotating cylinders", in: H.L. Swinney, J.P.Gollub, Hydrodynamic Instabilities and the Transition to Turbulence, Springer, New York, pp. 139-186.

Deschamps, V., Desrayaud, G., 1994, "Modeling a Horizontal Heat-Flux Cylinder as a Line Source", J. Thermophys. Heat Transfer, vol. 8, no. 1, pp. 84–91.

Ding , H., Shu, C., Yeo, K. S., Lu, Z.L., 2005, "Simulation of natural convection in eccentric annuli between a square outer cylinder and a circular iner cylinder using local MQ-DQ method", Numerical Heat Transfer, Part A, 47, 291-313.

Ekundayo, C. O., Probert, S.D., Newborough, M., 1996, "Heat Transfer from a horizontal circular and square cylinders", J. Thermophys. Heat Transfer 10, 3, 524-531.

El-Shaarawi, M.A.I., Abualhamayel, H.I., Mokheimer, E.M.A., 1998," Developing laminar forced convection in eccentric annuli", Heat and Mass Transfer, 33, 353-362.

Escudier, M.P., Oliveira, P.J., Pinho, F.T., 2002, "Fully developed laminar flow of purely viscous non-Newtonian liquids through annuli, including the effects of

eccentricity and inner-cylinder rotation" International Journal of Heat and Fluid Flow, 23, 52-73.

Escudier, M.P., Gouldson, I.W., Oliveira, P.J., Pinho, F.T., 2000, "Effects of inner cylinder rotation on laminar flow of a Newtonian fluid through an eccentric annulus", International Journal of Heat and Fluid Flow, 21, 92-103.

Fusegi, T., Farouk, B., Ball, K.,1986, "Mixed-convection flows within a horizontal concentric annulus with a heated rotating inner cylinder", Numerical Heat Transfer, 9, 591–604.

Ghaddar, N. K., 1992, "Natural Convection Heat transfer between a Uniformly Heated Cylindrical Element and Its Rectangular Enclosure", Int. J. Heat Mass Transfer, vol. 35, no. 10, pp. 2327–2334.

Guj, G., Stella, F., 1995, "Natural convection in horizontal eccentric annuli numerical study", Numer. Heat Transfer 27, 89-105.

Habib, M.A., Negm, A.A.A., 2001, "Laminar mixed convection in horizontal concentric annuli with non-uniform circumferential heating", Heat and Mass transfer, 37, 417-435.

Hauf, W, Grigull, U., 1970, "Optical methods in heat transfer", Adv. in Heat Transfer, 6, 133-366.

Ho, C.J., Lin, Y.H., Chen, T.C., 1989, "A numerical study of natural convection in concentric and eccentric horizontal cylindrical annuli with mixed boundary conditions", International Journal of Heat and Fluid Flow, 10, 1, 41-47.

Ho, C.J., Lin, Y.H., 1988,"Laminar natural convection of cold water enclosed in a horizontal annulus with mixed boundary conditions", International Heat and Mass Transfer, 31,10, 2113-2121.

Hodnett, P. F., 1973, "Natural convection between horizontal heated concentric circular cylinders", Journal of Applied Mathematical Physics, 24, 507-516.

Khanafer, K., Chamkha, A., 2003, "Mixed convection within a porous heat generating horizontal annulus", Int. J. Heat Mass Transfer 46, 1725-1735.

Kuehn, T.H. , Goldstein, R.J., 1976, "An experimental and theoretical study of natural convection in the annulus between horizontal concentric cylinders, J. Fluid Mech. 74, 695-719.

Kuehn, T.H., Goldstein, R.J., 1978,"An experimental and theoretical study of natural convection in the concentric and eccentric horizontal cylindirical annuli", ASME J. Heat Transfer 100,635-640.

Kumar, R., 1988, "Study of natural convection in horizontal annuli", International Journal of Heat and Mass Transfer, 31,6, 1137-1148.

Lee, T.S., 1984, "Numerical experiments with laminar fluid convection between concentric and eccentric heated rotating cylinders", Numerical Heat Transfer 7, 77-87.

Lee, T. S., 1992, "Laminar fluid convection between concentric and eccentric heated horizontal rotating cylinders for low-prandtl-number fluids", International Journal for Numerical Methods in Fluids, 14, 9 , 1037 – 1062.

Lee, T. S., Hu, G. S., Shu, C., 2002, "Application of GDQ method for the study of natural convection in horizontal eccentric annuli", Numerical Heat Transfer, Part A, 41, 803-815.

Lis, J. , 1966, "Experimental investigation of natural convection heat transfer in simple and obstructed horizontal annuli", 3rd International Heat Transfer Conference, Chicago, 196-204.

Liu, Y., Phan-Thien, N., Kemp, R., 1996, "Coupled conduction-convection problem for a cylinder in an enclosure", Comput. Mech., 18, 429-443.
Mack, L. R., Bishop, E. H., 1968, "Natural convection between horizontal concentric cylinders for low Rayleigh numbers", Q. JI *Mech. Appl.* Math. 223-241.
Moukalled, F., Acharya, S., 1996, "Natural cconvection in the annulus between concentric horizontal annulus between concentric horizontal circular and square cylinders", Journal of Thermopysics and Heat Transfer 10,3, 524-531.
Oosthuizen, P. H. , Paul, J. T., 1987, "Finite element study of natural convection heat transfer from a prismatic cylinder in an enclosure", Numer. Meth. Heat -Tran.der, 14 HTD Vol. 62. DD. 13 21. ASME.
Peng, Y., Chew, Y.T., Shu, C., 2003, "Numerical simulation of natural convection in a concentric annulus between a square outer cylinder and a circular iner cylinder using the Taylor-series expansion and least squares-based lattice Boltzman method", Physical Review E, 67, 026701.
Powe, R.E., 1974, "Bounding effects of heat loss by free convection from spheres and cylinders", Journal of Heat Transfer, A.S.M.E., 96, 558-560.
Powe, R.E., Carley C. T., Carruth, S. L., 1971, "A numerical solution for natural convection in cylindirical annuli", Journal of Heat Transfer, 92, 12, 210-220.
Powe, R.E., Carley C. T., Bishop, E. H., 1969, "Free convective flow patterns in cylindirical annuli", Journal of Heat Transfer, 91, 310-314.
Projahn, U., Rieger, H., Beer, H.,1981, "Numerical Analysis Laminar Natural Convection Between Concentric and Eccentric Cylinders", Numerical Heat Transfer, 4, 131-146.
Sasaguchi, K. , Kuwabara, K., Kusano, K., Kitagawa, H. , 1998, "Transient Cooling of Water around a Cylinder in a Rectangular Cavity—A Numerical Analysis of the Effect of the Position of the Cylinder", Int. J. Heat Transfer, vol. 41, pp. 3149–3156.
Shi, Y., Zhao, T.S., Guo, Z.L., 2006, "Finite difference-based lattice Boltzman simulation of natural convection heat transfer in a horizontal concentric annulus", Computers&Fluids, 35, 1-15.
Shibayama, S., Mashimo, Y., 1968, Natural convection heat transfer in horizontal concentric cylindirical annuli", Papers J.S.M.E. Nat. Symp. No:196, 7-20.
Shu C. and Richards B.E., 1990, "High resolution of natural convection in a square cavity by generalized differential quadrature" Proc. of 3rd Conf. on Adv. in Numer. Methods in Enq: Theory and Appl., Swansea, UK, 2, 978-985.
Shu, C. and Richards, B.E., 1992a, "Application of generalized differential quadrature to solve two-dimension incompressible Navier-Stokes equations", Int. J. Numer. Methods Fluids, 15, 791-798.
Shu, C. and Richards, B.E., 1992b, "Parallel simulation of incompressible viscous flows by generalized differential quadrature" Comput. System Eng**.,** 3, 271-281.
Shu, C., Chew, Y.T., 1992, "Fourier expansion-based differential quadrature and its application to Helmholtz eigenvalue problems", Comput. System. Eng. 3, 271-281.
Shu, C., 2000, "Differential Quadrature and Its Application in Engineering", Springer-Verlag London Limited.
Shu, C., Xue, H., Zhu, Y.D., 2001, "Numerical study of natural convection in an eccentric annulus between a square outer cylinder and a circular inner cylinder using DQ method", Int. J. Heat Mass Transfer 44, 3321-3333.

Shu, C. , Yeo, K. S., Yao, Q., 2000**,** "An Efficient Approach To Simulate Natural Convection In Arbitrarirly Eccentric Annuli By Vorticity-Stream Functin Formulation", Numerical Heat Transfer, Part A, 38, 739-756.

Shu, C, Yao, Q., Yeo, K. S., Zhu, Y. D., 2002, "Numerical analysis of flow and thermal fields in arbitrary eccentric annulus by differential quadrature method", Heat and Mass Transfer, 38, 597-608.

Shu, C., Zhu, Y.D., 2002, "Efficient computation of natural convection in a concentric annulus between an outer square cylinder and an iner circular cylinder", International Journal for Numerical Methods in Fluids, 38, 429-445.

Shu, C., 1999, "Application of differential quadrature method to simulate natural convection in a concentric annulus", International Journal for Numerical Methods in Fluids, 30, 977-993.

Shu, C., Wang, L., Chew, Y.T., Zhao, N., 2004, "Numerical study of eccentric Coutte-Taylor flow patterns", 18, 43-59.

Tsui, Y. T., Tremblay, B., 1984**,** "On transient natural convection heat transfer in the annulus between concentric horizontal cylinders with isothermal surfaces", International Journal Heat Transfer, 27, 1, 103-111.

Wang, Y. Z., Bau, H. H., 1988, "Low Rayleigh Number Convection in Horizontal, Eccentric Annuli", Physics of Fluids, 31, 2467-2473.

Warrington, R.O., Powe, R.E., 1985, "The transfer of heat by natural convection bodies and their enclosures", International Journal of Heat and Mass Transfer 28, 2, 319-330.

Venkatachalappa, M., Sankar, M., Natarajan, A.A., 2001, "Natural convection in an annulus between two rotating vertical cylinders**" ,** Acta Mechanica, 147, 173-196.

Wu, H. W. , Tsai W. C., Chou H., 2004, "Transient natural convection heat transfer of fluids with variable viscosity between concentric and vertically eccentric spheres", International Journal of Heat and Mass Transfer 47 , 1685–1700.

Yang, L., Farouk, B., 1992, "Three dimensional mixed convection flows in a horizontal annulus with a heated rotating iner circular cylinder", Int. J. Heat Mass Transfer 35, 1947-1956.

Yoo, J. S., 1996, "Dual steady solutions in natural convection between horizontal concentric cylinders"

Yoo, J. S., 1998, "Mixed convection of air between two horizontal concentric cylinders with a cooled rotating outer cylinder", Int. J. Heat Mass Transfer 41, 293-302.

Zhu, Y.D., Shu, C., Qiu, J., Tani, J., 2004, "Numerical simulation of natural convection between two elliptical cylinders using DQ method", Int. J. Heat Mass Transfer 47, 797-808.

ÖZGEÇMİŞ

25.02.1976 tarihinde İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğretimini Lüleburgaz'da tamamladı. 1997 yılında Marmara Üniversitesi Atatürk Eğitim Fakültesi (İng) Fizik Öğretmenliği Bölümünden lisans, 2000 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsünden yüksek lisans derecelerini aldı. 2001 yılında Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda doktora öğrenimine başladı. Halen Trakya Üniversitesi Eğitim Fakültesinde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.