

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**NEWTONUMSU-OLMAYAN POWER-LAW AKIŞKANLA DOLU KAPALI
İKİZKENAR YAMUK (TRAPEZOID) BİR ORTAMDA LAMİNER DOĞAL
TAŞINIMIN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mir Elyad VAKHSHOURI

**HAZİRAN 2015
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**NEWTONUMSU-OLMAYAN POWER-LAW AKIŞKANLA DOLU KAPALI
İKİZKENAR YAMUK (TRAPEZOID) BİR ORTAMDA LAMİNER
DOĞAL TAŞINIMIN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

Mir Elyad VAKHSHOURI

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“MAKİNA YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 / 05 / 2015

Tezin Savunma Tarihi : 11 / 06 / 2015

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU

Trabzon 2015

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Makina Mühendisliği Anabilim Dalında
Mir Elyad VAKHSHOURI Tarafından Hazırlanan**

**NEWTONUMSU-OLMAYAN POWER-LAW AKIŞKANLA DOLU KAPALI İKİZKENAR
YAMUK (TRAPEZOID) BİR ORTAMDA LAMİNER DOĞAL TAŞINIMIN SAYISAL
OLARAK İNCELENMESİ**



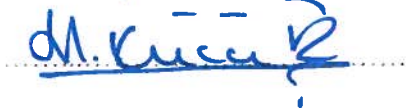
**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 26/ 05/ 2015 gün ve 1604 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU

Üye : Prof. Dr. Ertan BAYDAR

Üye : Doç. Dr. Haydar KÜÇÜK

**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü**

ÖNSÖZ

Bu çalışmada; birçok mühendislik ve endüstriyel uygulamalarda yeri olan , üstel indeksli Newtonumsu olmayan akışkanla dolu kapalı ikizkenar yamuk (trapezoid) bir ortamdaki doğal taşınım sayısal olarak incelenmiştir.

Bu çalışma ve tüm yüksek lisans öğrenimim suresince vermiş olduğu sonsuz destek ve göstermiş olduğu anlayış için danışman hocam sayın Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU'na, teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Bu tez çalışmasını çok sevdiklerim, Babam (Mohammad VAKHSHOURI), Annem (Solhiyeh BEHNOUD), Eşim (Pardis KAFIL) ve Kız kardeşim (Elshan VAKHSHOURI)'e ithaf ediyorum.

Mir Elyad VAKHSHOURI

Trabzon 2015

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek lisans Tezi olarak sunduğum “Newtonumsu-Olmayan Power-law akışkanla dolu kapalı ikizkenar yamuk (Trapezoid) bir ortamda laminar doğal taşınımın sayısal olarak incelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU’nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 26 / 05 / 2015

Mir Elyad VAKHSHOURI

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Doğal Taşınım	4
1.2.1. Kapalı Ortamlarda Doğal Taşınım	7
1.3. Newtonumsu-Olmayan Akışkan Davranışı	8
1.3.1. Akma-Gerilmeli (Bingham) Akışkanlar (Yield Stress Fluids).....	11
1.3.2. İnceleşen (Shear-Thinning) veya Sanki-Plastik (Pseudoplastic) Akışkanlar	11
1.3.3. Kalınlaşan (Shear- Thickening) veya Dilatant Akışkanla	13
1.4. Literatür Araştırması.....	14
1.5. Tezin Amacı	27
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	28
2.1. Temel Denklemler	28
2.2. Boyutsuz Sayılar Grubu	28
2.3. Sınır Koşulları	29
2.4. Sayısal Yöntem	30
2.5. Üstel İndeks Modeli	31
2.6. Ağ Bağımsızlık Çalışması	32
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	33
3.1. Rayleigh Sayısının Akış Alanı Üzerindeki Etkileri	33
3.2. Üstel İndeksin (n) Akış Alanı Üzerindeki Etkileri	34

3.3.	Yamuk Açısının Akış alanı Üzerindeki Etkiler	35
3.4.	Rayleigh Sayısının Isı Transferi Üzerindeki Etkileri	82
3.5.	Üstel İndeksin (n) Isı Transferi Üzerindeki Etkileri	82
3.6.	Yamuk Açısının Isı Transferi Üzerindeki Etkile	82
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	98
5.	KAYNAKLAR	99

ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

NEWTONUMSU-OLMAYAN POWER-LAW AKIŞKANLA DOLU KAPALI İKİZKENAR YAMUK (TRAPEZOID) BİR ORTAMDA LAMİNER DOĞAL TAŞINIMIN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Mir Elyad VAKHSHOURI

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU
2015, 104 Sayfa

Son yıllarda; teknolojik uygulamalarda Newtonumsu olmayan akışkan (*NNF*) kullanımında artış olduğu gözlenmektedir. *NNF*'ler, Newtonumsu akışkanlara (*NF*) göre hidrodinamik ve ısı özelliklerinin bazı üstünlükler göstermesi nedeniyle tercih edilmektedirler. Özellikle amortisörlerde sönümleyici akışkan olarak, savunma sanayinde zırh yapımında, ısı sistemlerde yalıtkan olarak kullanılmaktadırlar. Bu çalışmada üstel indeksli *NNF* ile dolu olan iki boyutlu ikizkenar yamuk (trapezoid) kesitli kapalı bir bölgede doğal taşınım sayısal olarak incelenmiştir. Yoğunlaştırılmış fotovoltaik güneş hücrelerinde (*CPV*) verimi etkileyen aşırı ısınma probleminin önüne geçilmesi amacıyla *NNF* kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada da böyle bir hücrenin iki boyutlu sayısal modeli kurularak çeşitli parametrelerin tabandaki ısı transferi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Göz önüne alınmış olan ikizkenar yamuk bölgenin taban kenarı sıcak, üst kenar soğuk iken yan duvarlar adyabatik olarak göz önüne alınmıştır. Yamuk yan duvar açısı $0^{\circ} \leq \theta \leq 20^{\circ}$ aralığında değiştirilerek, çeşitli üstel indeks değerlerinde ve Rayleigh sayısı değerlerinde tabanda ortaya çıkan ısı transferinin nasıl etkilendiği araştırılmıştır. Üstel indeks $0.6 \leq n \leq 1.8$ aralığında; Rayleigh sayısı (*Ra*) $10^3 \leq Ra \leq 10^5$ aralığında değiştirilirken, Prandtl sayısı *Pr* = 1000 değerinde sabit tutulmuştur. Elde edilen bulgular göstermektedir ki; artan yamuk açısı ile birlikte ve azalan üstel indeks (*n*) ile birlikte yamuk tabanındaki ısı transferi de artmaktadır. Bu bulgudan yola çıkılarak, yeşil ve yenilenebilir enerji sistemlerinde önemli bir uygulama alanı olarak görülen *CPV*'lerde aşırı sıcaklık artışının önüne geçilerek verimlerinin artırılmasında üstel indeksli *NNF* kullanımının katkı sağlayabileceği söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Doğal Taşınım, Isı Tranferi, Yenilenebilir Enerji, Üstel İndexli Model

Master Thesis

SUMMARY

NUMERICAL INVESTIGATION OF LAMINAR NATURAL CONVECTION IN
TRAPEZOIDAL ENCLOSURE FILLED WITH NON-NEWTONIAN POWER-LAW FLUID

Mir Elyad VAKHSHOURI

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mechanical Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU
2015, 104 Pages

There has been an increase in the technological application of non-Newtonian fluids (*NNF*) in recent years. *NNFs* are chosen over Newtonian fluids (*NF*) because of their superior hydrodynamic and thermal properties. It is particularly used as damping fluid in shock absorbers, the making of armours in defence industry and as insulator in thermal systems. This study applies a numerical analysis for the natural convection in a two dimensional trapezoidal (isosceles trapezoid) enclosure filled with power-law *NNF*. The use of *NNF* in Concentrated Photovoltaics (*CPV*) in order to prevent over-heating problem which affects the efficiency has become widespread. This study investigates the effects of various parameters on heat transfer over the bottom wall by developing a two dimensional model of such a cell. The bottom edge of the trapezoidal enclosure is considered as hot, top edge as cold while the side walls are considered as adiabatic. The study investigates how various changes in power-law index values and Rayleigh numbers affect the heat transfer on the bottom wall by altering the trapezoid side wall angles in the range of $0^{\circ} \leq \theta \leq 20^{\circ}$. The power-law index values have been changed in the range of $0.6 \leq n \leq 1.8$ and Rayleigh number (*Ra*) in the range of $10^3 \leq Ra \leq 10^5$ while Prandtl number has been kept as $Pr = 1000$. The results indicate that the heat transfer rate in trapezoid bottom wall increases with an increase in trapezoid angle and decreasing power-law index (*n*). According to this evidence, it can be suggested that the use of power-law *NNFs* can contribute to increase efficiency by averting the over-heating problems in *CPVs* which have been regarded as a significant application field in green and renewable energy systems.

Key Words: Natural Convection, Heat Transfer, Renewable Energy, Power- Law Model

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Güneş Fotovoltaik Paneli.....	3
Şekil 1.2.	Yoğunlaştırılmış Fotovoltaik Sistemin şematik görünüşü.....	3
Şekil 1.3.	Farklı sıcaklıklara sahip iki yatay plaka arasındaki akışkan tabakası (<i>a</i>) kararsız sıcaklık gradyanı, (<i>b</i>) kararlı sıcaklık gradyanı	5
Şekil 1.4.	$1708 < Ra \leq 5 \times 10^4$ aralığındaki Rayleigh sayılarında akış hareketi	8
Şekil 1.5.	Newtonumsu akışkanlarda tek boyutlu kayma akışının şematik gösterimi.....	9
Şekil 1.6.	Zaman bağımsız akışkanların akış eğrisi ve örnekleri.....	10
Şekil 1.7.	Kayma gerilmesi ve şekil değiştirme hızları arasındaki ilişkiye göre akışkanların sınıflandırılması.....	11
Şekil 1.8.	İnceleşen akışkan davranışının şematik gösterimi.....	12
Şekil 1.9.	Kalınlaşan akışkan (shear-thickening fluid) davranışının şematik gösterimi...	13
Şekil 2.1.	Hesaplama bölgesinde sınır koşulları ve çözüm alanının şematik gösterimi ...	30
Şekil 3.1.	$Pr = 1000$ için $n = 0.6$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 0^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	37
Şekil 3.2.	$Pr = 1000$ için $n = 0.7$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 0^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	38
Şekil 3.3.	$Pr = 1000$ için $n = 0.8$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 0^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	39
Şekil 3.4.	$Pr = 1000$ için $n = 0.9$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 0^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	40
Şekil 3.5.	$Pr = 1000$ için $n = 1.0$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 0^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	41
Şekil 3.6.	$Pr = 1000$ için $n = 1.2$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 0^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	42
Şekil 3.7.	$Pr = 1000$ için $n = 1.4$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 0^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	43
Şekil 3.8.	$Pr = 1000$ için $n = 1.6$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 0^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	44
Şekil 3.9.	$Pr = 1000$ için $n = 1.8$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 0^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	45
Şekil 3.10.	$Pr = 1000$ için $n = 0.6$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 5^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	46
Şekil 3.11.	$Pr = 1000$ için $n = 0.7$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 5^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	47

Şekil 3.12. $Pr = 1000$ için $n = 0.8$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 5^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	48
Şekil 3.13. $Pr = 1000$ için $n = 0.9$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 5^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	49
Şekil 3.14. $Pr = 1000$ için $n = 1.0$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 5^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	50
Şekil 3.15. $Pr = 1000$ için $n = 1.2$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 5^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	51
Şekil 3.16. $Pr = 1000$ için $n = 1.4$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 5^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	52
Şekil 3.17. $Pr = 1000$ için $n = 1.6$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 5^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	53
Şekil 3.18. $Pr = 1000$ için $n = 1.8$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 5^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	54
Şekil 3.19. $Pr = 1000$ için $n = 0.6$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 10^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	55
Şekil 3.20. $Pr = 1000$ için $n = 0.7$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 10^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	56
Şekil 3.21. $Pr = 1000$ için $n = 0.8$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 10^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	57
Şekil 3.22. $Pr = 1000$ için $n = 0.9$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 10^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	58
Şekil 3.23. $Pr = 1000$ için $n = 1.0$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 10^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	59
Şekil 3.24. $Pr = 1000$ için $n = 1.2$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 10^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	60
Şekil 3.25. $Pr = 1000$ için $n = 1.4$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 10^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	61
Şekil 3.26. $Pr = 1000$ için $n = 1.6$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 10^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	62
Şekil 3.27. $Pr = 1000$ için $n = 1.8$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 10^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	63
Şekil 3.28. $Pr = 1000$ için $n = 0.6$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 15^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	64
Şekil 3.29. $Pr = 1000$ için $n = 0.7$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 15^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	65
Şekil 3.30. $Pr = 1000$ için $n = 0.8$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 15^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	66
Şekil 3.31. $Pr = 1000$ için $n = 0.9$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 15^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	67

Şekil 3.32. $Pr = 1000$ için $n = 1.0$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 15^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	68
Şekil 3.33. $Pr = 1000$ için $n = 1.2$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 15^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	69
Şekil 3.34. $Pr = 1000$ için $n = 1.4$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 15^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	70
Şekil 3.35. $Pr = 1000$ için $n = 1.6$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 15^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	71
Şekil 3.36. $Pr = 1000$ için $n = 1.8$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 15^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	72
Şekil 3.37. $Pr = 1000$ için $n = 0.6$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 20^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	73
Şekil 3.38. $Pr = 1000$ için $n = 0.7$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 20^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	74
Şekil 3.39. $Pr = 1000$ için $n = 0.8$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 20^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	75
Şekil 3.40. $Pr = 1000$ için $n = 1.0$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 20^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	76
Şekil 3.41. $Pr = 1000$ için $n = 1.2$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 20^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	77
Şekil 3.42. $Pr = 1000$ için $n = 1.2$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 20^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	78
Şekil 3.43. $Pr = 1000$ için $n = 1.4$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 20^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	79
Şekil 3.44. $Pr = 1000$ için $n = 1.6$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 20^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	80
Şekil 3.45. $Pr = 1000$ için $n = 1.8$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 20^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri	81
Şekil 3.46. $Pr = 1000$ için 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 0^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede çeşitli n değerleri için ortalama nusselt sayısının Ra sayısı ile değişimleri... 84	84
Şekil 3.47. $Pr = 1000$ için 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 5^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede çeşitli n değerleri için ortalama nusselt sayısının Ra sayısı ile değişimleri... 85	85
Şekil 3.48. $Pr = 1000$ için 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 10^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede çeşitli n değerleri için ortalama nusselt sayısının Ra sayısı ile değişimleri... 86	86
Şekil 3.49. $Pr = 1000$ için 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 15^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede çeşitli n değerleri için ortalama nusselt sayısının Ra sayısı ile değişimleri... 87	87
Şekil 3.50. $Pr = 1000$ için 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 20^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede çeşitli n değerleri için ortalama nusselt sayısının Ra sayısı ile değişimleri... 88	88

Şekil 3.51. $Pr = 1000$ için 0.25 m yükseklikteki ve $n=0.6$ üstel indeksli NNF için yamuk bölgede çeşitli yamuk açıları için ortalama nusselt sayısının Ra sayısı ile değişimleri	89
Şekil 3.52. $Pr = 1000$ için 0.25 m yükseklikteki ve $n=0.7$ üstel indeksli NNF için yamuk bölgede çeşitli yamuk açıları için ortalama nusselt sayısının Ra sayısı ile değişimleri	90
Şekil 3.53. $Pr = 1000$ için 0.25 m yükseklikteki ve $n=0.8$ üstel indeksli NNF için yamuk bölgede çeşitli yamuk açıları için ortalama nusselt sayısının Ra sayısı ile değişimleri	91
Şekil 3.54. $Pr = 1000$ için 0.25 m yükseklikteki ve $n=0.9$ üstel indeksli NNF için yamuk bölgede çeşitli yamuk açıları için ortalama nusselt sayısının Ra sayısı ile değişimleri	92
Şekil 3.55. $Pr = 1000$ için 0.25 m yükseklikteki ve $n=1.0$ üstel indeksli NNF için yamuk bölgede çeşitli yamuk açıları için ortalama nusselt sayısının Ra sayısı ile değişimleri	93
Şekil 3.56. $Pr = 1000$ için 0.25 m yükseklikteki ve $n=1.2$ üstel indeksli NNF için yamuk bölgede çeşitli yamuk açıları için ortalama nusselt sayısının Ra sayısı ile değişimleri	94
Şekil 3.57. $Pr = 1000$ için 0.25 m yükseklikteki ve $n=1.4$ üstel indeksli NNF için yamuk bölgede çeşitli yamuk açıları için ortalama nusselt sayısının Ra sayısı ile değişimleri	95
Şekil 3.58. $Pr = 1000$ için 0.25 m yükseklikteki ve $n=1.6$ üstel indeksli NNF için yamuk bölgede çeşitli yamuk açıları için ortalama nusselt sayısının Ra sayısı ile değişimleri	96
Şekil 3.59. $Pr = 1000$ için 0.25 m yükseklikteki ve $n=1.8$ üstel indeksli NNF için yamuk bölgede çeşitli yamuk açıları için ortalama nusselt sayısının Ra sayısı ile değişimleri	97

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Yayın yılına göre kapalı ikizkenar yamuk (trapezoid) ortamlarda doğal taşınım problemi için yapılmış olan bilimsel çalışmalar	15
Tablo 1.2. Yayın yılına göre kapalı ortamlarda power-law akışkanla doğal taşınım problemi için yapılan bilimsel çalışmalar	25

SEMBOLLER DİZİNİ

a	[-]	: Korelasyon parametresi
b	[-]	: Korelasyon parametresi
CPV		: Yoğunlaştırılmış fotovoltaik
c_p	[J/kgK]	: Özgül ısı (sabit basınçta)
e_{ij}	[s ⁻¹]	: Şekil değiştirme hız tensörü
F	[-]	: Yatay duvarlar üzerindeki hidrodinamik sınır tabaka kalınlığının kapalı ortam yüksekliğine oranı
g	[m/s ²]	: Yer çekimi ivmesi
Gr	[-]	: Grashof sayısı
h	[W/m ² K]	: Isı taşınım katsayısı
H	[m]	: Kapalı ortam yüksekliği
k	[W/mK]	: Isı iletim katsayısı
K	[N.s ⁿ /m ²]	: Akışkan kıvamlılık (yoğunluk) indeksi
L_C	[m]	: Kapalı ortamın soğuk duvar uzunluğu
L_H	[m]	: Kapalı ortamın sıcak duvar uzunluğu
n	[-]	: Power-law akışkan davranış indeksi
Nu	[-]	: Nusselt sayısı
\overline{Nu}	[-]	: Ortalama Nusselt sayısı
Pr	[-]	: Prandtl sayısı
Ra	[-]	: Rayleigh sayısı
T	[K]	: Sıcaklık
u	[m/s]	: Yatay hız
v	[m/s]	: Düşey hız
u_i	[m/s]	: i . hız bileşeni
u_j	[m/s]	: j . hız bileşeni
x_i	[m]	: i . yöndeki koordinat
x_j	[m]	: j . yöndeki koordinat
α	[m ² /s]	: Isıl yayılım katsayısı

β	[1/K]	: Isıl genleşme katsayısı
δ_{ij}	[-]	: Kronecker delta
$\dot{\gamma}$	[1/s]	: Şekil değiştirme hızı
ΔT	[K]	: Sıcak ve soğuk duvar arasındaki sıcaklık farkı
θ	[°]	: Yamuk açısı
ν	[m ² /s]	: Kinematik viskozite
ρ	[kg/m ³]	: Yoğunluk
τ_{ij} (τ)	[Pa]	: Gerilme tansörü

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Doğal taşınım akışkan hareketinin sadece sıcaklık değişimleri nedeniyle akış içinde meydana gelen yoğunluk farklılıklarından kaynaklanan herhangi bir dış kaynak (pompa, fan, emme cihazı, vb gibi) tarafından oluşturulmadığı bir ısı iletim türüdür. Doğal taşınım, elektronik aletleri soğutma, güneş kolektörlerinden ısı kaybı, gıda işleme ve depolama, bina yalıtımı, elektrokimya, yangın kontrolü, metalürji, meteoroloji, jeofizik ve nükleer reaktörlerde akım gibi çeşitli mühendislik ve endüstriyel uygulamalar nedeniyle araştırmacıların dikkatini çekmekte olan bir araştırma konusudur.

Kapalı boşluklarda doğal taşınım pek çok endüstriyel uygulamada geçerli olup çeşitli sayısal ve deneysel çalışmaların konusu olmuştur. Kısmen ısıtılmış bir kapalı ortam içinde doğal konveksiyon ısı transferi, binalar veya gömme montajlı elektronik ısıtıcıların yaygın soğutma uygulamaları nedeniyle önemli bir konudur (Öztop, 2008).

Gıda bir temel konfor ve canlılar için bir gerekliliktir. Çözülme süreci gıda endüstrisi için önemli bir problemdir. Bu uzun süreçte, gıda oksidasyon ve çapraz bulaşma riskine maruz kalmaktadır. Çözülme sürecini modellemek zaman-sıcaklık geçmişi ve sonra mikrobik büyüme riskini tahmin etmek bakımından yararlı olabilir. Gıda sıcaklık alanı değişim tahminleri optimal uygulamayı sağlamak ve süreç koşullarının ayarlanması için gereklidir. Bir sıvı (çoğu zaman su) ısı transfer ortamı olarak kullanıldığı zaman, sıvı ve ürün arasındaki sıcaklık farkı nedeniyle sıvıda doğal ya da karma konveksiyon gelişir. Sıvı içindeki hız alanının analizi ve bu sıvı ile ürün arasındaki transfer, çözme süresinin optimizasyonu ve sürecin geliştirilmesi için gereklidir (Ousegui, 2006).

Akışkan dolu dikdörtgen kapalı ortamlar içinde doğal taşınım, birçok mühendislik tesisatının termal performansı ile ilişkisi nedeniyle son yıllarda büyük ilgi toplamaktadır. Mesela bir cam tankın üzerine yerleştirilen bir dizi yanıcı maddenin cam eriyiğin periyodik sıcaklık profilleri yüzeyini oluşturduğu cam eritme tanklarının ısı transfer özelliklerini anlamaya olan ihtiyaç nedeniyle motive edilmektedir (Sarris, 2002).

Doğal taşınım kontrolü bir materyalin katılaşması esnasında çok önemlidir. Bu termal veya konsantrasyon geçişlerini tarafından yönlendirilen taşınım, normal katılaşmada ısı ve çözünenin yaygın dağılımı üzerine hakim olduğu iyi bilinmektedir. Lorentz kuvveti

tarafından doğal taşınım sönümlemesi metal eritme ve katılaştırmayı kapsayan diğer teknolojik süreçleri ve yarı iletken mono- kristal kütlelerin işlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Series, 1991).

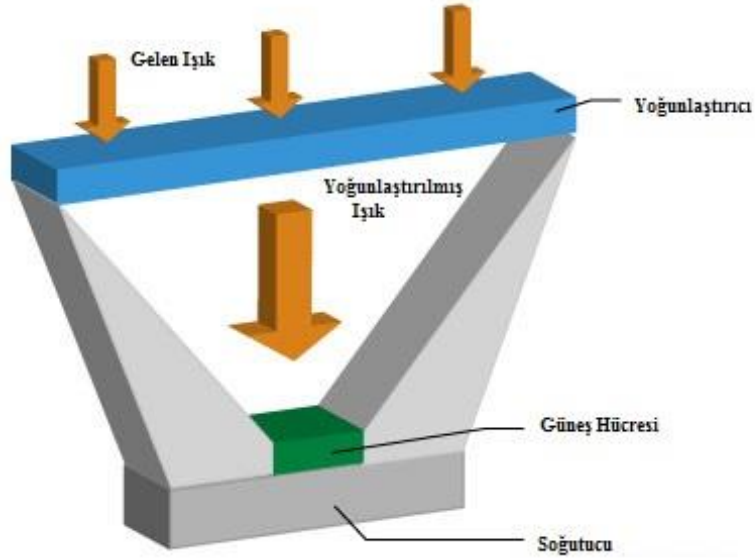
Kapalı silindirik ortamlar içinde doğal taşınım, boşaltılmış tüp kolektörleri gibi güneş enerjisi sistemlerinde en sık karşılaşılan olaylardan biridir. Yüksek sıcaklık operasyonlarında, boşaltılmış tüp emici yüzeyi etrafına yerleştirilen vakum zarf sayesinde konvektif ısı kaybını en aza indirdiğinden, boşaltılmış tüp kolektörleri düz plaka kolektörlere göre daha yüksek verimlilik ve daha iyi performansa sahiptir (Shahi, 2010).

Gerçekte, farklı yüzey sıcaklıklarına sahip kapalı ortam içinde doğal taşınım, birçok endüstriyel uygulamanın prototipi olup özellikle, yamuk geometri çeşitli alandaki uygulanabilirliği nedeniyle oldukça dikkat çekmiştir. Orta derece yoğunlaştırılmış güneş enerjisi kolektörü, yamuk geometri içeren önemli bir örnektir (Saleh, 2011).

Güneş fotovoltaiikleri (*PV*) (Şekil 1.1) farklı yenilenebilir enerji teknolojileri arasında en ilgi çekici olan teknolojilerden biridir. Yüksek maliyeti nedeniyle, güneş *PV*'nin pratik kullanımı sınırlıdır. Güneş *PV* maliyetini düşürmek için çeşitli yollar bulunmaktadır. Güneş *PV* maliyet bariyerini azaltmanın etkili yollarından bir tanesi; sayı ya da alanları azaltılmış güneş hücreleri ile güneş hücrelerindeki güneş yoğunluğunu yansıma veya kırılma yaparak aynı güç miktarını üreten yoğunlaştırılmış fotovoltaiikler (*CPV*-concentrated photovoltaic) (Şekil 1.2) kullanımını sağlamaktır (Natarajan, 2012). Ancak bu sistemler konsantre fotovoltaiik verimliliğini doğrudan etkileyebilecek aşırı ısınma gibi bazı sorunları da beraberinde getirmektedir. Elektronik bileşenlerin soğutulması gibi birçok mühendislik uygulamalarında ısı çekme stratejileri; basitlik, minimum maliyet, düşük gürültü, küçük boyutluluk ve güvenilirlik gibi ölçütlere dayalı olarak tipik bir doğal taşınım ısı transferi problemi şeklinde incelenir (Ostrach, 1988).



Şekil 1.1. Güneş Fotovoltaik paneli



Şekil 1.2. Yoğunlaştırılmış fotovoltaik sistemin şematik görünüşü

Yukarıda verilen örneklerden de anlaşılacağı üzere, kapalı ortamlar içerisinde doğal taşınım, birçok mühendislik uygulamasında temel ısı geçiş mekanizması olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu uygulamaların bir kısmında ısı transferinin meydana geldiği ortam olarak, kayma gerilmesi ile şekil değiştirme hızı arasında doğrusal olmayan bir ilişkinin bulunduğu, Newtonumsu olmayan akışkanlar ile karşılaşmak mümkündür. Çünkü sanayide kullanılan makine yağları ve diğer yağlayıcılardan, günlük hayatta kullanılan diş macunu, kremler ve losyonlar gibi kişisel bakım ürünlerine, yangınla mücadele için kullanılan köpüklerden insan vücudunda yer alan kan ve eklem sıvısı gibi birçok akışkan Newtonumsu olmayan davranış gösterir. Bu yüzden Newtonumsu olmayan akışkanlar

geniş bir uygulama alanına sahiptirler. Ayrıca, kapalı ortamlarda doğal taşınım gibi iç akışlarda Newtonumsu olmayan akışkanların akış ve ısı transferine yönelik çok sayıda uygulama söz konusudur. Bu uygulamalara yönelik birkaç örnek verilerek, kapalı ortamlarda Newtonumsu olmayan akışkanların doğal taşınım olayı daha iyi anlaşılabilir (Turan, 2013).

Kapalı ortamlarda Newtonumsu olmayan akışkanların en önemli kullanım alanlarından biri yoğunlaştırılmış fotovoltaik (*CPV*) sistemlerde ısı çıkarma mekanizması gibidir. *CPV* sistem, yeşil enerji üretimi maliyetini düşürmek için umut verici bir yöntem olarak görülmektedir. Konsantrasyon kullanımı bu nedenle, daha ucuz malzemelerle (örneğin, lensler veya aynalar) daha pahalı yarı iletkenlerin değişimini olanaklı kılmaktadır. Güneş pillerinin soğutması, *CPV* sistemlerinin tasarımında temel sorunlardan bir tanesidir. Genel olarak, pasif soğutma ve aktif soğutma şeklinde iki yol vardır. Güneş pillerinin doğrudan Newtonumsu olmayan silikon yağına batırılması fotovoltaik sistemlerin soğutulması için olumlu bir katkı sağlamaktadır (Wang, 2009).

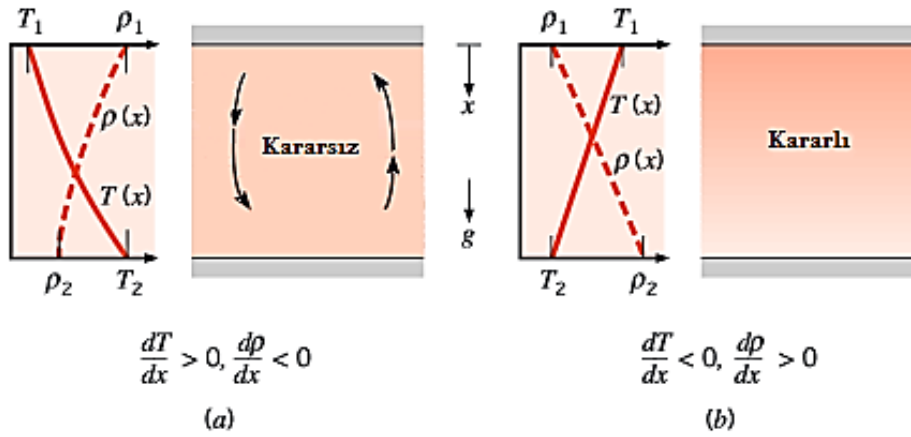
1.2. Doğal Taşınım

Pompa, fan, emme cihazı, vb gibi dış etkiler tarafından ortaya çıkan zorlanmış taşınımın aksine, doğal taşınım akım alanındaki yoğunluk farkı veya yoğunluk gradyanı ile ortaya çıkar. Bu yoğunluk farkı, akış alanındaki sıcaklık değişimleri etkisi, konsantrasyon geçişleri veya konsantrasyon farklılıkları nedeniyle oluşabilir. Taşınım oluşması için gerekli olan diğer bir durum, yoğunlukla orantılı olan kütle kuvvetidir. Pratikte kütle kuvveti; her ne kadar atmosferik ve okyanus ölçeğinde hareketlerdeki Coriolis kuvveti veya dönme hareketi yapan bir akışkan makinesindeki merkezkaç kuvvet olsa da, uygulamada kütle kuvveti genellikle yerçekimi kuvveti olarak ortaya çıkar (Faghri, 2010).

Kaldırma kuvveti, doğal taşınımı oluşturan tek faktördür. Yoğunluk gradyanı bir sıcaklık gradyanından kaynaklanırken ve kütle kuvveti de yer çekim alanından kaynaklanır. Birden fazla mekanizması olan ısı transferi etkilerini içeren çoğu sistemde doğal taşınım ısı transferi üzerindeki en büyük direnci gösterir ve bu nedenle sistemin tasarımı veya performansında önemli bir rol oynar. Ayrıca ısı transfer oranlarını en aza indirmek veya işletim maliyetini en aza indirmek arzu edildiğinde, doğal taşınım genellikle zorunlu taşınım tercih edilir. Doğal taşınım elektronik cihazları ve güç üretimi çalışma sıcaklıklarını önemli düzeyde etkiler. Isıl tasarım uygulamalarında bir dizi önemli rol

oyunur. Binaların içindeki sıcaklık dağılımının sağlanması ve ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemleri için ısı kayıplarını veya ısı yüklerinin belirlenmesinde önem kazanır (Incropera vd. 2007).

Bu çalışmada; kütle kuvvetinin yerçekimi olduğu ve sıcaklık farkı nedeniyle oluşan yoğunluk gradyanlarının neden olduğu doğal taşınım problemi üzerinde durulmuştur. Ancak, yerçekim alanında bir akışkanın yoğunluk gradyanının varlığı doğal taşınımın oluşacağını garanti etmez. Şekil 1.3'te de görüldüğü gibi bir akışkanın alt ve üst kısımlarında farklı sıcaklığa sahip iki büyük yatay plaka ($T_1 \neq T_2$) yer alması durumunda, levha sıcaklıklarına bağlı olarak farklı davranış ortaya çıkar. Şekil 1.3 a durumunda alt plakanın sıcaklığı, üst plakanın sıcaklığından yüksektir ($T_1 < T_2$) ve yoğunluk yer çekim kuvveti yönünde azalır. Sıcaklık farkı kritik bir değeri aştığı takdirde kararsız bir durum ortaya çıkarak kaldırma kuvvetlerinin sürtünme kuvvetlerinin engelleyici etkisini aşması mümkün olabilir. Üst tabakalarda daha yoğun olan akışkan üzerinde etkili yerçekim kuvveti alt tabakalardaki daha hafif olan akışkanda etkin olan kuvvete baskın gelir ve Şekil 1.3 a'da görülen doğal taşınım hareketi başlar. Hafif akışkan yükselip hareket ettikçe soğurken süreç içinde ısınan ağır akışkan alçalır. Bununla birlikte bu durum ($T_2 < T_1$) ve yoğunluğun yerçekim kuvveti yönünde azalmadığı Şekil 1.3 b durumunu karakterize etmez. Bu durumda koşullar istikrarlı olup bir bütün halinde akış hareketi yoktur. Şekil 1.3 a durumunda ısı transferi doğal taşınım ile alttaki yüzeyden üste doğru gerçekleşirken, b durumu için ısı transferi (üstten alta doğru) iletim yoluyla meydana gelir (Incropera vd., 2007).



Şekil 1.3. Farklı sıcaklıklara sahip iki yatay plaka arasındaki akışkan tabakası (a) kararsız sıcaklık gradyanı, (b) kararlı sıcaklık gradyanı (Incropera vd., 2007).

Taşınım üzerine yapılan çalışmalarda kullanılan denklemleri boyutsuzlaştırma ve toplam değişkenlerin sayısını azaltmak amacıyla boyutsuz sayıları kullanmak yaygın bir uygulamadır (Çengel, 2003). Doğal taşınım hareketinde sürücü kuvvet kaldırma kuvvetidir. Grashof sayısı akışkan parçacığına etkiyen kaldırma kuvvetlerinin sürtünme kuvvetlerine oranı olarak tanımlanır ve akış alanında kaldırma kuvveti etkilerinin büyüklüğünü gösterir.

$$Gr = \frac{\rho^2 g \beta (T_s - T_{ref}) L^3}{\mu^2} \quad (1.1)$$

Bu ifadede yer alan, ρ akışkan yoğunluğunu, g yerçekimi ivmesini, β ısı genleşme katsayısını, T_s ve T_{ref} sırasıyla yüzey ve referans sıcaklığı, L referans uzunluğu, μ ise plastik viskoziteyi göstermektedir.

Bir diğer önemli boyutsuz sayı momentum yayınının ısı yayınıma (thermal diffusion) oranı olarak tanımlanan Prandtl sayısıdır. Prandtl sayısı aynı zamanda hidrodinamik sınır tabaka kalınlığının ısı sınır tabaka kalınlığına oranı olarak da tanımlanmakta olup şu şekilde ifade edilir:

$$Pr = \frac{\nu}{\rho} \quad (1.2)$$

Burada, ν kinematik viskoziteyi, α ise ısı yayılım katsayısını göstermektedir. Doğal taşınım akışlarında, akışın türüne (laminer veya türbülans) ve ısı geçiş mekanizmasının türüne (iletim veya taşınım) Rayleigh sayısına göre karar verilir. Rayleigh sayısı Grashof ve Prandtl sayısının bir fonksiyonu olup, akış alanındaki kaldırma kuvveti kaynaklı ısı taşınımının (thermal transport) ısı yayınıma oranı olarak tanımlanır ve aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$Ra = \frac{\rho^2 c_p g \beta (T_s - T_\infty) L^3}{\mu k} = Gr Pr \quad (1.3)$$

Sürekli rejim koşulu altında, akışkan bir ortam içerisinde taşınım ile meydana gelen ısı transferin, iletim ile meydana gelen ısı transfere oranı olarak tanımlanan Nusselt sayısı, bir çok ısı transfer probleminde olduğu gibi, doğal taşınım olayında da ısı geçişinin en önemli göstergesi olup aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$Nu = \frac{hL}{k} \quad (1.4)$$

Nusselt sayısı ısı transfer yüzeyinde taşınım ile transfer edilen ısının bir ölçüsüdür ve boyutsuz sıcaklık gradyanı olarak da tanımlanır.

1.2.1. Kapalı Ortamlarda Doğal Taşınım

Kapalı ortamlarda doğal taşınım pek çok mühendislik uygulamasında ortaya çıkan dikkat çekici bir çalışma konusudur. Kapalı ortamlarda doğal taşınım ile ilgili çalışmaların büyük çoğunluğu basit geometri, örneğin dikdörtgen, kare, silindirik ve küresel boşluklar gibi durumlarla sınırlıdır. Ancak uygulamada ortaya çıkan geometrik yapılar daha karmaşık olup, incelenmeleri basit olmaktan uzaktır. Viskoz akışkan veya gözenekli ortam ile doldurulmuş üçgen kapalı ortamdaki doğal taşınım üzerine yapılmış az sayıda çalışma literatürde mevcuttur (Başak, 2009).

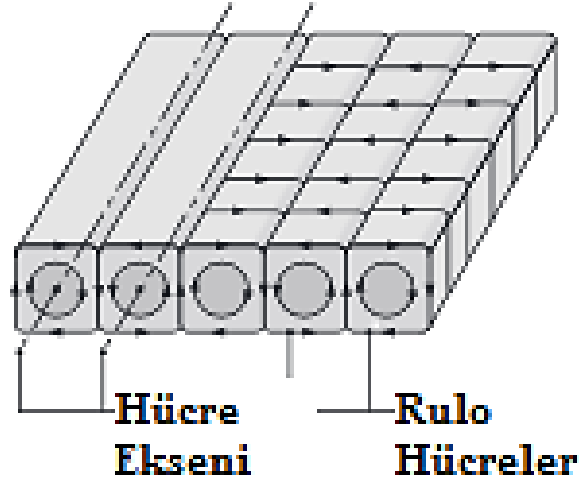
Kapalı ortamlarda doğal taşınım ile ilgili kapalı ortam sınır koşullarına bağlı bir çok farklı problem ortaya çıkmasına rağmen, araştırmalar genelde Rayleigh-Benard ve De-Vahl Davies problemleri olarak bilinen iki klasik problem tipi üzerine yoğunlaşmıştır (Turan, 2013).

Rayleigh-Benard taşınımı doğada ve çeşitli endüstriyel uygulamalarda kütle ve ısı transferinin önemli bir mekanizmasıdır. Örneğin, jeofizik, astrofizik, meteoroloji, eşanjörler, binalardaki çok katmanlı duvarlar ve elektronik bileşenlerin soğutulmasına atıfta bulunulabilir. Bu uygulamaların yanı sıra, Rayleigh-Benard taşınımında akışın dinamik insitabilitesi, çatlama ya da akışlardaki kaotik davranışları analiz etmek için çalışılabilir (Ouertatani, 2008).

Rayleigh-Benard taşınımı, sadece bir sıcaklık gradyanından kaynaklanan yoğunluk farkları ile oluşan bir akış türüdür. Rayleigh-Benard taşınımı bir akışkan hacmi alttan ısıtıldığında meydana gelir. Akışkan birbirine yakın iki kapatma paralel levha arasında tutulur ve alt levha daha yüksek bir sıcaklıkta tutulur. Alt plakanın yakınındaki akışkan daha yüksek bir sıcaklık elde edecek ve dolayısıyla akışkanın geri kalanından daha düşük bir yoğunluğu olacaktır. Yerçekimi üst levhede soğuk ve ağır bir akışkan yapacaktır ancak bu akışkandaki viskoz kuvvetlerin aksine olacaktır. Bu taşınımın oluşup oluşmayacağını belirleyen bu iki kuvvet arasındaki dengedir. Sıcaklık gradyanı ve böylece yoğunluk

gradyanı yeterince büyükse yerçekimsel kuvvetler hâkim olacak ve istikrarsızlık meydana gelecektir. Akışkanın genel davranışı, Rayleigh-Benard açısından, sadece boyutsuz Rayleigh sayısına göre belirlenir (Sandberg, 2011).

Alttan ısıtılmalı yatay boyutun yükseklikten daha büyük olduğu kapalı dikdörtgen kararlılık analizi Rayleigh sayısının 1708'den küçük olduğu durumda akışın kararlı olacağını göstermiştir. Daha büyük Rayleigh sayıları için, hücreler parçalanır ve sıvı hareketi türbülanslı olmadan önce birçok farklı desen sayesinde dönüşürken $1708 < Ra \leq 5 \times 10^4$ aralığındaki Rayleigh sayılarında akış hareketi düzenli aralıklarla rulo hücreleri içerir (Şekil 1.4), (Incropera vd., 2007).



Şekil 1.4. $1708 < Ra \leq 5 \times 10^4$ aralığındaki Rayleigh sayılarında akış hareketi

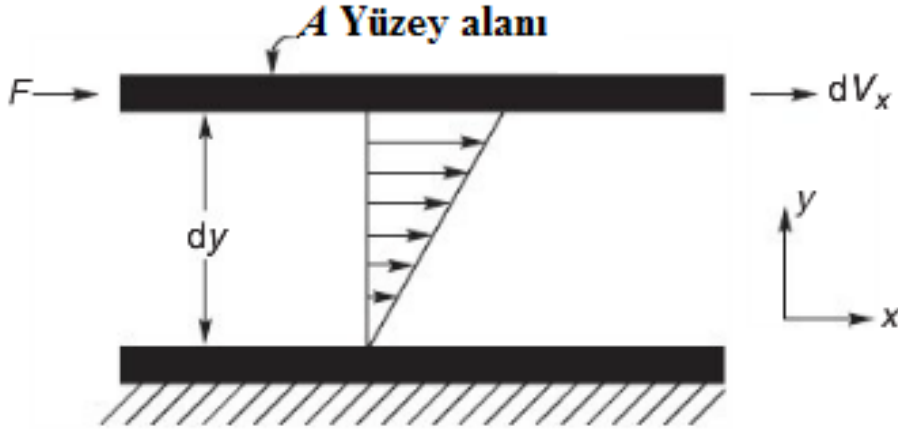
1.3. Newtonumsu Olmayan Akışkanlar

Dışarıdan uygulanan bir basınca karşı göstermiş olduğu tepki ya da kayma gerilme (τ) etkisine göre akışkanlar iki farklı şekilde sınıflandırılabilir. Sınıflandırmanın birinci düzeninde akışkan; basınca bağlı olarak “sıkıştırılabilir” ve “sıkıştırılmaz” olarak iki gruba ayrılır. Sıkıştırılabilirlik gazların akış özelliklerini etkilerken, sıvılar normalde sıkıştırılmaz olarak kabul edilebilir. İkinci sınıflandırmada ise; akışkanların uygulanan kayma gerilmesine karşı vermiş oldukları cevaba göre, bir akışkanın kayma gerilmesi (τ) ile şekil değiştirme hızı ($\dot{\gamma}$) arasında doğrusal bir ilişki söz konusu ise yani viskozitesi kayma gerilmesinden bağımsız ise “Newtonumsu akışkan” ve eğer kayma gerilmesi ile

şekil değiştirme hızı arasında doğrusal bir ilişki bulunmuyorsa yani viskozitesi kayma gerilmesine bağlı ise “Newtonumsu-olmayan akışkan” nitelendirmesi yapılır (Chhabra ve Richardson, 2008).

Şekil 1.5'te gösterildiği gibi, iki paralel düzlem arasında dy kadar bir mesafede yer alan ince bir akışkan tabakada daimi koşulda akışkan gösterildiği gibi bir F kuvveti uygulanması ile kaymaya zorlandığında, akışkan içerisinde eşit ve zıt yönde bir sürtünme kuvveti ortaya çıkar. Laminer sıkıştırılmaz akışta Newtonumsu bir akışkan için, ortaya çıkan kayma gerilmesi şekil değiştirme hızı ve akışkan viskozitenin çarpımına eşittir (Chhabra ve Richardson, 2008):

$$\frac{F}{A} = \tau_{yx} = \mu \left(-\frac{dV_x}{dy} \right) = \mu \dot{\gamma}_{yx} \quad (1.5)$$



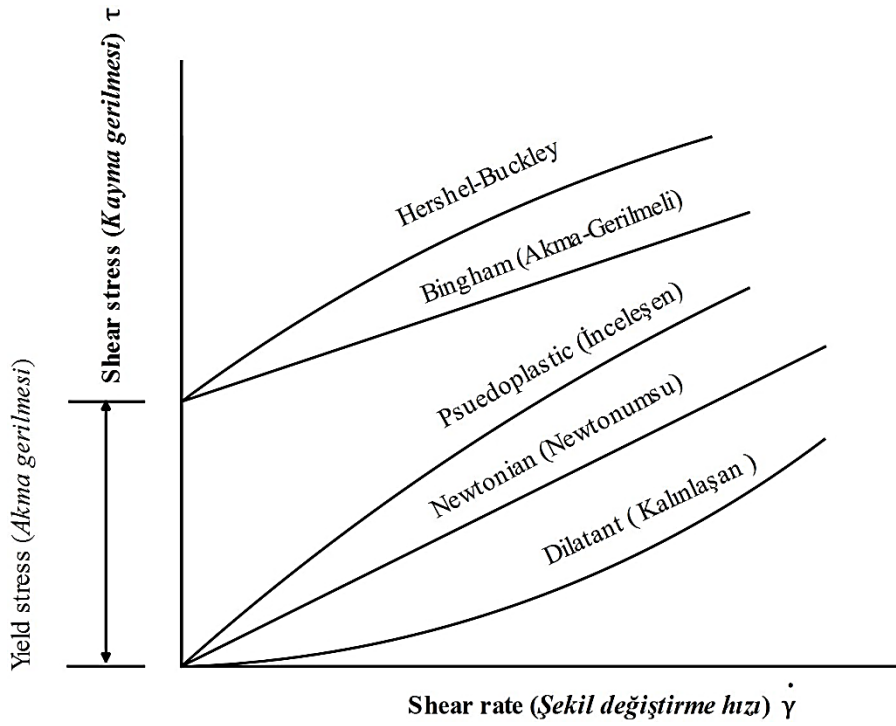
Şekil 1.5. Newtonumsu akışkanlarda tek boyutlu kayma akışının şematik gösterimi (Chhabra ve Richardson, 2008).

Newtonumsu olmayan akışkanlarda akış eğrisi (kayma gerilmesi-şekil değiştirme hızı eğrisi) doğrusal olmayıp; görünür viskozite büyüklüğü sıcaklık ve basınca bağlı olarak değişen akışkanlardır. Newtonumsu olmayan akışkanlar genel olarak üç gruba ayrılır:

(1) Herhangi bir noktada şekil değiştirme hızı, sadece kayma gerilmesi değeri tarafından belirlen akışkanlar olup, bunlar “zaman bağımsız”, “tamamen viskoz” (purely viscous), “esnek olmayan” (inelastic) veya “genelleştirilmiş Newtonumsu akışkanlar” (GNF-generalized Newtonian fluids) gibi farklı isimlerle bilinir (Şekil 1.6).

(2) Kayma gerilmesi ve şekil değiştirme hızı arasındaki ilişki, akışın süresine de bağlı olan daha karmaşık akışkanlardır. Bunlara, “zaman bağımlı akışkanlar” (time-dependent) denilmektedir.

(3) Hem ideal akışkan hem de elastik katı özelliği ve deformasyondan sonra kısmi elastik toparlanma gösteren maddeler; bunlar “visko-elastik akışkanlar” (visco-elastic) olarak kategorize edilirler (Chhabra ve Richardson 2008).



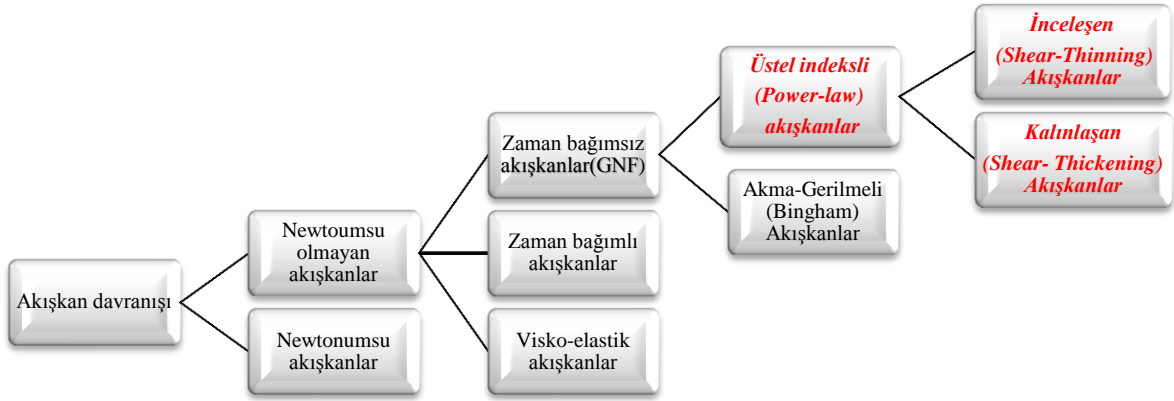
Şekil 1.6. Zaman bağımsız akışkanların akış eğrisi ve örnekleri.

Bu çalışmada zaman bağımsız akışkanlar incelendiği için, bu akışkanlar üzerinde durulmuştur.

Zaman bağımsız veya genelleştirilmiş Newtonumsu akışkanlar, üç gruba ayrılabilir:

- İnceleşen (Shear-thinning) veya Sanki-Plastik (Pseudoplastic) Akışkanlar.
- Akma-Gerilmeli (Bingham) Akışkanlar (Yield Stress Fluids).
- Kalınlaşan (Shear- thickening) veya Dilatant Akışkanlar.

Not: Şekil 1.7’de de görüldüğü gibi (a) ve (b) grupları genelde üstel indeksli (Power-law) akışkanlar olarak tanımlanır.



Şekil 1.7. Kayma gerilmesi ve şekil değiştirme hızları arasındaki ilişkiye göre akışkanların sınıflandırılması.

1.3.1. Akma-Gerilmeli (Bingham) Akışkanlar (Yield Stress Fluids)

Şekil 1.6' da görüldüğü gibi bu maddeler kayma hızı ile kayma gerilmeleri lineer olmasına karşın, belli bir büyüklüğe kadar kayma gerilime karşı koyabilirler. Kısacası düşük bir gerilimde rijit bir özellik sergiler. Fakat yüksek gerilimde ise akışkan özelliğini gösterirler. Plastik kuvvet kalkınca eski haline dönemez. Örnek olarak diş macunu ve mayonez gelir (Diş macunu ve mayonez).

1.3.2. İnceleşen (Shear-Thinning) veya Sanki-Plastik (Pseudoplastic) Akışkanlar

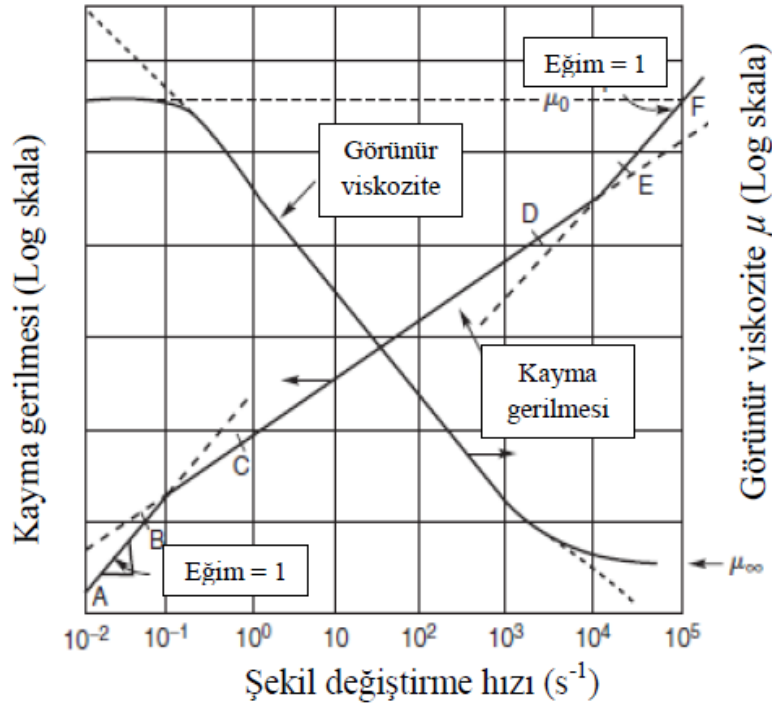
Üstel indeksli veya Ostwald-de Waele ilişkisi gösteren bir genelleştirilmiş Newtonumsu akışkan türü olup bu ilişki için ait kayma gerilmesi (τ):

$$\tau = K \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^n \quad (1.6)$$

şeklinde tanımlanır.

İnceleşen (shear-thinning) veya sanki-plastik (pseudoplastic) akışkanlarda viskozite şekil değiştirme hızı ile azalır. Yani bu maddenin direnci şekil değiştirme arttıkça azalır. Örneğin boya davranışı bu şekildedir. Boya fırçada dururken akamaz iken duvara sürülürken rahatça duvara geçer. Ketçap da bu gruba girer (Tırnak cilası, krem şanti, ketçap, pekmez, şurup, suda kağıt hamuru, lateks boya, buz, kan, bazı silikon yağları, bazı silikon kaplamalar vb.).

Şekil 1.8’de incelenen akışkan davranışı gösteren bir polimer çözeltisine ait kayma gerilmesi-şekil değiştirme hızı karakteristiği görülmektedir. Çok düşük ve çok yüksek şekil değiştirme hızlarında akış eğrisinin (flow curve) doğrusal olduğu ve lineer ölçekte orijinden geçeceği görülür. Çok düşük ve çok yüksek şekil değiştirme hızlarında ortaya çıkan görünür viskoziteler sırasıyla μ_0 sıfır kayma viskozitesi ve μ_∞ sonsuz kayma viskozitesi olarak tanımlanır ve incelenen bir akışkanın görünür viskozitesi, artan şekil değiştirme hızı ile birlikte, μ_0 dan μ_∞ ’a kadar azalır. Viskozitenin üst ve alt sınırları oluşturan şekil değiştirme hızı değerleri, akışkan malzemenin türü, konsantrasyonu ve moleküler ağırlığının dağılımı gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu nedenle, bu sınırlar için geçerli bir genelleştirme yapmak zordur ancak çoğu akışkan malzemede viskozitenin üst ve alt sınırı, sırasıyla şekil değiştirme hızının $10^{-2} s^{-1}$ den küçük ve $10^5 s^{-1}$ den büyük değerlerinde görülür. Genelde, incelenen akışkanlarda, görünür viskozitenin sabit olduğu şekil değiştirme hızının değişim aralığı ve görünür viskozitenin düşüş hızı (viskozitenin sınır değerleri arasındaki bölge) akışkan malzemenin türüne bağlı olup, akışkandan akışkana değişim gösterir (Turan, 2013).



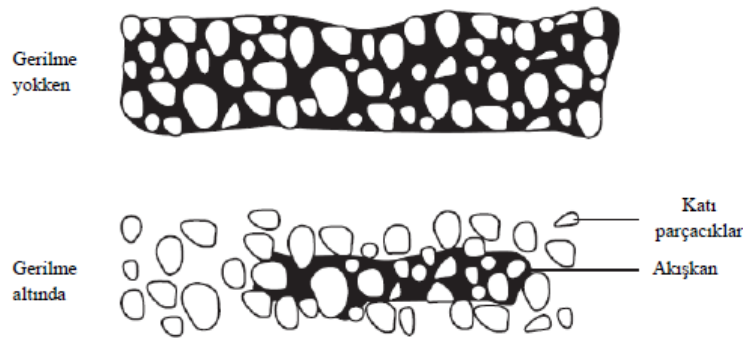
Şekil 1.8. İncelenen akışkan davranışının şematik gösterimi (Turan, 2013)

1.3.3. Kalınlaşan (Shear- Thickening) veya Dilatant Akışkanlar

Bu akışkan tipinde şekil değiştirme hızı arttıkça akışkanın viskozitesi de artar. Nişasta solüsyonu buna çok iyi bir örnektir. Sporda koruma giysilerinde, motosiklet koruma kasklarında kullanılırlar (Flubber gibi maddeler, suda mısır nişastası süspansiyonu, suda kum süspansiyonları vb.).

Kalınlaşan akışkan davranışının şematik gösterimi Şekil 1.9'de verilmiş olup, akışkan davranışı şu şekilde açıklanır: Hareketsiz durumda, akışkan süspansiyon malzeme içerisindeki katı parçacıklar arasındaki boş alanları yeterince doldurur ve boşluklar minimum olur. Düşük şekil değiştirme hızlarında, akışkan tabakası katı parçacıkları kayganlaştırır ve kendi aralarında hareket edebilmelerine yol açar ve bu nedenle ortaya çıkan gerilmeler küçüktür. Diğer taraftan, yüksek şekil değiştirme hızlarında ise; süspansiyon karışım (kum tepciklerinin hareketinde gözlemlendiği gibi) kabarıp ve artık akışkan tabakası, katı parçacıkların aralarındaki boşlukları doldurmak ve katı-katı temasını önlemek için yetersiz kalır. Bu durum daha yüksek sürtünme ve kayma gerilmelerinin oluşmasına neden olur (Şekil 1.14). Bu mekanizma aynı zamanda görünür viskozitenin, artan şekil değiştirme hızı ile birlikte, hızla artmasına yol açar (Chhabra ve Richardson 2008), (Turan, 2013).

Dilatant terimi, artan şekil değiştirme hızı ile görünür viskozitesi artan diğer bütün akışkan türleri için de kullanılır. Ancak, bu akışkanların çoğunluğu, nişasta kolası gibi, gerçek anlamda süspansiyon karışım değildir ve kayma ile birlikte kalınlaşmazlar. Bu nedenle bu tür dilatant akışkanlar kalınlaşan akışkanlardan (shear-thickening fluids) farklıdır (Turan, 2013).



Şekil 1.9. Kalınlaşan akışkan (shear-thickening fluid) davranışının şematik gösterimi (Turan, 2013)

1.4. Literatür Araştırması

Newtonumsu akışkanların doğal taşınımı konusunda oldukça geniş bir çalışma birikimi mevcut iken, Newtonumsu-olmayan akışkanlarda doğal taşınım analizine yönelik sınırlı bir literatür mevcuttur. Kapalı ortamlarda doğal taşınım olayı ise, 1960'lı yıllardan günümüze kadar birçok ısı ve akış mühendisliği alanında oldukça geniş bir uygulama alanına sahip olmuş bir konudur. Ancak Newtonumsu-olmayan akışkanlar ile dolu kapalı ortamlarda doğal taşınım çalışmaları özellikle 2000 yılından sonra önemli oranda artış göstermiştir.

Dikdörtgen kesitli kapalı ortamlarda Newtonumsu ve Newtonumsu-olmayan akışlar petrol-sondaj, kâğıt hamuru, kâğıt, çamur taşımacılığı, gıda işleme ve polimer mühendisliği gibi çeşitli mühendislik uygulamalarında görülür. Sanki plastik akışkanlar küçük ısı değiştirgeci veya bir soğutma artırıcı ortam olarak elektronik modüllerde kullanılır. Adyabatik yan duvarlarla farklı olarak ısıtılmış iki boyutlu kapalı ortamlar için ısı transfer özellikleri, yatay bir düzlemde Prandtl sayısı ve boşluğun yüksekliğine göre Rayleigh sayısı ile ilgili boşluğun eğiminden etkilenmektedir. Daha önce de vurgulandığı gibi, Newtonumsu akışkan durumları büyük ilgi görürken, Newtonumsu-olmayan durumlarla ilgili sınırlı sayıda makale bulunmaktadır (Khezzar Lyes, 2012).

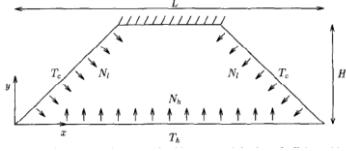
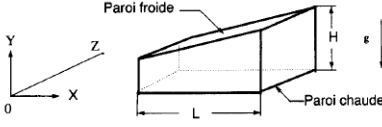
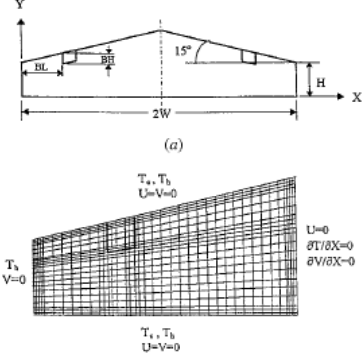
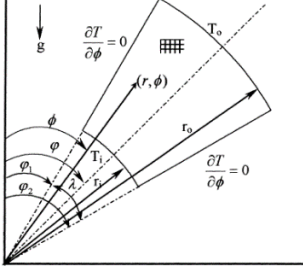
Newtonumsu-olmayan üstel indeksli akışkanların laminar doğal taşınımı, çeşitli mühendislik uygulamalarında önemli bir rol oynamaktadır. Bu akışkanlar ile ilgili ısı transferi çalışmaları son yıllarda birçok araştırmacının ilgisini çekmektedir.

Çoğunlukla kare ve dikdörtgen kesitlerde yapılan analitik, sayısal ve deneysel yaklaşımları içeren çeşitli problemler incelenmiştir ve sonuçlar doğal taşınım özelliklerinin önemli ölçüde sıvının reolojik özelliklerinden etkilendiğini göstermektedir. Ancak, ikizkenar yamuk (trapezoid) gibi çeşitli diğer önemli geometrilerin incelenmesi büyük ölçüde keşfedilmemiş durumdadır (Sojoudi Atta, 2013).

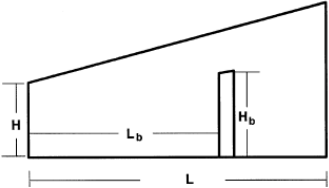
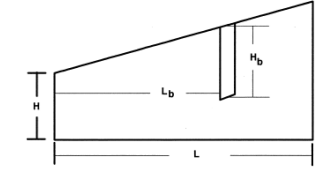
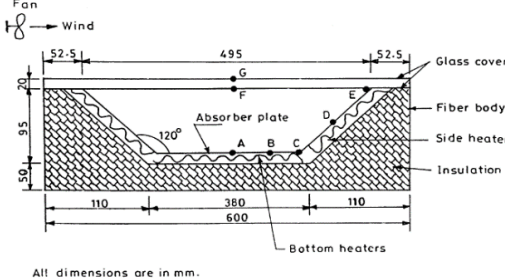
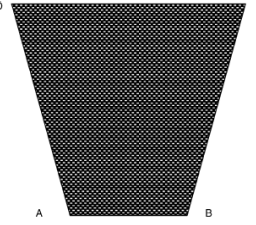
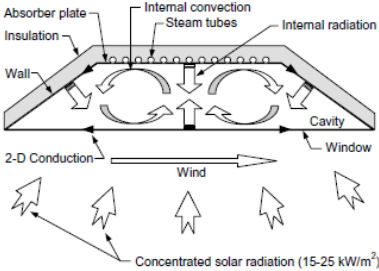
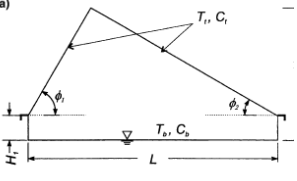
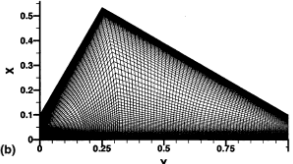
Trapezoid kesitli kapalı ortamlarda doğal taşınım konusu, Tablo1.1'de görüldüğü gibi, 1980 yılından bu tarafa sınırlı sayıda incelenmiştir. Ancak bu çalışmalar 2000 yılından sonra bir artış göstermektedir. Trapezoid kesitli yoğunlaştırılmış fotovoltaiik (CPV) sistemlerin aşırı ısınmasının önüne geçilmesi amacıyla Newtonumsu olmayan akışkan kullanımını durumunda ısı performansın nasıl etkilenebileceği sorusuna cevaben bu çalışmada üstel indeksli akışkanla dolu kapalı ikizkenar yamuk (trapezoid) bir ortamda laminar doğal taşınım sayısal olarak incelenmiştir.

Tablo 1.1 ve Tablo 1.2’de Fen Bilimleri alanında en çok tercih edilen bilimsel arama motorlarından “Science Direct” den alınan ikizkenar yamuk (Trapezoid) kapalı ortamlarda doğal taşınım ve üstel indeksli akışkanların doğal taşınımında yapılan makaleler, yayın yılı olarak düzenlenmiştir.

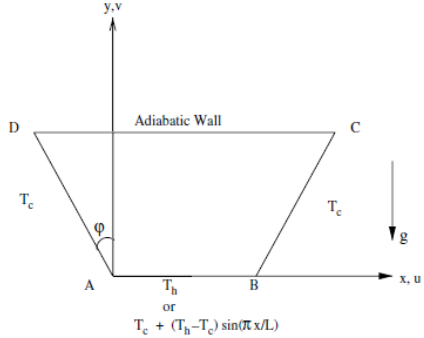
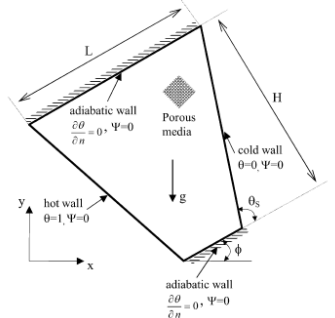
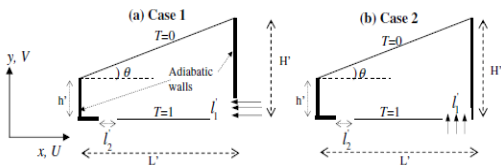
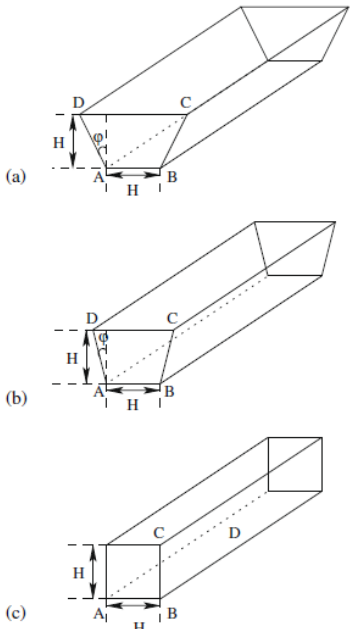
Tablo 1.1. Yayın yılına göre kapalı ikizkenar yamuk (trapezoid) ortamlarda doğal taşınım problemi için yapılmış olan bilimsel çalışmalar

Yazar/Yıl	Geometri/Sınır koşulları	Akışkan durumu
1. Iyican L., Bayazitoglu Y., 1980	Trapezoid	Newtonumsu
2. Perić M., 1993	Trapezoid	Newtonumsu
3. Sadat H., Salagnac P., 1995	Trapezoid	Newtonumsu
4. Kuyper, 1995	Trapezoid	Newtonumsu
5. Van Der Eyden J. T., Van Der Meer TH. H., Hanjalic K., 1998		Hava $Pr = 0.71$ $Gr = 3.4 \times 10^8$
6. Boussaid M., Mezener A., Bouhadeff M., 1999		Hava $Pr = 0.71$ $Ra = 10^5$
7. Moukalled F., Acharya S., 2000		Hava $5 \times 10^3 \leq Ra \leq 10^7$ Yaz koşullarında $10^3 \leq Ra \leq 10^6$ Kış koşullarında
8. Baytaş A.C., Pop I., 2001		Akışkana doymuş poroz ortam $100 \leq Ra \leq 900$
9. Moukalled F., Acharya S., 2001	-	Hava $5 \times 10^3 \leq Ra \leq 10^7$ Yaz koşullarında $10^3 \leq Ra \leq 10^6$ Kış koşullarında

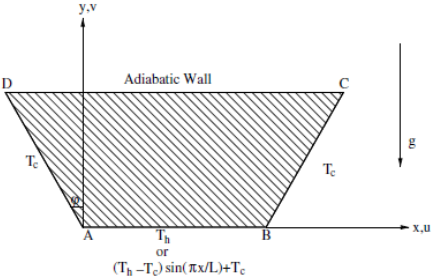
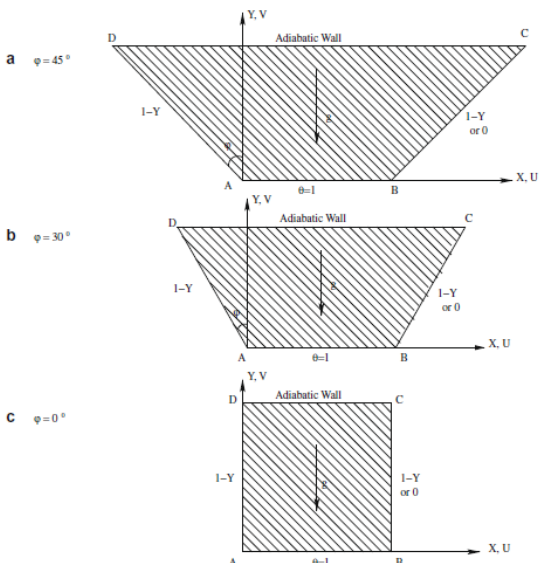
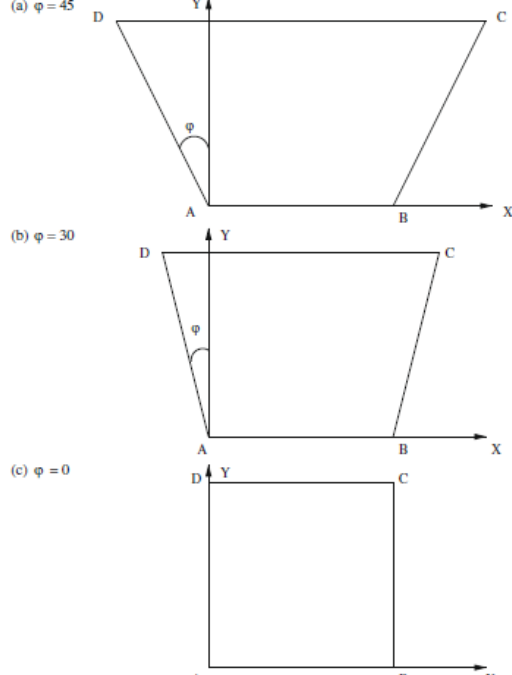
Tablo 1.1'in devamı

<p>10. Moukalled F., Darwish M., 2003</p>		<p>$Pr = 0.7, 10, 130$ $10^3 \leq Ra \leq 10^6$</p>
<p>11. Moukalled F., Darwish M., 2004</p>		<p>$Pr = 0.7, 10, 130$ $10^3 \leq Ra \leq 10^6$</p>
<p>12. Kumar Subodh, 2004</p>		<p>Hava</p>
<p>13. Rathish Kumar B.V., Kumar B., 2004</p>		<p>$25 \leq Ra \leq 250$ $Gr = 0, 0.5, 1, 2$</p>
<p>14. Reynolds D.J., Jance M.J., Behnia M., Morrison G.L., 2004</p>		<p>Hava</p>
<p>15. Papanicolaou E., Belessiotis V., 2005</p>	<p>$L = 2,5m$ $\phi_1 = 60^\circ$ $H_1 = 0,25m$ $\phi_2 = 30^\circ$ $H = 1,33m$</p> <p>(a)</p>  <p>(b)</p> 	<p>Hava $10^7 \leq Ra \leq 10^{10}$</p>

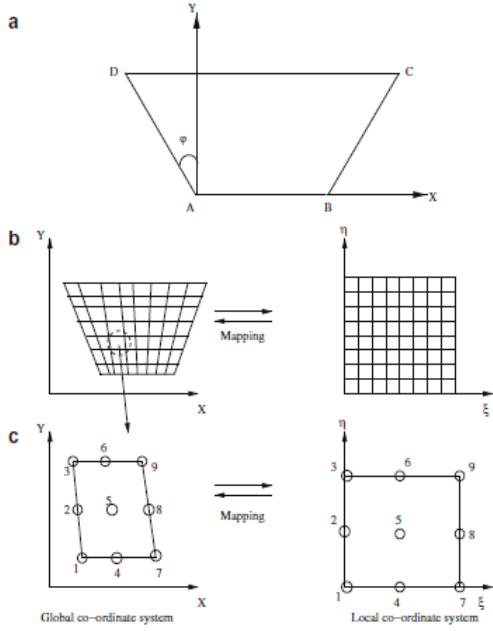
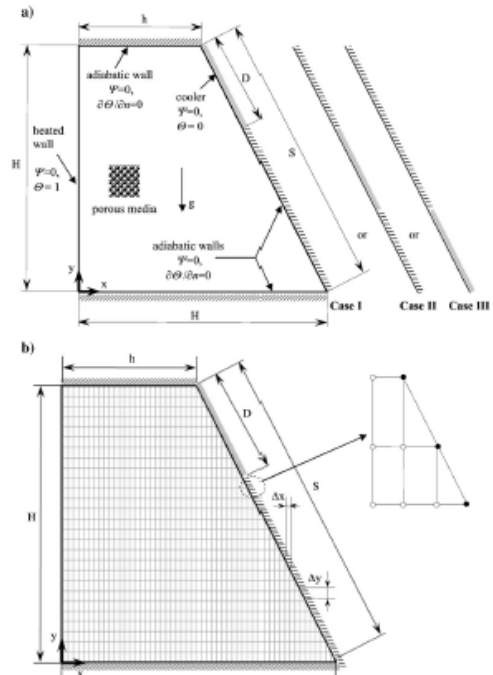
Tablo 1.1'in devamı

<p>16. Natarajan E., Basak T., Roy S., 2008</p>	 <p style="text-align: center;">$T_c + (T_h - T_c) \sin(\pi x/L)$</p>	<p>$0.07 \leq pr \leq 100$ $10^3 \leq Ra \leq 10^6$</p>
<p>17. Varol Y., Öztop H.F., Pop I., 2008</p>		<p>Akışkana doymuş poroz ortam $100 \leq Ra \leq 1000$</p>
<p>18. Tmartnhad I., El Alami M., Najam M., Oubarra A., 2008.</p>		<p>$Pr = 0.72$ $Ra = 10^5$ $10 \leq Re \leq 1000$</p>
<p>19. Basak T., Roy S., Singh A., Balakrishnan A.R., 2009</p>		<p>Poroz ortam $0.026 \leq pr \leq 988.24$ $10^3 \leq Ra \leq 10^6$</p>

Tablo 1.1'in devamı

<p>20. Basak T., Roy S., Singh A., Pop I., 2009</p>		<p>Poroz ortam $0.015 \leq pr \leq 1000$ $10^3 \leq Ra \leq 10^5$</p>
<p>21. Basak T., Roy S., Singh A., Pop I., 2009</p>		<p>Poroz ortam $0.015 \leq pr \leq 1000$ $10^3 \leq Ra \leq 10^6$</p>
<p>22. Basak T., Roy S., Pop I., 2009</p>		<p>$0.026 \leq pr \leq 1000$ $10^3 \leq Ra \leq 10^5$</p>

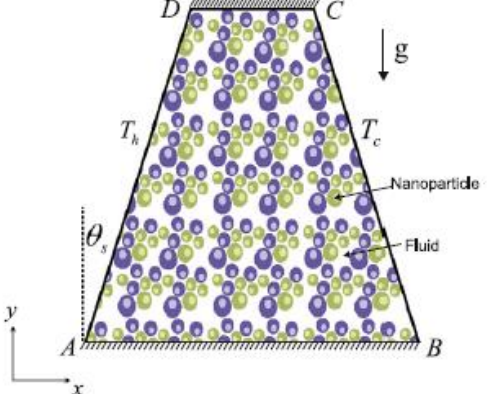
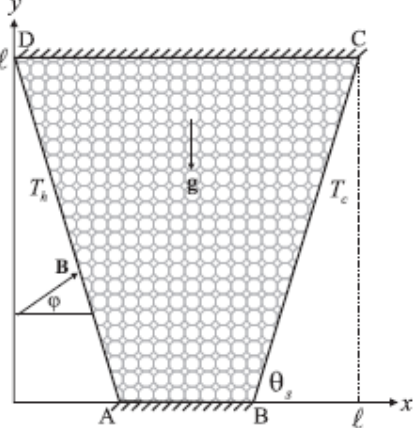
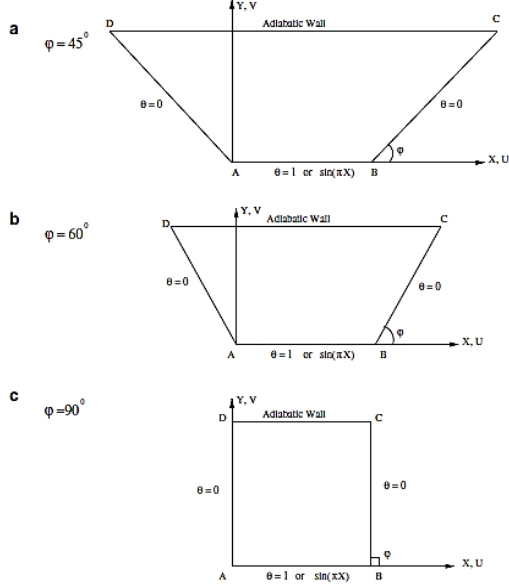
Tablo 1.1'in devamı

<p>23. Basak T., Roy S., Singh S., Bishun D. Pandey, 2009</p>		<p>$0.7 \leq pr \leq 1000$ $10^3 \leq Ra \leq 10^5$</p>
<p>24. Varol Y., Öztop H.F., Pop I., 2009</p>		<p>$100 \leq Ra \leq 1000$</p>

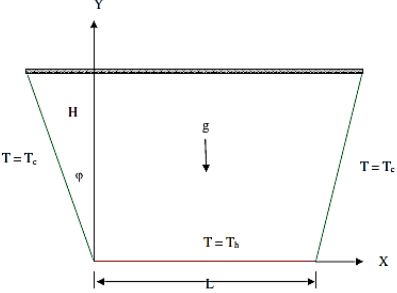
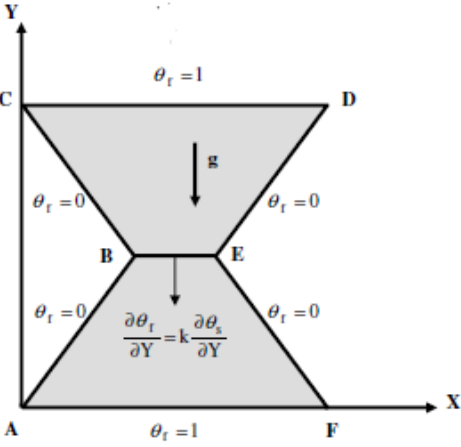
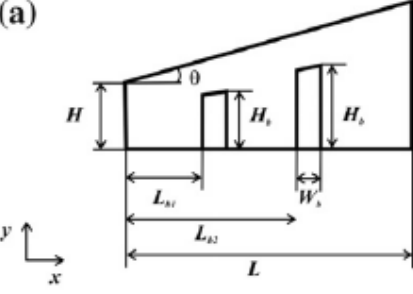
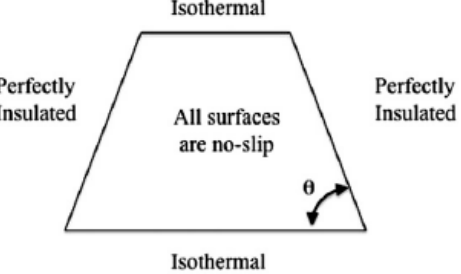
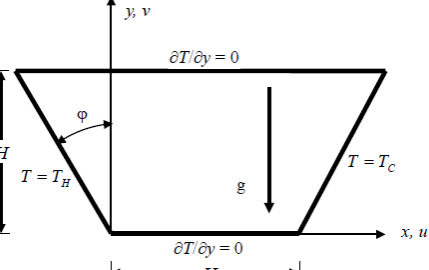
Tablo 1.1'in devamı

<p>25. Basak T., Roy S., Matta A., Pop I., 2010</p>		<p>Poroz ortam $0.015 \leq pr \leq 1000$ $10^3 \leq Ra \leq 10^6$</p>
<p>26. Varol Y., 2010</p>		<p>Poroz ortam</p>
<p>27. Basak T., Ramakrishna D., Roy S., Matta A., Pop I., 2011</p>		<p>$0.015 \leq pr \leq 1000$ $10^3 \leq Ra \leq 10^5$</p>

Tablo 1.1'in devamı

<p>28. Saleh H., Roslan R., Hashim I., 2011</p>		<p>Su-bakır ve Su-Al_2O_3 nanoakışkan</p>
<p>29. Saleh H., Roslan R., Hashim I., 2011</p>		<p>Akışkana doymuş poröz ortam</p>
<p>30. Basak T., Anandalakshmi R., Kumar P., Roy S., 2012</p>		<p>$Pr = 0.015, 0.7, 1000$ $10^3 \leq Ra \leq 10^5$</p>

Tablo 1.1'in devamı

<p>31. Hasanuzzaman M., Öztop H.F., Rahman M.M., Rahim N.A., Saidur R., Varol Y., 2012</p>		<p>$Ra = 10^5, 10^6$</p>
<p>32. Varol Y., 2012</p>		<p>$Ra = 100, 500, 1000$</p>
<p>33. Silva A., Fontana É., Mariani V.C., Marcondes F., 2012</p>	<p>(a)</p> 	<p>$Pr = 0.7, 10, 130$ $10^3 \leq Ra \leq 10^6$</p>
<p>34. Noah I., Daniel T., Crunkleton W., 2012.</p>		<p>$Ra = 8.8 \times 10^3,$ $1.5 \times 10^4,$ 2.3×10^4</p>
<p>35. Sojoudi A., Saha, S.C., Gu Y.T., Hossain M.A., 2013</p>		<p>Üstel indeksli akışkan $100 \leq Pr \leq 10000$ $10^5 \leq Ra \leq 10^7$</p>

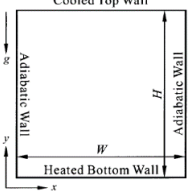
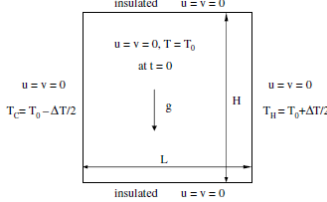
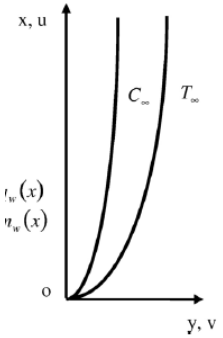
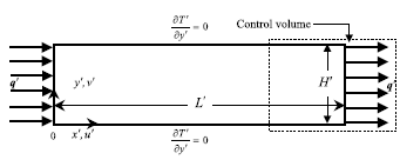
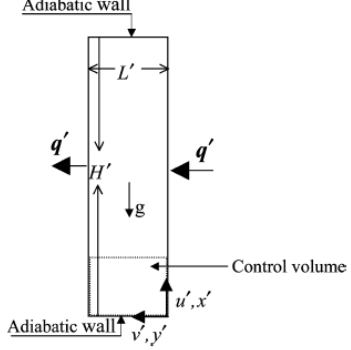
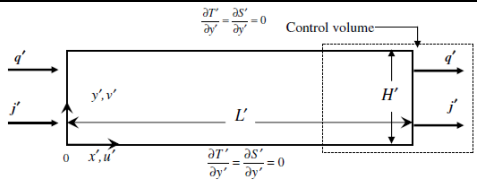
Tablo 1.1'in devamı

<p>36. Ramakrishna D., Basak T., Roy S., 2013</p>	<p>a) $\varphi = 30^\circ$</p> <p>b) $\varphi = 60^\circ$</p> <p>c) $\varphi = 90^\circ$</p>	<p>$Pr = 0.015, 7.2$</p>
<p>37. Mahmoudi A.H., Pop I., Shahi M., Talebi F., 2013</p>		<p>Cu-su nanoakışkan $10^4 \leq Ra \leq 10^7$</p>
<p>38. Pensiri S., Witayangkurn S., 2013</p>		<p>Denizsuyu $Pr = 7.2$ $Ra = 10^4, 10^5, 10^6$</p>

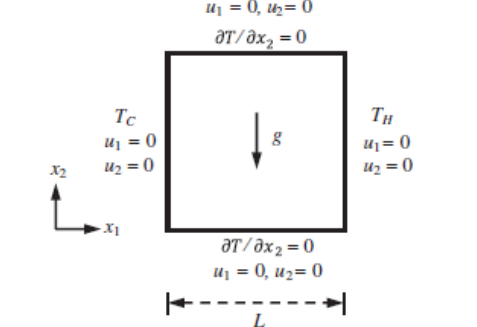
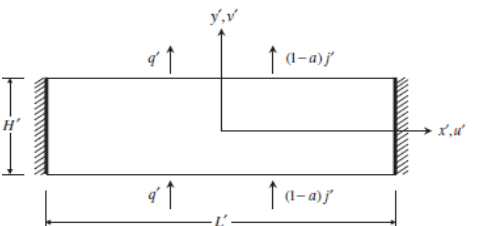
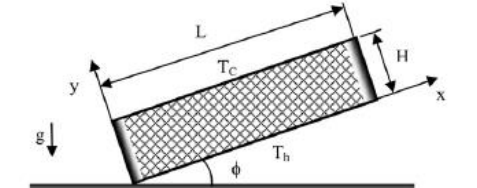
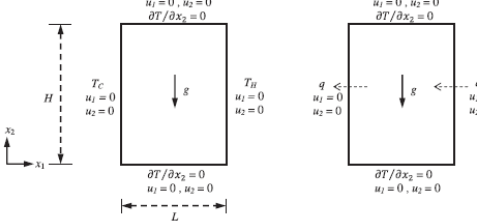
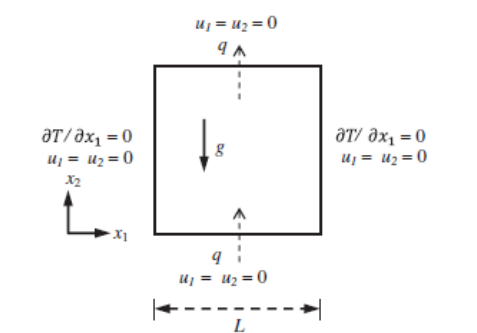
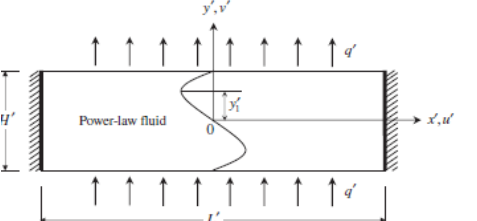
Tablo 1.1'in devamı

<p>39. Basak T., Anandalakshmi R., Roy S., Pop I., 2013</p>		<p>$Pr = 1000$ $Ra = 10^6$</p>
<p>40. Ramakrishna D., Basak T., Roy S., Momoniat E., 2014</p>		<p>$0.015 \leq Pr \leq 1000$ $Ra = 10^6$</p>
<p>41. Hossain M., Alim M.A., 2014</p>		<p>$Pr = 0.026, 0.7, 1000$ $10^3 \leq Ra \leq 10^7$</p>

Tablo 1.2. Yayın yılına göre kapalı ortamlarda power-law akışkanla doğal taşınım problemi için yapılan bilimsel çalışmalar.

Yazar/Yıl	Geometri/Sınır koşulları	Akışkan durumu
1. Ng, M. L., Hartnett, J.P., 1986	—	Üstel indeksli akışkan
2. Ohta M., Akiyoshi M., Obata E., 2002		Sanki plastic akışkan
3. Gi Bin K., Hyun J., Kwak H., 2003		Üstel indeksli akışkan
4. Cheng C., 2006		Üstel indeksli akışkan
5. Lamsaadi M., Naimi M., Hasnaoui M., 2006		Üstel indeksli akışkan
6. Lamsaadi M., Naimi M., Hasnaoui M., Mamou M., 2006		Üstel indeksli akışkan
7. Makayssi T., Lamsaadi M., Naimi M., Hasnaoui M., Raji A., Bahlaoui A., 2008		Üstel indeksli akışkan

Tablo 1.2'nin devamı

<p>8. Turan O, Sachdeva A., Chakraborty N., Poole R.J., 2011</p>		<p>Üstel indeksli akışkan $10 \leq Pr \leq 10^5$ $10^3 \leq Ra \leq 10^6$</p>
<p>9. Ben Khelifa N., Alloui Z., Beji H., Vasseur P., 2012</p>		<p>Üstel indeksli akışkan</p>
<p>10. Khezzar L., Siginer D., Vinogradov I., 2012</p>		<p>Üstel indeksli akışkan $Pr = 10^2, 10^3, 10^4$ $Ra = 10^4, 10^5$</p>
<p>11. Turan O, Sachdeva A., Poole R.J., Chakraborty N., 2013</p>		<p>Üstel indeksli akışkan $Pr = 1000$ $10^3 \leq Ra \leq 10^6$</p>
<p>12. Turan O, Sachdeva A., Poole R.J., Chakraborty N., 2013</p>		<p>Üstel indeksli akışkan $10 \leq Pr \leq 10^6$ $10^3 \leq Ra \leq 10^5$</p>
<p>13. Alloui Z., Ben Khelifa N., Beji H., Vasseur P., Guizani A., 2013</p>		<p>Üstel indeksli akışkan</p>

1.5. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında *CPV* sistemlerin verimlerini önemli ölçüde düşüren yüksek sıcaklığın kontrol altına alınması ve olabildiğince önüne geçilmesi amacıyla hücre içerisinde Newtonumsu olmayan akışkan kullanımına ilişkin parametrik sayısal bir inceleme yapılmıştır. Bu amaçla; geniş Rayleigh sayısı aralığında ve sabit bir Prandtl sayısında, yamuk açısının $0^\circ \leq \theta \leq 20^\circ$ aralığındaki 5 farklı açıda, Newtonumsu olmayan üstel indeksli akışkanla dolu kapalı ikizkenar yamuk (trapezoid) bir ortamdaki laminar doğal taşınım sayısal olarak incelenmiştir. Rayleigh sayısının yamuk açısının ve üstel indeksin ısı transferi üzerindeki etkisi araştırılarak elverişli koşulların hangi değerlerde ortaya çıkabildiği belirlenmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Temel Denklemler

Çalışmada; Newtonumsu olmayan akışkanla dolu kapalı ikizkenar yamuk (trapezoid) bir ortam içerisindeki iki boyutlu sıkıştırılamaz laminar doğal taşınım problemi daimi rejim durumu için incelenmiştir. Çalışmada üstel indeksli Newtonumsu olmayan akışkan göz önüne alınmıştır. Daimi rejim durumunda kapalı ortamlar içerisindeki sıkıştırılamaz doğal taşınım için kütle, momentum ve enerji korunum denklemleri aşağıdaki şekilde verilir:

Kütle korunum denklemi;

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2.1)$$

Momentum korunum denklemleri;

$$\rho u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \rho g \delta_{ij} \beta (T - T_{ref}) + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \quad (2.2)$$

Enerji korunum denklemi;

$$\rho u_j c_p \frac{\partial T}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(k \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) \quad (2.3)$$

2.2. Boyutsuz Sayılar Grubu

Bu çalışmada power-law akışkan ile dolu alt ve üst duvarları farklı sabit sıcaklıklara sahip ikizkenar yamuk (trapezoid) kapalı ortamlar içerisindeki ısı transfer karakteristikleri aynı nominal Rayleigh ve Prandtl sayılarında Newtonumsu akışkan durumundaki ısı transfer karakteristikleri ile karşılaştırılmıştır. Nominal Rayleigh sayısı Ra kaldırma kuvveti nedeni ile meydana gelen ısı transferin (thermal transport) ısı yayılım sonucu ile meydana gelen ısı transfere oranını gösterir ve aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$Ra = \frac{\rho^2 c_p g \beta \Delta T L^3}{\mu k} = Gr Pr \quad (2.4)$$

bu ifade içerisinde yer alan Gr nominal Grashof sayısı ve Pr nominal Prandtl sayısı:

$$Gr = \frac{\rho^2 g \beta \Delta T L^3}{\mu^2} \quad (2.5)$$

$$Pr = \frac{\mu c_p}{k} \quad (2.6)$$

şeklinde tanımlanır.

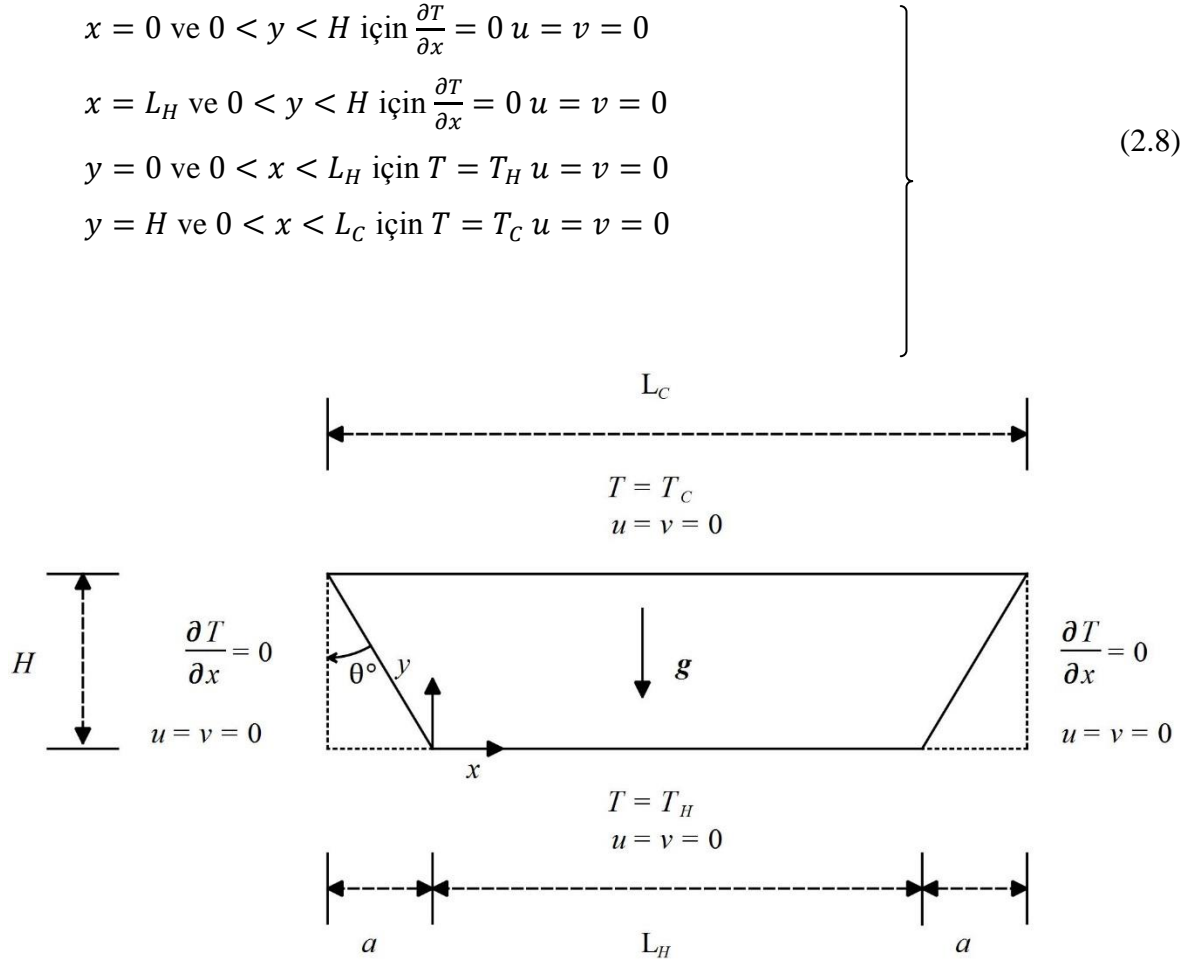
Grashof sayısı kaldırma ve viskoz kuvvet etkilerinin oranını gösterirken, Prandtl sayısı ise momentum yayılımının ısı yayılımına olan oranını göstermektedir. Aynı zamanda Prandtl sayısı hidrodinamik sınır tabaka kalınlığının ısı sınır tabaka kalınlığına oranı şeklinde de tanımlanmaktadır.

Diğer bir boyutsuz parametre ise ısı transferinin en önemli göstergesi olan Nusselt sayısıdır. Nusselt sayısı, söz konusu akışkanda taşınım ile meydana gelen ısı transfer değerinin iletim ile meydana gelen ısı transfer değerine oranı olarak tanımlanır:

$$Nu = \frac{h.L}{k} \quad (2.7)$$

2.3. Sınır Koşulları

Çalışmada kullanılan sınır koşulları ve çözüm alanının şematik gösterimi Şekil 2.1'de verilmiştir. Yatay duvarlar farklı sabit sıcaklıklara ($T_H > T_C$) sahip iken, diğer duvarlarda adyabatik sınır koşulu geçerlidir. Bütün duvar yüzeylerinde kaymayan akış koşulu ($u = v = 0$) geçerlidir. Bu koşul çözüm bölgesi içine veya dışına, herhangi bir kütle girişi veya çıkışının olmadığını göstermektedir. Bununla birlikte bütün duvarların rijit olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 2.1. Hesaplama bölgesinde sınır koşulları ve çözüm alanının şematik gösterimi.

2.4. Sayısal Yöntem

Bu çalışmada, (2.1) - (2.3) eşitlikleri ile verilen sırasıyla kütle, momentum ve enerji korunum denklemlerinin sayısal çözümü için *ANSYS-FLUENT* ticari paket programı kullanılmıştır.

Hız ve basınç çiftleri SIMPLE algoritması kullanılarak elde edilmiştir. Basınç ayrıklaştırması PRESTO, momentum ve enerji ayrıklaştırması *first-order up-wind* ve *second-order up-wind*, yakınsama kriteri 10^{-6} olarak seçilmiş ve bütün sayısal analizlerde bu kriter dikkate alınarak korunum denklemleri için yakınsama sağlanıncaya kadar iteratif çözümlere devam edilmiştir.

2.5. Üstel İndeks Modeli

Bu model Ostwald-De Waele modeli olarakta bilinir ve gerilme tensörü:

$$\tau_{ij} = \mu_a e_{ij} = K(e_{kl}e_{kl}/2)^{(n-1)/2} e_{ij} \quad (2.9)$$

şeklinde tanımlanır. Burada; $e_{ij} = \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$ şekil değiştirme hız (kayma hızı veya deformasyon hızı) tensörüdür. K akışkanın yoğunluk (kıvamlılık) indeksi (consistency index) olup akışkan yoğunluğunun bir ölçüsüdür, daha yüksek K değerleri daha viskoz akışkanları temsil eder. n power-law akışkan davranış indeksini ifade eder ve akışkanın ne derece Newtonumsu-olmadığını gösterir. μ_a ise aşağıdaki gibi tanımlanan görünür plastik viskoziteyi göstermektedir:

$$\mu_a = K(e_{kl}e_{kl}/2)^{(n-1)/2} \quad (2.10)$$

Bu çalışmada, Yatay duvarları farklı sabit sıcaklıklarda kapalı ikizkenar yamuk (trapezoid) bir ortam içerisinde farklı n değerlerine sahip power-law akışkanların aynı nominal Rayleigh ve Prandtl sayıları ((2.4) ve (2.6) ile verilen eşitlikler) için ısı transfer özellikleri karşılaştırılacaktır. (2.4) ve (2.6) eşitliklerinde yer alan μ ifadesi nominal plastik viskozite değerini göstermektedir. Ancak, power-law akışkanakışlarda viskozite akış alanında yerel değişimler gösterebilir. Bu nedenle, nominal viskozitenin en uygun şekilde belirlenmesi, power-law akışkanların akış ve ısı transfer problemlerinin incelendiği çalışmalarda göz önünde tutulan en önemli faktörlerden bir tanesidir. Nominal viskozite μ karakteristik şekil değiştirme hızına $\dot{\gamma} \sim u_{char}/L$ bağlı olarak tanımlanabilir. $\dot{\gamma} \sim u_{char}/L$ ifadesinde yer alan u_{char} karakteristik hız skalası için Ng ve Hartnett (1986) ve Lamsaadi vd. (2006) tarafından önerilen $u_{char} \sim \alpha/L$ kullanılırsa nominal plastik viskozite μ için aşağıdaki ifade elde edilir:

$$\mu \sim K \dot{\gamma}^{n-1} \sim K \left(\frac{\alpha}{L^2} \right)^{n-1} \quad (2.11)$$

(2.11) ifadesi (2.4)-(2.6) eşitliklerinde yerine konulursa Ra , Gr ve Pr için aşağıdaki eşitlikler elde edilir:

$$Ra = \frac{g\beta\Delta TL^{2n+1}}{\alpha^n(K/\rho)} \quad (2.12)$$

$$Gr = \frac{g\beta\Delta TL^{4n-1}}{\alpha^{2n-2}(K/\rho)^2} \quad (2.13)$$

$$Pr = \left(\frac{K}{\rho}\right) \alpha^{n-2} L^{2-2n} \quad (2.14)$$

2.6. Ağ Bağımsızlık Çalışması

Çalışmada göz önüne alınmış olan üstel indeksli newtonumsu olmayan akışkanla dolu ikizkenar yamuk hacimdeki doğal taşınım için yapılan sayısal analizlerde iki farklı ağ yapısı kullanılmıştır. Her bir açıdaki durum için (220×180) ve (240×200) ağları kullanarak, aynı Ra ve Pr değerlerinde akım çizgilerinde belirgin bir değişikliğin olmaması ve ortalama Nusselt \overline{Nu} değerlerindeki farkların %1'in altında olmasına dikkat edilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Rayleigh Sayısının Akış Alanı Üzerindeki Etkileri

Rayleigh sayısının (Ra); bilindiği gibi akış alanındaki kaldırma kuvveti etkilerinin sürtünme kuvveti etkilerine göre olan oransal değerini yansıtan boyutsuz bir parametre olması nedeniyle, çalışmada elde edilen bulgular bu özellik göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Çalışmada Ra sayısı $1000 \leq Ra \leq 100000$ aralığında yer alan 5 farklı değerde seçilerek (1000, 5000, 10000, 50000 ve 100000) çeşitli durumlara ilişkin akış alanları elde edilmiştir. Akış alanı üzerinde Ra sayısının etkisi akım çizgilerinin gösterdiği davranış ile değerlendirilmiş ve buna bağlı olarak elde edilmiş olan bulgular değerlendirilmiştir.

Basit bir dikdörtgen alan içerisindeki doğal taşınımına karşılık gelen $\theta = 0^\circ$ açısına sahip ikizkenar yamuk için elde edilebilmiş olan (bazı üstel indeks değerleri için algoritma yakınsamamıştır) bulgular göstermektedir ki; inceleyen akışkan ($n < 1$) için artan Ra sayısı ile birlikte, kapalı bölge içerisindeki düzgün dört gözlü girdap yapısı; yan yüzeylerde dar, ortada daha geniş olmak üzere yine dörtlü fakat düzgün olmayan ve dönme hızı biraz daha artan bir akış yapısına evirilmektedir. Bu görüntü değişikliği üstel indeksin küçülmesi ile birlikte daha düşük Ra sayılarında da ortaya çıkmaktadır (Şekiller 3.1-3.4). Örneğin Şekil 3.1'de $n=0.6$ ve $Ra=10000$ için görülen akış alanı, Şekil 3.3'te $n=0.8$ ve $Ra=50000$ için olan akış alanı ile ve Şekil 3.4'te $n=0.9$ ve $Ra=100000$ için görülen akış alanı ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir.

$\theta = 0^\circ$ durumunda kalınlaşan akışkan ($n > 1$) için ise artan Ra sayısı ile birlikte akış alanında belirgin bir değişiklik ortaya çıkmamaktadır. Üstel indisin $n=1.2$ 'den $n=1.8$ 'e kadar olan değerleri için çizilmiş olan akım çizgilerini gösteren Şekil 3.6'dan Şekil 3.9'a kadarki akış alanlarında artan Ra sayısı ile belirgin bir değişikliğin olmadığı görülmektedir.

Kapalı bölgenin dikdörtgenden ikizkenar yamuk geometriye doğru değiştirilmesini karakterize eden yan duvar açısının 0° 'den 20° 'ye kadar artırılması ile oluşturulan 4 farklı ikizkenar yamukta Ra sayısının akış alanını nasıl etkilediği Şekil 3.10'dan Şekil 3.45'e kadarki akış alanlarında sıralı olarak görülmektedir. İnceleyen akışkan ($n < 1$) durumunda bütün θ yamuk açılarında artan Ra sayısı ile birlikte bölge içerisinde dörtlü ve düzgün olan girdap yapısının ikili yapıya dönüştüğü görülmektedir. Bu davranışın düşük üstel indeks

($n=0.6$ ve $n=0.7$) değerlerinde daha belirginleştiği (Şekiller 3.10, 3.11, 3.19, 3.20, 3.28, 3.37 ve 3.38), $n=1$ durumuna karşılık gelen Newtonumsu akışkana yakın üstel indeks değerlerinde ise düşük Ra değerlerinde bölge içerisinde ikili olan girdap yapısının artan Ra sayısı ile birlikte dörtlü yapıya doğru evirilmekte olduğu gözlenmiştir (Şekiller 3.14, 3.23, 3.32, 3.41).

Kalınlaşan akışkan için bütün θ yamuk açılarında sadece $Ra=1000$ için ortaya çıkan ikili girdabın diğer bütün Ra sayılarının hepsinde dörtlü bir yapıda olduğu ve yamuk kenarlarındaki girdapların eğimin de etkisi ile daha hızlı bir şekilde dönmekte olduğu görülmektedir (Örneğin Şekiller 3.17, 3.26, 3.35 ve 3.44'de görüldüğü gibi). Ayrıca artan Ra sayısı ile birlikte bütün θ yamuk açılarında akım çizgilerinde görülen sıklaşma, girdapların dönüş hızlarının da artmakta olduğu anlamına gelmektedir (Şekil 3.45'te görüldüğü gibi).

Ra sayısının akış alanı üzerindeki etkisi konusunda elde edilen bulgulara dayalı olarak ifade edilebilir ki; inceleyen akışkanlar ($n<1$) için, Ra sayısında ortaya çıkan artış, sürtünme etkilerini zayıflatıp kaldırma etkilerini güçlendirdiğinden akış alanında hareketliliğin artması ve dolayısıyla girdap sayısında azalma sonucunu doğurmaktadır. Kalınlaşan akışkanlar ($n>1$) için ise artan Ra sayısı ile akış alanında görsel olarak belirgin bir değişiklik olmamakla birlikte akış alanındaki girdap hareketlerinde göreceli olarak bir hızlanma ortaya çıkmaktadır.

3.2. Üstel İndeksin (n) Akış Alanı Üzerindeki Etkileri

Çalışmada göz önüne alınan Newtonumsu olmayan üstel indeksli akışkanların davranışı ve doğal taşınımına ait akış alanı üzerindeki etkileri sahip oldukları üstel indeks n 'ye bağlı olarak değişmektedir. Üstel indeks n 'nin 1'den küçük değerlere doğru azalması akışkanın incilmesi ve dolayısıyla akışkanlaşma eğiliminin artması anlamına gelmektedir. Bu davranış açısından bakıldığında inceleyen akışkanlar için dikdörtgen bölgede n değeri küçüldükçe akış alanında beklendiği gibi hareketlilik artmakta ve $n=1$ 'den itibaren $n=0.6$ 'ya doğru inildikçe aynı Ra sayılarında dörtlü girdap yapısından ikili girdap yapısına ve daha hareketli bir akış alanına doğru değişim olduğu görülmektedir (Şekiller 3.1-3.5). Kalınlaşan akışkanlarda ise ($n>1$); artan üstel indeks ile birlikte aynı Ra sayılarında akış alanında nitel bir değişimin olmadığı, ancak akım çizgilerinde görülen seyrekleşme dolayısıyla dörtlü girdapların daha yavaş hareket etmekte oldukları anlaşılmaktadır

(Şekiller 3.6-3.9). Kalınlaşan akışkanlarda üstel indeksteki artışın akışkanın kıvamında da artış anlamına geldiği göz önüne alındığında, bu davranışın ortaya çıkmış olması beklentilere de uygundur.

İkizkenar yamuk geometri içerisindeki akış alanlarının n indeksinin etkisi açısından yapılan nitelik kıyaslaması ile görülmektedir ki; düşük Ra sayısında ($Ra=1000$) akışkanın incelleme yönündeki değişimi ($n<1$) ile birlikte Newtonumsu akışkan durumunda ($n=1$) ikili olan girdap yapısı dörtlüye dönüşmektedir (Örneğin Şekil 37-41). Çalışmada göz önüne alınan aralığa göre yüksek Ra sayılarında ($Ra=10000$ 'den itibaren) ise tersi bir davranış ortaya çıkmakta ve akışkanın incelleme yönündeki değişimi ile birlikte Newtonumsu akışkan durumunda dörtlü girdaptan oluşan akış alanı ikili ve daha hızlı dönen girdap yapısına dönüşmektedir. Bu tespit Şekil 3.37'den Şekil 3.41'e kadarki $\theta = 20^\circ$ için olan akış alanlarında örneğin $Ra=10000$ için olan akım çizgilerinde de görülmektedir.

Kalınlaşan akışkan için ($n>1$) bütün θ yamuk açılarında sadece $Ra=1000$ için ortaya çıkan ikili girdabın diğer bütün Ra sayılarının hepsinde dörtlü bir yapıda olduğu ve akış alanlarında n üstel indeksinin herhangi bir nitelik etkisinin olmadığı görülmektedir. Sadece akışkanın kalınlaşmasına bağlı olarak akım çizgilerinde görülen seyrekleşmeden dolayı girdapların dönüş hızlarında yavaşlama olduğunu ifade edebilmek mümkündür (Örneğin Şekiller 3.42, 3.43, 3.44 ve 3.45'te görüldüğü gibi).

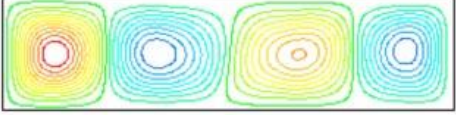
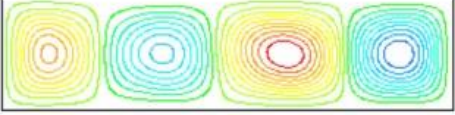
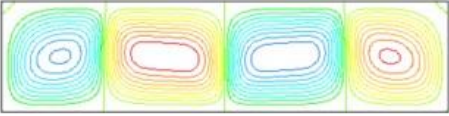
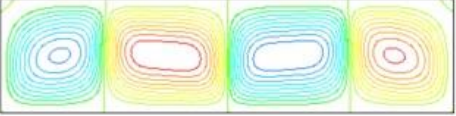
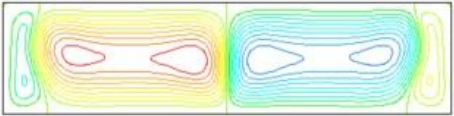
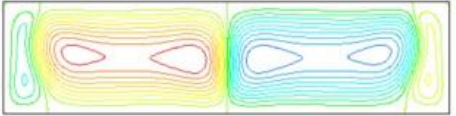
Elde edilen bulgulara dayalı olarak üstel indeksin akış alanı üzerindeki etkileri açısından genel olarak söylenebilir ki; inceleyen akışkanlar ($n<1$) için, orta ve yüksek Ra sayılarında üstel indeksin küçülmesi ile akış alanında sürtünme etkileri zayıflamakta ve girdap hareketi kolaylaşmaktadır. Kalınlaşan akışkanlar ($n>1$) için ise akış alanı n üstel indeksinden nitelik olarak etkilenmemektedir.

3.3. Yamuk Açısının Akış Alanı Üzerindeki Etkileri

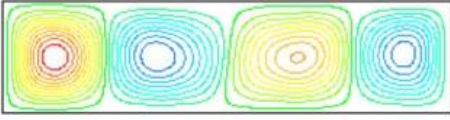
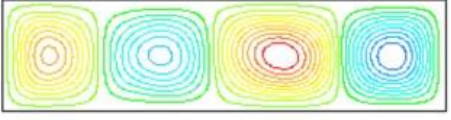
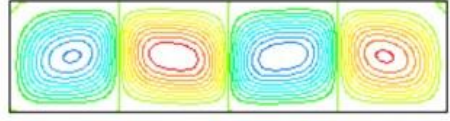
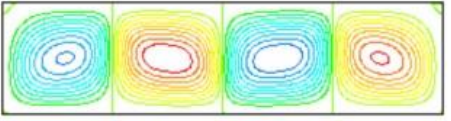
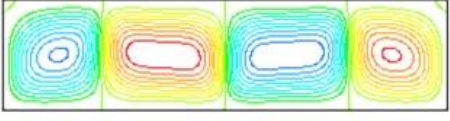
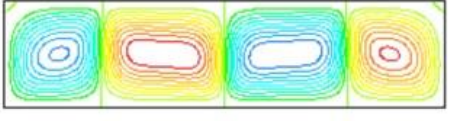
Yamuk açısının akış alanı üzerindeki etkilerini görmek üzere; çalışmada $0^\circ \leq \theta \leq 20^\circ$ aralığında yer alan 5 farklı açıda çeşitli durumlar için akış alanları elde edilmiş ve bunlara Şekil 3.1'den Şekil 3.45'e kadar yer verilmiştir. Aynı Ra sayılarında ve n üstel indekslerinde farklı θ yamuk açılarında çizilmiş olan akım çizgileri ile görülmektedir ki; inceleyen akışkanlar ($n<1$) için $\theta = 10^\circ$ açılı yamuk geometrideki $Ra=10000$ ve $n=0.6$; $Ra=50000$ ve $n=0.9$ dışında kalan bütün akış alanlarında aynı görünümde girdaplı yapı

ortaya çıkmaktadır. Akış alanındaki ısı etkilerden kaynaklanmakta olan bu davranış farklılığına ilişkin yorum ilgili bölümde yapılmıştır.

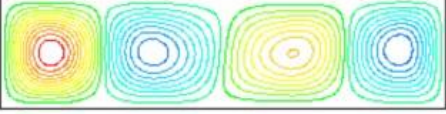
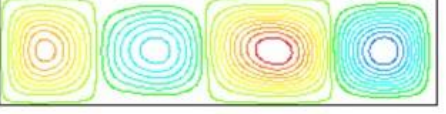
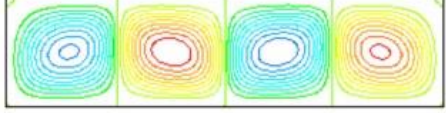
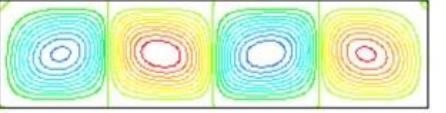
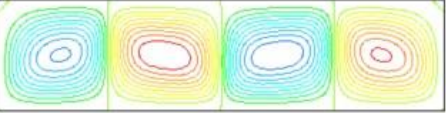
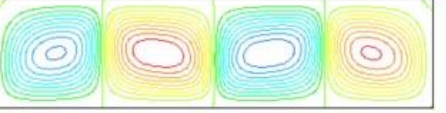
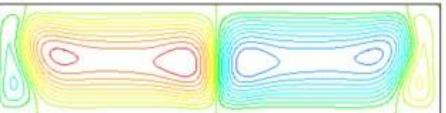
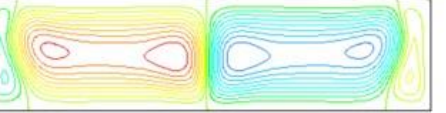
$n=1$ durumuna karşılık gelen Newtonumsu akışkan ve kalınlaşan akışkan ($n>1$) için aynı Ra sayılarında olmak üzere bütün n değerlerinde akış alanlarının çalışmada ele alınan aralıktaki θ yamuk açısından etkilenmediği görülmüştür.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 <p>1</p>	 <p>1</p>
5000	 <p>4.01896375</p>	 <p>4.01850375</p>
10000	 <p>4.35176175</p>	 <p>4.35146925</p>
50000	Yakınsamadı	Yakınsamadı
100000	Yakınsamadı	Yakınsamadı

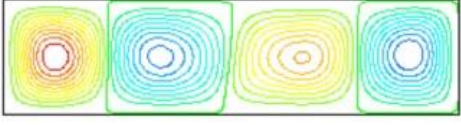
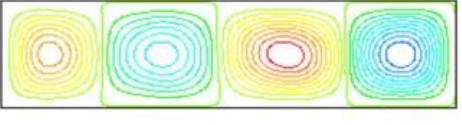
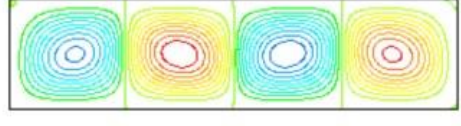
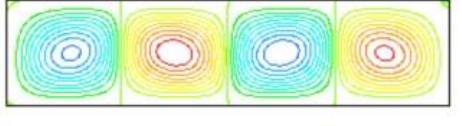
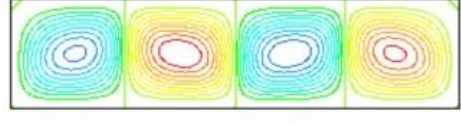
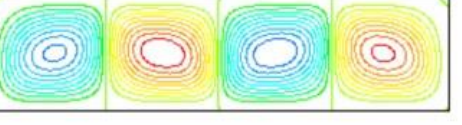
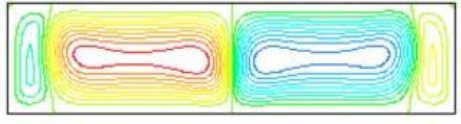
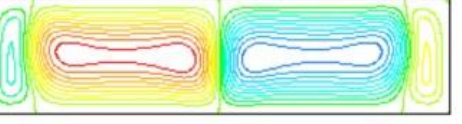
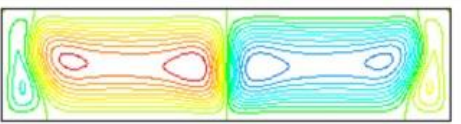
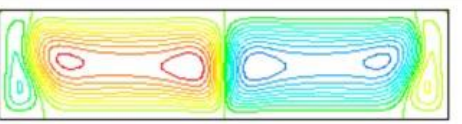
Şekil 3.1. $Pr = 1000$ için $n=0.6$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=0^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 1	 1
5000	 3.3347895	 3.33455475
10000	 4.0184815	 4.018374
50000	Yakınsamadı	Yakınsamadı
100000	Yakınsamadı	Yakınsamadı

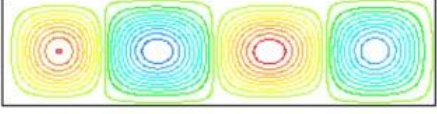
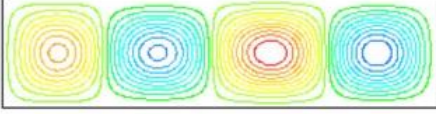
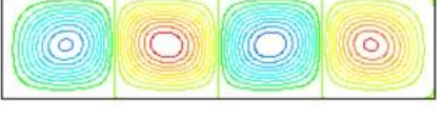
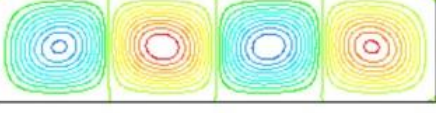
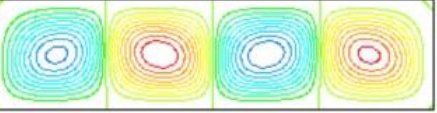
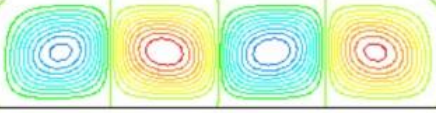
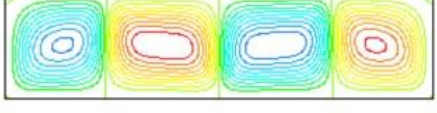
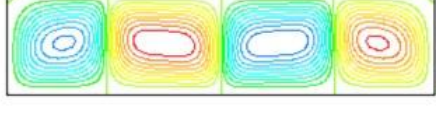
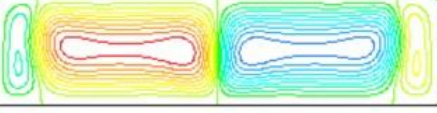
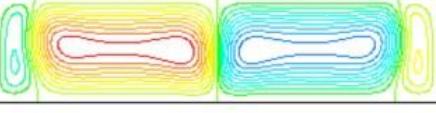
Şekil 3.2. $Pr = 1000$ için $n=0.7$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=0^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 1	 1
5000	 2.80904525	 2.80888875
10000	 3.39793675	 3.39770775
50000	 4.4818735	 4.4905
100000	Yakınsamadı	Yakınsamadı

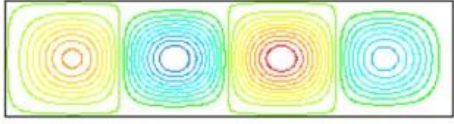
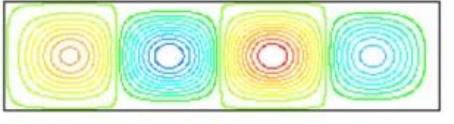
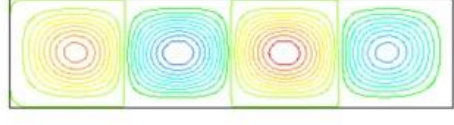
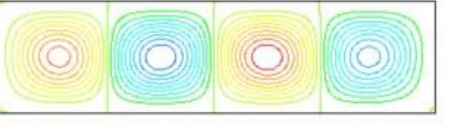
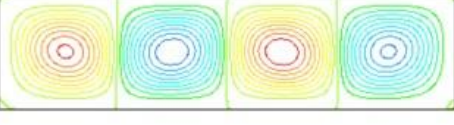
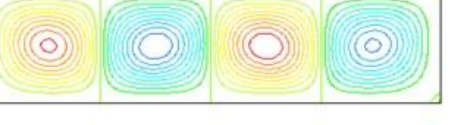
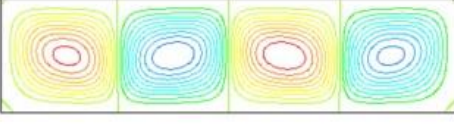
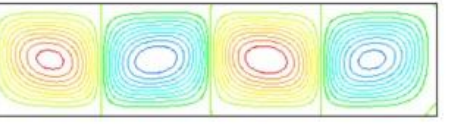
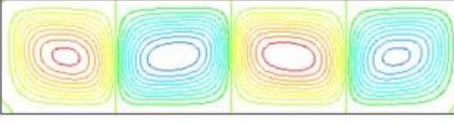
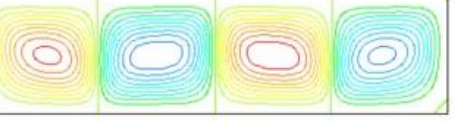
Şekil 3.3. $Pr = 1000$ için $n=0.8$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=0^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 1	 1
5000	 2.381917925	 2.38181175
10000	 2.9050765	 2.904912
50000	 3.91067875	 3.9105
100000	 4.446823	 4.44662875

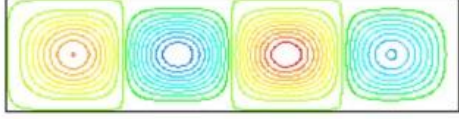
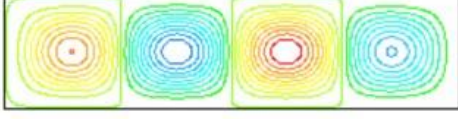
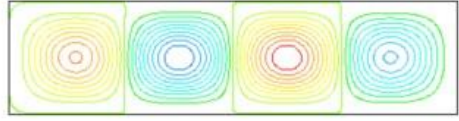
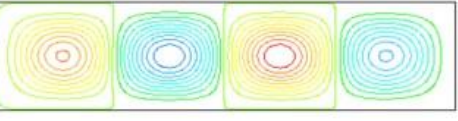
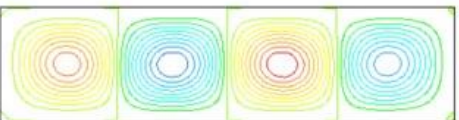
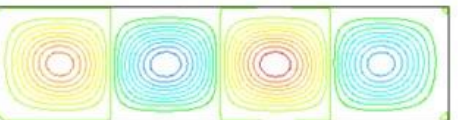
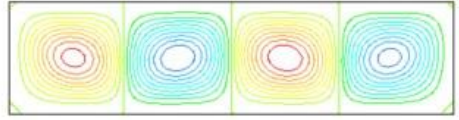
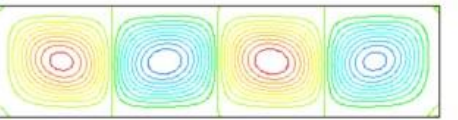
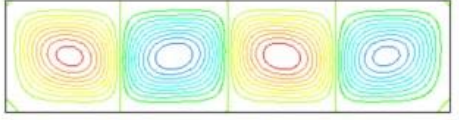
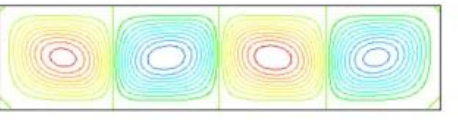
Şekil 3.4. $Pr = 1000$ için $n=0.9$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=0^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ag	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 <p>1</p>	 <p>1</p>
5000	 <p>2.00577333</p>	 <p>2.00568055</p>
10000	 <p>2.50543</p>	 <p>2.5053225</p>
50000	 <p>3.67984225</p>	 <p>3.6795665</p>
100000	 <p>3.91263375</p>	 <p>3.91247125</p>

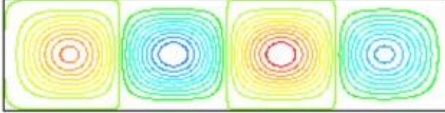
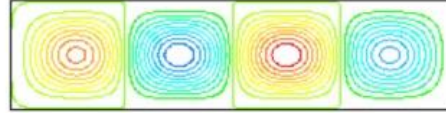
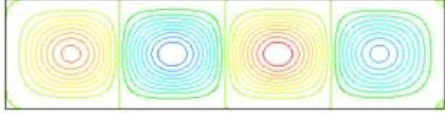
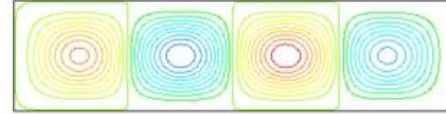
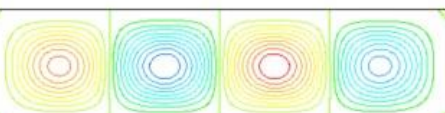
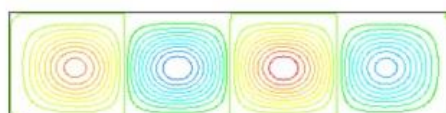
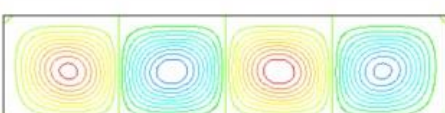
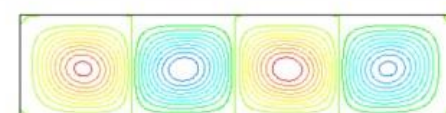
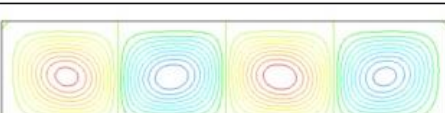
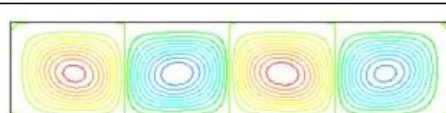
Şekil 3.5. $Pr = 1000$ için $n=1.0$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=0^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 1.0000009	 1.0000009
5000	 1.344740325	 1.344637275
10000	 1.851366175	 1.8512826
50000	 2.83658	 2.83643125
100000	 3.276999	 3.2768075

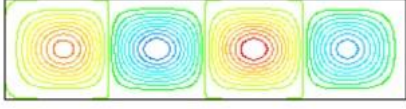
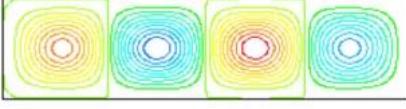
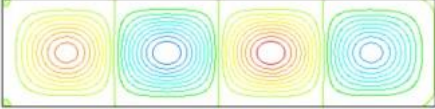
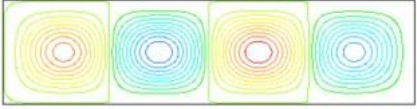
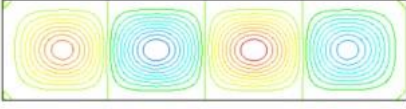
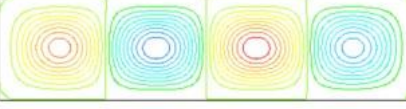
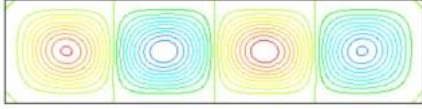
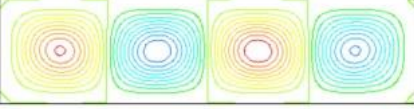
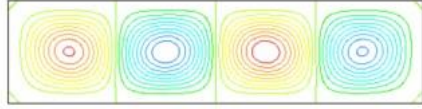
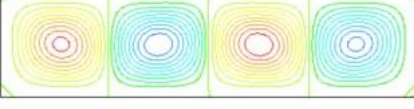
Şekil 3.6. $Pr = 1000$ için $n=1.2$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=0^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 1.000018175	 1.000018125
5000	 1.0458784	 1.045855025
10000	 1.32935465	 1.3292719
50000	 2.242671675	 2.2425869
100000	 2.60385925	 2.6037515


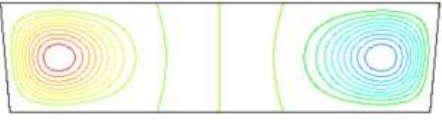
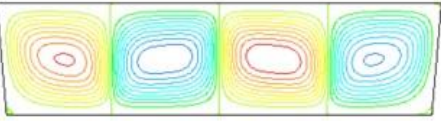
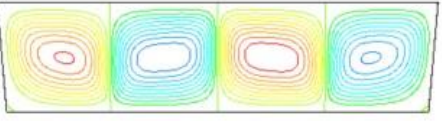
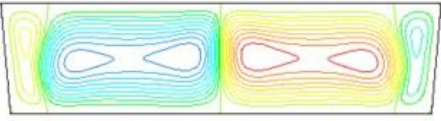
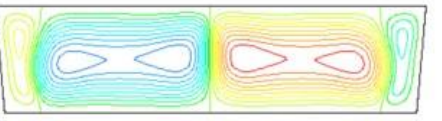
Şekil 3.7. $Pr = 1000$ için $n=1.4$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=0^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 1.0000495	 1.0000494
5000	 1.010273525	 1.010268175
10000	 1.08057255	 1.080537075
50000	 1.77440915	 1.774341975
100000	 2.105583025	 2.105509275



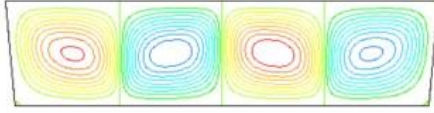
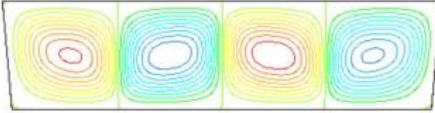
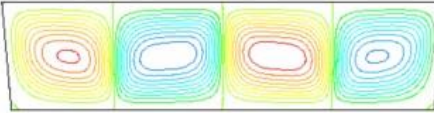
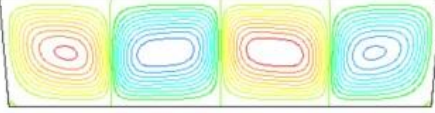
Şekil 3.8. $Pr = 1000$ için $n=1.6$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=0^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 1.000081875	 1.00008175
5000	 1.004540325	 1.004538475
10000	 1.0242785	 1.02426795
50000	 1.4032941	 1.403230525
100000	 1.70209665	 1.702035325



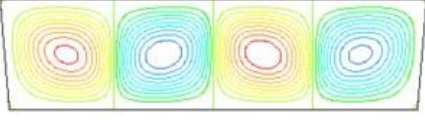
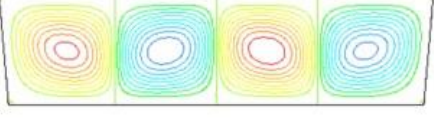
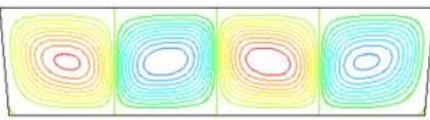
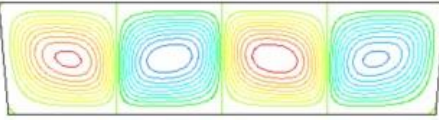
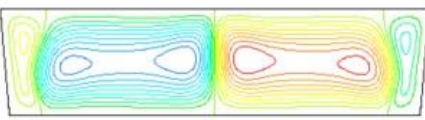
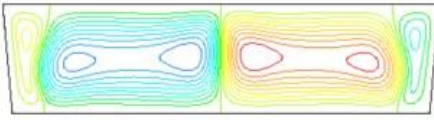
Şekil 3.9. $Pr = 1000$ için $n=1.8$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=0^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 <p>1.02189483226115</p>	 <p>1.02189535513387</p>
5000	 <p>4.15996070397189</p>	 <p>4.15965848354089</p>
10000	 <p>4.53900028752266</p>	 <p>4.53873074663653</p>
50000	Yakınsamadı	Yakınsamadı
100000	Yakınsamadı	Yakınsamadı



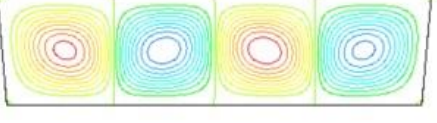
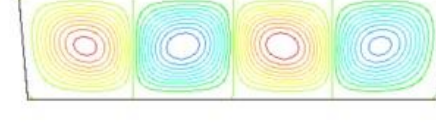
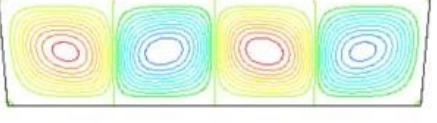
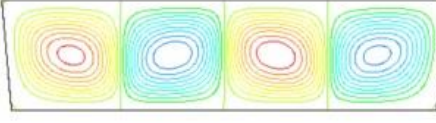
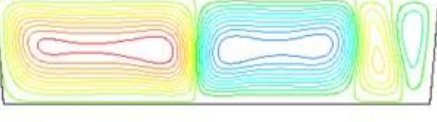
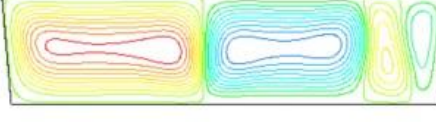
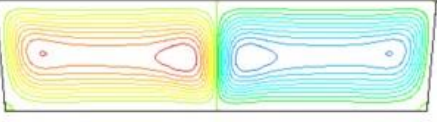
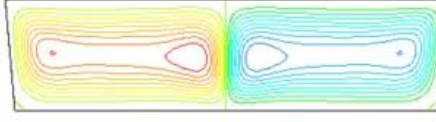
Şekil 3.10. $Pr = 1000$ için $n=0.6$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=5^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ag	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 1.02190466226825	 1.02190502827915
5000	 3.43107247497087	 3.430829339157
10000	 4.1685549014013	 4.16809764920941
50000	Yakınsamadı	Yakınsamadı
100000	Yakınsamadı	Yakınsamadı



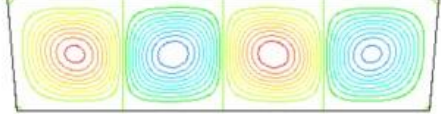
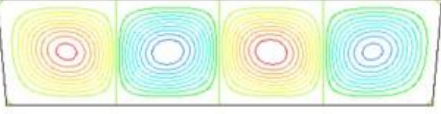
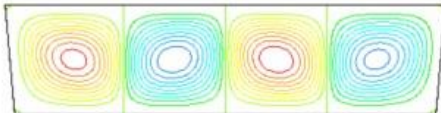
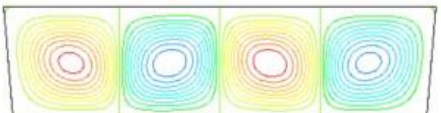
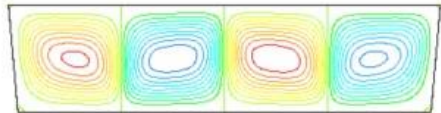
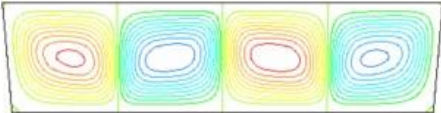
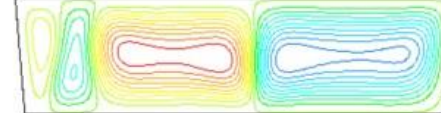
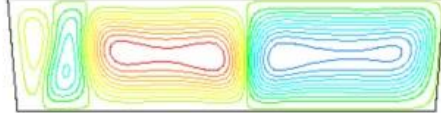
Şekil 3.11. $Pr = 1000$ için $n=0.7$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=5^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 1.02191321123719	 1.02191352496082
5000	 2.88432695728514	 2.88417584706964
10000	 3.49673483089731	 3.49647548602918
50000	 4.66363144427606	 4.66341262204358
100000	Yakınsamadı	Yakınsamadı



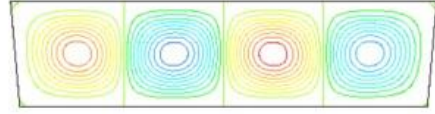
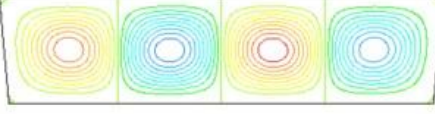
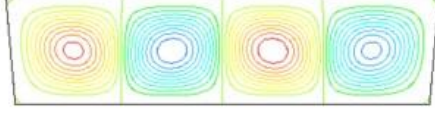
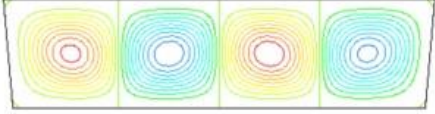
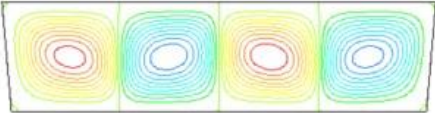
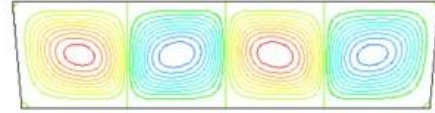
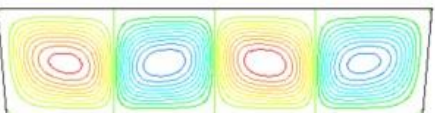
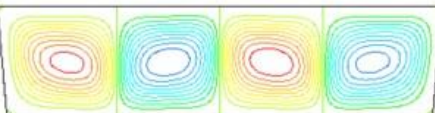
Şekil 3.12. $Pr = 1000$ için $n=0.8$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=5^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 1.02192147262613	 1.0219215249134
5000	 2.44350902093178	 2.44340081242279
10000	 2.98308218897016	 2.9829295101365
50000	 3.97913249466964	 3.97957693647994
100000	 4.17213840957411	 4.1721844223733



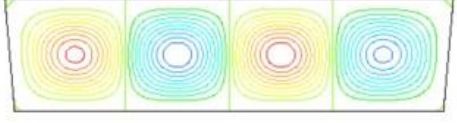
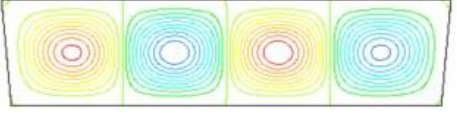
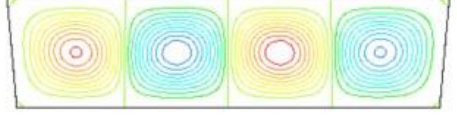
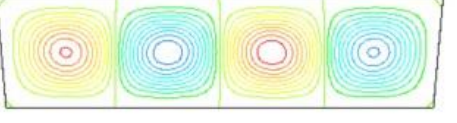
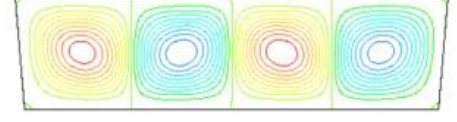
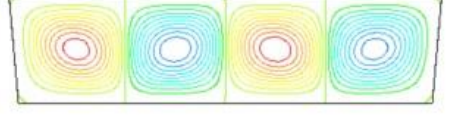
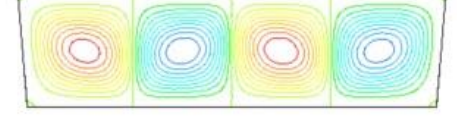
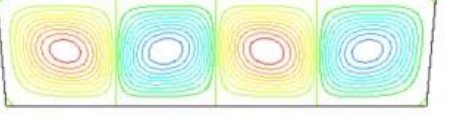
Şekil 3.13. $Pr = 1000$ için $n=0.9$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=5^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 <p>1.02192855755146</p>	 <p>1.02192832225874</p>
5000	 <p>2.05685421454152</p>	 <p>2.05675766609414</p>
10000	 <p>2.57010202226676</p>	 <p>2.56999028436692</p>
50000	 <p>3.7965367141442</p>	 <p>3.79633593102048</p>
100000	 <p>3.96823242855386</p>	 <p>3.96775975161678</p>



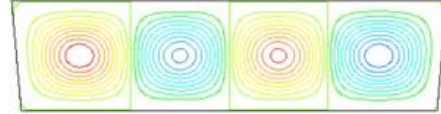
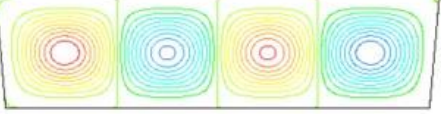
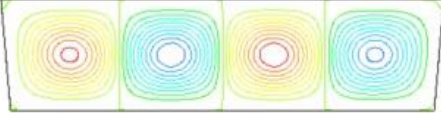
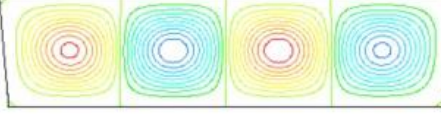
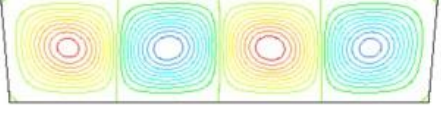
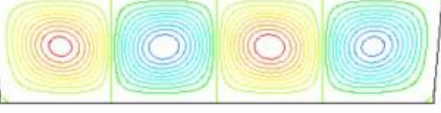
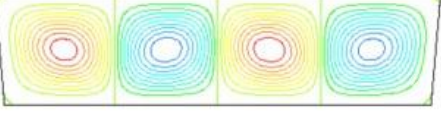
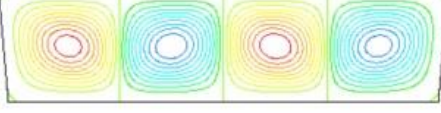
Şekil 3.14. $Pr = 1000$ için $n=1.0$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=5^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 <p>1.02194759011839</p>	 <p>1.02194735482567</p>
5000	 <p>1.38146530244445</p>	 <p>1.38135960372451</p>
10000	 <p>1.89732878094149</p>	 <p>1.89724323896482</p>
50000	 <p>2.9109321120882</p>	 <p>2.91078980697948</p>
100000	 <p>3.36800278341663</p>	 <p>3.36783101972877</p>

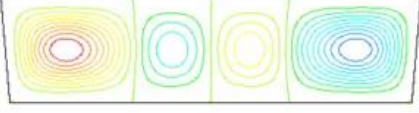
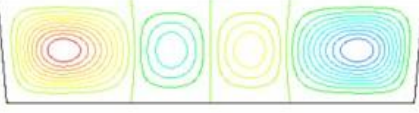
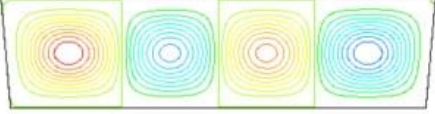
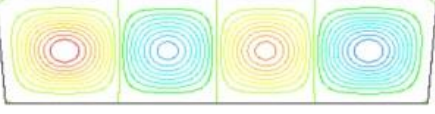
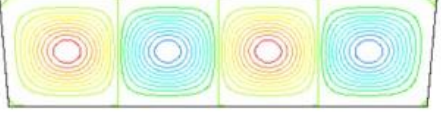
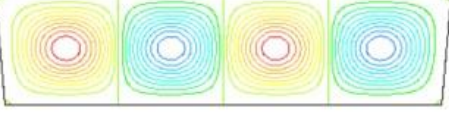
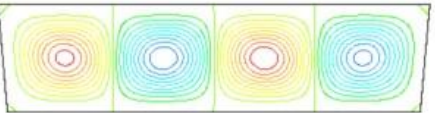
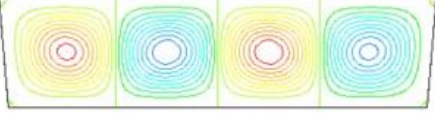
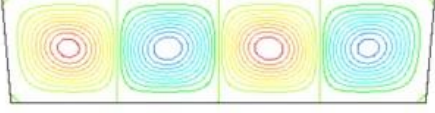
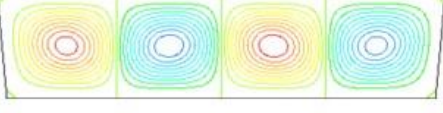
Şekil 3.15. $Pr = 1000$ için $n=1.2$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=5^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 1.021967747	 1.02196751156895
5000	 1.07405938583423	 1.07402398735122
10000	 1.36351087291014	 1.36342606295528
50000	 2.29821158143579	 2.29902428250138
100000	 2.67021345506409	 2.67009502439346

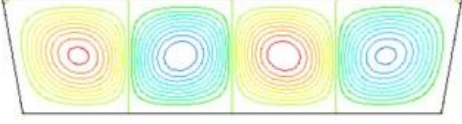
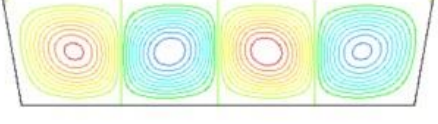
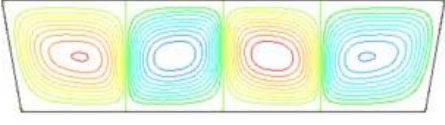
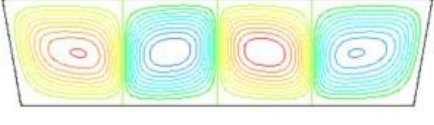

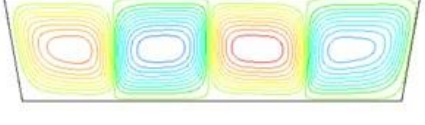
Şekil 3.16. $Pr = 1000$ için $n=1.4$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=5^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 1.021987119	 1.02198696243406
5000	 1.034452987	 1.03444542454221
10000	 1.108379209	 1.1083428427717
50000	 1.816565469	 1.81649668485861
100000	 2.156619349	 2.15654507466813

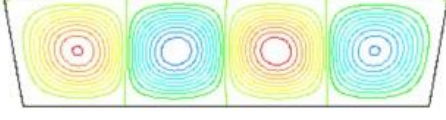
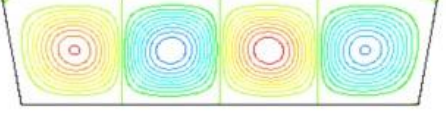
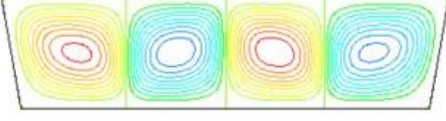
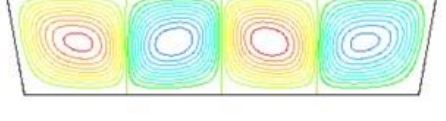
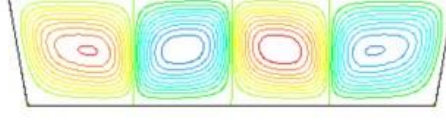
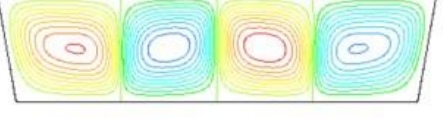
Şekil 3.17. $Pr = 1000$ için $n=1.6$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=5^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 1.022004479	 1.02200442638284
5000	 1.027538485	 1.02753574000475
10000	 1.048928868	 1.04891791392919
50000	 1.436483512	 1.43641812707355
100000	 1.74185498345869	 1.74179189886526



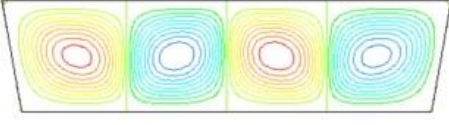
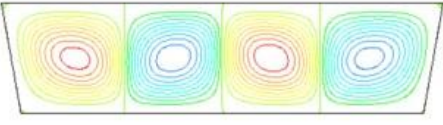
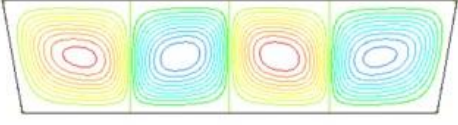
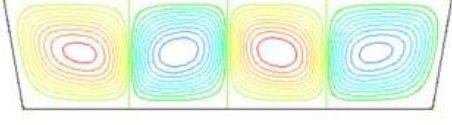
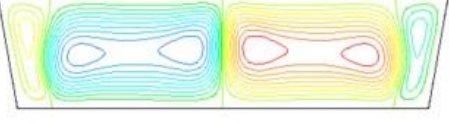
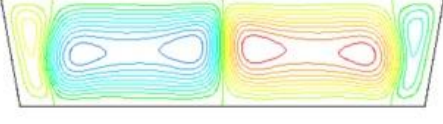
Şekil 3.18. $Pr = 1000$ için $n=1.8$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=5^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 2.44031054827574	 2.44016902071154
5000	 4.28659794113964	 4.28627853080973
10000	 5.2819641515705	 5.28181856626134
50000	Yakınsamadı	Yakınsamadı
100000	Yakınsamadı	Yakınsamadı

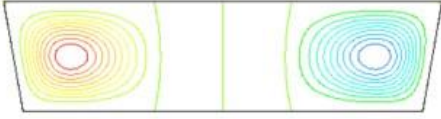

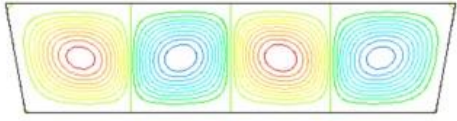
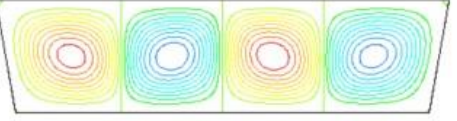
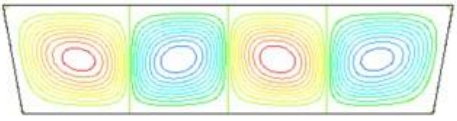
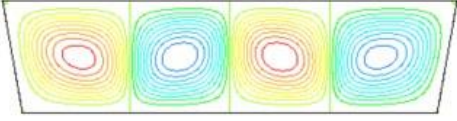
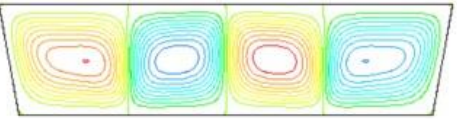
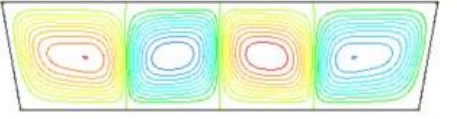
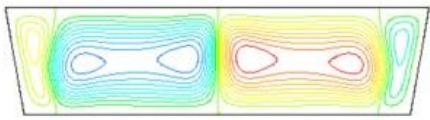
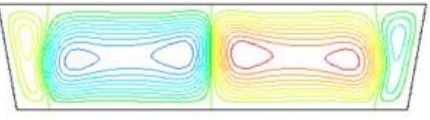
Şekil 3.19. $Pr = 1000$ için $n=0.6$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=10^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 1.8267343810753	 1.82656716359873
5000	 3.5254636878728	 3.52523146422522
10000	 4.29601876375411	 4.29571881963316
50000	Yakınsamadı	Yakınsamadı
100000	Yakınsamadı	Yakınsamadı

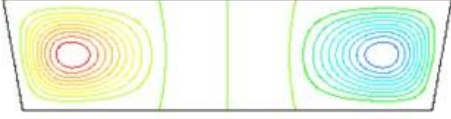
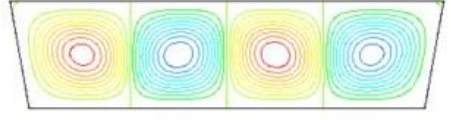
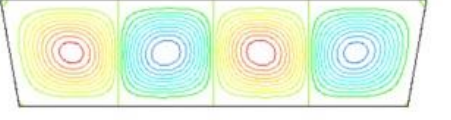
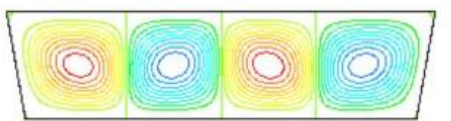
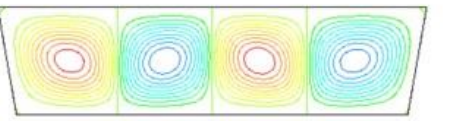
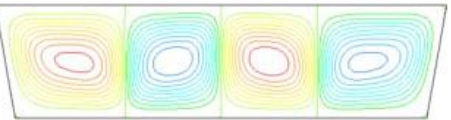
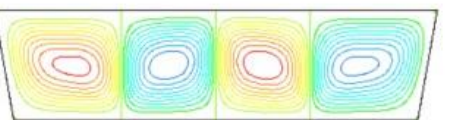
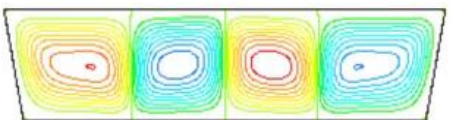
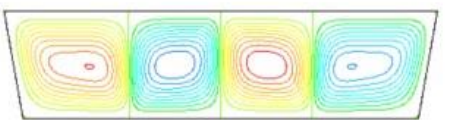
Şekil 3.20. $Pr = 1000$ için $n=0.7$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=10^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 1.04486941037858	 1.04486532521642
5000	 2.95892078771105	 2.95876588055535
10000	 3.59251737505237	 3.59228240968522
50000	 4.86311329789334	 4.8628999921108
100000	Yakınsamadı	Yakınsamadı



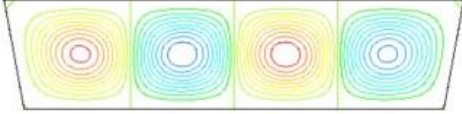
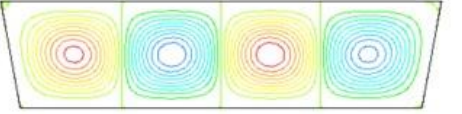
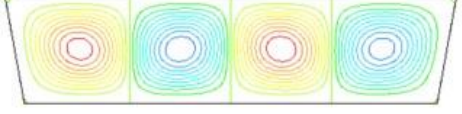
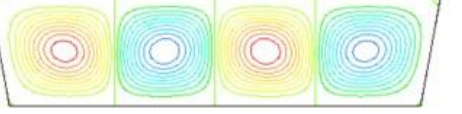
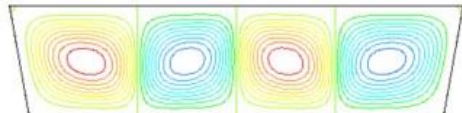
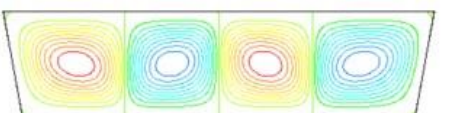
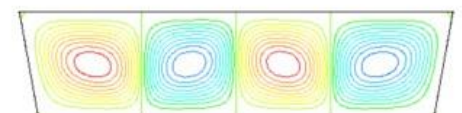
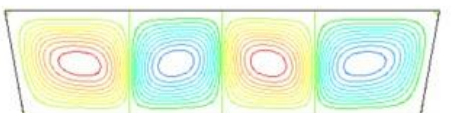
Şekil 3.21. $Pr = 1000$ için $n=0.8$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=10^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 1.04448998380729	 1.04477687734309
5000	 2.50413605258201	 2.50402336790769
10000	 3.06037455616346	 3.06020758544165
50000	 4.55852963907899	 4.55814250827571
100000	 4.82121762948809	 4.82103311176103



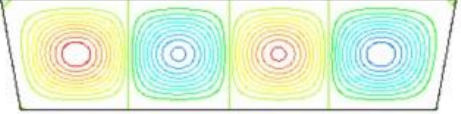
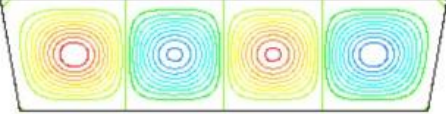
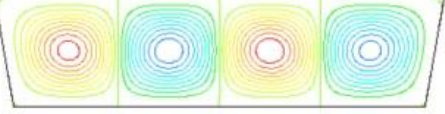
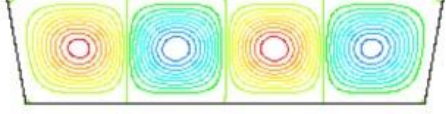
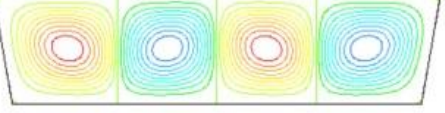
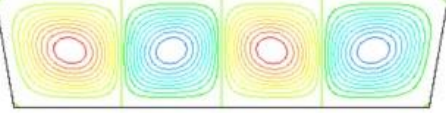
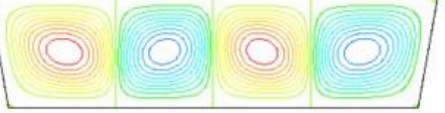
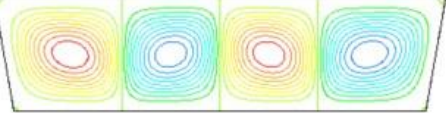
Şekil 3.22. $Pr = 1000$ için $n=0.9$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=10^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 1.04433384287778	 1.04433296552752
5000	 2.10628753849254	 2.10619127671843
10000	 2.63415533114193	 2.63403990474803
50000	 3.90001685262942	 3.8997906607649
100000	 4.55517596770097	 4.55473866342955



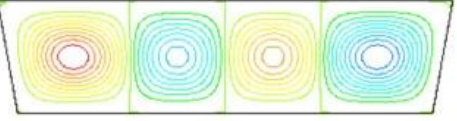
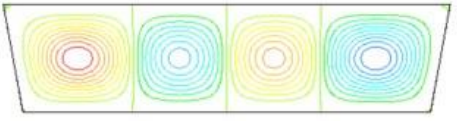
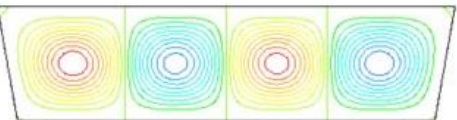
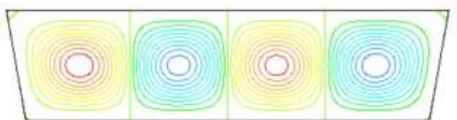
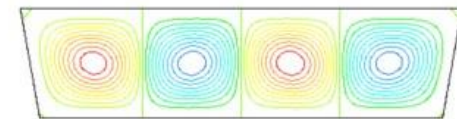
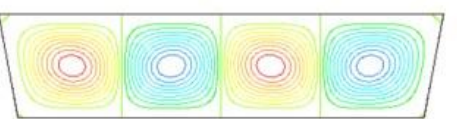
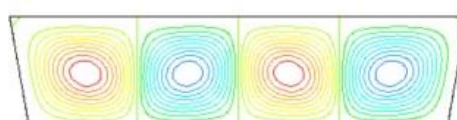
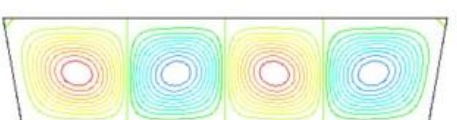
Şekil 3.23. $Pr = 1000$ için $n=1.0$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=10^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 1.04420086947863	 1.04420163716011
5000	 1.41539838881914	 1.41528981672417
10000	 1.94161890151649	 1.94153182450294
50000	 2.98456984846036	 2.98442590818293
100000	 3.45508018227546	 3.45490471222298

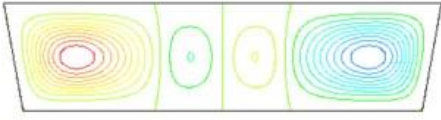
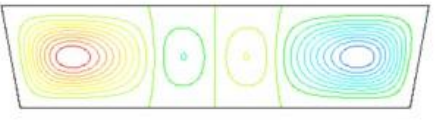
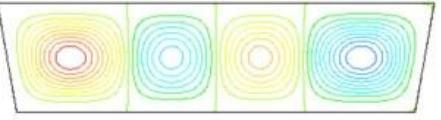
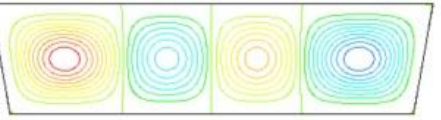
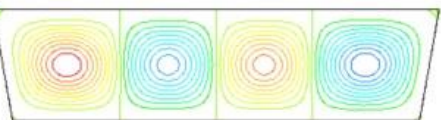
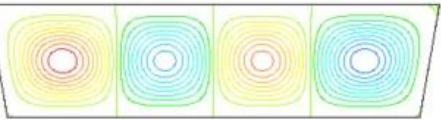
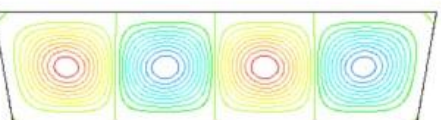
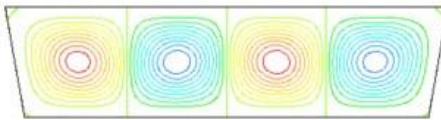
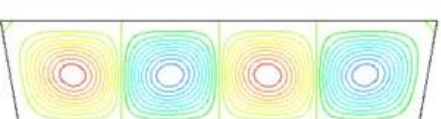
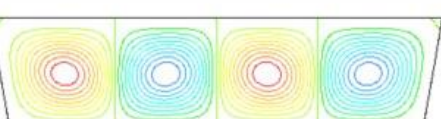
Şekil 3.24. $Pr = 1000$ için $n=1.2$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=10^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 1.04414189509068	 1.0441424434346
5000	 1.10117796955698	 1.10113218284016
10000	 1.39545676569871	 1.39536903067247
50000	 2.35313897282457	 2.35305321183643
100000	 2.73614779265545	 2.73602959712479

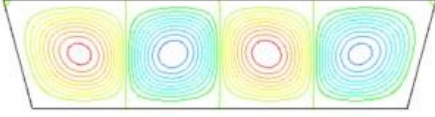
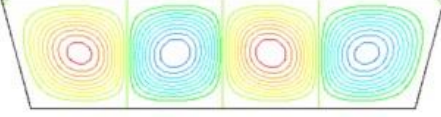
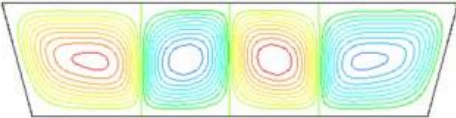
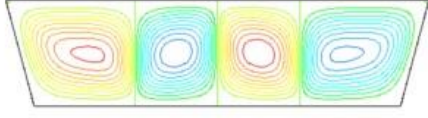
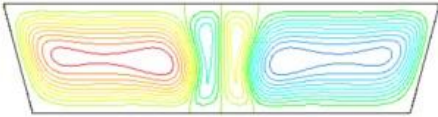
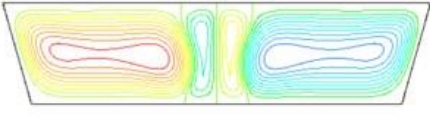
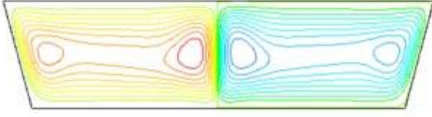
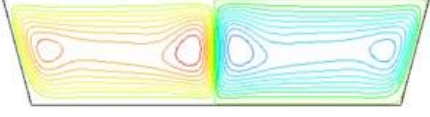
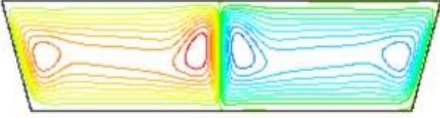
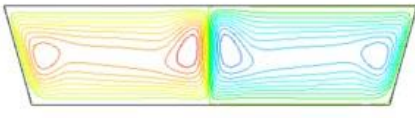
Şekil 3.25. $Pr = 1000$ için $n=1.4$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=10^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 1.04411209259896	 1.0441124490225
5000	 1.05840281234806	 1.0583923389793
10000	 1.13508393812891	 1.13504782968217
50000	 1.85731850963341	 1.8564215012417
100000	 2.20690360194753	 2.20683006902866

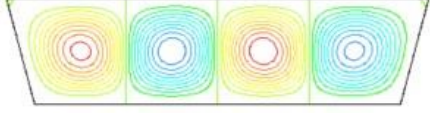
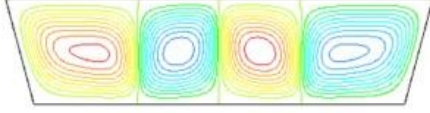
Şekil 3.26. $Pr = 1000$ için $n=1.6$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=10^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 1.04409630029423	 1.04409654704899
5000	 1.05048626159286	 1.05048171033837
10000	 1.07317127673223	 1.07316061144311
50000	 1.46800516048571	 1.46793774160149
100000	 1.78022697585013	 1.78180595956769

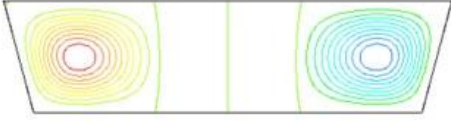

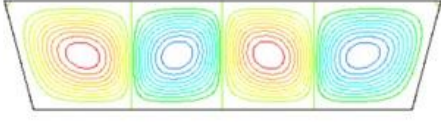
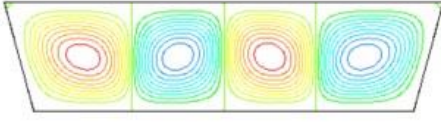
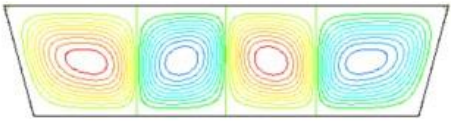
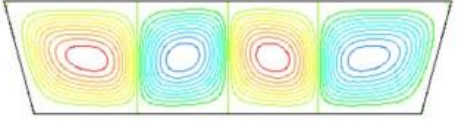
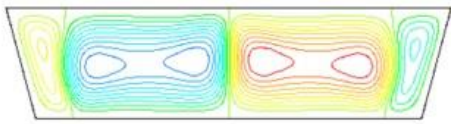
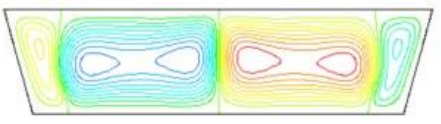
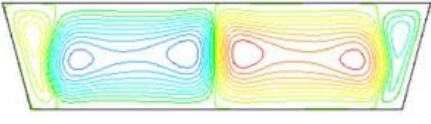
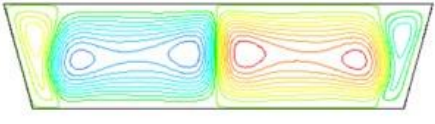
Şekil 3.27. $Pr = 1000$ için $n=1.8$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=10^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 <p>2.49719415687463</p>	 <p>2.49704701915832</p>
5000	 <p>4.39104065391148</p>	 <p>4.39084348879428</p>
10000	 <p>4.7773714116555</p>	 <p>4.77688816947951</p>
50000	 <p>6.27590944085238</p>	 <p>6.27274469534737</p>
100000	 <p>7.40981180340103</p>	 <p>7.39993911378403</p>



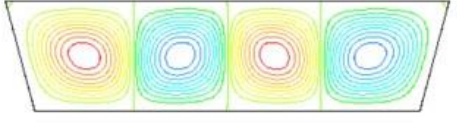
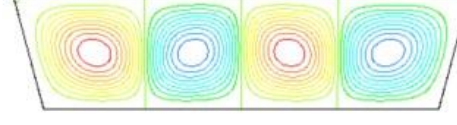
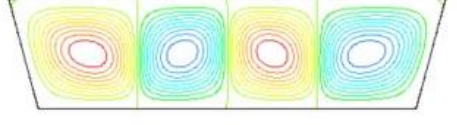
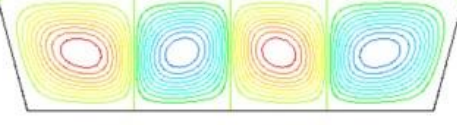

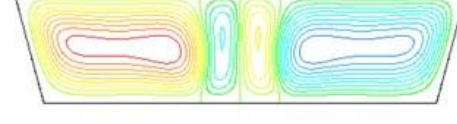

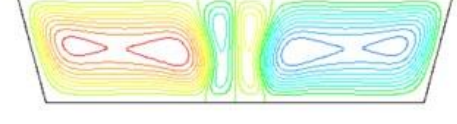
Şekil 3.28. $Pr = 1000$ için $n=0.6$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=15^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 1.86760685102578	 1.86742689094662
5000	 3.6174516252147	 3.61724060369101
10000	 4.39322043985587	 4.3931110319797
50000	Yakınsamadı	Yakınsamadı
100000	Yakınsamadı	Yakınsamadı



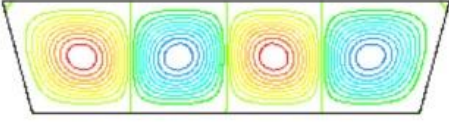
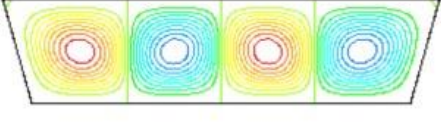
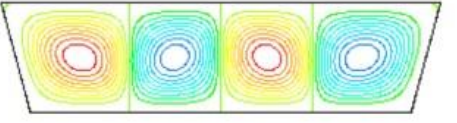
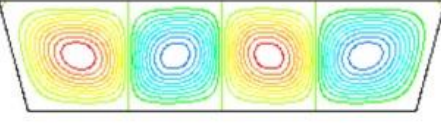
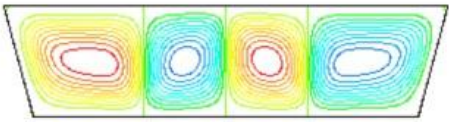
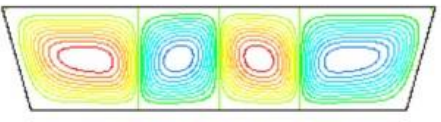
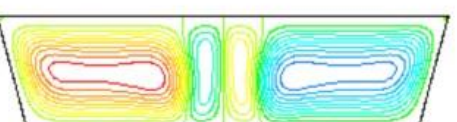
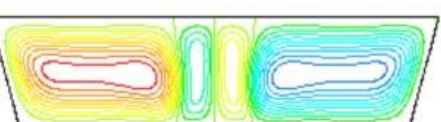
Şekil 3.29. $Pr = 1000$ için $n=0.7$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=15^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 <p>1.0710144843889</p>	 <p>1.07099944441437</p>
5000	 <p>3.03315612014173</p>	 <p>3.03301380330018</p>
10000	 <p>3.6846667436481</p>	 <p>3.68447852746008</p>
50000	 <p>5.09710394972961</p>	 <p>5.0967104855206</p>
100000	 <p>5.84771847913228</p>	 <p>5.8467693152884</p>



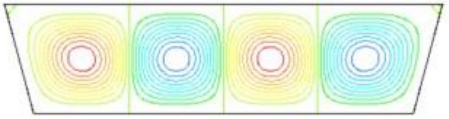
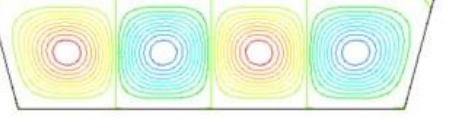
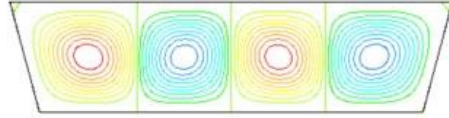
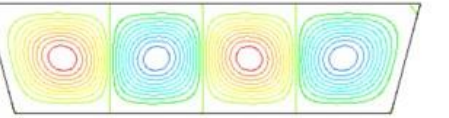
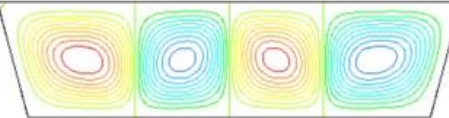
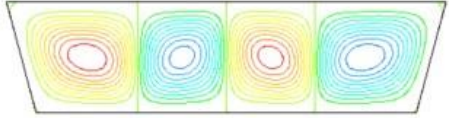

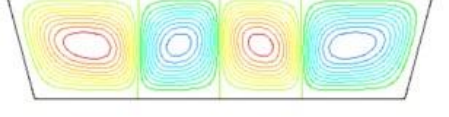
Şekil 3.30. $Pr = 1000$ için $n=0.8$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=15^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 <p>1.06837050882744</p>	 <p>1.06836649624306</p>
5000	 <p>2.56402588586123</p>	 <p>2.56391717080539</p>
10000	 <p>3.13743597120859</p>	 <p>3.13727489048326</p>
50000	 <p>4.27161199778523</p>	 <p>4.27039783016742</p>
100000	 <p>4.8876115382347</p>	 <p>4.88672068676809</p>


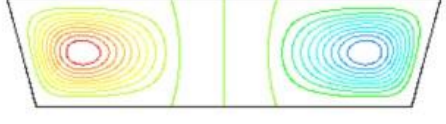
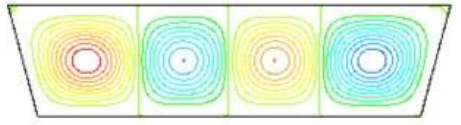
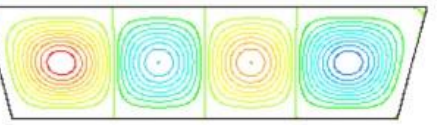
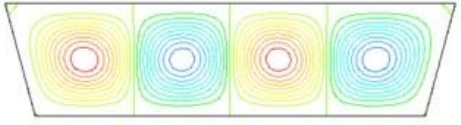
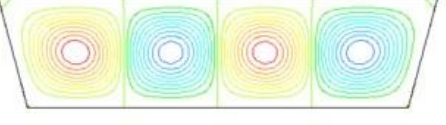
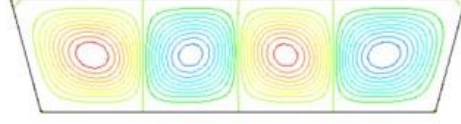
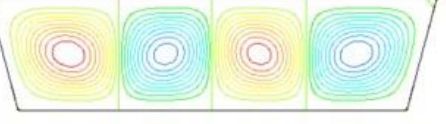
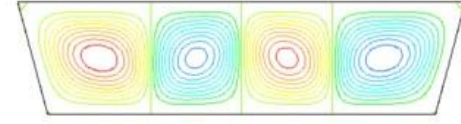
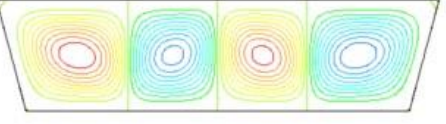
Şekil 3.31. $Pr = 1000$ için $n=0.9$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=15^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 1.06766507340004	 1.0676637166269
5000	 2.15398600833956	 2.15388557826009
10000	 2.69810330397804	 2.69798794939409
50000	 3.98654299257165	 3.98654299257165
100000	 4.27128464018214	 4.27050839274412



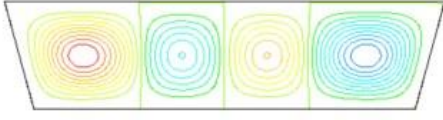
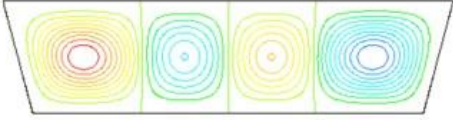
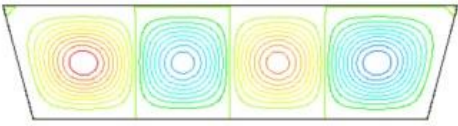
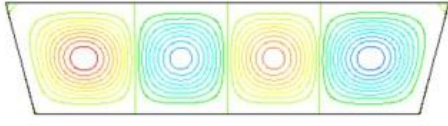
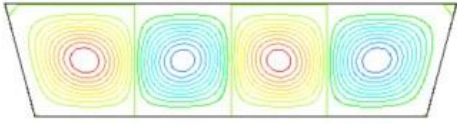
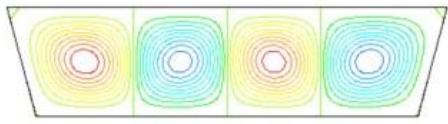
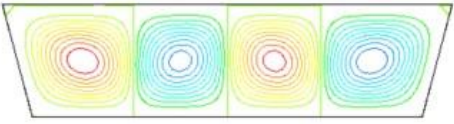
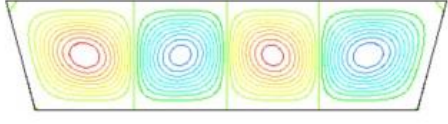
Şekil 3.32. $Pr = 1000$ için $n=1.0$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=15^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 1.06715533084665	 1.06715697629492
5000	 1.44600103101525	 1.44588879412276
10000	 1.98417147453516	 1.98408005111991
50000	 3.05836265557966	 3.05822091608838
100000	 3.53808761372482	 3.5379455855584

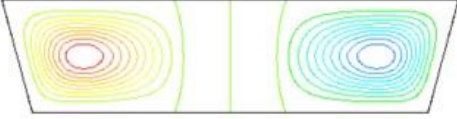

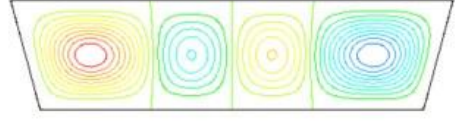
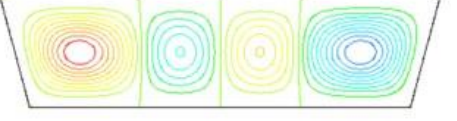
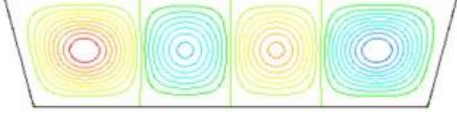
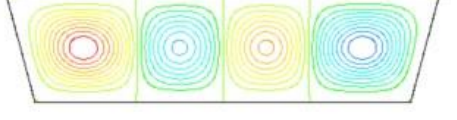
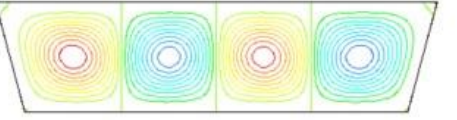
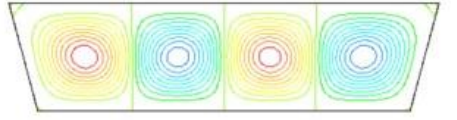
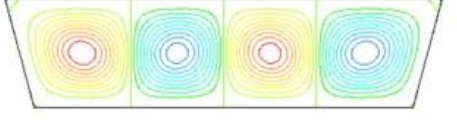
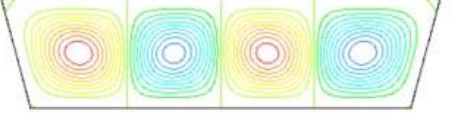
Şekil 3.33. $Pr = 1000$ için $n=1.2$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=15^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 1.0669540088075	 1.06695530784561
5000	 1.12742019125974	 1.12738058503122
10000	 1.42482818210619	 1.42473869281434
50000	 2.4080888606892	 2.40800321077665
100000	 2.80263219508386	 2.80251557032932

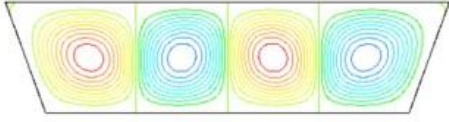
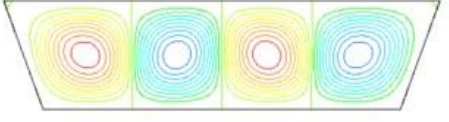
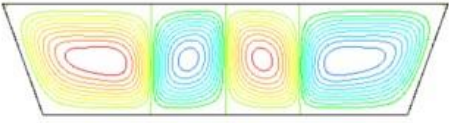
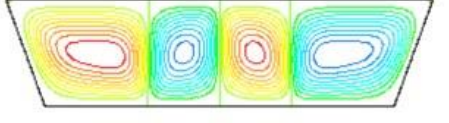
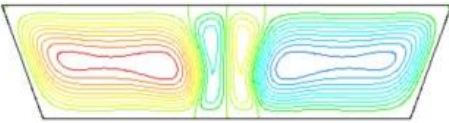
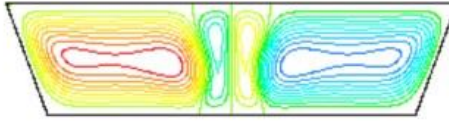
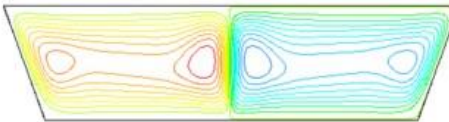
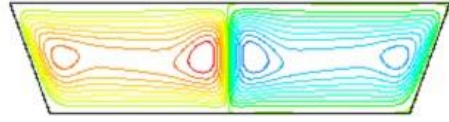
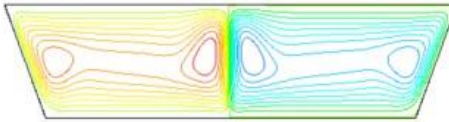
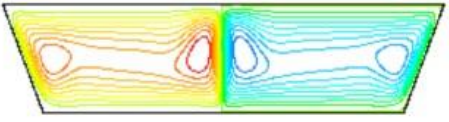
Şekil 3.34. $Pr = 1000$ için $n=1.4$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=15^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \bar{Nu}	Akım çizgileri / \bar{Nu}
1000	 1.06684971048123	 1.06685080744674
5000	 1.08258487247484	 1.08258036914273
10000	 1.16075281627786	 1.16075281627786
50000	 1.89676087459727	 1.89668760884801
100000	 2.25700758222798	 2.25693373912845

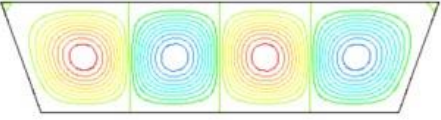
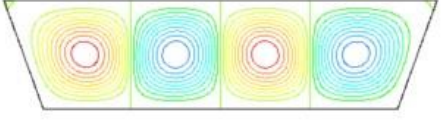
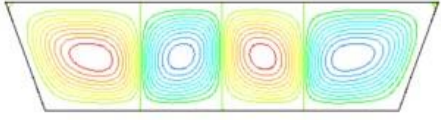
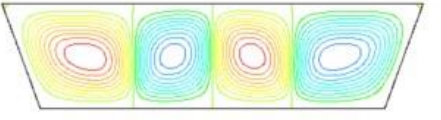
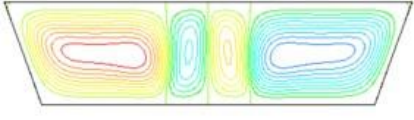
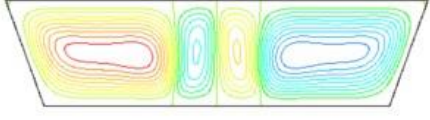
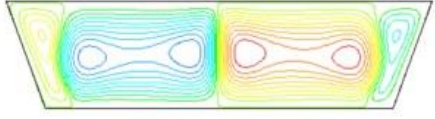
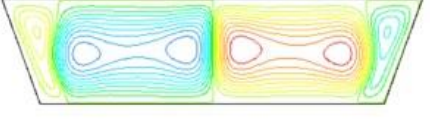
Şekil 3.35. $Pr = 1000$ için $n=1.6$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=15^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 1.06678905983536	 1.06678986812574
5000	 1.07387311878075	 1.0738706650421
10000	 1.09740496315801	 1.0973927521998
50000	 1.49770494162478	 1.49763615034011
100000	 1.81728615619312	 1.81721889488667



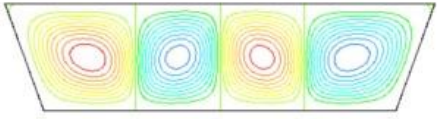
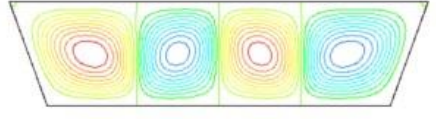
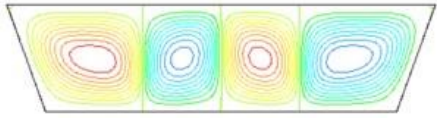
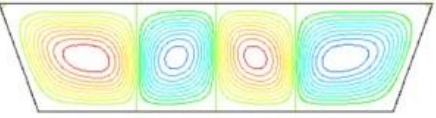
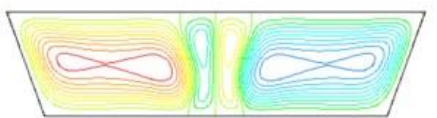
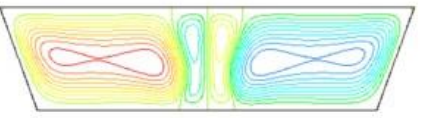
Şekil 3.36. $Pr = 1000$ için $n=1.8$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=15^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 <p>2.54931097943814</p>	 <p>2.5491661776719</p>
5000	 <p>4.44657526576014</p>	 <p>4.44711437575515</p>
10000	 <p>4.94264722968339</p>	 <p>4.94211514890034</p>
50000	 <p>6.52625197259863</p>	 <p>6.52295527219267</p>
100000	 <p>7.7036718691023</p>	 <p>7.6938532824756</p>

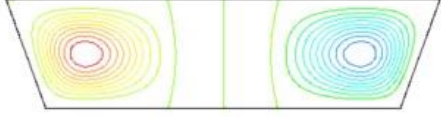

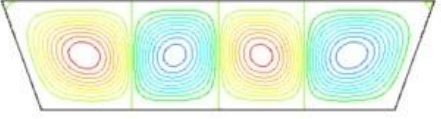
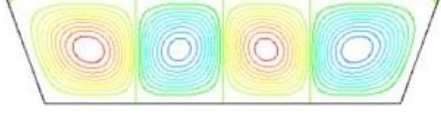
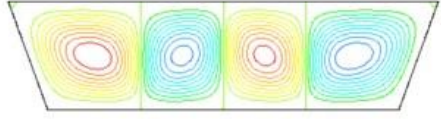
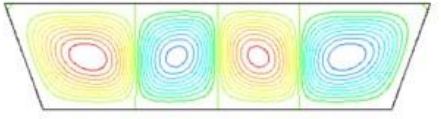
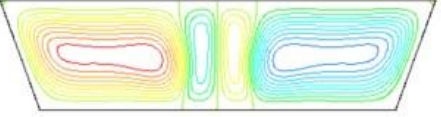
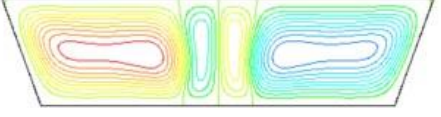
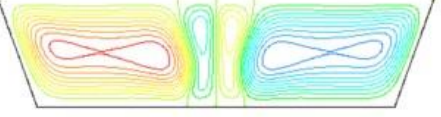
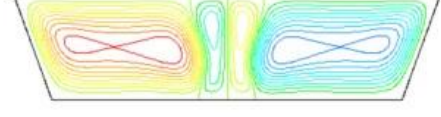
Şekil 3.37. $Pr = 1000$ için $n=0.6$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=20^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 <p>1.89996325921763</p>	 <p>1.89977438734863</p>
5000	 <p>3.70548025405087</p>	 <p>3.70532194397297</p>
10000	 <p>4.22156193946102</p>	 <p>4.22029607007366</p>
50000	 <p>6.26480287895008</p>	 <p>6.26378303198108</p>
100000	Yakınsamadı	Yakınsamadı



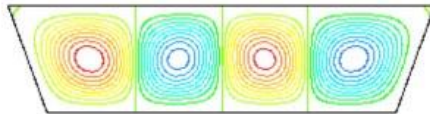
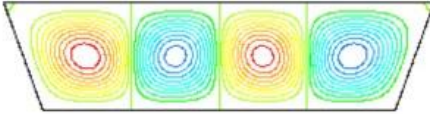
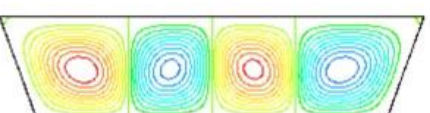
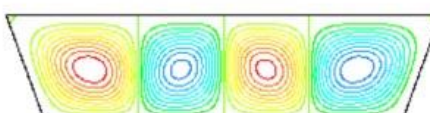
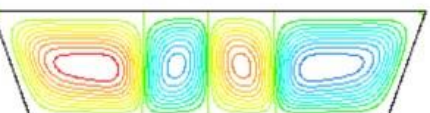
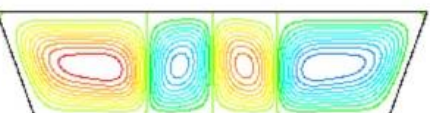
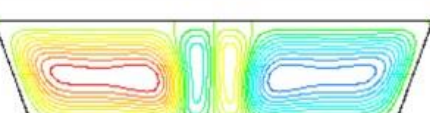
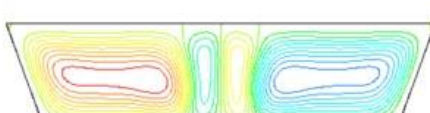
Şekil 3.38. $Pr = 1000$ için $n=0.7$ üstel indekсли akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=20^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \bar{Nu}	Akım çizgileri / \bar{Nu}
1000	 <p>1.10404167787018</p>	 <p>1.10399045630829</p>
5000	 <p>3.10708282925616</p>	 <p>3.10694071692754</p>
10000	 <p>3.7713778936386</p>	 <p>3.77126023074286</p>
50000	 <p>5.10389337885237</p>	 <p>5.10333654301853</p>
100000	Yakınsamadı	Yakınsamadı

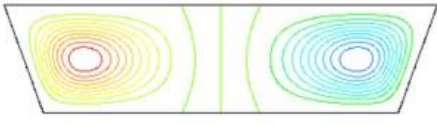
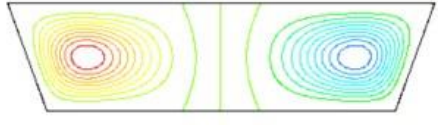
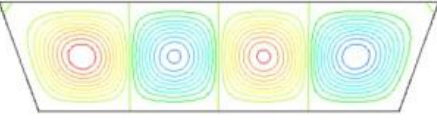
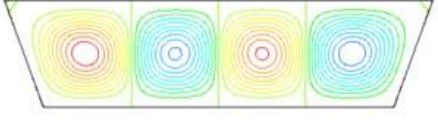
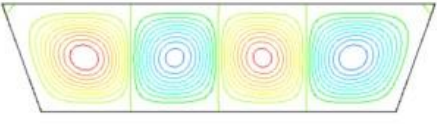
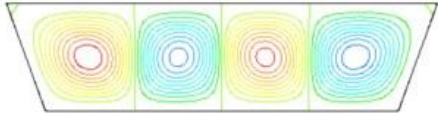
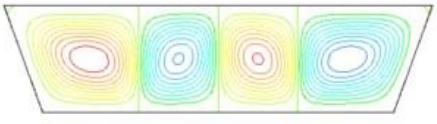
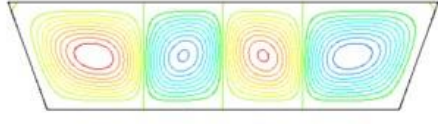
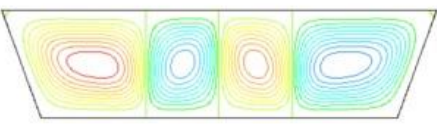
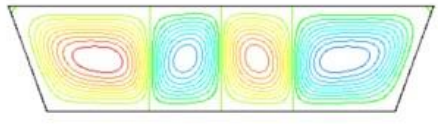
Şekil 3.39. $Pr = 1000$ için $n=0.8$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=20^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 <p>1.09433216627592</p>	 <p>1.0943291406586</p>
5000	 <p>2.62309683124131</p>	 <p>2.62298546407455</p>
10000	 <p>3.21460960135493</p>	 <p>3.21446259913974</p>
50000	 <p>4.40231904168615</p>	 <p>4.40169985979846</p>
100000	 <p>5.05848375278226</p>	 <p>5.0578709888707</p>



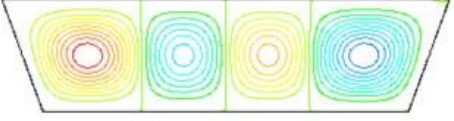
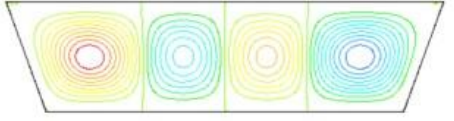
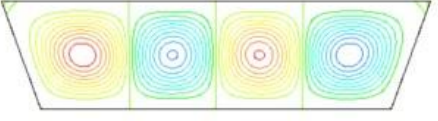
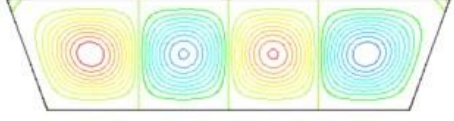
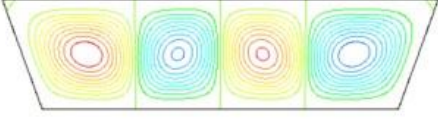
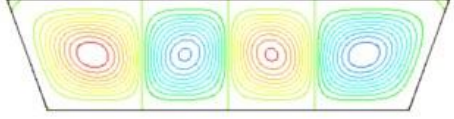
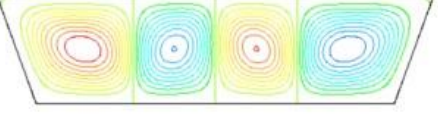
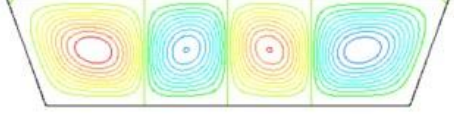
Şekil 3.40. $Pr = 1000$ için $n=0.9$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=20^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \bar{Nu}	Akım çizgileri / \bar{Nu}
1000	 <p>1.09251618464875</p>	 <p>1.0925146565592</p>
5000	 <p>2.1993710448279</p>	 <p>2.19926881563667</p>
10000	 <p>2.76232577711319</p>	 <p>2.76221709938404</p>
50000	 <p>4.03859613659309</p>	 <p>4.03872908038438</p>
100000	 <p>4.40278633147206</p>	 <p>4.40245901468938</p>




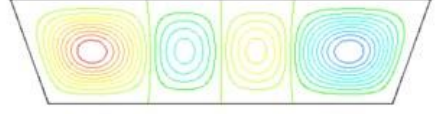
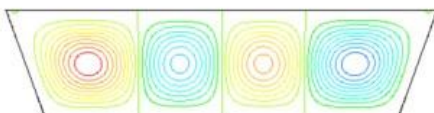
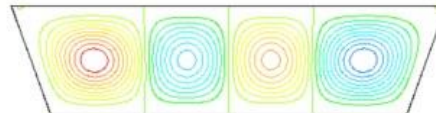
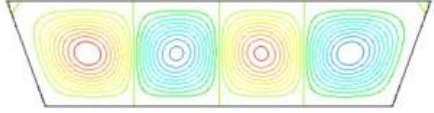
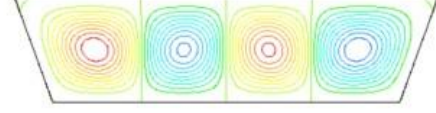
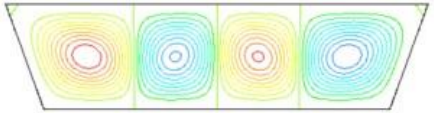
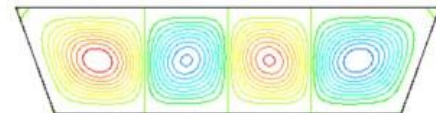
Şekil 3.41. $Pr = 1000$ için $n=1.0$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=20^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 1.09136938399952	 1.09137500736908
5000	 1.47200313664731	 1.47188736858262
10000	 2.02457358355264	 2.0244800033483
50000	 3.13326786625272	 3.13314103481966
100000	 3.61632906446888	 3.61621415213434




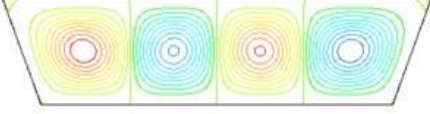
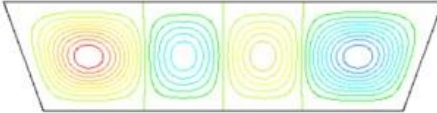
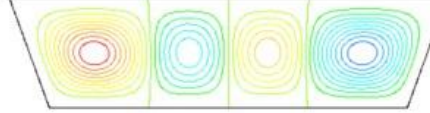
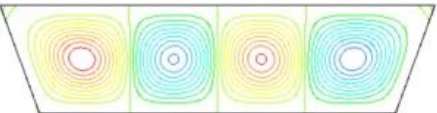
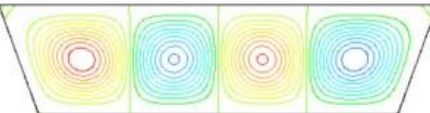
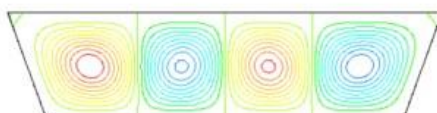
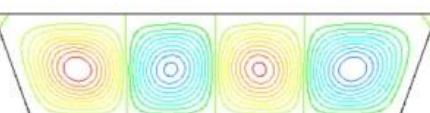
Şekil 3.42. $Pr = 1000$ için $n=1.2$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=20^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 <p>1.09095967262803</p>	 <p>1.09096098678505</p>
5000	 <p>1.15274531490863</p>	 <p>1.15270961873662</p>
10000	 <p>1.45076605362983</p>	 <p>1.45067381814429</p>
50000	 <p>2.46380654501736</p>	 <p>2.46372014683392</p>
100000	 <p>2.87081915754088</p>	 <p>2.87070662902605</p>

Şekil 3.43. $Pr = 1000$ için $n=1.4$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=20^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 <p>1.09075775087423</p>	 <p>1.09075964570528</p>
5000	 <p>1.10747650392347</p>	 <p>1.10754158362516</p>
10000	 <p>1.18536770421176</p>	 <p>1.18539835768823</p>
50000	 <p>1.93472561569537</p>	 <p>1.93482448308957</p>
100000	 <p>2.30753833094455</p>	 <p>2.30762864103725</p>

Şekil 3.44. $Pr = 1000$ için $n=1.6$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=20^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

Ağ	220×180	240×200
Ra	Akım çizgileri / \overline{Nu}	Akım çizgileri / \overline{Nu}
1000	 <p>1.090639721237</p>	 <p>1.09064131045014</p>
5000	 <p>1.09829239372844</p>	 <p>1.09829077395352</p>
10000	 <p>1.12202066002386</p>	 <p>1.12200886317249</p>
50000	 <p>1.52509046531577</p>	 <p>1.52501424420877</p>
100000	 <p>1.85281769285124</p>	 <p>1.85274596432753</p>

Şekil 3.45. $Pr = 1000$ için $n=1.8$ üstel indeksli akışkan ile dolu 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=20^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede akım çizgileri.

3.4. Rayleigh Sayısının Isı Transferi Üzerindeki Etkileri

Rayleigh sayısının (Ra) yamuk tabanındaki ısı transferi üzerindeki etkisini görmek üzere tabanda elde edilmiş olan ortalama Nusselt sayılarının (\overline{Nu}) davranışı incelenmiştir. Elde edilmiş olan bulgulara göre düzenlenmiş olan Şekil 3.46'dan Şekil 3.50'ye kadarki $\overline{Nu} - Ra$ değişimleri göstermektedir ki; bütün akışkan türleri için her θ yamuk açısında artan Ra sayısı ısı transferini de artırmaktadır. İnceleşen akışkanlar için $Ra < 10000$ aralığında azalan n üstel indeks ile birlikte \overline{Nu} sayısında görülen ani yükseliş, kalınlaşan akışkan durumunda yavaşlamaktadır. $10000 < Ra < 100000$ aralığında artan Ra sayısı ile birlikte bütün akışkan türleri için \overline{Nu} sayısındaki artışın yavaşlamakta olduğu görülmektedir. Ra sayısındaki artışın; kaldırma etkilerinin sürtünme etkileri yanında daha etkili olması anlamına gelmesi ve akış alanında taşınım etkisini güçlendirmesi nedeniyle yamuk tabanındaki \overline{Nu} ortalama Nusselt sayısının da artmasına neden olması beklentilere uygun bir bulgudur.

3.5. Üstel İndeksin (n) Isı Transferi Üzerindeki Etkileri

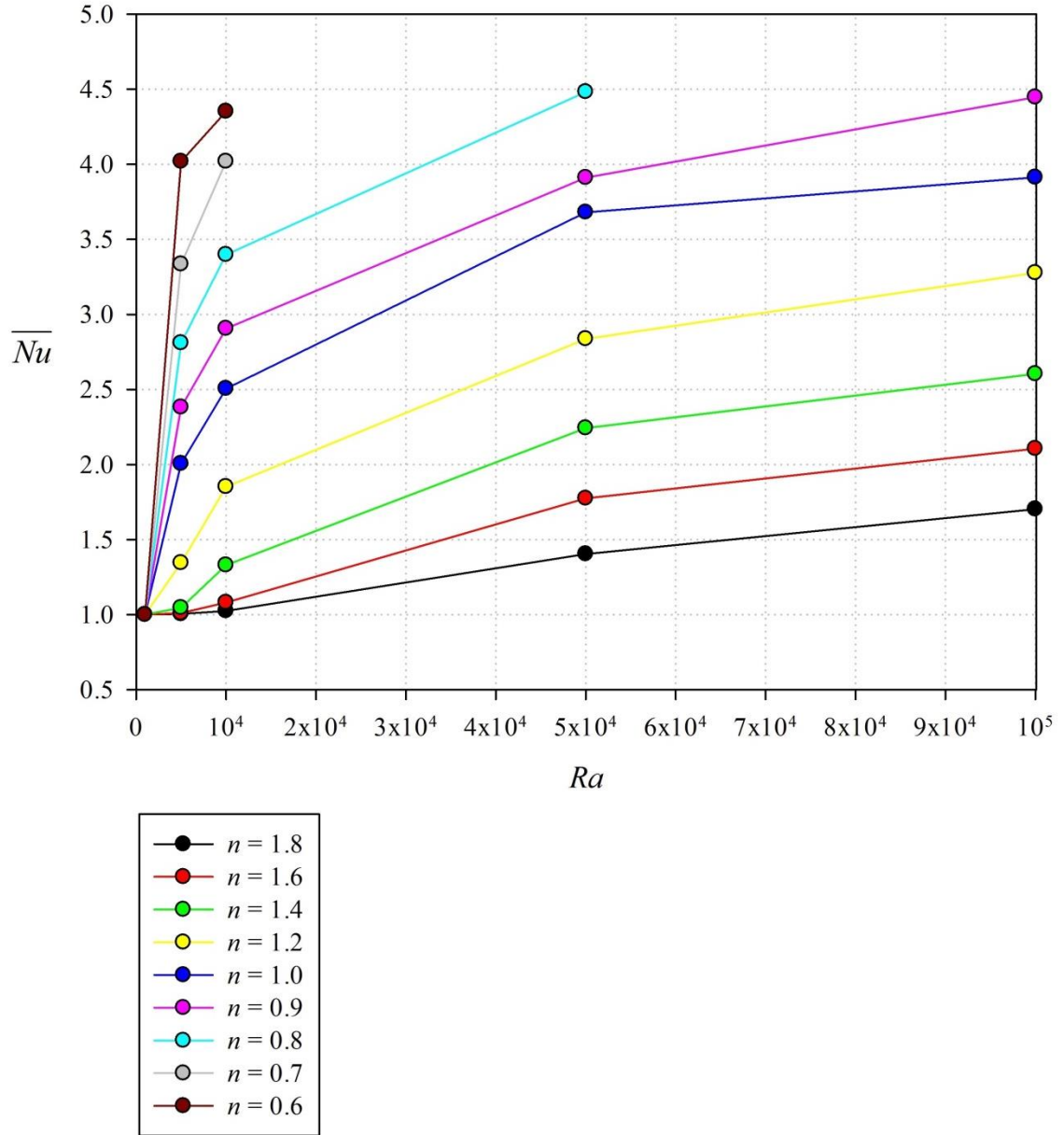
İnceleşen akışkanın taşınım özelliğinin kalınlaşan akışkana göre çok daha iyi olması nedeniyle Şekil 3.46'dan Şekil 3.50'ye kadarki $\overline{Nu} - Ra$ değişimlerinden de görülmektedir ki; her θ yamuk açısında ve Ra sayısında üstel indeksin çalışmada göz önüne alınan $0.6 < n < 1.8$ aralığında azalan yönde değişim göstermesi ısı transferini de artırmaktadır. Burada dikkat çekici olan nokta; $Ra = 10000$ değerinden itibaren tabandaki ısı transferinde ortaya çıkan artışın bütün üstel indeks değerlerinde hemen hemen aynı oranda olmasıdır. Diğer bir deyişle $Ra > 10000$ için tabandaki \overline{Nu} sayısında önemli bir artış olmadığı görülmektedir. Üstel indeksin azalması akış alanında taşınım etkilerinin artması, üstel indeksin artması akış alanında iletimin iyileşmesi sonucunu doğurduğundan, n üstel indeksinin \overline{Nu} sayısı üzerindeki etkisinin bilinen davranışa uygun olduğu görülmüştür.

3.6. Yamuk Açısının Isı Transferi Üzerindeki Etkileri

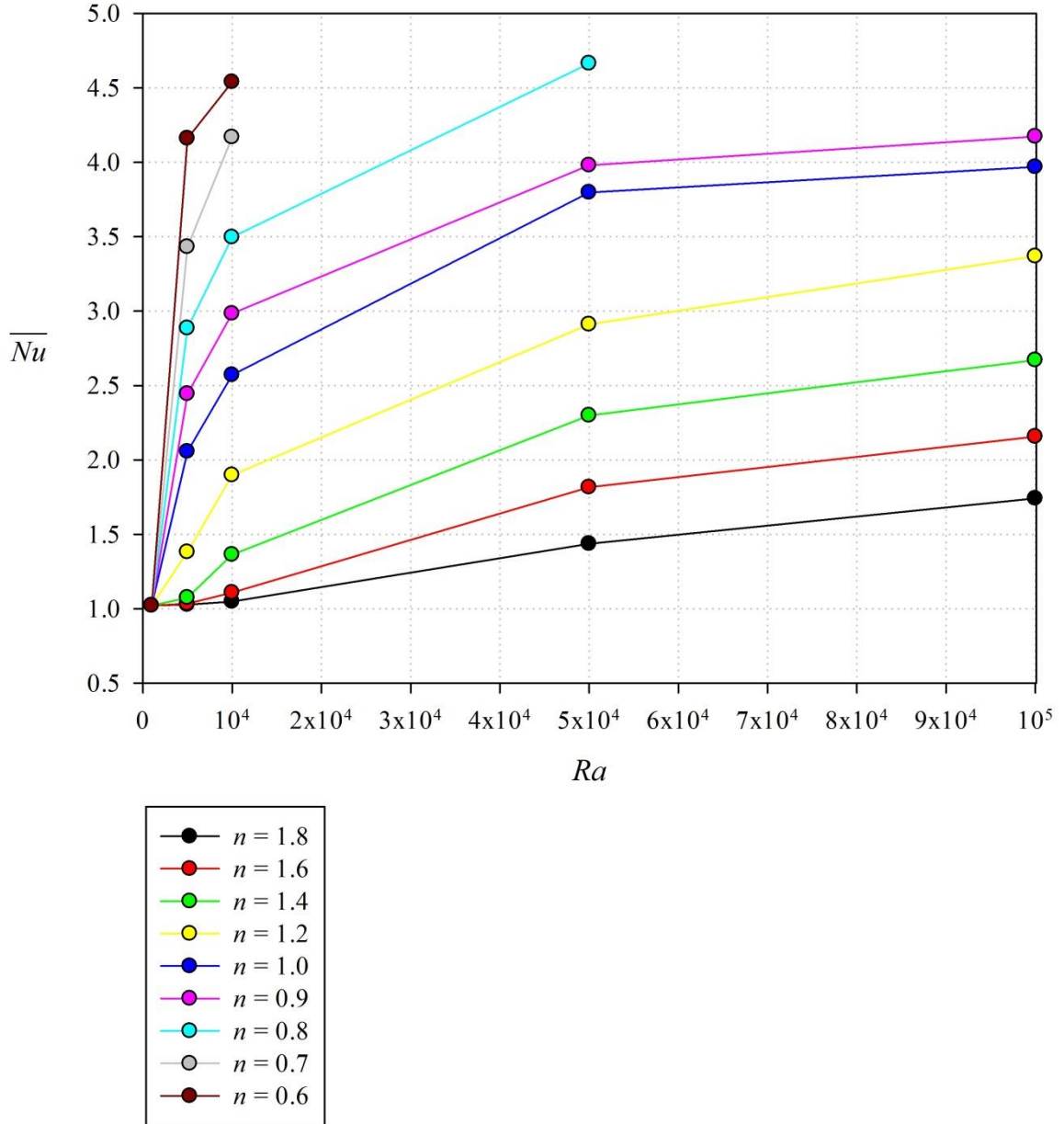
Çalışmanın yapıldığı parametrelerden bir tanesi olan yamuk açısının ısı transferi üzerindeki etkisini görmek üzere $0^\circ \leq \theta \leq 20^\circ$ aralığında değişen yamuk açısının yamuk

tabanındaki ortalama Nusselt sayısı (\overline{Nu}) üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilmiş olan bulgular göstermektedir ki; bütün n değerleri ve Ra sayıları için artan θ yamuk açısı ile birlikte \overline{Nu} sayısı da artmaktadır. Bu davranış Şekil 3.51'den 3.59'a kadar çizilmiş olan grafiklerde açıkça görülmektedir. İnceleşen akışkan için; çalışmada göz önüne alınmış olan Ra sayıları aralığında olmak kaydıyla, düşük Ra sayılarında tabandaki ısı transferi yamuk açısından belirgin bir şekilde etkilenmezken yüksek Ra sayılarında artan yamuk açısı ile birlikte ısı transferinin de artmakta olduğu görülmektedir. Kalınlaşan akışkan için ise yüksek üstel indeks değerlerinde (örneğin $n=1.8$) bütün yamuk açılarında tabandaki ısı transferindeki artış her Ra sayısında aynı düzeyde kalmaktadır.

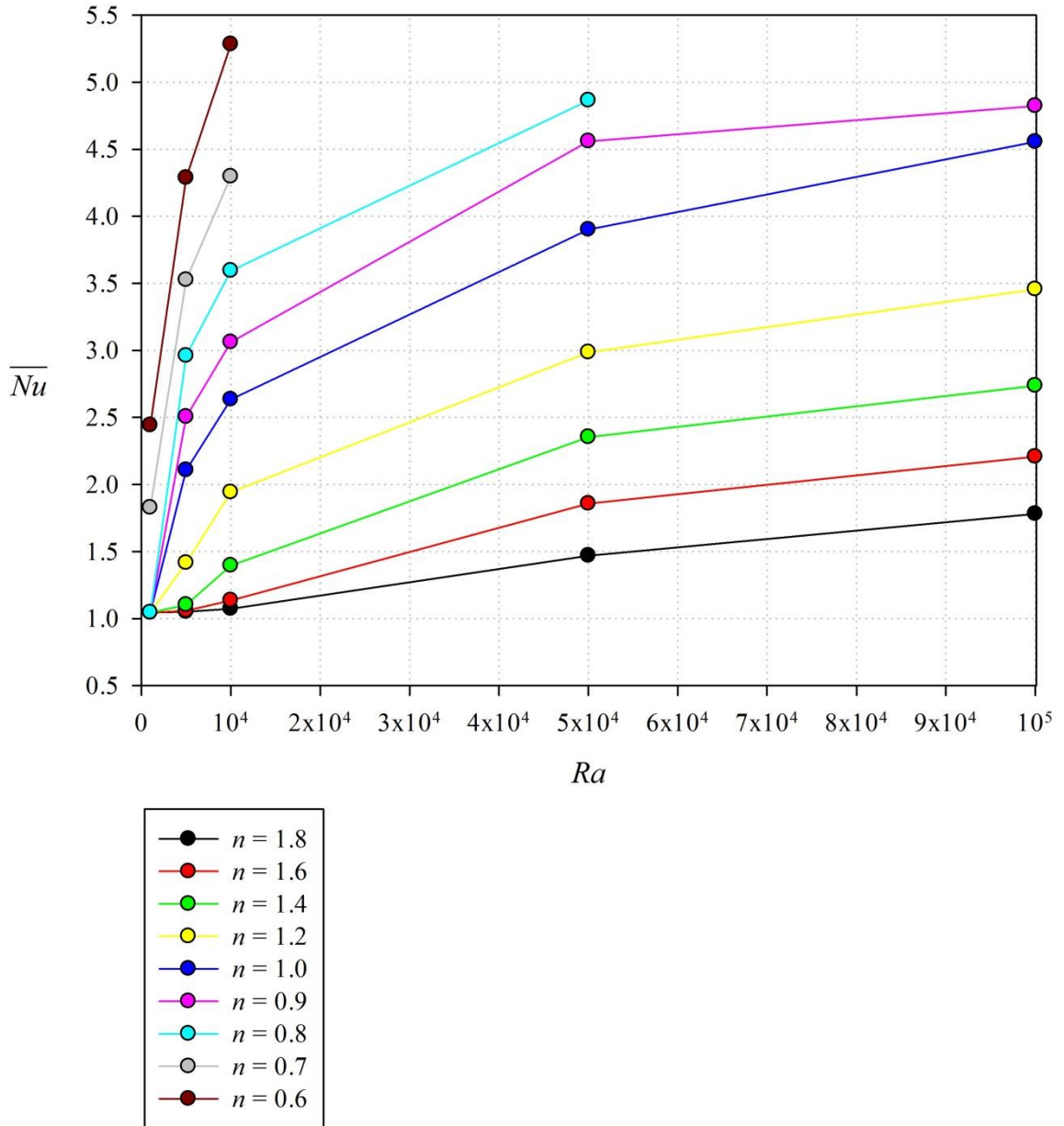
Bulgular üzerinde dikkat çekici olan nokta inceleşen akışkan durumunda $\theta = 10^\circ$ için genel davranışın dışına çıkılarak $n=0.6$ ve $Ra=10000$ değerlerinde, $n=0.9$ ve $Ra=50000$ değerlerinde; ayrıca Newtonumsu akışkan için ($n=1.0$) $Ra=100000$ değerinde tabanda en yüksek ısı transferinin ortaya çıkmış olmasıdır. Bu konu daha detaylı incelemeye muhtaç olmakla birlikte; bu “kritik” değerlerde hem akışın hızlanarak taşınım etkisini güçlendirmesi hem de tabanda iletim etkisinin aynı anda zayıflamasından kaynaklanmakta olduğu düşünülmektedir.



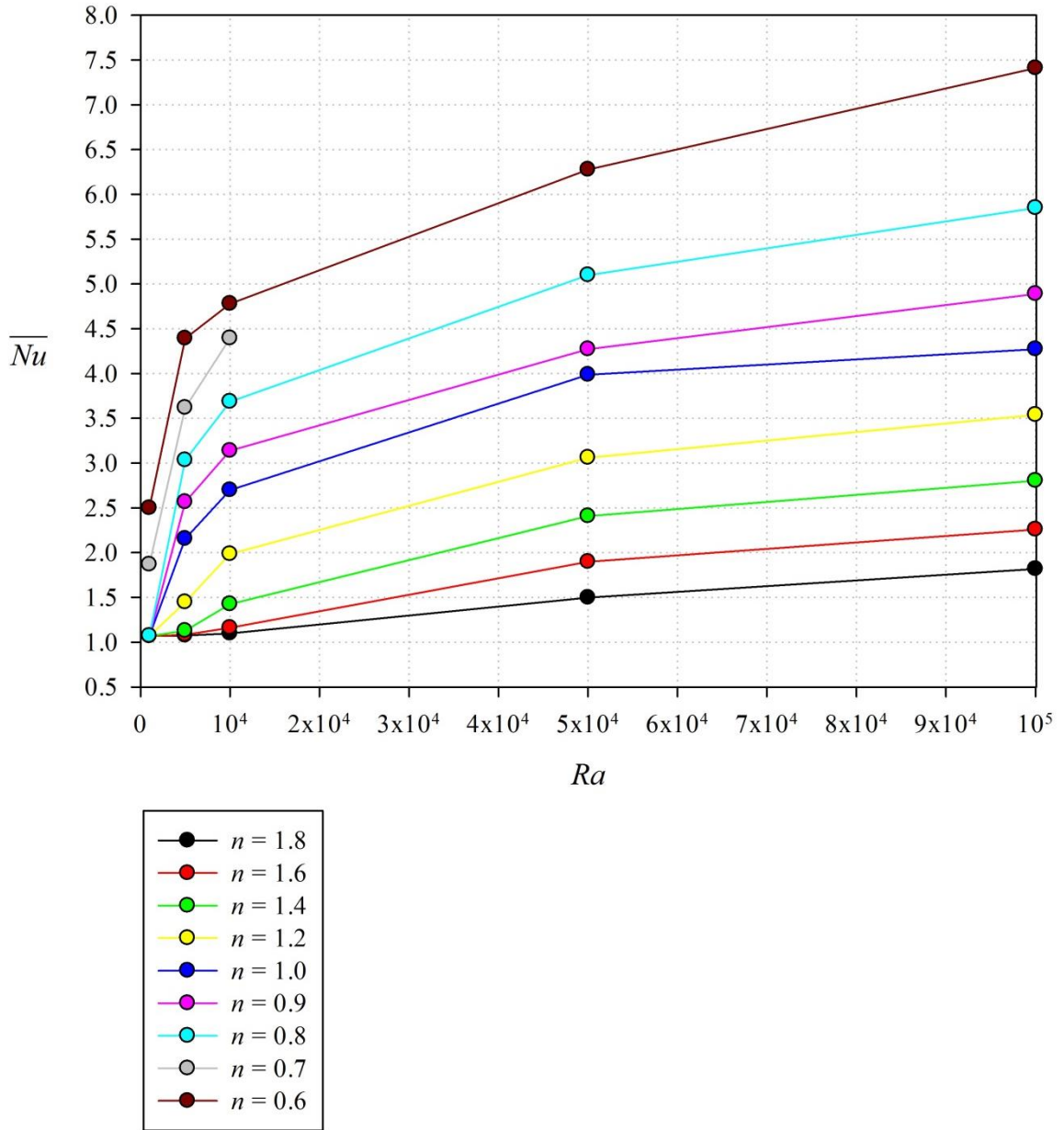
Şekil 3.46. $Pr = 1000$ için 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 0^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede çeşitli n üstel indeks değerleri için ortalama Nu sayısının Ra sayısı ile değişimleri.



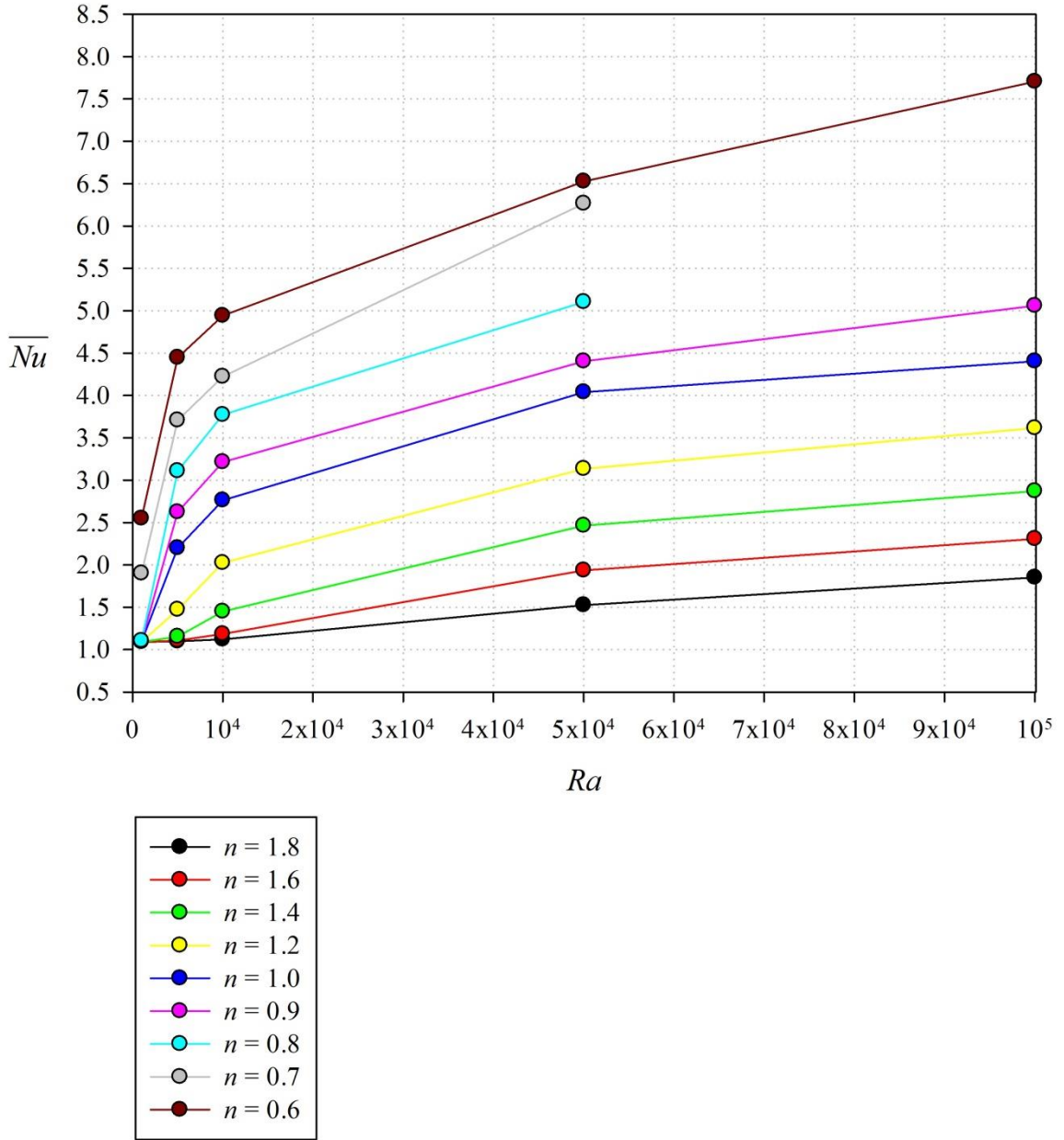
Şekil 3.47. $Pr = 1000$ için 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=5^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede çeşitli n üstel indeks değerleri için ortalama Nu sayısının Ra sayısının değişimleri.



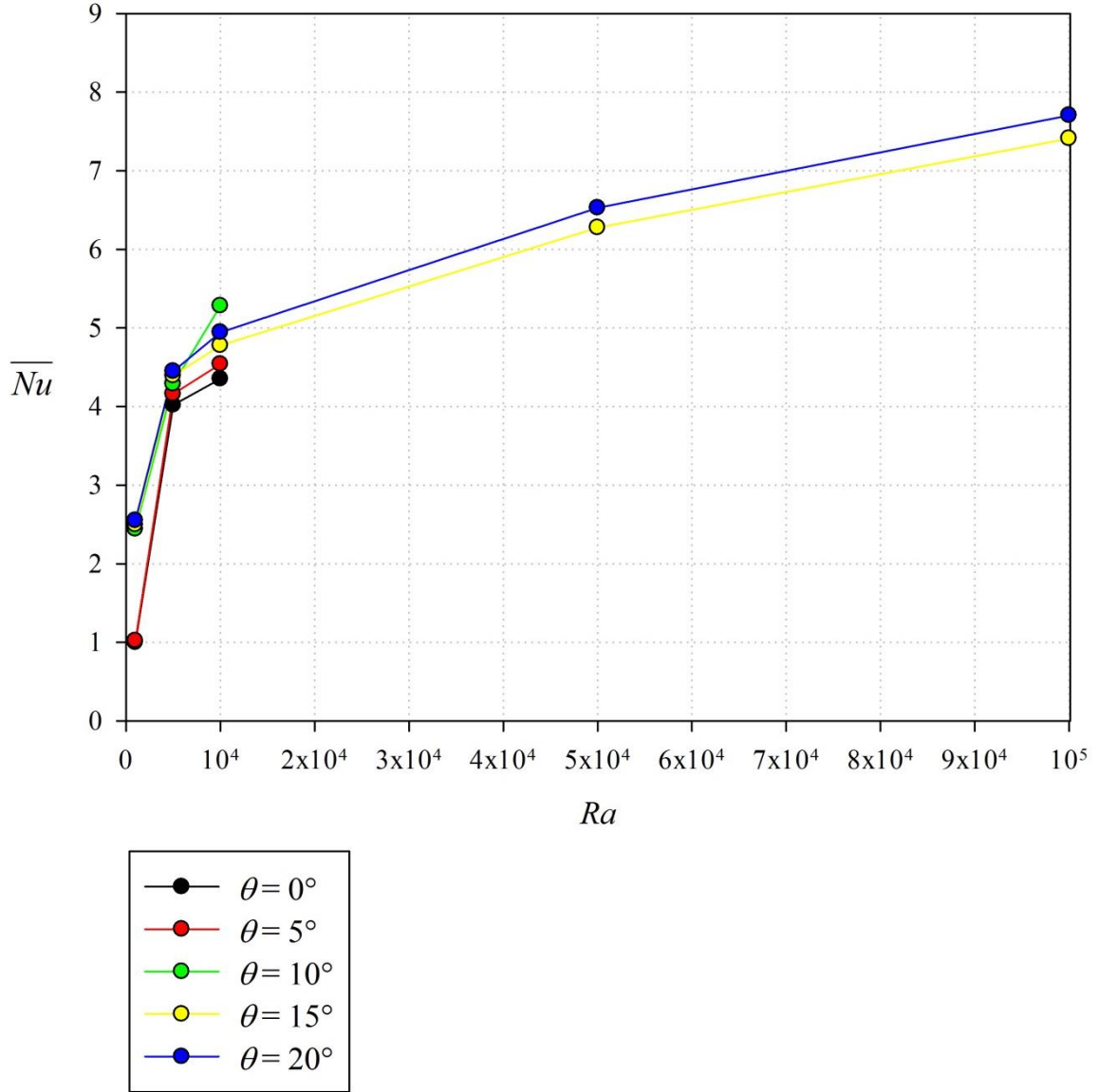
Şekil 3.48. $Pr = 1000$ için 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 10^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede çeşitli n üstel indeks değerleri için ortalama Nu sayısının Ra sayısı ile değişimleri.



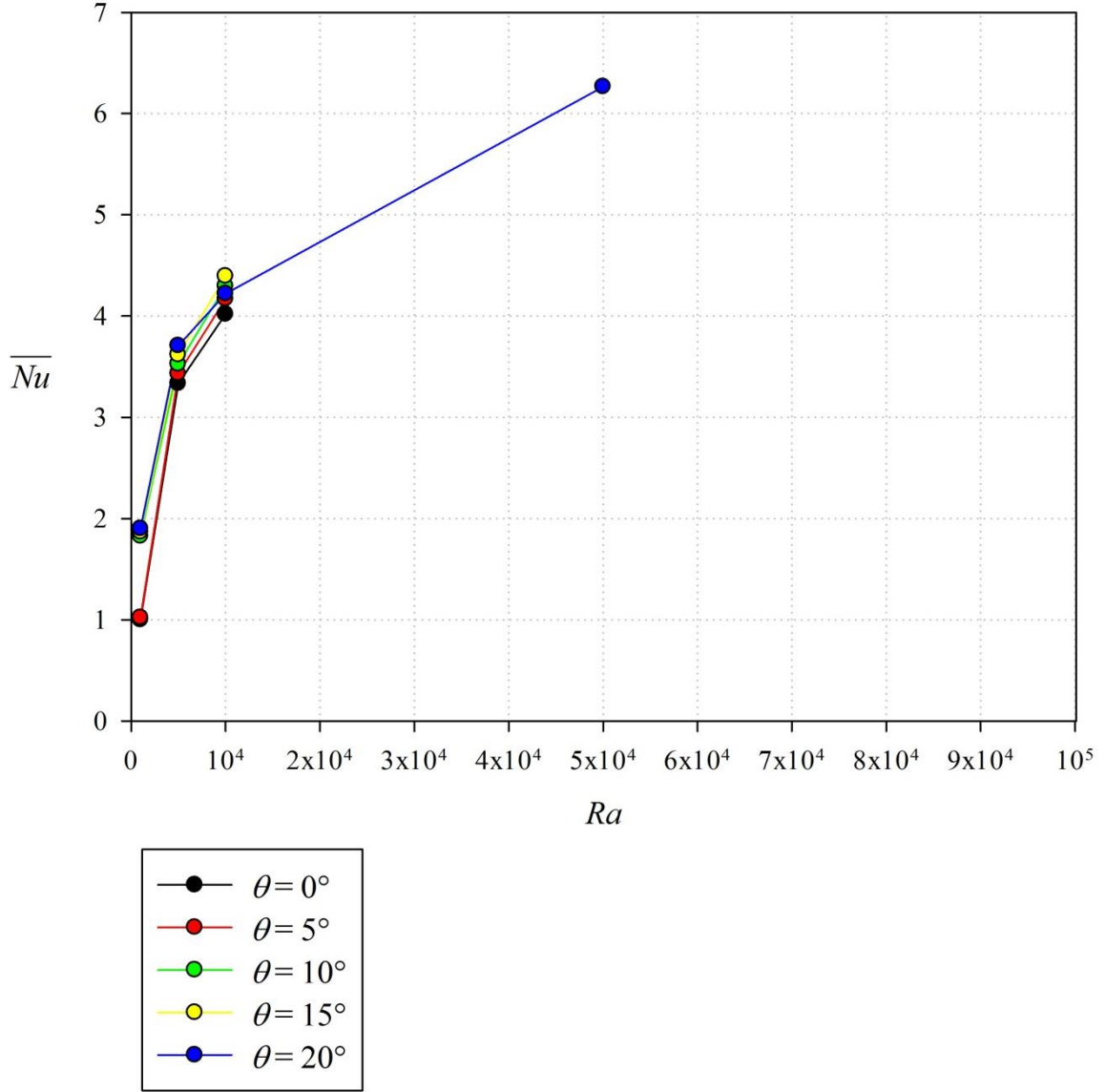
Şekil 3.49. $Pr = 1000$ için 0.25 m yükseklikteki ve $\theta=15^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede çeşitli n üstel indeks değerleri için ortalama Nu sayısının Ra sayısına göre değişimleri.



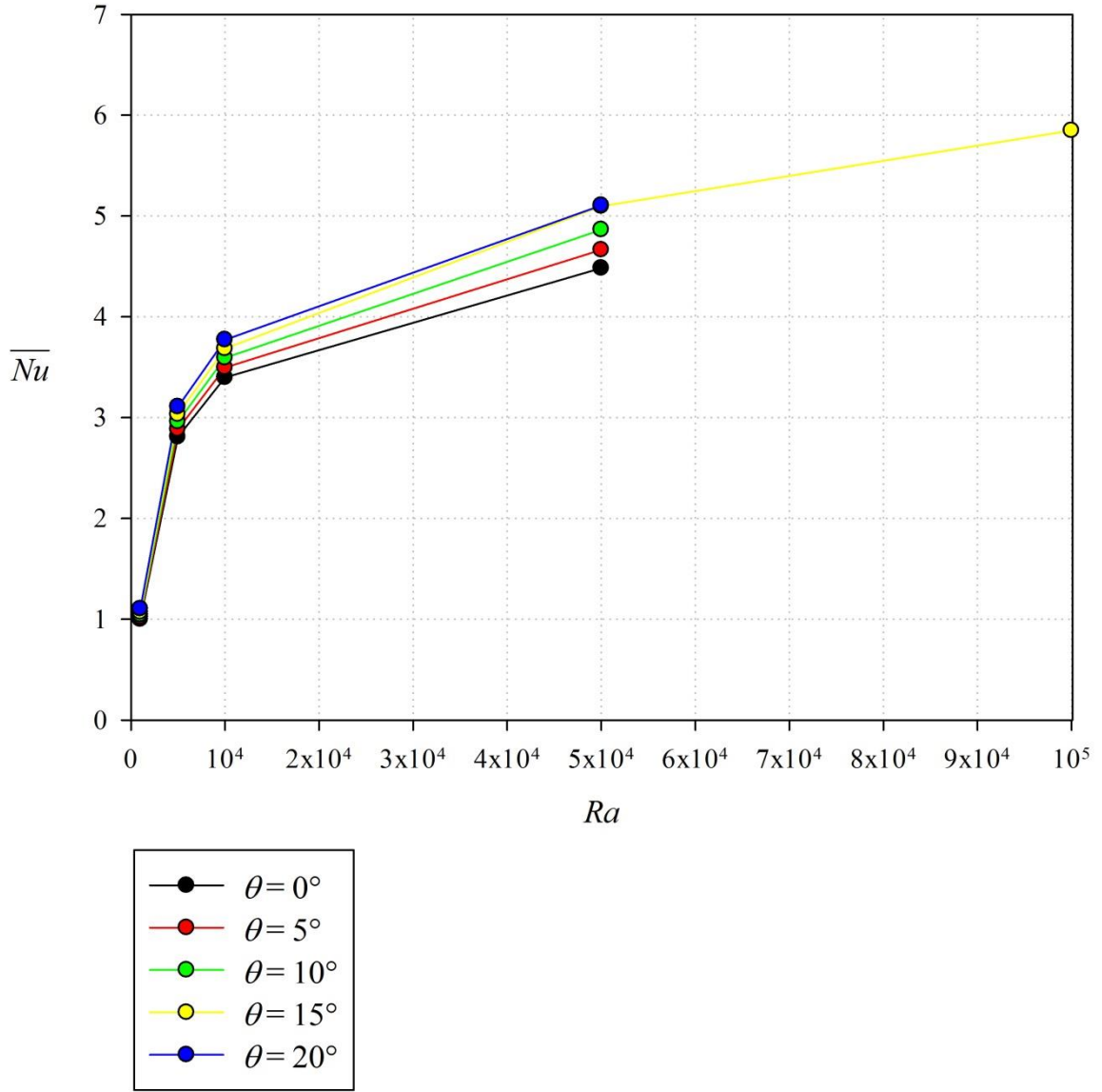
Şekil 3.50. $Pr = 1000$ için 0.25 m yükseklikteki ve $\theta = 20^\circ$ açılı ikizkenar yamuk bölgede çeşitli n üstel indeks değerleri için ortalama Nu sayısının Ra sayısına göre değişimleri.



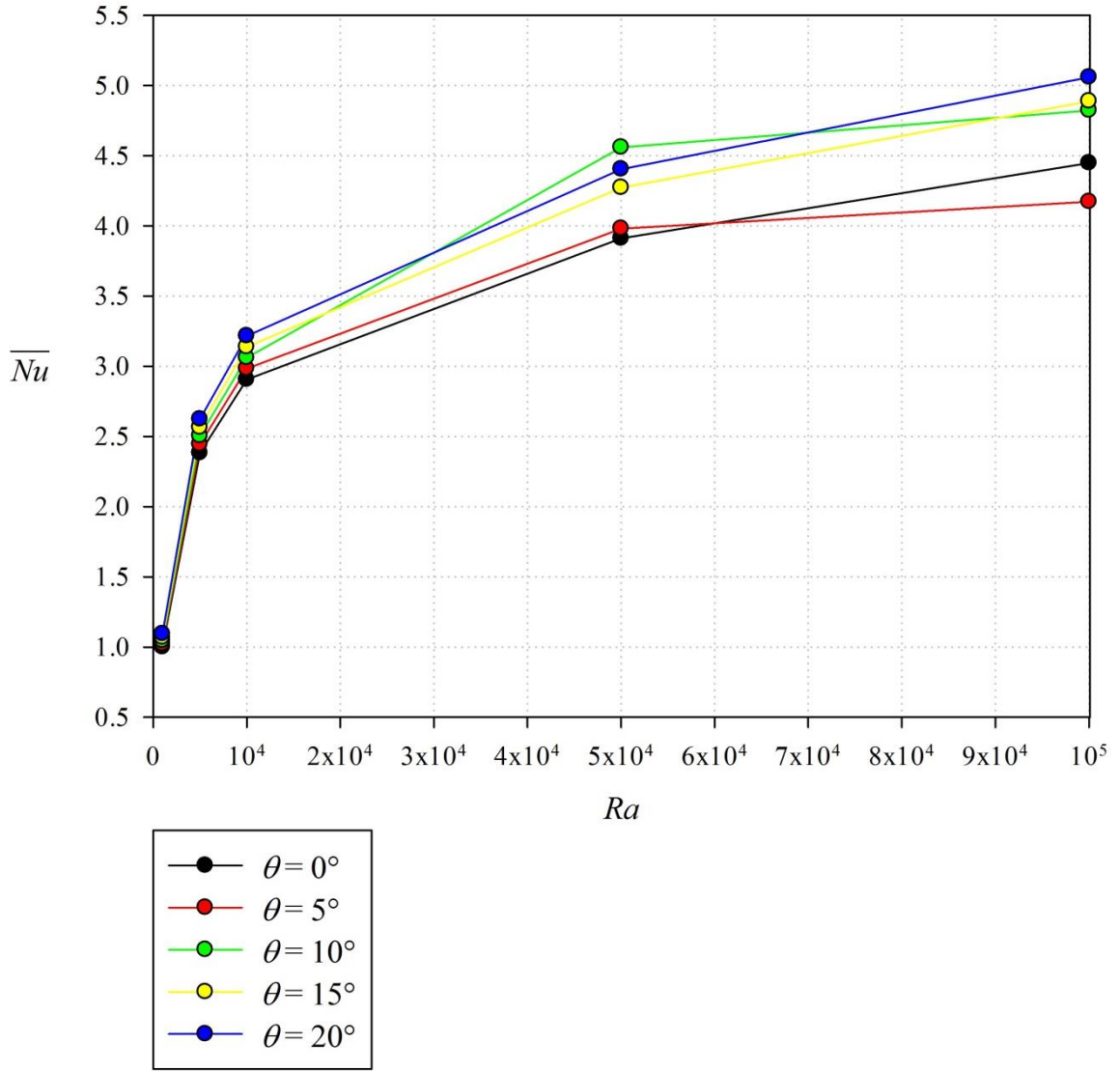
Şekil 3.51. $Pr = 1000$ için 0.25 m yükseklikteki ve $n=0.6$ üstel indeksli *NNF* için yamuk bölgede çeşitli yamuk açıları için ortalama Nu sayısının Ra sayısı ile değişimleri.



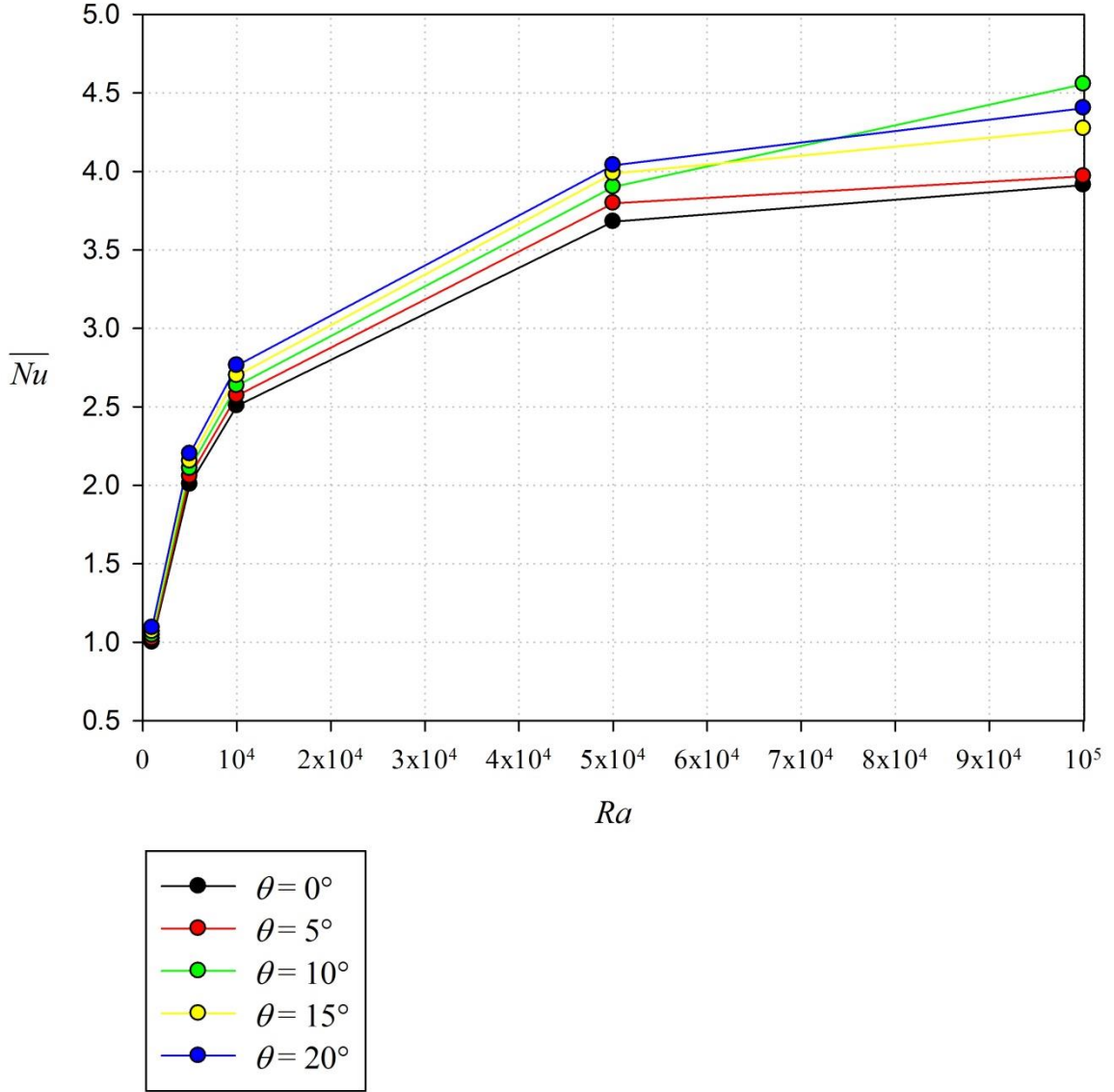
Şekil 3.52. $Pr = 1000$ için 0.25 m yükseklikteki ve $n=0.7$ üstel indeksli NNF için yamuk bölgede çeşitli yamuk açıları için ortalama Nu sayısının Ra sayısı ile değişimleri.



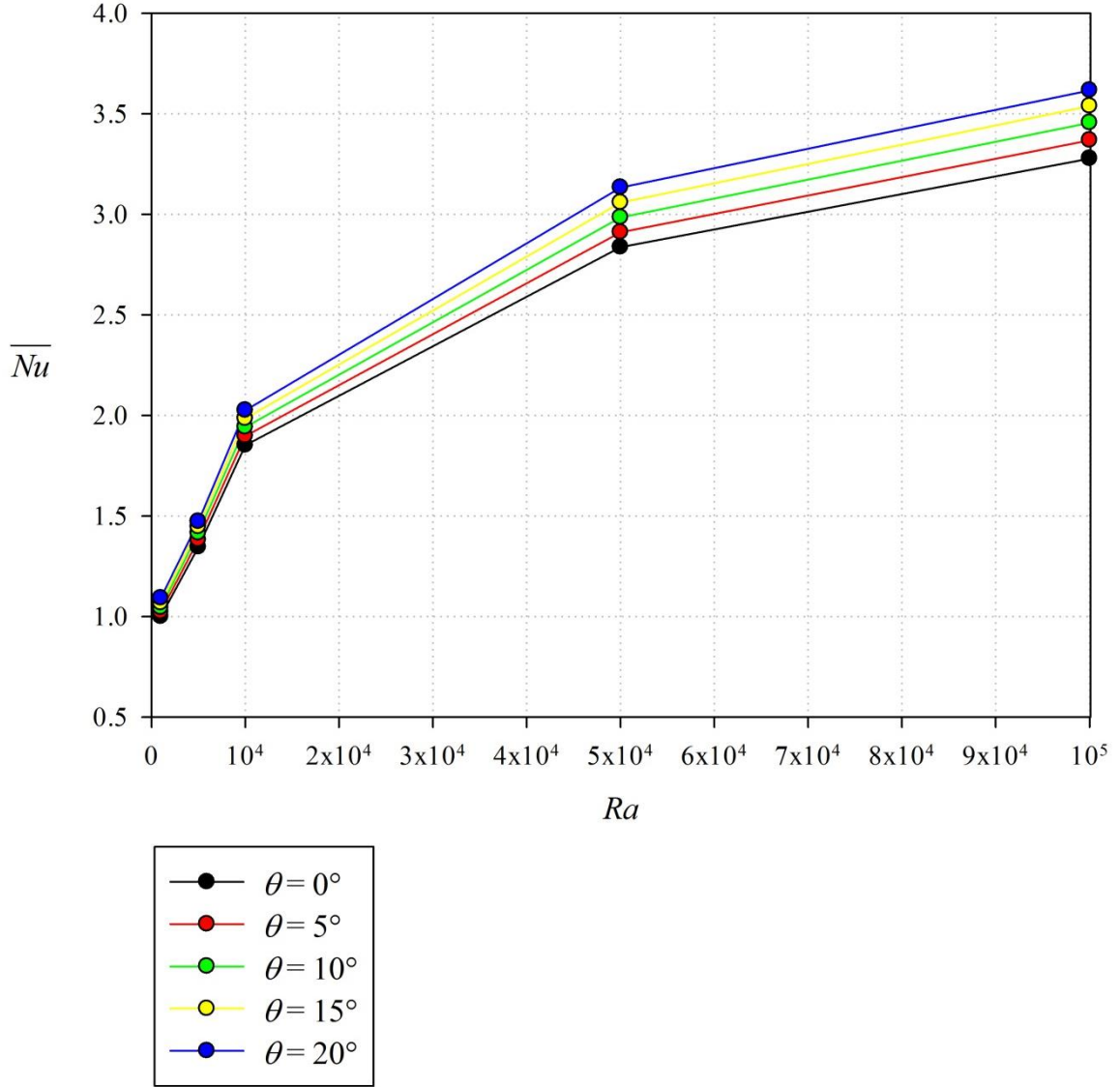
Şekil 3.53. $Pr = 1000$ için 0.25 m yükseklikteki ve $n=0.8$ üstel indeksli NNF için yamuk bölgede çeşitli yamuk açıları için ortalama Nu sayısının Ra sayısı ile değişimleri.



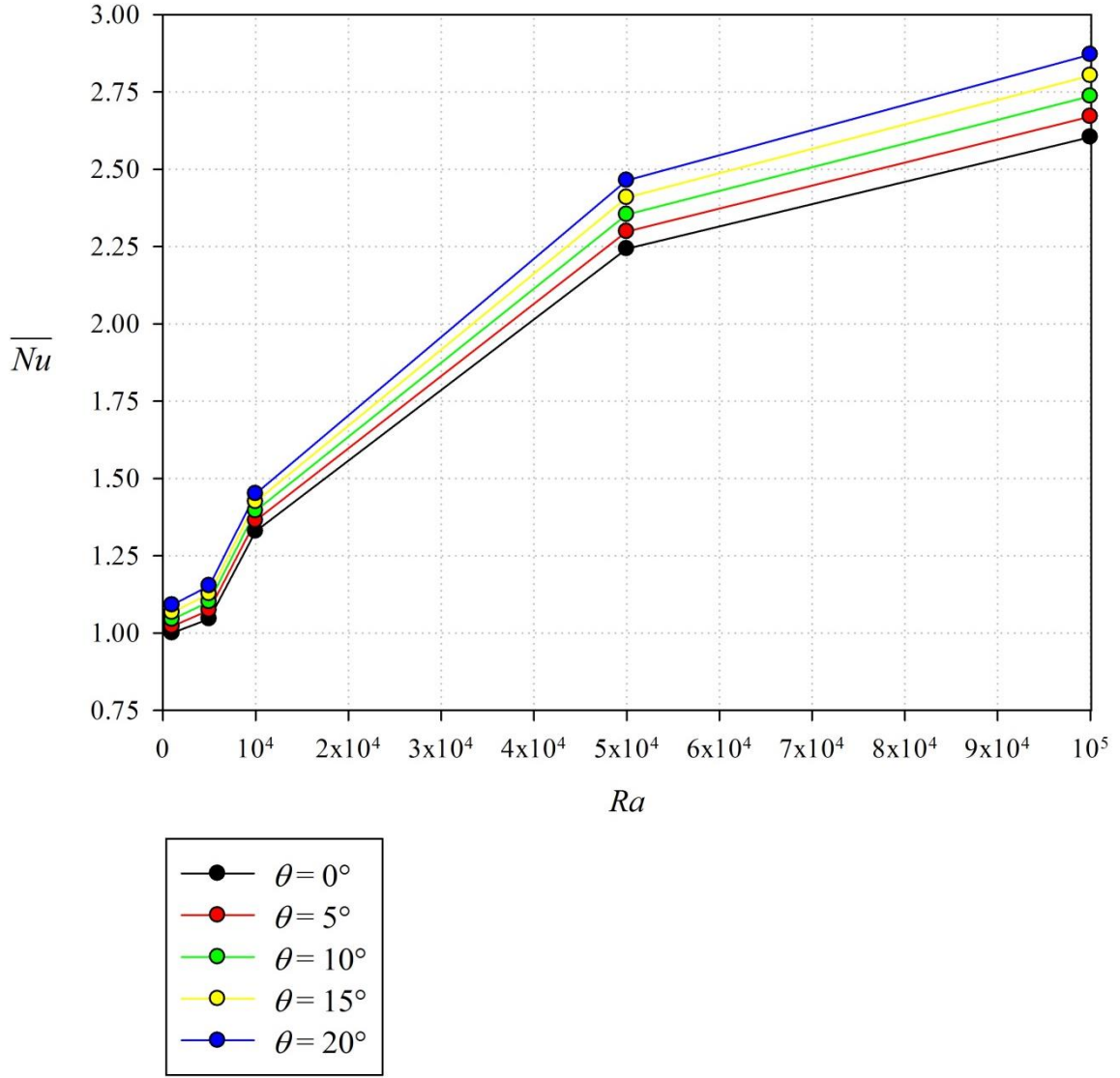
Şekil 3.54. $Pr = 1000$ için 0.25 m yükseklikteki ve $n=0.9$ üstel indeksli NNF için yamuk bölgede çeşitli yamuk açıları için ortalama Nu sayısının Ra sayısı ile değişimleri.



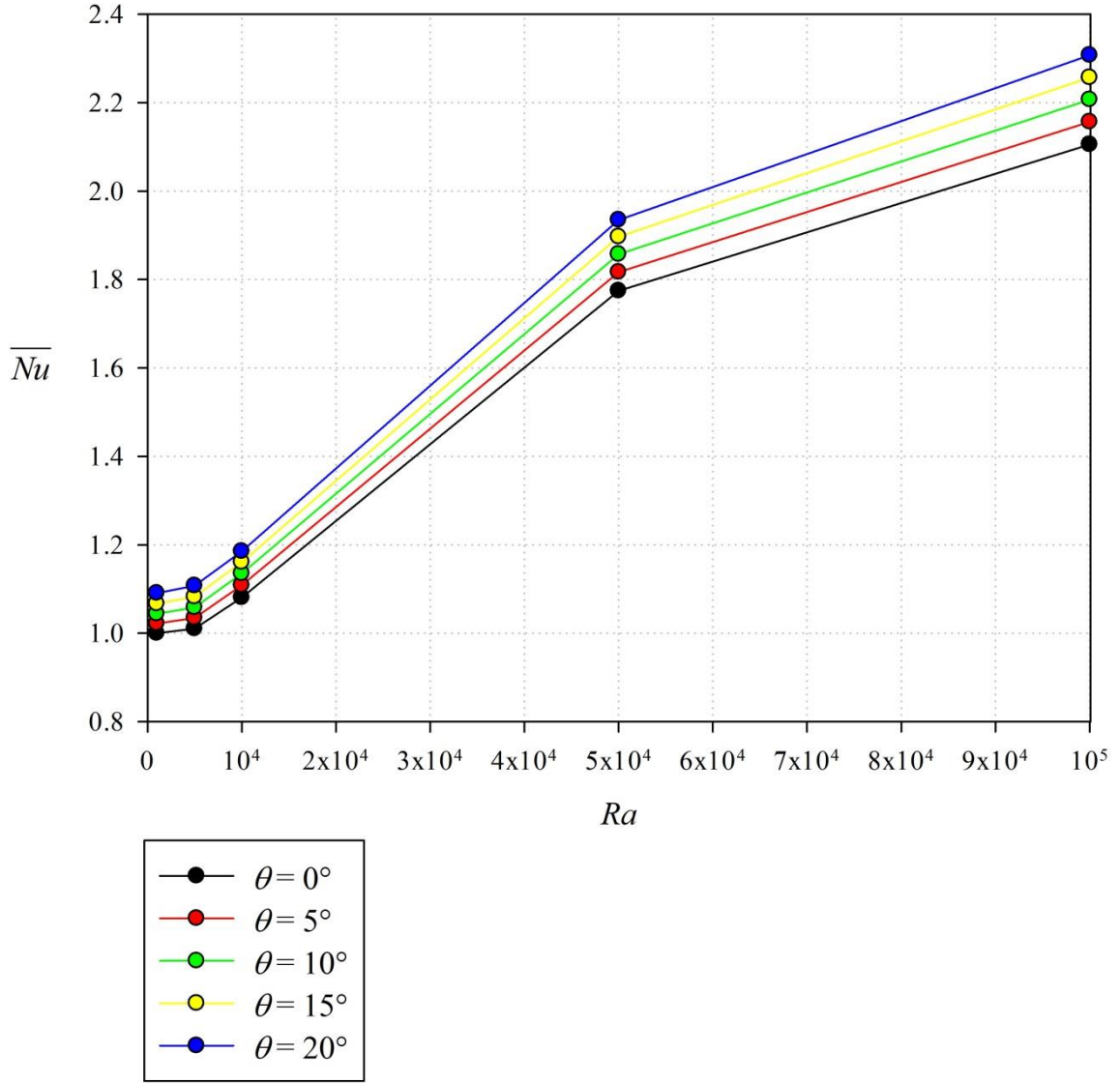
Şekil 3.55. $Pr = 1000$ için 0.25 m yükseklikteki ve $n=1.0$ üstel indeksli *NNF* için yamuk bölgede çeşitli yamuk açıları için ortalama Nu sayısının Ra sayısı ile değişimleri.



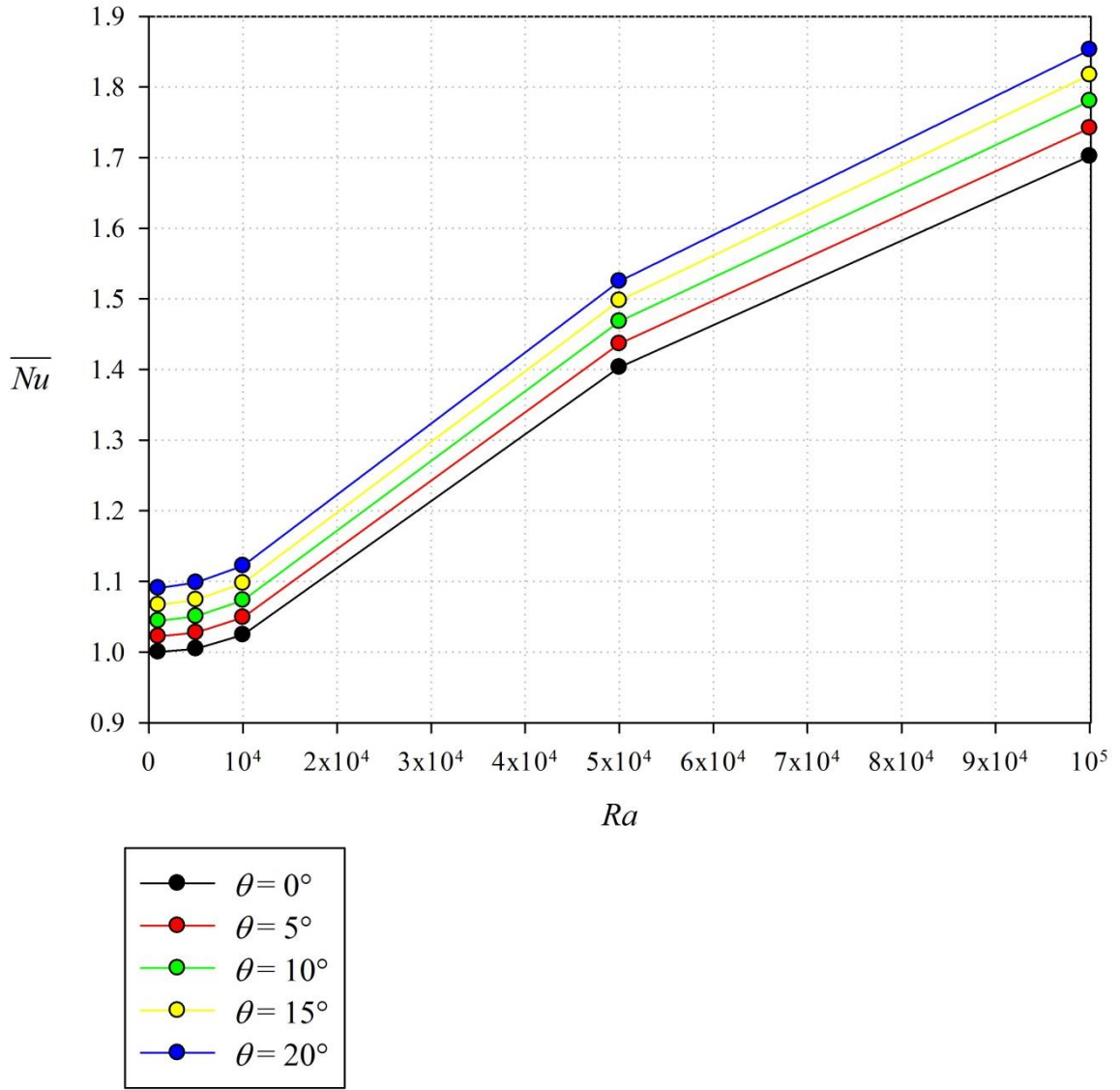
Şekil 3.56. $Pr = 1000$ için 0.25 m yükseklikteki ve $n=1.2$ üstel indeksli NNF için yamuk bölgede çeşitli yamuk açıları için ortalama Nu sayısının Ra sayısına göre değişimleri.



Şekil 3.57. $Pr = 1000$ için 0.25 m yükseklikteki ve $n=1.4$ üstel indeksli NNF için yamuk bölgede çeşitli yamuk açıları için ortalama Nu sayısının Ra sayısı ile değişimleri.



Şekil 3.58. $Pr = 1000$ için 0.25 m yükseklikteki ve $n=1.6$ üstel indeksli NNF için yamuk bölgede çeşitli yamuk açıları için ortalama Nu sayısının Ra sayısı ile değişimleri.



Şekil 3.59. $Pr = 1000$ için 0.25 m yükseklikteki ve $n=1.8$ üstel indeksli NNF için yamuk bölgede çeşitli yamuk açıları için ortalama Nu sayısının Ra sayısı ile değişimleri.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmadan elde edilmiş olan bulgulardan yola çıkılarak elde edilen sonuçlar şu şekilde ifade edilebilir:

1. Herhangi bir bölge içerisinde üstel indeksli inceleyen NNF ($n < 1$) kullanmak suretiyle tabandan akışkana geçen ısının Newtonumsu akışkana göre daha da artırılması mümkündür. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre örneğin dikdörtgen bir bölge içerisinde $n=0.8$ değerli NNF için $Ra=50000$ değerine sahip doğal dolaşımında tabandaki ortalama Nusselt sayısı, Newtonumsu akışkan kullanımına göre yaklaşık olarak %22 oranında artmaktadır. Bu bulgu; uygulamaya elverişli olması kaydıyla, kapalı hacimlerin sıcak yüzeylerinin soğutulmasında üstel indeksli NNF 'lerin kullanılabilirliğini göstermektedir.
2. Kapalı bir geometri içerisinde yer alan bütün akışkan türleri için, Rayleigh sayısının artması ile birlikte sıcak kenardan bölgeye olan ısı geçişi de artmaktadır. Bu artışın sağlanması birçok mühendislik uygulamasında soğutma amacıyla istenilen bir durumdur. Dolayısıyla pratik fiziksel özellikler açısından bakıldığında; Rayleigh sayısının artırılması uygulamaya elverişli olması kaydıyla, kapalı geometri içerisinde düşük viskoziteli ve ısı iletim katsayılı akışkan kullanılması ile mümkün olur.
3. İkizkenar yamuk geometriye sahip olan kapalı bölgenin yamuk açısının, sıcak tabanından olan ısı transferi üzerindeki etkisi açısından bakıldığında, artan yamuk açısının tabandan olan ısı transferine; diğer bir deyişle yüzeyin soğutulmasına katkı sağladığı görülmektedir. Örneğin; 20° açısına sahip ikizkenar bir bölge içerisinde $n=0.8$ değerli NNF için $Ra=50000$ değerine sahip doğal dolaşımında tabandaki ortalama Nusselt sayısı, dikdörtgen bölgeye göre yaklaşık olarak %21 oranında artmaktadır. Bu bulgu ikizkenar yamuk geometriye sahip olan yoğunlaştırılmış fotovoltaik (CPV) hücrelerin tabanlarında yer alan hücrelerdeki aşırı ısınma nedeniyle verimlerinde ortaya çıkan düşme problemine çözüm getirebilir.
4. Çalışmada göz önüne alınmış olan problemin; yüzeylerden sabit ısı akısı ve daha farklı sınır koşulları altında da bir seri olarak incelenmesinde yarar olacaktır. Bu sayede uygulamaya yönelik daha kapsamlı sonuçlar elde edilmiş olacaktır.

5. KAYNAKLAR

- Alloui Z., Ben Khelifa N., Beji H., Vasseur P., Guizani A., 2013. The onset of convection of power-law fluids in a shallow cavity heated from below by a constant heat flux. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics 196 70–82.
- Basak T., Anandalakshmi R., Roy S., Pop I., 2013. Role of entropy generation on thermal management due to thermal convection in porous trapezoidal enclosures with isothermal and non-isothermal heating of wall. International Journal of Heat and Mass Transfer 67 810–828.
- Basak T., Anandalakshmi R., Kumar P., Roy S., 2012. Entropy generation vs energy flow due to natural convection in a trapezoidal cavity with isothermal and non-isothermal hot bottom wall. Energy 37 514e532.
- Basak T., Ramakrishna D., Roy S., Matta A., Pop I., 2011. A comprehensive heatline based approach for natural convection flows in trapezoidal enclosures: Effect of various walls heating. International Journal of Thermal Sciences 50 1385e1404.
- Basak T., Roy S., Matta A., Pop I., 2010. Analysis of heatlines for natural convection within porous trapezoidal enclosures: Effect of uniform and non-uniform heating of bottom wall. International Journal of Heat and Mass Transfer 53 5947–5961.
- Basak T., Roy S., Singh A., Pandey D., 2009. Natural convection flow simulation for various angles in a trapezoidal enclosure with linearly heated side wall(s). International Journal of Heat and Mass Transfer 52 4413–4425.
- Basak T., Roy S., Pop I., 2009. Heat flow analysis for natural convection within trapezoidal enclosures based on heatline concept. International Journal of Heat and Mass Transfer 52 2471–2483.
- Basak T., Roy S., Singh A., Pop I., 2009. Finite element simulation of natural convection within porous trapezoidal enclosures for various inclination angles: Effect of various wall heating. International Journal of Heat and Mass Transfer 52 4135–4150.
- Basak T., Roy S., Singh A., Pop I., 2009. Finite element simulation of natural convection flow in a trapezoidal enclosure filled with porous medium due to uniform and non-uniform heating. International Journal of Heat and Mass Transfer 52 70–78.
- Basak T., Roy S., Singh A., Balakrishnan A.R., 2009. Natural convection flows in porous trapezoidal enclosures with various inclination angles. International Journal of Heat and Mass Transfer 52 4612–4623.
- Baytaş A.C., Pop I., 2001. Natural convection in a trapezoidal enclosure filled with a porous medium. International Journal of Engineering Science 39 125-134.

- Ben Khelifa N., Alloui Z., Beji H., Vasseur P., 2012. Natural convection in a horizontal porous cavity filled with a non-Newtonian binary fluid of power-law type. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics 169 – 170 15–25.
- Boussaid M., Mezenner A., Bouhadef M., 1999. Free heat and mass convection in a trapezoidal enclosure. Int. J. Sci. 38, 363-371.
- Cheng C., 2006. Natural convection heat and mass transfer of non-Newtonian power law fluids with yield stress in porous media from a vertical plate with variable wall heat and mass fluxes. International Communications in Heat and Mass Transfer 33 1156–1164.
- Chhabra, R.P., Richardson, J.F., 2008. Non-Newtonian flow and applied rheology: Engineering applications, 2nd Edition Oxford UK.
- Çengel Y.A., 2003. Heat Transfer: A Practical Approach, 2nd Edition McGraw-Hill, USA.
- Faghri A., Zhang, Y., Howell, J., 2010. Advanced Heat and Mass Transfer, Columbia USA.
- Gi Bin K., Hyun J., Kwak H., 2003. Transient buoyant convection of a power-law non-Newtonian fluid in an enclosure. International Journal of Heat and Mass Transfer 46 3605–3617.
- Hasanuzzaman M., Öztop H.F., Rahman M.M., Rahim N.A., Saidur R., Varol Y., 2012. Magnetohydrodynamic natural convection in trapezoidal cavities. International Communications in Heat and Mass Transfer 39 1384–1394.
- Hossain M., Alim M.A., 2014. MHD free convection within trapezoidal cavity with non-uniformly heated bottom wall. International Journal of Heat and Mass Transfer 69 327–336.
- Incropera F.P., DeWitt D.P., Bergman T., Lavine A., 2007. Fundamental of Heat and Mass Transfer, 6th Edition Canada.
- Iyican L., Bayazitoglu Y., 1980. An analytical study of natural convective heat transfer within trapezoidal enclosure. J. Heat Transfer 102 4, 640-647.
- Khezzar L., Siginer D., Vinogradov I., 2012. Natural convection of power law fluids in inclined cavities. International Journal of Thermal Sciences 53 8e17.
- Kumar S., 2004. Natural convective heat transfer in trapezoidal enclosure of box-type solar cooker. Renewable Energy 29 211–222.
- Kuyper, 1995. Laminar natural convection flow in trapezoidal enclosures. Numerical Heat Transfer, Part A: Applications: An International Journal of Computation and Methodology Volume 28, Issue1.

- Lamsaadi M., Naimi M., Hasnaoui M., 2006. Natural convection heat transfer in shallow horizontal rectangular enclosures uniformly heated from the side and filled with non-Newtonian power law fluids. Energy Conversion and Management 47 2535–2551.
- Lamsaadi M., Naimi M., Hasnaoui M., Mamou M., 2006. Natural Convection in a Vertical Rectangular Cavity Filled with a Non-Newtonian Power Law Fluid and Subjected to a Horizontal Temperature Gradient. An International Journal of Computation and Methodology.
- Mahmoudi A.H., Pop I., Shahi M., Talebi F., 2013. MHD natural convection and entropy generation in a trapezoidal enclosure using Cu–water nanofluid. Computers & Fluids 72 46–62.
- Moukalled F., Acharya S., 2000. Natural convection in trapezoidal with baffles mounted on the upper inclined surfaces. Numerical Heat Transfer, Part A, 37:545 –565.
- Moukalled F., Acharya S., 2001. Natural Convection in a Trapezoidal Enclosure with Offset Baffles. Journal of Thermophysics and Heat Transfer, 15, 2, 212-218.
- Moukalled F., Darwish M., 2003. Natural convection in a partitioned trapezoidal cavity heated from the side. Numerical Heat Transfer, Part A, 43: 543–563.
- Moukalled F., Darwish M., 2004. Natural Convection in a Trapezoidal Enclosure Heated from the Side with a Baffle Mounted on Its Upper Inclined Surface. Heat Transfer Engineering, 25 8:80–93.
- Natarajan, Basak T, Roy S., 2008. Natural convection flows in a trapezoidal enclosure with uniform and non-uniform heating of bottom wall. International Journal of Heat and Mass Transfer 51 747–756.
- Ng M.L., Hartnett J.P., 1986. Natural convection in power law fluids, Int. Comm. Heat Mass Transfer, 13, 115-120.
- Noah I., Daniel T., Crunkleton W., 2012. Oscillatory natural convection in trapezoidal enclosures. International Journal of Heat and Mass Transfer 55 4498–4510.
- Ohta M., Akiyoshi M., Obata E., 2002. study of natural convective heat transgfer of pseudoplastic fluids in a squar cavity. An International Journal of Computation and Methodology.
- Ostrach S., 1988. Natural Convection in Enclosure, J. Heat Transfer, 110, 1175-1190.
- Ouertatani N., Cheikh N., Ben Beya B., Lili T., 2008. Numerical simulation of two-dimensional Rayleigh–Bénard convection in an enclosure, Comptes Rendus Mecanique - C R MEC , 336, 5, 464-470.
- Ousegui A., Le Bail A., Havet M., 2006. Numerical and experimental study of a natural convection thawing process, AIChE J. 52 12 4240–4247.

- Öztop H.F., Abu-Nada E., 2008. Numerical study of natural convection in partially heated rectangular enclosures filled with nanofluids, International Journal of Heat and Fluid Flow 29 1326–1336.
- Papanicolaou E., Belessiotis V., 2005. Double-diffusive natural convection in an asymmetric trapezoidal enclosure: unsteady behavior in the laminar and the turbulent-flow regime. International Journal of Heat and Mass Transfer 48 191–209.
- Pensiri S., Witayangkurn S., 2013. Natural Convection in a Trapezoidal Enclosure with Wavy Top Surface. Hindawi Publishing Corporation Journal of Applied Mathematics, Article ID 840632.
- Perić M. 1993. Natural convection in trapezoidal cavities. Numerical Heat Transfer, Part A: Applications: An International Journal of Computation and Methodology Volume 24, Issue 2.
- Ramakrishna D., Basak T., Roy S., 2013. Analysis of heatlines and entropy generation during free convection within trapezoidal cavities. International Communications in Heat and Mass Transfer 45 32–40.
- Ramakrishna D., Basak T., Roy S., Momoniat E., 2014. Analysis of thermal efficiency via analysis of heat flow and entropy generation during natural convection within porous trapezoidal cavities. International Journal of Heat and Mass Transfer 77 98–113.
- Rathish Kumar B.V., Kumar B., 2004. Parallel computation of natural convection in trapezoidal porous enclosures. Mathematics and Computers in Simulation 65 221–229.
- Reynolds D.J., Jance M.J., Behnia M., Morrison G.L., 2004. an experimental and computational study of the heat loss characteristics of a trapezoidal cavity absorber. Solar Energy 76 229–234.
- Sadat H., Salagnac P., 1995. further results for Laminar Natural Convection in a Two-dimensional trapezoidal enclosure. Numerical Heat Transfer, Part A: Applications: An International Journal of Computation and Methodology Volume 27, Issue 4.
- Saleh H., Roslan R., Hashim I., 2011. Natural convection heat transfer in a nanofluid-filled trapezoidal enclosure. International Journal of Heat and Mass Transfer 54 194–201.
- Saleh H., Roslan R., Hashim I., 2011. Natural convection in a porous trapezoidal enclosure with an inclined magnetic field. Computers & Fluids 47 155–164.
- Sandberg M., Berg N., Johnsson G., 2011. Rayleigh-Bénard convection, Royal Institute of Technology.
- Sarris I.E., Lekakis I., Vlachos N.S., 2002. Natural convection in a 2D enclosure with sinusoidal upper wall temperature, Num Heat Transfer, 42 513–530.

- Series R.W., Hurle D.T.J., 1991. The use of magnetic fields in semiconductor crystal growth, Journal of Crystal Growth, 113, 305–328.
- Shahi M., Mahmoudi A., Talebi F., 2010. Numerical simulation of steady natural convection heat transfer in a 3-d dimensional single-ended tube subjected to a nano fluid, International Communications in Heat and Mass Transfer 37, Issue 1.
- Silva A., Fontana É., Mariani V.C., Marcondes F., 2012. Numerical investigation of several physical and geometric parameters in the natural convection into trapezoidal cavities. International Journal of Heat and Mass Transfer 55 6808–6818.
- Sojoudi A., Saha, S.C., Gu Y.T., Hossain M.A., 2013. Steady Natural Convection of Non-Newtonian Power-Law Fluid in a Trapezoidal Enclosure. Advances in Mechanical Engineering, 653108.
- Makayssi T., Lamsaadi M., Naimi M., Hasnaoui M., Raji A., Bahlaoui A., 2008. Natural double-diffusive convection in a shallow horizontal rectangular cavity uniformly heated and salted from the side and filled with non-Newtonian power-law fluids: The cooperating case. Energy Conversion and Management 49 2016–2025.
- Tmartnhad I., El Alami M., Najam M., Oubarra A., 2008. Numerical investigation on mixed convection flow in a trapezoidal cavity heated from below. Energy Conversion and Management 49 3205–3210.
- Turan O, 2013. Newtonumsu-olmayan akışkanlarla dolu kapalı ortamlarda laminar doğal taşınım incelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Turan O, Sachdeva A., Chakraborty N., Poole R.J., 2011. Laminar natural convection of power-law fluids in a square enclosure with differentially heated side walls subjected to constant temperatures. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics 166 1049–1063.
- Turan O, Sachdeva A., Poole R.J., Chakraborty N., 2013. Aspect ratio and boundary conditions effects on laminar natural convection of power-law fluids in a rectangular enclosure with differentially heated side walls.
- Turan O, Sachdeva A., Poole R.J., Chakraborty N., 2013. Laminar natural convection of power-law fluids in a square enclosure submitted from below to a uniform heat flux density. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics 199 80–95.
- Van Der Eyden J. T., Van Der Mee TH. H., Hanjalic K., 1998. Double-diffusive natural convection in trapezoidal enclosures. Int. J. Heat and Mass Transfer. 41, 13.
- Varol Y., 2012. Natural convection for hot materials confined within two entrapped porous trapezoidal cavities. International Communications in Heat and Mass Transfer 39 282–290.

- Varol Y., 2010. Natural convection in divided trapezoidal cavities filled with fluid saturated porous media. International Communications in Heat and Mass Transfer 37 1350–1358.
- Varol Y., Öztop H.F., Pop I., 2009. Natural convection in right-angle porous trapezoidal enclosure partially cooled from inclined wall. International Communications in Heat and Mass Transfer 36 6–15.
- Varol Y., Öztop H.F., Pop I., 2008. Numerical analysis of natural convection in an inclined trapezoidal enclosure filled with a porous medium. International Journal of Thermal Sciences 47 1316–1331.
- Wang Y., Fang Z., Zhu L., Huang Q., Zhang Y., Zhang Z., 2009. The performance of silicon solar cells operated in liquids. Applied Energy, 86, issue7-8, pages 1037-1042.

ÖZGEÇMİŞ

Mir Elyad Vakhshouri 1981 yılında İranın Tebriz şehrinde dünyaya geldi. Lise öğrenimini 1998 yılında Tebriz Harezmi lisesinde tamamladı. 1999 yılında Tebriz Sema merkezinde Matematik bilimleri üniversite önhazırlık bölümünü tamamladı. 2000 yılında Tebriz Azad Üniversitesi Makine Mühendisliği-Isı ve Akışkanlar bölümünde Lisans eğitimine başladı. 2006 yılında bu bölümünden mezun olarak Makine Mühendisi Ünvanı aldı. 2012 yılında KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı. Mir Elyad Vakhshouri İngilizce, Farsca, Türkçe, Azerice ve Almanca Bilmektedir.